

**木造長期優良住宅の総合的検証委員会
耐久性分科会
平成 25 年度成果報告集**

平成 26 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、留意点について設計・施工マニュアルを作成するための資料を得た。

第 5 章では、接合部試験体を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。

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。

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。

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 26 年 3 月 5 日

耐久性分科会
主査 中島正夫

目 次

はじめに（中島）

第1章 木造長期優良住宅の総合的検証事業－耐久性（中島）	1
1.1 研究背景と目的	1
1.2 研究項目	2
1.2.1 研究の枠組み	2
1.2.2 研究項目	2
1.3 研究体制	4
第2章 劣化外力の再評価（劣化外力検討TG 大村、桃原）	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	7
2.1.2.1 地温計測	7
2.1.2.2 ガス計測	8
2.1.2.3 各計測地点における温度センサおよび／またはガス計測用パイプ設置 状況	9
2.1.2.3.1 北海道立総合研究機構林産試験場構内（地温測定のみ）	9
2.1.2.3.2 福井県総合グリーンセンター	10
2.1.2.3.3 鹿児島県日置市吹上浜国有林地内森林総研試験地	12
2.1.2.3.4 森林総合研究所構内	12
2.1.2.3.5 静岡県静岡市清水区	13
2.1.2.4 データ補間ならびに土壌凍結に関する文献・参考資料調査	14
2.1.3 結果と考察	14
2.1.3.1 地温および地表温変化	14
2.1.3.1.1 旭川・道総研林産試験場構内における温度変化	14
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	15
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	17
2.1.3.1.4 鹿児島県日置市吹上浜 森林総研試験地	17
2.1.3.1.5 静岡市清水区 イエシロアリ巣温変化	18
2.1.3.2 ガス計測結果	18
2.1.3.2.1 つくば、福井、鹿児島における結果	18
2.1.3.2.2 イエシロアリ営巣部分のガス濃度	20
2.1.4 まとめ	20

2.1.5	劣化外力 TG（シロアリ）における結論	21
2.1.6	今後の課題	22
2.2	腐朽危険度に関する検証	23
2.2.1	はじめに	23
2.2.2	平成 24 年度までの成果	23
2.2.3	本年度の目的	23
2.2.4	事業実施体制	24
2.2.5	実験方法	25
2.2.6	結果	28
2.2.7	まとめと残された課題	34
第 3 章	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 桃原）	35
3.1	目的	35
3.2	事業実施体制	35
3.3	これまでの成果	36
3.4	本年度の目的	40
3.5	実験	40
3.5.1	注入処理試験体の調製	40
3.5.2	促進劣化試験	41
3.5.3	シプロコナゾール抽出用試験片の作製	42
3.5.4	シプロコナゾールの抽出	43
3.5.5	シプロコナゾールの定量	44
3.6	結果と考察	44
3.6.1	試験体の調製	44
3.6.2	抽出方法の検討	46
3.6.3	促進劣化試験の結果	46
3.7	残された課題	49
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 （劣化対策検討 TG 佐藤）	51
4.1	目的	51
4.2	調査方法等	51
4.2.1	平成 21-22 年度の成果について	51
4.2.2	平成 23 年度の成果について	51
4.2.3	平成 24 年度の成果について	51
4.2.4	平成 25 年度の成果について	51

(1) 設計・施工マニュアル(案)の検討	51
(2) 木造住宅の納まりの変化と雨水侵入のリスク	52
(3) 劣化原因等を究明するためのFTA(Fault Tree Analysis)による分析例	57
(4) 現状において各TGで得られたマニュアルに関する成果等で、 マニュアルに反映することが必要と考えられる成果等について (各TGの成果の抜粋を記す)	64
4.3 今後の課題	67
参考資料1 新構法を用いた木造建築物の生物劣化とその対策	68
 第5章 接合部の強度劣化評価に関する検討(強度劣化検討TG 加藤)	123
5.1 はじめに	123
5.2 実験方法	123
5.2.1 腐朽菌による強制劣化方法	123
5.2.2 接合部モデル試験	125
5.2.3 部材縦圧縮試験	125
5.3 結果および考察	126
5.3.1 ファンガスセラーによる強制劣化方法	126
5.3.2 接合部モデル試験	126
5.3.3 部材縦圧縮試験	126
5.3.4 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	133
 第6章 構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討 (劣化環境検討TG(腐朽) 齋藤)	141
6.1 はじめに	141
6.2 乾湿繰返し実験における試料表面含水率の検討	141
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	141
6.2.2 乾湿繰返し実験時の試料表面相対湿度の試算	144
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	157
6.3.1 これまで得られた知見の要約	157
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	158
6.4 残された課題	159
 第7章 小屋裏開口面積と防露措置に関する検討 (劣化環境検討TG(小屋裏) 齋藤)	161
7.1 はじめに	161
7.2 防湿層付グラスウールを用いた天井面の透湿抵抗	161

7.2.1	目的	161
7.2.2	実験概要	161
7.2.3	測定結果	167
7.2.4	断熱材突合せ部の 1m あたりの透湿抵抗の算定	170
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	173
7.3.1	目的	173
7.3.2	試算方法	173
7.3.3	試算結果	180
7.4	気流解析による小屋裏空間の温湿度分布の確認	200
7.4.1	計算概要	200
7.4.2	計算結果	203
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	211
7.5.1	これまで得られた知見の要約	211
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	211
7.6	残された課題	213
第 8 章	接合金物の耐久性に関する検討（接合金物検討 T G 石山）	215
8.1	はじめに	215
8.1.1	背景	215
8.1.2	平成 24 年度までの取組内容と成果	216
8.2	保存処理木材との接触時安全性検証実験	218
8.2.1	実験概要	218
8.2.2	試験体仕様	220
8.2.3	評価方法	224
8.2.4	目視評価結果	225
8.2.5	画像解析による腐食量評価	249
8.2.6	飛来海塩粒子量の測定	252
8.2.7	考察	253
8.2.8	試験体画像	254
8.3	接合金具発錆時の引抜耐力検証	257
8.4	結論と今後の課題	260
第 9 章	長期優良住宅における維持管理に関する検討 （維持管理検討 T G 藤井）	263
9.1	背景と目的	263
9.2	前年度調査の詳細分析	264

9.2.1	調査概要	264
9.2.2	結果	264
9.3	工務店に関するアンケートによる詳細調査（平成 25 年度実施分）	275
9.3.1	調査概要	275
9.3.2	結果概要	275
9.4	ハウスメーカー 2 社に対する調査	281
9.4.1	はじめに	281
9.4.2	研究方法	281
9.4.3	前年度までの成果概要	281
9.4.4	構法の違いからみた中長期保全計画の検証	282
9.4.5	実データからみた維持保全の実施状況	284
9.4.6	実データと維持保全計画の比較	289
9.4.7	まとめ	290
9.5	維持管理情報データベース	290
9.6	長期維持保全計画の立案において考慮すべき因子	290
9.6.1	シロアリの分布	290
9.6.2	腐朽リスク	291
9.6.3	保存処理材の耐久性	292
9.6.4	各工法の劣化特性	293
9.6.5	接合部の劣化による強度低下	293
9.6.6	湿度環境	294
9.6.7	小屋裏換気と防露措置	295
9.6.8	接合金物の耐久性	296

第 10 章 各 TG の研究成果のまとめおよび長期優良住宅認定基準等の見直しに向けて （中島）

10.1	各 TG の研究成果のまとめ	297
10.1.1	各種シロアリ生息実態に関する調査検討	297
10.1.2	建築加害菌に関する検討	297
10.1.3	保存処理の耐久性と耐久性能に関する検討	298
10.1.4	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	298
10.1.5	接合部の強度劣化評価	299
10.1.6	構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討	299
10.1.7	小屋裏換気口の要求性能に関する検討	299
10.1.8	接合金物の耐久性評価に関する検討	300
10.1.9	長期優良住宅における維持管理に関する検討	301

10.2	本研究プロジェクトの成果を踏まえた 長期優良住宅認定基準等の見直しに向けて……………	301
10.2.1	各種シロアリ生息実態に関する調査検討……………	301
10.2.2	建築加害菌に関する検討……………	302
10.2.3	保存処理の耐久性と耐久性能に関する検討……………	302
10.2.4	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……………	302
10.2.5	接合部の強度劣化評価……………	302
10.2.6	構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討……………	303
10.2.7	小屋裏換気口の要求性能に関する検討……………	303
10.2.8	接合金物の耐久性評価に関する検討……………	303
10.2.9	長期優良住宅における維持管理に関する検討……………	304

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

関東学院大学 中島正夫

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調査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新構（工）法住宅の事故例を含めた健全度調査の実施
- ②上記調査結果を踏まえた上で、新構（工）法の設計・施工基準（設計、施工マニュアル）を作成する。
- 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・接合金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、屋外曝露試験、耐湿試験、屋内曝露試験の3環境について実施する。

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。

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）

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。

昨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。

今年度は、昨年度提唱した「ヤマトシロアリ野外分布の抑制要因が土壤凍結である」という仮説の検証とともに、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。

2.1.2 方法

野外分布北限に近い旭川市内の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、CO₂、CH₄、N₂O、O₂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計測した。

2.1.2.1 地温計測

図1に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を示す。温度センサは地中用として HOB0 Pro v2 U-003（温度センサ 2ch）、地表用として HOB0 Pro v2

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。

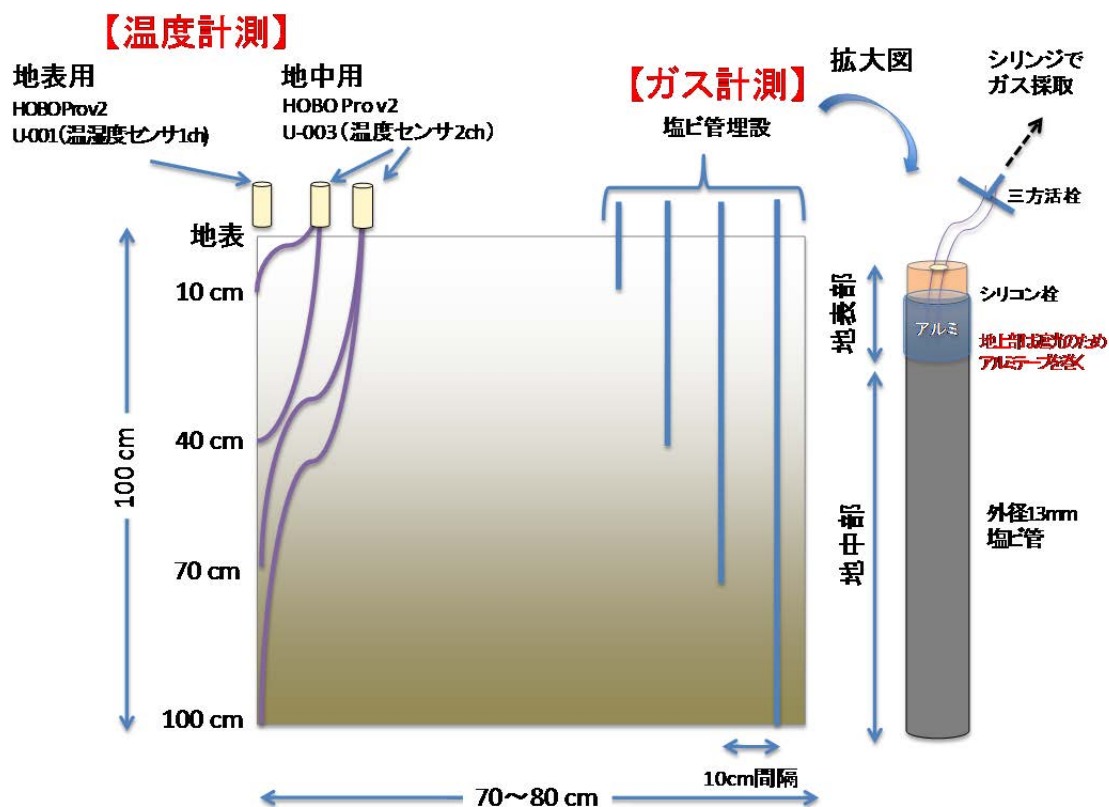


図1 地温測定用センサならびに地中ガス計測用パイプの設置概要

2.1.2.2 ガス計測

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、当事業の委託先である鹿児島大学・鶴川研究室ならびに協力先である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 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 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、 O_2 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。

（注）今回は 30mL 容真空バイアルに 30mL のガス捕集を実施したが、50mL 分の空気を採取して 30mL 容真空バイアルに陽圧状態で入れて保っておくと、外気からのコンタミ

の危険性が低くなるとのことである。今後引き続きガス採取を実施する場合は陽圧を保つようにガス採取を実施したい。

2.1.2.3 各計測地点における温度センサおよび／またはガス計測用パイプ設置状況

2.1.2.3.1 北海道立総合研究機構林産試験場構内（地温測定のみ）

2010年9月、旭川市以北の北海道北部地域において、ヤマトシロアリ野外生息調査を実施した。その際、旭川市内ではヤマトシロアリ生体を確認できなかったものの、さらに北方に位置する名寄市においてヤマトシロアリの野外生息を確認している。北海道旭川市ではヤマトシロアリの野外生息が確認されていることから、実験のしやすさを考慮して、ヤマトシロアリ野外分布との関係性を検討するデータとして今回は北海道立総合研究機構林産試験場（以下道総研林産試）暴露場において地温ならびに地表温を測定することとした。

道総研林産試は昭和61年に現在の旭川市西神楽1線10号に設立された。元は田んぼであったとのことで、暴露場の土壌は地表より10cm程度(A1層)が草類の根茎、10~70cmが黒褐色の粘質の高い土壌、70cm以深は白みがかった砂質の高い土壌であった。また、直前の降雨の影響もあり、90cm程度掘り進めた時点で湧水が生じた。

温度センサ設置の際は、冬期の積雪を考慮して、ロガーは全てプラスチック容器に入れたのち、北海道立林産試験場のご厚意でペール式バケツの覆いを施した。



写真1 掘削中の穴（湧水）



写真2 白みがかった砂質の高い土壌



写真3 センサ設置面の整地



写真4 ロガー保護の様子

2.1.2.3.2 福井県総合グリーンセンター

福井県総合グリーンセンターは福井県坂井市丸岡町に設置された県立の公設試験センターであり、当該箇所はシロアリ生息に関してはヤマトシロアリのみ野外分布が認められる。また、隣接する福井市では過去にイエシロアリ被害が報じられたこともある。

以前、同センター敷地内において、5年間にわたって計15樹種の心材部より採材した試験体を屋外暴露した経験がある。調査時には、試験体にヤマトシロアリの生体が確認でき、合板で作製した箱内ではあったが、冬期でもヤマトシロアリが試験体に付着して生息していることを確認している。このような経験から、当該地がヤマトシロアリによる被害圧が恒常的に存在する箇所と期待できることから、今回、地温および土壌性ガスの測定を決定した。2013年9月26日に調査した時点でも、前回屋外暴露を実施した場所でヤマトシロアリの生体の生息が確認できたことから、同じ場所で測定を実施することとした。

1) 穴掘り、温度センサ・パイプ類設置

当該箇所は九頭竜川流域のため、掘り進めると玉石が多く出てくることが予想されたことから、福井県総合グリーンセンターのご厚意で小型ユンボにより掘削作業を実施していただいた（写真5）。掘削途中、樹木の太い根を鋸で切断・除去しつつ80 cm程度掘り進めた時点で、予想どおり多くの玉石が現れた。そのため、人力による玉石除去作業と平行して100 cm深さまで掘り進めた。

2) 土壌断面の整形

温度センサと代謝ガス測定用パイプ類を設置する断面をスクレバー等を用いて平滑にする作業を実施し（写真6 a,b、写真7）センサ類およびパイプ類を設置した。

3) 土壌の埋め戻し

当該箇所の土壌には直径20 cmを超える玉石、小石のほか、多くの植物の根が混じった状況であった。植物の根など有機物を埋め戻してしまうと、それらの分解時に分解熱が発生し、温度計測に影響を及ぼすことが懸念されたため、ふるいにより小石ならびに根や葉などの有機物を除去してから土壌を埋め戻し、その後、地表のリター類を戻した（写真8）。

4) 温度センサロガーの固定・保護

当該地域は積雪地域のため、ロガーを雪から保護する必要があると考え、写真9のようにロガーをアクリルパイプで覆った。



写真5 小型ユンボによる掘削作業



写真 6 a 細かい根は剪定ばさみで切断・除去



写真 6 b 整えた土壌断面



写真 7 整形した断面へのセンサ類およびパイプ類の設置状況



写真 8 埋め戻し後の状況



写真 9 ロガー保護のためのアクリルパイプ

2.1.2.3.3 鹿児島県日置市吹上浜国有林地内森林総研試験地

鹿児島県日置市吹上浜今田に位置する国有林はクロマツ林を主体とする砂質の松林で、各種薬剤や木質材料の耐蟻性試験を目的として、森林総合研究所として一部を貸借し使用している。森林総研の貸借地区はイエシロアリの営巣を確認しており、今回は営巣箇所から 3 m 以内の地点ならびに営巣箇所から 30 m 離れた地点の 2 箇所において穴を掘り、温度センサならびにガス計測用パイプ類設置を実施した。

なお、穴を掘削している時点では、イエシロアリならびにヤマトシロアリの生きた個体は確認されなかった。



写真 10 穴掘りならびにパイプ設置状況



写真 11 イエシロアリ営巣箇所近くを観察点(穴1)



写真 12 営巣箇所より 30 m 離れた観測点(穴2)

2.1.2.3.4 森林総合研究所構内

森林総合研究所構内では実験住宅敷地西側において、地温およびガス計測を実施した。

当該箇所は以前、テニス用クレーコートで、客土により構成された土壌である。当研究所実験林室の荒井和徳氏のご協力でユンボを運転いただき、土壌の掘削を実施した。

掘削当日(10月2日)は朝から降雨が続き、実験住宅敷地内東南側で掘削を始めたところ、深度 30 cm 程度で湧水が生じたため、急遽実験住宅敷地外西側で掘削し、温度センサならびにガス計測用パイプ類を設置した。



写真 1 3 ユンボでの掘削状況



写真 1 4 低深度での湧水の発生

2.1.2.3.5 静岡県静岡市清水区

イエシロアリの活動と巣温、地表温、気温との関係解明を目的として、静岡県静岡市清水区三保の松原周辺のイエシロアリの営巣が確認できているクロマツ切株に対して、イエシロアリの巣温測定のため、地際より深さ50 cmの穴を掘削し熱電対を挿入するとともに、地表部に地表温測定用の温度センサを設置した。

熱電対&温度センサ設置箇所は、三保の松原より車で 5 分程度にある、農地脇の防風・防砂用街路樹が植えられている箇所で実施することとした。

ドライバー等で樹皮部分を剥いでイエシロアリの生息を確認後、切株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。さらに切株脇に温度センサ（HOBO Prov2 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、周辺土壌中に埋設した。



写真 1 5 巣温測定対象の切株



写真 1 6 イエシロアリ生体の確認

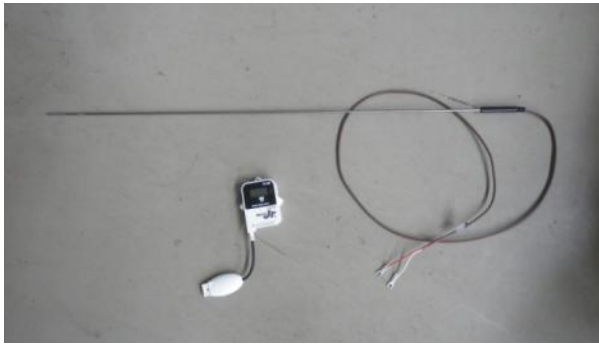


写真17 巢温測定用熱電対とロガー



写真18 地表温測定用センサー一体型ロガー

2.1.2.4 データ補間ならびに土壌凍結に関する文献・参考資料調査

森林総研のCO₂フラックス測定サイト(http://www2.affrc.go.jp/labs/flux/site_j.html)や大学・独法の観測データ(http://www.asiaflux.net/sf_fareast.html)等より北海道の地温データを収集した。さらに昨年度に引き続き、土壌凍結に関する文献・資料等を調査した。

2.1.3. 結果と考察

2.1.3.1 地温および地表温変化

2013年9月下旬～2014年1月上旬の地温計測データは以下の通りである。

2.1.3.1.1 旭川・道総研林産試構内における地温変化

2013年10月21日に温度センサ埋設のため穴を掘削した際、約70 cm深に達した時点で湧水が生じていたが、その影響は認められない模様であった。

データ回収を実施した2014年1月17日は日中の気温-13℃、朝晩は-20℃近くに低下していたが、積雪は約75 cm程度、地温は100 cm深で5.5℃、70 cm深で4.0℃、40 cm深で3.0℃であった。

得られたデータを確認したところ、11月13日から15日に急激な気温（地表温）低下が生じており、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した。実際、アメダスデータによると11月12日に積雪が初観測され、11月26日より根雪となっている。12月13日以降は積雪深20 cm以上を保ち、1月中旬で積雪深が75 cm程度であった。積雪が生じる以前は土壌深度10 cmでの地温は外気の影響を受けた変動が認められるが、根雪となった11月26日以降は温度の日較差が小さく、地表は-5℃程度まで低下するものの、土壌深度10 cmでは0℃を下回らないことが確認された。また、10 cm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が、深度40 cm以上になると日較差はなく、冬期になるに従い緩やかに低下していった。

後述する「積雪による断熱効果を考慮した管水路埋設深軽減工法」報告書(1999)中の積雪を考慮した場合の凍結深シミュレーションでは、積雪が20 cm以上の場合は積雪による断

熱効果により土壌凍結が進行しないと考え、シミュレーションを実施している。ヤマトシロアリは 4℃では木材を摂食はしないが、木材中にいれば生存は十分に可能な温度であること考える。シロアリの生存における木材の断熱効果については今後検討すべき課題である。

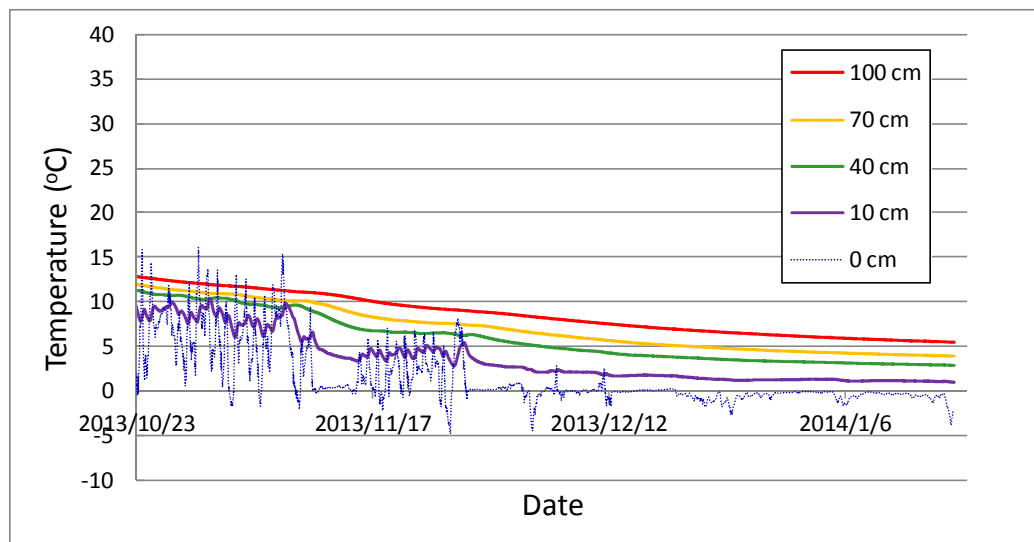


図 1 旭川における土壌深度別地温変化



写真 19 地温データ採取時の現場状況（2014年1月17日）

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

毎年積雪のある福井では今期は降雪があっても長期間の根雪となっておらず、観測地点でも積雪深が 2 月 20 日現在 0 cm とのことである。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 17 cm、2 月 20 日時点での積雪量は 0 cm であった。

観測地点でのデータを確認したところ、2014 年 1 月 9 日に急激な気温（地表温）低下が生じ 0 °C 近くになっており、降雪が生じたと予想している。測定した時点（2014 年 1 月

15 日) では周囲の所々に雪が残っていたが、現場では積雪は 0 cm と判断した。地中温に関しては、10 cm 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 40 cm 以上になると日較差はなく、冬期になるに従い緩やかに低下していた。

調査を実施した 2014 年 1 月 15 日は地温は 100 cm 深で 8.5℃、70 cm 深で 6.7℃、40 cm 深で 4.7℃、10 cm 深で 2.4℃、地表が -0.4℃であった。深度別の地温は同深度の旭川の地温と比較して約 3℃高い状態であった。

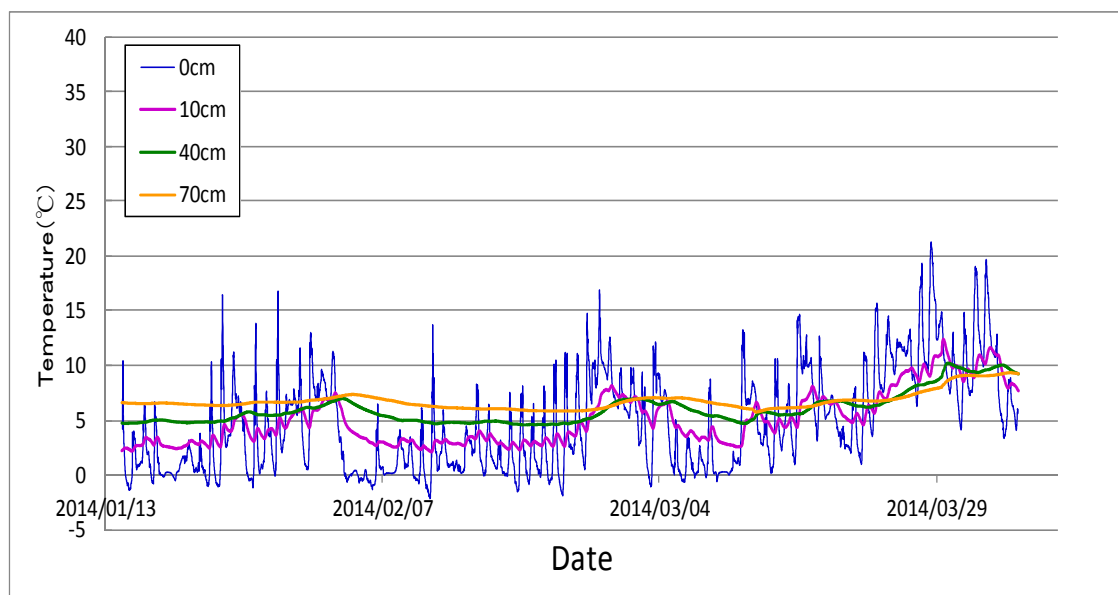
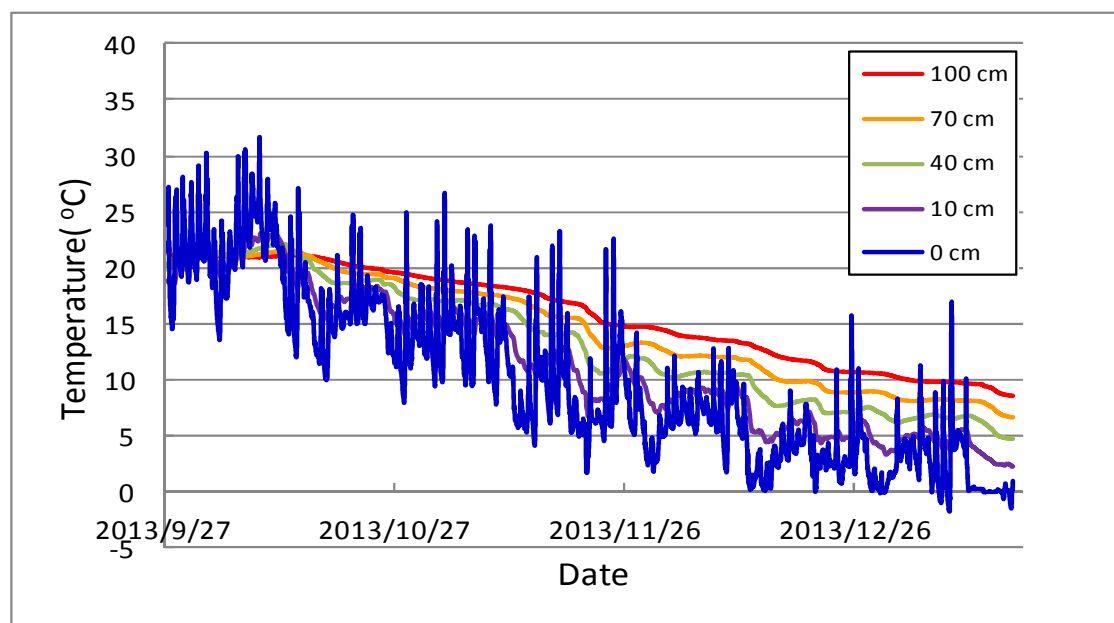


図 2 福井（坂井市）における土壌深度別地温変化
（上：2013 年 9 月 27 日～2014 年 1 月 13 日、下：2014 年 1 月 14 日～4 月 4 日）

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。また 2 月 8～9 日には関東地方で降雪があり、所内でも約 30 cm の積雪を確認、約 10 日間にわたって積雪が続いた。

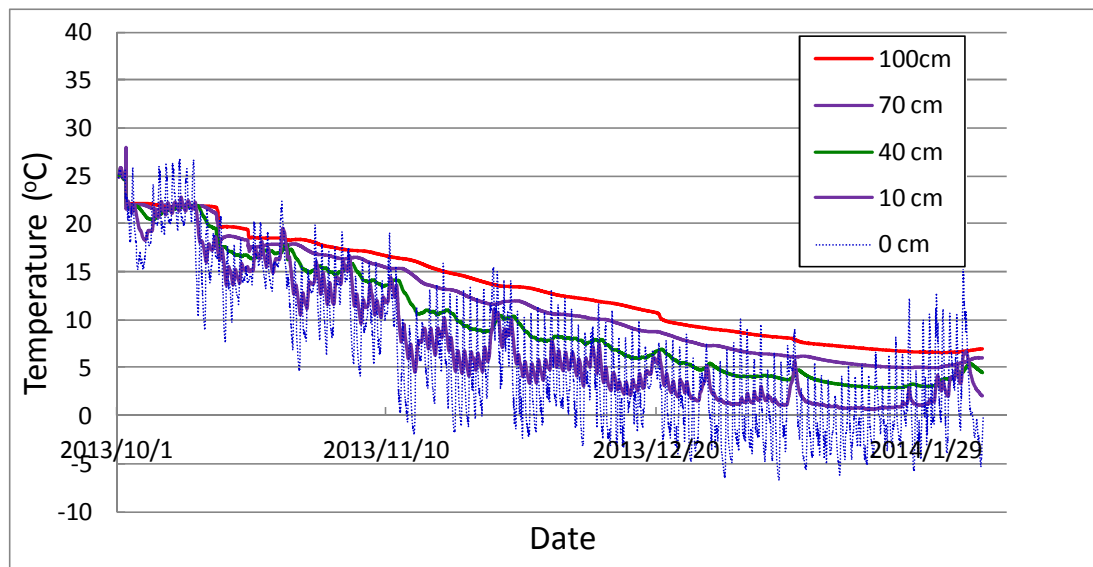


図3 つくば市における土壌深度別地温変化

2.1.3.1.4. 鹿児島県日置市吹上浜 森林総研試験地

イエシロアリ営巣箇所から 3 m 以内の地点（穴 1）ならびに営巣箇所から 30 m 離れた地点（穴 2）の 2 箇所において地温測定を実施した。穴 2 における深度 70 cm および 100 cm のデータはロガーの不調により計測できなかった。

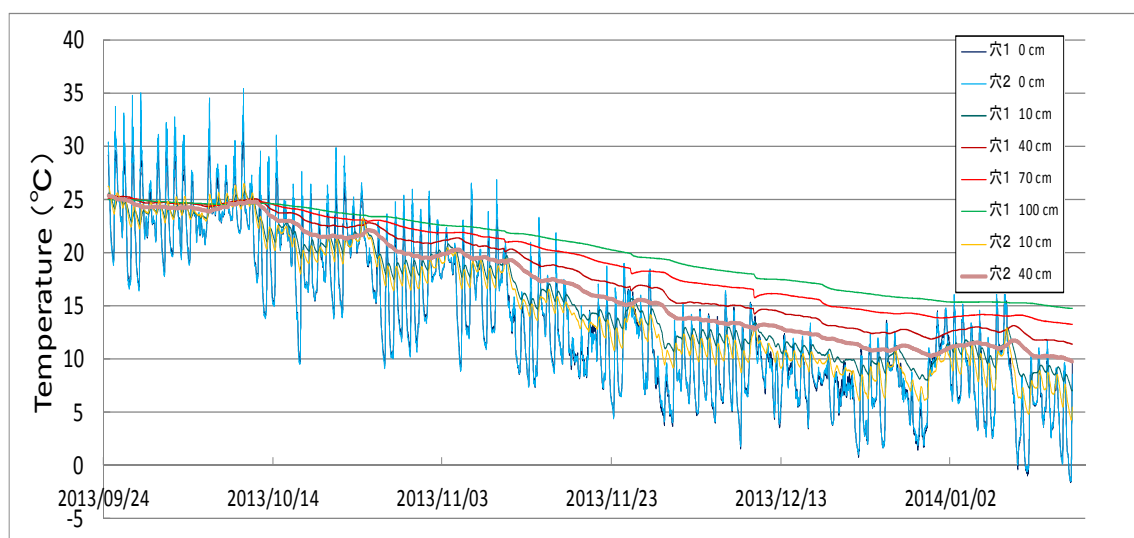


図4 鹿児島（日置市）における土壌深度別地温変化

地表温度はほぼ同じ温度で推移したが、深度別の地温は同深度で穴1の方が穴2よりも約 2℃高く、且つ日較差が小さい傾向が認められた。営巣箇所からの距離によるこのような違いがイエシロアリの生息の影響によるものか否かについては、今後の課題である。

2.1.3.1.5. 静岡市清水区 イエシロアリ巣温変化

図5にイエシロアリ巣温（地表より深度 50 cm の温度を計測）および観測地点（静岡市清水区）の地表温度と、比較のために鹿児島における土壌深度 40 cm の地温を示す。観測地点付近のアメダスデータと比較した結果、寒冷前線の通過に伴う降雨ならびに気温低下に同期した巣温の変動が認められるが、巣温は冬期でも地表温度と比較して高い温度を保つことが確認された。

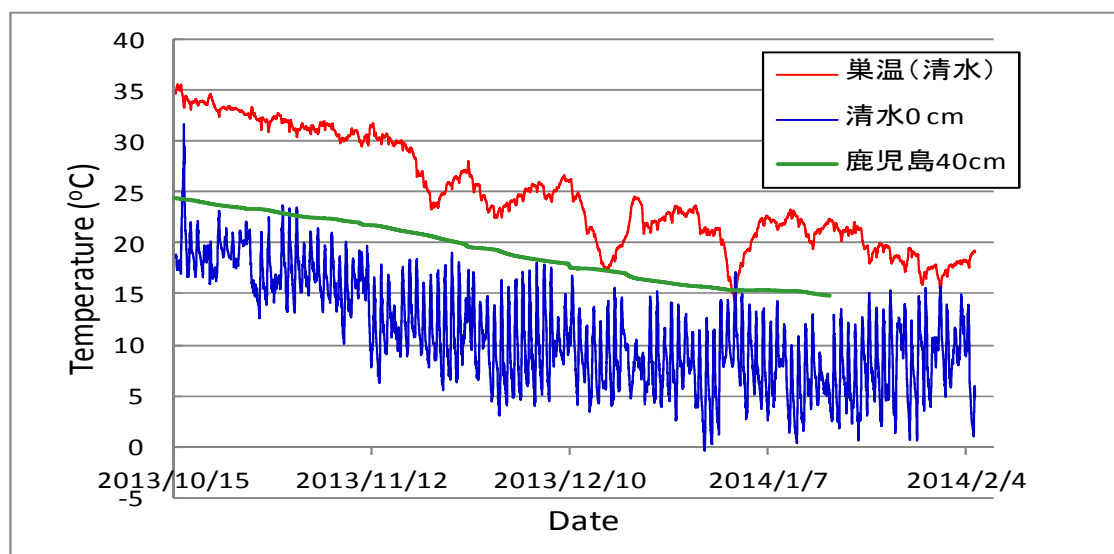


図5 イエシロアリ巣温ならびに営巣部地表温度変化

2.1.3.2 ガス計測結果

2.1.3.2.1. つくば、福井、鹿児島における結果

大気中の CO_2 濃度は 350 ppm, CH_4 濃度は 2 ppm、 O_2 濃度は 200,000 ppm (20%)程度である。今回の土壌深度別ガス濃度については、 CO_2 は土壌深度が大きくなるにつれて濃度が高くなり、 CH_4 は逆に濃度が低くなる傾向を示す。今回の結果では土壌深度によるこれらの傾向が不明瞭であったことから、ガス採集時に外気のコンタミは生じていることが推察された。このため現時点までの測定結果ではバラツキが大きく、一定の傾向を見出すには不十分と判断された。今後、改良したガス採集法を用いて2月の採集を実施するとともに、次年度以降も3カ月に1度のめやすで定点計測を実施していき、シロアリの生息との関係を解明したいと考えている。なお N_2O については、 CH_4 や CO_2 よりさらに温室効果が高い土壌性ガスとして知られることから参考のため計測したが、今回の計測では地域、土壌深度、季節といった因子における明瞭な違いは認められなかった。

表1 つくばにおける深度別各種ガス濃度

つくば		CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)	N ₂ O (ppm)	O ₂ (%)
10月	10cm	2.02	485	0.36	19.5
	40cm	2.02	737	0.37	20.6
	70cm	2.02	649	0.36	21.0
	100cm	2.04	540	0.36	22.5
11月	10cm	1.97	451	0.35	20.3
	40cm	1.95	926	0.38	20.6
	70cm	1.97	461	0.35	20.5
	100cm	1.95	630	0.36	20.8
12月	10cm	1.98	426	0.36	19.7
	40cm	1.99	427	0.36	21.7
	70cm	1.99	414	0.36	20.4
	100cm	1.97	420	0.36	19.4
1月	10cm	2.17	509	0.37	20.3
	40cm	2.12	615	0.37	20.3
	70cm	2.15	508	0.37	19.4
	100cm	2.10	542	0.37	20.9
2月6日	10cm	2.15	561	0.36	18.3
	40cm	0.44	7028	0.63	18.7
	70cm	6.33	4151	0.54	18.5
	100cm	1.10	1331	0.39	—
2月7日	10cm	1.72	645	0.36	18.2
	40cm	0.41	6790	0.65	18.1
	70cm	0.94	4057	0.40	20.3
	100cm	0.57	1789	0.45	17.6

表2 福井における深度別各種ガス濃度

福井		CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)	N ₂ O (ppm)	O ₂ (%)
10月	10cm	1.97	462	0.35	20.1
	40cm	1.97	394	0.35	20.3
	70cm	1.94	1198	0.36	20.3
	100cm	1.94	1284	0.35	19.2
11月	10cm	1.93	440	0.35	20.5
	40cm	1.94	413	0.35	20.5
	70cm	1.93	701	0.35	19.9
	100cm	1.92	856	0.36	21.4
12月	10cm	1.95	421	0.35	20.3
	40cm	1.96	418	0.36	20.1
	70cm	1.93	410	0.35	21.1
	100cm	1.93	746	0.35	21.2
1月	10cm	1.99	471	0.36	20.7
	40cm	2.01	426	0.35	21.5
	70cm	1.96	427	0.36	19.6
	100cm	1.95	431	0.36	20.5

(注) 2月6日、2月7日分は改良法にて採集

表3 鹿児島における深度別各種ガス濃度 (左: イエシロアリ巣近傍 右: イエシロアリ巣より約30mの位置)

鹿児島穴1		CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)	N ₂ O (ppm)	O ₂ (%)
10月	10cm	1.96	461	0.34	21.2
	40cm	2.00	775	0.34	20.1
	70cm	1.98	596	0.34	19.9
	100cm	1.96	426	0.34	21.2
11月	10cm	2.01	403	0.35	21.0
	40cm	2.82	488	0.35	20.5
	70cm	2.04	467	0.34	20.2
	100cm	2.03	419	0.34	21.0
12月	10cm	2.12	442	0.35	20.8
	40cm	2.07	462	0.36	19.6
	70cm	2.05	460	0.35	20.7
	100cm	2.08	476	0.35	20.8
1月	10cm	2.01	568	0.36	20.1
	40cm	1.98	463	0.36	18.2
	70cm	2.08	815	0.36	19.1
	100cm	1.98	487	0.36	20.3

鹿児島穴2		CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)	N ₂ O (ppm)	O ₂ (%)
10月	10cm	2.07	534	0.36	21.2
	40cm	1.96	636	0.35	21.2
	70cm	1.98	491	0.35	21.0
	100cm	1.98	510	0.35	20.2
11月	10cm	1.98	420	0.36	23.4
	40cm	1.98	442	0.35	20.5
	70cm	1.98	414	0.36	20.5
	100cm	1.97	481	0.35	20.7
12月	10cm	2.01	452	0.35	17.0
	40cm	1.98	495	0.36	20.2
	*70cm	0.00	3	0.36	22.5
	*70cm	2.81	459	—	—
1月	100cm	2.02	463	0.36	20.6
	10cm	1.97	451	0.36	19.1
	40cm	1.94	527	0.36	19.1
	70cm	1.94	491	0.36	19.1
	100cm	1.95	580	0.35	19.0

2.1.3.2.2. イエシロアリ営巣部分のガス濃度

営巣箇所から（深度 50 cm 程度）2 月 5 日に採集したガスの分析を行ったところ、営巣箇所南側（測定箇所 a）では CO₂ は 20,000 ppm、CH₄ は 4 ppm、O₂ は 16.4 %、北側（測定箇所 b）では CO₂ は 700 ppm、CH₄ は 3 ppm、O₂ は 20.4 %（＝大気中濃度とほぼ同じ）検出された。測定箇所 a ではガス採集用のステンレスパイプを挿入したときの触感から、イエシロアリ巣にみられるフレーク状の構造物を破壊する感触があったが、測定箇所 b では（：巣温を測定している箇所）その感触が乏しかった。切株下に存在する営巣状況が不明なため、巣のどの部分からガスが採集できているか、巣温と同様、不確かである。営巣個体への影響を考慮すると、ボアスコープもしくは内視鏡を使った内部観察や、レジストグラフを使った構造物の密度差測定を併用すること等により、測定箇所の状況を確認する必要がある。

表 4 イエシロアリ営巣箇所のガス濃度

清水	CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)	N ₂ O (ppm)	O ₂ (%)
a	4.17	21481	0.37	16.4
b	3.07	702	0.36	20.4

2.1.4. まとめ

地中温度と土壌性ガスのシロアリ生息との関係については、イエシロアリ営巣部分では明瞭な傾向を得ることができた。他の観測地点においては今後も計測を継続することにより、3 者の関係を解明していく必要がある。また、両シロアリ種が各々の営巣状態で、生存可能な温度と期間に関する検討も進めるべきと考える。

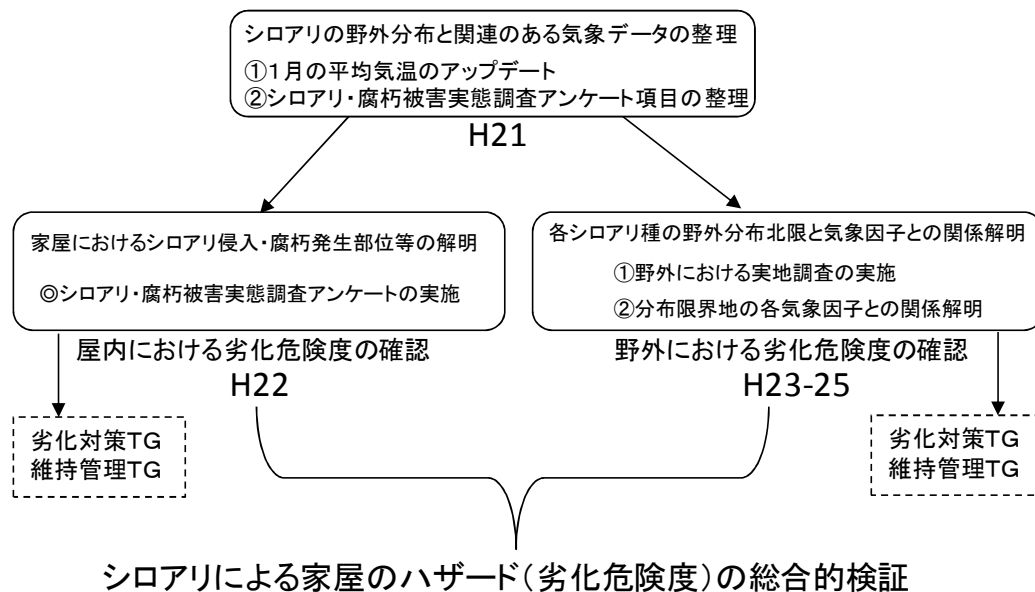
以上のことからハザードマップに資するヤマトシロアリの野外分布限界として積雪がある状態での土壌凍結深が 10 cm 以下であることを提案する。

表 5 北海道内のヤマトシロアリの生息と各種文献における凍結深との関係

都市名	凍結深 実測値(cm) (1964) ¹⁾		積雪を考慮した シミュレーション 凍結深(cm) (1999) ²⁾	基礎の 凍結深(cm) (建築用) ³⁾	ヤマトシロアリ の生息
	積雪 あり	積雪 なし			
札幌	0	40		60	○
旭川	0	50	37	80	○
留萌	0	40	41	60	○
名寄	0	60	37	80	○
函館	0	20	42	50	○
稚内	0	30	46	80	
室蘭	10	30	40	60	○
江別	0	40		60	○
江差	0	10	40	60	○
小樽	0	30		50	○
苫小牧	20-30	50	74	70	
日高門別	20-30	60	63	80	
浦河	20	50	68	55	
帯広	40	70	109	100	

注 1) 石川正幸, 鈴木秀雄(1964). 2) 「積雪による断熱効果を考慮した管水路埋設深軽減工法」報告書(1999). 3) 北海道建設部建設指導課凍結深度 <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kn/ksd/kijun/touketsushindo.htm>

2.1.5. 劣化外力 TG（シロアリ）における結論



元来熱帯～亜熱帯原産のシロアリは長い年月をかけて低温に適応し分布域を拡げてきた。野外生息分布は現時点では図6のとおりであるが、暖房や断熱工法の普及により、人為的な移動がなされれば(3)に提案する将来的な野外分布の危険地域ならびに家屋への被害危険地域における被害発生が懸念され、各シロアリ種に対する防蟻対策が必要となると考えられる。

(1) 北海道、青森県における防蟻処理の必要性

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たことから、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する。

(2) 各シロアリ種の最新の分布マップ

野外に於けるシロアリ分布の実態調査と公表資料より判断されたシロアリの家屋被害の現状から、ヤマトシロアリ、イエシロアリの最新の野外生息分布マップは図6に示すとおりである。

(3) 各シロアリ種のハザードマップ(被害危険度マップ)の提案

イエシロアリのハザードマップとしては、過去のイエシロアリ発生情報を加味して福島(1972)⁵⁾の提唱した1月の平均気温0℃以上の地域、ヤマトシロアリのハザードマップとしては、ヤマトシロアリが越冬可能な環境を加味して、積雪がある状態での土壌凍結深が10cm以下の地域、であることを提案する。

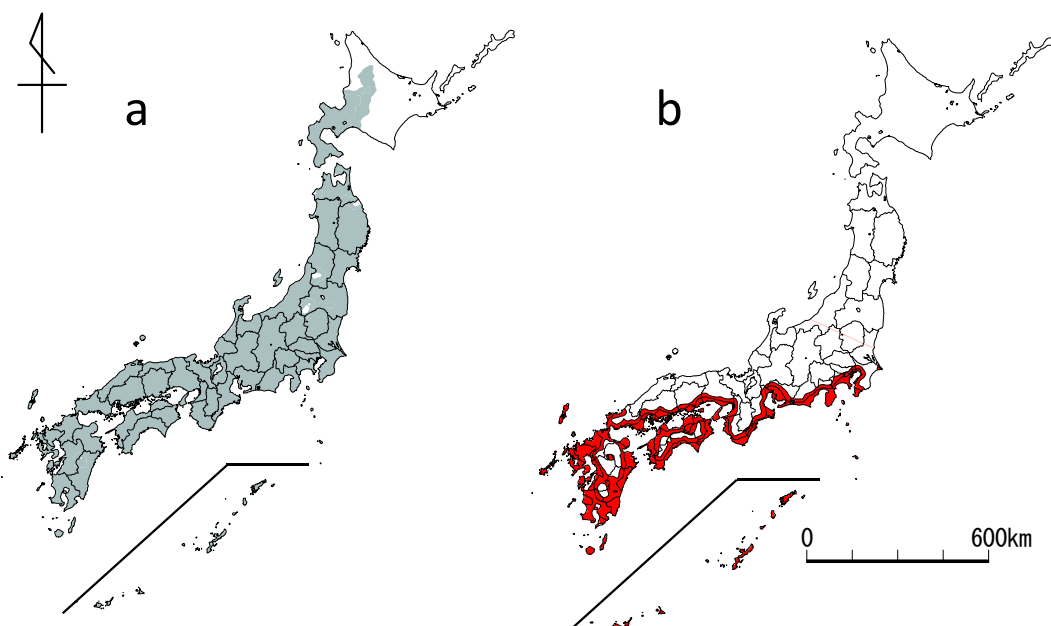


図6 日本産シロアリ分布 (2013年) a: ヤマトシロアリ b: イエシロアリ

2.1.6. 今後の課題

- 1) 地中温度、土壌性ガス、土壌凍結とシロアリ生息との関係解明
- 2) 積雪深度、凍結指数、凍結深度とシロアリ生息との関係解明
- 3) 高度に伴う温度、土質等の各種シロアリ分布に対する影響の解明

【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エ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) 石川正幸，鈴木秀雄：農林省林業試験場北海道支部年報，238-248（1964）.
- 2) 「積雪による断熱効果を考慮した管水路埋設深軽減工法」報告書(1999).
- 3) 北海道建設部建設指導課凍結深度 <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kn/ksd/kijun/touketsushindo.htm>
- 4) JIS K 1571:2010：木材保存剤一性能基準及びその試験方法，(財) 日本規格協会（2010）.
- 5) 福島正人(1972)しろありと住居, pp.150, 理工図書.

