

**木造住宅技術者育成・技術力向上事業
木造長期優良住宅の耐久性検討委員会
平成 26 年度成果報告書**

平成 27 年 3 月

公益社団法人日本木材保存協会

はじめに

2009年6月に「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」が施行され、戸建て木造住宅の認定に関しては順調な滑り出しを見せているという。しかしながら、現行の認定基準は約30年前に実施した旧建設省の「耐久性総プロ」を技術的なベースとしており、現代の木造住宅の造り方から見た場合には多くの検証すべき課題がある。例えば、気象の変動や新しい外来シロアリの出現などによる腐朽菌やシロアリなどの劣化外力を再評価しなければならないし、当時は出現していなかった新しい構法も普及している。また、木造住宅を長期の使用に供するための基本となる木材、木質材料、接合部材（金物等）などに必要とされる材料等の品質や耐久性に関する要件は、必ずしも明確となっていない。さらには、長期優良住宅が想定する耐用年限の耐久性を確保するには、こうした建材が劣化し必要な強度、性能を保持できなくなる前に点検を行い、交換する等の措置が必要になるが、交換が容易に行えない場合も少なくない。

適切な長期優良住宅の普及を推進するためには、以上のような点について技術的な資料を収集し、必要に応じて改善点、修正点の根拠となる知見を蓄積した上で、あるべき認定基準の枠組みや方向性、そしてその具体的な内容を提示していく必要がある。

本報告書は、以上のことを背景として、長期優良住宅における耐久性上の現行認定基準の根拠となっている技術的知見について現代的な視点から再検証を行うことを目的に、以下の各項目について検討を加えた結果を中心に、最終年度報告としてとりまとめたものである。

第1章では、本事業の背景、目的を明らかにするとともに、検討項目を抽出した上でその検討体制を明らかにした。

第2章では、木造住宅の主たる劣化外力となるシロアリと腐朽を取り上げ、ヤマトシロアリおよびイエシロアリの生息北限を調査するとともに、気象データとの関係性について検討を加え、それらの結果からヤマトシロアリとイエシロアリの被害北限に関する知見をまとめた。また、建築加害菌を明らかにするために、解体建物から採取した腐朽被害材について次世代シーケンサを用いたDNA解析手法により菌の同定作業を行った。

第3章では、従来必ずしも明らかでなかった各種木材保存処理の耐用性を明らかにすることを目的に、シプロコナゾールを対象に昨年度までの実験方法を改良した実験を行い、曝露温度と有効成分の減少量との関係を明らかにした。

第4章では、住宅設計者の立場から各地の新構法の劣化上の問題点を探った資料およびそれらをFTA分析した結果などをもとに、劣化現象とその原因および設計・施工時点で取るべき対策、留意点についての情報を整理した。

第5章では、接合部試験体をイエシロアリおよびナミダタケにより強制劣化させた接合部モデル試験体を用いて、従来明らかでなかった接合部の劣化が構造耐力に与える影響およびその非破壊による検出方法を検討した。またその結果から、接合部が劣化した場合の木造住宅の地震時応答解析を実施し、その影響の程度を検証した。

第6章では、昨年度の知見に加える補足データを採取した。最終年度の成果として、湿

潤環境と乾湿繰り返し環境の2通りに分けて、許容される水分量の値を示し得た。

第7章では、これまでの検討で得られた知見を検証・補足するために、天井断熱材に付属する防湿層と本来の防湿層との透湿抵抗値の比較実験などを行い、最終的な成果物として、建設地域、外壁通気層の有無、天井気密などの条件別の必要小屋裏換気口面積について現行基準値との比較表を得ている。

第8章では、接合金物・接合金具の耐久性基準を明らかにすることを最終目的に、全国4箇所において保存処理木材16種と金物防錆処理18種の組み合わせに関する屋外曝露試験と耐湿試験を継続実施するとともに、室内空間における曝露実験を実施し、使用環境別の発錆度の違いを検証している。それらの結果から、木造住宅接合金物防錆処理のあり方を使用環境別に示す基礎資料を整備し得た。また、錆びの評価にあたって画像解析手法を検討し、その有用性を実証した。

第9章では、長期優良住宅の維持保全計画のあるべき形を明らかにすることを目的に、昨年度に実施した実態調査の追加調査として、維持保全計画の作成方法、点検周期の決定方法、地域性への考慮の有無および今後の展望などについてアンケート調査を実施した。また、大手ハウスメーカーから提供された維持管理データを解析し、地域別不具合発生頻度やその変遷、さらに地域別維持管理コストなどを明らかにした。最後に、最終年度として、これらの資料および他TGの検討成果をもとに、長期優良住宅の維持保全計画立案上考慮すべき因子などについて提案した。

第10章では、長期許容応力度と短期許容応力度の比率（荷重継続時間の調整係数）について、これまでに実験的に検証されなかった木質材料について、クリープ破壊試験により妥当性の検証を行った。

第11章では、耐力壁等に用いられる木ねじに求められる品質規格や接合部性能を整理し、木ねじおよびその接合部について性能規定的な観点から位置づけることにより、木ねじの木質構造への適正な利用を促進させることを目的として、木ねじを用いた軸組構法耐力壁において仮動的水平加力試験を行い、実験的検討を行った。

本年度は、各TGとも昨年度に引き続き実験、調査を継続するとともに、本研究プロジェクトの最終年度として、最終成果物を得るべく作業を行っていただいた。これらの中には研究実施期間中に当初の目標を達成できたものもある一方、様々な事情から未だ最終到達点に達していないものもある。残された課題については、今後、その内容を精査するとともに、当初の成果物を得るための方策について継続して検討していく必要があると考えている。

いずれにしても、多岐にわたる問題を解決すべく各種の検討作業を実施していただいたTG担当者各位に、この場を借りてお礼申し上げます。

平成27年3月20日

耐久性分科会
主査 中島正夫

目 次

はじめに

第1章 木造長期優良住宅の総合的検証事業－耐久性	1
1.1 研究背景と目的	1
1.2 研究項目	2
1.3 研究体制	4
第2章 劣化外力の再評価	7
2.1 各種シロアリ種の野外分布と気象因子に関する検討	7
2.1.1 目的	7
2.1.2 方法	8
2.1.3 結果と考察	9
2.1.4 劣化外力 TG（シロアリ）における結論	19
2.2 腐朽危険度に関する検証	29
2.2.1 はじめに	29
2.2.2 事業実施体制	29
2.2.3 事業実施内容	30
2.2.4 結果と考察	34
2.2.5 本課題のまとめ	42
第3章 保存処理の耐久性と耐久性能に関する検討	45
3.1 目的	45
3.2 事業実施体制	45
3.3 実験	46
3.4 結果と考察	51
3.5 結果のまとめ	57
第4章 耐久性向上措置としての新構（工）法の健全度に関する検討 （劣化対策（新構法）TG）	59
4.1 目的	59
4.2 調査方法等	59

第5章	接合部の強度劣化評価に関する検討	127
5.1	はじめに	127
5.2	強制劣化に関する検討	127
5.3	接合部モデル試験	133
5.4	接合部の劣化による耐力低下を考慮した木造住宅の地震時の応答解析	136
第6章	構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討	143
6.1	はじめに	143
6.2	乾湿繰返し実験における試料表面含水率の検討	143
6.3	これまでの成果の要点と木造長期優良住宅認定基準等との関係	159
6.4	残された課題	162
第7章	小屋裏開口面積と防露措置に関する検討	163
7.1	はじめに	163
7.2	防湿層付グラスウールを用いた天井面の透湿抵抗	163
7.3	屋根形状および地域別の小屋裏換気口の要求性能の試算	175
7.4	気流解析による小屋裏空間の温湿度分布の確認	202
7.5	これまでの成果の要点と木造長期優良住宅認定基準等との関係	213
7.6	残された課題	215
7.7	基準値策定における注意点	216
第8章	接合金物の耐久性に関する検討	217
8.1	はじめに	217
8.2	保存処理木材との接触時安全性検証実験	220
8.3	接合具発錆時の引抜耐力検証	263
8.4	結論と今後の課題	266
第9章	長期優良住宅における維持管理に関する検討	269
9.1	背景と目的	269
9.2	地域性を考慮した木造住宅の維持保全計画に関する検討	271
9.3	維持管理における点検作業のマニュアル化	286
9.4	診断実施事例	307
9.5	維持管理技術からみた住宅仕様や点検技術の最適化の検討	311
9.6	劣化リスク管理手法による維持管理	313

第 10 章	長期許容応力度（荷重継続時間の調整係数）の検証	317
10.1	はじめに	317
10.2	試験体	317
10.3	試験方法	321
10.4	試験結果	323
10.5	まとめ	325
第 11 章	木ねじの品質に関する検討と木ねじの標準化の可能性に関する検討	327
11.1	はじめに	327
11.2	試験体	327
11.3	試験方法	328
11.4	試験結果	330
11.5	まとめ	337
第 12 章	各 TG の研究成果のまとめ	339
12.1	各 TG の研究成果のまとめ	339

第1章 木造長期優良住宅の総合的検証事業－耐久性

I. 研究の背景・目的と実施体制

1.1 研究背景と目的

長期優良住宅の認定基準における劣化対策の評価は、通常の維持管理が前提となっている。木材や木質部材の劣化対策の評価は、評価方法を定めた当初においては、現在使用できないCCAや強力な薬剤を前提としており、現在使用可能な防腐・防蟻薬剤にもとづく劣化対策においては、当初想定した通常の維持管理とは管理の要求が変わってきていることが想定されている。

そこで、長期優良住宅の認定基準における劣化対策の評価や、通常の維持管理のあり方をより適切なものとするためには、劣化対策技術の内容を見直し、維持管理点検の方法や頻度との関係を整理する必要がある。

長期優良住宅の正しい理解と普及を推進するためには、これらについて技術的な資料を収集し、必要に応じて改善点、修正点の根拠となる知見を蓄積していく必要がある。耐久性については、促進劣化試験の信頼性が不確実なことから、当初措置として施す劣化対策の有効性に関する永続的な追跡、測定が不可欠である。また、維持管理点検の手法やその頻度との関係で劣化対策技術の位置づけを検討する必要がある。

そこで、本事業においては以下の2つの項目について実際の建築物におけるデータ収集も含めた劣化対策に関する技術的な資料を収集し、長期優良住宅実現のための技術基盤として必要な整理を行う。

1) 長期に使用する木材、木質材料等の強度劣化機構の解明とその予測手法の開発

- ①シロアリの種類と生息条件（地域：温湿度環境）を整理し、劣化外力の実態を調査し、把握する。
- ②木材、木質材料の生物劣化と強度の関係を実験的解明し。その強度低下が建築物全体の構造性能に与える影響を実験、解析の両面から検討する。
- ③保存処理薬剤の現状と実態を把握し、その効力の継続時間を促進劣化試験等により把握する。
- ④1)～3)により、長期優良住宅の各性能（耐震、耐風、省エネルギー性、維持管理容易性等）が担保されない限界状態を定義し、その限界状態に至る過程と時間の推測方法について検討する。
- ⑤実大の柱宅において、劣化対策技術の有効性やその継続時間を検証するための実験条件や検証方法を検討する。

2) 木造住宅の長期性能の劣化の早期発見のための実用的な検査・診断、維持管理手法の確立とその実効性確保の検討

- ①木造住宅の検査・診断、維持管理の方法・頻度についての現状と実態を調査して把握

する。

②長期優良住宅における劣化対策技術と検査、診断、維持管理の方法・頻度との関係を整理する。

③劣化対策技術と検査・診断、維持管理の方法・頻度との組み合わせの有効性を実大の住宅において検証するための実験条件や検証方法を検討する。

1.2 研究項目

1.2.1 研究の枠組み

以上の研究背景と目的のもとに、耐久性分科会では以下の枠組みで調査研究を実施していくこととした。

- 1) 対象：軸組構法、枠組壁工法、プレハブ構法などの現代木造構法を対象とし、伝統木造についても適宜加える。
- 2) 部位：基本的には製材、木質材を主とした構造体木部と金属部（金物、接合具）を対象とする。
- 3) 前提：使用途中での大規模修繕は前提とせず、初期状態に対して一定の維持管理を実施することで期待する耐用年数を達成しうることを検討の前提とする。
- 4) 期待する成果物：住宅性能表示制度の劣化対策等級 2、3 の基準改正、もしくは追記事項を誘導する根拠資料。

1.2.2 研究項目

上記の枠組みを踏まえて、準備会において本事業で検討すべき研究項目を抽出した。そのうち、本年度は下記の各項目について昨年度の補足研究を実施していくこととした。

1) 劣化外力の検討

背景・目的：現行基準の基礎となった腐朽危険度、シロアリ被害分布は現状の被害実態とは合わない部分が多い。そこで最新の劣化外力評価を行うことにより、実態に則した防防腐蟻処理範囲の検討をする。

検討項目：

①シロアリ分布域の検討：シロアリ被害の実態を詳細に調べ、各種シロアリの被害ベース、生息ベースでの分布状況を明らかにする。

②腐朽危険度評価に関する検討：各地の木造住宅から採取した腐朽木材を対象に、遺伝子解析法などをもとに木造建築加害菌を特定する。

2) 保存処理の耐久性能に関する検討

背景・目的：木材保存処理の有効期間、メンテナンス方法を決定する上で、加圧処理、表面処理の耐用年数を明らかにする必要がある。ここでは各種保存処理の耐用年数を明らかにし耐久設計、維持管理の基礎資料とする。

検討項目：

- ①代表的な保存処理薬剤の耐用性を計測するための促進曝露試験法の検討を行う。
 - ②検討した促進曝露試験を実施し、各保存処理薬剤中の有効成分の残存濃度を測定し、表面処理、加圧処理の耐用年数評価の基礎資料を得る。
 - 3) 新構法住宅および中古住宅の健全度実態調査データの収集検討
- 背景・目的：現行基準はおよそ 30 年前に普及していた構法に準拠して作成されている。そこで近年あらたに導入された新構（工）法（外断熱、通気構法、基礎断熱、高気密高断熱構法など）と中古住宅の健全度を明らかにすることで、構法の劣化対策面からの評価を行う必要がある。

検討項目：

- ①昨年度までの検討結果を踏まえた新構（工）法の健全度に関する FTA 分析の実施
 - ②FTA 分析結果をもとに、新構（工）法を設計施工する際の留意点情報を整理する。
 - 4) 接合部モデル試験による強度劣化評価
- 背景・目的：構造体に劣化が生じた場合の強度低下を検討することは、劣化が構造性能に与える影響度を評価し、適切なメンテナンスを実施する上で不可欠である。ここでは生物劣化による接合部強度低下への影響を実験的に明らかにし、木部構造体の維持管理のための基礎資料を得る。

検討項目：

- ①接合部の強度劣化試験：金物を使用した接合部モデル試験体を促進劣化させ、各種強度試験により接合部の耐力劣化程度を明らかにする。
 - ②上記実験結果を基に、非破壊試験により得られる劣化度数値と接合耐力との関係を明らかにし、既存建物の維持管理における補修判断基準を作成する。
 - 5) 結露害シミュレーションによる各種構法の耐久性評価
- 背景・目的：各部位の層構成あるいは通気換気構法によって結露が発生するか否か、あるいはそれによって結露害（腐朽など）が発生するか否かを検討しうる手法を開発しておくことは、長期耐用を目標とする住宅の耐久設計を行う上で不可欠である。ここでは水分収支計算に基づく結露害シミュレーションにより、各種構法の結露発生危険度と腐朽発生予測手法を開発する。また、小屋裏換気と結露の関係についても実験的に検討する。

検討項目：

- ①構造躯体が許容しうる湿分量（結露量）について、モデル試験を実施し木材腐朽菌の定着時間と湿潤の頻度、乾燥湿度、汚れの有無などの関係について検討する。
- ②結露害シミュレーション手法を応用し、構造躯体が許容しうる湿分量（結露量）について定量的な知見を得る。
- ③小屋裏換気口の設置方法と結露害との関係を実験およびシミュレーションにより検討する。
- 6) 接合金物・接合具の耐久性に関する検討

背景・目的：接合金物や接合金具の構造的な重要性が増しているにも拘わらず、長期耐用住宅に対する防錆基準等は全く未整備の状況である。そこでここでは、構造体接合部における金物、接合金具の劣化特性を明らかにし、そのあるべき使用法や防錆処理基準について明らかにする。

①保存処理木材と金物防錆処理との反応性を見る実験を、屋外曝露、耐湿、屋内曝露の3つの環境で継続して実施する。

②画像処理技術を応用した発錆状態の客観的評価方法を検討する。

③金物、接合金具の防錆基準を検討するための資料を整理する。

7) 長期優良住宅における維持管理に関する検討

背景・目的：長期優良住宅の認定には少なくとも30年にわたる維持保全計画の提出とその履行が求められている。本来、木造住宅の維持保全は、構法、材料、立地などによって個別に立案されるべきものであるが、実態は公的な第三者機関が作成した維持保全計画書をコピーして認定書類としているものが少なくない。そこで、ここでは長期優良住宅における長期保全計画書の実態を明らかにするとともに、そのあるべき姿について以下の観点から検討する。

①全国の都道府県を代表する地域ビルダーを抽出し、それらに対して維持保全計画の実際についてアンケート調査を実施する。

②併行して大手ハウスメーカー数社を対象に地域別の不具合発生率とメンテナンスコストに関する調査を実施する。

③維持保全の骨子となる、点検周期、点検項目、点検方法などについて、理論的、実証的な検討を加え、木造住宅にとって合理的な維持保全のあり方を整理する。

8) 長期優良住宅に要求される構造・材料に関する検討

背景・目的：木造長期優良住宅の人的基準の整備に資することを目指し、長期優良住宅の正しい理解と普及を推進するために、構造安全性の評価、また、使用する材料の品質関する下記に示す課題について技術的資料を収集し、現行の基準の妥当性を証明するとともに、必要に応じて改善点、修正点の根拠と成る知見の蓄積を行うことを目的とする。そこで、ここでは昨年度までの成果を踏まえ、構造、材料性能に関して以下の課題について追加検討を行う。

①長期許容応力度（荷重継続時間の調整係数）の検証

②木ねじの品質に関する検討と木ねじの標準化の可能性に関する検討

1.3 研究体制

以上の本年度研究項目を実施していくために、耐久性分科会（主査：中島正夫（関東学院大学））のもとに以下のようなタスクグループ（以下、TGとする）を編制した。

1) 各種シロアリ分布、被害実態に関する検討→劣化外力TG（シロアリ）

幹事：大村和香子委員（森林総研木材改質研究領域）

- 2) 建築加害菌に関する検討→劣化外力 TG（腐朽）
幹事：桃原郁夫委員（森林総研木材改質研究領域）
- 3) 保存処理の耐久性と耐久性能に関する検討→保存処理検討 TG
幹事：桃原郁夫委員（森林総研木材改質研究領域）
- 4) 耐久性向上措置としての新構（工）法の健全度実態調査→劣化対策 TG
幹事：佐藤雅俊委員（東京大学）
- 5) 接合部の強度劣化評価→強度劣化検討 TG
構成：加藤英雄委員（森林総研構造利用研究領域）
- 6) 構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討→劣化環境 TG
幹事：斎藤宏昭委員（足利工業大学）
- 7) 小屋裏換気に関する検討→劣化環境 TG
幹事：斎藤宏昭委員（足利工業大学）
- 8) 接合金物の耐久性評価に関する検討→接合金物検討 TG
幹事：石山央樹委員（中部大学）
- 9) 長期優良住宅における維持管理に関する検討→維持管理 TG
幹事：藤井義久委員（京都大学）

その他、構造・材料分科会関連の課題として下記について検討を行った。

- 1) 長期許容応力度（荷重継続時間の調整係数）の検証
- 2) 木ねじの品質に関する検討と木ねじの標準化の可能性に関する検討

なお、これらの TG をサポートする事務局は、（公益社団法人）日本木材保存協会内に設置した。

第2章 劣化外力の再評価

2.1 各種シロアリ種の野外分布と気象因子に関する検討

2.1.1 目的

日本におけるシロアリ被害の実態を調査し、各シロアリ種の最新の分布マップおよび住宅被害を加味したシロアリ被害危険度マップを作成することを目的とする。

平成22年度には、現行法規では防蟻処理を要しない地域とされる北海道や青森県内における被害事例を把握する、つまり、屋内におけるシロアリならびに腐朽による劣化危険度を調査するため、全国的なシロアリ・腐朽被害実態調査アンケートを実施した。

平成23年度では、日本における主要木材加害シロアリ種であるイエシロアリ、ヤマトシロアリの野外分布調査を行い、いわゆる「シロアリ分布」について、野外生息分布と、家屋被害（単発的被害）との区別を実施した。

24年度は各シロアリ種の分布限界付近における各気象因子とシロアリ生息の有無との関係を解明することを目的として事業を実施した。従来は、イエシロアリの野外分布北限は1月の平均気温4℃かつ平均最低気温が0℃のラインと一致し、ヤマトシロアリ野外分布北限は1月の平均気温が-4℃のラインと一致するとされていた。しかし、ヤマトシロアリに関しては野外分布が確認された名寄市の1月の平均気温(1981~2010年)は-9.4℃、家屋被害事例ならびに野外での採取事例がある旭川市(1981~2010年)は-7.5℃と、-4℃よりかなり低いことから、他の気象因子でシロアリの分布抑制に関係する因子を再検証した。その結果、ヤマトシロアリ野外分布北限は積雪のある条件で（除雪しない条件で）、石川・鈴木（1964）の報告を参照して、土壤凍結深が0cmのラインを参照すべきであることを提唱した。

昨25年度は、前年度提唱した「ヤマトシロアリ野外分布の抑制要因が土壤凍結である」という仮説の検証を目的として、シロアリが地中のどの程度深くまで生息可能かを把握する手がかりとして、国内5地点において地表～地中温度の計測ならびに一部地点でイエシロアリ巣温計測、土壤性ガスの採集・分析を実施した。また、24年度に「ヤマトシロアリ野外分布北限は積雪のある条件で（除雪しない条件で）、石川・鈴木（1964）の報告を参照して、土壤凍結深が0cmのラインを参照すべきであること」を提唱したが、北海道・室蘭市におけるシロアリ被害と土壤凍結深を考慮し、土壤凍結深が0cmのラインではなく10cmのラインを参照することとした。

今年度は国内5地点において地表～地中温度の計測ならびに一部地点でイエシロアリ巣温計測、土壤性ガスの採集・分析を継続するとともに、北海道における積雪深の月ごとの平年値マップを整理した。

最後に、これまでの当TGにおける成果から、建築地別の木材等の防腐・防蟻処理及び土壌処理の適用区分につき新たな提案を実施した。

2.1.2 方法

昨年度と同様、北海道立総合研究機構林産試験場（以下、道総研林産試）構内と、比較のため、つくば（森林総研）、福井（福井県総合クリーンセンター）、鹿児島（日置市吹上浜国有林）において地温を測定するとともに、シロアリが地中どの程度まで深く生息可能かを把握する手がかりとして、各地点で地中ガスを採取し、 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、 O_2 の各濃度を計測、推察した。さらにイエシロアリに関しては営巣が確認されている静岡県静岡市清水区において、クロマツ伐根下部の巣の温度と、巣近傍の地表温度を継続して計測した。

2.1.2.1 地温計測

地温測定用センサならびに地中ガス計測用パイプの設置については昨年度の資料と同じである（図1）。温度センサは地中用として HOBOProv2 U-003（温度センサ 2ch）、地表用として HOBOProv2 U-002（温湿度センサ 1ch）を使用し、地表より 10, 40, 70, 100 cm 深さの土壤断面へセンサ先端を挿入・固定した。温度計測はロガー上で 30 分に 1 回の間隔で設定し、一定期間ごとにデータを回収した。

イエシロアリ巣温に関しては、クロマツ伐根の地際より地中斜め方向にロングドリルで穿孔後、シース型熱電対（東京測器製）を挿入した。シース型熱電対を用いた理由は、シロアリの加害によるセンサー部のダメージを避けるためである。さらに切株脇に温度センサ（HOBOProv2 U-002）を設置し、そのロガー部ならびに熱電対用ロガー（おんどとり、T & D 製）をプラスチック容器に入れて、周辺土壤中に埋設した。

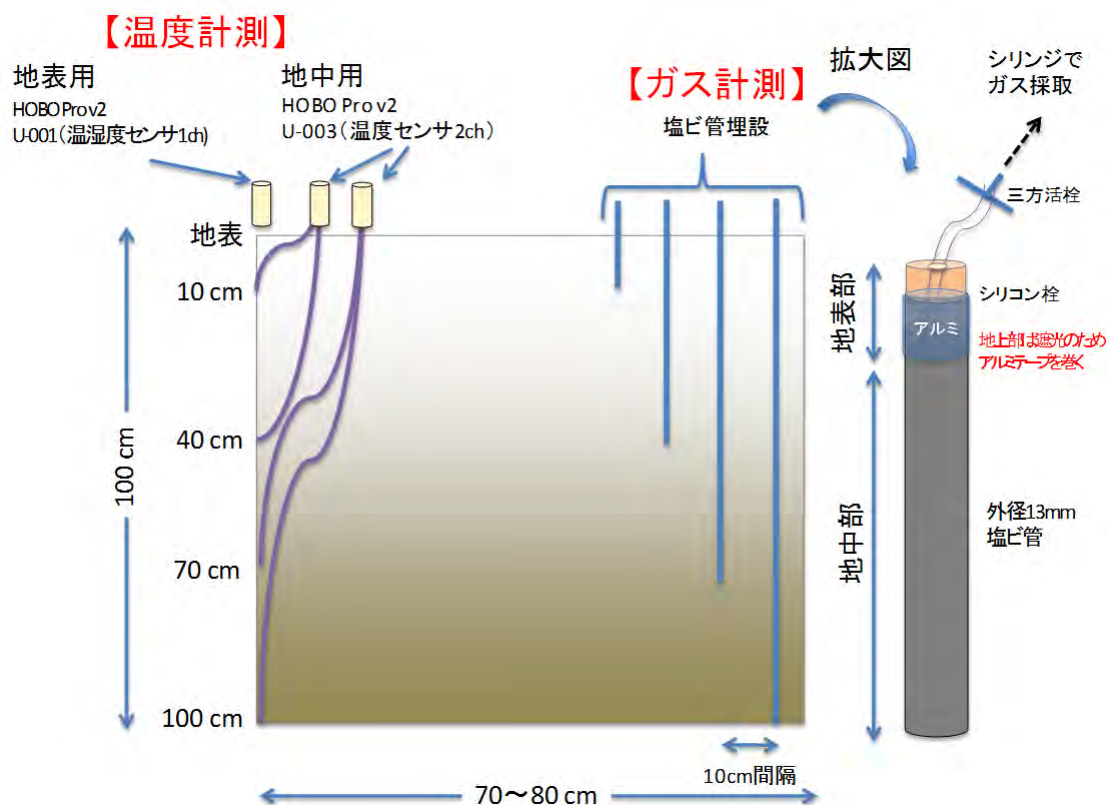


図1 地温測定用センサならびに地中ガス計測用パイプの設置概要

2.1.2.2 ガス計測

ガス計測も昨年と同様、代謝ガス測定用パイプは土壤に接する端部は、シロアリほか他生物が侵入しないようにステンレスメッシュで覆い、アルミテープでステンレスメッシュをパイプ側面に固定した。ガス採取を実施する他端はシリコン製 W キャップを装着後、22G 注射針と三方活栓を取り付けた。パイプ類もセンサ類と同様、地表より 10, 40, 70, 100 cm 深さに端部が来るように土壤断面に設置した。

ガス採取に関しては、今年度は3ヵ月に1回の計測とし、森林総研構内のほか、協力先として鹿児島大学・鶴川研究室ならびに福井県総合グリーンセンター（和多田浩樹氏）に実施していただいた。回収したガス中の CO₂、CH₄、N₂O 濃度については森林総合研究所・土壤研究室 阪田匡司主任研究員の指導の下、ガスクロマトグラフ装置（島津製作所製、SHIMADZU GC 14B）にて、O₂ 濃度についてはジルコニア式酸素濃度計（東レ製）を用いて分析を実施した。

2.1.2.4 北海道における冬期の積雪量合計と気温の変動

北海道における積雪量合計ならびに気温の月ごとの変動（11 月～4 月）につき、アメダスからの平年値データ（マップ）をダウンロードして各地の比較を行った。

2.1.2.5 シロアリによる北海道・青森ならびに基礎断熱被害の現状に関する情報収集

建築事務所 徒 の近江戸氏に本件に関する情報提供を依頼した。

2.1.3. 結果と考察

2.1.3.1 地温および地表温変化

2.1.3.1.1 旭川・北海道立総合研究機構 林産試験場構内

図 2 に 2014 年 9 月 29 日～2015 年 2 月 25 日の地温ならびに地表温のデータを示す。

林産試験場の森氏、東氏によると今シーズンは積雪が例年の半分程度であり、調査地における積雪は約 35 cm 程度であった。

調査を実施した 2014 年 2 月 25 日は正午の気温 0.3℃、最低気温が-4.9℃（昨年 2014 年 2 月 25 日は正午の気温 -2.6℃、最低気温が-13.5℃、積雪 66cm）、地表温 0℃、地温は 100cm 深が測定不能に、70cm 深で 3.0℃、40cm 深で 2.1℃、10cm 深で 0.4℃であった。

昨シーズンは 2013 年 11 月 13 日から 15 日に急激な気温（地表温）低下が生じ、11 月 25 日以降はほぼ地表温が 0℃前後になっていることから、この時期から積雪が始まったと予測された（図 3）。今シーズンは地表温が 2014 年 12 月 7 日頃からほぼ定常状態になり、常時積雪が観察された（根雪）時期は昨シーズンより遅い。しかし昨シーズンと比較して、同時期の地温の差はほとんどなかった。

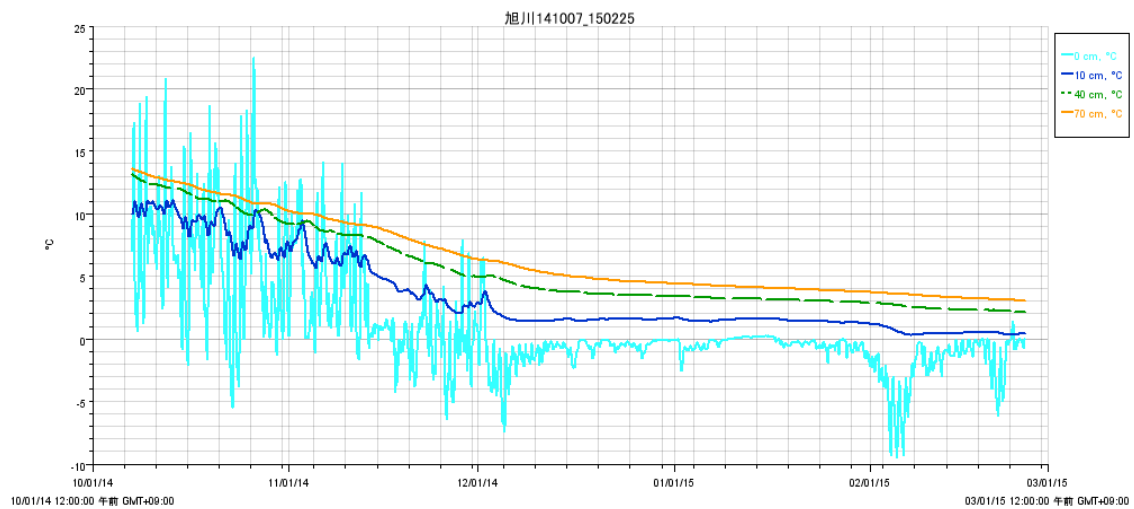


図2 2014年10月7日～2015年2月25日の地表～地温変化

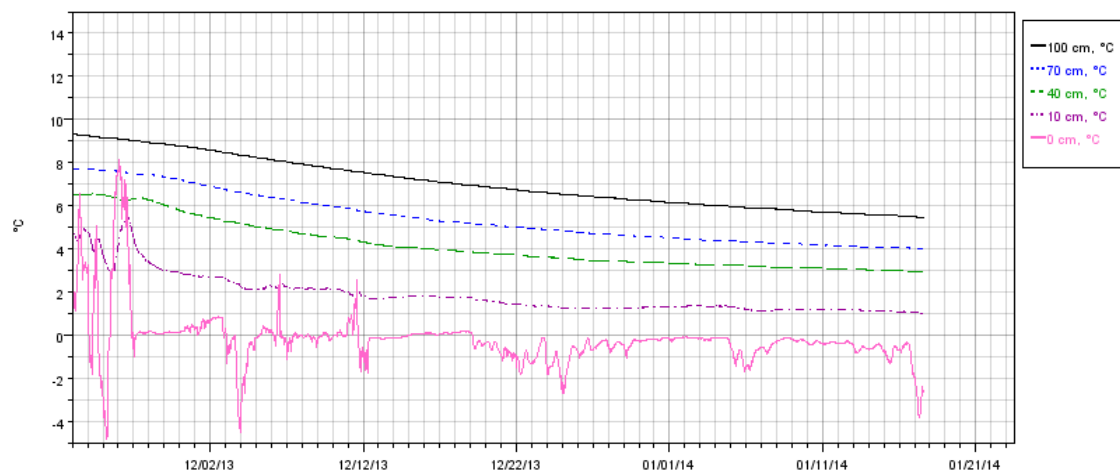


図3 2013年11月20日～2014年1月17日の地表～地温変化



写真 1 調査地の様子（2015 年 2 月 25 日現在）

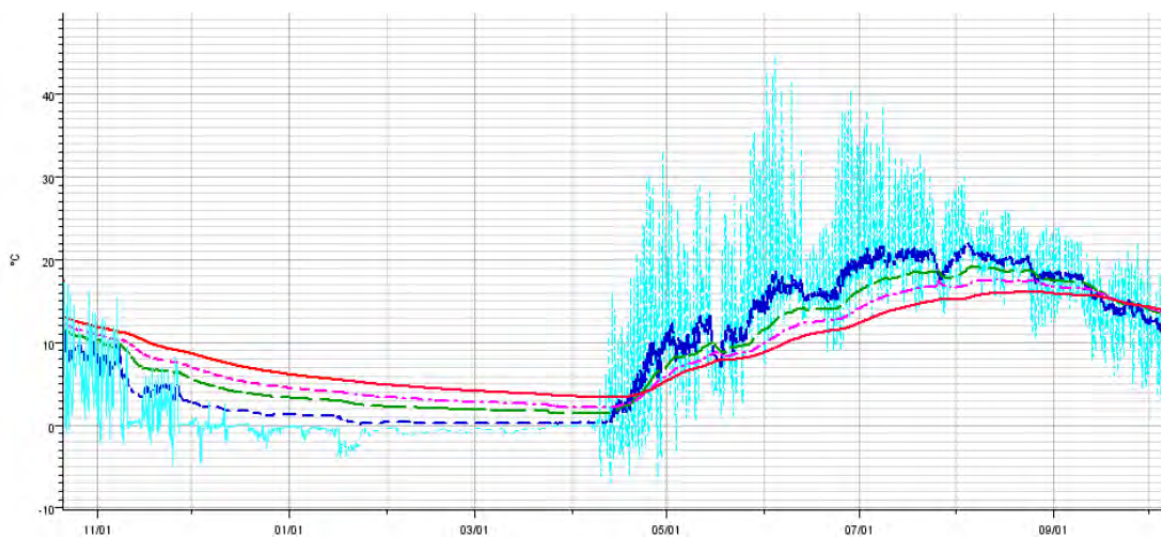


図 4 旭川における土壌深度別地温変化 20131006-20141015

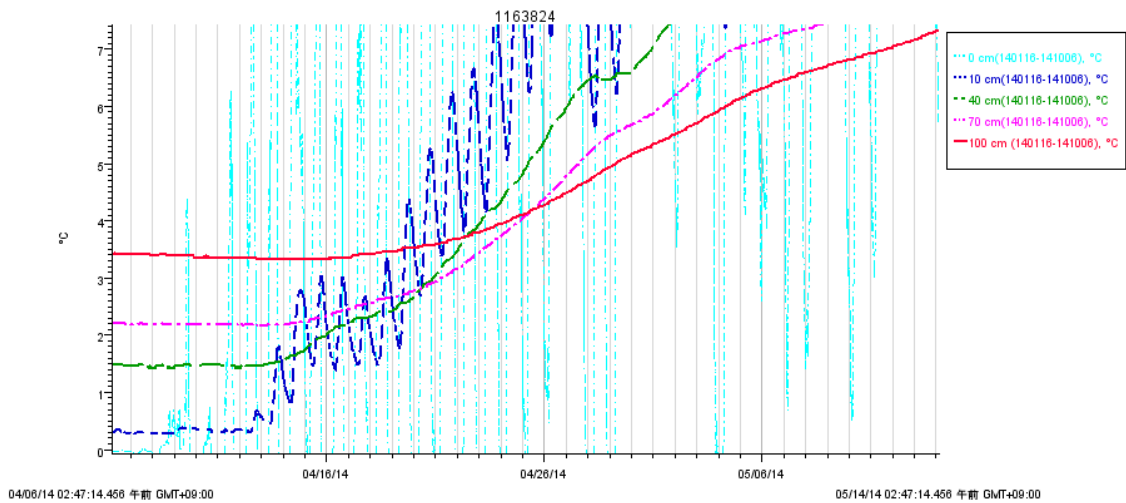


図 5a 旭川における土壌深度別地温変化（地温の深度別順位の逆転化）

4/20～4/25 の約 5 日間で深度が深いほど高温→低温へと推移

4/7 に積雪量が 0 cm へ（急な変化）

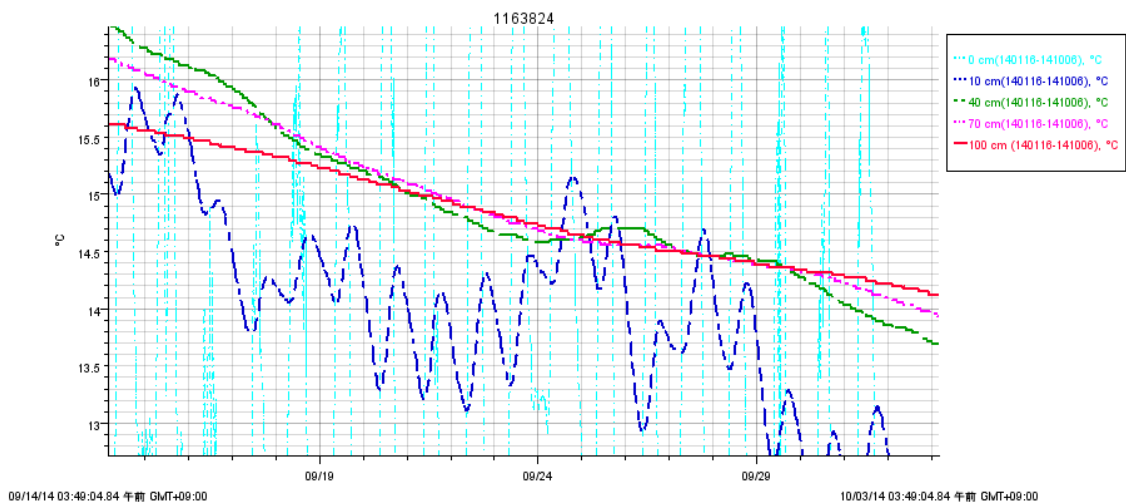


図 5b 旭川における土壌深度別地温変化（地温の深度別順位の逆転化）

9/18～9/29 の約 10 日間で深度が深いほど低温→高温へと推移

1 年を通じての地温最低気温記録日は以下の通りであった。地表温が 4 月に最低温度となったのは根雪が溶け（4/7 と予想される）、外気温の影響を直接受けやすい状況となったことが考えられる。併せて最低地温が 3～4 月に記録されるのは融雪水の影響と考えられる。

0cm -7.026 °C (2014/4/13)

10cm 0.163 °C (2014/1/23)

40cm 1.425 °C (2014/3/26)

70cm 2.115 °C (2014/4/11)

100cm 3.327 °C (2014/4/12)

2.1.3.1.2. 福井（坂井市）・福井県総合グリーンセンター構内

福井では今期は平年並みの積雪があったが、観測地点が木陰になっていることもあり、積雪は3月4日現在0 cm とのことであった。福井県総合グリーンセンター所在地の坂井市近傍の福井市におけるアメダスデータを確認したところ、今期の最深積雪は1月2日時点での積雪量は56 cm であった。

観測地点でのデータを確認したところ、100 cm 深のセンサが破損しており長期で計測できたのは70 cm、40 cm、10 cm 深のデータであった。

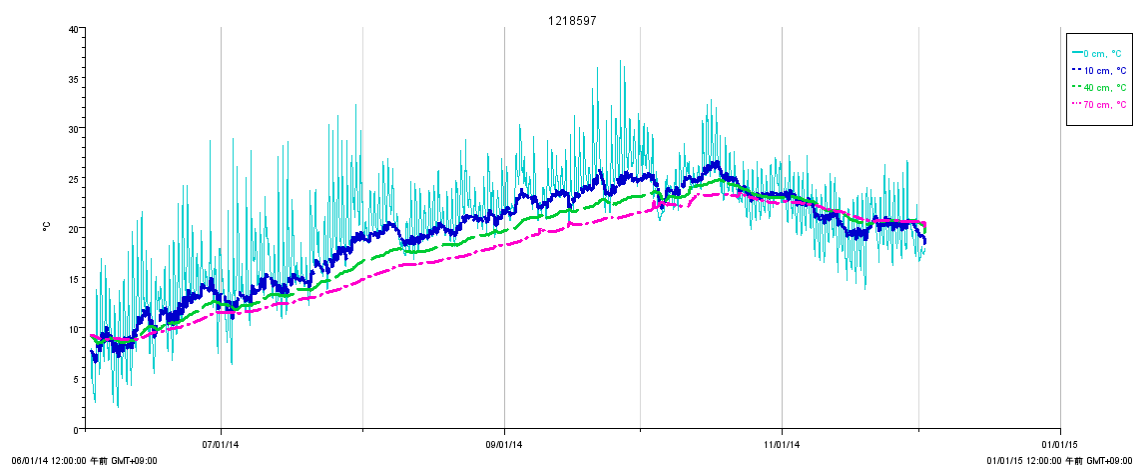


図6 福井（坂井市）における土壌深度別地温変化
（2014年6月2日～12月2日）

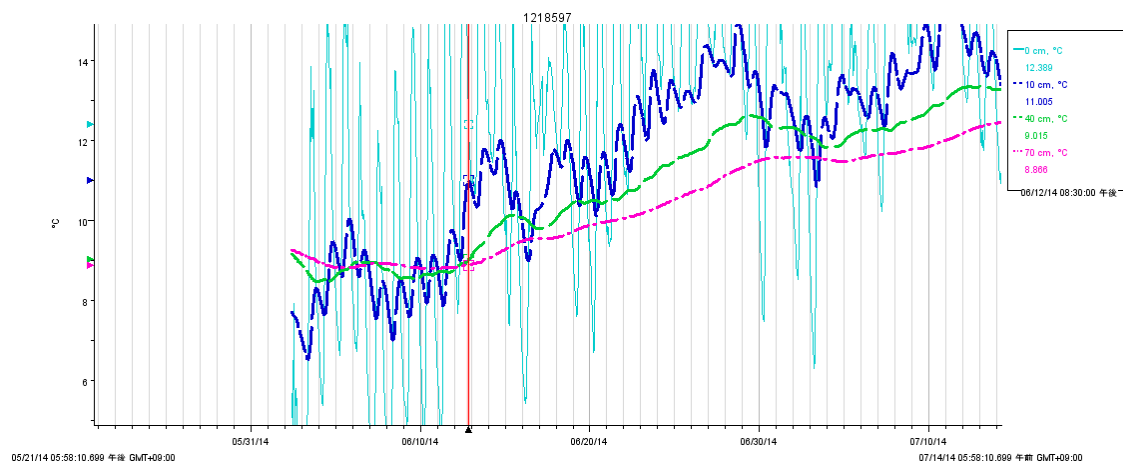


図7a 福井における土壌深度別地温変化（地温の深度別順位の逆転化）
6/2～6/12の約10日間で深度が深いほど高温→低温へと推移

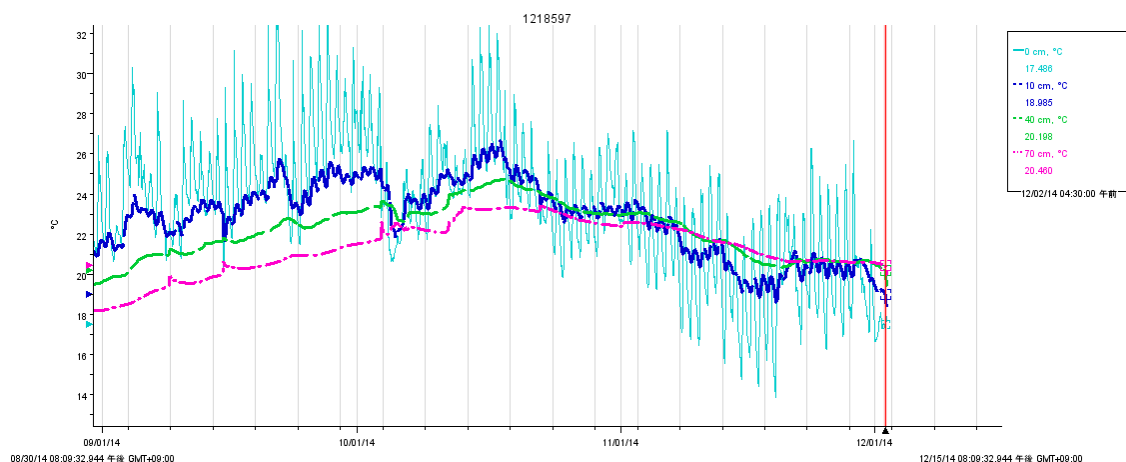


図 7b 福井における土壌深度別地温変化（地温の深度別順位の逆転化）
11 月下旬～深度が深いほど低温→高温へと推移

2.1.3.1.3. つくば市：森林総合研究所構内実験住宅敷地東側

つくばでは地表温が -5°C を下回るときもあり、霜柱が観察された。深度 10 cm の地温は他の観測地点と同様、外気つまり地表温度の影響を大きく受けて変動していた。深度別地温は旭川の同深度の地温と比較して約 2°C 高かった。今シーズンは目立った積雪はなかった。

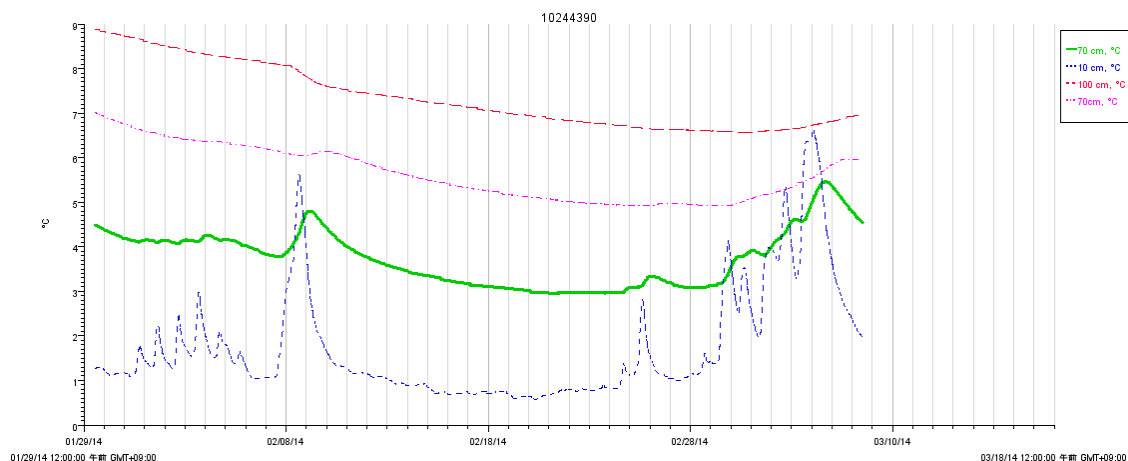


図 8 つくば市における土壌深度別地温変化
(2014 年 1 月 29 日～3 月 8 日)

2.1.3.1.4. 鹿児島県日置市吹上浜 森林総研試験地

鹿児島試験地では非常に残念ながら、データーロガーとガス採取用パイプが再三に亘って故意に破壊されるという事態が生じた。特に営巣箇所から 30 m 離れた地点（穴 2）は何度交換しても被害が続くことから監視カメラを設置して経過観察することとした。



写真 2 鹿児島県吹上浜における作業風景

破壊から免れたイエシロアリ営巣箇所から 3 m 以内の地点（穴 1）についてのデータは以下の通りであった。10cm 深では地上の温度変化の影響を大きく受けて日較差も大きい。深度 40cm 以上になると日較差はなく、冬期になるにしたがい緩やかに低下していつている傾向が確認された。

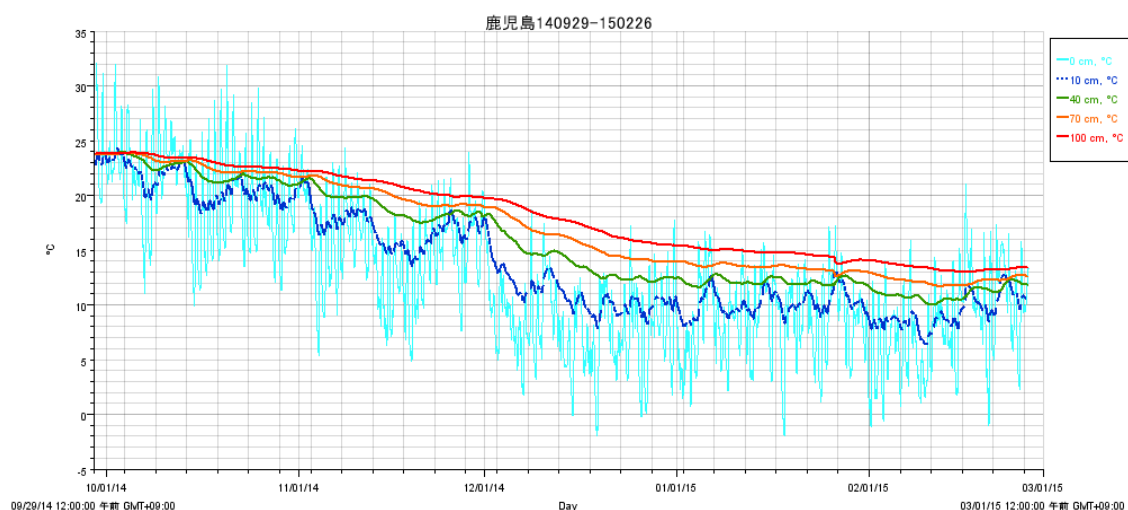


図 9 鹿児島（日置市）における土壌深度別地温変化
(2014 年 9 月 29 日～2015 年 2 月 26 日)

2.1.3.1.5. 静岡市清水区 イエシロアリ巣温変化

イエシロアリ巣温（地表より深度 50 cm の温度を計測）については電池破損のためデータが回収できていないため、観測地点（静岡市清水区）の地表温度を示す。

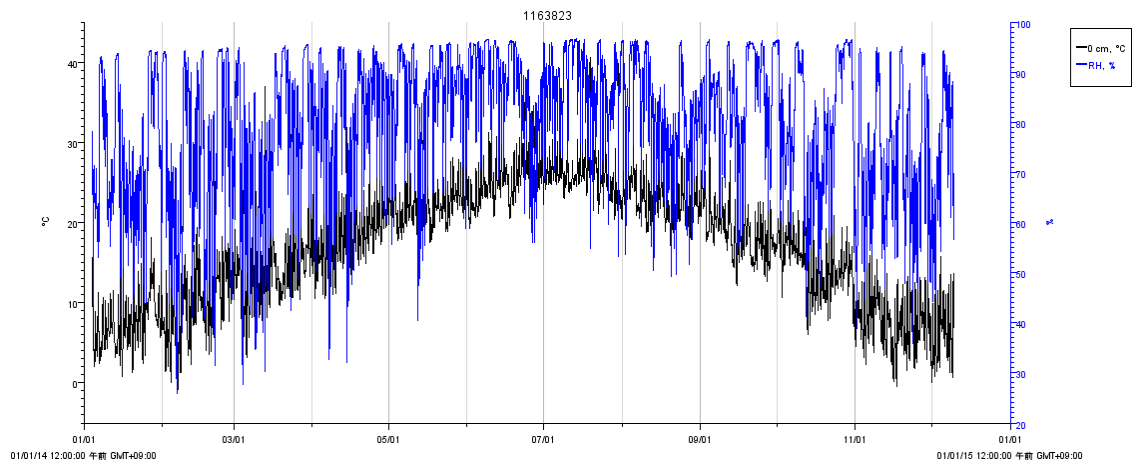


図 10 巣の周囲の地表温度ならびに湿度の頃日変化（静岡市清水区）



写真 3 巣温計測対象の切株

地表温度は松林ということもあり、清水市の気温よりも特に夏期は低めに推移している模様であった。なお巣温を計測した熱電対からのデータは、メーカー等に依頼して今後、データ回収が可能か検討する予定である。

2.1.3.2 ガス計測結果

今回は3カ月に1度のめやすで定点計測を実施していった。

大気中の CO_2 濃度は 350 ppm, CH_4 濃度は 2 ppm である。 CO_2 濃度は深度が大きいほど値が大きく、逆に CH_4 濃度は地表に近いほど値が大きい傾向を示す。

海岸に近い砂壤土の鹿児島・吹上浜試験地は、粘土質の福井やつくばに比べて CO_2 濃度が低かった。この理由として砂壤土の吹上浜試験地では土壌中の嫌気発酵が進まないことが考えられた。また、 CH_4 濃度が急激に高い値を示した実験区があったが、これはシロアリ等の小型昆虫等の寄与が考えられる。

表1 つくばにおける深度別各種ガス濃度

		CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)
5 月	10 cm	—	—
	40 cm	—	—
	70 cm	—	—
	100 cm	—	—
8 月	10 cm	1.878	921
	40 cm	0.339	25611
	70 cm	0.288	18369
	100 cm	0.678	6464
11 月	10 cm	—	—
	40 cm	—	—
	70 cm	—	—
	100 cm	—	—
2 月	10 cm	1.637	1442
	40 cm	3.559	9089
	70 cm	0.682	6253
	100 cm	0.478	4379

表2 福井における深度別各種ガス濃度

		CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)
5 月	10 cm	1.144	5340
	40 cm	0.525	32117
	70 cm	0.403	39039
	100 cm	0.718	38589
8 月	10 cm	1.107	7942
	40 cm	11.871	26381
	70 cm	0.656	85261
	100 cm	1.073	95437
11 月	10 cm	1.072	6034
	40 cm	0.328	31848
	70 cm	0.286	50444
	100 cm	0.419	54954
2 月	10 cm	1.579	2178
	40 cm	0.421	14515
	70 cm	0.320	21773
	100 cm	1.010	14077

表3 鹿児島における深度別各種ガス濃度
(巣に近い地点：3m以内)

		CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)
5 月	10 cm	1.396	2486
	40 cm	0.577	4261
	70 cm	0.422	5608
	100 cm	0.548	6036
8 月	10 cm	1.523	3671
	40 cm	1.005	5914
	70 cm	0.764	8855
	100 cm	1.021	8980
11 月	10 cm	1.994	607
	40 cm	0.639	3080
	70 cm	1.976	544
	100 cm	1.994	449
2 月	10 cm	1.829	947
	40 cm	0.772	1787
	70 cm	0.368	2143
	100 cm	0.430	2188

表4 鹿児島における深度別各種ガス濃度
(巣から遠い地点)

		CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)
5 月	10 cm	2.014	1499
	40 cm	0.706	2808
	70 cm	0.582	3323
	100 cm	0.745	3387
8 月	10 cm	0.000	—
	40 cm	0.000	—
	70 cm	0.922	4385
	100 cm	1.143	4750
11 月	10 cm	1.737	979
	40 cm	1.488	1297
	70 cm	2.462	597
	100 cm	2.250	637
2 月	10 cm	1.412	1380
	40 cm	0.588	2511
	70 cm	0.259	3294
	100 cm	0.266	3630

2.1.3.3 北海道における月ごとの積雪量合計と気温との関係

北海道における積雪量合計（上段）と最高気温（中段）、最低気温（下段）の平年値変化（11月～4月）を図11に示す。

11月は名寄市付近の名寄盆地で積雪量合計が最も多く最低気温が $-2\sim-4^{\circ}\text{C}$ であるのに対して、シロアリの生息が認められない道東の帯広付近では、積雪量合計がほとんどない状態で最低気温が $-2\sim-4^{\circ}\text{C}$ と氷点下となっていることがわかる。12月以降も名寄盆地付近の積雪量合計は常に道内の他地域と比較して最も多い地域であること、これに対して道東は常に積雪量合計が少ないことが見て取れる。

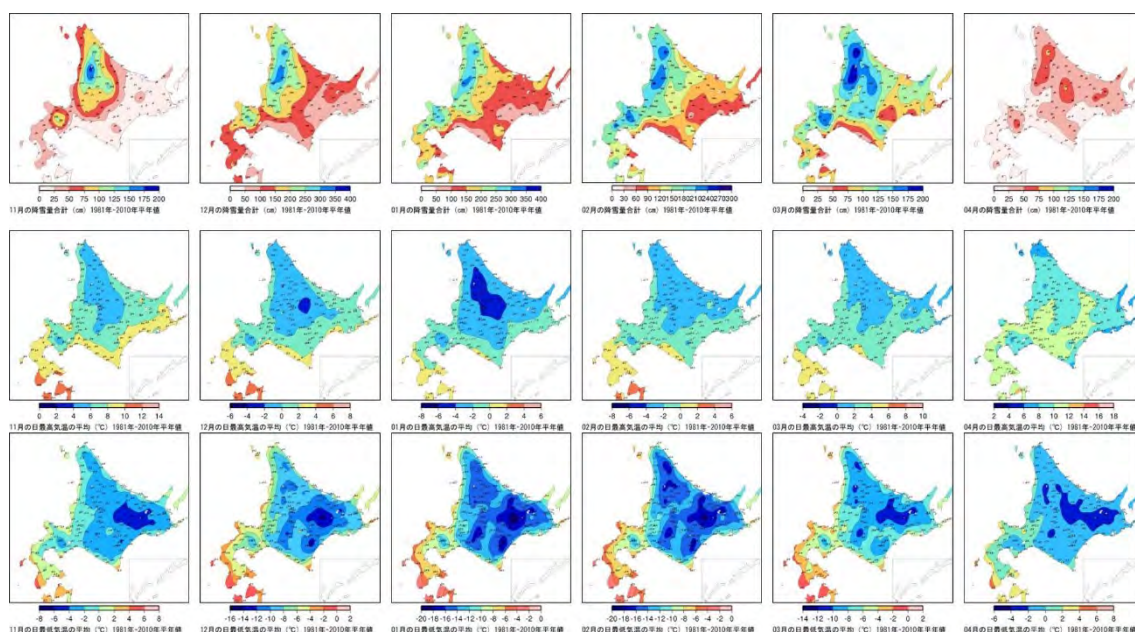


図 11 北海道における月ごとの積雪量合計と気温との関係

2.1.3.4. 北海道・青森ならびに東北～北陸地域における基礎断熱被害の現状

北海道におけるシロアリ被害情報については開示可能な物件は限られており、シロアリ自体を確認したかも不明であった。腐朽部へのアリによる被害と区別が困難なケースも知られているが、含水率の高い部材において物理的な欠損が認められた場合は、一般には報告上「蟻害」と一纏めにされていると思われる。

2.1.4. 劣化外力 TG（シロアリ）における結論

劣化外力 TG の目的は「現行基準の基礎となった腐朽危険度、シロアリ被害分布は現状の被害実態とは合わない部分が多い。そこで最新の劣化外力調査の結果に基づき、実態に則した防腐防蟻処理範囲の検討を行う。」ことにある（中島正夫主査より）。

そこで、本 TG において各種現行基準例を精査し、建築地別の木材等の防腐・防蟻処理及び土壌処理の適用区分を再検討し、新たな適用区分を提案した。

2.1.4.1 現行基準例

2.1.4.1.1 建築地別の防腐・防蟻処理及び土壌処理の適用区分（住宅金融支援機構）

住宅金融支援機構発行のフラット 35 対応木造住宅工事仕様書は（社）日本しろあり対策協会発行、建設省住宅局建設指導課監修の木造建築物等防腐・防蟻・防虫処理技術指針・同解説 改訂版（1986）を出典とし、表 5 を掲載している。但し、当該出典には保存処理 K2、K3 材ではなく防腐処理 1 種、2 種と記述されている。防腐処理 1 種、2 種が、性能区分の考え方が導入され保存処理 K2、K3 材と変更されたのは、製材の日本農林規格平成 6 年第一次改正時である。また、表 5 中の JIS 規格とは JIS A 9108 土台用加圧式防腐処理木

材を指していたが、当該規格は 2008 年 1 月に廃止され、その内容の一部は JIS K 1570 へ移行されている。

表 5 建築地別の防・防蟻処理及び土壌処理の適用区分（住宅金融支援機構）（2014 年版）

建設地	木材		土壌
	加圧注入処理木材	現場で行う処理	
I	沖縄、九州、四国、中国、近畿の各地方及び愛知、静岡の各県	製材の日本農林規格の保存処理 K3 材以上	塗布又は吹付けによる防・防蟻処理 土壌処理を行う
II	関東地方及び岐阜、長野、山梨の各県	製材の日本農林規格の保存処理 K3 材以上、または JIS 規格による木材	塗布又は吹付けによる防・防蟻処理 ほとんどの地域で土壌処理を行う
III	福井、石川、富山、新潟、山形、秋田、岩手、宮城、福島各県	る木材	塗布又は吹付けによる防・防蟻処理 一部の地域で土壌処理を行う
IV	北海道地方及び青森県	製材の日本農林規格の保存処理 K2 材以上、または JIS 規格による木材	塗布又は吹付けによる防・防蟻処理 必要に応じて土壌処理を行う

2.1.4.1.2 建築地の区分と処理方法（（公社）日本しろあり対策協会防除施工標準仕様書）

（公社）日本しろあり対策協会防除施工標準仕様書（2014 年版：平成 24 年 12 月 5 日発行）では上記表 5 とは異なり、シロアリの分布実態に即して建設地を I. イエシロアリ分布域、II. ヤマトシロアリ分布域、III. 北海道（一部にしかヤマトシロアリの分布が認められない）の 3 地域に分類して、表 6 の区分と処理方法を採用している。

表 6 建築地の区分と処理方法（（公社）日本しろあり対策協会防除施工標準仕様書（2014 年現在））

種別	建設地の都道府県名	処理対象	
		木材	土壌
I 種地域	沖縄、鹿児島、宮崎、大分、熊本、長崎、佐賀、福岡、高知、愛媛、徳島、香川、山口、広島、岡山、兵庫、大阪、和歌山、三重、愛知、静岡、神奈川、千葉、東京（伊豆諸島及び小笠原諸島）	木材処理を行う	土壌処理を行う
II 種地域	鳥取、島根、京都、奈良、滋賀、岐阜、長野、山梨、東京（伊豆諸島及び小笠原諸島を除く）、埼玉、茨城、栃木、群馬、福井、石川、富山、新潟、	木材処理を行う	ほとんどの場合土壌処理を行う

	山形、秋田、岩手、宮城、福島、青森		
Ⅲ 種地域	北海道	木材処理を行う	必要に応じて土壌処理を行う

注) 必要に応じてとは、地域の状況による。

2.1.4.1.3 建築地別の木材の防腐・防蟻処理及び土壌処理の適用区分

表 6 に示すように、国土交通省告示第 1347 号 3-1(3)イ①（木造 等級 3）において、北海道と青森県は、土台を K2 材以上とするだけで、防蟻処理を要しないとされている。外壁の軸組等（地面から 1 m 以内の部分）でも防蟻処理を要しない。土壌処理に関しては、福井、石川、富山、新潟、山形、秋田、岩手、宮城、福島を加えた 1 道 10 県が土壌処理を要しないとされている。

表 7 国土交通省告示第 1347 号 3-1(3)イ①（木造 等級 3）の当該箇所を表に改変

建築地		木材		地盤
		土台	外壁の軸組等 地面から 1 m 以内の部分	
I	沖縄、九州、四国、中国、近畿の各地方及び愛知、静岡、関東地方及び岐阜、長野、山梨の各県	製材の日本農林規格の保存処理 K3 相当以上の防腐・防蟻処理	(通気構造等あり) 防腐及び防蟻に有効な薬剤が塗布され、加圧注入され、浸漬され、若しくは吹き付けられたもの又は防腐及び防蟻に有効な接着剤が混入されたものであること。	土壌処理を行う
II	福井、石川、富山、新潟、山形、秋田、岩手、宮城、福島		(通気構造等なし) 製材の日本農林規格の保存処理 K3 相当以上の防腐・防蟻処理	土壌処理を要しない
III	北海道、青森県	【防蟻処理を要しない】 製材の日本農林規格の保存処理 K2 材以上、または JIS K 1570 に規定する木材保存剤又はこれと同等の性能を有する防腐処理	【防蟻処理を要しない】 (通気構造等あり) 防腐に有効な薬剤が塗布され、加圧注入され、浸漬され、若しくは吹き付けられたもの又は防腐に有効な接着剤が混入されたものであること。 (通気構造等なし) 製材の日本農林規格の保存処理 K3 相当以上の防腐処理	

2.1.4.2 新たな提案

本 TG での事業推進の結果、H22 実施のシロアリ・腐朽被害実態調査アンケートにおいて北海道や青森県内における家屋被害事例が把握でき、北海道の道南、道央、道北の一部でもヤマトシロアリが生息し、且つ被害があることが明らかとなった。また、青森、福井、石川、富山、新潟、山形、秋田、岩手、宮城、福島 の 10 県でもヤマトシロアリによる被害は従前より明らかとなっている。以上の現状を踏まえ、現行では防蟻処理を要しない地域とされるこれらの地域においても防蟻処理が必要であることを提唱し、以下のような区分を提案する。

表 8（提案）建築地別の木材の防腐・防蟻処理及び土壌処理の適用区分

建築地		木材		地盤
		土台	外壁の軸組等 地面から 1m 以内の部分	
I	沖縄、九州、四国、中国、近畿、中部、北陸、関東の各都府県、福島県、山形県、宮城県、秋田県、岩手県	製材の日本農林規格の保存処理 K3 以上、またはこれと同等の性能を有する防腐・防蟻処理材	(通気構造等あり) 防腐及び防蟻に有効な薬剤が塗布され、加圧注入され、浸漬され、若しくは吹き付けられたもの又は防腐及び防蟻に有効な接着剤が混入されたものであること。	土壌処理を行う
II	青森県	製材の日本農林規格の保存処理 K2 材以上、または JIS K 1570 に規定する木材保存剤又はこれと同等の性能を有する防腐・防蟻剤による処理	(通気構造等なし) 製材の日本農林規格の保存処理 K3 相当以上の防腐・防蟻処理	
III	北海道			必要に応じて土壌処理を行う

注) 必要に応じてとは、地域のシロアリ被害・生息の状況によるということである。

【謝辞】

地温、巢温ならびにガス計測、温度センサ設置にご協力下さいましたアルパインタープライズ株式会社の山島真雄氏、亀井沢利仁氏、鹿児島大学農学部鶴川信准教授ならびに鶴川研究室の皆様、福井県総合グリーンセンターの和多田浩樹氏ならびに同センターの皆様、北海道立総合研究機構林産試験場の森満範氏ならびに同試験場の皆様、(独) 森林総合研究所の阪田匡司氏、酒井佳美氏、原田真樹氏、荒井和徳氏にお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) フラット 35 対応木造住宅工事仕様書：住宅金融支援機構(2014)
- 2) (社) 日本しろあり対策協会：木造建築物等防腐・防蟻・防虫処理技術指針・同解説 改

- 訂版、建設省住宅局建設指導課監修（1986）
- 3) 製材の日本農林規格（1994）
 - 4) JIS A 9108 土台用加圧式防腐処理木材
 - 5) JIS K 1570:2010
 - 6) （公社）日本しろあり対策協会：（公社）日本しろあり対策協会防除施工標準仕様書（2014）
 - 7) 国土交通省告示第 1347 号 3-1(3)イ①

参考資料

旧旭川偕行社（重要文化財 1902 年建築）の生物劣化調査

日時：2014 年 11 月 17 日 9 時 30 分～13 時

場所：中原悌二郎記念旭川彫刻美術館（旧旭川偕行社：重要文化財 1902 年建築）
北海道旭川市春光 5 条 7 丁目

参加者：大村和香子（森林総合研究所・研究室長）

神原広平（森林総合研究所・任期付研究員）

戸田正彦（北海道立総合研究機構 林産試験場 主査）

宮内輝久（北海道立総合研究機構 林産試験場 研究主任）

説明者：佐藤氏（公益財団法人 文化財建造物保存技術協会 札幌監理事務所）

稲垣 啓（旭川市教育委員会 社会教育部文化振興課文化振興係 主査）

修復工事関係者

【調査概要】

築 100 年を越える重要文化財・中原悌二郎記念旭川彫刻美術館（旧旭川偕行社）の改修工事にともない、北海道立総合研究機構 林産試験場を通じて、建築物の内外部からの生物劣化調査を実施する機会を得た。

北海道旭川市はヤマトシロアリの野外分布が確認されている地域であることから、ヤマトシロアリによる被害の有無ならびに腐朽等による劣化の状況を確認することを目的として調査を行った。

なお改修工事状況については以下の URL に記載されている。

http://www.city.asahikawa.hokkaido.jp/files/bunkashinko/sculpture_mus/kaisyuujoukyou/kaisyuu%20top.html

調査対象は写真 1 のとおり外壁、屋根、ベランダ、玄関ポーチの柱にいたるまで白色の造膜型塗料、いわゆるペンキで塗装されている。改修工事前、平成 24 年 1 月まで美術館として活用されていたということであり、建築当初の雰囲気が窺える趣のある外観である。材料には主としてトドマツ、エゾマツが、内装の扉や窓枠、階段の手すりや柵には広葉樹（タモ？）が使われている。

1. 劣化環境

寒冷地として知られる旭川は冬の積雪量も多く降雪量が 700 cm を越える。また盆地の影響で夏場は比較的高温となり 6～9 月の最高気温の平年値は 22℃以上、最



写真 1 調査対象外観（改修工事状況 HP より）

低気温が 11℃以上である。

さて実際の建物であるが、現在は塗膜の劣化により壁～柱～土台が直接雨雪を受けている上、旭川市教育委員会の稲垣氏によると、冬場は積もった雪の上にさらに屋根雪が落ちてきて積もり、それが直接外壁と接する状態で春先まで保たれるとのことである。上記部材へはその間、常時水分が供給されることになる。

さらに改修工事関係者によると、部材間の接合に使われている釘の部分の釘の部分を起点として、冬場の暖房時に生じた結露水が、暖房を切った夜間に凍り 1 m を超す氷柱となるとのことである。暖房をつければ氷柱が溶け、周囲の部材に液状水を供給することになる。

このため各部材へは常時水分が供給され滞留し、特に北側は陽があたらないため乾燥しない状態が長期間続いていたと予想される。また基礎や束石（札幌軟石）自体が水分を含み、これらに接している部材を湿らせ続けていたことも考えられる（写真 2,3）。



写真 2 束石（札幌軟石）
水分の滞留・乾燥こともない害れが認められる。

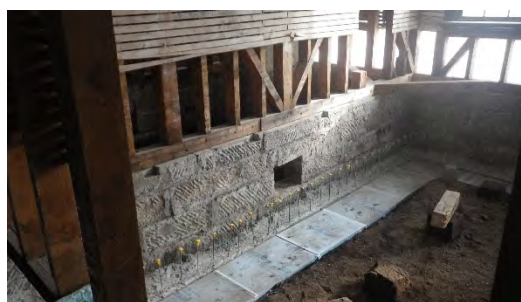


写真 3 基礎
煉瓦（ブロック）を積み重ねたもの

2. 劣化状況

土台や柱はほとんどの箇所で激しい腐朽を生じており、北側、特に増築した玄関ホール部分の劣化度合いが高い傾向とのことであった。改修工事のため取り外されて約 1 年間放置されていた部材はすでに乾燥しており、繊維方向と直交する方向への割れ方等から褐色腐朽と判断された。一部子実体と思われる形状のものも存在した（写真 4, 5）。



写真 4a, b 褐色腐朽（柱脚部）



写真 5 菌叢（すでに乾燥）

また、部分的にシロアリではなくアリによる被害の痕跡が認められた（写真 6）。アリの種類は不明であるが、腐朽が進行した部分への営巣に伴う被害と考えられた（大村ら, 2007; 大村, 2008）。アリによる被害と判断した理由は、腐朽により軟らかくなった部分のみ物理的に欠損していること（人為的なものとは考えられない）（写真 7）、特に内装扉の装飾部分に顕著に認められた「蟻道」の材料が木くずのみ（写真 8a, b）であり、シロアリのような土壌と糞をさらに混ぜた、ある程度の硬さを持った材質ではないことが挙げられる。さらに改修工事関係者から、シロアリによる被害が疑われた土台材（写真 9a,b）を見せていただいたが、土台を取り外した際に劣化していた部分が抜け落ちてしまったということで、残った材料からはシロアリによる被害か否かは判断できなかった。



写真 6 筋交脚部の穿孔被害



写真 7 筋交表面の穿孔被害



写真 8a, b 内装扉部分のアリの「蟻道」



写真 9a, b 土台部分の被害（原因特定できず）

3. 考察

例えば好低温菌として知られるナミダタケは生育適正温度が 16～24℃、生育至適温度は 20℃、3～4℃以下で生長しないとされている。今回激しい腐朽を生じさせた菌種は不明であるが、旭川の気象環境から、夏場は十分に腐朽菌が生長できると判断される。

改修工事の際、文化財は建築当初の構法、使用樹種、塗料等をできる限り踏襲することが求められており、さらに防腐処理薬剤の使用が特に屋内では限定される（使用が困難）。例えば土台は 150 角のトドマツ・エゾマツが建築当初使われていたが、現在は大径木の入手が困難であることからベイマツを代替として使用するとのことである（写真 10）。劣化の激しい部分のみ切除して新しい材料を継いでいる箇所も散見された。木取りは初期強度を優先して心去り材を用いるとのことで、辺材勝ちの状態である現在の過酷な使用環境、つまり屋内であっても屋外と同様な水分の供給があり、さらに水分が滞留・乾燥しにくく屋外よりも高い温度に保たれる環境、に置かれることを想定すると、比較的短期間で激しい腐朽が生じることが予想される（写真 11, 12）。また外壁等外部塗装に関しても、造膜型塗料はいったん水分が塗膜日に入ると乾燥しにくい状況に陥る。木材保護塗料の併用を考慮しているとのことであるが、部分的に防腐剤を使用し、水分の滞留を極力防ぐ工夫が求められる。



写真 10 補修時に取り替えた土台



写真 11 屋外の柱

柱脚部に激しい腐朽。クレオソート臭がしたことから昭和 43 年の補修時に使用した可能性がある。



写真 11 建物西側からの外観

文献

大村和香子、桃原郁夫、濱口京子、加藤英雄、金丸和生、張日紅：宮崎県に設置した木製ガードレールの生物劣化－アリ類による営巣・加害事例－. 日本環境動物昆虫学会年次大会要旨集, 19:30 (2007)

大村和香子：アリ類による木製ガードレールの被害・営巣事例. 支部ニュース（(社) 日本しろあり対策協会関東支部）, 44:4-7 (2008)

2.2 腐朽危険度に関する検証

2.2.1 はじめに

本事業を開始するに際して 1928 年から 2003 年にかけて報告された建築害菌に関する日本における総説を分析したところ、建築害菌として約 30 種の菌が記載されていた。しかし、これらの菌種数は、木材腐朽菌として知られている菌種数からすると著しく少ない。その理由として、全国の建築物の生物劣化、特に腐朽について、これまで体系的に調査された例がほとんど無いことがその根本にあると考えられ、日本各地の木造建築における腐朽被害の原因菌を明らかにする研究が必要であることが強く示唆された。

これまで建築害菌の研究では、建築部材に被害をもたらした腐朽菌の同定を、腐朽部材に発生した子実体の形態学的観察に基づいておこない、子実体が見つからなかった場合は、採取した木片から腐朽菌を単離培養し、得られた菌を形態学および生理学的観点から評価し同定する方法を採っていた。しかし、腐朽した建築部材では子実体が見つからないことが多いことから、既往の手法では多くの時間が費やされるわりに実験者の知識や経験によって異なる結果が得られてしまうといったおそれがあった。

これに対して近年急速に発展してきた遺伝子解析を用いた手法は、従来法に比べて短時間で結果が得られる、再現性や客観性に優れている、マイナーな菌類も検出が可能である、といった様々な利点を有する。さらに、腐朽材から単離培養をすることなしに、腐朽材から直接 DNA を抽出して分析できることから、培養が困難で形態学的方法では同定できない菌も同定が可能となる。また、次世代シーケンサーを用いることで、膨大な数の菌の遺伝情報を短時間に得ることも現在では可能となっている。

そこで本研究では、遺伝子解析を用いた最新の手法を住宅の腐朽部材に適用し、住宅の腐朽に関与している菌種に関する新たな知見を得ることを目的に研究をおこなう。

2.2.2 事業実施体制

事業は、下記メンバーで実施した。

堀澤栄	高知工科大物質・環境システム工学科
吉田誠	東京農工大学共生科学技術研究科
川田達郎	株式会社コシイプレザービング
桃原郁夫	森林総合研究所 木材改質研究領域
和田朋子	東京文化財研究所 保存修復科学センター
鮫島正浩	東京大学大学院農学生命科学研究科
土居修一	元筑波大学

2.2.3 事業実施内容

(1) 腐朽材試料を用いた検討

(a) 腐朽材試料

東京都、神奈川県、奈良県、大阪府、兵庫県、宮崎県の住宅(風呂場や台所など)から採取された腐朽材 20 サンプルを採取した。採取者、採取日、採取地などの情報を表 2.2-1 に示した。

表 2.2-1 腐朽材試料リスト

提供者	採取日	採取地	部屋名	箇所	TAG NO
コシイプレザービング	H23.9.20	神奈川県	廊下	床下	GS FLX6_09
コシイプレザービング	H23.9.20	神奈川県	風呂場	床下	GS FLX6_10
コシイプレザービング	H23.9.20	神奈川県	濡れ縁	濡れ縁①	GS FLX6_11
コシイプレザービング	H23.9.20	神奈川県	濡れ縁	濡れ縁②	GS FLX6_12
コシイプレザービング	H23.9.21	兵庫県	廊下	床下	GS FLX6_13
コシイプレザービング	H23.9.21	兵庫県	卓球台		GS FLX6_15
コシイプレザービング	H23.10.11	大阪府	和室	床下	GS FLX6_16
コシイプレザービング	H23.10.11	大阪府	台所	床下	GS FLX6_17
コシイプレザービング	H23.12.14	奈良県	不明	柱	GS FLX6_18
コシイプレザービング	H24.2.20	兵庫県	風呂場	フェンス①	GS FLX6_19
コシイプレザービング	H24.2.20	兵庫県	風呂場	フェンス②	GS FLX6_21
コシイプレザービング	H24.3.26	神奈川県	風呂場	筋交い	GS FLX6_24
コシイプレザービング	H24.3.26	神奈川県	台所	窓台	GS FLX6_25
コシイプレザービング	H24.3.26	神奈川県	風呂場	屋根	GS FLX6_26
コシイプレザービング	H24.4.23	神奈川県	風呂場	土台	×
コシイプレザービング	H24.4.23	神奈川県	風呂場	柱	GS FLX6_27
コシイプレザービング	H24.4.23	神奈川県	風呂場	土台	×
コシイプレザービング	H24.5.15	大阪府	台所	梁桁	×
コシイプレザービング	H24.5.15	大阪府	風呂場	間柱	×
コシイプレザービング	H24.8.17	宮崎県	風呂場	窓枠	×
コシイプレザービング	H24.8.17	宮崎県	風呂場	床下	GS FLX6_28
N 氏	H24.8.17	茨城県		柱	×
関東白蟻防除	H24.3.16	埼玉県	玄関	床下	×
関東白蟻防除	-	神奈川県	風呂場	ドア枠	×
関東白蟻防除	-	東京都	台所	床下	GS FLX6_30
関東白蟻防除	-	東京都	車庫	梁桁	×
K 氏	-	茨城県		間柱	×

(b) DNA 抽出

各腐朽材より試料片を採取し、Qiagen Tissue Lyser (Qiagen, Germany) およびステンレスチャンバーを用いて粉砕した。得られた木粉から Isoplant II (ニッポンジーン社) を使用し、マニュアルの方法を一部改変して木粉 (1 g) からゲノム DNA を抽出した。50ml の PP チューブに保管した木粉を、2 ml エッペンチューブに約 0.1 g ずつ採取した。それぞれのチューブに、Wash buffer を 1000 μ l、ジルコニアビーズ ϕ 7 mm を 1 個、 ϕ 0.2 mm を約 1 mg 加え、Qiagen Tissue Lyser で 20 Hz、4 分間処理した。その後、15,000 rpm で 3 分間遠心処理し、回収した木粉に Sol. I (タンパク質変性剤) を 600 μ l、Sol. II (塩化ベンジル) を 200 μ l 加え、Vortex で激しく攪拌した。その後、チューブを 50 $^{\circ}$ C で 10 分間加熱した。そして Sol. III-A を 150 μ l、Sol. III-B を 200 μ l 加え、混合した後、氷上で 15 分間静置した。15,000 rpm で 10 分間遠心処理し、上清を回収した。これに 1 $\times$ vol. の 2-プロパノールを混和し、15000 rpm で 10 分間遠心し、沈殿を回収した。得られた沈殿を 70% エタノールで 2 回洗浄した後、沈殿を風乾燥させた。乾燥した沈殿に TE (PH 8.0) を 100 μ l 加えて再溶解させた。引き続き PowerSoil[®] DNA Isolation Kit (Mo bio 社) を用い、マニュアルに従って夾雑物の精製を行った。

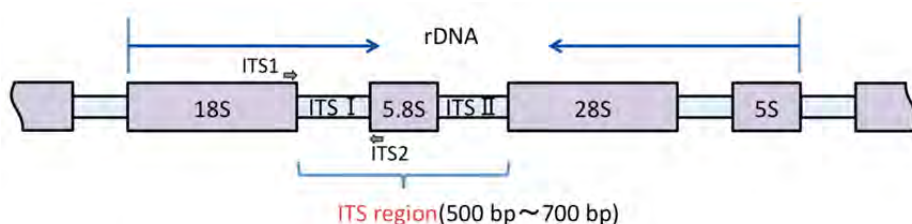


図 2.2-1 ITS 領域を含む rDNA の構造の概略図。太い部分はコード領域、細い部分は非コード領域を示す。灰色の小さな→はプライマー ITS1 および ITS2 を示す。

(c) PCR 増幅およびタグ配列の付加

腐朽材より抽出された DNA をテンプレートとして、真菌類の ITS 領域を増幅するため PCR を行った。Takara Mighty Amp DNA Polymerase Kit (Takarabio 社) を用い、ITS 1 (5' -TCC GTA GGT GAA CTT GCG G-3') および ITS2 (5'-GCT GCG TTC TTC ATC GAT GC-3') をプライマーとして ITS I 領域 (図 2.2-1) を増幅し、増幅産物を電気泳動で確認した。以上の操作で PCR フラグメントが得られなかった場合は、抽出した DNA に対して Phi29 DNA Polymerase によって全ゲノムを非特異的に増幅させた。illustra GenomiPhi V2 Kit (GE Healthcare 社) を用いてマニュアルに従い非特異的増幅を行い、非特異的に増幅された DNA をテンプレートとして ITS I 領域の増幅物を得た。

腐朽材より抽出したゲノム DNA が PCR 増幅可能なクオリティであることを電気泳動および吸収スペクトル分析によって確認した後、次世代シーケンサーで分析するために、タグ配列を加えたプライマーを用いて PCR を行った。PCR キットとして Takara Mighty Amp を用い、プライマーは以下のような配列を用いた。

フォワード： 5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAG+[タグ配列]+ITS 1-3'

リバース： 5'-CTATGCGCCTTGCCAGCCCGCTCAG+ITS 2-3'

タグ配列は、表 2.2-2 に示した。

得られた PCR 産物（タグ付き）を 2% agarose gel で分離し、バンドを切り出して PCR 産物を精製した。

表 2.2-2 タグ配列一覧

プライマー名	配列 (5'-3')
GSFLX6_09-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGACTCTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_10-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGATCATCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_11-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGCACGTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_12-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGCTGATCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_13-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGTAGCTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_15-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGTGAGTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_16-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGATACAGTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_17-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGATAGTCTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_18-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGATCATGTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_19-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGATCGACTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_21-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGATGATATCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_24-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCACTCGTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_25-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCAGACATCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_26-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCAGCTGTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_27-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCAGTGCTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_28-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCATAGATCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX6_30-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCATGTCTCCgTAaggTgAACCTgCgg
GSFLX-ITS2	5'-CTATGCGCCTTGCCAGCCCGCTCAGGCTGCGTTCTTCATCGATGC

(d) シークエンス

精製した DNA 断片の DNA 量を UV 分光光度計で定量した。また、Quant-iT dsDNA BR Assay Kit(Invitrogen 社)を用いて二本鎖 DNA 量を定量した。シークエンスライブラリーは Agencourt AMPure XP(BECKMAN COULTER 社)を用いて精製した。精製されたライブラリーは Agilent 2100 Bioanalyzer を用いて分子鎖長を測定した。得られたライブラリーは Roche Genome Sequencer FLX (ロシュ・ダイアグノスティックス社)を用いたシークエンス解析に供した。

(e) データ解析

得られた塩基配列をタグ分別し、それを用いて CD-HIT による代表配列の抽出を行った。代表配列の抽出は、 $-c=0.95$ 、 $-aS=0.97$ 、 $-s=0.97$ 、 $-g=1$ とし、それ以外のパラメータは全てデフォルトで行った。得られた代表配列を用いて blastn アルゴリズムを用いた相同性検索を実施した。検索対象のデータベースは NCBI nt データベースを用いた。以後の解析には得られた結果のうちカバーレングス 100bp 以上のものを用いた。

各サンプルにおいて検出された菌種のヒートマップは R 言語の gplots パッケージ内の heatmap2 を用い作成した。クラスタリングは amap パッケージを使用し、類似性の尺度としてユークリッド距離を用いることで、クラスター間の距離を群平均法により求めた。ヒートマップの数値データはカウントデータを log2 で対数変換した値を用い、0 が黄色、15 が赤になるように指定した。

(f) 光学顕微鏡による腐朽型の観察

各試料を少量採取してガラス試験管に入れ、16.5%過酢酸 2ml を加え 80 °C で 1 時間加熱した。廃液を吸引除去後、再び 2ml 過酢酸を加えて 1 時間加熱するサイクルを繰り返し、試料よりリグニンを完全に除去した。偏光板を装着した光学顕微鏡でリグニン除去した試料を観察し、腐朽型の判定を試みた。

(2) エアサンプラーを用いた検討

(a) 試料採取

ミリ Q 水に分子生物学用寒天を加えオートクレーブで滅菌した。滅菌した寒天溶液 10ml を直径 9cm のプラスチックシャーレに入れ、空中浮遊菌をトラップするための媒体とした。各シャーレは蓋をした後周囲にパラフィルムを巻き、サンプリングに用いるまで冷暗所で保管した。

空中浮遊菌のサンプリングは、札幌市およびつくば市の戸建て住宅において実施した。その際、札幌市の住宅では、玄関ポーチ、室内、床下の空気をそれぞれサンプリングした。また、つくば市の住宅では、玄関脇の駐輪スペース、床下、小屋裏の空気をそれぞれサンプリングした。空気のサンプリングには、エアサンプラー-BIO SAMP MBS-1000 を用い、毎分 100l の空気を 10 分間捕集することで合計 1,000l の空気に含まれる空中浮遊菌を寒天にトラップした。空中浮遊菌をトラップしたシャーレは、DNA を抽出するまで冷暗所または冷凍庫で保管した。

(b) 次世代シーケンス解析

空気中の微生物を捕集したアガロース片を PP チューブに入れ、電子レンジで 5~10s 程度加熱して溶解させた。アガロース液の温度を 50°C 程度に調節した後、耐熱性 β -アガラーゼ (ニッポンジーン社) を加えてインキュベートし、アガロースを加水分解した。アガロース分解物等を PP チューブに入れたまま遠心分離にかけ、得られた沈殿物より、Nucleospin tissue XS (Macherey-Nagel 社)を用いて DNA を抽出した。抽出された DNA を鋳型とし、ユニバーサルプライマー NS7 (5'-gAg gCA ATA ACA ggT CTg TgA TgC-3')および ITS4 (5'-TCC TCC gCT TAT TgA TAT gC-3')を用い、MightyAmp DNA

polymerase v2 (Takara Bio 社) によってリボソーム DNA を増幅した。この PCR 産物をとし、ユニバーサルプライマー ITS1(5'-TCC gTAg gTg AAC CTg Cgg-3')および ITS 2(5'-GCT GCg TTC TTC ATC gAT gC-3')を用いて 2nd PCR を行った。得られた増幅産物を AMPure XP kit (Beckman coulter 社)を用いて精製し、Nextera DNA sample prep kit (illumina 社) を用いてマニュアル通りにシーケンス試料を調製した。この試料を Miseq Reagent Kit nano v2 (illumina 社)を用い、次世代シーケンサーで解析した。

(c) データ解析

次世代シーケンサーを用いた大規模配列解析により得られた塩基配列を用いて blastn アルゴリズムを用いた相同性検索を実施した。検索対象のデータベースはリボソーム DNA 配列のデータベースである SILVA (<http://www.arb-silva.de/>) を用いた。

各サンプルにおいて検出された菌種のヒートマップは R 言語の gplots パッケージ内の heatmap2 を用い作成した。クラスタリングは amap パッケージを使用し、類似性の尺度としてスピアマン距離を用いることで、クラスター間の距離を群平均法により求めた。ヒートマップの数値データはカウントデータを log2 で対数変換した値を用い、0 が黄色、14 が赤になるように指定した。

2.2.4 結果と考察

(1) 腐朽材を用いた解析

(a) DNA 抽出および PCR 産物ライブラリーの評価

腐朽材試料の質的特性はそれぞれ大きく異なっており、樹種、部材、腐朽状況など様々であった。DNA 抽出に関し、これら試料の質でもっとも大きく影響するのは腐朽状況であった。腐朽材の状況から判断して、特に、菌が侵入、腐朽し、その後長期間経過したと考えられるサンプルは、DNA 抽出から PCR までの過程で信頼性の高い結果を得ることが困難であり、種々の検討を試みたものの、良質な PCR 産物を得ることができなかった。これは、菌体が劣化しているためか、腐朽材に含まれる変質したリグニンなどが DNA の抽出や PCR 反応を阻害していることが考えられる。PCR 産物が得られなかった試料は表 2.2-1 のタグ NO.の列に「×」で示した。

得られた PCR 産物を精製し、二本鎖 DNA 量を定量した後、Agilent 2100 Bioanalyzer を用いて分子鎖長を測定した。その結果を図 2.2-2 に示した。解析の結果、274 bp、299 bp、363 bp にピークが観察された。

(b) シーケンスデータの評価

次世代シーケンスにより、447,179 リードの解析に成功した。これらの得られた全てのリードの鎖長ヒストグラムを図 2.2-3 に示した。この結果から算出した解析総塩基数は 122,880,334 塩基であった。また、それらの解析総塩基のうち、62,434,061 塩基はグアニンもしくはシトシンであったことから GC 含量は 50.81%と算出された。

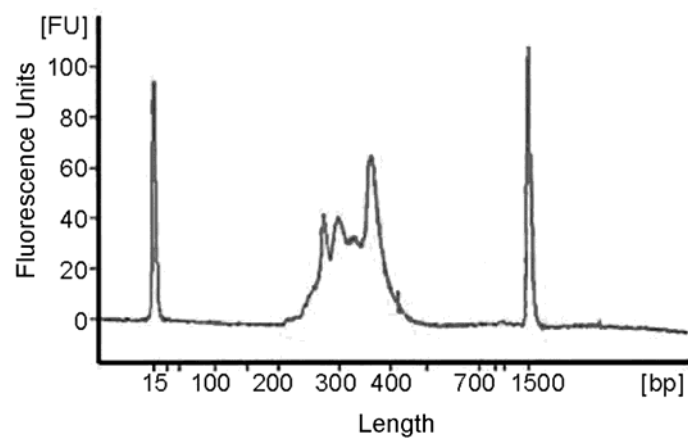


図 2.2-2 ライブラリーの Agilent 2100 Bioanalyzer による分析

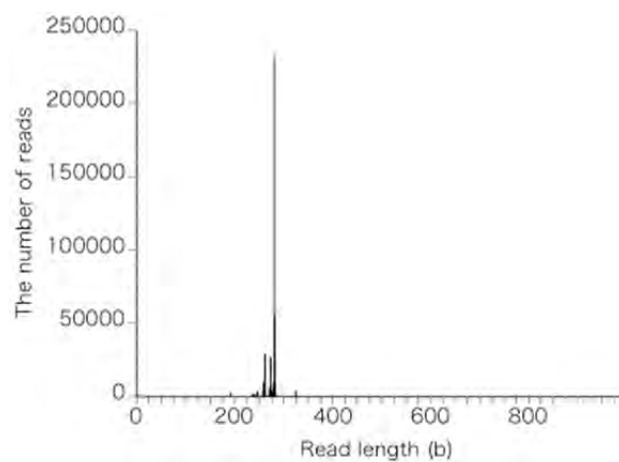


図 2.2-3 リード鎖長のヒストグラム

(c) 顕微鏡観察による腐朽型の判定

過酢酸によってリグニンが除去されると、セルロースのみで構成される細胞壁が残る。これを偏光顕微鏡によって観察し、細胞壁の形状によって腐朽型を推定した。図 2.2-4 に示した試料は軟腐朽と推定

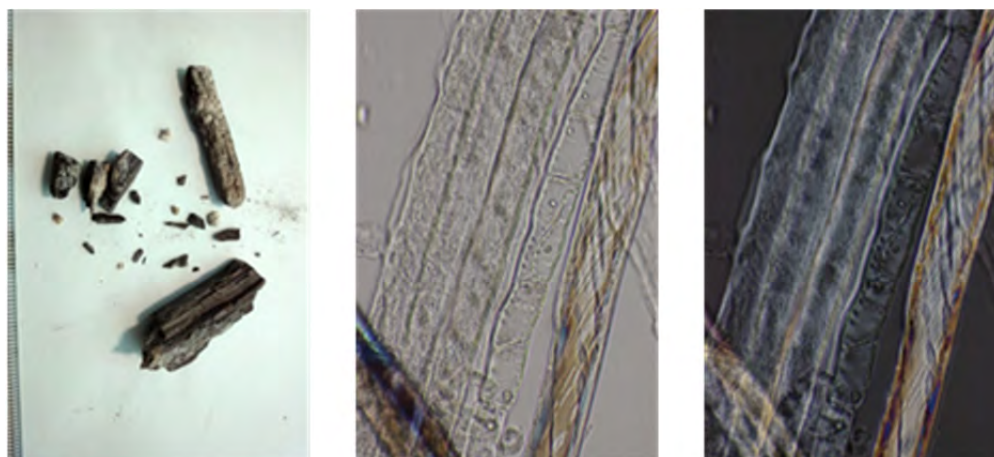


図 2.2-4 試料 A の観察. 左：腐朽材の外観、中央：明視野、右：偏光観察

した腐朽材で、細胞壁に軟腐朽に特有の菱形の穿孔が認められた（図 2.2-4、右）。

このようにして推定した結果を表 2.2-3 に総括した。白色腐朽型、褐色腐朽型ともに観察されたが、最も多く観察されたものは軟腐朽型であった。

表 2.2-3 顕微鏡観察による腐朽型の判定

（WR：白色腐朽、BR：褐色腐朽、SR：軟腐朽、×：残留セルロースなし、－：未試験）

採取地	採取箇所		腐朽型
	部屋名	箇所	
神奈川県	廊下	床下	SR
神奈川県	風呂場	床下	BR
神奈川県	濡れ縁	濡れ縁①	SR
神奈川県	濡れ縁	濡れ縁②	BR, SR
兵庫県	廊下	床下	BR
兵庫県	卓球台		SR
大阪府	和室	床下	BR, SR
大阪府	台所	床下	SR
奈良県	不明	柱	SR
兵庫県	風呂場	フェンス①	WR
兵庫県	風呂場	フェンス②	BR
神奈川県	風呂場	筋交い	BR, SR
神奈川県	台所	窓台	WR, SR
神奈川県	風呂場	屋根	BR
神奈川県	風呂場	土台	BR
神奈川県	風呂場	柱	BR
神奈川県	風呂場	土台	×
大阪府	台所	梁桁	BR
大阪府	風呂場	間柱	SR
宮崎県	風呂場	窓枠	WR
宮崎県	風呂場	床下	SR
茨城県		柱	－
埼玉県	玄関	床下	－
神奈川県	風呂場	ドア枠	－
東京都	台所	床下	－
東京都	車庫	梁桁	WR
茨城県		間柱	－

(d) シークエンスデータの解析

得られた塩基配列を解析して得た代表配列を用いて blastn アルゴリズムを用いた相同性検索を実施した。その結果、それぞれの腐朽材サンプルにおいて様々な種の真菌類が特定された。図 2.2-5 に検出された菌の種数を示す。多くのサンプルでは 10 種以上の菌種が特定され、多いものでは 33 種もの菌種が存在していた。一方、少ないものでも 4 種の菌種が特定され、単一の菌種のみが検出されたものはなかった。以上のことから、我が国の住宅の腐朽材には複数の菌種が存在しており、その多くは 10 種以上という多種の真菌類によって菌叢が構成されていることが明らかとなった。また、菌種数と採取地域や採取箇所との関連性は見いだされなかったことから、菌の多様性は採取地域や採取箇所に依存していないことが示唆された。

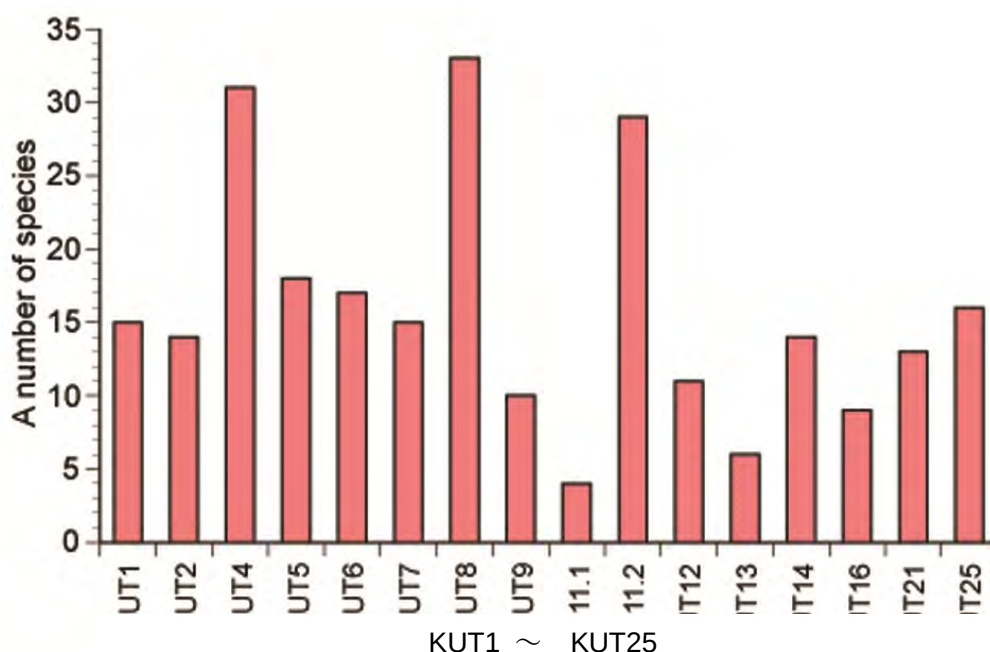


図 2.2-5 各サンプルにおける菌種数. Identity > 95%、Length > 100bp とした

図 2.2-5 で検出された菌種が占める割合を菌叢構造として図 2.2-6 に示した。その結果、ある試験体からはハブソウ *Senna occidentalis* と呼ばれる植物が検出された。本研究で用いたプライマーは rDNA 領域の ITS を標的にしており、糸状菌を特異的に増幅するように設計されているものの、rDNA 領域は機能遺伝子と比較して極めて保存性が高い領域であることから、植物由来の DNA の影響を完全に除外することは困難である。しかしながら、本研究で増幅された植物由来の DNA 断片は、全体のごく一部を占めるのみであったことから本結果に与える影響は少ないと考えられる。本腐朽材サンプルは床下から採取したものであり、サンプリングの過程で少量の植物体が混入したものである可能性がある。本研究では全体の 9 割以上を単一の菌種が占めるサンプルが観察された一方で、多数の菌類が同程度の割合で存在しているサンプルも見いだされた。これらの挙動に採取地域や採取箇所との関連性は見いだされなかった。このことは、群集構造も採取地域や採取箇所に依存していないことを示唆するものである。

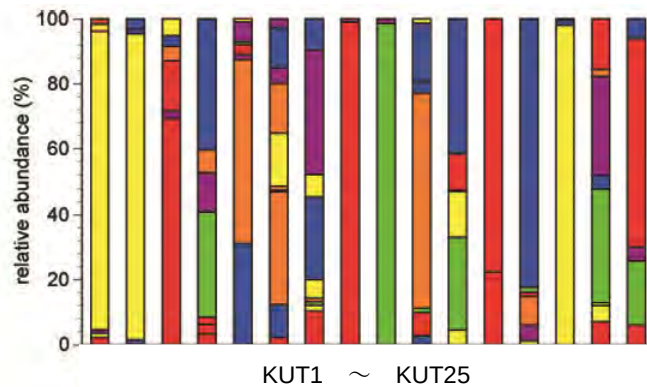


図 2.2-6 各サンプルにおける菌叢構造

占拠率 1%以下のものはそれぞれのサンプルの Others としてまとめた。

●は糸状性担子菌を表す。

今回調査したサンプルのほとんどにおいて木材腐朽担子菌が観察され、そのうちの多くは複数の腐朽菌が存在していた。このことは、我が国の住宅における腐朽が複数の腐朽菌によって進行する場合が多いことを示唆するものである。一方、試験体の中には木材腐朽担子菌類が全く検出されないものも多数認められた。これまで我々は、腐朽の原因菌を調査する場合には、サンプルにおける腐朽の程度が、菌の同定結果に極めて大きな影響を及ぼすこと、そして、腐朽の進行が終了して長期間経過したサンプルでは腐朽菌が検出できないことを報告してきた。したがって、本研究で腐朽菌が観察されなかった住宅サンプルではすでに腐朽が終了して長期間経たサンプルである可能性がある。

図 2.2-6 で示した真菌類の群集構造において占拠率 1%以上の菌種を対象にして検出頻度のヒートマップを作成した(図 2.2-7)。ヒートマップとは、数値の大小を色の濃淡で表現したものである。ここでは検出された菌種のパターンに基づきクラスタリングを行ったが、それぞれのグループ間で採取地域や採取箇所に関連性は見いだされなかった。この結果も、上述の解析と同様に、群集構造が採取地域や採取箇所に依存していないことを強く支持するものである。本研究においては、木材腐朽性を示す、もしくは木材上で子実体が発見されている菌種が多く検出された。特に興味深いことに、従来、日本では褐色腐朽菌が主要な害菌と考えられてきたものの、本研究では主要な白色腐朽菌が複数のサンプルにおいて見いだされた。このことは、住宅の害菌として、褐色腐朽だけでなく白色腐朽菌も無視できない害菌であることを強く示唆するものである。また、ある試験体では褐色腐朽菌と白色腐朽菌が両者共に見いだされており、このことは、従来のような腐朽材を白色腐朽材もしくは褐色腐朽材のいずれかに分類する

といった診断では、腐朽を正確に把握する為には不十分であることを示唆している。

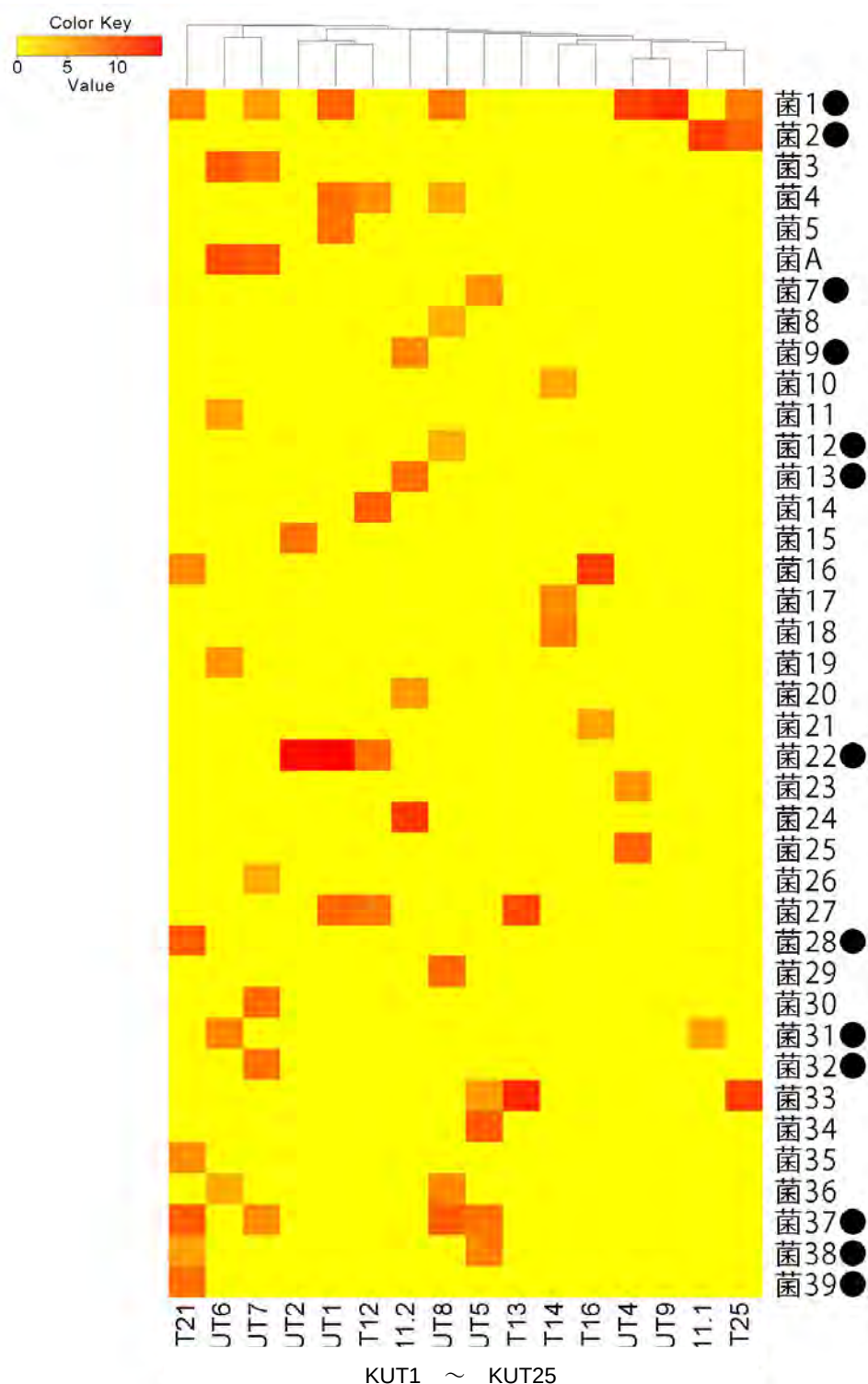


図 2.2-7 本研究で見いだされた真菌類の検出頻度に基づくヒートマップ

占拠率 1%以上のものを対象とした。DNA 断片のカウント数値データを $\log_2$ で対数変換し、0 が黄色、15 が赤となるように表現した。クラスタリングにはユークリッド距離を用い、クラスター間の距離を群平均法により求めた。●は糸状性担子菌を表す。

(2) エアサンプラーを用いた検討

札幌市およびつくば市の住宅において採取した空中浮遊菌から DNA を抽出し、次世代シーケンサーによる大規模配列解析をおこなった。得られた塩基配列の相同性検索は、多種の真菌類が採取されていたことを示した（図 2.2-8）。ほとんどのサンプルにおいて、担子菌と子囊菌類がどちらも含まれていたが、後者の方がより多くの種が検出された。また、サンプリングした地域の差異に着目すると札幌市のサンプルと比較してつくば市のサンプルでは、検出された菌種数が少ない傾向が見られたことから、札幌の住宅の空間の方がより菌の多様性が高いことが示唆された。しかしながら、今回の実験結果のみからでは、これらの多様性の差異が地域的な影響であるのか、時期的な影響であるのか、単に建物や建物近傍の環境としての差異であるかを明らかにすることはできなかった。より詳細に解析するためには、札幌市やつくば市の他の住宅で、サンプリング時期を変えて、サンプリングをおこない、その結果を解析していく必要がある。

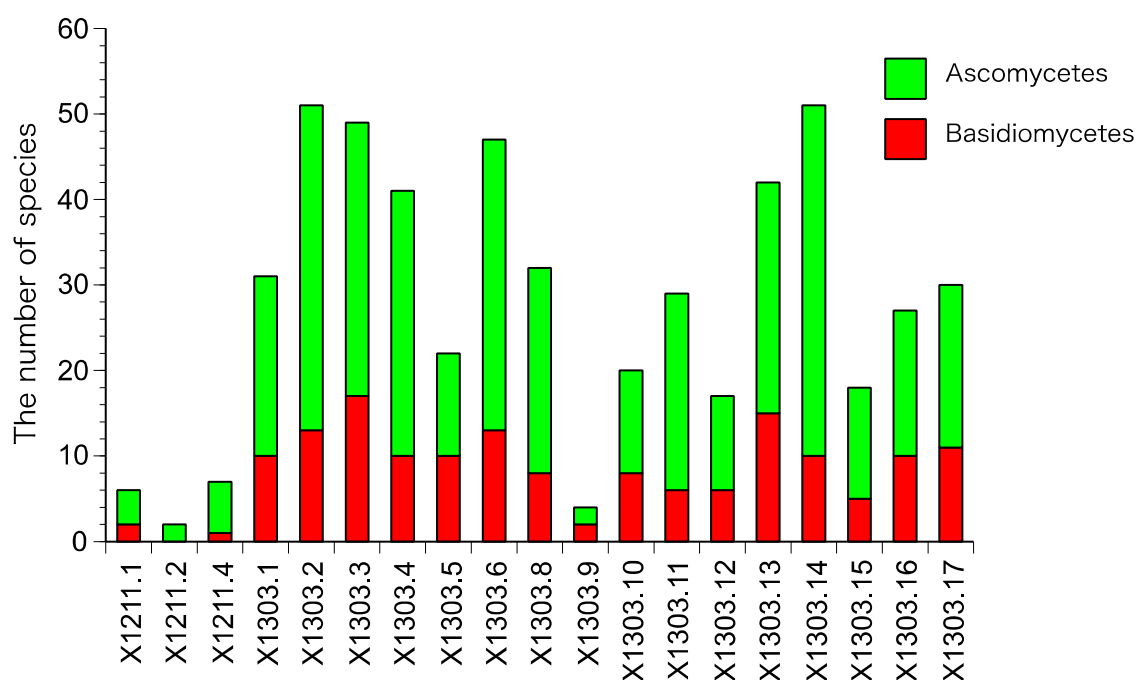


図 2.2.8 相同性検索により同定された菌種数

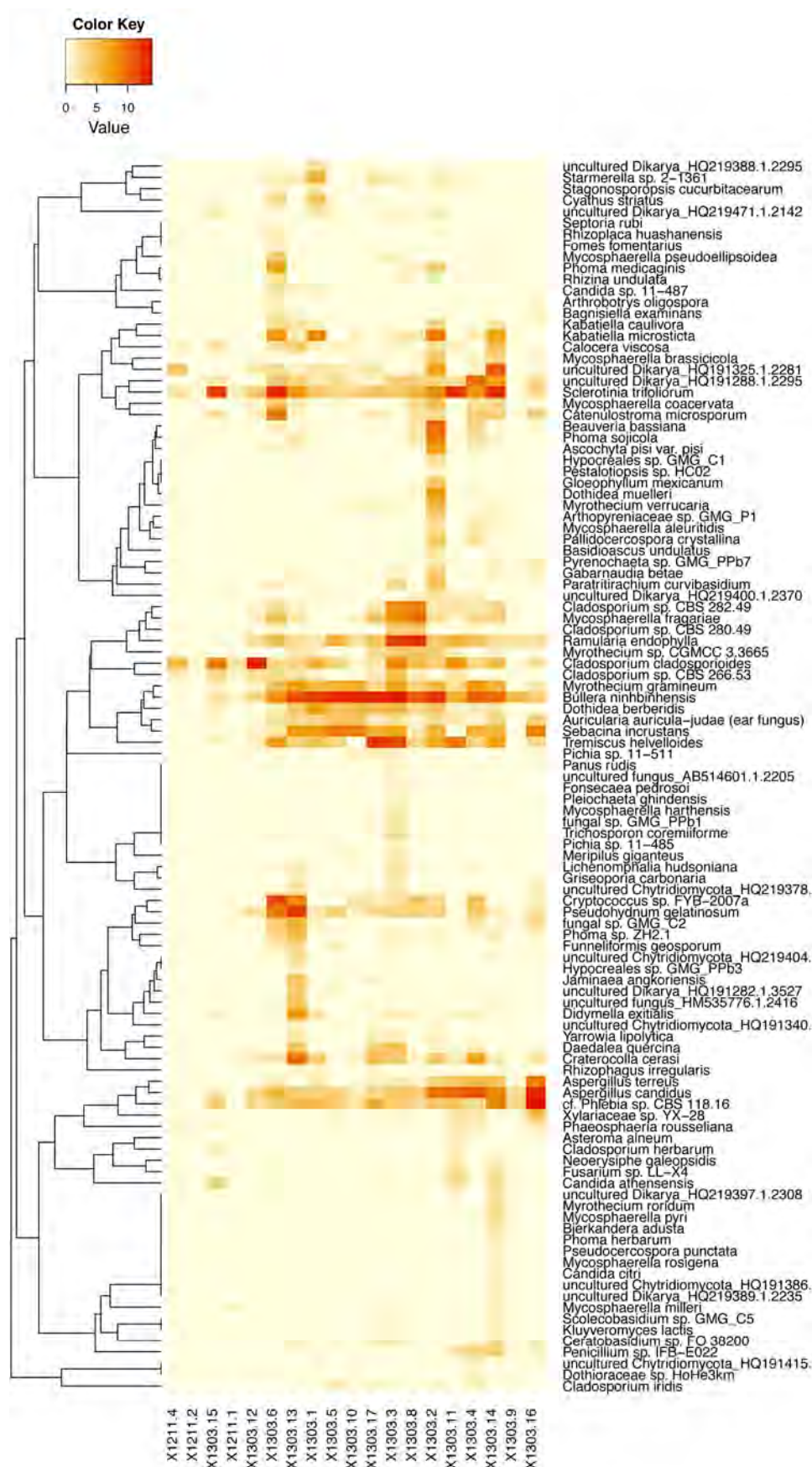


図 2.2.9 真菌類の検出頻度に基づくヒートマップ

DNA 断片のカウント数値データを $\log_2$ で対数変換し、0 が黄色、14 が赤となるように表現した。

大規模配列解析により得られた塩基配列のカウント数を検出頻度とみなし、これをヒートマップにより表現したものを図 2.2.9 に示す。その結果、それぞれの菌種によって様々な検出頻度パターンを呈することが明らかとなった。これらのうち、特に検出頻度が高い種は全体のうちの限られた種であり、これらの菌種は子囊菌と担子酵母が占めていた。腐朽性の担子菌類が含まれる分類群に属する種で検出頻度が高いものはヒメキクラゲ科の *Tremiscus helvelloides* などに限られていたが、本菌は札幌のサンプルでは 2 つを除く全てのサンプルで観察されたことから、この菌の胞子はサンプリングをおこなった札幌市の住宅の様々な空間に浮遊しているものと思われる。一方、得られた検出頻度のパターンに基づきサンプル間のクラスタリングを試みたが、それぞれのグループ間で採取地域や採取箇所に関連性は見いだされなかった。そこで、検出された菌種のうち、腐朽性の担子菌類が属する分類群に属する種のみを抽出し、それらの検出頻度を用いたクラスタリングを試みた結果を図 2.2.10 に示した。その結果、つくば市の住宅由来のサンプルと札幌市の住宅由来のサンプルで明確にクラスターが分離されることが明らかとなった。このことは、腐朽性の担子菌類の存在量のパターンがサンプル間の差異の影響を強く受けていること、すなわち、つくば市の住宅由来のサンプルと札幌市の住宅由来のサンプル間では、そこに多く存在する腐朽性の担子菌類の種類に大きな差異があることを示唆するものである。

最終年度の事業開始が大幅に遅れたため、十分な数のサンプルを解析することができなかった。本研究で見いだされたつくば市の住宅由来のサンプルと札幌市の住宅由来のサンプル間の差異が、地域的な影響であるのか、時期的な影響であるのか、建物としての差異の影響であるかを明らかにするためにはさらに多くのサンプルに対して同様の試験を実施する必要がある。また、空間に浮遊する胞子の菌叢と、同空間に存在する腐朽木材中の菌叢を対応付けて解析することで、空中浮遊菌と木材腐朽との関連性を明らかにすることが重要であると思われる。

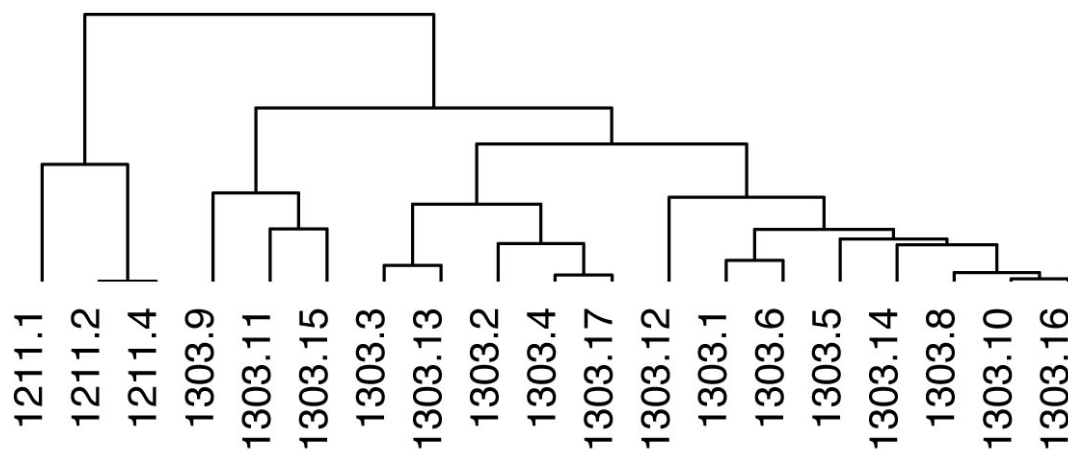


図 2.2.10 腐朽性の担子菌類が属する分類群に分類される種の検出頻度を用いたクラスタリング

2.2.5 本課題のまとめ

これまでの知見では、建築物を腐朽させる菌として約 30 種の木材腐朽菌しか知られていなかった。しかし、近年急速に発展した遺伝子の塩基配列を用いた菌種同定手法並びに最新の解析手法を活用する

ことにより、これまでの形態観察によって同定する方法では検知できなかった多数の木材腐朽菌が建築部材に存在していることが明らかとなった。

今回の事業で確認できた既往の方法に対する遺伝子を用いた同定のアドバンテージを以下に示す。

- ・子実体等がないサンプルから木材腐朽性担子菌を含む多数の菌を同定可能
- ・同定に必要なサンプル量は僅か
- ・多数の菌種やその存在密度を解析可能
- ・上記情報に統計手法を組み合わせることにより、より深い解析が可能
- ・空中浮遊菌をサンプリングすることで、その地区で優先的な腐朽菌を同定可能

腐朽材を用いた研究の結果は、菌類の種類やその生息密度と採取地や採取部材との間に明瞭な関係が無いことを示唆したもの、エアサンプラーを用いた研究は腐朽菌種がサンプリング地点によって異なることを示唆していた。このことは、腐朽材を用いた研究であってもサンプル数が増えるにつれて採取地に存在する木材腐朽菌の種類や生息密度等の影響を受ける可能性が高いことを示唆した。

今後、腐朽材の採取地を広げ、サンプリング数を増やすことにより、両者のより正確な関係を明らかにできると考えられる。

第3章 保存処理の耐久性と耐久性能に関する検討

3.1 目的

優良な住宅ストック形成を図ることを目的に、「住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）」が施行され、「評価方法基準」が制定された。同基準では、木造住宅に使用される材料の劣化の進行を遅らせるための対策について、通気・換気をはじめとする構法上の工夫や高耐久木材の使用・保存処理の種類などの点から評価し、たとえば外壁の軸組等では、「通気層を設けた構造」で、「防腐及び防蟻に有効な薬剤が塗布され、加圧注入され、浸漬され、若しくは吹き付けられたもの又は防腐及び防蟻に有効な接着剤が混入されたもの」であれば小径 10.5cm の軸組を使用した住宅でも劣化等級 3 と表示できることになった。

この品確法の「防腐及び防蟻に有効な薬剤」については、日本農林規格や日本工業規格をはじめとする諸規格によって規定されているが、それらの薬剤で処理された保存処理木材の効力の持続性については、一部の注入処理用木材保存剤について屋外暴露 20 年以上の長期試験の実績があるものの、その他多くの木材保存剤では注入処理用木材保存剤で 10-15 年、表面処理用木材保存剤では 2 年程度の試験実績しかないものがほとんどである。また、屋外暴露の劣化環境は通常の住宅内の劣化環境よりもはるかに厳しいことから、屋外暴露で求められた耐用年数をそのまま保存処理木材を住宅部材として使用した際の耐用年数とすることは適切ではないと考えられている。

そこで、保存処理木材を適切に管理された住宅の構造用部材として長期間使用した際の耐久性予測手法を開発することを目的に研究をおこなう。なお、実験に際しては、表面処理用木材保存剤の有効成分標品を木粉に添加しておこなう試験と、加圧注入処理用木材保存剤を小試験片に注入しておこなう試験の 2 つを実施した。

3.2 事業実施体制

事業は、以下のメンバーからなる「保存処理の長期耐久性検討 TG」および分析協力企業により実施した。

保存処理の長期耐久性検討 TG 参画機関

独立行政法人 森林総合研究所
日本木材保存剤工業会（三井化学アグロ株式会社）
日本木材防腐工業組合（兼松日産農林株式会社）
財団法人 日本住宅・木材技術センター
公益財団法人 日本合板検査会
住友林業株式会社
一般社団法人全国木材検査・研究協会

分析協力企業

大日本木材防腐株式会社
株式会社コシイプレザービング

3.3 実験

3.3.1 表面処理用木材保存剤の有効成分を用いた検討

(1) 供試有効成分

表面処理用木材保存剤に使用される下記有効成分の標品を使用した。

- ① チアメトキシサム（和光純薬分析用標準品、純度 99.0%）
- ② イミダクロプリド（和光純薬分析用標準品、純度 98.0%）
- ③ ペルメトリン（Dr.Ehrenstorfer GmbH 試薬、純度 94%）
- ④ エトフェンプロックス（和光純薬分析用標準品、純度 99.5%）
- ⑤ ビフェントリン（和光純薬分析用標準品、純度 98%以上）
- ⑥ IPBC（Working STD、純度 99.8%）
- ⑦ シプロコナゾール（和光純薬分析用標準品、純度 99.0%）
- ⑧ F-69（Working STD、純度 98%以上）
- ⑨ テブコナゾール（和光純薬分析用標準品、純度 98.0%）
- ⑩ プロピコナゾール（和光純薬分析用標準品、純度 99.0%）

(2) 試料の調製

スギ辺材をブレンダーミルで粉碎後メタノール洗浄し脱脂した 50-100 メッシュの木粉 1.5g を試験容器である 50 ml 容の PP 製遠沈管（φ 約 3 cm, 高さ約 12 cm, スクリューキャップ付）に入れた。

この容器内の木粉に上記有効成分の内の 1 つを所定濃度で溶解させたアセトニトリル 0.55ml ずつ滴下し、処理木粉を調製した。

処理木粉を試験容器ごと室温、50℃、80℃の環境に暴露した。その際、室温条件に曝した試料は、薬剤ごとに仕分けしてプラスチック製コンテナに収め、実験室内に静置した。50℃条件、80℃条件も同様に薬剤ごとに仕分けし、それぞれの温度条件に設定した恒温器内に静置した。静置期間中はいずれも遮光条件とした。

処理後 18 ヶ月後および 24 ヶ月後の計 2 回サンプリングを実施した。その際、各試料の繰り返し数はそれぞれ 3 とした。

サンプリング後の試験容器に抽出溶媒 40 ml を加え、180 分間超音波に付した後、上澄み液を 1.5 ml 採取し前処理フィルタに通して分析用試料とした。検量線溶液は薬剤ごとに用時調製した。

分析用試料または検量線溶液 25 μ l を島津 LC-10Avp シリーズ（PDA 検出器付）に注入し、得られたピークを島津 Labsolutions LC で解析した。HPLC 分析で得られた検量線溶液のピーク面積と濃度から回帰直線をプロットし、得られた近似式を検量線とした。各薬剤は別々に分析した。以下に、HPLC 測定条件の一例を示す。

表 3.3-1 HPLC 測定条件の例（チアメトキサム及びイミダクロプリド用）

カラム	STR ODS- II $\phi 4.6 \times 150$ mm
カラム温度	40℃
波長	チアメトキサム 250 nm（スリット幅 4nm） イミダクロプリド 270 nm（スリット幅 4nm）
移動相	混合溶媒＊/水＝20/80,v/v
流速	1.0 mL/min
タイムプログラム	0-14 分 混合溶媒＊/水＝20/80,v/v (洗浄：14.01-17 分 同 95/5,v/v) (調整：17.01-24 分 同 20/80,v/v)
保持時間	チアメトキサム：約 7.5 分 イミダクロプリド：約 12.6 分
注入量	25 μ L
最終液量	40 mL

混合溶媒＊：メタノール/アセトニトリル混合溶媒＝1/1,v/v

3.3.2 加圧処理用木材保存剤を用いた検討

(1) 注入処理試験体の調製

1×1×2cm のスギ辺材を試験に使用した。この試験体に 1ml の CUAZ 作業液を添加した時に製材の日本農林規格の性能区分 K2～K4 となるよう作業液濃度を調整した。また、試験体に適切に木材保存剤有効成分が吸われるよう、作業液にメタノールを加え、作業液の木材への浸透性を高めた。

直径 18mm の試験管に上記作業液を入れ、そこに上記試験体を入れ、CUAZ の作業液を試験体に完全に吸わせた。試験体を試験管に入れたまま室内に放置した後、20℃相対湿度 65%の恒温恒湿室に入れ、恒量となるまで養生した。

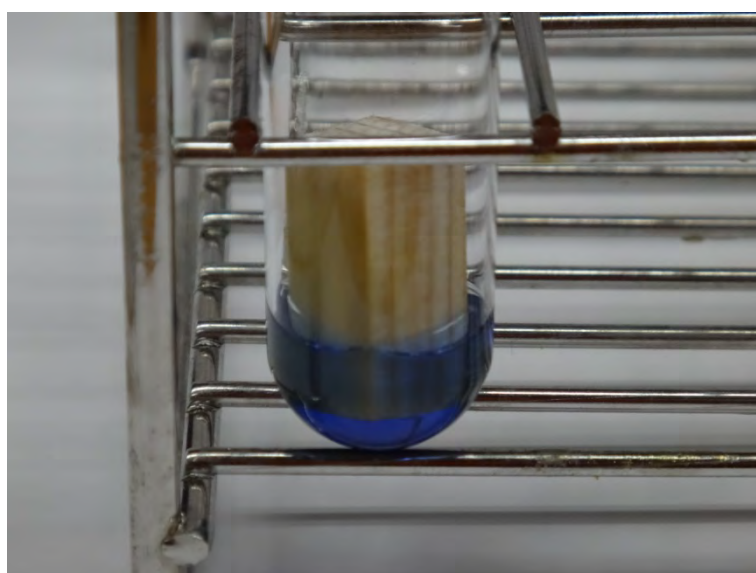


図 3.3-1 今回新たに開発した薬剤注入方法

(2) 促進劣化試験

促進劣化試験は森林総合研究所内にある 20℃、相対湿度 65%の恒温恒湿室および温度

50℃または 80℃、相対湿度 65%の高温恒湿器内でおこなった。

また、加速試験に際しては、試験体にあたる風の影響などを受けないよう、試験体を直径 18mm の試験管に入れた状態で、恒温恒湿環境に暴露した。



図 3.3-2 恒温恒湿器の設定例（温度 80℃、湿度 65%）

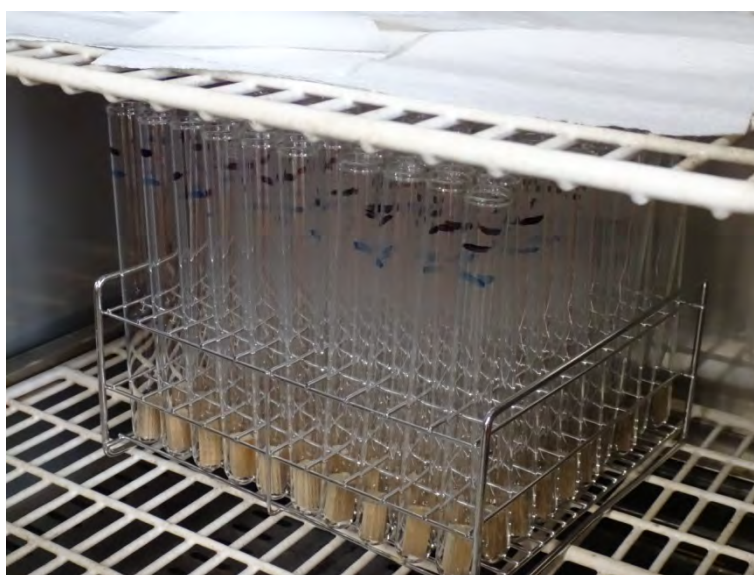


図 3.3-3 恒温恒湿器内に暴露している様子



図 3.3-4 温度 20℃、湿度 65%の恒温恒湿室内で暴露している様子

(3) シプロコナゾール抽出用試験片の作製

CUAZ の有効成分の内、高温に暴露することにより残存量が変わる可能性のあるシプロコナゾールについて残存量の測定を実施した。

通常の有効成分の分析では、採取した試験体を木粉にしそこから有効成分を抽出するのが一般的である。しかし、今回の実験では試験体サイズが非常に小さいため、木粉を調製する過程でのロスが大きく、結果のバラツキに繋がるおそれがあった。そこで、有効成分を抽出する際に試験体を木粉にする代わりに薄片化し、その薄片全てを抽出溶媒に浸す方法を採用することで、ロス無く全ての有効成分を抽出できるようにした。

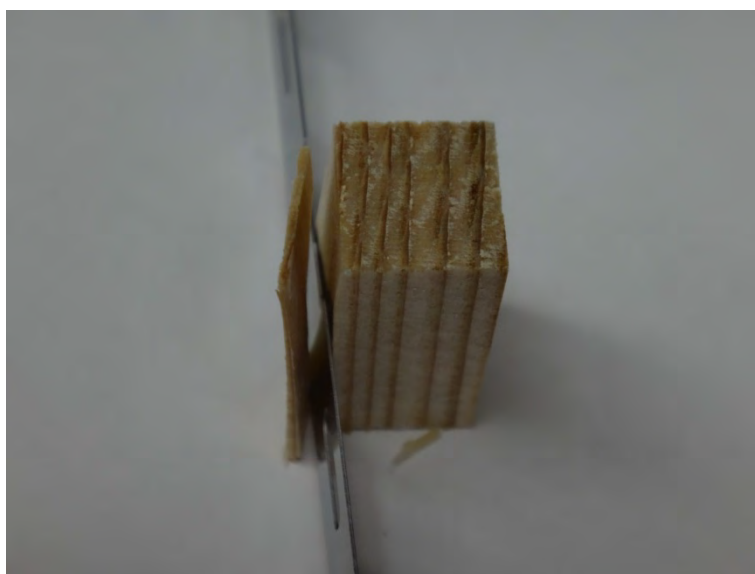


図 3.3-4 ミクロトーム用の替刃で試験体を切断



図 3.3-5 シプロコナゾール抽出用試験片

(4) シプロコナゾールの抽出

予備実験により、メタノールにアンモニア水を添加することによりメタノール単独の場合より抽出効率が高くなることが確認できたことから、アンモニア水含有メタノールを用いてシプロコナゾールを抽出した。

1×1×2cm の保存処理試験体から厚さ 0.5mm 程度かそれ以下となるよう薄片を調製し、その薄片全てを共栓付き試験管に入れた。そこにアンモニア水含有メタノールを 10ml 添加し、16 時間かけシプロコナゾールを抽出した。なお、16 時間の抽出時間の内の 3 時間は、超音波を照射しながらシプロコナゾールを抽出した。

抽出期間終了後、試験管を良く振り抽出液を均一にした後、試験管を静置した。その試験管から上澄み液を抜き取り、シプロコナゾール定量用の試料とした。

(5) シプロコナゾールの定量

シプロコナゾールの定量は、課題担当者らが開発した GC/MS を用いた木材中のシプロコナゾールの定量法に従って実施した。概要は以下の通り。

- ・シプロコナゾール定量用試料の一部を抜き取り、窒素気流下 45℃で乾固
- ・残渣を 50:50(v/v)アセトン／ヘキサンに溶解
- ・上澄み液の一部を抜き取り、窒素気流下 45℃で乾固
- ・残渣をソルビトール 1mg/ml とヘキサコナゾールを含むメタノールに再溶解
- ・メタノール溶液を無水硫酸ナトリウムで脱水
- ・GC/MS で分析

GC/MS 分析条件

装置：島津 GCMS-QP-2010Plus

カラム：Rtx-5 Amine (30m, 0.25-mm i.d., 0.25-μm film thickness)

インジェクション温度：250℃

カラム温度：50℃（1 min） - 30℃/min - 250℃（0 min） - 6℃/min - 274℃（0 min）
 - 30℃/min - 300℃（2 min）

インジェクションモード：スプリットレス（高圧注入）

キャリアガス：ヘリウム

流速：45.0 cm/s

インジェクション量：1μl

イオン源温度：230℃

インターフェース温度：250℃

m/z：222 and 139（シプロコナゾール用）、214 and 83（ヘキサコナゾール用）

3.4 結果と考察

3.4.1 表面処理用木材保存剤の有効成分を用いた検討

表面処理用木材保存剤の有効成分を脱脂スギ木粉に添加し、室温、50℃、80℃の環境に18ヶ月または24ヶ月暴露した後に残存していた各有効成分の残存率(%)を示す。

表 3.4-1 チアメトキサムの残存率（初期値＝100%）

曝露期間（月）		0	18	24
曝露温度	室温	100	6.1	5.9
	50℃	100	5.0	3.3
	80℃	100	2.4	0

表 3.4-2 イミダクロプリドの残存率（初期値＝100%）

曝露期間（月）		0	18	24
曝露温度	室温	100	8.3	6.6
	50℃	100	7.0	5.7
	80℃	100	5.6	2.3

表 3.4-3 ペルメトリンの残存率（初期値＝100%）

曝露期間（月）		0	18	24
曝露温度	室温	100	8.7	8.1
	50℃	100	7.7	7.5
	80℃	100	5.7	4.5

表 3.4-4 エトフェンプロックスの残存率（初期値＝100%）

曝露期間（月）		0	18	24
曝露温度	室温	100	7.1	7.4
	50℃	100	6.1	6.5
	80℃	100	3.4	4.0

表 3.4-5 ビフェントリンの残存率（初期値＝100％）

曝露期間（月）		0	18	24
曝露温度	室温	100	0	0
	50℃	100	0	0
	80℃	100	0	0

表 3.4-6 IPBC の残存率（初期値＝100％）

曝露期間（月）		0	18	24
曝露温度	室温	100	6.6	2.2
	50℃	100	2.1	0
	80℃	100	0	0

表 3.4-7 シプロコナゾールの残存率（初期値＝100％）

曝露期間（月）		0	18	24
曝露温度	室温	100	57	43
	50℃	100	48	40
	80℃	100	28	19

表 3.4-8 F-69 の残存率（初期値＝100％）

曝露期間（月）		0	18	24
曝露温度	室温	100	73	68
	50℃	100	67	62
	80℃	100	55	49

表 3.4-9 テブコナゾールの残存率（初期値＝100％）

曝露期間（月）		0	18	24
曝露温度	室温	100	67	51
	50℃	100	54	43
	80℃	100	49	40

表 3.4-10 プロピコナゾールの残存率（初期値＝100％）

曝露期間（月）		0	18	24
曝露温度	室温	100	52	53
	50℃	100	44	39
	80℃	100	24	21

今回試験した有効成分の中では、ビフェントリンと IPBC の有効成分が比較的速く失われる傾向にあった。また、防蟻成分と防腐成分との比較では、防蟻成分が暴露温度に関わらずいずれも比較的速やかに失われたのに対し、IPBC を除く防腐成分は 80℃に暴露した場合であってもおよそ 20%以上が残存していた。このことは、有効成分の一部が木材成分に吸着するなどして安定化し、揮散・分解が遅れる可能性があることを示唆した。

今回の研究では、暴露温度を高くする促進劣化試験から温度による劣化促進係数を求め、

その係数から床下環境などに薬剤を長期間暴露した際の薬剤残存量を短期間で予測することを目的にしていたが、ここまでの試験結果は、室温環境下においた場合でも有効成分が速やかに失われるという結果—促進試験が必要ないという結果—となった。上市されている木材保存剤は、製剤中に有効成分に加えてその安定化剤等を加えていることから、一般的な木材保存剤ではこのように速やかに薬剤有効成分が減少することはないと考えられるため、表面処理用木材保存剤の長期耐久性を検討する場合は、安定化剤を加え有効成分の耐久性を高めた製剤を用いて実験をしていく必要がある。

3.4.2 加圧処理用木材保存剤を用いた検討

(1) 試験体の調製

昨年度までの研究では、作業液の注入は試験体を作業液に浸し一旦減圧にした後常圧に戻すことで作業液を試験体内に吸収させる方法（減圧注入）をとり、吸収量が平均値に近い試験体を選別して試験に供した。しかしその方法だと、注入量が大きくバラツキ、結果として暴露開始時に試験体に含まれる薬剤量も大きく異なった（図 3.6-1）。また、図 3.6-1 は作業液濃度と注入量とから求めた見かけの吸収量であるため、実際の吸収量と異なる可能性もあった。

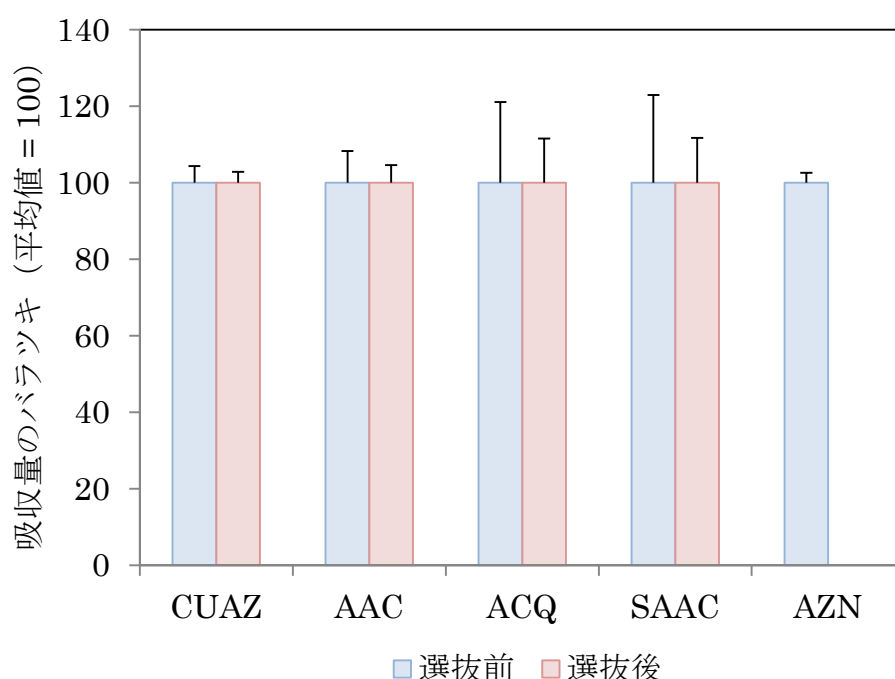


図 3.4-1 減圧注入時の初期吸収量のバラツキ（注入量からの計算値）
誤差棒は変動係数を示す

昨年までの結果から、このように減圧注入した試験体は初期値のバラツキが大きいため、促進暴露後に残存している薬剤量を分析し、温度と残存薬剤量との関係を求めるような精密な実験には適さないことが明らかになってきた。そこで本研究では、減圧後になりゆきで吸収させる方法ではなく一定量を正確に添加する方法として、試験管内に試験体を入れ、

一定量の作業液を吸わせる方法を採用した。この方法を採用することにより、所定量の作業液を 100%試験体に吸収させることが可能となった。

この様にして K2、K3、K4 の性能区分となるよう調製した試験体からそれぞれ 5 個をランダムに選び、その初期濃度を測定した結果を図 3.6-2 に示す。変動係数はいずれも 3% 以下と小さな値となった。

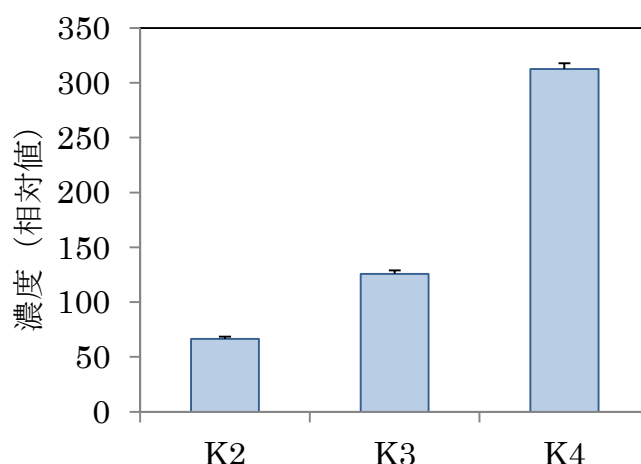


図 3.4-2 今回調製した試験体に含まれたシプロコナゾール量の平均値と標準偏差(実測値)

(2) 抽出方法の検討

昨年度までの研究では JAS の薬剤分析の方法に則り、試験体を木粉にした後、その木粉から薬剤を抽出していた。この方法では、木粉にすることで試料の体積に対する表面積の割合が増えるため、薬剤の抽出効率が上がるものの、木粉にする際のロスが避けられないため、分析精度の低下に繋がる懸念があった。そこで本年度の研究では試験体から全ての薬剤を抽出することを目指し、木粉にする代わりに薄片を作製し、そこから薬剤を抽出する方法を採用した。具体的には、 $10 \times 10 \times 20\text{mm}$ の試験体の木口面から繊維方向に 20 枚程度の薄片に分割し、それらを全て抽出用溶媒に浸した。また、予備実験により JAS が規定するシプロコナゾール抽出溶媒ではシプロコナゾールの抽出効率が若干低いことが確認できたため、本年度の研究では抽出効率を上げる目的で抽出溶媒の検討をおこない、これまでより 2 割程度高い回収率とすることができた。

(3) 促進劣化試験の結果

前年度までの実験では、木粉にシプロコナゾールを添加した場合には 20°C 、 50°C 、 80°C に暴露した試験体中のシプロコナゾール残存率が明瞭に異なっていた (図 3.4-3) が、木材にシプロコナゾールを有効成分に持つ CUAZ を注入した試験体ではその様な関係が確認できなかった (図 3.4-4)。しかし、今回精密な実験をおこなった結果、木材に注入した場合でもシプロコナゾール残存率が暴露温度によって異なり、温度が高いほど消失速度が速いことが明らかになった (図 3.4-5)。

最終的な結論を得るためにはより長い暴露時間を経た後の結果を観察する必要があるが、ここまでの結果は、シプロコナゾールの長期耐久性についても、この実験を継続することにより短期間で予測できることを示唆した。

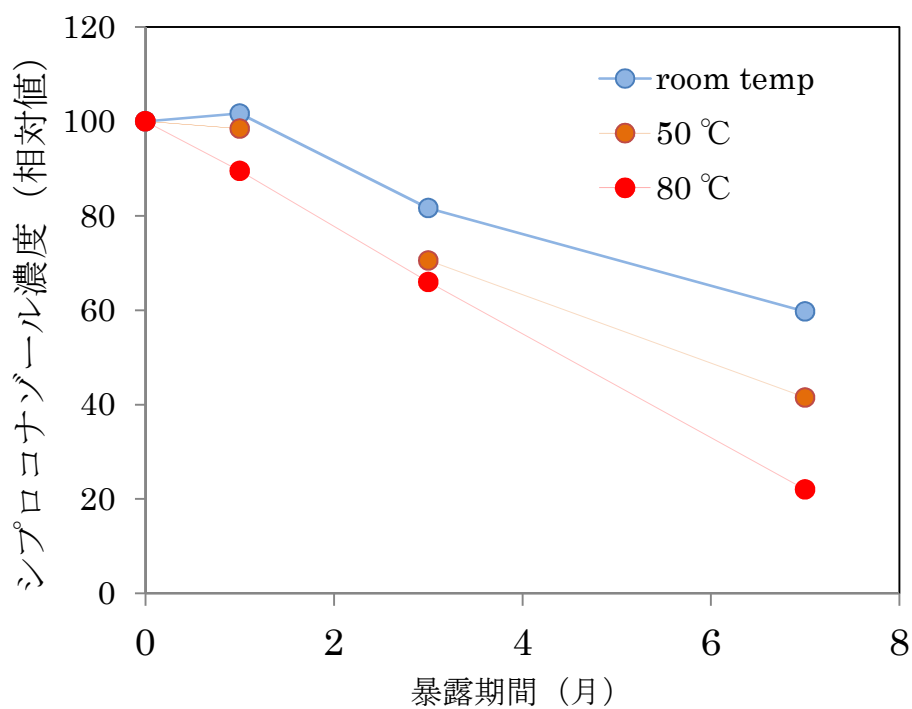


図 3.4-3 シプロコナゾール標品を添加した木粉を促進劣化試験に供した際の残存シプロコナゾール量

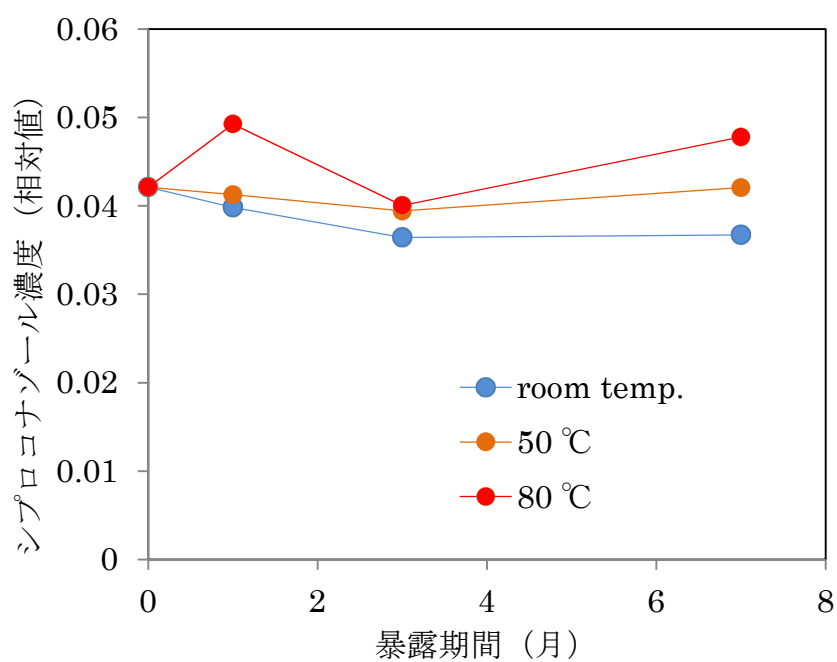


図 3.4-4 シプロコナゾールを含む薬剤を既存の方法で注入した処理した試験体を促進劣化試験に供した際の残存シプロコナゾール量

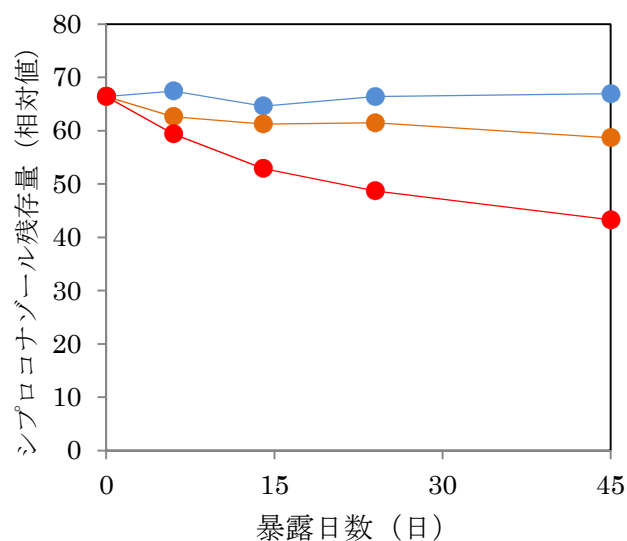


図 3.4-5 シプロコナゾールを含む薬剤を既存の方法で注入した処理した試験体を促進劣化試験に供した際の残存シプロコナゾール量

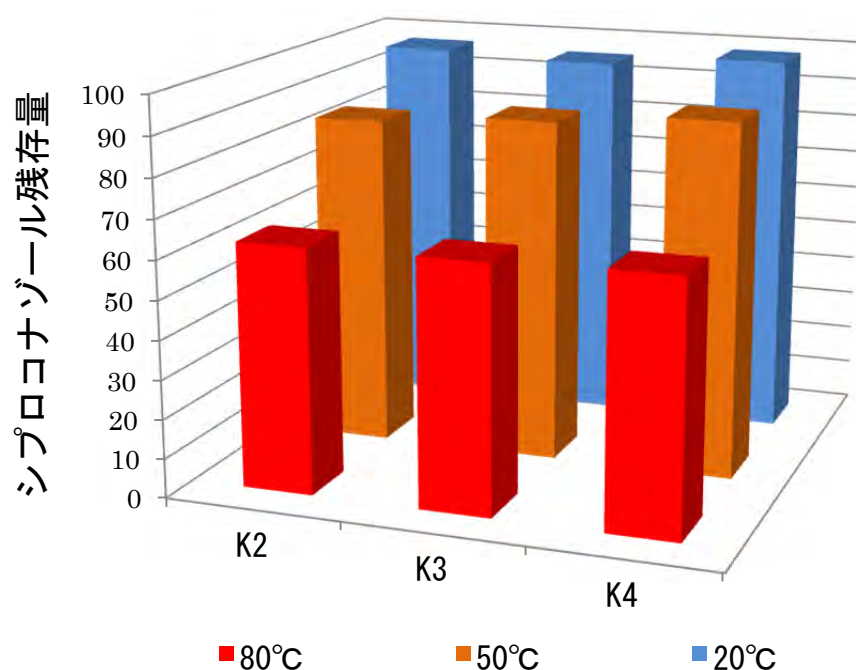


図 3.4-6 保存処理の性能区分とシプロコナゾール残存量との関係

また、今回の実験では、保存処理の区分 K2、K3、K4 に相当する試験体を調製し、それぞれについて促進劣化試験を実施した。薬剤有効成分量が 4 倍程度異なる K2 と K4 の性能区分に属する試験体を促進劣化試験に供した際に、両者の有効成分残存量が同じように減少していくのか、異なる速さで減少していくのか、興味を持たれたが、実験の結果、初期の有効成分量に関わらず、ほぼ同じような傾向で有効成分が減少していくことが分かった。

3.5 結果のまとめ

(1) 薬剤による違い

今回の実験では、表面処理用木材保存剤の有効成分標品を木粉に添加し各種温度に暴露する方法と、加圧処理用木材保存剤を1×1×2cmの試験体に注入した後各種温度に暴露する方法とを用いて促進暴露をおこなった。これらの暴露方法間の違いを確認する目的で、両方法に暴露したシプロコナゾールおよびイミダクロプリドの減少率を確認したところ、有効成分を木粉に添加して暴露した場合には80℃、20ヶ月の暴露で残存量が2.3%および19%へと減少したのに対し、注入処理した試験体では試験機関によって結果に違いがあるものの、いずれの試験機関・薬剤であっても40%以上の残存率 (data not shown) を示した。

この理由として、表面積が広い木粉の形状で暴露するよりも、表面積の小さい試験体の形状で暴露した方が、薬剤の減少速度が遅くなる可能性が考えられる。また、加圧注入処理用木材保存剤に両薬剤の安定化剤が含まれている可能性もある。

今回の研究で木材保存剤の有効成分のみでは速やかに薬剤が失われることが明らかになったことから、今後の実験では安定化剤を含む状態で耐久性試験を実施する必要がある。

(2) 暴露温度と減少速度

薬剤有効成分の種類によって異なるものの、暴露期間中に減少していった有効成分については、暴露温度が高くなるに従って残存率が小さくなる傾向にあった。しかし、同じ温度に暴露した有効成分残存率が暴露期間が増加すると増加する場合が認められるなど、暴露期間と薬剤残存率との適切な関係式を構築するには問題が多い場合もあった。また、速度常数が求められた場合であっても、その値をアレニウス式に代入した際に直線関係が認められないものが多かった。

今後、暴露期間が長くなるに従って薬剤残存率が必ず低下するような非常に高い精度で実験・測定をおこなうと共に、有効成分の減少傾向をシミュレートするモデル式を構築する必要がある。

(3) 薬剤の種類と耐久性

加圧処理用木材保存剤を添加した試験片を用いた研究から、有効成分は、銅などの高温でも安定で長期の耐用が期待できる成分と高温や中温に暴露することで徐々に失われていく成分、例えば第四級アンモニウム化合物系やシプロコナゾール・イミダクロプリドなどに分けられた。

また、暴露によって有効成分残存率が低下していく場合であっても、暴露所期に速やかに残存率が低下するものの、途中からは80℃に暴露した場合でも残存率低下速度が非常に遅くなる場合があった。このような挙動を示す有効成分は、銅ほどの安定はないものの、初期濃度を高めるといった工夫をすることで、長期にわたって適切な防腐・防蟻性能を発揮できる可能性が示唆された。

第4章 耐久性向上措置としての新構（工）法の健全度に関する検討 （劣化対策（新構法）TG）

4.1 目的

耐久性分科会における劣化対策検討（新工法）TGにおいては、住宅性能表示制度の導入等により耐久性向上措置として採用されている新たな構（工）法（外断熱、高気密・高断熱、ベタ基礎、床下・小屋裏換気、壁体通気、金物等）に関する実態調査結果等を収集・整理することにより、これら構（工）法等の耐久性能に関する健全度を検証し、長期優良住宅に要求される耐久性能を向上させるための措置等について検討することを目的としている。

4.2 調査方法等

4.2.1 平成26年度の成果について

本年度は、平成25年度に作成した事故事例原因チェックシートを基にした「耐久性を向上させるための措置等に関する情報（事故事例等を基にした劣化原因と劣化を防止するための設計・施工上の対策）（案）」の検討を継続実施するとともに、対策案を作成し、平成12年に公布された住宅性能評価制度において耐久性向上措置として取り上げられている新たな構（工）法等が長期優良住宅に要求される耐久性能を向上させるための措置等として適用可能かどうかを評価・検証した。

4.2.2 耐久性を向上させるための措置等に関する情報（案）について

本資料は、新構（工）法に関連する7項目の事故例を取り上げ、そこで発生している生物劣化等の原因とそれを防止する設計・施工上の対策等について、現状での知見等をまとめたものである。なお、8項目の事例として、現状で事故例が多い太陽光パネルの設置による小屋組み等の劣化に関しても参考資料にその詳細をまとめた。また、本資料を作成する際に、適用可能と思われる劣化原因等の診断をより確実に実施するための一つの手法として劣化原因の「故障の木解析（FTA：Fault Tree Analysis）による分析を、平成24年度に検討した事故事例原因チェックシートを基に実施した。

本資料の構成は、第1章では実際に発生事例の多い事故例をFTA図と実際の写真等により説明し、第2章では第1章で挙げられた劣化の原因と考えられる事象を防止するための設計・施工上の対策についてまとめられている。さらに、参考資料として劣化現象や劣化の防止に関する詳細な情報を解説してある。

なお、本資料においては、本TGで対象とした新構（工）法の事故事例調査等の結果から、設計よりも施工上の問題点が多く散見され、特に建築防水に関連する項目の多いことが看取されたことから、新構（工）法を新たに提案するというよりは、対象とする新構（工）法の施工及び施工監理上の注意点等をも含めてそのポイントをまとめることで事故の発生を減少させることが可能であり、長期優良住宅認定基準等で示されている耐久性を確保するための新構（工）法等は、基本的に変更する必要はないものと考えられた。そこで、本資料においては、従来からの設計・施工マニュアル等で扱われている設計・施工上の注意点等の他、本TGにおいて検討された新たな項目を含めて記載することとした。

次項以降に、「耐久性を向上させるための措置等に関する情報（案）」を示す。

耐久性を向上させるための措置等に関する情報 (案)

平成 27 年 3 月

劣化対策（新構法）TG

目 次

1. はじめに
2. 事故例を基にした劣化原因と防止するための設計・施工上の対策
 - 2.1 ベタ基礎＋外壁通気仕様における 1 階床組、床板でのカビ、腐朽発生の原因と対策
 - (1) 劣化原因の FTA 分析
 - A. 構法の概要
 - B. 劣化の概要
 - C. 劣化原因の分析
 - (2) 劣化を防止するための設計・施工
 - 1) 使用する木材等の品質
 - 2) 設備配管等の不具合防止措置
 - 3) 地下水の侵入防止、床下水分の適正な排除
 - 4) 適切な工程
 - 2.2 ベタ基礎外周からのシロアリ侵入及び木部シロアリ被害発生の原因と対策
 - (1) 劣化原因の FTA 分析
 - A. 構法の概要
 - B. 劣化の概要
 - C. 劣化原因の分析
 - (2) 劣化を防止するための設計・施工
 - 1) 使用する木材等の品質など
 - 2) ベタ基礎の乾燥
 - 3) 換気口の位置・容量
 - 4) 基礎工事（配筋、コンクリートの調合・打設、施工監理）
 - 5) 基礎打継部の工事（コンクリート工事、打継部、水抜き穴、基礎貫通孔、施工監理）
 - 2.3 外壁通気構法におけるカビ・腐朽の発生の原因と対策
 - (1) 劣化原因の FTA 分析
 - A. 構法の概要
 - B. 劣化の概要
 - C. 劣化原因の分析
 - (2) 劣化を防止するための設計・施工
 - 1) 使用する木材等の品質など
 - 2) 外壁仕上げ材料
 - 3) 外壁目地シール
 - 4) 開口部周りの防水
 - 5) 土台水切り
 - 6) 通気胴縁

7) 通気層（施工、監理）

2.4 高気密住宅の間仕切り壁内部における蟻害・腐朽発生の原因と対策

（１）劣化原因の FTA 分析

- A. 構法の概要
- B. 劣化の概要
- C. 劣化原因の分析

（２）劣化を防止するための設計・施工

- 1) 使用する木材等の品質など
- 2) 漏気・気流抜け防止措置（設計・施工）
- 3) 防水材料の品質
- 4) 結露防止対策（床下、間仕切壁等の設計・施工）
- 5) ヒートブリッジ対策（設計・施工）

2.5 基礎外張断熱工法における生物劣化発生の原因と対策

（１）劣化原因の FTA 分析

- A. 構法の概要
- B. 劣化の概要
- C. 劣化原因の分析

（２）劣化を防止するための設計・施工

- 1) 木部・断熱材の防腐・防蟻
- 2) 基礎周辺の断熱施工（設計・施工）
- 3) 基礎部分の防水
- 4) 床下点検口等

2.6 バリアフリー住宅における玄関框、床組材を中心とした生物劣化発生の原因と対策

（１）劣化原因の FTA 分析

- A. 構法の概要
- B. 劣化の概要
- C. 劣化原因の分析

（２）劣化を防止するための設計・施工

- 1) 玄関框・床組の防腐・防蟻
- 2) 玄関・床土壌の防蟻
- 3) 基礎内部土壌の防蟻
- 4) 玄関框・床組の結露
- 5) 玄関の清掃と維持管理

2.7 通気工法によるルーフバルコニーにおける生物劣化発生の原因と対策

（１）劣化原因の FTA 分析

- A. 構法の概要

B. 劣化の概要

C. 劣化原因の分析

(2) 劣化を防止するための設計・施工

- 1) バルコニーと建物との取り合い（設計、防水、施工）
- 2) 笠木（金物、防水）
- 3) バルコニーと外壁通気（設計、施工）
- 4) バルコニーの通気（設計、施工）

参考資料

木造住宅の耐久性向上措置等に関する詳細情報

1. ベタ基礎＋外壁通気仕様における1階床組、床板でのカビ、腐朽の発生
2. ベタ基礎外周からのシロアリ侵入及び木部シロアリ被害の発生
3. 外壁通気構法におけるカビ・腐朽の発生
4. 高気密住宅の間仕切り壁内部における蟻害・腐朽の発生
5. 基礎外張断熱工法における生物劣化の発生
6. バリアフリー住宅における玄関框、床組材を中心とした生物劣化の発生
7. 通気工法によるルーフバルコニーにおける生物劣化の発生
8. 太陽光パネルの設置による小屋組みの生物劣化の発生

1. はじめに

耐久性分科会における劣化対策検討（新工法）TG においては、平成 12 年に公布された住宅性能表示制度の導入等により耐久性向上措置として採用されている新たな構（工）法（外断熱、高气密・高断熱、ベタ基礎、床下・小屋裏換気、壁体通気、金物等）に関する実態調査結果等を収集・整理することにより、これら構（工）法等の耐久性に関する健全度を検証し、長期優良住宅に要求される耐久性能を向上させるための措置等としての適用性について検討することを目的とした。

そこで、本 TG では、平成 21 年度から平成 23 年度までに耐久性向上措置として採用された新たな構（工）法に関する事故調査事例の調査を実施し、その結果を基に平成 25 年度に作成した事故事例原因チェックシートを作成し、さらに「耐久性を向上させるための措置等に関する情報（事故事例等を基にした劣化原因と劣化を防止するための設計・施工上の対策）（案）」として検討を行い、耐久性を向上させるための対策案等を作成したものである。

本資料では、新構（工）法に関連する 7 項目の事故例を取り上げ、そこで発生している生物劣化等の原因とそれを防止する設計・施工上の対策等について、現状での知見等をまとめたものである。なお、8 項目の事例として、現状で事故例が多い太陽光パネルの設置による小屋組み等の劣化に関しても参考資料にその詳細をまとめた。また、劣化原因等の診断に関しては、診断をより確実に実施するための一つの手法として劣化原因の「故障の木解析 (FTA: Fault Tree Analysis)」による分析を適用した。

本資料の構成は、第 1 章で実際に発生事例の多い事故例を FTA 図と実際の写真等により説明し、第 2 章では第 1 章で挙げられた劣化の原因と考えられる事象を防止するための設計・施工上の対策についてまとめられている。さらに、設計・施工上の対策等を補完するものとして、参考資料において劣化現象や劣化を防止するための詳細な情報について解説した。

2. 事故例を基にした劣化原因と防止するための設計・施工上の対策

2.1 ベタ基礎+外壁通気仕様における1階床組、床板でのカビ・腐朽発生の原因と対策

(1) 劣化原因のFTA分析

A. 構法の概要

ベタ基礎と外壁通気構法は、いずれも木造住宅の耐久性を向上させるうえで有効な方法と考えられている。このうち、ベタ基礎は建物の1階床下全面に鉄筋を入れたコンクリートで覆うものであり、地耐力が小さい地盤でも建物上部荷重を的確に地盤に伝達可能な基礎構法として用いられるばかりでなく、地盤面をひび割れの入りにくい鉄筋入りのコンクリートで覆うことからヤマトシロアリやイエシロアリのような地下シロアリの建物内への侵入を物理的に防ぎうる防蟻構法としても期待されている。一方、外壁通気構法は外部から壁内に侵入した雨水や室内側から壁内に侵入した湿気（水蒸気）を、外壁内に設けた厚さ15mm前後の通気層から排出させようとするものであり、これによって木造躯体への雨掛かりや壁内結露を防いで壁構造体の耐久性を確保しようとするものである。

B. 劣化の概要

ここで取り上げたベタ基礎と外壁通気仕様における劣化事例は、1階床組および床板でカビや腐朽が発生した事例である（写真1～3参照）。これは建設工事中あるいは竣工後間もない段階で、1階床組み材や1階床板にカビが発生し、著しい場合には初期段階の腐朽に至る被害が発生するものである。木部にカビや腐朽が発生するには、何らかの形で水分・湿分が木部に持続的に供給される環境が形成されることが前提となる。



写真1 換気口が閉塞状態で床下にカビと結露が発生



写真2 床下地板の結露とカビ



写真3 工事中における床下湿潤によるカビの発錆

C. 劣化原因の分析

ベタ基礎+外壁通気仕様における1階床組、床板でのカビ・腐朽発生の原因をFTA分析し、その結果を図にまとめれば、図1のとおりである。

直接的なカビや腐朽発生の原因として考えられるものは水分および湿分の作用である。何らかの理由から1階床を構成する木部に水分・湿分が供給され、その環境が一定期間以上にわたって維持された結果と考えられる。その原因として考えられるものには、①未乾燥材の使用、②床上空間からの漏水、③床下空間からの水分・湿分の供給がある。

まず①については、現場へ搬入される木材の含水率がチェックされずに未乾燥材が使用された場合には早期のカビの発生が起こりうる。現場における検品体制および資材管理体制に改善すべ

き点があると考えられる。つづいて②については、建物使用中における水回り設備配管類からの漏水あるいは結露が原因となり得る。配管と末端機器あるいは配管同士の接合部からの漏水、配管表面における結露発生の有無などを確認する必要がある。もっとも考えられる原因としては③があるが、これには大きく分けてベタ基礎本体からの湿気の供給と、ベタ基礎外部からの水分・湿気の供給があり得る。このうち前者に

ついては、(i) ベタ基礎の乾燥期間を十分にとらずに床を塞いで基礎コンクリートからの蒸発水分を

1 階床下外部に逃がしきれなかったこと、(ii) 乾燥期間は十分とったつもりであるが換気措置が不十分で効率的な放湿ができていなかったことなどが考えられる。また後者については、敷地地盤の地下水位が高くベタ基礎内部に地下水が基礎コンクリートを通して浸入したことが考えられるが、この発生頻度は低いと思われる。さらに突き詰めると、③の(i)の発生原因としては、無理な工期の設定や工事監理者・管理者にベタ基礎を乾燥させることの重要性について認識が不足していたことがあり得る。また、(ii)の発生原因としては、ベタ基礎に設けた換気口が何らかの原因(外壁を通気構法とするために施工した透湿防水シートや防雨用の養生シートが換気口を塞ぐことなど)で閉鎖されることや、換気口自体の位置や換気容量が不良なことが考えられる。

なお、この FT 図から読み取れる設計上の留意点、施工上の留意点をまとめれば、以下のとおりである。

設計上の留意点

- ①ベタ基礎からの水分蒸発があることを認識すること。
- ②水分が十分に蒸発する期間を工程計画に盛り込むこと。
- ③工程計画で対応できない場合は、床板をはった後でも水分が逃げられるよう設計上の工夫をすること。
- ④ベタ基礎換気口の位置不良・容量不足に注意すること。

施工上の留意点

- ①未乾燥材は検品ではねること。
- ②設備配管類の接合部からの水もれに注意すること。
- ③透湿防水シートあるいは防雨用の養生シートなどが、基礎換気口を塞がないように注意すること。

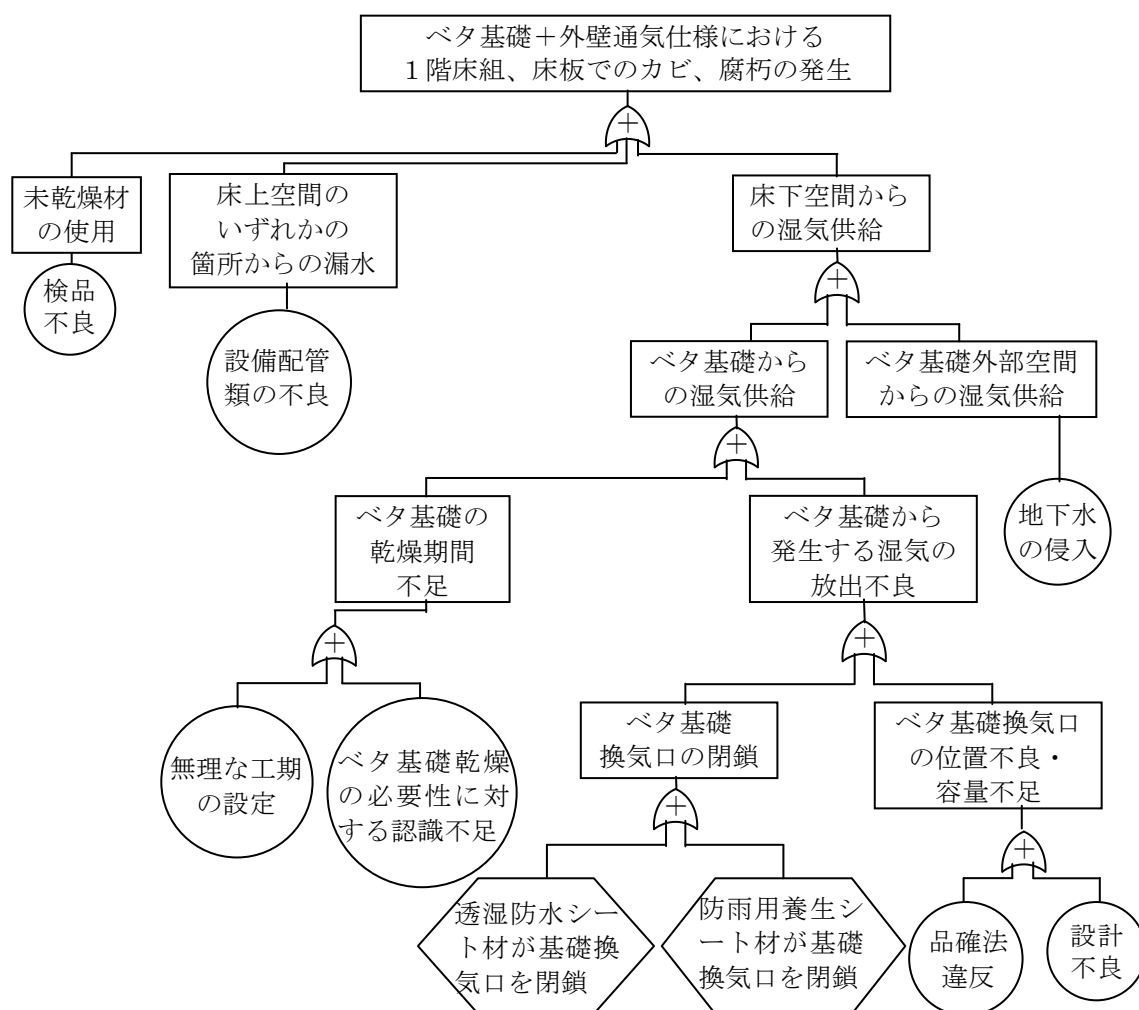


図1 ベタ基礎＋外壁通気仕様における1階床組、床板でのカビ、腐朽発生の FT 図

(+) 下に来るいずれかの事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (OR ゲート)

(●) 下に来る全ての事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (AND ゲート)

(2) 劣化を防止するための設計・施工

1) 使用する木材等の品質など

- ① K 3 保存処理材
- ② 耐久性の高い樹種 (D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材)
- ③ D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材
- ④ 工場及び現場での保存処理では、切欠き部の処理を必ず行う。

2) 設備配管等の不具合防止措置

- ① 床下の設備配管の破損や接合部等からの漏水を防止する。

3) 地下水の浸入防止、床下水分の適正な排除

- ① 基礎外面等の外部養生材を使用する場合はスリット換気孔を塞がない。
- ② 工事中の床養生材や外壁防水シート、足場シートなどを足元まで垂下げる場合は建物脚部外周の換気を阻害しないように下部を開放する。
- ③ ベタ基礎＋床板直張り方式等一階床をプラットフォームとして施工する場合、工事中は排

湿措置として床面の一部(床板や床下点検口等)を開放し換気を促進する。また、厳寒期の屋内作業中は内外の温度差に配慮して適切に換気措置を講じる。

④コンクリート打設後 20 日～30 日間は旺盛な水分放出($1\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$)があるため、これを排出できるよう工期を確保する。

⑤基礎の打継部に残置された型枠金物等や水抜き貫通孔を閉塞する。

⑥外周基礎の打放し面に接して犬走り等の土間を設ける場合は剥離を防ぐ措置(配筋緊結等)をとるか若しくは隔離して仕上げを地盤面下まで施す。

⑦コンクリート型枠の組み立てにはコーンセパレーターを適切に使用する。

4) 適切な工程

①水切りの取付けは外壁や床面養生並びに透湿シート張りより先行させる。

2.2 ベタ基礎外周からのシロアリ侵入及び木部シロアリ被害発生の原因と対策

(1) 劣化原因の FTA 分析

A. 構法の概要

長期優良住宅の「地盤」に対する認定基準として、地盤を鉄筋コンクリート造のベタ基礎で覆うことにより防蟻対策として有効な方法に認定されることになっている。これは薬剤を土壌に処理する方法が化学的措置であるのに対して、シロアリが上がってくる地盤をひび割れの入りにくい鉄筋コンクリート造ベタ基礎で覆うという物理的な措置といえる。同様の効果を有する基礎構法として、鉄筋により一体化された布基礎と土間コンクリートの組み合わせも認められている。いずれも地盤面からの水分の上昇を抑えるとともに、シロアリの地下からの建物内への侵入を防ぐことができるものとして評価されている。

B. 劣化の概要

これらの物理的防蟻措置としての基礎構法にシロアリ侵入の事例が多く報告されている。写真 4 から写真 6 に、この構法によるシロアリ被害例を示す。基礎外周のコンクリート打ち継ぎ目地や、水抜き穴などのわずかな隙間からシロアリが侵入して蟻道を基礎立ち上がり部側面に構築し、その後、木部に到達して被害を与えている。鉄筋コンクリートで床下全面を覆っているので安心して点検がおろそかになり、気が付いたときには被害が拡大していることがよく見られる。



写真4 基礎底版と立ち上がり部の隙間からシロアリが侵入し蟻道を構築



写真5 コンクリート打設時に立ち上がり部型枠を固定するための金具の隙間から侵入した例



写真6 侵入したシロアリによって被害を受けた玄関框材

C. 劣化原因の分析

ベタ基礎外周からのシロアリ侵入及び木部シロアリ被害発生の原因を FTA 分析し、その結果を図にまとめれば、図 2 のとおりである。

基礎・床下を鉄筋コンクリートで覆ったにもかかわらず建物内にシロアリが侵入するには、以下の 4 通りの原因が考えられる。

- ①基礎底盤のひび割れからの侵入
- ②底盤と立ち上がり部の打継部からの侵入
- ③水抜き穴からの侵入
- ④基礎貫通孔からの侵入

一般にシロアリは 0.6 から 0.7mm の隙間があれば、通過可能と考えられており、上記の各部位にそれ以上の隙間が生じていれば、いずれも侵入を許してしまうことになる。①は基礎底版部にひび割れが入る場合であるが、その原因としては配筋の不良、コンクリート調合不良、コンクリート打設不良などの施工不良のほかに、それらの基礎工事不良を生んだ施工管理に問題があっ

たことなどが考えられる。②はよくあるケースで、ベタ基礎を底版部と立ち上がり部を分けてコンクリート打ちすることから来る問題である。すなわち、底版を構築したあと、立ち上がり部にコンクリートを打つにあたって型枠を組むことになるが、その型枠を固定するための金具痕が隙間として残留しているとそこからのシロアリの侵入をゆるすことになりがちである。また打継部が地盤面より低くシロアリの侵入が発見しにくいことも原因の一つとなるので注意が必要である。

③はベタ基礎内部に施工中に雨水などが溜まった場合、それを外部に排水するために設けた水抜き穴からシロアリが侵入するケースである。一般には、水抜き穴は工事完了後はモルタルなどで塞ぐのが原則であるが、これを忘れるとシロアリの侵入を許すことがある。また、④は基礎には例えば、給排水管やガス管など様々な設備配管部などの貫通部ができるが、その貫通部の周りにはコンクリートの収縮などで、ごくわずかな隙間が生まれる。それが 0.7mm 以上あればシロアリの侵入を許すことになる。そのような箇所は、防蟻性のあるコーキング材で塞ぐなどの設計・施工上の工夫をする必要がある。

なお、この FT 図から読み取れる設計上の留意点、施工上の留意点をまとめれば、以下のとおりである。

設計上の留意点

- ①ベタ基礎の適切な配筋、コンクリート品質の確保、打設作業のしやすい基礎形状の設計などに注意すること。
- ②基礎底版が地盤面より上に来るように設計すること。
- ③基礎貫通孔まわりの防蟻措置を取り入れること。
- ④ベタ基礎貫通孔が地盤面より上に来るように設計すること。

施工上、工事管理上の留意点

- ①ベタ基礎の適切な配筋、コンクリート品質の確保、打設作業のしやすい基礎形状の施工および管理に注意すること。
- ②基礎底版が地盤面より上に来るように施工および管理すること。
- ③基礎貫通孔まわりの防蟻処理を適切に施工および管理すること。
- ④ベタ基礎貫通孔が地盤面より上に来るように施工および管理すること

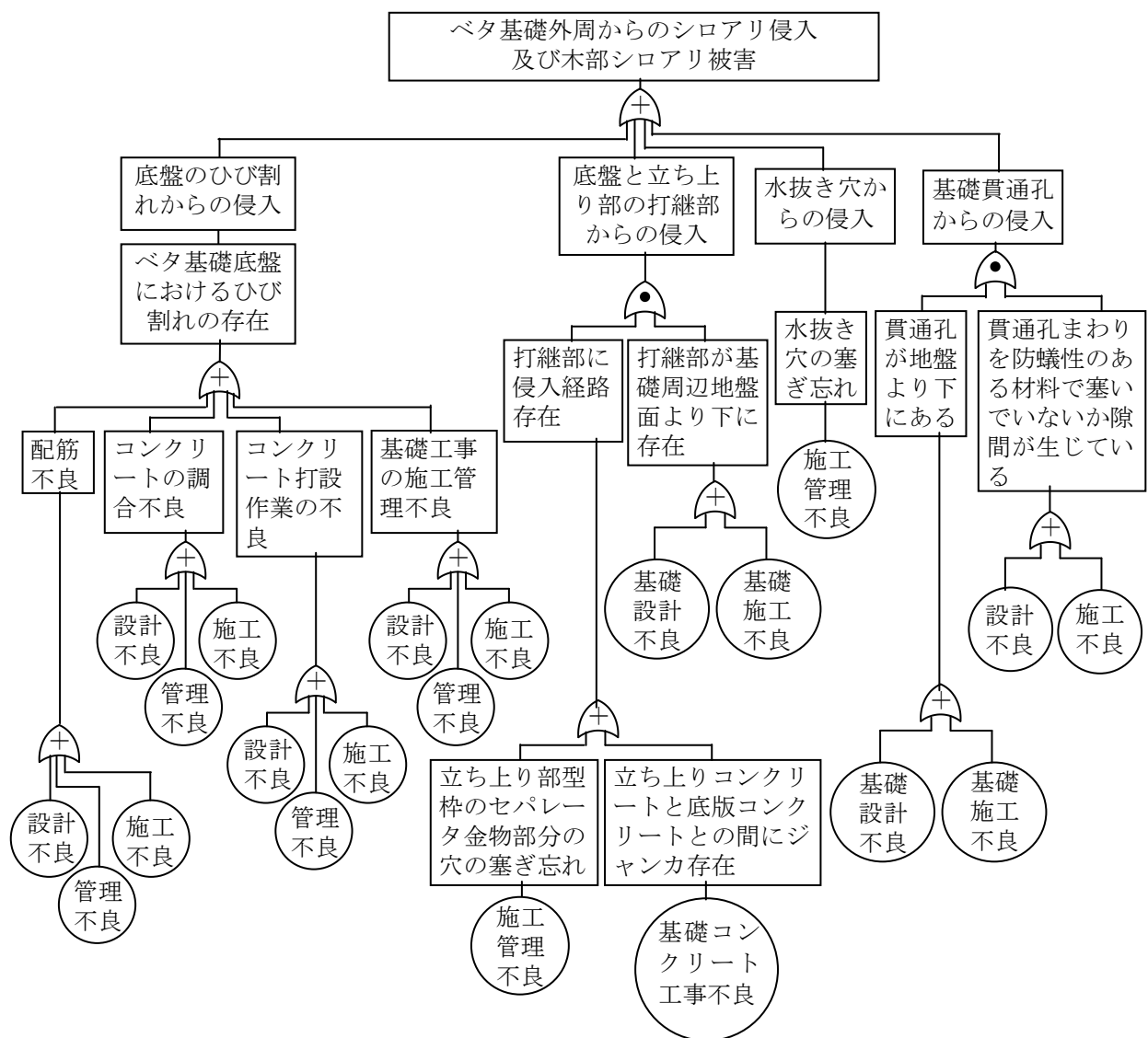


図2 ベタ基礎外周からのシロアリ侵入および木部シロアリ被害発生 の FT 図

⊕ 下に来るいずれかの事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (OR ゲート)

⊙ 下に来る全ての事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (AND ゲート)

(2) 劣化を防止するための設計・施工

1) 使用する木材等の品質など

- ① K 3 保存処理材
- ② 耐久性の高い樹種 (D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材)
- ③ D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材
- ④ 工場及び現場での保存処理では、切欠き部の処理を必ず行う。

2) ベタ基礎の乾燥

- ① コンクリート由来の水分を乾燥・除去後の床張り工事

3) 換気口の位置・容量

- ①床下に結露を生じないようにする適正な換気口の配置
- 4) 基礎工事（配筋、コンクリートの調合・打設、施工監理）
- ①ベタ基礎打継部にセパレーターを使わず、半セパ金物と止水板を打込み貫通孔を無くす。
- ②土間(底盤)コンクリート打設の堰型枠に高さ75 cmの外型枠を使用する。
- ③外型枠は立上りコンクリートの打設完了まで残置使用する。
- ④外周基礎の内型枠の土間天端に使用するセパレーター金物には、半セパ金物を設置する。
(止むを得ず使用する際は施工後に空隙を充填処理する。)
- ⑤外周基礎の化粧モルタルは全て基準地盤面以下まで塗り下げる。(土砂が被る場合も同じ。)
- ⑥外周基礎に接して設ける犬走りやポーチ土間などは差筋を施すか、切離し絶縁する。
- ⑦基礎天端より高くポーチ土間を設置する場合は基礎外周部との間に止水・防蟻に有効な措置を講じる。
- ⑧基礎に打設されるコンクリートの混練は、プラント出しの場合は1時間以内を厳守する。
- ⑨バイブレーターを適正に使用する。
- 5) 基礎打継部の工事（コンクリート工事、打継部、水抜き穴、基礎貫通孔、施工監理）
- ①外周の土間と立上りの打継部に止水材を打込み、シロアリの遡行や浸水を防御する。
- ②外周の土間と立上り打継部の外側を低くした段型打継とし、シロアリの遡行や雨水の浸水を防御する。
- ③基礎外周の打放し面の貫通箇所(設備管・型枠用巾止金物・水抜き穴・打設斑のジャンカ等)はシロアリの侵入経路になるので、防蟻措置を施す。
- ④布基礎の底盤と立上り部の打継部分からもシロアリが侵入し遡上するので床下の防湿コンクリート土間は基礎と配筋で一体化する。
- 6) 基礎コンクリートに埋設される設備配管用の鞘管と挿入管
- ①鞘管と挿入される設備管の隙間にシロアリが侵入できない様充填処理を施す。
- ②設備配管に防蝕被覆等処理してコンクリートに直接埋設してはならない。

2.3 外壁通気構法におけるカビ・腐朽の発生の原因と対策

(1) 劣化原因の FTA 分析

A. 構法の概要

外壁通気構法は、外壁の外部仕上り層と躯体層の間に通気層を設けた壁構造であり、この通気層によって外部から侵入してきた雨水を躯体木部に作用させることなく排水するとともに、室内側から侵入した湿気を温度差や風圧を利用して外部に速やかに排出して壁内結露の発生を抑えることを目的とした構法である。大壁構法が一般化していて、外壁躯体が密閉される現代構法においては、この通気構法は軸組躯体の耐久性を維持する上で、重要なものとなっている。特に省エネルギーを目指して高気密高断熱な構法が普及しつつあるが、これらの構法は湿気が壁内に侵入すると結露となり、建物にカビの発生や腐朽などを発生させるなど害となることがあるので、外壁に通気層を設けることが必須となる。

B. 劣化の概要

外壁通気構法は正しく設計し施工されれば、軸組躯体の耐久性を維持するものであるが、防水措置に不良があり過度の雨水侵入を許したり、あるいは通気層が機能せずに壁体内結露が発生すると、写真7から写真9のように木部の劣化を招くことがある。写真7および写真8は、軸組躯体まわりに生じた結露が原因で発生した腐朽被害の例である。また、写真9は、外壁下地合板（面材耐力壁）の腐朽を示している。



写真7 通気層内への雨水侵入による躯体の腐朽



写真8 通気層内への雨水侵入によって発生した腐朽菌菌糸



写真9 通気層内への雨水侵入による合板の腐朽

C. 劣化原因の分析

外壁通気構法におけるカビ・腐朽の発生の原因を FTA 分析し、その結果を図にまとめれば、図3のとおりである。

外壁通気構法の建物で軸組躯体に腐朽が生じる第一義的原因としては、以下の4つが考えられる。

- ①構造材に未乾燥材を使っていること
- ②どこかの箇所から雨水が壁体内へ侵入していること
- ③通気層内で多量の結露が発生していること
- ④壁体内で結露が発生していること

通気構法を採用する場合は乾燥材を使うのが原則であるから、①は本来あってはならない問題

であり、現場における検品体制に不備があったことが考えられる。現場資材管理の問題である。
②が発生する原因としては、外壁仕上げ材自体あるいは目地防水不良のほか、外壁開口部まわりの防水不良、そして土台水切りの取り付け不良などが考えられる。③は通気層に外気が導入されない構造となっている場合に発生しやすくなり、具体的には通気胴縁施工不良による通気層の閉鎖や、外壁仕上げ材による通気層下部の閉鎖などが原因として考えられる。また④は、防露設計がそもそも間違っていて壁体内に侵入した湿気が抜けにくい層構成となっていたり、室内側の防湿シートの施工が不良で湿気が壁内に多量に侵入することなどが原因として挙げられる。

なお、この FT 図から読み取れる設計上の留意点、施工上の留意点をまとめれば、以下のとおりである。

設計上の留意点

- ①未乾燥材を使用しないように検品に注意すること。
- ②水密性の低い、あるいは吸水率の高い外壁材を選定しないよう注意すること。
- ③外壁の防露設計を適切に行うこと。

施工上、工事管理上の留意点

- ①外壁目地シールなどの施工、工事管理を適切に行うこと。
- ②開口部まわりの防水テープ施工は丁寧に行うこと。また、その結果をチェックすること。
- ③通気胴縁が通気層を塞がないように施工し、その適正さを管理すること。
- ④通気層の上部（排気口）と下部（吸気口）を設計どおりの寸法で確保するように注意すること。
- ⑤室内側防湿シートは、隙間、破れなどの内容に丁寧に施工すること。また、その結果を管理すること。

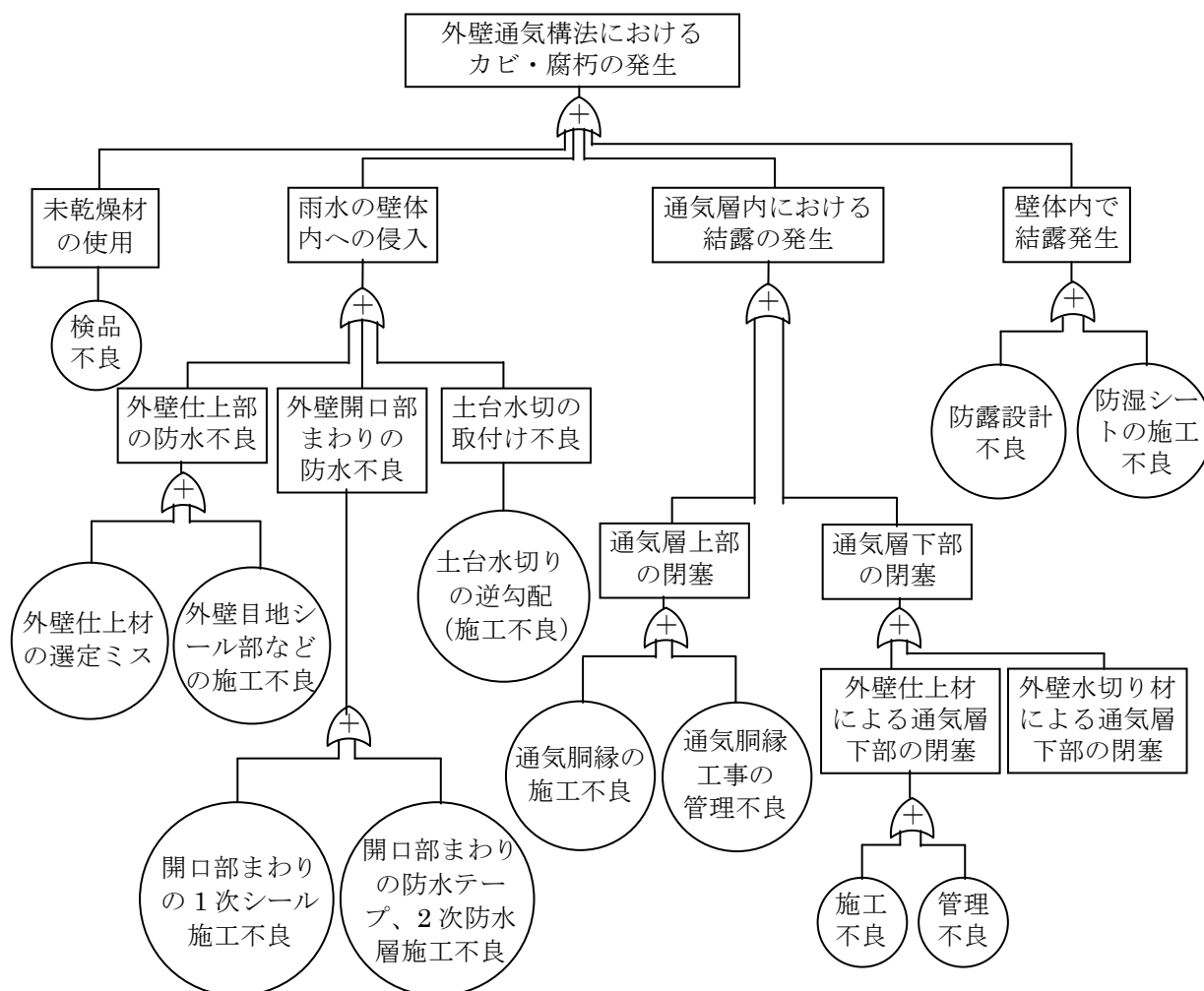


図3 外壁通気構法におけるカビ・腐朽発生 の FT 図

(+) 下に来るいずれかの事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (OR ゲート)

(●) 下に来る全ての事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (AND ゲート)

(2) 劣化を防止するための設計・施工

1) 使用する木材等の品質など

- ① K 3 保存処理材
- ② 耐久性の高い樹種 (D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材)
- ③ D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材
- ④ 工場及び現場での保存処理では、切欠き部の処理を必ず行う。

2) 外壁仕上げ材料

- ① 外装材は吸水性の低い凍結融解に優れている材料を選択する。
- ② 建築金物の熱橋部には断熱措置を講じる。
- ③ 寒冷地域・温暖猛暑地域それぞれに適した補強手段を講じる。
- ④ 通気・換気孔の形状や配置と気流特性などに十分配慮する
- ⑤ 外周の構造体に構造用合板等の耐力面材を使用する場合は、室内側の下地には透湿抵抗値の高い材料を使用し気密性能を高める。

3) 外壁目地シール

- ①乾式外装の目地仕舞は外装版表面に整合しない材料を使用してはならない。
(例：横目地タイプのサイディングにH型ジョイナーの組合せは漏水に繋がる。)
- ②建築及び設備等が外周壁を貫通する部分の防水処置を確実に行う。
- ③乾式外装版の継手部・端部の止水処理には、役物の如何を問わずシーリング処理を施す。
- ④乾式外装版のシーリング用バックアップには二面接着を担保できる下地材を使用する。
- ⑤湿式左官の下地には防水フェルト+波型・リヴラス等を使用し、平ラスは使用しない。
- ⑥左官下地の仕上げ塗装には防水性に加え透湿性を有する材料を選択する。
- ⑦堅雨樋の控金物は外装面に後付型（止水パッキン付）等を使用して取付ける。

4) 開口部周りの防水

- ①防水テープや接着テープは透湿シートとの適性を考慮し、シートメーカーが推奨する材料を使用する。
- ②外周に面する内装壁を貫通する設備ボックス等は気密タイプとする

5) 土台水切り

- ①外壁の下端水切りと床下換気孔の換気スリットを兼ねる場合は通気構法用の透湿シート張りに先立って（耐力壁合板張の場合にはその上から）取付ける。
- ②水切りが床下換気の覆いを兼ねている場合は、基礎に接する外部の土間や踏み台・設備用基礎等との間隔を100mm以上隔離し通気阻害を起さないよう注意する事。
- ③水切りは乾式外装及び湿式外装を問わず厳正に水平を保ち先行して取付ける。
- ④水切りには通気構法用透湿シートを被せ捲れないよう防水テープ等で張付ける。

6) 通気胴縁

- ①通気胴縁と透湿シートが接する重ね部には防水テープを使用する。
- ②通気胴縁の固定には締付力の安定した螺状の接合金具を使用する。
- ③通気胴縁の厚さ及び見附巾寸法は通気流の働きに支障のない断面形状を選択する。
- ④通気胴縁には反り・振れ等を生じない良質な材料を選択する。
- ⑤通気胴縁の両端は近接する他の部分と30mm以上離して施工する。

7) 通気層（施工、監理）

- ①通気層上下の通気開口は外気と連通する空間と確実に連繋させる。
- ②通気胴縁の固定には締付力の安定した螺状の接合金具を使用する。
- ③通気層のクリアランスは十分大きくとる（通気胴縁の厚さは18mm以上が望ましい）。
- ④透湿防水シートの端部・開口部周りの押えに使用する防水テープは、透湿シートメーカーの推奨する製品を使用する。
- ⑤透湿防水シート下地の耐力壁面材に構造用パネルを使用する場合、切削加工する版材の木口面の防水処理は張付け前に確実に処置する。
- ⑥開口部周りの防水シート押え及びシーリング止水措置を施す。

2.4 高気密住宅の間仕切り壁内部における蟻害・腐朽発生の原因と対策

(1) 劣化原因の FTA 分析

A. 構法の概要

高気密住宅は建物内外の空気の流出入を制限することで熱損失を抑えて省エネルギー性能を高めた住宅であり、現在の省エネ基準を達成するには断熱性能とともに高い気密性能が要求される。この気密性能は床や壁などの各部位全面およびその取り合い部を気密材（防湿フィルム、透湿防水シートなど）で覆い、接合部を気密テープ等で塞いで連続した気密層を形成することで達成される。ここで問題としている間仕切り壁は特に1階の壁であり、1階床との取り合いは床防湿フィルムを間仕切り壁下で連続させて間仕切り壁内に床下の冷たく湿った空気が入らないようにするのが原則である。

B. 劣化の概要

外周に面していない間仕切り壁の木部構造体に腐朽や蟻害が生じることは、その壁が浴室などの水回りに面していなければめったにない。ところが、間仕切り壁内にいろいろな原因から水分や湿分が入り込み、木部に長期間にわたって作用することがあると、写真10から写真12に示すような劣化が生じることがある。写真10は、気密性能の劣った間仕切り壁下部から床下湿気が恒常的に作用した結果、土台にカビが生えている状況を示している。また、写真11は、その室内側であり、間仕切り壁表面に結露による浸み痕が生じているのが見える。写真12は、そのような結露などによる含水率が上がった結果、間仕切り壁内部にシロアリが侵入して軸組木部が被害を受けている状況を示している。



写真10 気密が悪い結果、間仕切り壁下部土台に発生したカビ被害



写真11 写真10の間仕切り壁の室内側の様子。壁下部に結露によると思われる浸み痕がある。



写真12 間仕切り壁内部に発生したシロアリ被害

C. 劣化原因の分析

高気密住宅の間仕切り壁内部における蟻害・腐朽発生の原因を FTA 分析し、その結果を図にまとめれば、図4のとおりである。

高気密住宅における間仕切り壁の軸組躯体に腐朽や蟻害が生じる第一義的原因としては、以下の4つが考えられる。

- ①軸組構造材料に未乾燥材を使用したこと
- ②何らかの箇所から間仕切り壁内部に雨水が侵入したこと
- ③水回り室が隣接している場合、水回り室から何らかの原因による漏水があったこと

④壁体内で結露が発生したこと

高気密仕様を採用する場合は木材に乾燥材を使うのが原則であるから、①は本来あってはならない問題であり、現場における検品体制に不備があったことが考えられる。現場資材管理の問題である。②は平屋建ての場合や下屋部分の壁の場合に起こり得る問題であり、屋根のどこかに防水・雨仕舞の問題があつて漏水につながる場合である。また、2階建てで上部に屋根ではなく水回り室がある場合はそこからの何らかの漏水が原因となることもありうる。屋根からの漏水であれば、設計や施工あるいは施工管理・監理の問題であり、水回りからの漏水であれば、防水工事施工不良か材料不良（管理・監理不良）の問題になる。③の問題も原因としては②にほぼ似ている。もっとも起こり得る原因が④であり、壁内に侵入した湿気が原因となって壁内結露を生じたケースである。結露が発生する原因には床下から入った湿分が抜けずに壁内に長い間滞留することと軸組木部表面の温度が低下していることなどが考えられる。前者の原因としてもっとも考えられるのが間仕切り壁下の気流止めの設置に問題があり湿気が壁内に侵入してしまうことが考えられる。その場合は、気密工事施工とその工事管理の不良が原因となる。

このFT図から読み取れる設計上の留意点、施工上の留意点をまとめれば、以下のとおりである。

設計上の留意点

- ①未乾燥材を使用しないように検品に注意すること。
- ②防水性の低い防水材を選定しないよう注意すること。
- ③屋根の雨仕舞い設計に注意すること。
- ④ボルト頭が外気に冷やされるなどの場合は、断熱するなどヒートブリッジの形成がないように注意すること。
- ⑤気流止めを入れることを指示し忘れないこと。

施工上、工事管理上の留意点

- ①屋根の雨仕舞いを保つ施工、管理に心がけること。
- ②屋根まわりの防水施工が適切であることを管理者が確認すること。
- ③開口部まわりの防水施工が適切であることを管理者が確認すること。
- ④気流止めの適切な施工およびその管理を行うこと。
- ⑤ヒートブリッジが形成される部分の断熱の工事およびその管理を怠らないこと。

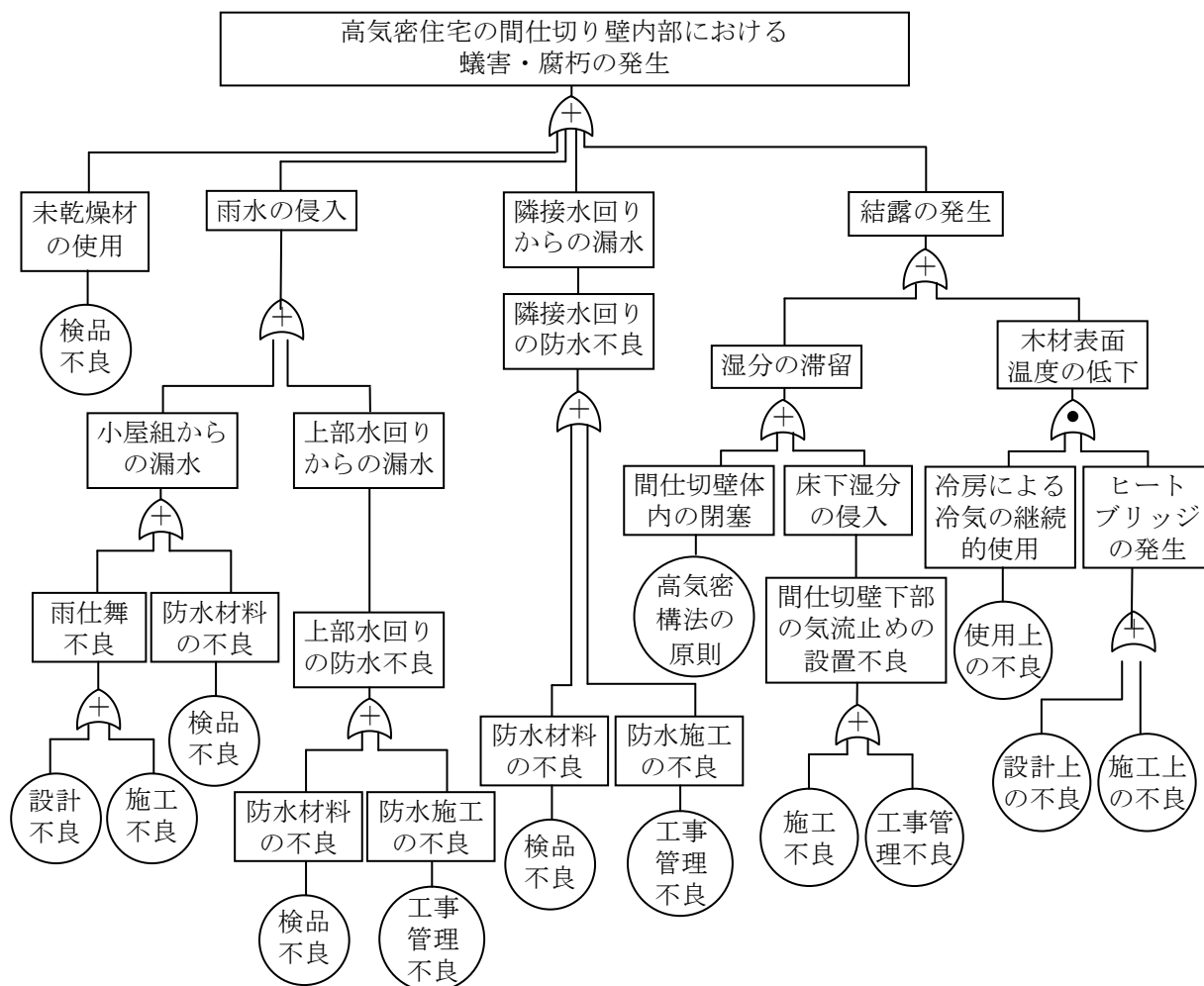


図 4 高気密住宅の間仕切り壁内部における蟻害・腐朽発生 の FT 図

(+) 下に来るいずれかの事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (OR ゲート)

(●) 下に来る全ての事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (AND ゲート)

(2) 劣化を防止するための設計・施工

1) 使用する木材等の品質など

- ① K 3 保存処理材
- ② 耐久性の高い樹種 (D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材)
- ③ D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材
- ④ 工場及び現場での保存処理では、切欠き部の処理を必ず行う。

2) 漏気・気流抜け防止措置 (設計・施工)

- ① 外気・床下・小屋裏への気流止を一連の気密層として漏気や気流抜けを防止する措置を施す。
- ② 和室床周辺の床下と仕切り壁下部の隙間を遮蔽する気流抜け防止措置を施す。
- ③ 設備配管用パイプスペース等の竪穴開口部に気流遮蔽措置を講じる。
- ④ 階層間の天井懐空間と準外気 (床下) との間に気流止めを設置する。

3) 防水材料の品質

- ① 屋根下地の防水層には、アスファルトルーフィング 9 4 0 又は改質ルーフィング若しくは

透湿ルーフィングを使用する。

②壁の直張り仕上げ下地には防水フェルト430を使用する。

4) 結露防止対策（床下、間仕切壁等の設計・施工）

①ユニットバス区画壁上部の気密措置及び区画内の排湿措置を講じる。

②気密防湿シートの継ぎ重ね部分の押えをテーピング等で確実に施す。

5) ヒートブリッジ対策（設計・施工）

①最下階床下や天井の点検口は全て気密・断熱型とする。

2.5 基礎外張断熱工法における生物劣化発生の原因と対策

(1) 劣化原因の FTA 分析

A. 構法の概要

基礎外張断熱工法とは、住宅の省エネルギーの観点から、断熱材を基礎外側に貼り付けて基礎自体からの熱損失を抑えようとする工法である（図 5 参照）。基礎コンクリート部分が断熱材で外から覆われるため、効率よく省エネルギーが図れるとして、寒冷地を中心に広がりつつある。断熱材は一般には、基礎が完成したのちに外側から施工することが多いが、基礎立ち上がり部工事をする際、立ち上がり部型枠に断熱材を先付しておいて、コンクリート打設をすると断熱材と基礎部が一体化しやすく断熱性能が高まる。

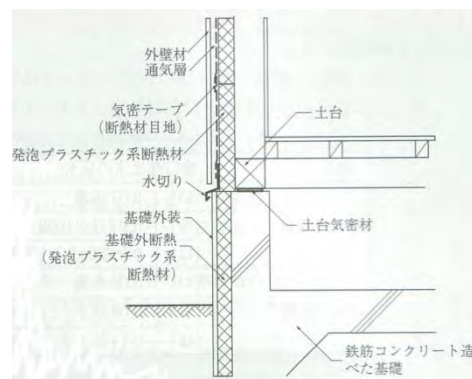


図 5 基礎外張断熱工法の概要

B. 劣化の概要

この工法の最大の問題点はシロアリ被害を受けやすいことにある。日本で木造建築物に被害を与えるシロアリは、ヤマトシロアリとイエシロアリの 2 種が代表であるが、これらはいずれも地下シロアリの仲間であり、地中に巣を作って地下から建物内に侵入してくる。従来の基礎工法であれば、シロアリが建物内に侵入する際に構築する蟻道を見つけることによって、発見・検知が可能であるが、この工法の場合は、断熱材と基礎の間から侵入してくるために、発見が遅くなりがちになる。多くは羽アリが窓回りなどから飛び出して初めて居住者などに認知されるのが一般であり、その時には被害は拡大していることが多い。

写真 13 は被害実例を示しており、基礎外側に張りつけた発泡系断熱材と基礎コンクリートとの間に蟻道（赤の矢印部）が構築されている様子がよく分かる。蟻道が見つかりにくいので、シロアリは居住者などに発見されずに木部に到達し、防腐防蟻処理がされていない土台や柱などを時間をかけて食害することになる。



基礎部分の蟻道



基礎部分拡大



集成柱の被害状況（左：土台と柱の接合部分、右：上部）



断熱材に構築された蟻道

写真 13 基礎外張断熱工法における蟻道構築の様子と木部被害

C. 劣化原因の分析

基礎外張断熱工法における生物劣化発生の原因を FTA 分析し、その結果を図にまとめれば、図 6 のとおりである。

基礎外張断熱工法においてシロアリ被害を中心とした生物劣化が発生する原因としては、大きく土台・床組み材にシロアリ被害が発生する場合と、土台・床組み材に腐朽被害が発生する場合の 2 通りに分けられる。そのうち、土台・床組み材にシロアリ被害が発生する場合の原因としては、まず以下の 2 つの項目が同時に発生することである。

①土台・床組材の防蟻対策不良

②基礎周辺のいずれかの箇所からシロアリが侵入

このうち①については、材料の選定ミスや防蟻処理の施工不良などに細分化される。また②については、写真 13 に示したように基礎立ち上がり部と断熱材との隙間から侵入したことを維持管理のなかで発見できないことがある。②については、シロアリ侵入の隙間をなくすか、侵入されたことを早期に発見しやすくする方法を基礎まわりに導入することが重要である。

一方、腐朽被害の発生原因として考えられることは、まず以下の 3 項目がある。

①未乾燥材の使用

②木部表面での結露発生

③基礎コンクリートから土台への水分移動

①は検品を確実に行うことで対応可能になるが、②は断熱材の施工および管理に問題がある場合が多い。また、③はあまり多く発生する問題ではないが、地下水位の把握を怠ったり基礎コンクリートの水密性が低かったり、あるいは基礎コンクリートと土台を直に接触させることが原因となりうる。

この FT 図から読み取れる設計上の留意点、施工上の留意点をまとめれば、以下のとおりである。

設計上の留意点

①未乾燥材を使用しないように検品に注意すること。

②防腐防蟻効果の低い木質材料を選定しないよう注意すること。

③省エネ性能とともに、蟻害、腐朽をいかに防ぐかなど耐久性能の確保について意を用いること。

④地下水位を把握し、必要に応じて防水措置をとること。

施工上、工事管理上の留意点

①防腐防蟻処理を適切に行うこと。また、その工事について、薬剤種類や処理量、処理箇所などの管理を怠りなく行うこと。

②断熱材と基礎立ち上がり部の隙間がないように施工すること。できれば一体施工を行うこと。

③コンクリート工事におけるワーカビリティのほか養生などに配慮し、コンクリートの密実さを確保すること。

④レベリング材などを用いて、基礎天端の水平を確保する施工を行うこと。

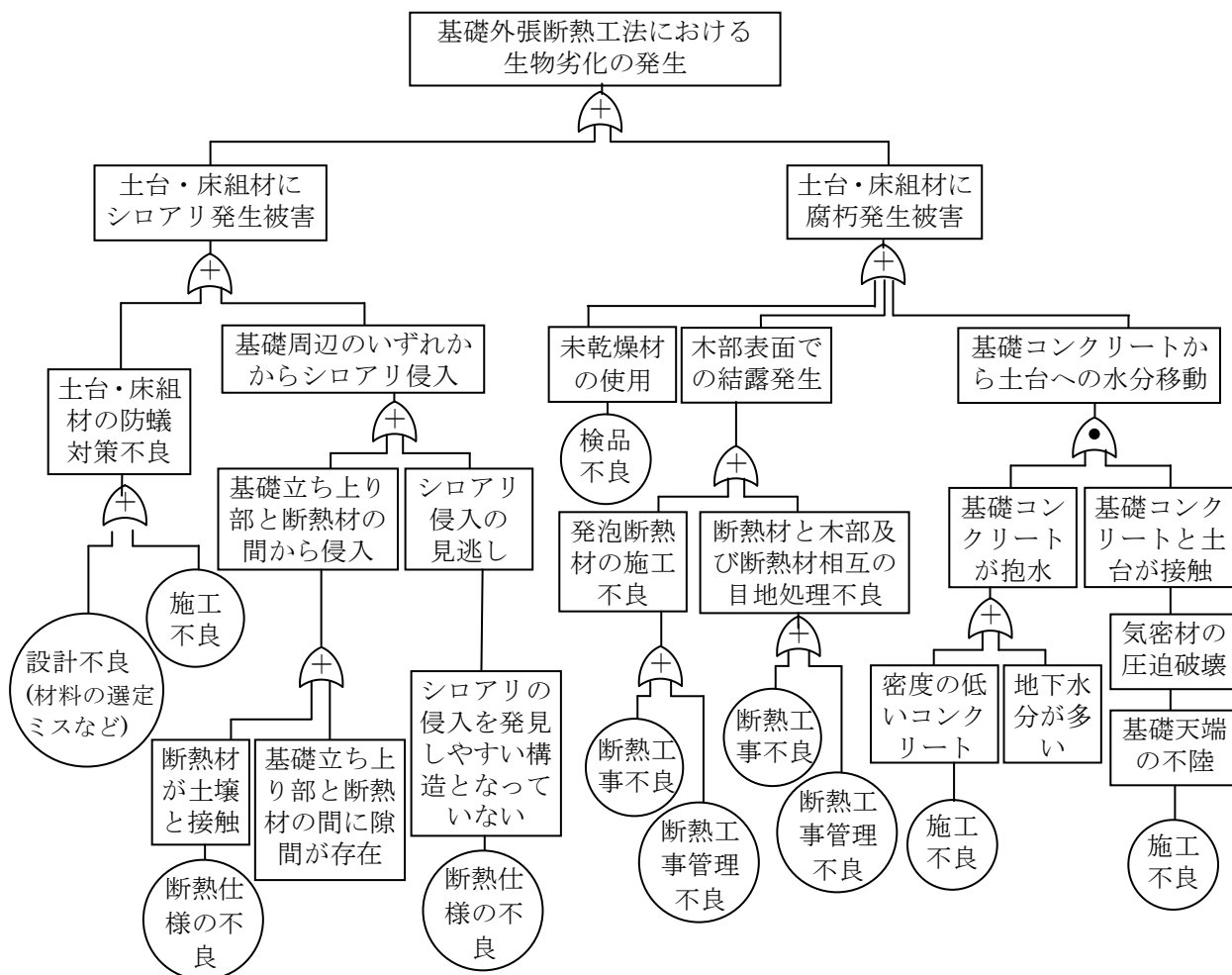


図 6 基礎外張断熱工法における生物劣化発生 FT 図

(+) 下に来るいずれかの事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (OR ゲート)

(●) 下に来る全ての事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (AND ゲート)

(2) 劣化を防止するための設計・施工

1) 木部・断熱材の防蟻・防蟻

- ① K 3 保存処理材
- ② 耐久性の高い樹種 (D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材)
- ③ D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材
- ④ 張付け断熱材と基礎天端の間の熱橋の断熱補強は成型版で行う。

2) 基礎周辺の断熱施工 (設計・施工)

- ① 基礎コンクリートの打継部に接して発泡断熱材を設置しない。
- ② 発泡系断熱材は有筋コンクリートに打込み地盤と接しないようにする。
- ③ 外張り断熱材天端にはシロアリの侵食を阻止する鋼板被覆等を採用する。
- ④ 基礎天端の気密材には荷重による気密の断裂を防ぐ耐圧措置を講じる。
- ⑤ 基礎に張る発泡系断熱材は、熱橋防止の為 2 重張り又は継手を本実継とする。
- ⑥ 基礎に張る発泡系断熱材は、防蟻の為犬走り等の有筋コンクリートに打設する。
- ⑦ 基礎断熱材の上端と基礎コンクリートの取合い部に生じる熱橋防止のための被覆が発泡断

熱の場合は木部を露出させる。

3) 基礎部分の防水

- ①設備配管を鞘管方式とする場合は設備管と鞘管外側の隙間を閉塞する。
- ②現場で打設されるコンクリートの混練時間の施工管理を徹底する。
- ③コンクリート打設時には過剰なバイブレーション(骨材分離)を行わない。
- ④基礎断熱仕様の基礎型枠は、原則としてコーンセパレーター方式とする。

4) 床下点検口等

- ①床下点検口は床下の区画ごとに気密性と断熱性を有する点検口を設置する。

2.6 バリアフリー住宅における玄関框、床組材を中心とした生物劣化発生の原因と対策

(1) 劣化原因の FTA 分析

A. 構法の概要

高齢化社会における要請としてバリアフリー住宅の普及がある。「バリアフリー」は足元が危うくなった高齢者や車椅子などの移動に支障がないように、床や出入り口あるいは壁などに様々な建築的配慮をすることであり、具体的には床や出入り口の段差を一定以下に抑えることや廊下・水回り諸室の壁に手すりを設けること、車椅子で生活ができるような各部寸法を有することなどが求められる。そのうち、玄関框回りの典型的な納まりを図 7 に示す。

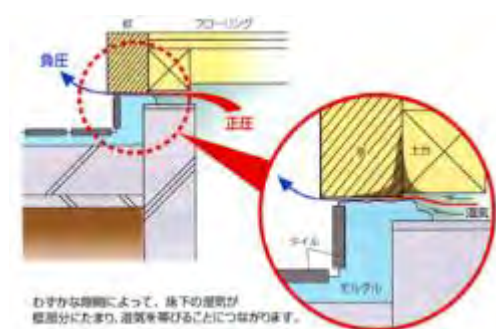


図 7 バリアフリー住宅の玄関框回りの納まり例

B. 劣化の概要

この構法で見られる生物劣化被害の特徴は、玄関框やその受け土台の劣化であり、特にそれぞれの部材下部に発生しやすい。それは、図 7 に示したごとく、床下の湿気を含んだ空気が框材や受け土台と玄関床仕上げタイル下地モルタルとの隙間を通る際に水蒸気が木部に吸収される結果と思われる。

被害事例を写真 14 から写真 16 に示した。写真 14 は玄関上り框の受け土台下部が湿潤により腐朽した例である。また、写真 15 は玄関框材が蟻害を受けた例で、断面がほとんどなくなるほどの被害を受けている。同じく写真 16 も框材の被害例であるが、内部だけを食害しており外観から被害を認知することは困難である。



写真 14 框受け土台下部の腐朽被害例



写真 15 玄関框下部のシロアリ被害例



写真 16 玄関框材のシロアリ被害例。外観からは分からない。

C. 劣化原因の分析

バリアフリー住宅における玄関框、床組材を中心とした生物劣化の原因を FTA 分析し、その結果を図にまとめれば、図 8 のとおりである。

バリアフリー住宅における玄関框、床組材を中心とした生物劣化としては、シロアリ被害と腐朽被害とがある。

まず蟻害の原因としては、①玄関框あるいは受け土台回りの防蟻対策が不十分なこと、②シロアリの侵入箇所があったことがまず考えられる。①については、防蟻処理の設計・施工の不適切

さが直接的な原因と思われる。また②については、框や土台がバリアフリー化のために床面を盛土した結果、土と接触してしまうか、基礎立ち上がり部に蟻道を構築して侵入してきたことなどが考えられる。いずれも、玄関バリアフリー工事の設計あるいは施工の不適切さが原因である。

一方、腐朽の原因としては、①玄関框材に水分が作用したこと、②玄関框材や受け土台に湿分が作用したことが直接的な原因と考えられる。そのうち、水分の作用原因としては、玄関清掃時の水が継続的に作用したことなど人為的理由があり得る。居住者の維持管理の問題である。また、湿分作用の理由としては、床下側から流入してくる湿気の問題がある。玄関内部床仕上げタイルを張るモルタルと玄関框材あるいは土台との間は気密をしっかりとっておかないと、図7に示すように室内の強制換気により負圧となった室内側に床下側から湿気を含んだ空気が流入しやすくなるためである。これが通過途中の木部に吸収されて框や土台を湿らせたと考えられる。

このFT図から読み取れる設計上の留意点、施工上の留意点をまとめれば、以下のとおりである。

設計上の留意点

- ①未乾燥材を使用しないように検品に注意すること。
- ②玄関框などには、防蟻処理を必ず行う仕様とすること。
- ③玄関土間部分は盛り土ではなく、鉄筋で一体となった土間コンクリートを打設する仕様とすること。
- ④土壌処理をするなど基礎内側からのシロアリ侵入に備える仕様とすること。

施工上、工事管理上の留意点

- ①玄関框まわりの防蟻施工を確実に行うこと。
- ②基礎内側の土壌処理を確実に行うこと。
- ③框材と土台などの隙間を確実に埋める施工とすること。また、そのチェックを確実に行うこと。

使用上の留意点

- ①玄関床清掃時に框など木部に水をかけ続けないこと。
- ②24時間換気による床下部の負圧発生に注意すること。

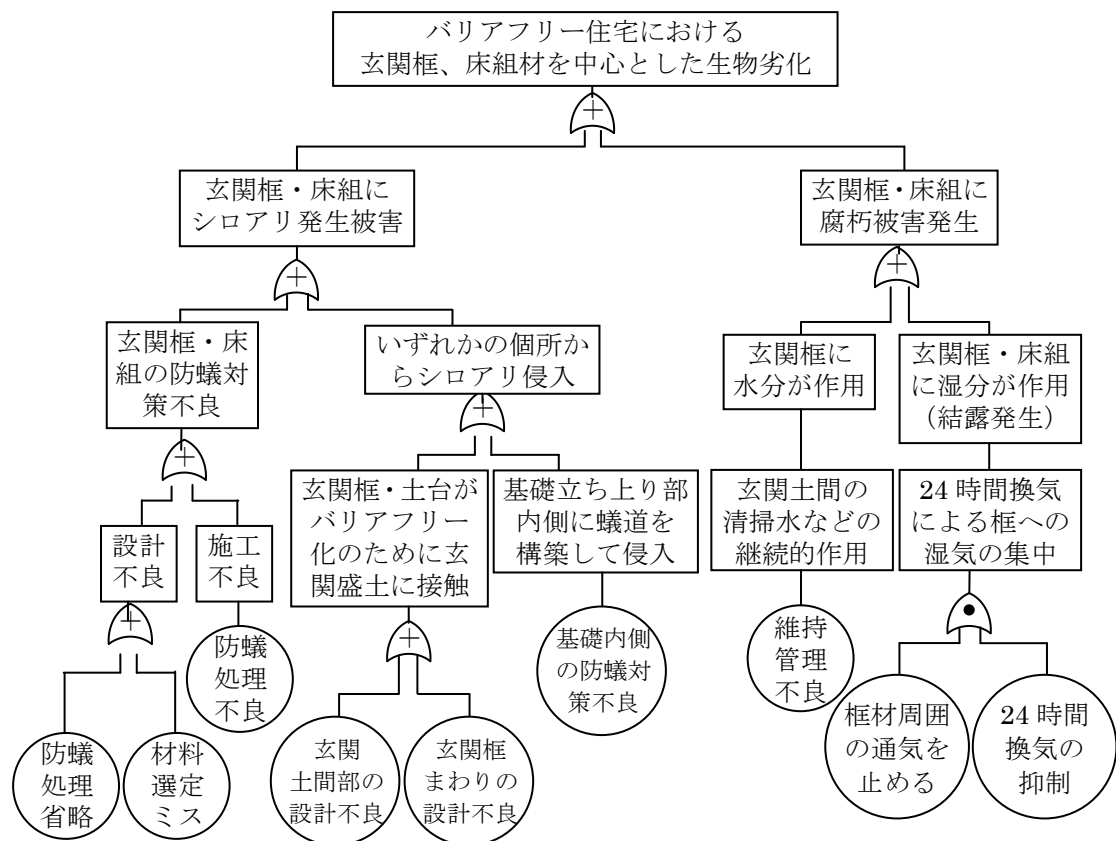


図 8 バリアフリー住宅における玄関框、床組材を中心とした生物劣化発生の FT 図

⊕ 下に来るいずれかの事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (OR ゲート)

● ⊕ 下に来る全ての事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (AND ゲート)

(2) 劣化を防止するための設計・施工

1) 玄関框・床組の防腐・防蟻

- ① K 3 保存処理材
- ② 耐久性の高い樹種 (D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材)
- ③ D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材
- ④ 玄関上り框下には長期対応として耐圧版を備えた気密パッキンを用いる

2) 玄関・床土壌の防蟻

- ① 玄関ポーチの土間高さが土台より高くなる場合は、浸水防止とシロアリの侵入を阻止する為に有効な遮断溝などを設置する。
- ② 玄関や勝手口等の踏込をコンクリート打設する場合は有筋とし、基礎と剥離しないよう一体とする。
- ③ 勝手口踏み台を基礎に接して設けず 100mm 以上離して設置する。

3) 基礎内部土壌の防蟻

- ① 基礎及び土間コンクリートは配筋にて一体化する。
- ② 外部土壌に接する基礎の打継部は、型枠用巾止金物の貫通孔や水抜き穴等を閉塞処理する。
- ③ 玄関の内土間下など屋内に嵩上する土壌には必ず防蟻措置を施す。

4) 玄関框・床組の結露

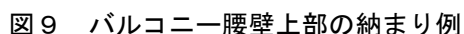
- ①玄関と外気及び床下空間の境界部には気密措置を講じ漏気を防ぐ。
- ②玄関土間周辺の蹴込には耐水性の高い材料を立上げ、壁の内装仕上げ材との見切り化粧部材の下端は目地見切りを施しシーリング処理等の耐水措置を施す。

5) 玄関の清掃と維持管理

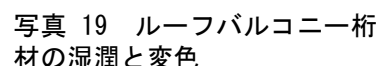
- ①土間の清掃は散水によらずモップ等の拭き取り掃出し等にて行う。
- ②バリアフリー仕様等で屋内床面との段差が少ない場合は、土間周辺の見切り部材又は、蹴込立上部分以上への水掛りに十分注意する。
- ③水洗い等を行う場合は、出入り口建具等を開放し通風乾燥に配慮し、室内空間に水蒸気が横溢しないよう注意し、外部ポーチへの土間排水の掃出しを行う。

(1) 劣化原因の FTA 分析

現在の住宅では、ライフスタイルの多様化からルーフバルコニーを付けることが多いが、これにはバルコニー下部全面に下の階の居室等がある場合と、一部が居室等に重なる場合とがある。その際、手すり腰壁は、外壁が通気構法であれば同じく通気構法を採用することが一般である。また、床防水は合板で下地を作った上にFRPなどの防水材料で仕上げることが多い。手すり腰壁上部には笠木ないしは手すり金物が付くが、そのために防水上のトラブルが生まれやすい箇所である。住宅支援機構の仕様書に



その結果として、写真 17 から写真 19 に示すような不具合事象が生じている例がある。写真 17 は、バルコニー先端の桁材に結露水が作用し腐朽が発生したケースであり、写真 18 と写真 19 は、バルコニー床下の根太材、桁材が結露して変色しているケースである。いずれも通気層が機能せず湿気の排出が不足し発生したものと考えられる。



— 89 —

通気構法によるルーフバルコニーにおける生物劣化の原因を FTA 分析し、その結果を図にまとめれば、図 10 のとおりである。

通気構法によるルーフバルコニーにおける生物劣化としては、腐朽が多いが、その直接的な原因としては、①バルコニー内部への雨水侵入と②バルコニー内部での結露発生が考えられる。

①はさらに、バルコニー本体と建物外壁との取り付け部の防水が不良であるか、バルコニー手すり腰壁上部の笠木や手すり金物の取り付け不良が原因として推定される。前者は多くの場合、取り付け部の防水紙を適切に納める設計となっていなか施工が不良であるが考えられる。また後者は、笠木の設計・取り付けあるいは防水紙の施工が不適切であることが考えられる。

一方、②は外壁通気層の通気性能不良による湿気の排出不足や、バルコニー床裏空間における湿気の排出不足が原因として考えられる。前者は防水テープなどで通気層を塞ぐような施工をした場合、また後者はバルコニー床裏の換気口がなかったり換気口面積が不足している場合に湿気の排出不足が発生する。

この FT 図から読み取れる設計上の留意点、施工上の留意点をまとめれば、以下のとおりである。
設計上の留意点

- ①特記仕様書などでバルコニーと外壁との取り付け部における防水紙の重ね方を適切に指示すること。
- ②防水紙の重ね寸法は特記として指示すること。
- ③笠木取り付け金具は防水紙を貫通することのないものとする。
- ④バルコニー床裏には換気措置を施す設計とすること。

施工上、工事管理上の留意点

- ①防水紙の重ね、納まりを確実に施工すること。また、そのチェックを忘れずに管理者が行うこと。
- ②防水テープの張りまわしを仕様書などにもとづき確実に行うこと。
- ③防水テープなどによりバルコニー通気層を塞がないようにテープの施工、管理に配慮すること。
- ④バルコニー床裏換気口を設計どおりに確保すること、またそのチェックを確実に行うこと。

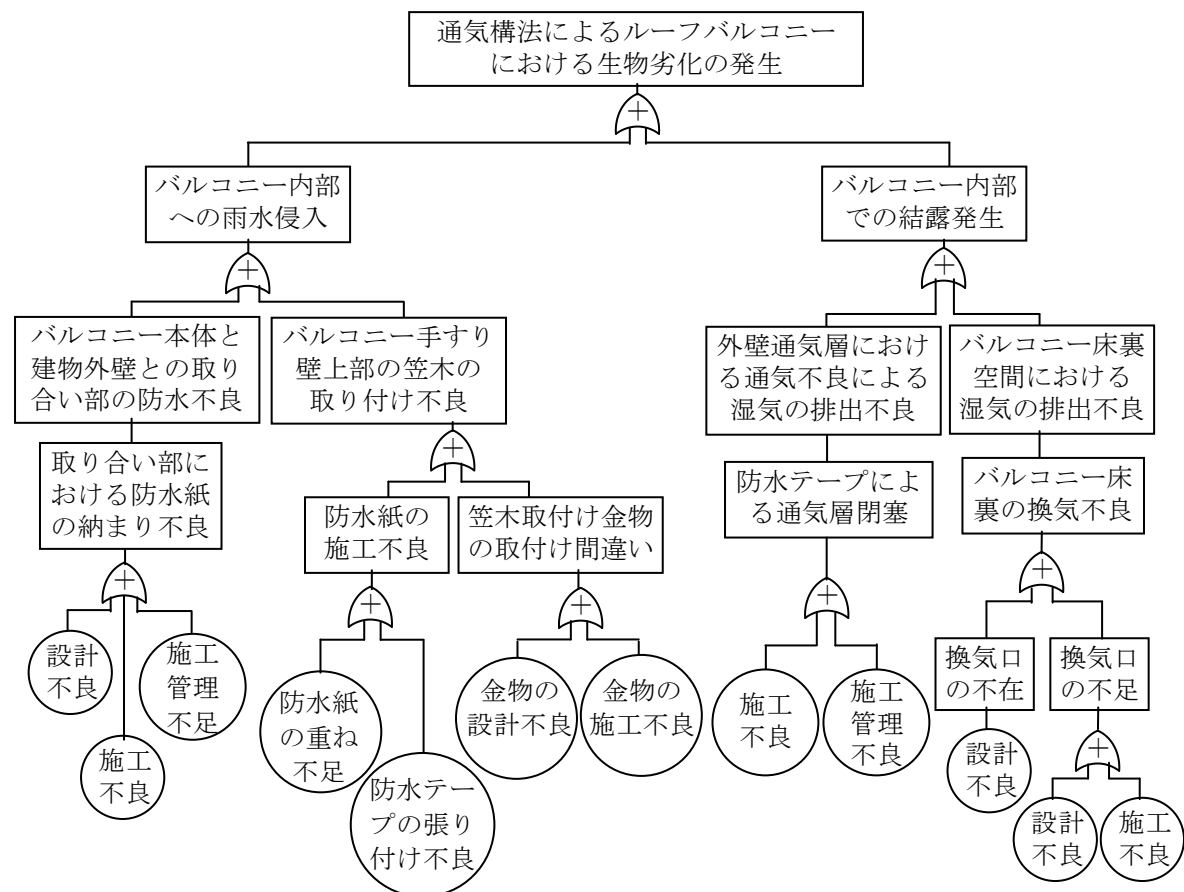


図 10 通気工法によるルーフバルコニーにおける生物劣化発生 FT 図

(+) 下に来るいずれかの事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (OR ゲート)

(●) 下に来る全ての事象が発生した場合、上の事象が発生することを意味する (AND ゲート)

(2) 劣化を防止するための設計・施工

1) バルコニーと建物との取合い (設計、防水、施工)

- ①バルコニーの歩行床防水層の入隅部には必ず面取り処置を施し、防水材料の熱伸縮による劣化破断を防ぐ。
- ②腰壁や飾り格子枠及び外壁との取合い部等の出入角部には優先して下地防水措置を講じ、我儀ブ??の下地防水層を被せて納める。
- ③腰壁の空洞部は温度差による結露湿潤が生じ易い為木材等にはK 2程度の保存措置を施す。
- ④腰壁天端の防水措置については施工手順と工事担当の工程を明確にする。
- ⑤腰壁天端に笠木や手摺を取付ける場合は、腰壁の上枠への固定金具の打込み部分に浸水を防ぐ措置を備えた材料を使用する。(伸張型防水テープ等)

2) 笠木 (金物、防水)

- ③笠木の取付け等を考慮して、天端の防水層には防水テープを天端全長に鞍掛状態で張り笠木の固定金物には浸水防止の措置を講じる。

3) バルコニーと外壁通気 (設計、施工)

- ①腰壁外装下端の通気層と下部には見切り通気部材を取付け、見切り部材の端部には必ず止水措置を施す。

- ②腰壁天端に張り重ねる透湿シートを最終の防水層としてはならない。
 - ③工事中の外部作業の足掛かりに腰壁天端を利用してはならない。独立隔離した専用の足場を組み、下地の破損汚れに配慮し中硬質の保護養生材等を適切な範囲に措置する。
- 4) バルコニーの通気（設計、施工）
- ①ルーフバルコニーの歩行床裏空間は直下階の天井断熱措置を施し、また直下階の天井裏空間との防湿気密措置を施す。
 - ②ルーフバルコニーの歩行床裏空間の排湿に有効な換気措置を施す。