2.2 腐朽危険度に関する検証

2.2.1 はじめに

我々は本事業を開始した時点で 1928 年から 2003 年までに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 31 種の菌が記載されていた。しかし、これらの菌種数は、木材腐朽菌に分類される菌種数からすると著しく少ない。その理由として、全国の木造住宅の生物劣化、特に腐朽についてはこれまで体系的に調査された例がほとんど無いことが考えられ、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状観察からおこない、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、得られた菌の形態学および生理学的観点から評価し特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、この手法には多くの時間が費やされることや実験者の知識や経験によって結果が異なるといった問題点が挙げられている。

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ことや再現性や客観性に優れていること、マイノリティーな菌類も検出が可能であるということなどの利点を有する。さらに、腐朽材より直接 DNA を抽出して分析することから培養を経る必要がないため、培養が困難で形態学的方法では同定ができなかった菌でも同定可能である。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可能となった。

そこで本研究では、遺伝子解析を用いた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を明らかにすることを目的に研究をおこなってきた。

2.2.2 平成 24 年度までの成果

腐朽した住宅部材から DNA を抽出しその塩基配列を調べることで、腐朽した住宅部材に生息する菌類を同定できることを示した。また、少量の木粉から多数の菌の遺伝子が検出されることから、木材腐朽は単一の菌によって進行するとは限らず、多数の菌が平行して木材を腐朽していることが強く示唆された。

一方、目視により腐朽していることが明らかであるにも関わらず、木材腐朽性の担子菌遺伝子が検出されないことがしばしば見受けられた。このことは、腐朽材であれば必ず腐朽菌が同定できるという訳ではなく、微生物群集構造に変遷が起こった場合などには菌種同定が難しくなることを意味する。

2.2.3 本年度の目的

本年度は、前年度までに日本各地の建築部材より採取した腐朽材に含まれる DNA を解析し、腐朽材に含まれる菌種に関する質的情報および量的情報を得る。さらに得られた情報について、検出頻度パターンに対するクラスタリング解析を実施し、全国の木造建築物における腐朽の原因菌の傾向を把握することを試みる。一方、腐朽材からヘミセルロースとリグニンを除去し、残されたセルロースの形態観察をおこない、腐朽材の腐朽形態を推定する。

2.2.4 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
鮫島正浩	東京大学大学院農学生命科学研究科
和田朋子	東京文化財研究所 保存修復科学センター
土居修一	元筑波大学

2.2.5 実験方法

(1) 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	×

(2) 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。

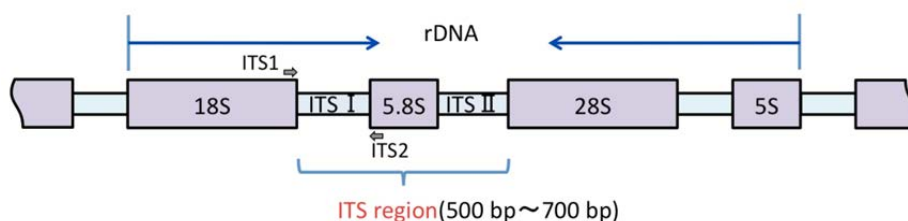


図 2.2-1 ITS 領域を含む rDNA の構造の概略図。太い部分はコード領域，細い部分は非コード領域を示す。灰色の小さな→はプライマー ITS1 および ITS2 を示す。

(3) 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'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGACTCTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_10-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGATCATCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_11-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGCACGTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_12-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGCTGATCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_13-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGTAGCTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_15-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGAGTGAGTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_16-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGATACAGTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_17-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGATAGTCTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_18-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGATCATGTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_19-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGATCGACTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_21-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGATGATATCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_24-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCACTCGTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_25-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCAGACATCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_26-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCAGCTGTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_27-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCAGTGCTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_28-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCATAGATCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX6_30-ITS1	5'-CGTATCGCCTCCCTCGCGCCATCAGCATGTCTCCgTAggTgAACCTgCgg
GSFLX-ITS2	5'-CTATGCGCCTTGCCAGCCCGCTCAGGCTGCGTTCTTCATCGATGC

(4) シークエンス

精製した DNA 断片を UV 分光光度計にて DNA 量を定量した。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。

(5) 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。

(6) 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。リグニン除去した試料を偏光板を装着した光学顕微鏡で観察し、腐朽型の判定を試みた。

2.2.6 結果

(1) 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。

(2) シークエンスデータの評価

次世代シークエンスにより、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。

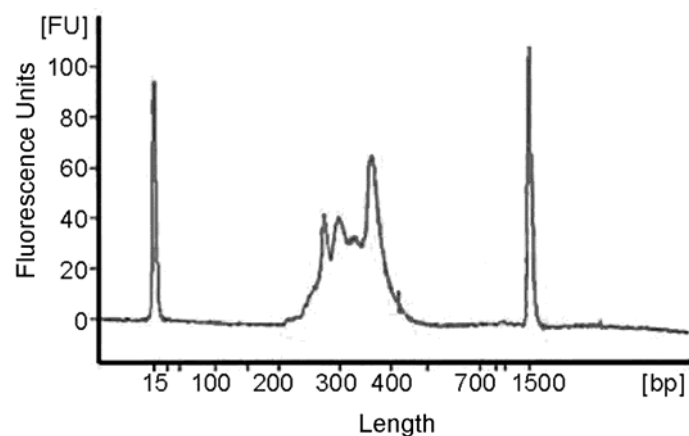


図 2.2-2 ライブラリーの Agilent 2100 Bioanalyzer による分析

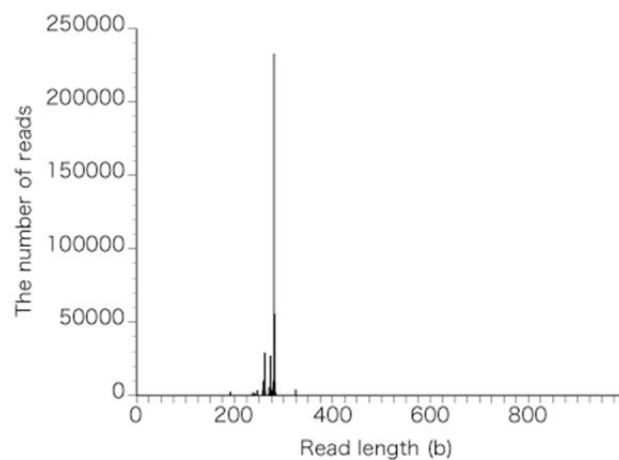


図 2.2-3 リード鎖長のヒストグラム

(3) 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)。

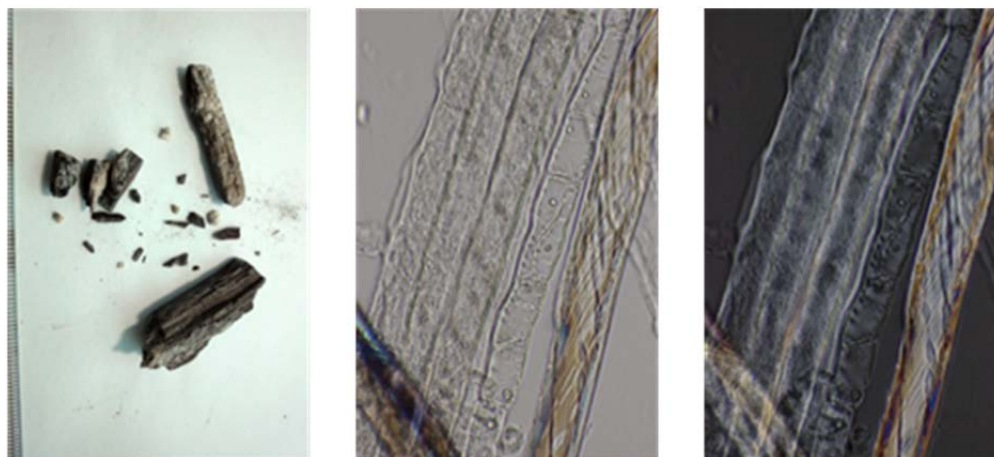


図 2.2-4 試料 A の観察. 左：腐朽材の外観，中央：明視野，右：偏光観察

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	－

(4) シーケンスデータの解析

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。

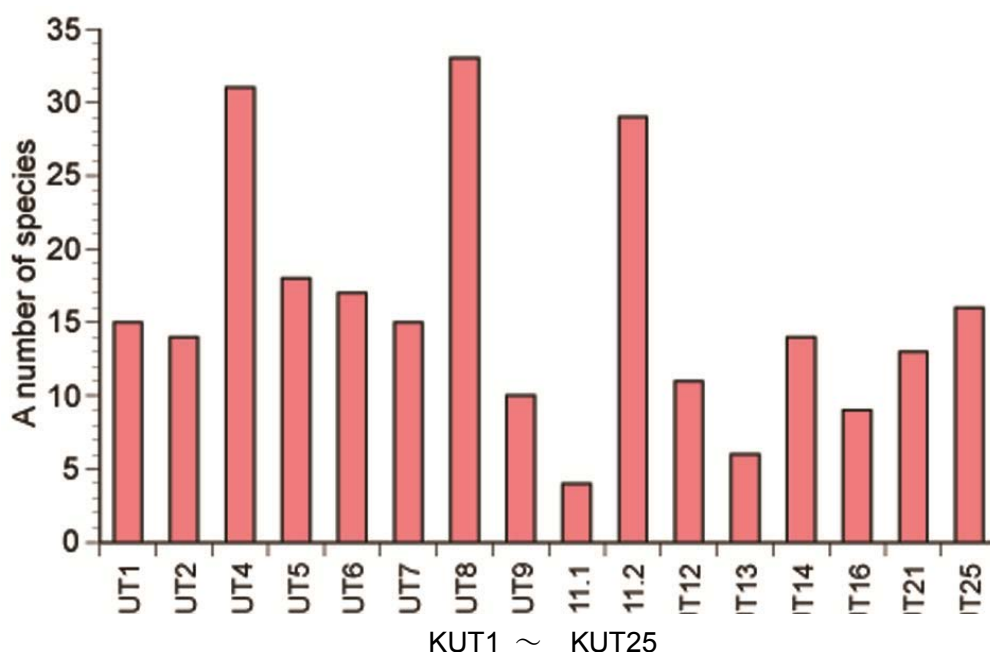


図 2.2-5 各サンプルにおける菌種数. Identity > 95%, Length > 100bp とした。

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。

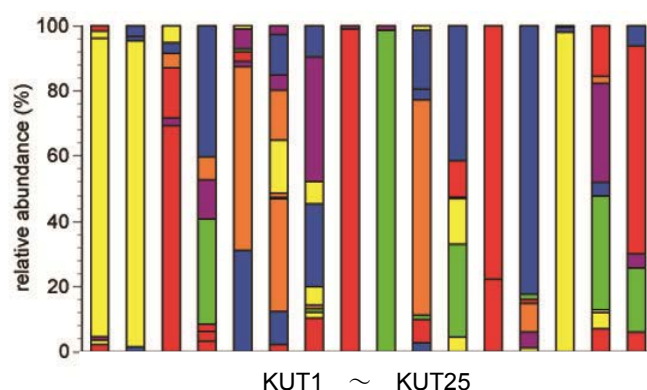


図 2.2-6 各サンプルにおける菌叢構造。占拠率 1%以下のものはそれぞれのサンプルの Others としてまとめた。●は糸状性担子菌を表す。

いずれにしても、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。昨年度の我々の報告において、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。

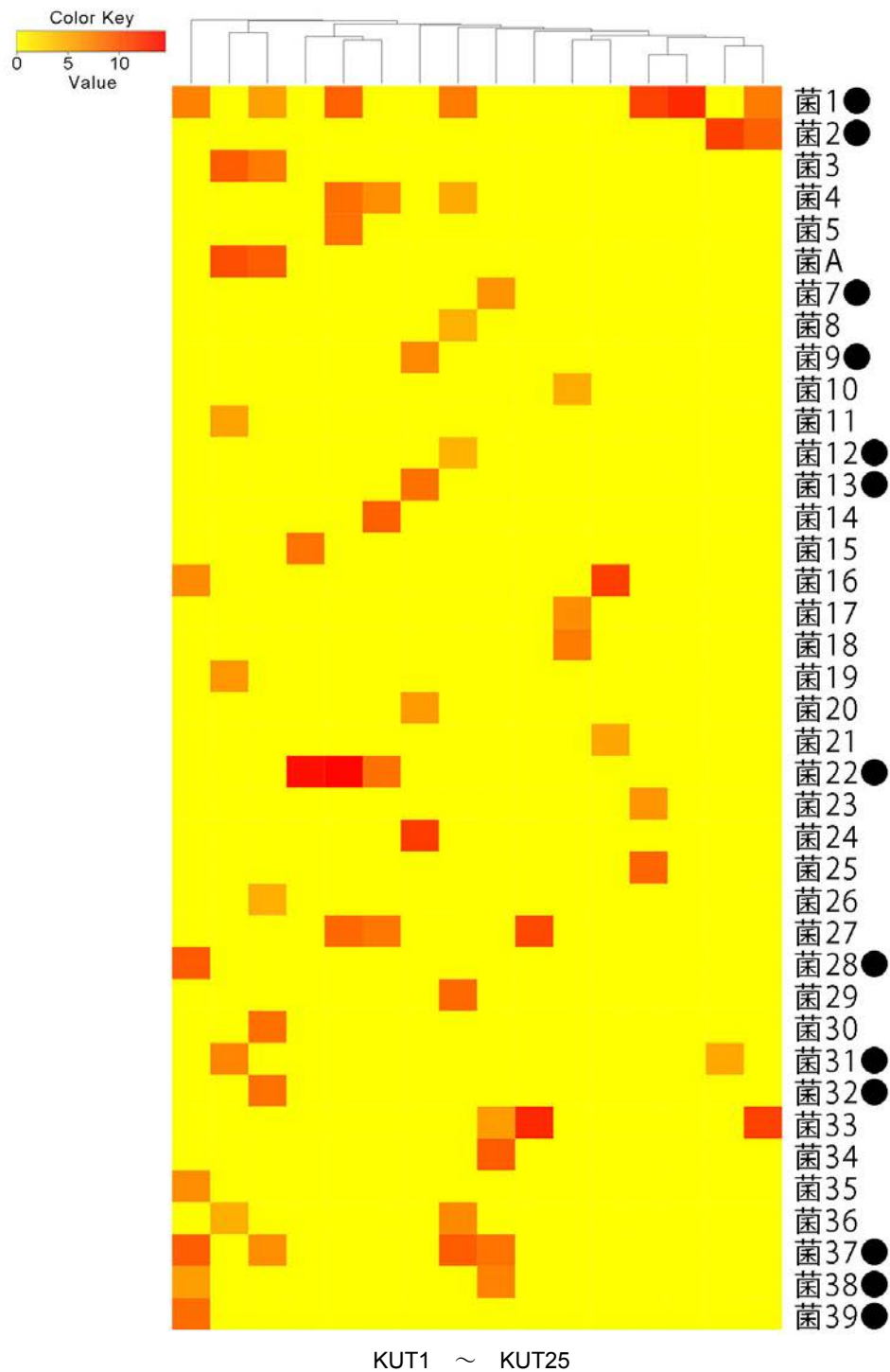


図 2.2-7 本研究で見いだされた真菌類の検出頻度に基づくヒートマップ。占拠率1%以上のものを対象とした。DNA断片のカウント数値データをlog2で対数変換し、0が黄色、15が赤となるように表現した。クラスタリングにはユークリッド距離を用い、クラスター間の距離を群平均法により求めた。●は糸状性担子菌を表す。

2.2.7 まとめと残された課題

近年急速に発展した遺伝子の塩基配列を用いた菌類の同定手法並びに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到達できなかった地点まで、解析できることを明らかにした。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

これまでの研究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強く示唆しているが、まだサンプル数が少ないことや、東北・北海道のサンプルが入手できていないことなどから、完全な結論とするには時期尚早だと考えている。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。

また、腐朽が始まってから時間を経た腐朽材では、激しく腐朽しているにも関わらず菌類の遺伝子が検出できない（同定できない）という、限界も残されたままである。

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がどの程度講じられているかを、通気・換気をはじめとする構法上の工夫や、高耐久の木材の使用・保存処理の種類などの点から評価し、外壁の軸組等を例にとれば、「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。

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を予測することを目的に、木粉に添加された状態で高温条件下に暴露する促進劣化試験を実施してきた。本年度、この促進劣化試験を継続しておこない、促進劣化試験の効果を確認する。

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 これまでの成果

平成 22 年度から平成 24 年度にかけて、本 TG では表面処理用木材保存剤 10 種および注入用木材保存剤 5 種の耐久性を評価し、これまでに以下の結論を得た。

(1) 有効成分の種類とその残存性能

今回暴露試験を実施した木材保存剤の有効成分は、(a)酸化銅（銅イオン）、(b)第四級アンモニウム化合物、(c)第四級アンモニウム化合物以外の低分子有機化合物に大きく分類することができる。

この中の銅イオン(a)は、揮発せず熱による分解もないため、液体状の水の出入りが無い限り木材から失われないと予想された。第四級アンモニウム化合物(b)は、分子がプラスの電荷を持つことから揮発性が非常に低く揮散しないが、有機化合物であることから長期間環境中に暴露している間に、分解・変質するおそれがあると予想された。一方(c)の有効成分は分子がプラスやマイナスに荷電していないため、前 2 者と比べ揮発性が高く、また有機化合物であることから長期間の暴露中に分解するおそれもあると予想された。

昨年度までの試験に供試した 5 種の木材保存剤の有効成分の中から上記(a)～(c)に相当するものとして、CuO (a)、DDAC (b)、シプロコナゾール(c)を取り出し、その減少挙動を確認したところ、CuO については試験前に予想されたように、暴露温度・暴露期間に関わらず、残存量が大きく低下することはなかった（図 3.1～3.3）。一方、揮散しにくいと考えられた DDAC を注入した試験体では、80℃に暴露した試験体中の DDAC 量が減少していくのが認められたが、室温や 50℃に暴露した試験体中の DDAC 量についてはほとんど変化していなかった（図 3.4～3.6）。揮散する虞や分解する虞があると考えられたシプロコナゾールについても、DDAC と同様 80℃に暴露した試験体からシプロコナゾールが失われていくのが認められたが、50℃や室温に暴露した試験体ではシプロコナゾールが失われなかった（図 3.7～3.9）。

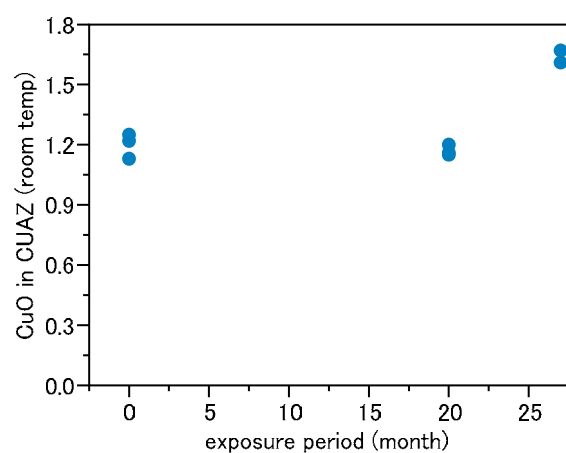


図 3.3-1 室温に暴露した CUAZ 中の CuO 量の経時変化

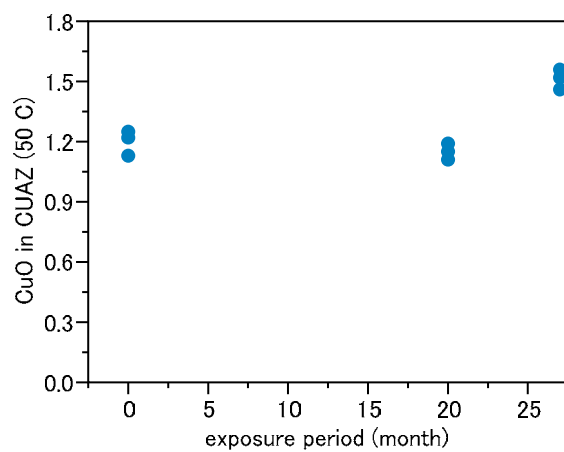


図 3.3-2 50°Cに暴露した CUAZ 中の CuO 量の経時変化

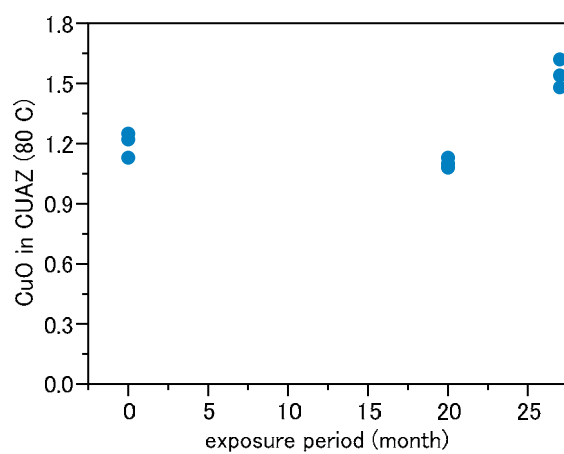


図 3.3-3 80°Cに暴露した CUAZ 中の CuO 量の経時変化

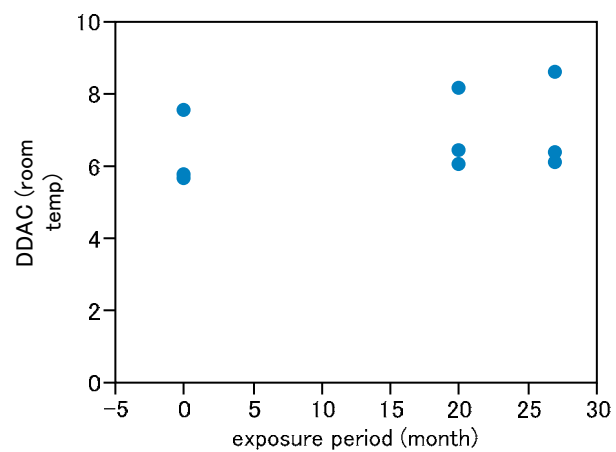


図 3.3-4 室温に暴露した AAC 中の DDAC 量の経時変化

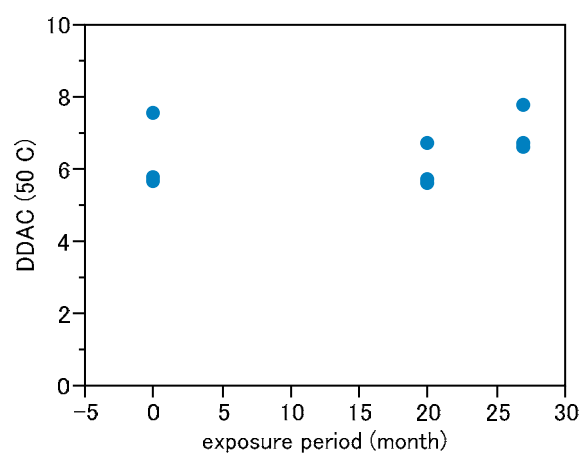


図 3.3-5 50℃に暴露した AAC 中の DDAC 量の経時変化

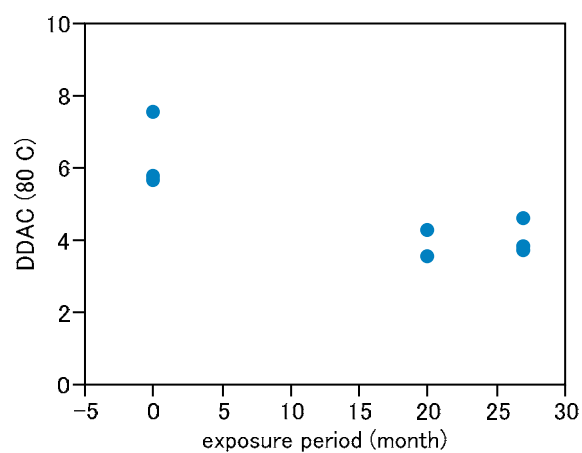


図 3.3-6 80℃に暴露した AAC 中の DDAC 量の経時変化

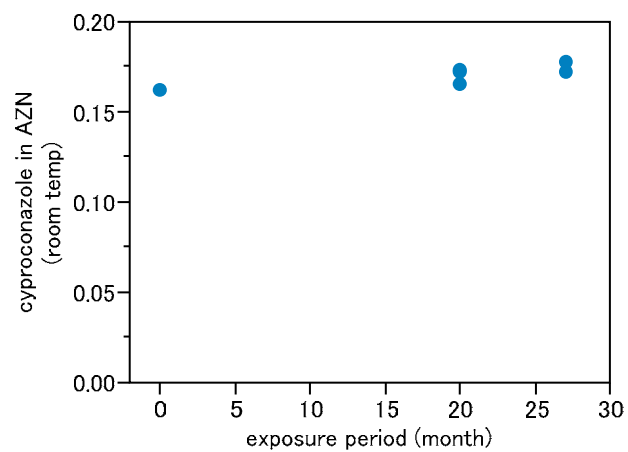


図 3.3-7 室温に暴露した AZN 処理木材中のシプロコナゾール量の経時変化

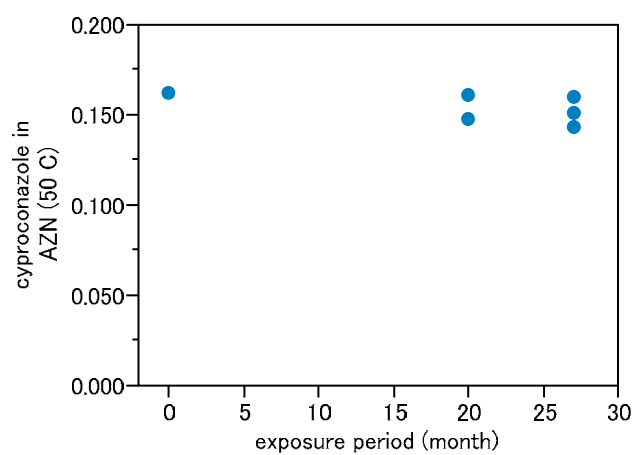


図 3.3-8 50°Cに暴露した AZN 処理木材中のシプロコナゾール量の経時変化

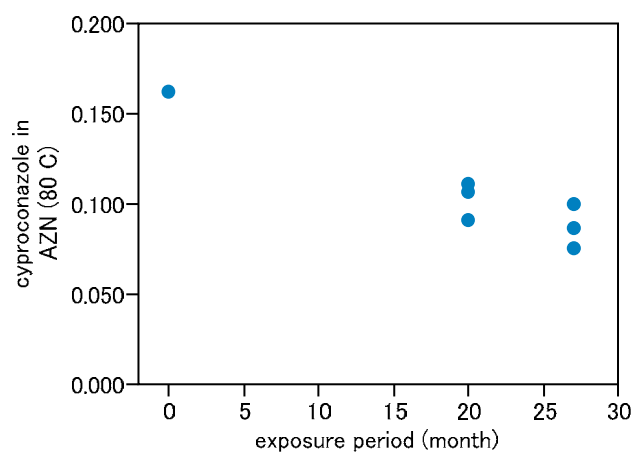


図 3.3-9 80°Cに暴露した AZN 処理木材中のシプロコナゾール量の経時変化

(2) 暴露方法間の比較

これまでの試験では、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 $1 \times 1 \times 2\text{cm}$ 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°C 、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% 以上の残存率を示した。

この結果は、表面積の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ことを示唆した。

(3) 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残存率が必ず低下していくように、高い精度で実験・測定をおこない、その結果に基づいて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。

3.4 本年度の目的

前年度までに検討してきた 2 種類の木材保存剤すなわち表面処理用木材保存剤および注入処理用木材保存剤の内、注入処理用木材保存剤で処理された試験体に含まれる有効成分量の経時変化は、表面処理用木材保存剤の有効成分量の経時変化と較べバラツキが大きく、有効成分残存量と暴露温度との関係を厳密に議論することができなかった。

有効成分残存量がなめらかにならなかった最も大きな理由は、これまでの研究では減圧下で木材保存剤を注入する方法をとったため初期の有効成分量にバラツキがあったからだと考えられた。

そこで本年度は、減圧下で木材保存剤を注入する方法を改良し、初期の有効成分量の変動係数を 1% 以下に抑える方法で調製した試験体を異なる温度環境下に暴露し、暴露後の有効成分残存量を経時的に追跡することで、注入量木材保存剤の有効成分残存量と暴露温度との関係を明らかにする。

3.5 実験

3.5.1 注入処理試験体の調製

処理する試験体はこれまでと同様 $1 \times 1 \times 2\text{cm}$ のスギ辺材試験体とした。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。

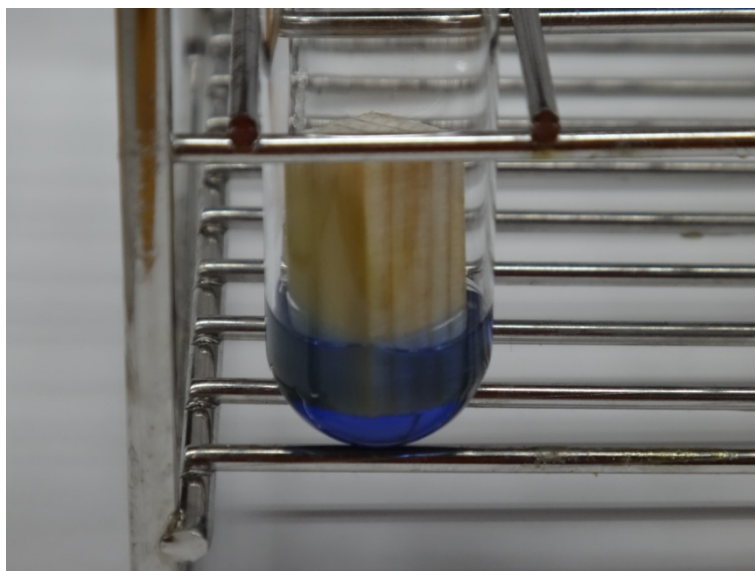


図 3.5-1 今回新たに開発した薬剤注入方法

3.5.2 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に、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 3.5-2 恒温恒湿器の設定（暴露温度 80℃）

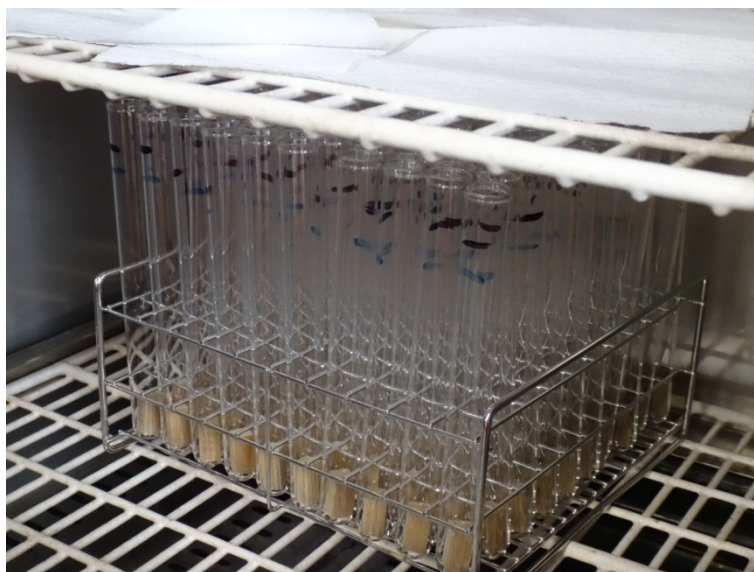


図 3.5-3 恒温恒湿器内で暴露している様子

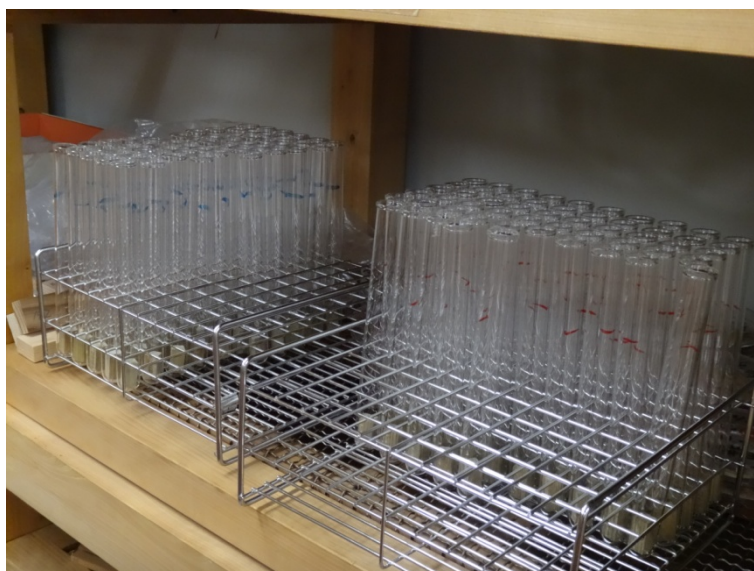


図 3.5-4 恒温恒湿室内で暴露している様子

3.5.3 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 3.5-4 ミクロトーム用の替刃で試験体を切断



図 3.5-5 シプロコナゾール抽出用試験片

3.5.4 シプロコナゾールの抽出

予備実験により、メタノール単独よりもメタノールにアンモニア水を添加した方が抽出効率が高くなることを確認したことから、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 程度の薄片を調製し、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。

3.5.5 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- μ m 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：1 μ l

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）

3.6 結果と考察

3.6.1 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薬剤にもよるが、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。

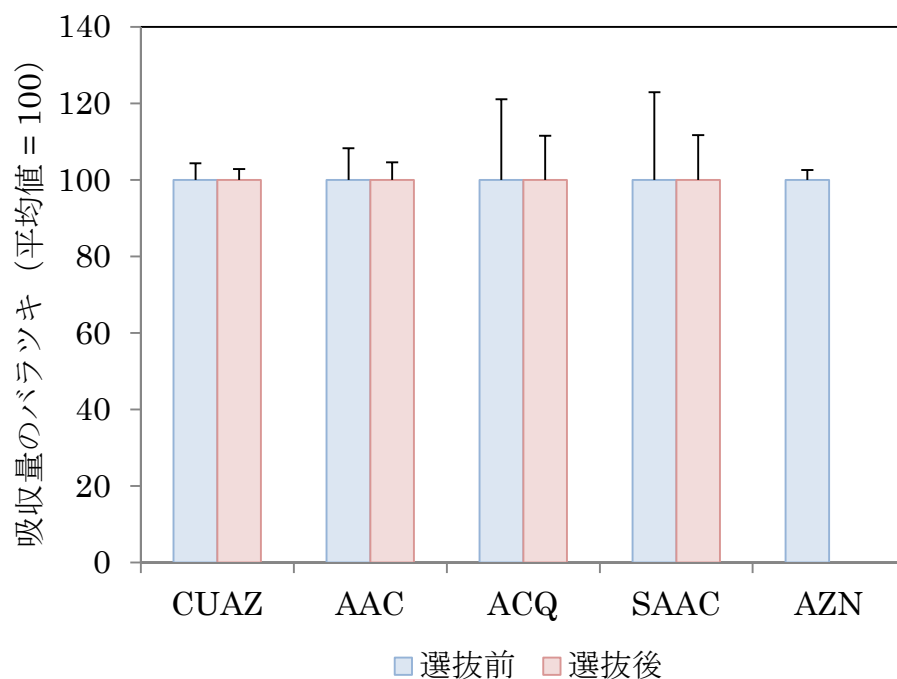


図 3.6-1 減圧注入時の初期吸収量のバラツキ（注入量からの計算値）
誤差棒は変動係数を示す

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。

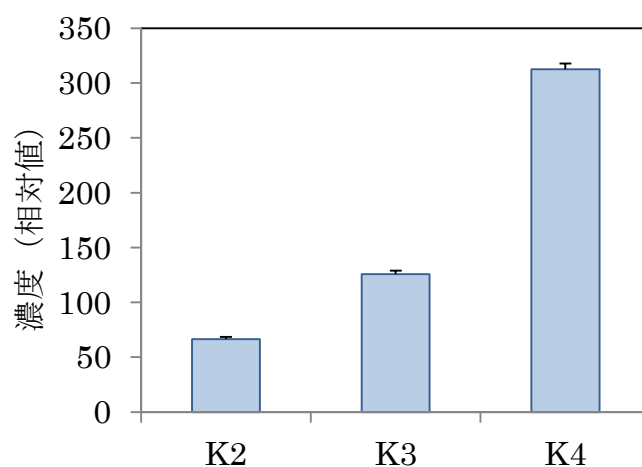


図 3.6-2 今回調製した試験体に含まれたシプロコナゾール量の平均値と標準偏差（実測値）

3.6.2 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。

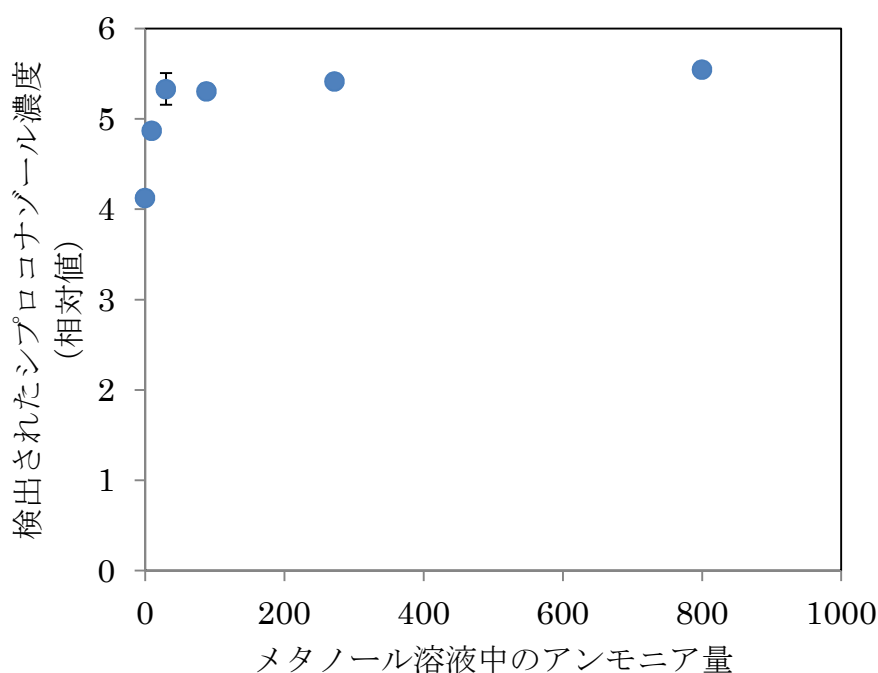


図 3.6-3 シプロコナゾール回収率に及ぼすアンモニア添加効果

3.6.3 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 3.6-4）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 3.6-5）。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 3.6-6）。

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。

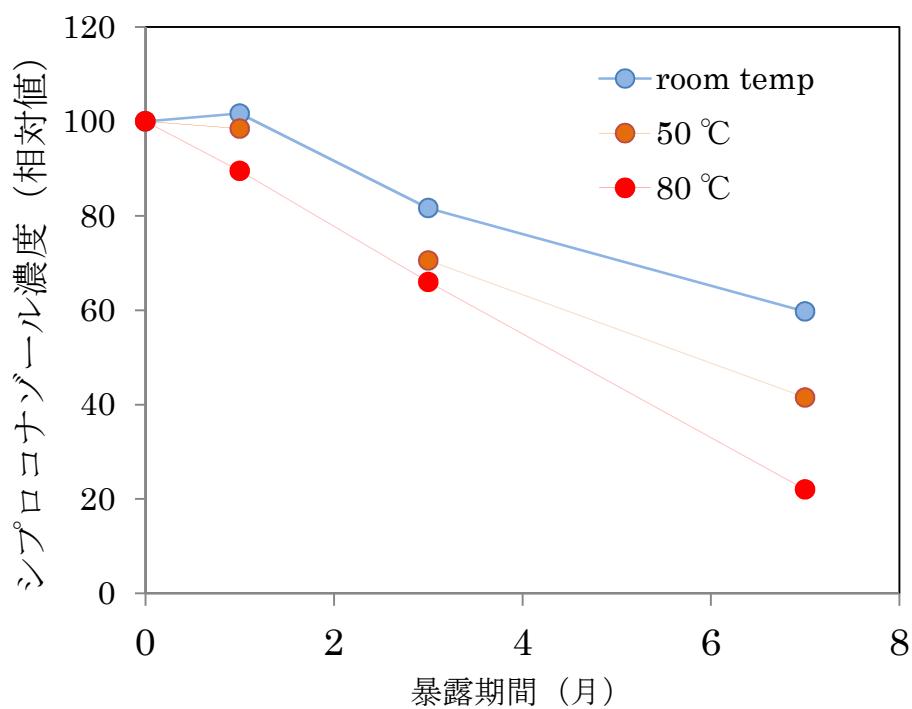


図 3.6-4 シプロコナゾール標品を添加した木粉を促進劣化試験に供した際の残存シプロコナゾール量

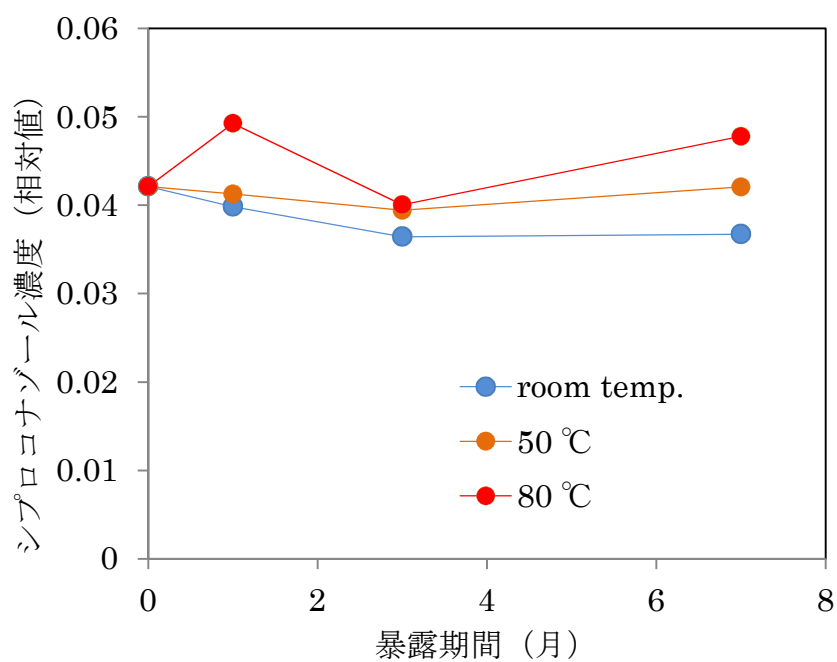


図 3.6-5 シプロコナゾールを含む薬剤を既存の方法で注入した処理した試験体を促進劣化試験に供した際の残存シプロコナゾール量

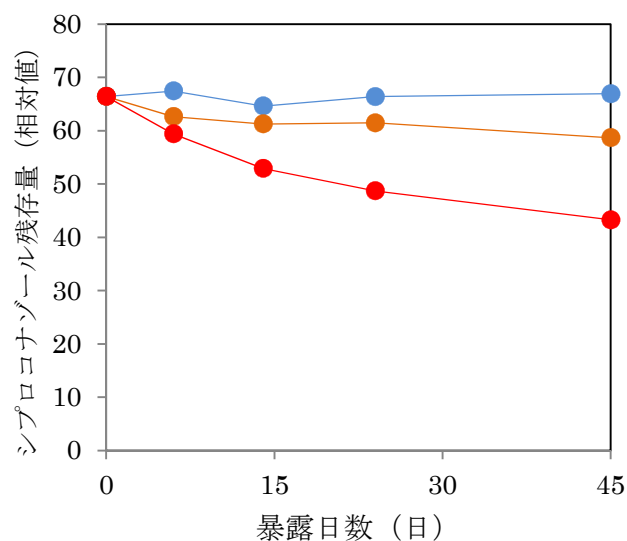


図 3.6-5 シプロコナゾールを含む薬剤を既存の方法で注入した処理した試験体を促進劣化試験に供した際の残存シプロコナゾール量

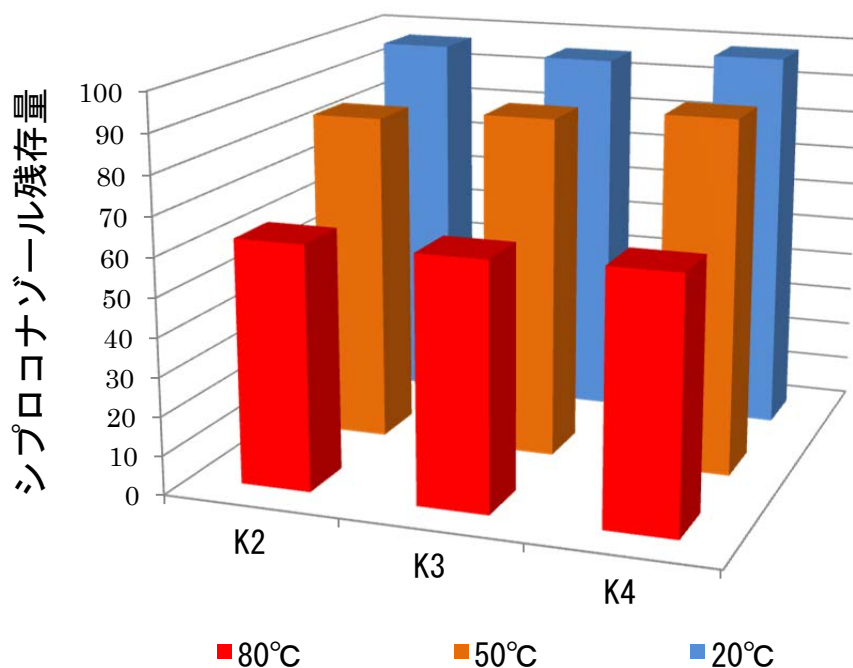


図 3.6-6 保存処理の性能区分とシプロコナゾール残存量との関係

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。

3.7 残された課題

CUAZ を注入した試験体を用いて現在までに得られたデータは、促進劣化 45 日目までのものであり、今後も促進劣化試験を継続して実施する必要がある。

今回の実験方法では、試験体全部を有効成分残存量の定量に使用するため、試料調製に非常に手間がかかる。CUAZ 以外の加圧注入用木材保存剤の中には促進劣化試験を追試する必要がある木材保存剤があるが、それらについて追試をおこなうためには今回の試料調製法に従って吸収量が揃った試料を調製すると共に、場合によってはこれまでの研究で採用してきた日本農林規格に則った分析方法よりさらに精度の高い定量法を開発し試験を実施する必要がある。

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（新工法）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 21-22 年度の成果について

住宅建設会社、駆除会社、住宅保証団体・住宅検査会社等が所有する実態調査報告を基に、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）法に関する事故例や改修例等をヒアリング等において収集・整理した。

調査対象項目は、(1)基本事項、(2)事故・劣化事象・改修等の概要、(3)住い方の概要、(4)劣化対象部位・事象等についてそれぞれ調査票を作成し、ヒアリングまでに対象各社宛に調査票の記入等をお願いした。また、ヒアリング調査において有効と思われる資料等に関しては、適宜、ヒアリング時に提出して頂くとともに、必要に応じてヒアリング時に詳細な資料等の依頼も行った。

調査対象とした事業所等については、平成 21 年度に住宅メーカー等 5 社を対象としたが、平成 22 年度は住宅保証・検査会社等が 3 社、外装材メーカー、在来大手ハウスメーカー、シロアリ駆除会社、住宅検査会社、建築団体、2x4 大手ハウスメーカーなどそれぞれ 1 社毎の合計 9 社に対して実施した。

4.2.2 平成 23 年度の成果について

平成 23 年度までに、住宅メーカー等 5 社と住宅保証・検査会社等 3 社、外装材メーカー、在来大手ハウスメーカー、シロアリ駆除会社、住宅検査会社、建築団体、2x4 大手ハウスメーカーなどそれぞれ 1 社毎の合計 13 社に対して、ヒアリング調査を実施するとともに、ヒアリングの結果を受けて住宅保証・検査会社が有する事故調査事例に関する資料等の収集・整理を実施した。

4.2.3 平成 24 年度の成果について

平成 23 年度までの調査結果に基づき、19 項目の事故例を選択し、事故事例が発生した事象等を、平成 23 年度検討した事故事例原因チェックシートの項目等を変更して、劣化部位、劣化事例、所在地、竣工年数、構造仕様、劣化原因、設計基準、制御対策などの項目に分けてまとめを行った。

4.2.4 平成 25 年度の成果について

（1）設計・施工マニュアル（案）の検討

平成 24 年度に作成した事故事例原因チェックシートを基に「耐久性確保のための設計・施工マニュアル（案）」を作成する際の基礎資料として、「新構（工）法を用いた木造建築物の生物劣化とその対策」を作成した（参考資料 1）。本資料では、新構（工）法に関連する事故例を取り上

げ、そこで発生している生物劣化とその対策等について、現状での知見等をまとめたものである。また、事故事例で多くを占める外壁等の防水に関する検討例として、外壁の防水、窓周りの防水、外壁通気構法における透湿防水シートの施工例等についてまとめた。さらに、設計・施工マニュアルを作成する際に、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である劣化原因の FTA による分析を前述した事故事例原因チェックシートを基に実施した。

「耐久性能確保のための設計・施工マニュアル（案）」の検討においては、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。そこで、新構（工）法を変更するというよりは、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含めてポイントをまとめることで事故事例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）法等を変更する必要はないものと考えられる。そこで、「耐久性能確保のための設計・施工マニュアル（案）」においては、建築防水など本 TG において検討された新たな項目を中心に、従来からのマニュアル等で扱われていない施工上の注意点等を中心に記載することとした。

なお、設計・施工マニュアル（案）を作成する際には、各 TG 等からの新たな知見等がある場合には、それらを本マニュアルに追記する必要があるが、それらの資料に関しては、現状での成果等の抜粋をまとめて示した。

（２）木造住宅の納まりの変化と雨水浸入のリスク

１）雨水浸入の背景

雨水浸入は、単に内装材を汚染させるだけではなく、住宅全体の耐久性や耐震性に影響を及ぼす重要な検討項目である。住宅保証機構の住宅性能保証制度（旧保証制度）によると、雨水浸入による保険金等支払い額が増大しており、平成 14 年の雨水浸入の割合は 21%であったが、平成 22 年では 75%に至っている。平成 22 年における保証事故を部位別でみると、支払い件数による集計では、壁の防水事故が全体の約 3/4、支払い額による集計では、全体の約 2/3 に至った。（図-1、図-2 参照）

調査研究が困難な場合の造り手は、雨漏れへの対策が充分には取られておらず、不適切な材料の使用や誤った納まりや施工方法が多いことが推測される。特に近年は、デザイン上の理由等から「軒の出」、「けらばの出」、「庇」等のほとんど無い住宅が増加し、外壁へ直接的に雨が掛かる部分が多くなり、防水のためには、従来よりも高度で複雑な納まりが必要となっている。

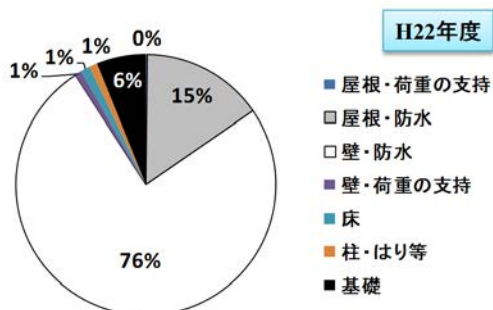


図-1 部位別保証事故 支払件数の割合

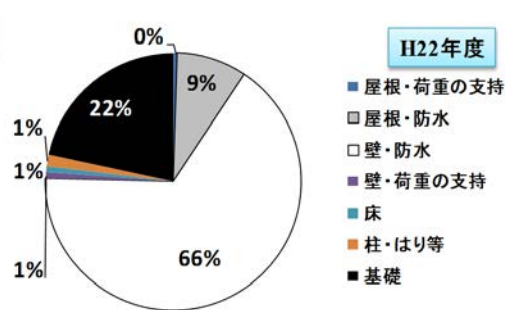


図-2 部位別保証事故 支払額の割合

２）納まりの変化による直張り下地の雨水浸入リスクの増大

旧来の在来軸組構法住宅は、図-3 のように根太を使っており、その相互間の隙間が生じると共に、

断熱材も薄かったため、床下の空気が壁体内へ導入される「簡略型の壁体内通気構法」であったため、雨漏り跡が存在しても広範囲の著しい劣化は少なかった。

しかし、現在の住宅は、図-4のように根太を省略して大引きに直接的に厚板合板を張る事例が多くなり、また壁内は断熱材が隙間無く充填され、気密性も確保されるようになった。これまで雨水が浸入しても乾燥しやすい図-3の納まりと異なり、図-4の直張り下地で雨水浸入した場合、モルタル外壁の直張り工法では、壁内が透湿抵抗の高いアスファルトフェルトと室内側の防湿フィルムで挟まれるため、雨水が滞留し、乾燥しにくい状態となる。このため、雨水浸入により短期間に著しく広範囲に劣化する事例がある。

通気構法であれば、外装材から通気層へ雨水が浸入した場合であっても、雨水は通気層内を流下し、通気層の吸気口から屋外へ排出される。さらに、透湿防水シートより室内側へ雨水が浸入した場合においても、透湿防水シートが保有する透湿性により、直張り工法と比べ壁内が乾燥しやすい状況となり得る。木造住宅の検査機関によると、雨水浸入事故のほとんどが直張り工法によるものと指摘されている。従って、高気密住宅において、直張り工法を採用する際は、特に十分な雨水浸入対策や結露対策が必要と思われる。

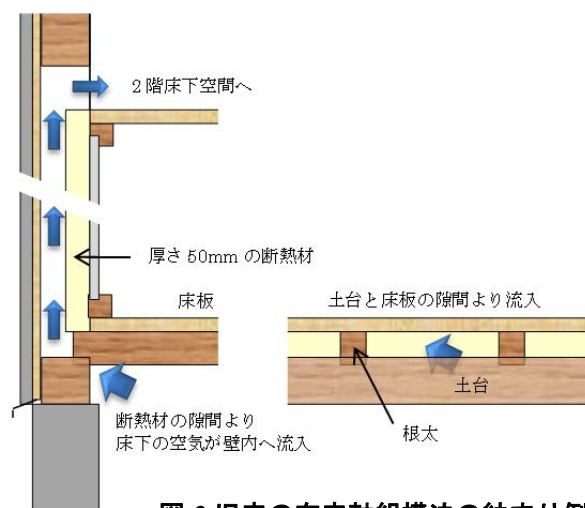


図-3 旧来の在来軸組構法の納まり例

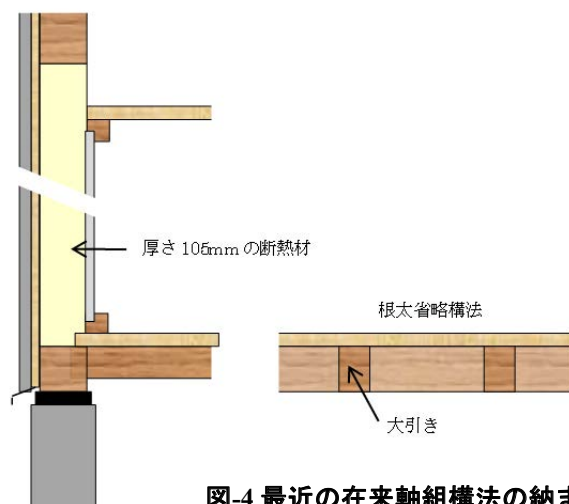
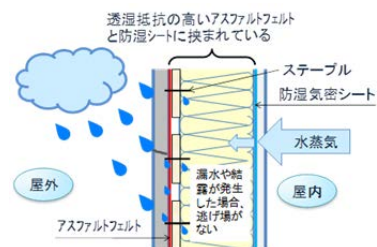


図-4 最近の在来軸組構法の納まり例



気密性の高い住宅に非通気の外装を施す場合、長期間にわたり劣化を防ぐためには、特に雨水浸入や結露などに関する設計・施工・施工管理、維持保全等についても総合的に検討する必要がある。

国総研では、関係するものとして産学官連帯の共同研究「モルタル外壁の長期性能と評価に関す

る研究」(委員長：東海大学 名誉教授 石川廣三、2008～2011 年度)を実施した。特に「木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究」(2011 年度～2016 年度、委員長：石川廣三名誉教授)では、屋根、外壁、バルコニーやそれらの取り付け部を対象として、産学官 28 団体の協力により、ヒアリング、実態調査、アンケート調査、検証実験等を実施し、雨水浸入、結露、通気・換気に関するリスクを含めた総合的な建物外皮の設計・施工方法について検討・分析している。

3) 雨水浸入防止について

雨水浸入防止について、産学官連帯の共同研究「モルタル外壁の長期性能と評価に関する研究」(委員長：東海大学 名誉教授 石川廣三、2008～2011 年度)及び「木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究」(2011 年度～2016 年度、委員長：石川廣三名誉教授)で得られた成果の例を示す。

① 防水紙

a. 現状と問題点

防水紙自身の防水性能は高いが、防水紙を下地へ留め付ける際、必ずステープルや釘等の接合具が貫通し、その釘孔から雨水浸入することが考えられる。建設中の降雨及び建設後の雨水浸入を想定し、アスファルトフェルト 8kg/巻品や透湿防水シートへ撒水(写真-1 参照、風速 5m/s、4 分間)した結果、ステープルの留め付け孔から防水紙の裏面へ漏水することが判明した。また、寸法安定性の低いアスファルトフェルト 8kg/巻品は、降雨や日射により膨張及び収縮し、短時間で釘孔が拡大することが判った。なお、JIS A 6111 透湿防水シート及び JIS A 6005 アスファルトルーフィングフェルトには、釘穴シール性に関する規定はない。



アスファルトフェルト8kg/巻品、風速5m/s、4分間撒水後
(防水紙を剥がした状態)



透湿防水シート、風速5m/s、4分間撒水後
写真-1 釘孔と漏水



アスファルトフェルト8kg品
寸法安定性の不足による釘孔の拡大(施工直後)

b. 改善策

長期的な防水性を確保する方法として、下記が考えられる。

- ・モルタル裏面に使用する防水紙は、釘孔シーリング性や寸法安定性が優れた改質アスファルトフェルトを使用する。
- ・梅雨時に施工する場合は、数日間にわたり降雨が続くことがあるため、その期間を避けるか、雨が掛かる期間を少なくするよう早期に外装材を張る。

②窓まわり

a. 現状と問題点

住宅内において、窓まわりは雨水浸入事故が多い代表的な部位として、検査機関より指摘されている。

写真-2 は、各種の仕様書の通り、構造用合板の外側からサッシを納めた後、サッシ釘打ちフィンへ両面防水テープを張り、その外側へ透湿防水シートを張ったものである。透湿防水シートの窓周辺部は、シワが著しく生じており、両面防水テープと透湿防水シートとの間に隙間が生じて、雨水が浸入する可能性がある。防水テープや透湿防水シートをローラーで伸ばした状態においても、防水テープと透湿防水シートの相性が良くない場合は、加熱によりシワが生じることが促進試験でも確認されている。



建築年数：築 11 年
建設地：茨城県
透湿防水シートメーカーが推奨していない防水テープを使用

写真-2 透湿防水シートに生じたシワ

b. 改善策

透湿防水シート製造者が、調査・実験に基づいて、防水テープを指定している場合は、推奨品を使用すること。

③通気層

a. 現状と問題点

一般仕様として、土台水切りの外側へ透湿防水シートを被せるが、透湿防水シートの種類により、下端が捲れる。この捲れにより通気層の通気量が減るだけでなく、土台水切りと透湿防水シートの間に隙間が生じる。暴風雨時には、この隙間から雨水は浸入することが考えられる。透湿防水シートと土台水切りとの間にテープを施さない試験体による撒水試験（写真-3 参照）では、風速 15m/s よりその隙間から霧状の水が壁内へ浸入した。さらに透湿防水シートの隙間を防水シートで塞いだ場合においても、風速 15m/s より透湿防水シートの一段目と二段目の重ね部より漏水が生じた。



写真-3 透湿防水シートの捲れと雨水浸入

b. 改善策

長期的な防水性を確保する方法として、下記が考えられる。

- ・透湿防水シートは、端部の捲れが少ないものを選ぶ。
- ・透湿防水シートの下端と土台水切りとの重ね部に両面防水テープを張る。
- ・暴風雨が多発する地域では、霧状となった雨水が上部に到達することがあるので、透湿防水シート相互の上下の重ね部に両面防水テープを張る。
- ・躯体に面材を張らない仕様の場合、透湿防水シート相互間の重ね部へテープを張る際に透湿防水シートが撓むので、室内側より押さえるか、下地材を設けた上で、重ね部へ防水テープを張る。

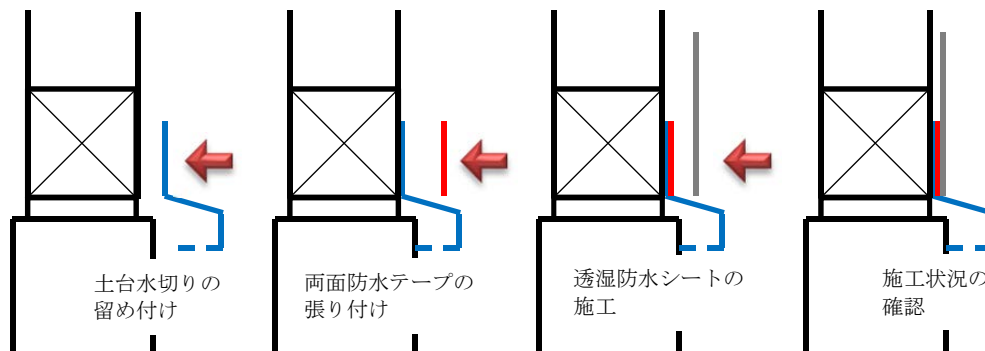


図-1 土台水切りと透湿防水シート間のテープ留め

出典：産学官連帯の共同研究「モルタル外壁の長期性能と評価に関する研究」2008～2011 年、委員長：石川廣三
 名誉教授）及び「木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究」（2011 年度～2016
 年度，委員長：石川廣三名誉教授）

(3) 劣化原因等を究明するための FTA (Fault Tree Analysis) による分析例

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 FTA(改訂マニュアル NO.2)

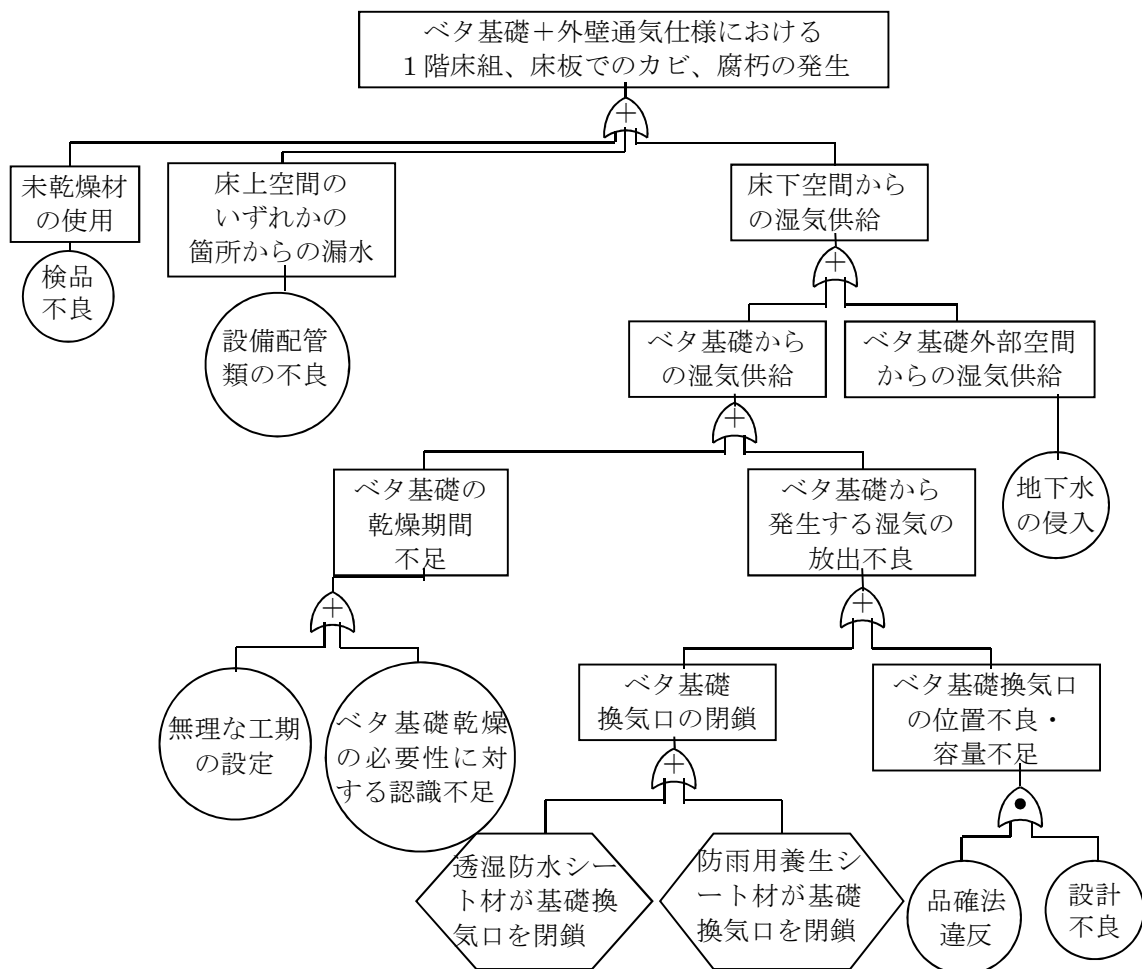


図1 ベタ基礎＋外壁通気仕様における1階床組、床板でのカビ、腐朽発生の FT 図



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)

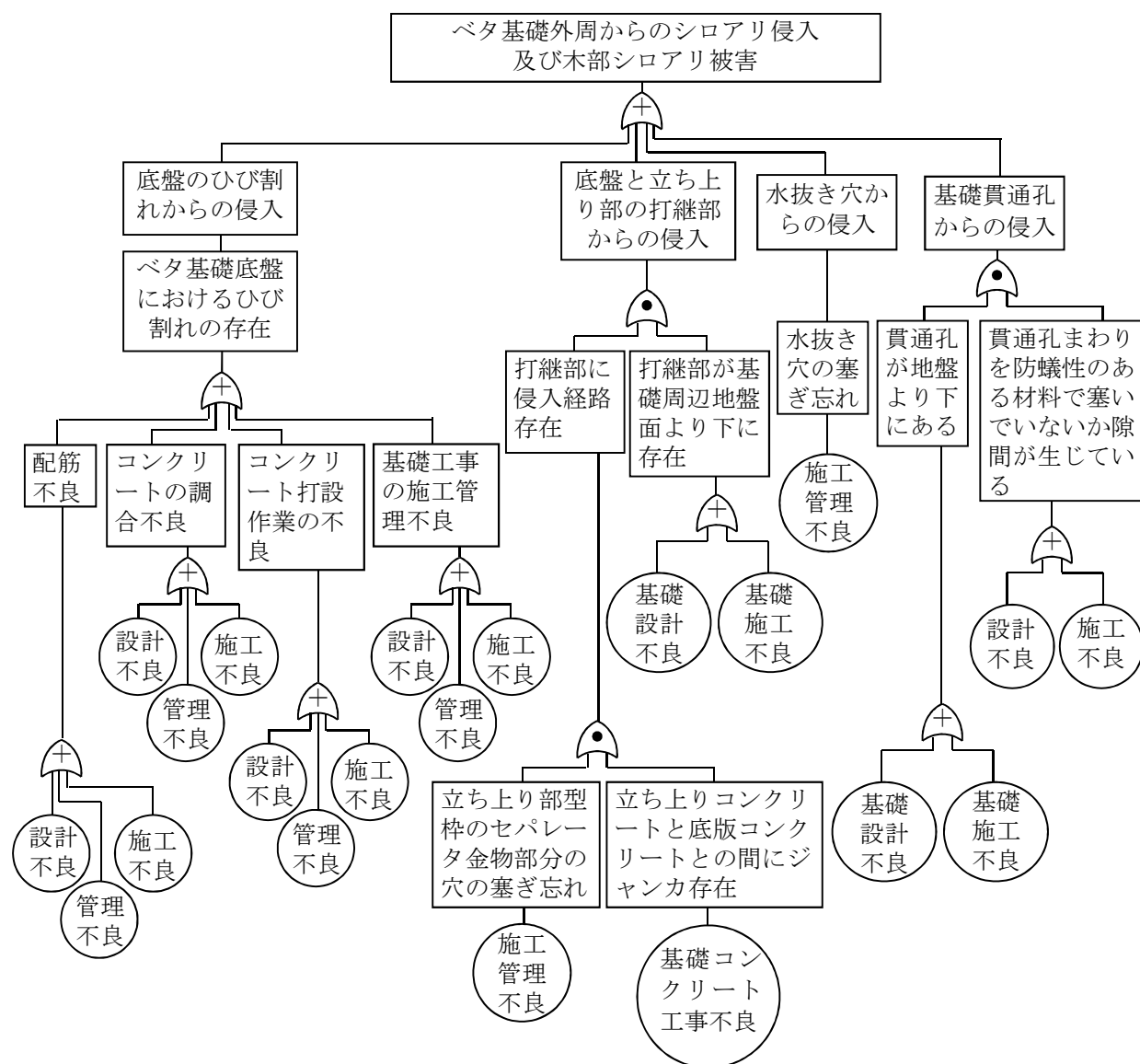
設計上の留意点

- 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 備配管類の接合部からの水もれに注意すること。

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 FTA(改訂マニュアル NO.3)



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

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

3. 外壁通気構法におけるカビ・腐朽の発生 の FTA(改訂マニュアル NO.6)

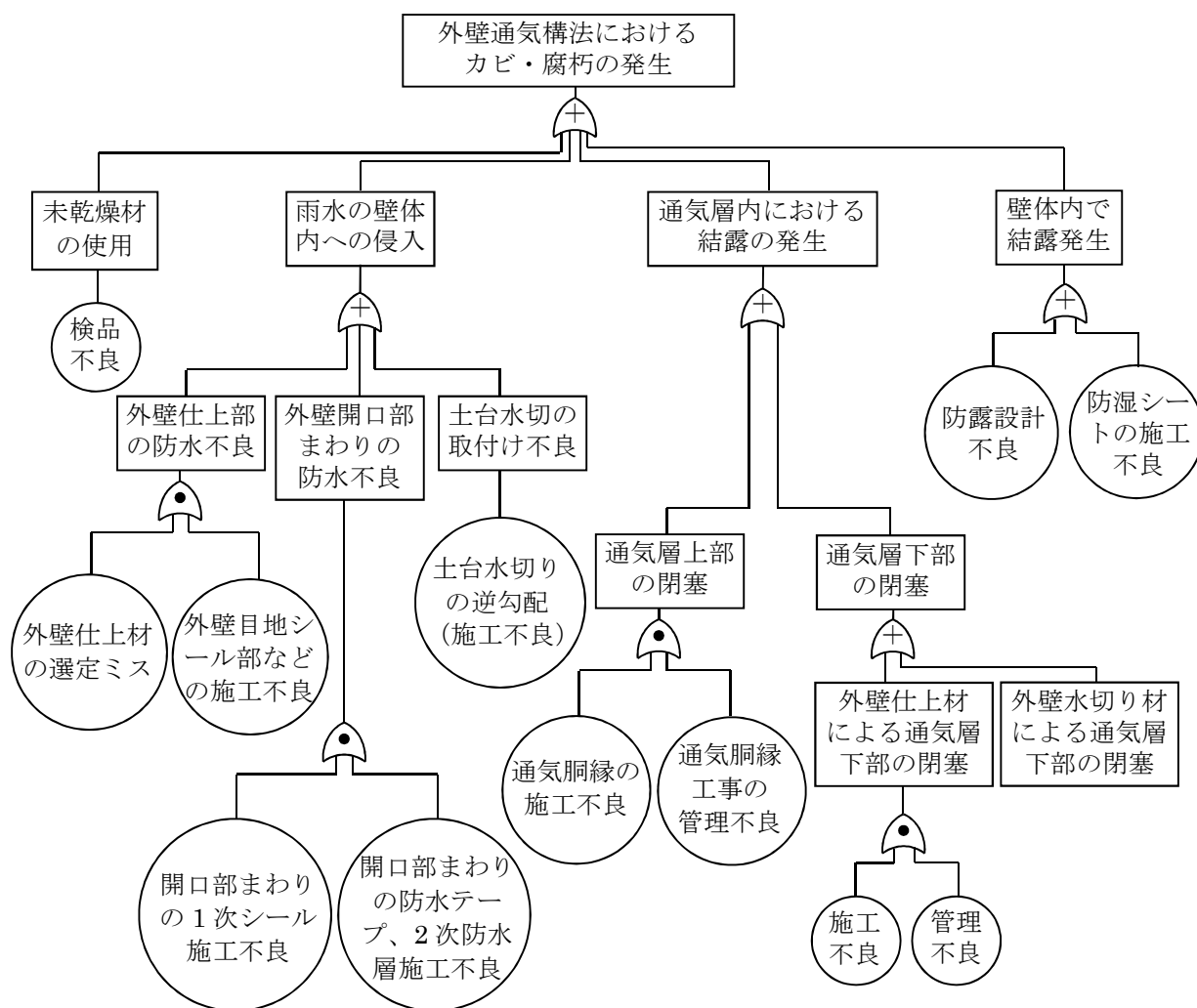


図3 外壁通気構法におけるカビ・腐朽発生 の FT 図

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、工事管理を慎重に行うこと。
- 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。

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 FTA(改訂マニュアル NO.7)

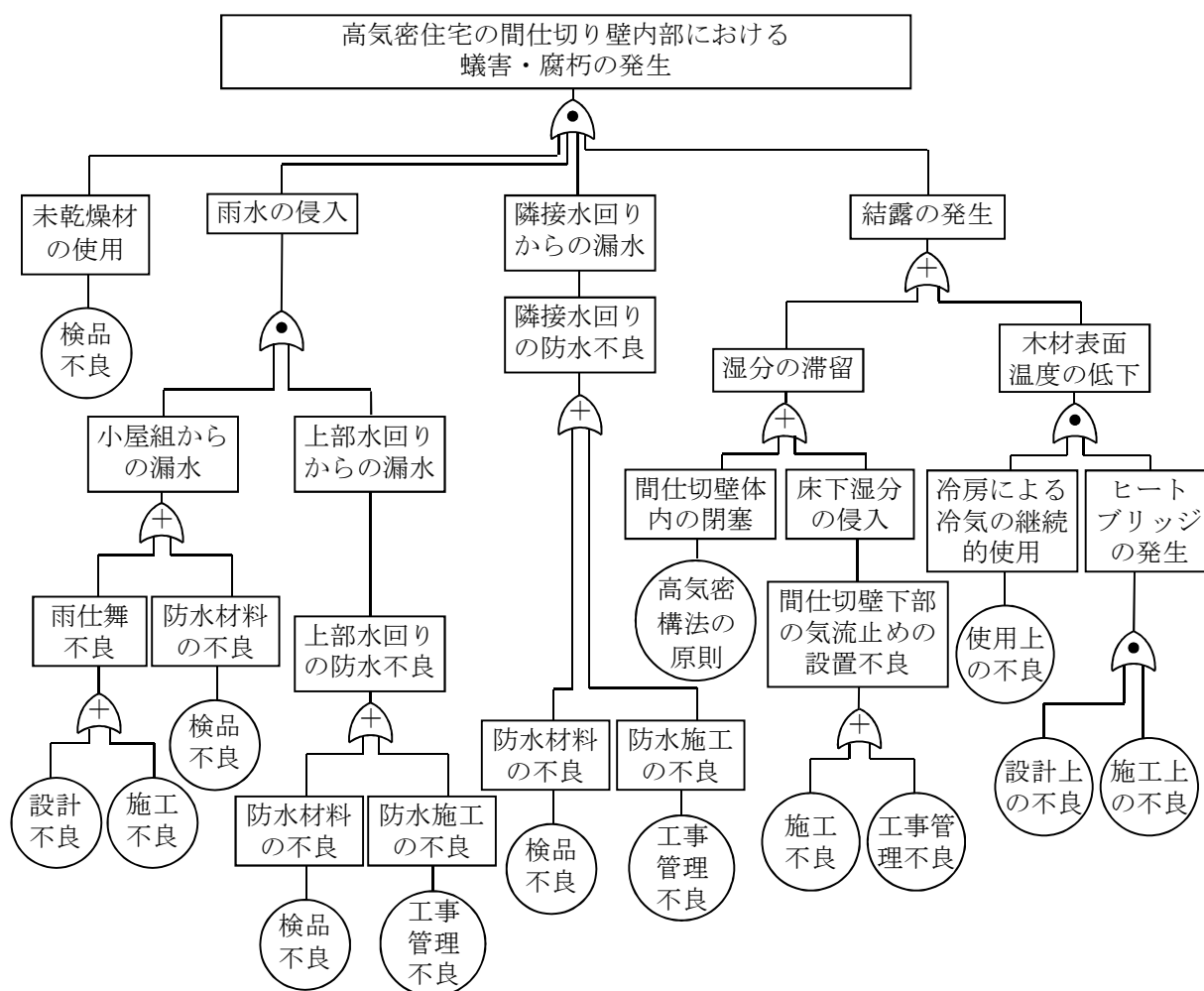


図4 高気密住宅の間仕切り壁内部における蟻害・腐朽発生 の FT 図

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。

5. 基礎外張断熱工法における生物劣化発生の FTA(改訂マニュアル NO.8)

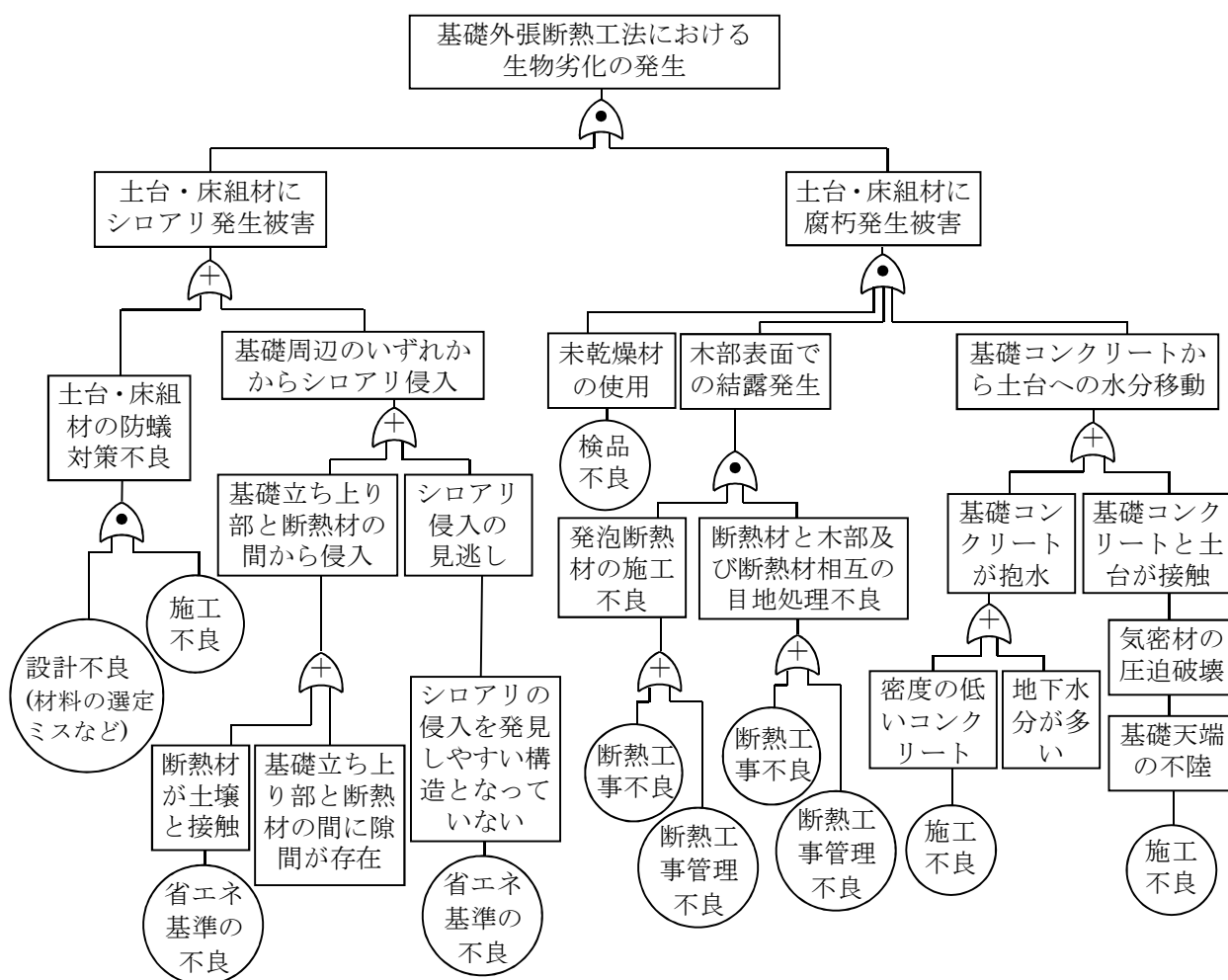


図 5 基礎外張断熱工法における生物劣化発生の FT 図

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。

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 FTA(改訂マニュアル NO.9)

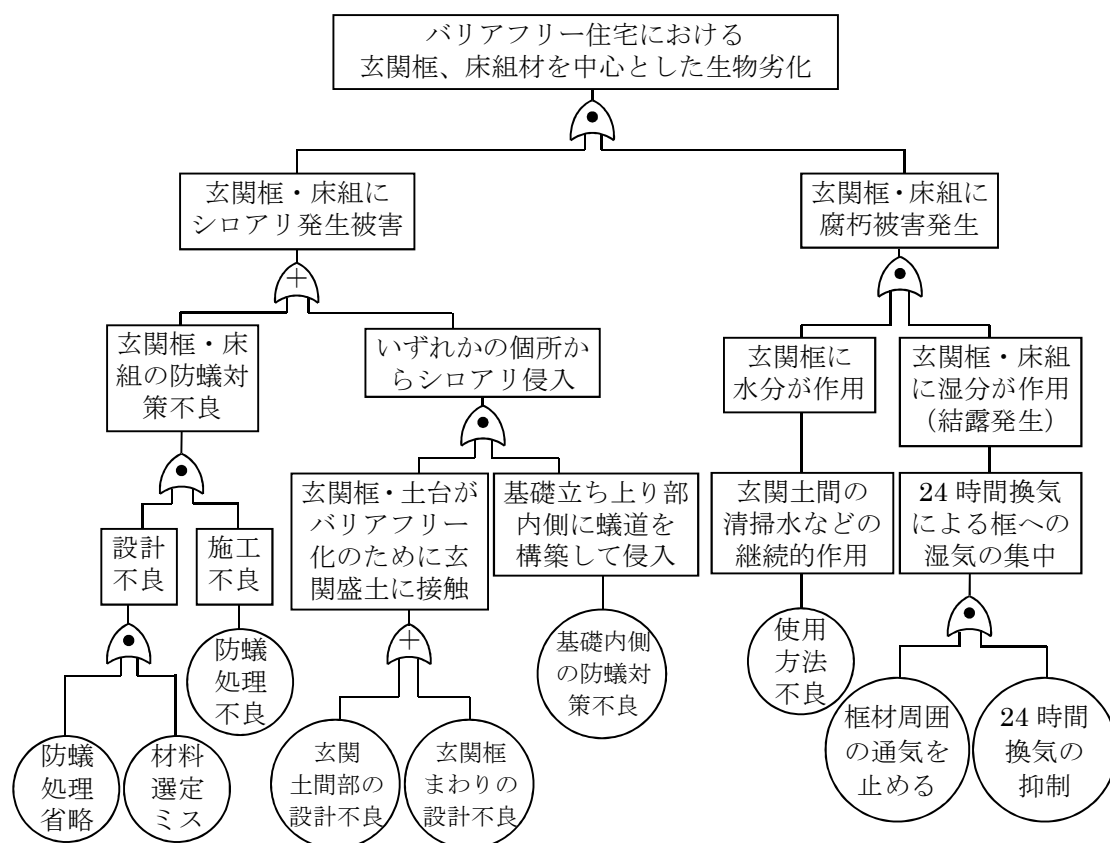


図 6 バリアフリー住宅における玄関框、床組材を中心とした生物劣化発生の FT 図

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。
- ③ 24 時間換気による床下部の負圧発生に注意すること。

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 FTA(改訂マニュアル NO.11)

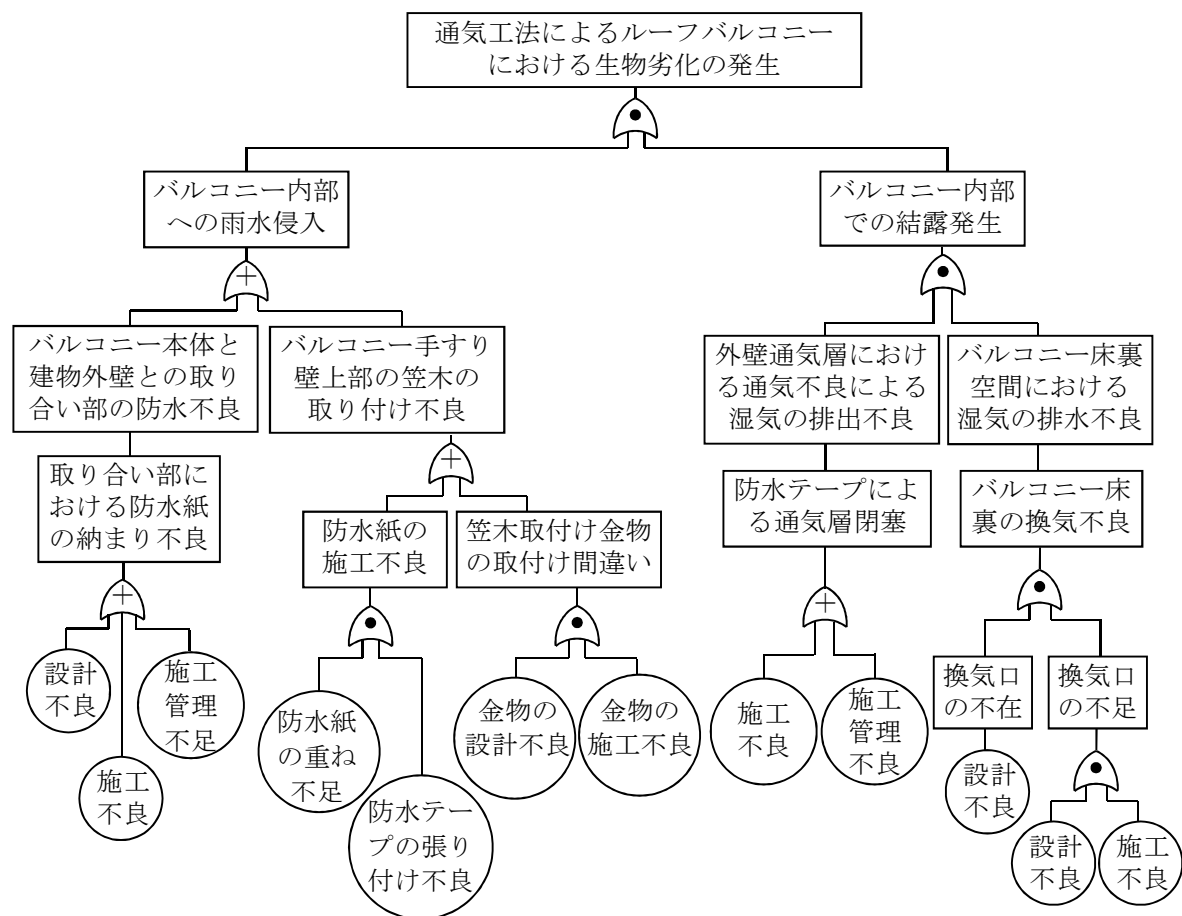


図 7 通気工法によるルーフバルコニーにおける生物劣化発生の FT 図

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合い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。

(4) 現状において各 TG で得られたマニュアルに関連する成果等で、マニュアルに反映することが必要と考えられる成果等について（各 TG の成果の抜粋を記す）

各 TG の成果等に関しては、今後さらなる検証等が必要と考えられるが、特に、現状の長期優良住宅認定基準等を変更しなければならないような成果等が提案されている TG について、以下に、成果を抜粋する。なお、今後の検討において今回扱った TG の成果以外にもマニュアル作成時に検討を必要とする TG の成果もあり得るものと考えられる。

1) 劣化外力の再評価 TG

劣化外力 TG の成果として、各種シロアリの分布が挙げられ、防腐・防蟻処理の地域区分の基礎資料として、マニュアル作成時の検討資料になるものと考えられる。

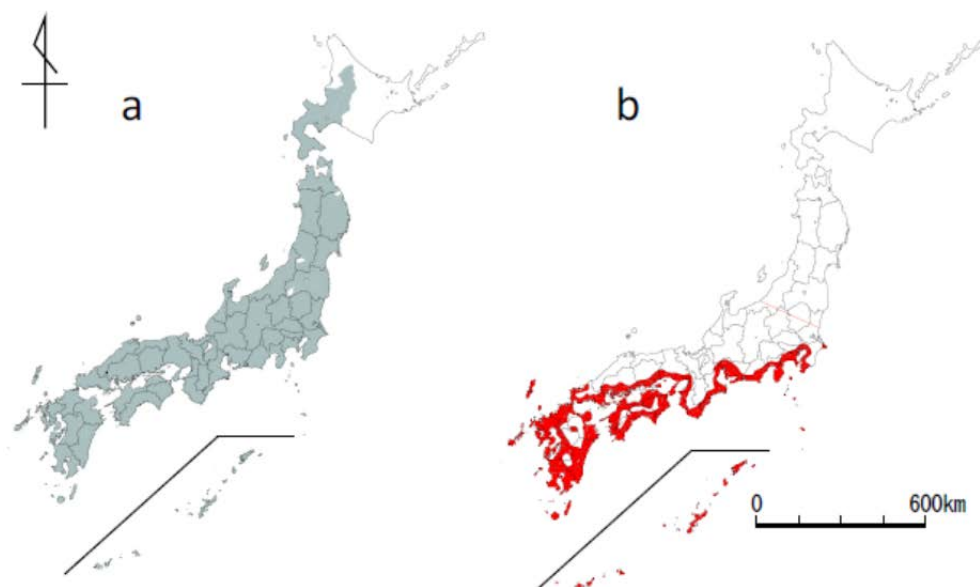


図6 日本産シロアリ分布 (2013年) a: ヤマトシロアリ b: イエシロアリ

出典：平成 25 年度木造長期優良住宅に関わる調査・研究業務報告書、劣化外力の再評価 TG 報告書 p22 より抜粋

2) 劣化環境検討 TG (腐朽)

生物劣化、特に腐朽菌による劣化を誘発する湿気等の状態がどの程度継続するかを判定することにより、建物内における劣化の発生を防止するための提案であり、マニュアル作成の際の検討資料と考えられる。

① 連続した湿潤

相対湿度98% 以上 → 1 カ月程度

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 ヶ月程度

平均相対湿度85%以下 → 6～7 ヶ月程度

上記の数値は雨水に直接暴露される環境や、屋外の土木構造物は想定していないため、数値の適用にあたっては注意が必要である。また、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、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り、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。

出典：平成 25 年度木造長期優良住宅に関わる調査・研究業務報告書、劣化環境検討 TG（腐朽）報告書 p148 より抜粋

3) 劣化環境検討 TG（小屋裏）

小屋裏開口部や天井面における換気等に関する提案であり、マニュアル作成時に検討資料として利用可能であると考えられる。

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。

出典：平成 25 年度木造長期優良住宅に関わる調査・研究業務報告書、劣化環境検討 TG（小屋裏）報告書 p181-183 より抜粋

4.3 今後の課題

耐久性確保のための設計・施工マニュアル（案）を作成する際の基礎資料となる事故事例原因チェックシートの検討を継続実施するとともに、他 TG の研究成果等の取り込みを行い、長期優良住宅認定基準等で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、認定基準等で要求されている耐久性能を確保するための措置等として機能するような「耐久性能確保のための設計・施工マニュアル（案）（仮称）」を作成する。