参考資料

1. ベタ基礎+外壁通気仕様における1階床組、床板でのカビ、腐朽の発生

FTA-1 ■劣化事象に関する情報

劣化状況	☒ 写真	☒ 解説	劣化因子= ☒ カビ ☒ 腐朽菌 ☐ シロアリ
			
換気閉塞状態の床下(カビと結露) 床組木部の含水率(28%で異常) 化粧床板のカビ変色 床板合板の湿潤剥離			
			
工事中(床板直張り工法)の床下の湿潤カビと結露の状態 床組木部に発生したカビ 床裏断熱材を外した床板裏の湿潤			
			
断熱材の湿潤と木部のカビ 床板合板の剥離状態 結露後の木部の染み 土台と床板の腐朽状態			
			
断熱材上面の床板腐朽 化粧床材の剥離 土台の腐朽 床板下面隙間の湿潤 断熱端部木部際の染み			
			
輻射した設備配管の漏水 ベタ基礎床下の結露 打継部からの浸水 打継部からの浸水			
② 断熱材と床板の間に結露が発生、床板や床組木部が湿潤しカビと腐朽菌が蔓延。 ②湿潤による床組木部腐朽と床板合板の接着剥離及びカビ汚損が発生。			

劣化原因	☐ 設計	☒ 施工	☐ 材料	☐ 規基準
施工々程の齟齬による床下換気の不良で床板表面が湿潤・結露する模式図 ※床板表面の結露水により合板や化粧フロア材にカビが発生、被害が表面に達する。 ※床板裏面に結露水により合板や化粧フロア材にカビが発生、被害が表面に達する。 先張り透湿シート 外装版と通気層 水切り有りの場合 水切り 換気不良 断熱材 気流遮断 水蒸気粒子 (10 万分の 1 mm) カビ発生 木材湿潤 水蒸気が木部と断熱材の境界面から浸入 水切り無しの場合換気孔を閉塞 外気流 基礎 浸入水の蒸発 土間コンクリートからの放出水分 (1 g/m²/h) G.L. 外周に溜り水 整地不良 (根伐り残土) 打継の貫通孔・ひび割れ 土間コンクリート 工事中の不具合事象 ※床下換気が、ネコ部材による全周スリット換気方式の場合、 ベタ基礎＋通気構法＋床板直張り工法＋充填断熱方式の物件の施工現場で発生し易い。 換気スリットの位置 換気スリット 水切りが未了で外周のスリット換気孔を透湿シート塞いだ状態 工事中の養生シートが床下換気孔を塞いだ状態 ①通気構法用の透湿防水シートが基礎天端より下に垂下り外周の床下換気孔を閉塞。 ②外周の水切り取付けが透湿防水シート張りより遅れた。(異業種工事による工程の齟齬) ③外周の基礎打継部から雨水が浸入し床下に滞溜、これが蒸発して床組木部を湿潤。 ④設備配管からの漏水の発見が遅れ、床下空間が水蒸気で飽和した状態が持続。				
留意事項	☒設計 ☒施工 ☐材料 ☒規基準(ベタ基礎打継部の劣化リスクの留意事項無し) ①中間検査までの工程の施工手順(外壁下端の水切り取付時期)を確認する。 ②コンクリート打設後 20 日～30 日間は旺盛な水分放出(1g/m²/h)がある事に留意する。 ③工事中は床下換気のために室内床面の排湿開口(点検口等)を確保する。 ④床下換気孔は換気気流の阻害や床下換気ゾーンに淀み域が生じないようにバランスの良く配置する。(根太転ばし床張における中間間仕切の気流抜けは床下換気の障害となる。) ⑤床下の設備配管の破損や接合部等からの漏水を防止する。 ⑥ベタ基礎の打継部分は外部からの浸水を起し易い事に留意する。			



整地不良による排水不順 通常の基礎立上り部の打継状態 型枠金物と水抜き穴の状態 基礎外周を貫通する設備配管

⑦工事中の根伐り残土等は、降雨時に宅地内の排水処理に障害とならないよう整地する。

FTA-1 ■劣化防止に関する情報

防止対策
☒設計
☒施工
☐材料
☐規基準

- ①基礎外面等の外部養生材を使用する場合はスリット換気孔を塞がない。
 工事中の床養生材や外壁防水シート、足場シートなどを足元まで垂下げる場合は建物脚部外周の通換気を阻害しないように下部を開放する。
- ②ベタ基礎+床板直張り方式(充填断熱)等で一階床をプラットフォームとして施工する場合は、床下の排湿措置として工事中は床面の一部(床板や床下点検口等)を開放し排湿換気を促す。
- ③厳寒期の屋内作業中は内外の温度差に配慮して適切な排湿換気措置を講じる。
- ④床下の設備給排水配管等からの漏水を防止する措置をとる



犬走り剥離事例と浸水防止にシーリングを施した事例 基礎と隔離した溝に砂利敷き込みをした事例

- ⑤水切りの取付けは外壁や床面養生並びに透湿シート張りより先行施工する。
- ⑥基礎の打継部に残置された型枠金物等や水抜きの貫通孔を閉塞する。
- ⑦外周基礎の打放し面に接して犬走り等の土間を設ける場合は剥離を防ぐ措置(配筋緊結等)をとるか若しくは隔離して仕上げを地盤面下まで施す。

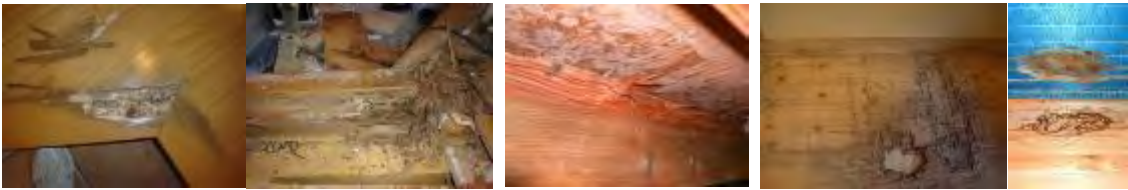
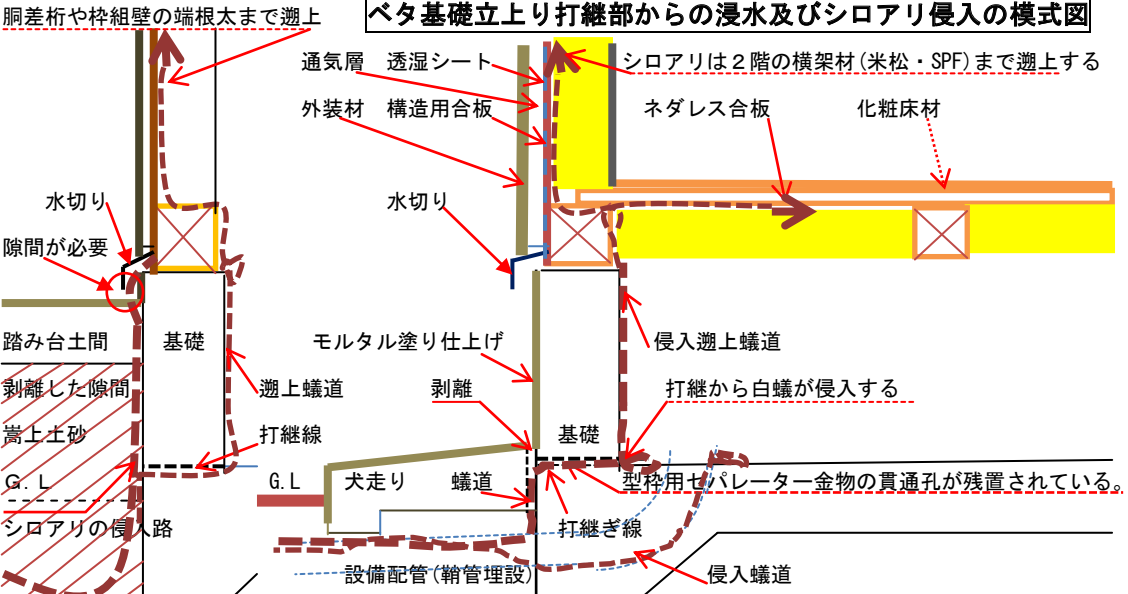
【次頁の解説図参照】

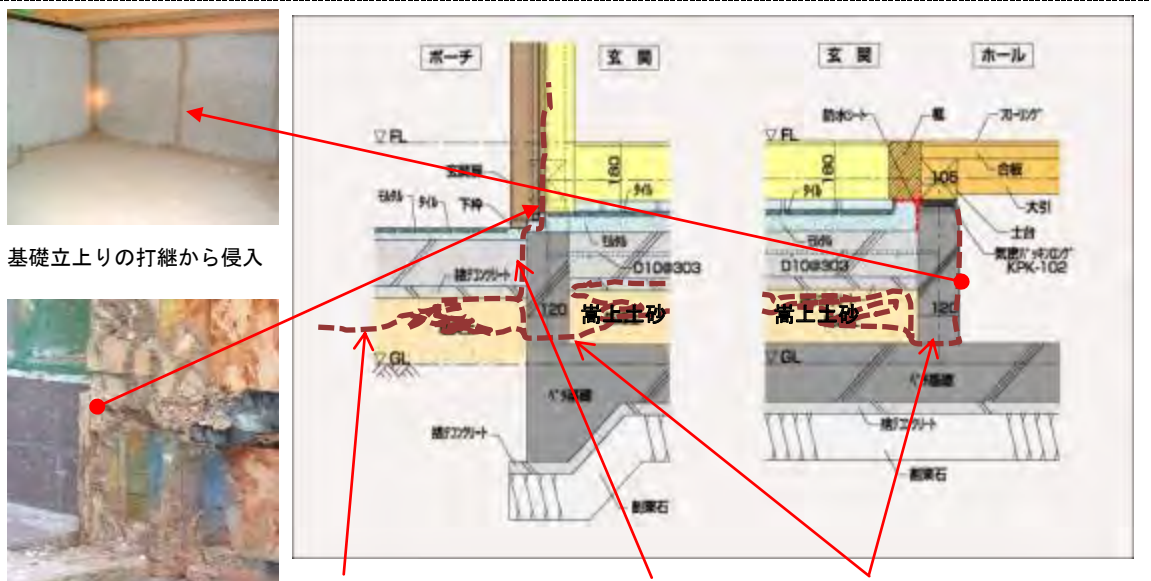
- ⑧外周コンクリート型枠の組み立てには全幅の型枠用巾止金物を使用せず、半セパの巾止金物若しくはコーンセパレーターを適切に使用する。
- ⑨寒冷地域に於いては土台等の緊結に使用する構造金物に防露に有効な断熱措置を施す(基礎に埋設するアンカーボルト・ホールダウン金物等は特に注意)。
- ⑩乾燥材を使用する。

☒ 設計 ☒ 施工 ☐ 材料 ☒ 規基準	【解説図】 ①外周基礎のコンクリート打継部分は外部からの浸水を防止できる措置を講じる。
推奨材料 ☒ 設計 ☒ 施工	①K 3 保存処理材 ②耐久性の高い樹種（D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材） ③D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材 ④工場及び現場での木部保存処理では、切削・切欠き部の保存処理を必ず行う。
その他 ☒ 施工 ☒ 材料	①設備配管(排水管勾配吊り等)の技術規準が示す措置の施工管理を徹底する。 ②床板直張り方式の場合は、床裏断熱材に発泡系断熱材を使用する場合は床板との間に水蒸気の浸入を抑制する有効な(気密シール貼り等)措置を講じる。 ③床裏の断熱材を通気性のある繊維系断熱材等を使用する場合は、受材に透湿シート等を使用し断熱材の空気層に水蒸気を滞留させない措置をとる。
留意事項 ☒ 設計 ☒ 施工 ☒ 材料 ☒ 規基準	①公的技術規基準では、施工現場における仮設工事や養生作業についての要領に関する具体的な注意事項は示されていないが、仮設工事を含む施工管理計画には工事中に床下換気を阻害しないための具体的な予防措置を講じる。 ②外周の基礎コンクリート打継部からの浸水を防御するための有効な止水措置を講じる。 ③床下換気孔は全周スリットによる換気方式等、床下の換気ゾーン全域に淀み域の生じ難い設計とする。
解説事項	住宅金融支援機構「木造住宅工事仕様書」参照

2. ベタ基礎外周からのシロアリ侵入及び木部シロアリ被害の発生

FTA-2 ■劣化事象に関する情報

劣化状況	☒ 写真	☐ 解説	劣化因子= ☐ カビ ☐ 腐朽菌 ☒ シロアリ
 軸組構造部材の蟻害状況(表面よりも断面の方が顕著) 枠組壁側根太の蟻害状況 内部の柱と桁材の蟻害状況			
 玄関上り框の蟻害状況(左が室内側、右が裏面) 床板裏面の蟻害状況 合板床板の蟻害状況(右: 畳裏面の食害)			
 枠組壁建枠の蟻害(縦枠が滅失している) 枠組壁構造壁体部分の食害状況(端根太の蟻害状況)			
劣化原因	☒ 設計	☒ 施工	☐ 材料 ☒ 規基準(ベタ基礎打継部の防蟻措置の記述無し)
胴差桁や枠組壁の端根太まで遡上 ベタ基礎立上り打継部からの浸水及びシロアリ侵入の模式図  ①基礎打放し面に被った土砂や土間等から打継部の型枠金物の貫通孔等から侵入。 ②設備配管用の埋設鞘管と排水管等の隙間からシロアリが床下側に侵入。 ③犬走りや設備用台基礎等が基礎と配筋で一体となっていなかった為基礎と剥離した。			



玄関建具付枠の蟻害状況

シロアリの侵入遊行ルート

土間剥離部から遡上

基礎立上りの打継から侵入

④基礎外周に接する無筋のポーチ土間が基礎と剥離しその隙間からシロアリが遡上。

⑤ベタ基礎の立上り打継部に残された型枠用巾止金物の貫通孔から床下側に侵入。

※玄関ポーチや勝手口踏み台などの嵩上土砂が基礎コンクリートの打放し面に被さり、基礎打継部に残置された型枠用金物や水抜き穴及びジャンカ部等からシロアリが侵入。



更新の容易な設備配管用の鞘管埋設状況

鞘管からの侵入蟻道

薬剤処理で顕れた職蟻群

配管被覆材の摂食蟻道



基礎打継部型枠用巾止金具からの侵入蟻道

基礎水抜き穴からの侵入蟻道

埋設配管と水抜き穴からの侵入蟻道

留意事項

- ①基礎に打設されるコンクリートの混練はプラント出しの場合は1時間以内を厳守する。長時間の混練は打設時に骨材分離が起き易く底盤(土間スラブ)と立上りの打継部分にコンクリートの打設ムラが生じ易い。(施工管理者はバイブレーターの架け過ぎにも注意する。)
- ②基礎外周の打放し面の貫通箇所(設備管・型枠用巾止金物・水抜き穴・打設斑のジャンカ等)はシロアリの侵入経路に利用され易い事に留意する。
- ③布基礎の底盤と立上り部の打継部分からもシロアリが侵入し遡上するので床下の防湿コンクリート土間は基礎と配筋で一体化する。

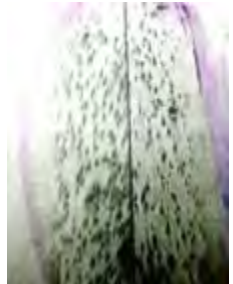
FTA-2 ■劣化防止に関する情報

防止対策	①外周ベタ基礎打継部に全巾セパレーターを使わず、半切したセパレーター金物（以下半セパ金物）若しくはコーンセパレーター金物を使用し、型枠用巾止金物の貫通孔を無くす。 ②土間（底盤）コンクリート打設の堰型枠には外周基礎全高の打設に適合する型枠（高さ75 cmの型枠等）を使用し、立上りコンクリートの打設完了まで残置する。 ③外周基礎の内型枠の土間天端に使用する型枠組立用金物には、半セパ金物を使用する。（止むを得ず全巾セパレーター金物を使用する際は施工後に貫通孔等の空隙を閉塞処理する。） ④外周の土間と立上りの打継部に止水材を打込み、シロアリの遡行や浸水を防御する。 ⑤外周の土間と立上り打継部の外側を低くした段型打継とし、シロアリの遡行や雨水の浸水を防御する。【解説図を参照】 ⑥外周基礎にモルタル塗り仕上げを施す場合は全て基準地盤面以下まで塗り下げる。（土砂が被る場合も同じ。）【解説図を参照】 ⑦外周基礎に接して設ける犬走りやポーチ土間などは配筋で基礎と一体化するか、切離し絶縁する。【解説図を参照】 ⑧基礎天端より高くポーチ土間を設置する場合は脚部構造木部の防湿措置を講じる等、湿潤防止と防腐防蟻に有効な措置を講じる。
□設計 □施工 □材料 □規基準	【解説図】 ①、コンクリートの打継部分は外部からのシロアリの侵入に配慮した施工が求められる。
推奨材料	①K 3 保存処理材 ②耐久性の高い樹種（D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材） ③D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材 ④工場及び現場での木材の保存処理は、木口や切削切欠き部（仕口や継手及びアンカーホール等）に防腐防蟻処理を必ず行う。
その他	①更新が容易な鞘管を使用した設備配管（技術基準が示す措置）は設備挿入管との間に隙間が生じないように無収縮モルタル等を用いて充填閉塞する。 ②外周基礎型枠の組み立てには外部土壌からシロアリが侵入する恐れのない型枠用金物を選択する。 ③高気密高断熱仕様住宅で見落とされ易い漏気部分の結露湿潤を防止する措置を講じる。（P・Sダクトの気流抜け防止・内土間周りの段差見切框下の気密処理・

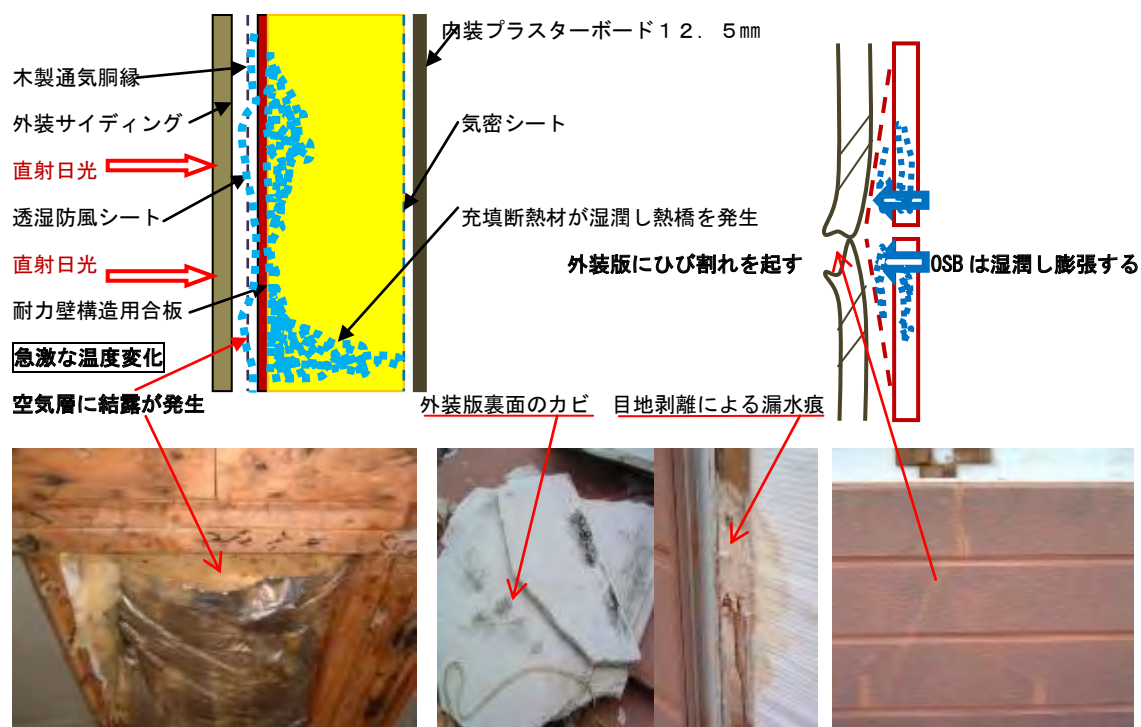
	階段湿囲い・浴室UB区画壁等) ④グリーン材は竣工後に進む乾燥により、反り・振れ・収縮・干割れ等の変質変位が生じる為主要な構造部材に使用してはならない。 ⑤外壁下端の水切りが床下換気スリットのカバーを兼ねている場合は、水切り下端に十分な空隙を確保する。
留意事項 ☑設計 ☑施工 ☑材料 ☑規基準	①公的技術規基準では基礎打継部の外部からの浸水やシロアリの侵入を阻止するための制御措置については示されていないが、設計図書には浸水やシロアリの侵入を阻止するための具体的な遮閉措置を明記する。 ②基礎コンクリート打放し外側打継面には土砂や無筋土間を接触させない。 ③基礎断熱に使用する発泡系断熱材は地盤と接触させない。 ④床下換気孔は全周スリットによる換気方式等、床下の換気ゾーン全域に淀みの生じにくい設計とする。
解説事項	住宅金融支援機構「木造住宅工事仕様書」「枠組壁工法住宅工事仕様書」参照

3. 外壁通気構法におけるカビ・腐朽の発生

FTA-3 ■劣化事象に関する情報

劣化状況	☒ 写 真	☒ 解 説	劣化因子= ☒ カビ ☒ 腐朽菌 ☐ シロアリ		
					
構造木部の腐朽	構造木部の腐朽菌の蔓延状況	脚部構造木部の腐朽	外周縦軸(柱)と横架材(桁)の腐朽		
					
通気胴縁押え-透湿シート界面の浸潤			下地耐力壁合板の腐朽	針葉樹(スギ)合板のカビ	外壁隅部通し柱の腐朽
①通気層への浸水が通気胴縁の固定金具から下地側に及び下地木部を腐朽。 ②通気層が結露し外壁中空部の断熱材が湿潤、腐朽菌が繁殖し木部を腐朽。 ③通気層閉塞による排湿不良で結露が発生、構造体木部(合板と構造木部)を湿潤し腐朽。					
劣化原因	☒ 設計	☒ 施工	☐ 材料	☐ 規基準()	
					
通気層の透湿シートの下端押えの不備が外気侵入による結露発生の原因となった 透湿シート継ぎ手防風押えの不備					
①通気層で発生した水滴が通気胴縁と透湿シートの界面に滞留し、透湿シートから浸透、下地合板や木部・壁体内の充填断熱材などを湿潤させた。 ②外装面のシーリング部分が劣化(紫外線と熱で剥離)し降雨時に浸水を繰り返した。 ③通気層の通気不順により透湿シート裏に浸水、また、滞留した外気の湿気が外気温度の変動により結露し、構造木部を湿潤させ腐朽菌の繁殖に至った。 ④外壁の充填断熱材の湿潤により、壁体内に水分が滞留し熱橋が生じて結露を増加させた。 ⑤外装版表面の目地と差込型目地金物のピンホールからの浸水を見逃していた。					

【外壁通気層の水蒸気結露模式図】※、下地構造用パネルが湿潤膨張し外装版にひび割れを起した。



外壁内の断熱材が湿潤し熱橋発生の原因に 下地耐力壁パネルが湿潤膨張し外装版が罅割れや目地剥離が発生し漏水
 ⑥透湿シート貼り下地板に使用していた構造用パネル(OSB・MDF 等)の切削加工した木口面の防水
 処理が不十分であった為に結露や漏水による吸水による膨張剥離が生じた。

留意事項

- ①透湿シートの防水機能では、滞留水や圧のかかる水の浸透は防げないよう留意する。
- ②乾式外装版のシーリングは2面接着に留意し、経年の紫外線と熱による劣化で剥離する
 ことがあるので、点検は触診で行う。(目視だけでは不十分：圧迫して剥離の有無を確認。)
- ③隅角部通気層上部の排湿排気孔は閉塞を起し易い事に十分留意する。
- ④透湿防水シートと通気胴縁の留め付け部は滲透し易い為、ビス止め等で確実に固定する。
- ⑤通気胴縁を固定する金具の貫通部からは、浸水し易い事に留意する。

FTA-3 ■劣化防止に関する情報

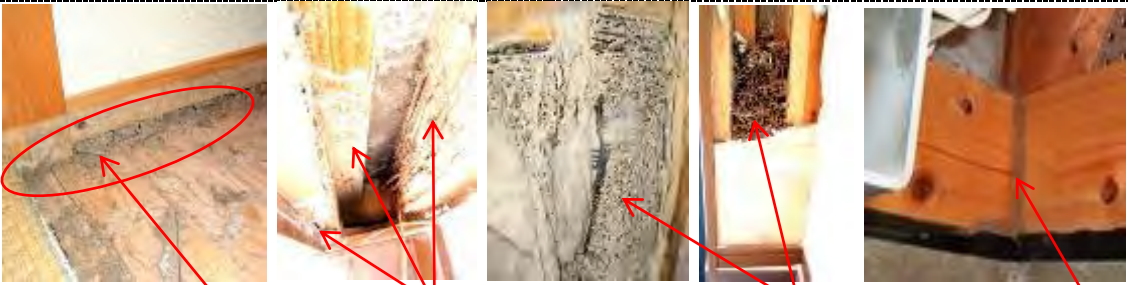
防止対策 ☑設計 ☑施工 ☑材料 ☑規基準	①乾式外装版の継手部・端部の止水処理には、役物の如何を問わずシーリング処理を施す。 ②乾式外装版のシーリング用バックアップには二面接着を担保できる下地材を使用する。 ③湿式左官の下地には防水フェルト+波型・リヴラス等を使用し、平ラスは使用しない。 ④左官下地の仕上げ塗装には防水性に加え透湿性を有する材料を選択する。 ⑤豎雨樋の控金物は外装面に後付型（止水パッキン付）等を使用して取付ける。 ⑥透湿防水シートは階層間で継手の無い一枚貼とする選択肢もある。 ⑦透湿防水シートを階層間で重ね張りする場合は、ステーブル等による止め付けでなく貫通孔の生じない両面接着テープを使用する。 ⑧透湿防水シートの下端は防水テープ等で隙間無く確実に押える。市販品のシート重ね部分に両面接着テープを備えた土台水切り等の使用も有効である。 ⑨透湿シートの端部・開口部周りの押えに使用する防水テープは、透湿シートメーカーの推奨する製品を使用する。 ⑩透湿防水シートは弛み・皺・膨らみ無く均等に張り通気層のクリアランスを確保する。 ⑪透湿防水シート下地の耐力壁面材に構造用パネルを使用する場合は、切削加工する版材の木口面の防水処理は張付け前に確実に処置する。 ⑫通気胴縁と透湿防水シートが接する重ね部には防水テープを使用する。 ⑬通気層上下の通気開口は外気と連通する空間と確実に連繋させる。 ⑭通気胴縁の固定には締付力の安定した螺状の接合金具を使用する。 ⑮通気層のクリアランスは十分大きくとる（通気胴縁の厚さは18mm以上が望ましい）。 ⑯外周に面する内装壁を貫通する設備ボックス等は気密タイプとする ⑰開口部周りの防水シート押え及びシーリング止水措置を施す。 通気層と軒天井の取合いの施工事例(豎優先) 外壁通気層の上部を小屋裏へ連通する場合の納まり図。 【豎優先の概略図】 軒先換気流 壁体通気気流

☒設計 ☒施工 ☒材料 ☒規基準	【解説図：平断面】※、通気構法における通気層への浸水対策 現状の標準的な施工 経年対応の確実性の高い設計仕様 ※公的な技術規基準には、通気胴縁裏側への浸水や止水措置・透湿シート継重ね部の止め付け方等の具体的な施工方法は示されていない。 ①通気胴縁の固定金具は、外装材の重量を長期間安定して支えられる剪断応力や引抜き応力の高い接合金具を使用する。
推奨材料	①K 3 保存処理材 ②耐久性の高い樹種（D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材） ③D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材 ④外装材は吸水性の低い凍結融解に優れている材料を選択する。 ⑤透湿防水シートは単層タイプとする。 ⑥防水テープや接着テープは透湿防水シートとの適性を考慮し、シートメーカーが推奨する材料を使用する。
その他	①建築及び設備等が外周壁を貫通する部分の防水処置を確実に行う。 ②外装目地部のシーリングは2面接着を確実に行う。（目地部材の選択等） ③建築金物の熱橋部には断熱措置を講じる。
留意事項 ☐設計 ☐施工 ☐材料 ☐規基準	①外周の構造体に構造用合板等の耐力面材を使用する場合は、室内側の下地には透湿抵抗値の高い材料を使用し気密性能を高める。（外壁の壁体内の水分量を調整する為、外装下地の耐力面材との排湿性能のバランスを考慮する必要がある。） 【下記解説図参照】 透湿抵抗値・外版＞内装版＝壁体内結露 透湿抵抗値・外版＜内装版＝壁体内乾燥 【解説図】※、内外の壁装材(下地含む)材料の組合せが壁体内結露に影響する。

	参考：建築材料の透湿抵抗値比較 ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg/g}$) ・ 構造用合板 12.0t の透湿抵抗値＝13.0 ・ 石膏ボード 12.5t の透湿抵抗値＝0.90 ・ 防湿石膏ボード 9t 透湿抵抗値＝18.0 ・ 気密シート 0.1 mmの透湿抵抗値＝45.2 ・ 透湿シート 0.2 mmの透湿抵抗値＝0.08～0.02 ②乾式外装の目地仕舞は外装版表面に整合しない材料を使用してはならない。 (例：横目地タイプのサイディングにH型ジョイナーの組合せは漏水に繋がる。) ③寒冷地域・温暖猛暑地域それぞれに適した補強手段を講じる。 ④通気・換気孔の形状や配置と気流特性などに十分配慮する。 ⑤切妻や片流れ屋根等の建物の妻側壁通気層上部の気流抜け、陸屋根小屋裏の換気を確保する。	
解説事項	住宅金融支援機構「木造住宅工事共通仕様書」「枠組壁工法住宅工事仕様書」	

4. 高気密住宅の間仕切り壁内部における蟻害・腐朽の発生

FTA-4 ■劣化事象に関する情報

劣化状況	☒ 写真	☒ 解説	劣化因子= ☒ カビ ☒ 腐朽菌 ☒ シロアリ
 和室間仕切(畳下)に蟻道 壁体木部に腐朽菌繁殖 間仕切中空部分に形成された蟻巣 基礎から間仕切に遡上蟻道			
 間仕切の気流抜けで結露が生じ土台木部にカビが蔓延、壁体の中空下部に湿潤が発生 間仕切り内側に形成された蟻巣 ①間仕切り下部の隙間からシロアリが遡上し蟻巣の構築と食害が発生。 ②床下から侵入した気流が構造木部を湿潤させカビや腐朽菌の繁殖と蟻害が発生。			
 ◀壁体中空部の腐朽菌糸▶ ▶中空部の遡上蟻道▶			
劣化原因	☒ 設計	☒ 施工	☐ 材料 ☐ 規基準
 土台と断熱材の間の気流抜け 水回りの区画壁上部の気流抜け 土台上の気流抜け 階段ささら桁と壁の間の気流抜け ①間仕切り壁下部の気流止めに不具合があり、床下から多湿な気流が侵入し結露。 ②間仕切り下部の隙間からシロアリが遡上侵入し中継蟻巣を構築し食害が拡大。 ③軸組工法の和室回りの地板裏面や敷居及び畳下と間仕切り壁取合い部の気流抜け部分に発生した結露が木部を湿潤させ、シロアリ遡上や腐朽菌繁殖の原因となった。			



留意事項：☑設計 ☑施工 □材料 □規基準

※高気密住宅の気流止めは空気だけではなく水湿分も遮断できる高気密仕様とすること。

- ①室間の間仕切りの下部及び上部に施す気流止めは高気密性とする。
- ②浴室ユニットバス区画壁の間仕切り壁上部の気流抜けを制御する。
- ③階段室囲い壁と階段ササラ桁の間には階層間の気流抜けが出来易い。
- ④階層間を貫通する設備配管用パイプスペースの気流止め措置を明確にする。



浴室区画上部の気流抜け(UB と区画壁間の隙間) 階層間の P.S の縦孔も気流抜けに 土台上部と間仕切りの気流抜け



収納部床板と間仕切下部の気流抜け。 階段ささら桁と間仕切り壁の間の気流抜け。 床下点検口枠止部漏気による結露

FTA-4 ■劣化防止に関する情報

防止対策 ☑設計 ☑施工 ☑材料 □規基準	①外壁・床下・小屋裏への気流止を一連の気密層として漏気や気流抜けを防止する措置を施す。 ②和室畳床周囲の床下と仕切り壁下部や畳寄・敷居下等の隙間を遮蔽する気流抜け防止措置を施す。 和室の敷居や畳寄せ下縁と床板の間には気流抜けが残され易い。床板裏面と断熱材の間に防湿シート ③ユニットバス区画壁上部の気密措置及び区画内の排湿措置を講じる。 ④設備配管用パイプスペース等の竪穴開口部に気流遮蔽措置を講じる。 ⑤階層間の天井懐空間と準外気(床下)との間に気流止めを設置する。 ⑥気密防湿シートの継ぎ重ね部分の押えをテーピング等で確実に漏気止めを措置する。 ⑦最下階床下や天井の点検口は全て気密・断熱型とする【解説図参照】。
☑設計 ☑施工 ☑材料 □規基準	【解説図】
推奨材料	①K 3 保存処理材 ②耐久性の高い樹種（D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材） ③D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材 ④気密断熱型点検口は蓋枠の取付け部も気密遮断できる製品とする。
その他	①隠蔽された設備配管の保温・防蝕被覆の不具合は結露し易い事に留意する。 ②間仕切りの空洞部と床下(湿度が高い)空間の繋がりを遮断する事が重要。 ③高気密高断熱仕様住宅で生じ易い漏気部分の結露と湿潤に注意する。

留意事項 ☒設計 ☒施工 ☒材料 ☐規基準	①階層間の貫通開口部や室内と躯体隠蔽部に界接する点検口の漏気は結露発生の原因になり易い事に留意する。(階段室側壁・ユニットバスの囲い壁上部など) ②和室回りの畳寄せや敷居の下部及び押入れ・床の間の床裏等は気流抜けが残され易い事に留意する。 ③中間間仕切り下部の気流抜けは床下換気の障害となり易い事に留意する。 ④小屋裏空間への屋根の雨漏れや、床下空間と上部間仕切り壁や和室回りの隙間の漏気は、ヒートブリッジによる結露原因となり易い為、施工状態の点検管理を行う。
解説事項	住宅金融支援機構「木造住宅工事共通仕様書」 ※、気流止めの項

5. 基礎外張断熱工法における生物劣化の発生

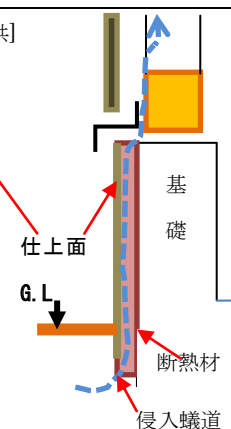
FTA-5 ■劣化事象に関する情報

劣化状況

☑写真

☑解説

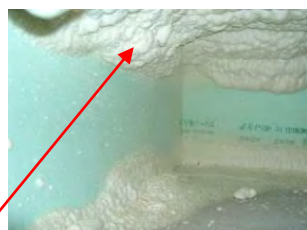
劣化因子=☐カビ☑腐朽菌☑シロアリ[④食害写真：住宅保証機構提供]



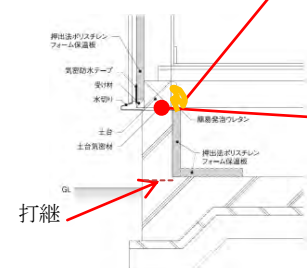
食害をうけ撤去した断熱材 シロアリに摂食された外張断熱材（発泡スチロール）

①基礎の外張り断熱材にシロアリが侵入し摂食。

②基礎天端の断熱材と気密パッキンの間に残った熱橋部が結露。



基礎天端の熱橋を被覆した吹付断熱材が木部全面を覆っている。 土台の放湿が阻害され湿潤し腐朽。



※、熱橋防止の発泡吹付けが土台全面を被覆すると木部湿潤が起き易い。

③基礎天端に設置された土台が湿潤し腐朽劣化。

④基礎内張り発泡断熱材にシロアリが侵入し遡上蟻道が生成され、上部構造木部が食害劣化。

劣化原因 ☒設 計 ☒施 工 ☒材 料 ☐規基準	【蟻道侵入】 ◆内張り断熱 ◆外張断熱 ◆内外両面断熱 ※、シロアリは基礎の打継部や無筋コンクリートの剥離部から侵入する。 ①基礎の打継部から侵入したシロアリが発泡断熱材を摂食遡上し土台上部の構造体に食害を及ぼした。 ②内張り断熱天端に吹付ける熱橋防止のための被覆発泡材が土台全面を覆った為、木部の拡散放湿が阻害され湿潤し腐朽。 ③外張断熱が一枚張りの為、断熱材相互の継手部に熱橋による結露が生じ、外面仕上り部分の凍結剥離をおこした。 ④外張りの発泡断熱材が地盤面に接触していた為シロアリが侵入した。 ⑤基礎及び外周附帯施設のコンクリート土間の剥離部分がシロアリの遡行ルートとなった。
留意事項 ☒設 計 ☒施 工 ☒材 料 ☐規基準	①基礎コンクリートの打継部はシロアリの侵入路に利用され易い事から断熱材を基礎の打継部の貫通孔の閉塞を未処理の状態で近接させない。 ②床組木材の拡散放湿を妨げないよう吹付断熱材の被覆施工には注意する。 ③基礎コンクリート打設後の乾燥放湿に影響を及ぼす地下水の季節変動を含む常水位のレベルを把握し、設計施工には必要に応じて防水措置を施す。

FTA-5 ■劣化防止に関する情報

防止対策 ☑設計 ☑施工 ☑材料 ☑規基準	①基礎断熱材上部の熱橋部分に施す断熱補強は土台等の木部全面を被覆してはならない。（木質部の水分の拡散放湿機能を妨げ木部湿潤の原因となる） ②基礎断熱材の上端と基礎コンクリートの取合い部に生じる熱橋防止のための被覆が発泡断熱の場合は木部を床下側空間に露呈させる。 ③熱橋部の断熱補強には発泡系の成型版による張付けを行う。 ④基礎に張る断熱材は防蟻剤混成の発泡断熱材を使用し必ず二重張とする。
解説図 ☑設計☑施工☑材料☑規基準 【基礎断熱】 □内張り断熱 □外張り断熱 □内外両面断熱 断熱被覆 断熱材頂部に鋼板被覆 断熱材頂部に鋼板被覆 断熱材頂部に鋼板被覆 熱橋防止の断熱補強被覆 断熱補強被覆 断熱補強被覆 気密材 気密材 気密材 発泡系断熱材 2重貼 凍結深度以上 凍結深度以上 気密パッキン 熱橋となる部分 基礎立上り部 アンカーボルト 断熱部材 基礎内張断熱材	
①基礎に張る発泡系断熱材は、熱橋結露を防ぐ為2重張り又は本実継手とする。 ②内張り断熱の場合、基礎埋設の構造用金物は壁体内露出部分に断熱措置を施す。 ③内張り断熱材の天端と基礎の内側天端には熱橋防止の為断熱被覆を施す。 ④基礎に張る発泡系断熱材は防蟻の為、犬走り等の有筋コンクリートに打込み打設する。 ※基礎断熱仕様の基礎型枠は、原則としてコーンセパレーター方式とする。 ⑤基礎コンクリートの打継における侵入蟻道の危険性に関する公的技術規準は無い。 ⑥基礎に貼る断熱材相互の継手や天端等における熱橋に関する公的技術規準は無い。 ⑦土台等の木部表面は拡散放湿を阻害しないよう開放状態を確保する。	
推奨材料 ☑設計 ☑材料	①K 3 保存処理材 ②耐久性の高い樹種（D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材） ③D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材 ④張付け断熱材と基礎天端の間の熱橋の断熱補強は成型版で行う。
その他 ☑設計 ☑施工	①設備配管を鞘管方式とする場合は設備管と鞘管外側の隙間を閉塞する。 ②基礎コンクリートの打継部に接して発泡断熱材を設置しない。 ③発泡系断熱材は有筋コンクリートに打込み、地盤と接しないよう注意する。 ④構造木材には未乾燥材を使用しない。 ⑤耐久性の低い樹種を選定しない。

	⑥省エネルギー対策と並行して、防腐防蟻措置対策の重要性を周知する。 ⑦基礎天端と土台の間に設置する気密スペーサーの気密性を安定維持する上で必要な水平を確保するため、基礎天端にレベリング材を用いるなど施工に注意する。
留意事項 ☑設計 ☑施工 ☑材料	①現場で打設されるコンクリートの混練時間の施工管理を徹底する。 ②コンクリート打設時にはバイブレーションの掛け過ぎ(骨材分離)に注意する。 ③外張りの断熱材天端にはシロアリの侵食を物理的に阻止する鋼板被覆等も考慮する。(断熱材を遡上するシロアリが外部に迂回蟻道を形成する事でシロアリの侵入を早期発見しやすくする。) ④基礎天端の気密材には荷重による気密材の断裂を防ぐ耐圧措置を講じる。 ⑤K 3 保存処理を施した木材であっても過剰な湿潤により処理薬剤が溶出し、防腐防蟻に対する薬効効果が失効し易くなる事に留意する。
解説事項	住宅金融支援機構「木造住宅工事共通仕様書」参照

6. バリアフリー住宅における玄関框、床組材を中心とした生物劣化の発生

FTA-6 ■劣化事象に関する情報

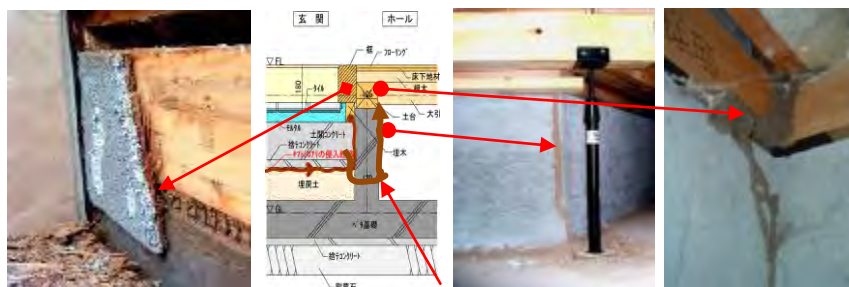
劣化状況 ☒ 写真 ☒ 解説	劣化因子=☐カビ ☒腐朽菌 ☒シロアリ    玄関の上り框の含水率が 29%(異常) 框受け土台の湿潤腐朽 框受け土台の含水率は 28%(異常)     玄関上り框の蟻害 同左框の蟻害 上り框の湿潤による変色 框と床板の湿潤    框受け土台の激しい食害 框の表面からは見えない蟻害 框受け土台の湿潤と腐朽の状態   玄関内土間より低く設置された土台木部の蟻害 玄関上り框の湿潤により化粧面が顕著に変色 ①玄関上り框が変色し、框と受け土台ともに湿潤により腐朽劣化。 ②玄関上り框と受け土台がシロアリによる食害劣化。 ③バリアフリーの嵩上した土間より低く設置した土台が湿潤し蟻害が発生。    玄関化粧框の含水率異常(38%) 取り外した化粧框の裏面が湿潤し蟻害 框受け土台の含水率も 38%
劣化原因	①玄関及び台所の出入り口建具の下の際間、土間コンクリートの打設部分の剥離や

- ☑設計
- ☑施工
- 材料
- ☑規基準

隙間がシロアリの侵入路となった。

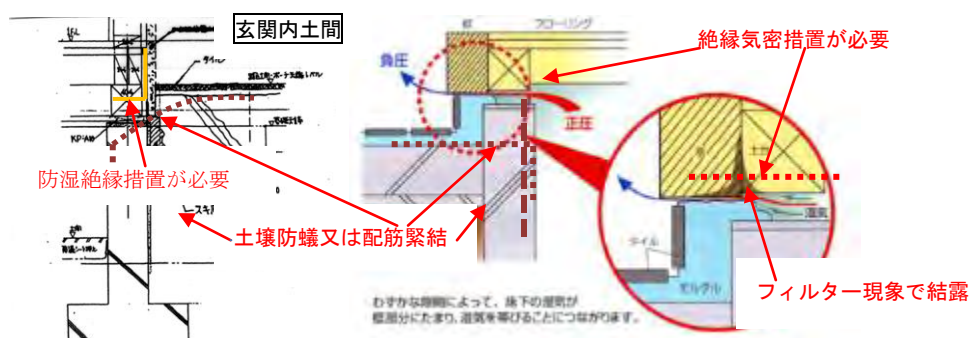


玄関や勝手口の建具下に隙間 外部と内土間の嵩上土砂が繋がった状態がシロアリの侵入路となった。



玄関内土間と基礎の剥離部や基礎立上りと底板の打継部の貫通孔からシロアリが遡上し被害された。

②玄関アプローチをバリアフリーとする為嵩上した土間コンクリートと基礎が配筋緊結されておらず、コンクリート剥離を起し土台等の木部が湿潤し腐朽した。またシロアリの侵入により食害劣化。



※玄関周りの土台等構造木部とコンクリートの境界部には防湿措置を講じる。

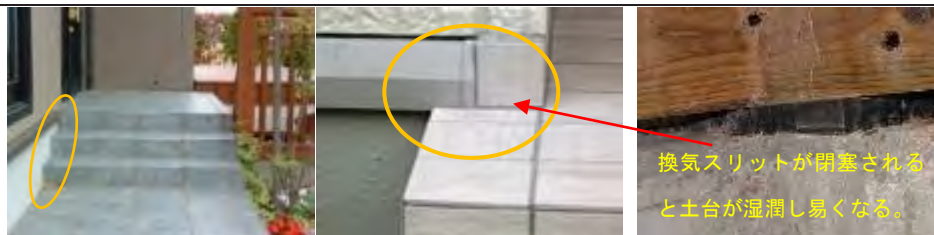
③玄関の上り框下の気密遮断に不具合があって、床下空間と玄関の踏込空間の気密の破れによりフィルター現象による結露が常態化、土台等の木部湿潤により腐朽とシロアリによる食害が発生した。

④高気密住宅における玄関周りの漏気による結露湿潤を防止する為の気密措置の重要性や結露の危険性に関する公的な技術規準はない。

⑤バリアフリー住宅の玄関等のアプローチ部分における土間嵩上と高さが逆転する場合の、土台等構造木部に対する防腐防蟻措置に関する技術規準はない。

⑥ベタ基礎としていた為、内土間下に土壤防蟻処理を施していなかった。

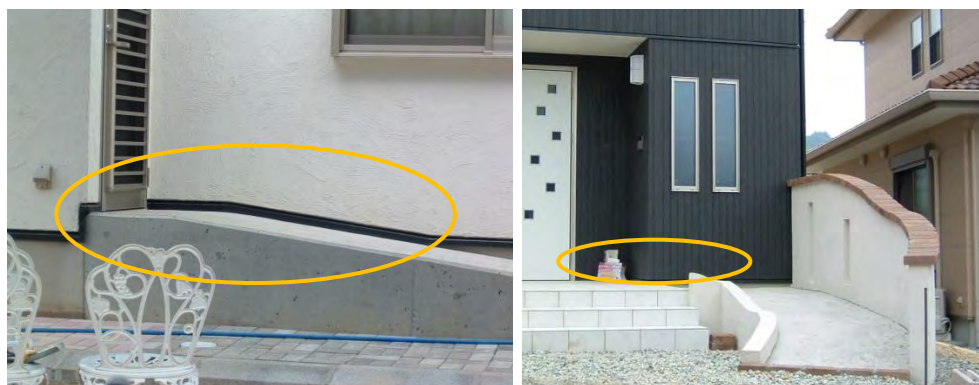
留意事項



換気スリットが閉塞されると土台が湿潤し易くなる。

バリアフリー仕様で玄関ポーチ土間を土台より高く設定した状態シロアリの侵入路となり易い。

- ①外部の玄関ポーチの嵩上を行う場合は、外壁下端水切りの換気部分を閉塞しないよう注意する。
- ②バリアフリー住宅に於いて玄関ポーチへのスロープなどを設ける場合は、外壁下端や基礎との間に100mm以上の隔離した隙間を確保する。



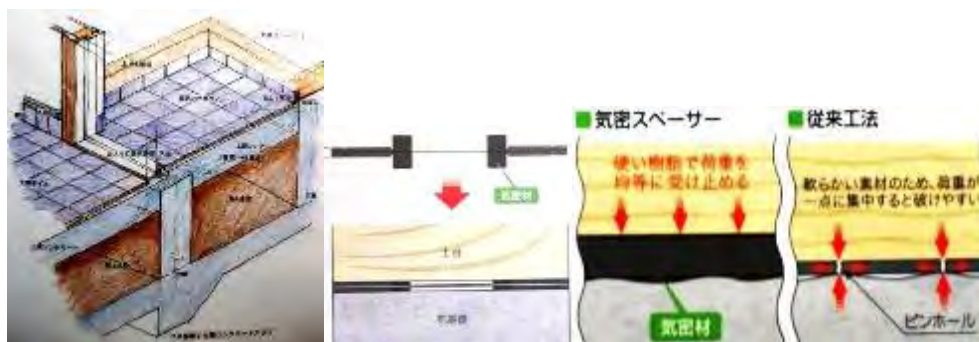
勝手口へのスロープが壁体脚部外側に被さった状態 玄関ポーチの外壁下端の水切りが塞がった状態

FTA-6 ■劣化防止に関する情報

防止対策

- ☒設計
- ☒施工
- ☒材料
- ☐規基準

- ①基礎及び土間コンクリートは配筋にて一体化する。

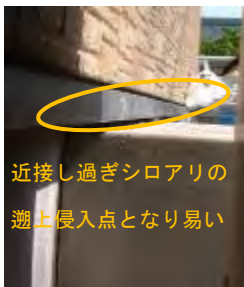


- ②玄関ホールと外気及び床下空間の境界部には気密措置を講じ漏気を防ぐ。

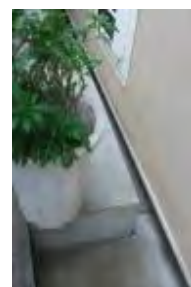
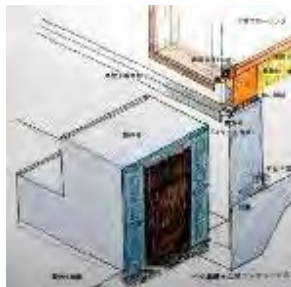


玄関の土間は基礎と有筋で一体化する 玄関土間にコンクリートを打設 犬走りや土間テラスに遮断溝

③勝手口踏み台を基礎に接して設けず 100 mm以上離して設置する。



近接し過ぎシロアリの
遡上侵入点となり易い



踏み台の天面が換気孔を閉塞しシロアリの侵入路となる。踏み台と基礎の間を隔離処理した施工事例。

④玄関ポーチの土間高さが土台より高くなる場合は、浸水防止とシロアリの侵入を阻止する為に有効な遮断溝などを設置する。



※バリアフリーの玄関ポーチと内土間の間に浸水防止やシロアリ防御用の遮断溝を設置した施工事例。

- ☒設計
- ☒施工
- ☒材料
- ☐規基準

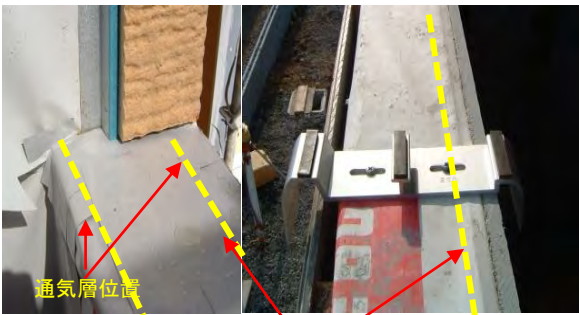
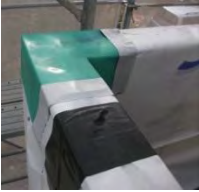
【解説図】

遮断溝(前項写真参照)

	平面図 断面図 基礎と有筋で一体化 打継の貫通孔に注意 ①玄関や勝手口等の踏込をコンクリート打設する場合は有筋とし、基礎と剥離しないよう一体とする。 ②外部土壤に接する基礎の打継部は、型枠巾止金物の貫通孔や水抜き穴等を閉塞処理する。
推奨材料 ☑設計 ☑材料	①K 3 保存処理材 ②耐久性の高い樹種（D 1 の中でも特に水書できる樹種の乾燥材） ③D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材 ④玄関上り框下には長期対応として耐圧版を備えた気密パッキンを用いる
その他 ☑設計 ☑施工	①設備配管が基礎を貫通して床下側に繋がっている場合はシロアリの侵入路となり易い為、防蟻措置に十分な注意が必要。 ②玄関土間等の無筋コンクリート打設部には剥離が生じ易く、防湿・防蟻上の弱点となり易いため、土間下の土壤には防蟻処理を施す。 ③24時間換気を設備した住宅の屋内空間は床下や外部空間よりも負圧状態となり易く狭窄部はフィルター現象による結露が生じ易い事に注意。
留意事項 ☑設計 □施工 ☑材料 ☑規基準	①高気密高断熱住宅における漏気し易い部分について、気密処理に関する技術規基準は示されておらず、設計には十分な対策を示す。 ②玄関ホール等の共用部空間は、屋内を第一種換気とする場合、負圧空間となり易い事に留意する。 ③寒冷地域・暖暑地域それぞれに適した断熱補強手段を講じる。
解説事項	住宅金融支援機構「木造住宅工事共通仕様書」「枠組壁工法住宅工事共通仕様書」

7. 通気工法によるルーフバルコニーにおける生物劣化の発生

FTA-7 ■劣化事象に関する情報

劣化状況 ☒ 写真 ☒ 解説	劣化因子=☒カビ ☒腐朽菌 ☐シロアリ   ルーフバルコニー腰壁の汚損事例 腰壁天端の防水施工状態（通気層の閉塞と防水の不備）     外壁と腰壁天端の取合い不具合 腰壁天端の防水不備を起す事例 バルコニーの構造木部の腐朽     ルーフバルコニー床裏の結露と湿潤事例 ルーフバルコニー床梁の湿潤と受け桁の蟻害    腰壁天端と外壁取合い部の防水の破れ 構造柱の湿潤劣化
劣化原因 ☒ 設計 ☒ 施工 ☒ 材料 ☐ 規基準	①腰壁天端の防水措置の不具合。（防水層は天端全長に防水テープ等を鞍掛する） ②腰壁天端と外壁の取合い部分の防水措置が破断し、雨水が浸水。 ③腰壁の外装下地の通気層上部の排出スリットを閉塞し結露を繰り返した。 ④腰壁天端に取付けた笠木と手摺受け金物の取付け固定金具が防水層を貫通し、笠木下端に吹き込んだ雨水が漏水した。 ⑤腰壁の空洞部が外気との温度差で結露を繰り返し木部が湿潤。
留意事項	①腰壁天端と外壁の取合い部分の防水紙等の重ね手順などを設計図書の特記事項として明確に表記する。 ②ルーフバルコニー歩行床裏空間の換気と気密断熱措置を明確に表記する。

防止対策

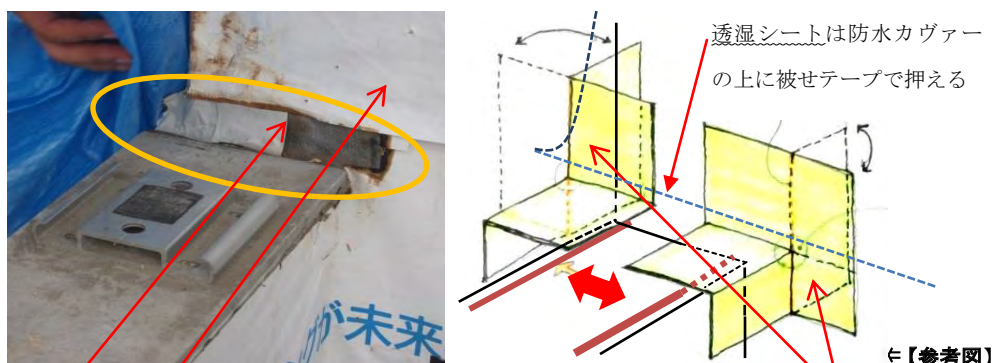
①腰壁天端の防水措置については施工手順と工事担当の工程を明確にする。



天端の防水シートを胴縁取付けの前に行った好事例 腰壁の飾り格子枠の入隅部は浸水し易い

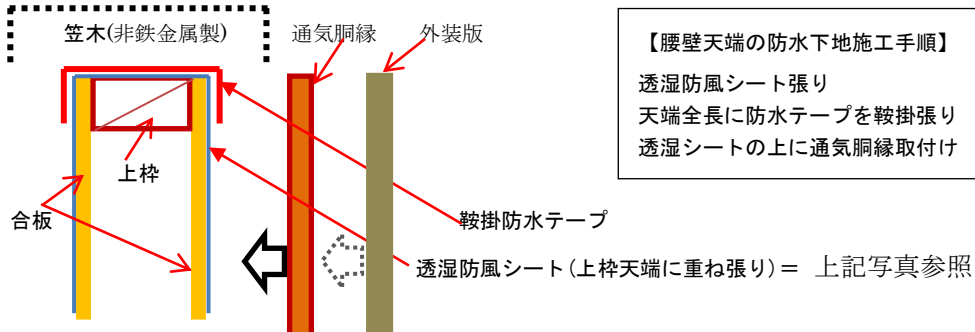
【腰壁天端と外壁の取合い部(三次面)の防水処置の施工概略図】

施工手順＝腰壁の透湿シート張り⇒腰壁と外壁の取合い部に防水カバーの施工⇒壁の透湿シート張り



防水テープが透湿シートの上に貼られている。壁の透湿シート張りに先立ち防水カバーを取付ける。

【腰壁天端防水処理の施工手順概略図】



※、前項の腰壁天端と壁の取合い部の三次面の防水処理は、腰壁天端の鞍掛防水テープを施工した後に処置する。

②腰壁天端に張り重ねる透湿シートを最終の防水層としてはならない。

③笠木の取付け等を考慮して、天端の防水層には防水テープを天端全長に鞍掛状態で張り、笠木の固定金物には浸水防止の措置を講じる。

④腰壁外装下端の通気層と下部には見切り通気部材を取付け、見切り部材の端部には必ず止水措置を施す。(この通気層は下階天井懐空間に繋がらない。)

☒設計 ☒施工 ☒材料 ☐規基準	【解説図】
推奨材料	①K 3 保存処理材 ②耐久性の高い樹種（D 1 の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材） ③D 1 材の心材をラミナとした構造用集成材 ④腰壁天端に笠木や手摺を取付ける場合は、腰壁の上枠への固定金具の打込み部分に浸水を防ぐ措置を講じる。（伸張型防水テープ等）
その他	①腰壁の内外の仕上げ材下地に設ける通気層は小屋裏空間に繋げない。 ②腰壁や飾り格子枠及び外壁との取り合い部等の出入角部には優先して下地防水措置を講じ、外装材の下地防水層を被せて納める。 ③直下階天井には必ず気密断熱型の点検口を設ける。 ④歩行床の雨水排水管が天井懐空間と接する場合は必ず防露被覆を施す。
留意事項 ☒設計 ☒施工 ☒材料 ☐規基準	①外装下地の通気と防水処理には異業種の取合い工事がある事から、工事管理において工程の手順等の管理に十分注意する。 ②設計時には、バルコニー関連の防水と止水の納まり及び部材等の仕様を明確に表記する。 ③外部に取付ける金物等には、取付け時の防水措置や部材自体の防水処理が明確な工法部材を選択する。 ④ルーフバルコニーの歩行床裏空間は直下階の天井懐空間とは気密断熱措置を講じ遮断する。
解説事項	住宅金融支援機構「木造住宅工事共通仕様書」「枠組壁工法住宅工事共通仕様書」

8. 太陽光パネルの設置による小屋組みの生物劣化の発生

FTA-8 ■劣化事象に関する情報

劣化状況

☒写真

☒解説

劣化因子=☒カビ ☒腐朽菌 ☐シロアリ



軒天井と外壁上部の結露湿潤



野地合板の高含水率(30%)と湿潤



野地板と防水層間の結露・カビ



軒先野地板の湿潤による腐朽



軒先広小舞合板の湿潤と腐朽



垂木先端と軒桁天端の腐朽



垂木先に取付けた鼻板の湿潤

- ①日射面の野地板が湿潤結露し、野地合板が湿潤、腐朽とカビが発生。
- ②軒先の桤及び軒桁天端が湿潤、腐朽。
- ③P V パネルを設置後、小屋裏空間が湿潤し木部にカビと腐朽が発生。



劣化原因

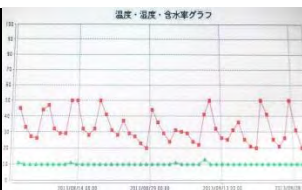
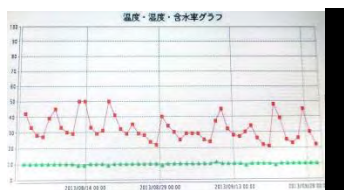
☐設計

☐施工

☐材料

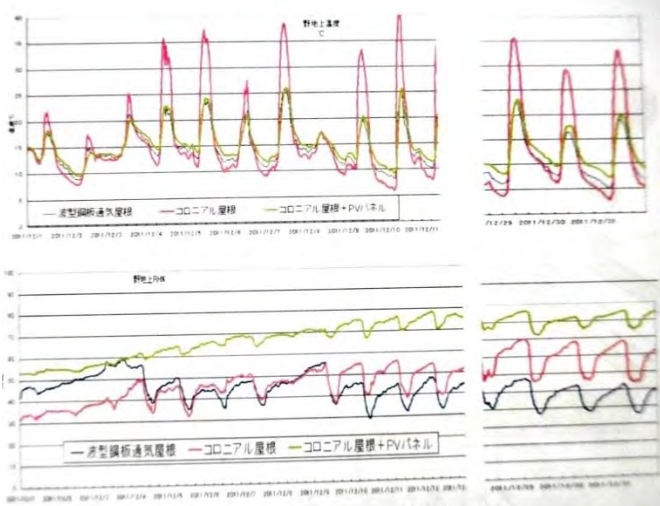
☐規基準

※野地部分の水蒸気飽和(結露)による湿潤と経年蓄湿による劣化リスクの増幅。

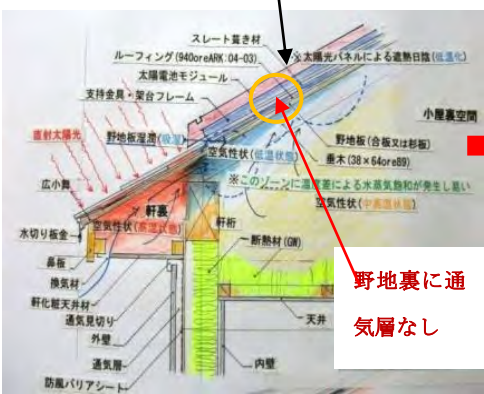
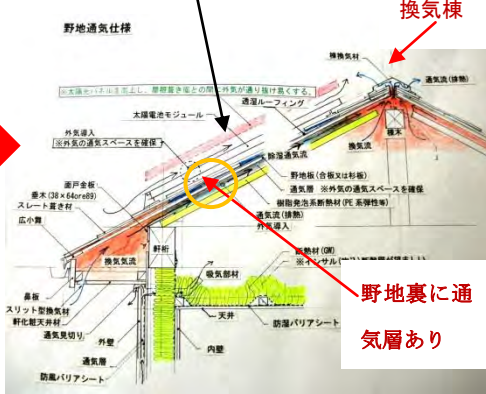


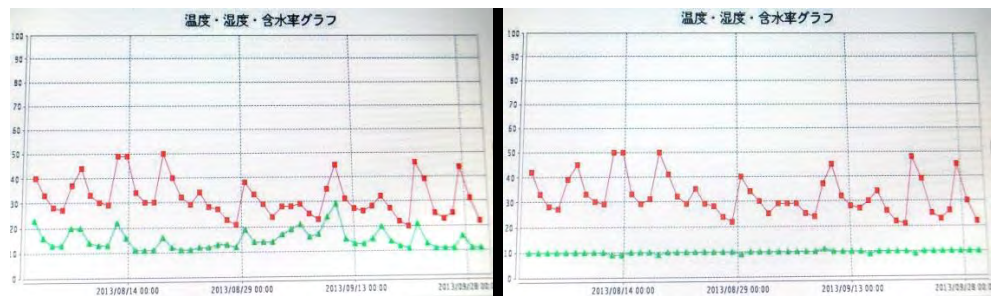
P V モジュール+野地裏通気 P V モジュール+野地通気無し P V モジュール無し

- ①P V モジュール設置によって屋根面に日陰ができ、野地裏温度上昇が抑制され、

	外気換気流との温度差により水蒸気飽和に至り、野地板の表裏面が湿潤が常態化した。 ②小屋裏換気の不順(軒換気のための寄棟小屋裏での空気の淀み等)
留意事項	 野地板温度グラフ - PV モジュール設置なし屋根 - PV モジュール設置あり屋根 - 波形鋼板葺き通気屋根 野地板湿度グラフ - PV モジュール設置なし屋根 - PV モジュール設置あり屋根 - 波形鋼板葺き通気屋根 ① P V モジュール設置によって屋根面にできた日陰が屋根下地部分や小屋裏空間の気象完了を大きな変化させ、野地板の表裏が湿潤して常態化し易くなる夏季期間の小屋裏環境と小屋組の湿潤事象を注意し監視する。 ④ 温度差のある二つの空気が交わる際に発生する結露のメカニズムと、換気ゾーンの気流輪道に因る淀み域の現象について設計上十分に配慮する。

FTA-8 ■劣化防止に関する情報

防止対策 ☑設計 ☐施工 ☑材料 ☑規基準	太陽光 PV モジュール  野地裏に通気層なし 太陽光 PV モジュール  野地裏に通気層あり
--	---



野地板の含水率(◆ 9%下限)と葺き材の裏面温度(● 50℃上限)の推移

左：屋根に太陽光 PV を設置した場合

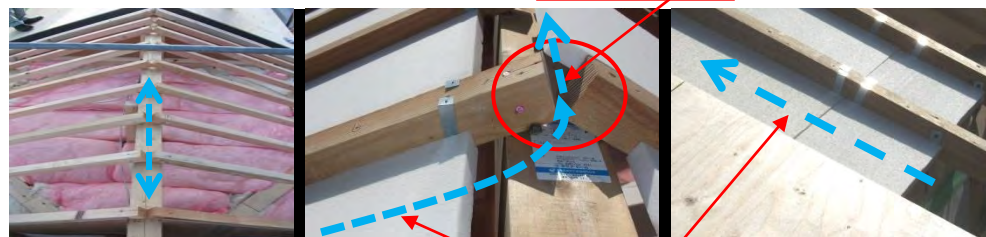
(右)：太陽光 PV を設置し野地裏に通気層を設けた場合

① P V モジュールを設置する場合は、野地裏に通気層(厚さ 30 mm 以上)を設け、上部に通気流の排気口(棟換気孔)、下部に吸気口(軒換気孔)を併設する。



棟部の通常の小屋組垂木の先端 棟部に換気孔を設ける場合は棟木上部に通気流の連通路を設ける。

② 軒裏の換気孔は出来るだけ分散配置し、棟部に換気孔を設置すると共に小屋組の垂木先端(若しくは棟木天面)に通気流の連通路を確保する。



② 小屋裏換気の吸排気孔の配置及び野地裏通気層を設計図書に明記する。

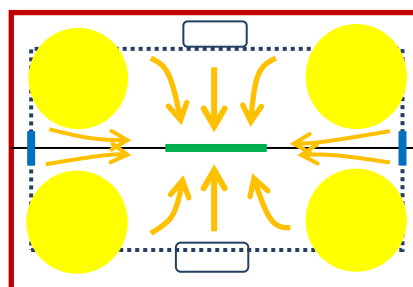
④ スポットの換気孔を配置する際には気流の輪道特性及び淀み域について通換気設計では十分配慮する。

⑤ 頂部に排気孔を設置する場合は、排気効率に有効な気流の連通路を確保する。⑥ 外壁内の通気層が小屋裏に繋がる場合においても小屋裏換気に必要な規準面積は通気層の通気面積とは併合せず確保する。

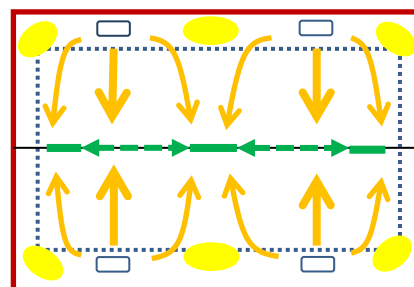
- ☑設計
- ☑施工
- ☑材料
- ☐規基準

【解説図】※、小屋裏換気孔の配置例概要図

【非効率な小屋裏換気の配置例】



【効率的な小屋裏換気の配置例】



● : 淀み域 —●— : 屋切換気孔 —●— : 頂部換気孔 —●— : 通気路 □ : 軒換気孔 —●— : 換気気流

	小屋裏の換気孔を全域に分散配置する事が排湿換気に有効であるので、 ①小屋裏の換気孔は同面積であっても分散配置する。 ②小屋裏換気の吸気と排気の高低差は900mm以上確保する。 ③小屋裏の換気孔は対向・対角となるよう配置する。
推奨材料	①K3保存処理材 ②耐久性の高い樹種（D1の中でも特に推奨できる樹種の乾燥材） ③D1材の心材をラミナとした構造用集成材 ④棟換気材やスリット形式の換気(見切兼用)を使用する。
その他	①小屋裏点検の為に開口部は気密・断熱性を備えた点検口とする。 ②小屋裏の断熱には熱橋の生じ難い切れ目のない断熱層を確保する。
留意事項 ☐ 設計 ☐ 施工 ☐ 材料 ☐ 規基準	①屋根の南北勾配面における日射熱量の格差と水蒸気飽和現象による野地下地の湿潤リスクの解消に留意する（野地通気の確保等）。 ②寒冷地域・温暖地域それぞれに適した小屋裏断熱を考慮する。 ③換気孔の形状のスポット式とスリット式の適切な選択を行う。
解説事項	

第5章 接合部の強度劣化評価に関する検討

5.1 はじめに

木部構造体の維持管理の基礎資料を得るため、まず生物劣化による接合部強度低下への影響を実験的に明らかにするための接合部強度試験に関して検討した。また、その結果に基づき、既存建物の維持管理における補修判断基準を検討するため、接合部の劣化による耐力低下を考慮した木造住宅の地震時の応答解析の手法について検討することを全体の計画とした。

生物劣化による接合部強度低下を検討するための試験では、接合金物を使用した接合部モデル試験体を強制的に生物劣化させ、接合部耐力と劣化程度との関係を明らかにする必要がある。そのため、まず生物劣化を強制的に発生させる方法（以下、強制劣化方法と称する）を新たに考案することが必要である。接合部の強度を低下させる生物劣化としては、イエシロアリと腐朽菌が考えられることから、まずこれらによる強制劣化方法を検討した。次に、強制劣化方法により生物劣化を発生させた接合部強度試験体の試験結果から接合部の特性値を算出するとともに、劣化程度との関係を検討した。また、既存木造住宅の接合部の劣化による耐力低下に与える影響の検証を目的としたシミュレーションについて検討した。

5.2 強制劣化に関する検討

生物劣化と木材の強度との関係を明らかにするためには、生物劣化が発生した木材の強度試験を実施することはもちろんのこと、強制劣化方法と称している「生物劣化を強制的に発生させる方法」により生物劣化させた木材の強度試験を実施することが有効である。また、木材の強度低下に関わり深い生物劣化としては、イエシロアリと腐朽菌によるものが多いことから、接合部の強度試験を行うには、これらの生物劣化を取り上げることが妥当であると考えられる。そこで、これまでに検討され、なおかつ、接合部の強度試験を行うのに有効と考えられるイエシロアリおよび腐朽菌による強制劣化方法についてとりまとめを行った。

5.2.1 イエシロアリによる強制劣化方法

イエシロアリによる強制劣化方法は、接合部モデル試験体の部材を接合金物（CP-T）を取り付けて組んだ状態で、1体のみの場合と複数同時の場合とで実現可能な強制劣化方法をそれぞれ検討した。それぞれを考案するに当たり、蟻害を発生させたい場所とそうでない場所、蟻害の発生程度、蟻害の発生程度に寄与すると考えられる因子、イエシロアリの誘導方法、蟻害発生を抑制する方法について整理した。

接合部モデル試験体が単体のみの場合の検討は、鹿児島県の廣瀬産業の施設で行った。この施設では、1つの巣に対し1体の接合部モデル試験体を対象として、イエシロアリによる強制劣化方法を検討した（写真 2.2.1）。強制劣化の期間は基本的に10日間とした。

接合部モデル試験体が複数同時の場合の検討は、茨城県の森林総合研究所の施設で行った。この施設では、1つの巣に対し4体の接合部モデル試験体を対象として、イエシロアリによる強制劣化方法を検討した（写真 5.2.2）。強制劣化の期間は基本的に3ヶ月間とした。なお、接合金物（CP-T）は、釘を完全に打ち付けず仮付けした状態とした。



写真 5.2.1 イエシロアリによる強制劣化方法の検討
（接合部モデル試験体が単体のみの場合）



写真 5.2.2 イエシロアリによる強制劣化方法の検討
（接合部モデル試験体が複数同時の場合）

5.2.2 腐朽菌による強制劣化方法

腐朽菌による強制劣化方法として、菌床およびファンガスセラーによる方法を整理した。

(1) 菌床による強制劣化方法

菌床による強制劣化方法は、菌の選定、菌の増殖方法、接合部試験体の強制劣化操作を検討した。菌の選定は、まず低温菌のナミダタケと中温菌のチョークアナタケの2種類とした。また、状況に応じてオオウズラタケ、イドタケも候補として追加した。菌の増殖方法は、まず寒天培地により選定した菌を種菌として増やし、次いで、菌床栽培により大量増殖させることとした。菌床栽培は、広葉樹、エゾマツ、ホワイトウッドのいずれかの荒い帯鋸屑を基に、ペプトン、ふすま（小麦の胚芽）、米ぬかのいずれかを加えることとした。接合部試験体の強制劣化操作は、まず大量増殖した腐朽菌を菌床ごと試験体の劣化させたい箇所に接種し、次いで菌床と試験体を保湿のためにビニルで接種した場所だけを覆うこととした。そして、腐朽菌が試験体に侵入するまでの暫くの間、温湿度の変化が小さくなるよう設置環境を管理することとした。

腐朽菌による強制劣化方法は、木粉培地を用いたチョークアナタケとナミダタケの菌床を培養瓶で作製して行った。作製した菌床を接合部モデル試験体に接触させるに当たり、まず接合部モデル試験体にエタノールを霧状に吹きかけた。次いで、接合金物（CP-T）が取り付けられる部分に木粉培地を直接試験体に接触させ、腐朽菌が木粉から試験体に摂取されるようにした（写真 5.2.3）。その後、木粉を盛り付けた部分の保湿と雑菌の繁殖を防止することを目的として、試験体を重ね合わせた状態が確実に固定されるようになるまでストレッチフィルムで厳重に巻き固めた（写真 5.2.4）。その後、チョークアナタケの菌床を盛り付けた接合部モデル試験体は、温度 30℃、湿度 63% R H の恒温恒湿室で養生した。また、ナミダタケの菌床を盛り付けた接合部モデル試験体は、温度 20℃ の恒温室で養生した。なお、試験体に菌床を盛り付け後、接合部モデル試験体を仮組みしてストレッチフィルムで巻き固める方法も検討した。



写真 5.2.3 ナミダタケを培養した木粉培地を土台部材に直接盛り付けた様子

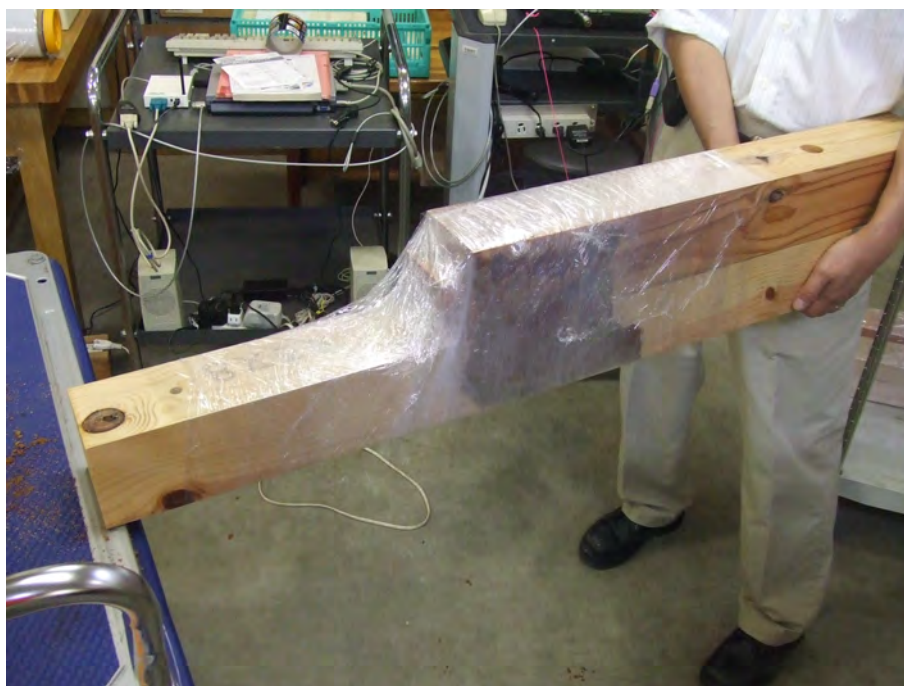


写真 5.2.4 ストレッチフィルムで接合部モデル試験体を巻き固めた様子

(2) ファンガスセラーによる強制劣化方法

ファンガスセラーによる強制劣化方法は、接合部モデル試験体の部材に接合金物（CP-T）を取り付ける事を想定して検討した。検討の際、部材による違い、樹種の違い、腐朽発生を抑制する方法、土壌および試験体の保湿を維持する方法および散水パターンに着目した。ファンガスセラーは、森林総合研究所の合板集成棟にある温度 20℃に設定された恒温室内に作製した。ファンガスセラーの土壌には、培養瓶でナミダタケを培養した木粉培地の菌床を混ぜた腐葉土と黒土を用いた。ファンガスセラーは、腐朽を発生させる箇所を材中間部とした土台用（写真 5.2.5）と材端部とした柱用（写真 5.2.6）の 2 種類を作製した。ファンガスセラーには、アカマツ、スギ、ベイマツ、ベイツガの 4 樹種を設置した。腐朽を抑制する方法として、接合部強度試験時の加力部分を散水から保護するためストレッチフィルムで巻き固めるとともに、盛土を形成し試験体と土壌との設置部を限定した。土壌および試験体の保湿を維持するため、純水器（シャトルデミエース DX 型、栗田工業（株）製）と純水をミストシャワーにより散水する装置（ガーデンクーラーノズル、（株）タカギ製）を用いた。また、ファンガスセラー周囲を半透明シートで覆うようにした。散水パターンは、水分センサー付き水やりタイマー（G215、（株）タカギ製）を用いてファンガスセラー周囲の湿度との関係を検討した。

ミストシャワーによる散水状況を写真 5.2.7 に示す。散水は、半透明シートで覆った空間に十分ミスト状の水を供給する事が可能であった。また、1 回あたりの散水を 30 分に設定し、これを 12 時間間隔で実施した場合、土壌と試験体の乾燥を抑止することができた。



写真 5.2.5 土台用（材中間部） ファンガスセラー



写真 5.2.6 柱用（材端部）ファンガスセラー



写真 5.2.7 ミストシャワーによる散水状況

5.3 接合部モデル試験

日本建築学会木質構造接合部設計マニュアル（2009 年 11 月）の 5.3 接合部の試験法・評価法に従って接合部試験をした。接合部モデルは、土台－柱接合部とし、接合金物は CP-T とした。樹種は、アカマツ、スギ、ベイツガ、ベイマツとした。加力方法は、繰返し加力とした。繰返し加力は、ISO 11670 に準拠した。終局変位 D_u は、25mm とした。加力速度は、0.1～10mm/s の範囲で一定の加力速度とした。加力の繰返し回数は、全てのステップで各 3 回とした。加力履歴は、第 1 ステップは、繰返しの基準を許容短期耐力、第 2 ステップは、繰返しの基準を $0.1D_u$ とした。それ以降のステップは順に、 $0.2D_u$ 、 $0.4D_u$ 、 $0.6D_u$ 、 $0.8D_u$ 、 $1.0D_u$ を繰返しの基準とした。得られた試験結果から、初期剛性、降伏荷重、降伏変位、最大荷重、終局荷重、終局変位を算出した。コントロールのグループの算出結果一覧を表 5.3.1、生物劣化を発生させたグループの算出結果一覧を表 5.3.2 に示す。コントロールと生物劣化を発生させたグループとを比較すると、生物劣化を発生させたグループの初期剛性、降伏荷重、最大荷重、終局荷重および終局変位は、コントロールよりも小さくなる傾向を示したが、降伏変位は両者で明確な差はなかった。また、その傾向は、生物劣化の程度がひどく、なおかつ、その発生箇所が釘周辺であった場合の方が顕著であると考えられた。これらの結果から数値計算に必要な荷重変形関係の骨格曲線を決定した（図 5.3.1）。

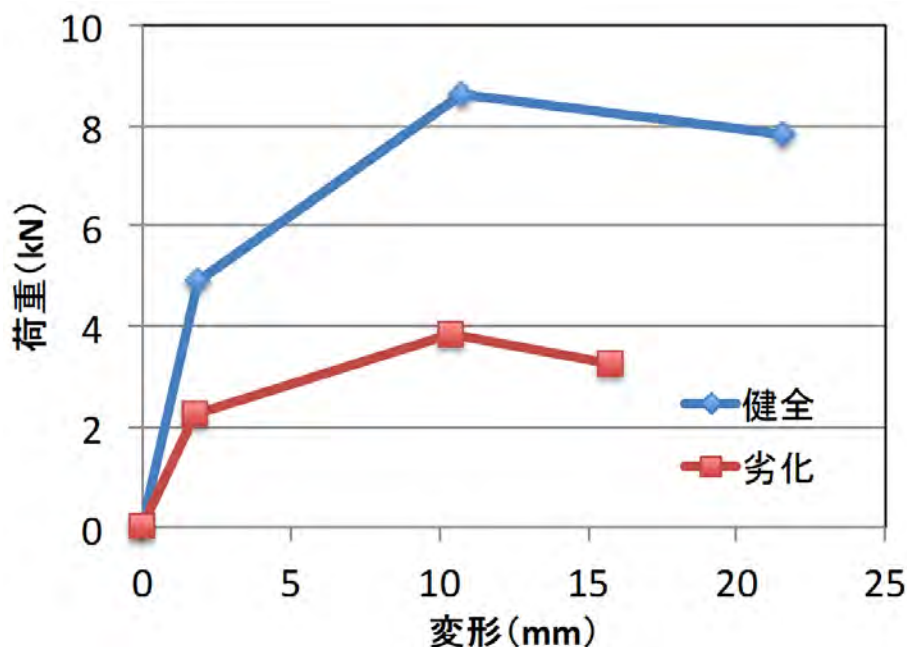


図 5.3.1 接合部試験から求めた荷重変形関係の骨格曲線

表 5.3.1 接合部試験結果の一覧 (コントロール)

TP I	グループ	加力	樹種	Pmax (kN)	D-Pmax (mm)	Py (kN)	D-Py (mm)	D-0.8Pmax (mm)	K (kN/mm)	Pu (kN)	μ ($\delta u / \delta v$)
G1R01P04B45	コントロール	繰返	アカマツ	7.89	8.38	4.29	1.60	11.05	2.19	7.24	3.34
G1R01P08B05	コントロール	繰返	アカマツ	8.03	8.03	4.14	1.69	16.62	2.22	7.09	5.21
G1R01P09B14	コントロール	繰返	アカマツ	5.95	6.94	3.30	1.61	9.68	1.66	5.33	3.02
G1R01P25B30	コントロール	繰返	アカマツ	5.91	7.66	3.35	1.06	9.53	2.45	5.29	4.42
G1R01P32B34	コントロール	繰返	アカマツ	6.83	9.76	3.70	1.48	13.50	2.14	6.20	4.66
G1R01P44B39	コントロール	繰返	アカマツ	6.71	8.57	3.94	1.12	10.14	2.32	6.24	3.77
			平均値	6.89	8.22	3.79	1.43	11.75	2.16	6.23	4.07
G1R07P02B09	コントロール	繰返	スギ	9.70	9.94	5.77	2.17	31.57	2.42	9.35	8.15
G1R07P03B32	コントロール	繰返	スギ	9.11	5.21	5.51	1.69	17.55	3.10	7.83	6.95
G1R07P08B33	コントロール	繰返	スギ	9.15	6.24	5.47	2.00	18.26	2.67	7.96	6.12
G1R07P11B03	コントロール	繰返	スギ	8.31	10.97	4.89	1.73	32.09	2.25	7.24	9.95
G1R07P14B40	コントロール	繰返	スギ	8.95	8.55	4.91	2.62	25.14	1.79	7.78	5.77
G1R07P39B27	コントロール	繰返	スギ	8.81	12.27	5.32	2.41	32.88	2.09	7.68	8.93
			平均値	9.01	8.86	5.31	2.10	26.25	2.38	7.97	7.65
G1R51P10B09	コントロール	繰返	ベイマツ	9.88	27.94	5.95	4.00	33.90	1.07	9.31	3.90
G1R51P13B33	コントロール	繰返	ベイマツ	9.72	9.32	5.15	0.54	31.86	5.22	9.14	
G1R51P20B24	コントロール	繰返	ベイマツ	8.98	10.60	4.87	2.36	33.20	1.78	8.26	7.15
G1R51P29B03	コントロール	繰返	ベイマツ	9.63	10.60	5.50	2.08	32.15	2.38	8.70	8.81
G1R51P30B39	コントロール	繰返	ベイマツ	9.38	10.07	5.26	2.27	32.87	2.12	8.56	8.13
G1R51P38B02	コントロール	繰返	ベイマツ	8.38	10.81	4.02	2.11	11.95	1.80	7.32	2.95
			平均値	9.33	13.22	5.12	2.23	29.32	2.40	8.55	6.19
G1R52P01B42	コントロール	繰返	ベイツガ	10.77	7.51	5.95	1.24	23.96	3.98	9.48	
G1R52P12B43	コントロール	繰返	ベイツガ	9.10	12.72	5.22	1.25	18.90	3.15	8.56	6.96
G1R52P15B14	コントロール	繰返	ベイツガ	8.61	12.10	5.25	2.48	31.05	1.91	7.73	7.67
G1R52P20B32	コントロール	繰返	ベイツガ	10.24	13.49	5.93	1.48	18.28	3.60	9.31	7.08
G1R52P26B20	コントロール	繰返	ベイツガ	11.02	22.81	7.99	1.65	32.03	2.80	10.22	8.77
G1R52P29B07	コントロール	繰返	ベイツガ	6.66	8.28	3.29	0.55	14.12	4.12	5.83	9.99
			平均値	9.40	12.82	5.60	1.44	23.05	3.26	8.52	8.09

Pmax : 最大荷重 D-0.8Pmax : 最大荷重後、8割の荷重時の変位

D-Pmax : 最大荷重時の変位 K : 初期剛性

Py : 降伏荷重 Pu : 終局荷重

D-Py : 降伏荷重時の変位 μ : 塑性率

表 5.3.2 接合部試験結果の一覧（生物劣化を発生させたグループ）

TP 1	グループ	加力	樹種	Pmax (kN)	D-Pmax (mm)	Pv (kN)	D-Pv (mm)	D-0.8Pmax (mm)	K (kN/mm)	Pu (kN)	μ ($\delta u / \delta v$)
G5R07P23B36	腐朽菌	繰返	スギ	8.37	13.13	4.36	1.49	28.80	2.34	7.75	8.68
G5R07P32B12	腐朽菌	繰返	スギ	9.05	16.59	4.68	0.53	29.05	4.90	8.18	17.41
G5R07P33B20	腐朽菌	繰返	スギ	6.31	13.84	3.17	1.14	30.01	2.46	6.09	12.13
G5R07P42B25	腐朽菌	繰返	スギ	6.95	9.31	3.64	2.44	21.40	1.39	6.06	4.92
G5R52P44B18	腐朽菌	繰返	ベイツガ 平均値	7.26	7.87	4.30	1.52	29.10	2.26	6.42	10.26
				7.59	12.14	4.03	1.42	27.67	2.67	6.90	10.68
G6R01P12B02	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	アカマツ	2.00	6.73	0.96	0.56	17.75	1.39	1.76	14.03
G6R01P21B03	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	アカマツ	3.19	8.80	1.79	1.83	14.96	0.74	2.91	3.78
G6R01P27B09	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	アカマツ	8.27	6.07	4.06	1.13	10.35	3.17	7.30	4.49
G6R01P36B18	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	アカマツ	1.31	12.92	0.70	3.17	19.04	0.21	1.16	3.44
			平均値	3.69	8.63	1.88	1.67	15.52	1.38	3.28	6.43
G6R07P10B38	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	スギ	6.27	8.89	3.52	1.31	23.41	1.85	5.68	7.64
G6R07P45B45	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	スギ	7.46	10.20	3.95	1.56	12.62	2.27	6.84	4.18
			平均値	6.87	9.54	3.73	1.44	18.02	2.06	6.26	5.91
G6R51P04B01	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	ベイツガ	5.30	14.77	3.43	3.65	23.88	0.76	4.72	3.86
G6R51P24B44	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	ベイツガ	10.39	6.99	5.87	0.82	16.08	6.40	9.78	10.52
G6R51P39B36	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	ベイツガ	7.97	10.63	4.35	2.76	15.85	1.36	7.19	3.00
			平均値	7.89	10.79	4.55	2.41	18.60	2.84	7.23	5.79
G6R52P16B13	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	ベイツガ	9.37	12.01	5.35	2.22	21.25	2.01	8.26	5.18
G6R52P22B26	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	ベイツガ	4.47	7.04	2.24	1.79	24.37	1.14	3.88	7.16
G6R52P27B30	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	ベイツガ	8.14	6.92	4.88	1.75	7.55	2.36	7.46	2.39
G6R52P37B35	シロアリ (複数同時・長期)	繰返	ベイツガ	3.27	18.49	2.35	1.88	24.10	0.88	3.04	6.98
			平均値	6.31	11.11	3.70	1.91	19.32	1.60	5.66	5.43
G7R01P01B11	シロアリ (単体・短期)	繰返	アカマツ	7.39	6.12	4.30	2.20	8.17	1.93	6.81	2.31
G7R01P10B21	シロアリ (単体・短期)	繰返	アカマツ	8.02	8.01	3.77	2.17	13.37	1.68	7.22	3.11
G7R01P13B38	シロアリ (単体・短期)	繰返	アカマツ	5.40	7.71	3.28	2.56	13.51	1.18	4.85	3.30
G7R01P15B19	シロアリ (単体・短期)	繰返	アカマツ	7.13	11.84	4.46	3.77	21.36	1.00	6.55	3.25
G7R01P16B08	シロアリ (単体・短期)	繰返	アカマツ	3.38	26.38	2.43	2.45	35.56	0.63	3.12	7.16
G7R01P42B27	シロアリ (単体・短期)	繰返	アカマツ	7.64	10.50	4.03	3.12	17.18	1.10	6.71	2.83
			平均値	6.49	11.76	3.71	2.71	18.19	1.25	5.87	3.66
G7R51P05B42	シロアリ (単体・短期)	繰返	ベイツガ	7.68	17.73	3.84	4.57	20.00	0.77	6.28	2.44
G7R51P26B13	シロアリ (単体・短期)	繰返	ベイツガ	7.90	4.62	4.25	0.16	12.18	8.89	7.26	14.90
G7R51P27B18	シロアリ (単体・短期)	繰返	ベイツガ	3.91	20.17	2.52	6.91	29.51	0.34	3.59	2.80
G7R51P28B45	シロアリ (単体・短期)	繰返	ベイツガ	5.82	9.12	3.42	2.66	14.52	1.18	4.99	3.43
			平均値	6.33	12.91	3.51	3.57	19.05	2.79	5.53	5.89
G7R52P18B40	シロアリ (単体・短期)	繰返	ベイツガ	7.45	12.46	4.15	3.71	17.58	0.95	6.62	2.53
G7R52P21B41	シロアリ (単体・短期)	繰返	ベイツガ	8.78	11.01	5.54	3.32	20.54	1.55	7.76	4.11
G7R52P07B03	シロアリ (単体・短期)	繰返	ベイツガ	9.47	12.67	5.75	3.24	22.81	1.52	8.62	4.03
G7R52P09B36	シロアリ (単体・短期)	繰返	ベイツガ	10.06	11.19	6.20	3.70	12.64	1.63	9.01	2.28
			平均値	8.94	11.83	5.41	3.49	18.39	1.41	8.01	3.24

D-0.8Pmax : 最大荷重後、8割の荷重時の変位

K : 初期剛性

Pu : 終局荷重

μ : 塑性率

Pmax : 最大荷重

D-Pmax : 最大荷重時の変位

Pv : 降伏荷重

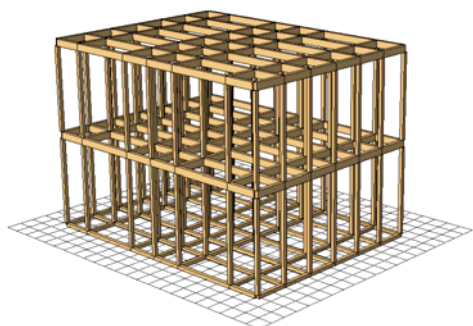
D-Pv : 降伏荷重時の変位

5.4 接合部の劣化による耐力低下を考慮した木造住宅の地震時の応答解析

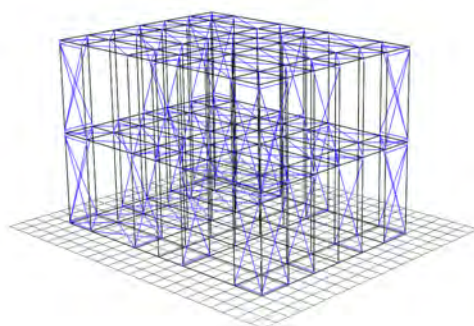
ここでは既存木造住宅の接合部の劣化による耐力低下に与える影響の検証を目的としたシミュレーション結果について報告する。

5.4.2 解析モデルの概要

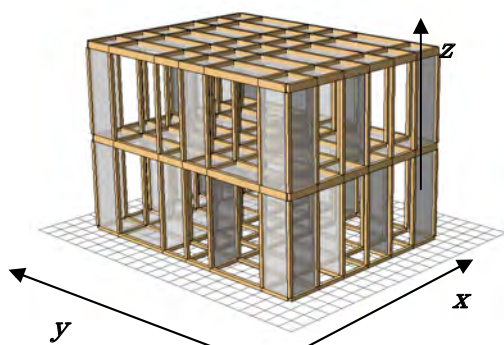
解析モデルの概要を図 5.4.1 に示した。総 2 階の $6\text{m} \times 8\text{m}$ の平面サイズの整形な軸組構法住宅を想定した解析モデルで、水平耐力要素は合板釘打ち耐力壁（昭和 56 年建告 1100 号の仕様、倍率 2.5 相当）とした。1、2 階の存在壁量、必要壁量を表 5.4.1 に示したが、重い建物を想定し、各階各方向ともに必要壁量を満足する仕様とした。壁の配置と接合部仕様を図 5.4.2 に示した。図中の T_a は接合部に要求される引張耐力（必要耐力）を示す。接合部の必要耐力は壁の仕様・配置に応じた N 値計算により決定した。応答解析には建築研究所が開発した倒壊解析ソフトウェア（*wallstat ver.2.01*）を用いた。



(a) 解析モデル骨組



(b) 解析モデルトラス要素



(c) 解析モデル外観

図 5.4.1 解析モデルの概要

表 5.4.1 解析モデルの壁量

解析モデル	階	方向	床面積 (m ²)	必要壁量 (cm/m ²)	必要壁量 (m)	壁倍率	数	存在壁量 (m)	壁量余裕率
モデルA～D	1F	X	48.0	33.0	15.8	2.5	8	20.0	1.26
		Y	48.0	33.0	15.8	2.5	8	20.0	1.26
	2F	X	48.0	21.0	10.1	2.5	6	15.0	1.49
		Y	48.0	21.0	10.1	2.5	6	15.0	1.49

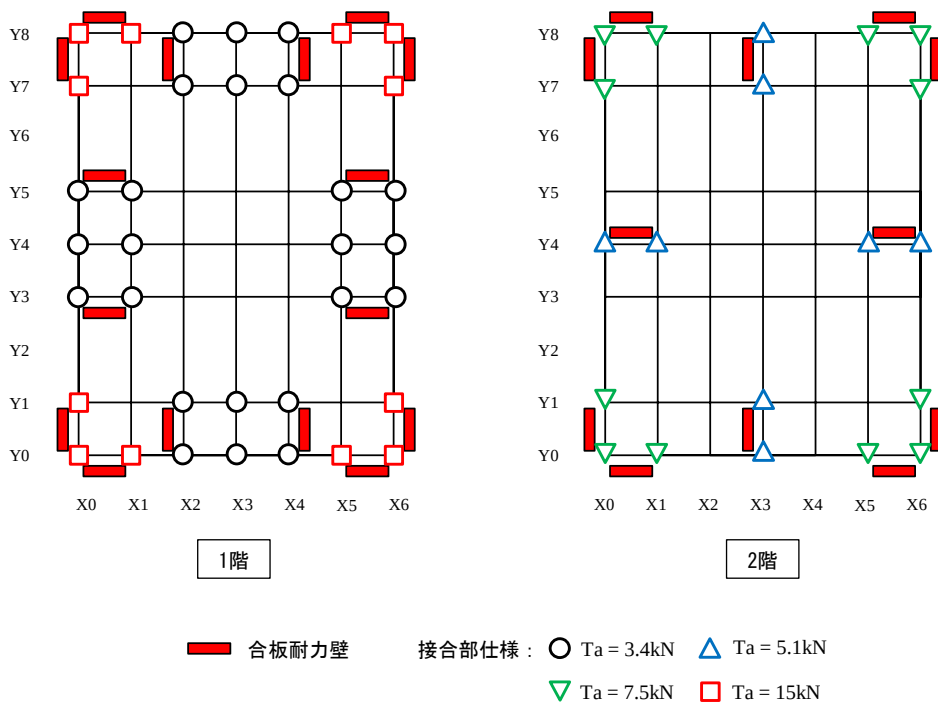


図 5.4.2 解析モデルの壁配置と接合部仕様

5.4.3 壁、接合部の骨格曲線

鉛直構面・水平構面はトラス要素でブレース置換することでモデル化を行った。壁の履歴特性は図 5.4.3 に示したバイリニア+スリップ型履歴則を用いた。骨格曲線は図 5.4.4 に示した通り、「木造住宅の耐震診断と補強方法（2004 年版）」の合板耐力壁に示された荷重変形関係に準拠し決定した。

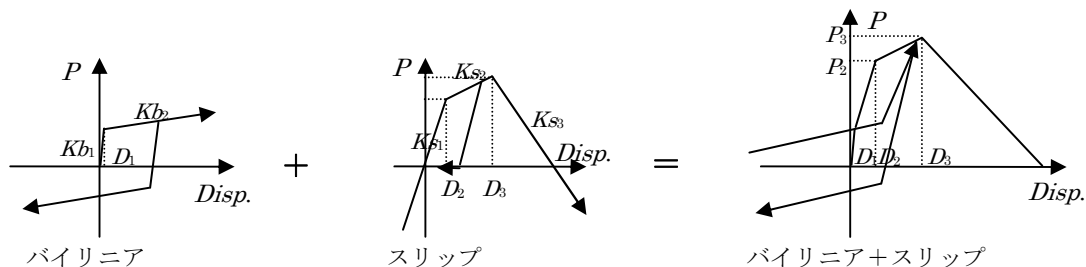


図 5.4.3 鉛直構面の履歴特性

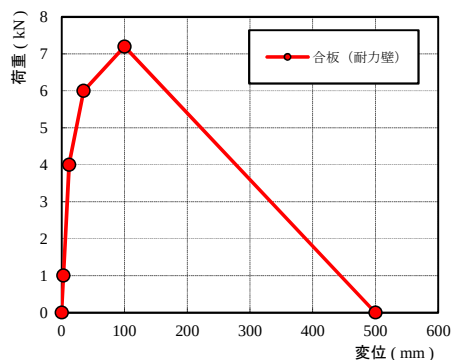


図 5.4.4 鉛直構面の骨格曲線

柱脚・柱頭接合部は図 5.4.5(a)に示したような回転バネ+引張圧縮バネ（せん断に対しては剛）を設定した。引張・圧縮バネの履歴特性は図 5.4.5(b)に示したような圧縮側弾性+引張側スリップ型で、回転バネの履歴特性は図 5.4.5(c)に示したようなスリップ型とした。骨格曲線は接合部の必要耐力が 5.1kN である仕様については部材が健全な場合と、劣化した場合について実験値を参考に図 5.4.6 に示した CP-T (T 形金物) の骨格曲線を用い、必要耐力が 3.4kN、7.5kN の仕様については CP-T の骨格曲線を、必要耐力の比率に応じて耐力を増減させることで設定した。

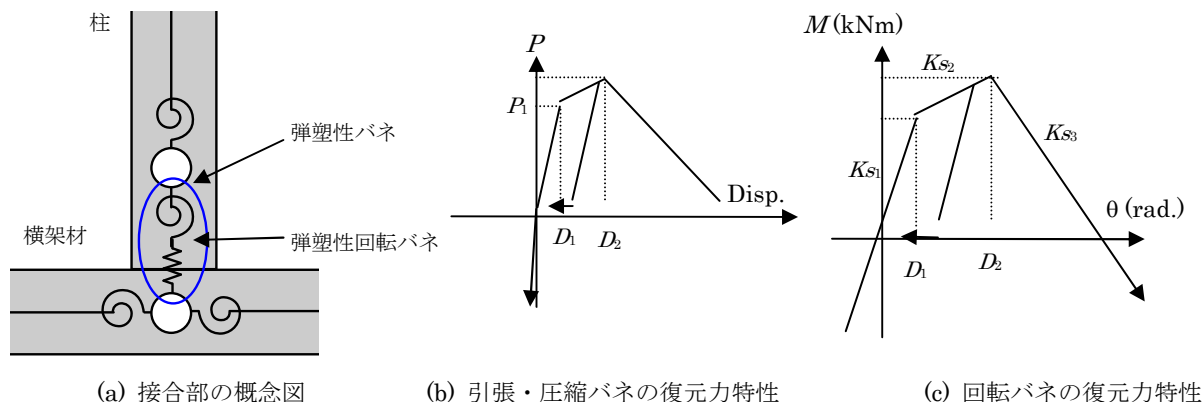


図 5.4.5 接合部のモデル化概要

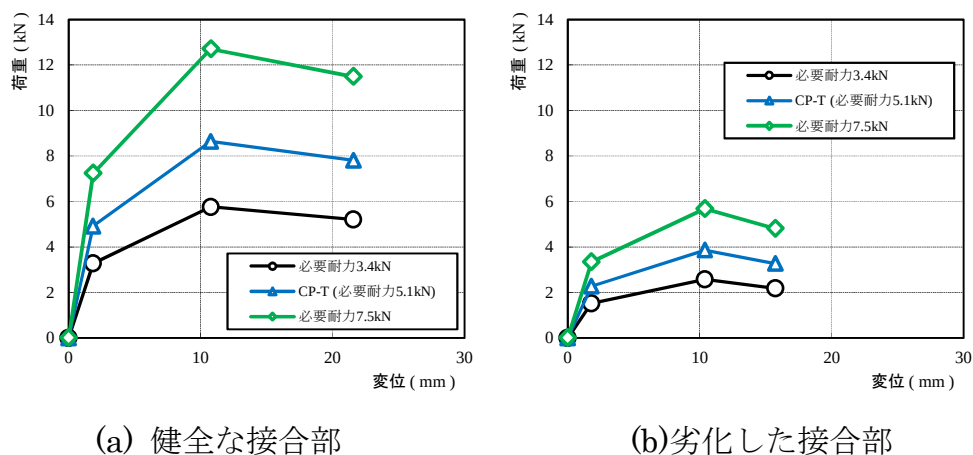


図 5.4.6 接合部の骨格曲線

5.4.4 接合部の劣化による強度低下の想定

接合部の劣化による強度低下は、解析モデルの1Fの図5.4.7に示した範囲の接合部の耐力が健全から劣化に変更された状態（モデルA～D）の昨年度の想定の内、モデルA、C、Dを応答解析に用いた。

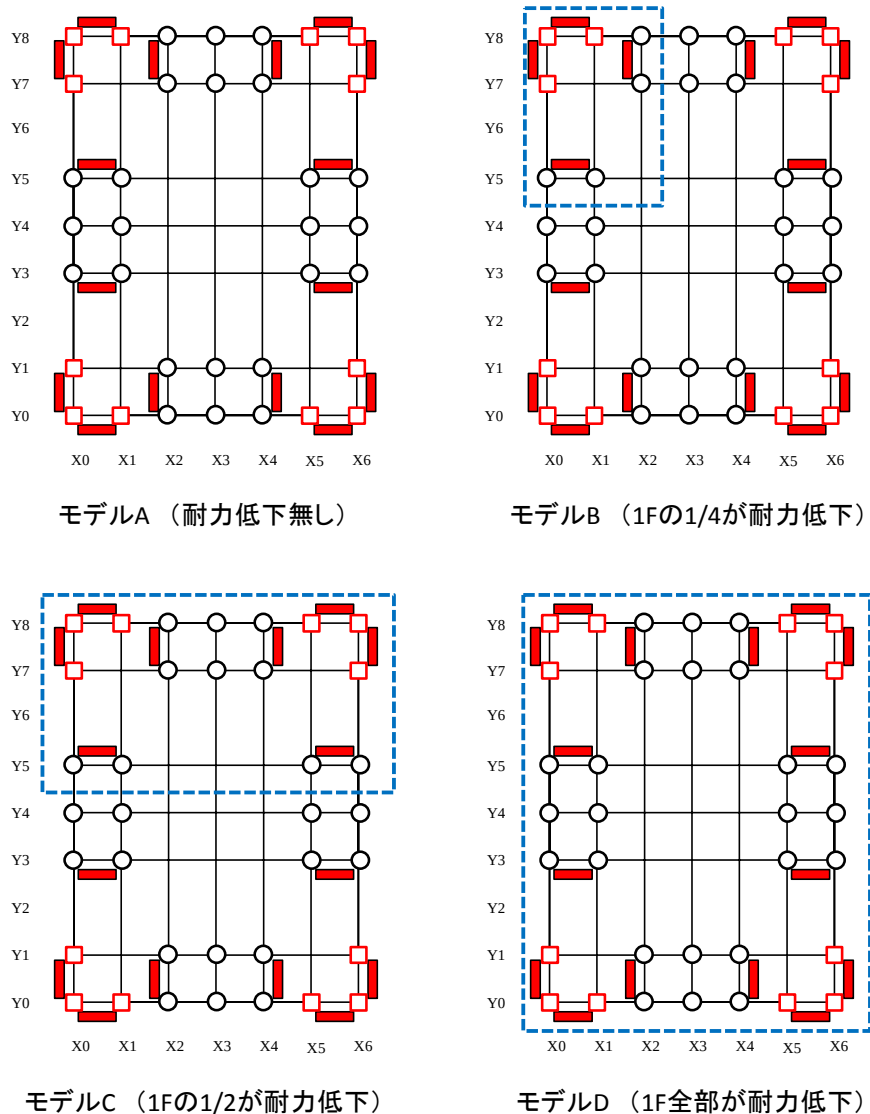


図 5.4.7 接合部の耐力低下の範囲

（点線に囲まれた部分の柱脚柱頭が劣化により耐力低下すると仮定）

5.4.5 解析モデルの重量

解析モデルの重量は木造住宅の耐震診断と補強方法における精密診断の床面積当たりの重量表から「重い建物」に相当する重量を下記の通り設定した。

1F : 125 kN 2F : 96 kN

5.4.6 解析による検討方針

応答解析は、北米で提案された Incremental Dynamic Analysis (以下、IDA) ¹⁻²⁾を用いた。IDA では、基準化した入力波を数波作成し、各入力波について加速度振幅を 0.1 から徐々に漸増させて、あらかじめ設定した最大層間変形などのしきい値になった時点で、その波形については解析を終了する。しきい値に達した際の各地震波の加速度の倍率を、確率論的に評価し、構造設計を行う手法である。ここでは入力地震波は表 5.4.2 に示した 44 波のうち 18 波を用いた。この一連の地震波は FEMA P695 (ATC-63) Far-Field Ground Motion Set³⁾と呼ばれ 22 個の地震波の 2 方向の成分から構成されている。各地震波は下記の条件により作成されている。地震波の加速度応答スペクトルを図 5.4.8 に示した。

- a) マグニチュード > 6.5
- b) 震源からの距離 > 10 km
- c) 最大加速度 > 0.2g 最大速度 > 15 cm/sec
- d) $V_s > 180$ m/s 他

ここでは、解析終了のしきい値として 1 階の層間変形が 1/20rad に達した時と設定した。

5.4.7 解析結果

各解析モデルの 1 階の層間変形が 1/20rad に達した加速度の入力倍率を図 5.4.8 に示した。縦軸は累積密度とし、正規分布関数で近似した曲線を合わせて示した。近似曲線は左に行くほど、加速度の入力倍率が低い状態で、しきい値に達することとなるため、左がより耐震性能が劣ることとなる。本解析の結果ではモデル D が他の 2 モデルに比べ、耐震性能が劣る結果となった。

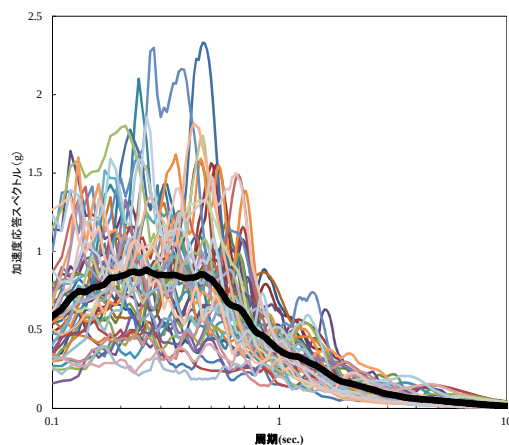


図 5.4.8 入力地震波の加速度応答スペクトル（黒線は平均値）

表 5.4.2 入力地震波の概要

EQ ID	Earthquake			Recording Station		Site Data		Source (Fault Type)	Site-Source Distance (km)				解析で用いた波形
	M	Year	Name	Name	Owner	NEHRP Class	Vs_30 (m/sec)		Epicentral	Closest to Plane	Campbell	Joyner-Boore	
12011	6.7	1994	Northridge	Beverly Hills - Mulhol	USC	D	356	Thrust	13.3	17.2	17.2	9.4	○
12012	6.7	1994	Northridge	Canyon Country-WLC	USC	D	309	Thrust	26.5	12.4	12.4	11.4	○
12041	7.1	1999	Duzce, Turkey	Bolu	ERD	D	326	Strike-slip	41.3	12	12.4	12	○
12052	7.1	1999	Hector Mine	Hector	SCSN	C	685	Strike-slip	26.5	11.7	12	10.4	○
12061	6.5	1979	Imperial Valley	Delta	UNAMUCSD	D	275	Strike-slip	33.7	22	22.5	22	○
12062	6.5	1979	Imperial Valley	El Centro Array #11	USGS	D	196	Strike-slip	29.4	12.5	13.5	12.5	○
12071	6.9	1995	Kobe, Japan	Nishi-Akashi	CUE	C	609	Strike-slip	8.7	7.1	25.2	7.1	○
12072	6.9	1995	Kobe, Japan	Shin-Osaka	CUE	D	256	Strike-slip	46	19.2	28.5	19.1	○
12081	7.5	1999	Kocaeli, Turkey	Duzce	ERD	D	276	Strike-slip	98.2	15.4	15.4	13.6	○
12082	7.5	1999	Kocaeli, Turkey	Arcelik	KOERI	C	523	Strike-slip	53.7	13.5	13.5	10.6	
12091	7.3	1992	Landers	Yermo Fire Station	CDMG	D	354	Strike-slip	86	23.6	23.8	23.6	
12092	7.3	1992	Landers	Coolwater	SCE	D	271	Strike-slip	82.1	19.7	20	19.7	
12101	6.9	1989	Loma Prieta	Capitola	CDMG	D	289	Strike-slip	9.8	15.2	35.5	8.7	
12102	6.9	1989	Loma Prieta	Gilroy Array #3	CDMG	D	350	Strike-slip	31.4	12.8	12.8	12.2	
12111	7.4	1990	Manjil, Iran	Abbar	BHRC	C	724	Strike-slip	40.4	12.6	13	12.6	
12121	6.5	1987	Superstition Hills	El Centro Imp. Co.	CDMG	D	192	Strike-slip	35.8	18.2	18.5	18.2	
12122	6.5	1987	Superstition Hills	Poe Road (temp)	USGS	D	208	Strike-slip	11.2	11.2	11.7	11.2	
12132	7.0	1992	Cape Mendocino	Rio Dell Overpass	CDMG	D	312	Thrust	22.7	14.3	14.3	7.9	
12141	7.6	1999	Chi-Chi, Taiwan	CHY101	CWB	D	259	Thrust	32	10	15.5	10	
12142	7.6	1999	Chi-Chi, Taiwan	TCU045	CWB	C	705	Thrust	77.5	26	26.8	26	
12151	6.6	1971	San Fernando	LA - Hollywood Stor	CDMG	D	316	Thrust	39.5	22.8	25.9	22.8	
12171	6.5	1976	Friuli, Italy	Tolmezzo	--	C	425	Thrust	20.2	15.8	15.8	15	

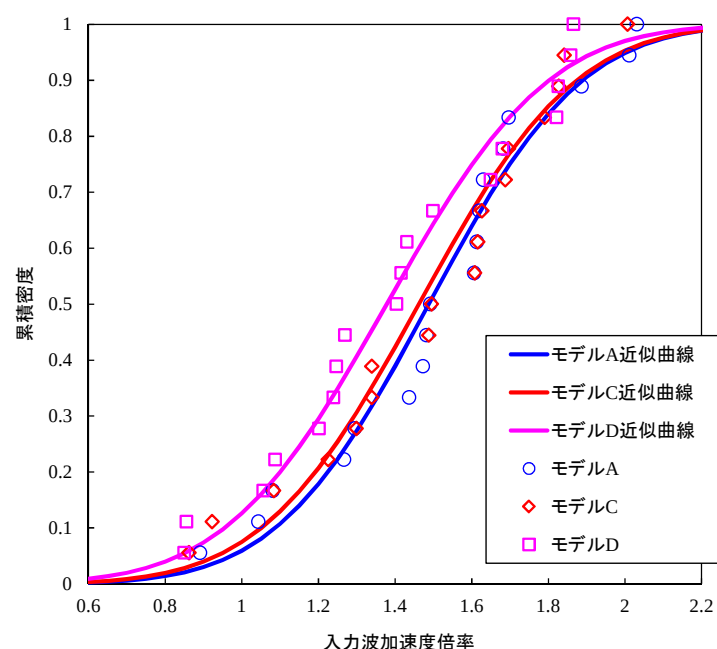


図 5.4.8 加速度応答倍率と累積密度の関係

5.4.8 まとめ

本項では既存木造住宅の接合部の劣化による耐力低下に与える影響の検証を目的としたシミュレーションを実施した。3 パターンの耐力低下の範囲を想定した解析モデルに 18 種類の地震波を与えた結果、接合部の耐力低下の範囲が広いほど耐震性能が劣る傾向となった。

以上の検討結果から、接合部の耐力低下の範囲の広さ、範囲の分布が構造物全体の地震時の構造性能に影響を及ぼすことが示唆された。

【文献】

- 1) Dimitrios Vamvatsikos and C. Allin Cornell, “Incremental dynamic analysis”, Earthquake Engineering & Structural Dynamics Special Issue: Special Topics Issue on Performance-based Earthquake Engineering
Vol. 31, Issue 3, pp. 491–514 (2002)
- 2) 五十田博、中村晋也「異なる復元力特性を持つ木造耐力壁構造の耐震性能評価」日本建築学会構造系論文集, 第 73 巻, 第 627 号, pp.781-786 (2008)
- 3) FEMA P695 Quantification of Building Seismic Performance Factors (2009)

第6章 構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討

6.1 はじめに

本研究では、有害な結露に関する判断根拠を得る観点から室内腐朽試験を行い、雰囲気湿度を指標として菌糸定着時間を整理してきた。しかし、木材の湿気容量を考慮すると乾湿繰返しの状況下では、材表面の相対湿度（含水率）は雰囲気と平衡に達しないことが予想される。そこで、境界条件を実験で求めたうえで数値計算によって材表面の水分性状を確認し、これまでの知見に対する信頼性の向上を図る。