参考資料

1. 新構法を用いた木造建築物の生物劣化とその対策

新構法を用いた木造建築物の生物劣化とその対策

【本書の趣旨】

木造建築物における生物劣化を制御する措置として各種の規則や基準が示されているが、新たな施工環境の変化への対応の遅れがあり、それらの規則・基準を遵守しても過去の経験則では予測できない生物劣化が生じることがある。

この資料では、木造建築物における劣化事象のなかで、主に日本産地下シロアリ(以下シロアリ)及び木材腐朽菌(以下腐朽菌)による生物劣化について、近年の事例調査によって明らかにされた(推定された)劣化原因とその制御対策を示す。なお、劣化原因として、宅地の形質及び立地状況や工事中の施工事情、建築物自体の不具合の他、竣工後の居住者の不注意などが挙げられるので、建物の維持点検により制御できる生物劣化対策も提示した。

【項目と定義】

劣化部位：生物劣化が確認された部分 (■＝劣化部位、□＝関連部位)

劣化生物：劣化を生じさせた生物 (シロアリ・腐朽菌・カビ)

劣化事例：実際に起きた劣化の実態

物件所在 (生物劣化が確認された建物の所在場所)

施工経年 (事例建物の竣工年月と劣化事例の確認された年月)

構造仕様 (構造種別、建築規模、構法仕様、性能品質等の内容)

劣化箇所 (劣化事象が確認された箇所、範囲)

劣化原因：劣化生物を誘発させた原因

規則基準：設計・施工に係わる規則基準

制御対策：規則基準に示されていない、生物劣化を制御するための対策

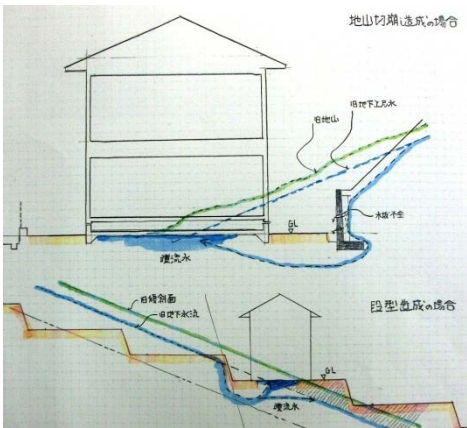
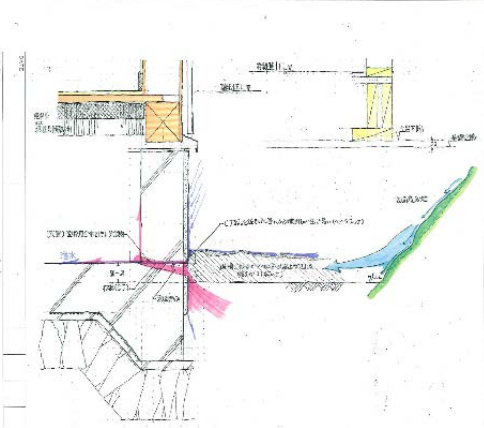
目 次

整理番号	[劣化事例表題]	頁番号
	表紙・目次	01～02
No. - 0 1	: 宅地の形質による劣化	03～06
No. - 0 2	: 工事中の仮設養生作業による劣化	07～09
No. - 0 3	: ベタ基礎における劣化	10～13
No. - 0 4	: 主要構造部の劣化	14～16
No. - 0 5	: 外壁仕上に係る劣化	17～19
No. - 0 6	: 外壁内通気構法における劣化	20～22
No. - 0 7	: 間仕切り気流抜けによる劣化	23～25
No. - 0 8	: 基礎断熱における劣化	26～28
No. - 0 9	: 玄関周りにおける劣化	29～31
No. - 1 0	: 土間防湿による劣化	32～33
No. - 1 1	: バルコニー周辺の劣化	34～37
No. - 1 2	: 点検口周辺の劣化	38～39
No. - 1 3	: 小屋裏における劣化	40～41
No. - 1 4	: 防腐防蟻措置に係る劣化	42～43
No. - 1 5	: 設備機器配管による劣化	44～46
No. - 1 6	: 太陽光発電設備による劣化	47～48
No. - 1 7	: 外構ガーデニングに係る劣化	49～52
No. - 1 8	: 点検・維持管理に係る劣化	53～54

【目次No. - 0 1】 宅地の形質（評価基準対象外）

劣化部位	■床	最下階床組部分及床仕上部分
	□基礎	ベタ基礎土間及継手部分
	□外部	宅地&地盤部分及隣接地境界部分
劣化生物	カビ・腐朽菌	
劣化事例	No. 1 - 01	No. 1 - 02
	 地下湧水で土間が冷却され床裏に発生した結露とカビ	 ベタ基礎の外周打継からの浸水
物件所在	兵庫県相生市	奈良県橿原市
竣工経年	H21/10→H23/06	H16/08→H21/06
構造仕様	軸組構法：2階建・耐力壁合板、ベタ基礎、 充填断熱方式：床発泡断熱、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装、 床組：剛床直張り方式、 品質：長期優良住宅認定仕様、	軸組構法：2階建・耐力壁合板、ベタ基礎、 充填断熱方式：床発泡断熱、高気密高断熱、 外壁：通気工法・湿式外装、 床組：転根太床張り方式、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	床組・床板・仕上材	床組・床板・仕上材

劣化事例	No. 1 - 03(No.01の床板)	No. 1 - 04	No. 1 - 05
	 床仕上材のカビによる 変色と剥離	 ベタ基礎外周部の打継部 からの浸水	 床組大引きの下面に発生したカビ

物件所在	兵庫県相生市	兵庫県姫路市④	滋賀県彦根市
竣工経年	H21/10→H24/06(改修時)	H22/03→H23/06	H20/12→H21/07
構造仕様	軸組構法：2階耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：床 発泡断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・湿式外装、 床組：剛床直張り方式、 品質：長期優良住宅仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：床 発泡断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装、 床組：剛床直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：床 発泡断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装、 床組：転根太床張り方式、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	床組・床板・床仕上材	床組・床板・床仕上材	床組・床板・床仕上材
劣化原因	■隣接の傾斜地からの地下水が建物直下にサイフォン現象により湧出し、ベタ基礎コンクリートを冷却化させ床下空間に水蒸気飽和現象を誘発させた。 ■隣接した造成法面からの土砂崩落により地盤面に土砂が堆積し、ベタ基礎の土間天面と外周地盤面のレベルが逆転し降雨時などの雨水がベタ基礎打継部から床下側に浸水した。   傾斜地・段型造成宅地の地下水の湧出概略図。 造成勾配法面からの流出土砂の堆積概略図。   建物外部の地盤面に慢性的な湿潤が発生 奥の基礎側面の地盤に堆積土砂が見られる		

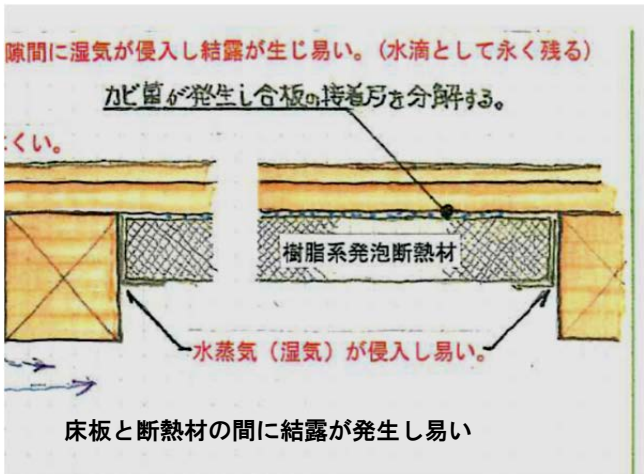
規則基準	設計	施工
	□住宅保証機構：H21 性能保証住宅標準仕様書、 第1節第4条 地盤の調査：解説(2)③敷地の周辺状況により地盤の許容応力を判断できる計測を行う。 同第4条：解説(6)③敷地内の排水に支障がないか確認する事。 □H21 住宅保証機構：性能保証住宅標準仕様書、 設計施工基準・第1節第5条の1 地盤の許容応力度の計測結果により必要に応じて地盤補強等を行う。	□宅地造成規制法：施行令・第4条～14条 法面、擁壁、切土、盛土等の表水排水及び水抜穴等の設置。 ※、地下湧水、出水に関する記述はない。 □住宅保証機構：H21 性能保証住宅標準仕様書、 設計施工基準・第5条の2(1) 地盤表層改良。同第5条の3 砕石地業等。 □H22 住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書・3.3.3-1・注) 参考図 1階の床下地面は建物周辺の地盤より 50 mm 以上高くする。
制御対策	■地盤面が湿潤し易い場合は、地盤調査に合せて敷地の常水位や出水状態の調査を行う。 ①基礎工事に先立ち地盤表層を改良し、又は余盛措置を施す。 ②湧水や出水を集水、排水する為の地中暗渠等を敷地内に溝状に敷設する。 ■傾斜地や段型造成の場合、宅地内水上側の敷地境界線に接している法面や擁壁の直近に、宅地側への出水や湧水に対する集水・排水処理措置をする。 ①トレンチを掘り出水量と湧水深さを確認し掘削底部を決める。 ②砂利層と砂利を仕込んだ有孔排水管を敷設する。 ③有孔管を最寄り排水路（又はピット）に接続する。 ④敷地の広さに余裕があれば湧泉井戸を設ける。（出水監視用・中水に利用できる。） 排水暗渠を敷設し建物直下への湧水を防ぐ	左図の湧水排水施設の敷設事例（井戸併設） ■建物の外周が法面や擁壁に面して配置される状況では、降雨時等に法面からの土砂崩落により宅地地盤に土砂堆積が生じないように、法面尻に花壇・伊達堤等の土留め柵を設ける。 ■宅地を擁壁等で形質変更する場合は、擁壁の水抜き措置が機能する事を散水試験等で事前に確かめる。

留意事項	■宅地の地下湧水による床下土間の湿潤状態は春先から夏にかけて起こり易く、地下水の温度と床下空間の温度の差により発生する水蒸気飽和状態により生じる。 ■床下空間の水蒸気は床断熱材と床板の間に侵入して結露水になると、水滴が抜け難く長期間滞留して床板合板や木部の劣化リスクを高める事につながる。

【目次No. - 0 2】 工事中の仮設養生作業（評価基準対象外）

劣化部分	■床	最下階床組部分及床仕上部分・1階床の床下点検口部分		
	□基礎	外周床下換気孔部分		
	□外構	工事足場掛け及仮設養生部分		
劣化生物	カビ			
劣化事例	No. 2 - 01	No. 2 - 02	No. 2 - 03	
	 床断熱材と床板裏面のカビ	 断熱材の湿潤によるシミ	 断熱材のシミと床板の湿潤による剥離	
物件所在	鹿児島県鹿屋市	新潟県見附市	長崎県佐世保市	
竣工経年	H19/04→H21/06	H14/11→H17/07	H19/06→H21/06	
構造仕様	軸組構法：2階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：転根太床張り方式、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高断熱高気密、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床直張り、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高断熱高気密、外壁：通気工法・湿式外装材、床組：転根太床張り方式、品質：性能等級評価仕様、	
劣化箇所	床組・床板	床板・床断熱材・床仕上材	床板・床断熱材・床仕上材	
劣化事例	No. 2 - 04	No. 2 - 05(No.2-02の床仕上材)	No. 2 - 06	
	 床板合板と床仕上材の剥離	 床仕上材の湿潤による剥離	 床下点検口の補強枠(木製)と断熱枠(発泡断熱材)との間に発生した結露によるシミ	

物件所在	東京都三鷹市	新潟県見附市	兵庫県姫路市⑧
竣工経年	H18/08→H22/10	H14/11→H17/07	工事中に発生。
構造仕様	枠組壁構法：2 階建耐力壁合板、ベタ基礎：(逆スラブ)、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床直張り方式、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2 階建、ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床直張り方式、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2 階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高断熱高気密、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：床板直張り方式、品質：長期優良住宅仕様、
劣化箇所	床板・床仕上材	床板・床断熱材・床仕上材	点検口補強受枠
劣化原因	■ベタ基礎施工後、期間を置かずに床断熱材と板直張りを施工し、基礎外周の換気スリットに被せたため、床下換気が閉塞された。その結果、土間コンクリートから放出された水蒸気の換気排湿が阻害され床下空間が水蒸気飽和状態となった。 ■飽和状態となった床下空間の水蒸気が床板と床断熱材の隙間に侵入し結露状態で長期滞留して床板合板や化粧フロア材を浸潤させたため、カビが繁殖した。 ■土台水切りに先行して透湿防水シートを張り付けた際、その下端が基礎天端の換気孔に被さり、換気排湿の妨げとなり床下空間に水蒸気飽和をもたらした。 ■木工事に於いて通気工法用の透湿防水シート張りまでの間、防水用の養生材を外周耐力壁合板に張りつけた際に床下換気孔を塞いだため、床下の排湿が妨げられ結露が発生した。  床養生材が換気孔を閉塞  防水用養生シートが 外気を遮断  透湿防水シートが換気孔を閉塞		
規則基準	設計	施工	
	無し	□H21 住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書 2.2.1 足場・仮囲いは関係法令に従う。	
制御対策	■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換気を阻害しないように下部を開放する。 ■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は、次の措置を講ずる。		

	①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)を開放し換気を助成する。 ②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。  足場防護シートの下部は開放する  土台水切りを先付する ■外壁内通気構法の場合、土台水切りを透湿防水シート張りに先行して取付ける。 ①土台外周部の水切りの取付けが外装工事の取扱いである場合でも先行取付けが必要。
留意事項	■防護シートの垂下り下端は地面上部7.5cm程度までする。保安上の配慮であき寸法が4.5cm程度しか確保できない場合は、上部途中にも開放面を確保する(制御対策項の写真参照)。 ■ベタ基礎＋ネダレス＋外壁内通気構法の仕様物件の施工においては、土台水切りを透湿防水シートの施工に先行して取付ける。 

【解説】

※ベタ基礎における土間コンクリートからの水蒸気放出量は、気候条件や地盤の湿潤状態に因り差異はあるが、打設後凡そ20日～30日の間は、土間1㎡当り1g/h程度である。

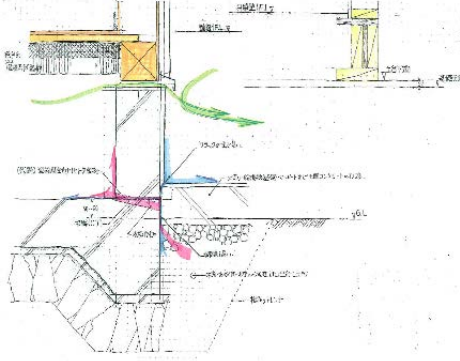
※近年、木造建築物の高耐震化や省エネルギー対策として合板類の使用が増加し構造体の空洞部や隠蔽空間の気密性や不透湿性が高まり、漏水や結露などによる湿潤がカビの発生につながり易くなっている。

ゆえに、木造住宅内に於ける水蒸気の滞留を制御するため、排湿や透湿に有効な通換気あるいは遮湿や気密（高気密構造）に十分配慮する事が求められている。

※室内空間における0.5回/hの換気機能や主要構造部分の隠蔽された空間などの通気排湿（外壁内通気構法・床下及小屋裏空間の換気）措置を滞りなく機能させる事が重要となる。

【目次No. - 0 3】 ベタ基礎

劣化部位	■壁	外壁軸組及踏込土間周囲の構造部分	
	■床	最下階床組部分及床仕上部分	
	□基礎	ベタ基礎外周の立上り打継部。	
劣化生物	シロアリ		
劣化事例	No. 3 - 01	No. 3 - 02	No. 3 - 03
	 打継貫通孔からの侵入 蟻道	 水抜き穴からの侵入 蟻道	 玄関框下の基礎打継からの侵入蟻道
物件所在	長崎県佐世保市	大阪府堺市	長崎県大村市
竣工経年	H18/03→H19/07	H18/12→H20/06	H18/03→H19/10
構造仕様	軸組構法：2 階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：床板直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、	枠組壁構法：3 階建て、 ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：剛床直張り、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2 階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：剛床直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	土台・軸組脚部・柱	壁体枠組・二階側根太	玄関框・床組・軸組及桁
劣化事例	No. 3 - 04(No. 3 -01 の上部)	No. 3 - 05(No. 3 -02 の上部)	No. 3 - 06(No. 3 -03 の上部)
	 軸組内に構築されたイエシロアリ分巢	 枠組壁構造脚部の蟻害	 玄関上框の蟻害
物件所在	長崎県佐世保市	大阪府堺市	長崎県大村市
竣工経年	竣工後 1 年 4 ヶ月	竣工後 1 年 6 ヶ月	竣工後 1 年 6 か月
構造仕様	No. 3 -01 に準ずる。	No. 3 -02 に準ずる。	No. 3 -03 に準ずる。

劣化箇所	土台・間仕切り軸組	内部間仕切り枠組壁	玄関框・軸組
劣化原因	■ベタ基礎外周の打継部分からの浸水・シロアリの遡行は以下のような状態が起因していた。 ①外周ベタ基礎の打放し打継部に玄関ポーチ等の嵩上土砂を被せていた。 ②打放し状態の外周ベタ基礎に接し無筋の土間コンクリートを打設した。 ③基礎外周に接して地盤面が土砂堆積により打継部分より高くなっていた。		
	 立上り打継部からの浸水・シロアリ侵入概略図  外周基礎に接する差筋無しの土間は剥離し易い  ベタ基礎外周打継部分の状態状態  水抜き穴と打ち込まれたセパレーター金物の打設状態		
規則基準	設計	施工	
	□建築基準法施行令： 第 38 条 基礎：地盤の沈下又は変形に対して構造耐力上安全であること。 同第 42 条 土台及び基礎：最下階の柱の下には土台を設ける。 同 42 条 2 項 土台は基礎に緊結すること。 □住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書（解説）3.3 基礎工事 同 3.3.2 布基礎 参考図 3.3.2-2（布基礎） 同 3.3.3 ベタ基礎参考図 3.3.3-1（ベタ基礎） 同 4.4.1 床下地面の防蟻措置：地面に講じる防蟻措置にイ）ベタ基礎、ロ）布基礎と鉄筋により一体とコンクリート土間。	□建築基準法施行令： 第 22 条 居室の床の高さ及び防湿方法： 一）床高は直下の地面から床仕上面まで≥ 45 cm 二）外壁の周長 5 m 以下ごとに 300 cm²以上の換気孔 □住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書（解説）3.3 基礎工事 同 3.3.2-1 布基礎の参考図及び(A)～(E) 同 3.3.3-1～5 ベタ基礎の参考図 (注)4.配管用の貫通孔は防蟻性材料で充填する。 5.基礎底盤に設ける水抜き穴は竣工後に塞	

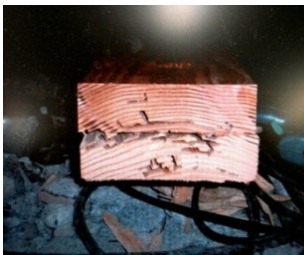
	参考図 4.4.1-1 (防蟻に有効なベタ基礎) 参考図 4.4.1-2 (防蟻に有効な布基礎土間) □瑕疵担保履行法保険：設計施工基準第 6 条 基礎：解説(1)～(4) □品確法：等級評価基準 3. 劣化の軽減に関する事：3.2.1 劣化対策等級 基本原則等告示 3-1(3)イ①：d,地盤(i)基礎、同各解説	ぐ。 ※土間と立上り部の打継(CJ)及び型枠用幅留め金物の処理についての記述は無い。 同 4.4.1 床下地面の防蟻措置 参考図 4.4.1-1 及び 4.4.1-2 各(注)留意事項 □品確法：等級評価基準 3. 劣化対策 1)：告示 3-1(3)イ①：解説 図 3-6～14 土台と基礎の劣化対策
制御対策	■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。 ①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。(留意事項図参照) ②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。 ③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。 ※全幅型枠金物や水抜は施さない。(止むを得ず使用する際は施工後に空隙を充填処理する。) 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。 ■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。) ■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。 ■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。  踏み台設置は基礎外面との間に隙間(10 cm以上)を設ける  玄関ポーチに遮断溝を設ける ■建物基礎に接する無筋コンクリートによる勝手口踏み台や給湯機台基礎・土間ポーチ等は基礎から 10 cm以上離すかあるいは建物基礎との剥離を防ぐため差筋等により一体化する。	

	ポーチ土間に設定した遮断溝の施工事例（遮断溝の底面の水上レベルは基礎天より下げる。） ■建替え新築の場合、旧建屋の撤去後に地盤改良措置や土壌処理による防蟻措置を行う。 平面図 断面図
留意事項	■一般的なベタ基礎施工は、土間と立上りの打継部にセパレーター金物が貫通孔を残す。 ■立上り打継部に残される貫通孔は、シロアリの侵入を許すだけでなく浸水の原因となり易いので注意が必要である。 防蟻措置に有効なベタ基礎とは？【地下系白蟻侵入と事後浸水を防御する為に】 実際の施工事例から

【解説】

外周の基礎型枠の組み立てには、巾止めセパレーターの使用に替えてコーンボルトセパレーター若しくは75cm一体型枠を使用し、コンクリートを打設する事で立上り部の打継部分に貫通孔を残さず、浸水やシロアリの侵入を制御する事ができる。

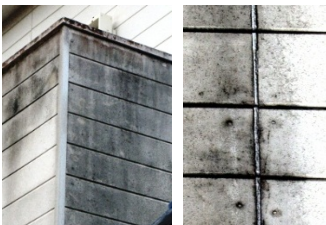
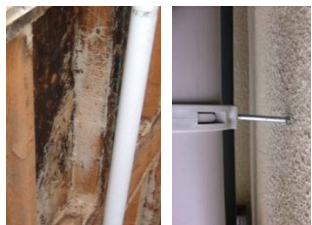
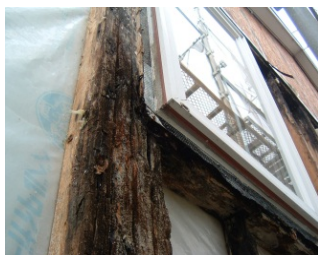
【目次No. - 0 4】主要構造部（耐震構造性能評価基準）

劣化部分	■壁	土台・桁・柱・桢組材・耐力壁合板・端根太・側根太		
	□基礎	ベタ基礎・布基礎及設備配管貫通部		
劣化生物	腐朽菌・シロアリ			
劣化事例	No. 4 - 01		No. 4 - 02	No. 4 - 03
	 軸組胴差桁の座彫穴からのシロアリ侵入		 左の胴差桁の食害	 胴差桁の継手から蟻害
物件所在	熊本県植木市			鹿児島県川内市
竣工経年	H17/12→H18/10（竣工後 8 ヲ月）			H13/11→H16/08
構造仕様	軸組構法：2 階建耐力壁合板、ベタ基礎、 充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：床板直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、			軸組構法：2 階建耐力壁合板、ベタ基礎、 充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、 床組：床板直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	北側軸組躯体全面・床組・床板合板及び耐力壁合板表層			軸組柱・胴差桁
劣化事例	No. 4 - 04		No. 4 - 05	No. 4 - 06
	 外壁桢組壁躯体の蟻害		 同左、側桁材の蟻害	 二階外周壁の下桢蟻害
物件所在	和歌山県南部市			
竣工経年	H16/12→H18/10			
構造仕様	桢組壁工法：2 階建、ベタ基礎、充填断熱方式：壁は繊維系断熱材、床は発泡系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床直張り、品質：性能等級評価仕様、			
劣化箇所	桢組壁躯体全面・床板・発泡断熱材			

劣化事例	No. 4 -07  柱と軒桁の蟻害	No. 4 -08  土台・枠材の激しい腐朽	No. 4 -09  外壁中空部に繁殖した腐朽菌
物件所在	福岡県福岡市	静岡県磐田市	
竣工経年	H20/03→H21/10	H14/03→H20/06	
構造仕様	軸組構法：2 階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：転根太床板張、 品質：性能等級評価仕様、	枠組壁工法：2 階建（共同住宅）、ベタ基礎、 充填断熱方式：繊維系断熱材（室内側外周気密バリア） 高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：剛床床板直張り、 品質：性能等級評価仕様、	
劣化箇所	軸組柱・胴差桁・軒桁	東側枠組壁躯体全面・耐力壁合板・バルコニー	
劣化原因	■脚部(構造 GL+1 m 以下)部材の切削・穿孔等によって露出した無処理部分の追加防腐・防蟻処理が実施されていなかった。 ■構造用耐力壁(合板・OSB)の壁体中空部の排湿措置が不全であった（通気不具合）。 ■脚部構造金物（HD・AB 等）に結露が起き、木部を繰返し湿潤させていた。 ■壁体内断熱材の空隙部に外気の水蒸気が侵入した（透湿防水シートの不具合）。 ■外壁内通気層の隙間厚さ及び透湿防水シートの端部・継手部の押えに不具合があった。		
規則基準	設計 □建築基準法施行令： 第 37 条 構造部材の耐久 同第 49 条 2 項 所要構造部材の地面から 1 m 以内の防腐防蟻措置。 □住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 4.3 木部防腐防蟻 □住宅保証機構：H21 性能保証住宅標準仕様第 2 節第 10 条 乾式の外壁仕上：解説(1)②(ハ)通気層の構造、(1)②(イ)外壁内の通気措置	施工 □住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 4.3 木部の防腐・防蟻措置 4.3.1 土台の防腐・防蟻措置 4.3.2 土台以外の木部の防腐・防蟻措置 解説：留意事項・施工方法(木部防腐剤塗り) 土台の木口、柄及び柄穴等加工部以外は塗る必要はない。=4.3.3-5(現場の加工切削部の薬剤処理)	

制御対策	■主要構造部材には含水率18%以下の乾燥処理材を使用する。 ■主要構造部材には耐久性の高いD1材の心材を優先的に選択する。 ■梁・桁等の横架材にはD1材に相当する樹種を使った集成材若しくは積層材が望ましい。 ■構造木部の湿潤し易い環境状況を排除する。(遮湿と排湿通気の確保) ■木部の切削・穿孔等を行った時に露出する無処理面には木材保存剤を塗布する。 ■構造金物に防露に有効な断熱措置を施す（特にアンカーボルト・HD金物等）。
留意事項	■木造躯体の桁や張りに使用されることが多いベイマツは耐蟻性が小さい。

【目次No. - 0 5】外壁仕上

劣化部分	■壁	外壁内通気層・耐力壁合板	
劣化生物	カビ・腐朽菌		
劣化事例	No. 5 - 01	No. 5 - 02	No. 5 - 03
	 H型役物からの漏水による腐朽	 角金物と目地からの漏水によるカビ	 縦樋控金物からの漏水による腐朽
物件所在	静岡県清水市	大阪府茨木市	静岡県磐田市
竣工経年	H16/04→H21/10	H14/10→H22/08	H14/03→H20/06
構造仕様	枠組壁工法：2 階建、 ベタ基礎、充填断熱方式:繊維系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床直張り、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2 階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、 外壁：直張り乾式外装材、 床組：転根太床板張、 品質：性能等級評価仕様、	枠組壁工法：2 階建、 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、 外壁:通気工法・乾式外装材、 床組：剛床直張り、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	透湿防水シート・耐力壁合板	バルコニー腰壁・耐力壁合板	耐力壁合板・腰壁取合い部
劣化事例	No. 5 - 04	No. 5 - 05	No. 5 - 06
	 開口部周りの漏水と結露による躯体木部の腐朽	 板金加工水切り天面の緩勾配による降雨時の下地への漏水	 右の内部躯体側土台の腐朽
物件所在	静岡県磐田市	大阪府枚方市	
竣工経年	H14/03→H20/06	H13/11→H24/09	
構造仕様	枠組壁工法：2 階建、 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、 外壁:通気工法・乾式外装材、 床組：剛床直張り方式、	軸組構法：2 階建耐力壁合板、ベタ基礎（高基礎 H=600 mm）、 充填断熱方式：繊維系断熱材、通常気密、 外壁：湿式直張り（二重通気工法）改良フェルト＋リヴラス、 床組：床板直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、	

	品質：性能等級評価仕様、		
劣化箇所	外壁開口部周り躯体木部	土台・通し柱脚部・床板木端	
劣化事例	No. 5 - 07  外装付底の取合いからの漏水。シーリング剥離による底裏の乾式外装材表面からの漏水による汚染	No. 5 - 08  軒先の水切り不調で水垂漏水	No. 5 - 09  胴飾板による通気遮断に起因する湿潤とカビ
物件所在	兵庫県南あわじ市㊤	兵庫県南あわじ市㊦	静岡県静岡市
竣工経年	H20/10→H24/10	H15/09→H23/10	H15/09→H23/12
構造仕様	軸組構法：2 階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：床板直張り方式、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2 階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、通常気密、外壁：通気工法・湿式外装材、床組：転根太床張り方式、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2 階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：発泡断熱系熱材、通常気密、外壁：通気工法・湿式外装材、床組：床板直張り方式、品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	外装下地・耐力壁合板	外壁と軒先の取合い部	外装下地合板・通気胴縁
劣化原因	■金属製H型ジョイナー（差込み式）を条溝付外装版にシーリング無しで使用していた。 ■左官下地防水紙の代用として透湿防水シート（通気工法用）を使用していた。 ■シーリング用バックアップ部材の選択を誤った（3 面接着・非着性の失効）。 ■仕上げ塗装材の透湿抵抗を軽視していた（不透湿性が原因）。 ■左官下地の金属ラスの選択が間違っていた（平ラスを使用）。 ■壁樋取付用金具（躯体打込み釘式）の取付角度が逆勾配でシール止水処理が無かった。 ■外装用オーナメントの胴飾り板が通気層を遮断し通気障害により湿潤結露していた。 ■湿式外装仕上げにおいて水切り板金の水切り勾配傾斜が不足し下地構造材を湿潤させた。 ■開口部周りの防水シート押えテープ張り部分に皺やピンホールが生じ、漏水していた。 ■開口部周りの外装版との防水シーリングがバックアップ材と接着して剥離、漏水していた。		
規則基準	設計		施工
	☐ 建築基準法施行令：第 4 9 条 外壁内部等の防腐措置等 ☐ 住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書 9.2.モルタル下地ラス張り、9.3.モルタル塗り		☐ 建築基準法施行令：第 3 7 条 構造部材の耐久 ☐ 住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書 9.左官工事 9.2.2 材料

	同 8.6.窯業系サイディング張り 8.7.金属サイディング張り	□住宅保証機構：性能保証住宅標準仕様書 設計施工基準 第9条外壁の防水 同第10条乾式の外壁仕上げ 第11条湿式の 外壁仕上げ
制御対策	■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。 ■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。 ■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。 ■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。 ■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。 ■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。	
留意事項	■外装部分からの漏水は、微量であっても下地壁体の通気・排湿機能の程度によっては躯体 隠蔽空隙部の結露に直結する。 ■外壁内通気工法に使用されている透湿防水シートは通気胴縁や金物などと接している部分 では防水性が失われることがあるので、下地の合板や躯体木部の湿潤の原因となり易い。	

【解説】

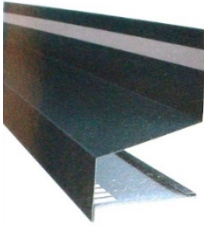
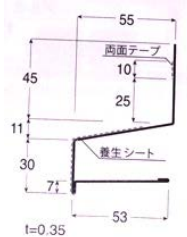
※外壁内通気構法における外装下地への漏水について、通気層を二重防水と考え長期間放置しておくことは、下地や構造木部の生物劣化リスクを高める。

※住宅の定期的な保守点検において外装部分のシミや汚れが発見された場合は、速やかに下地部分の湿潤状態について検査し、生物劣化に繋がる状態の有無を確かめる必要がある。

※外壁の構造用合板は、長期あるいは繰り返される湿潤状態に置かれると、接着剥離を起こすことがあり、外壁内通気層への漏水の侵入が面内座屈に対する耐力を弱め長期的な構造耐久力への影響も懸念される。

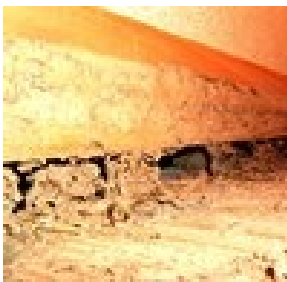
【目次No. - 0 6】 外壁内通気構法（劣化軽減評価基準）

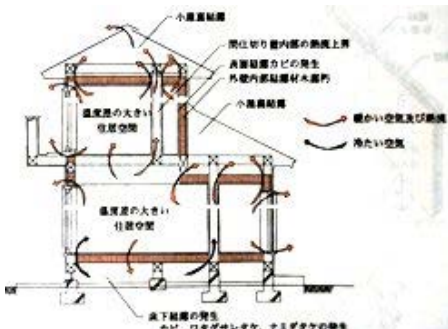
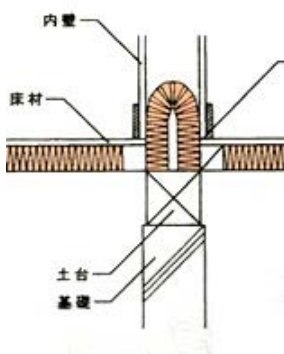
劣化部分	■屋根	小屋組及び小屋裏空間部分・軒天井部分・外壁取合部分	
	■壁	外壁土台等脚部・外壁内通気層部分	
劣化生物	カビ・腐朽菌		
劣化事例	No. 6 - 01	No. 6 - 02	No. 6 - 03
	 通気層閉塞による結露が原因の腐朽	 壁体内結露による腐朽	 耐力壁合板表面のカビ繁殖
物件所在	静岡県三島市	静岡県磐田市	大阪府松原市
竣工経年	H14/12→H20/08	H14/03→H20/06	H22/03→H24/08
構造仕様	軸組構法：2階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床直張り方式、品質：長期優良住宅仕様、	桝組壁工法：2階建、ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床直張り方式、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・湿式外装材、床組：床板直張り方式、品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	軸組躯体木部	桝組壁躯体木部	耐力壁合板・軸組内部
劣化原因	■通気層上部が遮蔽されて気流溜りができ、慢性化した結露によって木部(通し柱)が腐朽した。		
	■内装材下地張りの気密シートに結露が繰り返して発生し壁体内で木部を腐朽させた。		
	■透湿防水シート下端押えの不備により外気がシートの壁体側に侵入し結露を生じさせた。		
	 シート下端の押え不備の状態	 水切りへのシート押え不備の施工事例	 工程手順の不具合

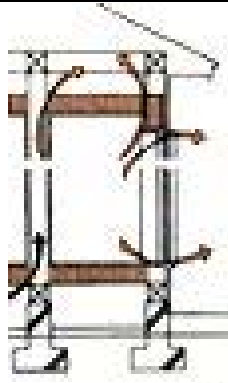
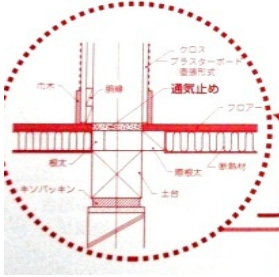
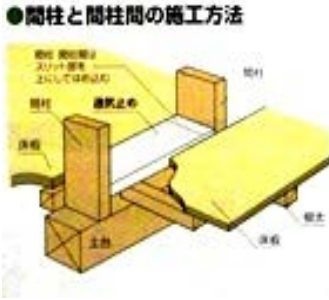
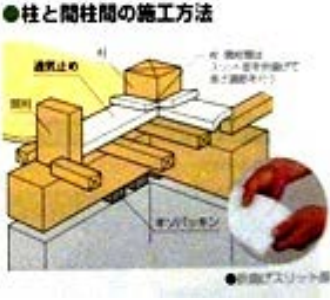
	 通気層の透湿防水シート重ね継手の押え不備と通気胴縁取付部の撥水性失効による漏水事例 ■外壁内通気層の漏水が木製通気胴縁に押えられている部分の透湿防水シート裏面へ浸潤し耐力壁合板を湿潤させた。	
規則基準	設計 □住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 8.4 外壁内通気措置 8.4.1&8.4.2 同 4.3 防腐・防蟻措置 4.3.2 土台以外の木部の防腐・防蟻措置 1.ロ.外壁内に通気層を設け、壁体内通気を可能とする構造とする他、 □品確法：劣化軽減措置評価基準 □住宅保証機構：H21 性能保証住宅標準仕様書・設計施工基準 第9条（外壁の防水）第10条（乾式の外壁仕上）	施工 □住宅金融支援機構：H22 工事仕様書 参考図 8.4.1(A)～(D)及び留意事項 ※防風透湿シート下端部の押えの重要性について本文に記述無し。 □住宅保証機構：H21 性能保証住宅標準仕様書・設計施工基準・第9条 2(1)(4)、同第10条 1、2(2)(3)同解説 ※防風透湿シートの上端部の押えの必要性について本文に記述無し。
制御対策	■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。    ■通気層上部の気流抜け(軒裏又は外部若しくは小屋裏に連通)を確実に確保する。 ※切妻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の確保に注意    軒天井板を施工する場合に銅木等で通気路を確保した例 開口周囲のテープ押えは手順厳守	

	※通気工法において最も重要であり優先すべきことは土台への水切りの先行取付けである。 ■透湿防水シートの端部・重ね継手部は防水テープ等で重ね代下端を捲れや隙間なく確実に押える。 ■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。 ■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）。 乾式外装用のスターター付通気金具の使用例 透湿防水シートの下端は水切りに防水テープで押え、乾式外装用の金具をその上に取り付ける。(隅角部水切り役物の立上り部には防水テープをシート押えとして貼り付ける)
留意事項	■オレフィン系樹脂製透湿防水シートを保存処理木材に接して使用する場合は、防水テープ等によって接触面の絶縁措置を講じる事が望ましい。 ■通気工法用金物を使用する場合は、ビス等の留め付け部からの漏水を防ぐ（防水テープ張り等）措置を講じる。

【目次No. - 07】 間仕切り気流抜け（省エネルギー評価基準）

劣化部分	■壁	間仕切り内木部		
	■床	最下階床組部分・和室床板及周囲見切り造作部分		
劣化生物	カビ・シロアリ			
	No. 7 - 01	No. 7 - 02	No. 7 - 03	
	 間仕切壁中空上部のカビ  湿潤して結露が発生して蟻巣が形成された中空部の外観	 気流抜け部土台のカビ  抜け気流による結露でカビが発生し黒変した土台	 床断熱材から侵入した蟻道痕  畳寄隙間から侵入したシロアリによって発泡材が食害された新建畳	
物件所在	広島県呉市	山口県防府市	福岡県飯塚市	
竣工経年	H18/12→H20/09	H14/09→H17/06	H19/12→H21/07	
構造仕様	軸組構法：平屋建耐力壁合板ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・湿式外装材、床組：転根太床板張り、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、通常気密、外壁：湿式外装材直張り、床組：転根太床板張り、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：階建耐力壁合板ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、通常気密、外壁：通気工法・湿式外装材、床組：転根太床板張り、品質：性能等級評価仕様、	
劣化箇所	2階桁・床組・間仕切り	間仕切り・床組	和室畳寄せ・床組・床板	
劣化原因	■間仕切壁の下部・階段裏側の空間に気流抜けの隙間が残されていた。 ■ユニットバス収納区画の間仕切壁上部の湿気抜けを防ぐ気流止めが施されていないかった。 ■和室の造作工事(銘木加工が絡む床の間周り等)の際、床の断熱材や床板の施工を後工程としたことから、気流止め処理を怠っていたため床下から水蒸気が流入していた。			

	 間仕切壁下部の湿気抜け  階段下空間の湿気抜け  外壁下断熱材押え不備による湿気抜け  押入れ床裏の気流抜け  「床の間」裏側の大きな空隙  畳寄・敷居・床踏込下の気流抜け    ユニットバス周辺の気流抜け	
※ 軸組工法の場合、床板直張り方式に於いても見落とし易い気流抜け部分となっている。		
規則基準	設計 □(支)H22 工事仕様書 7. 断熱工事 7.4.10 気流止め 参考図 7.4.11-1  □断熱層室内側には気密措置を講じる。	施工 □ (支) H22 工事仕様書 7. 断熱工事 7.4.11 注意事項 参考図 7.4.11-1&2 図(D)(F) 

		 □間仕切り壁の上下端部には気流止め措置を講じる。
制御対策	■最下階の床組を転ばし方式とする場合は、幅・長さ方向共に弾力性のある断熱型通気止めや繊維系断熱材を充填する。※、参考品：既成の弾性・断熱型気流止め部材  ●間柱と間柱間の施工方法  ●柱と間柱間の施工方法  ■軸組工法の最下階床を床板直張り(ネダレス)とする。 ■軸組工法・枠組壁構法の如何を問わず、ユニットバス区画の間仕切壁(非耐力)上部の気流抜けを防ぐ措置を講じる。 ※軸組工法の床板直張り方式の場合は、和室「床の間」下部分も床板直張りにする。	
留意事項		

【解説】

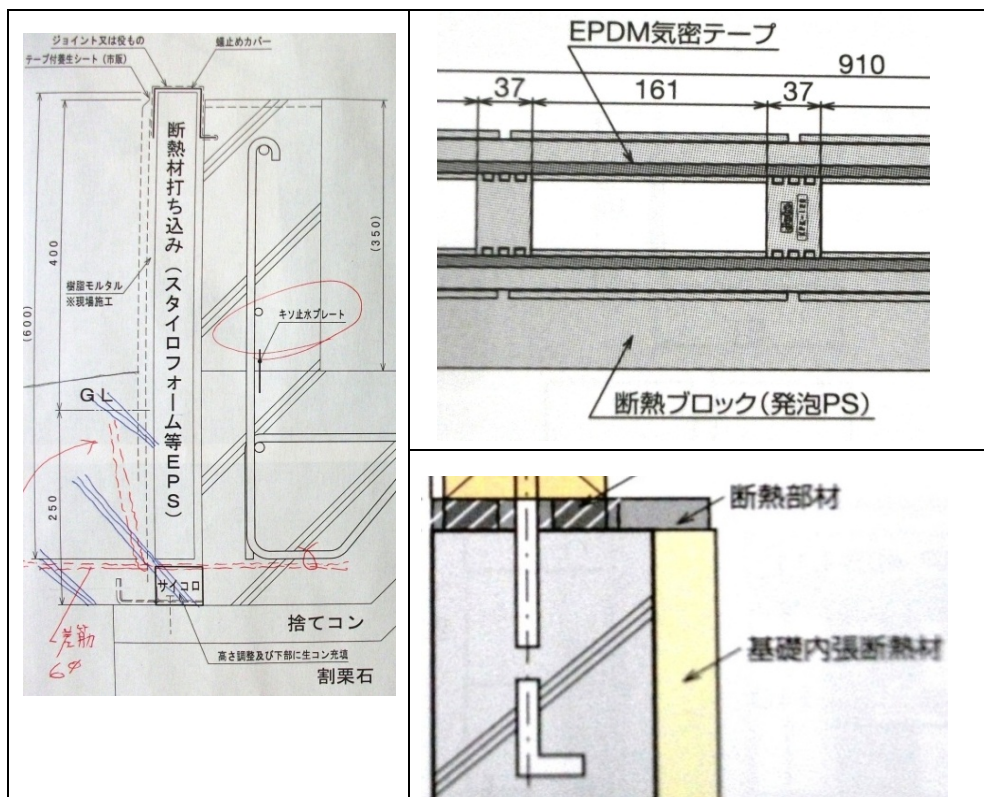
間仕切りや浴室区画・階段裏等に残される気流抜けは床下空間の排湿を停滞させ、且つ滞留した水蒸気が気流抜け部分を介して和室や他の居室空間に漏出する事につながり、結露やカビを生じさせる原因となり易いので注意が必要である。

【目次No. - 08】基礎断熱(外張・内張) (省エネ評価基準)

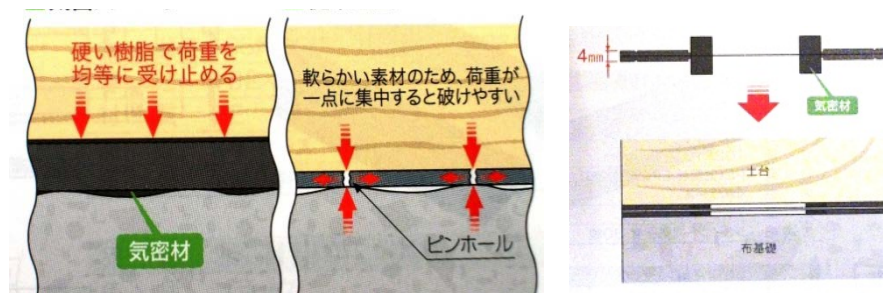
劣化部分	■床組	打込み断熱材及土台・床板・床組	
	□基礎	基礎天端の気密材及基礎天端の露出部分。	
劣化生物	シロアリ		
劣化事例	No.08-01	No.08-02	No.08-03
	 基礎内張断熱上部の吹付発泡材の不具合	 床発泡断熱材（EPS）上のシロアリ食害痕	 床発泡断熱材（EPS）のシロアリ食害痕
物件所在	岩手県花巻市	山形県天童市	和歌山県田辺市
竣工経年	H16/06→H19/06	H17/03→H20/06	H18/12→H19/08
構造仕様	枠組壁構法：2階建、ベタ基礎：内張断熱、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床・床板直張り、品質：性能等級評価仕様	軸組構法：2階建耐力壁合板、ベタ基礎：内張断熱、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床・床板直張り、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板ベタ基礎：内張断熱、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床床板直張り、品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	土台	一階床板・大引き	断熱材のみ
劣化原因	■コンクリートと断熱材の境界面にシロアリの侵入ルートが残されていた。 ■断熱材が地盤面下に接した状態であった。 ■基礎天端の断熱ラインの露出部分が見落とされていた。 ■基礎天端の発泡ウレタンが土台まで充填されて木部を被覆し放湿を妨げ湿潤させた。 ■断熱材と木部、断熱材相互の接統箇所に残った空隙が結露源となり木部を湿潤させた。 ■弾性気密材が基礎の天端不陸により圧迫伸張破断を起し土台が湿潤した。 ■基礎立上り打継部と剥離した犬走りとの隙間から内張り断熱材へシロアリが侵入した。		
規則基準	設計	施工	
	□住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書 3.4.基礎断熱	□住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書 7.4.5 基礎の施工	

制御対策

■断熱材の下部は、地盤面に埋め込み土砂と接触させない事。(基礎につながる配筋を施したコンクリートの土間=犬走りに打込んでおく等。)



■気密材を保護するスペーサーを補助する。(非鉄金属又は硬質樹脂製の耐圧板を差込む)



気密材は耐圧板の厚さ(4mm)以上は圧迫されず保護される。

■気密材には、パッキン材を圧迫破断から保護する耐圧措置を講じ、土台と基礎天端を長期に亘って絶縁状態に維持する事が必要。

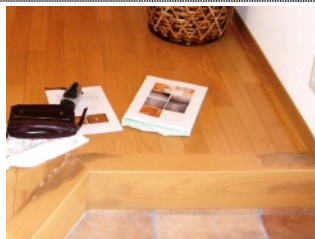
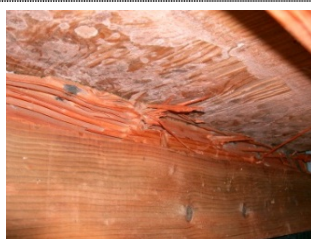
■外周基礎に接する犬走り・ポーチ土間等は基礎と一体の有筋コンクリートとし、土間の嵩上はコンクリートにて増し打ち方式とする。(地下シロアリの蟻道形成を制御監視する。)

	沖縄における基礎と犬走りの施工事例 ■発泡断熱材を使用する場合は、継手・加工部分の防蟻処理も必要となる。 ■基礎外張り断熱にはシロアリの遡上を阻止できる防蟻金物等を使用し、断熱材を遡行する蟻道が目視確認できる仕組みを講じる。(物理的防御による蟻害制御) ■基礎の断熱材張付けに於いては、地中に埋設する範囲を有筋コンクリートに打込み土壌に断熱材が接する事を防ぐ。 ■内張り断熱の場合、熱橋被覆用発泡材の吹付けに於いては、発泡材の吹付けを土台の放湿乾燥の妨げにならない範囲に限定する。
留意事項	■土間部（ベース基礎）を犬走りまで一体化した状態で設ける。その際、基礎立ち上がり設置部に段を付け、犬走り部を土間天以下に下げしておく。これにより万一打ち継ぎ部に隙間が発生した場合でも、雨水の浸入が防げる。(地下シロアリが床下に遡行する際は必ず犬走り土間の表面に遡行蟻道を形成する事から発見し易く、又、光や空気の動きを忌避するシロアリの生態を利用する事で食害予防対策とする方法も考慮する。)

【解説】

- ※北海道の道央や西部地域も含めて寒冷地域等で施工される基礎断熱に於いては、ヤマトシロアリによる食害が起き易く、特に外張断熱方式の食害が近年増えつつある。
- ※薬剤による土壌処理の代替措置としてベタ基礎を採用する例が増えており、基礎立上りに被せた外張の発泡系断熱材内部がシロアリの遡行ルートに利用される事例が増えている。
- ※ベタ基礎と内張断熱方式に於いても、基礎の打継部に残された型枠金物や水抜き穴等の貫通孔がシロアリの侵入ルートとして利用されることも少なくない。
- ※内張り断熱に於いては、基礎天端と土台の間にコンクリートが露呈し易い部分が残され易く熱橋による結露の発生と土台の湿潤が起き易くなる。又、この熱橋部分を吹き付け発泡材等で被覆する場合にも吹付け内側に空隙を残さないよう施工には慎重な措置が求められる。

【目次No. - 0 9】 玄関周り（バリアフリー対策評価基準）

劣化部分	■壁	踏込土間周りの軸組構造部分	
	■床	最下階床組・玄関上り框・床仕上部及軸組構造部分	
	□基礎	玄関土間及区画基礎部分	
	□外構	外部嵩上土間及勝手口踏み台部分	
劣化生物	シロアリ・腐朽菌		
劣化事例	No. 9 - 01	No. 9 - 02	
	 玄関上り框の湿潤による変色	 框土台の湿潤による腐朽	 框受木と床板の蟻害
物件所在	長崎県大村市	新潟県新潟市	和歌山県白浜市
竣工経年	H18/03→H19/10	H16/06→H18/08	H19/12→H21/07
構造仕様	軸組構法：2階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：発 泡系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：転根太床板張り、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：発 泡系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・湿式外装材、 床組：転根太床板張り、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：発 泡系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・湿式外装材、 床組：床板直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	玄関上り框・床組・柱桁	玄関上り框・床組	上り框・軸組柱・床板
劣化事例	No. 9 - 04	No. 9 - 05	No. 9 - 06
	 玄関踏込土間の蹴込剥離 部から侵入したシロアリに よる食害。ヒバ集成材土台 の食害は微小	 玄関上り框に下端木口が 接した化粧付枠のヤマトシ ロアリによる食害	 玄関建具と付枠裏側 に侵入し躯体木部に およんだ蟻害
物件所在	和歌山県海南市	東京都三鷹市	熊本県熊本市
竣工経年	H17/12→H22/05	H18/08→H24/07	H15/09→H18/10
構造仕様	軸組構法：2階建耐力壁合板	枠組壁構法：2階建、ベタ基礎（逆	枠組壁構法：2階建、

	ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：床板直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、	スラヴ方式)、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：剛床直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、	ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床直張り、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	玄関上り框・土台・床組	玄関付枠・上り框	玄関建具付枠・枠材
劣化原因	■シックハウス対策として設備された 24 時間機械換気が共用部分でも常時稼働していた事で、床下空間から玄関ホールへの漏気による湿潤が框部の木部に生じ、蟻害や腐朽を誘因する原因となっていた。 ■立上りコンクリート天端と木部(框・土台)の境界部が遮湿シートのみで絶縁されていた。 ■バリアフリー化により嵩上された土間と上り框(F L 面)の段差が少なくなり、土間下に埋設された土台の含水率が高まりシロアリの食害を受けた。 ■室内の機械換気により、常に室内側が負圧状態となり外気や床下空気が玄関框下の境界部から屋内側に吸引され、外気や床下空気に含まれる水蒸気がフィルター現象により框下の木部とコンクリート等の基礎との境界部に結露として残され腐朽していた。 ■框下の土台が継続的に湿潤を繰り返し木部の劣化リスクを高めた。 わずかな隙間によって、床下の湿気が框部分にたまり、湿気を帯びることにつながります。 ■玄関踏込土間の嵩上土砂と外部ポーチ土間の嵩上土砂が繋がりシロアリが侵入した。 ■玄関踏込土間と外ポーチ土間のコンクリートが連続して打設され、周囲の基礎と配筋による一体化がされず土間コンクリート端部が剥離しシロアリが遡上し土台が食害を受けた。		
規則基準	設計	施工	
	無し	無し	

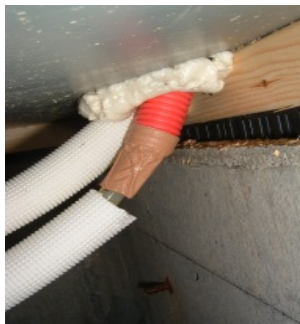
制御対策	■玄関踏込土間と外部ポーチ土間の隔離遮断。土間コンクリートを基礎と配筋して一体化させる。 玄関建具下は遮断する ■玄関框下に気密性・耐圧性に優れたパッキンを敷設する。 ■土台と框を並べる場合は、土間堰板や框下見切り材等を設置し、コンクリートと絶縁する。 ■框とモルタル部分を防水テープで絶縁する。 ■建具下の基礎立上り部とポーチ及び踏込土間は差筋等で剥離しないよう一体化を図る。 ■コンクリート打継部分の土壌はシロアリの侵入を防ぐため土壌処理用防蟻剤で処理する。 土間配筋
留意事項	◆玄関踏込土間の嵩上部分にシロアリの侵入を阻止する措置が重要。(土間と基礎の一体化) ◆玄関や勝手口周りの化粧框等の含水率を高めない気密措置が必要。 ◆玄関の上り框などに使用されることの多い集成材を芯材に使った化粧造作材は、蟻害・腐朽に備えた保存処理を講じる事が望ましい。

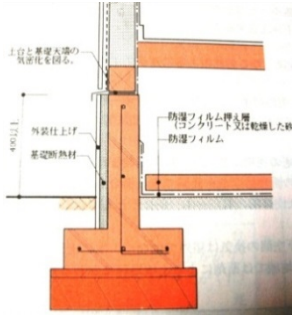
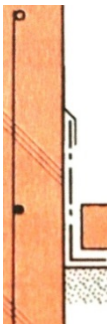
【解説】

※バリアフリー対策として玄関の上り框部の段差を180mm以内とする場合等は、踏込土間の仕上げ面が土台等の木部（特に桎組壁構法）より高くなることが多いので、湿潤し易くカビや腐朽あるいは蟻害を受けやすい状態になる。故に、玄関や勝手口の踏込土間周りの構造脚部木部には防湿措置を講じる事が必須である。又、シロアリの遡行ルートになり易い土間コンクリートと基礎の剥離を防ぐため、配筋を施し基礎と土間の一体化を図る事も求められる。

※シロアリは、建物外周のポーチや嵩上された土間下の土壌から外周基礎の打継部分に残された貫通孔や土間との剥離部分を通して侵入し、直近の木部に被害を及ぼすことが多いので、玄関・勝手口・土間テラス・犬走り部分には十分な注意が必要である。

【目次No. - 1 0】 土間防湿（劣化軽減措置評価基準）

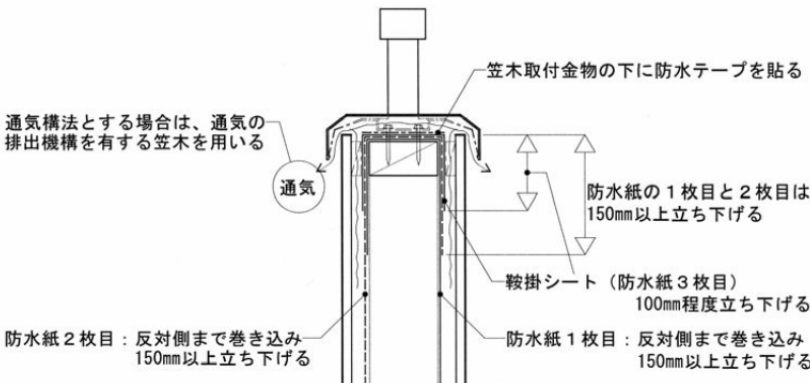
劣化部分	■床	最下階床組部分・床仕上部分・床裏断熱材部分	
	■基礎	防湿土間部分	
劣化生物	カビ		
劣化事例	No. 1 0－01	No. 1 0－02	No. 1 0－03
	 基礎天端の凍結と土台のカビ	 断熱材裏面の結露と配管保温材の湿潤による給水管凍結	 土間防湿シートの基礎際での捲れによる土壌水分床下への漏出と保存処理床組のカビ
物件所在	北海道釧路市	北海道留萌市	北海道室蘭市
竣工経年	H19/06→H20/06	H18/05→H20/06	H16/04→H22/09
構造仕様	軸組構法：2 階建耐力壁合板布基礎、土間防湿フィルム砂押え、充填断熱方式：吹込み断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：床板直張り方式、品質：性能等級評価仕様、※床下換気常時開放型、	枠組壁構法：2 階建、布基礎、土間防湿フィルム砂押え、充填断熱方式：吹込み断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床直張り方式、品質：性能等級評価仕様、※床下換気常時開放型、	軸組構法：2 階建耐力壁合板、布基礎、土間防湿フィルムモルタル押え、充填断熱方式：吹込み断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床床板直張り、品質：性能等級評価仕様、※床下換気常時開放型、
劣化箇所	床組・土台・床板	設備配管凍結・床組	床組木部・設備配管凍結
劣化原因	■床下防湿シート押えに無筋モルタルを使用したため収縮クラックが発生し、床下の地盤の沈降でシートの重ね部分が剥離し、床下の土壌水分が床下空間に漏出した。 ■床下防湿シートの基礎際立上り上端、入隅隅部などの押え不具合により床下土壌から水分が漏出し、床下空間を水蒸気飽和状態にした。 ■押えテープの粘着剤がコンクリートのアルカリ分と反応して接着力が低下し、防湿シートが剥離して土壌の水分が漏出、床裏断熱材の表面結露と木部湿潤を引き起こした。 ■基礎立上り部分への土間防湿シートの押えが不十分で、床下土壌の水分が床下空間に漏出し、木部と床断熱材の裏面で結露して、配管の保温材も湿潤させ配管凍結の誘因となった。		

	 基礎際で捲れた防湿シートの状態（左:砂利押え、中:コンクリート押え、右:押え土間コンの割れ）	
規則基準	設計	施工
	□住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書 3.3 基礎工事 5. 土間コンクリートの仕様：厚さ、土間の中央には 4mm 径以上縦横間隔 150 mm 以下のワイヤーメッシュを配する。 工事仕様書 3.3 基礎工事 14. 床下防湿 防湿土間の仕様：2) 防湿フィルムを施工する場合の規準。 同、木造住宅工事仕様書 3.4 基礎断熱工事 1.&2.及び 3.4.1 参考図 □住宅保証機構：設計施工基準第 6 条：基礎 解説の項。	□(支)工事仕様書 3.3 基礎工事 解説：参考図－3.4 - 1 & 3.4 - 2 防蟻措置の必要性に応じた基礎断熱(A)床下防湿シートによる防湿。 □(確)告示 3 - 1 (3)イ① 図 3-14 基礎断熱工法。※防湿シート上端押えは図示している。
制御対策	■防湿シート立上り上端は基礎立上り面にシーリング・テープ等でしっかり止め付ける。   (支)工事仕様書:参考図 3.4-2 土間防湿シートの端部 ■防湿シート押えコンクリートは有筋・差筋等で基礎立上り部と剥離しないよう措置する。 ■土間防湿シート押えには砂押え等、地面沈降への追従性に適した方法が望ましい。 ■防湿シートの継手や端部の押えはブチルゴム系以外のシリコン系粘着テープ若しくはシーリング剤等にて処置する。	
留意事項		

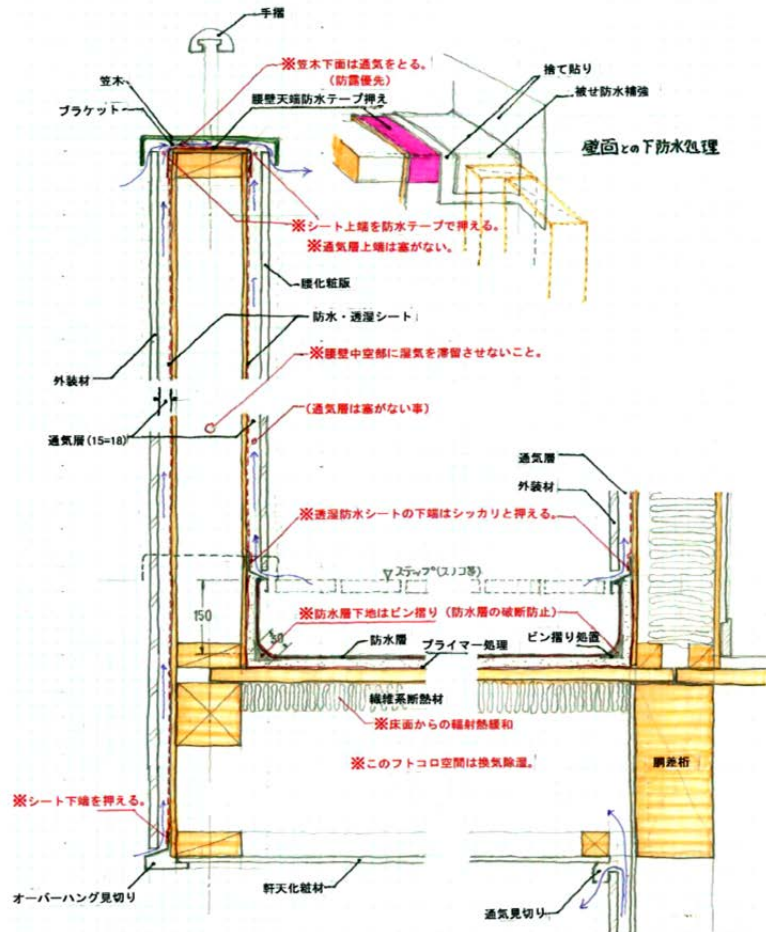
【目次No. - 1 1】 バルコニー周辺（評価基準対象外）

劣化部分	■屋根	階上バルコニー部分		
	■壁	外壁及バルコニー腰壁の取合い部分		
	■床	バルコニー歩行床裏の空間部分		
劣化生物	腐朽菌・シロアリ			
劣化事例	No.11－01	No. 1 1 －02	No. 1 1 －03	
	 漏水と結露による腐朽	 歩行床裏空間の結露による胴差桁の腐朽	 バルコニー受桁の湿潤による腐朽とヤマトシロアリによる食害	
物件所在	静岡県磐田市	神奈川県相模原市	宮城県塩釜市	
竣工経年	H14/03→H20/06	H18/12→H20/07	H17/06→H19/06	
構造仕様	枠組壁構法：、2階建 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：剛床直張り、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：床板直張り方式、品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、床組：床板直張り方式、品質：性能等級評価仕様、	
劣化箇所	片持張り床組及腰壁	2階軸組側の胴差桁	上階床裏組及断熱材	
劣化原因	■腰壁の内側通気層下端の押え不備に加え外装側・内側の通気層上端が閉塞されていた。			
	■腰壁と建屋の取合い部分の入り隅三次面の防水処置が不十分で漏水を招いた。			
	■笠木天端の透湿シートの重ね上に弾性防水テープの押えが施されていなかった（笠木取付用の金具の固定接合具が透湿防水シートに直接打込まれ漏水の原因となった。）			
	 通気層上部を閉塞した防水テープ	 天端防水テープの施工不備	 透湿防水シートに直止めされた金具	

	■腰壁天端の鞍掛け防水シートが笠木ホルダー部分に限定され、天端の全長に被せていなかった。 ■床裏空間(懐)の換気処置がされておらず、水蒸気飽和により結露を起した。 ■床面防水下地の入隅・コーナーが直角に納められ、熱収縮・膨張により破断していた。 ■排水ドレーンの縁部が防水層仕上げ面より突出し、防水層の熱膨張により剥離していた。 ■床面防水層の立上り上端のシーリングが三面接着状態で、プライマーの効果がバックアップ面で強すぎたため下線側が剥離していた。 ■階上型バルコニー直下の下階天井下地に気密措置が施されておらず、下階天井懐空間とバルコニー床下空間の遮断がされていなかったため、バルコニー歩行床裏空間への水蒸気の供給が慢性化し結露を繰返していた。
規則基準	設計 □住宅保証機構：H21 性能保証住宅標準仕様第2節第8条5項3号5号 □住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 8.15 バルコニーの床防水 同 8.16 バルコニーの手すり 同 5.10.1 跳ね出しバルコニー 同 5.10.1 の 6.FRP 塗膜防水仕上げの下地板張り。及び 8. 立上り壁の仕様。 A. 手すりの両側で通気を排出する笠木 B. 手すりの内側で通気を排出する笠木 (※バルコニー防水立上り部水切りの納まりは、下地面材が上まで伸びる場合と防水立上り範囲の場合(上図)で異なる。 通常の場合 風の影響が大きい場合 参考図 8-8 バルコニー手すりの通気構法の納まり例
	施工 □住宅保証機構：H21 性能保証住宅標準仕様第2節第8条5項3号5号 □住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書解説：参考図 8.15-1&8.15-2(A)～(D)、留意事項及び施工方法。同参考図 8.16-1&8.16-2、留意事項：笠木の取付方法。

	
制御対策	■腰立上り壁の外装・内張りに通気層を設け、その上端を開放する。 ■腰壁と建屋の取合い部分の防風層を破らないようにし、入り隅三次面の防水処置を確実に行う。 ■床面防水下地の入隅・コーナーには瓶摺り(45 度見附 30 mm以上)を施す。 ■排水ドレーンの縁部は防水層仕上げ面より突出させない。 ■床面防水層の立上り上端はシーリング充填納まりとし、下地のプライマー処理と底面のボンドブレイカー処置を施しシーリング材が 3 面接着とならないよう慎重に施工する。 ■笠木天端の躯体部分には下地シートの上から弾性防水テープ押えを施す（笠木取付用の金具の固定接合具からの漏水に備える）。

バルコニーの防水と防露



参考図

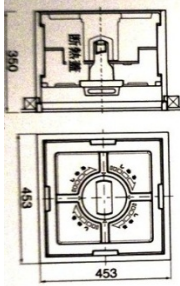
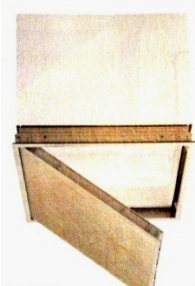
- 腰壁及び建屋側の外装下部水切りに防風透湿シートを被せ防水テープで確実に押える。
- ※市販されているオーバーハング見切りの下地への立上り取付部に予め透湿防水シート貼り付け用の両面粘着テープが施されたものがある。
- 笠木天端下地の防水層を貫通して金具固定用の接合具などをねじ込む場合は、プチルブッシング材等を添えて漏水しないように止水措置を施す。
- 階上型バルコニーの歩行床面裏の空間には換気に有効な措置を施す。
- 階上型バルコニーの施工にあたっては、下階天井面に気密措置を施し室内側天井裏空間とバルコニー歩行床裏空間を断熱材等で遮断する。

留意事項

- ◆バルコニーの腰壁、歩行床裏の隠蔽部は換気・断熱・気密措置が無い場合、外気との温度差によって水蒸気飽和状態となり易く、結露を繰り返すので、木部の湿潤によるカビの発生や合板剥離・腐朽の原因となり易いので注意が必要
- ◆バルコニー腰壁の天端は工事時の足場の掛代に利用され易く、工事中は透湿防水シートや防水シート（鞍掛けシート）を損傷する事が無いよう十分な養生措置が必要である。

【目次No. - 1 2】 点検口（維持管理評価基準）

劣化部分	■屋根	天井点検口部分		
	■壁	壁・小屋裏点検口部分		
	■床	最下階床下点検口部分		
劣化生物	カビ			
劣化事例	No.12－01	No.12－02	No.12	
	 天井板切込型点検口のカビ	 壁気密断熱型点検口のカビ	 天井点検口の結露によるカビ	
物件所在	大阪府枚方市	北海道旭川市	北海道留萌市	
竣工経年	H14/12→H23/08	H16/04→H20/06	H18/05→H20/06	
構造仕様	軸組構法：2階建耐力筋違、 ベタ基礎、充填断熱方式： 繊維系断熱材、通常気密、 外壁：湿式外装材直張り、 床組：転根太床板張り、 品質：性能等級評価仕様、	枠組壁構法：2階建、布基礎、 土間防湿フィルム砂押え、 充填断熱方式：吹込断熱材、 高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：剛床直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、 布基礎、土間防湿フィルム砂押え、 充填断熱方式：吹込断熱材、 高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：剛床床板直張り、 品質：性能等級評価仕様、	
劣化箇所	小屋束・小屋梁	点検口合板堰枠板	点検口囲い堰板	
劣化原因	■点検口の取付け開口と点検口の寸法不整合が生じ、点検口周囲に隙間が生じていた。 ■点検口の金属製蓋枠(角部)の継ぎ目が漏気し、熱橋が生じていた。 ■壁の点検口に天井用点検口を転用したため、ヒンジ部のズレにより枠に隙間が生じた。			
	 床に設けられた設備配管取出口や配管スペースの点検口は気密層の欠損になる ■高気密・高断熱仕様住宅の屋内に設備配管用の開口部が非気密状態で残されていた。 ■点検口自体の化粧面材に気密処置がされておらず、裏面の断熱材に気密漏れがあった。			

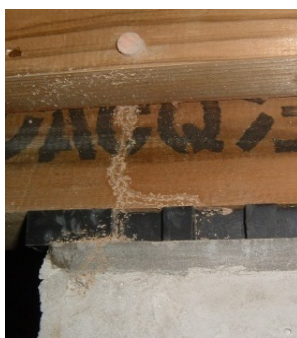
	■居室収納部(クローゼット等)の天井点検口に気密措置が施されていなかった。 ■最上階の天井下地に気密措置が施されていなかった。	
規則基準	設計	施工
	□住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 F35S 1.省エネルギー仕様 1.5.7. ロ.ハ.点検口の気密性 同 4.耐久性仕様 4.2.5 点検口の設置 1.2.	□住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 F35S 1.省エネルギー仕様 参考図 1.5.7-1 点検口まわり、(A)(B) 同 4.耐久性仕様 4.2.5 点検口の設置 1.2. 同 8.9.1 小屋裏換気 解説：施工方法③点検口
制御対策	■床・壁・天井・小屋裏等の点検口は点検口の蓋・枠の一体性と熱橋リスクのない気密性を備え断熱を付加する事ができる扉枠付き一体の専用タイプを使用する。 ■点検口取付け開口寸法の精度を良くして、点検口枠周辺の隙間を極力少なくする。 ■高気密・高断熱型点検口は開閉蓋の気密性に加え気密性の高い断熱蓋を併用する。 参考品：断熱内蓋が付随した蓋枠気密一体型     壁・小屋裏点検口(気密型) 床点検口(気密・断熱・収納型) 天井高気密高断熱型(寒冷地タイプ) ■最上階の天井下地には気密フィルム等の防湿措置を講じる。	
留意事項	◆最上階の天井裏に施す断熱材の空隙がヒートブリッジによる結露を招く為、隙間を最小限に納められる吹込み式（ブローイング）撥水性断熱材の使用が望ましい。（天井点検口には吹込み断熱材が崩れないように開口堰板枠が付随したものが必要となる。） ◆点検用開口部には補強用の桟木を添えて開口周囲の剛性を高め、点検時の人の重さに対しても極力撓みを押えられるような配慮が必要。	

【目次No. - 1 3】小屋裏空間（省エネルギー対策評価基準）

劣化部分	■屋根	小屋組木部・軒裏及び小屋裏空間・野地裏木部
	□小屋	小屋裏換気孔部分・軒裏換気孔部分
劣化生物	カビ・腐朽菌	
劣化事例	No. 1 3 -01	No. 1 3 -02
	 小屋裏換気不具合によるカビと腐朽	 換気不具合による小屋裏の梁・檼・野地板のカビ
物件所在	滋賀県彦根市	大阪府枚方市
竣工経年	H12/03→H24/11	H14/12→H23/08
構造仕様	軸組構法：2階建、耐力壁筋違、 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、 通常気密、外壁：湿式直張り外装材、 床組：転根太床板張り方式、 品質：性能等級評価無し、	構法：2階建、耐力壁筋違、 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、 通常気密、外壁：湿式直張り外装材、 床組：転根太床板張り方式、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	小屋組躯体・外壁下地木部	小屋組躯体・屋根下地木部
劣化原因	■小屋裏換気に斑があり、水蒸気の局所的な溜り空間をつくった。 ■瓦の掛け止め付釘が野地板を貫通し小屋裏空間に露出していた。 ■寄棟屋根の小屋裏換気の不全で、屋根裏に水蒸気のこもった部分が出来、木部の湿潤によりカビが繁殖・金物にも腐蝕が進行した。 ■小屋裏直下階の室内天井面に気密措置がされていなかったため、室内からの水蒸気が小屋裏に常時供給されていた。 ■小屋裏直下の室内暖房に開放型の灯油ストーブを使用する事があり、それに伴う水蒸気発生が影響していた。	
規則基準	設計	施工
	□住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 5.5 小屋組	□住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 5.5 小屋組～5.6 屋根野地

	同 7.4.9 屋根断熱材の施工 同 8.9.1 小屋裏換気 1.&2.	同 8.9 断熱 解説：施工方法(1)～(3) 及び①～③ 8.9.1 小屋裏換気 2.イ～ニ、
制御対策	■小屋裏換気孔を軒裏全周に均等に配し換気気流の澱み域を作らない。 ■小屋裏の頂頭部に気流を排出し易い換気出口を必ず確保する。 ■小屋裏直下階の室内天井面の下地には気密措置（気密バリアシート等）を施す。 ■小屋裏点検口等の開口部には気密性を備えた製品を設置する。（No.1 2 の項参照）	
留意事項	◆軒裏等に設ける換気孔として、スポット方式よりもライン状の全周換気方式を採用する方が、小屋裏空間に換気の澱み域が出来にくい点で好ましい。 ◆小屋裏に限らず、換気孔出入り口の設置は 2 カ所以上で高低差を 1 m 以上確保する事が望ましい。 ◆小屋裏空間へは室内空間（天井面等）からの水蒸気が侵入し難い気密措置を施すことが必要。	

【目次No. - 1 4】 防腐防蟻措置（室内空気環境評価基準）

劣化部分	■屋根	小屋組部分・屋根葺き下地部分		
	■壁	躯体隠蔽部分		
	■床	最下階床組部分・床及内装仕上部分		
	□外構	防蟻処理土壌部分・根伐り土埋戻し部分		
劣化生物	腐朽菌・シロアリ			
劣化事例	No. 1 4 -01	No. 1 4 -02	No. 1 4 -03	
	 保存処理土台の内部が腐朽した例	 保存処理材表面に作られたシロアリの蟻道	 保存処理土台の内部が腐朽した例	
物件所在	東京都三鷹市	熊本県玉名市	静岡県清水市	
竣工経年	H18/08→H24/07	H14/12→H21/06	H16/04→H21/10	
構造仕様	枠組壁構法：2階建、共同住宅 ベタ基礎：(逆スラブ)、 充填断熱方式：発泡系断熱材、 高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：剛床直張り、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建、耐力壁 合板、ベタ基礎、 充填断熱方式：繊維系断熱材、 高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：転根太床板張り、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建、耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、 高気密高断熱、 外壁：通気工法・湿式外装材、 床組：床板直張り方式、 品質：性能等級評価仕様	
劣化箇所	保存処理土台	保存処理土台	保存処理土台	
劣化原因	■ 保存処理された木材を切削加工して露出した無処理面の薬剤処理を怠ったため、そこから食害された。			
	※保存処理材であってもシロアリに対する忌避効果がない薬剤もあるため、薬剤によってはシロアリの侵入ルートとして利用される。			
	■ 工事中の床下空間の水蒸気飽和状態から発生した結露水が残り、保存処理木材にカビが蔓延し、腐朽菌が繁殖し易い環境におかれていた。			

規則基準	□建築基準法施行令：第 49 条の 2 地面から 1 m 以内の防腐・防蟻措置、 同第 20 条の 6 一、二、クロルピリホスの使用禁止。 □住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 4.3 木部の防腐・防蟻措置 □品確法：設計等級評価基準 3-1 劣化軽減措置 ※耐久性の高い樹種：D 1 材/保存処理材 ※耐久性の高い樹種規定（桧・ヒバ・・・） □住宅保証機構：性能保証住宅標準仕様書 （7）土台廻りの耐久性に係る措置(例)	□住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書 4.3.1 土台の防腐防蟻措置 4.3.2 土台以外の木部の防腐防蟻措置 4.3.3 薬剤の品質等 4.3.3 の 6 クロルピリホスの使用禁止。 同、4.4. ※ベタ基礎による土壌防蟻措置緩和規定。 □品確法：建設等級評価基準 3-1(3) 木造【解説】（i）～（iii）軸組等、 通気構造・薬剤処理。3 - 1 (3)イ①土台 □住宅保証機構：性能保証住宅標準仕様書 （7）土台廻りの耐久性に係る措置(例)
制御対策	■保存処理された木材であっても乾燥状態を維持し続ける措置が必要。 ■切削加工に伴って露出した無処理面は、防腐防蟻剤で確実に処理する。 ■床下の換気不全を起こさないよう、気流が停滞する原因を作らないようにする。 ■木部とコンクリートの接触部分には絶縁措置を講じる。	
留意事項	■保存処理された木材を切削加工した時にできる無処理面の薬剤処理を怠ると、蟻害や腐朽のリスクが高まる。 ■木材の保存薬剤による処理が必ずしもシロアリの忌避効果につながらないことを施工者に周知徹底する事が必要。 ■最下階床下地板に使用する合板には耐水性に有利な F☆☆☆を使用することができる。	

【目次No. - 1 5】 設備機器配管（維持保全：設備配管の更新）

劣化部分	■床	最下階床下及床組部分・床仕上造作部分	
	□基礎	ベタ基礎打継部分・設備配管打設貫通部分	
	□外構	付帯設備類の置台部分・二次側設備配管部分	
劣化生物	シロアリ		
劣化事例	No. 1 5 -01	No. 1 5 -02	No. 1 5 -03
			
	設備機器裏側の侵入蟻道	鞘管と配管の隙間からの侵入蟻道	配管の保温材に沿った侵入
物件所在	大阪府堺市	石川県小松市	埼玉県浦和市
竣工経年	H18/12→H20/06	H18/11→H21/08	H19/12→H21/07
構造仕様	枠組壁工法：3階建、 ベタ基礎、 充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：剛床直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：床板直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：床板直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	枠組壁躯体・二階側桁	軸組躯体	軸組土台・柱
劣化原因	■基礎部分のコンクリートに埋め込まれた配管保護材あるいは更新用の鞘管部・スリーブ貫通部分のシロアリ侵入防止措置が施されておらず、地下からの侵入路に利用された。 ■建物の外壁に接して設置された給湯器・空調室外機（或はその防塵カバー）が外壁脚部の通風を阻害し、メンテナンスの障害となっていたため、シロアリの侵入を見逃していた。		

	給湯管など(赤いライン)がシロアリの侵入路 外壁に接近しすぎた給湯機 機器カバーが隙間を塞ぎ給湯保温管の蟻道痕を見逃がした例	
規則基準	設計 □住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 F35S の 5. 耐久性・可変性に関する基準（劣化対策等級 3 及び維持管理対策等級 2）に係る仕様。 □2003 品確法：評価基準・技術解説：告示 4-1. (3)イ①. 専用配管は基礎立上り部を貫通する場合を除きコンクリート内に埋め込まれていないこと。 □ベターリビング協会：電気給湯機の安全性の確保他	施工 □住宅金融支援機構：H22 木造住宅工事仕様書 F35S の 5. 解説：5. 9 専用配管の 1 項、2 項。参考図 5. 9-1 ベタ基礎における専用配管の貫通。 □2003 品確法：評価基準・技術解説 等級 3. 解説図 4-6～9. □ベターリビング協会：戸建住宅の 1 階の屋内外に設備する給湯機器については地震時等の 0. 4 G の横力に安全を確保できる事。
制御対策	■外部に設置する設備機器は基礎外面から 10 cm 以上離し、監視・保守点検が容易にできるよう配慮すると共に通風を確保する。	

	空調室外機等は基礎から10cm程度離して設置 寒冷地域で普及している配管ヘッダー ■ 鞘管集中配管や床下ヘッダー方式など外周基礎を貫通する配管箇所数を少なくする。 ■ 基礎を貫通する設備配管の基礎外面部分の隙間は網目 0.5 mm以下の SUS メッシュや薬剤等を用いてシロアリが侵入できない措置をする。 ■ 基礎内側の貫通孔周辺は、防蟻薬剤で処理する。
留意事項	

【目次No. - 1 6】 太陽光発電設備（省エネ対策：評価基準）

劣化部分	■屋根	軒桁及屋根下地部分・軒部分・屋根葺き部分・頂棟部分
	■壁	外壁躯体上部軒桁部分
劣化生物	カビ	
劣化事例	No. 1 6 -01	
	 太陽光パネル下部葺き材の腐食錆が流出したと思われる変色。軒裏の外壁外装材の上部にも湿潤による変色が集中的に見られる。  右の屋根下地の状態、合板表面に繁殖したカビ	
物件所在	大阪府高槻市	
竣工経年	H16/12→H24/06	
構造仕様	構法：④㉔、基礎：⑧⑧、断熱：③③／㉔、気密：④㉔、外壁：⑤⑤／㉔、床組：⑤㉔／㉔、品質：③③／㉔、	
劣化箇所	屋根葺き下地・軸組上部軒桁・外装上部の下地	
劣化原因	■野地板に合板を使用した（小幅板のような水湿分の排湿効果が發揮できない）。 ■太陽光発電パネル設置範囲と直射日光を受ける屋根面や野地板・小屋裏との温度差が生じ、小屋裏空間の水蒸気飽和による結露が生じ易い状態となっていた。 ■合板野地板と防水ルーフィングの組合せが排湿機能を低下させ、結露しやすい状態であった。 ■化粧スレート葺きの止め付釘が合板野地板を貫通し小屋裏空間に露呈、太陽光発電パネルによる日陰部分との温度差により夏型結露を繰り返し、野地合板を湿潤させた。	

	野地裏湿潤(結露)事象の概略 作図:スレート葺きの場合(五寸勾配)	
規則基準	設計	施工
	無し	無し
制御対策	■屋根面に日陰が出来る場合は、遮蔽物と屋根葺き面の間にクリアランスを確保し外気流が屋根葺き材の上面に流れ易いパネル受け材を縦方向に配置するなどの工夫をする。 ■野地裏通気層をとるなど、小屋裏空間に温度差が生じにくい措置を講じる。 ■野地裏と小屋裏空間との間に断熱性を持たせた仕切り材による通気層を設ける。 ■勾配野地裏の通気層を確保し、小屋裏頂部に棟換気など効率の良い換気措置を講じる。 ■屋根面に隅棟や谷部を設ける際は、葺き材の防水仕舞を確実に措置する。 ■化粧スレート葺等の場合は防水層の上に流し桟+二重野地板方式を採用し葺材の止め付釘が小屋裏空間に貫通しない措置を講じる。 ■小屋裏には野地との間に通気層をもたせた外張断熱方式を施す。 ■妻側ケラバ等の外壁との雨仕舞には破風板等を施し十分な止水・水切り措置を講じる。	
留意事項	■勾配屋根への太陽光発電設備設置作業者へ「小屋裏温湿度環境への影響等」に関する情報提供を連携よく徹底する必要がある。	

【目次No. - 1 7】 外構ガーデニング（評価対象外）

部位部分	■屋根	軒先下地木部・軒裏下地木部・屋根下地木部
	■壁	内部中間間仕切り部分・合板表層
	■床	1 階床組部分・床板合板表層
	□基礎	外周附帯土間コンクリート部分・換気孔部分
	□外構	植栽植込み部分・植栽樹木部分・根伐り整地部分
劣化因子	シロアリ	
劣化事例	No. 1 8 - 01	No. 1 8 - 02
	 柱の蟻道の痕跡(下から見上げた状態)	 床下断熱材の空隙部(根太の間)に形成された分巢
物件所在	鹿児島県鹿屋市	和歌山県南部市
竣工経年	H19/04→H21/06	H16/12→H18/09
構造仕様	軸組構法：平屋建耐力壁合板、ベタ基礎： 充填断熱方式：繊維系断熱材、通常気密、 外壁：通気工法・乾式外装材㊟、 床組：転根太床板張り、品質：性能等級評価仕様、	枠組壁構法：2 階建、ベタ基礎、 充填断熱方式：繊維系断熱材、 高気密高断熱、 外壁：通気工法・湿式外装材、 床組：剛床直張り、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	床組・軒桁・間仕切り	耐力壁・床組・間仕切り

劣化事例	No. 1 8 -03	No. 1 8 -04
	 軒桁と垂木の接合部分の蟻道痕と蟻害	 壁断熱材に形成されたイエシロアリ分巢
物件所在	福岡県福岡市	長崎県平戸市
竣工経年	H20/03→H21/10	H19/12→H23/08
構造仕様	軸組構法：2階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：発泡系断熱材、 高気密高断熱、外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：転根太床板張り、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、外壁：通気工法・湿式外装材、 床組：床板直張り方式、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	軒桁・屋根下地	軸組・軒裏下地木部
劣化原因	■樹木の根幹部に営巣したイエシロアリが、根伐り部の埋戻し土に混在していた木片や大鋸屑等を伝って建物の床下に侵入した。＝下図参照＝ 	



外部の木製デッキが換気孔を塞ぎ、通風や陽当りを遮るとシロアリ侵入のリスクを高める

- 敷地内に、シロアリ巣が混入した若木樹を移植した。
- 根伐り掘削溝の木質残材を除去せず、敷地内に残置されていた土砂を埋戻しに使用した。
- 建物基礎外周に接して密度の高い植栽を設けていたため、蟻道の形成を見落としていた。



梅枯死木の食害



イエシロアリの巣を抱えた移植桜



通換気障害となった花壇の例

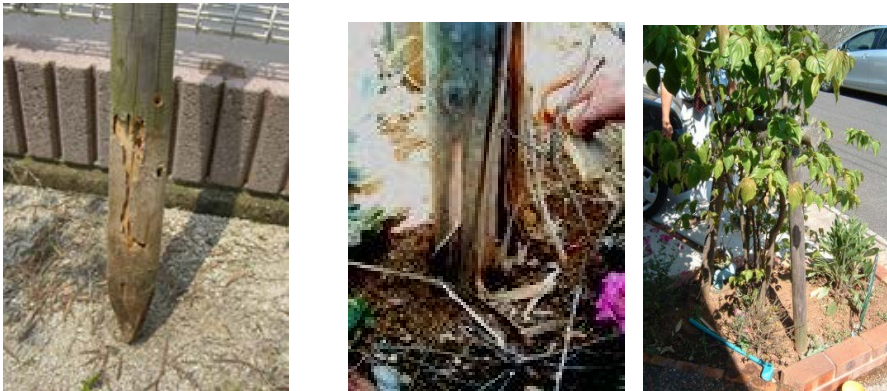
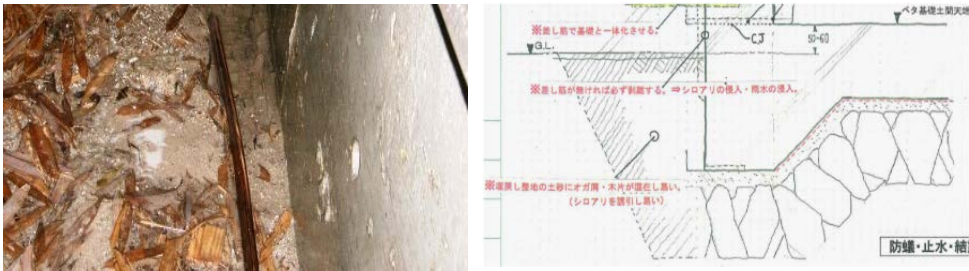


クロマツ根元に営巣されたイエシロアリの本巣

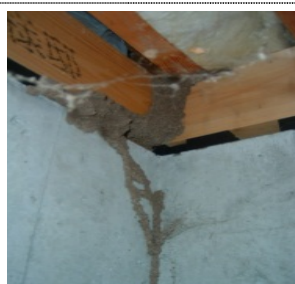


倒木中のヤマトシロアリ巣

規則基準	設計	施工
	無し	無し

制御対策	■建物外周脚部に接する植込み花壇や灌木等の植栽を控える。 ■植栽・樹木は家屋からできる限り距離を確保する。 ※シロアリは、樹木の根圏に好んで巣をつくる傾向がみられる。 ■宅地内に枯死木・切株・木材の残材・木製エクステリア等を放置しない。 ■建替え新築時には旧家屋の木材片の撤去や土壌の入替整地を行う。 ■新築住宅の敷地内の灌木や植栽木の周辺にはシロアリの生息モニタリング用の副木やベイトステーション等を埋設し定期的に点検し、樹勢やシロアリ生息の有無を調べる。  ベイト容器部材の例 ベイト容器埋設状態 回収型容器の例 回収型容器の埋設状態 ■イエシロアリとヤマトシロアリのいずれにも対処する場合には、摂食型防蟻材若しくは回収型処理土壌ステーションを設置し、地下巣（本巣及び中継分巣）を根絶させる。  間伐材(スギ)埋設部の食害 造園植栽副木の食害
留意事項	 ■根伐り埋戻し土砂に敷地内の土を使用する場合は木屑や木粉、大鋸屑等は十分に除去する。

【目次No. - 1 8】 点検・維持管理

劣化部分	■壁	躯体外周脚部	
	■床	床組部分・床裏断熱材部分	
劣化生物	シロアリ		
劣化事例	No. 1 9 - 01	No. 1 9 - 02	No. 1 9 - 03
	 植込みから侵入したシロアリによる床組(スギ大引)の食害	 基礎を廻行したシロアリによる土台軸組の食害と蟻土による換気孔閉塞	 気流の働きが弱い換気部の蟻土と食害
物件所在	和歌山県田辺市	静岡県三島市	新潟県新潟市
竣工経年	H17/11→H20/07	H14/12→H20/08	H16/06→H18/08
構造仕様	軸組構法：2 階建耐力壁合板 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、通常気密、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：転根太床板張り、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2 階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、高気密高断熱、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：転根太床板張り、 品質：性能等級評価仕様、	軸組構法：2 階建耐力壁合板、 ベタ基礎、充填断熱方式：繊維系断熱材、通常気密、 外壁：通気工法・乾式外装材、 床組：転根太床板直張り、 品質：性能等級評価仕様、
劣化箇所	土台及び大引・軸組脚部	土台及軸組脚部・床板	土台・軸組
劣化原因	  		
	■生活用具を外周基礎に添わせて置いたため、床下換気を阻害しシロアリの侵入を助長した。 ■基礎に沿わせた花壇や物置が床下換気口を遮断し通気阻害と蟻道の形成を助長していた。		
規則基準	設計	施工	
	無し	無し	

制御対策	■換気開口部の換気障害による劣化リスクに関する「住まいの維持管理」について居住者への注意喚起を徹底する。(引渡時の重要説明事項とする事) ■建物外周部の床下換気孔周辺に近接して換気障害となる日用品・物置等の障害物を置かない。 ■建物外周部の基礎に接して密度の高い植栽を控える。
留意事項	

【解説】

シロアリは気流や紫外線を忌避する性質があり、日陰や換気障害が蟻害や木部の湿潤を誘発しやすい。

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ついて検討した。次に、その結果に基づいた非破壊評価技術を検討するとともに、既存建物の維持管理における補修判断基準を検討することを全体の計画としている。

接合部強度試験では、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ことを目的とした。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とし、これまでにイエシロアリおよび菌床培養した腐朽菌による強制劣化方法の基本方法を明らかにした。しかし、腐朽菌による強制劣化方法の場合、接合部を評価する上で必要な試験体数の確保や劣化程度の再現性に問題があり、これを解決する必要があった。そこで、ファンガスセラーによる強制劣化方法を新たに検討することにした。そして、ファンガスセラーによる強制劣化操作が完了した試験体について接合部強度試験を実施し、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、これまでに接合部強度試験が終了した部材による縦圧縮試験を実施し、縦圧縮強度と劣化程度との関係を検討した。更に、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も検討した。

5.2. 実験方法

5.2.1 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、ファンガスセラーによる方法について検討した。

(1) 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 5.1）と材端部とした柱用（写真 5.2）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することとした。

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נק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。



写真 5.1 土台用（材中間部）ファンガスセラー



写真 5.2 柱用（材端部）ファンガスセラー

5.2.2 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。

加力試験後、接合部の断面状況の観察、ピロディンによるピン打ち込み深さ、レジストグラフによる穿孔抵抗、全乾法による含水率測定を行い、非破壊評価パラメータを得た。

5.2.3 部材縦圧縮試験

接合部強度試験が終了した部材から材長を最大 315mm とした試験片を採取した。採取した試験片は、断面寸法、材長、質量を測定した後、単調増加荷重による縦圧縮試験を行い、密度（ ρ ）と縦圧縮強さ（ σ_c ）との関係を検討した。

5.3. 結果および考察

5.3.1 ファンガスセラーによる強制劣化方法

ミストシャワーによる散水状況を写真 5.3 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。

試験体を設置しファンガスセラーの湿度条件が安定してから 6 ヶ月後に取出したベイツガ試験体の状況を写真 5.4 に示す。土台部材の土壌に接した部分で、腐朽発生が目視で確認できた。柱部材の土壌に接した部分は、腐朽発生は土台部材に比べて軽微だった。また、ベイツガ以外の樹種では、腐朽発生は確認できなかった。そのため、今回検討した方法では、樹種により腐朽発生の難易があると考えられ、木質構造物材の強度評価に今回の方法を用いた場合には、この点を踏まえて実験計画を立てる必要がある。

5.3.2 接合部モデル試験

ファンガスセラーで強制劣化させた試験体で作製したベイツガ接合部の荷重変形曲線を図 5.1 および図 5.2 に示す。荷重変形曲線は、最大荷重に達した後の荷重減少は、どちらも緩やかだった。また、各荷重ステップにおける繰り返しの影響は、繰り返し回数が増えるに従って同一荷重時の変位が若干増加する傾向が示唆された。

接合部の試験前および試験後の状況を写真 5.5 および写真 5.6 に示す。生物劣化の発生状況は、どちらも柱よりも土台の方が顕著だった。また、写真 5.5 よりも写真 5.6 の方が、その程度は大きかった。写真 5.6 の土台釘接合部の切断面を写真 5.7 に示す。生物劣化は、材表面から約 10mm の深さまで達していること、ほぞ穴部分周辺が他の部分と比べて含水率が高いことが断面観察により確認できた。

5.3.3 部材縦圧縮試験

縦圧縮強さを処理条件別に比較した結果を図 5.3 から図 5.6 に示す。なお、これまでに得られているイエシロアリによって強制劣化した接合部の試験結果も比較のために図にプロットした。腐朽菌により劣化したグループおよびイエシロアリにより劣化したグループは、コントロールと比べて縦圧縮強さが小さくなる傾向だった。