6.2 乾湿繰返し実験における試料表面含水率の検討

材料面までの湿気貫流率を測定したうえで、試料表面の含水率をシミュレーション計算で求め、菌糸定着時間と材表面相対湿度（含水率）の出現頻度との関係を整理する。

6.2.1 室内腐朽試験時の雰囲気と試料表面間の湿気貫流率の測定

(1) 試験方法

試験は JIS A 1324（建築材料の透湿性測定方法）のカップ法¹⁾に準拠した方法を用いる。これまでの試験で用いた、メンブレンフィルターを取り付けた樹脂シャーレに蒸留水もしくは無水塩化カルシウムを入れ、23℃50%の恒温恒湿室に静置する（図1、図2）。湿気貫流率は（1）式により算出する。透湿面積は $1.26 \times 10^{-3} \text{m}^2$ （ $40 \phi \text{mm}$ ）とした。試験条件を表1に示す。

$$W_P = \frac{G}{A(P_1 - P_2)} \quad (1)$$

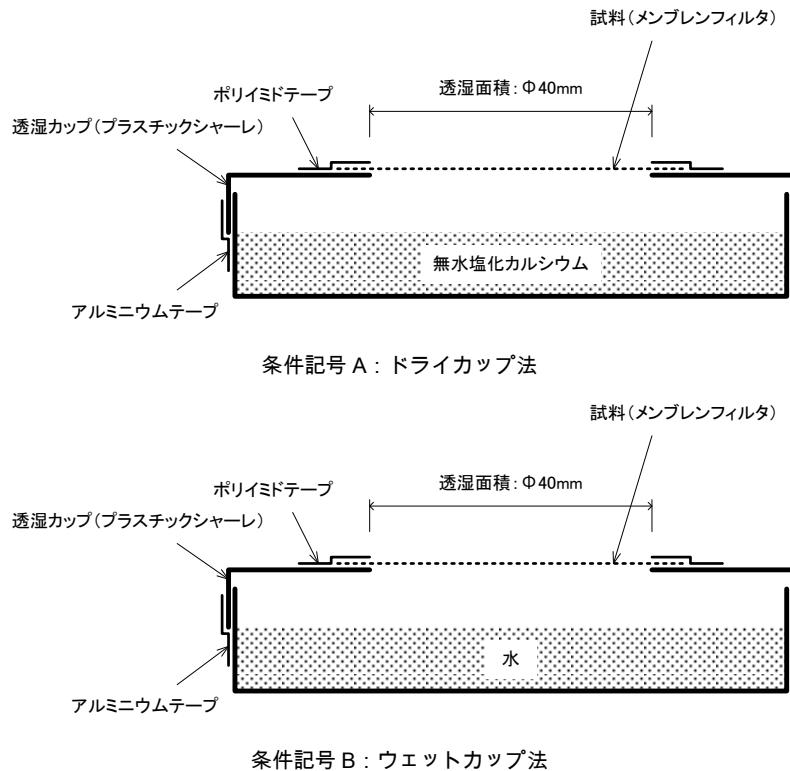


図1 試験体の概要

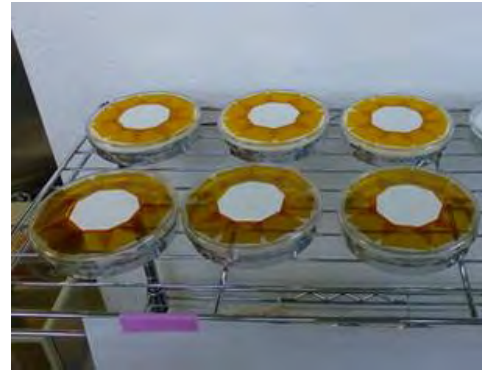
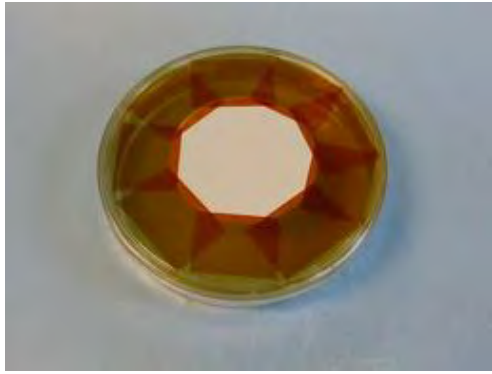


図2 シャーレの設置状況

表1 試験条件

条件記号	A	B
試験方法	ドライカップ法	ウェットカップ法
雰囲気温度	23℃	23℃
雰囲気相対湿度	50%	50%
透湿カップ内相対湿度	0%	100%

(2) 測定結果

メンブレンフィルタの湿気貫流率測定結果を表2及び表3に、透湿量と時間の関係を図3及び図4に示す。メンブレンフィルタを介したデシケータからシャーレ内部までの湿気貫流率はおおよそ $1.5 \times 10^3 \text{ ng/m}^2 \text{ sPa}$ であり、静穏時の湿気伝達率に近い値となった。この結果は、シャーレ内部の水蒸気圧がデシケータと同等であることを示唆している。

表2 透湿性試験結果(条件A)

試験体番号	No.1	No.2	No.3	平均
透湿量 G ($\times 10^3 \text{ ng/s}$)	29.3	29.8	29.6	29.6
湿気貫流抵抗 Z_p [$\times 10^{-6} (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})/\text{ng}$]	60.3	59.3	59.7	59.8
湿気貫流率 W_p [$\times 10^3 \text{ ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$]	16.6	16.9	16.8	16.8

表3 透湿性試験結果(条件B)

試験体番号	No.1	No.2	No.3	平均
透湿量 G ($\times 10^3$ ng/s)	25.4	24.1	24.8	24.8
湿気貫流抵抗 Z_p [$\times 10^{-6}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)/ng]	69.4	73.2	71.1	71.2
湿気貫流率 W_p [$\times 10^3$ ng/($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)]	14.4	13.7	14.1	14.1

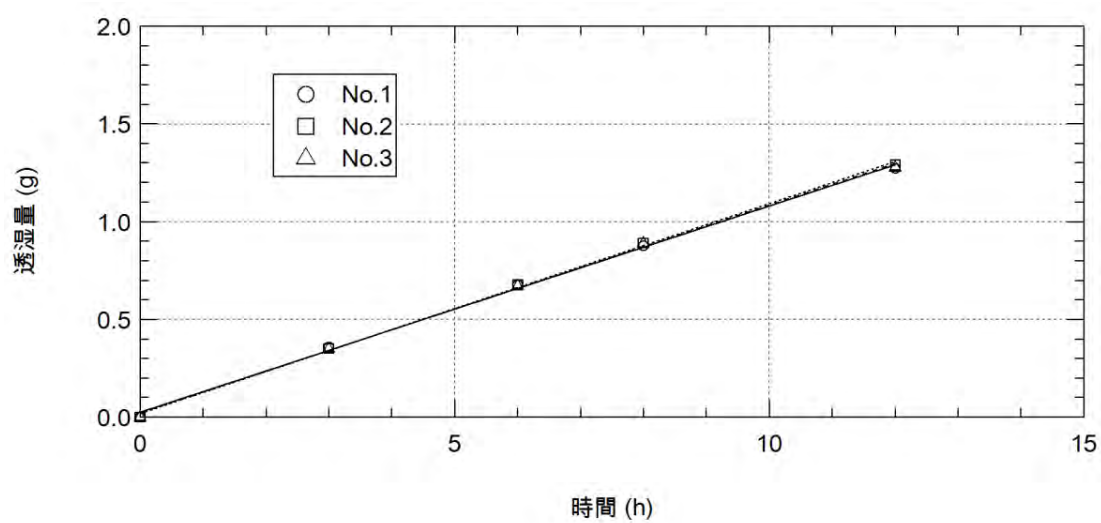


図3 透湿量と時間の関係(条件A)

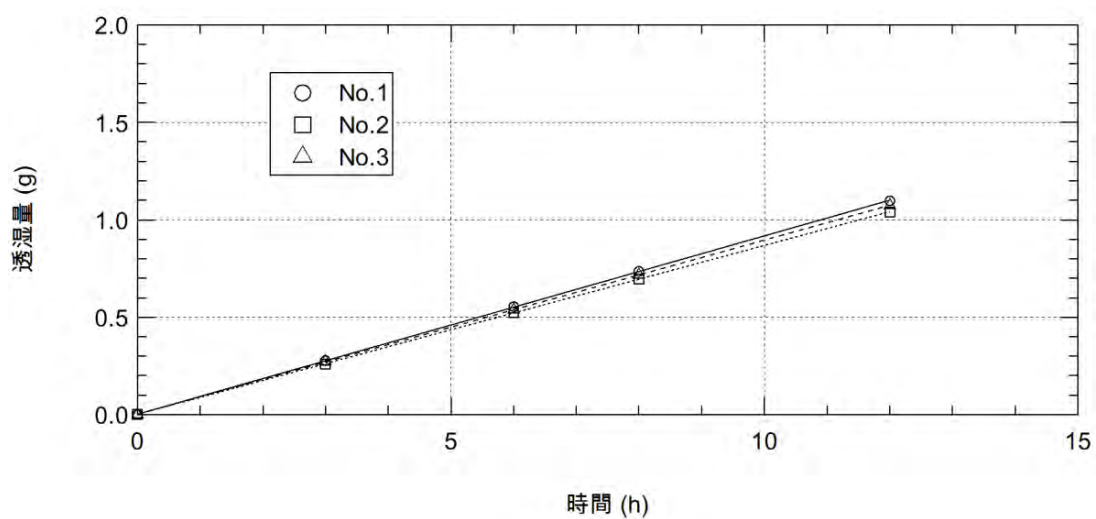


図4 透湿量と時間の関係(条件B)

6.2.2 乾湿繰り返し実験時の試料表面相対湿度の試算

前述の検討から得られた透湿係数を用い、一昨年度実施した表4に示すCase3~Case11の9条件にお

ける雰囲気（デシケータ内）の温湿度測定結果を基に、熱湿気同時移動方程式により試料表面の水分性状（含水率及び相対湿度）の計算を行った。計算対象と試料含水率の出力位置を図5に示す。

(1) 計算概要

基本式は(2)、(3)式に示す、多孔質材内の熱水分同時移動方程式による。雰囲気と試料表面との境界条件は(4)、(5)式を用いた。計算に用いた試料の平衡含水率を表5に示す。

$$\rho_m c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \left\{ (\lambda + r \lambda'_{Tg}) \nabla T + r \lambda'_{\mu g} \nabla \mu \right\} \quad (2)$$

$$\rho_w \frac{\partial \psi}{\partial \mu} \frac{\partial \mu}{\partial t} = \nabla \left(\lambda'_{\mu} (\nabla \mu - n g) + \lambda'_{T} \nabla T \right) \quad (3)$$

$$- \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \right]_s - r \left[\lambda'_{\mu g} \frac{\partial \mu}{\partial n} + \lambda'_{Tg} \frac{\partial T}{\partial n} \right]_s = \alpha (T_r - T_s) \quad (4)$$

$$\left[- \lambda'_{\mu} \frac{\partial \mu}{\partial n} - \lambda'_{T} \frac{\partial T}{\partial n} \right]_s = 10^{-12} W_p (X_r - X_s) \quad (5)$$

ここに、

W_p : 湿気貫流率($\text{ng/m}^2\text{sPa}$)、 A : 透湿面積 (m^2)、 P : 水蒸気圧(Pa)、 G : 透湿量(ng/s)
 ρ_m : 材料密度 (kg/m^3)、 c : 比熱 (J/kgK)、 t : 時間 (s)、 T : 絶対温度 (K)、 λ : 熱伝導率 (W/mK)、 r : 潜熱 (J/kg)、
 λ'_{Tg} : 温度勾配による気相水分伝導率(kg/msK)、 $\lambda'_{\mu g}$: 水分化学ポテンシャル勾配による気相水分伝導率(kg/ms[J/kg])、 μ : 水分化学ポテンシャル (J/kg)、 ρ_w : 水の密度(kg/m^3)、 ψ : 容積基準含水率 (m^3/m^3)、 λ'_{μ} : 水分化学ポテンシャル勾配による水分伝導率(kg/ms[J/kg])、 λ'_{T} : 温度勾配による水分伝導率(kg/msK)

表 4 腐朽実験における雰囲気温湿度条件

条件番号	温度	相对湿度		周期 (乾燥／湿润)
		乾燥過程	湿润過程	
Case3	23℃	90%	100%	12h／12h
Case4				
Case5				
Case6		90%		72h／72h
Case7				
Case8				90%
Case9		75%		
Case10		90%		6h／18h
Case11		75%		

* 一昨年度報告書から引用。

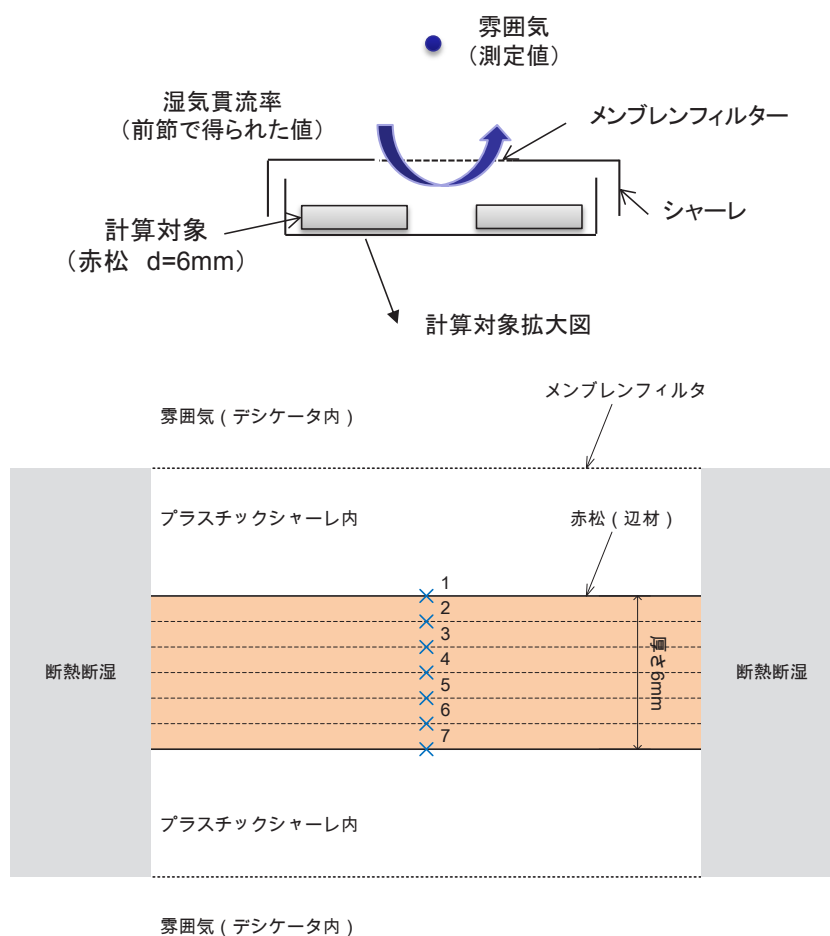


図 5 計算対象及び試料含水率の出力位置

表 5 計算に用いた材料物性値

種類	湿気伝導率 [$\times 10^3 \text{ ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$]	平衡含水率 ^{*2}			
		C_1	C_2	C_3	C_4
赤松（辺材）	0.03	1.58	1.3664	-2.1708	90.988
メンブレンフィルタ	14.1 ^{*1}	0 ^{*3}	0	0	0

*1) 実測値（表 3 による）。

*2) 平衡含水率は，表中の $C_1 \sim C_4$ 係数を用い[1]式より算出した。

*3) メンブレンフィルタの平衡含水率は無視した。

$$\varphi = C_1 h^{C_2} \exp\{C_3(1-h^{C_4})\} \cdots \cdots [1]$$

ここに， φ ：平衡含水率 (kg/kg)， h ：相対湿度 (-)

(2) 試料表面の相対湿度及び試料各層の含水率変動

試料表面相対湿度及び各層の含水率の計算結果を図 6～図 14 の上段及び中段に示す。凡例は図 5 に示した位置に該当し、「1」が試料表面、「4」が厚さ方向の中央となる。相対湿度については設定したデシケータ内の雰囲気に対し、試料表面の振幅が小さくなっている。含水率については試料表面と内部（中央）を併記したが、表面の振幅は大きく雰囲気の変動に追従したことが読み取れる。Case10 については試験開始から 2 ヶ月以上に亘り、雰囲気相対湿度の制御が乱れ飽和状態が続いており、この影響により含水率が 40%に達している。

(3) 試料表面における相対湿度及び試料含水率の累積頻度

計算結果より整理した期間全体の試料表面相対湿度と含水率の累積頻度を図 6～図 14 の下段に示す。乾湿時間の比率が 1 : 1 で乾燥湿度 90%の設定である Case4、6、7 は、相対湿度 95%の出現頻度が 50%程度であり高湿状態が維持されている。表 6 に平成 25 年度報告書より引用した暴露 8 ヶ月の試料含水率と質量減少率の測定結果を示すが、質量減少率が 7%前後に達しており菌糸定着が確認されている。乾燥湿度 75%の Case5（図 8）、Case9（図 12）については相対湿度 95%の出現頻度が 10～30%程度であり、質量減少率も約 3%以下であった。乾燥湿度 90%で質量減少率が 3%台の Case3（図 6）、乾湿時間の比率が異なる Case8（図 11）については、試料表面の含水率（凡例[1]）が 28%を越える頻度がほとんど無く、Case4、6、7 との質量減少率の差は、材料表面が繊維飽和点を越える時間数によるものと推察できる。

一方、Case11（図 14）は相対湿度 95%の出現頻度が 50%、試料表面含水率も 28%を越えているにもかかわらず、質量減少率は 3.5%と比べ低く、上述した内容とは矛盾する結果となった。Case11 は乾燥湿度が 75%であり、表面の湿潤頻度が高くても、乾燥湿度が低い場合は腐朽菌の定着に遅れが生じる可能性を示唆している。

表 6 暴露 8 ヶ月の質量減少率測定結果（平成 25 年度報告書より抜粋）

条件	質量含水率 (%)		質量減少率 (%)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
Case3	22.7	0.2	2.9	0.5
Case4	28.6	3.0	7.1	2.6
Case5	20.0	0.4	2.5	0.3
Case6	28.3	2.0	7.1	3.5
Case7	27.4	1.3	6.9	0.5
Case8	25.7	0.8	3.1	0.2
Case9	18.6	0.3	2.8	1.9
Case10 ^{*1}	27.7	1.6	20.0	3.0
Case11	26.4	0.5	3.5	0.5

*1) 曝露開始 1～2 ヶ月後の約 1 ヶ月間に亘り相対湿度が約 100%に保持されてしまった条件

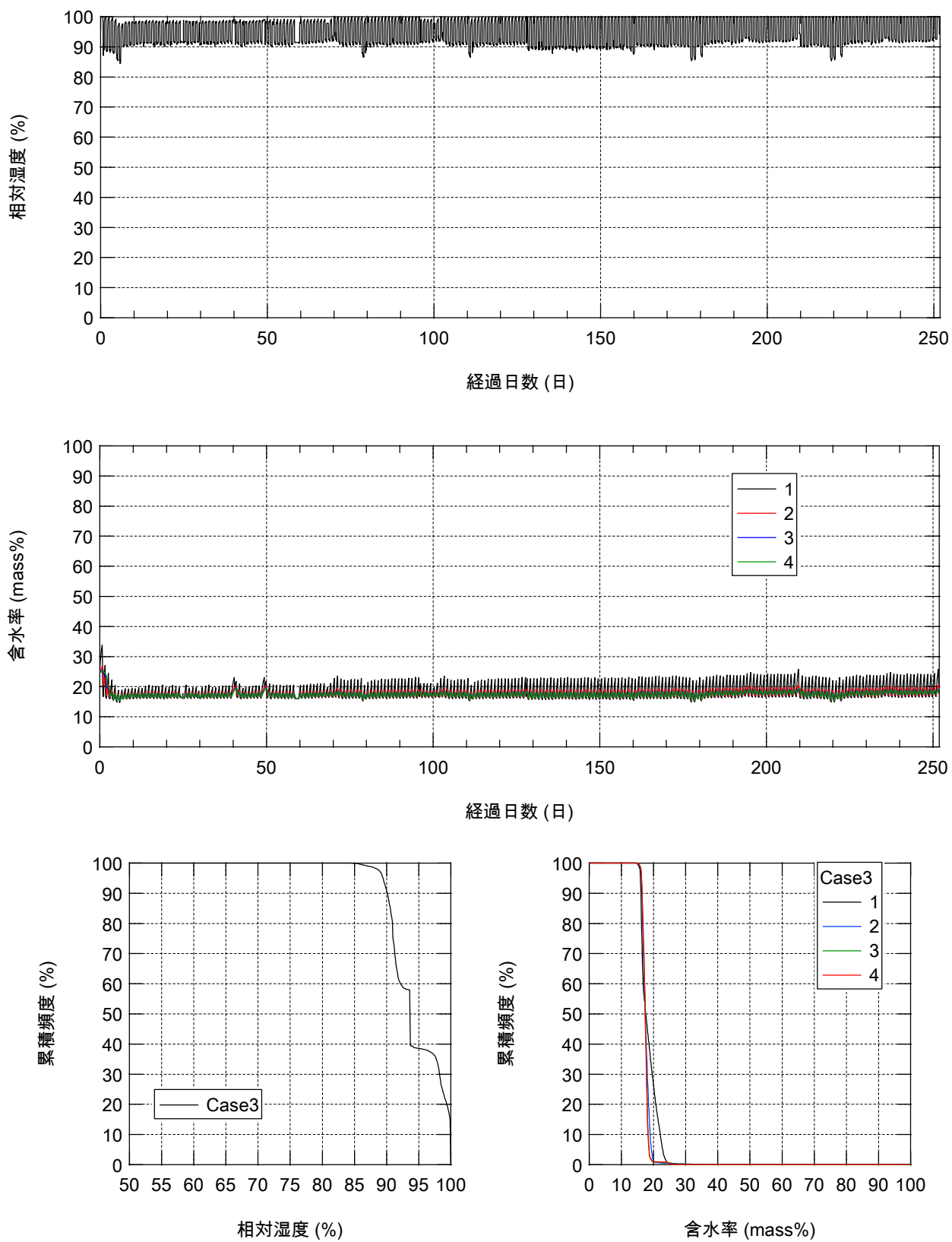


図6 Case3 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

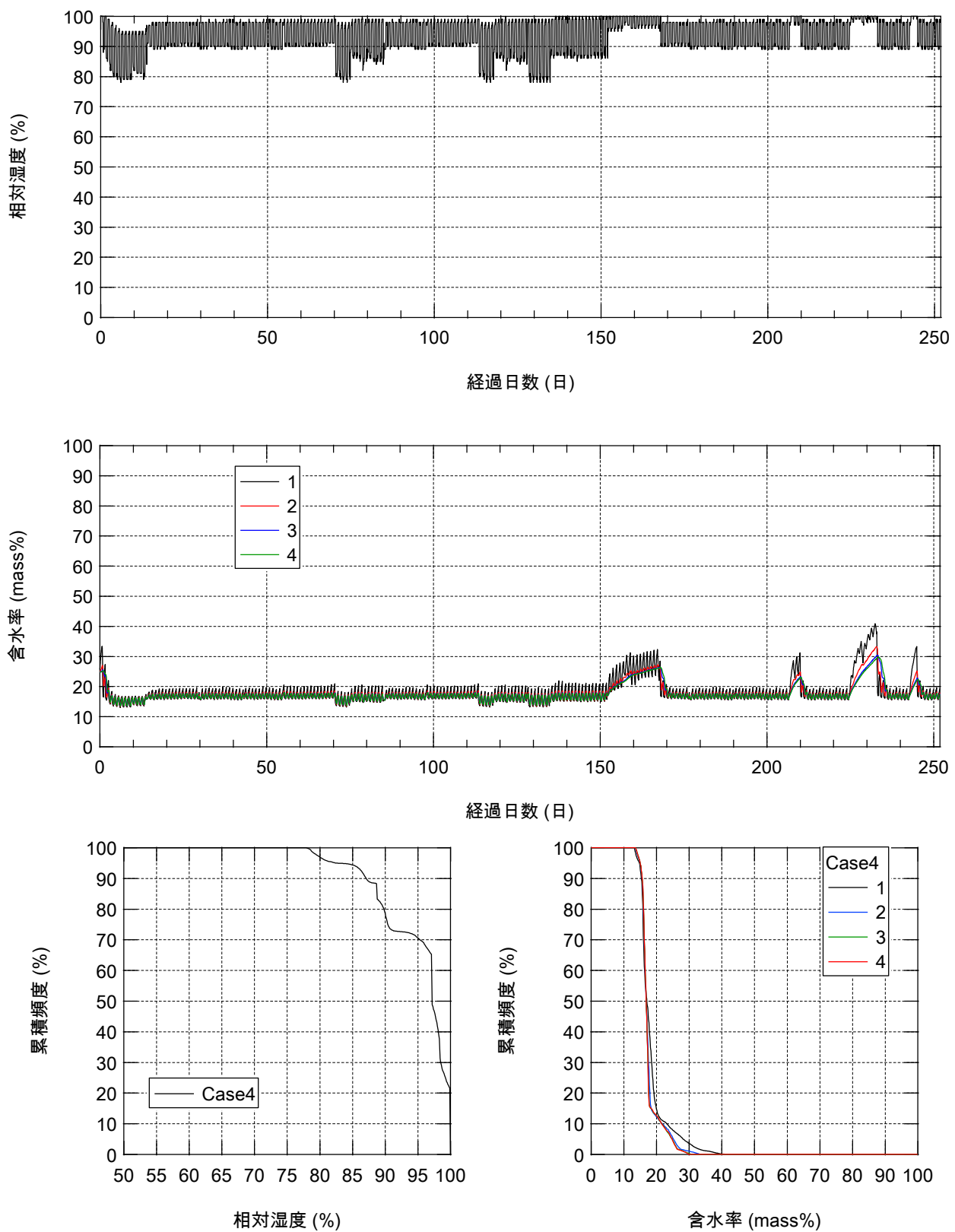


図7 Case4 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

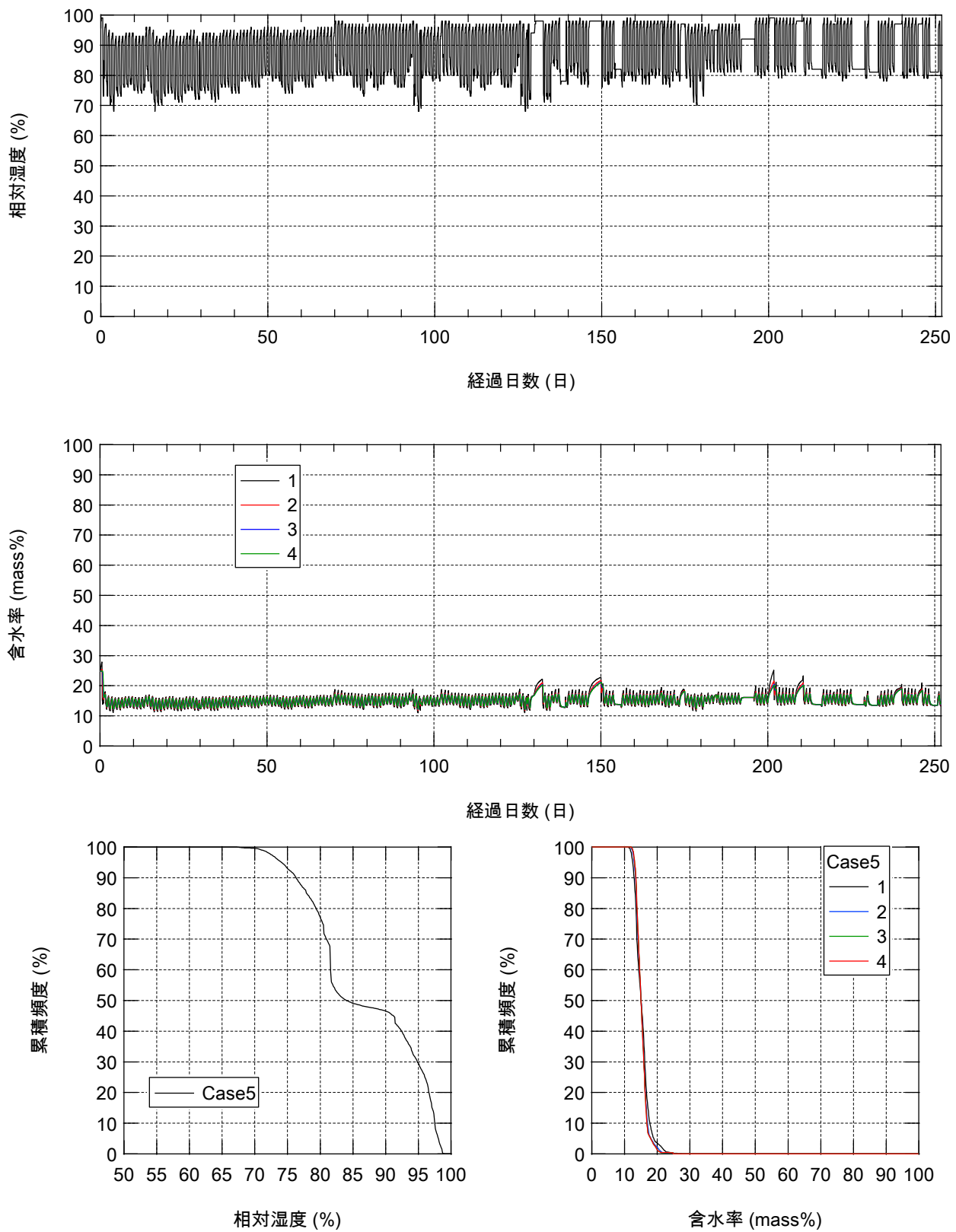


図 8 Case5 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

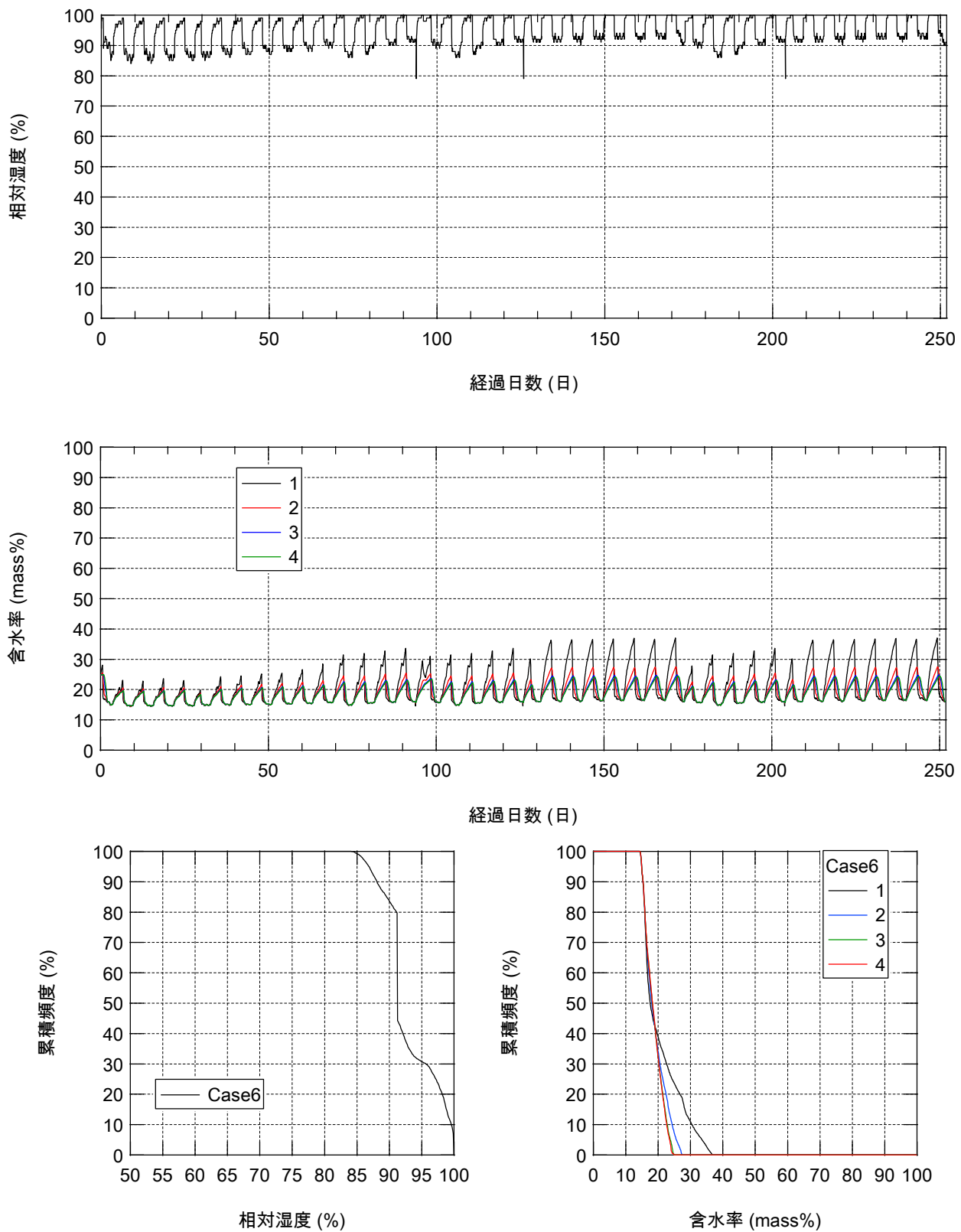


図9 Case6 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

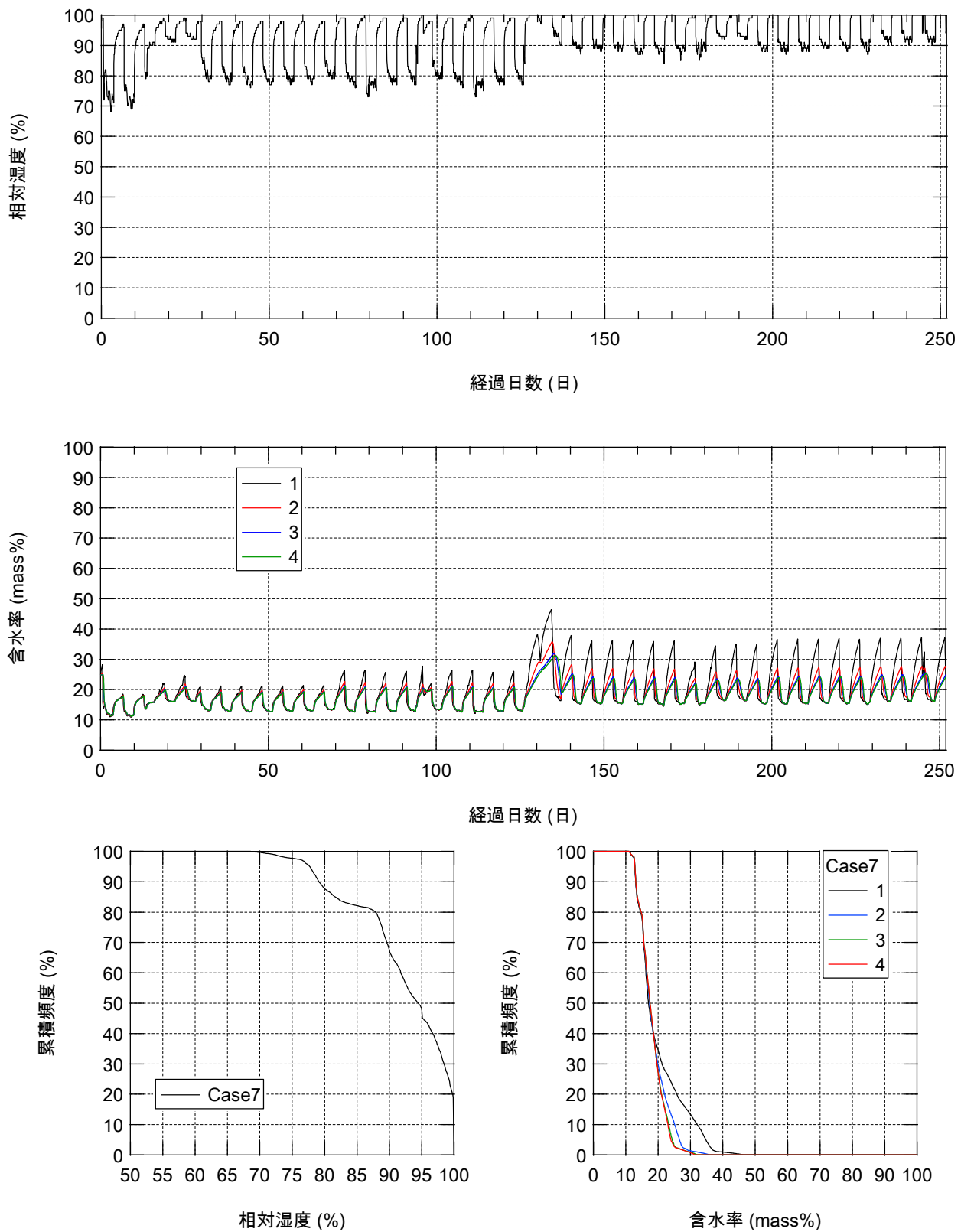


図 10 Case7 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面
相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

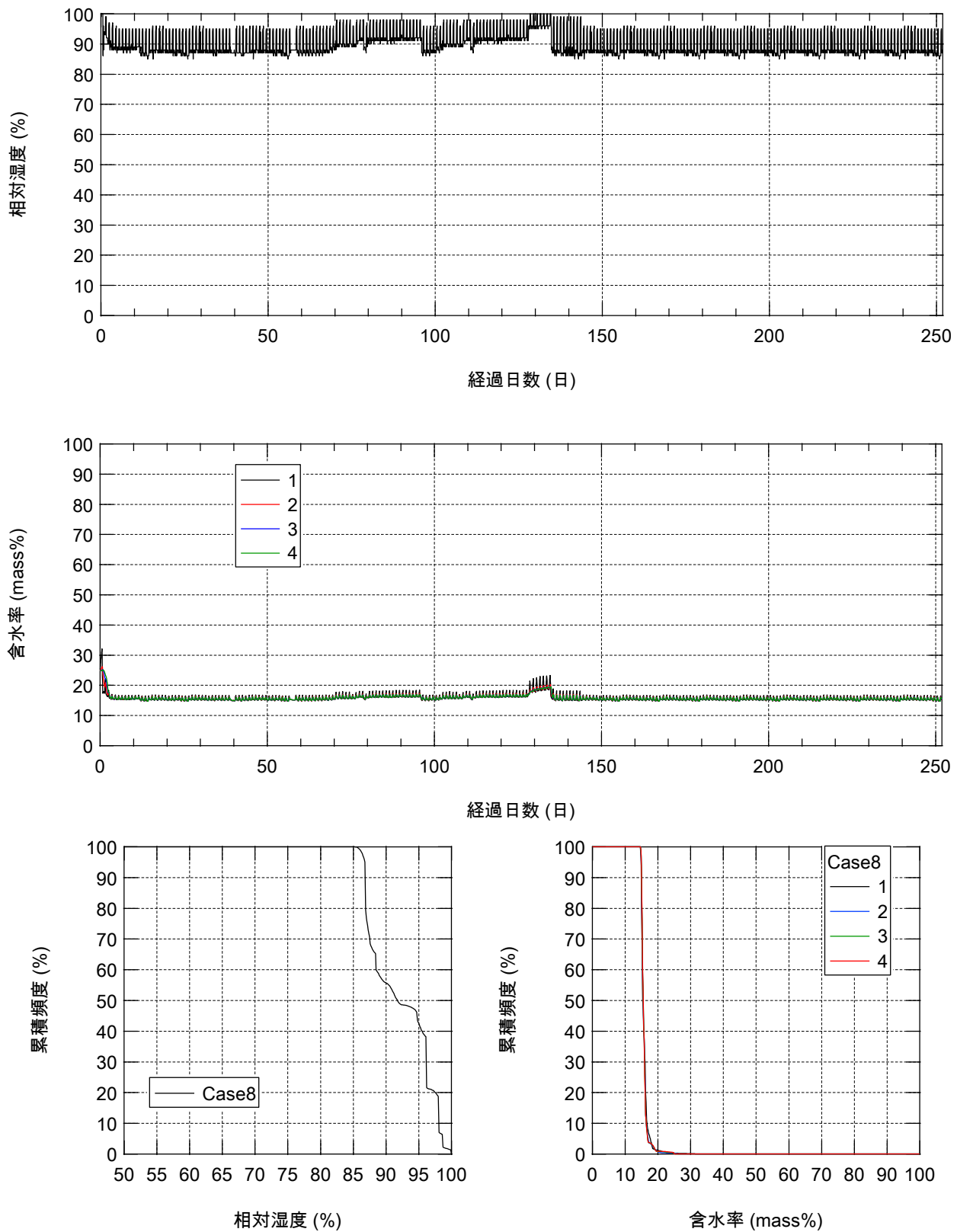


図 11 Case8 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

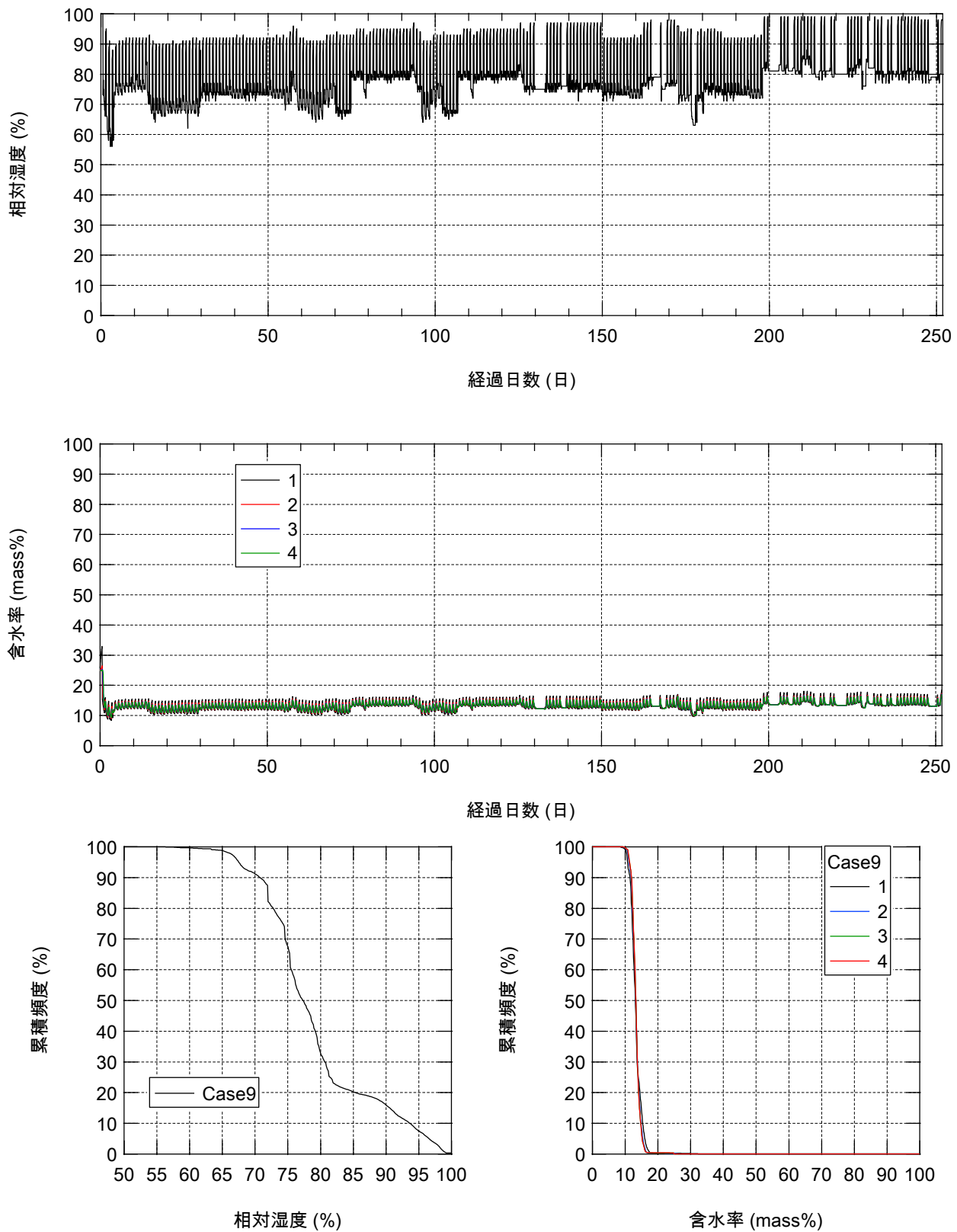


図 12 Case9 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

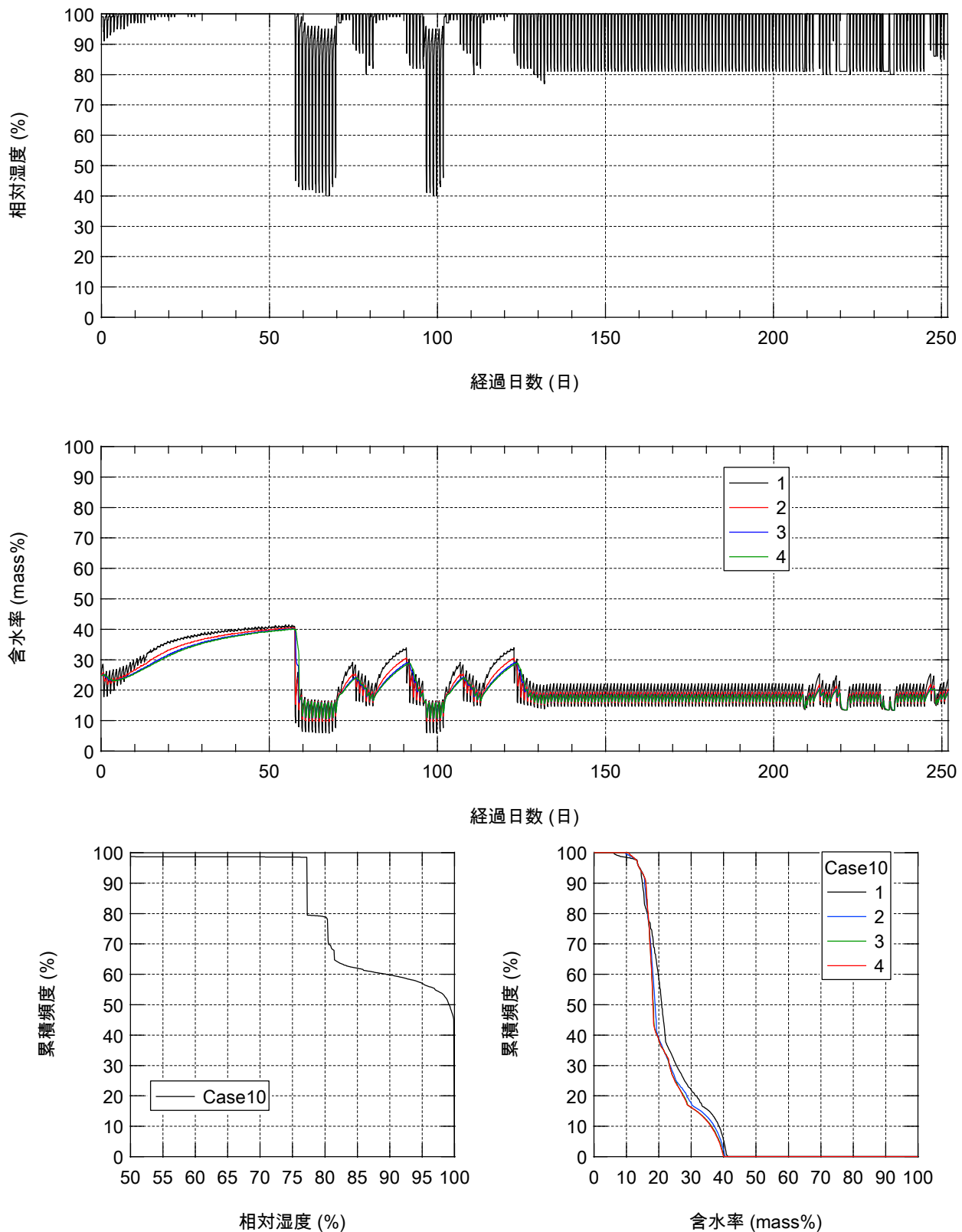


図 13 Case10 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

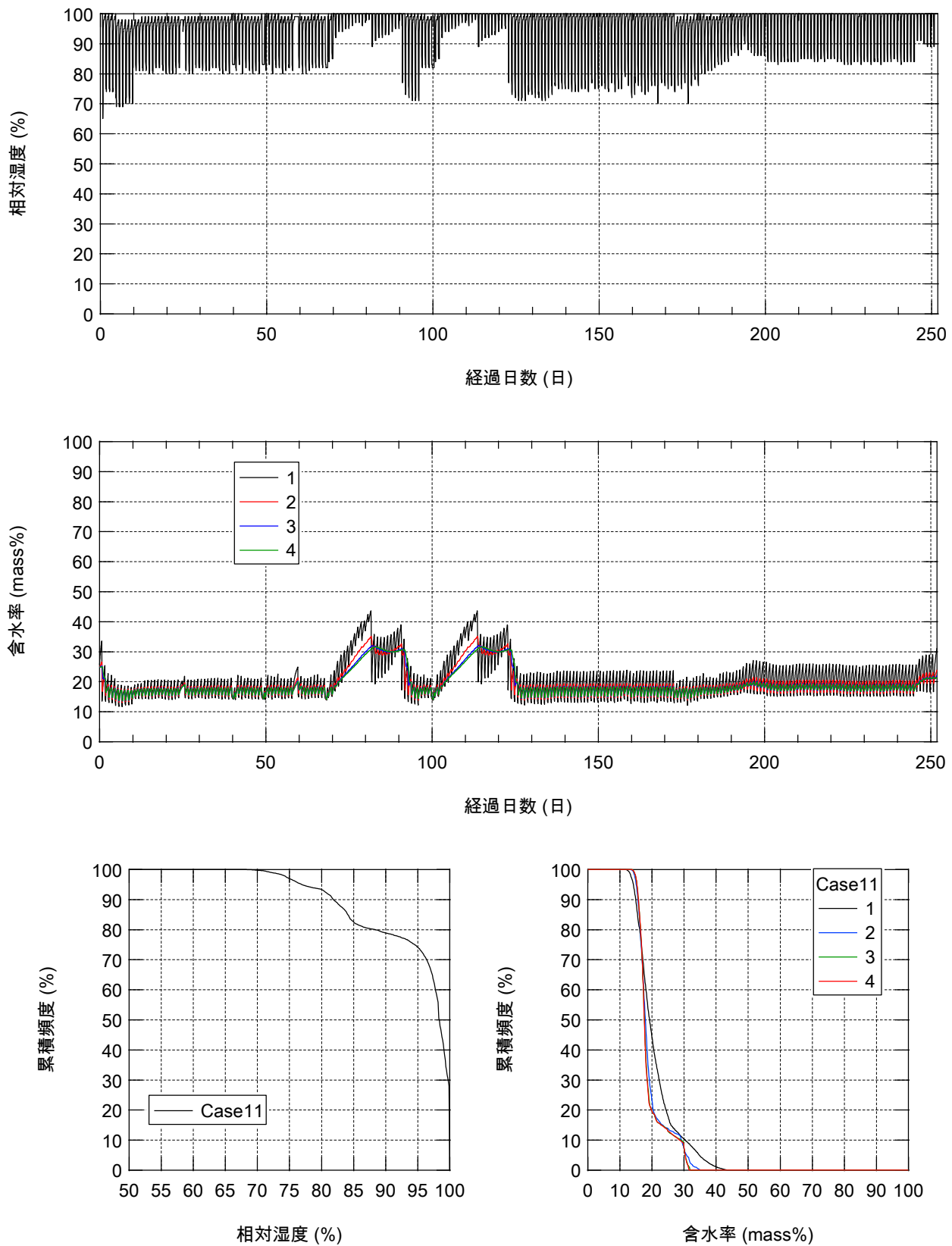


図 14 Case11 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面
相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

6.3 これまでの成果の要点と木造長期優良住宅認定基準等との関係

6.3.1 これまで得られた知見の要約

本研究では、有害な結露に関する判断根拠を得る観点から室内腐朽試験を行い、菌糸接種から質量減少が確認しうる期間について検討を行ってきた。室内腐朽試験では試料中央にφ8mmのオオウズラタケの菌糸を寒天培地と共に接種し、カルチャーボトル等を用いる一般の腐朽試験と比べ、構造躯体が曝される状況に近い環境下を模擬した。これまでの実験結果（図15）によると、菌糸接種後、質量減少3%程度が確認されるまで湿潤状態では約2ヵ月程度（Case1、2）、湿潤と乾燥を繰り返す条件下では乾燥湿度90%で4ヵ月以上（Case6、7）の期間を要する知見が得られている。また、乾燥湿度75%では質量減少率が微増に留まり、8ヵ月の暴露によっても木材内部への菌糸の侵入は確認できなかった（図16）。

現時点の知見から、材表面の湿潤による木材腐朽菌定着までの期間を整理すると以下となる。

① 連続した湿潤

相対湿度98%以上 → 1ヵ月程度

② 乾燥湿潤（周期的に繊維飽和点を越える場合）

平均相対湿度95%以上 → 2～3ヵ月程度

平均相対湿度85%以下 → 6～7ヵ月程度

上記の数値は内部結露を想定しており、雨水に直接暴露される環境や屋外の土木構造物については更なる検討が必要である。また、初期含水率の高い木材や地盤近傍では、木材腐朽菌が材内部や地盤内の水分を利用し腐朽に至る可能性があり、適用条件について慎重に整理する必要がある。一方、上記の結果は温度23℃の実験によって得られた値であるため、腐朽現象の温度依存性を考慮すると、冬期については若干長めの期間が許容できるであろう。

なお、本検討で求める成果は、生物学的な木材腐朽菌の定着の有無を意味するものではなく、建築工学の観点から構造上有害な劣化を防止するための目安である。試料厚さ6mmの結果から得られたものであるため、適用しうる材料厚さなどを含め、今後更なる検証が不可欠である。

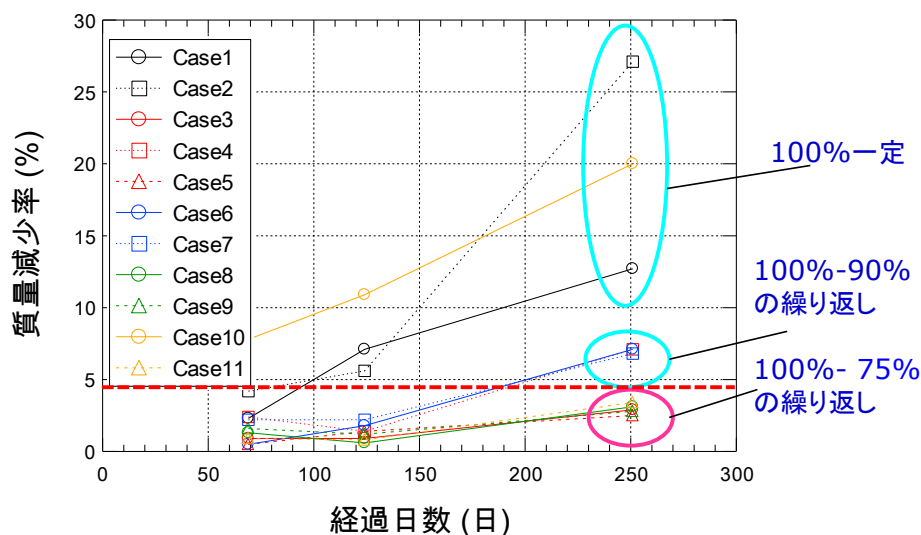


図 15 質量減少率の測定結果（平成 23 年度報告書からの引用）

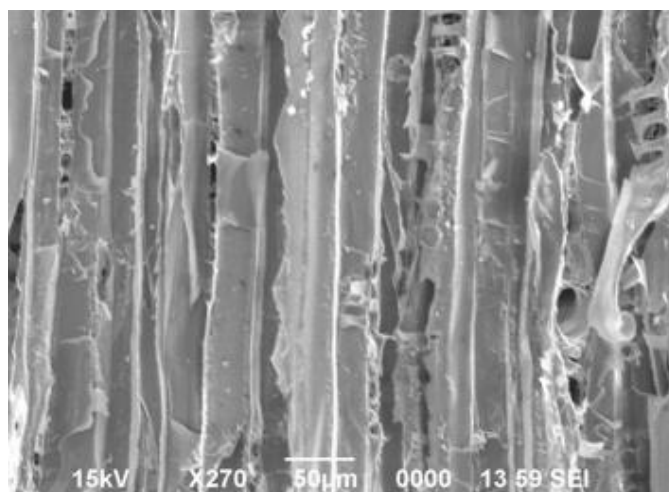


図 16 電子顕微鏡による試料断面（Case9[乾燥 75%、8 ヶ月]、平成 24 年度報告書からの引用）

6.3.2 木造長期優良住宅認定基準等との関係と対応措置について

本検討における成果は、木造長期優良住宅認定基準に直接反映するものではないが、劣化や防露に関する特別認定制度の判断根拠に応用できると思われる。例えば、特殊な仕様に対して熱水分移動解析を行い計算結果によって評価する際に、本検討結果を判断の目安として利用できると思われる。しかし、実際の住宅外皮は 3 次元的な熱水分及び空気移動が生じる。図 17 は、外壁と床及び胴差取合に僅かな防湿・気密欠損（隙間）が存在する場合のシミュレーションの結果であるが³⁾、室内外の圧力バランスや取合いの施工精度によって断熱層内部の相対湿度分布が大きく異なっている。このような施工精度が影響する仕様は、一般に普及している 1 次元の数値解析プログラムによる計算結果のみの判断は危険であるため注意が必要である。

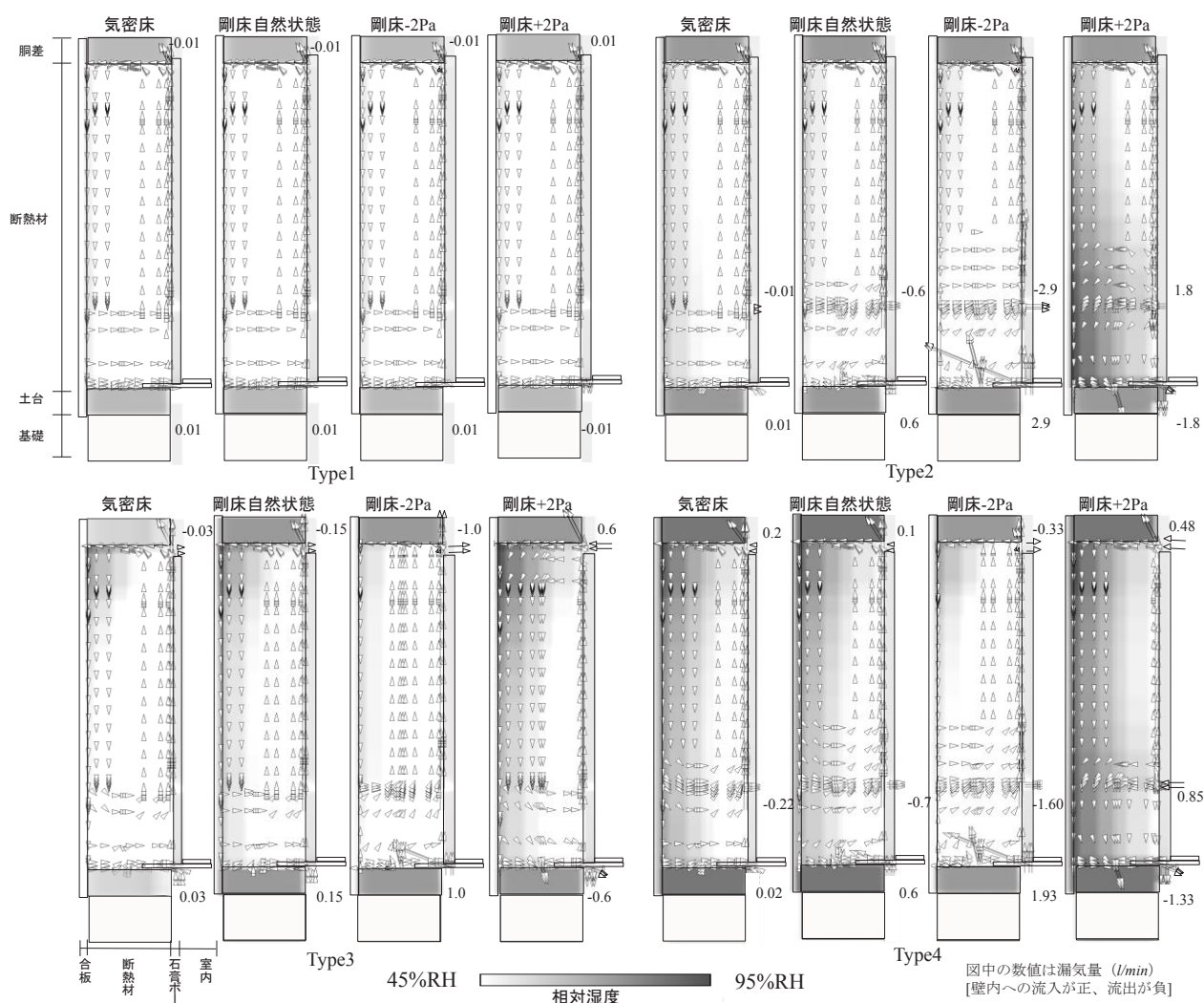


図 17 防湿気密欠損部からの漏気量と相対湿度分布（計算値）

（文献 3 からの引用した暖房時における繊維系断熱材内部の気流分布と相対湿度分布。防湿欠損の無い Type1 に対し、防湿欠損がある Type2～4 は内外差圧の状況によっては断熱層の低温側[図左側]の相対湿度が局所的に上昇している。）

一方、近年は外皮の断熱気密化やルーフバルコニー等の採用によって、躯体内への雨水浸入の影響が排除しきれないことが実態調査から示唆されている。既存の数値解析プログラムは、外装材への雨がかりや雨水浸入は考慮されておらず、前述した漏気に加え実際に生じる現象を再現するにはモデルの改良が必要である。本検討では許容できる湿潤状態の把握については目標を一部達成できたが、制度の運用を想定すると前述した防水や防湿措置に起因する水分蓄積の現象解明を進め、計算で評価できる仕様の選定や、実験のプロトコルといった評価の枠組みを、環境工学や材料施工を含めた観点から構築することが今後の課題として挙げられる。

なお、現在の木造長期優良住宅認定基準の雨掛かりの評価は、軒及び庇の出寸法によって規定されている。今後、これらの躯体内の水分滞留に対する評価法開発を求められた場合、今回行った許容できる湿潤状態の知見や解析手法と絡めた検討ロジック²⁾が大いに役立つものと思われる。

6.4 残された課題

本検討では木材腐朽に対し許容しうる湿潤状態について、定量的な判断根拠を検討した。しかし、工学的観点から周囲環境と腐朽菌による劣化の関係を定量的に検討した事例は少なく、今後も更なるデータの収集が必要と思われる。以下に残された課題を示す。

- ・ 本検討結果は腐朽力の比較的高いオオウズラタケとアカマツの組合せによる実験から得られた知見である。住宅に使用される樹種は多種にわたり、特に加害菌に対しては不明な点も多く実態調査が行われている状況である⁴⁾。今後はこれらの研究動向を配慮し、本検討の条件設定が妥当であるか確認することが望ましい。
- ・ 今回は内部結露を判定する観点から 8 ヶ月間の結果によって知見をまとめた。これは、活力の高い培養した菌叢を滅菌した試料に接種するといった、実現象に比べ腐朽しやすい試験であるため、べた基礎を採用した住宅に限れば工学的な観点から安全側の知見と考えられる（菌叢を接種しない既往研究⁵⁾の結果では、湿潤状態でも 6 か月以上が必要とされている）。しかし、冬期間のみの内部結露や台風時の一時的な湿潤等、1～2 ヶ月程度の乾湿繰返しが複数年に亘る際のデータは無いため、長期的な検証実験が必要と思われる。
- ・ 実験では飽和水蒸気による加湿であったため、雨水侵入など液水が直接木部に接する状況を想定した検討が不可欠である。特に液水の場合、木口面などでは毛細管現象によって材内部まで水分が浸入するため、水分の与え方について本報告と異なる方法で検証実験を行う必要がある。

<参考文献>

- 1) JIS A 1324 建築材料の透湿性測定方法、日本規格協会
- 2) 齋藤宏昭、福田清春、澤地孝男、大島明：水分収支を考慮した木造外皮の耐久性評価のための木材腐朽予測モデル 建築外皮の湿害に対する評価手法の開発 その 1、日本建築学会環境系論文集、第 630 号、pp.971～978、2008.8
- 3) 齋藤宏昭、三浦尚志、桑沢保夫：木造断熱外壁の防湿・気密措置と防露性能に関する研究 ― 繊維系断熱材充填工法に対する要求性能―、日本建築学会環境系論文集、第 688 号、pp.461～470、2013.6
- 4) Ikuo Momohara, Yuko Ota, Kozue Sotome, Takeshi Nishimura: Assessment of decay risk of airborne wood-decay fungi II: relation between isolated fungi and decay risk, J Wood Sci 58:174–179, 2012
- 5) Paul I Morris, Jerrold E Winandy: Limiting Conditions for Decay in Wood System, The International Research Group on Wood Preservation, Document No.IRG/WP 02-10421, 2002.

第7章 小屋裏開口面積と防露措置に関する検討

7.1 はじめに

委員会最終年度にあたり、現時点の知見で可能な評価の枠組みの提案と不足データを収集し、報告書をまとめる。最終成果としては、全国一律であった小屋裏開口面積の要求性能を、気象条件、気密性、外壁通気層の有無等の各種条件を勘案し整備することにより、柔軟性が高く地域の実情に適応しうる評価指針作成の根拠を提示する。

7.2 防湿層付グラスウールを用いた天井面の透湿抵抗

7.2.1 目的

関東以西の温暖地では、木造住宅で天井断熱を行う際に防湿層付き断熱材を格子状となった野縁の上部に施工し、別張り防湿シートを省略する工法が多く採用される。この工法では、透湿性の高い石膏ボードを經由し野縁と断熱材間に生じる空気層に水蒸気が到達し易く、暖房時は浮力によって小屋裏空間へ至ることが予想される。この現象は、一般的な等温場の濃度拡散現象とは異なり、居室と小屋裏の温度差によって駆動力が上昇する。そこで本検討では、非等温場の実験により防湿層付グラスウールを用いた天井面の透湿抵抗のデータを収集する。

7.2.2 実験概要

一般的な木造住宅の天井断熱状態を再現するため、野縁を取付けた石膏ボードに住宅用グラスウール断熱材を載せたものを試験体とした。試験体の概要を表1に示す。試験装置の概要を図1に、試験体の構成を図2および図3に示す。

実験は、JIS A 1324（建築材料の透湿性試験方法）の5.2 カップ法に準じ、試験体取付面以外を断湿された容器内に飽和塩水溶液（塩化ナトリウム 相対湿度 75%）を設置し、飽和塩水溶液の質量変化をデジタルはかりにて計測することにより透湿抵抗を算出する。容器内はヒーターにて空気温度を調整し、ファンを使用して箱内空気の攪拌（風速 1 m/s 以下）を行った。また、デジタル温湿度計にて箱内の温度および湿度変化を計測した。試験装置の概要を写真1に、試験体設置状況を写真2～写真4に示す。

透湿抵抗は、飽和塩水溶液の質量変化が一定となった時点で、質量増分が 10g 以下となる時間帯で 5 点以上の質量変化を測定し、JIS A 1324 に準じて見かけの透湿抵抗 R' を算出した。試験条件を表2に示す。なお、容器については予め不透湿のシート材料を使用して測定を行い、装置からの校正透湿量を算定した（図4）。

表 1 試験体の概要^{*1}

試験体	No.1	No.2	No.3
室内側面材	普通せっこうボード 厚さ 12.5mm	普通せっこうボード 厚さ 12.5mm	普通せっこうボード 厚さ 12.5mm
断熱材	住宅用グラスウール断熱材 10K 相当 公称厚さ 100mm	住宅用グラスウール断熱材 10K 相当 公称厚さ 100mm	なし
野縁	乾燥木材 幅 43mm×高さ 35mm ねじ@303mm	乾燥木材 幅 43mm×高さ 35mm ねじ@303mm	乾燥木材 幅 43mm×高さ 35mm ねじ@303mm
備考	断熱材を野縁に平行に設置	断熱材を野縁に垂直に設置	断熱材なし

備考 *1 試験体の四周部は不透湿の材料（アルミニウムテープ）にて透湿しない状態とした。

表 2 試験条件（箱内温度）

条件 1	箱内温度 28℃（ファンのみ）
条件 2	箱内温度 33℃
条件 3	箱内温度 38℃

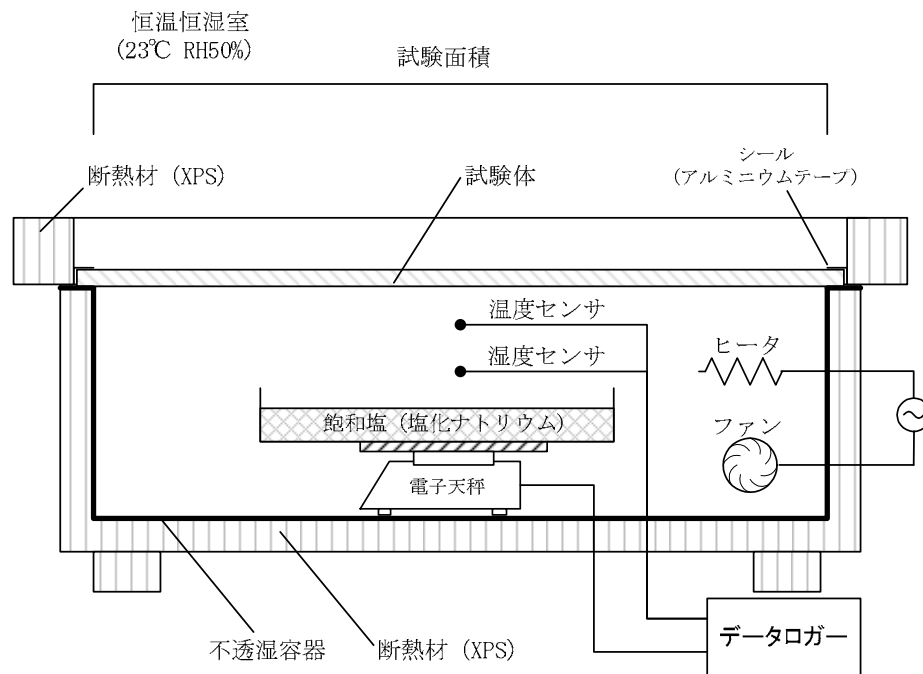


図 1 試験装置の概要

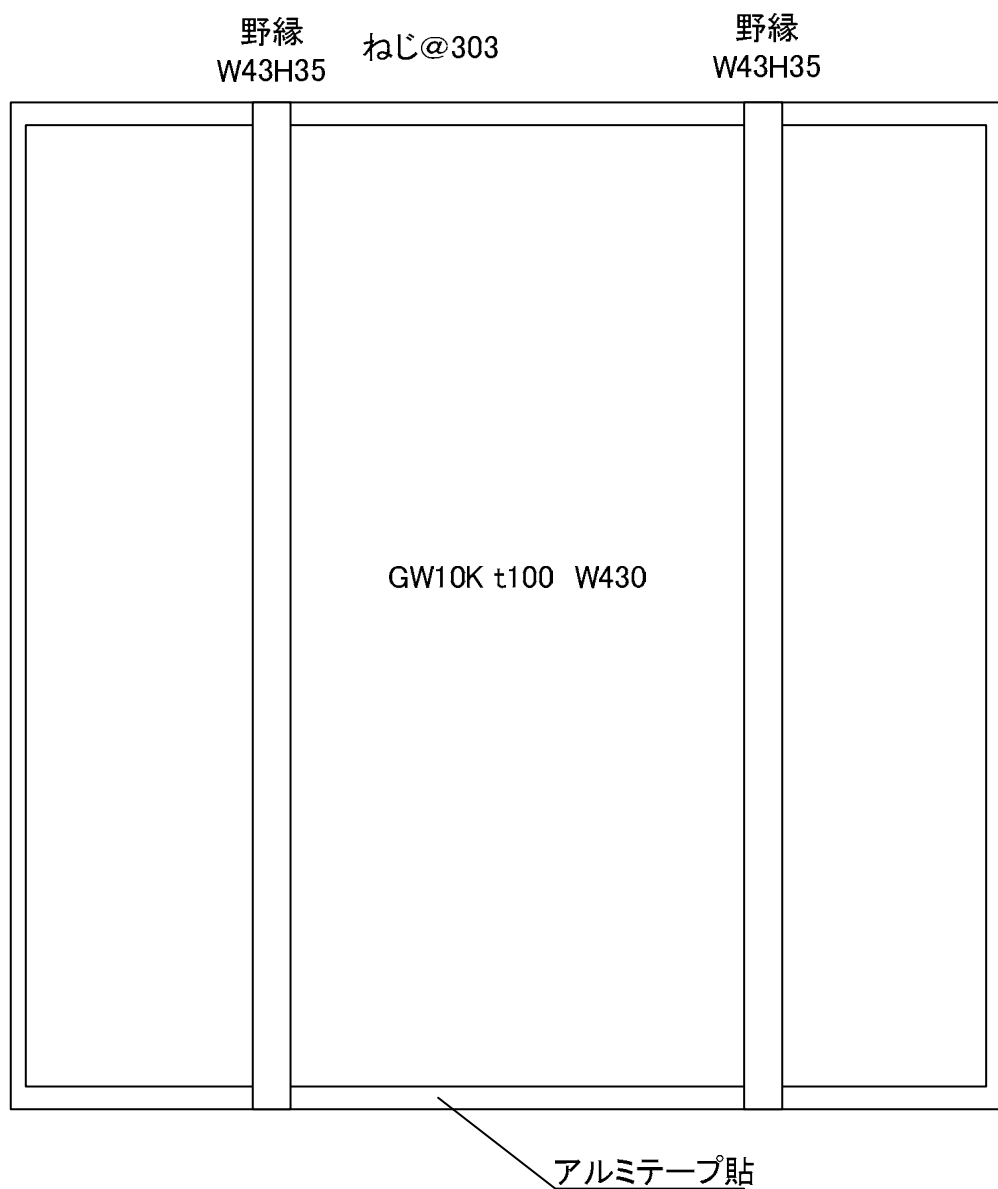
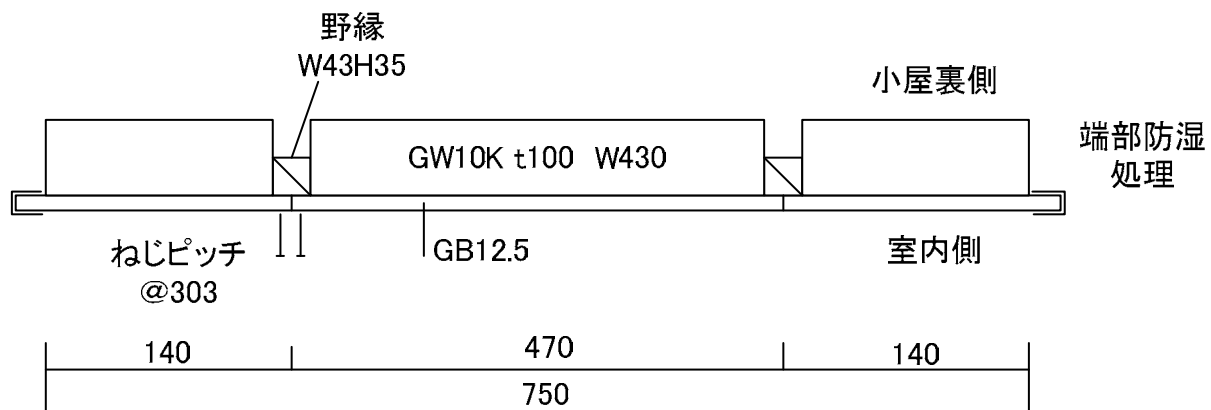


図 2 試験体（試験体 No.1）

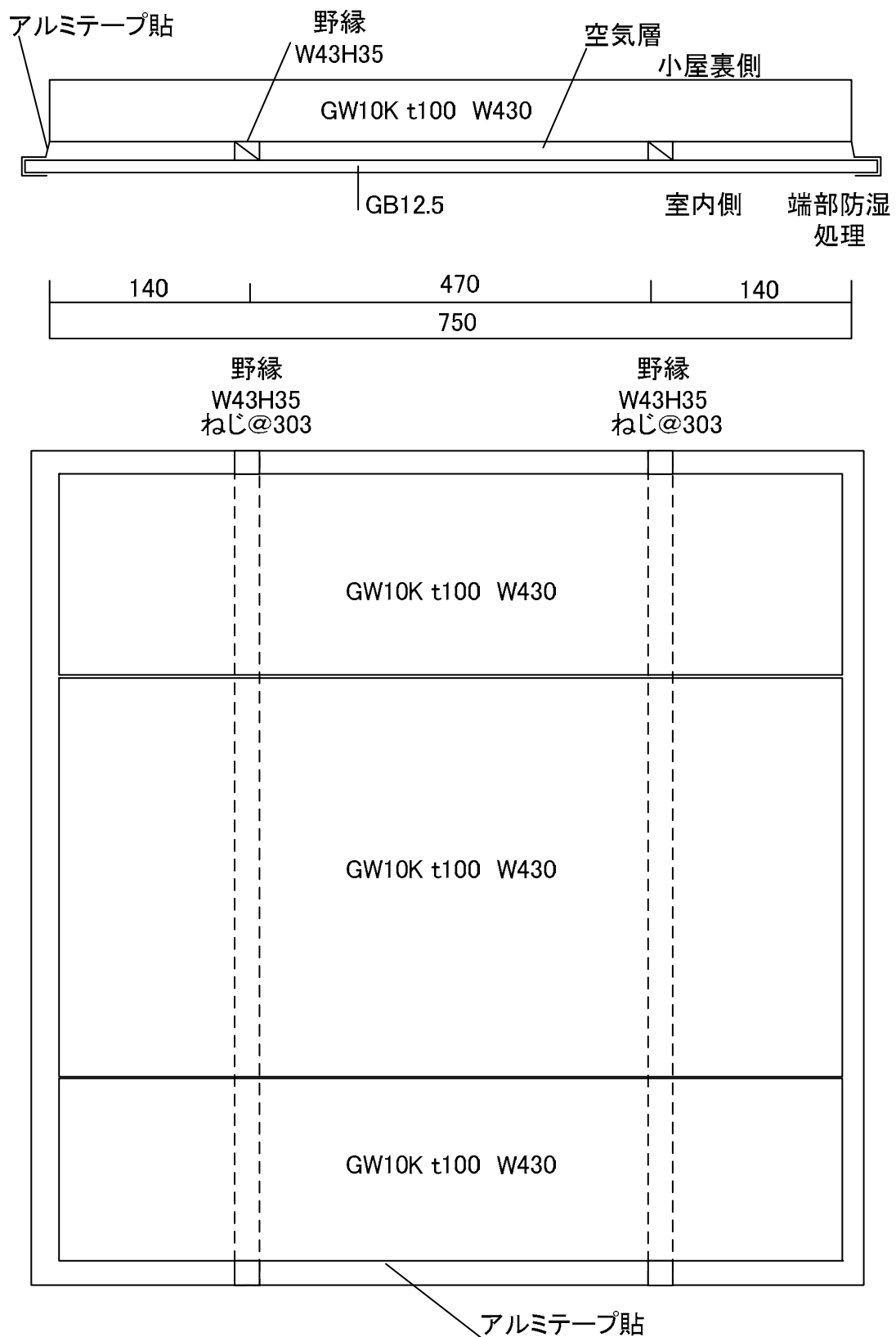


図 3 試験体（試験体 No.2）

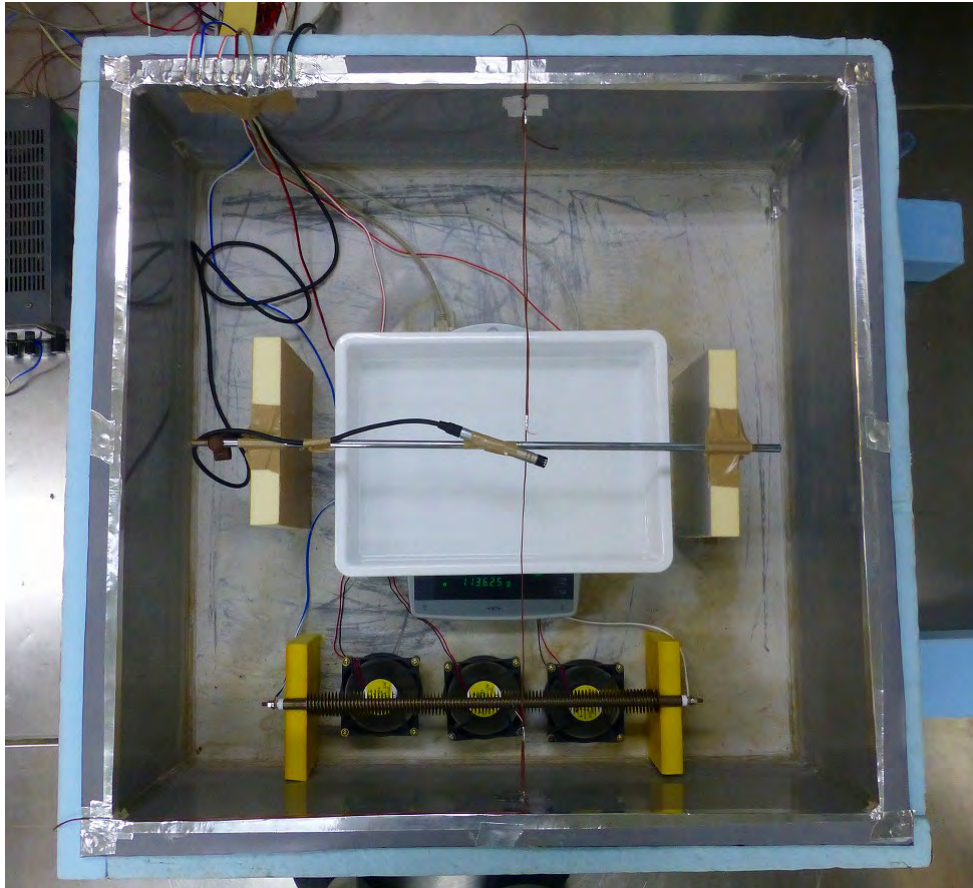


写真 1 試験装置内部



写真 2 試験体設置状況（試験体 No.1）

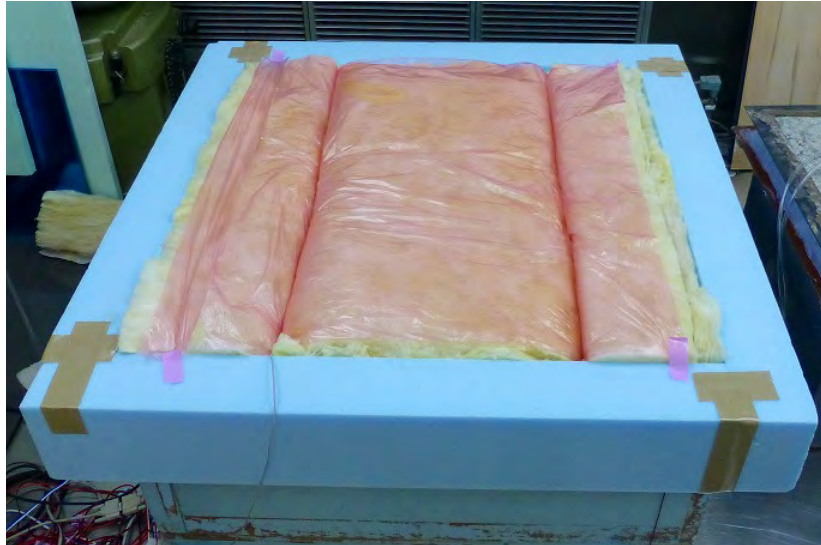


写真 3 試験体設置状況（試験体 No.2）



写真 4 試験体設置状況（試験体 No.3）

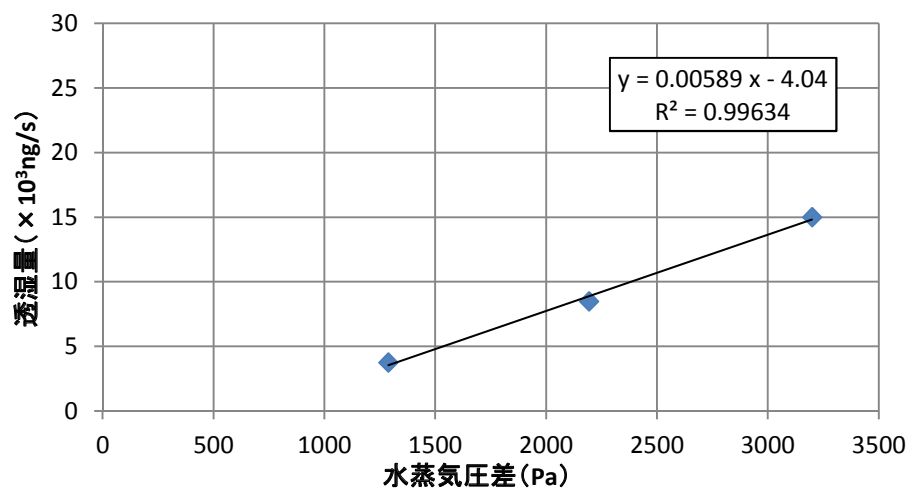


図 4 校正透湿量

7.2.3 測定結果

測定結果を表 3～表 5、図 5～図 7 に示す。試験体 No.3 は石膏ボードのみの値である。天井面の一般的な施工方法は野縁が交差するため、試験体 No.2 の結果が実際の物件で採用される工法であり、No.1 は桁上断熱等の仕様に該当する。

表 3 試験結果（試験体 No.1）

試験条件	条件 1	条件 2	条件 3
試験面積 (m ²)	0.5625		
試験室平均温度 (°C)	23.0	23.0	23.0
試験室平均湿度 (%)	50	50	50
試験室水蒸気圧*1 (Pa)	1405.5	1405.5	1405.5
箱内平均温度 (°C)	26.5	33.0	37.9
箱内平均湿度 (%)	74.0	71.4	69.8
温度差 (K)	3.5	10.0	14.9
箱内水蒸気圧*1 (Pa)	2563.9	3595.4	4604.9
水蒸気圧差 (Pa)	1158.4	2189.9	3199.4
透湿量 G _h (×10 ³ ng/s)	68.3	132.7	187.9
校正透湿量 G _c (×10 ³ ng/s)	2.8	8.9	14.8
通過透湿量 G _n =G _h -G _c (×10 ³ ng/s)	65.5	123.8	173.1
見かけの透湿抵抗 [(m ² ・s・Pa)/ng]	0.00995	0.00995	0.01040

注*1) 水蒸気圧の計算は、JIS Z 8806（湿度－測定方法）に規定する SONNTAG の式による。

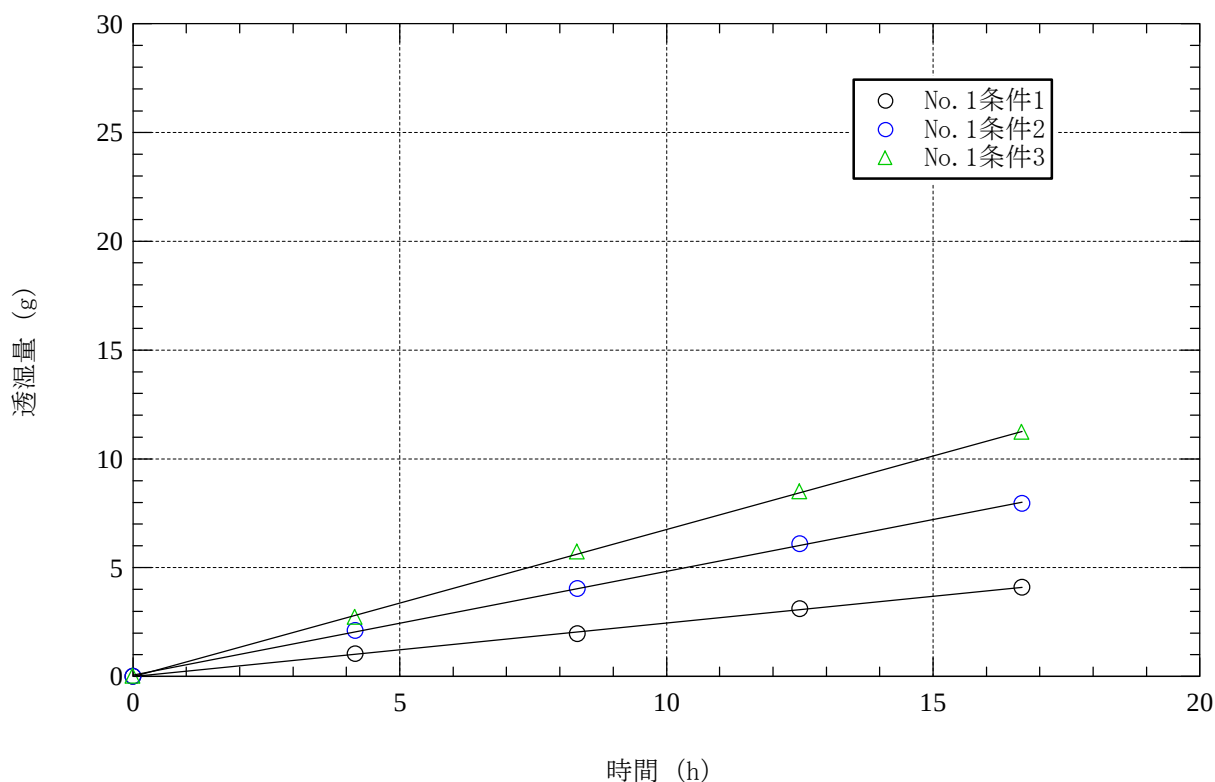


図 5 時間と透湿量の関係

表 4 見かけの透湿抵抗の測定結果 (試験体 No.2)

試験条件		条件 1	条件 2	条件 3
試験面積 (m ²)		0.5625		
試験室平均温度 (°C)		23.0	23.0	23.0
試験室平均湿度 (%)		50	50	50
試験室水蒸気圧*1 (Pa)		1405.5	1405.5	1405.5
箱内平均温度 (°C)		26.6	33.0	37.6
箱内平均湿度 (%)		74.2	71.9	70.3
温度差 (K)		3.6	10.0	14.6
箱内水蒸気圧*1 (Pa)		2586.0	3620.6	4563.1
水蒸気圧差 (Pa)		1180.5	2215.1	3157.6
透湿量 G _h (×10 ³ ng/s)		79.0	135.7	185.5
校正透湿量 G _c (×10 ³ ng/s)		2.9	9.0	14.6
通過透湿量 G _n =G _h -G _c (×10 ³ ng/s)		76.1	126.7	170.9
見かけの透湿抵抗 [(m ² ・s・Pa)/ng]		0.00873	0.00983	0.01039
試験体平均温度*2 (°C)		26.4	32.5	36.7
試験体平均湿度*2 (%)		73	73	74
水蒸気圧*1*2 (Pa)		2514.3	3574.0	4573.6

注*1) 水蒸気圧の計算は、JIS Z 8806 (湿度－測定方法) に規定する SONNTAG の式による。

*2) セっこうボードと断熱材の間の温湿度及び水蒸気圧。

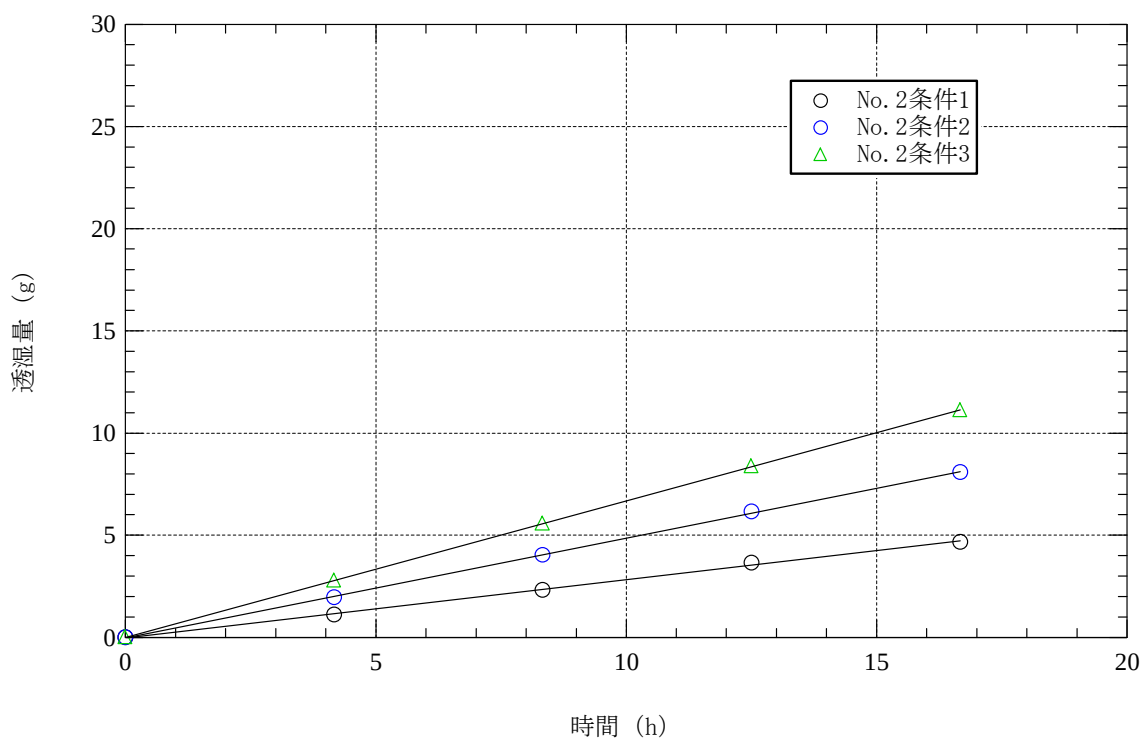


図 6 時間と透湿量の関係

表 4 見かけの透湿抵抗の測定結果（試験体 No.3）

試験条件		条件 1	条件 2	条件 3
試験面積	(m ²)	0.5625		
試験室平均温度	(°C)	23.0	—	23.0
試験室平均湿度	(%)	50	—	50
試験室水蒸気圧*1	(Pa)	1405.5	—	1405.5
箱内平均温度	(°C)	23.3	—	36.3
箱内平均湿度	(%)	65	—	47.3
箱内水蒸気圧*1	(Pa)	1,860.6	—	2,860.1
水蒸気圧差	(Pa)	455.1	—	1,454.6
透湿量 G _h	(×10 ³ ng/s)	147.2	—	474.9
校正透湿量 G _c	(×10 ³ ng/s)	0	—	4.5
通過透湿量 G _n =G _h ・G _c	(×10 ³ ng/s)	147.2	—	470.6
見かけの透湿抵抗	[(m ² ・s・Pa)/ng]	0.00174	—	0.00174

注*1) 水蒸気圧の計算は、JIS Z 8806（湿度－測定方法）に規定する SONNTAG の式による。

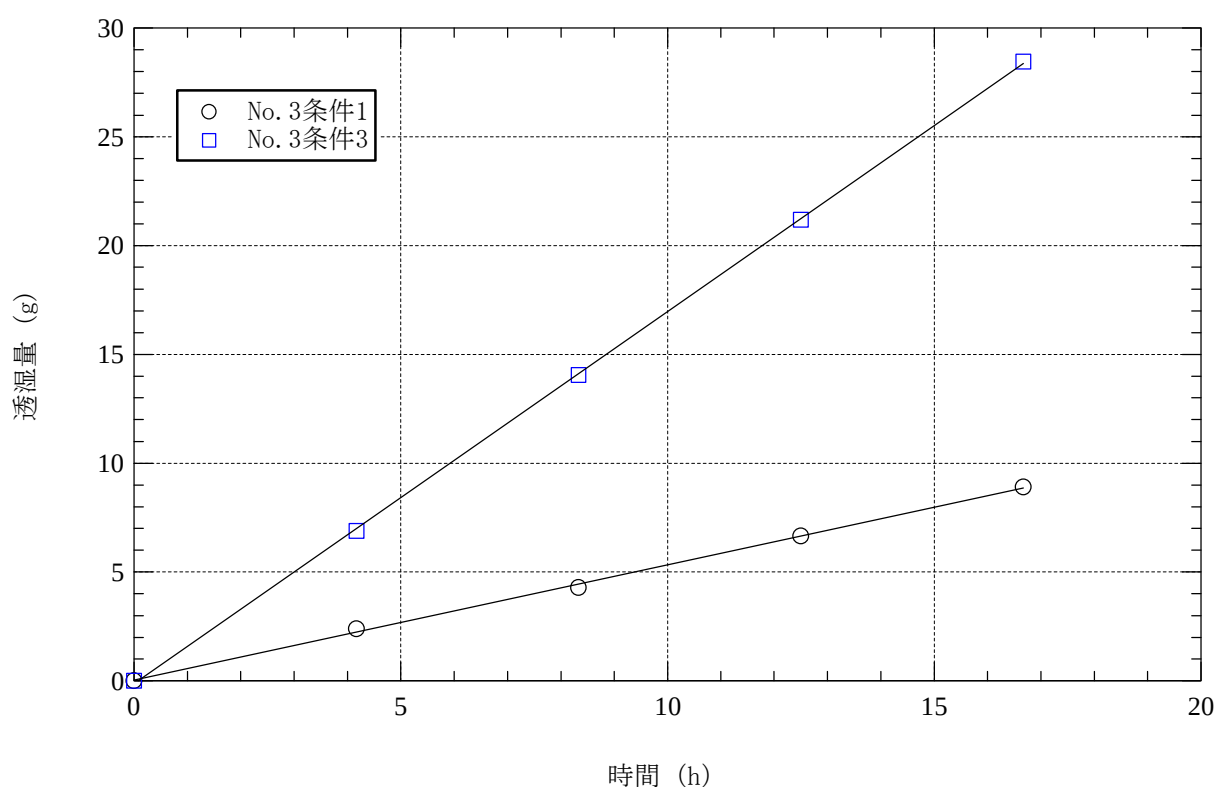


図 7 時間と透湿量の関係

7.2.4 断熱材突合せ部の 1m あたりの透湿抵抗の算定

実験で得られた透湿抵抗から天井面全体の値を求めるため、突合せ部 1m あたりの透湿抵抗を算出する。算出に当たっては以下の項目を仮定する。

- 1)試験体の透湿抵抗は、防湿フィルム付グラスウール断熱材部分の透湿抵抗と、断熱材突合せ部の透湿抵抗により構成されると仮定する。
- 2)試験体における断熱材の突合せ部は、湿気が高湿側から低湿側へ一次元的に流れていると仮定する。
- 3)試験体のグラスウール部分（実質部）の単位面積あたりの透湿量が同等であると仮定する。

試験体突合せ部の透湿量、試験体実質部の透湿量と試験体全体の透湿量は、式[1]の関係となる。なお、試験体 No.1 の場合、断熱材突合せ部は野縁を含むため、試験体実質部はせっこうボードから断熱材外被までの部分が該当する。試験体 No.2 の場合、断熱材突合せ部分は野縁を介さないため、試験体実質部の透湿量は、断熱材部分となるため、試験体全体の透湿量は、試験により得た見かけの透湿抵抗から、試験体 No.3 の透湿抵抗を差し引いた値とした。

$$G_A = G_T + G_J \quad \dots \text{式[1]}$$

ここに、

G_A 試験体全体の透湿量 (ng/s)

G_T 試験体突合せ部の透湿量 (ng/s)

G_J 試験体実質部の透湿量 (ng/s)

ここで、試験体実質部の透湿量は、構成材料の透湿抵抗に基づき計算により求めた試験体実質部の透湿抵抗 R'_J をもとに、式[2]にて求めることができる。

$$G_J = \frac{A_J \times P_A}{R'_J} \quad \dots \text{式[2]}$$

ここに、

G_J 試験体実質部の透湿量 (ng/s)

A_J : 試験体実質部の面積 (m²)

P_A : 試験体の水蒸気圧差 (Pa)

R'_J : 試験体実質部の透湿抵抗 [(m²・s・Pa)/ng]

式[2]にて求めた試験体実質部の透湿量と、試験により得た試験体全体の透湿量から、式[1]にて試験体突合せ部の透湿量を求め、式[3]にて断熱材突合せ部の単位長さあたりの透湿抵抗を求める。

$$R'_T = \frac{P_A \times L}{G_T} \quad \dots \text{式[3]}$$

ここに、

R'_T 断熱材突合せ部の単位長さあたりの透湿抵抗 [(m・s・Pa)/ng]

P_A : 試験体の水蒸気圧差 (Pa)

L : 断熱材突合せ部の長さ (m)

G_T 試験体突合せ部の透湿量 (ng/s)

試験体実質部の透湿抵抗を表 5 に、試験体 No.1、No.2 から算出した突合せ部の透湿抵抗を表 6 及び

表 7 に示す。内外温度差と突合せ部の透湿抵抗の関係を図 8 に示す。

目地を含めた透湿抵抗は付属防湿フィルム単体の 10 分の 1 程度であり、これらを勘案する必要がある。温度依存性についてはあまり大きくない結果となっており（図 8）、安全率を見込んだ値を用いれば良いと思われる。

表 5 試験体実質部の透湿抵抗*1

試験体	材料名	厚さ (mm)	透湿率 [ng/(m・s・Pa)]	透湿抵抗 [(m ² ・s・Pa)/ng]
No.1	グラスウール断熱材*2	100	170	0.000588
	付属防湿フィルム*3	—	—	0.0174
	せっこうボード*2	12.5	39.7	0.000315
	合計 R'_J			0.018303
No.2	グラスウール断熱材*2	100	170	0.000588
	付属防湿フィルム*3	—	—	0.0174
	合計 R'_J			0.017988

備考 *1) グラスウール断熱材の穴あき外被は、透湿抵抗が非常に小さいので無視した。

*2) 住宅の省エネルギー基準の解説 第 3 版第 7 刷（財団法人建築環境省エネルギー機構）による。

*3) 実測値

表 6 試験体 No.1 突合せ部透湿抵抗計算結果（断熱材が野縁に並行）

項 目			条件 1	条件 2	条件 3
			ΔT 2K	ΔT 5K	ΔT 10K
通過透湿量	G_n	$\times 10^3$ ng/s	65.5	123.8	173.1
水蒸気圧差	P_A	Pa	1158.4	2189.9	3199.4
実質部面積	A_J	m ²	0.498	0.498	0.498
実質部透湿抵抗	R'_J	(m ² ・s・Pa)/ng	0.018303	0.018303	0.018303
実質部透湿量	G_J	$\times 10^3$ ng/s	31.5	59.6	87.1
突合せ部透湿量	G_T	$\times 10^3$ ng/s	34.0	64.2	85.4
野縁長さ	L	m	1.5	1.5	1.5
突合せ部透湿抵抗	R'_T	(m・s・Pa)/ng	0.0511	0.0512	0.0562

表 7 試験体 No.2 突合せ部透湿抵抗計算結果 (断熱材が野縁と直交)

項目			条件 1	条件 2	条件 3
			ΔT 2K	ΔT 5K	ΔT 10K
No.2 見かけ透湿抵抗	R'_{A2}	$(m^2 \cdot s \cdot Pa)/ng$	0.00873	0.00983	0.01039
No.3 見かけ透湿抵抗	R'_{A3}	$(m^2 \cdot s \cdot Pa)/ng$	0.00174	0.00174 ^{*1}	0.00174
断熱材部見かけ透湿抵抗	$R'_{A2} - R'_{A3}$	$(m^2 \cdot s \cdot Pa)/ng$	0.00699	0.00809	0.00865
試験面積	A	m^2	0.5625	0.5625	0.5625
試験室水蒸気圧	P_r	Pa	1405.5	1405.5	1405.5
空気層水蒸気圧	P_a	Pa	2514.3	3574.0	4573.6
水蒸気圧差	$P_A = P_a - P_r$	Pa	1108.8	2168.5	3168.1
通過透湿量	G_A	$\times 10^3 \text{ ng/s}$	89.2	150.8	206.0
実質部透湿抵抗	R'_J	$(m^2 \cdot s \cdot Pa)/ng$	0.017988	0.017988	0.017988
実質部透湿量	G_J	$\times 10^3 \text{ ng/s}$	34.7	67.8	99.1
突合せ部透湿量	G_T	$\times 10^3 \text{ ng/s}$	54.5	83.0	106.9
野縁長さ	L	m	1.5	1.5	1.5
突合せ部透湿抵抗	R'_T	$(m \cdot s \cdot Pa)/ng$	0.0305	0.0392	0.0445

注*1) 条件 1 と条件 3 の平均値とした。

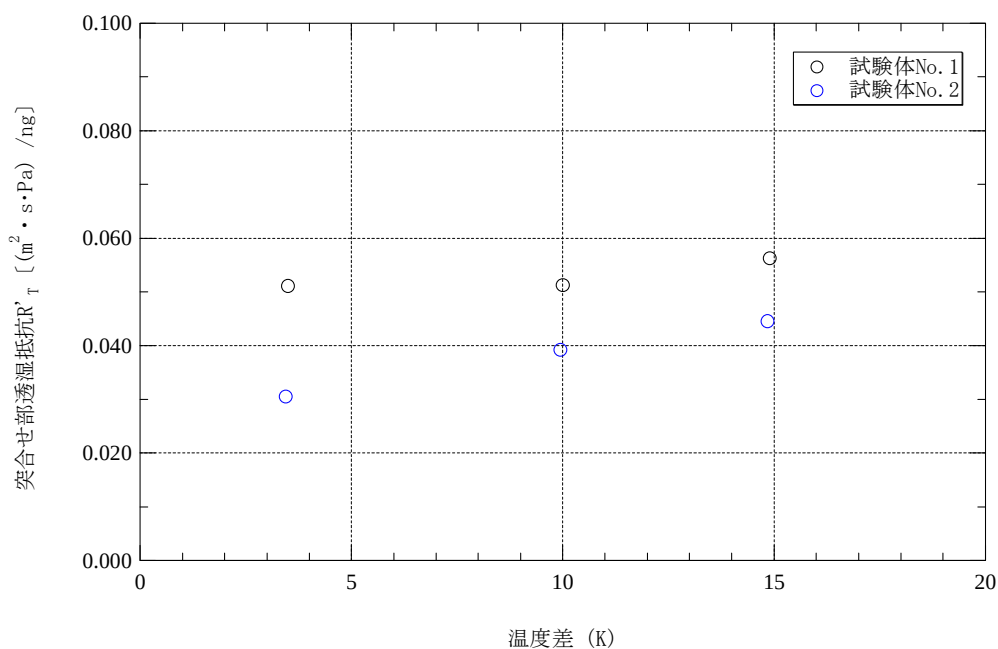


図 8 内外温度差と突合せ部の透湿抵抗の関係

7.3 屋根形状および地域別的小屋裏換気口の要求性能の試算

7.3.1 目的

昨年度までに得られた、小屋裏換気口面積と外気流入量の関係式を用い、野地板の水分性状を閾値以下に維持するために必要な、地域別の相当開口面積を算出する。

7.3.2 試算方法

本検討では野地板面での結露防止を目的とするため、閾値は野地板小屋裏側表面の1~2月における相対湿度平均値とする。また本節における相当開口面積は、換気部材の通気特性試験により得られる通気特性を考慮した開口面積を指し、有効開口面積は換気部材の図面から読み取れる実質開口面積を指す。外気流入量は、小屋裏換気口から流入する外気のほか、小屋裏に通じる通気層を有する場合は、その流入量も含まれる。計算水準は表8に示す項目とし、相当開口面積の計算は次の①~④の手順にて実施した。

表8 計算水準

住宅形式	戸建住宅
計算地点	①盛岡（寒冷地） ②宇都宮（一般地域） ③富山（降雪地域） ④福岡（温暖地域）
屋根形式	①寄棟 ②切妻 ③片流れ
小屋裏換気方式*1	①軒裏換気 ②軒裏及び棟換気（軒→棟） ③妻壁換気 ④軒裏及び妻壁換気（軒→妻）
天井面の気密性能*2	①非気密住宅（ $C_t=10$ ）相当（ $C_c=3.58$, Type A） ②温暖地の気密住宅（ $C_t=5$ ）相当（ $C_c=0.81$, Type B） ③寒冷地の気密住宅（ $C_t=2$ ）相当（ $C_c=0.41$, Type C）
外壁通気層から小屋裏への外気流入	①流入あり（通気層あり） ②流入なし（通気層なし）
室内相対湿度	①50% ②60%
野地板平均相対湿度	①90% ②98%

注*1) 評価方法基準にて規定する換気方式である。片流れ屋根の小屋裏換気方式は軒裏換気とした。

*2) C_t は住宅気密性能の目安（ cm^2/m^2 ）， C_c は天井面の気密性能値（ cm^2/m^2 ）を示す。

① 単位天井面積あたりの小屋裏換気口相当開口面積 αA_c の計算

昨年度までの検討により、小屋裏への外気流入量と外部風速の関係式[4]が得られている。小屋裏換気口相当開口面積は、換気方式別に式[4]により単位天井面積あたりの値を計算した。

$$q = a \cdot \alpha A_c \cdot V_o + b \quad \dots \text{式[4]}$$

ここに、

q : 外気流入量 (kg/m²h)

a : 式[4]の勾配

αA_c : 単位天井面積あたりの小屋裏換気口相当開口面積 (cm²/m²)

V_o : 外部風速の期間平均値 (m/s)

b : 式[4]の切片

式[4]に使用した値のうち、傾き a 及び切片 b を表 9 に示す。外部風速の期間平均値は、平成 25 年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 II 住宅*1 (初版) の PP202 (付録 3.1C 通風を確保する措置の有無の判定, 表 C.5 住宅種別ごとの式(3)中の参照風速・風圧係数差の設定値) に基づき 1.5m/s とした。なお、相当開口面積は傾き a 及び切片 b を算出した際の下限值までとした (表 10)。

② 相当開口面積 αA を求めるための係数 $f_{R,\alpha A}$ の計算

図 9、10 に示す現行の基準 (評価方法基準及び北海道基準) では、小屋裏換気口の面積は、天井面積に係数を乗じることにより求める (式[5]参照)。この係数は、図 9 及び図 10 にて示すように分子を 1 とした分数で示される。現行の基準との比較を容易にするため、単位天井面積あたりの小屋裏換気口相当開口面積をもとに式[6]により係数の分母に相当する値 $f_{R,\alpha A}$ を求めた。

$$\alpha A = S_c \cdot f \quad \dots \text{式[5]}$$

ここに、

αA : 換気口の相当開口面積 (m²)

S_c : 換気口を設置する天井面積 (m²)

f : 現行の基準にて規定している係数 (例えば評価方法基準における小屋裏換気は 1/300)

$$f_{R,\alpha A} = \frac{1}{\alpha A_c \times 0.0001} \quad \dots \text{式[6]}$$

ここに、

αA_c : 単位天井面積あたりの相当開口面積 (cm²/m²)

$f_{R,\alpha A}$: 換気口面積を求めるための係数 (基準値の分母に相当する値)

③ 有効開口面積 A を求めるための係数 $f_{R,A}$ の計算

小屋裏換気口の形式に応じた流量係数 α は、図 11 の値 (相当開口面積/有効開口面積) に基づき、平均的な値として表 11 の値に設定し、有効開口面積を式[8]により計算した。

$$f_{R,A} = \frac{\alpha}{\alpha A_c \times 0.0001} \quad \dots \text{式[8]}$$

ここに,

$f_{R,A}$: 単位天井面積あたりの有効開口面積 (cm^2/m^2)

αA_c : 単位天井面積あたりの相当開口面積 (cm^2/m^2)

α : 小屋裏換気口の通気特性により求められる流量係数 (—)

④現行基準との比較

計算により求めた有効開口面積及び相当開口面積をもとに、現行の基準（評価方法基準，北海道基準）との比較を行った。

表 9 式[4]における傾き a 及び切片 b

通気層	屋根形状	換気方式	天井面の 気密性能	傾き a	切片 b ^{*1}
なし	寄棟	軒裏	Type A	0.016	-0.164
			Type B	0.023	-0.152
			Type C	0.023	-0.096
		軒裏→棟	Type A	0.044	-0.542
			Type B	0.054	-0.166
			Type C	0.054	-0.054
	切妻	妻壁	Type A	0.007	-0.705
			Type B	0.016	-0.214
			Type C	0.017	-0.172
		軒裏→妻壁	Type A	0.012	-0.944
			Type B	0.025	-0.187
			Type C	0.028	-0.174
あり	寄棟	軒裏	Type A	0.014	-0.003
			Type B	0.021	0.920
			Type C	0.022	1.077
		軒裏→棟	Type A	0.057	-0.501
			Type B	0.047	0.448
			Type C	0.046	0.615
	切妻	妻壁	Type A	0.006	-0.756
			Type B	0.012	0.804
			Type C	0.014	0.920
		軒裏→妻壁	Type A	0.010	-0.276
			Type B	0.020	0.424
			Type C	0.022	0.594
	片流れ ^{*2}	軒裏	Type A	0.0306	-1.115
			Type B	0.0365	0.311
			Type C	0.0373	0.517

注*1) 天井面の気密性能 Type A における切片 b の値 (網掛け部分) については、天井面の気密性能値 (Type A : 3.58cm²/m², Type B : 0.81 cm²/m², Type C : 0.41 cm²/m²) と切片 b が比例関係にあると仮定し外挿により求めた。

注*2) 片流れの傾き a と切片 b は、Type B は宇都宮、富山、福岡の 3 地点の結果に基づき算出し、Type C は盛岡、宇都宮、富山の 3 地点の結果に基づいて算出している。また、Type A については傾き a 及び切片 b の値が無かったため、他の屋根形状における Type A の切片 b の値と同様に、天井面の気密性能と比例関係にあると仮定し外挿により求めた。

表 10 基準値及び下限値

屋根形状	換気方式	評価方法基準 (有効開口面積)		北海道基準 (相当開口面積)		αA_c 下限値
寄棟	軒裏換気	$\frac{1}{250}$		$\frac{1}{290}$		10.0
寄棟	軒裏換気	$\frac{1}{900}$	$\frac{1}{576}^{*1}$	$\frac{1}{1200}$	$\frac{1}{600}^{*1}$	4.34
	棟換気	$\frac{1}{1600}$		$\frac{1}{1200}$		
切妻	妻壁換気	$\frac{1}{300}$		$\frac{1}{290}^{*3}$		8.33
切妻	妻壁換気	$\frac{1}{900}$	$\frac{1}{450}^{*1}$	$\frac{1}{1200}$	$\frac{1}{600}^{*1}$	5.56
	軒裏換気	$\frac{1}{900}$		$\frac{1}{1200}$		
片流れ	軒裏換気	$\frac{1}{250}^{*3}$		$\frac{1}{290}^{*2}$		10.0

注*1) 各換気口の基準値の合計値である。

*2) 北海道基準には妻壁換気の基準がないため、軒換気の数とした。

*3) 一般社団法人住宅性能評価・表示協会 住宅性能表示制度 Q&A No.3-028 による。

評価方法基準（抄）

3-1 劣化対策等級（構造躯体等）

(3) 評価基準（新築住宅）

イ 木造

① 等級 3

g 小屋裏

小屋裏（屋根断熱工法を用いていることその他の措置が講じられていることにより、室内と同等の温熱環境にあると認められる小屋裏を除く。）を有する場合にあっては、次の(i)から(iv)までのいずれかの換気方式であること。

- (i) 小屋裏の壁のうち屋外に面するものに換気上有効な位置に 2 以上の換気口が設けられ、かつ、換気口の有効面積の天井面積に対する割合が 300 分の 1 以上であること。
- (ii) 軒裏に換気上有効な位置に 2 以上の換気口が設けられ、かつ、換気口の有効面積の天井面積に対する割合が 250 分の 1 以上であること。
- (iii) 軒裏に給気口が設けられ、小屋裏の壁で屋外に面するものに排気口が給気口と垂直距離で 90 cm 以上離して設けられ、かつ、給気口及び排気口の有効面積の天井面積に対する割合がそれぞれ 900 分の 1 以上であること。
- (iv) 軒裏に給気口が設けられ、小屋裏の頂部に排気塔その他の器具を用いて排気口が設けられ、かつ、給気口の有効面積の天井面積に対する割合が 900 分の 1 以上であり、排気口の有効面積の天井面積に対する割合が 1600 分の 1 以上であること。

図 9 評価方法基準（小屋裏の基準抜粋）

19.4 天井・屋根の断熱・気密性能及び小屋裏換気

19.4.1 断熱性能

天井又は屋根の断熱性能及び断熱工事は、木造住宅工事仕様書（全国版）の IV.2（省エネルギー住宅工事（一般型）の仕様）の項の性能、またはそれと同等以上の性能を有するものとする。

19.4.2 気密性能

住宅の気密性能及び気密工事は、木造住宅工事仕様書（全国版）の IV.2（省エネルギー住宅工事（一般型）の仕様）の項の性能、またはそれと同等以上の性能を有するものとする。

19.4.3 小屋裏換気孔面積

小屋裏換気孔の面積は、断熱方法・屋根形状に応じて、天井もしくは屋根の断熱面積に対し、下表に示す割合以上の有効開口面積を確保する。

屋根形状・小屋裏換気方式ごとの換気孔面積比

		天井見付面積に対する 小屋裏換気孔の面積比		
		勾配屋根 (落雪屋根及び雪止め金具 などを用いる勾配屋根)		M型屋根 (フラット屋根)
		天井断熱方式	屋根断熱方式	
軒天換気方式		1/290 以上	1/240 以上	1/360 以上
むね換気併用 軒天換気方式	むね換気孔	1/1200 以上		
	軒天換気孔	1/1200 以上	1/720 以上	

※ここに掲げる数値は、屋根雪により発生する障害の防止を目的として定めたものであり、木造住宅工事仕様書（全国版）の 8.9.1（小屋裏換気）の項の有効換気面積より大きくなる。

図 10 平成 17 年 木造住宅工事共通仕様書（北海道版） 抜粋

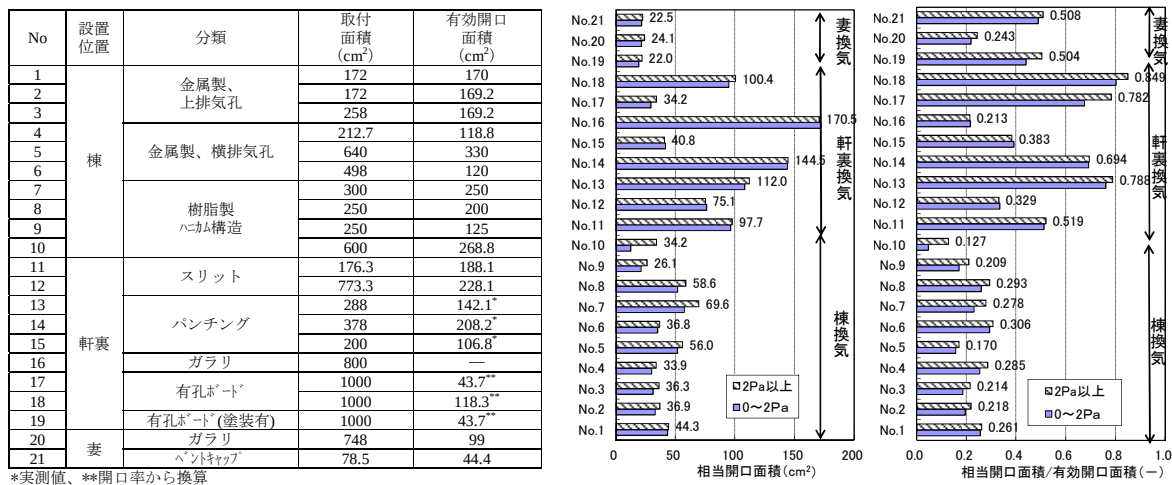


図 11 換気口形状に応じた流量係数 α *1

*1) 盛田裕紀他, 住宅用勾配屋根の耐久性向上に関する研究(その 4)小屋裏換気口の有効開口面積と相当開口面積の関係, 日本建築学会大会梗概集, 2011

表 11 流量係数 α の設定値

屋根形状	換気	流量係数
寄棟	軒換気	0.4
寄棟	軒換気	0.4
	棟換気	0.2
切妻	妻換気	0.4
切妻	妻換気	0.4
	軒換気	0.4

7.3.3 試算結果

(1) 野地板相対湿度と外気流入量の関係

天井面の気密性能、室内相対湿度に応じた野地板相対湿度と外気流入量の関係を図 12～図 17 に、野地板相対湿度と外気流入量の近似式を表 12 に、外気流入量の算定結果を表 13 に示す。表 13 の結果を、後述する相当開口面積算出に用いる。

(2) 相当開口面積による試算

相当開口面積の試算結果を表 14 及び図 18～図 21 に示す。各図は冬期の室内湿度、野地板相対湿度の閾値が異なっている。全体の傾向として、閾値の野地板相対湿度が低い場合は大きい開口が必要で、室内湿度が低い場合や外壁通気層が小屋裏へ繋がる場合は小さい開口で足りている。しかし、天井面の気密性はこれらの影響に比べ顕著となっており、TypeA では計算上 $200\text{cm}^2/\text{m}^2$ を越える値が示されている。

表 15～表 20 は必要となる相当開口面積を天井面積で除した値であり、表中の値を用いて以下の式で小屋裏換気口面積を求めることができる。網掛け部分は下限値である。

$$\text{小屋裏換気口の相当開口面積 (m}^2\text{)} = \text{天井面積 (m}^2\text{)} \div \text{表の値}$$

(3) 有効開口面積による試算

現行の小屋裏換気口面積の基準値は有効開口面積による表記となっており、換気量に比例する相当開口面積とは異なる。一般に有効開口面積は開口部の見付け面積と同等であり、圧力損失は考慮されていないため、相当開口面積に比べ大きい値となる。そこで、換気口の流量係数 α として表 11 の値を設定し、有効開口面積として試算を試みた（表 21～表 26）。

(4) 現行基準との比較

表 11 で求めた相当開口面積から有効開口面積へ換算する流量係数を用い、図 9、10 に示した現行基準との比較を行った。比較結果を表 27～表 29 に示す。現行基準に対する比較は倍率で表現しており、1 を越えると現行基準より大きい開口が必要であることを意味する。なお、要求性能算出にあたっては、室内相対湿度 60%、50%に加え、閾値である野地板相対湿度 90%、98%についてそれぞれ算出した。品確法の評価方法基準との比較結果を表 27、表 28 に、住宅金融支援機構の北海道版との比較結果を表 29 に示す。なお、下限値は一昨年度行ったシミュレーション計算の設定条件である基準値の 25%とした。

気密性能の低い TypeA については換気口面積の大幅な増加が必要と思われるが、長期優良住宅に限れば省エネ性能の確保のため、一定水準の気密性能を持つと仮定し、TypeB、TypeC について考察する。

一般に、温暖地に区分される表中の盛岡以外の地域における省エネ等級 4 相当の住宅では、TypeB ($5\text{cm}^2/\text{m}^2$) 程度の気密性能が確保されている。この場合、相対湿度の閾値を 98%とすれば妻換気の一部を除き、現行基準の仕様で結露による劣化のリスクは低く、特に小屋裏に流入する外壁通気層を伴うものでは小屋裏換気口面積の緩和も期待できる。妻換気方式については換気量が少ないため、これまでも述べたように地域によっては現行仕様の倍程度の換気口が必要と読み取れる。寒冷地である盛岡については、TypeC の気密性レベルがあれば現行仕様でも問題ない結果となっている。全体として、結果は閾値と室内湿度の設定条件で大きく異なり、室内湿度 50%、閾値 98%では宇都宮や福岡などの温暖地ならば、現行基準の半分以下が要求性能となっている。室内湿度は生活行為に伴う水分発生と暖房設備や全般換気の運転状況で大きく異なるため、基準値の変更に関してはこれらを勘案して定める必要があろう。

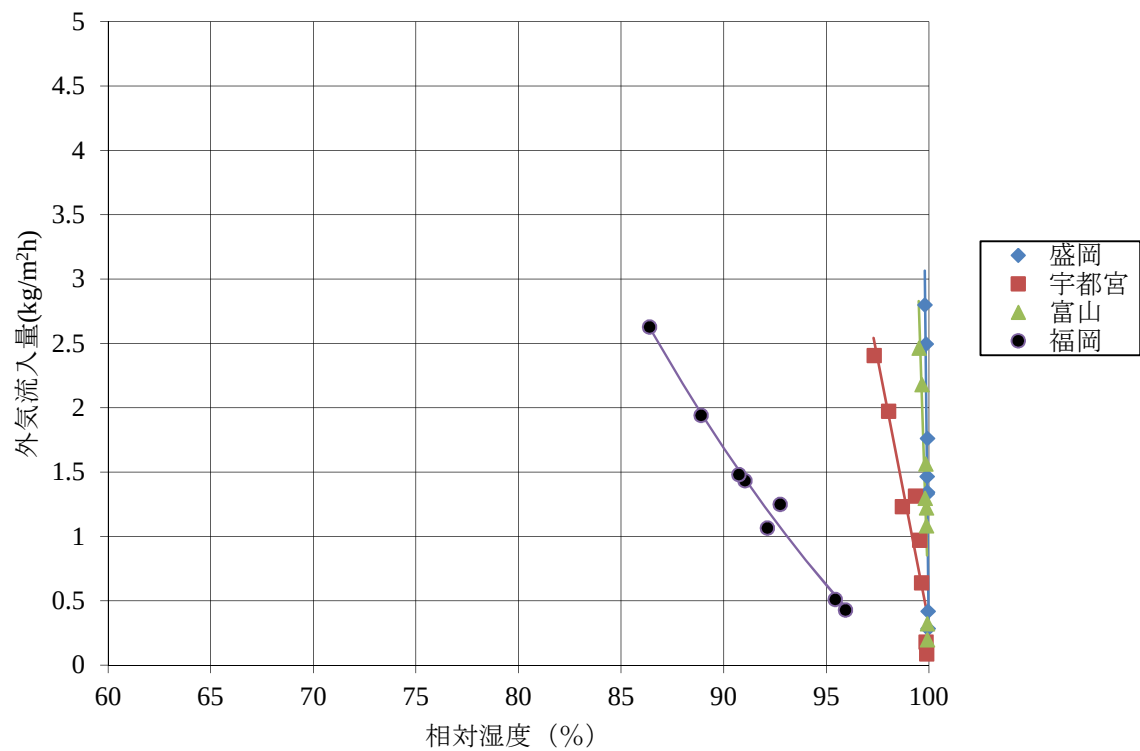


図 12 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 60%，気密区分 Type A）

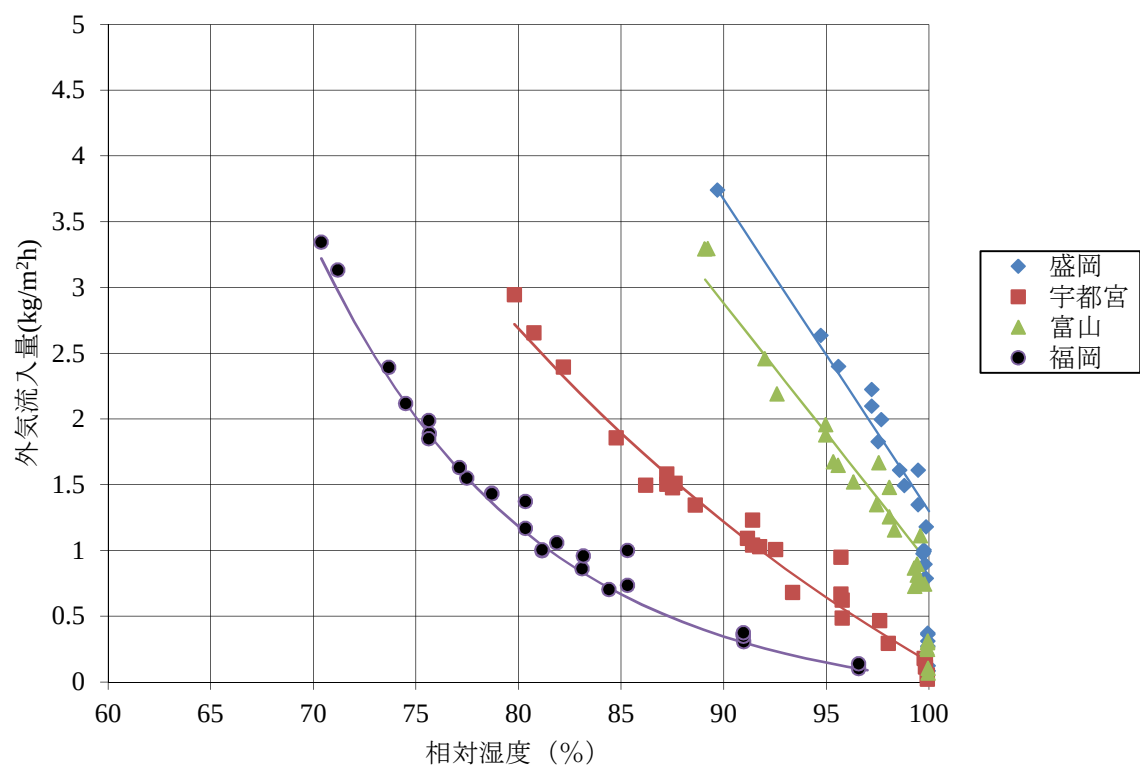


図 13 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 60%，気密区分 Type B）

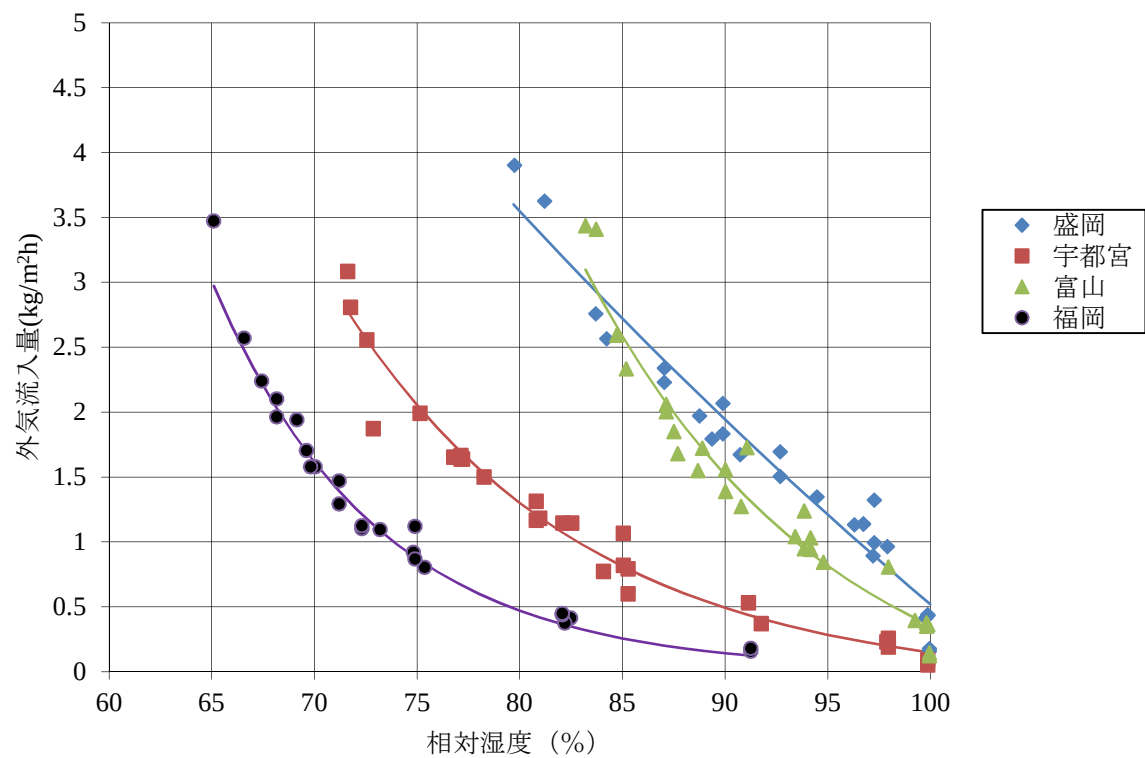


図 14 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 60%，気密区分 Type C）

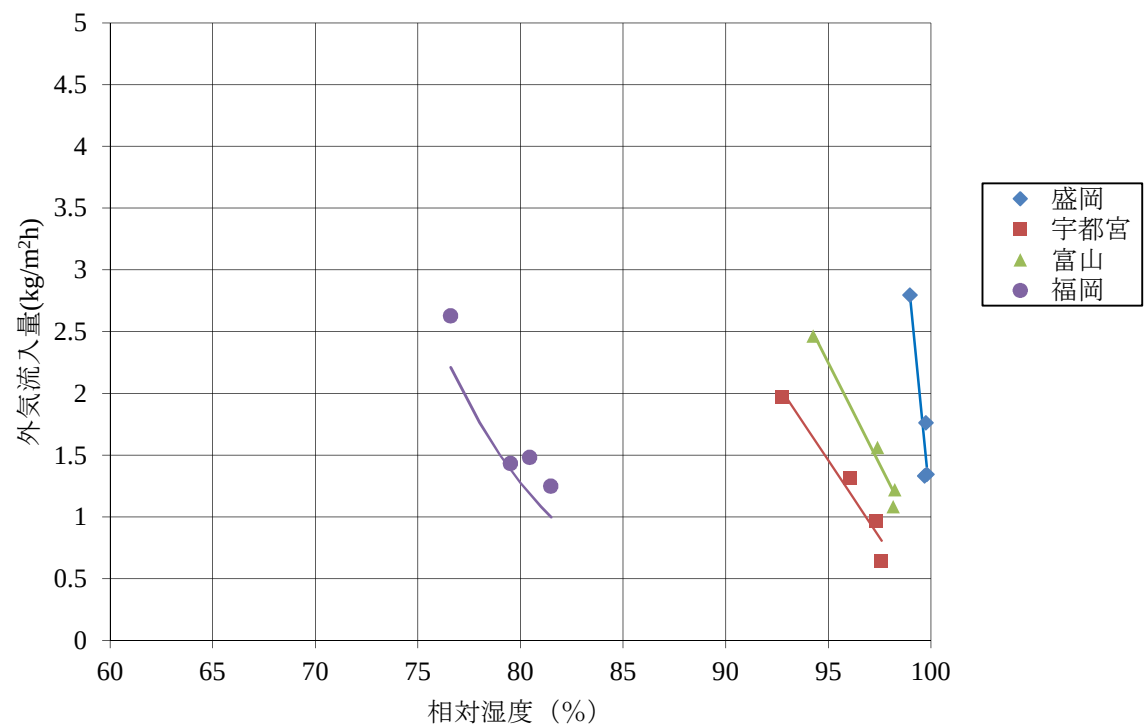


図 15 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 50%，気密区分 Type A）

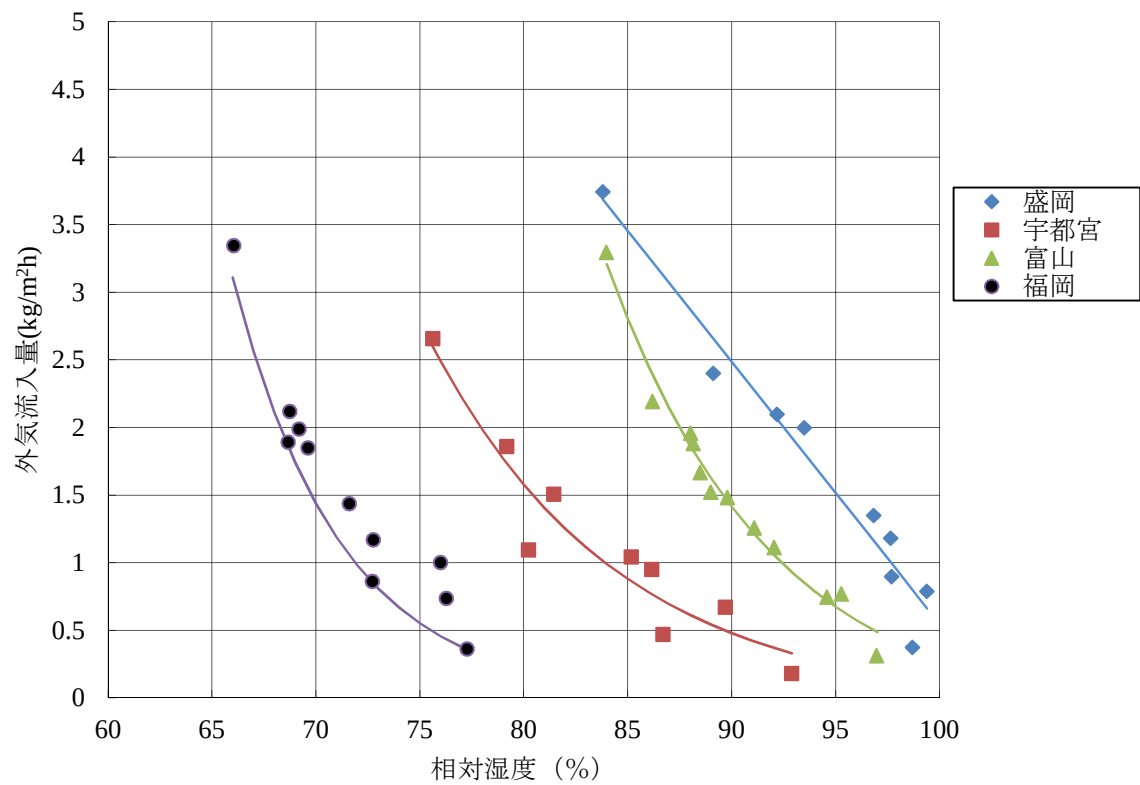


図 16 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 50%，気密区分 Type B）

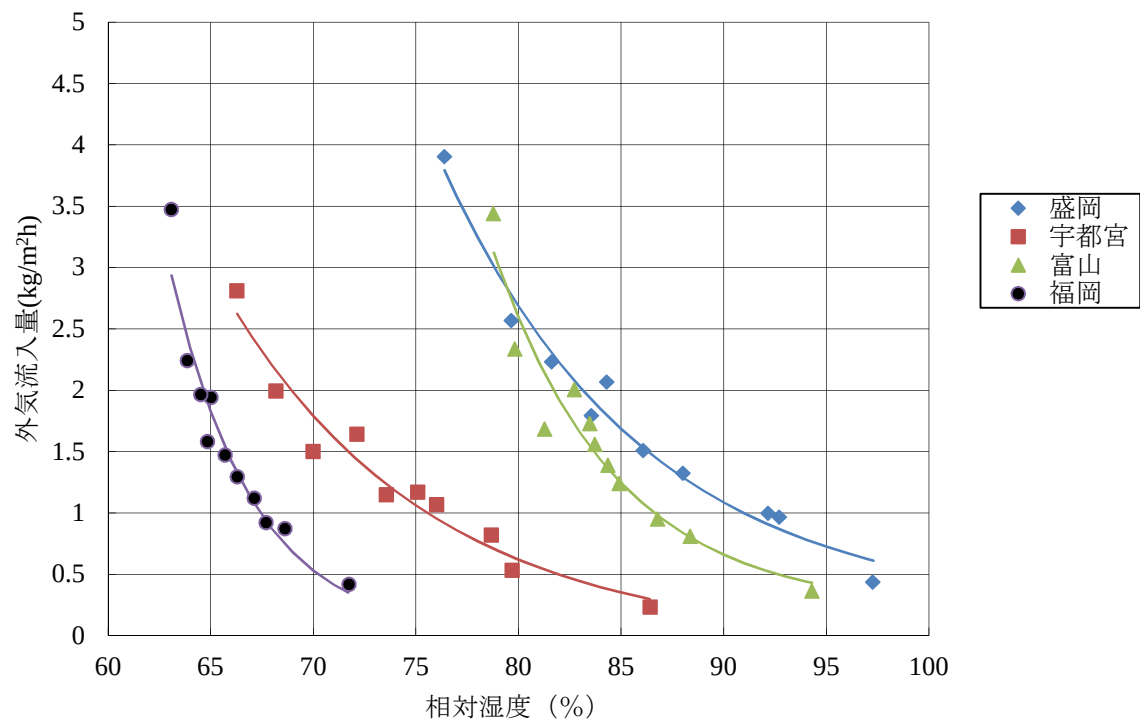


図 17 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 50%，気密区分 Type C）

表 12 野地板相対湿度と外気流入量の近似式

室内 相対湿度	天井面の気 密性能	計算地点	近似式*1				
			式の種類*2	変数			
				a	b	c	d
50%	Type A	盛岡	式[6]	169	-1.68	—	—
		宇都宮	式[6]	25.2	-0.25	—	—
		富山	式[6]	33.4	-0.33	—	—
		福岡	式[5]	-0.06	2.65	6.4	75.6
	Type B	盛岡	式[6]	-0.19	19.9	—	—
		宇都宮	式[5]	-0.06	2.67	9.05	75.6
		富山	式[5]	-0.17	3.37	7.91	84.0
		福岡	式[5]	0.01	3.04	5.16	66.1
	Type C	盛岡	式[5]	0.18	3.61	9.82	76.4
		宇都宮	式[5]	-0.06	2.68	9.96	66.3
		富山	式[5]	0.21	2.91	6.00	78.8
		福岡	式[5]	0.01	3.00	4.00	63.0
60%	Type A	盛岡	式[6]	1.49	-14.9	—	—
		宇都宮	式[6]	82	-0.82	—	—
		富山	式[6]	494	-4.93	—	—
		福岡	式[5]	-3.51	6.13	21.8	86.4
	Type B	盛岡	式[6]	25	-0.237	—	—
		宇都宮	式[6]	-2.68	5.23	31.3	80.8
		富山	式[5]	20.7	-0.20	—	—
		福岡	式[5]	-0.18	3.4	10.5	70.4
	Type C	盛岡	式[5]	-10.6	14.2	83.0	79.7
		宇都宮	式[5]	-0.11	2.84	11.7	71.8
		富山	式[5]	-0.51	3.61	11.8	83.2
		福岡	式[5]	-3.51	6.13	21.8	86.4

*1) 近似式の X は相対湿度（％）， Y は外気流入量（kg/m²h）である。

*2) 値の分布状況に応じて，指数曲線近似又は直線近似により回帰した。

$$\text{指数近似式} \quad y = a + b \cdot e^{-\frac{x-d}{c}} \quad \dots \text{式[5]}$$

$$\text{直線近似式} \quad y = ax + b \quad \dots \text{式[6]}$$

表 13 外気流入量の算定結果

室内 相対湿度	天井面の気 密性能	計算地点	外気流入量*1 (kg/m ² h)	
			野地板平均相対湿度 90%	野地板平均相対湿度 98%
50%	Type A	盛岡	17.89	4.433
		宇都宮	2.708	0.707
		富山	3.884	1.260
		福岡	0.222	0.023
	Type B	盛岡	2.484	0.933
		宇都宮	0.479	0.160
		富山	1.413	0.409
		福岡	0.040	0.016
	Type C	盛岡	1.086	0.582
		宇都宮	0.191	0.054
		富山	0.660	0.329
		福岡	0.014	0.010
60%	Type A	盛岡	148.7	29.81
		宇都宮	8.538	1.967
		富山	49.70	10.23
		福岡	1.687	0.091
	Type B	盛岡	3.670	1.774
		宇都宮	1.218	0.339
		富山	2.88	1.296
		福岡	0.346	0.065
	Type C	盛岡	1.943	0.790
		宇都宮	0.492	0.196
		富山	1.516	0.517
		福岡	0.142	0.058

*1) 表 12 の近似式に野地板の平均相対湿度を代入して求めた外気流入量の値。なお、外挿して求めた値（参考値）は網掛けとした。

表 14 単位天井面積あたりの相当開口面積 αA_c の計算結果（室内側相対湿度 60%）*1

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡	
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%
気密 Type A	通気層なし	軒換気	<u>6187</u>	<u>1258</u>	<u>376</u>	104	<u>2083</u>	<u>446</u>	92.4	<u>26.2</u>
		軒→棟換気	<u>2290</u>	<u>471</u>	<u>145</u>	44.6	<u>775</u>	<u>171</u>	40.3	<u>15.8</u>
		妻換気	<u>14310</u>	<u>2908</u>	<u>867</u>	237	<u>4815</u>	<u>1029</u>	210	<u>56.7</u>
		妻→軒換気	<u>7953</u>	<u>1606</u>	<u>471</u>	120	<u>2668</u>	<u>561</u>	105	<u>19.6</u>
	通気層あり	軒換気	<u>7104</u>	<u>1431</u>	<u>415</u>	102	<u>2380</u>	<u>496</u>	88.4	<u>12.2</u>
		軒→棟換気	<u>1761</u>	<u>360</u>	<u>109</u>	31.5	<u>594</u>	<u>129</u>	28.2	<u>9.38</u>
		妻換気	<u>17630</u>	<u>3535</u>	<u>1013</u>	234	<u>5893</u>	<u>1213</u>	200	<u>11.1</u>
		妻→軒換気	<u>9918</u>	<u>2029</u>	<u>617</u>	181	<u>3349</u>	<u>729</u>	162	<u>56.2</u>
		片流れ	<u>3262</u>	<u>673</u>	<u>210</u>	67.1	<u>1106</u>	<u>247</u>	61.0	<u>26.2</u>
気密 Type B	通気層なし	軒換気	110	55.7	39.6	14.2	87.6	41.8	14.4	<u>10.0</u>
		軒→棟換気	47.0	23.8	16.9	6.19	37.3	17.9	6.27	<u>4.34</u>
		妻換気	167	85.3	61.5	23.7	133	64.8	24.0	<u>12.0</u>
		妻+軒	105	53.3	38.2	14.3	83.3	40.3	14.5	<u>6.86</u>
	通気層あり	軒換気	89.0	27.6	10.0	10.0	63.4	12.2	10.0	<u>10.0</u>
		軒→棟換気	45.5	18.7	10.9	4.34	34.4	12.0	4.34	<u>4.34</u>
		妻換気	155	52.5	22.4	8.33	112	26.6	8.33	<u>8.33</u>
		妻→軒換気	109	45.2	26.6	5.56	82.2	29.2	5.56	<u>5.56</u>
		片流れ	61.4	26.7	16.6	10.0	46.9	18.0	10.0	<u>10.0</u>
気密 Type C	通気層なし	軒換気	58.8	25.6	17.0	10.0	46.5	17.7	10.0	<u>10.0</u>
		軒→棟換気	24.6	10.4	6.7	4.34	19.3	7.03	4.34	<u>4.34</u>
		妻換気	83.2	37.9	26.2	14.5	66.4	27.1	12.4	<u>9.08</u>
		妻→軒換気	50.8	23.2	16.0	8.88	40.6	16.6	7.59	<u>5.59</u>
	通気層あり	軒換気	26.7	10.0	10.0	10.0	13.6	10.0	10.0	<u>10.0</u>
		軒→棟換気	19.2	4.34	4.34	4.34	13.0	4.34	4.34	<u>4.34</u>
		妻換気	49.3	8.33	8.33	8.33	28.7	8.33	8.33	<u>8.33</u>
		妻→軒換気	40.2	5.83	5.56	5.56	27.4	5.56	5.56	<u>5.56</u>
		片流れ	25.5	10.0	10.0	10.0	17.8	10.0	10.0	<u>10.0</u>

注*1) 表－11 に示す下限値とした値は赤いセルとし、表－14 にて外気流入量を参考値とした値には下線を示した。

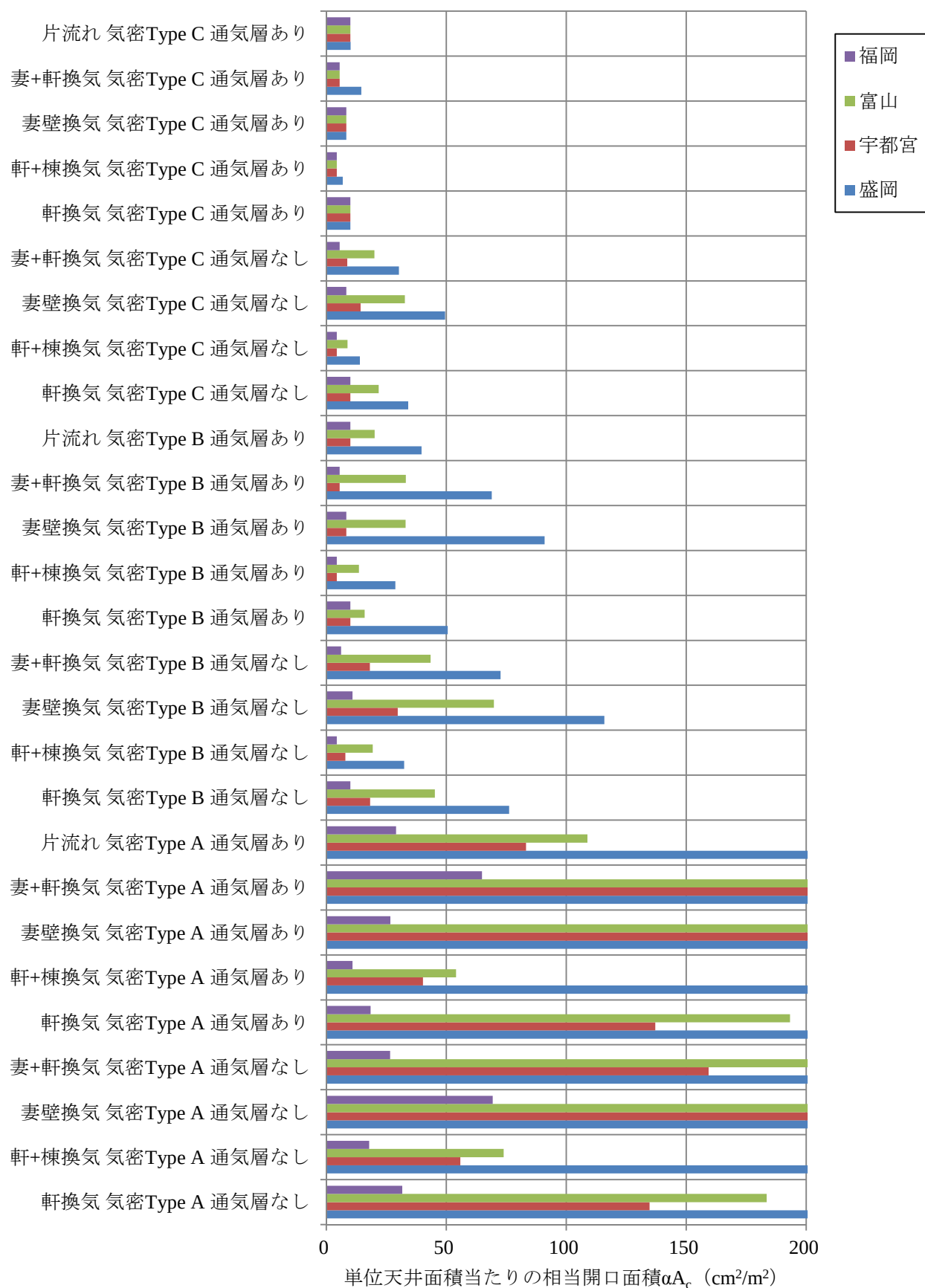


図 18 単位天井面積あたりの相当開口面積計算結果（室内相対湿度 50%、野地板含水率 90%）

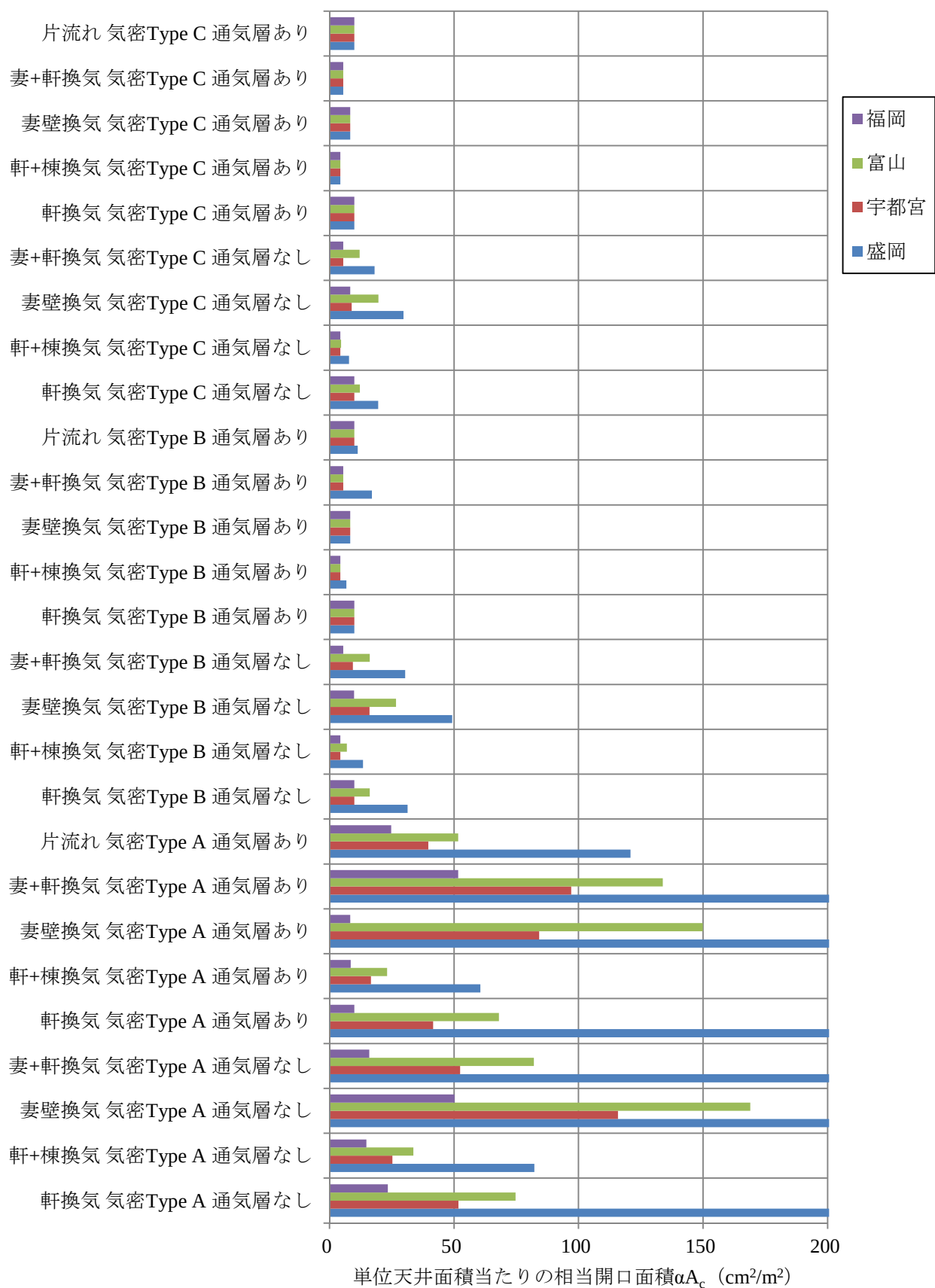


図 19 単位天井面積あたりの相当開口面積計算結果（室内相対湿度 50%、野地板含水率 98%）

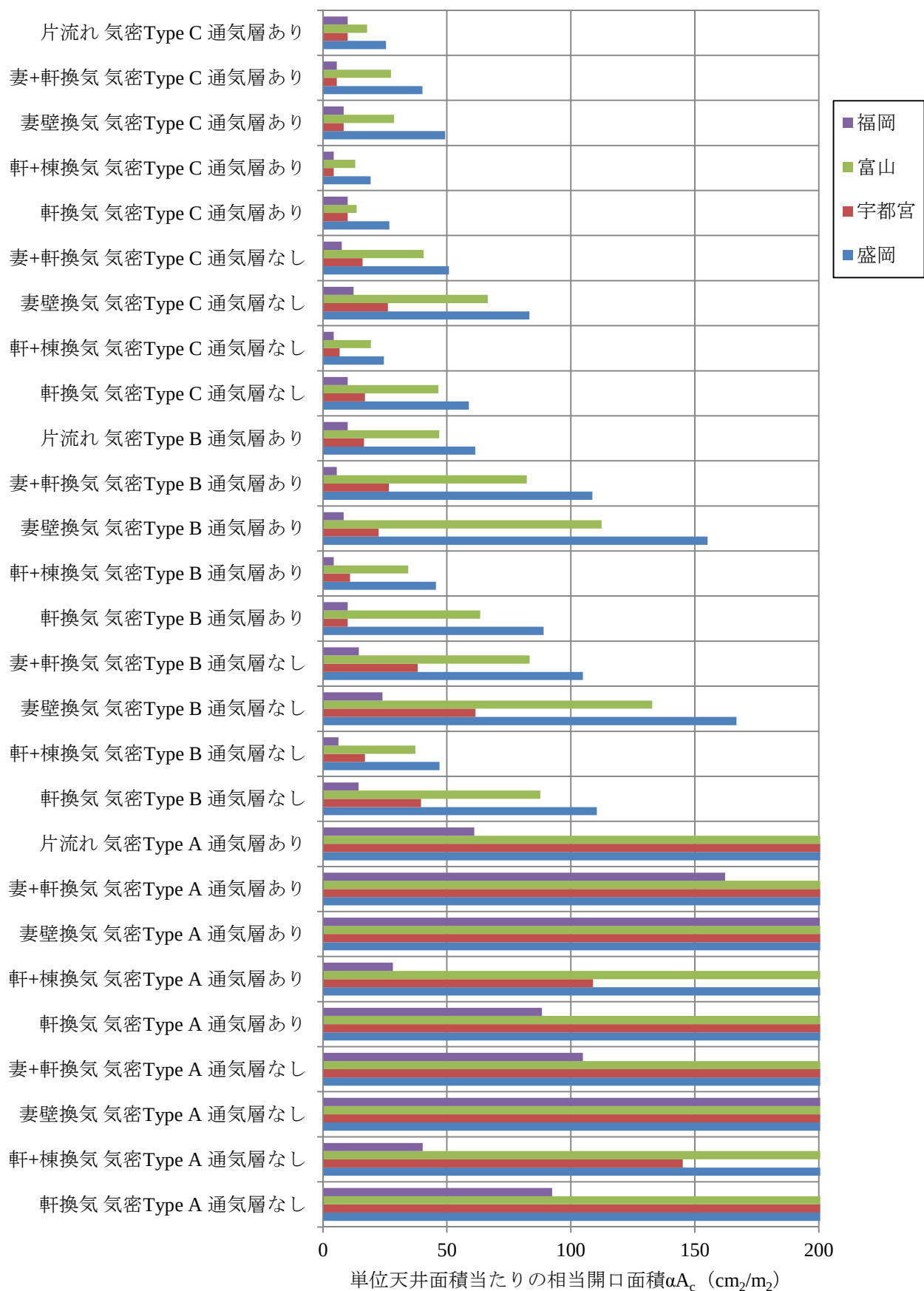


図 20 単位天井面積あたりの相当開口面積計算結果（室内相対湿度 60%、野地板含水率 90%）

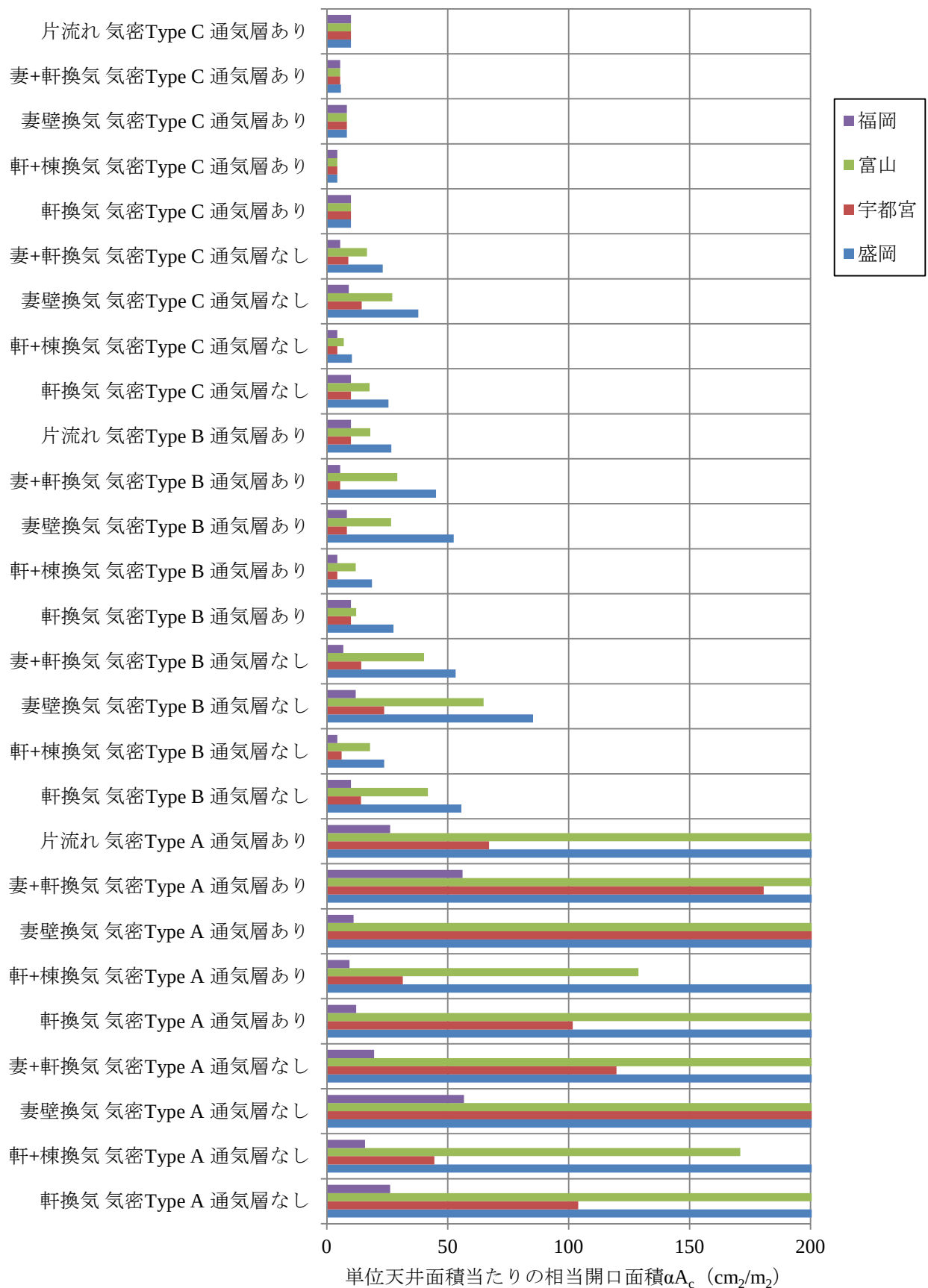


図 21 単位天井面積あたりの相当開口面積計算結果（室内相対湿度 60%、野地板含水率 98%）

表 15 係数 $f_{R,GA}$ 算定結果（室内側相対湿度 50% 気密 Type A）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡	
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%
気密 Type A	通気層 なし	軒換気	<u>13</u>	<u>48</u>	<u>74</u>	<u>193</u>	<u>54</u>	133	<u>315</u>	<u>427</u>
		軒棟	軒換気	<u>55</u>	<u>194</u>	<u>285</u>	<u>632</u>	<u>216</u>	474	<u>896</u>
			棟換気	<u>96</u>	<u>339</u>	<u>499</u>	<u>1106</u>	<u>378</u>	829	<u>1568</u>
		妻換気		<u>5</u>	<u>21</u>	<u>32</u>	<u>86</u>	<u>23</u>	59	<u>144</u>
		妻軒	妻換気	<u>20</u>	<u>78</u>	<u>124</u>	<u>380</u>	<u>90</u>	242	<u>750</u>
			軒換気	<u>20</u>	<u>78</u>	<u>124</u>	<u>380</u>	<u>90</u>	242	<u>750</u>
	通気層 あり	軒換気		<u>11</u>	<u>45</u>	<u>72</u>	<u>240</u>	<u>51</u>	147	<u>542</u>
		軒棟	軒換気	<u>72</u>	<u>264</u>	<u>397</u>	<u>960</u>	<u>295</u>	690	<u>1464</u>
			棟換気	<u>126</u>	<u>462</u>	<u>695</u>	<u>1680</u>	<u>516</u>	1207	<u>2562</u>
		妻換気		4	19	31	118	21	66	<u>375</u>
		妻軒	妻換気	<u>16</u>	<u>58</u>	<u>86</u>	<u>206</u>	<u>64</u>	148	<u>308</u>
			軒換気	<u>16</u>	<u>58</u>	<u>86</u>	<u>206</u>	<u>64</u>	148	<u>308</u>
		軒換気		<u>24</u>	<u>82</u>	<u>120</u>	<u>252</u>	<u>91</u>	193	<u>343</u>
		片流れ		<u>13</u>	<u>48</u>	<u>74</u>	<u>193</u>	<u>54</u>	133	<u>315</u>

注) 赤色の欄は下限値を示す。下線の値は表-14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 16 係数 $f_{R,GA}$ 算定結果（室内側相対湿度 50% 気密 Type B）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡	
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%
気密 Type B	通気層 なし	軒換気	131	318	547	<u>1000</u>	221	<u>616</u>	<u>1000</u>	<u>1000</u>
		軒棟	軒換気	493	1188	2023	<u>3687</u>	828	<u>2271</u>	<u>3687</u>
			棟換気	863	2078	3540	<u>6452</u>	1448	<u>3974</u>	<u>6452</u>
		妻換気		86	203	335	<u>622</u>	143	<u>373</u>	<u>919</u>
		妻軒	妻換気	274	656	1104	<u>2118</u>	458	<u>1234</u>	<u>3246</u>
			軒換気	274	656	1104	<u>2118</u>	458	<u>1234</u>	<u>3246</u>
	通気層 あり	軒換気		197	1000	1000	<u>1000</u>	626	<u>1000</u>	<u>1000</u>
		軒棟	軒換気	556	2335	3687	<u>3687</u>	1173	<u>3687</u>	<u>3687</u>
			棟換気	972	4086	6452	<u>6452</u>	2053	<u>6452</u>	<u>6452</u>
		妻換気		109	1200	1200	<u>1200</u>	303	<u>1200</u>	<u>1200</u>
		妻軒	妻換気	288	1172	3600	<u>3600</u>	602	<u>3600</u>	<u>3600</u>
			軒換気	288	1172	3600	<u>3600</u>	602	<u>3600</u>	<u>3600</u>
		軒換気		251	880	1000	<u>1000</u>	496	<u>1000</u>	<u>1000</u>
		片流れ		131	318	547	<u>1000</u>	221	<u>616</u>	<u>1000</u>

注) 赤色の欄は下限値を示す。下線の値は表-14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 17 係数 $f_{R, \alpha A}$ 算定結果（室内側相対湿度 50% 気密 Type C）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡	
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%
気密 Type C	通気層 なし	軒換気	293	<u>511</u>	<u>1000</u>	<u>1000</u>	458	<u>816</u>	<u>1000</u>	<u>1000</u>
		軒棟	軒換気	1141	<u>2044</u>	<u>3687</u>	<u>3687</u>	1821	<u>3397</u>	<u>3687</u>
			棟換気	1997	<u>3576</u>	<u>6452</u>	<u>6452</u>	3187	<u>5945</u>	<u>6452</u>
		妻換気		202	<u>336</u>	<u>700</u>	<u>1125</u>	305	<u>507</u>	<u>1200</u>
		妻軒	妻換気	660	<u>1100</u>	<u>2282</u>	<u>3600</u>	998	<u>1654</u>	<u>3600</u>
			軒換気	660	<u>1100</u>	<u>2282</u>	<u>3600</u>	998	<u>1654</u>	<u>3600</u>
	通気層 あり	軒換気		1000	<u>1000</u>	<u>1000</u>	<u>1000</u>	1000	<u>1000</u>	<u>1000</u>
		軒棟	軒換気	2349	<u>3687</u>	<u>3687</u>	<u>3687</u>	3687	<u>3687</u>	<u>3687</u>
			棟換気	4111	<u>6452</u>	<u>6452</u>	<u>6452</u>	6452	<u>6452</u>	<u>6452</u>
		妻換気		1200	<u>1200</u>	<u>1200</u>	<u>1200</u>	1200	<u>1200</u>	<u>1200</u>
		妻軒	妻換気	1366	<u>3600</u>	<u>3600</u>	<u>3600</u>	3600	<u>3600</u>	<u>3600</u>
			軒換気	1366	<u>3600</u>	<u>3600</u>	<u>3600</u>	3600	<u>3600</u>	<u>3600</u>
		片流れ		984	<u>1000</u>	<u>1000</u>	<u>1000</u>	1000	<u>1000</u>	<u>1000</u>

注）赤色の欄は下限値を示す。下線の値は表－14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 18 係数 $f_{R, \alpha A}$ 算定結果（室内側相対湿度 60% 気密 Type A）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡	
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%
気密 Type A	通気層 なし	軒換気	<u>1</u>	<u>7</u>	<u>26</u>	96	<u>4</u>	<u>22</u>	108	<u>381</u>
		軒棟	軒換気	<u>7</u>	<u>34</u>	<u>109</u>	359	<u>20</u>	<u>93</u>	397
			棟換気	<u>12</u>	<u>59</u>	<u>191</u>	628	<u>34</u>	<u>163</u>	695
		妻換気		<u>0</u>	<u>3</u>	<u>11</u>	42	<u>2</u>	<u>9</u>	47
		妻軒	妻換気	<u>2</u>	<u>12</u>	<u>42</u>	166	<u>6</u>	<u>34</u>	190
			軒換気	<u>2</u>	<u>12</u>	<u>42</u>	166	<u>6</u>	<u>34</u>	190
	通気層 あり	軒換気		<u>1</u>	<u>6</u>	<u>24</u>	98	<u>4</u>	<u>20</u>	113
		軒棟	軒換気	<u>8</u>	<u>44</u>	<u>146</u>	508	<u>26</u>	<u>124</u>	567
			棟換気	<u>14</u>	<u>76</u>	<u>255</u>	888	<u>45</u>	<u>216</u>	992
		妻換気		<u>0</u>	<u>2</u>	<u>9</u>	42	<u>1</u>	<u>8</u>	49
		妻軒	妻換気	<u>2</u>	<u>8</u>	<u>32</u>	110	<u>4</u>	<u>26</u>	122
			軒換気	<u>2</u>	<u>8</u>	<u>32</u>	110	<u>4</u>	<u>26</u>	122
		片流れ		<u>3</u>	<u>14</u>	<u>47</u>	149	<u>9</u>	<u>40</u>	163

注）下線の値は表－14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 19 係数 $f_{R,ca}$ 算定結果（室内側相対湿度 60% 気密 Type B）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡		
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%	
気密 Type B	通気層 なし	軒換気		90	179	252	704	114	238	694	<u>1000</u>
		軒棟	軒換気	340	672	943	2586	429	893	2551	<u>3687</u>
			棟換気	594	1176	1650	4525	751	1563	4464	<u>6452</u>
		妻換気		59	117	162	421	75	154	416	<u>834</u>
		妻軒	妻換気	190	374	522	1398	240	496	1380	<u>2914</u>
			軒換気	190	374	522	1398	240	496	1380	<u>2914</u>
	通気層 あり	軒換気		112	362	1000	1000	157	822	1000	<u>1000</u>
		軒棟	軒換気	351	853	1471	3687	464	1335	3687	<u>3687</u>
			棟換気	614	1493	2574	6452	812	2336	6452	<u>6452</u>
		妻換気		64	190	445	1200	89	375	1200	<u>1200</u>
		妻軒	妻換気	184	442	752	3600	242	684	3600	<u>3600</u>
			軒換気	184	442	752	3600	242	684	3600	<u>3600</u>
		片流れ		162	374	603	1000	213	555	1000	<u>1000</u>

注）赤色の欄は下限値を示す。下線の値は表－14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 20 係数 $f_{R,ca}$ 算定結果（室内側相対湿度 60% 気密 Type C）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡			
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%		
気密 Type C	通気層 なし	軒換気		170	391	589	1000	215	565	1000	<u>1000</u>	
		軒棟	軒換気		652	1540	2380	3687	828	2277	3687	<u>3687</u>
			棟換気		1140	2694	4164	6452	1448	3985	6452	<u>6452</u>
		妻換気		120	264	382	690	150	368	808	<u>1100</u>	
		妻軒	妻換気		392	862	1248	2250	492	1204	2634	<u>3576</u>
			軒換気		392	862	1248	2250	492	1204	2634	<u>3576</u>
	通気層 あり	軒換気		374	1000	1000	1000	737	1000	1000	<u>1000</u>	
		軒棟	軒換気		832	3687	3687	3687	1228	3687	3687	<u>3687</u>
			棟換気		1456	6452	6452	6452	2148	6452	6452	<u>6452</u>
		妻換気		203	1200	1200	1200	348	1200	1200	<u>1200</u>	
		妻軒	妻換気		498	3428	3600	3600	728	3600	3600	<u>3600</u>
			軒換気		498	3428	3600	3600	728	3600	3600	<u>3600</u>
		片流れ		392	1000	1000	1000	560	1000	1000	<u>1000</u>	

注）赤色の欄は下限値を示す。下線の値は表－14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 21 係数 $f_{R,A}$ 算定結果（室内側相対湿度 50% 気密 Type A）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡			
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%		
気密 Type A	通気層 なし	軒換気		<u>5</u>	<u>19</u>	<u>29</u>	<u>77</u>	<u>21</u>	53	<u>126</u>	<u>170</u>	
		軒棟	軒換気		<u>22</u>	<u>77</u>	<u>114</u>	<u>252</u>	<u>86</u>	189	<u>358</u>	<u>432</u>
			棟換気		<u>19</u>	<u>67</u>	<u>99</u>	<u>221</u>	<u>75</u>	165	<u>313</u>	<u>378</u>
		妻換気		<u>2</u>	<u>8</u>	<u>12</u>	<u>34</u>	<u>9</u>	23	<u>57</u>	<u>79</u>	
		妻軒	妻換気		<u>8</u>	<u>31</u>	<u>49</u>	<u>152</u>	<u>36</u>	96	<u>300</u>	<u>500</u>
			軒換気		<u>8</u>	<u>31</u>	<u>49</u>	<u>152</u>	<u>36</u>	96	<u>300</u>	<u>500</u>
	通気層 あり	軒換気		<u>4</u>	<u>18</u>	<u>28</u>	<u>96</u>	<u>20</u>	58	<u>216</u>	<u>400</u>	
		軒棟	軒換気		<u>28</u>	<u>105</u>	<u>158</u>	<u>384</u>	<u>118</u>	276	<u>585</u>	<u>746</u>
			棟換気		<u>25</u>	<u>92</u>	<u>139</u>	<u>336</u>	<u>103</u>	241	<u>512</u>	<u>653</u>
		妻換気		<u>1</u>	<u>7</u>	<u>12</u>	<u>47</u>	<u>8</u>	26	<u>150</u>	<u>480</u>	
		妻軒	妻換気		<u>6</u>	<u>23</u>	<u>34</u>	<u>82</u>	<u>25</u>	59	<u>123</u>	<u>154</u>
			軒換気		<u>6</u>	<u>23</u>	<u>34</u>	<u>82</u>	<u>25</u>	59	<u>123</u>	<u>154</u>
		片流れ		<u>9</u>	<u>32</u>	<u>48</u>	<u>100</u>	<u>36</u>	77	<u>137</u>	<u>161</u>	

注）赤色の欄は下限値を示す。下線の値は表－14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 22 係数 $f_{R,A}$ 算定結果（室内側相対湿度 50% 気密 Type B）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡		
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%	
気密 Type B	通気層 なし	軒換気		52	127	218	400	88	246	400	400
		軒棟	軒換気	197	475	809	1474	331	908	1474	1474
			棟換気	172	415	708	1290	289	794	1290	1290
		妻換気		34	81	134	248	57	149	367	404
		妻軒	妻換気	109	262	441	847	183	493	1298	1440
			軒換気	109	262	441	847	183	493	1298	1440
	通気層 あり	軒換気		78	400	400	400	250	400	400	400
		軒棟	軒換気	222	934	1474	1474	469	1474	1474	1474
			棟換気	194	817	1290	1290	410	1290	1290	1290
		妻換気		43	480	480	480	121	480	480	480
		妻軒	妻換気	115	468	1440	1440	240	1440	1440	1440
			軒換気	115	468	1440	1440	240	1440	1440	1440
	片流れ		100	352	400	400	198	400	400	400	

注）赤色の欄は下限値を示す。下線の値は表－14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 23 係数 $f_{R,A}$ 算定結果（室内側相対湿度 50% 気密 Type C）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡	
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%
気密 Type C	通気層 なし	軒換気	117	<u>204</u>	<u>400</u>	<u>400</u>	183	<u>326</u>	<u>400</u>	<u>400</u>
		軒棟	軒換気	456	<u>817</u>	<u>1474</u>	<u>1474</u>	728	<u>1358</u>	<u>1474</u>
			棟換気	399	<u>715</u>	<u>1290</u>	<u>1290</u>	637	<u>1189</u>	<u>1290</u>
		妻換気		80	<u>134</u>	<u>280</u>	<u>450</u>	122	<u>202</u>	<u>480</u>
		妻軒	妻換気	264	<u>440</u>	<u>912</u>	<u>1440</u>	399	<u>661</u>	<u>1440</u>
			軒換気	264	<u>440</u>	<u>912</u>	<u>1440</u>	399	<u>661</u>	<u>1440</u>
	通気層 あり	軒換気		400	<u>400</u>	<u>400</u>	<u>400</u>	400	<u>400</u>	<u>400</u>
		軒棟	軒換気	939	<u>1474</u>	<u>1474</u>	<u>1474</u>	1474	<u>1474</u>	<u>1474</u>
			棟換気	822	<u>1290</u>	<u>1290</u>	<u>1290</u>	1290	<u>1290</u>	<u>1290</u>
		妻換気		480	<u>480</u>	<u>480</u>	<u>480</u>	480	<u>480</u>	<u>480</u>
		妻軒	妻換気	546	<u>1440</u>	<u>1440</u>	<u>1440</u>	1440	<u>1440</u>	<u>1440</u>
			軒換気	546	<u>1440</u>	<u>1440</u>	<u>1440</u>	1440	<u>1440</u>	<u>1440</u>
		片流れ		393	<u>400</u>	<u>400</u>	<u>400</u>	400	<u>400</u>	<u>400</u>

注）赤色の欄は下限値を示す。下線の値は表－14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 24 係数 $f_{R,A}$ 算定結果（室内側相対湿度 60% 気密 Type A）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡	
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%
気密 Type A	通気層 なし	軒換気	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>10</u>	38	<u>1</u>	<u>8</u>	43	<u>152</u>
		軒棟	軒換気	<u>2</u>	<u>13</u>	<u>43</u>	143	<u>8</u>	<u>37</u>	158
			棟換気	<u>2</u>	<u>11</u>	<u>38</u>	125	<u>6</u>	<u>32</u>	139
		妻換気		<u>0</u>	<u>1</u>	<u>4</u>	16	<u>0</u>	<u>3</u>	18
		妻軒	妻換気	<u>0</u>	<u>4</u>	<u>16</u>	66	<u>2</u>	<u>13</u>	76
			軒換気	<u>0</u>	<u>4</u>	<u>16</u>	66	<u>2</u>	<u>13</u>	76
	通気層 あり	軒換気		<u>0</u>	<u>2</u>	<u>9</u>	39	<u>1</u>	<u>8</u>	45
		軒棟	軒換気	<u>3</u>	<u>17</u>	<u>58</u>	203	<u>10</u>	<u>49</u>	226
			棟換気	<u>2</u>	<u>15</u>	<u>51</u>	177	<u>9</u>	<u>43</u>	198
		妻換気		<u>0</u>	<u>0</u>	<u>3</u>	16	<u>0</u>	<u>3</u>	19
		妻軒	妻換気	<u>0</u>	<u>3</u>	<u>12</u>	44	<u>1</u>	<u>10</u>	48
			軒換気	<u>0</u>	<u>3</u>	<u>12</u>	44	<u>1</u>	<u>10</u>	48
		片流れ		<u>1</u>	<u>5</u>	<u>18</u>	59	<u>3</u>	<u>16</u>	65

注）下線の値は表－14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 25 係数 $f_{R,A}$ 算定結果（室内側相対湿度 60% 気密 Type B）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡		
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%	
気密 Type B	通気層なし	軒換気		36	71	100	281	45	95	277	<u>400</u>
		軒棟	軒換気	136	268	377	1034	171	357	1020	<u>1474</u>
			棟換気	118	235	330	905	150	312	892	<u>1290</u>
		妻換気		23	46	64	168	30	61	166	<u>333</u>
		妻軒	妻換気	76	149	208	559	96	198	552	<u>1165</u>
			軒換気	76	149	208	559	96	198	552	<u>1165</u>
	通気層あり	軒換気		44	144	400	400	62	328	400	<u>400</u>
		軒棟	軒換気	140	341	588	1474	185	534	1474	<u>1474</u>
			棟換気	122	298	514	1290	162	467	1290	<u>1290</u>
		妻換気		25	76	178	480	35	150	480	<u>480</u>
		妻軒	妻換気	73	176	300	1440	96	273	1440	<u>1440</u>
			軒換気	73	176	300	1440	96	273	1440	<u>1440</u>
	片流れ		64	149	241	400	85	222	400	<u>400</u>	

注）赤色の欄は下限値を示す。下線の値は表－14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 26 係数 $f_{R,A}$ 算定結果（室内側相対湿度 60% 気密 Type C）

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡		
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%	
気密 Type C	通気層なし	軒換気		68	156	235	400	86	226	400	400
		軒棟	軒換気	260	616	952	1474	331	910	1474	1474
			棟換気	228	538	832	1290	289	797	1290	1290
		妻換気		48	105	152	276	60	147	323	440
		妻軒	妻換気	156	344	499	900	196	481	1053	1430
			軒換気	156	344	499	900	196	481	1053	1430
	通気層あり	軒換気		149	400	400	400	294	400	400	400
		軒棟	軒換気	332	1474	1474	1474	491	1474	1474	1474
			棟換気	291	1290	1290	1290	429	1290	1290	1290
		妻換気		81	480	480	480	139	480	480	480
		妻軒	妻換気	199	1371	1440	1440	291	1440	1440	1440
			軒換気	199	1371	1440	1440	291	1440	1440	1440
	片流れ		156	400	400	400	224	400	400	400	

注）赤色の欄は下限値を示す。下線の値は表－14 にて外気流入量を参考値とした値である。

表 27 評価方法基準と係数 $f_{R,A}$ との比較（室内側相対湿度 50%）*1

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡	
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%
気密 Type A	通気層 なし	軒換気	50.0	13.2	8.6	3.2	11.9	4.7	2.0	1.5
		軒→棟換気	25.0	16.0	4.7	2.1	6.3	2.8	1.5	1.2
		妻換気	125.0	37.5	20.8	7.4	27.8	10.9	4.4	3.2
		妻→軒換気	62.5	30.0	10.4	3.3	13.9	5.2	1.7	1.0
	通気層 あり	軒換気	62.5	13.9	8.9	2.6	12.5	4.3	1.2	0.6
		軒→棟換気	19.2	11.8	3.4	1.4	4.5	1.9	0.9	0.7
		妻換気	250.0	42.9	20.8	5.3	31.3	9.6	1.7	0.5
		妻→軒換気	83.3	40.9	14.7	6.1	20.8	8.6	4.1	3.2
		片流れ	27.8	7.8	5.2	2.5	6.9	3.2	1.8	1.6
気密 Type B	通気層 なし	軒換気	4.8	2.0	1.1	0.6	2.8	1.0	0.6	0.6
		軒→棟換気	2.7	2.6	0.7	0.4	1.6	0.6	0.4	0.4
		妻換気	7.4	3.7	1.9	1.0	4.4	1.7	0.7	0.6
		妻+軒	4.6	3.4	1.1	0.6	2.7	1.0	0.4	0.3
	通気層 あり	軒換気	3.2	0.6	0.6	0.6	1.0	0.6	0.6	0.6
		軒→棟換気	2.4	1.3	0.4	0.4	1.1	0.4	0.4	0.4
		妻換気	5.8	0.6	0.5	0.5	2.1	0.5	0.5	0.5
		妻→軒換気	4.4	1.9	0.3	0.3	2.1	0.3	0.3	0.3
		片流れ	2.5	0.7	0.6	0.6	1.3	0.6	0.6	0.6
気密 Type C	通気層 なし	軒換気	2.1	1.2	0.6	0.6	1.4	0.8	0.6	0.6
		軒→棟換気	1.2	1.5	0.4	0.4	0.7	0.4	0.4	0.4
		妻換気	3.1	2.2	0.9	0.6	2.0	1.2	0.5	0.5
		妻→軒換気	1.9	2.0	0.5	0.3	1.3	0.8	0.3	0.3
	通気層 あり	軒換気	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
		軒→棟換気	0.6	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
		妻換気	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
		妻→軒換気	0.9	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
		片流れ	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

注*1) 緑色の欄は、現行基準より厳しくなる場合を示す。

表 28 評価方法基準と係数 $f_{R,A}$ との比較（室内側相対湿度 60%）*1

計算地点			盛岡		宇都宮		富山		福岡	
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%	90%	98%	90%	98%
気密 Type A	通気層 なし	軒換気	-	125.0	25.0	6.6	250.0	31.3	5.8	1.6
		軒→棟換気	250.0	96.0	12.5	3.7	83.3	14.7	3.4	1.3
		妻換気	-	300.0	62.5	15.6	-	83.3	13.9	3.6
		妻→軒換気	-	225.0	31.3	7.6	250.0	41.7	6.6	1.2
	通気層 あり	軒換気	-	125.0	27.8	6.4	250.0	31.3	5.6	0.8
		軒→棟換気	250.0	72.0	9.3	2.6	62.5	10.9	2.4	0.8
		妻換気	-	-	83.3	15.6	-	83.3	13.2	0.7
		妻→軒換気	-	450.0	41.7	11.4	-	50.0	10.4	3.5
		片流れ	250.0	50.0	13.9	4.2	83.3	15.6	3.8	1.6
気密 Type B	通気層 なし	軒換気	6.9	3.5	2.5	0.9	5.6	2.6	0.9	0.6
		軒→棟換気	4.0	4.6	1.4	0.5	3.1	1.5	0.5	0.4
		妻換気	10.9	6.5	3.9	1.5	8.3	4.1	1.5	0.8
		妻+軒	6.6	6.1	2.4	0.9	5.2	2.5	0.9	0.4
	通気層 あり	軒換気	5.7	1.7	0.6	0.6	4.0	0.8	0.6	0.6
		軒→棟換気	3.8	3.6	0.9	0.4	2.9	1.0	0.4	0.4
		妻換気	10.0	3.9	1.4	0.5	7.1	1.7	0.5	0.5
		妻→軒換気	6.9	5.1	1.7	0.3	5.2	1.8	0.3	0.3
		片流れ	3.9	1.7	1.0	0.6	2.9	1.1	0.6	0.6
気密 Type C	通気層 なし	軒換気	3.7	1.6	1.1	0.6	2.9	1.1	0.6	0.6
		軒→棟換気	2.0	2.0	0.6	0.4	1.6	0.6	0.4	0.4
		妻換気	5.2	2.9	1.6	0.9	4.2	1.7	0.8	0.6
		妻→軒換気	3.2	2.6	1.0	0.6	2.6	1.0	0.5	0.3
	通気層 あり	軒換気	1.7	0.6	0.6	0.6	0.9	0.6	0.6	0.6
		軒→棟換気	1.6	0.8	0.4	0.4	1.1	0.4	0.4	0.4
		妻換気	3.1	0.6	0.5	0.5	1.8	0.5	0.5	0.5
		妻→軒換気	2.5	0.7	0.3	0.3	1.7	0.3	0.3	0.3
		片流れ	1.6	0.6	0.6	0.6	1.1	0.6	0.6	0.6

注*1) 緑色の欄は、現行基準より厳しくなる場合を示す。

表 29 北海道基準と係数 $f_{R,GA}$ (盛岡) との比較*1

室内相対湿度			50%		60%	
野地板平均相対湿度			90%	98%	90%	98%
気密 Type A	通気層 なし	軒換気	22.3	6.0	290.0	41.4
		軒→棟換気	17.6	5.0	150.0	28.6
		妻換気	58.0	13.8	-	96.7
		妻→軒換気	60.0	15.4	600.0	100.0
	通気層 あり	軒換気	26.4	6.4	290.0	48.3
		軒→棟換気	13.3	3.6	120.0	22.2
		妻換気	72.5	15.3	-	145.0
		妻→軒換気	75.0	20.7	600.0	150.0
		片流れ	12.1	3.5	96.7	20.7
気密 Type B	通気層 なし	軒換気	2.2	0.9	3.2	1.6
		軒→棟換気	1.9	0.8	2.8	1.4
		妻換気	3.4	1.4	4.9	2.5
		妻+軒	4.4	1.8	6.3	3.2
	通気層 あり	軒換気	1.5	0.3	2.6	0.8
		軒→棟換気	1.7	0.4	2.7	1.1
		妻換気	2.7	0.2	4.5	1.5
		妻→軒換気	4.2	1.0	6.5	2.7
		片流れ	1.2	0.3	1.8	0.8
気密 Type C	通気層 なし	軒換気	1.0	0.6	1.7	0.7
		軒→棟換気	0.8	0.5	1.5	0.6
		妻換気	1.4	0.9	2.4	1.1
		妻→軒換気	1.8	1.1	3.1	1.4
	通気層 あり	軒換気	0.3	0.3	0.8	0.3
		軒→棟換気	0.4	0.3	1.2	0.3
		妻換気	0.2	0.2	1.4	0.2
		妻→軒換気	0.9	0.3	2.4	0.4
		片流れ	0.3	0.3	0.7	0.3

注*1) 緑色の欄は、現行基準より厳しくなる場合を示す。

7.4 気流解析による小屋裏空間の温湿度分布の確認

7.4.1 計算概要

これまで検討した小屋裏空間のシミュレーションでは、1年に亘る非定常計算を行うため、空間を1質点で代表する換気回路網により計算を行ったが、空間内の温度及び湿度ムラの考慮はできない。そこで、これまでの検討で得た換気量が生じた際の小屋裏温湿度分布を数値流体解析（CFD解析）によって算出し、その影響を確認する。

計算は標準 $k-\varepsilon$ モデルの流体解析ソフト（アドバンスドナレッジ研究所 FlowDesigner）により行った。計算対象は小屋裏空間内部とし、換気口や天井面に流入・流出条件を与え、周壁は表面温度を境界条件として与えた。室内外温湿度は小屋裏湿度が最大となる朝方を想定し、表30に示す条件とした。計算対象モデルを図22に示す。なお、計算メッシュは構造格子（約700万）、解析領域は幅8.48m、奥行10.3m、高さ1.7mとし、速度、温度、水蒸気を連成した定常計算である。

表 30 計算条件

室内空気	外気空気	空気流入量	その他
温度 20[°C] 相対湿度 40[%] 絶対湿度 7.2[g/kgDA]	温度 2[°C] 相対湿度 48[%] 絶対湿度 2.0[g/kgDA]	1) 室内空気：外気＝0.5：1.0 室内空気流入量 0.456 [m³/min] 外気空気流入量 0.913[m³/min] 2) 室内空気：外気＝1.0：1.0 室内空気流入量 0.913 [m³/min] 外気空気流入量 0.913[m³/min]	野地板表面温度：2[°C] 天井面表面温度：6[°C]

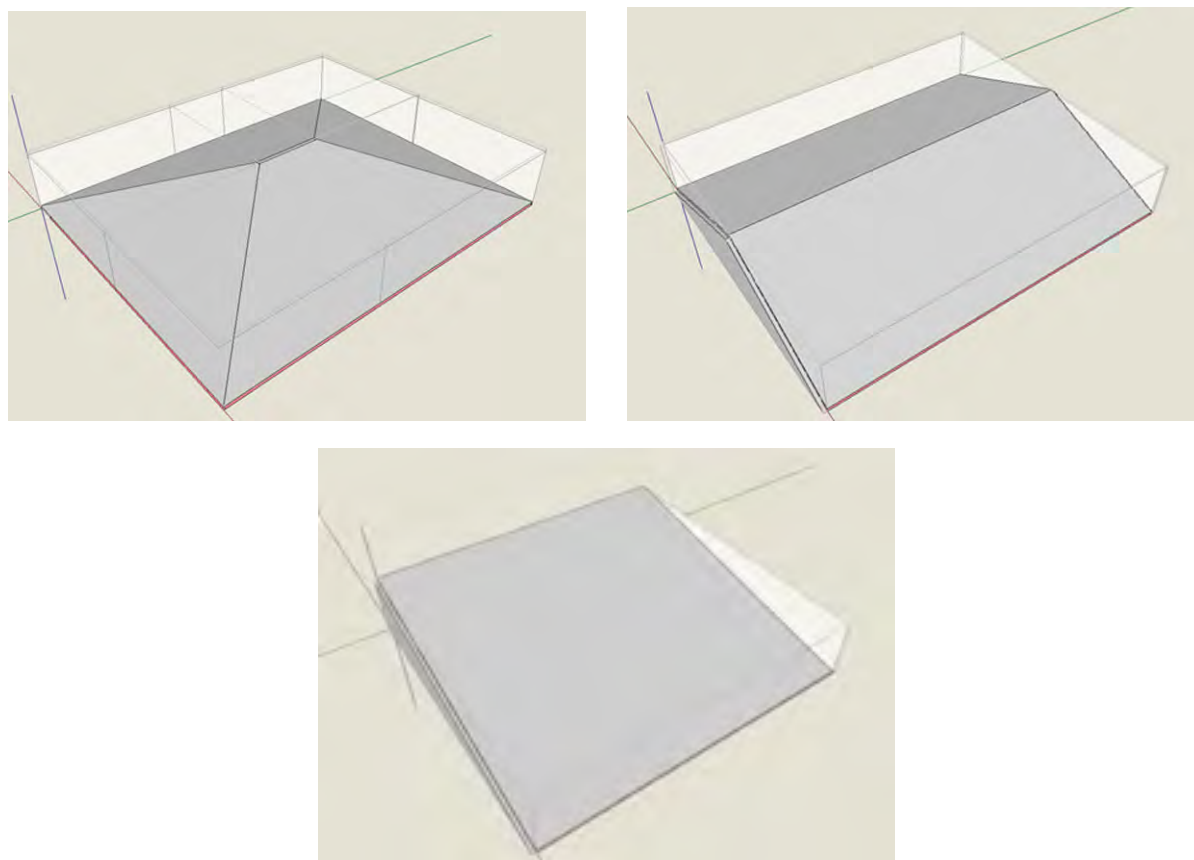


図 22 計算対象モデル（左上：寄棟、右上：切妻、下：片流れ）

境界条件（流入・流出量）【単位：m³/min】 ※：ppt上の青色：小屋裏へ流入、緑色：小屋裏から流出

寄棟					
軒			軒+棟		
0.5	1	0.5	1		
流入	流出	流入	流出	流入	流出
0.912507	0.456253	0.912507	0.273752	0.912507	0.365003
0.126114	0.456253	0.252229	0.126114	0.252229	0.365003
0.126114	0.456253	0.252229	0.608338	0.273752	0.365003
0.204024		0.408049		0.204025	0.730006
1.368759	1.368759	1.825014	1.368760	1.825015	1.825015

外気流入 0.912507 0.912507 0.912507
室内流入 0.456252 0.912507 0.456253 0.912508

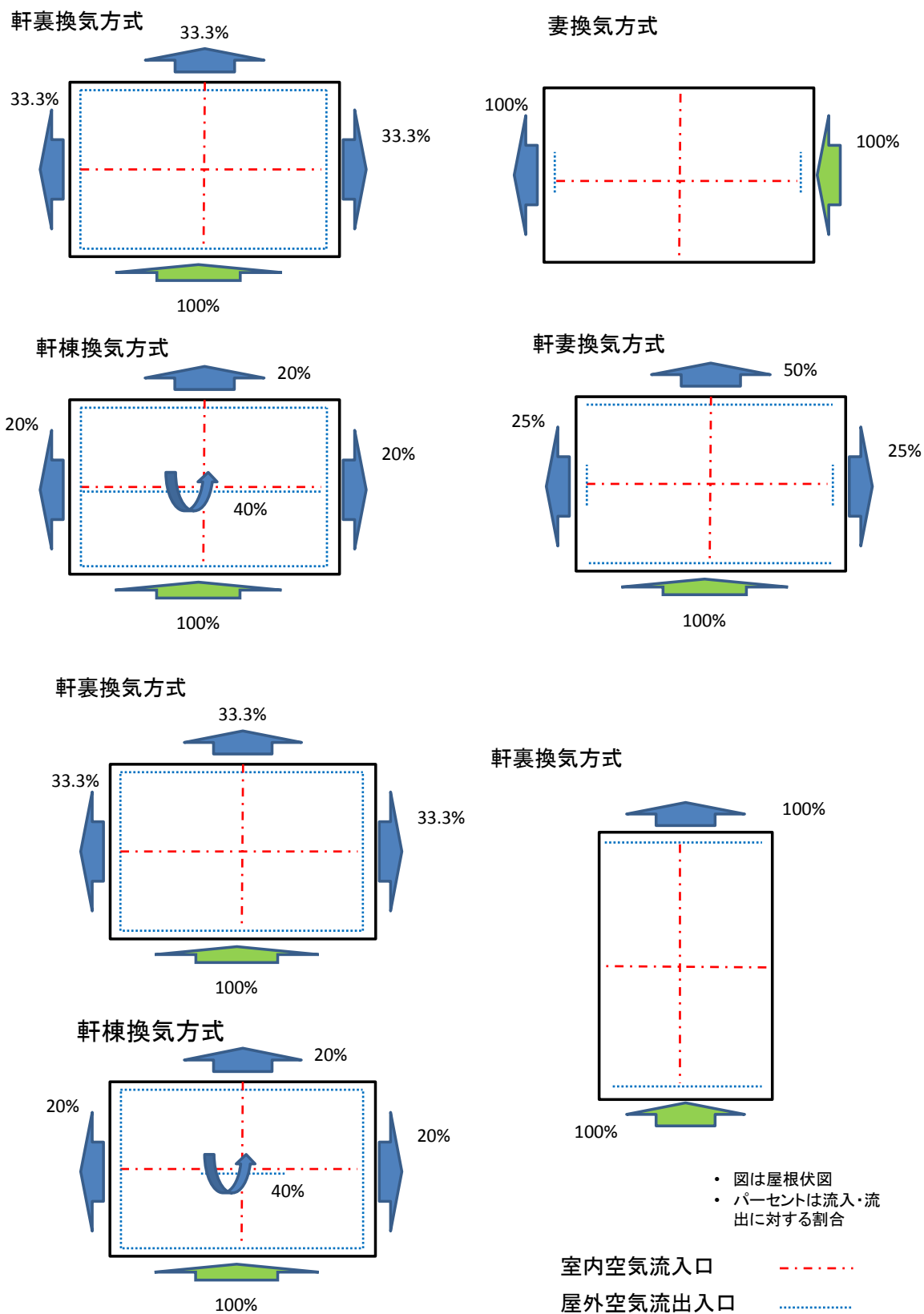
切妻											
軒				軒+妻				妻			
0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
流入	流出	流入	流出	流入	流出	流入	流出	流入	流出	流入	流出
0.912507	0.456253	0.912507	0.608338	0.912507	0.342190	0.912507	0.456254	1.368760	1.825010	0.912507	0.273752
0.126114	0.456253	0.252229	0.608338	0.126114	0.342190	0.252229	0.456254			0.126114	0.273752
0.126114	0.456253	0.252229	0.608338	0.126114	0.884380	0.252229	0.912507			0.126114	0.273752
0.204024		0.408049		0.204025		0.408050				0.204025	0.547504
1.368759	1.368759	1.825014	1.825014	1.368760	1.368760	1.825015	1.825015	1.368760	1.825010	1.368760	1.825015

外気流入 0.912507 0.912507 0.912507 0.912507 0.912507 0.912507
室内流入 0.456252 0.912507 0.456253 0.912508 0.456253 0.912504 0.912507 0.912508

片流れ	
軒	
0.5	1
流入	流出
0.912507	1.368760
0.126114	
0.126114	
0.204025	
1.368760	1.825010

外気流入 0.912507 0.912506
室内流入 0.456253 0.912504

図 23 流入量の詳細



7.4.2 計算結果

計算結果を図 25～図 38 に示す。本計算は脈動圧を想定した換気回路網によって得られた流出入に関する境界条件を与え、小屋裏空間内部の温湿度分布を求めたものであるため気流速度は低く、分布が生じ易い設定となっている。また、ソフトウェアの仕様として木部の水分吸着が考慮できないため、計算上は飽和点を越えた水分を除去し絶対湿度を求めている。これらの制約から、本節では計算結果の絶対値ではなく相対的な比較と、空間の気流性状を主として考察する。

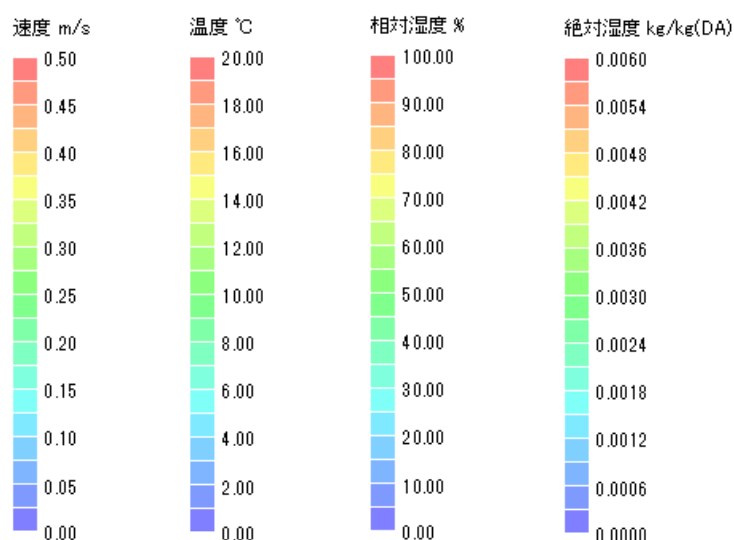
小屋裏内の気流速度はおおよそ 0.2m/s 以下で、居室からの流入箇所から上昇し、勾配屋根に沿って上昇・下降する循環流が見られる。棟換気と片流れ屋根の場合に若干差が生じており、前者は 0.23m/s (図 27)、後者は 0.1m/s 程度 (図 29) となるがオーダー的には小さく、脈動圧のみの想定では自然対流に近い気流性状であった。

小屋裏内の温度については室内空気と外気空気の比率が $0.5 : 1.0$ では $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ 、 $1.0 : 1.0$ では $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ で 2°C 程度の差が生じていた (図 25、図 26 の比較)。野地板近傍で温度成層が見られ、野地板付近で急激に温度が低下する傾向を読み取ることができる。また、軒先では中央部分に比べ $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 程度の温度低下が見られ (図 26)、これまで実測で得られた傾向が再現できている。

相対湿度は室内空気と外気の比率が $0.5 : 1.0$ では 50% 以下、 $1.0 : 1.0$ では条件によっては 60% を越えている。空間分布は平均に対して 20% 程度あるため、温度の低い軒先で 70% を越えるケースがある。

絶対湿度は室内空気と外気空気の流入比率によって値が変わる。空間分布は流入口である天井付近の値が高いものの、高湿な空気は低温となる野地板付近までは到達していないことが読み取れる。天井付近を除けば空間分布はおおよそ 0.5g/kgDA 以下であり、小屋裏空間中の水蒸気量はそれ程大きく異ならないと思われる。しかし、上述したように温度場も勘案した相対湿度では 20% 程度の分布が生じているため (図 26)、評価の際は低温となる箇所に着目することが重要であろう。換気方式の影響については、棟換気の効果が見られ、室内・外気空気の流出入が同じケースでも絶対湿度が 1g/kgDA 程度低く (図 32、図 34 の比較)、換気効率が高い傾向が見られた。

気流解析の結果を総括すると、空間内の絶対湿度分布については結露が危惧される野地板付近への水蒸気溜まりのような現象は生じておらず、一質点系の回路網計算の結果でも齟齬は生じないことが推察できる。野地面の結露に対しては、むしろ温度分布の影響が大きいものと思われ、空間中央に比べ低温である軒先や本計算では扱っていない釘貫通部等に配慮することが望ましいであろう。



結果表示用・共通カラーバーのスケール

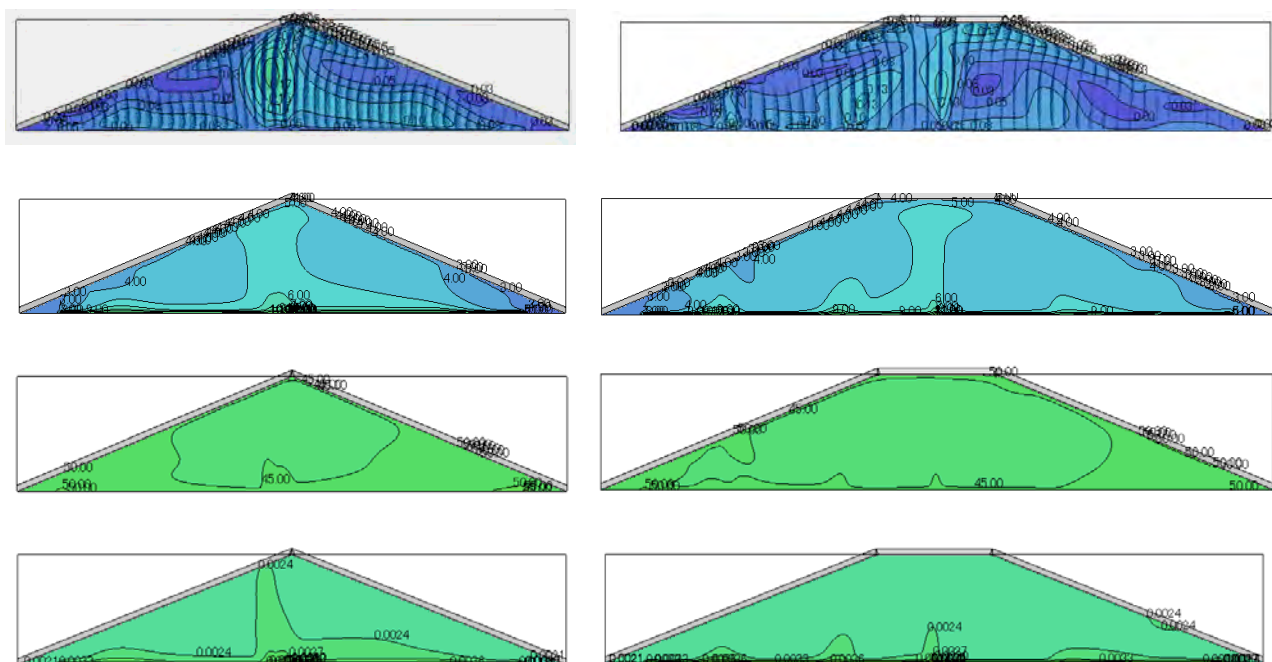


図 25 寄棟屋根・軒換気 (室内空気：外気=0.5：1.0)

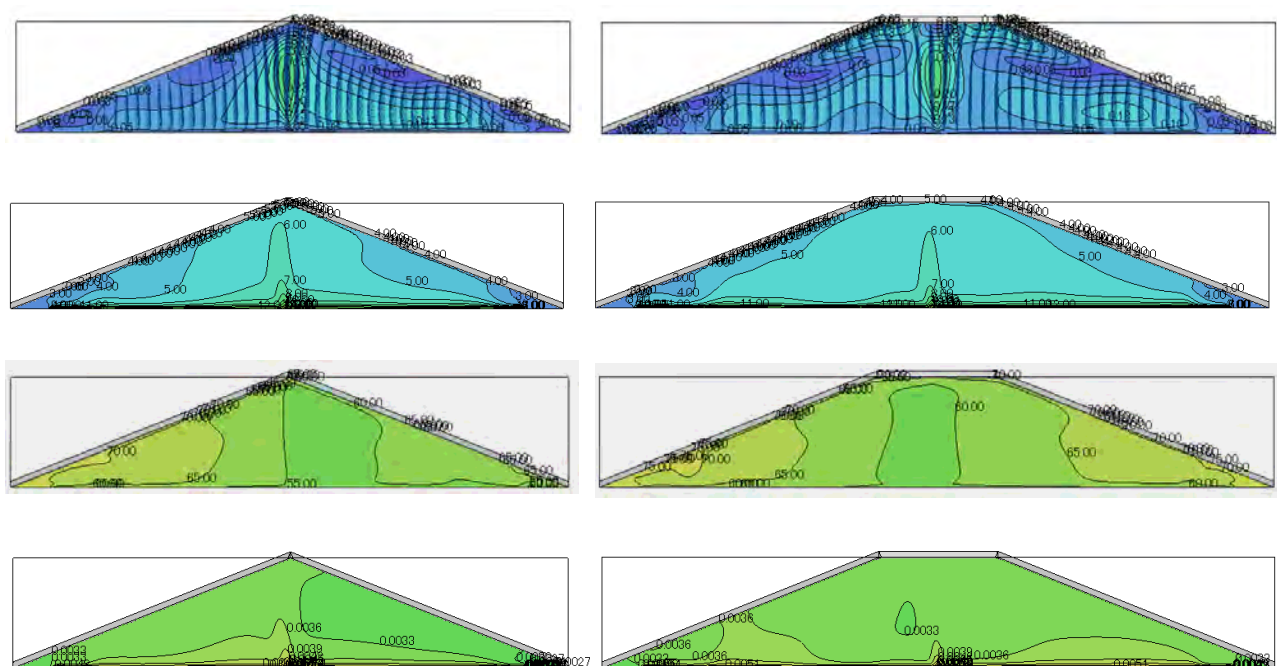


図 26 寄棟屋根・軒換気 (室内空気 : 外気 = 1.0 : 1.0)

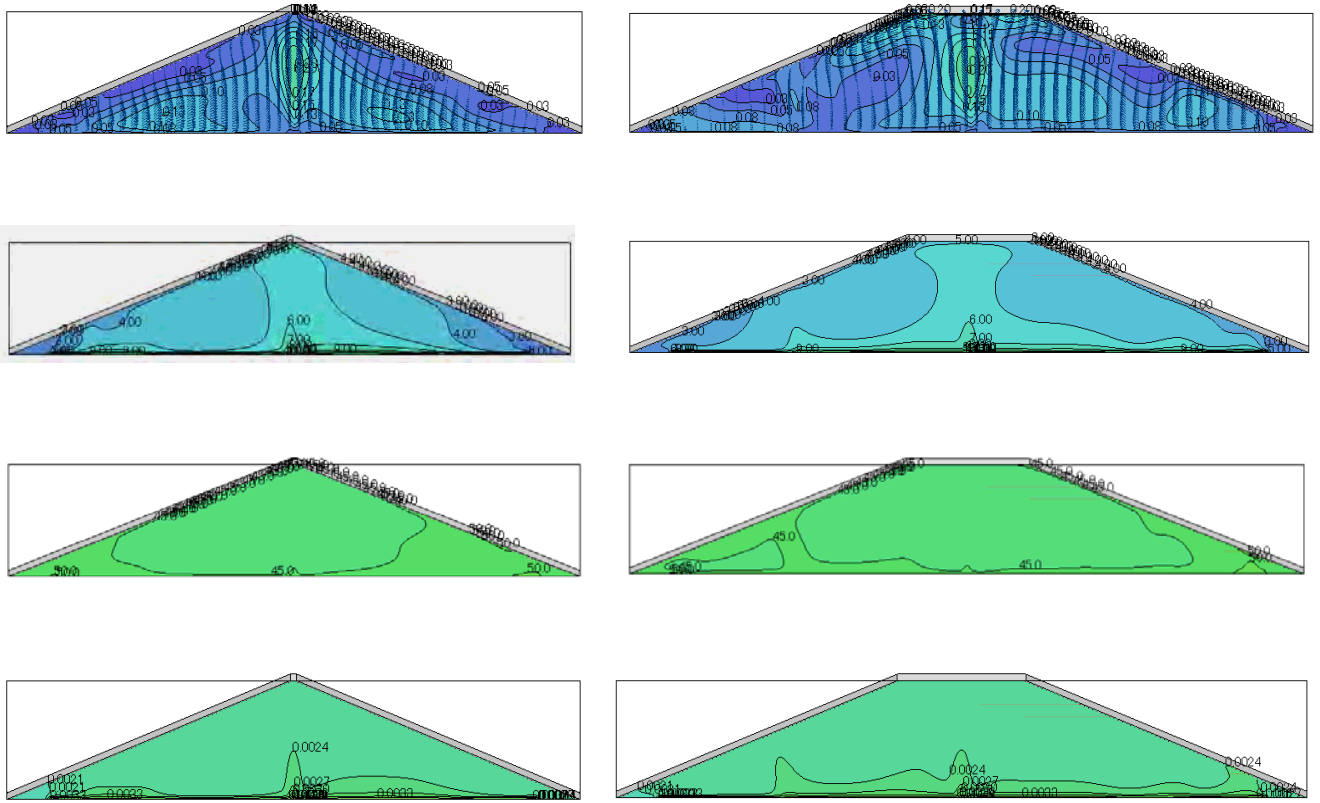


图 27 寄棟屋根・軒+棟換気（室内空気：外気=0.5：1.0）

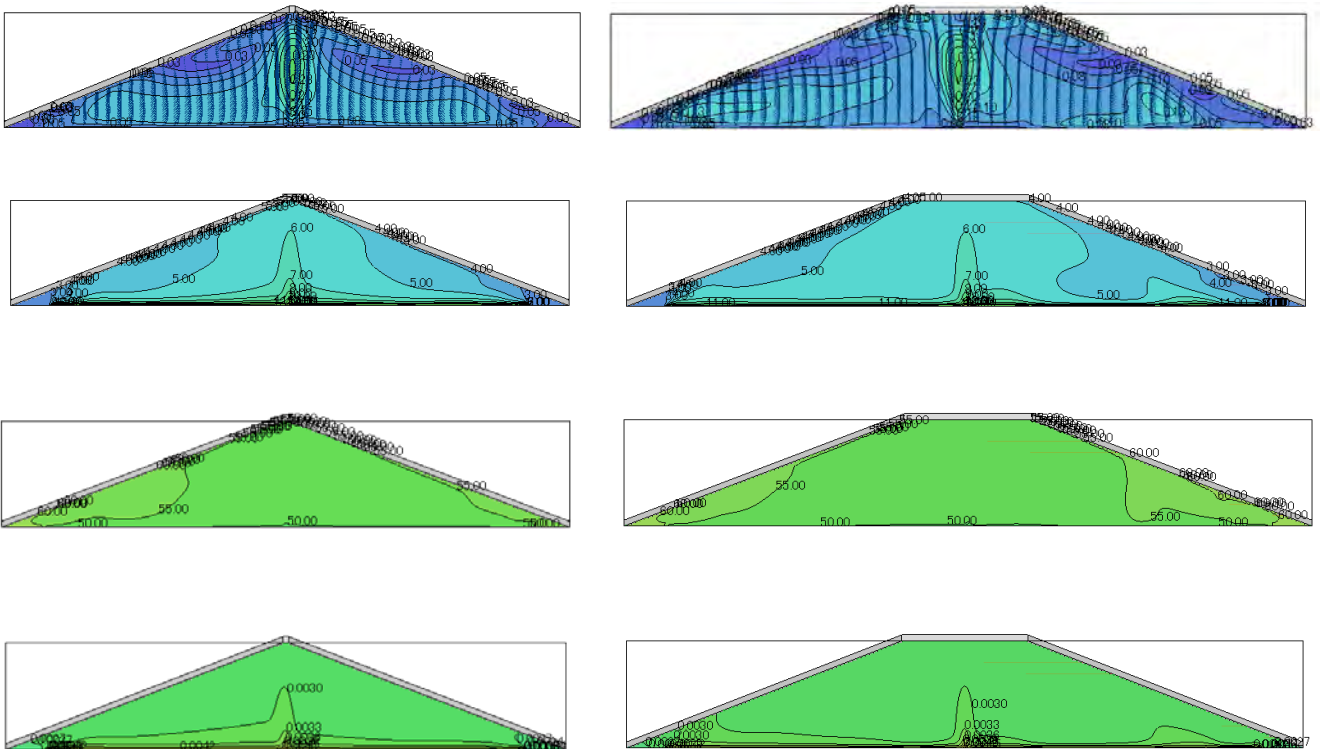


图 28 寄棟屋根・軒+棟換気（室内空気：外気=1.0：1.0）

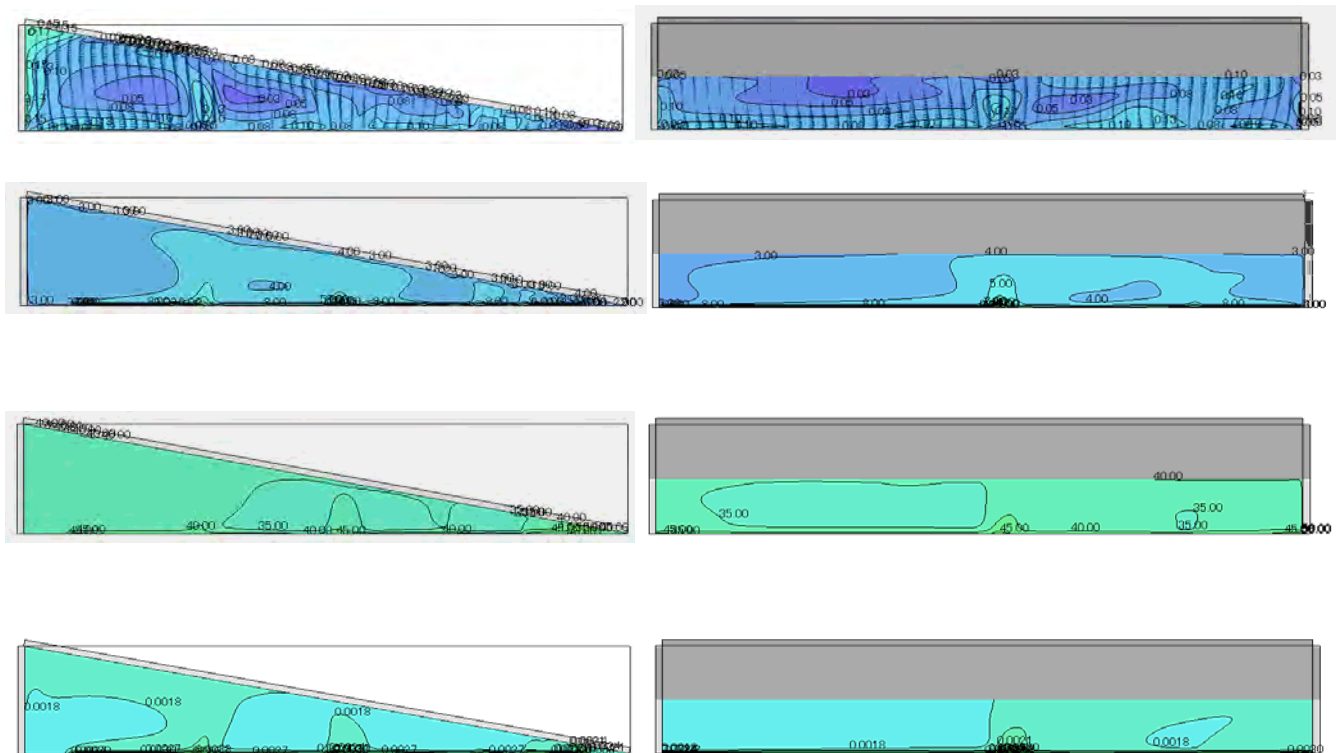


図 29 片流れ屋根・軒換気（室内空気：外気＝0.5：1.0）

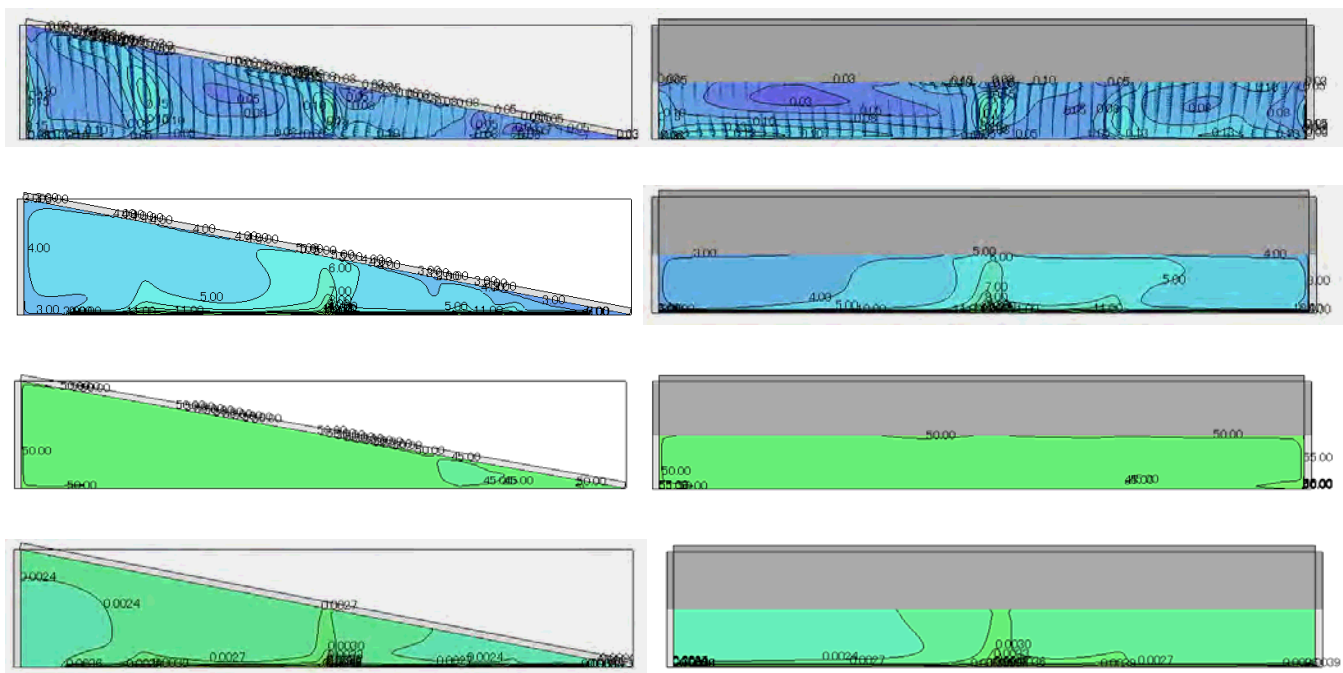


図 30 片流れ屋根・軒換気（室内空気：外気＝1.0：1.0）

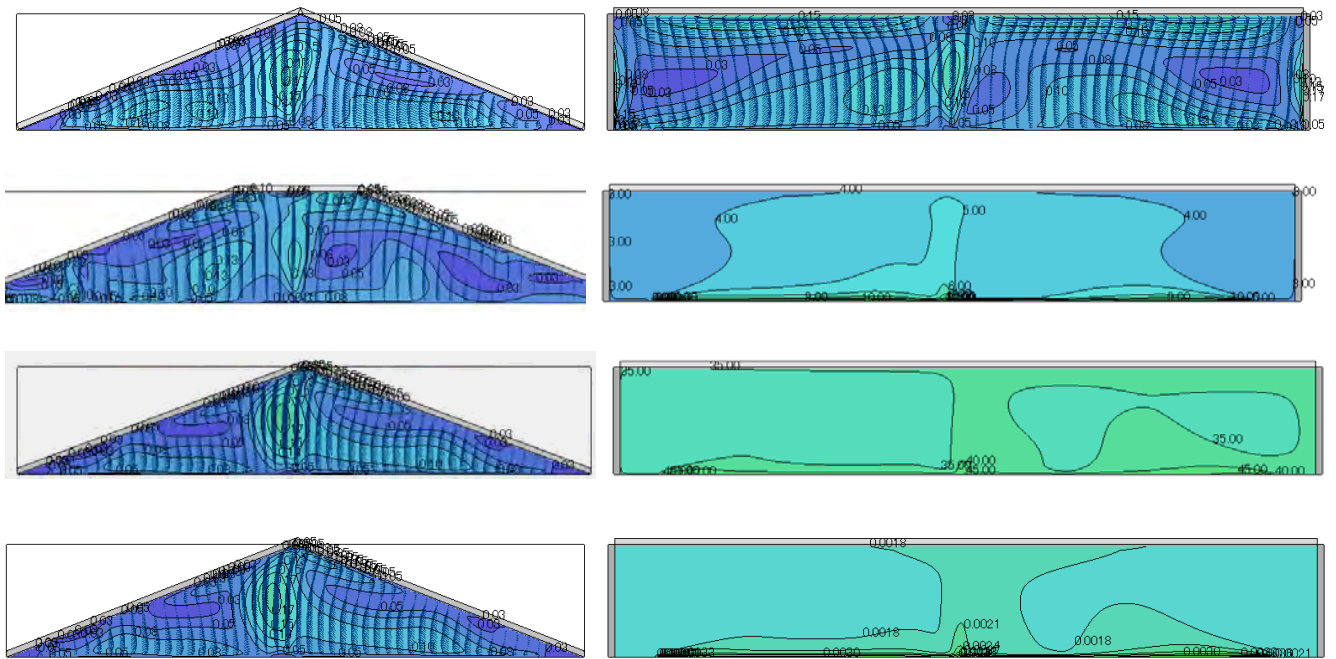


図 31 片流れ屋根・軒換気（室内空気：外気＝1.0：1.0）

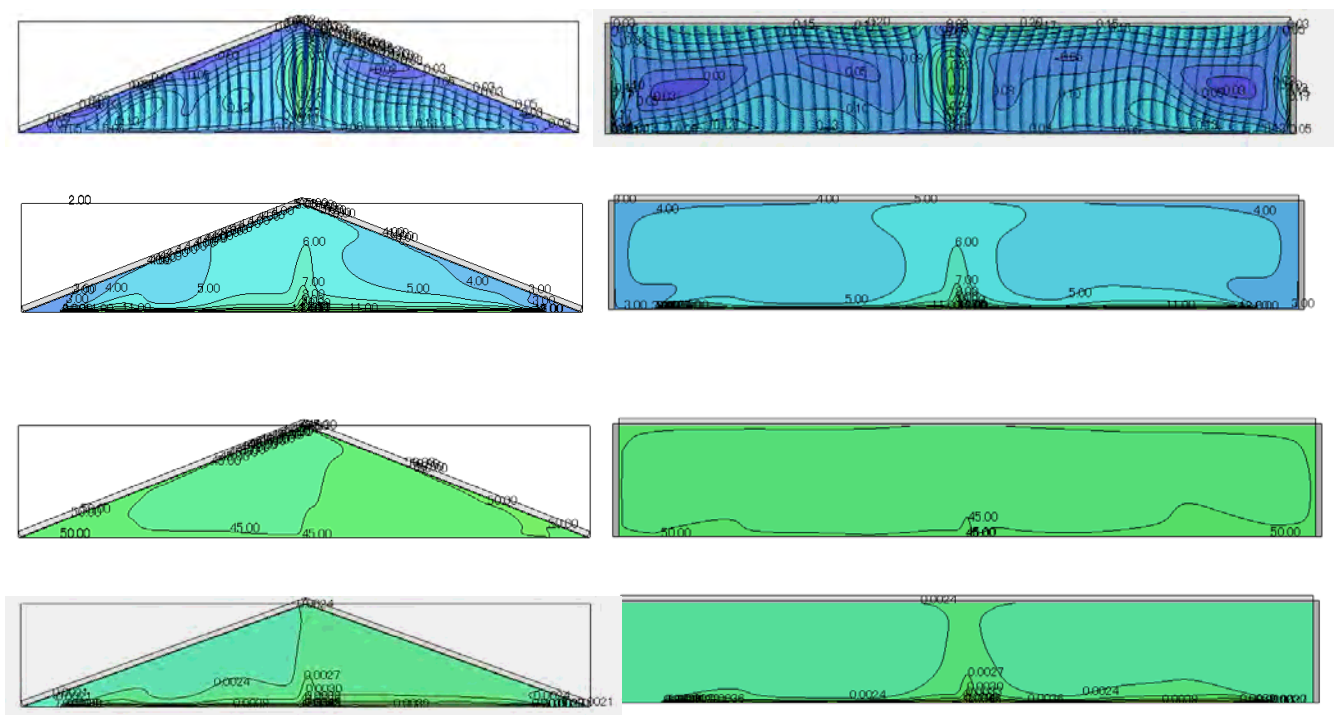


図 32 切妻根・軒換気（室内空気：外気＝1.0：1.0）

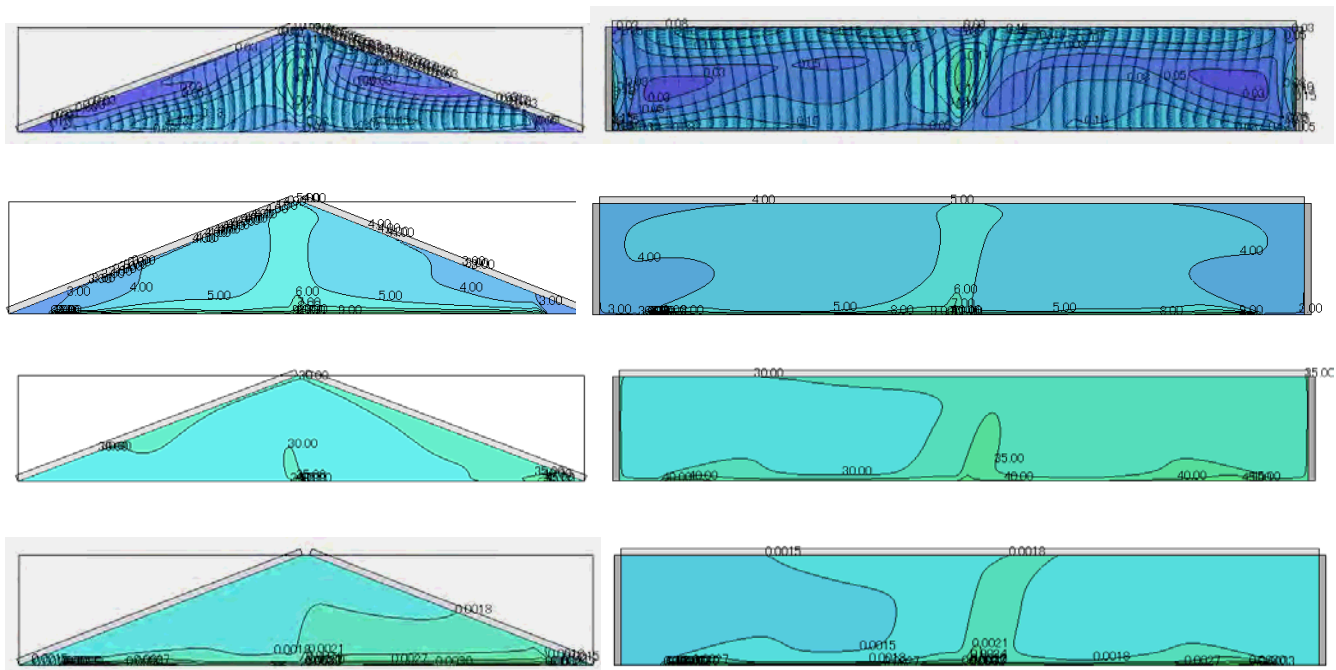


図 33 切妻根・軒+棟換気（室内空気：外気=0.5：1.0）

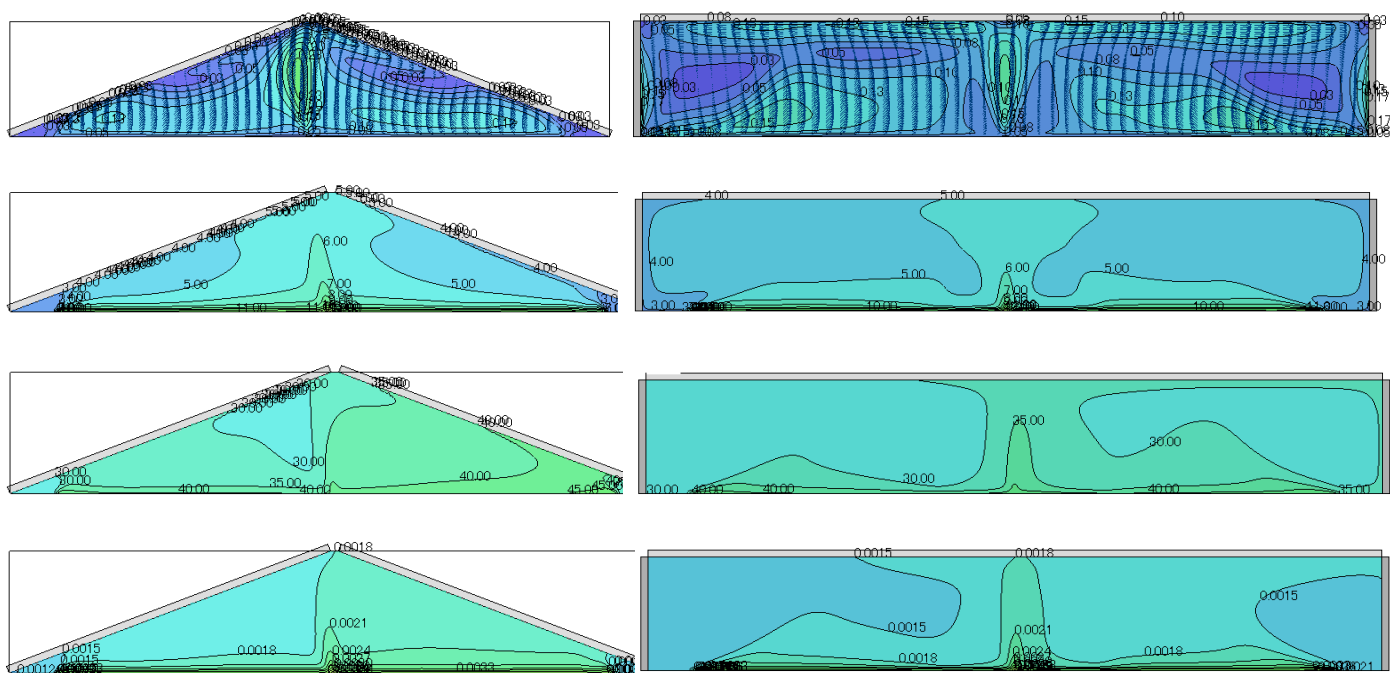


図 34 切妻根・軒+棟換気（室内空気：外気=1.0：1.0）

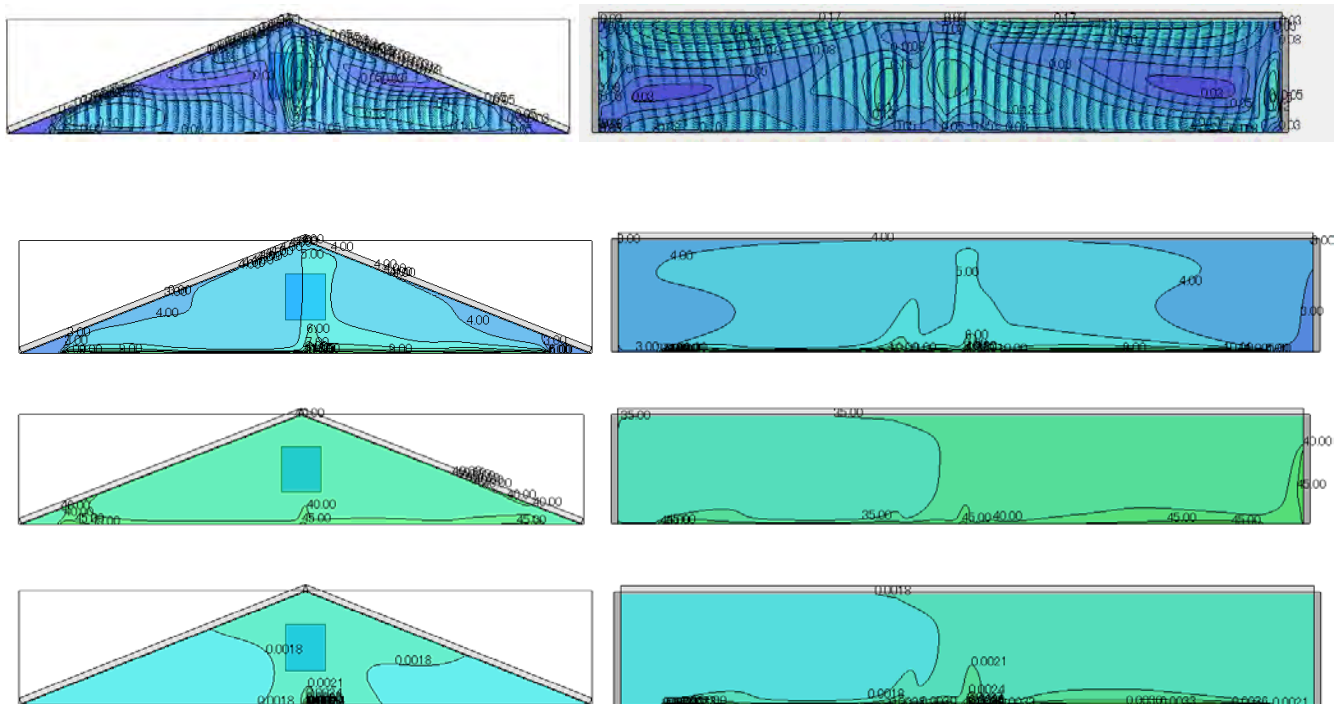


图 35 切妻根・妻換気 (室内空気 : 外気=0.5 : 1.0)