密度と縦圧縮強さとの関係を図 5.7 に示す。密度と縦圧縮強さとの関係には、正の相関が認められたことから、部材の縦圧縮強さを推定するパラメータとしては、密度が有効と考えられる。また、これまでに得られた結果では、ピロディンによるピン打ち込み深さと密度との間に相関が認められていることから、ピロディンによるピン打ち込み深さが部材の縦圧縮強さを推定するのに有効である可能性があると推察される。



写真 5.3 ミストシャワーによる散水状況



写真 5.4 ファンガスセラーから取出したベイツガ試験体

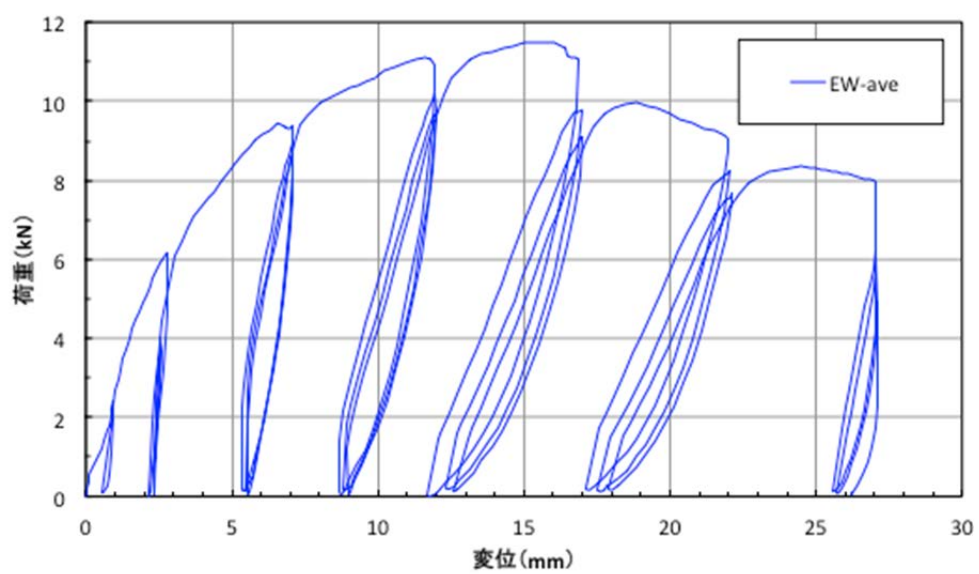


図 5.1 荷重変形曲線 (TP ID : G4R52P28B27)

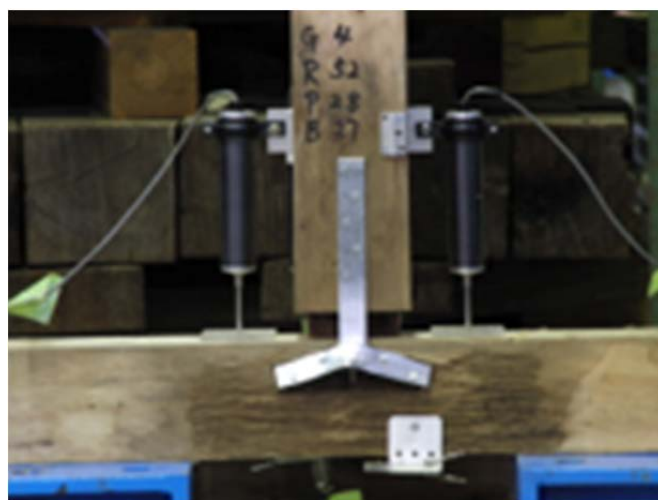


写真 5.5 接合部の状況 (上：試験前、下：試験後)

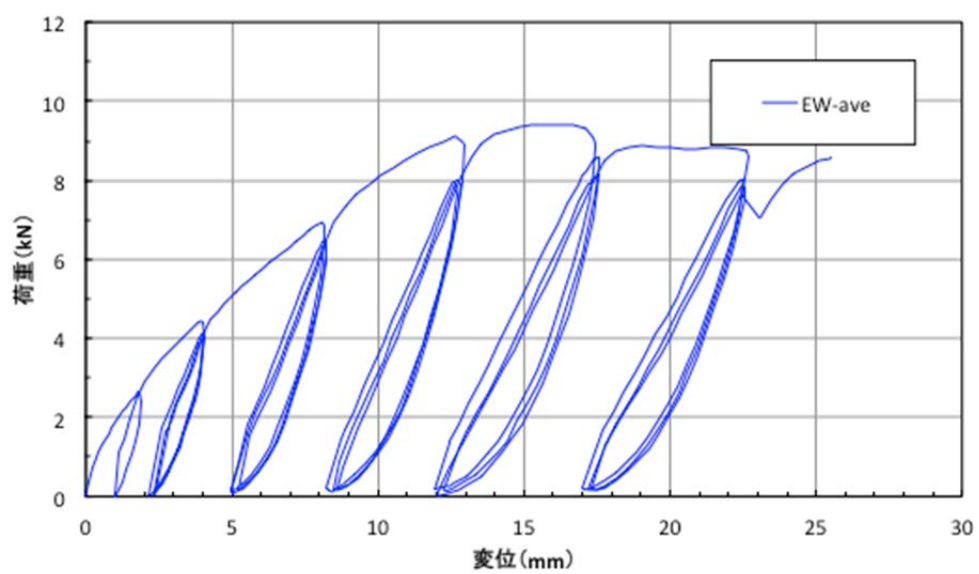


図 5.2 荷重変形曲線 (TP ID : G4R52P17B37)



写真 5.6 接合部の状況 (上：試験前、下：試験後)



写真 5.7 土台釘接合部の切断面
(TP ID : G4R52P17B37)

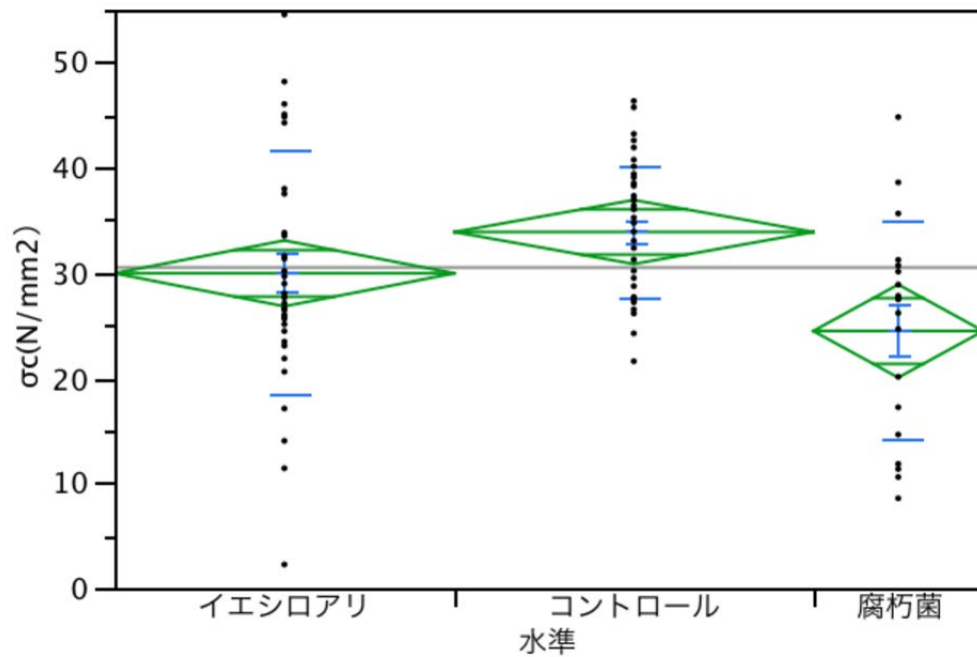


図 5.3 縦圧縮強さ (σ_c) の比較 (アカマツ)
(◇ : グループ平均の 95%信頼区間、- : 誤差バーおよび 1 標準偏差)

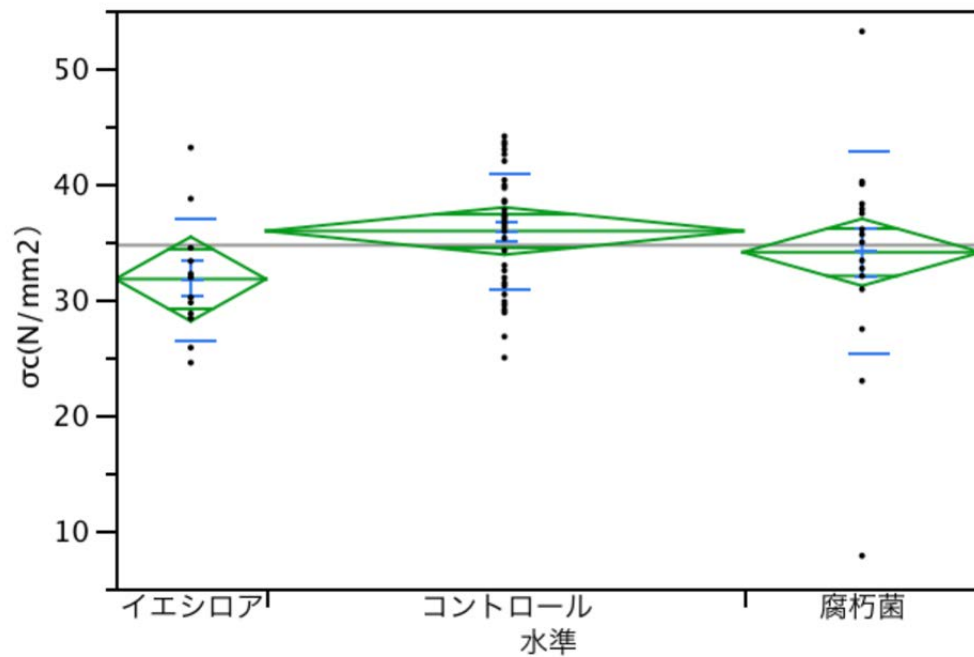


図 5.4 縦圧縮強さ (σ_c) の比較 (スギ)
 (◇ : グループ平均の 95%信頼区間、- : 誤差バーおよび 1 標準偏差)

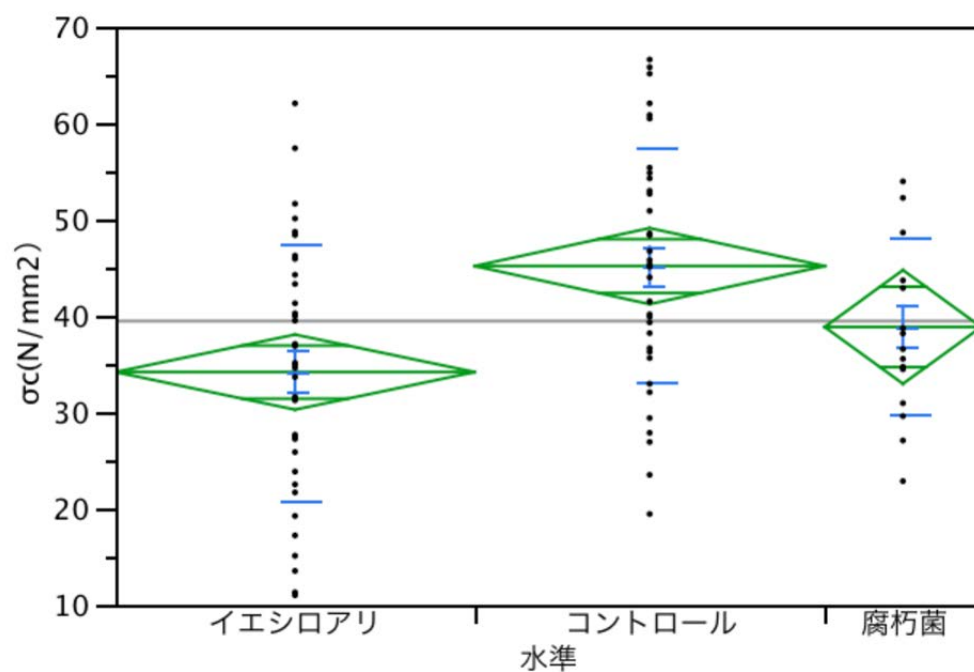


図 5.5 縦圧縮強さ (σ_c) の比較 (ベイツガ)
 (◇ : グループ平均の 95%信頼区間、- : 誤差バーおよび 1 標準偏差)

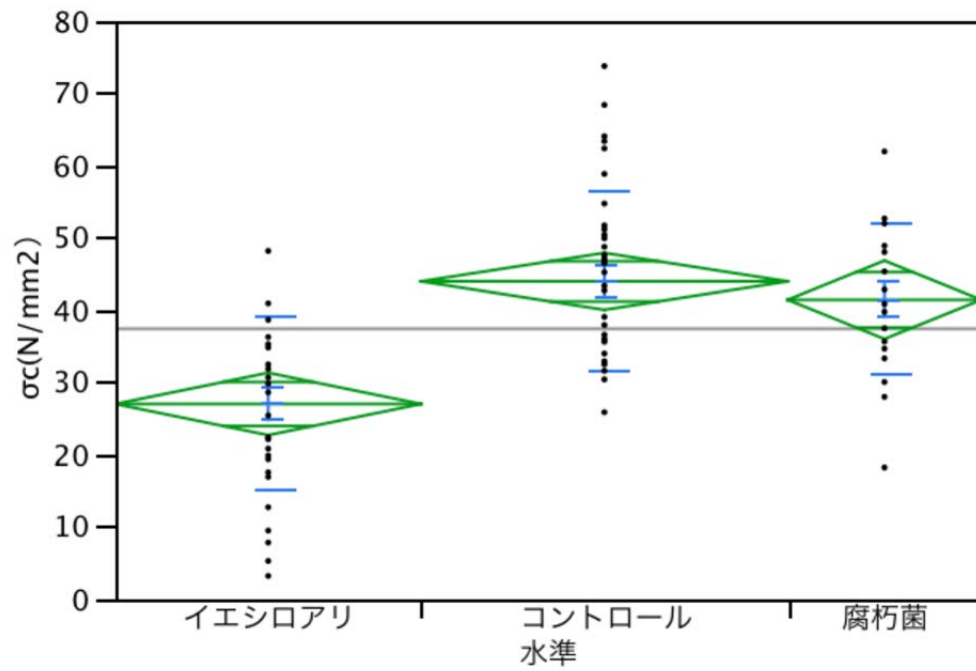


図 5.6 縦圧縮強さ (σ_c) の比較 (ベイマツ)
 (◇ : グループ平均の 95%信頼区間、- : 誤差バーおよび 1 標準偏差)

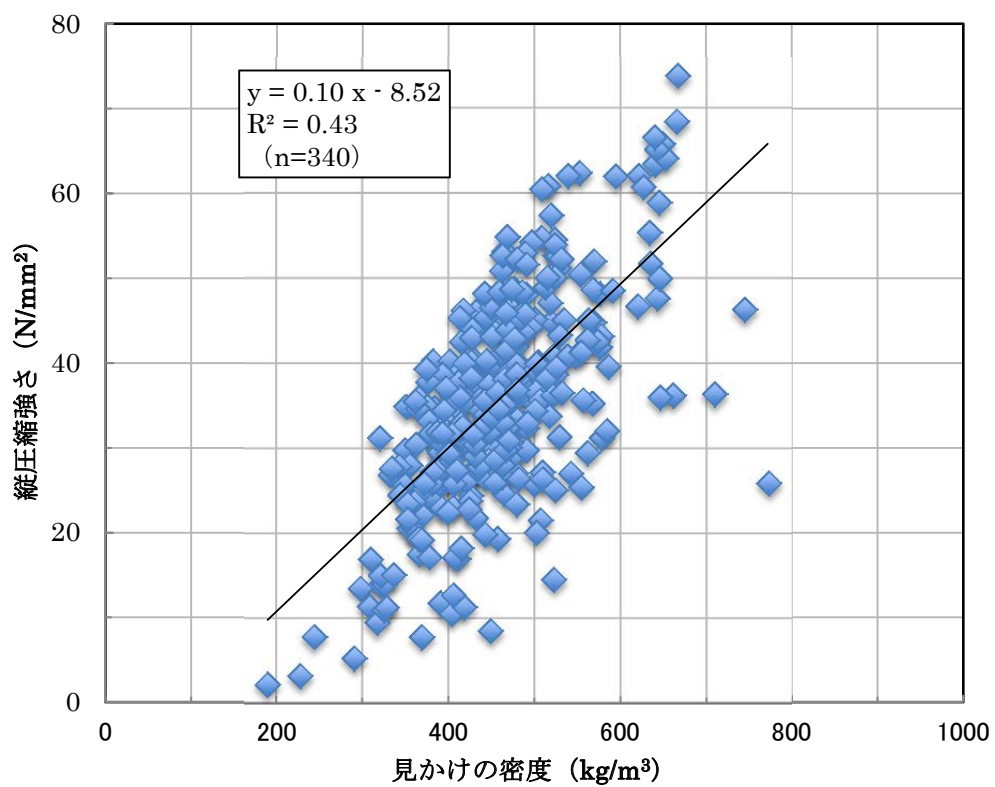


図 5.7 密度と縦圧縮強さとの関係 (全樹種)

5.3.4 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。

(1) 解析モデルの概要

解析モデルの概要を図 5.8 に示した。総 2 階の 6m×8m 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 5.1 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 5.2 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。

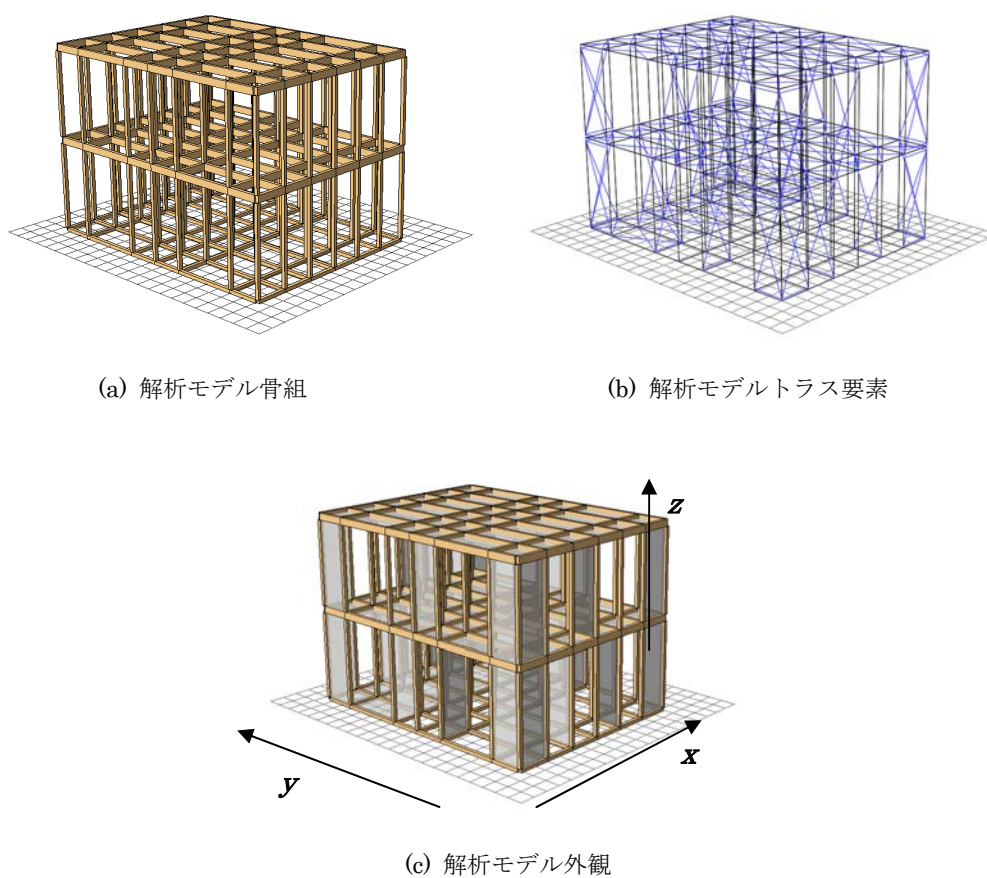


図 5.8 解析モデルの概要

表 5.1 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

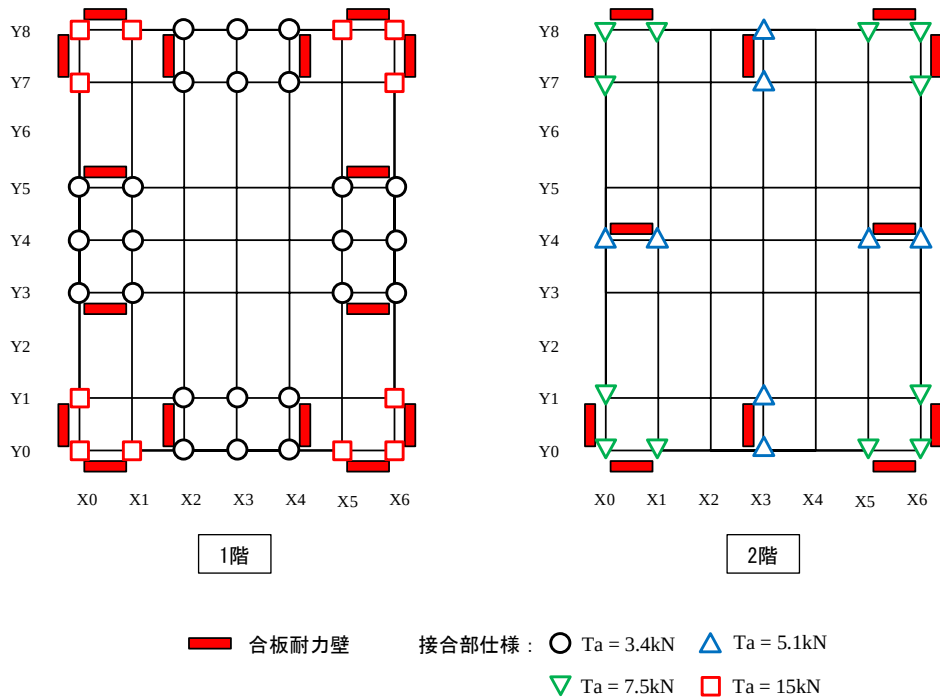


図 5.2 解析モデルの壁配置と接合部仕様

(2) 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 5.3 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 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。

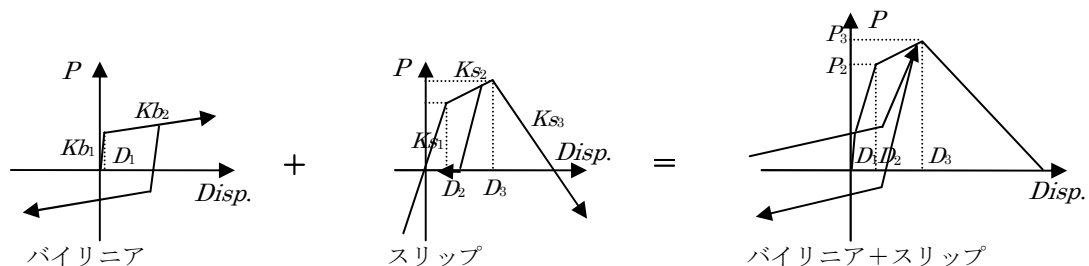


図 5.3 鉛直構面の履歴特性

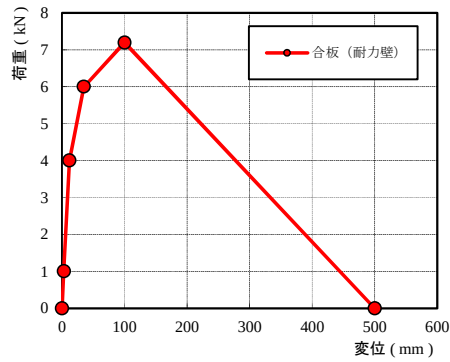
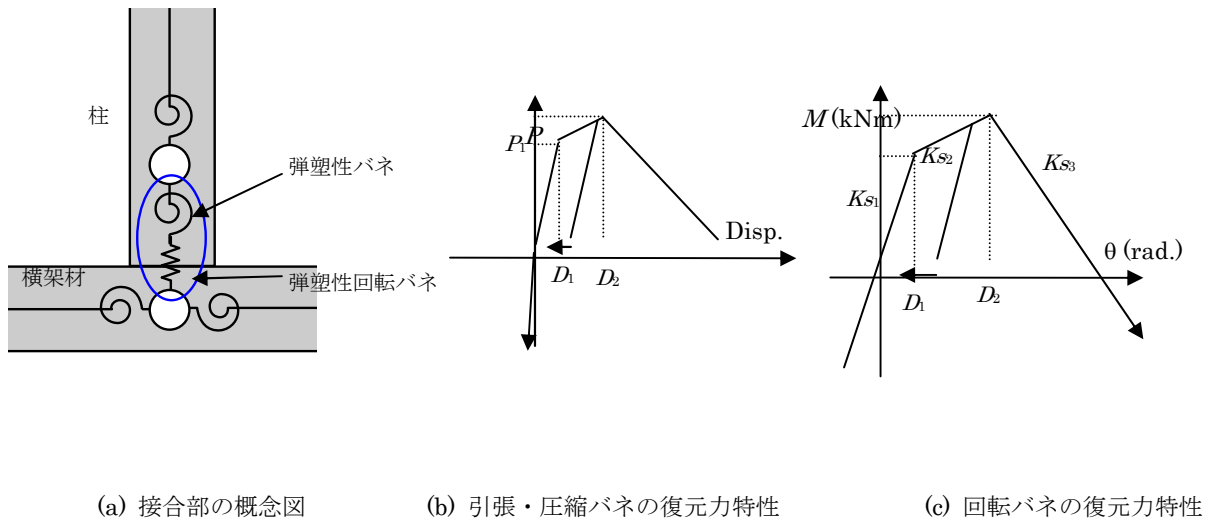


図 5.4 鉛直構面の骨格曲線

柱脚・柱頭接合部は図 5.5(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 5.5(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 5.5(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 と 15kN である仕様については実験値を参考に図 5.6 に示した CP-T (T 形金物) と HD15kN (ホールダウン金物) の骨格曲線を用い、必要耐力が 3.4kN と 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。



(a) 接合部の概念図

(b) 引張・圧縮バネの復元力特性

(c) 回転バネの復元力特性

図 5.5 接合部のモデル化概要

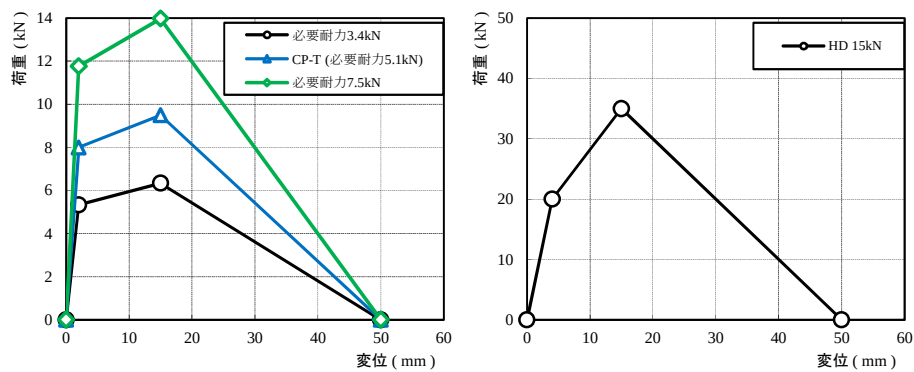


図 5.6 接合部の骨格曲線

(3) 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、接合部の実験において約 50%耐力が低下する結果に基づき、解析モデルの 1F の図 5.7 に示した範囲の接合部の耐力が 50%に低下した状態（モデル A～D）を想定し応答解析を行った。

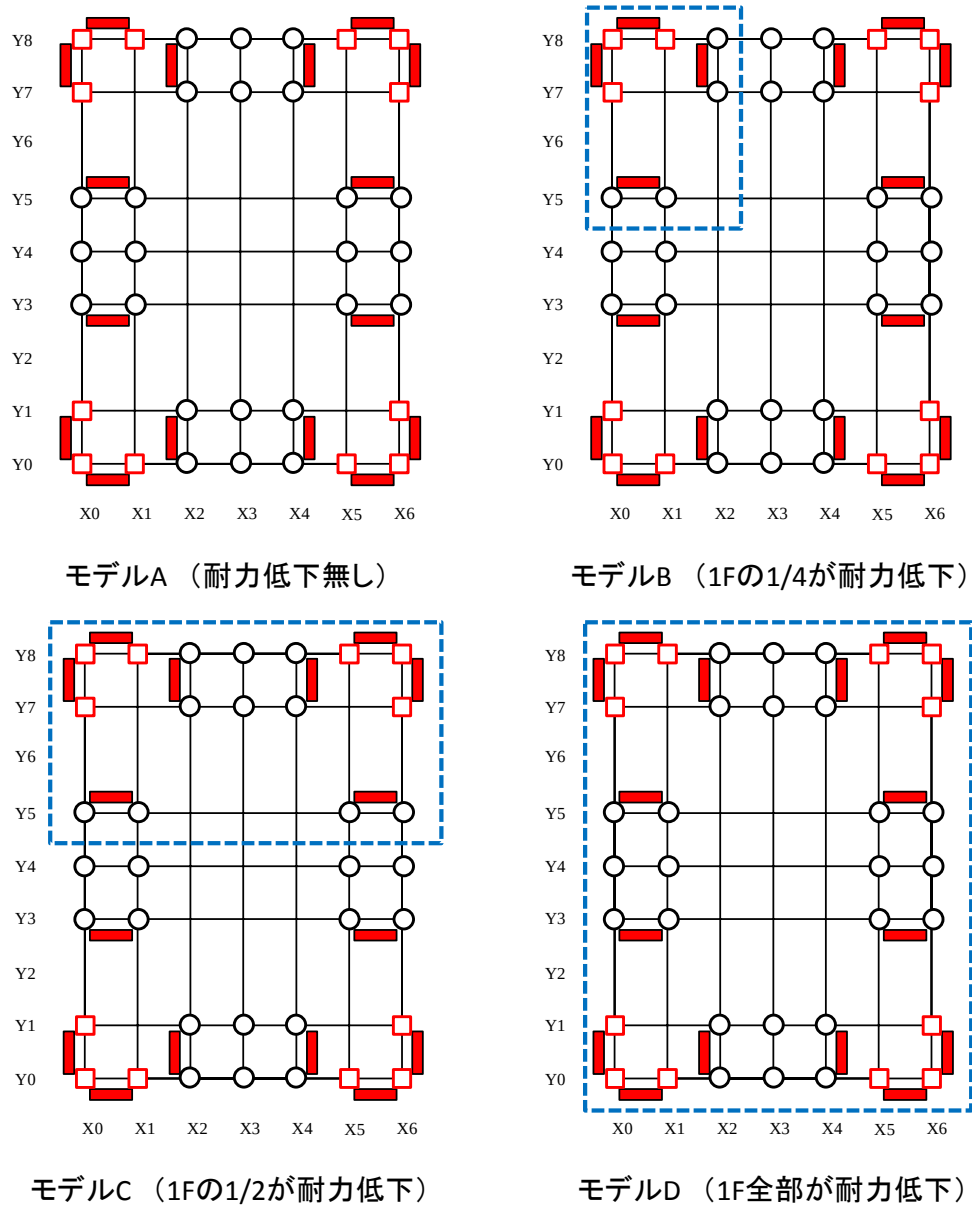


図 5.7 接合部の耐力低下の範囲

（点線に囲まれた部分の柱脚柱頭が耐力低下すると仮定）

(4) 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) 入力地震波

応答解析の入力波には建築基準法で規定する極稀地震相当の加速度応答スペクトルに適合するように作成した人工地震波（第1種地盤補正スペクトル：ランダム位相）を用いた。時刻歴波形の計測時間は30秒で包絡線関数はJennings型とした。本解析モデルでは17%が稀地震、85%が極稀地震に相当する。応答スペクトルと時刻歴波形を図5.8に示した。（以降、BSL17%、BSL85%と呼ぶ）

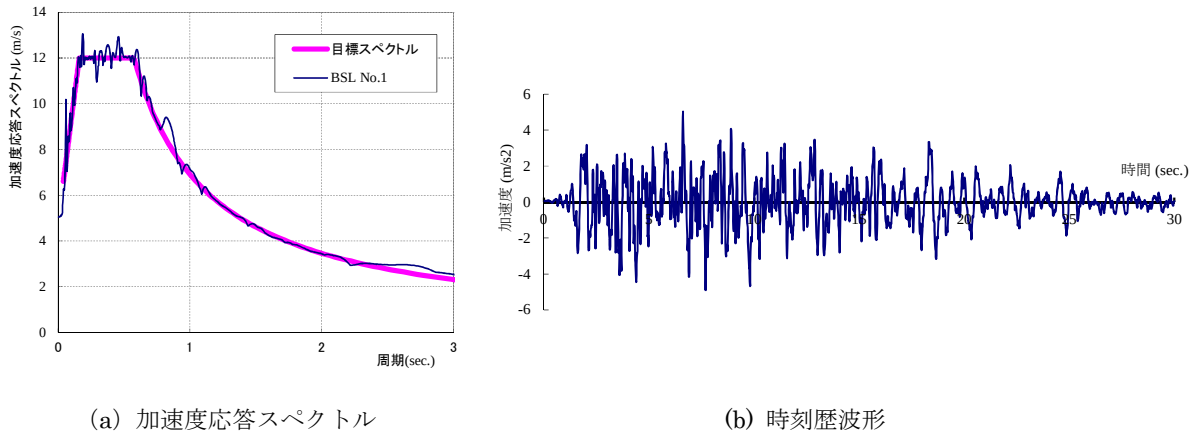


図 5.8 人工地震波の概要

(6) 解析結果

各解析モデルの各階各方向の最大層間変形を表5.2、図5.9に示した。図5.10に柱脚の浮上り量の最大値をグラフで示した。

大地震相当の地震波（BSL85%）の入力では、接合部の耐力低下の範囲が広いほど2Fの層間変形は大きくなる傾向となった。1Fの層間変形はモデルA、B、Cは耐力低下の範囲が広いほど大きくなる傾向となったが、モデルDはモデルCよりも小さい結果となった。モデルDでは1Fと2Fの剛性の差が変わったためと考えられる。中地震相当の地震波（BSL17%）でも、同様の傾向となった。

柱脚の浮上りは耐力低下の範囲が広いほど大きくなる傾向となった。モデルCでは接合部の耐力低下の平面的バランスに差があったため、X方向の地震波入力で、Y0通りとY8通りで偏心が大きくなる傾向となった。

表 5.2 解析モデルの層間変形（単位：mm）

解析モデル	地震波	X方向				Y方向				柱脚浮上り	
		1F		2F		1F		2F		X方向	Y方向
		Y0通り	Y8通り	Y0通り	Y8通り	X0通り	X6通り	X0通り	X6通り		
モデルA (耐力低下無し)	BSL 17%	13	13	12	12	14	14	15	15	1	1
	BSL 85%	114	114	52	52	105	105	80	80	3	5
モデルB (1/4エリア耐力低下)	BSL 17%	13	14	12	13	15	14	16	15	2	2
	BSL 85%	111	118	60	52	104	103	86	85	7	7
モデルC (1/2エリア耐力低下)	BSL 17%	14	16	12	16	15	15	17	17	2	2
	BSL 85%	108	121	60	55	96	96	99	99	9	9
モデルD (全域耐力低下)	BSL 17%	15	15	15	15	16	16	19	19	2	2
	BSL 85%	118	118	74	74	100	100	105	105	9	11

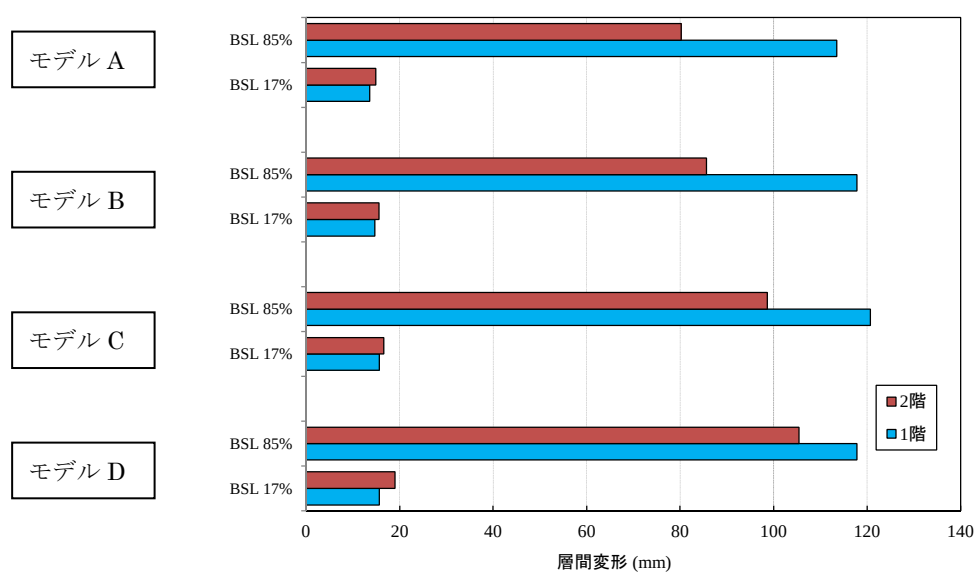


図 5.9 解析モデルの層間変形

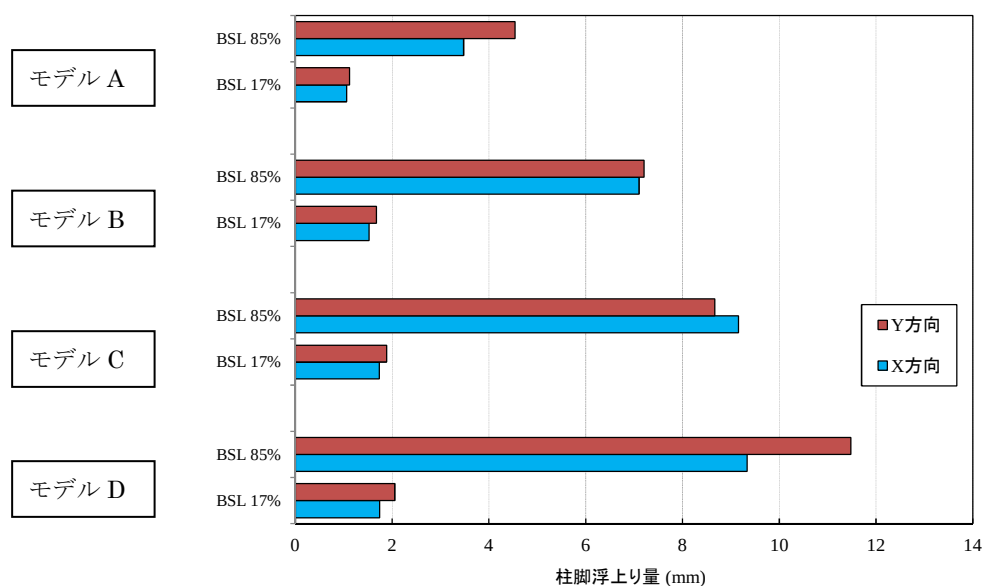


図 5.10 解析モデルの柱脚浮上り量最大値

(7) まとめ

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4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2Fの層間変形は大きくなる傾向となった。1Fの層間変形は、耐力低下の範囲が半分になるモデルまでは範囲が広いほど大きくなる傾向となったが、全面的に耐力低下した解析モデルは半分为耐力低下した解析モデルよりも層間変形が小さい結果となった。1Fと2Fの剛性の差が変わったためと考えられる。柱脚の浮上りは耐力低下の範囲が広いほど大きくなる傾向となった。接合部の耐力低下の平面的バランスに差がある解析モデルでは、X方向の地震波入力で偏心が大きくなる傾向となった。

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応答に影響を及ぼすことが示唆された。

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

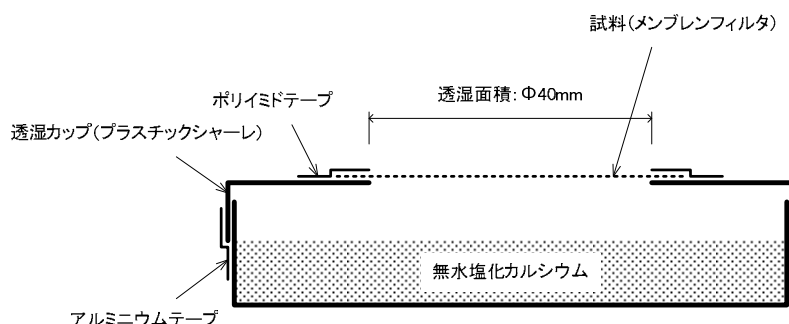
材料面までの湿気貫流率を測定したうえで、試料表面の含水率をシミュレーション計算で求め、菌糸定着時間と材表面相対湿度（含水率）の出現頻度との関係を整理する。

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

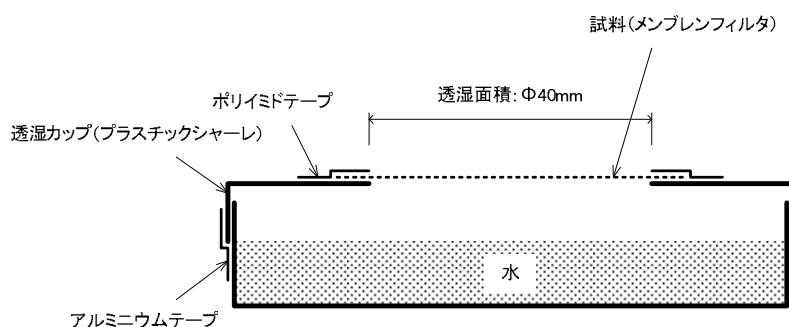
(1) 試験方法

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 $1.26 \times 10^{-3} \text{m}^2$ （ $\phi 40 \text{mm}$ ）とした。試験条件を表1に示す。

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



条件記号 A：ドライカップ法



条件記号 B：ウェットカップ法

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

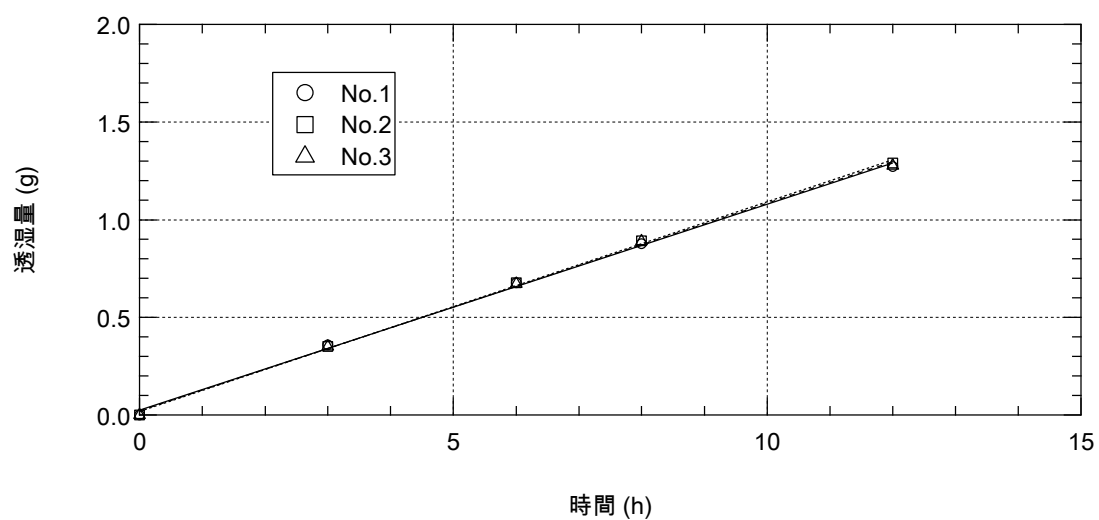


図 3 透湿量と時間の関係 (条件 A)

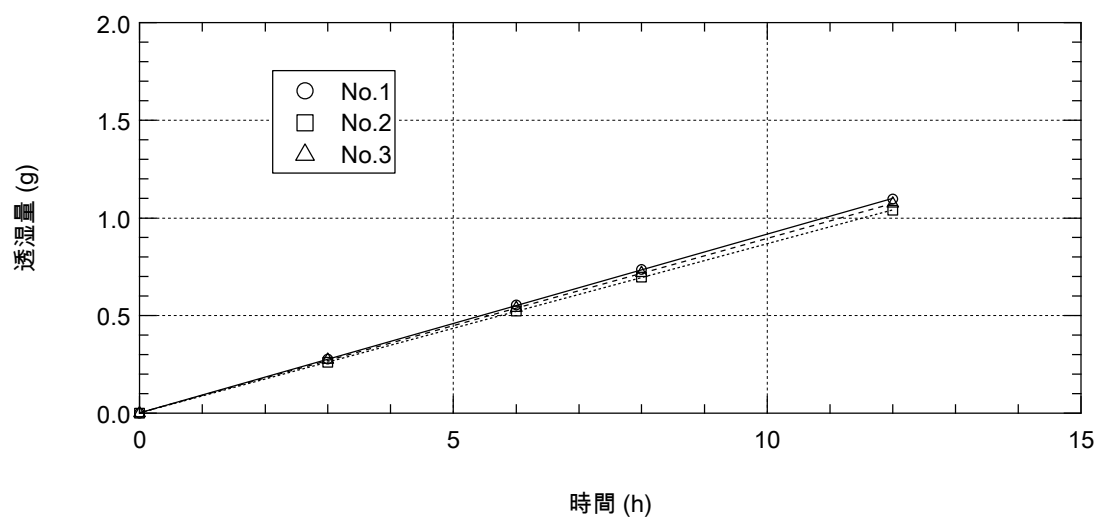


図 4 透湿量と時間の関係 (条件 B)

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。

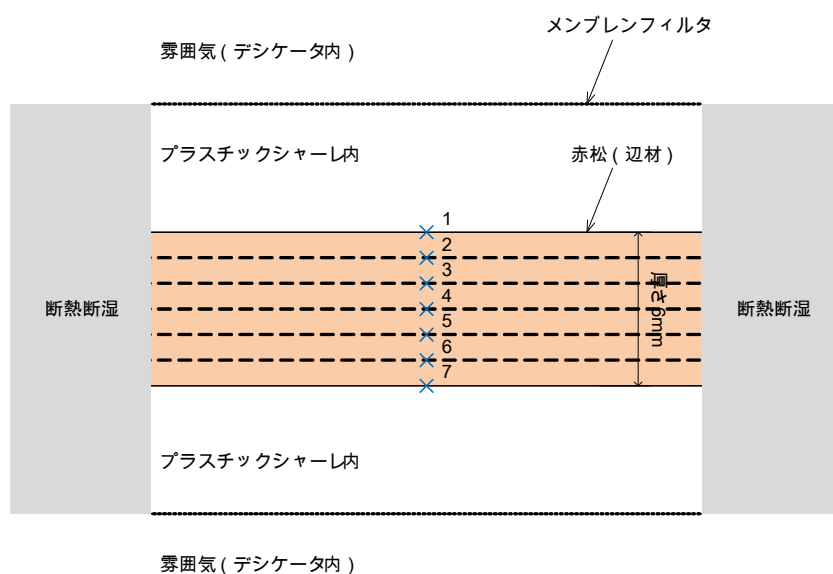
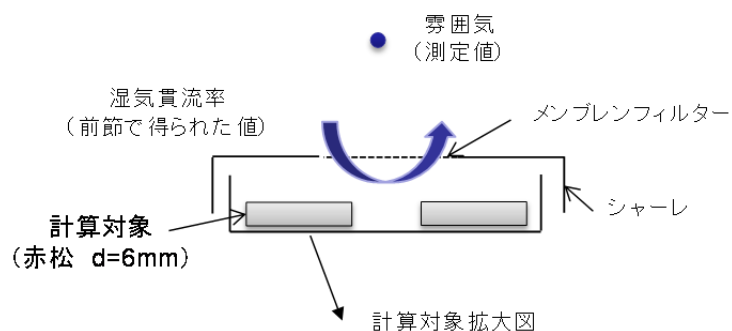


図 5 計算対象及び試料含水率の出力位置

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

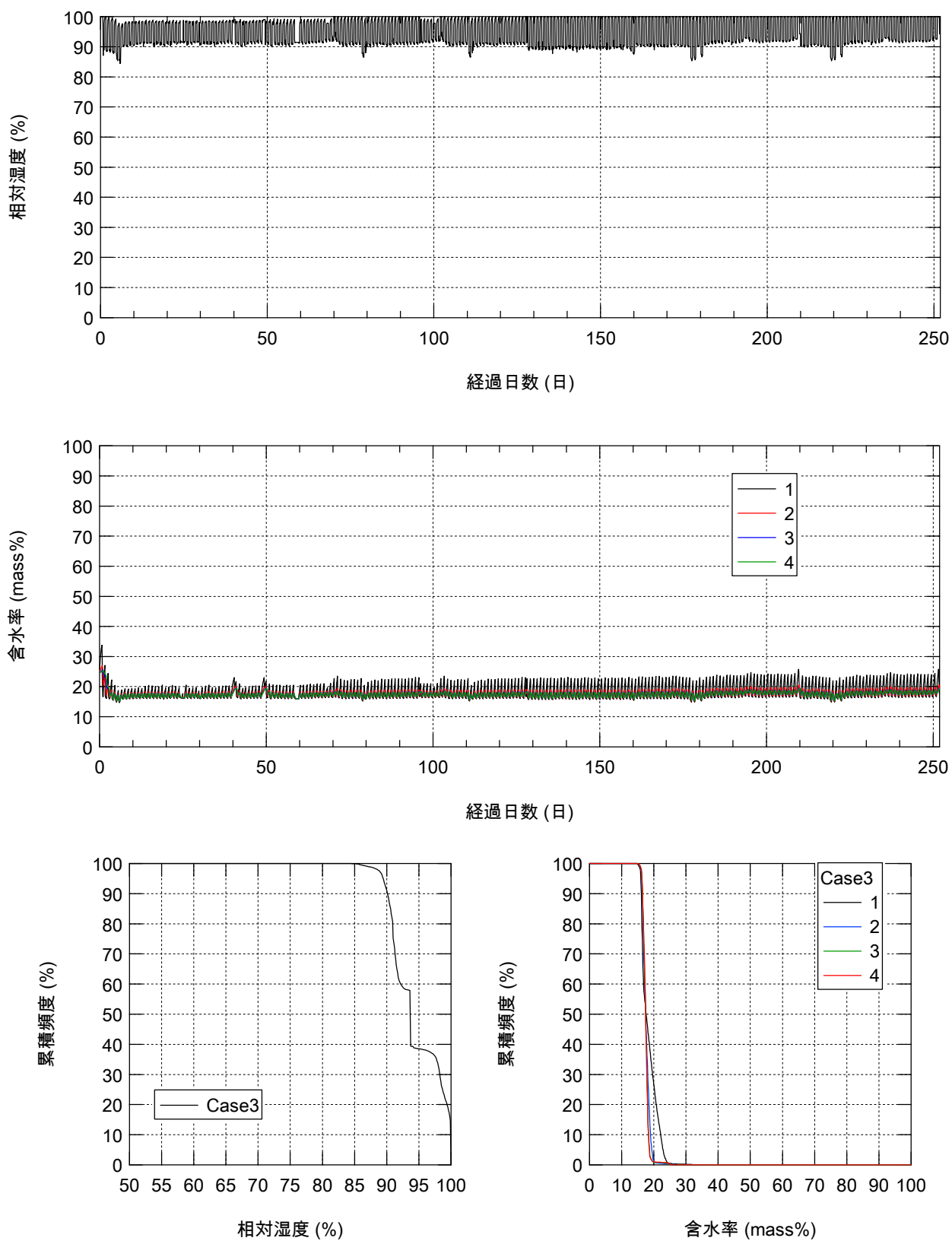


図 6 Case3 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

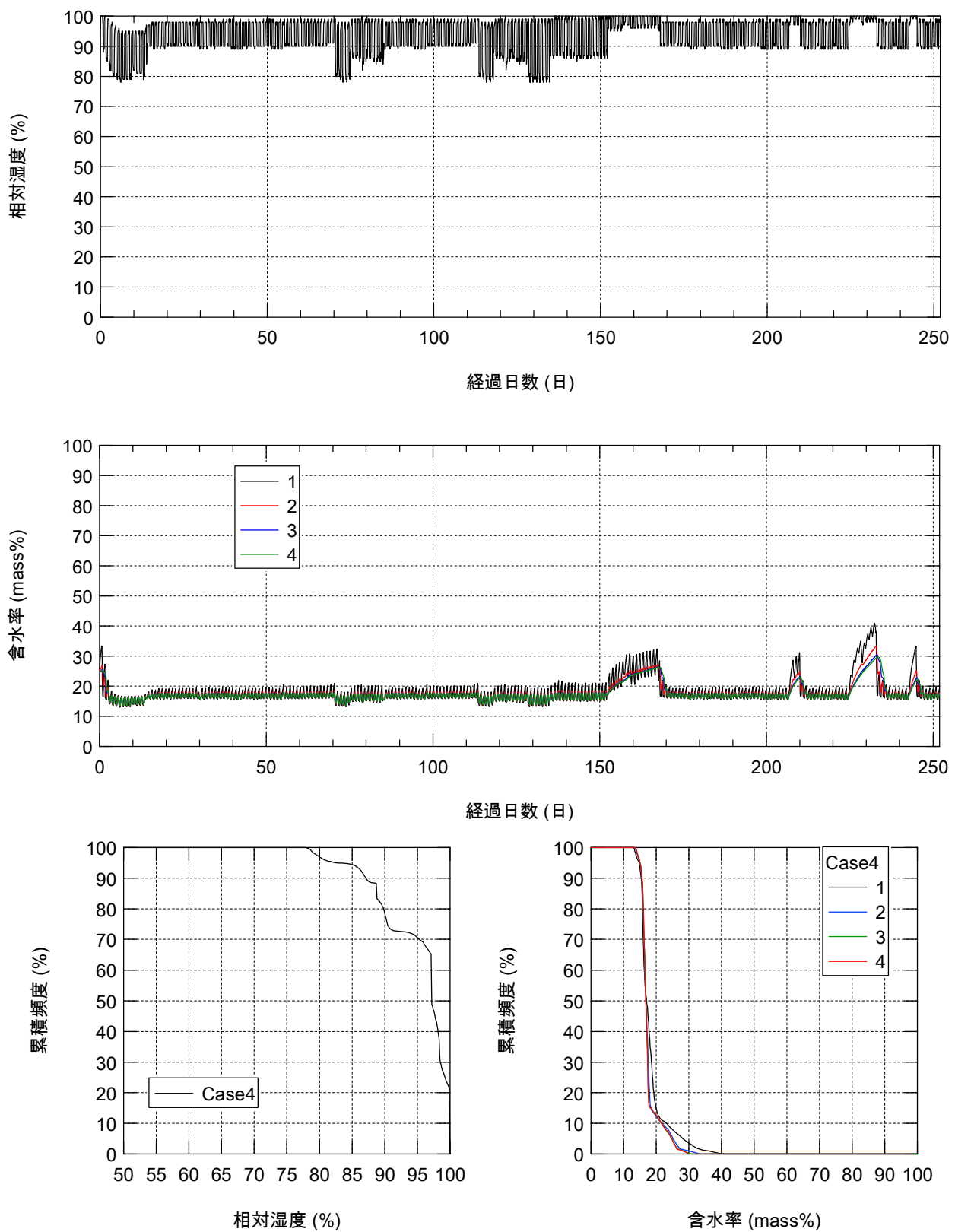


図7 Case4 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

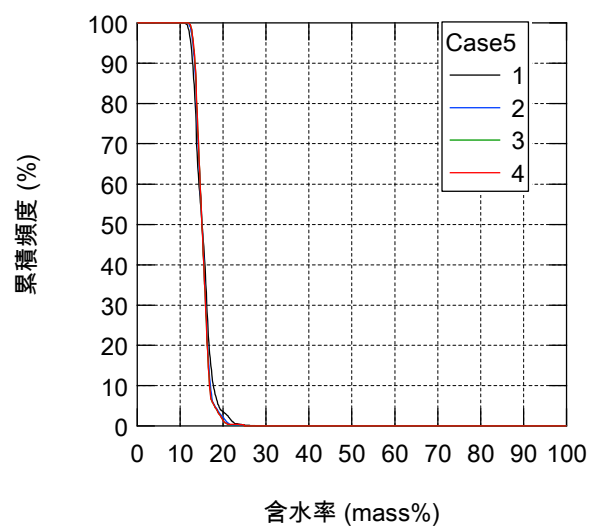
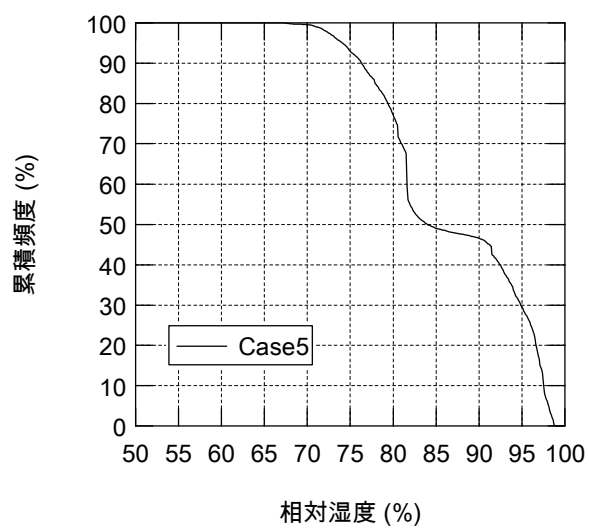
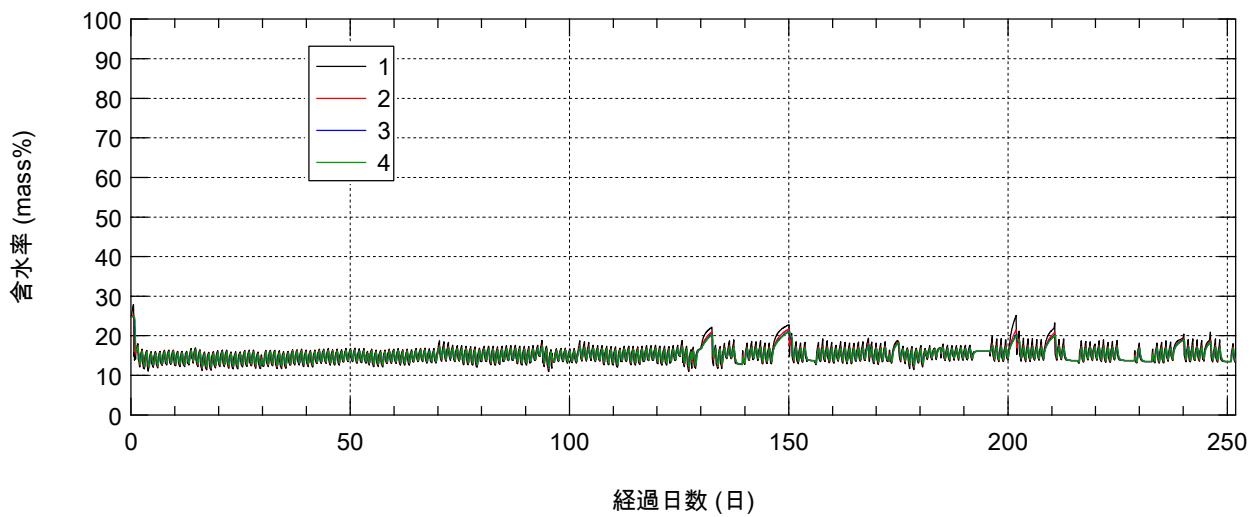
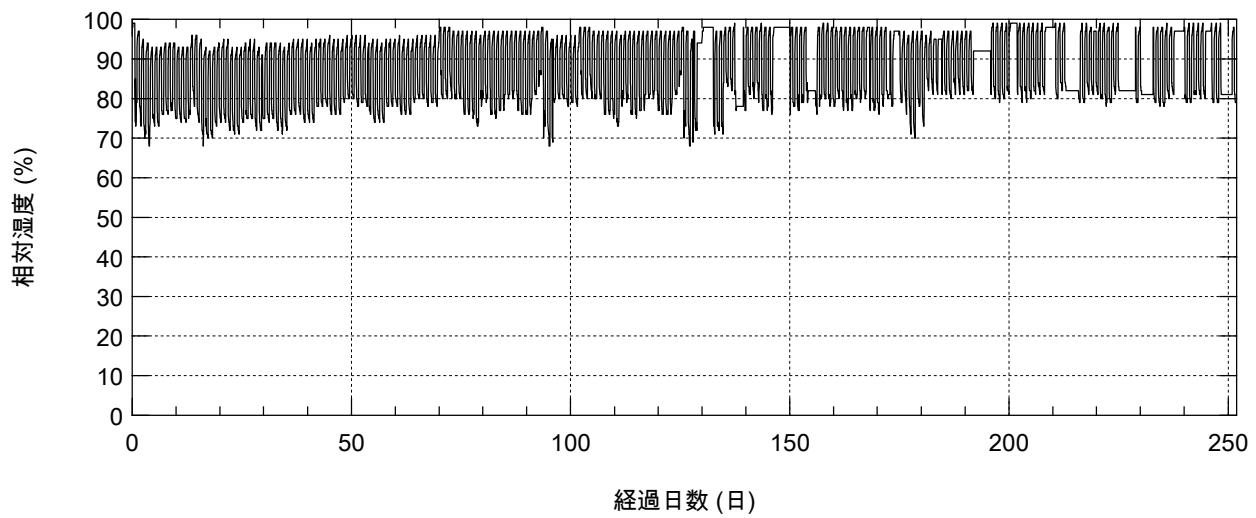


図 8 Case5 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

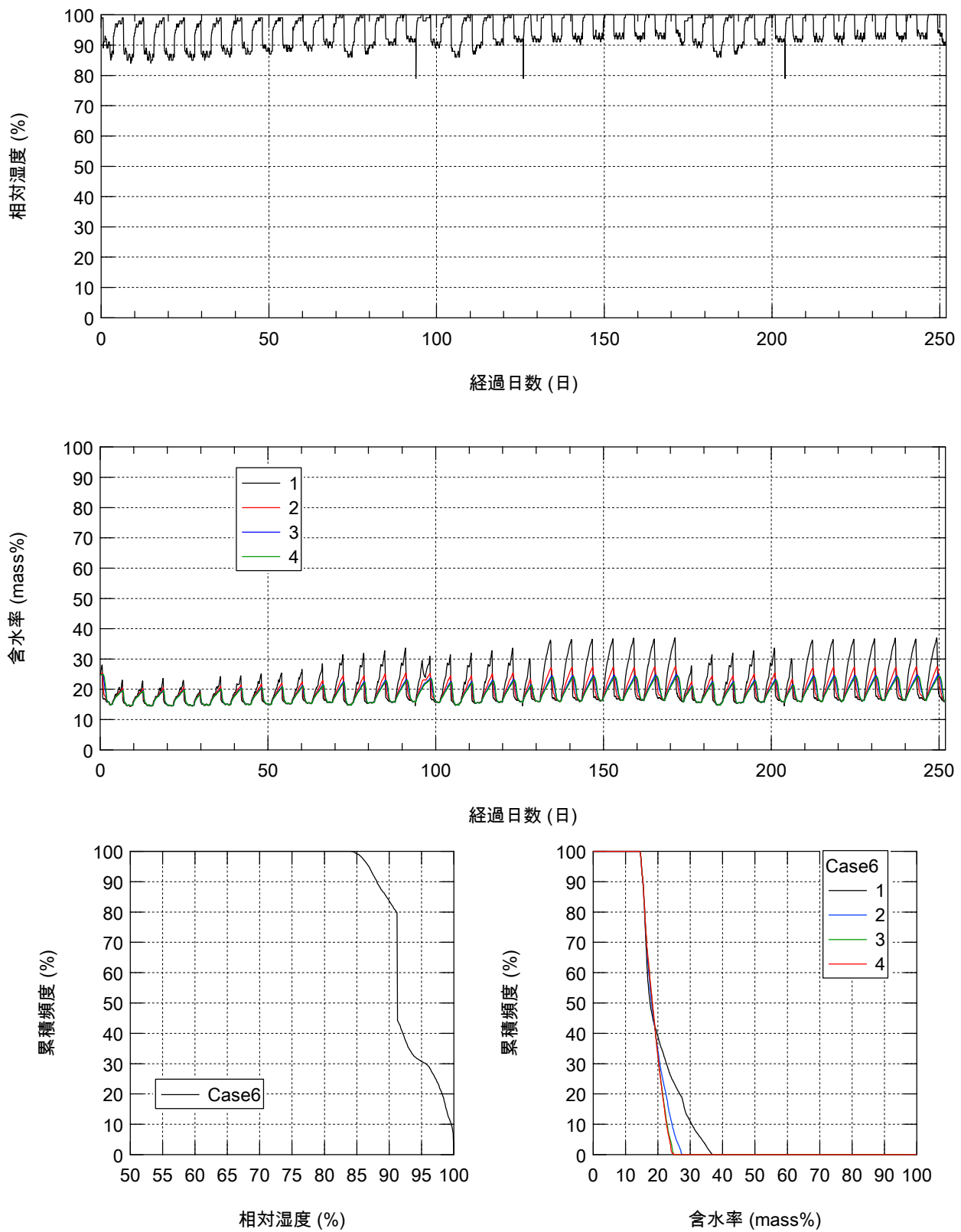


図9 Case6 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

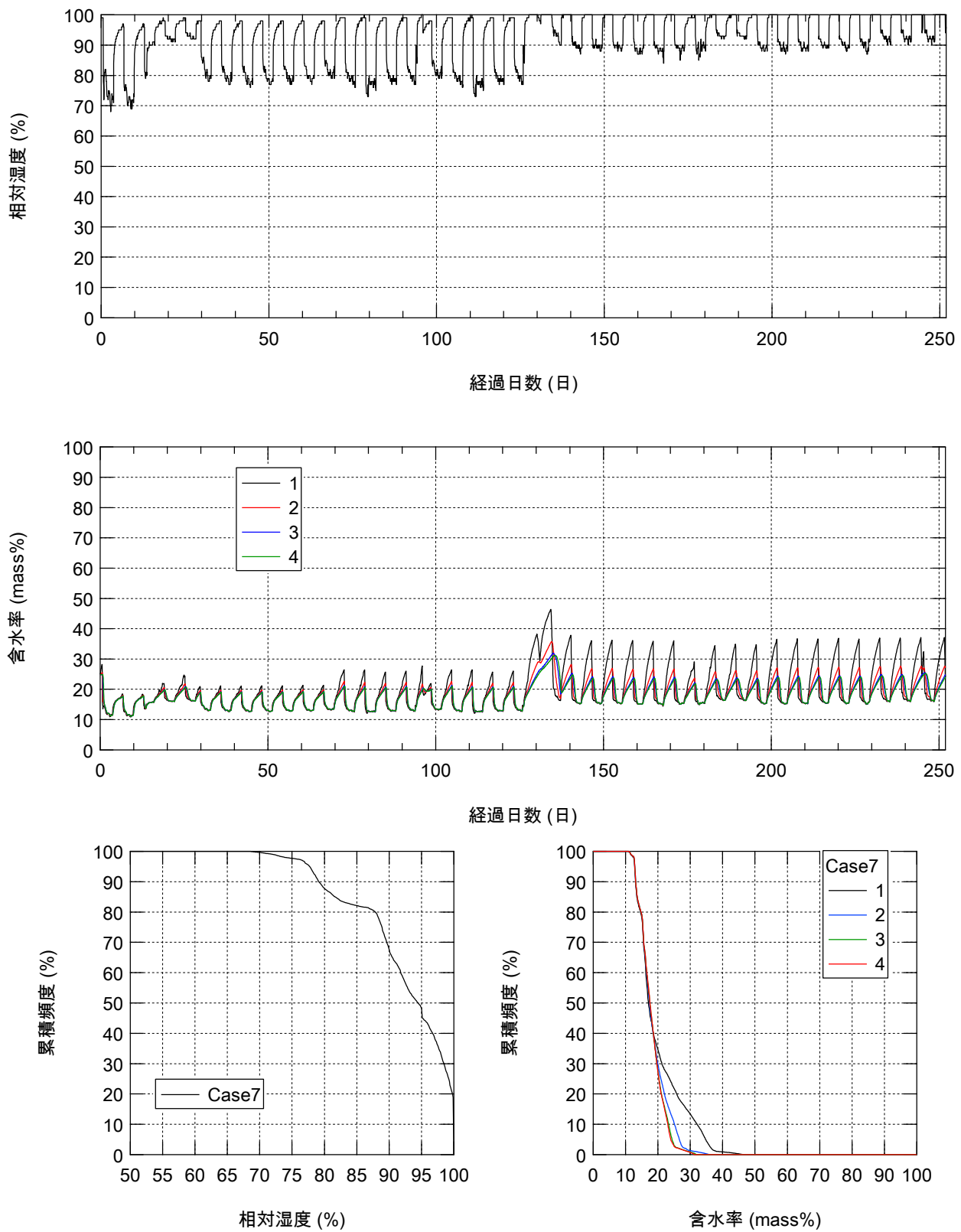


図 10 Case7 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面
相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

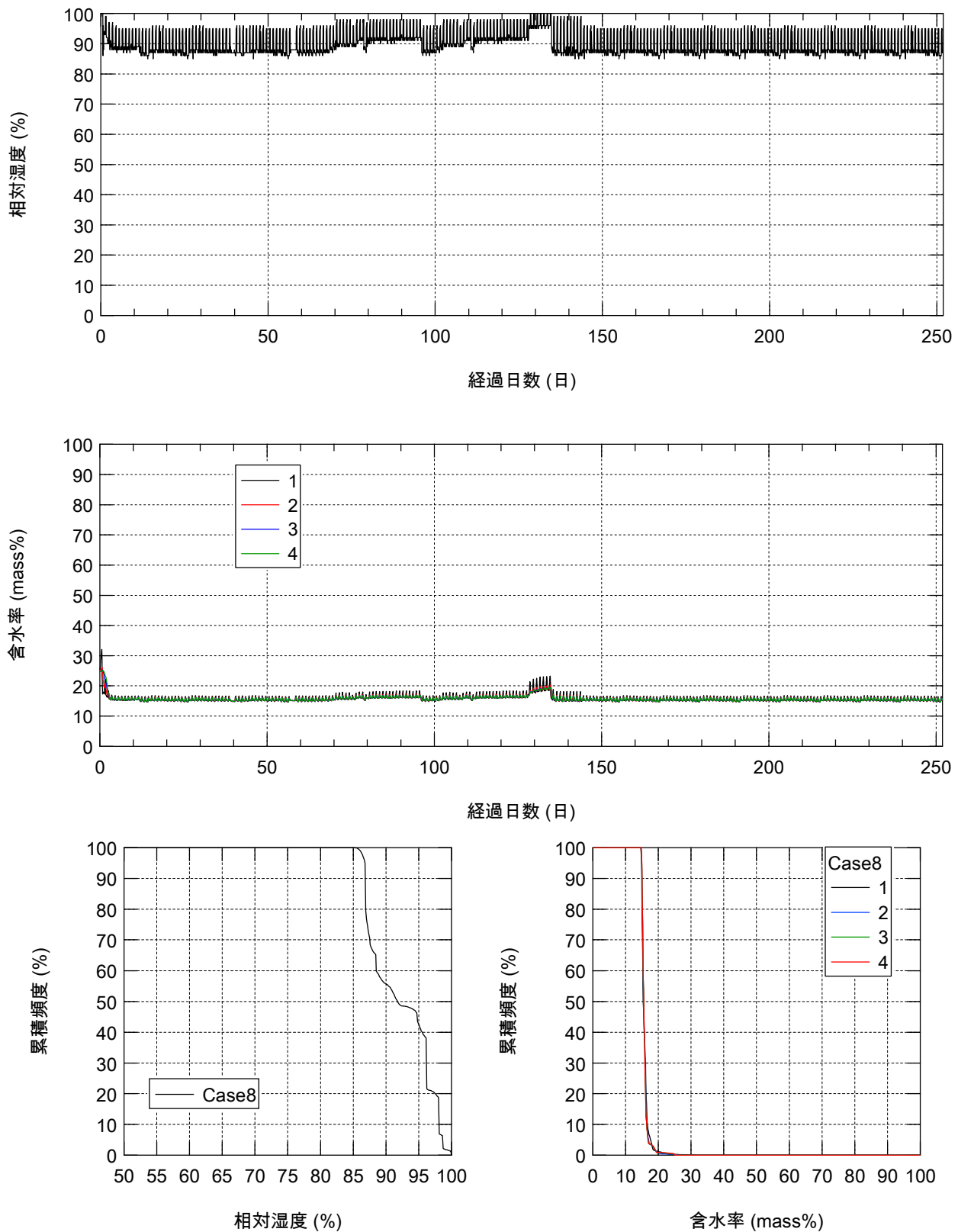


図 11 Case8 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

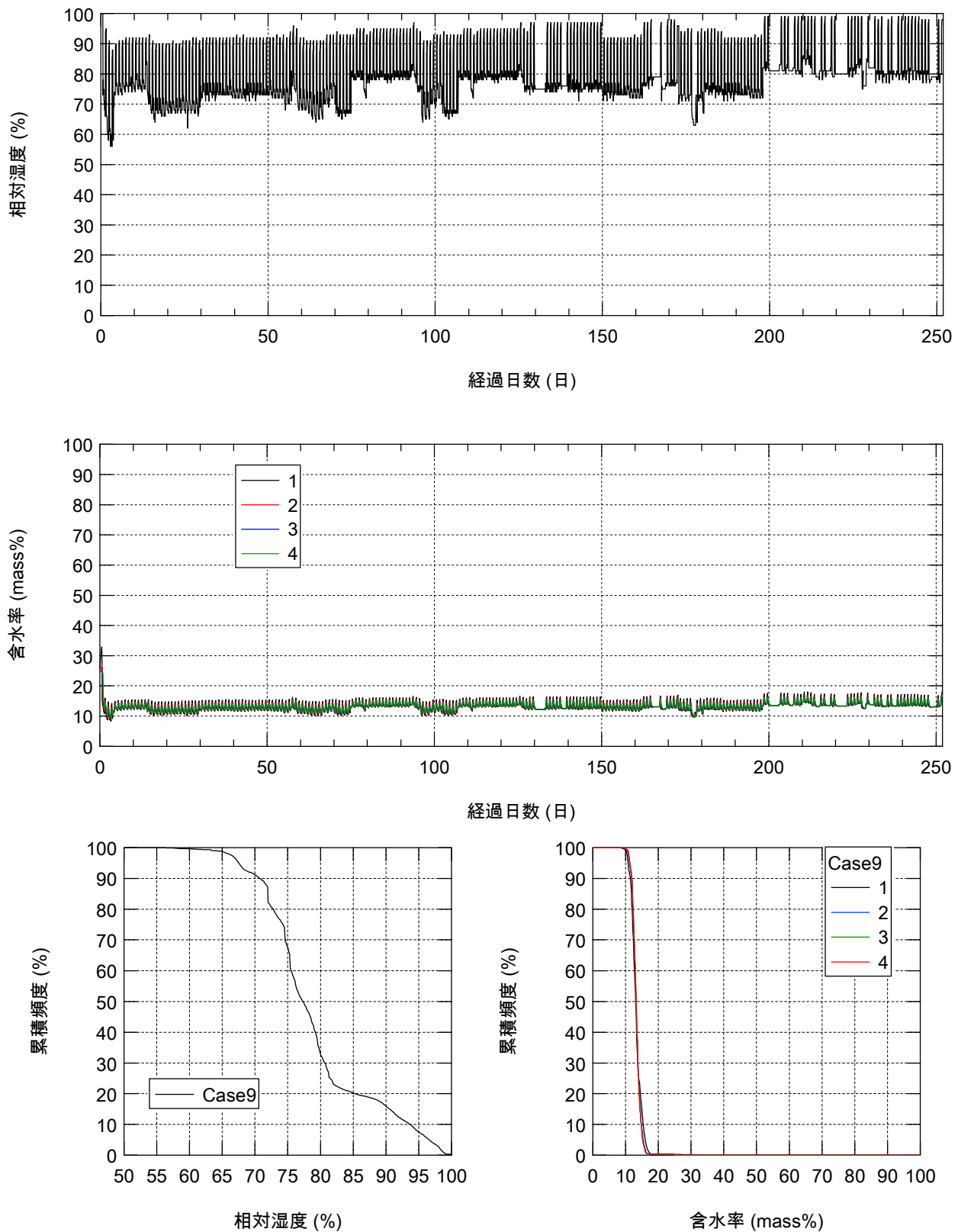


図 12 Case9 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面
相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

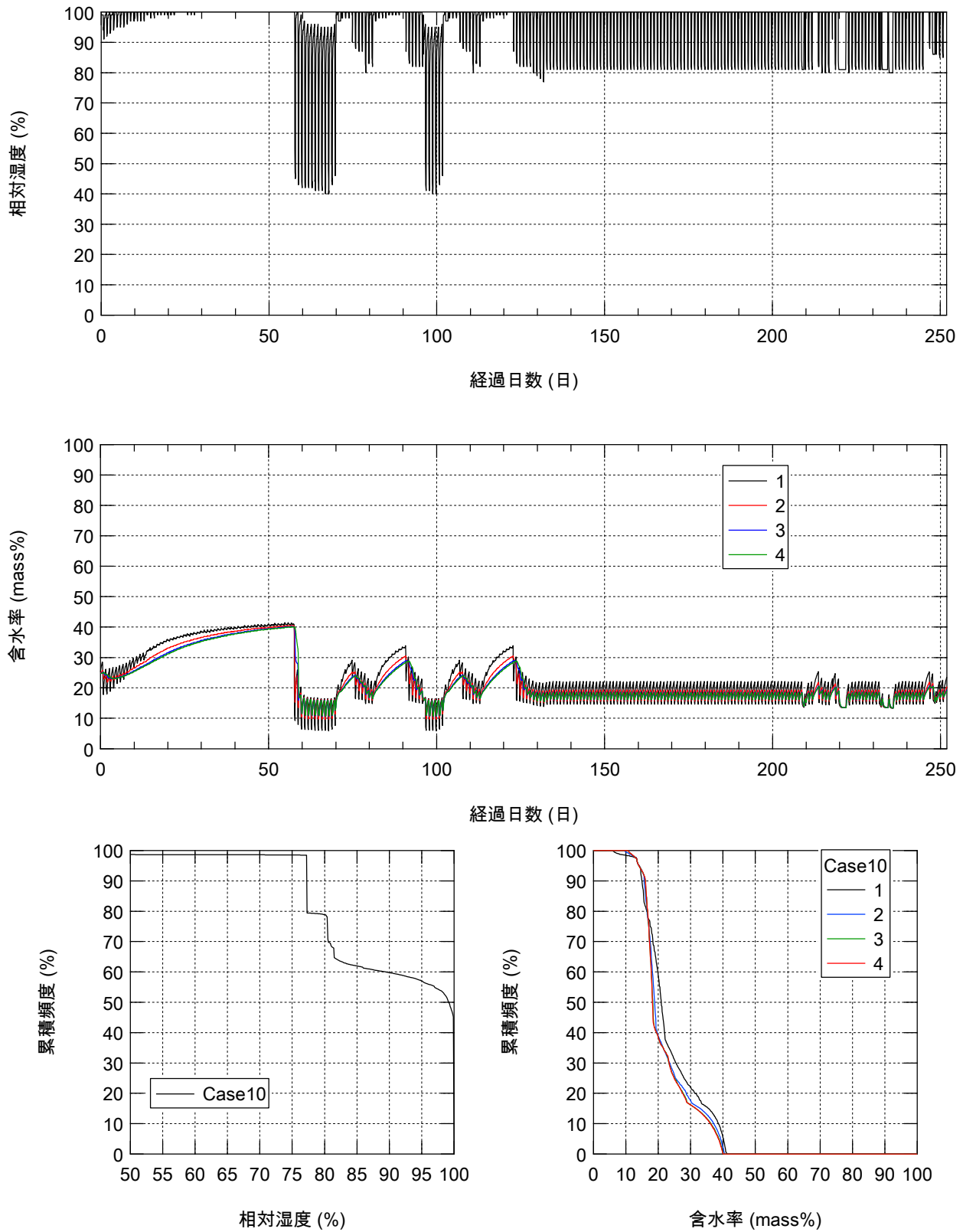


図 13 Case10 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面
相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

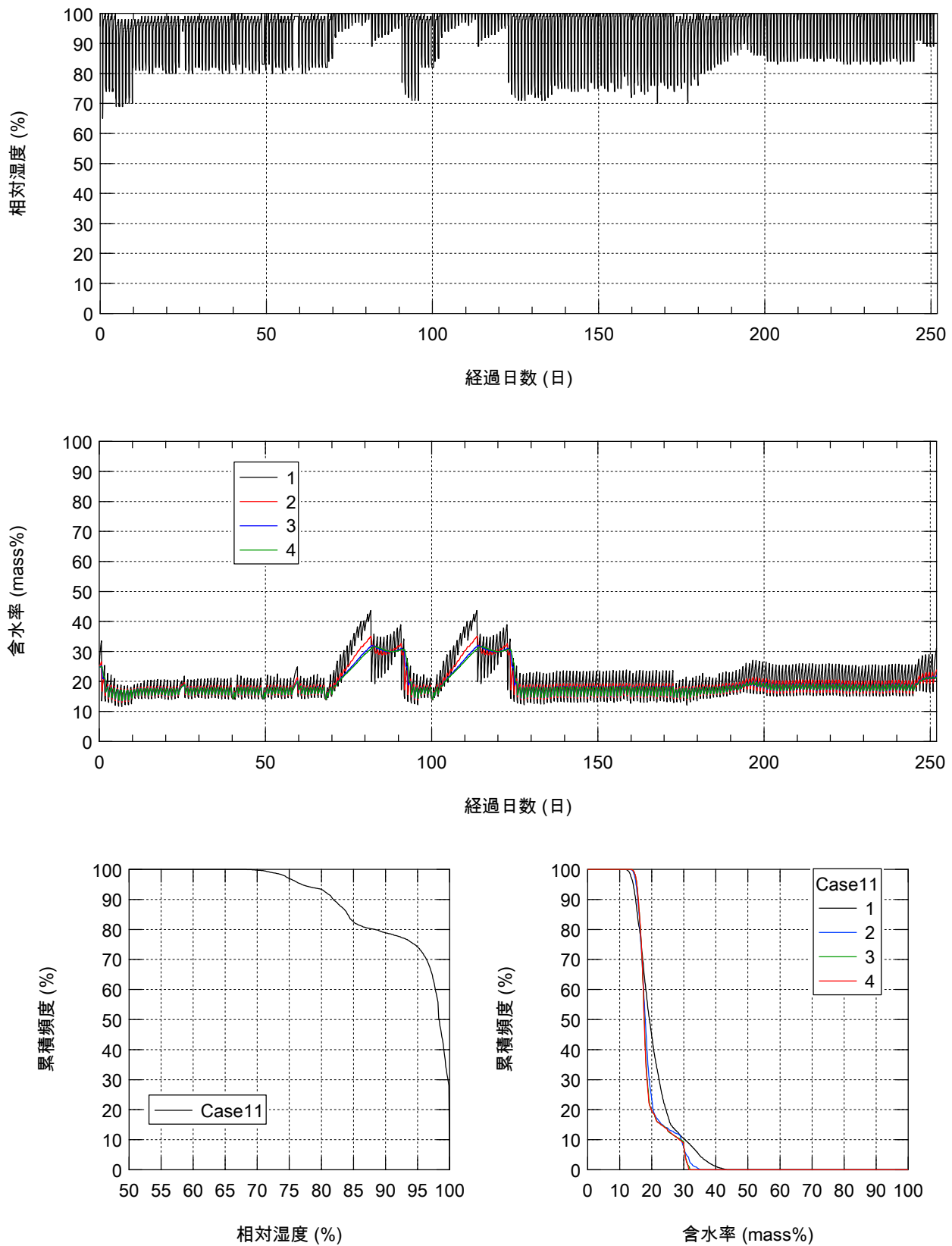


図 14 Case11 室内腐朽試験時の計算結果（上段：雰囲気湿度、中段：試料含水率、下段左：試料表面
相対湿度の累積頻度、下段右：試料含水率の累積頻度）

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。

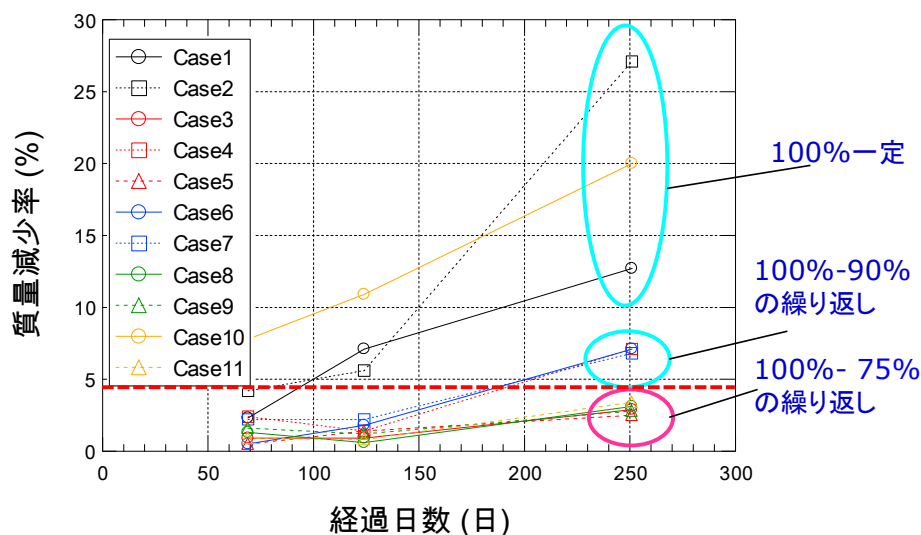


図 15 質量減少率の測定結果（平成 23 年度報告書からの引用）

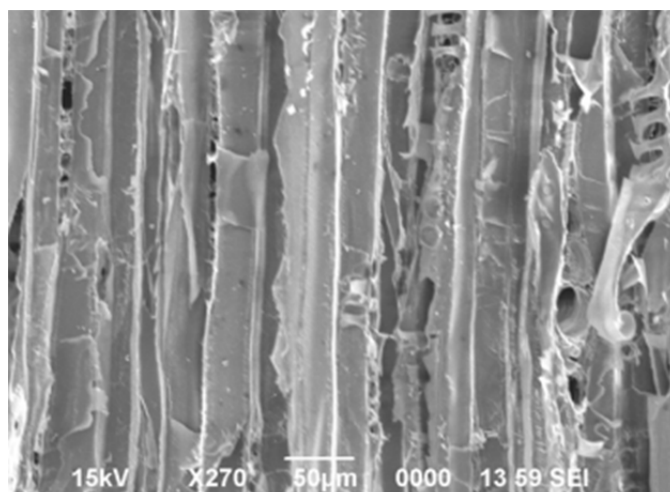


図 16 電子顕微鏡による試料断面（Case9[乾燥 75%、8 ヶ月]、平成 24 年度報告書からの引用）

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（ただし、現在普及している数値解析プログラムでは空気移動も含めた 3 次元的な熱水分移動や、施工状況の完全な再現は困難であるため、仕様によっては実験による検証を併用すべき）。

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おり、強風雨時等の事故的な水分滞留に対する許容度の検討が必要になると予想される。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。しかし、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³⁾。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⁴⁾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) 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
- 4) 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℃

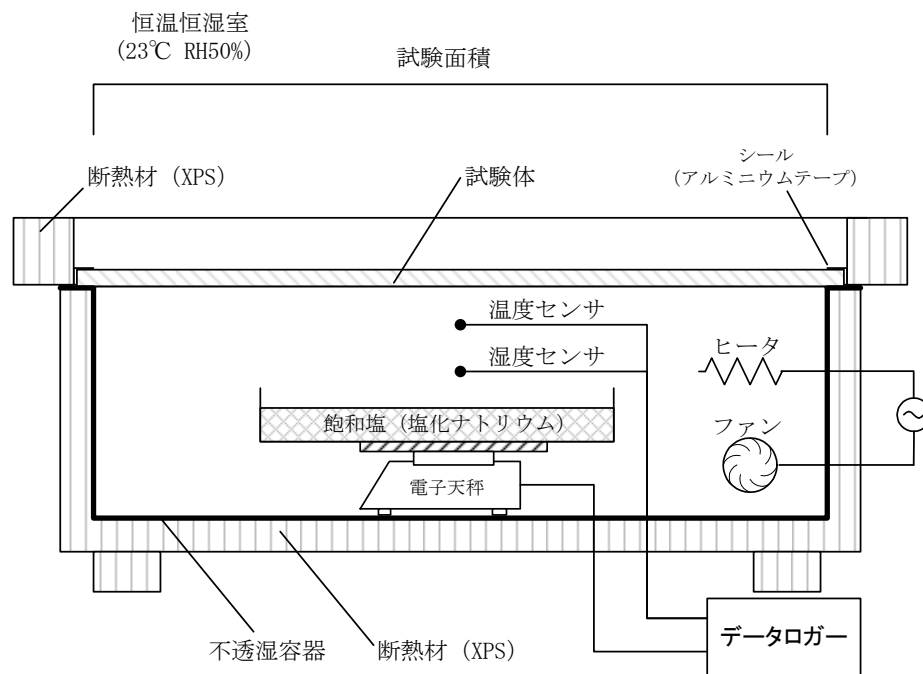


図 1 試験装置の概要

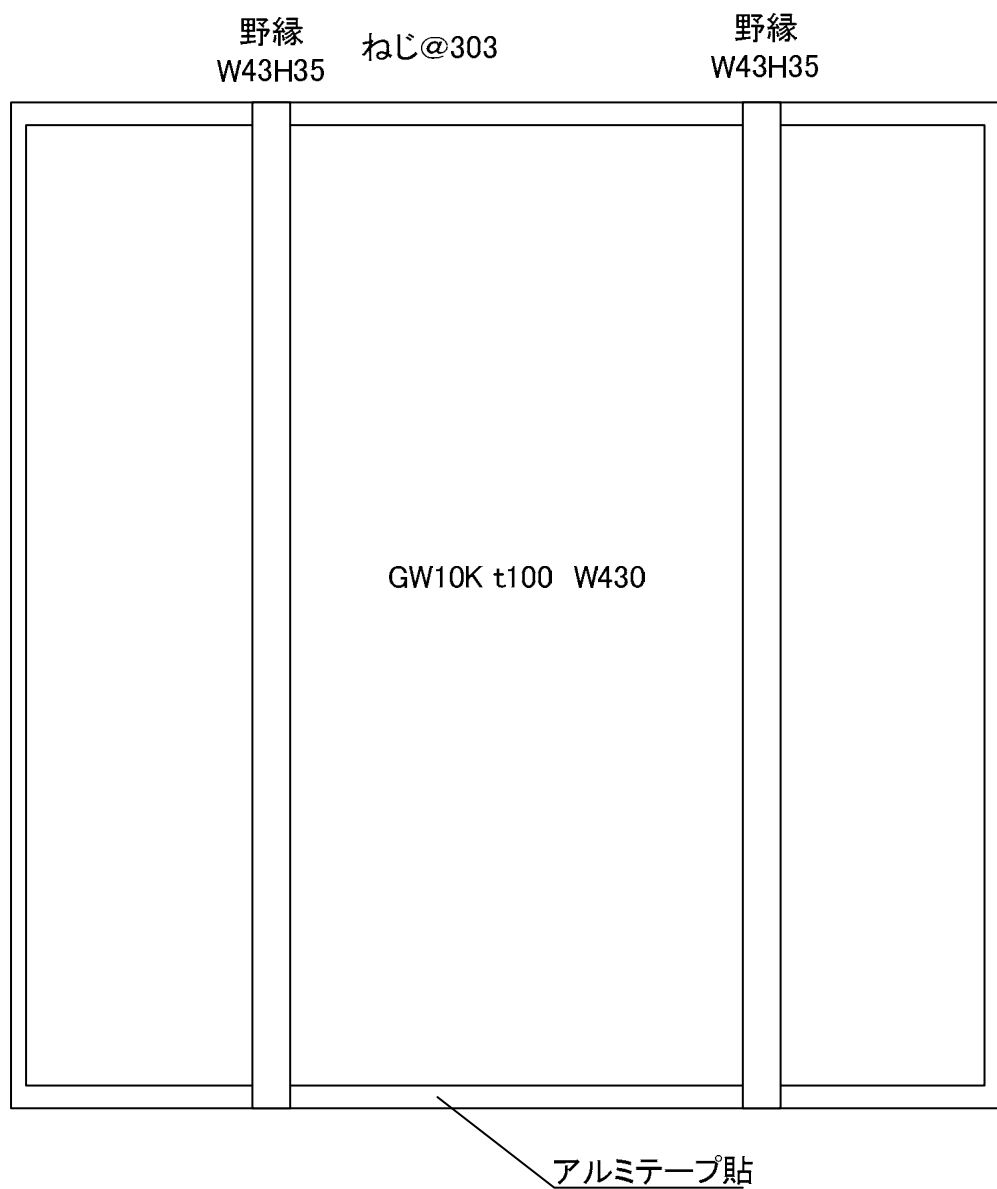
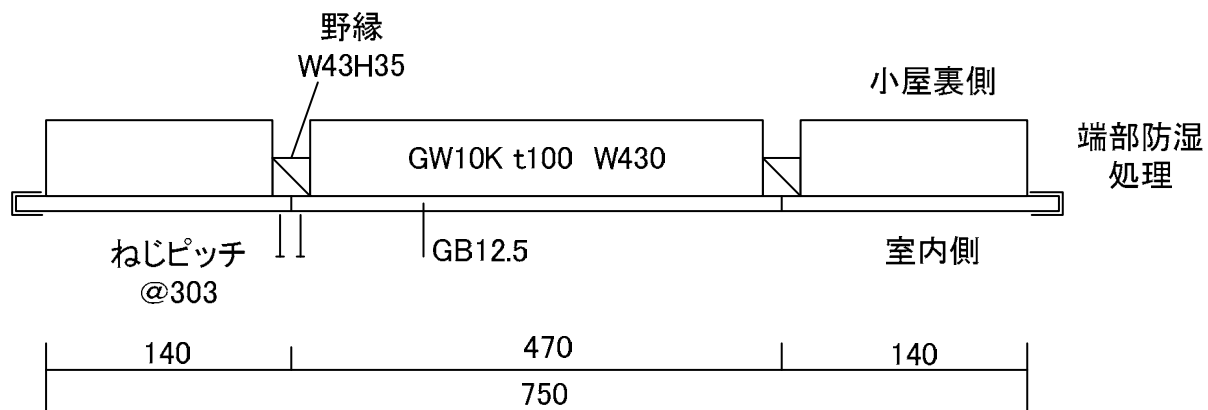