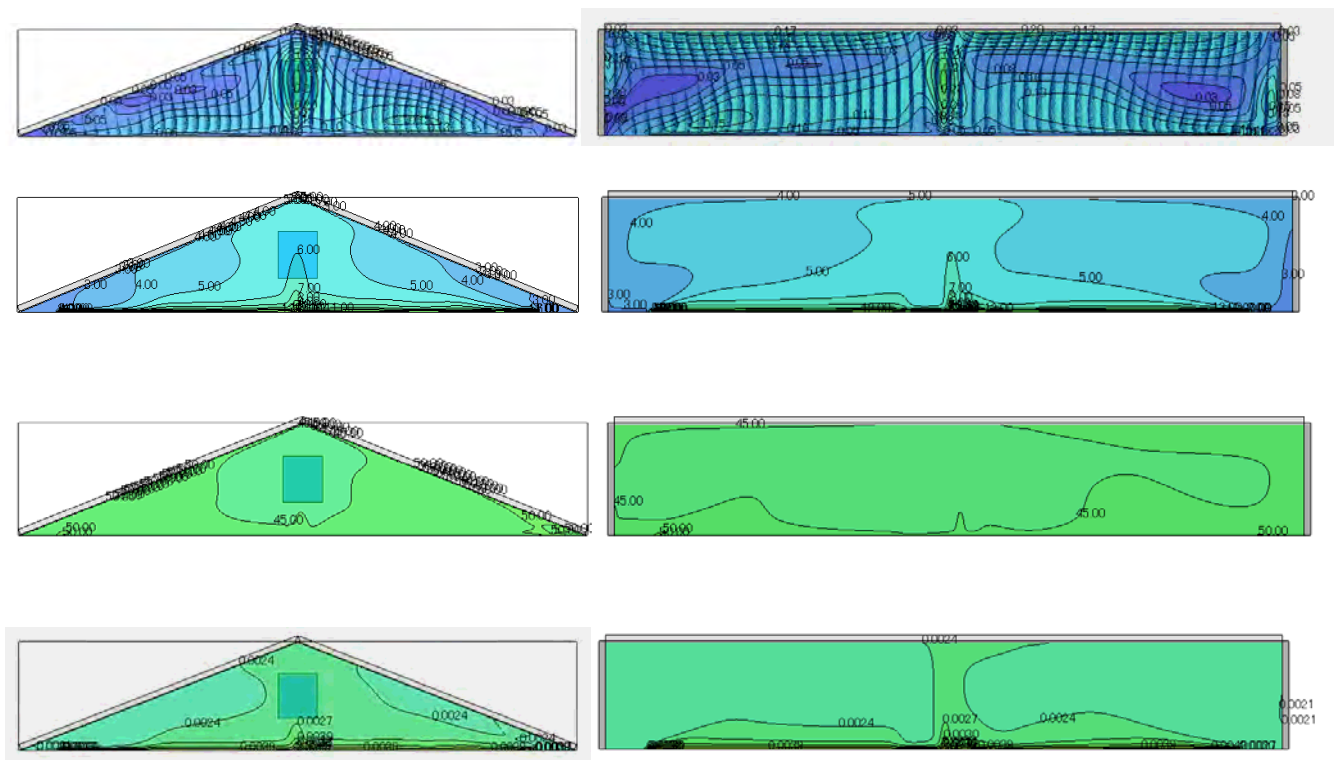


图 36 切妻根・妻換気 (室内空気 : 外気=1.0 : 1.0)

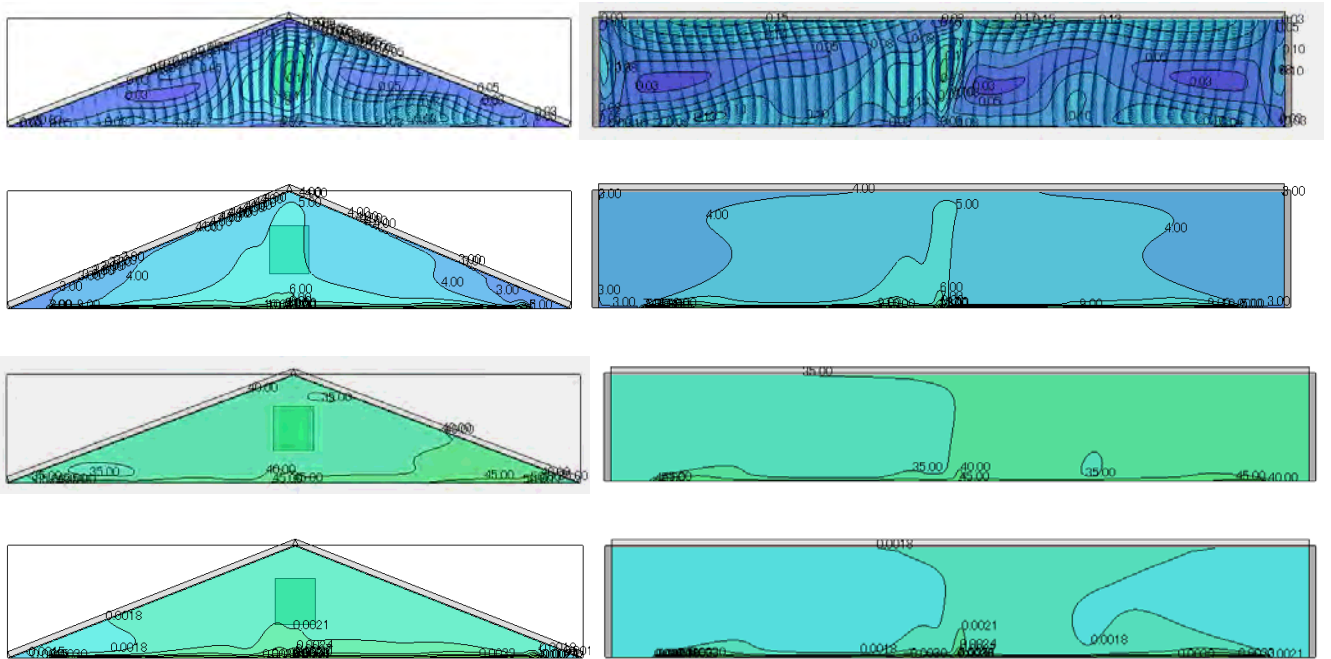


図 37 切妻根・軒+妻換気（室内空気：外気＝0.5：1.0）

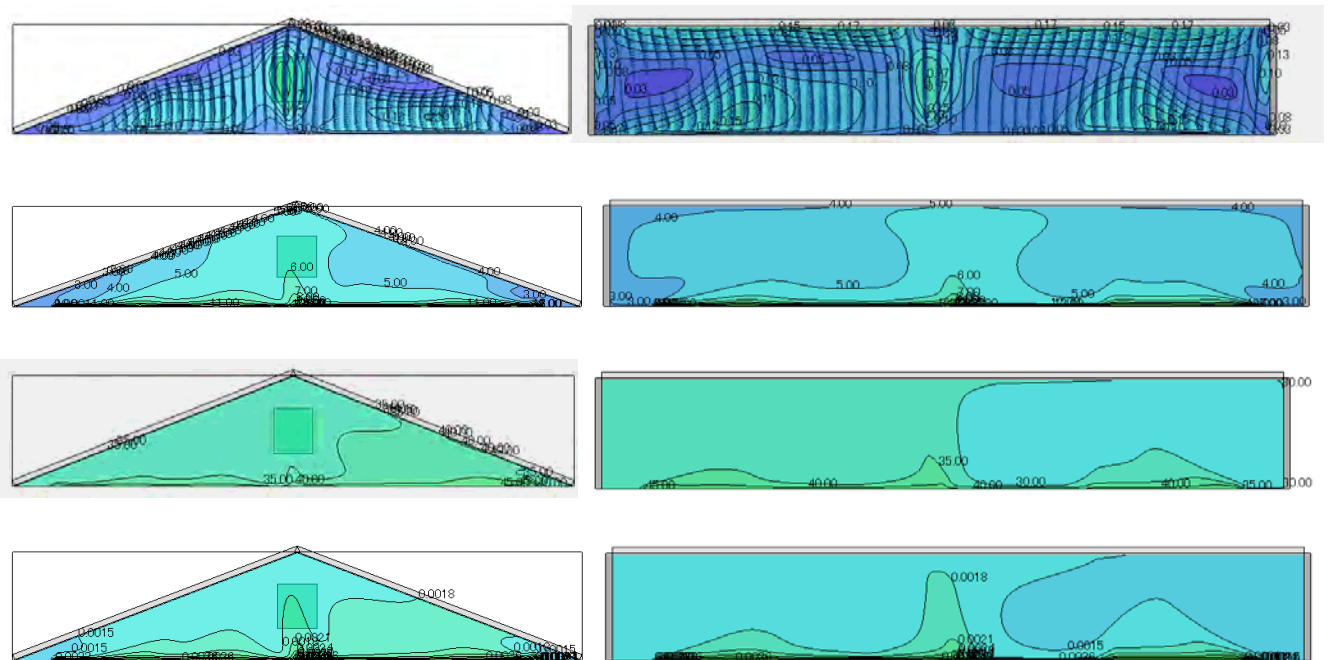


図 38 切妻根・軒+妻換気（室内空気：外気＝1.0：1.0）

7.5 これまでの成果の要点と木造長期優良住宅認定基準等との関係

7.5.1 これまで得られた知見の要約

本検討では、小屋裏換気口の要求性能を明示するため、熱水分移動と換気回路網に関する計算プログラムを用いたシミュレーション計算を行い、屋根形状、換気方式、気密性能、地域等、様々な条件を勘案した換気量と小屋裏開口面積の関係を求めた。これと並行し、実験住宅において小屋裏温湿度の実測を行い、得られたデータより計算プログラムを検証した。実験では、換気方式や天井気密性等による影響が、シミュレーション計算と同じように再現することが確認できた。

次に、小屋裏湿度に及ぼす影響が大きい天井面の気密性能の実態を把握するため、実際の戸建住宅において天井と小屋裏間の隙間量を測定した。近年の住宅では、天井面を石膏ボードとクロスで仕上げたうえ廻縁も施工されているため、一般部や取合からの漏気は僅かであることが示された。しかし、天井面に気流止めが設置されていない物件では、室内空気が情報コンセントや分電盤から間仕切壁を経由し、小屋裏内に到達する可能性のあることが分かった。

通気経路が確保されていない片側開口に関する検討では、換気不備の程度の把握を目的とした実験を行った。トレーサガスをを用いた実験により、下屋や大屋根でも特殊な屋根形状で流出口が確保されないケースでは換気量が大幅に低下するため、評価の際には通気経路の確認が必要であることが分かった。

7.5.2 木造長期優良住宅認定基準等との関係と対応措置について

木造長期優良住宅認定基準との対応については、主に今年度の検討によって地域別の要求性能を明示した。ただし、室内湿度の設定や湿害が生じる閾値によって値が大きく変わるため、要求性能の採用にあたっては議論が必要である。本検討で得られた知見を反映させる場合、地域区分や気密性能等の記述が必要になる。以下に、(i) 地域区分、(ii) 小屋裏開口部の設置方法、(iii) 小屋裏に面する天井面の工法、に関する各項目について、基準解説書を想定した記載イメージを示す。

(i) 建設地域は次による。

(い)	北海道，盛岡以北
(ろ)	盛岡以南の地域
(は)	宇都宮以南の地域
(に)	多雪地域
(ほ)	福岡以南の地域

(ii) 小屋裏開口部の設置方法は次による。

区分 1	小屋裏の壁のうち屋外に面するものに換気上有効な位置に 2 以上の換気口が設けられ、かつ、外壁に通気層（断熱材の外側に設ける厚さ 18 mm 以上の空気の層で、下端が外気に解放され、上端が小屋裏に解放されたものをいう。以下同じ。）を有する工法
区分 2	区分 1 の工法のうち、外壁に通気層を有さない工法
区分 3	軒裏に換気上有効な位置に 2 以上の換気口が設けられ、かつ、外壁に通気層を有する工法
区分 4	区分 3 の工法のうち、外壁に通気層を有さない工法
区分 5	軒裏に給気口が設けられ、小屋裏の壁で屋外に面するものに排気口が給気口と垂直距離で 90 cm 以上離して設けられ、かつ、外壁に通気層を有する工法
区分 6	区分 5 の工法のうち、外壁に通気層を有さない工法
区分 7	軒裏に給気口が設けられ、小屋裏の頂部に排気塔その他の器具を用いて排気口が設けられ、かつ、外壁に通気層を有する工法
区分 8	区分 8 の工法のうち、外壁に通気層を有さない工法

(iii) 小屋裏に面する天井面の工法は次による。

A	1～3 の気密材を使用して気密層を確保する工法
B	1～6 の気密材を使用して気密層を確保する工法
C	上記以外の工法

気密層は、壁及び室内空間の空気が小屋裏に流入しないよう、連続した気密層とすること。
 気密材は次による

- 1 住宅用プラスチック系防湿フィルム（JIS A 6930:1997）に規定する B 種又はこれと同等以上の防湿性及び気密性を有するもの
- 2 合板又はこれと同等以上の防湿性及び気密性を有するもの
- 3 乾燥木材等
- 4 住宅用プラスチック系防湿フィルム（JIS A 6930:1997）に規定する A 種又はこれと同等以上の防湿性及び気密性を有するもの
- 5 透湿防水シート（JIS A 6111:2004）又はこれと同等以上の防湿性及び気密性を有するもの
- 6 プラスチック系断熱材（JIS A 9511）（フェノールフォーム 3 種 B を除く）、吹付硬質ウレタンフォーム（A 種 3 を除く）又はこれと同等以上の防湿性及び気密性を有するもの

(i) 地域については、北海道などの今回の検討対象外である寒冷地と東北を別地域としている。また、一般に温暖地で分類される関東以西の地域は、冬期の積雪（日照）により要求性能が異なる傾向が見られたため異なる分類とした。

(ii) 小屋裏へ繋がる外壁通気層の有無を加えたが、外壁通気層自体の必要条件を明示する必要がある。また、地域によっては積雪などで通気が阻害される、湿度が上昇するといったケースが想定されるため、特に積雪寒冷地や多雨地域においては外壁通気層の効果を検証する必要がある。

(iii) では気密措置に関する記述を加えた。気密性については、上記の内容に加え天井を貫通する換気、照明等の各設備や、気流止めの有無などを加える必要があると思われる。また、伝統工法など C に

該当する気密に配慮しない住宅については、加湿源となる室内湿度自体が低い可能性もあり、運用上の扱いを慎重に吟味すべきであろう。

7.6 残された課題

本検討では冬期における野地板での結露防止を目的とし、条件毎に地域別の要求性能を明示した。小屋裏湿度性状は、気密性能と室内温湿度が最も大きな影響を持つことが示されており、これらを配慮することが不可欠である。また、本検討では室内の水蒸気に起因する結露以外は対象外であるため、今後の課題として以下の項目に関して情報を収集したうえで最終的な基準値を定める必要がある。

1) 天井面の気密性能及び室内相対湿度に関して

小屋裏の湿度性状には、居室の湿度と天井面の隙間からの室内空気流入量の影響が非常に大きいことが明確になった。一般に、室内湿度は暖房設備や24時間換気設備の運転状況によって大きく異なる。室内空気質を維持するためには①開放型暖房設備の使用を避け、②24時間換気を運転する必要がある。双方とも、住宅及び設備機器供給事業者から購入者への注意喚起が行われているが、これらは居住者の判断に依存するため、基準値を決定する前に①②について前提を確認する必要がある。

気密性能については、昨年度の検討においてC値 $5\text{cm}^2/\text{m}^2$ 相当の住宅でも、間仕切壁上部の気流止めが確保されていれば、天井面でC値 $2\text{cm}^2/\text{m}^2$ 相当の気密性がおおよそ担保される結果が得られている。本来、 $2\text{cm}^2/\text{m}^2$ 相当を下回るような気密性能は、床、躯体及び設備貫通部等の施工の影響が大きく、一般的な石膏ボード・クロス仕上げで周縁がある天井面の隙間は小さい。ゆえに天井面に限れば、気密性の判断には天井取合の押さえ状況の詳細と気流止めについて確認ができれば良いと考えられるが、屋根断熱と天井断熱の複合屋根など、運用段階においては複雑な屋根形状に対する判断に迫られるため、流通実態を勘案した判断ロジックを整備する必要がある。

一方、非気密のC値 $10\text{cm}^2/\text{m}^2$ 相当については、そもそも漏気の影響で室内湿度が計算の設定まで上昇しないと思われることと、省エネ性能が等級4レベルに満たないことが予想されるため、評価対象から除外するなどの措置が望ましい。

2) 外壁通気層の判断方法と効果検証

本検討では、実験棟及び数値計算によって小屋裏空間へ繋がる外壁通気層の寄与が確認されている。例えば、外壁通気層の寄与が評価指針で勘案されれば、不具合事例が多いとされる住宅密集地域に存在する軒無しの物件などに対して、棟換気と組み合わせた効果の高い換気方式の普及に繋がる。しかし、外壁通気層は開口率（開口部周りでは通気経路が確保できないケースが存在する）や防火上のファイヤーストッパー等の障害、積雪による閉塞等によって、通気特性が影響を受けるリスクを持ち合わせている。また、吸水性の高い外装材の場合は降雨後に多量の水蒸気を供給する可能性がある。そこで、リスク要因を洗い出し、判断方法の枠組みを構築するとともに、実大住宅での検証データを蓄積する必要がある。

3) フィジビリティースタディー

7.3.3の結果によれば、必要となる小屋裏換気口面積は温暖地では緩和できるものの、寒冷地では増加が必要なケースがある。また、金融支援機構の基準値である有効開口面積を相当開口面積に読み替えた場合、温暖地でも増加するケースがある。しかし、軒部分の面積を勘案した場合、小屋裏換気部材の市場流通品では施工できない事例が生じる恐れがあり、運用前に供給体制と施工実現性について材料供給事業者を含めたコンセンサスを得る必要がある。

本計算は住宅密集地を想定した風圧係数を想定しており、7.3.3の結果は高い安全率を伴った数値となっている。ゆえに、郊外立地の物件では条件によって過剰性能となり、雨水や雪の侵入を助長することによる弊害を誘発する恐れがある。郊外立地では周辺環境を勘案した緩和措置を検討し、緩和係数などの定量的な値を整備することが必要と思われる。また、強風雨、暴風雪等、地域によっては本検討で配慮していない要因があり、地域性に伴う配慮事項を整備すべきであろう。

4) 野地板貫通部・換気口からの雨水浸入の影響

本検討では小屋裏空間の加湿源として室内からの水蒸気流入を想定しており、近年指摘されている防水紙の釘穴等を経由した雨水浸入による水分の影響は無視している。この問題は屋根葺材の種類や防水紙の施工方法、降水量等との関係もあるため、今後詳細に検討する必要があると思われる。

7.7 基準値策定における注意点

本報告では上述した理由から、想定される条件下に対応した小屋裏換気口面積を示すに留めている。そもそも小屋裏換気の確保は、防水・防火性能及び雪害対策と相反する要因であるため、気候地域といった広範囲の地域区分だけでなく、隣接建物や用途地域といった局所的な立地の制約も生じる。ゆえに、開口面積といった指標で安全率の高い基準値を定めることは、防水など他の性能を低下させる危険性を有している。本報告では、住宅密集地を想定して気象条件（外気温湿度、日射）と室内湿度、気密性能をパラメトリックに変化させ、それぞれの組み合わせで適応できる換気口面積を記載しているが、運用時にはこれらに加え以下の要因を勘案できることが望ましい。

要因	配慮事項
建物密集度	基準値の緩和（郊外立地）
降雨量、降雪量	外壁通気層（防水・雪害対策）
卓越風向	基準値の緩和（郊外立地）
工法・納まり、暖房方法	気密性能、室内湿度の選択（水蒸気侵入量）

例えば、積雪寒冷地の郊外物件ならば、外壁通気層からの雪害を防止するため、外壁通気層を考慮した緩和措置は認めないが、高い基準風速が見込めることによる開口面積の緩和、高い気密性能による水蒸気侵入量の低減といったトレードオフを設ける。本来、卓越風、雪害、暴風雨等、地域特有の自然環境から培われた建物のノウハウは多様性があり、全てを基準に反映させることは不可能であろう。したがって、小屋裏換気口については全国や気候区分といったマクロな範囲で、一律の値を設けることは避けるべきであり、複数のオプションから選択できる枠組みを構築することが不可欠と考えられる。

第8章 接合金物の耐久性に関する検討

8.1 はじめに

8.1.1 背景

2009年に長期優良住宅の普及の促進に関する法律が施行された。この法律における基準は性能評価制度（住宅の品質確保促進等に関する法律）の劣化対策等級3をベースにしており、これらの技術的背景は主に昭和55年から実施された建設省総合技術開発プロジェクト「建築物の耐久性向上技術の開発」（以下、「耐久性総プロ」と呼ぶ）によるものである。一方、近年の木造住宅では、2000年の建築基準法改正で柱頭柱脚および筋かいの端部の接合金物仕様が明確に規定されるなど、接合金物類の重要性が高まってきている。しかしながら、耐久性総プロ当時はこれら金物類の構造上の位置づけが曖昧であったこともあり、金物類の表面処理については明確な基準化がなされてこなかった。

そこで本TGでは、長期優良住宅の接合金物耐久性基準やJIS基準に反映することを目的として、木造住宅における接合金物および接合金具の劣化特性を明らかにするための取り組みを行う。

接合金物の耐久性を論じるには、「どのような環境でどの程度腐食が進行するのか」という腐食速度に関する情報と、「どの程度の腐食でどの程度の構造性能を有するか」という腐食時構造性能に関する情報が必要である（図8.1.1）。

平成25年度は、平成24年度までに引き続き、保存処理木材との接触部位における接合金物類の腐食性に関する実験的検証として、屋外暴露実験、湿潤実験、高湿実験、屋内暴露実験を継続実施した。また、画像解析による腐食量評価の改良を行った。

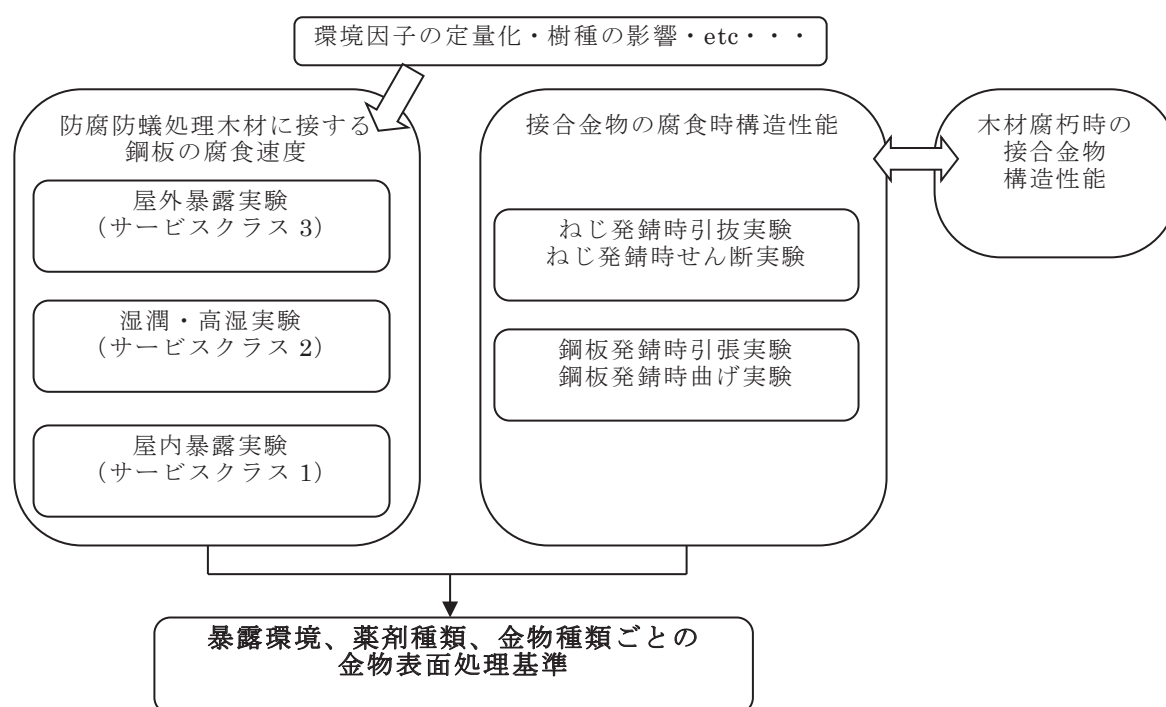


図 8.1.1 検討概要

8.1.2 平成 25 年度までの取組内容と成果

本 TG では平成 25 年度までに、主として下記の取組を行ってきた。

- ① 既往研究の文献調査による、接合金物類の腐食実態の整理
- ② 現在流通している防錆処理および防錆基準の整理
- ③ 海外における防錆基準の整理
- ④ 保存処理木材との接触安全性検証実験 屋外暴露実験
- ⑤ 保存処理木材との接触安全性検証実験 湿潤実験
- ⑥ 保存処理木材との接触安全性検証実験 高湿実験
- ⑦ 保存処理木材との接触安全性検証実験 屋内暴露実験
- ⑧ 画像解析による腐食量評価
- ⑨ 飛来海塩粒子量の測定
- ⑩ 接合金具発錆初期の耐力検証

これらの取組から明らかになったことを概観すると以下のようなものである。

- ・ 一般的に、腐食の著しい個所は、部材境界面、含水率 18%超の木材内¹⁾、含水率の高い他材料との接触部²⁾、ホウ酸等を含む防火処理木材との接触部³⁾、銅を含む防腐防蟻処理木材との接触部⁴⁾、床下等⁵⁾である。
- ・ 屋外と屋内の腐食速度の比率は 1/8 とされている⁶⁾。
- ・ 亜鉛めっきの限界状態はめっき付着量の 90%が消失した時点とされている⁶⁾。
- ・ 釘の一面せん断耐力は発錆初期にいったん増加し、さらに錆が進行すると減少していく。
- ・ 合板耐力壁釘接合部の劣化時性能実験⁷⁾に基いて限界残存重量を設定し、高温高湿暴露による促進試験と木造住宅試験棟躯体内の環境測定結果をアイリングモデルに適用して寿命予測を行った結果、寿命は約 230 年と推定された⁸⁾。
- ・ 平成 21 年国土交通省告示第 209 号では、長期使用構造等とするための措置として、例えば、一般部に使用される厚さ 2.3mm 以上の鋼材の表面処理は、Z45 もしくは Z60 の溶融亜鉛めっきが必要とされている。
- ・ 現在流通している木造住宅接合金物の表面処理の中で最も高い同等性評価を受けているものは、プレめっき鋼板では Zn+Mg 合金めっき (HDZ55 同等) Ep-Fe/Zn8/CM2C である。
- ・ Eurocode5 では、接合金物類の形態および寸法ごと、使用環境ごとに防錆処理基準を定めている。
- ・ Eurocode5における接合金物類の使用環境はサービスクラス 1～3に分類されている⁹⁾。サービスクラス 1 は「屋内のような乾燥した環境」、サービスクラス 2 は「直接雨に曝されない屋外環境あるいは多湿な屋内環境」、サービスクラス 3 は「直接雨に曝される屋外環境」である。

特に保存処理木材との接触安全性検証実験では以下の知見が得られた。

- ・ ACQ、CUAZ-2、CUAZ-3 の腐食性が高い傾向が見られた。
- ・ その他加圧注入材、バイマツ未処理材の腐食性も高い傾向が見られた。
- ・ 屋外暴露実験において、表面処理薬剤の腐食性は低い傾向であった。

- ・ 湿潤実験、高湿実験においては、鋼板表面処理の種類によっては、表面処理薬剤に対してもある程度腐食が進行した。屋外暴露実験においては、表面処理薬剤が溶脱している可能性がある
- ・ 電気亜鉛めっき＋有機皮膜、Z27＋カチオン電着塗装の防錆性が高い傾向が見られた。
- ・ 横浜、つくば、宇治はほぼ同じ傾向であった。旭川は現在のところ腐食性が低い傾向であった。

また、画像解析による腐食量評価では、以下の成果と課題を得た。

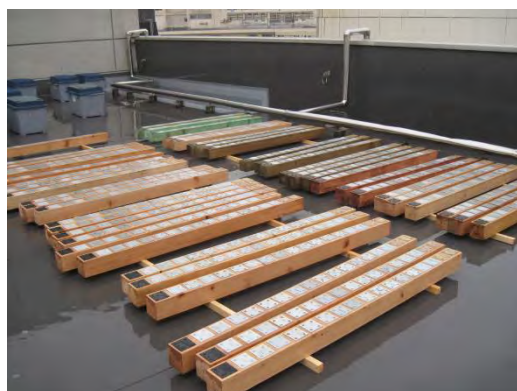
- ・ 目視評価は一定の精度を有することが確認できたが、目視評価 4 は赤錆面積を過小評価しがちである
- ・ 今回実施した画像解析方法では、赤みがかった色に変色した部分、鋼板に付着した木材片、鋼板の孔の影、黒色に近い赤錆等の判別が困難である。
- ・ 劣化度 4 程度まで発錆した釘は、発生していない釘に比べ、引抜耐力が高い。
- ・ 木ねじは劣化度 2 程度まで発錆しても引抜耐力が変わらない。

8.2 保存処理木材との接触時安全性検証実験

8.2.1 実験概要

実験は、既往の研究⁴⁾を参考として、各種保存処理木材に各種表面処理鋼板を取り付けた状態で屋外暴露および高湿空間暴露し、数ヶ月おきに接触面の発錆状況を観察評価することによって行った。屋外暴露実験は神奈川、つくば、京都、旭川の4箇所で実施した。なお、高湿空間暴露については以下の2種の実験を実施した。すなわち、底部に水を張ったコンテナ内に、鋼板を取り付けた木材の木口部分を浸すように設置し、コンテナを屋外暴露する実験（以下、「湿潤実験」と呼ぶ）と、鋼板をはさんだ木材を温湿度をコントロールしたデシケータ内に静置する実験（以下、「高湿実験」と呼ぶ）である。湿潤実験は神奈川で、高湿実験はつくばで実施した。なお、屋外暴露実験はEurocode5におけるサービスクラス3、湿潤実験および高湿実験はサービスクラス2に対応していると言える。また、温湿度および飛来海塩粒子量の測定を実施した。

平成24年度からこれに加え、Eurocode5におけるサービスクラス1に対応する実験として、屋内暴露実験を開始した。概要を図8.2.1に、試験条件、試験地、観察スケジュールをそれぞれ表8.2.1～3に示す。



屋外暴露実験



湿潤実験



高湿実験



屋内暴露実験

図 8.2.1 実験概要

表 8.2.1 試験条件

試験種別	温度	湿度	備考
屋外暴露	なりゆき	なりゆき	雨がかりあり
湿潤暴露	なりゆき	100%RH	木材端部浸水
高湿暴露	40℃	約 96%RH	
屋内暴露	なりゆき	約 75%RH	

表 8.2.2 試験地一覧

試験場所		試験内容
横浜	関東学院大学工学本館屋上	屋外暴露・湿潤暴露
つくば	住友林業株式会社 筑波研究所屋上	屋外暴露・高湿暴露
宇治	京大大学生存圏研究所	屋外暴露
旭川	北海道立総合研究機構 林産試験場	屋外暴露
春日井	中部大学 18 号館屋内	屋内暴露

表 8.2.3 観察スケジュール

試験地	種別	start	8 週	12 週	24 週	1 年	1.5 年	2 年	3 年	4 年
横浜	屋外	10/10/20	10/12/15	11/01/12	11/04/14	11/10/20	12/06/01	12/08/22	14/01/23	15/02/02
つくば		10/10/18	10/12/08	11/01/06	11/04/04	11/10/18	12/05/26	12/08/31	14/01/24	15/02/03
宇治		10/10/26	10/12/22	11/01/23	11/04/23	11/11/16	12/07/06	12/09/14	14/01/09	14/12/08
旭川		10/11/12	11/01/07	11/02/10	11/04/28	11/11/18	12/06/02	12/08/20	14/02/03	14/11/21
横浜	湿潤	10/10/12	10/12/15	11/01/12	11/04/14	11/10/20	12/06/01	12/08/22	14/01/23	15/02/02
つくば	高湿	10/12/10	11/02/04	11/03/07	11/06/22	11/12/09	12/06/02	12/10/12	14/01/24	15/02/03
春日井	屋内	12/09/14	-	12/12/14	13/11/18	14/11/16				

8.2.2 試験体仕様

木材の保存処理仕様を 8.2.4 に、鋼板の表面処理仕様を表 8.2.5 に示す。山田の研究¹⁾においては、屋外暴露実験および湿潤実験では加圧注入処理剤が、高湿実験では表面処理剤が用いられているが、本実験では加圧注入処理剤および表面処理剤を同時に屋外暴露実験および湿潤実験に供することとした。試験体種類は山田の研究を参考に、以下の木材保存処理仕様を追加した。すなわち、樹種による腐食性の違いを検証するためのベイマツ未処理材、有効成分が同一である表面処理剤において、油剤か乳剤かによる腐食性の違いを検証するための、エトフェンプロックスを有効成分とする油剤および乳剤、および海外で広く使用されているホウ酸処理材である。また同様に、以下の鋼板表面処理仕様を追加した。すなわち、鉄骨造における長期使用構造基準（平成 21 年国土交通省告示第 209 号、長期使用構造等とするための措置）における 2.3mm 以上の鋼板に要求される Z60 および両面付着量 450g/m²の溶融亜鉛めっき（HDZ23 と呼ぶ）、近年注目されている複合処理 2 種、および防錆処理の技術評価で同等性指標として用いられることの多い HDZ35 である。また、高湿実験では、試験装置容積の制約から、これらのうちから数種類ずつを抜粋して実施することとした。抜粋するに当たり、木材保存処理では既往の研究から腐食性が高いと思われるものと低いと思われるものおよび追加仕様、鋼板表面処理では既往の研究から防錆性が高いと思われる複合処理および一般的でありベンチマークとなる亜鉛めっきを選択することとした。なお、Zn5Cr6 は膜厚 5 μ m、6 価クロメート処理の電気亜鉛めっきを表す。屋内暴露実験では、鋼板仕様としてさらに、複合処理 1 種、ステンレス 2 種を追加した。

屋外暴露実験および湿潤実験においては、試験体木材に対し、鋼板試験体をねじ留めした。試験体作製時および観察後の再取付時のねじ留めは全て熟練工が行った。ねじは異種金属接触腐食を避けるため、できる限り同種の表面処理のものを用意した。亜鉛めっき鋼板（Z27、Z60）および Zn+Mg 合金めっき鋼板に用いるねじは極力付着量の多い電気亜鉛めっきとして Zn20Cr6 を用いた。溶融亜鉛めっき（HDZ-A、HDZ23、HDZ35）ではねじのビット穴に液だまりが生じてしまうため、同様に Zn20Cr6 のねじを用いた。Z27+カチオン電着塗装に関しては上記と同様 Zn20Cr6+カチオン電着塗装のねじを用いた。鋼板とねじの組み合わせを表 8.2.6 に示す。

高湿実験および屋内暴露実験においては、試験体木材で鋼板をはさみ、輪ゴムでくくった。

試験体の繰り返し数は 3 とした。

HDZ23 を木材に接触させない状態で試験に供し、これを標準試験体とした。

屋外暴露実験、湿潤実験、高湿実験および屋内暴露実験の試験体図をそれぞれ図 8.2.2～4 に示す。

表 8.2.4 木材保存処理仕様

表記記号	名称	区分
1	AAC	加圧注入
2	SAAC	加圧注入
3	BAAC	加圧注入
4	ACQ	加圧注入
5	CUAZ-2	加圧注入
6	CUAZ-3	加圧注入
7	AZN	加圧注入
8	ナフテン酸銅	表面処理
9	チアメトキサムほか	表面処理
10	ジノテフランほか	表面処理
11	ビフェントリンほか	表面処理
12	エトフェンプロックス乳剤	表面処理
13	エトフェンプロックス油剤	表面処理
14	ホウ酸	加圧注入
15	未処理材(ベイマツ)	未処理材
16	未処理材(ベイツガ)	未処理材

表 8.2.5 鋼板表面処理仕様

表記記号	名称	区分
A	Zn5Cr6	亜鉛めっき
B	Zn8Cr6	
C	Zn5Cr3	
D	Zn8Cr3	
E	Z27	
F	HDZ-A	
G	HDZ23	
H	Z60	
I	HDZ35	
J	Zn+Al焼付塗装1	亜鉛合金めっき
K	Zn+Al焼付塗装2	
L	Zn+Sn合金めっき	
M	Zn+Mg合金めっき1	
N	Zn+Mg合金めっき2	
O	電気亜鉛めっき+被膜1	複合処理
P	電気亜鉛めっき+被膜2	
Q	電気亜鉛めっき+被膜3	
R	Z27+カチオン電着塗装	
S	Zn+Al焼付塗装+被膜4	
T	SUS304	ステンレス
U	SUS430	

※網掛けは高湿実験に供する試験体仕様

※S、T、U は屋内暴露実験のみ

表 8.2.6 鋼板とねじの組み合わせ

ねじの表面処理			鋼板の表面処理																		
	表記記号	商品名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
	A	Zn5Cr6	○																		
	B	Zn8Cr6		○																	
	C	Zn5Cr3			○																
	D	Zn8Cr3				○															
	E	Z27																			
	F	HDZ-A																			
	G	HDZ23																			
	H	Z60																			
	I	HDZ35																			
	J	Zn+Al焼付塗装1										○									
	K	Zn+Al焼付塗装2											○								
	L	Zn+Sn合金めっき												○							
	M	Zn+Mg合金めっき1																			
	N	Zn+Mg合金めっき2																			
	O	電気亜鉛めっき+皮膜1																○			
	P	電気亜鉛めっき+皮膜2																	○		
	Q	電気亜鉛めっき+皮膜3																		○	
	R	Z27+カチオン電着塗装																			
-	Zn20Cr6					○	○	○	○	○				○	○						
-	Zn20Cr6+カチオン電着塗装																		○		

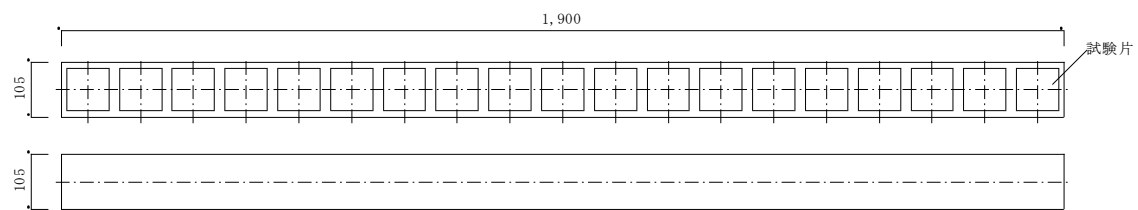


図 8.2.2 屋外暴露実験 試験体図

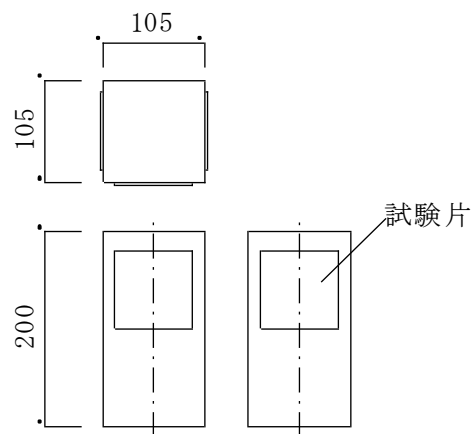


図 8.2.3 湿潤実験 試験体図

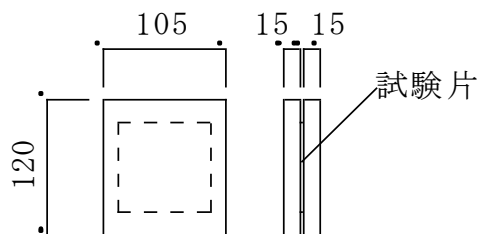


図 8.2.4 高湿実験・屋内暴露実験 試験体図

8.2.3 評価方法

試験体銅板は定期的に試験体木材から取り外し、接触面の発錆状況を評価した。評価は既往の研究を参考として目視 5 段階評価で行った。評価基準を図 8.2.5 に示す。

評価点	状態	
1	変化なし	
2	変色、白錆発生	
3	微量の赤錆発生	
4	概ね30%以下の赤錆発生	
5	概ね30%以上の赤錆発生	

図 8.2.5 試験体発錆状況評価基準

8.2.4 目視評価結果

図 8.2.6～に評価結果を示す。評価は 8.2.3 の評価方法にしたがって行い、試験体数 3 体分の平均値を算出した。さらに評価結果 3.0 未満、3.0 以上 4.0 未満、4.0 以上に区分し、色分けして表示した。

屋内暴露実験では 1 年目に観察評価を行った。その結果、ナフテン酸銅処理木材に接する Zn+Mg 合金めっき鋼板にわずかな赤錆が見られたほかは、殆ど変化が見られなかった。

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	2.0	3.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.3	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
SAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	1.3	2.3	2.0	2.0	1.3	2.3	1.0	1.0
ACQ	4.0	3.0	4.3	2.7	3.0	2.3	2.3	2.3	2.7	1.7	4.0	2.7	2.0	2.7	1.3	4.7	1.0	1.0
CUAZ-2	4.3	3.0	5.0	3.3	3.0	2.7	3.3	2.0	3.3	2.7	4.0	3.7	3.0	3.0	1.0	4.7	1.0	1.0
CUAZ-3	4.7	4.3	4.3	4.0	4.7	4.0	3.0	2.0	4.0	3.3	4.0	4.0	3.3	3.7	1.0	4.3	1.0	1.0
AZN	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	1.3	1.0	2.0	1.7	1.7	1.0	2.3	1.0	1.0
ナフテン酸銅	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.7	1.0	1.7	2.0	1.7	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ジノテフランほか	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ホウ酸	1.0	1.0	1.3	1.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.3	1.0	2.0	1.3	2.0	1.0	1.3	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.7	2.0	3.3	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.7	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.3	1.0	1.0

図 8.2.6 評価結果（屋外暴露試験・横浜・8 週目）

0-G	2.0
-----	-----

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.3	2.0	3.7	2.3	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	1.5	3.3	2.0	1.7	2.0	1.7	3.0	1.5	1.0
SAAC	2.7	2.0	3.0	2.3	2.0	2.0	2.3	1.5	2.3	1.5	2.5	2.3	1.5	2.0	1.0	2.3	1.5	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.7	2.0	1.8	2.0	1.3	2.3	1.5	1.0
ACQ	5.0	3.3	5.0	3.3	3.3	3.0	2.7	2.7	2.7	3.0	4.0	2.8	2.0	3.0	1.2	5.0	1.5	1.0
CUAZ-2	4.3	3.7	5.0	4.3	3.3	2.0	3.7	2.0	3.7	3.3	5.0	3.7	3.0	3.3	1.5	5.0	1.5	1.0
CUAZ-3	5.0	4.7	5.0	5.0	4.7	4.3	3.3	2.3	4.3	3.3	4.7	4.7	4.3	4.7	1.5	5.0	1.5	1.0
AZN	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5	1.0	2.3	1.5	1.0
ナフテン酸銅	1.8	1.3	1.5	1.7	2.0	2.0	2.0	1.5	1.8	1.5	1.8	1.8	1.5	1.7	1.0	2.0	1.0	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.5	1.8	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	1.0
ジノテフランほか	1.7	1.8	2.0	1.8	1.8	2.7	2.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.3	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0	1.5	1.8	1.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.2	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.3	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
ホウ酸	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	1.5	2.0	1.2	1.5	1.8	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	3.3	2.0	3.3	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5	2.0	1.5	2.8	2.0	1.5	1.5	1.2	2.3	2.0	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.3	2.0	3.3	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5	2.0	1.2	1.5	2.0	1.5	1.5	1.3	2.3	1.5	1.0

図 8.2.7 評価結果（屋外暴露試験・横浜・12 週目）

0-G	2.0
-----	-----

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.3	2.7	4.0	3.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.7	3.0	4.3	2.0	2.0	2.0	1.7	3.7	1.5	1.0
SAAC	3.3	2.0	4.7	3.3	2.0	3.0	3.0	2.0	3.0	1.5	3.0	2.3	2.0	2.3	1.0	2.7	1.5	1.0
BAAC	2.3	2.0	3.0	2.0	2.0	2.7	2.3	2.0	2.3	2.3	2.2	2.0	2.0	2.0	1.3	3.3	1.5	1.0
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	3.7	3.3	3.0	3.7	3.0	4.7	3.3	2.7	3.7	1.5	5.0	1.5	1.0
CUAZ-2	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	3.0	4.7	3.7	5.0	4.7	4.7	4.7	1.5	5.0	1.5	1.0
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	3.0	5.0	3.3	5.0	5.0	4.3	5.0	1.5	5.0	1.5	1.0
AZN	2.0	2.0	3.3	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.7	1.5	1.5	2.0	1.5	2.0	1.0	2.3	1.5	1.0
ナフテン酸銅	2.0	1.5	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	1.0
ジノテフランほか	1.7	2.0	2.0	2.0	1.8	2.7	2.3	1.5	2.3	1.5	1.5	2.3	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	2.0	2.0	1.8	1.8	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.2	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5	2.3	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ハウ酸	1.3	1.3	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	3.3	2.0	3.7	2.7	2.0	2.3	3.0	1.8	3.0	1.5	3.2	2.0	1.5	1.8	1.2	2.7	2.0	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.3	2.0	3.7	2.0	2.0	2.3	2.3	1.8	2.0	1.5	1.5	2.0	1.5	2.0	1.3	2.3	1.5	1.0

図 8.2.8 評価結果（屋外暴露試験・横浜・24 週目）

0-G	2.0
-----	-----

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	3.0	3.3	4.7	4.3	3.0	3.3	2.3	2.7	3.0	4.0	4.7	2.7	3.0	3.0	2.3	4.3	1.5	1.5
SAAC	3.7	2.3	5.0	4.3	3.0	4.0	3.7	2.3	3.7	2.3	4.3	3.3	2.0	2.7	2.0	3.7	1.5	1.5
BAAC	3.3	3.3	4.7	4.3	2.7	4.0	3.3	2.0	3.3	3.7	4.3	2.3	2.3	2.7	2.7	4.7	1.5	1.5
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	4.3	4.0	4.7	3.7	5.0	5.0	4.7	4.7	3.0	5.0	2.5	1.5
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.5	1.5
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.0	1.5
AZN	2.3	2.0	3.3	3.3	2.0	3.0	2.7	1.8	3.0	1.5	2.5	2.3	1.8	2.0	1.0	2.3	1.5	1.5
ナフテン酸銅	3.0	2.7	3.0	3.0	2.7	2.3	2.0	2.0	2.3	1.8	3.0	2.3	2.0	2.0	1.5	2.7	1.5	1.5
チアマトキサムほか	2.7	2.0	3.3	2.7	2.0	2.7	2.3	1.5	2.7	2.5	3.0	2.0	1.8	1.5	1.3	3.3	1.5	1.2
ジノテフランほか	2.3	2.0	2.7	2.3	2.0	2.7	2.3	1.5	2.7	1.5	2.0	2.3	1.5	1.5	1.3	2.0	1.5	1.0
ビフェントリンほか	2.3	2.0	3.7	2.7	2.0	3.3	2.0	1.5	2.3	2.5	2.7	2.0	1.5	1.5	1.5	2.3	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.3	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	1.5	2.3	2.0	2.0	2.3	1.5	2.0	1.5	2.0	1.0	1.0
ハウ酸	1.5	1.5	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.3	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	3.3	2.3	4.3	3.3	2.0	3.0	3.0	1.8	3.0	3.0	4.3	2.7	2.7	1.8	1.5	4.0	2.0	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.3	2.0	3.7	2.0	2.0	2.3	2.3	1.8	2.0	2.5	2.7	2.0	2.0	2.0	1.5	2.3	2.0	1.0

図 8.2.9 評価結果（屋外暴露試験・横浜・1 年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき	Zn+Mg合 金めっき1	Zn+Mg合 金めっき2	電気亜鉛 めっき+皮 膜1	電気亜鉛 めっき+皮 膜2	電気亜鉛 めっき+皮 膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	3.3	4.0	4.7	4.3	3.0	3.3	2.7	3.0	3.3	4.0	5.0	2.7	3.0	3.0	2.7	4.3	2.0	2.0
SAAC	3.7	3.3	5.0	4.3	3.0	4.7	4.0	2.3	4.0	3.0	5.0	3.3	2.0	2.7	3.0	4.0	2.0	2.0
BAAC	3.3	3.7	4.7	4.7	3.7	4.3	3.3	2.0	3.3	3.7	4.3	2.7	2.7	3.0	3.3	5.0	2.0	2.0
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	4.7	4.0	4.7	3.7	5.0	5.0	4.7	4.7	3.3	5.0	2.7	2.0
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.7	2.0
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.3	2.0
AZN	2.3	2.3	4.0	3.3	2.3	3.3	2.7	2.0	3.3	2.7	2.7	2.7	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	1.5
ナフテン酸銅	3.0	3.0	3.3	3.3	3.0	2.3	2.3	2.0	2.3	2.7	3.0	2.3	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	1.5
チアメトキサムほか	3.0	2.3	3.3	3.0	2.0	2.7	2.7	2.0	2.7	3.0	3.3	2.3	2.0	2.0	2.7	3.3	2.0	1.7
ジノテフランほか	2.3	2.0	3.0	2.7	2.0	2.7	2.3	2.0	2.7	2.7	2.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5
ビフェントリンほか	2.3	2.0	4.0	2.7	2.0	3.3	2.0	2.0	2.0	3.0	3.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
エトフェンブロックス 乳剤	2.3	2.0	2.7	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
エトフェンブロックス 油剤	2.7	2.0	2.3	3.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.3	3.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	1.5	1.5
ハウ酸	2.7	1.8	4.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	1.5	1.5
未処理材(ペイマツ)	3.3	2.7	4.3	3.3	3.0	3.3	3.0	2.0	3.0	3.0	4.3	2.7	2.7	2.0	2.0	4.0	2.0	1.5
未処理材(ペイツガ)	3.0	2.0	3.7	2.0	2.0	2.3	2.7	2.0	2.3	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5

図 8.2.10 評価結果（屋外暴露実験・横浜・1.5年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき	Zn+Mg合 金めっき1	Zn+Mg合 金めっき2	電気亜鉛 めっき+皮 膜1	電気亜鉛 めっき+皮 膜2	電気亜鉛 めっき+皮 膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	3.3	4.0	5.0	4.7	3.0	3.7	2.7	3.0	3.7	4.0	5.0	2.7	3.0	3.0	3.3	4.3	2.3	2.0
SAAC	4.0	3.3	5.0	4.7	3.0	5.0	4.0	2.7	4.3	3.0	4.7	3.3	2.0	2.7	2.7	3.7	2.3	2.0
BAAC	4.0	3.7	4.7	4.7	3.7	4.7	3.3	3.0	3.3	3.7	4.3	2.7	2.7	3.0	3.7	5.0	2.7	2.0
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	4.3	4.0	5.0	3.7	5.0	5.0	4.7	4.7	3.3	5.0	3.0	1.8
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	1.5
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	1.5
AZN	2.7	2.7	4.3	3.7	2.3	3.3	2.7	2.0	3.0	2.7	2.7	2.7	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5
ナフテン酸銅	3.0	3.0	3.3	3.3	3.0	3.0	2.0	2.7	2.7	2.7	3.0	2.7	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	1.5
チアメトキサムほか	3.0	2.0	3.7	3.3	2.0	2.7	3.0	2.0	2.7	3.0	3.3	2.3	2.0	2.0	2.7	3.0	2.7	1.5
ジノテフランほか	2.7	2.3	3.0	2.7	2.0	2.7	2.3	2.0	2.7	2.7	2.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	1.5
ビフェントリンほか	2.3	3.0	4.0	3.0	2.0	3.3	2.0	2.0	2.3	3.0	3.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	1.0	1.5
エトフェンブロックス 乳剤	2.3	2.0	2.7	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	3.3	2.0	2.3	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.3	3.0	2.7	2.3	2.0	2.0	2.0	3.0	1.0	1.0
ハウ酸	3.0	1.8	4.3	3.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマツ)	3.3	2.7	4.3	3.7	3.0	3.3	3.0	2.3	3.3	3.0	4.3	2.7	2.7	2.0	2.0	3.3	2.7	1.2
未処理材(ペイツガ)	2.3	2.3	3.7	2.0	2.0	2.3	2.7	2.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	1.2

図 8.2.11 評価結果（屋外暴露実験・横浜・2年目）

0-G	2.0
-----	-----

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC				5.0	3.3	4.3	3.0	3.3	4.0			3.3	3.0	3.0	4.0		3.3	1.0
SAAC				5.0	3.7	5.0	4.7	4.0	4.0			3.3	2.0	2.7	3.0		2.3	1.0
BAAC				5.0	3.7	5.0	4.0	3.3	4.0			2.7	3.0	2.7	4.0		4.0	1.0
ACQ				5.0	5.0	4.3	4.7	4.3	4.7			5.0	4.7	4.3	3.3		3.0	1.0
CUAZ-2				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0	5.0	3.7		3.0	2.3
CUAZ-3				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0	5.0	4.0		3.0	1.0
AZN				4.0	3.0	4.0	3.0	2.7	3.0			3.3	2.0	2.0	1.7		1.0	1.0
ナフテン酸銅				4.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.3			2.3	2.0	3.0	2.3		1.0	1.3
チアメトキサムほか				3.7	2.0	3.3	3.3	1.8	3.3			2.7	2.0	1.7	2.3		1.7	1.0
ジノテフランほか				2.7	2.0	3.3	3.3	1.7	3.3			2.7	1.0	1.7	1.0		1.0	1.0
ビフェントリンほか				2.7	2.7	3.0	2.0	1.5	2.0			3.0	1.0	1.3	1.0		1.0	1.0
エトフェンプロックス乳剤				3.7	3.0	3.7	2.0	1.7	2.7			2.3	1.3	1.0	2.3		1.0	1.3
エトフェンプロックス油剤				2.3	3.0	3.0	2.3	2.3	3.3			3.0	2.0	2.0	1.3		1.0	1.7
ホウ酸				2.3	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0			2.7	1.7	2.0	3.0		1.0	1.0
未処理材(ペイマツ)				3.7	3.3	3.3	3.3	3.0	3.7			2.3	2.0	2.0	1.7		2.3	1.0
未処理材(ペイツガ)				2.3	2.3	3.3	4.0	2.3	3.3			2.7	1.0	1.7	1.0		1.3	1.0

図 8.2.12 評価結果（屋外暴露実験・横浜・4年目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
SAAC	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.3	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ACQ	4.0	3.0	4.0	3.3	2.7	2.3	2.0	2.0	2.3	1.7	4.0	3.0	2.3	2.7	1.0	4.3	2.0	1.0
CUAZ-2	4.0	3.3	4.0	4.0	3.7	2.7	2.7	2.0	3.0	1.7	4.0	3.0	2.7	3.7	1.0	4.3	1.0	1.0
CUAZ-3	4.0	3.7	4.0	3.7	3.7	4.0	3.3	2.3	3.7	2.3	4.0	3.3	2.0	4.0	2.0	5.0	1.0	1.0
AZN	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.3	2.0	1.0	2.3	1.0	1.0
ナフテン酸銅	1.7	1.7	1.7	2.0	1.0	2.0	1.7	1.0	1.3	1.0	1.0	1.7	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.7	1.0	1.7	1.0	2.0	1.0	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.3	1.0	1.3	1.0	2.0	1.0	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	2.0	2.0	1.7	1.3	2.0	2.0	1.0	1.7	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.7	1.0	1.7	1.0	2.0	1.0	1.0
ハウ酸	1.0	1.3	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.7	2.0	1.0	1.7	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.7	2.0	3.0	2.0	2.0	2.7	2.0	1.0	2.0	1.3	2.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.0	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0

図 8.2.13 評価結果（屋外暴露試験・つくば・8 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.3	3.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
SAAC	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	1.5	2.0	1.2	2.0	1.5	1.0
ACQ	5.0	3.7	5.0	4.7	3.7	2.7	2.0	2.0	2.0	3.3	5.0	4.0	4.0	4.0	1.3	5.0	1.5	1.0
CUAZ-2	5.0	4.0	5.0	5.0	4.3	3.3	3.3	2.0	3.7	3.0	5.0	4.7	3.7	4.3	1.5	5.0	1.5	1.0
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	4.7	4.7	4.3	4.3	2.7	4.7	2.7	5.0	5.0	3.7	4.7	1.5	5.0	1.5	1.0
AZN	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.7	2.0	1.8	2.0	1.0	2.3	1.5	1.0
ナフテン酸銅	1.3	1.0	1.3	1.5	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.7	2.7	1.5	1.5	1.0	2.0	1.3	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.3	1.0	1.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	1.8	1.8	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.0	2.0	1.5	1.5	1.2	2.0	1.5	1.0
エトフェンブロックス 油剤	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	1.0
ハウ酸	1.2	1.2	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.3	1.5	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	3.0	2.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	3.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.5	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	1.0

図 8.2.14 評価結果（屋外暴露試験・つくば・12 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	3.0	2.3	3.7	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	4.0	2.0	2.0	2.0	1.0	3.0	1.5	1.0
SAAC	2.7	2.0	4.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	1.3	4.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.5	1.0
BAAC	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.7	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	1.2	2.3	1.5	1.0
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	3.7	3.0	2.0	3.0	3.7	5.0	5.0	4.7	5.0	1.5	5.0	1.5	1.0
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	4.3	3.3	4.7	3.0	5.0	5.0	4.3	5.0	2.0	5.0	1.5	1.0
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	5.0	5.0	4.3	5.0	2.0	5.0	1.5	1.0
AZN	2.0	2.0	4.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.3	2.0	1.8	2.0	1.0	2.7	1.5	1.0
ナフテン酸銅	1.3	1.2	1.8	1.5	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5	2.0	1.0	1.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	3.0	2.0	1.5	3.0	1.0	1.7	3.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.3	1.0
ビフェントリンほか	2.3	2.0	2.3	2.0	2.0	2.7	2.0	1.5	2.3	1.0	1.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	1.8	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.0	2.0	1.5	2.0	1.2	2.0	1.5	1.0
エトフェンブロックス 油剤	1.8	1.8	2.2	2.0	2.0	2.7	2.3	1.5	2.7	1.0	1.7	2.3	1.5	1.8	1.0	2.0	1.5	1.0
ハウ酸	1.3	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	1.3	1.5	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	3.7	2.3	4.7	3.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	2.3	2.0	2.0	1.0	3.3	1.5	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.5	2.0	1.8	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0

図 8.2.15 評価結果（屋外暴露試験・つくば・24 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	4.0	4.3	5.0	5.0	4.7	4.0	2.7	3.0	3.3	4.0	5.0	2.7	2.3	3.7	3.0	3.7	1.5	1.0
SAAC	4.0	4.7	5.0	5.0	3.7	5.0	3.3	2.3	4.0	3.0	5.0	2.3	2.3	2.7	2.3	4.0	1.5	1.0
BAAC	3.3	2.3	4.0	4.3	2.7	4.7	3.3	2.3	3.3	3.3	4.3	2.7	2.0	2.0	2.0	3.3	1.5	1.0
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	1.5	1.2
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.0	1.5
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.0	1.5
AZN	2.7	2.7	4.7	3.7	3.3	3.7	2.7	2.3	2.7	3.3	3.7	2.7	2.0	2.0	1.5	3.7	1.5	1.0
ナフテン酸銅	2.5	2.0	2.7	2.5	2.3	2.0	2.3	2.0	2.3	2.3	2.0	2.3	2.0	2.3	1.5	2.7	1.5	1.0
チアマトキサムほか	2.3	2.0	4.0	3.7	2.0	3.7	2.0	1.8	2.7	2.7	3.3	2.0	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.3
ジノテフランほか	2.3	2.0	3.0	2.7	3.0	3.7	3.3	2.3	3.3	2.7	3.0	3.3	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.2
ビフェントリンほか	2.3	2.3	3.7	3.0	2.3	3.3	3.0	1.8	2.3	2.3	3.0	2.0	2.0	2.0	1.5	3.3	1.5	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	1.8	2.0	2.7	1.8	2.0	2.7	2.0	1.7	2.0	2.3	2.7	2.0	2.0	2.0	1.5	3.3	1.5	1.0
エトフェンブロックス 油剤	1.8	1.8	2.2	2.0	2.3	3.0	2.7	1.7	3.0	2.3	2.5	2.3	1.8	1.8	1.5	2.0	1.5	1.0
ハウ酸	1.8	1.8	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	4.3	4.0	5.0	4.0	3.3	4.3	3.0	2.7	2.7	4.3	5.0	3.0	2.7	3.0	2.5	4.3	2.0	1.3
未処理材(ペイン ガ)	2.3	2.0	3.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	3.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.0

図 8.2.16 評価結果（屋外暴露試験・つくば・1 年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC	4.0	4.3	5.0	5.0	4.7	4.0	2.7	3.0	3.3	4.0	5.0	2.7	2.3	3.7	3.0	3.7	1.5	1.0
SAAC	4.0	4.7	5.0	5.0	3.7	5.0	3.3	2.3	4.0	3.0	5.0	2.3	2.3	2.7	2.3	4.0	1.5	1.0
BAAC	3.3	2.3	4.0	4.3	2.7	4.7	3.3	2.3	3.3	3.3	4.3	2.7	2.0	2.0	2.0	3.3	1.5	1.0
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	1.5	1.2
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.0	1.5
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.0	1.5
AZN	2.7	2.7	4.7	3.7	3.3	3.7	2.7	2.3	2.7	3.3	3.7	2.7	2.0	2.0	1.5	3.7	1.5	1.0
ナフテン酸銅	2.5	2.0	2.7	2.5	2.3	2.0	2.3	2.0	2.3	2.3	2.0	2.3	2.0	2.3	1.5	2.7	1.5	1.0
チアマトキサムほか	2.3	2.0	4.0	3.7	2.0	3.7	2.0	1.8	2.7	2.7	3.3	2.0	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.3
ジノテフランほか	2.3	2.0	3.0	2.7	3.0	3.7	3.3	2.3	3.3	2.7	3.0	3.3	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.2
ビフェントリンほか	2.3	2.3	3.7	3.0	2.3	3.3	3.0	1.8	2.3	2.3	3.0	2.0	2.0	2.0	1.5	3.3	1.5	1.0
エトフェンブロックス乳剤	1.8	2.0	2.7	1.8	2.0	2.7	2.0	1.7	2.0	2.3	2.7	2.0	2.0	2.0	1.5	3.3	1.5	1.0
エトフェンブロックス油剤	1.8	1.8	2.2	2.0	2.3	3.0	2.7	1.7	3.0	2.3	2.5	2.3	1.8	1.8	1.5	2.0	1.5	1.0
ハウ酸	1.8	1.8	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.0
未処理材(ペイマツ)	4.3	4.0	5.0	4.0	3.3	4.3	3.0	2.7	2.7	4.3	5.0	3.0	2.7	3.0	2.5	4.3	2.0	1.3
未処理材(ペイツガ)	2.3	2.0	3.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	3.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.0

図 8.2.17 評価結果（屋外暴露実験・つくば・1.5 年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC	4.0	4.3	5.0	5.0	4.7	4.7	3.3	3.3	4.3	4.3	5.0	3.0	2.3	3.7	4.7	3.7	2.7	1.5
SAAC	4.0	5.0	5.0	5.0	4.0	5.0	4.3	3.0	4.7	3.7	5.0	3.0	2.7	3.3	3.0	4.3	2.0	1.3
BAAC	3.3	3.0	4.3	4.3	3.0	5.0	3.7	3.0	4.3	3.7	5.0	3.0	2.0	2.3	3.0	4.3	2.7	1.5
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	1.7
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	3.0	1.5
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	1.5
AZN	3.0	3.0	5.0	3.7	3.3	5.0	3.3	2.3	3.3	3.7	3.7	3.0	2.0	2.0	3.0	4.3	2.3	1.5
ナフテン酸銅	2.7	2.3	3.0	3.0	3.3	2.7	3.3	2.3	2.7	2.3	2.3	3.3	2.0	2.3	2.3	3.3	2.0	1.5
チアマトキサムほか	3.0	3.0	5.0	3.7	2.7	4.3	2.7	2.0	2.7	3.0	3.7	2.0	2.0	2.0	2.7	3.3	3.0	1.7
ジノテフランほか	3.0	3.0	4.0	3.0	3.7	3.7	3.7	2.7	3.7	3.0	3.0	3.3	2.0	2.0	2.7	3.3	2.3	1.7
ビフェントリンほか	2.7	3.0	4.0	3.0	2.3	3.7	3.3	2.0	2.7	3.0	3.7	2.0	2.0	2.0	2.3	3.7	2.0	1.5
エトフェンブロックス乳剤	2.3	2.3	3.3	2.7	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.7	2.0	2.0	2.0	2.3	3.3	2.0	1.5
エトフェンブロックス油剤	2.3	2.3	3.3	2.7	2.3	3.0	2.7	2.0	3.0	2.7	2.7	2.7	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5
ハウ酸	3.0	2.7	3.7	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	1.5
未処理材(ペイマツ)	4.7	4.3	5.0	4.0	4.0	5.0	4.0	3.7	3.3	4.3	5.0	3.0	2.7	3.0	3.0	4.7	3.0	1.8
未処理材(ペイツガ)	2.7	2.0	3.3	2.7	2.3	3.0	2.0	2.0	2.3	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	1.5

図 8.2.18 評価結果（屋外暴露実験・つくば・2 年目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC				4.0	4.7	2.7	3.0	3.0	5.0			3.7	2.3	3.7	4.0		3.0	2.0
SAAC				4.3	3.3	3.0	3.3	3.0	5.0			4.0	2.7	4.0	3.0		2.0	2.0
BAAC				5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.3			4.7	2.0	2.0	3.0		3.0	2.0
ACQ				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0			5.0	5.0	5.0	3.0		2.0	2.0
CUAZ-2				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0			5.0	5.0	5.0	3.0		3.0	2.0
CUAZ-3				5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	3.0			5.0	5.0	5.0	3.0		3.0	2.0
AZN				3.7	3.0	3.0	3.0	2.0	2.3			2.7	2.0	3.0	2.7		2.0	2.0
ナフテン酸銅				3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.3			2.3	2.0	2.0	2.0		2.3	2.0
チアマトキサムほか				3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.7			2.3	2.3	2.0	2.0		3.0	2.0
ジノテフランほか				3.0	3.0	3.0	3.0	2.3	2.0			3.0	2.0	2.0	2.3		3.0	2.0
ビフェントリンほか				2.7	3.0	2.0	2.7	2.3	2.3			2.3	2.0	2.0	2.7		2.0	2.0
エトフェンブロックス乳剤				3.0	3.0	2.3	2.0	3.0	2.0			2.0	2.0	2.0	3.0		2.0	2.0
エトフェンブロックス油剤				2.7	2.3	2.0	2.3	2.3	2.3			2.3	2.0	2.0	2.0		2.0	2.0
ホウ酸				3.0	2.3	2.3	2.0	3.0	2.0			2.7	3.0	3.0	2.0		2.0	2.0
未処理材(ペイマツ)				2.3	3.3	3.0	3.3	3.0	2.0			3.0	3.0	3.0	2.7		2.0	2.0
未処理材(ペイツガ)				3.0	2.0	2.3	2.3	4.0	2.0			2.0	2.0	2.0	3.0		2.0	2.0

図 8.2.19 評価結果（屋外暴露実験・つくば・3年目）

0-G	2.0
-----	-----

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC				5.0	4.7	2.7	3.3	3.3	4.0				2.0	3.7	5.0		3.3	1.0
SAAC				5.0	4.3	3.0	3.3	2.3	4.0				2.7	2.7	3.3		3.0	1.0
BAAC				4.7	3.3	3.0	3.0	2.0	4.0				2.3	2.0	3.3		2.7	1.0
ACQ				5.0	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0				5.0	5.0	3.0		3.0	1.0
CUAZ-2				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0				5.0	5.0	3.7		3.0	1.0
CUAZ-3				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0				5.0	5.0	3.0		3.0	1.0
AZN				4.7	3.3	3.0	3.0	2.3	3.7				2.0	2.0	3.0		1.7	1.0
ナフテン酸銅				3.3	3.3	4.0	3.3	2.7	3.3				2.7	2.3	3.0		3.0	1.0
チアマトキサムほか				3.7	2.7	2.3	2.3	1.0	2.7				1.7	2.3	1.7		3.0	1.0
ジノテフランほか				3.3	4.0	3.3	3.3	2.7	3.3				1.7	2.7	3.0		3.0	1.0
ビフェントリンほか				4.0	2.3	2.0	3.0	2.0	2.3				1.7	1.0	3.0		3.0	1.0
エトフェンブロックス乳剤				2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0				1.3	1.0	3.0		1.0	1.0
エトフェンブロックス油剤				2.7	2.7	2.3	2.3	1.0	2.7				1.3	1.0	1.0		1.7	1.0
ホウ酸				3.0	2.0	2.3	2.0	1.3	2.0				3.0	2.0	1.7		1.7	1.0
未処理材(ペイマツ)				4.3	3.7	3.0	4.3	3.3	3.3				2.3	2.0	3.0		3.0	1.0
未処理材(ペイツガ)				2.3	2.0	2.0	2.0	1.3	2.7				2.0	1.0	3.0		1.7	1.0

図 8.2.20 評価結果（屋外暴露実験・つくば・4年目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.3	2.0	1.0
SAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	2.0	1.0
ACQ	4.0	2.3	4.3	3.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.3	2.3	4.0	2.3	2.0	2.0	1.0	4.0	2.0	1.0
CUAZ-2	4.3	3.0	5.0	3.7	3.3	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	4.3	4.0	3.0	3.0	1.7	5.0	1.3	1.0
CUAZ-3	4.3	3.0	4.7	4.3	4.3	3.7	3.7	2.0	3.7	3.3	4.3	3.7	3.3	3.7	2.0	4.7	2.0	1.0
AZN	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ナフテン酸銅	1.0	1.0	2.0	1.7	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.7	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.7	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.3	2.0	1.3	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.7	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	1.7	1.3	2.0	1.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.7	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	1.7	1.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.7	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ホウ酸	1.3	1.0	1.7	1.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.7	1.0	1.7	1.0	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.3	2.0	4.0	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	1.0	3.3	1.7	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	1.3	1.3	1.0	2.0	1.3	1.0

図 8.2.21 評価結果（屋外暴露試験・宇治・8 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.5	1.0
SAAC	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.2	1.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.3	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	3.0	1.5	1.0
ACQ	4.7	2.7	5.0	3.7	2.7	2.3	2.3	2.0	2.3	3.0	4.0	3.0	2.0	3.0	1.5	5.0	1.8	1.0
CUAZ-2	4.7	3.7	5.0	4.3	3.7	4.0	2.7	2.0	3.3	2.0	4.3	4.3	3.0	3.7	1.5	5.0	2.0	1.0
CUAZ-3	4.7	3.7	4.7	4.3	4.3	4.3	4.3	2.3	4.3	3.3	4.7	4.0	4.0	4.0	1.7	5.0	2.3	1.0
AZN	2.0	1.8	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.3	1.5	2.0	2.0	2.0	1.0	2.3	1.5	1.0
ナフテン酸銅	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	1.7	1.5	2.0	1.0	1.5	1.8	1.5	1.5	1.5	1.8	1.5	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.5	1.7	1.5	2.0	1.0	2.3	1.0	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.3	1.5	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	1.0	2.0	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	1.7	1.7	1.7	1.5	1.5	2.0	1.8	1.0	2.0	1.0	1.5	1.8	1.5	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	1.7	1.7	2.2	1.8	1.7	2.0	2.0	1.2	2.0	1.2	1.5	2.0	1.7	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ホウ酸	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.8	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.7	2.0	4.0	2.7	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	1.5	2.3	1.8	2.0	2.0	1.0	4.0	1.8	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.0	2.0	2.0	1.7	1.7	2.0	2.0	1.5	2.0	1.3	1.5	1.8	1.8	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0

図 8.2.22 評価結果（屋外暴露試験・宇治・12 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.7	2.0	3.7	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	3.7	2.3	2.0	2.0	1.0	3.3	1.5	1.0
SAAC	2.0	2.0	3.0	2.3	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	1.5	3.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.5	1.0
BAAC	2.0	2.0	3.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.7	2.0	2.0	2.0	1.0	3.0	1.5	1.0
ACQ	5.0	4.3	5.0	5.0	4.0	3.7	4.0	2.3	3.0	3.3	4.7	3.7	4.0	3.7	1.7	5.0	1.8	1.0
CUAZ-2	5.0	3.7	5.0	5.0	4.7	5.0	3.7	3.3	4.7	3.0	4.7	5.0	4.3	5.0	2.0	5.0	2.5	1.0
CUAZ-3	4.7	4.3	5.0	5.0	4.7	4.7	4.3	3.7	5.0	3.0	5.0	4.3	4.3	4.3	2.3	5.0	2.3	1.0
AZN	2.0	2.0	3.7	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.5	1.0
ナフテン酸銅	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8	2.0	1.8	1.5	2.0	1.3	2.0	2.0	1.7	1.8	1.5	2.0	1.5	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.3	1.0	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.3	2.7	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.2	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	1.7	1.7	1.8	1.7	2.0	2.0	1.8	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	1.7	1.7	2.7	1.8	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	1.2	2.0	2.0	1.7	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ハウ酸	1.5	1.5	1.8	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	3.3	2.0	5.0	3.7	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.7	3.3	2.3	2.0	2.0	1.0	4.3	2.0	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0

図 8.2.23 評価結果（屋外暴露試験・宇治・24 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	3.3	4.3	4.7	4.7	3.3	4.7	3.0	2.3	2.3	3.7	5.0	3.3	2.0	2.3	2.3	4.7	1.5	1.5
SAAC	3.3	3.0	5.0	4.7	3.7	5.0	4.0	2.7	3.0	3.0	5.0	2.7	2.0	3.0	2.3	3.3	1.5	1.5
BAAC	3.0	3.3	4.3	4.3	3.0	4.0	2.3	2.3	3.0	4.0	4.0	2.7	2.0	2.0	2.7	4.0	1.5	1.5
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	4.7	4.3	4.3	5.0	5.0	4.7	5.0	3.0	5.0	2.3	1.5
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.7	1.5
CUAZ-3	5.0	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	4.7	4.7	4.7	3.3	5.0	2.3	1.5
AZN	2.7	2.7	4.7	3.7	3.0	3.3	3.0	2.0	2.7	3.7	3.7	2.3	2.0	2.0	1.5	3.3	2.0	1.5
ナフテン酸銅	2.0	2.0	3.0	2.5	3.0	2.7	3.0	2.0	2.7	2.3	2.0	2.7	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.2
チアマトキサムほか	2.0	2.0	3.3	2.7	2.3	4.3	2.7	2.0	4.0	3.0	2.7	2.3	1.8	2.0	1.5	3.7	1.0	1.5
ジノテフランほか	2.0	2.3	3.7	2.7	2.7	3.3	3.0	2.3	2.3	2.7	3.0	2.0	1.8	2.0	1.5	3.0	1.0	1.2
ビフェントリンほか	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	4.7	3.3	2.0	3.0	2.7	2.7	2.0	1.5	2.0	1.5	2.7	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	1.7	2.0	2.2	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.0	1.7	2.7	2.2	2.7	3.3	2.7	2.0	2.7	2.0	2.3	3.0	1.7	2.0	1.5	2.3	1.0	1.0
ハウ酸	1.5	1.7	3.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.3	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	4.3	3.0	5.0	5.0	3.0	4.3	3.0	3.0	2.3	4.0	5.0	2.7	2.0	2.0	2.0	4.7	2.7	1.3
未処理材(ペイン ガ)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.3	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.0

図 8.2.24 評価結果（屋外暴露試験・宇治・1 年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC	3.3	4.3	4.7	5.0	3.3	4.7	3.0	2.3	3.3	4.0	5.0	3.3	2.3	2.3	2.7	5.0	2.0	1.5
SAAC	3.3	3.0	5.0	5.0	3.7	5.0	4.3	2.7	4.0	3.3	5.0	3.0	2.0	3.0	2.7	4.3	2.0	1.5
BAAC	3.0	3.3	4.3	4.3	2.7	4.0	2.0	2.3	3.0	4.0	4.3	2.7	2.0	2.0	3.3	4.3	2.0	1.5
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	4.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	2.7	1.5
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	2.7	1.5
CUAZ-3	5.0	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	5.0	4.7	4.7	5.0	3.3	5.0	2.7	1.5
AZN	3.0	3.0	4.7	3.7	3.0	3.3	3.0	2.0	3.0	3.7	3.7	2.7	2.0	2.0	2.0	3.7	2.0	1.5
ナフテン酸銅	2.3	2.3	3.0	3.0	3.0	2.7	3.0	2.7	3.0	2.7	2.3	3.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	1.5
チアメトキサムほか	2.3	3.0	3.3	2.7	2.3	4.7	3.3	3.0	4.3	3.0	3.3	2.7	2.0	2.0	2.3	3.7	2.0	1.5
ジノテフランほか	2.3	2.3	3.7	2.7	2.7	3.7	3.7	2.3	2.3	3.0	3.3	2.3	2.0	2.0	2.0	3.3	2.0	1.5
ビフェントリンほか	2.0	2.0	3.0	3.3	2.0	5.0	3.3	2.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	1.5
エトフェンブロックス乳剤	1.7	2.0	2.3	2.0	2.0	3.0	2.7	2.0	2.0	2.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5
エトフェンブロックス油剤	2.0	1.7	3.7	2.3	2.7	3.3	2.7	2.3	2.7	2.7	2.3	3.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	1.5
ハウ酸	1.5	2.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	1.5
未処理材(ペイマツ)	4.3	3.7	5.0	5.0	3.0	5.0	4.0	3.0	4.0	4.3	5.0	2.7	3.0	3.0	2.0	4.7	2.0	1.5
未処理材(ペイツガ)	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.3	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5

図 8.2.25 評価結果（屋外暴露実験・宇治・1.5 年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC	3.7	4.3	4.7	5.0	4.0	5.0	3.7	3.0	3.3	4.0	5.0	3.3	2.3	2.3	3.3	5.0	2.3	2.0
SAAC	4.3	4.3	5.0	5.0	4.7	5.0	4.7	3.0	4.0	3.3	5.0	3.0	2.0	3.0	3.0	4.3	2.0	2.0
BAAC	4.0	4.0	4.7	4.7	3.7	5.0	2.0	3.0	3.0	4.3	4.3	2.7	2.0	2.3	3.3	4.3	2.7	2.0
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	4.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	3.0	1.7
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	3.0	1.7
CUAZ-3	5.0	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	5.0	5.0	4.7	5.0	3.3	5.0	3.0	1.7
AZN	3.7	3.7	4.7	4.0	3.0	4.7	3.0	3.0	3.0	3.7	4.0	2.7	8.7	2.0	2.0	3.7	2.0	1.7
ナフテン酸銅	3.0	2.7	3.0	3.0	3.0	3.7	3.0	3.0	3.0	2.7	2.3	3.3	2.0	2.0	2.0	3.0	2.7	1.5
チアメトキサムほか	2.7	3.3	4.0	4.0	2.7	4.7	3.3	3.0	4.3	3.0	3.3	2.7	2.0	2.0	3.0	4.0	3.0	1.5
ジノテフランほか	3.0	2.7	3.7	3.7	2.7	4.3	3.7	3.0	2.7	3.0	3.7	2.3	2.0	2.0	2.3	3.3	2.0	1.5
ビフェントリンほか	3.0	2.7	3.7	3.7	2.3	5.0	3.7	2.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.7	1.5
エトフェンブロックス乳剤	2.0	1.7	3.3	3.0	2.3	3.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5
エトフェンブロックス油剤	2.3	2.2	4.0	2.7	3.0	3.3	2.7	2.7	2.7	3.0	2.3	3.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	1.5
ハウ酸	3.0	3.3	4.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	1.5
未処理材(ペイマツ)	4.7	4.0	5.0	5.0	4.7	5.0	4.0	3.0	4.3	4.3	5.0	3.0	3.0	3.0	2.7	4.7	3.0	1.7
未処理材(ペイツガ)	2.0	2.0	2.3	2.7	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.3	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.5

図 8.2.26 評価結果（屋外暴露実験・宇治・2 年目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC				4.3	4.0	4.3	3.7	3.0	2.3			3.7	2.3	2.3	4.0		3.0	2.0
SAAC				4.7	4.3	4.3	4.7	3.3	2.3			3.0	2.0	3.0	3.0		2.7	2.0
BAAC				4.7	3.3	3.7	2.3	2.0	2.7			2.7	2.0	2.7	3.3		2.7	2.0
ACQ				5.0	5.0	4.3	4.7	5.0	4.0			5.0	5.0	5.0	3.3		3.0	2.0
CUAZ-2				5.0	5.0	5.0	4.7	5.0	5.0			5.0	5.0	5.0	3.3		3.0	2.0
CUAZ-3				4.7	5.0	5.0	5.0	4.7	5.0			5.0	4.7	5.0	3.7		2.7	2.3
AZN				4.0	3.0	3.3	3.0	2.0	2.0			2.7	2.0	2.0	3.0		2.7	2.0
ナフテン酸銅				3.0	3.0	3.0	3.7	2.7	2.3			3.3	2.0	2.3	2.7		2.0	2.0
チアマトキサムほか				3.3	2.0	3.3	3.3	2.0	2.7			2.7	2.0	2.0	3.0		2.7	2.0
ジノテフランほか				3.7	2.7	3.0	3.7	2.0	2.0			2.3	2.0	2.0	2.0		2.0	2.0
ビフェントリンほか				4.0	2.3	3.0	4.0	2.0	2.3			2.0	2.0	2.0	2.0		2.7	2.0
エトフェンブロックス乳剤				3.0	2.3	2.3	2.0	2.0	2.0			2.0	2.0	2.0	2.0		2.0	2.0
エトフェンブロックス油剤				3.3	2.7	2.7	2.7	2.0	2.3			3.0	2.0	2.0	2.0		2.0	2.0
ホウ酸				2.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0			2.3	2.0	2.0	2.0		2.0	2.0
未処理材(ペイマツ)				5.0	4.0	4.7	4.0	2.7	2.0			3.0	3.0	3.0	2.7		3.0	2.0
未処理材(ペイツガ)				4.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0			2.7	2.0	2.0	2.0		2.0	2.0

図 8.2.27 評価結果（屋外暴露実験・宇治・3 年目）

0-G	2.0
-----	-----

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC				4.3	3.3	5.0	3.3	2.7	3.7			4.0	2.3	3.0	4.7		4.0	2.0
SAAC				4.3	4.7	5.0	4.7	3.7	4.0			3.0	2.7	3.0	3.7		3.7	2.0
BAAC				5.0	3.0	4.7	2.0	2.7	3.3			3.0	2.3	3.0	4.3		3.7	2.0
ACQ				5.0	5.0	5.0	4.7	5.0	4.3			5.0	5.0	5.0	4.0		4.0	2.0
CUAZ-2				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0	5.0	4.3		3.3	2.0
CUAZ-3				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	4.7	5.0	4.0		3.3	1.7
AZN				3.7	3.0	5.0	3.0	2.7	3.7			3.3	2.0	3.0	3.0		3.0	1.8
ナフテン酸銅				2.7	3.3	4.0	4.3	3.3	4.0			3.7	3.0	3.0	3.0		2.3	1.5
チアマトキサムほか				3.3	2.7	4.3	3.3	3.0	4.0			3.0	1.3	3.0	3.3		3.0	1.7
ジノテフランほか				3.0	2.3	3.0	3.7	3.3	2.7			3.0	2.3	3.0	1.0		3.0	1.3
ビフェントリンほか				3.0	2.3	5.0	4.3	2.0	3.0			3.0	2.0	3.0	1.0		3.0	1.5
エトフェンブロックス乳剤				3.0	1.7	3.0	3.0	2.0	2.0			3.0	2.0	3.0	1.0		2.0	1.5
エトフェンブロックス油剤				2.7	3.0	3.3	3.0	3.3	2.7			3.3	3.0	3.0	1.0		2.0	1.5
ホウ酸				3.7	1.7	2.0	2.0	2.3	2.0			3.7	3.3	3.0	1.0		2.0	1.5
未処理材(ペイマツ)				4.7	3.3	5.0	4.0	3.3	4.0			3.3	4.0	3.0	2.3		3.7	2.0
未処理材(ペイツガ)				3.7	1.3	2.0	2.0	2.0	2.0			3.0	2.7	3.0	3.0		2.3	1.8

図 8.2.28 評価結果（屋外暴露実験・宇治・4 年目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
SAAC	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.2	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.3	1.8	1.0
ACQ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
CUAZ-2	2.7	2.0	3.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.3	2.0	2.0	2.3	1.0	2.7	1.3	1.0
CUAZ-3	2.7	2.0	3.3	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
AZN	2.7	2.0	2.0	2.3	1.7	2.0	2.0	1.5	2.0	1.2	1.5	2.0	1.2	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
ナフテン酸銅	1.5	1.5	1.7	2.0	2.0	2.0	1.3	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.8	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.7	1.2	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	1.5	1.0	2.0	1.0	1.3	2.0	1.5	1.0	1.0	1.8	1.0	1.0
ハウ酸	1.3	1.3	1.0	1.3	2.0	2.0	1.5	1.7	1.8	1.2	1.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.5	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	2.0	1.5	2.3	2.0	1.2	1.5	1.0	2.0	1.5	1.0
未処理材(ペイン ガ)	1.8	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.7	1.3	1.8	2.0	1.0	1.5	1.0	2.0	1.5	1.0

図 8.2.29 評価結果（屋外暴露試験・旭川・8 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
SAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.3	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.3	1.7	1.0
ACQ	2.7	2.0	2.7	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.8	1.0
CUAZ-2	3.0	2.7	3.7	3.7	2.3	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	4.0	2.0	2.0	3.0	1.0	3.0	1.3	1.0
CUAZ-3	3.7	2.0	4.7	3.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	3.3	2.0	2.0	2.0	1.2	3.7	1.3	1.0
AZN	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.2	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.3	1.0
ナフテン酸銅	1.7	1.7	1.8	1.8	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.3	2.0	2.0	1.5	1.8	1.0	2.0	1.3	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	1.5	1.7	1.0	2.0	2.0	1.3	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.2	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.0	1.7	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.2	1.0
ハウ酸	1.3	1.3	1.5	1.5	2.0	2.0	1.8	1.8	1.8	1.5	2.0	2.0	1.8	1.8	1.0	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.7	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.8	1.0
未処理材(ペイン ガ)	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	1.7	1.0	2.0	1.5	1.0

図 8.2.30 評価結果（屋外暴露試験・旭川・12 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0
SAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	2.0	1.0
ACQ	4.0	3.7	4.0	4.7	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.7	2.3	2.0	2.3	1.5	5.0	2.0	1.0
CUAZ-2	4.7	4.3	4.7	4.3	3.0	3.0	3.0	2.0	3.0	2.7	4.0	4.0	3.3	4.3	2.0	4.0	2.0	1.0
CUAZ-3	5.0	3.7	5.0	4.3	4.0	3.0	3.0	2.3	3.0	3.0	4.3	3.7	3.0	3.7	2.0	5.0	2.0	1.0
AZN	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.3	2.0	1.0
ナフテン酸銅	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.3	2.0	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	2.0	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	2.0	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	1.8	2.0	2.0	2.7	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	2.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	2.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.0	1.7	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	2.0	2.0	1.0
ハウ酸	2.0	1.7	1.7	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.3	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	1.2	2.0	2.0	1.2
未処理材(ペイン ガ)	1.8	1.8	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0

図 8.2.31 評価結果（屋外暴露試験・旭川・24 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	3.0	2.3	4.7	3.7	3.0	2.7	2.7	2.3	2.7	3.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.3	3.7	2.0	1.0
SAAC	2.0	2.0	3.7	2.7	2.3	3.7	2.7	2.0	3.0	3.0	3.7	2.0	2.0	2.7	2.7	3.0	2.0	1.0
BAAC	2.7	2.7	4.3	2.7	2.3	2.3	2.3	2.0	2.3	3.3	3.3	2.0	2.0	2.0	2.3	5.0	2.0	1.0
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	4.0	5.0	4.3	5.0	5.0	2.7	5.0	2.3	1.5
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.7	1.2
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	4.7	3.3	5.0	4.7	5.0	5.0	3.0	5.0	2.0	1.5
AZN	2.7	2.0	4.3	2.3	2.3	3.3	3.0	2.0	3.0	2.7	3.0	2.3	2.0	2.0	1.5	4.0	2.0	1.3
ナフテン酸銅	3.0	2.3	3.0	2.7	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.3	1.5	3.0	2.0	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.7	2.7	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	1.5	3.0	2.0	1.0
ジノテフランほか	2.7	2.7	3.0	2.0	2.3	3.0	2.7	2.0	3.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	1.5	2.7	2.3	1.5
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	3.3	3.0	2.0	2.3	2.0	3.7	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.3
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	2.0	2.7	3.3	2.0	2.7	2.3	2.0	2.0	2.3	3.3	2.0	2.0	2.0	1.5	3.7	2.0	1.2
エトフェンブロックス 油剤	2.0	1.7	2.0	1.8	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.0
ハウ酸	2.7	1.8	3.0	1.8	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.7	2.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	3.0	2.7	4.7	3.0	2.3	3.3	2.7	2.3	2.0	3.3	4.3	2.7	2.0	2.7	1.5	3.7	2.3	1.2
未処理材(ペイン ガ)	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.0

図 8.2.32 評価結果（屋外暴露試験・旭川・1 年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC	3.0	3.0	5.0	5.0	3.0	3.0	3.0	2.7	3.0	3.0	4.0	2.0	2.7	2.7	2.3	3.7	2.0	1.5
SAAC	2.0	2.3	5.0	3.0	2.7	3.7	3.3	2.0	3.7	3.0	3.7	2.7	2.7	3.0	2.7	3.3	2.0	1.5
BAAC	3.7	4.0	4.7	3.3	2.7	2.7	2.7	2.0	2.3	3.7	3.3	2.7	2.0	2.3	2.3	5.0	2.0	1.5
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	5.0	4.7	5.0	5.0	3.0	5.0	2.3	1.5
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.7	1.5
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	3.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	2.7	1.5
AZN	2.7	2.0	4.7	2.7	2.3	3.7	3.0	2.0	3.3	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	4.3	2.0	1.5
ナフテン酸銅	3.0	2.7	4.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.7	3.0	2.0	2.3	2.0	4.0	2.0	1.5
チアマトキサムほか	2.0	2.0	3.3	3.0	2.3	2.7	2.7	2.0	2.3	3.0	3.3	2.0	2.0	2.0	2.0	3.3	2.0	1.0
ジノテフランほか	2.7	2.7	3.3	3.0	2.3	3.3	2.7	2.3	3.3	3.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.3	1.5
ビフェントリンほか	2.0	2.7	4.0	3.0	2.0	3.3	3.0	2.0	2.3	3.0	3.7	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	1.3
エトフェンブロックス乳剤	2.0	2.7	4.7	3.3	2.0	3.3	2.7	2.0	2.0	3.0	3.7	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	2.0	1.2
エトフェンブロックス油剤	2.0	2.0	2.3	2.3	2.0	2.7	3.0	2.0	2.7	2.0	2.7	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0
ハウ酸	2.7	2.7	3.0	2.7	2.7	3.0	2.7	2.0	2.3	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	1.0
未処理材(ペイマツ)	3.3	3.3	5.0	4.0	3.0	3.7	2.7	2.7	3.3	3.3	4.3	2.7	2.0	2.7	2.7	4.3	2.7	1.2
未処理材(ペイツガ)	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	1.0

図 8.2.33 評価結果（屋外暴露実験・旭川・1.5年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC	3.0	3.7	5.0	4.3	3.3	4.3	3.3	2.7	3.7	3.0	4.3	2.0	2.3	2.0	2.7	3.7	2.0	1.5
SAAC	3.0	3.3	4.3	3.0	2.7	4.3	3.3	2.0	4.0	3.0	3.7	2.7	2.0	3.0	2.7	3.0	2.0	1.5
BAAC	3.7	4.0	4.7	4.3	3.0	3.0	2.7	2.3	2.7	3.7	3.3	2.7	2.0	2.0	2.7	5.0	2.0	1.5
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	5.0	4.7	5.0	5.0	3.7	5.0	2.7	1.7
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	2.7	1.5
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	3.0	1.5
AZN	2.7	2.0	4.3	2.7	2.7	4.3	4.0	2.0	3.7	2.3	3.0	3.0	2.0	2.0	1.8	4.0	2.0	1.5
ナフテン酸銅	3.0	3.0	4.0	3.7	3.7	2.3	2.3	2.3	2.3	2.0	2.3	3.0	2.7	2.3	2.0	4.0	2.0	1.5
チアマトキサムほか	2.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.7	2.7	2.0	2.3	2.7	3.0	2.0	2.0	2.0	1.5	3.0	2.0	1.5
ジノテフランほか	2.7	3.0	3.0	3.0	2.3	4.0	3.0	2.3	3.3	3.0	2.7	2.0	2.0	2.0	1.5	2.7	2.3	1.5
ビフェントリンほか	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	3.7	3.0	2.0	2.3	3.0	3.7	2.0	2.0	2.0	1.5	2.7	2.0	1.5
エトフェンブロックス乳剤	2.0	3.0	3.7	3.0	2.3	3.0	2.3	2.0	2.0	2.7	3.7	2.0	2.0	2.0	1.5	3.7	2.0	1.5
エトフェンブロックス油剤	2.0	2.3	2.3	2.2	2.0	2.7	2.0	2.0	2.7	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.5
ハウ酸	2.7	2.5	3.3	3.0	2.7	3.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.7	2.0	1.5
未処理材(ペイマツ)	3.3	3.7	5.0	3.7	3.3	4.0	3.7	2.3	4.0	3.7	4.3	2.7	2.0	2.7	2.3	3.7	2.7	1.7
未処理材(ペイツガ)	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5

図 8.2.34 評価結果（屋外暴露実験・旭川・2年目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC				5.0	3.7	4.7	3.3	3.0	2.7			3.0	2.3	2.0	3.0		2.7	2.0
SAAC				4.0	3.3	4.0	3.3	3.0	5.0			3.0	2.3	2.3	3.0		2.0	2.0
BAAC				4.7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			3.0	2.0	2.0	3.0		2.0	2.0
ACQ				5.0	4.3	5.0	5.0	4.7	3.0			4.7	5.0	2.0	3.7		2.0	2.0
CUAZ-2				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0	2.0	3.0		3.0	2.0
CUAZ-3				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			4.7	5.0	5.0	3.7		3.0	2.0
AZN				2.7	3.0	3.7	3.0	2.0	3.3			3.0	2.0	5.0	2.0		3.0	2.0
ナフテン酸銅				3.7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			3.0	3.0	5.0	2.0		2.3	2.0
チアマトキサムほか				3.0	2.3	2.3	2.7	2.0	2.7			2.3	2.0	2.0	2.0		2.3	2.0
ジノテフランほか				3.3	3.0	3.0	2.7	3.0	3.3			2.7	2.3	3.0	2.0		2.7	2.0
ビフェントリンほか				3.0	3.0	3.0	2.7	2.0	2.7			2.3	2.0	2.0	2.7		3.0	2.0
エトフェンブロックス乳剤				3.3	3.0	2.3	2.3	2.3	3.0			2.3	2.0	2.3	2.0		2.7	2.0
エトフェンブロックス油剤				2.3	2.3	2.7	2.3	2.0	3.0			2.7	2.0	2.0	2.0		2.0	2.0
ホウ酸				3.7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			3.0	2.3	2.0	2.0		2.3	2.0
未処理材(ペイマツ)				3.3	3.0	3.3	3.3	3.0	3.0			3.0	2.3	2.3	2.7		3.0	2.0
未処理材(ペイツガ)				2.3	2.0	3.0	2.3	2.3	2.7			2.3	2.0	2.0	2.0		2.0	2.0

図 8.2.35 評価結果（屋外暴露実験・旭川・3年目）

0-G	2.0
-----	-----

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC				5.0	3.7	5.0	3.3	3.0	4.0			2.7	2.0	2.0	3.7		2.7	1.0
SAAC				4.0	3.0	4.7	3.7	2.0	4.0			3.0	2.0	2.7	3.0		2.3	1.0
BAAC				5.0	3.7	3.3	3.0	3.0	2.7			2.3	2.0	2.0	3.3		2.7	1.0
ACQ				5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	5.0			4.7	5.0	4.7	4.0		3.0	2.3
CUAZ-2				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0	5.0	4.3		3.0	1.7
CUAZ-3				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			4.7	4.7	4.0	4.3		3.0	2.7
AZN				3.3	2.3	4.7	4.0	2.0	2.7			2.3	2.0	2.0	1.7		2.7	1.0
ナフテン酸銅				4.7	3.7	2.3	2.0	2.3	2.0			3.3	2.3	2.3	3.0		1.0	1.0
チアマトキサムほか				3.0	2.0	2.7	2.3	2.0	2.0			2.0	1.0	1.7	2.3		1.3	1.0
ジノテフランほか				3.3	2.3	4.0	3.0	2.0	3.0			2.3	2.0	1.7	2.0		1.7	2.0
ビフェントリンほか				3.0	2.0	3.7	2.0	1.7	2.3			2.0	1.3	1.3	2.3		3.0	1.7
エトフェンブロックス乳剤				3.7	2.3	2.7	2.0	2.0	2.0			2.3	1.0	2.0	2.0		2.0	1.0
エトフェンブロックス油剤				1.7	2.0	2.7	2.0	1.7	2.0			2.3	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0
ホウ酸				3.3	2.3	2.3	2.3	2.0	2.3			2.7	2.0	2.3	1.3		2.7	1.0
未処理材(ペイマツ)				2.7	2.3	4.0	2.7	1.7	3.0			2.7	1.0	2.3	3.0		2.7	1.0
未処理材(ペイツガ)				2.0	1.7	2.0	2.0	1.0	2.0			2.0	1.7	1.3	1.7		1.0	1.0

図 8.2.36 評価結果（屋外暴露実験・旭川・4年目）

0-G	1
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	3.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0
SAAC	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.3	2.0	1.7	2.0	1.0	2.3	2.0	1.0
ACQ	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.3	1.7	1.0
CUAZ-2	2.7	2.0	4.0	3.0	3.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	3.7	2.3	2.7	1.0	3.3	1.0	1.0
CUAZ-3	2.7	2.0	4.0	3.0	3.7	2.0	2.0	2.0	2.0	3.7	4.0	3.3	2.0	2.7	1.0	3.7	2.0	1.0
AZN	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.3	1.0
ナフテン酸銅	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.7	2.0	1.0	2.0	1.7	1.0
ビフェントリンほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.7	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.7	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.3	2.0	1.0	2.0	1.3	1.0
ハウ酸	1.7	1.0	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.3	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.7	1.0

図 8.2.37 評価結果（湿潤試験・8 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.7	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	1.5	2.3	1.8	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.0
SAAC	2.0	2.0	3.3	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.7	2.0	3.3	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.0
BAAC	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.8	1.0
ACQ	2.7	2.3	4.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	4.0	2.0	2.0	2.3	1.3	3.3	1.7	1.5
CUAZ-2	4.0	3.7	5.0	4.7	3.7	2.7	3.0	2.0	2.7	3.0	4.3	4.7	3.0	3.7	1.5	5.0	1.5	1.5
CUAZ-3	4.3	3.3	4.7	4.0	4.0	3.0	2.0	2.0	2.7	3.7	4.7	4.0	2.7	4.0	1.5	4.3	1.5	1.5
AZN	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.7	2.0	1.8	2.0	1.2	2.0	1.7	1.0
ナフテン酸銅	2.3	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.5	1.0
チアマトキサムほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	1.8	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	1.7	2.0	1.5	1.8	1.8	1.0
ビフェントリンほか	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	1.8	1.5	2.0	2.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	1.8	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	1.8	1.8	2.0	1.5	2.0	2.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.7	1.8	2.0	1.5	2.0	1.7	1.0
ハウ酸	1.5	1.5	1.5	1.7	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	1.8	1.8	1.5	1.7	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	1.8	1.8	2.7	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.3	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.0
未処理材(ペイン ガ)	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.7	1.0

図 8.2.38 評価結果（湿潤試験・12 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.7	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	1.5	2.3	1.8	2.0	2.0	1.5	2.3	1.5	1.0
SAAC	2.3	2.0	3.3	2.3	2.0	2.3	2.3	2.0	2.7	2.0	3.3	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.0
BAAC	3.3	2.3	4.3	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.7	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.8	1.0
ACQ	4.3	3.0	4.7	3.3	2.7	2.3	2.0	2.0	2.0	2.3	4.0	2.0	2.0	2.3	1.3	3.3	1.7	1.5
CUAZ-2	5.0	4.7	5.0	5.0	4.3	3.3	3.7	2.7	2.7	3.0	4.3	4.7	3.0	3.7	1.5	5.0	1.5	1.5
CUAZ-3	5.0	4.7	4.7	4.3	4.7	3.3	3.0	3.0	2.7	3.7	4.7	4.0	2.7	4.0	1.5	4.3	1.5	1.5
AZN	2.0	2.0	3.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.7	2.0	1.8	2.0	1.2	2.0	1.7	1.0
ナフテン酸銅	3.3	2.0	4.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	1.0	2.7	1.5	1.0
チアメトキサムほか	2.3	2.3	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	1.8	1.0
ジノテフランほか	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	1.7	2.0	1.5	1.8	1.8	1.0
ビフェントリンほか	2.3	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	1.8	1.5	2.0	2.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	2.0	2.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	1.8	1.8	2.0	1.5	2.0	2.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.7	1.8	2.0	1.5	2.0	1.7	1.0
ハウ酸	2.0	2.2	2.7	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	1.8	1.8	1.5	1.7	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.3	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	2.3	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.0
未処理材(ペイツ ガ)	2.3	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.7	1.0

図 8.2.39 評価結果（湿潤試験・24 週目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	4.0	4.0	5.0	4.0	3.7	3.0	2.7	3.0	2.7	3.0	3.7	2.7	2.3	2.3	2.0	4.7	1.5	1.5
SAAC	3.7	2.3	4.7	3.3	3.7	3.3	3.0	2.7	3.0	3.0	4.0	3.3	2.0	2.3	2.0	3.7	1.5	1.5
BAAC	4.7	3.7	5.0	4.7	4.3	2.0	2.3	3.3	2.7	3.7	4.0	2.0	2.0	3.3	2.0	5.0	1.8	1.5
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	4.0	3.7	3.3	4.3	4.0	5.0	4.3	4.3	4.7	3.0	5.0	3.0	3.0
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	5.0	3.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	3.0
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	4.3	3.7	4.7	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	3.0
AZN	3.7	2.3	4.3	2.7	3.0	2.7	2.3	2.0	2.3	2.7	3.0	3.0	2.0	2.0	1.5	3.0	1.7	1.5
ナフテン酸銅	5.0	3.0	5.0	4.3	3.0	3.0	2.0	2.0	3.3	3.0	3.0	3.3	3.0	3.0	1.5	4.7	1.5	1.5
チアメトキサムほか	4.3	2.7	4.3	3.0	3.0	2.3	2.3	2.0	2.0	3.0	3.3	2.0	2.3	2.3	2.2	4.7	1.8	1.5
ジノテフランほか	3.7	2.7	3.3	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.3	1.7	3.0	1.8	1.5
ビフェントリンほか	3.7	2.7	4.0	3.0	3.0	3.7	2.7	2.0	2.7	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.8	3.0	2.0	1.5
エトフェンブロックス 乳剤	3.0	2.7	4.0	3.0	3.0	3.0	2.7	2.0	2.0	3.0	2.7	2.5	1.8	2.0	1.7	2.7	2.0	1.5
エトフェンブロックス 油剤	2.7	2.7	4.3	2.7	3.0	2.7	2.0	2.0	2.7	3.0	3.3	2.3	2.0	2.0	1.5	3.3	2.0	1.5
ハウ酸	3.3	3.3	3.7	2.7	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	2.3	2.7	2.0	2.3	1.8	1.5	3.0	1.5	1.5
未処理材(ペイマ ツ)	2.3	2.0	3.3	2.0	2.7	2.0	2.3	2.0	2.0	2.7	3.0	2.7	2.0	2.0	2.0	4.0	3.0	1.5
未処理材(ペイツ ガ)	3.0	2.0	3.3	2.7	2.7	2.0	2.3	2.0	2.0	2.7	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	3.3	2.2	1.5

図 8.2.40 評価結果（湿潤試験・1 年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC	5.0	4.7	5.0	5.0	4.0	3.0	2.7	3.0	3.0	3.0	4.3	2.7	2.3	3.0	3.0	5.0	2.0	2.0
SAAC	5.0	3.3	5.0	3.7	4.0	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0	4.3	3.3	2.0	2.7	2.0	4.7	2.0	2.0
BAAC	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	2.3	2.7	3.7	2.7	3.7	5.0	2.0	2.0	3.7	2.0	5.0	2.0	2.0
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	3.0	4.0	4.7	4.0	5.0	5.0	5.0	4.7	3.0	5.0	3.0	3.0
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	3.0
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	4.7	5.0	4.7	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	3.0
AZN	4.0	3.3	5.0	3.3	3.0	2.7	2.3	2.0	2.3	3.0	3.0	3.0	2.3	2.0	2.0	3.3	2.0	2.0
ナフテン酸銅	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	3.7	3.0	3.0	3.3	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	2.7	5.0	2.0	2.0
チアメトキサムほか	4.7	4.7	5.0	4.0	3.0	2.7	2.3	3.0	2.3	3.0	3.7	2.0	2.3	2.7	2.3	4.7	2.3	2.0
ジノテフランほか	4.7	3.3	4.7	4.0	3.0	3.3	2.0	2.0	2.0	3.0	3.3	3.3	2.0	2.3	2.0	3.0	2.0	2.0
ビフェントリンほか	4.7	3.7	5.0	4.0	3.0	3.7	2.7	2.0	2.7	3.0	3.0	3.0	2.0	2.3	2.0	3.0	2.0	2.0
エトフェンブロックス乳剤	4.7	3.0	4.3	3.3	3.0	3.0	2.7	2.0	2.0	3.0	2.7	2.7	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0
エトフェンブロックス油剤	3.3	3.0	4.3	3.3	3.3	2.7	2.0	2.0	2.7	3.0	3.3	2.7	2.0	2.0	2.0	3.7	2.0	2.0
ハウ酸	3.7	4.7	4.3	3.7	3.0	2.7	2.0	2.3	2.0	2.7	3.0	2.7	2.3	3.0	2.3	3.7	2.0	2.0
未処理材(ペイマツ)	3.7	2.3	4.0	3.0	3.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.7	3.3	2.7	3.0	2.3	2.0	4.3	3.0	2.0
未処理材(ペイツガ)	3.3	2.3	4.7	4.0	3.0	2.0	2.3	2.3	2.0	2.7	2.3	2.3	2.7	2.3	2.0	3.7	2.3	2.0

図 8.2.41 評価結果（湿潤実験・1.5 年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	3.3	3.0	4.7	3.7	3.3	4.7	3.0	3.0	3.3	3.3	5.0	3.0	2.0
SAAC	5.0	4.3	5.0	5.0	4.7	3.3	3.7	3.3	4.0	3.7	4.3	4.0	3.0	3.0	3.0	5.0	3.0	2.0
BAAC	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	2.3	2.7	4.3	3.7	4.3	5.0	2.0	3.3	4.3	2.7	5.0	3.0	2.0
ACQ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	5.0	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3	5.0	3.0	3.0
CUAZ-2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	5.0	3.0	3.0
CUAZ-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	5.0	3.0	3.0
AZN	5.0	4.3	5.0	4.7	4.3	3.0	3.0	3.0	2.7	3.0	3.7	3.0	3.0	3.0	3.0	4.3	2.3	2.0
ナフテン酸銅	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	4.3	3.3	3.0	4.3	3.0	3.3	4.3	4.0	4.0	3.0	5.0	2.7	2.0
チアメトキサムほか	5.0	5.0	5.0	4.7	4.0	2.7	2.7	3.0	2.3	3.0	4.0	2.7	3.3	3.0	3.0	5.0	2.7	2.0
ジノテフランほか	5.0	3.3	5.0	4.7	4.0	3.7	3.0	3.0	3.3	3.0	3.3	3.0	3.0	3.0	2.7	3.3	1.8	2.0
ビフェントリンほか	5.0	4.7	5.0	5.0	4.0	4.3	3.7	3.0	3.0	3.0	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0	2.0
エトフェンブロックス乳剤	4.7	4.3	5.0	4.0	3.7	3.0	3.7	3.0	2.7	3.0	2.7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.7	2.7	2.0
エトフェンブロックス油剤	3.7	3.3	4.7	4.0	3.7	2.7	3.0	3.0	3.3	3.0	3.7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.7	2.7	2.0
ハウ酸	4.7	5.0	4.7	4.7	3.0	3.0	3.3	3.0	3.3	3.0	3.0	3.3	3.3	3.0	2.7	4.3	3.0	2.0
未処理材(ペイマツ)	5.0	2.0	4.3	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.7	3.0	3.0	3.0	3.0	4.3	3.0	2.0
未処理材(ペイツガ)	5.0	3.3	5.0	4.3	3.7	3.0	3.0	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.7	3.0	2.0

図 8.2.42 評価結果（湿潤実験・2 年目）

0-G	2
-----	---

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC				5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	3.3			3.3	3.0	3.3	3.0		3.0	2.0
SAAC				5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	4.0			4.0	3.0	3.3	3.0		3.0	2.0
BAAC				5.0	5.0	2.0	5.0	4.3	4.0			3.0	3.0	4.3	3.0		3.0	3.0
ACQ				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0	5.0	3.0		3.3	2.7
CUAZ-2				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	3.0	5.0	3.0		4.0	2.0
CUAZ-3				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	3.0	5.0	3.0		4.0	3.0
AZN				5.0	5.0	3.0	5.0	4.0	4.0			3.0	3.0	3.0	2.3		2.0	2.0
ナフテン酸銅				5.0	5.0	4.3	5.0	4.0	4.7			4.0	3.3	4.0	2.3		2.3	2.0
チアマトキサムほか				5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	3.0			3.0	3.0	3.0	3.0		3.0	2.0
ジノテフランほか				5.0	5.0	4.3	5.0	3.0	3.7			3.0	3.0	3.0	3.0		3.0	2.0
ビフェントリンほか				5.0	5.0	4.7	5.0	3.0	3.7			3.0	3.0	3.0	3.0		3.0	2.0
エトフェンブロックス乳剤				3.7	3.7	4.0	3.7	3.0	3.7			3.7	3.0	3.0	3.0		3.0	2.0
エトフェンブロックス油剤				4.3	4.3	4.0	4.3	3.0	4.0			3.0	3.0	3.0	3.0		3.0	2.0
ホウ酸				5.0	5.0	4.3	5.0	3.0	4.0			3.7	3.3	3.0	3.0		3.0	2.0
未処理材(ペイマツ)				5.0	5.0	4.0	5.0	4.0	3.7			3.0	3.0	3.0	3.0		3.0	2.0
未処理材(ペイツガ)				5.0	5.0	4.0	5.0	4.0	2.0			3.0	3.0	3.0	3.0		3.0	2.0

図 8.2.43 評価結果（湿潤実験・3 年目）

0-G	2.0
-----	-----

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼付塗装1	Zn+Al焼付塗装2	Zn+Sn合金めっき	Zn+Mg合金めっき1	Zn+Mg合金めっき2	電気亜鉛めっき+皮膜1	電気亜鉛めっき+皮膜2	電気亜鉛めっき+皮膜3	Z27+カチオン電着塗装
AAC				5.0	5.0	4.0	3.3	5.0	3.3			3.3	3.0	3.7	4.3		3.0	2.3
SAAC				5.0	4.7	4.3	4.0	4.0	4.0			4.0	3.0	3.0	4.0		3.0	1.7
BAAC				5.0	5.0	3.3	3.3	4.7	3.7			2.3	3.0	4.7	3.0		3.0	1.3
ACQ				5.0	5.0	5.0	4.7	5.0	5.0			5.0	5.0	5.0	4.0		4.0	3.3
CUAZ-2				5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0	5.0	5.0		4.0	3.0
CUAZ-3				5.0	5.0	3.3	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0	5.0	5.0		4.0	3.0
AZN				5.0	4.0	4.7	4.7	3.3	3.0			4.0	3.3	2.7	3.0		3.0	3.0
ナフテン酸銅				5.0	4.3	5.0	3.3	4.0	4.0			5.0	4.0	3.0	4.0		3.0	3.0
チアマトキサムほか				5.0	4.3	3.3	3.7	4.0	3.3			2.7	2.7	3.0	3.0		4.0	2.7
ジノテフランほか				5.0	4.0	3.7	4.0	3.0	3.0			3.0	3.0	3.3	3.0		2.3	1.7
ビフェントリンほか				5.0	4.3	4.3	4.0	3.0	3.7			3.0	3.0	3.0	3.0		3.0	3.0
エトフェンブロックス乳剤				5.0	4.3	3.3	4.0	3.0	3.7			3.0	3.0	3.3	3.0		3.0	2.3
エトフェンブロックス油剤				5.0	4.7	3.3	4.0	3.7	3.3			3.0	3.0	3.0	3.0		3.0	2.3
ホウ酸				5.0	4.0	4.0	4.0	4.7	3.7			4.0	4.0	3.0	3.3		3.0	3.0
未処理材(ペイマツ)				4.7	4.3	3.0	3.7	4.0	3.0			3.0	3.0	2.7	3.0		3.3	1.7
未処理材(ペイツガ)				5.0	4.0	3.7	3.0	3.3	3.0			3.0	3.3	2.0	4.0		3.0	2.0

図 8.2.44 評価結果（湿潤実験・4 年目）

0-G	2
-----	---

	HDZ23	Z60	HDZ35	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	1.2	2.0	1.0	2.3	1.0	1.0
CUAZ-3	2.0	2.0	2.0	1.0	3.3	1.0	1.0
ナフテン酸銅	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0
チアメトキサムほか	2.0	1.5	2.0	1.0	2.7	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	1.5	2.0	1.0	2.7	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	2.0	1.5	2.0	1.0	3.0	1.0	1.0
ホウ酸	1.0	1.0	1.7	1.0	1.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.0	1.5	2.0	1.0	2.7	1.0	1.0
未処理材(ペイツ ガ)	2.0	1.7	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0

図 8.2.45 評価結果（高湿試験・8 週目）

0-G	2.333
-----	-------

	HDZ23	Z60	HDZ35	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	2.0	1.5	2.0	1.0	4.0	1.0	1.2
CUAZ-3	2.0	2.0	2.0	1.0	3.7	1.0	1.5
ナフテン酸銅	2.0	2.0	2.0	1.0	3.0	1.5	1.3
チアメトキサムほか	2.0	1.5	2.0	1.0	3.7	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	2.0	2.0	1.0	3.7	1.0	1.3
エトフェンブロックス 油剤	2.0	2.0	2.0	1.0	4.7	1.0	1.0
ホウ酸	1.0	1.5	1.7	1.0	1.5	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	2.0	1.5	2.0	1.0	4.0	1.0	1.2
未処理材(ペイツ ガ)	2.0	1.7	2.0	1.0	2.7	1.0	1.0

図 8.2.46 評価結果（高湿試験・12 週目）

0-G	3
-----	---

	HDZ23	Z60	HDZ35	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	3.0	1.5	3.0	1.0	5.0	1.0	2.0
CUAZ-3	3.3	2.0	3.0	1.0	4.0	1.0	1.8
ナフテン酸銅	2.0	2.0	2.0	1.0	3.0	1.5	1.8
チアメトキサムほか	2.3	1.5	3.0	1.0	4.0	1.0	1.0
エトフェンプロックス 乳剤	2.0	2.0	3.0	1.0	4.0	1.0	1.8
エトフェンプロックス 油剤	3.0	2.0	3.0	1.0	5.0	1.0	1.2
ホウ酸	1.0	1.5	1.7	1.5	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	3.0	1.8	3.0	1.0	4.0	1.0	1.5
未処理材(ペイツ ガ)	3.0	1.7	3.0	1.0	3.7	1.0	1.3

図 8.2.47 評価結果（高湿試験・28 週目）

0-G	3.333
-----	-------

	HDZ23	Z60	HDZ35	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	3.3	2.0	3.7	2.3	5.0	1.0	2.0
CUAZ-3	4.3	3.0	3.0	1.7	4.7	1.0	2.0
ナフテン酸銅	2.0	2.0	2.0	1.7	3.3	2.0	2.0
チアメトキサムほか	2.7	2.0	3.0	1.0	4.3	1.0	1.5
エトフェンプロックス 乳剤	3.0	2.3	3.0	1.0	4.3	1.0	2.0
エトフェンプロックス 油剤	3.0	2.3	3.3	1.0	5.0	1.0	1.8
ホウ酸	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	3.0	2.0	4.0	1.0	4.0	1.0	1.7
未処理材(ペイツ ガ)	3.0	2.0	3.0	1.2	3.7	1.0	1.3

図 8.2.48 評価結果（高湿試験・1 年目）

	HDZ23	Z60	HDZ35	電気亜鉛 めっき+皮 膜1	電気亜鉛 めっき+皮 膜2	電気亜鉛 めっき+皮 膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	3.3	2.7	3.7	3.0	5.0	1.7	2.0
CUAZ-3	4.3	2.3	3.0	1.7	5.0	1.0	2.0
ナフテン酸銅	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0
チアマトキサムほか	2.7	2.0	3.0	1.0	5.0	1.0	1.5
エトフェンブロックス 乳剤	3.0	2.0	3.0	1.0	4.3	1.0	2.0
エトフェンブロックス 油剤	3.3	2.0	3.3	1.0	5.0	1.0	1.7
ホウ酸	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマツ)	3.0	2.0	4.0	1.0	4.0	1.0	1.7
未処理材(ペイツガ)	3.0	2.0	4.0	1.0	3.7	1.0	1.3

図 8.2.49 評価結果（高湿実験・1.5 年目）

	HDZ23	Z60	HDZ35	電気亜鉛 めっき+皮 膜1	電気亜鉛 めっき+皮 膜2	電気亜鉛 めっき+皮 膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	3.3	2.7	3.7	3.0	5.0	1.7	2.0
CUAZ-3	4.3	2.3	3.0	1.7	5.0	1.0	2.0
ナフテン酸銅	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0
チアマトキサムほか	2.7	2.0	3.0	1.0	5.0	1.0	1.5
エトフェンブロックス 乳剤	3.0	2.0	3.0	1.0	4.3	1.0	2.0
エトフェンブロックス 油剤	3.3	2.0	3.3	1.0	5.0	1.0	1.7
ホウ酸	2.0	2.7	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0
未処理材(ペイマツ)	3.0	2.0	4.0	1.0	4.0	1.0	1.7
未処理材(ペイツガ)	3.0	2.0	4.0	1.0	3.7	1.0	1.3

図 8.2.50 評価結果（高湿実験・2 年目）

0-G	2
-----	---

	HDZ23	Z60	HDZ35	電気亜鉛 めっき+皮 膜1	電気亜鉛 めっき+皮 膜2	電気亜鉛 めっき+皮 膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	4.3	3.0	3.0	3.0		3.0	2.0
CUAZ-3	4.0	3.0	2.0	2.0		3.0	2.0
ナフテン酸銅	2.0	2.0	2.0	1.0		2.0	2.0
チアマトキサムほか	2.7	2.0	2.3	1.0		2.0	2.0
エトフェンブロックス 乳剤	3.0	2.0	3.0	1.0		2.0	2.0
エトフェンブロックス 油剤	3.0	2.0	2.3	1.0		2.0	2.0
ハウ酸	2.0	2.0	2.0	1.0		2.0	2.0
未処理材(ペイマツ)	3.0	2.0	3.0	1.3		2.0	2.0
未処理材(ペイツガ)	3.0	2.0	3.0	1.0		2.0	2.0

図 8.2.51 評価結果（高湿実験・3年目）

0-G	4.7
-----	-----

	HDZ23	Z60	HDZ35	電気亜鉛 めっき+皮 膜1	電気亜鉛 めっき+皮 膜2	電気亜鉛 めっき+皮 膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	4.3	3.3	4.7	4.0		3.3	2.0
CUAZ-3	4.3	2.0	3.0	1.7		1.5	2.3
ナフテン酸銅	2.0	2.0	2.0	1.5		2.3	2.0
チアマトキサムほか	2.7	2.0	3.0	1.0		1.5	1.5
エトフェンブロックス 乳剤	2.0	2.0	3.0	1.0		2.0	2.0
エトフェンブロックス 油剤	3.7	2.0	3.0	1.0		2.0	1.5
ハウ酸	2.7	3.0	2.0	1.0		1.7	2.0
未処理材(ペイマ ツ)	3.3	2.0	3.0	1.7		1.7	1.7
未処理材(ペイツ ガ)	3.0	2.0	1.0	2.3		1.8	1.5

図 8.2.52 評価結果（高湿実験・4年目）

	Zn5Cr6	Zn8Cr6	Zn5Cr3	Zn8Cr3	Z27	HDZ-A	HDZ23	Z60	HDZ35	Zn+Al焼 付塗装1	Zn+Al焼 付塗装2	Zn+Sn合 金めっき	Zn+Mg合 金めっき 1	Zn+Mg合 金めっき 2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜1	電気亜鉛 めっき+ 皮膜2	電気亜鉛 めっき+ 皮膜3	Z27+カチ オン電着 塗装
AAC	1.3	1.3	1.3	1.3	2.0	1.0	1.0	2.3	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.3	2.3	1.0	1.0
SAAC	1.0	1.3	2.0	1.7	1.3	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.7	1.0	2.3	1.0	1.0
BAAC	1.0	1.0	1.7	1.7	1.7	1.0	1.0	2.0	1.7	1.0	1.0	2.0	3.0	2.3	1.3	2.7	1.0	1.0
ACQ	4.0	3.3	2.0	2.0	2.3	1.0	1.0	1.3	1.7	2.3	1.0	2.0	2.0	2.3	2.0	2.3	1.0	1.0
CUAZ-2	1.7	2.0	2.0	1.7	1.7	1.0	1.0	2.0	2.0	1.7	1.0	1.7	2.3	2.3	1.3	2.7	1.0	1.0
CUAZ-3	1.7	1.0	2.7	2.3	2.7	1.0	1.0	1.3	1.7	1.7	1.0	2.0	2.3	2.3	1.0	2.3	1.0	1.0
AZN	2.0	1.7	2.3	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.7	1.0	1.0	1.7	3.0	2.3	1.7	2.0	1.0	1.0
ナフテン酸銅	2.0	2.0	2.7	1.7	1.3	1.0	1.0	2.0	1.7	1.0	1.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.3	1.0	1.0
チアメトキサムほか	1.3	1.0	2.0	2.0	1.3	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	3.0	1.0	1.7	2.7	1.0	1.0
ジノテフランほか	1.7	1.7	1.7	2.0	1.7	1.0	1.0	1.0	1.3	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.7	2.3	1.0	1.0
ビフェントリンほか	1.3	1.0	1.3	1.3	1.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.3	1.3	2.3	1.0	1.0
エトフェンブロックス 乳剤	1.7	1.0	1.7	1.7	1.7	1.0	1.0	1.7	2.0	1.0	1.0	2.0	1.3	2.0	1.7	2.0	1.0	1.0
エトフェンブロックス 油剤	1.3	1.0	1.3	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.7	1.0	1.0	2.0	1.0	1.3	1.3	2.7	1.0	1.0
ホウ酸	2.0	1.0	1.3	1.7	2.0	1.0	1.0	1.7	2.0	1.0	2.0	2.0	1.3	2.0	1.0	2.3	1.0	1.0
未処理材(ペイマ ツ)	1.3	1.0	1.7	1.7	1.3	1.0	1.0	1.3	1.7	1.0	1.0	2.0	2.0	1.3	1.7	2.7	1.0	1.0
未処理材(ペイツ ガ)	1.3	1.7	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.7	1.0	1.0	2.0	2.7	2.0	1.3	2.7	1.0	1.0

図 8.2.53 評価結果（屋内暴露実験・1年目）

8.2.5 画像解析による腐食量評価

これまでの腐食量評価は目視による 5 段階評価に基づいて行ってきた。目視による評価は簡便であるものの、再現性が低い可能性がある、熟練者がいなければ評価作業が実施できない等の不都合があるため、平成 24 年度に画像解析による腐食量評価を試みた。

まず、明らかに赤錆である 30 部位の RGB 値を抽出し、R、G、B それぞれの平均値と標準偏差 σ を求めておく。求められた平均値 $\pm 2\sigma$ を赤錆の RGB 範囲とした（表 8.2.7）。次に、スキャンした鋼板画像を 100×100 ピクセルに縮小し、RGB 値が前述した RGB 範囲に含まれるピクセルを赤錆と考え、赤錆と判定されたピクセル数の比率を赤錆面積率とした。ただし、R 値が小さく、G や B 値が大ききものを認識しないよう、R/G および R/B が 1.1 未満の場合は前述の RGB 範囲に含まれても赤錆と判定しないこととした。

こうして赤錆と判定されたピクセルを抽出したものの一例を図 8.2.54 に示す。また、図 8.2.55 に目視評価結果と赤錆面積率との関係を示す。これより、目視評価は一定の精度を有することが確認できたが、目視評価 4 は赤錆面積を過小評価しがちであることが分かった。

一方、本画像解析方法では、赤みがかった色に変色した部分、鋼板に付着した木材片、鋼板の孔の影、黒色に近い赤錆等の判別が困難であるという課題が残った。

表 8.2.7 赤錆の RGB 範囲

	平均値 -2σ	平均値 $+2\sigma$
R	32	195
G	38	177
B	42	165

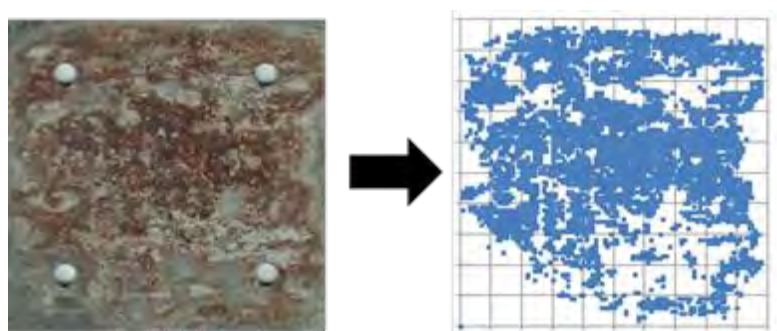


図 8.2.54 赤錆抽出の一例

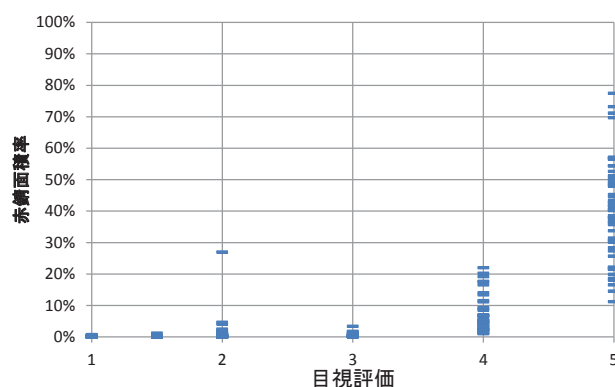


図 8.2.55 目視評価結果と赤錆面積率

そこで平成 25 年度は、前年度の課題を克服すべく、画像解析法の改良を行った。前年度は R、G、B それぞれの値を独立変数と捉え、30 サンプルの分布からそれぞれの赤錆範囲を定義した（旧方法と呼ぶ）が、今年度は、1300 サンプルの分布を直接空間座標にプロットし、赤錆範囲の分布形を概観した後、R、G、B を関数として捉えて赤錆範囲を定義しようとするものである（新方法と呼ぶ）。

まず、旧方法と同様に、明らかに赤錆とみなせるサンプルを 1300 か所抽出し、これを空間座標にプロットする。プロットしたものを図 8.2.56、57 に示す。

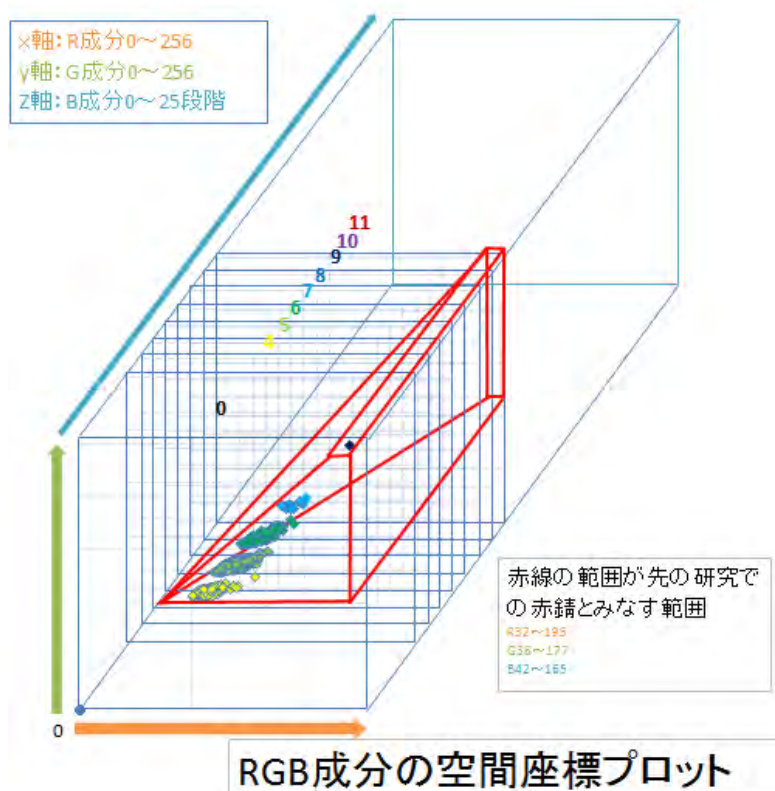


図 8.2.56 赤錆 RGB 成分の空間座標プロット

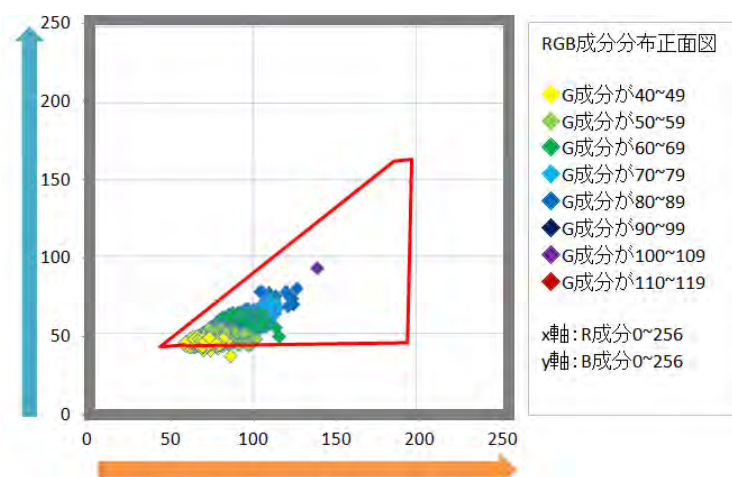


図 8.2.57 赤錆 RGB 成分の空間座標プロット（G 軸に垂直な面への投影）

G 軸に垂直な平面上へ投影した RGB 成分のプロットは、楕円に近い分布をしていることがわかる。従って、楕円の中心位置と長短軸長さを G 成分の関数とし、赤錆範囲を定義することができる。

ここでは、G 成分がある範囲に含まれる時、それに対応した中心座標と長短軸半径を定義することで、赤錆範囲とする。1300 サンプルの分析の結果、表 8.2.8 のように定義することとした。

表 8.2.7 赤錆 RGB 範囲の定義

G 成分	40～49	50～59	60～69	70～79
中心 R 座標	62.1	54.8	82.7	88.1
中心 B 座標	47.0	54.8	63.3	70.3
R 方向半径	9.6	16.8	17.1	8.3
B 方向半径	3.5	5.9	6.6	5.3

その結果、図 8.2.57 に示すように、黒色に近い赤錆や、赤錆でない部分の判定がより正確になった。しかしながら、図 8.2.59 に示すように、橙色に近い赤錆が判定から漏れてしまうという課題が残った。

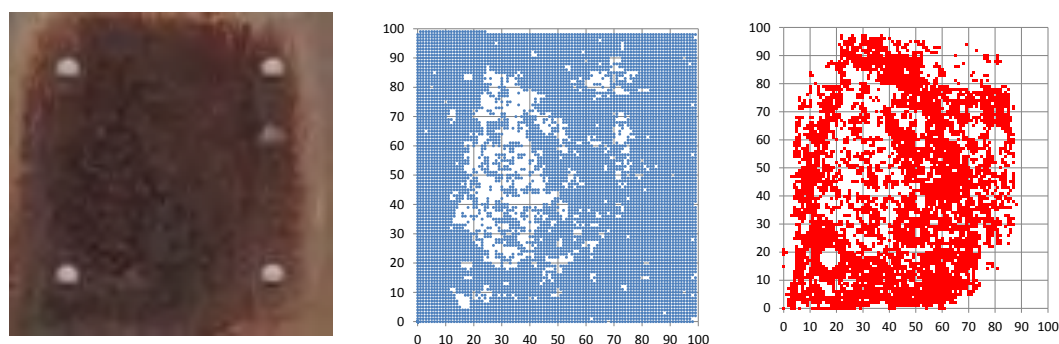


図 8.2.58 解析法の比較（左：画像、中央：旧方法による赤錆範囲、右：新方法による赤錆範囲）

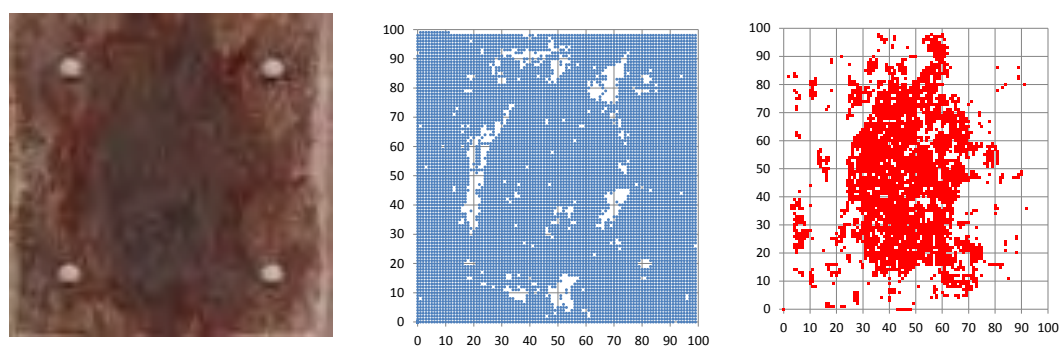


図 8.2.59 新たな課題（左：画像、中央：旧方法による赤錆範囲、右：新方法による赤錆範囲）

さらに平成 26 年度はこれまでの課題を克服すべく、画像解析法の改良を行った。前年度までに判定できなかった赤錆部分を含めて赤錆サンプルを再抽出し、赤錆範囲を再定義することとした。再抽出した赤錆の RGB 成分プロットを図 8.2.60 に示す。赤錆成分は B 成分値で区分して RG 座標に示した。新たに抽出した赤錆成分に、平成 25 年度に定義した赤錆範囲を併せて図 8.2.61 に示す。

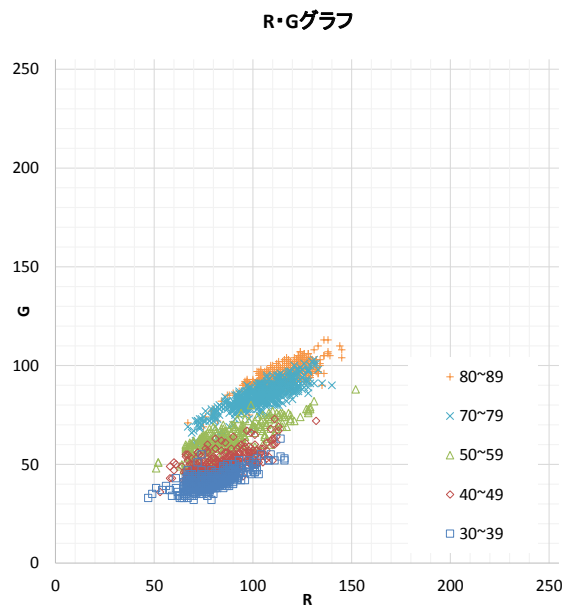


図 8.2.60 新たに抽出した赤錆範囲

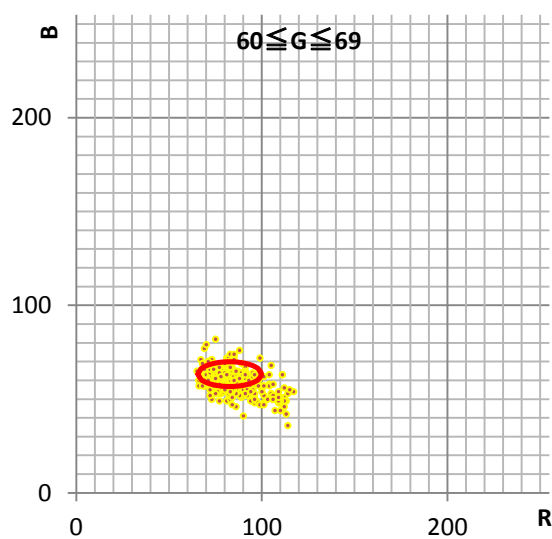
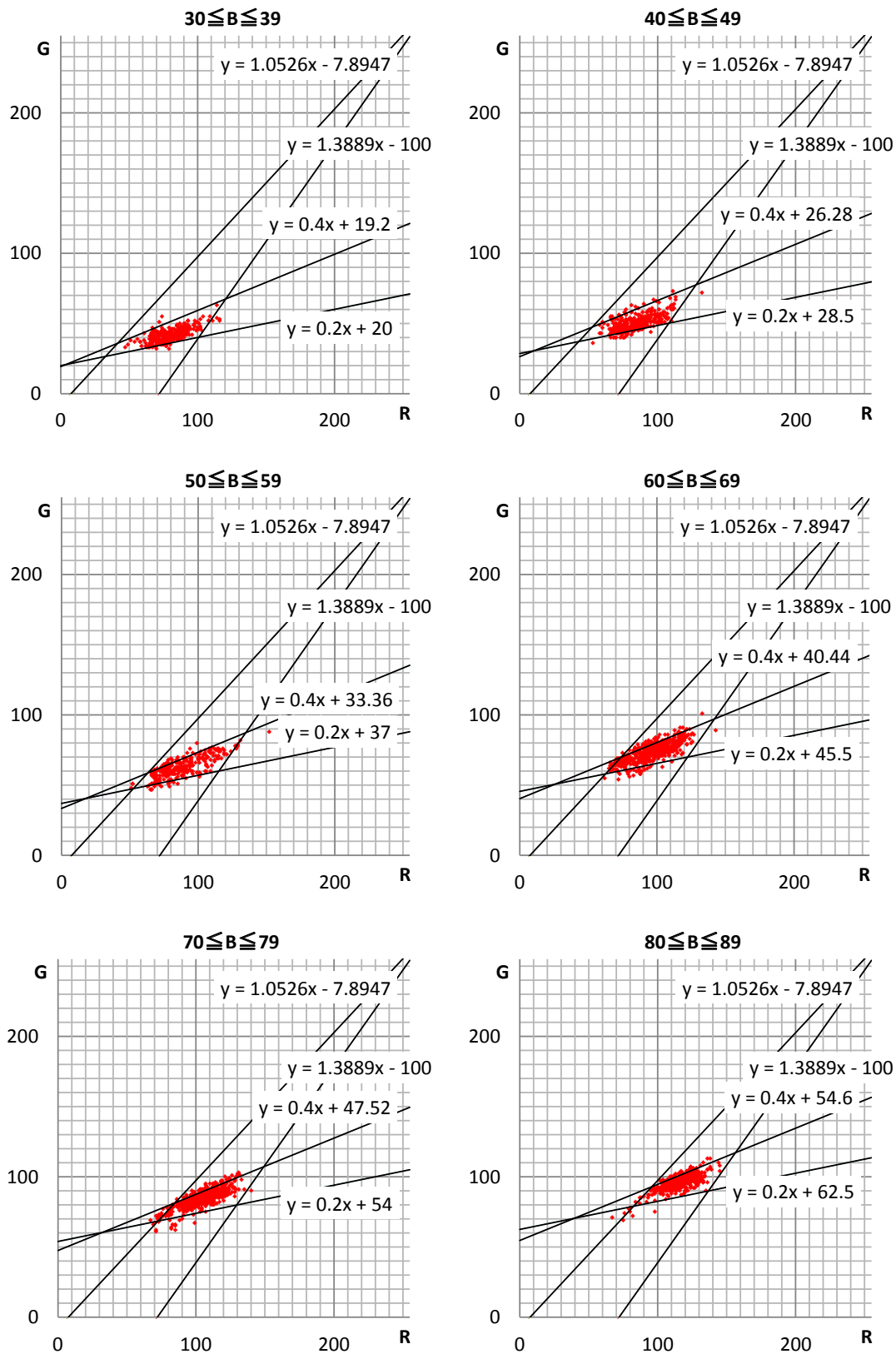


図 8.2.61 新たに抽出した赤錆範囲と平成 25 年度の定義との比較一例

図 8.2.62 に改良した赤錆範囲の定義を示す。B 成分値で区分して RG 座標にプロットした。B 成分値が 30 以上 89 以下のものを 10 ずつ区分してプロットし、図に示す 4 本の直線で囲まれる範囲を赤錆と定義した。



8.2.6 飛来海塩粒子量の測定

2011年3月～2012年2月の12ヶ月にわたり、各屋外暴露実験値において飛来海塩粒子量の測定を実施した。測定はJIS Z2382:1998 大気環境の腐食性を評価するための環境汚染因子の測定にしたがって行い、分析は日本ウェザリングテストセンターに依頼した。

表 8.2.8 に分析結果を、これをプロットしたグラフを図 8.2.20 に示す。

表 8.2.8 飛来海塩粒子量

横浜	H23.3.1～ H23.4.1	H23.4.1～ H23.4.28	H23.4.28～ H23.6.2	H23.6.2～ H23.7.1	H23.7.1～ H23.8.1	H23.8.1～ H23.9.1	H23.9.1～ H23.10.1	H23.10.1～ H23.11.1	H23.11.1～ H23.12.1	H23.12.1～ H24.1.1	H24.1.1～ H24.2.1	H24.2.1～ H24.3.1
捕集日数	31	27	35	29	31	31	30	31	30	31	31	29
海塩粒子量	13.3	30.2	10.0	13.1	17.4	10.7	57.4	15.1	13.9	5.3	8.2	11.0
宇治	H23.3.4～ H23.4.1	H23.4.1～ H23.5.2	H23.5.2～ H23.6.1	H23.6.1～ H23.7.1	H23.7.1～ H23.8.1	H23.8.1～ H23.9.1	H23.9.1～ H23.9.30	H23.9.30～ H23.11.1	H23.11.1～ H23.12.1	H23.12.1～ H23.12.29	H23.12.29～ H24.2.2	H24.2.2～ H24.3.1
捕集日数	28	31	30	30	31	31	29	32	30	28	35	28
海塩粒子量	3.1	2.7	1.4	1.3	0.9	1.4	2.6	2.4	2.5	1.5	2.0	2.2
旭川	H23.3.4～ H23.4.1	H23.4.1～ H23.5.1	H23.5.1～ H23.6.1	H23.6.1～ H23.7.1	H23.7.1～ H23.8.1	H23.8.1～ H23.9.1	H23.9.1～ H23.10.3	H23.10.3～ H23.11.1	H23.11.1～ H23.12.1	H23.12.1～ H23.12.29	H23.12.29～ H24.2.3	H24.2.3～ H24.3.1
捕集日数	28	30	31	30	31	31	32	29	30	28	36	27
海塩粒子量	9.0	4.0	1.6	1.2	0.4	1.2	2.3	0.3	4.5	4.0	0.8	5.0
つくば	H23.3.7～ H23.4.1	H23.4.1～ H23.5.1	H23.5.1～ H23.6.1	H23.6.1～ H23.7.1	H23.7.1～ H23.8.1	H23.8.1～ H23.9.1	H23.9.1～ H23.10.1	H23.10.1～ H23.11.1	H23.11.1～ H23.12.1	H23.12.1～ H23.12.29	H23.12.29～ H24.2.2	H24.2.2～ H24.3.1
捕集日数	25	30	31	30	31	31	30	31	30	28	35	28
海塩粒子量	1.2	2.9	1.9	1.0	1.7	1.5	2.7	1.6	0.6	0.7	0.6	0.9

※9/21に台風15号が関東上陸

海塩粒子量($\text{mg} \cdot \text{NaCl} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$)

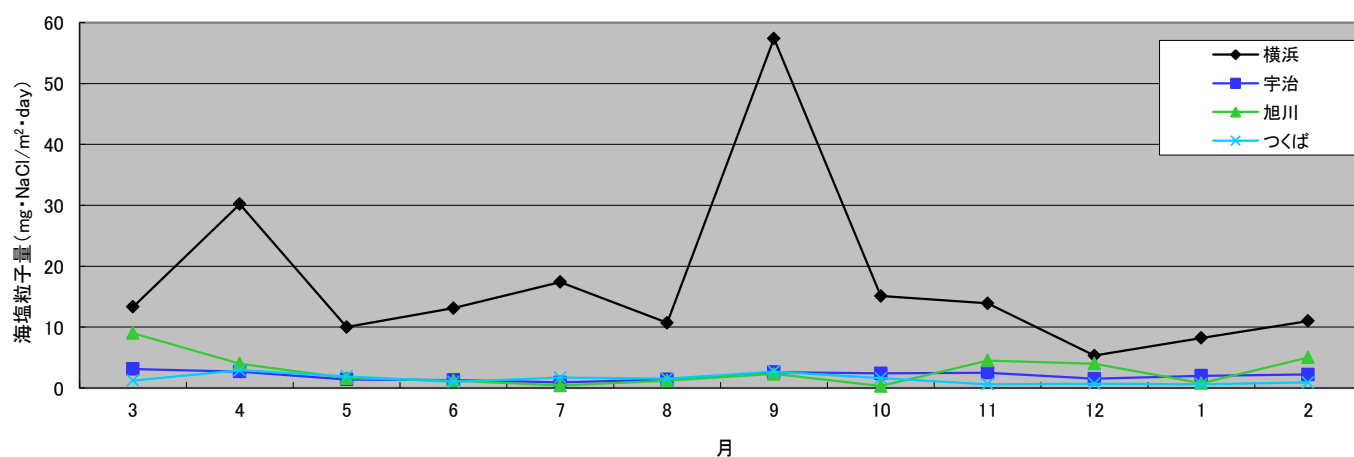


図 8.2.53 飛来海塩粒子量

8.2.7 考察

試験より得られた知見を以下に示す。

- ・ ACQ、CUAZ-2、CUAZ-3 の腐食性が高い傾向が見られた。
- ・ その他加圧注入材、ベイマツ未処理材の腐食性も高い傾向が見られた。
- ・ 屋外暴露実験において、表面処理薬剤の腐食性は低い傾向であった。
- ・ 湿潤実験、高湿実験においては、鋼板表面処理の種類によっては、表面処理薬剤に対してもある程度腐食が進行した。屋外暴露実験においては、表面処理薬剤が溶脱している可能性がある
- ・ 電気亜鉛めっき＋有機皮膜、Z27＋カチオン電着塗装の防錆性が高い傾向が見られた。
- ・ 標準試験体（木材非接触）はいずれの試験地でも現段階では赤錆未発生であり、鉄骨造基準相当は現段階では不明である。
- ・ 横浜、つくば、宇治はほぼ同じ傾向であった。
- ・ 屋内暴露実験は屋外暴露実験、湿潤実験、高湿実験よりも腐食の進行が遅い。

8.2.8 試験体画像

鋼板試験体の発錆状況はスキャニングによって記録した。一例として、つくばにおける3年目の試験体画像を図 8.2.54～26 に示す。



左	右
鋼板：Zn8Cr3	鋼板：Zn8Cr3
木材：CUAZ-2	木材：CUAZ-3

図 8.2.54 試験体画像（屋外暴露・京都・3年目）



左	右
鋼板：HDZ23	鋼板：HDZ23
木材：CUAZ-2	木材：CUAZ-3

図 8.2.55 試験体画像（屋外暴露・京都・3年目）

8.3 接合具発錆時の引抜耐力検証

発錆した釘の引抜性能検証、発錆した木ねじの引抜性能検証を実施した。

釘は築 60 年の木造軸組構法住宅(高田馬場)から根太ごと採取したものである(図 8.3.1)。釘の発錆度合いは今村らの劣化度評価基準(図 8.3.2)¹⁰⁾に従って評価した。また、同一材に新品の釘を打ち込み、引抜性能を比較した。荷重変形曲線を図 8.3.3～5 に示す。その結果、釘が発生すると最大引抜耐力が上昇することが確認された(図 8.3.6)。

木ねじ(L30)はスギ製材に打ち込んだ後 40℃100%RH に調整したデシケータ内に 3 週間程度静置することで劣化度 2 程度まで強制的に発錆させた。新品ねじの最大引抜耐力と発生後のねじの最大引抜耐力を比較したところ、殆ど差異は見られなかった(図 8.3.7～8)。



図 8.3.1 採取した試験体

劣化度	基準	例
1	微小さび	
2	表面部分的さび、肉眼的損傷なし	
3	表面全面さび、内部健全	
4	部分的損傷、原長維持	
5	原形不明	

図 8.3.2 釘の劣化度評価基準

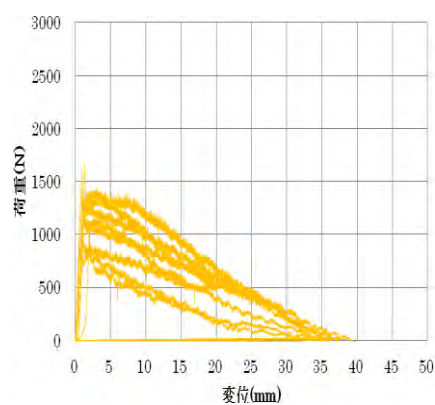


図 8.3.3 荷重変形曲線 (N65 新品)

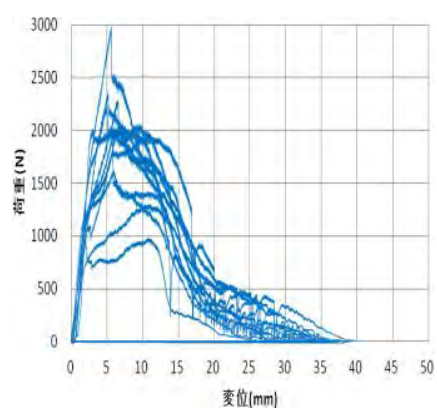


図 8.3.4 荷重変形曲線
(N65 劣化度 3.5)

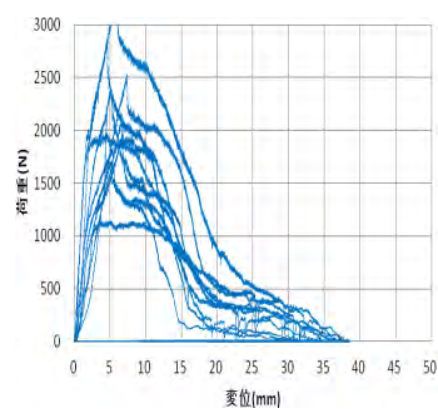


図 8.3.5 荷重変形曲線
(N65 劣化度 4)

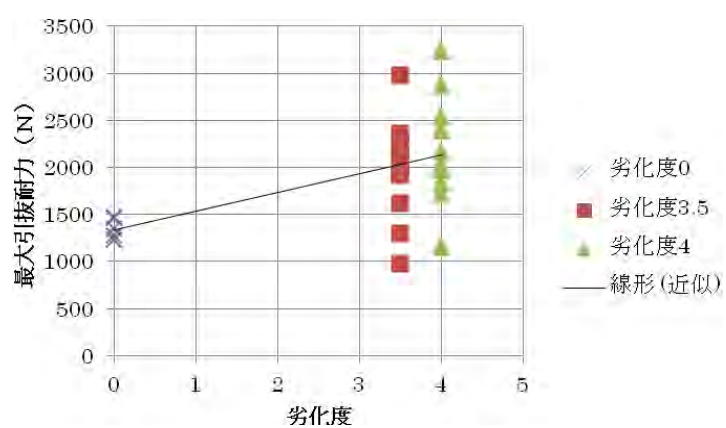


図 8.3.6 劣化度と最大引抜耐力

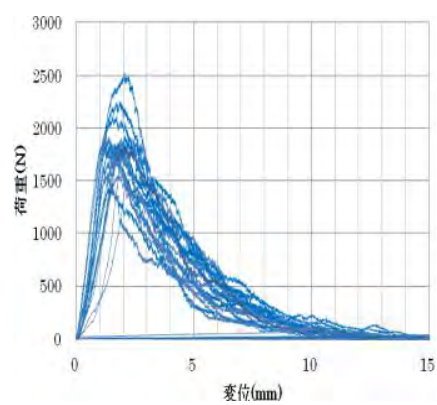


図 8.3.7 荷重変形曲線
(L30 木ねじ 新品)

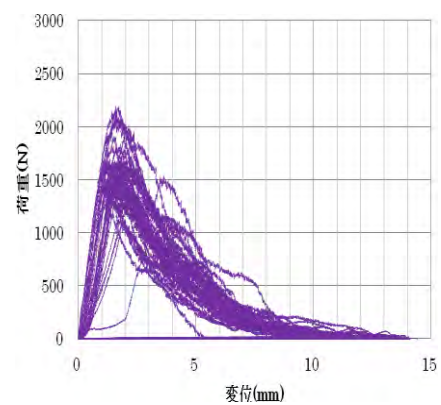


図 8.3.8 荷重変形曲線
(L30 木ねじ 劣化度 2)

8.4 結論と今後の課題

各種保存処理木材に各種表面処理鋼板を取り付け、屋外暴露および高湿空間暴露実験を行った結果、鋼板の腐食性の高い組み合わせとそうでない組み合わせが明らかとなった。ただし、これはあくまでも相対評価であり、絶対評価の目安となる標準試験体の赤錆発生には現段階では至っていない。今後引き続き観察を継続する必要がある。

また、屋外暴露実験と湿潤実験、高湿実験との比較により、屋外暴露実験における表面処理薬剤の溶脱の可能性が示唆された。今後、試験法の適否についても検討する可能性がある。

このほか、今後取り組むべき課題を以下に挙げる。

- ・ 屋内暴露実験と他環境での暴露実験との比較
- ・ 接合金物、接合具の発錆時性能検証（発錆クライテリアの設定）
- ・ 塩害に関する既往の知見の再整理
- ・ 発錆に対する樹種の影響の調査
- ・ 画像解析方法の改良

参考文献

- 1)Kubler,H. : Corrosion of Nails in Wood Construction Interfaces, Forest Products Journal,42,pp.47-49,1992.1
- 2)石本徳三郎、宮下優：鉄骨住宅部材の解体による腐食性状の調査と考察-軽量鉄骨系工業化住宅の耐久性に関する研究 -その 1-,日本建築学会構造系論文集 第 415 号,pp.13-20, 1990
- 3)Baker,A.J. : Corrosion of Metal in Wood Products, Durability of Building Materials and Components. ASTM STP 691,pp.981-993,1980
- 4)山田知明：木造住宅用接合金物の腐食に関する実験的研究,関東学院大学 2008 年度修士論文
- 5)神山幸弘、古野秀二郎：木造住宅における釘の腐食調査報告,日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）,pp.243-244,1976.1
- 6)建設大臣監房技術調査室：建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編Ⅱ 鉄骨造建築物の耐久性向上技術,技報堂出版,1986.9
- 7)石山央樹、腰原幹雄：釘接合部の劣化時せん断性能に関する実験的研究,日本建築学会構造系論文集,第 646 号,pp.2281-2289,2009.12
- 8)石山央樹、腰原幹雄、中野一郎、関真理子：アイリングモデルを利用した木造住宅における鉄釘の寿命予測,日本建築学会技術報告集,第 33 号,pp.453-456,2010.6
- 9)中島正夫：木造住宅用接合金物類の耐久品質をめぐる現状と課題,住宅と木材 Vol.34 No.397,pp.21-25, 2011.1
- 10)今村浩人、木口実、大黒昭夫：木造家屋の外壁における釘の劣化からみた木材の劣化環境,林試研報,No.345,pp.101-149,1987

第9章 長期優良住宅における維持管理に関する検討

9.1 背景と目的

長期優良住宅の認定には少なくとも30年にわたる維持保全計画の提出とその履行が求められている。本来、木造住宅の維持保全は、構法、材料、施工や環境などによって個別に立案されるべきものであり、さらに住宅の住まい方による劣化程度のばらつきについても考慮が必要と思われる。しかし長期維持保全計画の立案、提案や実施の実態は公的な第三者機関が作成した維持保全計画書をコピーして認定書類としているものが少なくない。

そこで、本TGでは長期優良住宅における長期保全計画書の実態を明らかにするとともに、そのあるべき姿について以下の観点から検討することとした。

- ① 全国の都道府県を代表する地域ビルダーを抽出し、それらに対して維持保全計画の実際のアンケートを実施する。
- ② 併行して大手ハウスメーカーあるいは全国組織の木造建設業者団体を対象にヒアリングを実施する。
- ③ 維持保全の骨子となる、点検周期、点検項目、点検方法などについて、理論的、実証的な検討を加え、木造住宅にとって合理的な維持保全のあり方を整理する。

以上の基本方針を踏まえて、平成21年度から24年度までの事業では以下の項目を実施した（平成21年度は準備期間）。

- ① アンケート、ヒアリングや資料収集による維持保全計画書の実態調査
- ② 事業者の特性(規模、地域、技術開発能力など)などと維持保全計画との関係性の検討
- ③ 材料や薬剤処理の耐用年数と点検、取り替え・修繕の合理的な周期の検討
- ④ 材料や立地条件、構法による合理的な点検項目、点検周期の決め方の検討
- ⑤ 非破壊検査方法などに基づく劣化指標とその判断基準や対応措置の検討。

上記のうち、①から③については平成22、23年度に検討し、報告した。平成24年度は、改めて①から⑤まで項目を達成するために必要な項目として、維持管理計画の実施上の課題を明らかにするために、工務店や設計事務所に対するアンケートの実施と分析を行い、試みとして維持管理情報を蓄積するためのデータベースのモデルを構築した。

平成25年度は、平成24年度に実施したアンケートをさらに詳しく分析するとともに、再度アンケート回答企業に対して維持管理計画の立案や実施状況についてさらに詳しくアンケート調査を実施した。さらに住宅メカ2社（軸組工法およびツーバイフォー工法）から顧客管理情報を提供してもらい、維持管理や改修に関わる実態について分析し、維持管理に関わるコストの面からの維持管理のありように関する考察を加えた。また前年度に引き続き維持管理情報を集積および管理するデータベースについて、検討を加えた。最後に、各TGからの過去4年間の成果を集約および分析し、その知見を活用しながら長期の維持保全計画を立案および実施する上での課題や基本的方針について検討した。

さらに平成 25 年度は、全国の工務店や設計事務所に対して、維持管理計画の作成と実施状態に関するアンケート調査やヒアリングを行い、維持管理上の課題を抽出した。また他の TG の成果を参照しながら維持管理のあり方について検討した。

アンケートでは、長期優良住宅認定における維持保全計画やその実施状態について、現状を把握するために、工務店や設計事務所に対するアンケート調査を実施した。対象は、一般社団法人 すまいづくりまちづくりセンター連合会に登録している「長期優良住宅を設計・施工する建築士事務所」（約 1800 社）、その他 200 社である。その結果、348 社から有効回答を得た。そこで、維持保全計画の立案や実施における地域性や住まい方の考慮について、さらに検討を進めるため、有効回答を得た 348 社を対象として、追加アンケートを行った。維持保全計画の立案や点検の実施状況、今後の予定などをより具体的に尋ねた。

またハウスメーカーに対する調査として、軸組み工法およびツーバイフォー工法の住宅を提供するハウスメーカーから、顧客に対する維持管理サービスの計画、点検・リフォームの実施状況に関するデータを入手し分析した（後者については約 17 万件分）。対象データを 5 地域に分類し、それぞれ不具合（蟻害、雨漏り、外壁クラック、漏水など）発生の発生率の年変化を検討した。さらに維持管理に関わるコストについても検討した。

最後に維持管理計画の立案に関わる因子の分析として、他の TG の検討成果をもとに維持管理計画の立案に関わる因子を検討し、点検周期、点検場所や点検方法を決定する際に必要となる条件の抽出を行った。検討対象項目は、しろあり分布、保存処理材の耐候性、現代工法における不具合や劣化の発生状況、木材腐朽の発現および促進環境条件、蟻害による部材や接合部の強度低下、金物の耐候性、小屋裏の環境などである。

以上の経緯を踏まえて平成 26 年度の目標を以下のように定めた。

維持管理においては、各種の材料や処理の耐用年数、それに応じた点検周期、点検箇所、点検方法が定められ、また地域性による補正が施され、計画的に積み上げた維持保全コストが施主の経済的条件に合致するように維持保全計画を立案することが求められる。本 TG の目標は、そのような本来あるべき維持保全計画の立案に資する資料を提供することにある。これを踏まえて、下記を実施した。

1. 維持管理の実施上の課題を明らかにするためにこれまでのアンケートをベースにさらに要点を絞りこんだアンケートを実施した。
2. 点検方法について、点検者の平均的な経験や技術を想定して、主要木部の点検の方法と判定方法例を示した。また点検時に見える症状と、実際の劣化度や強度との関連を明らかにするためのデータを収集した。
3. 維持管理計画立案時に、点検周期・点検部位を決定するためのフローや、そこで考慮すべき項目である地域性、構造や材料などの因子の関わりを検討した。

9.2 地域性を考慮した木造住宅の維持保全計画に関する検討

9.2.1 はじめに

住宅の維持保全の重要性が認識されつつある。長期優良住宅の認定において、少なくとも 30 年にわたる維持保全計画の提出とその履行が求められており、作り手および住み手ともに住宅の維持保全に対する意識を高めていくことが必要である。

昨年度は、長期維持保全計画の立案や実施の実態を把握し、木造住宅にとって合理的な維持保全のあり方について検討した。その結果、維持保全計画を充実させていくためには、標準的な維持保全計画をもとに、降水量や降雪量、塩害、シロアリの生育分布、卓越風の影響などの地域性を勘案していく必要があることを示した。

そこで、住宅の維持保全における地域性について、現状を把握するとともに維持保全計画およびその実施にあたっての課題を整理し、地域性を考慮した維持保全計画について検討した。また、工務店を支援する団体の活用状況を調べ、工務店の現状にもとづいた支援のあり方を検討した。

9.2.2 方法

維持保全の実態および維持保全計画の地域性を検討するため、地域に根ざした活動が進められていると予想される全国各地の工務店を対象とした。各都道府県の工務店のうち、JBN サポートセンターの HP に掲載されている登録工務店と住まいづくりの情報サイト e-house に掲載されている工務店の中から、都道府県ごとに 10 工務店を無作為に抽出した。なお、福井県は 9 工務店、島根県は 7 工務店、沖縄県は 6 工務店を抽出した。抽出した計 462 工務店を対象として、メンテナンスの実態や特性を把握し、地域に対応した維持保全計画を検討するため、アンケート調査を実施した。アンケートは 2014 年 12 月に郵送で配布し、郵送で回収した。配布数は 462、有効回答数は 99 であり、有効回収率は 21.4%であった。調査内容は、工務店概要、住宅建設の実績、メンテナンスの実態、維持保全計画への取組み、長期優良住宅への取組み、団体への登録状況と活用の実態などである。

9.2.3 結果および考察

1) 回答工務店の概要

有効回答を得た 99 工務店の概要を表 9.1 に示す。工務店の所在地はほぼ全国にわたり、各都道府県から平均 2 工務店の回答が得られた。なお、福井県、山梨県、大阪府、山口県、熊本県、沖縄県の工務店からは回答が得られなかった。創業年は 1839 年から 2014 年であり、業務期間 21～50 年が半数を占め、51 年以上および 20 年以下がそれぞれ 1/4 であった。従業員数は 5 人以下が 4 割弱と最も多く、20 人以下が 8 割以上を占め、小規模な工務店が多い。年間の着工戸数は 0～140 棟、平均 14 棟であった。5 棟以下が 44%と最も多かった。メンテナンスの実績について、屋根では年間 0～114 件で平均 3.7

件、外壁では年間 0～114 件で平均 3.9 件、構造躯体では 0～114 件で平均 2.8 件であった。

表 9.1 回答工務店の概要

工務店所在地	件数	%(n=99)	都道府県	件数	%(n=99)	業務期間	回答数	%(n=99)	従業員数	回答数	%(n=99)
北海道	3	3.0	滋賀	5	5.1	51年以上	24	24.2	51人以上	4	4.0
青森	2	2.0	京都	3	3.0	21～50年	51	51.5	21～50人	13	13.1
岩手	2	2.0	兵庫	4	4.0	11～20年	13	13.1	11～20人	19	19.2
宮城	1	1.0	奈良	1	1.0	6～10年	3	3.0	6～10人	26	26.3
秋田	1	1.0	和歌山	4	4.0	5年以下	8	8.1	5人以下	37	37.4
山形	2	2.0	鳥取	3	3.0						
福島	2	2.0	島根	1	1.0	年間着工戸数	回答数	%(n=99)	年間	件数	%(n=99)
茨城	2	2.0	岡山	4	4.0	51棟以上	5	5.1	メンテナンス数	屋根	外壁
栃木	1	1.0	広島	4	4.0	21～50棟	12	12.1	30件以上	5	4
群馬	1	1.0	徳島	2	2.0	11～20棟	21	21.2	11～30件	11	7
埼玉	3	3.0	香川	2	2.0	6～10棟	17	17.2	6～10件	8	10
千葉	1	1.0	愛媛	1	1.0	5棟以下	44	44.4	5件以下	64	62
東京	3	3.0	高知	5	5.1				無回答	11	16
神奈川	1	1.0	福岡	2	2.0						
新潟	3	3.0	佐賀	1	1.0	年間降水量	件数	%(n=92)	年間降雪量	件数	%(n=92)
富山	3	3.0	長崎	1	1.0	不明のぞく			不明のぞく		
石川	4	4.0	大分	2	2.0	2000mm以上	21	22.8	600cm以上	5	5.4
長野	2	2.0	宮崎	1	1.0	1700～2000mm	14	15.2	200～600cm	10	10.9
岐阜	3	3.0	鹿児島	2	2.0	1500～1700mm	21	22.8	50～200cm	14	15.2
静岡	1	1.0	無回答	7	7.1	1000～1500mm	35	38.0	10～50cm	7	7.6
愛知	2	2.0				1000mm未満	1	1.1	10cm未満	56	60.9
三重	1	1.0									

回答の得られなかった府県：

福井県、山梨県、大阪府、山口県、熊本県、沖縄県

また、各工務店の所在地の降水量および降雪量の気象データ（2013 年気象庁データ）を参照して、5 つに区分した。降水量については、年間平均降水量 1717.9mm を基準にした。降雪量は、特に降雪量の多い地域とそれ以外で区分した。年間降水量は 1500mm 以下が 4 割弱と最も多かった。年間降雪量は 10cm 未満が 6 割以上を占めるが、600cm 以上の豪雪地域は青森県、北海道であった。

着工住宅の概要を表 9.2 に示す。着工住宅の工法は木造軸組であり、一部 2×4 工法、混工法を採用している工務店があった。着工住宅の屋根材および外壁材については、屋根材は粘土瓦が 45% と約半数を占め、次いで金属系が 21%、スレート系 10% であった。外壁材はサイディングが 68% と最も多く、モルタル 8%、金属系 3% であった。降水量が多い地域では、屋根材は粘土瓦、金属系が多く、外壁材はサイディング、金属系が多い。降水量が少ない地域では、屋根材は粘土瓦、金属系、外壁材はサイディング、モルタルが多い。降水量が中庸な地域では、屋根材はスレート系、外壁材はサイディング、モルタルが多い傾向がみられた。また、降雪量の多い地域では、屋根材は金属系が多く、外壁材はサイディング、サイディングと金属系が多かった。降雪量が少なくなると、屋根材は粘土瓦およびスレート系が多くなり、外壁材はサイディング、モルタルが多い傾向がみられた。

表 9.2 着工住宅の概要

工法	実数	%(n=98)	無回答のぞく
木造軸組み	95	96.9	
2×4工法	2	2.0	
混工法	1	1.0	
屋根材料	実数	%(n=98)	無回答のぞく
粘土瓦	44	44.9	
スレート系	10	10.2	
金属系	21	21.4	
瓦、スレート系	7	7.1	
瓦、金属系	9	9.2	
スレート系、金属系	2	2.0	
瓦、スレート、金属	5	5.1	

外壁材料	実数	%(n=96)	無回答のぞく
サイディング	65	67.7	
モルタル	8	8.3	
塗り壁	2	2.1	
金属系	3	3.1	
木製	1	1.0	
サイディングとモルタル	7	7.3	
サイディングと金属	4	4.2	
サイディングと木製	3	3.1	
モルタルと木製	2	2.1	
金属と木製	1	1.0	

屋根材料	サイディング	モルタル	塗り壁	金属系	木製	サイディングとモルタル	サイディングと金属	サイディングと木製	モルタルと木製	金属と木製
粘土瓦	28	4	1		2	1	4	1	1	0
スレート系	8	0	0		0	0	1	0	0	0
金属系	11	2	1		1	0	0	3	2	1
瓦、スレート系	5	1	0		0	0	1	0	0	0
瓦、金属系	8	0	0		0	0	0	0	1	0
スレート系、金属系	2	0	0		0	0	0	0	0	0
瓦、スレート、金属	3	1	0		0	0	1	0	0	0

屋根材料	粘土瓦	スレート系	金属系	瓦、スレート系	瓦、金属系	スレート系、金属系	瓦、スレート、金属
降水量							
2000mm以上(n=21)	9	0	4	0	5	2	1
1700～2000mm(n=14)	8	2	1	1	1	0	1
1500～1700mm(n=21)	8	4	6	2	0	0	1
1500mm未満(n=36)	16	3	9	3	3	0	1

屋根材料	粘土瓦	スレート系	金属系	瓦、スレート系	瓦、金属系	スレート系、金属系	瓦、スレート、金属
降雪量							
600cm以上(n=5)	0	0	5	0	0	0	0
200～600cm(n=10)	3	0	6	0	1	0	0
50～200cm(n=14)	7	1	3	0	2	1	0
10～50cm(n=7)	5	1	1	0	0	0	0
10cm未満(n=56)	26	7	5	6	6	1	4

外壁材料	サイディング	モルタル	塗り壁	金属系	木製	サイディングとモルタル	サイディングと金属	サイディングと木製	モルタルと木製	金属と木製
降水量										
2000mm以上(n=21)	15	0	0		2	0	1	2	1	0
1700～2000mm(n=14)	11	1	0		0	0	1	0	0	0
1500～1700mm(n=21)	11	2	2		0	1	3	0	1	0
1500mm未満(n=36)	24	2	0		1	0	2	2	1	1

外壁材料	サイディング	モルタル	塗り壁	金属系	木製	サイディングとモルタル	サイディングと金属	サイディングと木製	モルタルと木製	金属と木製
降雪量										
600cm以上(n=5)	2	0	1		0	0	1	0	0	1
200～600cm(n=10)	7	0	0		1	0	1	1	0	0
50～200cm(n=14)	10	1	0		1	0	1	0	0	0
10～50cm(n=7)	5	0	0		0	0	1	0	0	0
10cm未満(n=56)	37	4	1		1	1	5	0	2	0

2) 維持保全の実態

維持保全について、アンケートではメンテナンスと表記し、点検や修繕行為を指すことを説明した。また、木造住宅の耐久性におよぼす影響が大きいと予想される屋根、外壁、構造躯体を中心に、維持保全の実態を尋ねた。

今までに行った維持保全の件数を回答した 58 工務店において、維持保全の件数は総計 0～2750 件、平均 92.2 件であった（表 9.3）。屋根については年平均 4.0 件、外壁は年平均 4.5 件、構造躯体は年平均 2.7 件であった。この 1 年間に限ってみると、屋根は 8.5 件/年、外壁 8.1 件/年、構造躯体 4.0 件/年であり、維持保全の件数は増加していると予想される。

次に、この1年間に維持保全を行った工務店において、維持保全の理由をみると（表9.4）、住み手の要望に応じて(87.6%)、見回りの際に気になって(46.4%)、維持保全計画に従って(36.1%)であり、住み手からの要望が多いことがわかる。また、見回りにより不具合に気がつき、修繕などにつながっていると予想される。これらのことから、維持保全計画に従うだけでなく、日頃から住み手とのつながりが保たれている様子が伺える。また、その他の理由として、消費税が上がる前に修繕したいため、台風の被害を受けたためが挙げられた。

表 9.3 維持保全件数（屋根、外壁、構造躯体）

	維持保全件数回答あり(n=58)								
	総数			年間件数			この1年間の件数		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
屋根	109.0	1100	0	4.0	114	0	8.5	100	0
外壁	129.9	2750	0	4.5	114	0	8.1	100	0
構造躯体	37.7	800	0	2.7	114	0	4.0	100	0

表 9.4 維持保全の理由

維持保全の理由	(複数回答)	
	回答数	%(n=97)
維持保全計画に従って	35	36.1
住み手の要望に応じて	85	87.6
見回りの際に気になって	45	46.4
その他	2	2.1

3) 維持保全で気をつけていること

維持保全で気をつけていることとして、維持保全の周期を早めに設定している、維持保全の周期を遅めに設定している、材料によって維持保全方法をかえているが挙げられた。表 9.5 に示すように、屋根および外壁では材料によって方法をかえている割合が高く、雨樋は周期を早めに設定または材料によって方法をかえており、構造躯体では周期を遅めに設定している傾向がみられる。

表 9.5 維持保全で気をつけていること

内容	回答数				%(n=96)			
	屋根	外壁	雨樋	構造躯体	屋根	外壁	雨樋	構造躯体
周期を早めに設定	27	29	26	16	28.1	30.2	27.1	16.7
周期を遅めに設定	9	10	19	22	9.4	10.4	19.8	22.9
材料によって方法をかえる	55	50	28	27	57.3	52.1	29.2	28.1

屋根について（表 9.6）、年間降水量が多いと周期を早めに設定していて、反対に、降水量が少ないと材料によって方法をかえている割合が高い傾向がみられる。また、年間降雪量が多いと周期を早めに設定していることがわかる。ここで基準となる周期は、具体的には把握できていないが、後に示すように、維持保全計画において「住まいの管理手帳」を参考にしていることが多いことから、一つの基準とみなすことができる。住まいの管理手帳では、屋根の維持保全の周期は、瓦葺き、スレート瓦葺き、金属板ふきともに点検周期は5年である。5年周期を基準に、降水量や降雪量の多い地域では、周期を早めていると考えられる。屋根材別にみると、金属系で周期を早めている割合が高い。「住まいの管理手帳」では、屋根材の種類にかかわらず点検周期は同じであるが、定期

的な手入れおよび更新・取替の時期として、金属板ふきは 5 年で塗り替え、15 年で全面葺替を検討とされており、瓦葺きが 20 年で全面葺替を検討に比べて、細かな手入れが必要で葺替周期が早くなっている。このことも考慮されて、金属系で周期を早めていると考えられる。

外壁について（表 9.7）、年間降水量が少ない方が周期を早めている割合が高くなっており、屋根と異なっている。一方、降水量が多いと材料によって方法をかえている割合が高い。外壁材料別にみると、木製およびモルタルで周期を早めており、金属系およびサイディングでは材料によって方法をかえている傾向がみられる。「住まいの管理手帳」では、外壁はサイディング、モルタル、金属板にかかわらず、点検周期は 3 年とされているが、サイディングは 3 年でトップコート吹替、15 年で全面補修を検討とされており、他の材料に比べて手入れや更新の周期が詳細に示されている。今回の結果からは、サイディングにおいて維持保全を早めていることは確認できないが、材料によって方法をかえることが意識されていることはわかった。なお、外壁は屋根とともに住宅の外皮となり、降水や降雪の影響を受けやすいものの、維持保全において、外壁は屋根より降水や降雪の影響は小さく認識されているように考えられる。

雨樋について（表 9.8）、年間降水量が多いと周期を早めており、降水量が多いまたは少ないと材料によって方法をかえている傾向がみられる。豪雪地域では周期は早められていないが材料によって方法をかえており、材料を考慮した維持保全が行われている。なお、豪雪地域では雨樋をつけない場合もあるので、維持保全の仕方も異なっていると予想される。一方、「住まいの管理手帳」では、3 年と 4 年を組み合わせた 7 年を周期として、点検や全面取替の検討が示されている。屋根と同様に、雨樋も降水の影響が大きく、降水量の多い地域では周期を早めるなど意識的に維持保全が行われていることがわかった。

構造躯体について（表 9.9）、降水量が多いと周期を早めている、降水量が少ないと周期を遅めにしている傾向がみられ、降水を意識した維持保全が行われていることがわかった。「住まいの管理手帳」では、床組の点検は 5 年周期、軸組および小屋組の点検は 10 年周期と示されている。床下からの影響を考慮した周期設定と予想され、降水により床下が湿気るなど、床組材の劣化が懸念されていると考えられる。

このように、維持保全で気をつけていることとして、降水の影響が大きいことがわかった。屋根では顕著であり、外壁や構造躯体においても降水、つまり「水分」に対する維持保全が意識されていることがわかった。

表 9.6 屋根の維持保全

(%)				
	屋根	屋根	屋根	
年間降水量	n	周期を早めに行っている	周期を遅めに行っている	材料によってかえている
2000mm以上	20	40.0	5.0	60.0
1700～2000mm	14	21.4	14.3	64.3
1500～1700mm	21	23.8	19.0	38.1
1500mm未満	34	29.4	2.9	70.6

(%)				
	屋根	屋根	屋根	
年間降雪量	n	周期を早めに行っている	周期を遅めに行っている	材料によってかえている
600cm以上	5	40.0	0.0	80.0
200～600cm	10	50.0	20.0	50.0
50～200cm	13	15.4	0.0	61.5
10～50cm	6	33.3	16.7	50.0
10cm未満	55	27.3	9.1	60.0

(%)				
	屋根	屋根	屋根	
屋根材料	n	周期を早めに行っている	周期を遅めに行っている	材料によってかえている
粘土瓦	42	26.2	9.5	61.9
スレート系	10	20.0	10.0	40.0
金属系	20	40.0	15.0	50.0
瓦、スレート系	7	14.3	14.3	71.4
瓦、金属系	9	33.3	0.0	66.7
スレート系、金属系	2	50.0	0.0	50.0
瓦、スレート、金属	5	20.0	0.0	60.0

表 9.7 外壁の維持保全

(%)					
年間降水量	n	外壁 周期を早めに行っている	外壁 周期を遅めに行っている	外壁 材料によってかえている	
2000mm以上	20		25.0	0.0	75.0
1700～2000mm	14		21.4	35.7	28.6
1500～1700mm	21		33.3	19.0	33.3
1500mm未満	34		38.2	0.0	64.7

(%)					
年間降雪量	n	外壁 周期を早めに行っている	外壁 周期を遅めに行っている	外壁 材料によってかえている	
600cm以上	5		20.0	20.0	80.0
200～600cm	10		50.0	0.0	60.0
50～200cm	13		15.4	0.0	69.2
10～50cm	6		66.7	16.7	16.7
10cm未満	55		29.1	12.7	50.9

(%)					
外壁材料	n	外壁 周期を早めに行っている	外壁 周期を遅めに行っている	外壁 材料によってかえている	
サイディング	64		28.1	12.5	50.0
モルタル	7		42.9	14.3	14.3
塗り壁	2		0.0	0.0	100.0
金属系	3		33.3	0.0	66.7
木製	1		100.0	0.0	0.0
サイディングとモルタル	7		42.9	0.0	57.1
サイディングと金属	3		33.3	0.0	100.0
サイディングと木製	3		33.3	0.0	100.0
モルタルと木製	2		0.0	50.0	50.0
金属と木製	1		0.0	0.0	100.0

表 9.8 雨樋の維持保

(%)				
年間降水量	n	雨樋 周期を早めにしている	雨樋 周期を遅めにしている	雨樋 材料によってかえている
2000mm以上	20	35.0	15.0	35.0
1700～2000mm	14	28.6	28.6	14.3
1500～1700mm	21	19.0	28.6	23.8
1500mm未満	34	29.4	11.8	38.2

(%)				
年間降雪量	n	雨樋 周期を早めにしている	雨樋 周期を遅めにしている	雨樋 材料によってかえている
600cm以上	5	0.0	40.0	40.0
200～600cm	10	40.0	10.0	30.0
50～200cm	13	15.4	0.0	46.2
10～50cm	6	33.3	50.0	0.0
10cm未満	55	30.9	20.0	29.1

表 9.9 構造躯体の維持保全

(%)				
年間降水量	n	構造躯体 周期を早めにしている	構造躯体 周期を遅めにしている	構造躯体 材料によってかえている
2000mm以上	20	20.0	15.0	30.0
1700～2000mm	14	21.4	14.3	21.4
1500～1700mm	21	14.3	28.6	23.8
1500mm未満	34	17.6	23.5	35.3

(%)				
年間降雪量	n	構造躯体 周期を早めにしている	構造躯体 周期を遅めにしている	構造躯体 材料によってかえている
600cm以上	5	0.0	40.0	40.0
200～600cm	10	20.0	30.0	40.0
50～200cm	13	7.7	0.0	38.5
10～50cm	6	33.3	33.3	0.0
10cm未満	55	20.0	21.8	27.3

4) 維持保全で気をつけている理由

先に述べたように、維持保全で気をつけていることとして、周期を早めに設定している、周期を遅めに設定している、材料によってメンテナンス方法をかえているが挙げられた。その具体的な理由を屋根、外壁、雨樋、構造躯体において検討する。

屋根では（表 9.10）、周期を早めに設定しているのは、地域性を考慮しているため、メンテナンスの要望が多いためであり、材料によって方法をかえている理由も同様である。地域性について、さらに具体的にみると、降水量・降雪量が高く考慮されており、次いで、季節風や防風などの風、潮風・塩害である。

外壁では（表 9.11）、周期を早めに設定しているのは、地域性を考慮しているためであり、季節風や防風などの風が考慮されている。また、材料によって方法をかえているのは、地域性を考慮しているため、メンテナンスの要望が多いためである。地域性として、降水量・降雪量および季節風や防風などの風が考慮されている。また、周期を遅めに設定しているのは、メンテナンスの要望が少ないからであり、住み手の要望が維持保全の周期に影響していることがわかる。屋根でも同様の傾向がみられるように、外壁や

屋根の維持保全では足場を組む必要もあり、大がかりな工事となり、そのため費用の準備も必要である。住み手としてはメンテナンスの要望をだしにくい現状もあると予想される。

雨樋では（表 9.12）、屋根と同様に、周期を早めに設定している、または材料によって方法をかえているのは、地域性を考慮しているため、メンテナンスの要望が多いためであり、理由も同様である。地域性について、さらに具体的にみると、降水量・降雪量が高く考慮されており、次いで、季節風や防風などの風、潮風・塩害である。また、周期を遅めにしているのは、外壁と同様に、メンテナンスの要望が少ないからである。雨樋はこまめな維持保全が必要であると思われるものの、住み手がその必要性を認識していないことが予想される。

構造躯体では（表 9.13）、周期を早めに設定している、または材料によって方法をかえているのは、地域性を考慮しているためである。地域性について、周期を早めに設定しているのはシロアリの生育分布を考慮しているため、材料によって方法をかえているのは、シロアリの生育分布とともに最低気温や最高気温などの温度が考慮されているためである。また、生物劣化に必要な「水分」となる降水量・降雪量も考慮されている。

このように、住宅の維持保全において、周期を早めに設定している、材料によって方法をかえているのは、地域性を考慮しているためであり、降水量・降雪量、季節風や防風などの風、潮風・塩害、さらに構造躯体においてはシロアリの生育分布が考慮されていることが明らかとなった。また、維持保全において、住み手からの要望も影響しており、要望が多いと積極的に維持保全されているようであるが、要望が少ないと周期を遅めに設定しているなど、やや消極的な対応が確認された。維持保全において、住み手の意識を高めていくことも重要であり、そのためには工務店が維持保全計画に従うだけではなく、見回りの際に状況を把握して住み手に伝えていくことも大切な役割であるといえる。

表 9.10 屋根の維持保全の理由

	(%)		
屋根	周期を早めている(n=27)	周期を遅めている(n=9)	材料によってかえている(n=55)
地域性考慮	63.0	33.3	45.5
メンテナンス要望多い	51.9	11.1	40.0
メンテナンス要望少ない	0.0	33.3	7.3
メンテナンス費用高い	11.1	22.2	14.5
メンテナンス費用安い	0.0	0.0	0.0

地域性の具体的内容	周期を早めている(n=17)	周期を遅めている(n=3)	材料によってかえている(n=25)
気温や温度	23.5	33.3	20.0
日照時間	5.9	0.0	4.0
季節風・防風	41.2	33.3	48.0
潮風・塩害	29.4	66.7	40.0
降水量・降雪量	70.6	33.3	64.0
シロアリ生育分布	0.0	0.0	4.0

表 9.11 外壁の維持保全の理由

(%)			
外壁	周期を早めている(n=29)	周期を遅めている(n=10)	材料によってかえている(n=50)
地域性考慮	89.7	20.0	52.0
メンテナンス要望多い	6.9	0.0	48.0
メンテナンス要望少ない	0.0	40.0	0.0
メンテナンス費用高い	13.8	10.0	12.0
メンテナンス費用安い	0.0	0.0	0.0

地域性の具体的内容	周期を早めている(n=26)	周期を遅めている(n=2)	材料によってかえている(n=26)
気温や温度	7.7	50.0	26.9
日照時間	3.8	0.0	15.4
季節風・防風	23.1	0.0	50.0
潮風・塩害	15.4	50.0	38.5
降水量・降雪量	15.4	50.0	50.0
シロアリ生育分布	0.0	0.0	3.8

表 9.12 雨樋の維持保全の理由

(%)			
雨樋	周期を早めている(n=26)	周期を遅めている(n=19)	材料によってかえている(n=28)
地域性考慮	53.8	10.5	53.6
メンテナンス要望多い	50.0	21.1	42.9
メンテナンス要望少ない	0.0	47.4	3.6
メンテナンス費用高い	0.0	0.0	0.0
メンテナンス費用安い	15.4	10.5	0.0

地域性の具体的内容	周期を早めている(n=14)	周期を遅めている(n=2)	材料によってかえている(n=15)
気温や温度	7.1	50.0	20.0
日照時間	7.1	0.0	0.0
季節風・防風	28.6	0.0	40.0
潮風・塩害	7.1	50.0	26.7
降水量・降雪量	92.9	50.0	73.3
シロアリ生育分布	0.0	0.0	6.7

表 9.13 構造躯体の維持保全の理由

(%)			
構造躯体	周期を早めている(n=16)	周期を遅めている(n=22)	材料によってかえている(n=27)
地域性考慮	50.0	22.7	48.1
メンテナンス要望多い	25.0	9.1	25.9
メンテナンス要望少ない	6.3	40.9	11.1
メンテナンス費用高い	18.8	22.7	18.5
メンテナンス費用安い	0.0	0.0	0.0

地域性の具体的内容	周期を早めている(n=8)	周期を遅めている(n=5)	材料によってかえている(n=13)
気温や温度	0.0	40.0	46.2
日照時間	0.0	20.0	7.7
季節風・防風	12.5	0.0	7.7
潮風・塩害	0.0	20.0	0.0
降水量・降雪量	25.0	60.0	23.1
シロアリ生育分布	62.5	20.0	53.8

5) 屋根および外壁における材料と維持保全のかかわり

屋根および外壁について、材料と維持保全のかかわりを検討する（表 9.14）。材料ごとに維持保全の方法をかえている工務店は 84% 多かった。維持保全の方法をかえている理由として、劣化が早いから、劣化が遅いから、劣化がわかりやすいから、劣化がわかりにくいから、維持保全費用が安いから、維持保全費用が高いからを挙げて尋ねた。その結果、屋根では、粘土瓦は劣化が遅いから、劣化がわかりにくいから、維持保全費用が高いから維持保全方法をかえていることがわかる。反対に、金属系やスレート系の屋根材は劣化が早いから、劣化がわかりやすいから維持保全方法をかえている。また、外壁では、サイディングや木製は劣化が早いから、劣化がわかりやすいから、モルタルは劣化が遅いから、金属系では維持保全費用が安いから維持保全方法をかえていることがわかる。

このように、屋根や外壁の維持保全において、使用されている材料の劣化特性や維持保全費用などが考慮されていることが明らかとなった。

表 9.14 維持保全の理由と材料

理由	% (n=83)							
	屋根			外壁				
	粘土瓦	スレート系	金属系	サイディング	モルタル	金属	木製	
劣化が早いから	2.4	18.1	22.9	34.9	3.6	3.6	12.0	
劣化が遅いから	69.9	2.4	19.3	12.0	12.0	4.8	2.4	
劣化がわかりやすいから	1.2	8.4	15.7	27.7	1.2	1.2	2.4	
劣化がわかりにくいから	9.6	7.2	6.0	7.2	1.2	0.0	0.0	
維持保全費用が安いから	2.4	4.8	3.6	9.6	3.6	2.4	1.2	
維持保全費用が高いから	7.2	0.0	2.4	10.8	6.0	0.0	1.2	

3.6 維持保全計画の現状

維持保全の現状について表 9.15 に示す。維持保全計画の有無について、あり 50%、なし 50%であった。維持保全計画なしの理由は、要望がない、必要がない、毎年訪問しているなどであり、維持保全計画がなくても、定期的に様子をみに行く、住み手の要望をきくなどの行為が継続的に行われており、あえて維持保全計画として整理されていない工務店が多い。

維持保全計画ありについて、2000 年より前から維持保全計画がある工務店は 4%に過ぎず、2000 年以降に維持保全計画を有する工務店が増えており、2010 年以降は 51%と半数をしめている。長期優良住宅の認定制度の影響を受けて、維持保全計画を整えている工務店が多いことがわかる。維持保全計画として実際に使用している、または計画を作成する際に参考とした資料は、「住まいの管理手帳」57%、「よくわかる 長持ちする住宅の設計手法マニュアル「設計・施工・維持管理」」14%、「ハウスメーカーの維持保全計画」4%であり、住まいの管理手帳が広く参照されているといえる。

現在の維持保全計画について、既存のものをそのまま使用(71%)、既存のものを改良(8%)、完全に独自のもの(16%)であり、既存の維持保全計画がそのまま使用されている割合が高い。既存のものをそのまま使用している理由は、わかりやすい、一般的である、良くできている、使いやすいからであり、既存のものに不満や不便は感じていない。なお、回答数は少なかったものの、既存のものを改良、完全に独自の計画を整備しているのは、雪の多い地域だから、寒冷地に適した点検が必要だから、早期点検早期修繕のためであり、維持保全について、地域性や維持保全の早期実施が強く考慮されていることがわかった。また、維持保全計画について、住み手参加の重要性を強調する積極的な意見がみられた一方で、小規模工務店のため体制が整備されにくいことも課題として挙げられていた。

このように、維持保全計画について、回答工務店の半数が維持保全計画を有しており、それらの多くは既存の計画（多くは「住まいの管理手帳」）をそのまま使用していることがわかった。現在のところそれらの維持保全計画に不満や不便は感じられていない。維持保全計画への積極的な取り組みとして、地域性の考慮や維持保全の早期実施、住み手の参加を促す計画もみられた。一方で、今までに継続的に行ってきた点検や住み手からの要望を受ける体制を継続している工務店もあり、維持保全計画というしほりをあえて設けない例もみられた。ここでの課題は、維持保全計画の体制を整備する際に、小規模工務店では人手不足などが種々の原因となりやすいことである。

表 9.15 維持保全計画の現状

維持保全計画の有無	回答数	%(n=99)	参考資料	回答数	%(n=49)
あり	49	49.5	住まいの管理手帳	28	57.1
なし	50	50.5	長持ちする住宅の設計手法マニュアル	7	14.3
			ハウスメーカーの維持保全計画	2	4.1
計画作成時期	回答数	%(n=49)	維持保全計画の作成状況	回答数	%(n=49)
2000年より前	2	4.1	既存のものをそのまま使用	35	71.4
2000～2010年	17	34.7	既存のものを改良	4	8.2
2010年～	25	51.0	完全に独自のもの	8	16.3

7) 長期優良住宅に対する取り組み

表 9.16 に示すように、長期優良住宅の認定取得について、積極的に取得(30%)、頼まれば取得するがあまり積極的でない(57%)、取得していない(12%)であった。積極的に取得している理由は、補助金や支援金を受けられるからが最も多く、費用面でのメリットが受け入れられている。また、ストック型社会への転換の必要性を感じている工務店も多い。一方、あまり積極的でない理由は、お金がかかるが最も多く(71%)、次いで取得にメリットを感じない(68%)、要望がない(48%)であった。メリットを感じないについて、既に継続的な点検や住み手の要望をきいて対応しているので、あえて長期優良住宅

の認定は必要ないと感じていると思われる。

表 9.16 長期優良住宅に対する取組み

長期優良住宅認定取得	回答数	% (n=99)		積極的に取得の理由	回答数	複数回答 % (n=30)
積極的に取得	30	30.3	→	ストック型社会への転換	21	70.0
頼まれれば取得	56	56.6		環境問題に貢献したい	12	40.0
取得していない	12	12.1		補助金を受けられる	25	83.3
				施主からの要望が多い	6	20.0
今後の取組み	回答数	% (n=99)				
全棟で実施	13	13.1	↓	頼まれれば取得の理由	回答数	複数回答 % (n=56)
施主の要望があれば実施	67	67.7		取得にメリットを感じない	38	67.9
実施予定なし	5	5.1		お金がかかる	40	71.4
				申請が面倒	31	55.4
				人手不足	9	16.1
				認定方法がわからない	2	3.6
				施主からの要望がない	27	48.2

今後の取組みについて、要望があれば実施するという回答が 75%と高く、形式にはこだわらず、住み手とのつながりをもちながら、住宅の維持保全に対応しようとする様子がうかがえる。

8) 工務店を支援する団体の活用状況

ほぼすべての工務店は、工務店の諸活動を支援する団体へ登録している(98%)。具体的な登録団体は表 9.17 に示すように、JBN サポートセンターが最も多い。各団体が開催する講習会やイベントへの参加状況をみると、9 割近くの工務店は参加経験があり、具体的には、長期優良住宅について、省エネ基準について、耐震診断についての講習会が多い。新しい制度や制度内容が変更されると、積極的に情報収集が行われている。参加回数も 2 回以上と複数回の参加がみられる。

今後の参加希望は 91%と高く、今までの参加の有無にかかわらず、参加希望は高い。積極的な参加がみられた長期優良住宅、耐震診断、省エネ基準に関する講習会については、参加経験者の方が今後の参加を希望する割合が高い。講習会への評価が良かったことや情報の更新の必要性を強く認識しているためと考えられる。

このように、工務店を支援する団体へ登録している工務店は多く、地域に根ざした活動を行いつつ、新しい制度や情報収集のため、諸団体が開催する講習会に積極的に参加している。参加により、有益な情報等が得られているようで、今後の参加希望も高い。維持保全に関連して、維持保全への取組みの現状を把握した結果、住み手の要望を受け入れながら対応していく姿勢が強くみられた。その際、新しい制度や情報も必要であり、工務店を支援する団体への要望も高まっていくと予想される。地域性を考慮しながら、地域に根ざした維持保全を行う工務店を支えるために、支援の充実が望まれる。

表 9.17 工務店を支援する団体の活用状況

登録団体	回答数	%(n=98)
JBNサポートセンター	58	59.2
住宅あんしん保証	32	32.7
住宅保証機構	37	37.8
日本住宅保証検査機構	37	37.8
ハウスジューメン	17	17.3
ハウスプラス住宅保証	8	8.2

講習会参加状況	回答数	%(n=98)
参加あり	87	88.8
参加なし	11	11.2

参加内容	参加数	参加回数			%(n=87) 参加回数(%)			
		1回	2～4回	5回以上	参加数	1回	2～4回	5回以上
長期優良住宅	72	28	27	7	82.8	38.9	37.5	9.7
大工育成	13	7	1	0	14.9	53.8	7.7	0.0
耐震診断	51	23	16	5	58.6	45.1	31.4	9.8
リフォーム	34	16	9	4	39.1	47.1	26.5	11.8
住宅履歴	40	24	10	1	46.0	60.0	25.0	2.5
省エネ基準	69	23	27	8	79.3	33.3	39.1	11.6

今後の参加希望	回答数	%(n=89)
希望あり	81	91.0
希望なし	8	9.0

希望内容	回答数	%(n=81) 参加あり 参加なし			
		希望内容	回答数	参加あり	参加なし
長期優良住宅	23	28.4	23.6	0.0	
大工育成	27	33.3	30.8	29.2	
耐震診断	27	33.3	33.3	8.8	
リフォーム	28	34.6	38.2	21.6	
住宅履歴	24	29.6	32.5	11.1	
省エネ基準	49	60.5	52.2	37.5	
バリアフリー	7	8.6	-	-	
後継者育成	20	24.7	-	-	
住宅性能保証	14	17.3	-	-	
瑕疵保証	11	13.6	-	-	

3.9 地域性や材料特性を考慮した維持保全計画の検討

木住宅の維持保全を進めるにあたり、早期発見、早期補修が重要である。早期発見をするためには、点検が適切な時期に行われることが必要である。そこで、点検の時期、周期を検討する。

屋根、外壁、雨樋、構造躯体について、維持保全の周期を早めている工務店について、所在都道府県、降水量、降雪量、周期を早めている部位および早めている要因をまとめ表 9.18 に示す。所在都道府県がある程度限定され、15 道府県である。降水量および降雪量のグループをみると、北海道および東北では降雪量が多い、富山県は降水量、降雪量ともに多い。広島県、高知県、鹿児島県は降水量が多く、それらの影響で維持保全の周期が早められている。また、降水や降雪が中庸な神奈川県、和歌山県では塩害や風の影響が大きい。岡山県は瀬戸内に位置しているが風の影響を受けやすい。局地風の影響を受けているのかもしれない。また、高知県および和歌山県は台風の上陸数が多いことから、風や降水のため周期が早められている。さらに、神奈川県、和歌山県、高知県、鹿児島県では構造躯体へのシロアリの影響が危惧されている。イエシロアリの生育地域であることから、考慮されていると考えられる。このように、各地域の降水や降雪、風などの気象状況と塩害の影響およびシロアリ（特にイエシロアリ）の生育範囲を重ね合

わせると、維持保全の周期が早められている地域が明らかとなった。一般的な維持保全計画では、地域性は考慮されていないが、地域に根ざした工務店では、一般的な維持保全計画を参照しつつ、地域性を考慮した維持保全が実施されていることがわかった。しかし、これは限られた工務店であり、必要な情報を共有しながら、地域性を活かした維持保全をしていくことが更に求められる。

また、材料特性と維持保全について検討する。屋根について、仕上げ材により維持保全の周期を早めているのは、表 9.19 に示す 7 工務店であり、仕上げ材料は粘土瓦、金属系および粘土瓦とスレート、粘土瓦と金属系であり、特に金属系の仕上げ材を使用している場合に、維持保全の周期が早められている。降雪量が多いと金属系の材料が使用されることが多いが、金属系は劣化がわかりやすいものの、劣化が早いと認識されている。こまめな点検で初期劣化を発見し、適切な修繕を行うことが重要である。外壁について、仕上げ材により維持保全の周期を早めているのは、表 9.20 に示す 6 工務店であり、仕上げ材料はサイディング、サイディングとモルタル、サイディングと金属系、サイディングと木製であり、サイディングには注意が必要である。サイディングも劣化がわかりやすいものの、劣化が早いと認識されている一方で、国内で広く使用されている外壁材であるため、降水や降雪の多い地域、風の影響を受けやすい地域では、劣化の早期発見、早期補修が重要である。

表 9.18 維持保全の周期を早めている工務店

所在都道府県	降水量グループ	降雪量グループ	部位	要因	所在都道府県	降水量グループ	降雪量グループ	部位	要因	年間降水量グループ
北海道	4	1	屋根	塩害	京都	4	5	雨樋	降水降雪	1：2000mm以上
北海道	4	1	外壁	塩害	兵庫	4	5	屋根	風	2：1700～2000mm
青森	3	1	屋根	降水降雪	兵庫	4	5	外壁	風	3：1500～1700mm
岩手	3	2	外壁	風	兵庫	4	5	屋根	降水降雪	4：1000～1500mm
岩手	3	2	屋根	降水降雪	兵庫	4	5	雨樋	降水降雪	5：1000mm未満
岩手	3	2	屋根	降水降雪	兵庫	4	5	雨樋	降水降雪	
岩手	3	2	外壁	降水降雪	和歌山	4	5	屋根	塩害	年間降雪量グループ
岩手	3	2	雨樋	降水降雪	和歌山	4	5	外壁	塩害	1：600cm以上
山形	4	2	屋根	塩害	和歌山	4	5	雨樋	塩害	2：200～600cm
山形	4	2	外壁	塩害	和歌山	4	5	屋根	風	3：50～200cm
山形	4	2	屋根	風	和歌山	4	5	外壁	風	4：10～50cm
山形	4	2	外壁	風	和歌山	4	5	雨樋	風	5：10cm未満
埼玉	4	5	屋根	降水降雪	和歌山	4	5	屋根	降水降雪	
埼玉	4	5	外壁	降水降雪	和歌山	4	5	外壁	降水降雪	
埼玉	4	5	雨樋	降水降雪	和歌山	4	5	雨樋	降水降雪	
神奈川	3	4	屋根	塩害	和歌山	4	5	構造	シロアリ	
神奈川	3	4	外壁	塩害	岡山	4	5	屋根	風	
神奈川	3	4	屋根	風	岡山	4	5	外壁	風	
神奈川	3	4	外壁	風	岡山	4	5	雨樋	風	
神奈川	3	4	雨樋	風	岡山	4	5	屋根	降水降雪	
神奈川	3	4	構造	シロアリ	岡山	4	5	雨樋	降水降雪	
富山	1	2	屋根	風	広島	2	5	屋根	降水降雪	
富山	1	2	屋根	風	広島	2	5	雨樋	降水降雪	
富山	1	2	雨樋	風	広島	2	5	構造	シロアリ	
富山	1	2	屋根	降水降雪	高知	1	5	屋根	塩害	
富山	1	2	屋根	降水降雪	高知	1	5	屋根	降水降雪	
富山	1	2	雨樋	降水降雪	高知	1	5	屋根	降水降雪	
富山	1	2	雨樋	降水降雪	高知	1	5	外壁	降水降雪	
富山	1	2	雨樋	降水降雪	高知	1	5	雨樋	降水降雪	
長野	4	2	雨樋	降水降雪	高知	1	5	雨樋	降水降雪	
					高知	1	5	構造	シロアリ	
					鹿児島	2	5	構造	シロアリ	

表 9.19 屋根の維持保全周期早めと材料

所在都道府県	年間降水量	年間降雪量	屋根材料
北海道	1000～1500mm	600cm以上	金属系
山形	1000～1500mm	200～600cm	金属系
富山	2000mm以上	200～600cm	粘土瓦
埼玉	1000～1500mm	10cm未満	瓦、スレート系
広島	1700～2000mm	10cm未満	瓦、金属系
岡山	1000～1500mm	10cm未満	粘土瓦
和歌山	1000～1500mm	10cm未満	金属系

表 9.20 外壁の維持保全周期早めと材料

主都道府県	年間降水量	年間降雪量	外壁材料
北海道	1000～1500mm	600cm以上	サイディングと金属
山形	1000～1500mm	200～600cm	サイディング
埼玉	1000～1500mm	10cm未満	サイディング
岡山	1000～1500mm	10cm未満	サイディングとモルタル
和歌山	1000～1500mm	10cm未満	サイディングと木製
富山	2000mm以上	200～600cm	サイディング

9.2.4 まとめ

住宅の維持保全における地域性について、現状を把握するとともに維持保全計画およびその実施にあたっての課題を整理し、地域性を考慮した維持保全計画について検討した。また、工務店を支援する団体の活用状況を調べ、工務店の現状に基づいた支援のあり方を検討した。

工務店の維持保全に対する姿勢として、維持保全計画に従うだけではなく、日頃から住み手とのつながりが保たれている様子が伺えた。

維持保全において降水の影響が大きいことがわかった。屋根では顕著であり、外壁や構造躯体においても降水、つまり「水分」に対する維持保全が意識されている。

住宅の維持保全において、周期を早めに設定している、材料によって方法をかえているのは、地域性を考慮しているためであり、降水量・降雪量、季節風や防風などの風、潮風・塩害、さらに構造躯体においてはシロアリの生育分布が考慮されている。また、維持保全において、住み手からの要望も影響しており、要望が多いと積極的に維持保全されているようであるが、要望が少ないと周期を遅めに設定しているなど、やや消極的な対応が確認された。維持保全において、住み手の意識を高めていくことも重要であり、そのためには工務店が維持保全計画に従うだけではなく、見回りの際に状況を把握して住み手に伝えていくことも必要である。さらに、屋根や外壁の維持保全において、使用されている材料の劣化特性や維持保全費用などが考慮されていることが明らかとなった。

維持保全計画について、回答工務店の半数が維持保全計画を有しており、それらの多

くは既存の計画（多くは「住まいの管理手帳」）をそのまま使用していることがわかった。現在のところそれらの維持保全計画に不満や不便は感じられていない。維持保全計画への積極的な取組みとして、地域性の考慮や維持保全の早期実施、住み手の参加を促す計画もみられた。一方で、今までに継続的に行ってきた点検や住み手からの要望を受ける体制を継続している工務店もあり、維持保全計画というしほりをあえて設けない例もみられた。ここでの課題は、維持保全計画の体制を整備する際に、小規模工務店では人手不足などが種々の原因となりやすいことである。

工務店を支援する団体へ登録している工務店は多く、地域に根ざした活動を行いつつ、新しい制度や情報収集のため、諸団体が開催する講習会に積極的に参加している。参加により、有益な情報等が得られているようで、今後の参加希望も高い。維持保全に関連して、維持保全への取組みの現状を把握した結果、住み手の要望を受け入れながら対応していく姿勢が強くみられた。その際、新しい制度や情報も必要であり、工務店を支援する団体への要望も高まっていくと予想される。地域性を考慮しながら、地域に根ざした維持保全を行う工務店を支えるために、支援の充実が望まれる。

地域性や材料特性を考慮した維持保全計画について、屋根において金属系の仕上げ材を使用している場合に、維持保全の周期が早められている。降雪量が多いと金属系の材料が使用されることが多いが、金属系は劣化がわかりやすいものの、劣化が早いと認識されている。こまめな点検で初期劣化を発見し、適切な修繕を行うことが重要である。外壁ではサイディングには注意が必要である。サイディングも劣化がわかりやすいものの、劣化が早いと認識されている一方で、国内で広く使用されている外壁材であるため、降水や降雪の多い地域、風の影響を受けやすい地域では、劣化の早期発見、早期補修が重要である。

9.3 維持管理における点検作業のマニュアル化

本 TG では維持管理における点検作業について、点検方法・部位や判断基準について、既往の調査、資料や文献を参照して基本的な流れや手順マニュアルの基本形を作成した。以下にその一例を示す。なお以下の解説は、木部の劣化診断技術のマニュアルの基本部分として利用可能な形式・表現や体裁にまとめている。

1. 維持管理における点検診断の基本技術

1.1 維持管理における点検診断

木質構造物の維持管理は劣化診断と補修から成り立つ。

劣化診断の目的は、構造物の安全確認と劣化や不具合の早期発見といえる。このマニュアルでは、木質構造物について、実施すべき劣化診断の手順について解説する。

1.2 劣化診断の基本概念

1.2.1 劣化診断（生物劣化診断とは）

住宅の劣化診断では、本来そこで使われている全ての材料の劣化を評価しなければならない。すなわち、鉄鋼やアルミ合金等の金属材料、プラスチック類、コンクリートや窯業系材料、そして木材・木質建材といった材料が診断対象になる。また材料の種類に応じて劣化の種類も異なり、機械的損耗、酸化、紫外線劣化（分解）、化学物質、熱や温度変化による劣化、そして生物劣化（腐朽および虫害）といった劣化因子が存在する。

また実際の住宅では、例えば地盤沈下によって外壁に亀裂が生じ、そこから雨水が浸潤して内部が腐朽する、という風に劣化の連鎖や相互作用が起きているケースがよく見られる。ところが全ての材料の全ての劣化を診断することは困難で、現実的には維持管理上また構造の強度や安全性を考える上で最も問題となる劣化に絞り込んで診断をすることになる。具体的には、鉄部の錆び（酸化）、コンクリートの劣化や木部（構造材）の腐朽や虫害であり、そしてそれらを誘引する水分の浸潤をもたらす現象、すなわち表面材や塗装の亀裂等が評価の対象となる。

1.2.2 劣化診断の4要件

この劣化診断に求められる4つの要件を以下に示す。

対象の現況（劣化状態）の把握

「どんな劣化がどこにあるのか?」、「どのようにあるのか?」または「あったのか?」を明らかにすることが求められる。

そのための基本原則は、

- ・現況（現在の状態）を可能な限り客観的・正確に把握する
- ・劣化の種類（腐朽、シロアリ食害）、範囲と程度を把握する

となる。しかし劣化の程度を精密に診断することには限界があり、後述する一次診断では、劣化の程度を大雑把に以下のような3段階程度に把握することに留まる。

レベル1 明らかな劣化がある（強度低下や断面欠損が最大3割程度以下）

レベル2 著しい劣化がある（同上3から7割程度）

レベル3 重大な劣化がある（同上7割以上で、ほぼ完全な欠損とみなせる）

また生物劣化が進行性か痕跡かを判定する必要がある。痕跡の場合には劣化部位の補修や補強でよいが、進行性であれば駆除や殺菌等の処置がまず必要になる。

劣化と強度との関連を明らかにすることは重要であるが、現在では精密な強度評価には高度な技術が必要である。また劣化診断では、現況を客観的に報告するのが原則で、建造物の寿命・危険度判定（将来予測）は極力避けるべきである。

劣化の原因やメカニズムの推定

劣化診断では、「なぜ、どのように劣化が発生したのか？」を明らかにすることが求められる。劣化の直接の原因を探るポイントは

- ・劣化因子（昆虫や菌類）がどこからどのような侵入し、繁殖し、劣化をもたらしたか？
- ・劣化を惹起した水分はどのように供給されたか？

となる。また直接の原因の背後にある遠因として

- ・建造物のある環境、建造物の構造・材料・施工・点検の実態と劣化との関連を検討することが根本的な対策を考える上で重要になる。

例えば住宅のコンクリート基礎の床下でシロアリ被害が発生し、直接の原因は基礎に生じた亀裂からシロアリ（蟻道）が侵入していたことが分かったとする。この場合、対策を考える上で、遠因としてなぜ亀裂が発生したのかを、亀裂の発生の仕方等から推定することが重要になる。例えば基礎が2度に分けて打設されたため、つなぎ目が亀裂となったのか、地盤の不等沈下が原因で亀裂が発生したのか、等を明らかにすることによってより根本的で適切な対策をとることができる。

ここで重要な注意点は、劣化の原因やメカニズムはあくまで推定することができるだけで、事実ではないことである。そして推定結果は、絶対的なものでなく、たとえ診断技術レベルの高い診断士の推定結果でも、誤りを含んでいる可能性があり得る。そのため報告書では現況（観察事実）とは区別して表記する必要がある。これによって、診断士の責任範囲が明確になるとともに、診断の成果と限界を診断者と依頼者が同じレベルで理解できることになる。例えば診断者が「土台に著しい腐朽が見られる」という現況（事実）の報告と、「この原因は土台上部の壁からの結露水の浸潤によると思われる」という推定を明確に区別して報告することによって、依頼者は事実と意見を区別することができる。また仮に診断に誤りがあったとして、事実誤認があったのか、推定に誤りがあったのかを明らかにすることができる。

1.3 木質構造物の構造と劣化特性

1.3.1 木質構造物に発生しうる劣化

木質構造物には様々な経年変化が発生する。その変化は、木部の腐朽や虫害といった生物劣化が直接的な原因で発生するものと、そうでないものに分かれる。

また生物劣化とは直接的に関連しないものの、生物劣化を誘引する変化（割れなど）や、生物劣化と同様の環境で発生する変化（コケや藻類の発生や金具のサビなど）もある。劣化診断ではこれらを正確に判定することが求められるが、まず劣化診断で識別すべき重要な木部の生物劣化の概要を説明する。

1) 腐朽

木材腐朽は、木材を養分として成長する菌類によって発生するが、菌類の種は多様である。菌類の発生の元になる胞子は、非常に微小で、空気中を浮遊し、木材表面に付着する。

ここに雨水などの水分が供給されると、発芽し、菌糸が発生する。菌糸を構成している細胞は分裂を繰り返し、糸状に成長してゆく。その過程で、菌糸細胞は木材を分解する酵素を分泌し、分解した木材成分を栄養分として菌糸が成長するとともに、木材の密度や強度が低下してゆく。これが木材腐朽の実態である。

菌糸は十分成長するとやがて子実体（キノコ）が発生させる。キノコからややがて胞子が飛散し、空気中に浮遊した胞子が再度木材に付着して発芽し、世代交代を繰り返す。木材腐朽性を示さない菌類も同様な生活環をたどるが、これらはここではカビ類として区別しておく。木材腐朽菌のほとんどは人間の生活環境で発生し、また酸素を必要とする。養分となる木材、温度環境や酸素、さらに水分のいずれか一つでも欠けていると木材腐朽は発生しない。通常のある環境にある木材の腐朽発生を左右するのは水分の存在である。木材が一定の期間、十分な水分（含水率で 30%以上）の浸潤状態にないと腐朽菌は発生しない。このことは水分管理が腐朽対策の基本であることを示している。

2) シロアリ食害（蟻害）

日本で建築物を加害するシロアリのうち、最も重要な種はヤマトシロアリとイエシロアリである。ヤマトシロアリは高い山地を除いてほぼ全国的に分布し、イエシロアリは太平洋ベルト地帯の海岸部から四国、九州以南の地域に分布している。どちらも、体長が数 mm 程度の小さな虫で、ハチのように 1 対の王と女王を中心とした集団（コロニー）を形成して生活している。もともと森林などに生息し、土中や樹木の根の下に巣を構えて生活していたが、現在では都市にも生息している。コロニーの 9 割以上を占める働き蟻（職蟻）は餌になる木材を求め、土中を蟻道と呼ばれるトンネルのネットワークを構築しながら生活圏を広げてゆく。杭や住宅の木部など餌になる木材に遭遇すると、働き蟻はそれを少しずつ食いちぎって栄養分とし、さらにそれを巣に持ち帰って被扶養層（幼虫など）に与える。シロアリは空気の流れや光を嫌うので土中や木材内部をひそかに食い進み、通常は人の目には見えない。しかし年に一度、春先にはコロニーから生殖機能をもった羽蟻が多数飛び出し、ペアになった雌雄のシロアリが土中や材内に潜り込んで新しいコロニーの王と女王となり、シロアリの活動（被害）が拡大してゆく。シロアリが生活するためには餌になる木材以外に、水分が必要であるが、蟻道のネットワークのどこかで水分供給ができれば生活できるので、乾燥した木材内でも食害領域が拡大してゆく。

3) 甲虫害

シロアリ以外で木材を加害する昆虫(害虫)には、キクイムシ類、シバンムシ類、カミキリ類、シンクイムシ類などの甲虫類やハチ類がある。これらの害虫は木材に飛来してきた成虫（メス）が、表面直下に産卵し、これから発生した幼虫が木部を食害する。幼虫は脱皮を繰り返し、さなぎになって 1 から 2 年程度で成虫になり、材から脱出し、雌雄の成虫がペアになった後、またメスが木材に産卵して食害が繰り返される。

多くの場合、成虫が脱出する際に穴をあけ、これが痕跡として残る。昆虫の種類によって直径が 1 から数 mm 程度の円形か卵形の穴をあける。時に穴の内部に虫粉（食べかすの木粉や糞などでできた粉で、茶色から黄土色）が詰まっていたり、穴の下方に排出された虫粉が堆積していたりする。これらの昆虫による食害は木材表面から発生し、長年の間に多数の個体によって食害が繰り返され、表面に穴が多数認められることがある。また他の虫があけた穴に入りこんで生活する昆虫もいる。なおクマバチやカミキリ類のような大型の昆虫による穴は 10 から 20mm 程度の大きさがある。

最もよく見かける甲虫類は、広葉樹材やラワン合板などに発生するヒラタキクイムシ類、伝統木造にみられるシバンムシ類やハチ類、竹材にみられるシンクイムシ類などである。これらの昆虫による食害は、基本的には建築後の木部に成虫が飛来し、産卵することから始まるが、建材の保管状態によっては建築時にすでに食害が始まっていると考えられる場合もある。また飛び出した成虫が、押入れ内部などに使われている無塗装の木部の表面に再度産卵し、被害が拡大する場合もある。

甲虫害は多くの場合、木部の辺材にのみ発生し、樹種もケヤキやクリなどの広葉樹やマツ類に多く発生する。したがって芯持ちで辺材部の少ないスギ、ヒノキやカラマツ材などではほとんど発生しない。

以上の甲虫類は、乾燥した木材を加害するカンザイ害虫で、木造建築を加害する害虫として重要である。一方湿潤な木部を食害する甲虫類もいる。建築では乾燥した木材を用いるのが基本であるので、これらの害虫が建築後の乾燥した木材を食害することはないが、十分乾燥されていない製材品を用いた場合には、立木や生木の状態で潜入していた甲虫の幼虫や蛹が材に残り、建築後に成虫として飛び出す場合がある。クロタマ虫やカミキリ類などがこれにあたる。この時点で材が乾燥していれば、飛び出した成虫が再び同じ材に産卵する確率は低いといえる。その一方で、杭材などで地際が常に湿潤状態であると、ゾウムシなどの甲虫によって繰り返し穿孔食害を受けることがある。

4) その他の劣化

木材の構造強度を低下させる劣化としては上述の 3 種が重要であるが、これ以外に表面を汚損したり、変色させる菌類なども存在する。また木材を食害しないが、木材表面に生息する昆虫類も存在する。

1.3.2 木質構造物の構造と発生しやすい生物劣化

建物の劣化は、設計、材料、施工の 3 要因以外に、その建物が置かれている環境や建物の使い方や維持管理によって左右される。

3 種類の劣化の特性からみて、木質構造物のどこにどのような劣化が生じるのかを簡単に整理すると以下ようになる。

① 床下や土壌からのシロアリの這い上がりと湿気による腐朽

- ② 壁内の結露・雨漏り・漏水による腐朽、下層からのシロアリ食害の這い上がり
- ③ 小屋組みにおける雨漏りによる腐朽
- ④ 床下・外周・小屋裏における甲虫害、合板や建材での甲虫害

木部の劣化は建物の設置場所の気候の影響を受ける。気温、湿度、降雨や降雪、風向と風力などによって腐朽の原因となる木部の濡れや結露の状態が変化する。また気候との関連で自然界に分布する昆虫の様相も変化し、虫害の発生状況が変化する。

また土壌の履歴、周囲の地形や植生も菌類や昆虫類の様相や、活性に影響している。維持管理や劣化診断ではこれらの要因を考慮しながら計画をたて、劣化診断を実施することが望ましいといえる。

1.4 劣化診断の計画

1.4.1 劣化診断の種類

木質構造物の維持管理における劣化診断を表 9.21 に示す。

表 9.21 劣化診断の種類

劣化診断	期 間	実施者	内 容
日常診断	巡回時	所有者・管理者	重点項目を中心とした簡単な診断
定期診断 (劣化診断)	数年毎	所有者・管理者 / 専門家(木材劣化診断士)	一次診断(視診・触診・打診・突刺し診) 不具合や劣化の早期発見
重点診断	不定期	専門家(木材劣化診断士)	二次診断(不具合部分の精密診断)
不定期診断	台風・地震等の後	所有者・管理者 / 専門家(木材劣化診断士)	不具合の発見

劣化診断はその実施内容や精度によって、3 段階に分類することができる(表 9.22)。劣化診断では一次診断を実施する。

表 9.22 劣化診断の 3 段階

一次診断	目視、打診、触診および突刺し診による劣化診断で、訓練された検査員が、主要構造部材を検査する。明らかな劣化や、劣化の可能性のある部位を抽出するのが目的。
二次診断	現場用の機器によるより定量的な劣化診断。計測は非破壊、材料の強度(欠損率)に関するデータ等を収集する。1 次と 2 次診断は同時に行うことがある。
三次診断	現場で採取したサンプルについて、専門の検査機関において、劣化の種類や程度を精密に判定する。腐朽の有無や程度、昆虫の種類等を同定する。一次・二次診断の現場からのサンプルを検査する。

また劣化診断は腐朽や虫害等を検出や評価する技術の観点から、以下の 3 つに分類できる。

劣化原因（菌や昆虫）の直接的・間接的な検出

- ・加害昆虫やそれらが残す糞などや、菌糸や子実体の検出
- ・各種の試薬やセンサを用いた生物体やその反応の検出
- ・培養や遺伝子技術を利用した菌や昆虫の同定

劣化による木材の物性の変化の評価

- ・視診、打診、触診による強度や密度の推定
- ・超音波、電磁波、穿孔抵抗や X 線による材料強度、密度や空洞の評価

劣化促進環境の評価

- ・温湿度、含水率、換気や土質等の測定
- ・日照、降雨、積雪、植生や昆虫分布等の評価

1.4.2 維持管理における劣化診断の計画

1) 長期の維持管理における診断計画

木質構造物の維持管理は、建築前から計画的に実施することが望ましいといえる。今後建築される住宅や公共建築物などは、維持管理計画の立案し、それが実施されるようになると思われる。

長期にわたる維持管理における劣化診断の計画立案では、建物の設計・構造、材料と施工技術、環境と利用状況に応じて、劣化診断の周期、診断部位と方法を明らかにした計画の立案が求められる。実際の計画立案には以下の因子を考慮して計画を立案する。環境面での考慮点は以下の通りである。

- ・気候の年変化（日照、降雨・降雪、風向きや風力）
- ・環境（土壌や植生、敷地の履歴）
- ・劣化外力（近隣でのシロアリなどの分布など）
- ・木質構造物の構造、材料や保存や施工処理

また建築後 1 年から 3 年の間に設置場所の環境や気候状況を把握したり、また木質構造物に現れる様々な変化の傾向や特徴を把握して、適宜診断計画を修正することも必要になる。また雨天や降雪時、風の強い時の様子にどのような変化が起きるのかも確認しておくで維持管理に役立つ。

2) 建物改修・売買評価や不具合発生時の劣化診断の計画

多くの既存の木質構造物については、適切に維持管理がなされているものは少なく、その状態で改修、保全や売買に供されるケースが殆どである。木材劣化診断士は多くの場合、これらの状況で劣化診断を実施することが多いが、現場での診断を効率よく適切に実施するために、劣化診断の実施前に計画を立てましょう。計画では事前情報から劣化診断の重点エリアや部位、劣化診断方法などを決定する。

2 点検や診断技術の手順

2.1 維持管理における一次診断

一次診断とは、視診、触診、打診および突刺し診といった簡単な方法による劣化診断である。一次診断の目的は、劣化に関連していると思われる異常部位をスクリーニング（抽出）することで、明らかな劣化があればそれを指摘し、そうでない場合には二次診断や三次診断の必要性を指摘することにある。一次診断の技術で、劣化の種類や程度等を詳しく正確に判定することは難しく、これには多くの経験に基づく高い診断技術が必要である。ここでは、一次診断で必要となる基本的診断技能や判定基準を示す。これを基に一定の経験や知識を積み重ねることによって初期の異常、分かりにくい症状等を的確に診断できるようにする。

2.2 事前準備

事前に建物の概要（所在地（気候と環境）、方位と間取り、築年数、構造様式、材料や施工、水周りの状況、改築や生物劣化防除の履歴、現状で確認されている劣化や不具合）に関する情報が入手されていることが望ましい。できれば間取りや構造に関して、図面等が入手できていることが望ましい。これらの情報を基に、調査の計画や装備を検討しておきましょう。

また調査の目的や方法について依頼者や管理者と協議しておくことも重要である。さらに床下や小屋裏への入り口となる点検口なども事前に確認し、確保されていることが望まれる。また有償診断の場合は、これらに加えて費用や責任等に関する取り決め含めた文書を交わしておくことが重要である。

2.3 劣化診断の装備

一次診断の際の装備の例を紹介する。ポイントはなるべく身軽な装備にすることである。特に床下等に入る場合には必要最小限の装備であることが望まれる。また道具類はなるべく小型でかつ使いやすく、堅牢、安全、電池式のものはバッテリー寿命の長いもの、ほこりや水分に強いものを使うことを勧める。

1) 作業着等の服装

特に床下・天井裏に入る場合には、つなぎやサウナスーツ、帽子、マスク、軍手が必要である。すそや袖口等が閉められるようなもので、肌の露出部がなるべく少なくなるようにし、また狭いところで動きやすい服装にすべきである。床下に入る場合には、膝や肘パッドがあると楽に這い回れる。

2) 照明

コードレスで明るいものが望ましい。ヘッドライト式のものは両手が自由になる。

3) 記録用具

デジカメ（防水・防塵型のものが望ましい）、図面や筆記用具、目印用のテープ（養生

テープ等)とマジックペン(写真に写しこむ)

4) マイナスドライバ

先端の幅が数ミリ、厚みが2mm程度のもの(中型)。サンプルを採取するならカッターナイフ等の工具とビニール小袋等が必要になる。

5) ハンマ

打診用。玄翁程度の大きさのものでよい。

6) その他

脚立や養生用ビニールシート、サンプル等を収納するビニール袋、見えにくいところを見るための鏡や内視鏡(ファイバースコープやボアスコープ)、ルーペ等。

2.4 劣化診断の流れと手順

劣化診断では、木質構造物を診て回って、①症状の検出、②判定、③記録の順に行う。症状の検出では視診、触診、打診、突刺し診を行う。また判定では生物劣化の有無、種類、範囲や程度、進行性を判断する。劣化が検出された場合にはその原因についても検討しておく。記録ではチェックシートや図面への記入と写真撮影を行う。以下にこの流れを詳しく解説する。

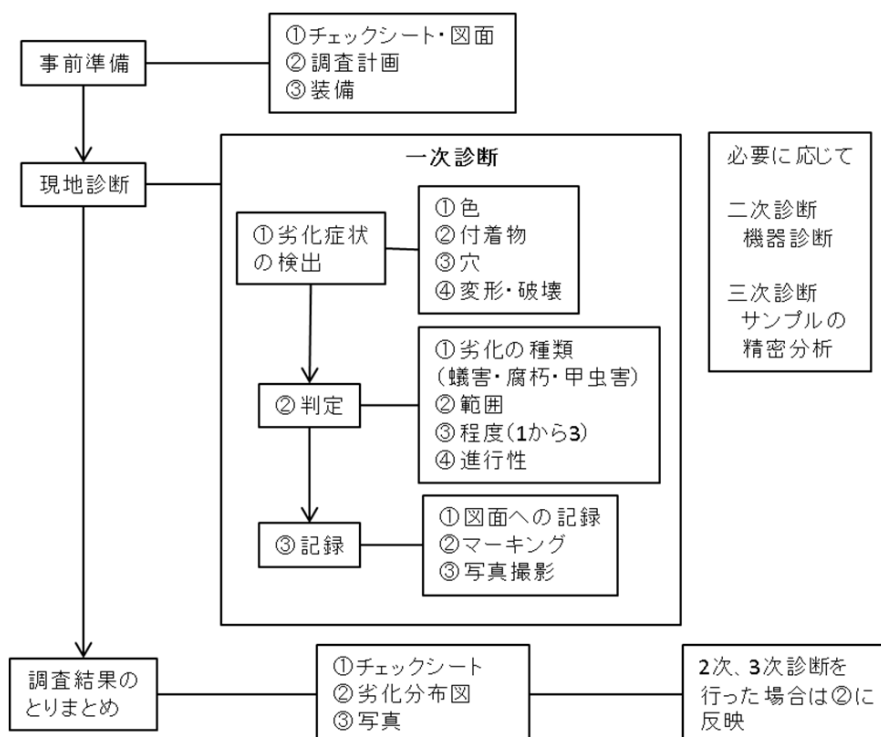


図 9.1 劣化診断の流れ

① 症状の検出

劣化診断の基本は、まず部材に現れる様々な「症状を検出」することである。症状とし

ては、視覚的症狀、打音の特徴、触感やマイナスドライバの突き刺さり程度を挙げることでできる（後述）。検出のコツは、当初の状態からの変化や、他の部材（特に健全と思われる部材）との差を見つけることにある。

② 判定

次に検出した症状のうち、生物劣化（腐朽や虫害）と関連付けられる症状を検討し、部材に生物劣化があるかどうかを「判定」する。一次診断の判定では、生物劣化の種類（虫害、腐朽、甲虫害の識別）、範囲、程度（3段階）を判断する。また劣化が進行性かどうかの判断も行う。一次診断は、明らかな劣化部位や、劣化の疑いのある部位を一定の精度で抽出することを目的とする。

実際には劣化部位には複数の症状が認められることが多いのであるが、その一方で外見などには現れない内部で進行している劣化もある。また紛らわしい症状、過大評価や過小評価し易い症状もある。

諸症状から劣化があると判定できそうな場合には、その劣化の原因が合理的に説明できれば判定はより確かになる。例えば腐朽部位には水分の浸潤や濡れがあったはずであるので、その経路などを特定することで判定は確かになる。また虫害については、検出された虫害部位にはほとんどの場合、土中からのシロアリの侵入経路としての蟻道が存在しているはずであるので、これを確認することで判定は確かになる。

また劣化には、①構造、②材質、③施工や保存処理、④環境や⑤部材の使用状況によって発生機構や症状に特徴が認められる。現場ではこれらを加味して劣化診断することが必要になる。

④ 記録

判定がすめば、それをチェックシートや野帳などに記録する。同時に、劣化の検出部位をチョークなどでマーキングし、写真を撮影して保存する。マーキングでは劣化の範囲、劣化の種類や程度、進行性の判定結果を部材に書き込み（後述）、これとともに劣化部位の写真を残す。さらに図面（木質構造物の配置図）がある場合には劣化の検出場所を図面にマークする。記録に際しては、後々のデータ整理で、チェックシート、写真や図面情報の関係が誤認識されないように注意を払う。データの整理では、デジタルカメラで残した写真データに付随している撮影時刻情報と、劣化診断ルートとを照合しながらデータを確認し、残すと間違いがない。チョークによるマーキングは問題にならないければ現場に残し、今後の維持管理に役立てる。部材に直接書けない場合は、養生テープなどを貼り、これに油性ペンなどでマーキングし、後でテープをはがす。

2.5 劣化症状の検出（視診・触診・打診・突刺し診）

床下や外構のように木部が現しになっている場合は、木部をほぼ直接的に診断すること

ができる。視診、触診や打診には特別な道具は不要であるが、それだけに難しい診断である。対象全体について必要な診断ポイントを一定の基準で見渡すことが必要になる。診断に慣れないうちは、まず外観を見て当初（健全）状態との差（変化）を見つけ出すこと、それが生物劣化と関連するかを判断することが視診の基本となる。

診断のポイントは、以下のようになる。

2.5.1 視診

1) 変色や水シミ

木材の色は時間とともに変化する。外構部材では紫外線による退色が最も特徴的なもので、日向にある部材では時間とともに灰褐色から灰色に変色してゆく。しかしこの退色そのものは生物劣化ではない。一方、建物内部、床下や小屋裏の部材にはこのような退色は認められない。

生物劣化との関連で見逃してはいけないのは、水分浸潤や濡れによる変色（水シミ）である。この変色は多くの場合、元の木材色に対して暗褐色を呈する。木造の部材に発生する水分は、①雨掛かりや雨漏りによる水分、②土壌からの浸み上りによる水分、③設備などからの漏水と④周囲の大气からの結露水である。いずれも一定の期間以上にわたって木材の含水率が高く保持されるように（概ね含水率で 30 から 80%）発生すると、腐朽を発生・促進させる。木質構造物では、主に①が問題になるが、構造や環境によっては②や④についても注意が必要である。

部材の表面や端部、接合部などにこれらの水シミが検出された場合には、表面だけでなく内部や裏側の状態まで劣化診断し、水分浸入経路とともに表面と内部の状態を検討する必要がある。また接合部などでは金物が用いられており、ここに水分が浸潤すると褐色の錆色状の水シミが現れることもある。いずれにせよ水分浸潤は木材にとって大敵であるので正確な劣化診断が求められる。

木材に発生する菌類のうち木材腐朽性を示さないカビ類の一部は、木材表面にシミや変色として現れることがある。最もよく見られるのは黒くシブキを飛ばしたように見えるカビ類や、松材によく見られる青変菌がこれにあたる。これらは木材腐朽菌と似たような条件で発生するが、腐朽とはみなさない。また藻類やコケ類が発生することがあり、これらも暗緑色を呈すが、これらにも木材腐朽性はない。

木材保存剤や着色塗料などに色がついている場合には、生物劣化と関連づけられる上記の色の変化が見えにくくなることがあり、注意が必要である。

シロアリ食害部や甲虫食害部が特徴的な変色を示すことはない。ただこれらの昆虫は木材の心材（年輪構造の芯の色の濃い部分）よりも辺材（周囲の色の薄い部分）を好んで食害するので、結果として食害部が変色しているように見えることもある。

柱などの部材が石材やコンクリート材に接触していると、長年の間に境界面付近の木部が白くなってくることがある。これは木部と石材の間に発生した結露水などの水分に、石

材の鉱物質が溶け込み、これが木部に吸い上げられ、白く沈着したものと考えられる。後述する腐朽の症状として見誤りやすいので注意する。

2) 付着物（蟻道と菌糸）

年数とともに木材の表面には様々な付着物が見られるようになるが、このうち生物劣化と関連するものとして、シロアリ食害による蟻道と蟻土、および木材腐朽菌による菌糸を検出する必要がある。

劣化診断では材の表面に付着しているものは診断の重要な手掛かりとなるが、まぎらわしいものもある。診断のポイントは、まずそれが外部から付着したものか、内部から発生したもの（菌糸や子実体）か、を見極めた上で、色、形、大きさ、数と分布、性状を把握する。診断の流れは、

① 付着物が非生物か生物か、を見極める

② 昆虫とその痕跡か、を見極める

シロアリの蟻道・蟻土、虫糞（キクイムシやカミキリムシ）、ハチやクモの巣、蛹・・・

③ 植物か、を見極める

藻類やコケ類か・・・

⑤ 菌類の菌糸か、を見極める

木材腐朽菌（担子菌類など）の菌糸とそれ以外のカビ類との区別を行なう。

●シロアリの蟻道・蟻土

土中のシロアリが地表部の構造物に侵入する場合には、コンクリート基礎や礎石などの表面に通り道となる蟻道を構築する。蟻道は、幅や厚さが 5 から 10mm 程度の筋状の付着物で、土壌と上部構造をつなげるように構築されている。蟻道はシロアリが、糞や周囲の砂粒などを利用して構築するもので、茶色や土色を呈している。内部はトンネル状になっていて、この中をシロアリが行き来し、土壌中の巣と先端部の被害部との連絡通路になっている。

木部についてはその表面に蟻道が形成される場合や、シロアリが木材内部をトンネル状に食害し、通り道として蟻道を形成している場合もある。また部材同士の隙間や割れ目があるとそこを蟻道として利用することもある。

シロアリは光や空気の流れを嫌うので、常に蟻道を形成して、外界からは見えないようにして、蟻道の内部を移動する。部材の隙間や割れ目に沿って移動する場合も、これらを被覆するように糞など（蟻土）で壁を構築する。また木材内部を食害していても内部の蟻道が外界に開かれてしまうことがあるが、この場合にもシロアリは蟻土で穴を閉じてしまう。蟻道は建築物では床下など日陰で空気の流れのないところに形成されるが、木質構造物については、前面の柱脚部あたりに形成される可能性がある。また部材に割れや 3mm 幅程度の隙間などがある場合に注意が必要で、これらが蟻土で被覆されていないか確かめる

必要がある。クロアリの類も樹木の表面などに蟻道を形成することがあるので見間違えないようにする必要がある。

またシロアリ食害は濡れた湿潤な木部に多発する傾向があるが、その部分だけを食害するのではない。食害領域を広げるために、乾燥した木部も食害するので注意が必要である。シロアリは土中の巣、蟻道および食害領域を自由に行き来しするので、これらのうちのどこかが湿潤な環境と連絡していて、そこから水分供給ができればシロアリ集団は生き延びることができる。またヤマトシロアリの巣は、土中にある場合と、食害中の木部の内部そのものが巣となっていることがある。

3) 穴

木材の表面に穴が見られる場合の多くは穿孔性の木材加害昆虫の被害であることを疑う必要がある。甲虫類による穴の特徴を整理すると以下ようになる。

- ・直径が1から数mm程度の円形か卵形の穴が多数あいている。
- ・マツ、ケヤキ、クリ材などの辺材に集中している。タケ材にみられることもある。
- ・穴の内部に虫粉（食べかすの木粉や糞などでできた粉で、茶色から黄土色）や土成分が詰まっていたり、穴の下方に排出された虫粉が堆積している。
- ・10から20mm程度の大きさの穴の場合もある。
- ・春から夏にかけて成虫が穴を出入りしていたり、周囲にいる。
- ・杭の地際など湿潤な木材に穴がみられる

その他の虫穴に関して以下のような注意点がある。

建築部材で、丸太の丸みが残った材を用いている場合には、丸みの表面は、もともとの立木の樹皮の直下にあたり、そのあたりを食害していたカミキリ類の食害の痕跡（腔道）を見かける場合がある。シロアリが材内部を食い進む過程で、木材を食い破って表面に穴を開けることもある。この場合にはシロアリは穴を蟻土でふさいでしまう。木材の繊維にそって円形や長円状の穴が開いていて、それが土のようなもので詰まっている場合には注意が必要で、内部でシロアリ食害が相当進んでいる可能性がある。

診断では、甲虫の食害については、穿孔の大きさ、形と数、分布、内容物等を写真やサンプルとともに記録・保存しておくことが役立つ。

4) 材の変形、割れ、崩壊や欠損

① 亀裂・割れ・折れ

木部に見られる亀裂や割れには、元々材にあったものや乾燥による材の収縮によって生じ、生物劣化と関係しないものが多々ある。しかし加重やモーメントのかかっている部分に見られる不自然な亀裂や割れは、その近辺での生物劣化による強度低下が原因と考えられる

場合もあり、識別が必要である。例えばトイレ周囲の土台が横圧縮を受けると同時に繊維方向に亀裂が走っていたような場合には、その内部がシロアリ食害を受けていたり、腐朽している可能性がある。ちなみに褐色腐朽が相当進行すると材の収縮が激しくなり、繊維方向だけでなく、繊維直交方向に割れが入り、消し炭様になる。

材や塗装面の亀裂や割れは、むしろそこからの水分の浸潤やシロアリの侵入等生物劣化の端緒となる場合が多いので、亀裂や割れの周囲の状況や割れに蟻土が詰まっていないか等を確認する必要がある。いずれにせよ繊維直交方向に亀裂や割れが入っている場合には、過大な加重がかかっていたり、材の強度が相当低下していることが考えられる。

亀裂や割れを発見した場合には、それが繊維方向に平行か直行か、分布・数や深さを把握する必要がある。

② 落ち込み、圧潰、欠け、せん断ひずみ

生物劣化が進行すると、材の密度低下や断面欠損によって強度が低下し、部材や構造の変形や破壊が生じることがある。蟻害や腐朽の劣化が発生した部分そのものが変形したり破壊する場合もあるし、その材料が支持している部材や部材の接合部分にずれや破壊が生じることもある。逆に部材の接合部や位置のずれなどが検出される場合には、その周囲で劣化が発生していないか確認することが必要である。木部に見られるこれらの症状は加重下にある材に生物劣化が生じて発生するもの（上述）と地盤沈下や地震等の履歴によって発生するものがある。もちろん両者の相互作用でこれらの症状が顕在化する場合もある。他の症状、他の部位での症状とあわせて総合的に判断する必要がある。

③ 木部の収縮とそれによる隙間

木部が乾燥によって収縮すると隣接する部材との間に隙間が生じたり、接合部では緩みが生じる場合がある。また収縮によるねじれや反り等の変形によって構造内に隙間、変形や破壊を生むことがあり、これが新たな生物劣化の端緒となる場合がある。これらの原因と結果の連鎖反応は長年にわたって徐々に進行する。

2.5.2 打音による症状の検出

打音の劣化診断では、内部の空洞化を検出することを目的とする。部材の表面をハンマーで軽く打診して、打音の音色から内部の様子を推定する。健全な材では、比較的高く、また硬い感じのするような、あるいは金属音のような音がする。カンカン、コンコンといった澄んだ響きがする。一方、部材の内部に空洞があると、打音がやや低くなり、響きもうつろで響きの悪い感じの音に変化する。

しかし、打診では内部の大きな空洞や水分状態の大きな変化が判定できる程度である。鉄道車輪やタイルの浮きを検査するのに打音を用いるが、これらは限定された一定の状況での繰り返し検査であるため健全状態のデータに変動が少なく、かつまた劣化に結びつく打音の変化が特徴的なために診断が可能となる。しかし住宅の木部のように状況が様々で、劣化による打音の変化が顕著でない場合には、相当熟練した人でも、きめ細かな判定は困

難である。部材の形状、節、接合や支持条件や打診位置によっても音色は変化し、相当内部で空洞化が進行しないと音色に明らかな差は現れない。

なお打診では、それほど大きな力で打撃する必要はない。軽くただくだけで音色には内部構造を反映した変化は十分に表れる。その一方で、雑音の影響を受けずに木材内部を伝搬する振動や音響の変化を敏感に感じ取るためには耳を材料に近づけたり、その状態で打撃位置を少しずつずらすなどの工夫が必要である。

2.5.3 触感による症状の検出

木部表面の触診では、以下の2つのポイントを調べる。

1) 湿り気の有無

木部表面に結露等によって水滴状の水分が付着している、内部の含水率が約30%以上（繊維飽和点以上）であると、木材腐朽菌が繁殖を始めます。手で触って湿った感じがする、指で押してみても柔らかい感じしたり水分が滲んだりする場合には、具体的な腐朽の兆候が見えなくても「腐朽を促進する環境にある」と判定できる。

なお木部の湿り気とシロアリ被害の発生とを結びつけて診断する必要はない。イエシロアリもヤマトシロアリもそれらのコロニーのどこかは湿潤な領域とつながっているが、被害の先端領域や蟻道が展開している領域はむしろ乾燥している場合が多い。

3) 指で押したときの硬さ・弾力（反発）

「内部に空洞（蟻道等）や脆弱部（腐朽）があるか？」を判定する。堅く弾力に富んでいれば健全と判断し、柔らかく表面を押しても戻りが悪いような場合には劣化があるのではないかと判断する。しかし指で押して反応のある領域（深さ）には限りがあり、触診ではあくまで表面近くのための情報が得られるのみである。健全部、変色域、割れや穴等にマイナスドライバを突き刺し、その入り方や、採取された木片、突き刺した部位の状態から劣化の状態を判定する場合もある（突き刺し診）。

2.5.4 ドライバの突刺しによる症状の検出

一次診断を中心とする劣化診断では、劣化部位に関して精密な強度低下や断面欠損を評価することは難しい。簡易的にマイナスドライバ（先端幅が10mm程度）のものを片手で突刺してみて、どの程度突き刺さるかによって、およその断面欠損を推定する。最も劣化が進行し、断面の欠損率や強度低下が最大と思われる断面について、ドライバを押し込み、突刺し深さを評価する。

同じ突刺し深さでも材の断面寸法によって断面寸法は異なる。芯持ちの105mm角の部材について、突刺し深さ、欠損パターンと欠損率の目安を図9.2に示す。後に続く判定では断面欠損率に応じて劣化のレベルを決定するが、断面欠損率が3割以下の場合をレベル1、3から7割をレベル2、7割以上をレベル3としている。またドライバの突き刺しは表面から

行うので、深部にのみ欠損部がある場合や、突刺し面の反対側に欠損がある場合には正確な評価は難しくなる。

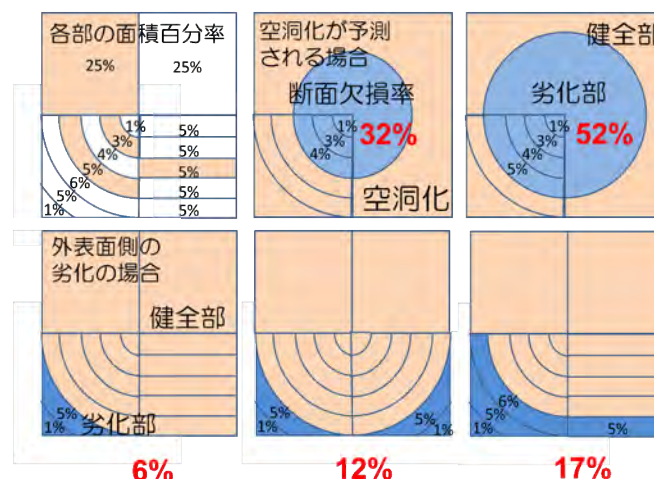


図 9.2 断面欠損の推定方法

2.6 判定（種類・範囲・程度・進行性）

これまで視診・触診・打診などの診断技術について別々に解説してきたが、実際の診断では、部位ごとにこれらを一度に実施することになる。また腐朽や虫害のある部位では、視覚的にも、触感も、打音にも変化が現れていることが頻繁にある。一次診断では 3 つの診断の所見を総合して、

- ① 明らかな生物劣化（腐朽・蟻害・甲虫害）が検出できればそれを報告する
- ② 劣化の疑いがある場合にはそれを指摘する

という方針で診断結果を総括する（判定）。

なお報告では上記の診断で得られた症状を網羅的に報告することは不可能なので、現況で存在する生物劣化（上記①）か、またが存在しうると推定された生物劣化（上記②）に関連する症状のみを報告する。また後に解説する報告では、検査した領域とできなかった領域を明示することも重要である。

木質構造物の維持管理における劣化診断では、以下の判定を行うことを目的とする。

- ・ 劣化の種類（腐朽、シロアリ食害、甲虫類による食害）
- ・ 劣化の範囲
- ・ 劣化の程度（3 段階）
- ・ 進行性の判定

① 劣化の種類の判定

前節で解説した諸症状から、生物劣化の有無とその種類を判定する。最も重要な判定であ

るが、ここでは、腐朽、シロアリ食害および甲虫類による食害のいずれかの発生を判定する。この3種に該当しないと判定された場合には、生物劣化はなしと判定することとする。生物劣化と関連しているように見えるが、断定できない場合には、後に解説する報告では「劣化の可能性あり」として、経過観察としたり、場合によっては専門家による劣化診断を仰ぐこととする。

明らかなシロアリ食害があると判定できる場合としては、

- ・基礎、束石や木部に蟻道や蟻土が形成されている（中にシロアリがいれば進行性）。
- ・木部の亀裂や割れ目に蟻土が詰まっている（中にシロアリがいれば進行性）。
- ・木部等の材料や壁構造の内部に蟻道が形成されている（中にシロアリがいれば進行性）。
- ・室内や床下にシロアリの羽蟻が飛んだ痕跡がある（羽が落ちている）。
- ・実際に木部等にシロアリが生息している。

などがある。

明らかな腐朽があると判定できる場合としては、

- ・典型的な褐色腐朽や白色腐朽の症状を示し、強度や密度の低下が著しい。
- ・木部に子実体（キノコ）が生えている
- ・上記の症状を示さない場合で、木部表面に白い綿上の付着物があり、周囲の木部に変色、湿り気等が見られる場合には「進行性の木材腐朽の疑いがある」とする。

② 劣化の範囲の判定

腐朽の場合は、菌糸の発生している領域や腐朽による諸症状の現れている範囲となるが、これらの周辺や奥部でも水分浸潤の痕跡や可能性が認められる場合には腐朽範囲に含めたほうがよい。

蟻害については材内の蟻道によって空洞が発生している領域を示す（厳密には部材の表面に蟻道が構築されていても材内に食害がない場合は蟻害の領域は含まれないが、実際の劣化診断では表面蟻道を含めて蟻害領域としてもかまわない）。材の内部、接合部の奥部などは判定しにくい、可能な限り正確に判定する。

③ 劣化の程度の判定

前述のドライバの突刺し診断の結果やその他の症状から劣化の程度を判定する。判定では以下の3段階のいずれとなるかを判定する。

- レベル1 部材の断面欠損率の最大値が3割以下（軽微な強度低下と思われる程度）
- レベル2 同上3割から7割まで（大きな強度低下と思われる場合）
- レベル3 同上7割以上（強度性能をほとんど失った状態）

④ 進行性の判定

劣化の判定では、検出された劣化が現在も進行しているかどうかの判定ができることが

望ましいといえる。進行性か否かでその後の処置が異なるためである。

実際に厳密に進行性の判定をすることは難しいが、腐朽の場合は、腐朽症状が認められてかつ材が常に水分浸潤状態や繰り返し浸潤状態にあると判定できる場合には進行性と判定する。蟻害については、蟻道・蟻土や劣化部を少し崩してみてもその内部にシロアリの棲息している場合には進行性といえるが、晩秋、冬から早春にかけては木部の加害部にはシロアリは棲息していない場合があったり、崩した部位とは別のところに棲息しているので判定には注意を要する。甲虫害については、その被害は非常に緩慢に進行するが、相当古い材を除いて虫穴が検出された部位周辺では食害が進行していると判断してよい場合が多いようである。

2.7 記録とチェックシート

2.7.1 記録

判定した結果をチェックシート（後述）に記入したり、図面にマーキングします。そして判定した部位について、劣化の範囲をチョークでマークし、さらに劣化の種類や程度などを記号を用いて部材に書き込み、写真撮影を行う。記号については表 9.23 を参照。

表 9.23 判定結果を示す記号

記号は 3 文字で構成されます。

文 字	分 類	意 味
1 文字目	劣化の種類	D:腐朽、T:シロアリ食害、B:甲虫害
2 文字目	劣化の程度	1 から 3 の数字
3 文字目	進行性判定	P:明らかな進行性である場合

例えば、レベル 2 の腐朽の場合は、“D2”と記入し、レベル 1 で明らかに進行性の蟻害の場合は、“T1P”と記入します。

2.7.2 チェックシート

劣化診断では、劣化診断の結果を正確に記録し、適切に保存し、活用することが重要である。劣化診断結果の記録や保存方式は、管理やデータの活用目的やコストなどとの関連で色々な様式が考えられる。劣化診断結果の記録の様式も、図面を中心に管理し、これに維持管理情報を記載する方式や、表形式で管理する方式などがある。

以下に劣化診断で用いるチェックシートの一例を示す。

劣化診断チェックシートの例

1. チェックシートの形式

チェックシートは、A4 判程度の大きさの用紙として、紙ハサミなどにはさんで現場で

使いやすいようにして準備する。床下などに持ち込むので、汚れたり、濡れたりすることもあるので、少し丈夫な紙を用いて、鉛筆か油性のボールペンで記入する。

部屋の間取りや床伏せ図、構造体の平面や立面図があれば、これに書き込む形式として用いるのが一般的である。

また診断中に検出された劣化ポイントごとに診断結果を残す方法も効率的である。

以下にこの形式でのチェックシートの例を示します。この形式は、複数のページで構成されており、第1ページには物件や調査の基本情報を記入し、第2ページ以降は、検出ポイントごとに1ページずつを割り当てて、チェック方式で記録する形式のものである。

将来的には、チェックシートへの記入そのものが、携帯情報端末などを用いて実施されるようになるものと思われる。

2. チェックシートの第1ページ

第1ページには物件や調査の基本情報を記入する。

チェックシートの第1ページの形式例
戸建て住宅の場合

診断に関する情報

診 断 日 時	年	月	日	時～	時
天	候				
依 頼 者					
診 断 者					
診 断 領 域					
診 断 方 法	☐ 一次診断 ☐ 二次診断 ☐ その他（ ）				

物件の基本情報

項	目	内	容	備	考
名	称	(	) 邸		
所	在	地	_____		
			〒 _____		
			電話： _____		
			電子メール： _____		
建	築	年	() 年		
種	別		☐ 軸組 ☐ ツーバイフォー ☐ その他		
施	工	業	者		
規	模		☐ 平屋 ☐ 2階建て ☐ その他		
室	数		() 室・台所・風呂・トイレ		
面	積		1階(坪・m ²) 2階(坪・m ²)		
床	下	形	式	☐ 土壌現し ☐ 土間コン ☐ ベタ基礎	
外	壁	形	式	☐ モルタル ☐ サイディング ☐ その他	
屋	根	形	式	☐ 瓦 ☐ スレート ☐ その他	
バルコニー			☐ 1階 ☐ 2階		
シロアリ防除歴			☐ なし ☐ あり ()		
改築履歴			☐ なし ☐ あり ()		
事前情報			☐ 図面 ☐ その他		
その他					

劣化検出部位の症状と判定

記録番号		部 位	
エリア		部位詳細	
方 位	東・西・南・北・中央	備 考	

① 腐朽症状と判定

☐ 変色あり	☐ 水シミあり	☐ 菌糸様の 付着物あり	☐ 腐朽に よると 思われる材の破壊 (割れ、ささくれ、圧壊、空洞化など)
-------------------------------	--------------------------------	--	---

- 木部の湿り気（含水率）

乾燥	やや湿っている	湿っている	濡れている	含水率	%
----	---------	-------	-------	-----	---

- 打音

異常なし	異常あり	空洞化していそう	その他（ ）
------	------	----------	--------

- マイナスドライバの突刺し（最大値）

10mm 以下	10 から 30mm	30mm 以上	その他
---------	------------	---------	-----

- 判定

腐朽の判定	レベル	進行性	もとめられる対応
☐ 腐朽あり	1・2・3	進行性	経過観察・精密診断・劣化対策
☐ 腐朽の可能性あり	備考		

② 蟻害症状と判定

☐ 材表面の 蟻道・蟻土あり	☐ 材内部の 食害・蟻道あり	☐ 穴あり	☐ 蟻害に よると 思われる材の破壊 (割れ、圧壊、空洞化、欠損など)
--	--	------------------------------	---

- 打音

異常なし	異常あり	空洞化していそう	その他（ ）
------	------	----------	--------

- マイナスドライバの突刺し（最大値）

10mm 以下	10 から 30mm	30mm 以上	その他
---------	------------	---------	-----

- 判定

蟻害の判定	レベル	進行性	もとめられる対応
☐ 蟻害あり	1・2・3	進行性	経過観察・精密診断・劣化対策
☐ 蟻害の可能性あり	備考		

③ 甲虫害症状と判定

☐ 甲虫害と思われる穴あり 穴の径（ ）mm	☐ 虫粉あり	☐ 甲虫害による 思われる材の破壊 (内部の空洞化、表層部の欠落など)
--	-------------------------------	--

- 打音

異常なし	異常あり	空洞化していそう	その他（ ）
------	------	----------	--------

- マイナスドライバの突刺し（最大値）

10mm 以下	10 から 30mm	30mm 以上	その他
---------	------------	---------	-----

- 判定

甲虫害の判定	レベル	進行性	もとめられる対応
☐ 甲虫害あり	1・2・3	進行性	経過観察・精密診断・劣化対策
☐ 甲虫害の可能性あり	備考		

9.4 診断実施事例

これまでの検討結果を元に、実際の木製設備（遊戯施設）で診断手順の妥当性を検証した。その結果、以下のような点検手順の妥当性が明らかになった。

9.4.1 事前準備作業

- ① 全エリアをAからNまでの 14 区域に分類し、現場調査を行った行い事前に入手した図面を現状照合し、対象構造物の構造や材料を確認した。
- ② 14区域の中でゲストやクルーのアクセス頻度に応じて管理レベルを3段階に分類した。
 - 利用者がアクセスする区域 : [1]
 - 管理者がアクセス頻度が高い区域。 : [2]
 - 管理者のアクセス頻度が時々区域。 : [3]
- ③ 区域分けした図面を基に、図面上にナンバー付けを行った。

9.4.2 マーキング

- ① ラベリング機を用いて、ナンバーと見合うラベルを作成した。
- ② 作成したラベルを、ゲストから見えない位置に、ステン製のビスを用いて固定した。

9.4.3 診断方法

- ① 木部の劣化診断は診断精度に分類される以下の3段階の診断を状況に応じて実施した。劣化の早期発見を目的に道具を用いない「一次診断」。
 - ※ 主に視診・触診による。
- ② 劣化の有無確認を目的に簡単な道具を用いた「一次診断補足」。
 - ※ 使用器具は、打診用ハンマーおよび突き刺し診用ドライバー。
- ③ 劣化程度の把握を目的に測定機器を用いた「二次診断」。
 - ・含水率計（日本：ケット科学社製）
木材中の水分による誘電率変化を高周波容量変化としてとらえ、木材中の水分率を測定する。
 - ・衝撃ピン打ち込み機（スイス：Proceq 社製）
一定の衝撃力で木材に針を打ち込み、その貫入深さで木材内部の劣化を診断する。
 - ・穿孔抵抗機（ドイツ：IML 社製）
ピロディン同様の原理を利用するが、錐で木材に穴を開けながら、そのトルクをモニターする事で診断する。



図 9.3 含水率計



図 9.4 ピロディン

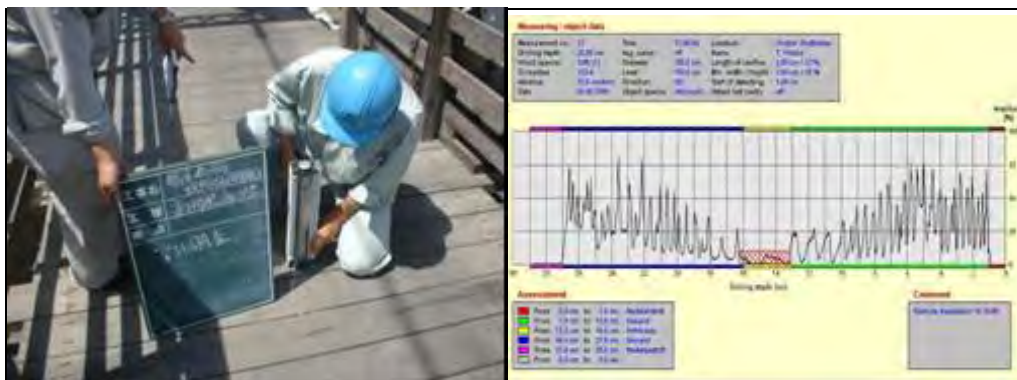


図 9.5 レジストグラフ

9.4.2 劣化診断の手順と評価方法

1)1 劣化診断の手順

- ① 診断は2名で一組を原則とし、一人が診断・評価を行い、もう一人が記録を行うこととした。
- ② 診断では、対象部材に対して一次診断および二次診断を同時に実施し、後述する評価基準で劣化度を定めた。
- ③ 調査要領の付帯事項

- ・柱の場合は、喫水部の上下を基準に調査し、暴露天頂部の劣化も確認した。
- ・床板の場合、木口部及び上面だけでなく裏面も調べた。
- ・床組材（束、根太、大引等）も調査した。
- ・打診部位は目視部位と同様とし、全数打診した。水漬丸柱の場合は喫水上部は 20cm の範囲を打診した。
- ・レベル 2 または 1 の場合にドライバー突刺しにて突刺し深さを記録した。

視診・触診・打診では、以下の症状の有無をチェックした。

菌糸-K、子実体-S、腐朽割-W、空洞化-KU、
落込み-O、変色-H、打音異常-D、弾力不足-E

- ④ 劣化レベル 1 と判定された部材について、ピロディンによる測定（二次診断）を行った。また劣化レベル 1 の材で、特に安全管理上重要な部材で、劣化が重大な場合と思われる部位においては、穿孔抵抗機を用いて測定を行った。

<ピロディン測定時の付帯事項>

- ・水漬している柱の場合は、喫水線から 15cm 上方の位置で測定した。
- ・計測は 3 回打ち込みの平均を記録した。
- ・必ず近辺の健全部と思われる位置でも測定し、同時に写真撮影を行った。

- ⑤ その他、管理レベル [1] の「A」及「K」の 2 地区においては、全床板の打診を行ったうえで、屋内部分の含水率の測定も行った。（含水率の測定は 10 枚毎とし、1 枚につき 3 ヶ所で測定し、平均値を求めた。

2.2 劣化の評価基準

調査では、2.1 の②で定める症状について、それを総合的に評価して劣化の程度を以下の 3 段階にクラス分けした。

表 9.24 劣化の評価基準

劣化レベル	説明
1：重大	劣化が重大で、材料強度がおよそ 3 分の 1 以下にまで低下していると見なされる。安全上問題があると判定できる場合は 1：重大と判定する。
2：顕著	劣化が顕著で、断面欠損や強度低下が明らかに発生している。
3：軽微	軽微ではあるが明らかな劣化の症状は見られる。
4：健全	劣化の兆候が認められない (注意：材料の内部などで進行している場合には判断できないこともある。)



3 : 軽微



2 : 顕著



1 : 重大

図 24 劣化のレベル



空洞化



子実体



落込み

図 9.25 劣化の症状



割れ



変色

図 9.25 劣化の症状 続

9.5 維持管理技術からみた住宅仕様や点検技術の最適化の検討

維持管理を適切で合理的に実施できるための住宅の仕様や点検技術について、各 TG からの成果や、各種資料を点検し、下記のような要点を抽出した。

9.5.1 点検しやすい構造になっていること

構造や材料の状態が点検しやすいことは非常に重要である。

住宅の部位別に整理すると、床下については例えば以下の項目が指摘できる。

◆床下点検口が複数あること。また 1 階だけでなく 2 階床にも点検口があれば 1 階の天井裏の点検が楽になる。また和室は、通常畳を上げれば床板の一部が取り外し可能になっているものの、家具などが邪魔になって案外点検に手間取る。さらに押入れの床や天井も一般的には点検口の機能を備えているが、点検時の荷物出しが手間である。可能な限り日常生活の状態のままで点検できることが望ましい。

◆床下高さが十分あり、検査者が楽に作業できること。将来的にはロボットなどを駆使した検査が一般化するかもしれないが、専門家の視診・触診・打診が検査の基本であること、また検査後の処置を考えると作業スペースの確保は重要である。

◆閉じられた布基礎（メクラ基礎）の区画がないこと。トイレや風呂場などの水周りの区画は、湿気が多く、かつては基礎内の埋め戻し土壌を伝ってシロアリの侵入が多発した。近年これらの設備がユニット化し、床下がドライな空間になったため被害は激減したが、点検は必要である。

◆部材に識別番号などが記してあること。点検の記録を正確にかつ効率的に残すために望まれる項目である。

また小屋裏については、以下のように指摘できる。

◆点検口を廊下やホールの天井部に設ける。そうすることで、障害物のないスペースに脚立を立てるだけで簡単に小屋裏に入り込める。また点検口周囲は、検査者が出入りの

際に力をかけても大丈夫なように強度を十分確保しておく。

◆小屋裏に足場を常設しておく。小屋梁や桁部分に常設の足場を設置しておく点検が非常に効率的になる。また小屋裏や床下にも適宜照明や電源が確保してあることが望ましい。

さらに壁については、以下のように指摘できる。

◆大壁よりも真壁が望ましい。構造材が現しであれば、点検しやすいのは自明である。

◆壁の下端が点検しやすい構造になっている。意匠や施工上の理由から大壁構造が避けられない場合には、例えば幅木が着脱可能になっていたり、外壁ボードの最下部や水切り部が着脱可能な状態になっていれば、構造上重要でかつ劣化しやすい土台や、それ結合した柱・筋交いとの下部を、もれなく簡単に点検できることになる。また壁の上部でも、雨水に暴露される部分、結露しやすい部分やバルコニーの取り付け部分などは、壁の内部が点検できるようになっていることが望ましい。昨今既存住宅の大壁内の点検方法についての検討例もみられるので、その成果によっては従来どおりの大壁構造でも問題はなくなるかもしれないが、簡単により直接的に点検できることが望ましい。

上記の項目は、維持管理する立場からみて望まれる項目で、住宅の所有者には直接のメリットは感じにくい点であるとともに、場合によっては意匠性を損ねることになる。しかしいつでも簡単に全ての部分を点検できることは、維持管理のコスト削減に直結し、ひいては最も長寿命を実質的に可能にする。また住宅部材のデザイン設計や開発において、点検のし易さを考慮することはそれほど難しいことではないと思われる。

9.5.2 交換・補修しやすいこと

点検しやすいことと連動して、不具合があった場合に、その部分を簡単に交換したり、補修できる構造や材料になっていることが望まれる。どの部分をどのような仕様とすべきかは実際発生しうる不具合の情報がないと検討できないし、柱や土台など、構造上交換や補修の困難な部材もあるので、これについては今後の課題といえる。しかし既往の住宅では、交換や補修に関する配慮に乏しく、例えば防水や表面仕上げ処理との関連で、接着剤やシール剤を多用した部材では、補修や交換などに手間やコストがかかる場合が多い。多少の工夫で相当の改善が望めるのではないだろうか？

9.5.3 劣化度（健全度）が数量評価できること

住宅の性能表示や維持管理上、最も数量評価しにくいのが生物劣化といえる。腐朽や虫害については、それらが材料や構造の表面だけでなく深部で密やかに進行すること、劣化現象に関わる要因が多岐にわたり現象が複雑でバラツキが大きいこと、劣化による材料の欠損、密度や強度の低下の評価方法が確立していないこと、またその基礎的知見に乏しいことなどが背景にある。

数量化された劣化や健全度の物差しは、劣化やそれによる物性の変化を適切に評価する

ものでなければならないし、維持管理の具体的なアクションを決定する上で合理的なものでなければならないが、なによりも共通の尺度で劣化を計ることで、建物内や建物間での劣化の相互比較や順位付けが可能になる。

9.5.4 維持管理データが管理されていること

近年になってようやく認識されつつあることであるが、建物やその経年変化、さらに維持管理の履歴を継続的に記録し、保存することは非常に重要である。またそれらの記録が共通ないしは互換性のあるフォーマット、分析手法や基準で管理されていることや、いつでも活用できる状態になっていることが望まれる。

長寿命住宅とは、その住宅がより長く活用されて初めて意味があるのだが、長寿命になるほど所有者が変わる可能性が高くなる。その際に、住宅の情報が引き継がれることによって、再点検、無駄なリフォームや改修をさけることができる。またデータ管理については昨今の IT 技術を援用することが必須で、これによって非常に効率的で効果的な維持管理が可能になる。

9.6 劣化リスク管理手法による維持管理

住宅で維持管理すべき内容には、強度性能、空気環境、温熱環境など多岐にわたるが、ここでは木造住宅の劣化の主要因である生物劣化を対象として、その管理方法を検討し、その一例を提案した。

どんな構造や材料も経年で劣化し、その住宅の置かれている環境や使用条件によって変化するため劣化を予測することは難しい。その一方で全ての部材を常に新品同様に維持することは不可能に近いし、またある意味でその必要もない。そこで、提案では以下の考え方で維持管理を行なうものとしている（図 9.26）。

1) 「管理レベル」による住宅の部材やユニットのクラス分け

住宅の部材やユニットを構造安全上の重要度、予測される劣化頻度、そして劣化維持管理の優先順位（これを「管理レベル」と呼ぶ）に応じてクラス分けする。例えば、軸組工法の住宅であれば、土台、柱、梁や桁などの主要構造材や筋交いや火打ちなどの補強材で、水周り周囲に配置されているもの、大きな開口部の周囲のもの、上層階の荷重を受けているもの、などは「管理レベル」の高いクラス（維持管理上より重要なクラス）に仕分ける。

2) 部材やユニットの「劣化レベル」の評価

「管理レベル」のクラスごとに部材やユニットの現状を評価する。これを「劣化レベル」と呼ぶ。これは維持管理の際に行なう点検や診断において、劣化度を数量評価して定める。さらにある程度の劣化が発生してもそれが軽微であれば、対応が不要となるものと考え、各「管理レベル」ごとにそこに属する部材が維持されるべき劣化レベルの範囲も

別途定めておく。これを「許容劣化レベル」と呼ぶ。当然「管理レベル」の高いクラスの部材については「許容劣化レベル」は低く、かつその幅も狭くなる。すなわちより健全状態に保たれるべきであると考ええる。

3) 「劣化リスク」の算定と対策の意思決定

各部材やユニットについて、「劣化レベル」と「許容劣化レベル」との差を「劣化リスク」と定義する。「劣化リスク」の値が大きいほど、早急に対応が必要な劣化が存在していることを示すことになる。「管理レベル」の高い部材は通常「許容劣化レベル」を低く設定するので、同様の「劣化レベル」にあるより「管理レベル」の低い部材に比べて「劣化リスク」をより大きく評価することになり、高い優先順位で補修などの対策をとることになる。

この維持管理手法では、定期点検の度に図 9.26 のチャートを更新し、住宅に生じた劣化に対して、重要度に応じて優先順位をつけながら対応策を取り、常に住宅全体が所定の「許容劣化レベル」になるように管理する。このようにして限られた時間と予算のもとで最も合理的維持管理を継続させようとするものである。

一方、この維持管理の手法を実際に行なうためには、劣化の程度を数量化して評価する手法や管理レベルや許容劣化レベルの設定方法などを検討しなければならないが、前節で指摘した維持管理の基本課題と合わせて取り組むことで、最終的にはこれまでいわばブラックボックスのように扱われてきた維持管理の実務が、第三者がみてもわかりやすく、一定の合理的な方法や基準に従って実施できることになる。また維持管理に関するデータは電子化し、IT 技術の助けを借りて分析や管理することで、より付加価値の高い維持管理や住宅造りに結びつけることができる。また地域の住宅の維持管理状態に関する情報は、防災の面でも有用と考えられる。

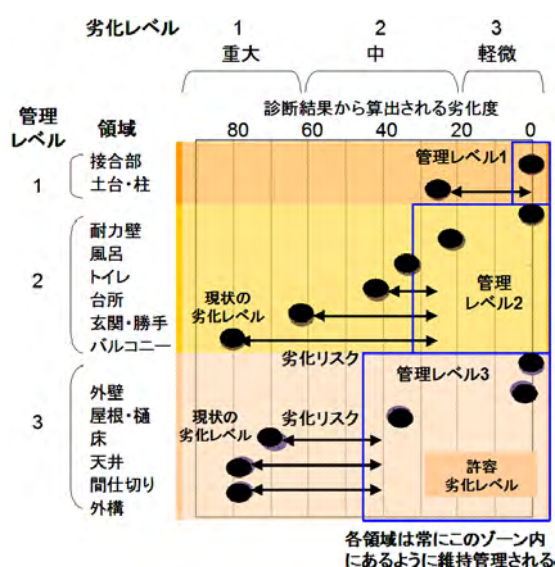


図 9.26 劣化リスクの最小化に基づく維持管理手法の概念

9.6 維持管理情報データベースの検討

長期にわたる維持管理を実現するためには、維持管理に関する情報が適切に、収集、整理、分析、蓄積され、それが必要に応じて活用できるようになっていることや、これらの作業が継続的に実施されることが重要である。本事業では、インターネットを用いてアクセス可能なクラウド型のデータベース試作し、これに本事業の調査などで収集した情報を試行的に蓄積し、その機能を検討した。

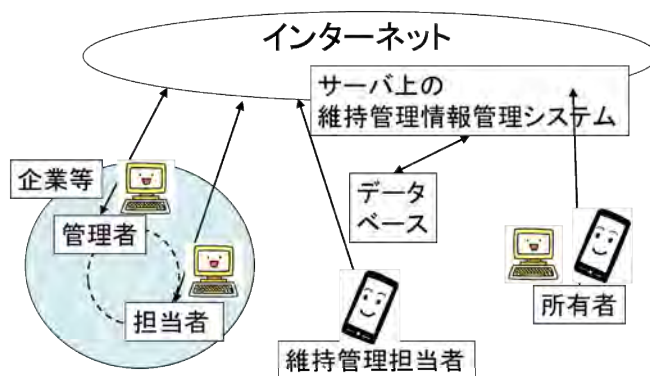


図 9.27 維持管理情報データベースの概念

図 9.27 にデータベースの概念を示す。所有者や維持管理担当者は、ブラウザ上で動作するデータベース管理プログラムを通じてデータベースにアクセスすることができ、住宅に関する情報を入力、編集、閲覧することができる。データベースの管理に関する権限を設定することができ、アクセスする人の立場に応じて入力や編集などの機能について制限を設けることができる。

データベース上のデータ構造の例を以下に示す。

1) データの形式

- ・データは邸別に管理するものとする
- ・データは、文字、数字（日付時刻データを含む）、画像とする
- ・CAD 図面などの情報も含まれる。
- ・これらのデータは、使用環境に応じて起動されるアプリケーションソフトとのリンケージにおいて加工編集されてもよい。
- ・各邸のデータは、基本情報、現況情報、維持管理情報からなる。

2) データの内容

- ・基本情報は、住宅の所在地、基本仕様（設計・施工記録）、建築時のデータなどとする。
- ・維持管理情報は、改修や維持管理時に取得される現況データや設計・施工データとする。

第 10 章 長期許容応力度（荷重継続時間の調整係数）の検証

10.1 はじめに

単板積層材の日本農林規格に規定する構造用単板積層材は、単板接着面を厚さ方向に対し直交させた縦使いで用いることが多い。しかしながら近年木質複合軸材料として開発された I ジョイストの上弦材、下限材は、単板積層材を平使い（単板接着面が厚さ方向に対し平行）として利用していることや、厚物単板積層材として面的に利用する例も増えている。平成 13 年国土交通省告示第 1024 号「特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件」表 6 構造用単板積層材の圧縮、引張り及び曲げの基準強度では、縦使い、平使いによる基準強度に差異はないが、平使いにおける最外層単板に接合部がある場合の長期許容応力度における荷重継続時間の検証も必要となる。特に単板積層材の日本農林規格は平成 25 年 11 月 12 日に改正され、B 種構造用単板積層材として直交単板の構成比が増加している。

そこで B 種構造用単板積層材を平使いとし、引張側最外層の単板に接合がある場合の曲げクリープ破壊実験を行い、応力レベルと荷重継続時間の関係を求めることを目的とする。

10.2 試験体

試験体は単板積層材の日本農林規格（平成 25 年 11 月 12 日改正）で規定する B 種構造用単板積層材 60E とし、単板樹種はスギを用いる。断面寸法は 105mm×105mm、長さ 2400mm とし、材中央最外層に単板接合部を設ける。試験体本数は 100 本とする。試験体仕様を表 2.1 に、単板構成を図 2.1 に、試験体図を図 2.2 に示す。また試験体搬入時の状況を写真 2.1 に示す。

表 2.1 単板積層材 試験体仕様

項目	寸法・仕様
規格	単板積層材の日本農林規格 構造用単板積層材 60E (JAS 曲げ強さ $F_b:16.0\text{ (N/mm}^2\text{)}$)、仕様環境 C
断面寸法及び長さ	幅 105mm×高さ 105mm 長さ 2400mm
単板仕様	(製造時) 厚さ 3.2mm 積層数 19 の 2 段 (2 次接着有) 単板樹種：スギ 単板構成 (1 段) 2⊥3⊥5⊥3⊥2 計 19 層 (数値は平行層の層数を、⊥は直交層 (1 層) を示す。)
接着剤仕様 (1 次接着)	フェノール樹脂系接着剤 (塗布量 (g/m^2): 283 (±11))
接着剤仕様 (2 次接着)	水性高分子ーイソシアネート系接着剤 (塗布量 (g/m^2): 382 (±28))

最外層接合部	最外層単板中央付近（中央±150mm）に単板接合部 接合部仕様：スカーフジョイント
試験体数	100 （曲げ試験 平使い* 50 体 縦使い* 10 体） （曲げクリープ破壊試験（平使い*） 40 体）

備考 平使いは接着層と厚さ方向が直交、縦使いは接着層と厚さ方向が平行となる方向とする。

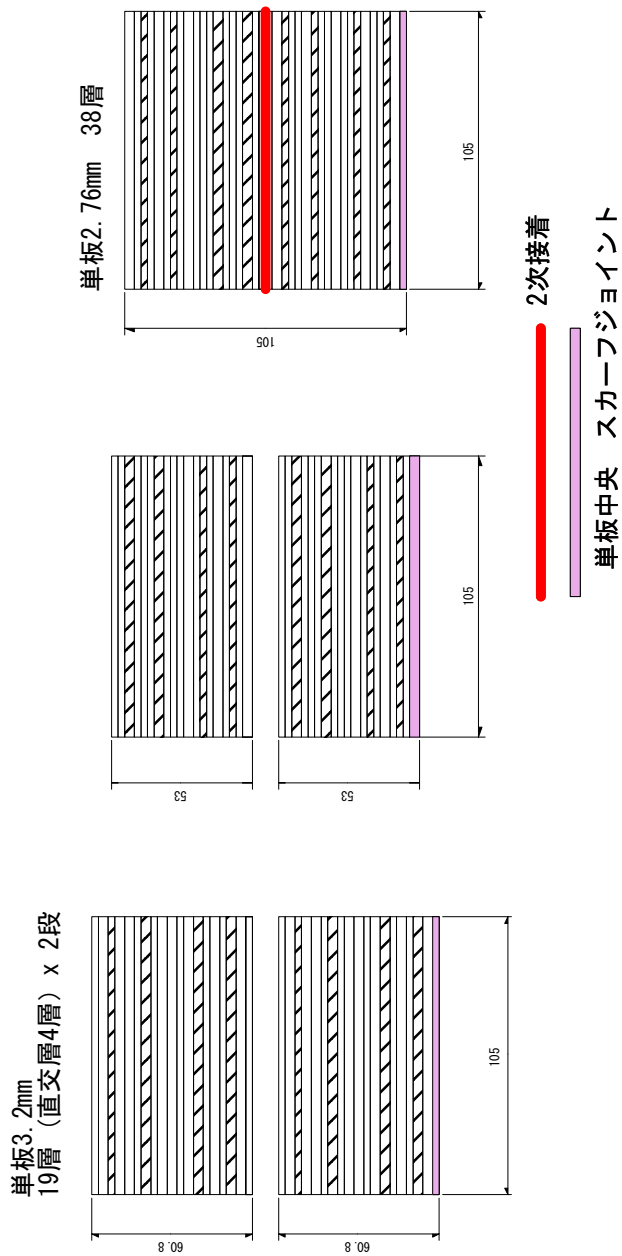


図 2.1 構造用単板積層材 (B 種) の単板構成

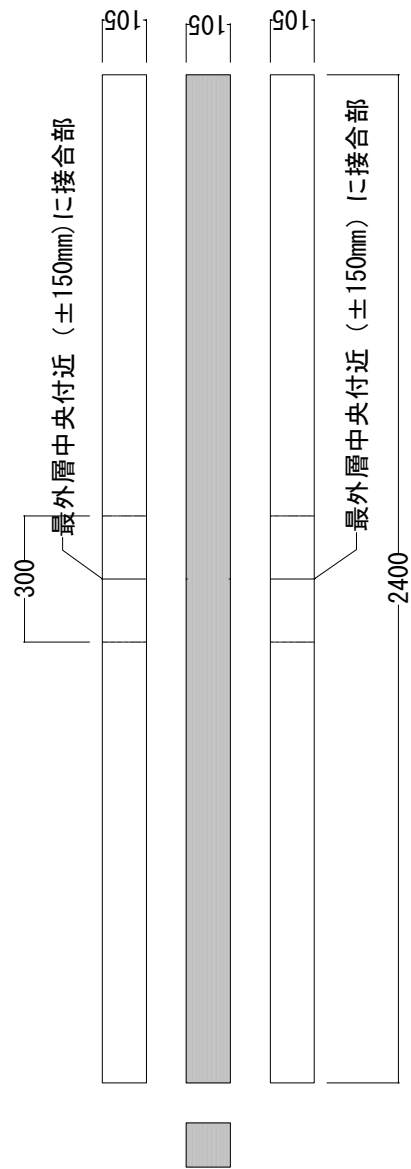
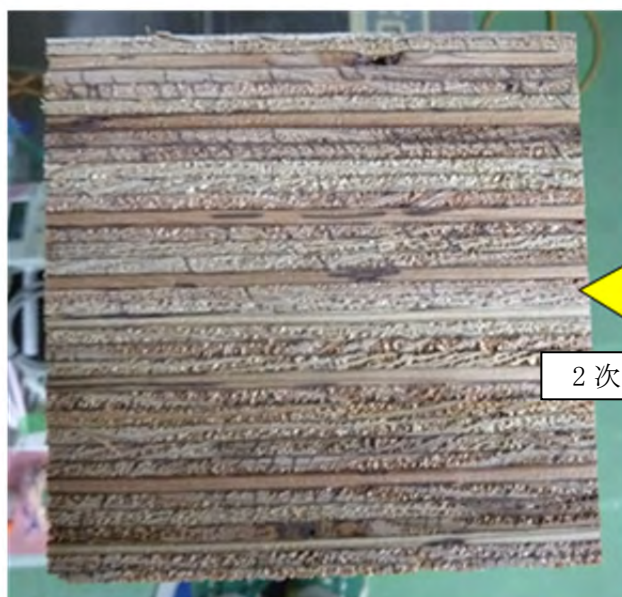


図 2.2 単板積層材 曲げ試験 試験体



最外層スカーフジョイント確認



2次接着層

写真 2.1 納品された構造用単板積層材及び断面詳細

試験体搬入後に密度、含水率、縦振動ヤング率を測定し、同一密度分布となるように 10 グループに仕分けした。分類した 10 グループの密度、縦振動ヤング率を表 2.2 に示す。このうち G1 から G5 を平使い曲げ試験（単板積層面が加力方向に対し水平）、G6 を縦使い曲げ試験（単板積層面が加力方向に対し垂直）、G7 から G10 を曲げクリープ試験用（平使い）とする。

表 2.2 分類した 10 グループの密度、縦振動ヤング率

グループ	本数	密度 (kg/m ³)		縦振動ヤング率 (kN/mm ²)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
G1	10	470	6	7.47	0.24
G2	10	471	6	7.60	0.30
G3	10	472	5	7.49	0.27
G4	10	473	6	7.53	0.31
G5	10	470	6	7.59	0.19
G6	10	469	6	7.47	0.33
G7	10	471	8	7.46	0.36
G8	10	471	8	7.50	0.22
G9	10	471	7	7.78	0.16
G10	10	471	7	7.50	0.22

10.3 試験方法

てこ式曲げクリープ破壊試験装置（荷重倍率 10 倍、曲げスパン 2100mm、三等分点二点荷重）18 台を用い、別途実施した曲げ試験結果の平均曲げ強さに対する応力レベル 90%、80%、70%の曲げクリープ破壊試験を行った。試験環境は 20℃60%の恒温恒湿環境とした。曲げクリープ破壊試験の試験装置概要を図 3.1 に、試験実施状況を写真 3.1 に示す。なお事前に試験装置先端の荷重と試験体の曲げ荷重の値は校正している。曲げ破壊時間は、てこ式アームの加力点位置変位を変位計でインターバル計測し、変位が急激に変化した時間から求めた。

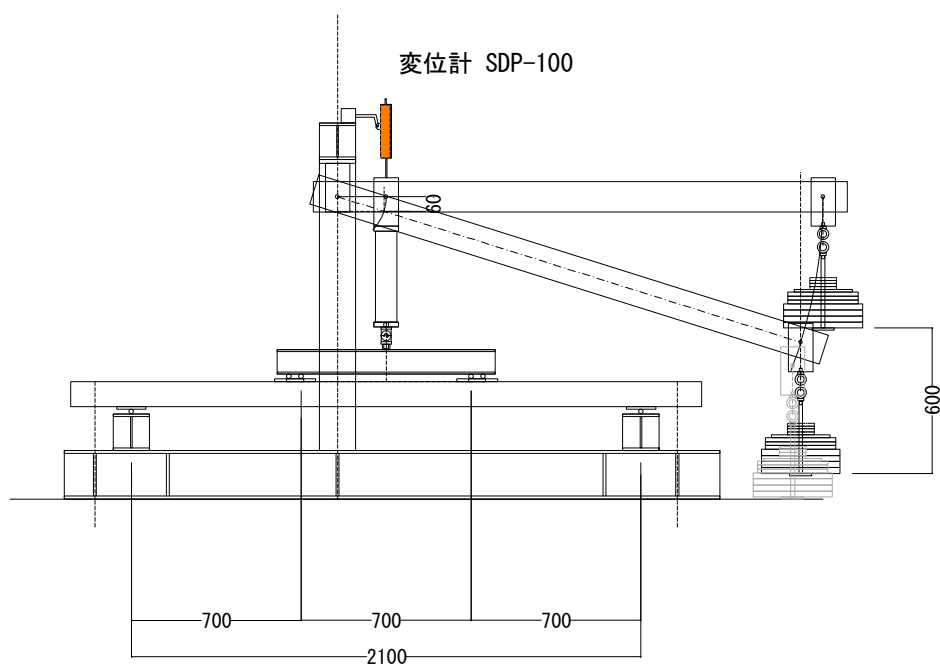


図 3.1 曲げクリープ破壊試験の試験装置 概要



写真 3.1 試験実施状況

曲げクリープ破壊試験における応力レベル SL は、曲げ試験における曲げ強度の平均値（平均 $\sigma_{max}=26.2\text{N/mm}^2$ ）に対し、90%、80%、70%の3レベルとする。

曲げクリープ破壊試験は曲げ試験と同様、曲げスパン 2100mm の三等分点二点荷重とし、下式より曲げクリープ荷重を表 3.1 のように算出する。

$$\sigma_{SLx\%} = \frac{M_{SLx\%}}{Z} = \frac{P_{SLx\%}L}{6Z}$$

$$P_{SLx\%} = \frac{6Z\sigma_{SLx\%}}{L}$$

ここに $\sigma_{SLx\%}$ ：応力レベル $x\%$ の曲げ応力度 (N/mm^2)
 $M_{SLx\%}$ ：応力レベル $x\%$ の曲げモーメント (Nmm)
 $P_{SLx\%}$ ：応力レベル $x\%$ の曲げ荷重 (N)
 Z ：断面係数 (mm^3) ($=bh^2/6$)
 L ：曲げスパン (mm) ($=2100\text{mm}$)

表 3.1 応力レベル毎の曲げクリープ荷重

応力レベル $SL(\%)$	曲げ応力度 $\sigma(\text{N/mm}^2)$	曲げクリープ荷重 $P(\text{kN})$	クリープ試験装置 載荷荷重(kg) ^{*1}
100	26.2	14.4	108
90	23.6	13.0	93
80	21.0	11.6	78
70	18.3	10.1	63

備考 *1：曲げクリープ試験装置 載荷荷重と曲げクリープ荷重の関係（図 3.2 参照）

$$y = 0.0960X + 4.03$$

X ：先端おもり質量 (kg)

Y ：曲げ荷重 (kN)

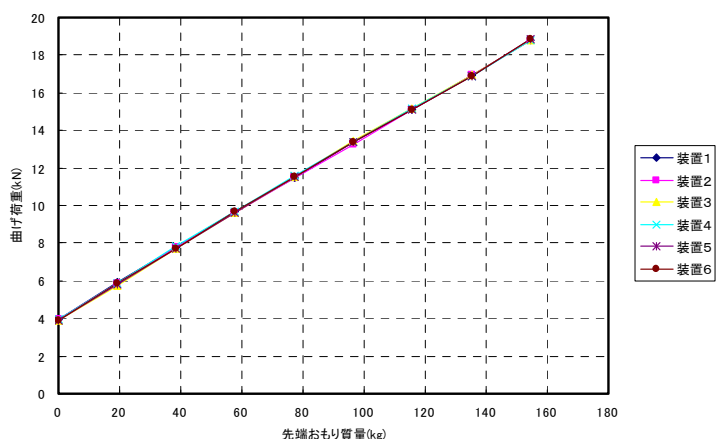


図 3.2 載荷荷重と曲げクリープ荷重の関係

10.4 試験結果

曲げクリープ破壊試験体の破壊状況を表 4.1 に、応力レベルと破壊までの時間の関係を図 4.1 に示す。図中の点線は、(1)式による応力レベルに応じた破壊時間の計算値で、マディソンカーブと呼ばれている。

$$y = \frac{108.4}{x^{0.004635}} + 18.3 \quad (1)$$

ここに X：破壊までの時間（秒） Y：応力レベル（%）

応力レベル 80%では 1 本、70%では 10 本の試験体が実験継続中であるが、各応力レベルの破壊までの時間の平均値はマディソンカーブを上回る結果となった。

応力レベル 90, 80, 70%での破壊までの平均値を用い、50 年後の応力レベルを回帰直線で求めると、56%となった。（2015 年 2 月末現在）

表 4.1 曲げクリープ破壊試験体の破壊状況

応力レベル (%)	密度 (kg/m ³)	縦振動 MOE (kN/mm ²)	応力レベル*1 (%)	破壊までの継続時間 (hour) (min)		状況
90	459	7.16	90.8	343.03	20,582	破壊
	468	7.35	91.0	0.72	43	破壊
	468	7.73	91.1	0.65	39	破壊
	476	7.00	91.1	0.07	4	載荷中破壊
	476	7.05	91.1	0.08	5	載荷中破壊
	466	7.55	91.1	841.25	50,475	破壊
	471	7.69	91.2	218.73	13,124	破壊
	487	7.87	91.1	216.28	12,977	破壊
	471	7.99	91.0	2131.47	127,888	破壊
	466	7.18	91.2	0.22	13	破壊
80	468	7.28	80.4	19.73	1,184	破壊
	466	7.23	80.5	3.33	200	破壊
	476	7.58	79.9	6578.50	394,710	破壊 *2
	466	7.46	79.9	1546.88	92,813	破壊
	487	7.65	79.9	882.42	52,945	破壊
	475	7.53	79.8	7290.31	437,418	実験継続中
	468	7.49	79.9	6578.50	394,710	破壊 *2
	459	7.17	80.0	0.08	5	載荷中破壊
	471	7.69	80.0	6578.50	394,710	破壊 *2
	471	7.89	80.0	6579.00	394,740	破壊 *2
70	470	7.74	70.1	6166.19	369,971	実験継続中
	460	7.95	70.1	6166.14	369,968	実験継続中
	475	7.76	70.2	6166.06	369,963	実験継続中
	477	7.45	70.1	6165.96	369,957	実験継続中
	468	7.73	70.2	6165.82	369,949	実験継続中
	465	7.69	70.1	6165.71	369,942	実験継続中
	471	8.04	70.2	6165.62	369,937	実験継続中
	466	7.76	70.2	6165.54	369,932	実験継続中
	486	7.88	70.2	6165.39	369,923	実験継続中
	468	7.85	70.2	6165.31	369,918	実験継続中

備考：

*1：応力レベルは、曲げクリープ破壊試験の試験装置に載荷したおもりの質量から計算した曲げ荷重から求めた。

*2：計測中断期間に破壊が生じたため、計測されている期間で破壊までの継続時間を算出した。

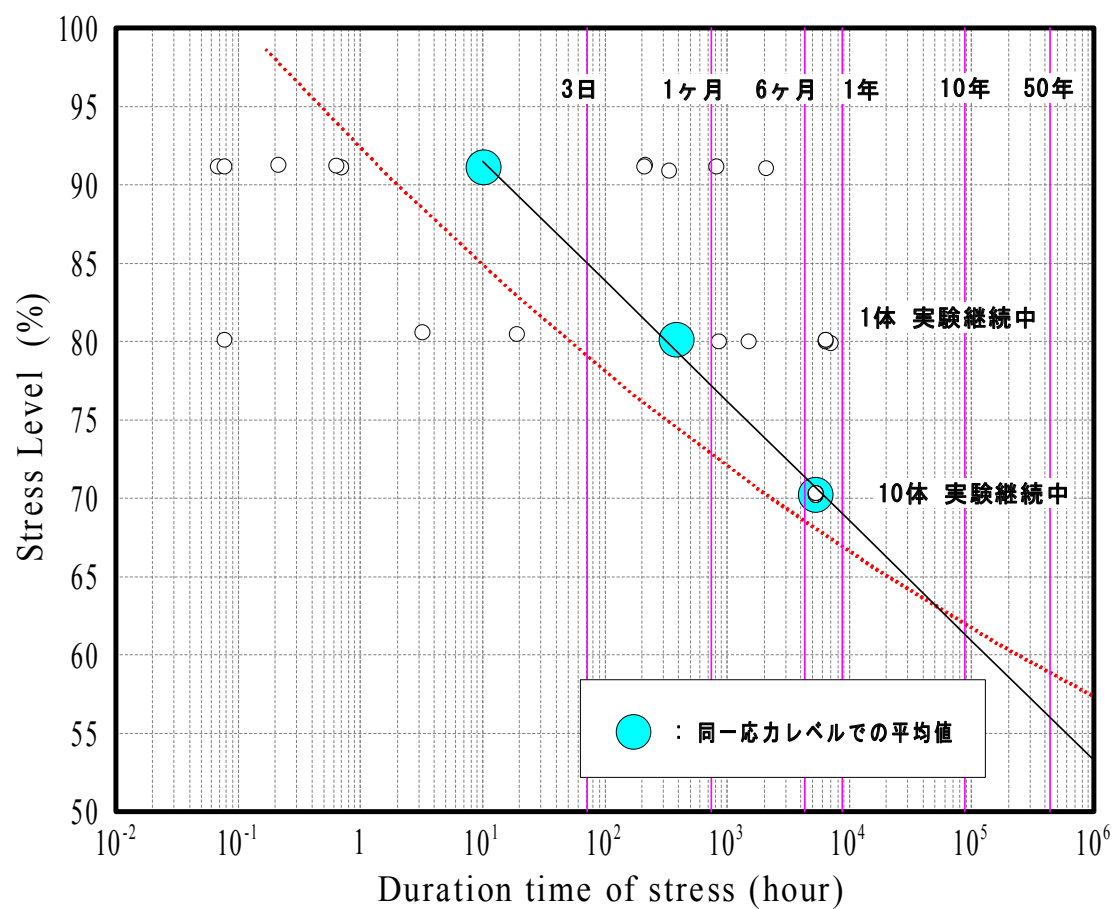


図 4.1 応力レベルと破壊までの時間の関係

10.5 まとめ

B 種構造用単板積層材を平使いとし、引張側最外層の単板に接合がある場合の曲げクリープ破壊実験を行い、応力レベルと荷重継続時間の関係を求めた。

応力レベル 90, 80, 70%での破壊までの平均値を用い、50 年後の応力レベルを回帰直線で求めると、56%となった。(2015 年 2 月末現在)

第 11 章 木ねじの品質に関する検討と木ねじの標準化の可能性に関する検討

11.1 はじめに

木ねじをはじめとするビスにはさまざまな種類が存在するが、JIS 規格に指定されている木ねじ・タッピンねじ等を除き、その形状や材質は各製造業者独自のものとなっている。これらのビスを用いた耐力壁を使用する場合には、耐力壁のせん断試験を行いその性能を確認し、大臣認定を受けることとなる。しかし、仕様等をわずかに変更しただけでも認定を受けなおさなければならなくなるなど、困難な面が存在する。

接合部の一面せん断試験は耐力壁試験と比較してコスト、手間ともに少ないため、実施にあたっての負担は小さい。また一方で、接合部の一面せん断性能から面材張り耐力壁のせん断性能を推定する試みも報告されている。所定の性能を満たすビス接合部を用いた場合に対して耐力壁の性能を決定することができれば、ビス接合耐力壁の使用が容易となる。

本課題は耐力壁等に用いられる木ねじに求められる品質規格や接合部性能を整理し、木ねじおよびその接合部について性能規定的な観点から位置づけることにより、木ねじの木質構造への適正な利用を促進させることを目的とする。

昨年度までに、合板およびせっこうボードを用いた軸組構法耐力壁の水平せん断試験、同一仕様の接合部一面せん断試験、および接合具の曲げ試験を行ってきた。その結果、ビスが繰り返し曲げ変形を受けることにより脆性的な破壊を生じ、耐力壁の水平せん断性能に影響を及ぼすこと、同様の挙動が接合部試験および接合具曲げ試験でも見られることが確認された。しかし、これまでの研究では一定の加力スケジュールに対する挙動が確認できたものの、実際の地震時においては地震波の特性により挙動が変化することが考えられる。

そこで本年度は、木ねじを用いた軸組構法耐力壁において仮動的水平加力試験を行い、地震波が耐力・変形性能や破壊性状に及ぼす影響について実験的に検討することとした。

11.2 試験体

試験体概要を図 1.1 に、試験体シリーズを表 1.1 に示す。柱および土台は 105mm×105mm のスギ製材を用いた。梁には 105mm×180mm のベイマツ製材を用いた。面材には針葉樹合板（特類 2 級、厚さ 9mm）およびせっこうボード（GB-R 厚さ 12.5mm）を用いた。合板試験体には呼び径と長さがそれぞれ 3.8×32mm、4.1×3.8mm、4.5×32mm、4.5×50mm、の 4 種類の皿木ねじ（JISB1112 天野製作所製）を使用した。せっこうボード試験体には、合板試験体の木ねじのうち 3.8×32mm、のものをを使用した。また、面材を留めつける木ねじは 150mm 間隔で留めつけた。両端の柱の柱頭および柱脚は、合板試験体においては引き寄せ金物 HD-B20 を、せっこうボード試験体においては引き寄せ金物 HD-B15 を用いて緊結した。

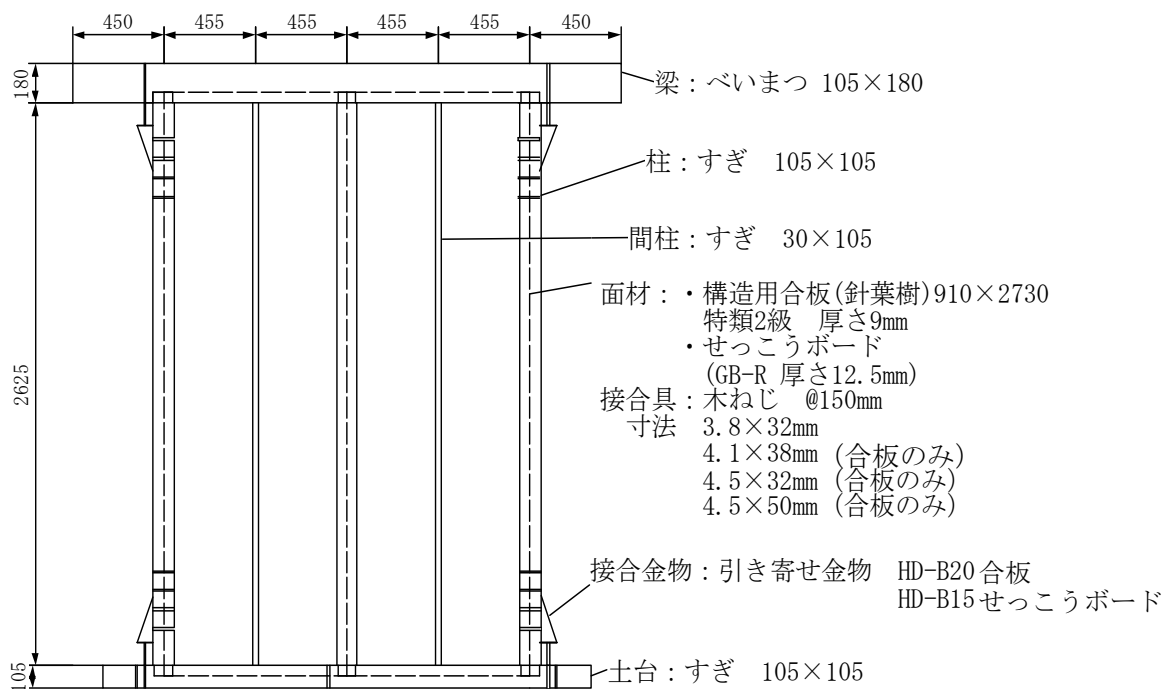


図 1.1 試験体概要

表 1.1 試験体シリーズ

面材	木ねじの種類	入力地震波	試験体数(体)
合板	3.8×32mm	JMA Kobe NS	1
		BCJ level2	1
	4.1×38mm	JMA Kobe NS	1
		BCJ level2	1
	4.5×32mm	JMA Kobe NS	1
		BCJ level2	1
	4.5×50mm	JMA Kobe NS	1
		BCJ level2	1
せっこうボード	3.8×32mm	JMA Kobe NS	1
		BCJ level2	1

11.3 試験方法

加力は梁端部に油圧式アクチュエータ（島津製作所製静的最大加振力±150kN、ストローク±200mm）を接続し行った。梁の水平変位は巻込型変位計（東京測器研究所製 DP-500C、500mm）で、土台水平変位および両端柱の鉛直方向変位は変位計（東京測器研究所製 SDP-100c、100mm）で測定した。仮動的水平加力試験における諸条件を表 1.2 に示す。初期剛性および慣性質量は、これまでに行った耐力壁試験結果（ISO21581 に準拠）をもとに算出した。慣性質量は次式により求めた。

$$m=P_0/(0.2g) \quad (1.1)$$

ここで、 m ：慣性質量(kg)、 P_0 ：耐力壁の短期基準せん断耐力(N)、 g ：重力加速度(m/s^2)

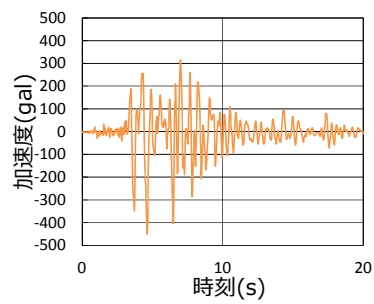
また、入力地震波の最大加速度を表 1.3 に、仮動的水平加力試験に用いた地震波を図 1.2 に示す。繰り返し挙動の異なる 2 波による影響を比較する目的で、1995 JMA KOBE NS (最大加速度 450gal に基準化) と、日本建築センター模擬波（基盤波）BCJ LEVEL2(最大加速度 356gal)を選択した。

表 1.2 仮動的水平加力試験における諸条件

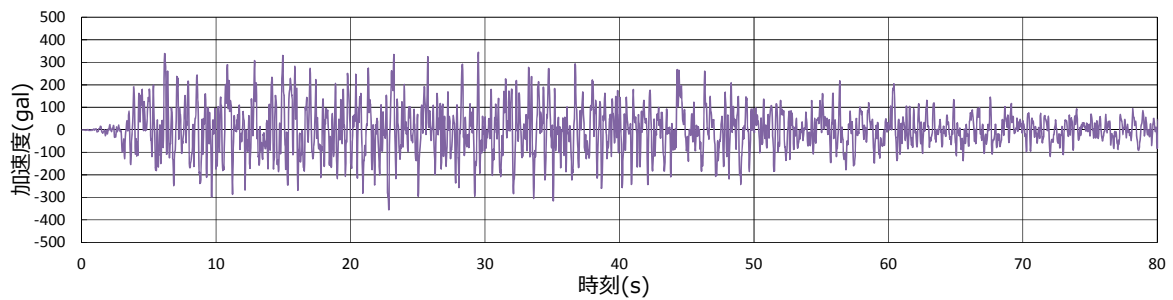
試験体	慣性質量 (kg)	初期剛性 (kN/mm)	減衰定数 (%)
合板	3.8×32mm	4400	2
	4.1×38mm	5462	
	4.5×32mm	5031	
	4.5×50mm	5427	
せっこうボード	3.8×32mm	2406	2.536

表 1.3 入力地震波の最大加速度

入力地震波	最大加速度(gal)	
	+	-
JMA Kobe NS	315.4	450
BCJ level2	344.3	355.7



1995JMA Kobe NS (最大加速度 450gal に基準化)



BCJ level2

図 1.2 仮動的水平加力試験に用いた地震波

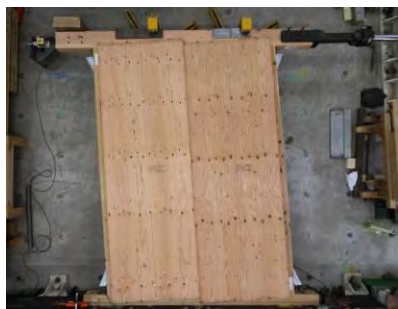
11.4 試験結果

11.4.1 破壊性状

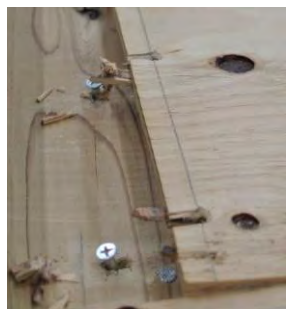
破壊性状を図 1.3 に、全接合部におけるねじの破断がみられた割合を図 1.4 に示す。に関しては、先に行われた一方向静的水平加力試験および ISO21581 に準拠した正負繰り返し静的水平加力試験の結果との比較も行った。

面材に合板を用いた試験体では、JMA Kobe 波の入力では破壊には至らなかったが、BCJ level2 を入力した試験体はすべて破壊に至った。JMA Kobe 波と比較して BCJ level2 の方が繰り返し数が多くなるため、ねじの破断がみられた割合が大きくなる傾向にあった。ねじの破断がみられた割合は長いねじを用いた試験体で大きくなった。BCJ level2 を入力した試験体の破壊性状としては、4.5×32mm 以外の試験体ではねじの破断が主にみられたが、4.5×32mm の試験体は引き抜けが主にみられた。

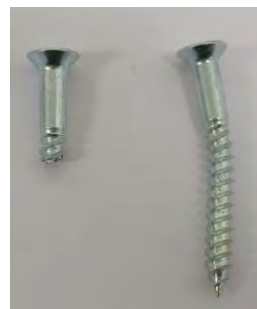
面材にせっこうボードを用いた試験体では、静的加力試験と同様にせっこうボードの圧潰が主にみられた。また、静的加力試験では端距離を 12mm としていたが、今回行った試験では端距離を 24mm としたため、端切れの見られた割合は少なくなった。ねじの破断は、BCJ level2 を入力した試験体において 6.25%みられた。



試験全体の様子



端切れ



破断したねじ(左)
曲げ降伏したねじ(右)



引き抜け



パンチングアウト



せっこうボードの欠け
および圧潰

図 1.3 破壊性状

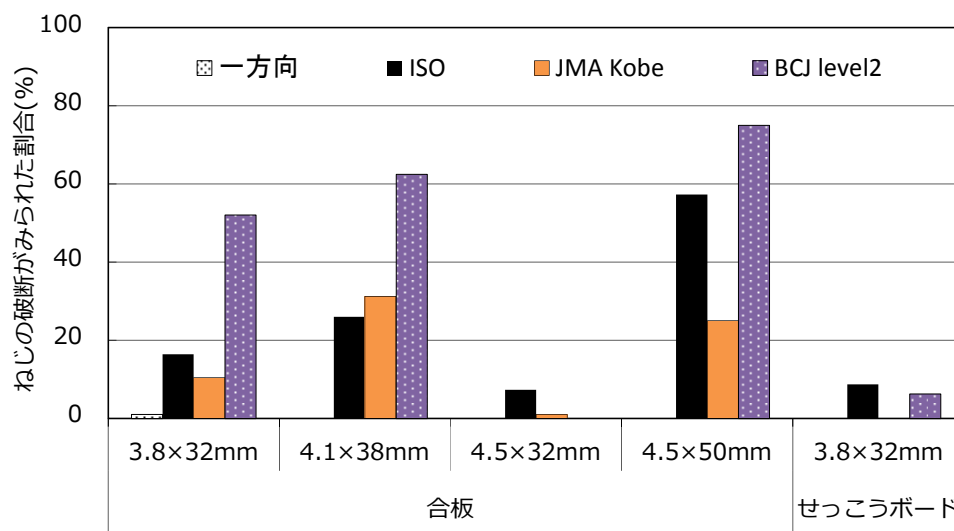


図 1.4 全接合部におけるねじの破断がみられた割合

11.4.2 荷重変位関係および時刻歴応答変位

荷重変位関係および時刻歴応答変位を図 1.5 から図 1.14 に示す。また、最大応答変位とその時刻を表 1.4 に、最大荷重および最大荷重時変位を表 1.5 に示す。最大荷重は、BCJ level2 を入力した場合よりも JMA Kobe を入力した場合のほうが高い傾向を示した。ISO の正負繰返し加力試験と比較すると、JMA Kobe の場合は安全側に推移しているのに対し、BCJ level2 では $4.5 \times 32\text{mm}$ 以外の試験体では、より小さい変位での荷重の低下が見られた。ねじの破断があまり見られない試験体(合板— $4.5 \times 32\text{mm}$, せっこうボード— $3.8 \times 32\text{mm}$)は、静的と各地震波を比較しても大きな差は見られなかった。以上のことから、繰返し加力により脆性的な破壊を示す試験体の場合、加力履歴を考慮した評価が必要であることが示唆された。

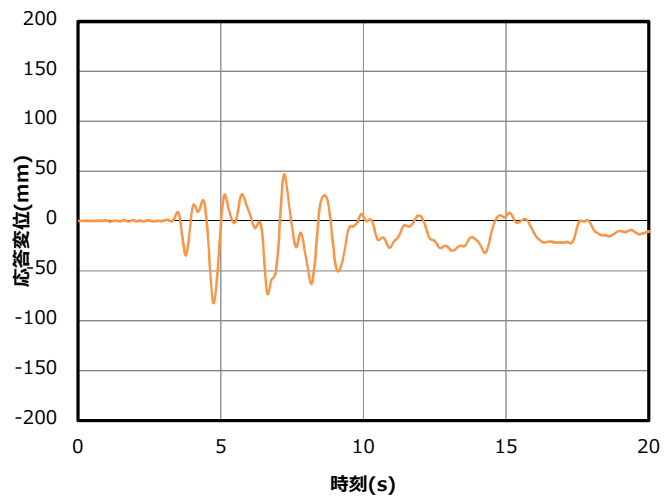
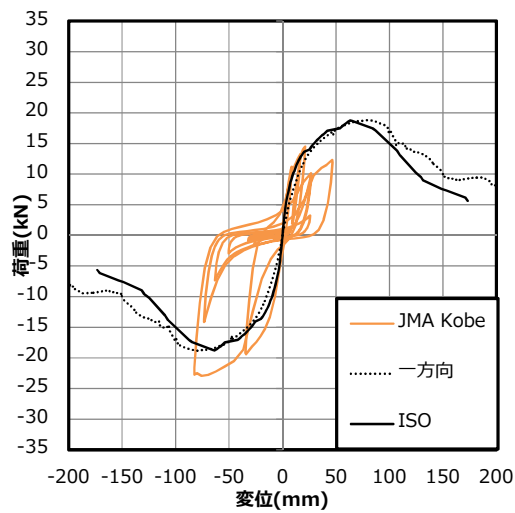


図 1.5 荷重変位関係および時刻歴応答変位(JMA Kobe— $3.8 \times 32\text{mm}$ —合板)

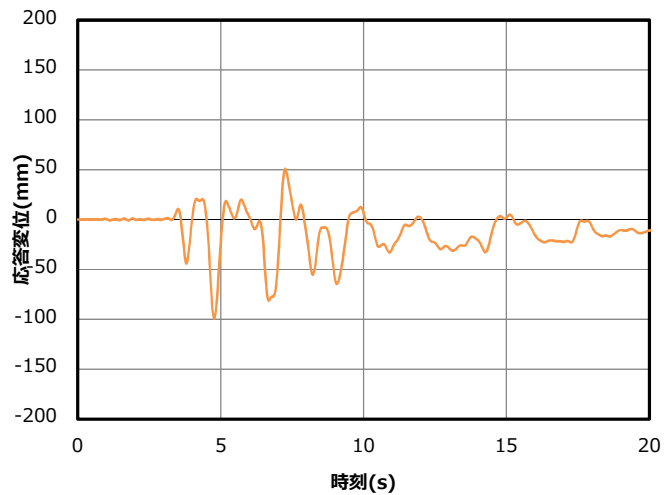
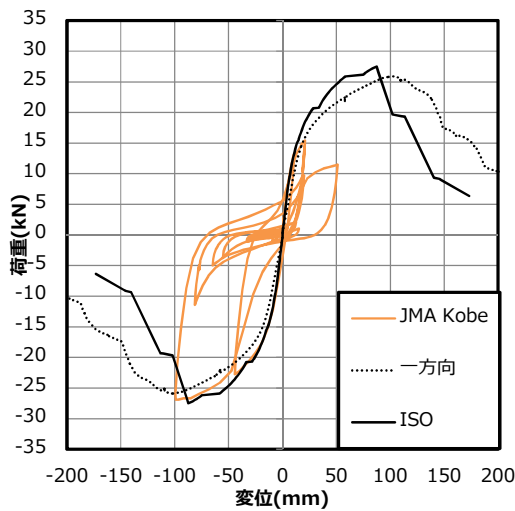


図 1.6 荷重変位関係および時刻歴応答変位(JMA Kobe— $4.1 \times 38\text{mm}$ —合板)

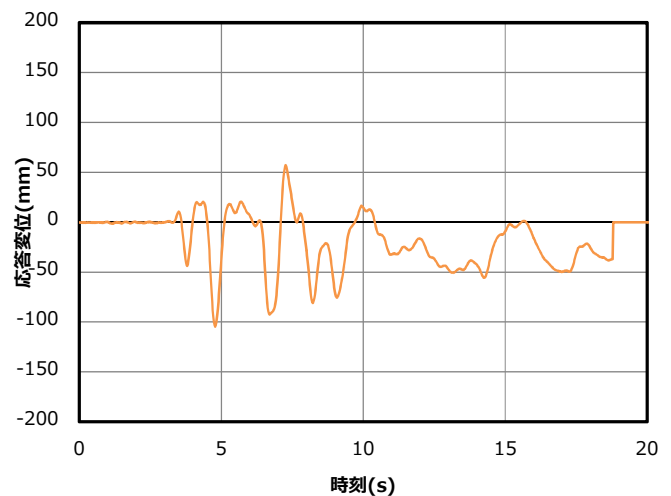
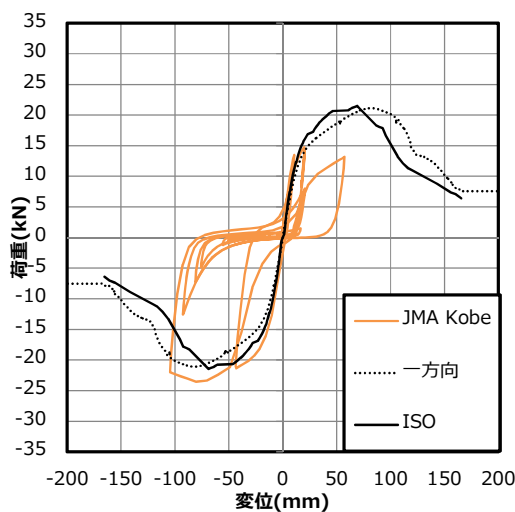


図 1.7 荷重変位関係および時刻歴応答変位(JMA Kobe— $4.5 \times 32\text{mm}$ —合板)

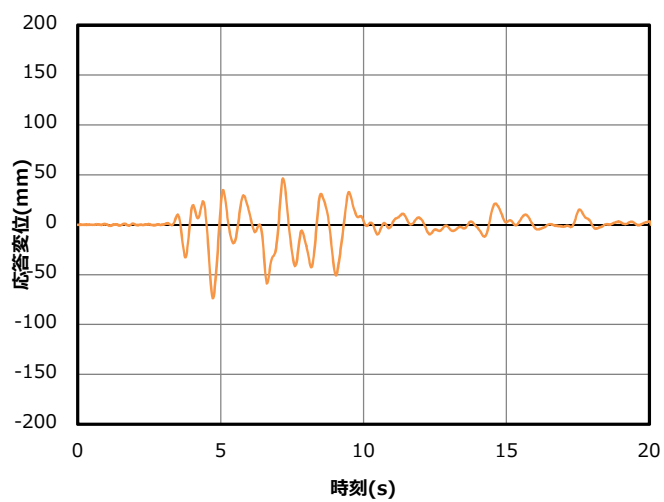
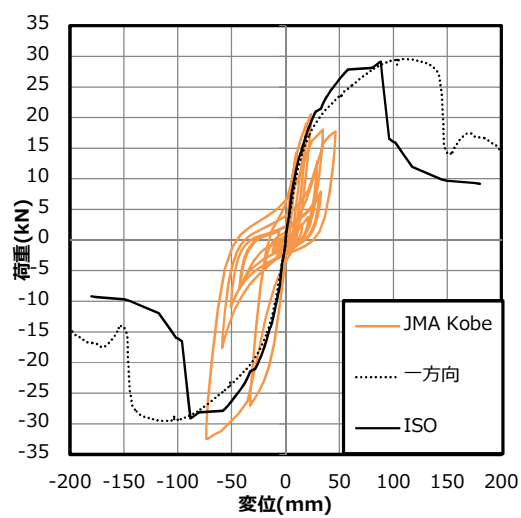


図 1.8 荷重変位関係および時刻歴応答変位(JMA Kobe—4.5×50mm—合板)

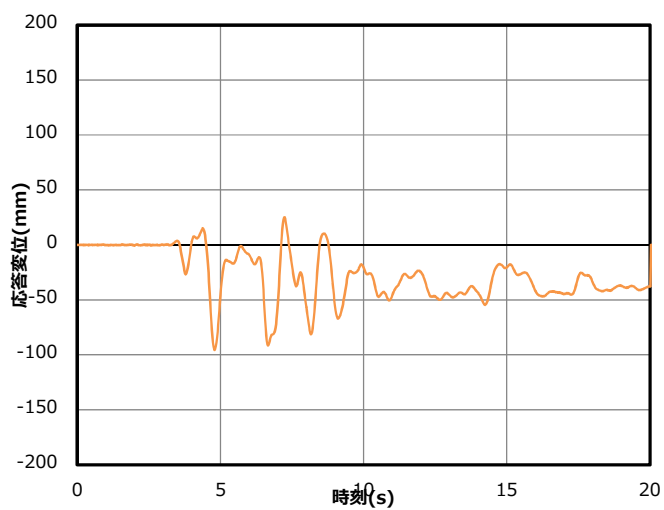
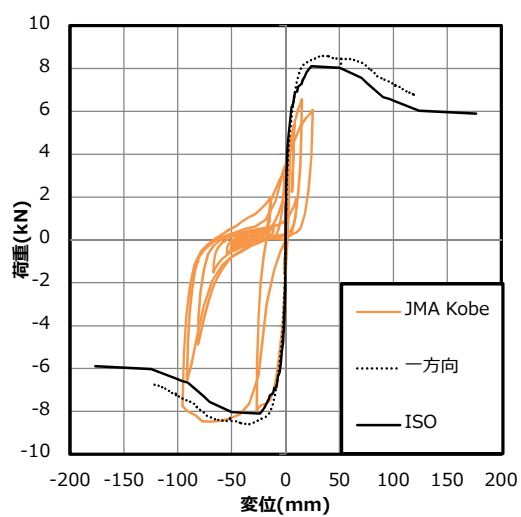


図 1.9 荷重変位関係および時刻歴応答変位(JMA Kobe—3.8×32mm—せっこうボード)

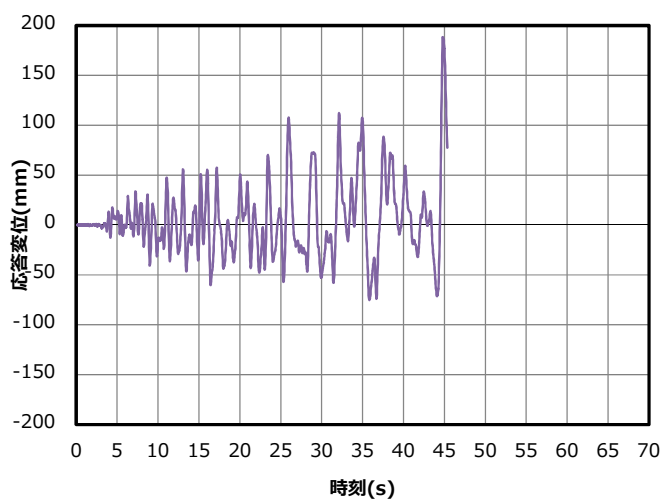
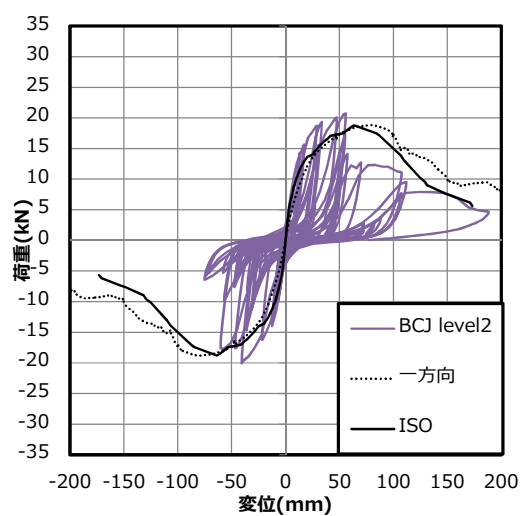


図 1.10 荷重変位関係および時刻歴応答変位(BCJ level2— $3.8 \times 32\text{mm}$ —合板)

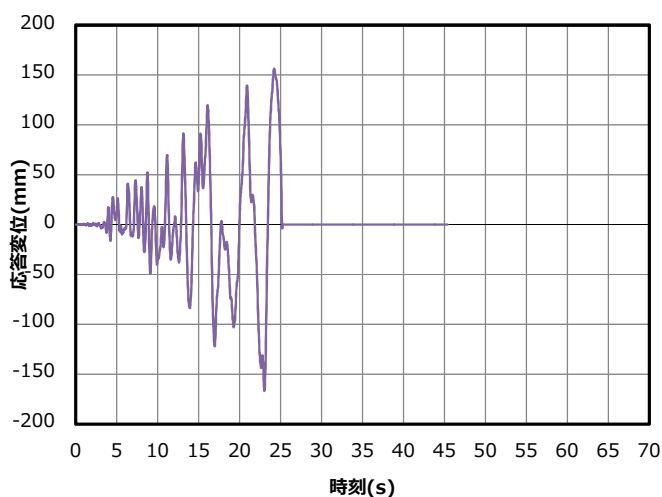
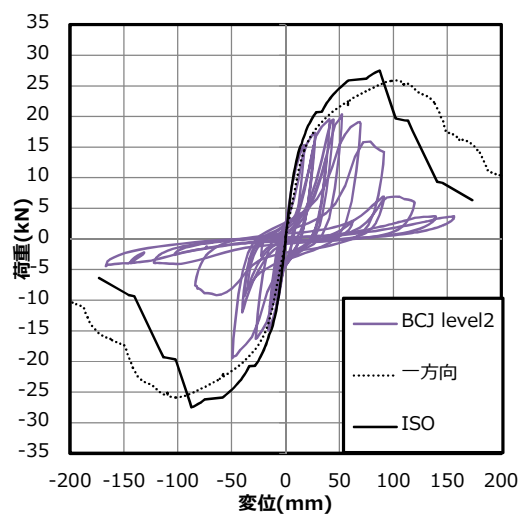


図 1.11 荷重変位関係および時刻歴応答変位(BCJ level2— $4.1 \times 38\text{mm}$ —合板)

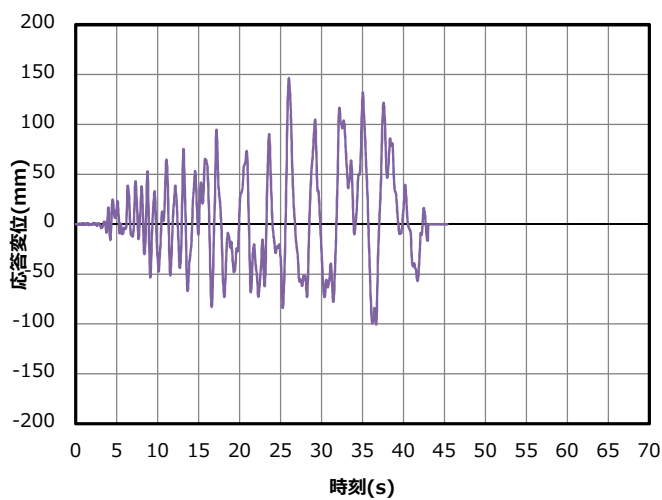
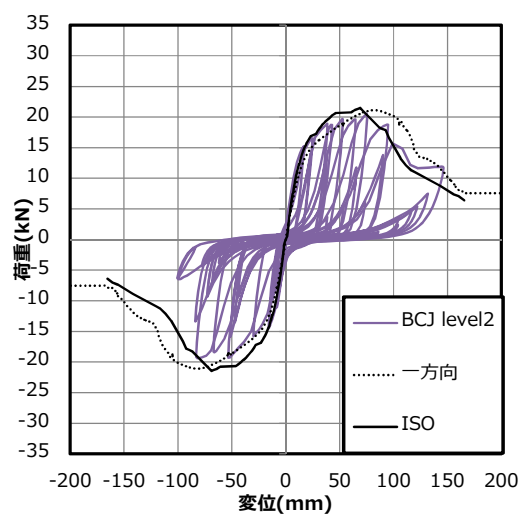


図 1.12 荷重変位関係および時刻歴応答変位(BCJ level2— $4.5 \times 32\text{mm}$ —合板)

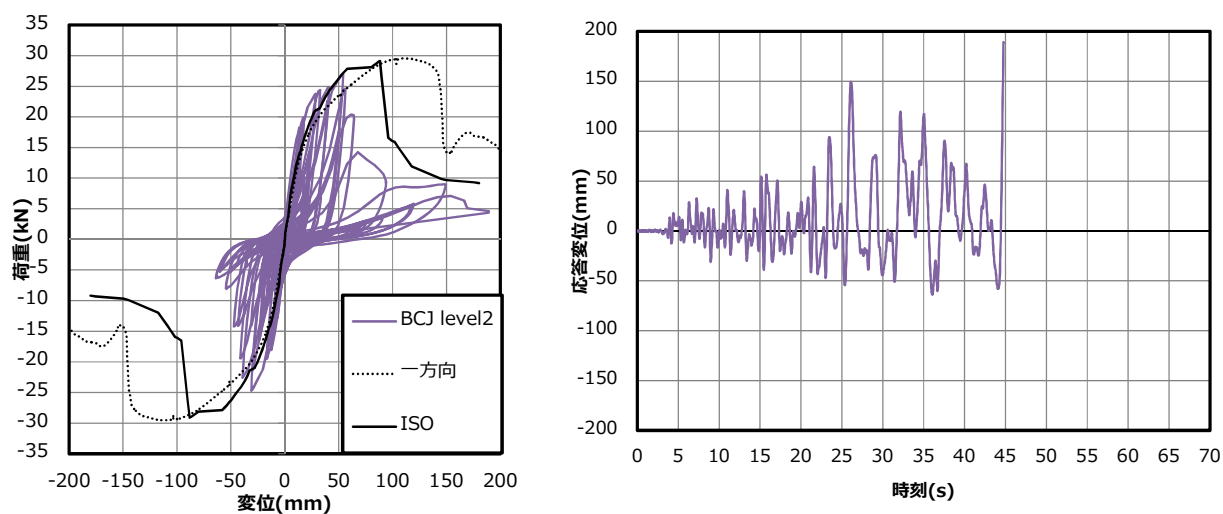


図 1.13 荷重変位関係および時刻歴応答変位(BCJ level2—4.5×50mm—合板)

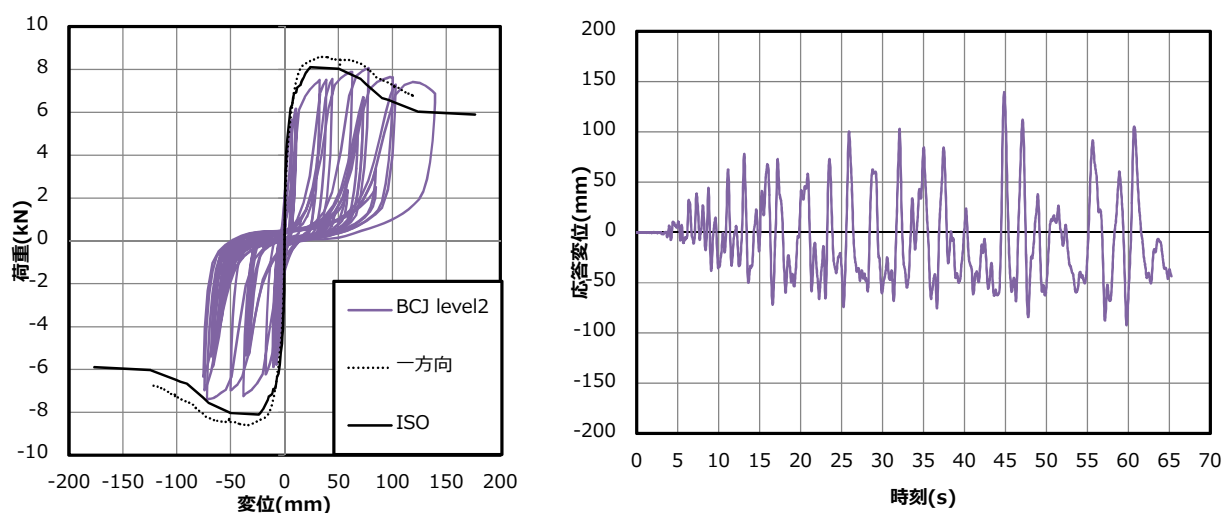


図 1.14 荷重変位関係および時刻歴応答変位(BCJ level2—3.8×32mm—せっこうボード)

表 1.4 最大応答変位、最大応答変位時時刻および最大応答変位時荷重

面材	木ねじの 種類	JMA Kobe NS					
		時刻(s)		最大応答変位(mm)		最大応答変位時荷重(kN)	
		+	-	+	-	+	-
合板	3.8×32mm	7.24	4.76	46.72	-82.35	11.89	-21.59
	4.1×38mm	7.26	4.78	50.98	-99.36	11.48	-26.00
	4.5×32mm	7.26	4.78	57.08	-104.55	13.19	-21.99
	4.5×50mm	7.18	4.72	46.29	-73.57	17.70	-32.48
せっこうボード	3.8×32mm	7.24	4.80	25.22	-95.65	6.07	-7.77

面材	木ねじの 種類	BCJ level2					
		時刻(s)		最大応答変位(mm)		最大応答変位時荷重(kN)	
		+	-	+	-	+	-
合板	3.8×32mm	44.78	35.82	188.37	-75.23	4.69	-6.42
	4.1×38mm	24.22	23.04	156.18	-166.70	3.71	-4.44
	4.5×32mm	26.02	36.66	146.41	-100.47	11.67	-6.32
	4.5×50mm	44.76	36.08	189.23	-63.79	4.63	-6.33
せっこうボード	3.8×32mm	44.84	36.64	139.53	-75.33	6.89	-6.33

表 1.5 最大荷重および最大荷重時変位

面材	木ねじの 種類	JMA Kobe NS			
		最大荷重(kN)		最大荷重時変位(mm)	
		+	-	+	-
合板	3.8×32mm	14.50	-22.91	21.18	-75.62
	4.1×38mm	15.41	-26.92	20.73	-99.02
	4.5×32mm	14.74	-23.57	19.81	-80.13
	4.5×50mm	20.53	-32.48	23.47	-73.57
せっこうボード	3.8×32mm	6.56	-8.47	15.14	-69.51

面材	木ねじの 種類	BCJ level2			
		最大荷重(kN)		最大荷重時変位(mm)	
		+	-	+	-
合板	3.8×32mm	20.74	-20.07	55.73	-40.61
	4.1×38mm	20.35	-19.46	52.32	-49.37
	4.5×32mm	20.55	-19.39	74.97	-82.08
	4.5×50mm	26.99	-24.73	54.19	-31.02
せっこうボード	3.8×32mm	8.07	-7.42	77.96	-71.94

11.5 まとめ

本章では、木ねじを用いた軸組構法耐力壁において仮動的水平加力試験を行い、地震波が耐力・変形性能や破壊性状に及ぼす影響について実験的に検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- ・ JMA Kobe の試験体では破壊には至らなかったが BCJlevel2 の試験体はすべて破壊した。
- ・ JMA Kobe の試験体よりも BCJlevel2 の試験体の方が繰返し数が多いためねじの破断がみられた割合は大きい傾向にあった。
- ・ ねじの破断がみられた割合は長いねじを用いた試験体の方が大きい傾向にあった。
- ・ 最大荷重は、BCJlevel2 よりも JMA Kobe の方が高い傾向にあった。
- ・ ISO の正負繰返し加力試験と比較すると、JMA Kobe の場合は安全側に推移しているのに対し、BCJ level2 では 4.5×32mm 以外の試験体では、より小さい変位での荷重の低下が見られた。
- ・ ねじの破断があまり見られない試験体(合板—4.5×32mm,せっこうボード—3.8×32mm)は、静的と各地震波を比較しても大きな差は見られなかった。

第 12 章 各 TG の研究成果のまとめ

12.1 各 TG の研究成果のまとめ

研究プロジェクトの今年度の各 TG における検討成果とその評価および当初目的を果たすために今後に残された課題を要約すれば以下のとおりである。

12.1.1 各種シロアリ生息実態に関する調査検討

本 TG は木造住宅の耐久設計における劣化外力の適切な評価を可能とすべく、日本におけるシロアリ被害実態を調査し、各シロアリ種の現時点における分布マップおよび住宅被害を加味したシロアリ被害危険度マップを作成することを最終目標としている。それに対して本 TG では、これまで家屋におけるシロアリ被害危険度を把握するため、シロアリ・腐朽被害実態調査アンケートを実施するとともに、日本における主要木材加害シロアリであるイエシロアリ、ヤマトシロアリの野外生息分布調査を行い、各シロアリ種の分布を決めている気象因子を検討してきた。

今年度は国内 5 地点において地表～地中温度の計測ならびに一部地点でイエシロアリ巣温計測、土壌性ガスの採集・分析を継続するとともに、北海道における積雪深の月ごとの平年値マップを整理した。

最後に、これまでの当 TG における成果から、建築地別の木材等の防腐・防蟻処理及び土壌処理の適用区分につき新たな提案を実施した。

これらの成果は、今後の木造住宅の耐久設計に大きく寄与するものであり、従来防蟻処理が不必要とされてきた地域の見直しが必要となる知見を提示している。

12.1.2 建築加害菌に関する検討

本 TG は木造住宅の耐久設計における劣化外力の適切な評価を可能とすべく、建築を加害する菌の特定をして建設地域別、建築構造別、建築部位別の腐朽危険度を評価する基礎資料を整備することを最終目標としている。それに対して、昨年度までは全国から採取した建築腐朽部材からサンプリングした腐朽菌の DNA を抽出し、菌種の同定作業をおこなった。

今年度は、次世代シーケンサと呼ばれる新たな装置を用いて、全国の住宅からサンプリングした腐朽材に含まれる糸状菌を同定し、それを腐朽材の採取地や採取部位・部材と関連づけることを目的として研究を行った。その結果、各サンプルから様々な種の真菌類が同定され、わが国住宅の腐朽材には多くの菌種が混在しており、その多くは 10 種以上という多種の真菌類によって菌叢が構成されていることが明らかとなった。また、従来、日本の木造住宅の加害菌は針葉樹材を加害する褐色腐朽菌が主要なものと考えられていたが、同じサンプルからは白色腐朽菌も多く観察されたことから、実は褐色腐朽菌とともに白色腐朽菌についても注意すべきことが示唆された。

以上の本 TG の検討結果から得られた事実は、腐朽材を正確に診断する上で、その診断方

法や基準などに大きな見直しが迫られることを意味している。

12.1.3 保存処理の耐久性と耐久性能に関する検討

本 TG は防腐防蟻処理の維持管理の適切なあり方を明らかにすべく、住宅内の健全環境下で使用され続けた場合の各種木材保存処理の耐久性能を明確にすることを最終的な目的としている。昨年度までの促進劣化試験を実施した結果から、銅や第四級アンモニウム化合物については、長期にわたって問題なく使用できることを確認した。

今年度は、微量で効力を発揮するシプロコナゾールの促進劣化試験を実施し、その健全住宅環境内での耐久性能について実験方法をより精緻なものに改良して検証した。その結果、木材に注入した場合でも、シプロコナゾール残存率が曝露温度によって異なり、温度が高いほど消失速度が速いことが明らかになった。

以上の結果から、住宅に雨水浸入などが生じていない健全環境下における各種保存処理木材の有効期間を適切に評価しうる基礎資料が得られたと考えられる。

12.1.4 耐久性向上措置としての新構（工）法の健全度に関する検討

本 TG は特に品確法施行前後から耐久性向上に有効と評価されてきた様々な新構（工）法の検証を行い、それら新構（工）法の本来の性能を発揮するための設計、施工上の留意点などをまとめた資料を作成することを最終目標としている。昨年度までは、住宅メーカー、性能保証機関、住宅検査会社あるいは住宅設計者などから提出していただいた新構（工）法の劣化上の問題点に関わる資料をもとに、劣化現象とその原因および設計・施工時点で取るべき対策、留意点についてまとめた資料を作成するための事故事例原因チェックシートを作成した。

今年度は、これらをもとに、特に耐久性と関連の深い事例について FTA 分析を実施してそれぞれの構法における劣化発生原因を解析し、その結果から設計、施工上とるべき対策についての情報を整理した。

12.1.5 接合部の強度劣化評価

本 TG は木造躯体の維持管理に関するテーマを取り扱っており、木造躯体の構造的安全性が生物劣化により低下している度合いを非破壊試験により客観的に診断する手法を確立すべく、接合部劣化モデル試験体を作成し、その強度試験を実施し、さらにその強度の非破壊診断指標を明らかにすることを最終的な目標とするものである。これに対して昨年度まではイエシロアリおよび腐朽菌による強制劣化手法を検討し、一部接合部強度試験を実施した。また、好低温菌であるナミダタケ菌による劣化試験体を作成し、接合部強度試験、部材縦圧縮試験を実施し、強度低下の評価とその診断指標の検討を行った。

その結果、劣化条件と密度との関係については、スギでは差は認められなかったが、アカマツ、ベイマツ、ベイツガではシロアリによる劣化が腐朽菌による劣化に比べて密度が

有意に低いことなどが明らかとなり、非破壊診断指標の一つとなりうることが示された。さらに、これらの結果から、接合部が劣化した構造モデルを作成し、その地震時応答解析をしたところ、層間変形量や柱脚の浮き上がり量に少なからぬ影響が出てくることなどが分かった。

12.1.6 構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討

本 TG は耐久設計の一つの根幹をなす建物部位内部の構造躯体が許容しうる結露量の値を明らかにすることを最終目標とするものである。昨年度までは、有害な結露（質量減少や強度低下を伴う結露）に関する判断根拠を得る観点から室内腐朽試験を行い、雰囲気湿度を指標として菌糸定着時間に関する知見を整備した。

今年度はその補足実験を行い、材料表面の相対湿度と菌糸定着時間との関係などを整理した。以上の結果、菌糸定着に関する判断方法について、連続した湿潤環境の場合と乾湿繰り返し環境の場合とに分けて判断基準を提案することができた。

これによって、建物各部の木部構造体あるいは下地材などの結露による「濡れ」の限界値が示されたことになり、木造建築物における耐久設計上有用な指標を得た。

12.1.7 小屋裏換気口の要求性能に関する検討

本 TG は耐久設計の一環として小屋裏換気口の所要有効面積を明らかにすべく、各種計算、実験を行うことで建物の地域気象条件、気密条件、断熱条件などに応じた小屋裏換気口面積の要求値を求めることを最終的な目的とするものである。昨年度までは、実住宅における天井の隙間量や下屋の換気量などについて新たな実測・実験を実施し、有効換気面積に対する様々な知見を得ている。

今年度は、これまでの検討の補足実験や測定を主としており、防湿層付きグラスウール断熱材の透湿抵抗値測定や気流解析による小屋裏空間の温湿度分布シミュレーションを実施している。それらの結果を踏まえて、最終的に換気方式、外壁通気層の有無、室内温湿度条件、地域などをパラメータとした必要小屋裏換気口面積を示した一覧表を得ている。

これらの成果は、現行の換気口面積基準の改訂を迫るものであり、その意義は大きい。ただ、これらの知見は結露のみを前提とした場合の値であり、事故的雨水浸入などがあった場合、あるいは本手法を下屋、ルーフバルコニー床下空間などに拡張する作業は今後に残された課題である。

12.1.8 接合金物の耐久性評価に関する検討

本 TG は、現行の品確法あるいは長期優良住宅の認定基準には入っていない木造接合金物の防錆基準を定めるための基礎資料を整備することを最終目的として設けられた。

本来は、鉄骨造に準じた防錆基準が必要であるにもかかわらず、現行法規あるいは告示に木造接合金物の防錆基準が盛り込まれていない主な理由は、基準を定めるに十分な学術

的知見が得られていないことにある。そこで、本 TG では、木造接合金物の使用環境として最も厳しいと思われる防腐処理木材との接触環境を取り上げ、昨年度までに全国 4 箇所において保存処理木材 16 種と金物防錆処理 18 種の組み合わせに関する屋外曝露試験と耐湿試験を継続実施するとともに、新たに室内空間における曝露実験を実施し、使用環境別の発錆度の違いを検証している。また、錆の程度を定量化する方法として錆の RGB 画像解析手法を導入し、従来は主観的に区分されていた腐食度を客観的に評価する技術を開発した。

今年度は、引き続いて実験経過の継続観察をしたが、その結果、屋外曝露試験と耐湿試験では特に銅系薬剤を加圧処理した木材と接した箇所に水が作用すると金物の亜鉛メッキ層の腐食が促進されること、同様の現象は鉄骨造の告示で示されている長期使用の場合の防錆処理（HDZ23 や Z60 など）においても観察されることなどが明らかとなった。それに対し、亜鉛メッキの上に何らかの皮膜処理をして加圧処理木材との絶縁措置を施した金物の場合には、水分が作用する厳しい環境下でも安定であること、また水が作用しない屋内環境下では、ほとんどの保存処理木材と各種防錆処理金物との間に変化が認められないことなどが明らかになった。

以上の実験結果から、本 TG においては、木造住宅接合金物の防錆処理のあり方を使用環境別に示す基礎的な資料の一端が整備されたと評価できる。

12.1.9 長期優良住宅における維持管理に関する検討

本 TG は、長期優良住宅の維持保全計画の実態とそのあるべき姿を明らかにすることを最終目的に設置されたものである。昨年度までは、長期優良住宅の維持保全計画の実態を明らかにすべく、維持保全計画の作成方法、点検周期の決定方法、地域性への考慮の有無などについて全国の工務店や設計事務所に対するアンケート調査を実施した。また、地域別の気候差を考慮した維持管理の最適化について検討を加えた。

今年度の検討項目は 3 点あり、その一つめは、昨年度までのアンケートをベースにさらに要点を絞り込んだアンケートを実施し、維持保全の実態、維持保全上の注意点とその理由、屋根・外壁における材料種別と維持保全の関わり、維持保全計画の現状などについて調査した。検討事項の二つめは、点検方法に関して、点検者の経験や技術を想定した木部各箇所の点検方法と判定方法例を示した。検討事項の三つめは、維持管理計画立案時に、点検周期や点検部位を決定するためのフローや、そこで考慮すべき地域性や構造・材料などの因子との関係を検討した。

12.1.10 長期優良住宅に要求される構造・材料に関する検討

本検討課題は、木造長期優良住宅の人的基準の整備に資することを目指し、長期優良住宅の正しい理解と普及を推進するために、構造安全性の評価、また、使用する材料の品質関する下記に示す課題について技術的資料を収集し、現行の基準の妥当性を証明するとともに、必要に応じて改善点、修正点の根拠と成る知見の蓄積を行うことを目的として、長期

許容応力度（荷重継続時間の調整係数）の検証と木ねじの品質に関する検討と木ねじの標準化の可能性に関する検討を行った。その結果、長期許容応力度の検討に関しては、B 種構造用単板積層材を平使いとし、引張側最外層の単板に接合がある場合の曲げクリープ破壊実験を行い、応力レベルと荷重継続時間の関係を求めた結果、応力レベル 90, 80, 70%での破壊までの平均値を用い、50 年後の応力レベルを回帰直線で求めると、現行の木材の長期許容応力度と短期許容応力度の比率と同等の結果が得られた。

また、木ねじを用いた軸組構法耐力壁の仮動的水平加力試験の結果、ねじの破断がみられた割合は長いねじを用いた試験体の方が大きい傾向にあり、ねじの破断があまり見られない試験体は、静的と各地震波を比較しても大きな差が無いことが確認された。

木造長期優良住宅の耐久性検討委員会

	氏 名	所 属
主 査	中島正夫	関東学院大学建築・環境学部
委 員	鮫島正浩	東京大学大学院農学生命科学研究科
〃	佐藤雅俊	東京大学大学院農学生命科学研究科
〃	土居修一	元筑波大学大学院生命環境科学研究科
〃	藤井義久	京都大学大学院農学研究科
〃	桃原郁夫	(独)森林総合研究所
〃	加藤英雄	(独)森林総合研究所
〃	大村和香子	(独)森林総合研究所
〃	森 拓郎	京都大学生存圏研究所
〃	中島史郎	(独)建築研究所
〃	槌本敬大	(独)建築研究所
〃	齋藤宏昭	足利工業大学工学部
〃	石山央樹	中部大学工学部
〃	南山和也	(公社)日本しろあり対策協会
〃	蒔田 章	日本木材防腐工業組合
〃	飯山道久	(一社)日本木造住宅産業協会
〃	臼井勝之	(一社)日本建築士事務所協会連合会
〃	村上知徳	(一社)日本ツーバイフォー建築協会
〃	宮坂賢次	(一社)日本プレハブ建築協会
〃	竹内孝常	(公社)社日本木材保存協会
協力委員	中川貴文	国土交通省国土技術政策総合研究所
〃	宮村雅史	国土交通省国土技術政策総合研究所
〃	角倉英明	国土交通省国土技術政策総合研究所
行 政	佐々木嵩史	国土交通省
〃	田中康平	国土交通省
事務局	石坂清人	(公社)日本木材保存協会

執筆者一覧

はじめに	関東学院大学 中島正夫
第1章	関東学院大学 中島正夫
第2章	2.1 (独) 森林総合研究所 大村和香子
	2.2 (独) 森林総合研究所 桃原郁夫
第3章	(独) 森林総合研究所 桃原郁夫
第4章	東京大学 佐藤雅俊
第5章	(独) 森林総合研究所 加藤英雄
第6章	足利工業大学 齋藤宏昭
第7章	足利工業大学 齋藤宏昭
第8章	中部大学 石山央樹
第9章	京都大学 藤井義久
第10章	(一材) ベターリビング 岡部 実
第11章	静岡大学 小林研治
第12章	関東学院大学 中島正夫