図 2 試験体（試験体 No.1）

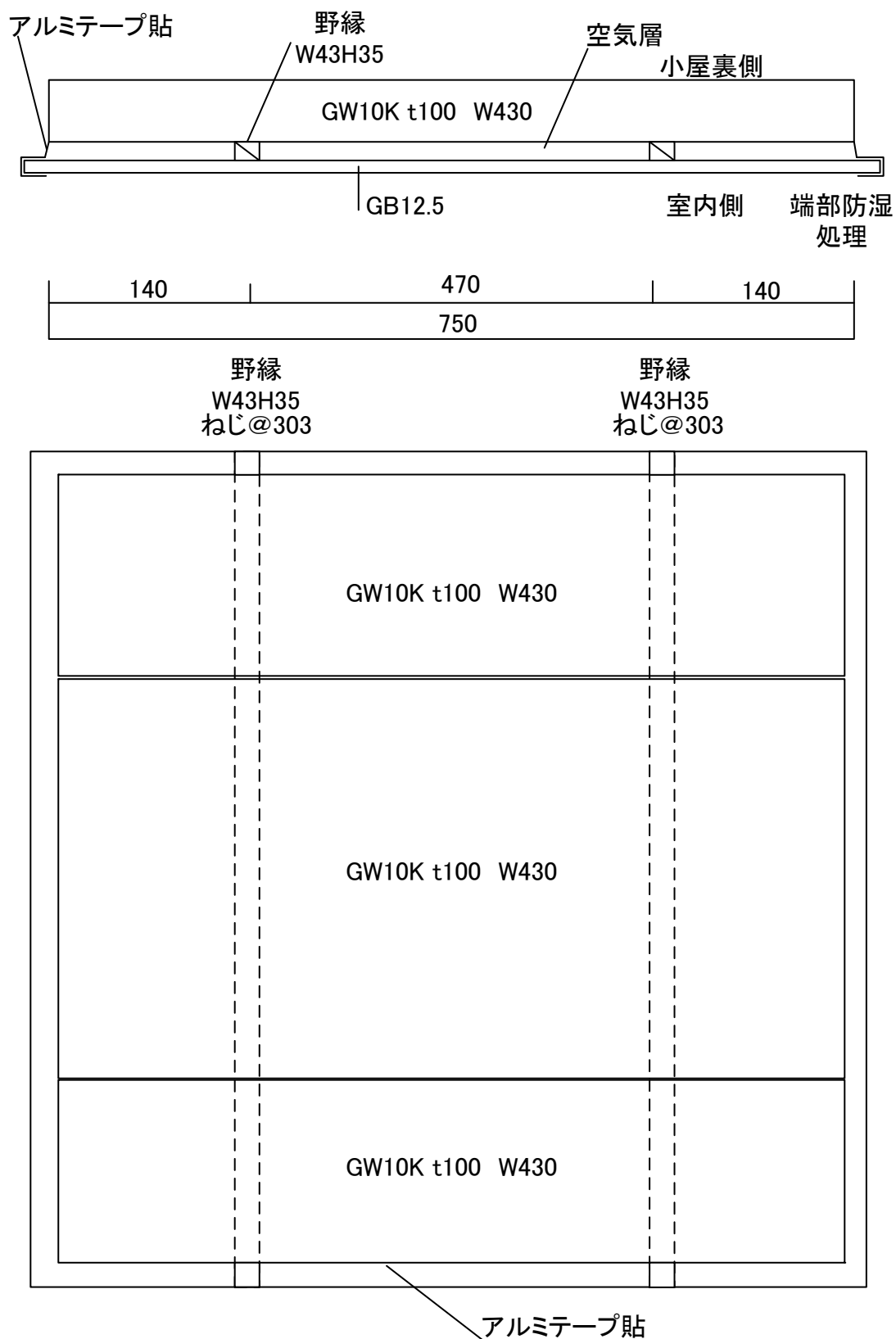


図 3 試験体（試験体 No.2）

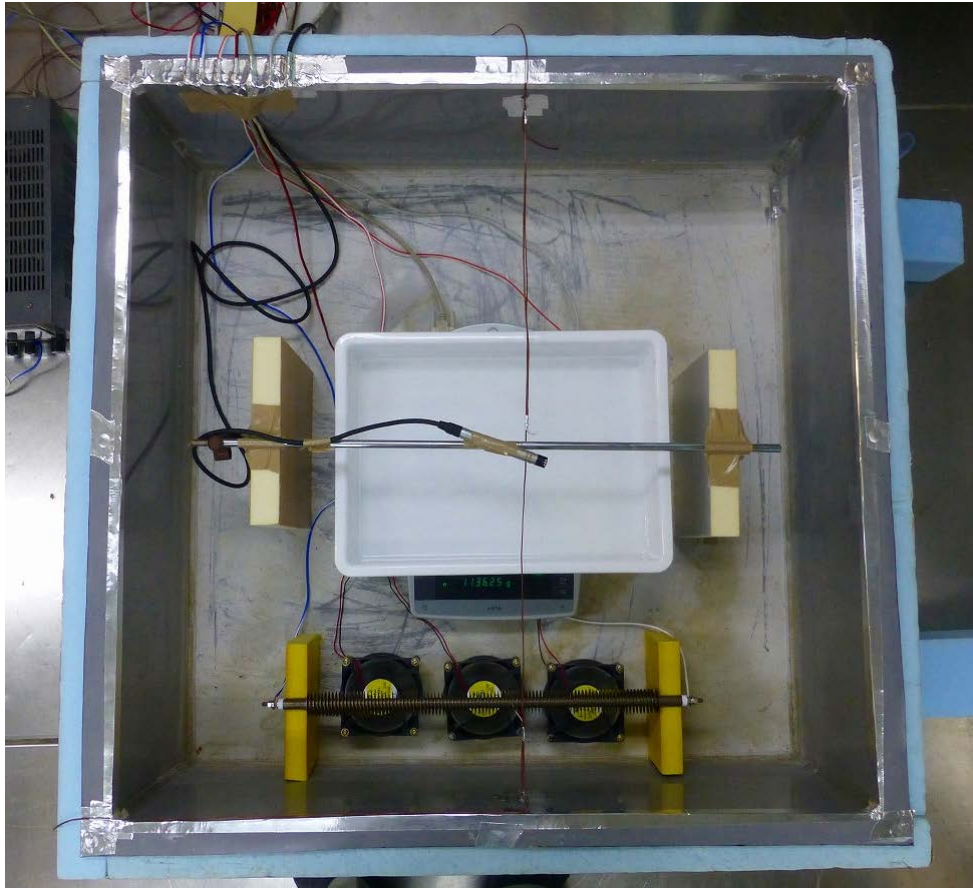


写真 1 試験装置内部



写真 2 試験体設置状況（試験体 No.1）

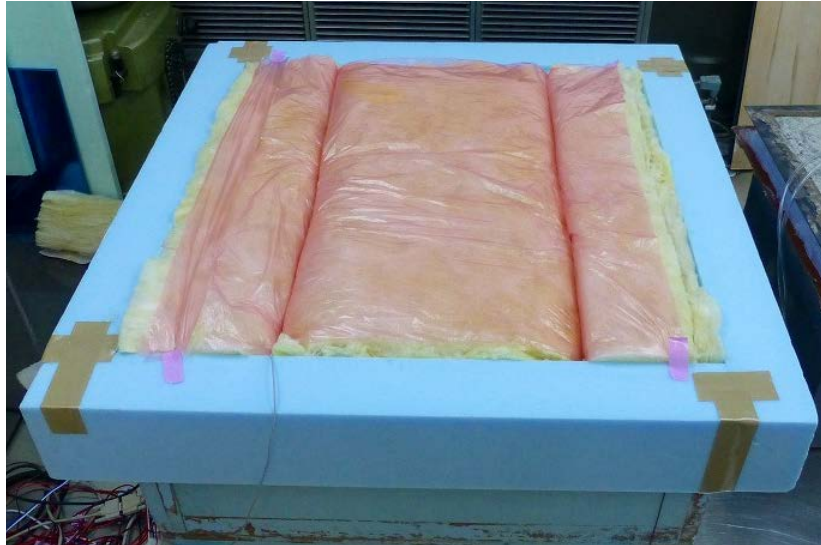


写真 3 試験体設置状況 (試験体 No.2)



写真 4 試験体設置状況 (試験体 No.3)

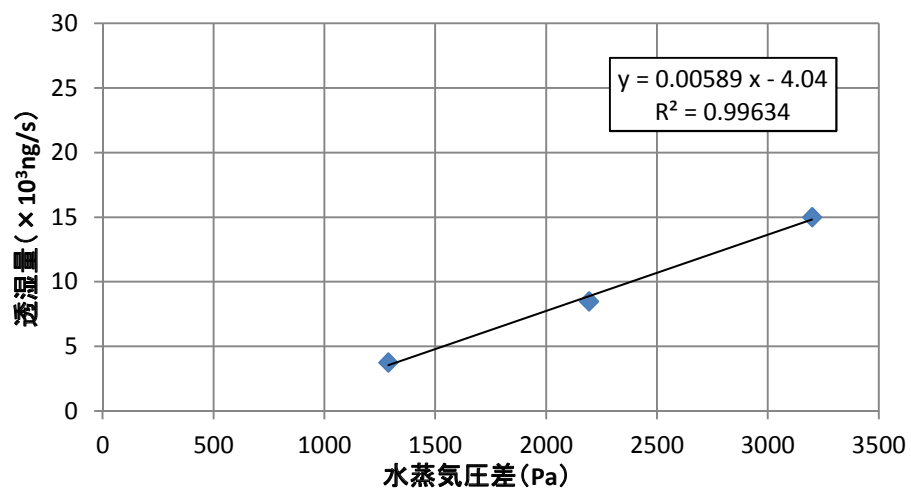


図 4 校正透湿量

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。

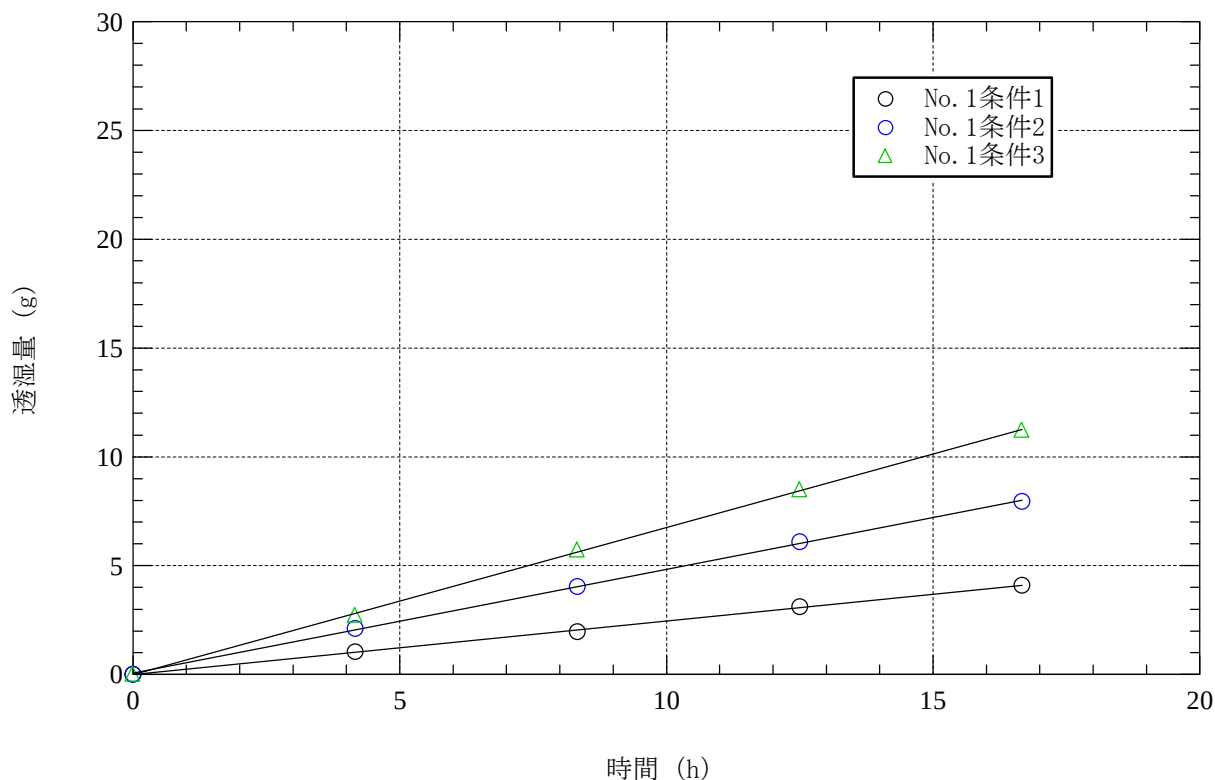


図 5 時間と透湿量の関係

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) セットボードと断熱材の間の温湿度及び水蒸気圧。

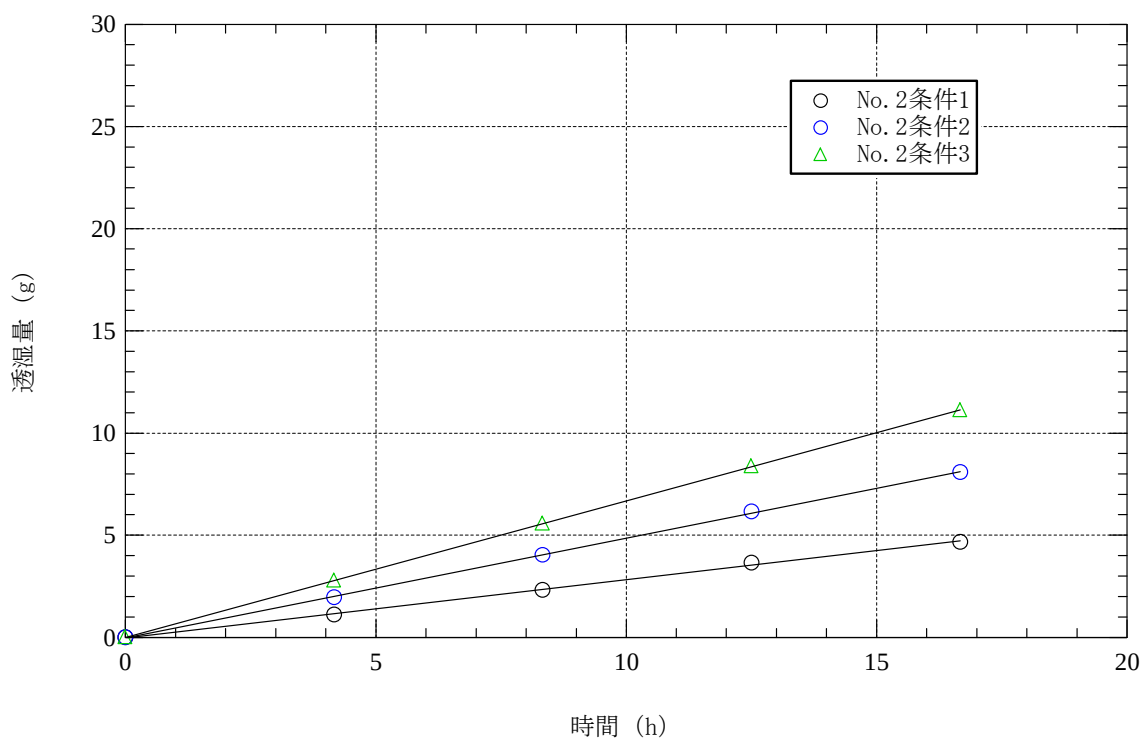


図 6 時間と透湿量の関係

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。

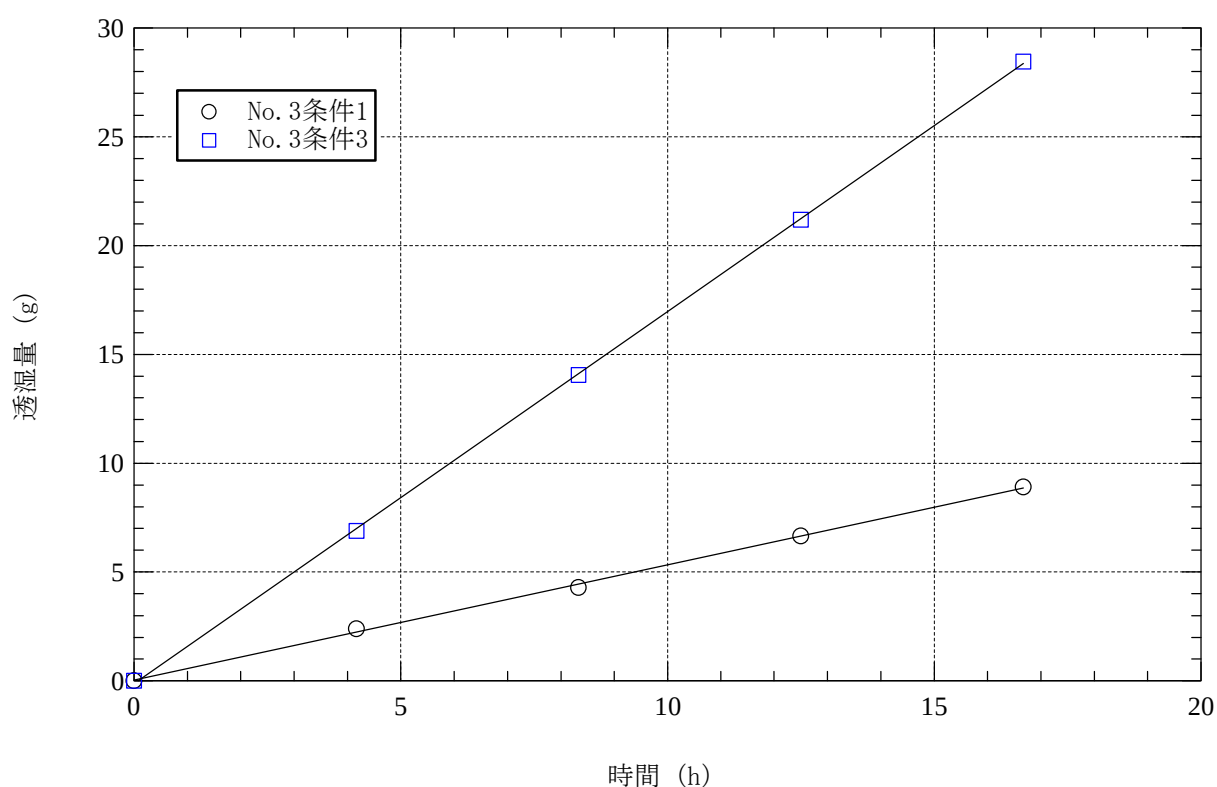


図 7 時間と透湿量の関係

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	×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	×10 ³ ng/s	31.5	59.6	87.1
突合せ部透湿量	G_T	×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}	($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)/ng	0.00873	0.00983	0.01039
No.3 見かけ透湿抵抗	R'_{A3}	($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)/ng	0.00174	0.00174* ¹	0.00174
断熱材部見かけ透湿抵抗	$R'_{A2} - R'_{A3}$	($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)/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	$\times 10^3$ ng/s	89.2	150.8	206.0
実質部透湿抵抗	R'_J	($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)/ng	0.017988	0.017988	0.017988
実質部透湿量	G_J	$\times 10^3$ ng/s	34.7	67.8	99.1
突合せ部透湿量	G_T	$\times 10^3$ 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	($\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)/ng	0.0305	0.0392	0.0445

注*1) 条件 1 と条件 3 の平均値とした。

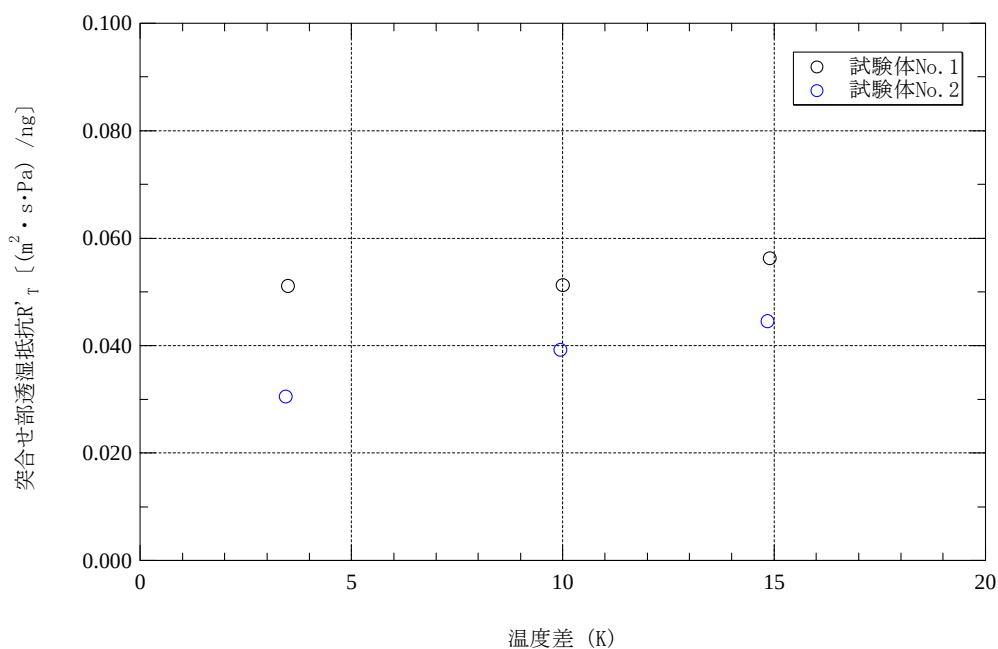


図 8 内外温度差と突合せ部の透湿抵抗の関係

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、軒換気の値とした。

*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	むね換気孔	1/1200 以上		
軒天換気方式	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

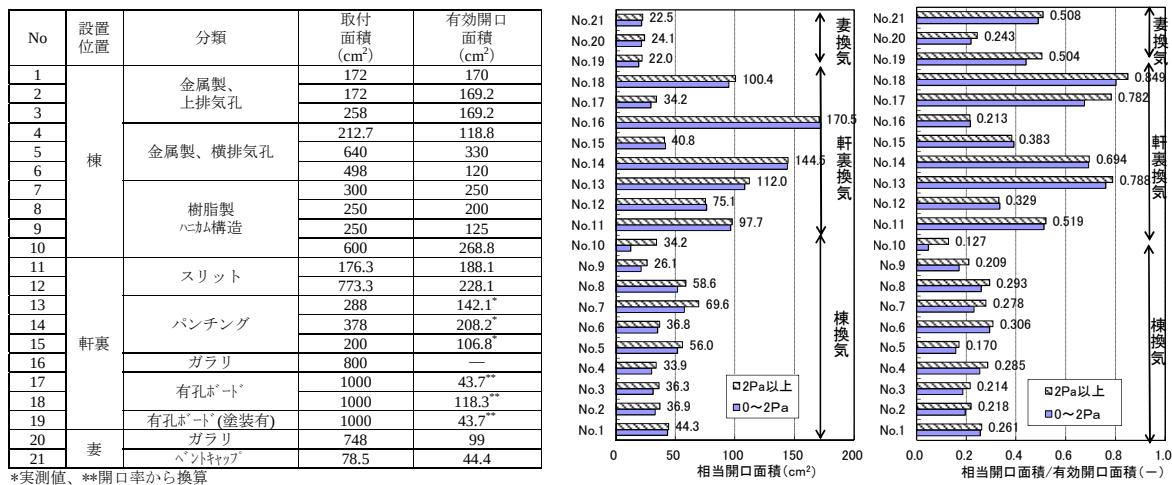


図 11 換気口形状に応じた流量係数 α *1

*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。

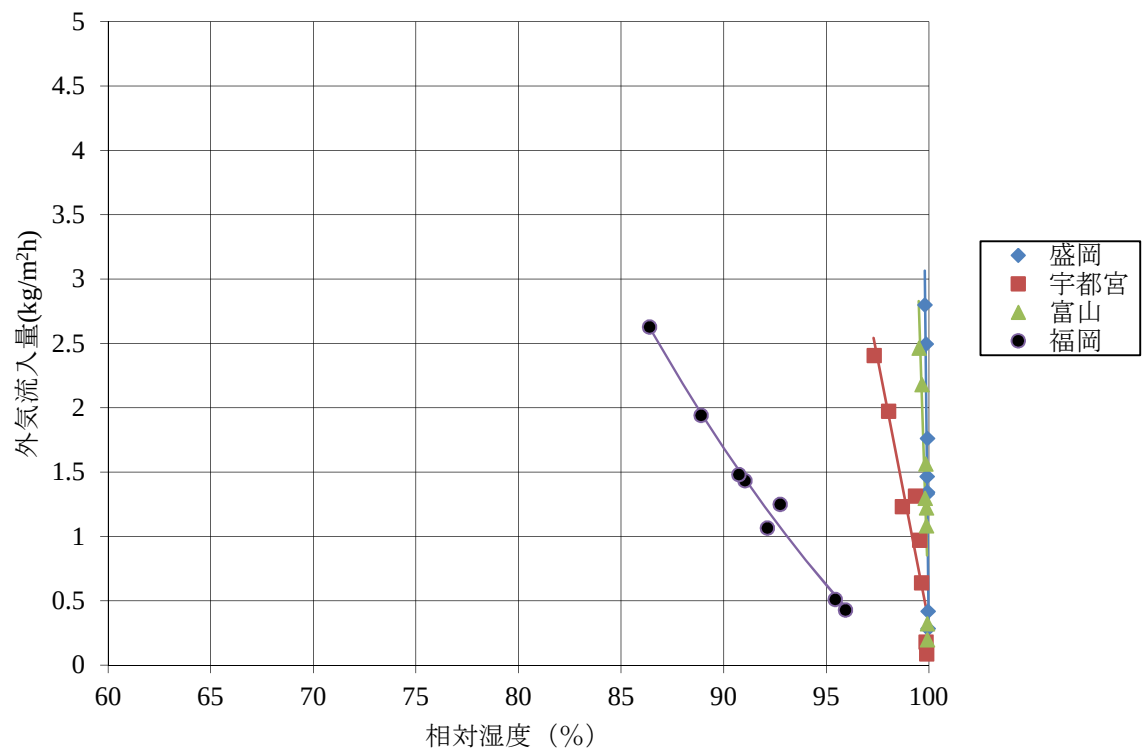


図 12 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 60%，気密区分 Type A）

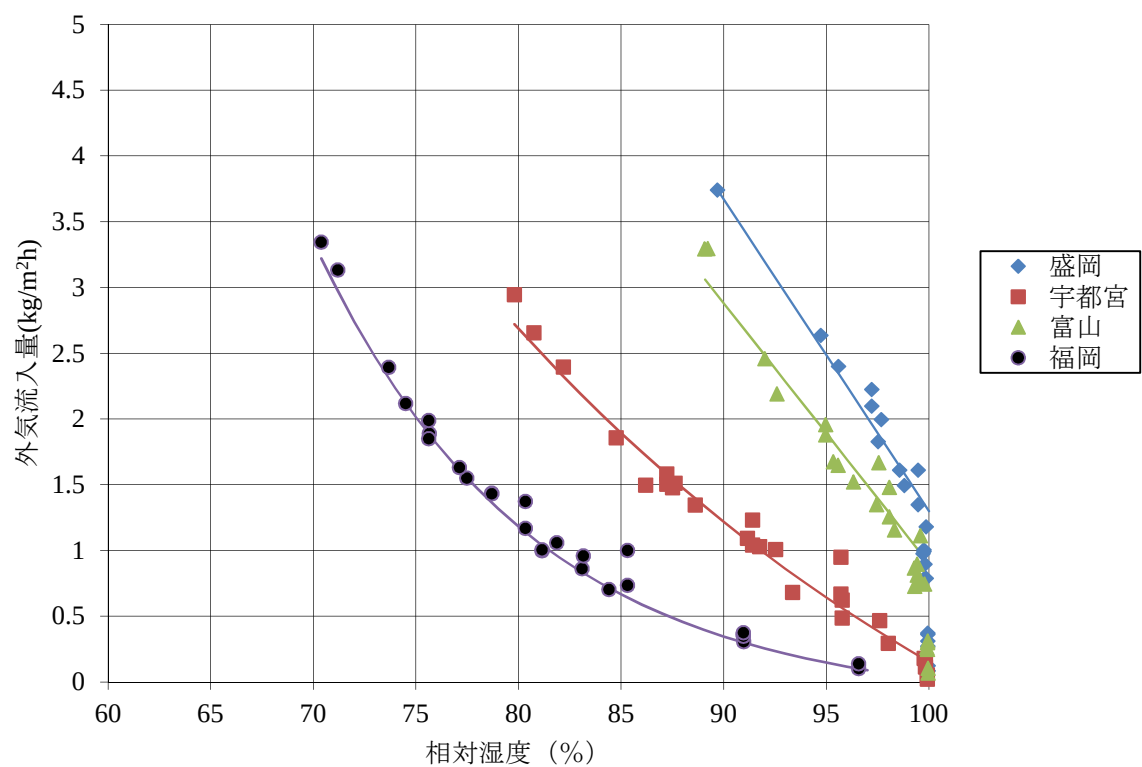


図 13 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 60%，気密区分 Type B）

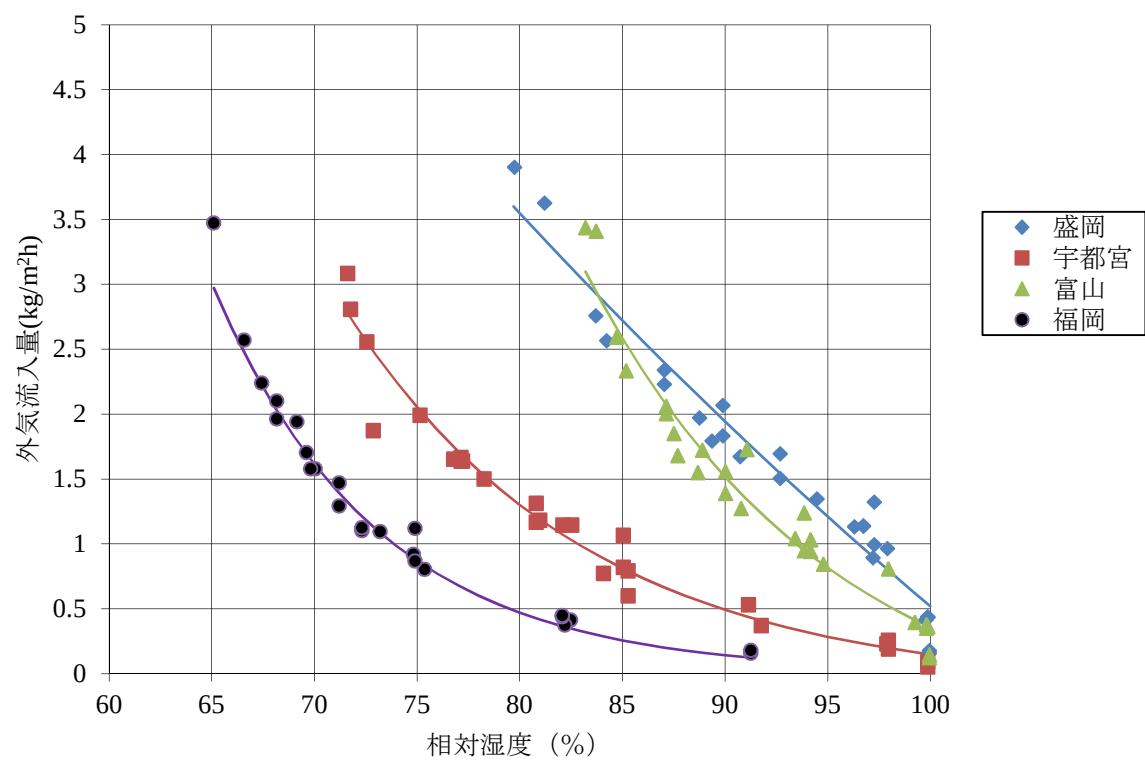


図 14 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 60%，気密区分 Type C）

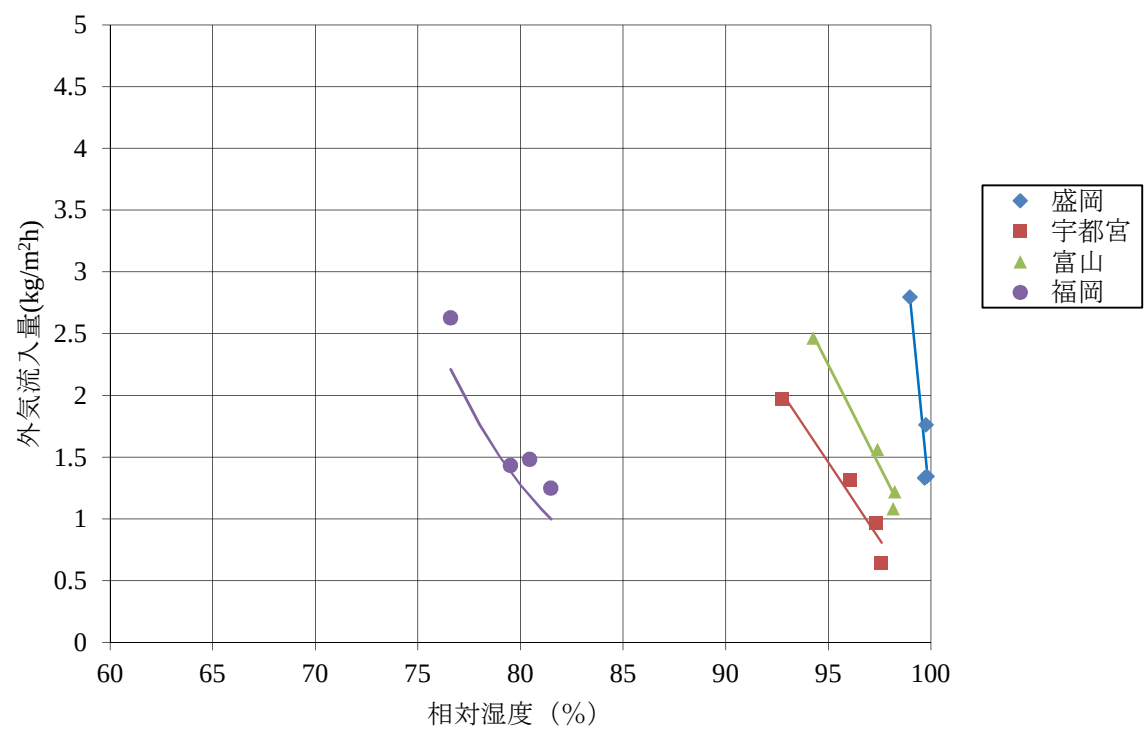


図 15 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 50%，気密区分 Type A）

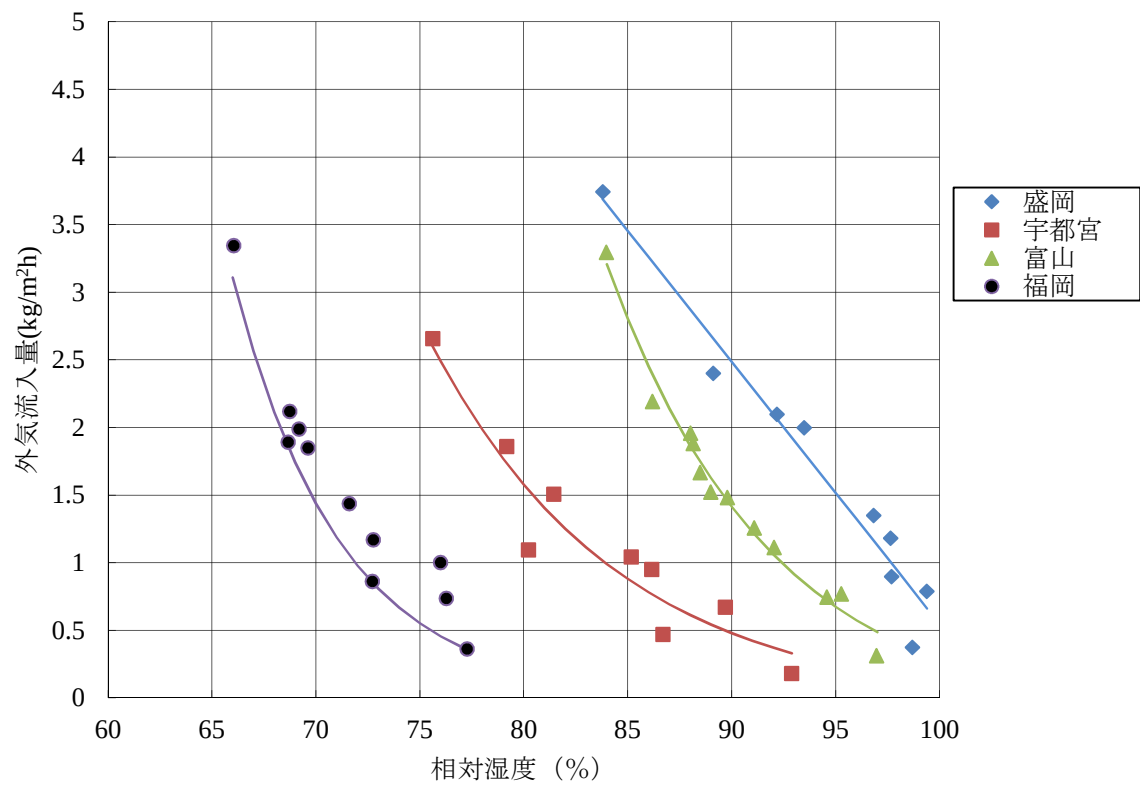


図 16 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 50%，気密区分 Type B）

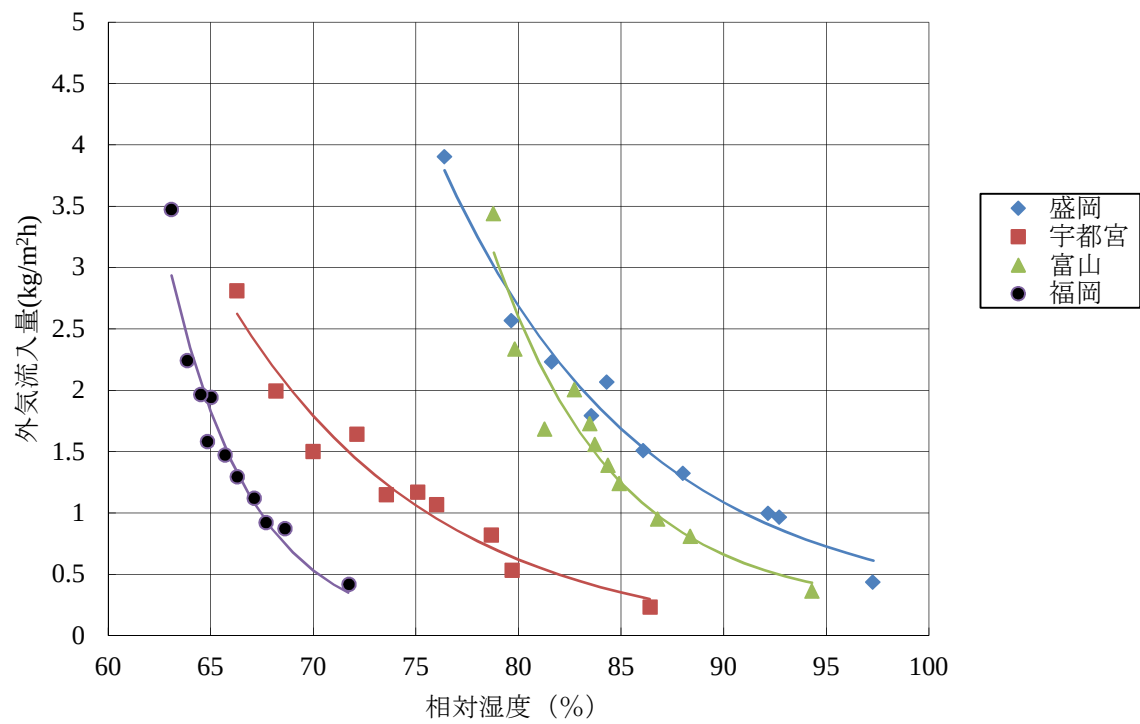


図 17 野地板相対湿度と外気流入量の関係（室内相対湿度 50%，気密区分 Type C）

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。

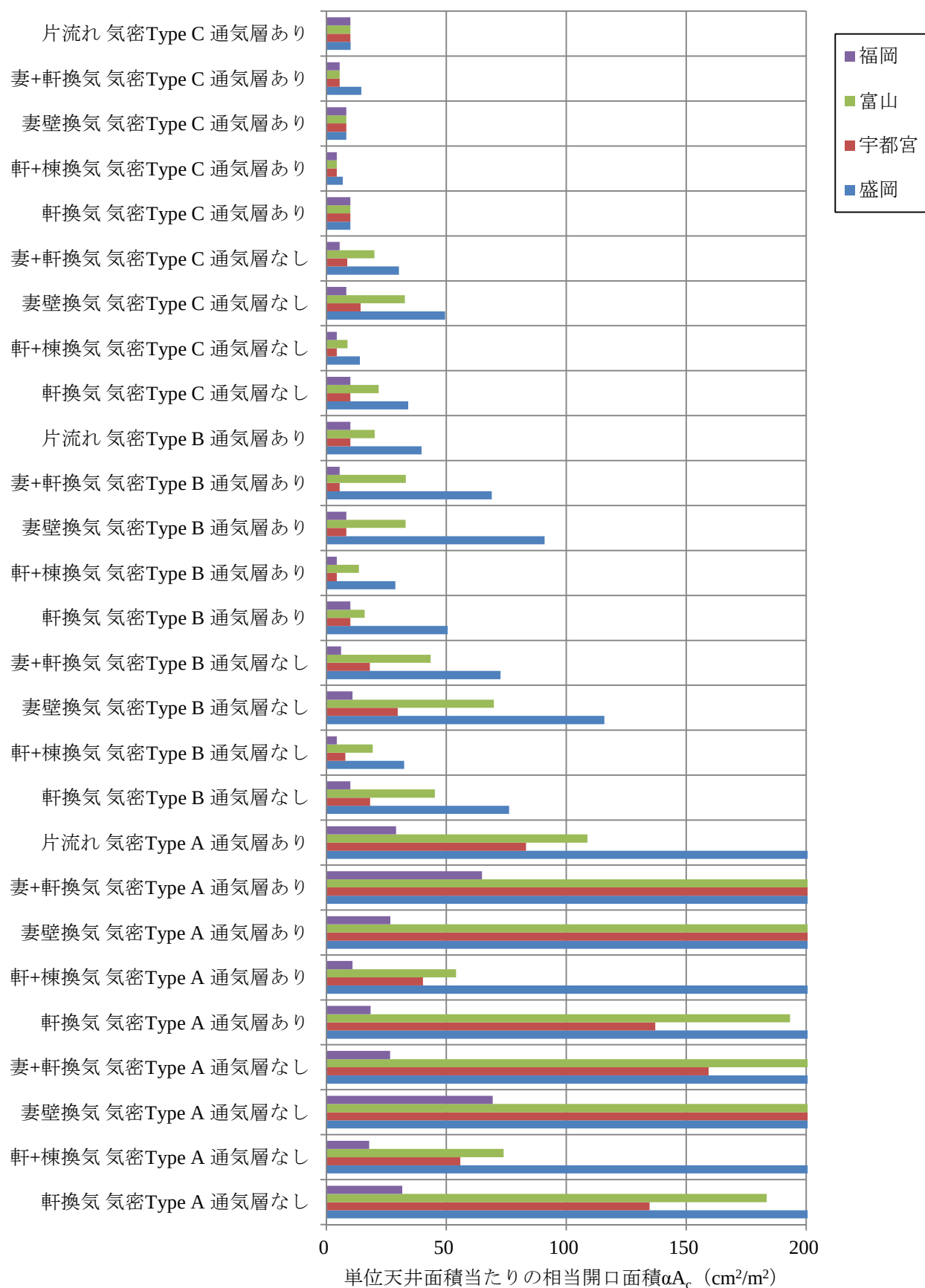


図 18 単位天井面積あたりの相当開口面積計算結果（室内相対湿度 50%、野地板含水率 90%）

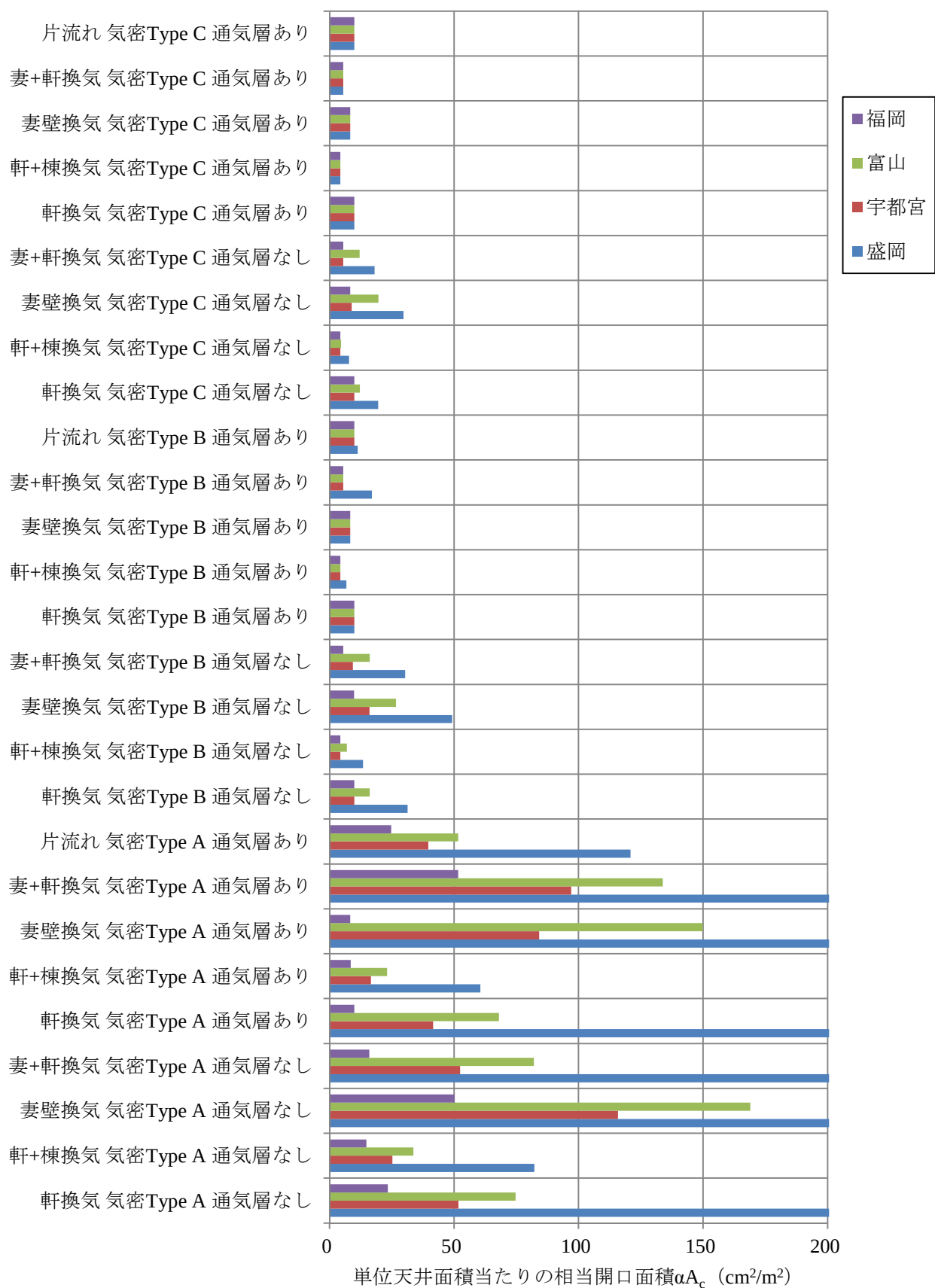


図 19 単位天井面積あたりの相当開口面積計算結果（室内相対湿度 50%、野地板含水率 98%）

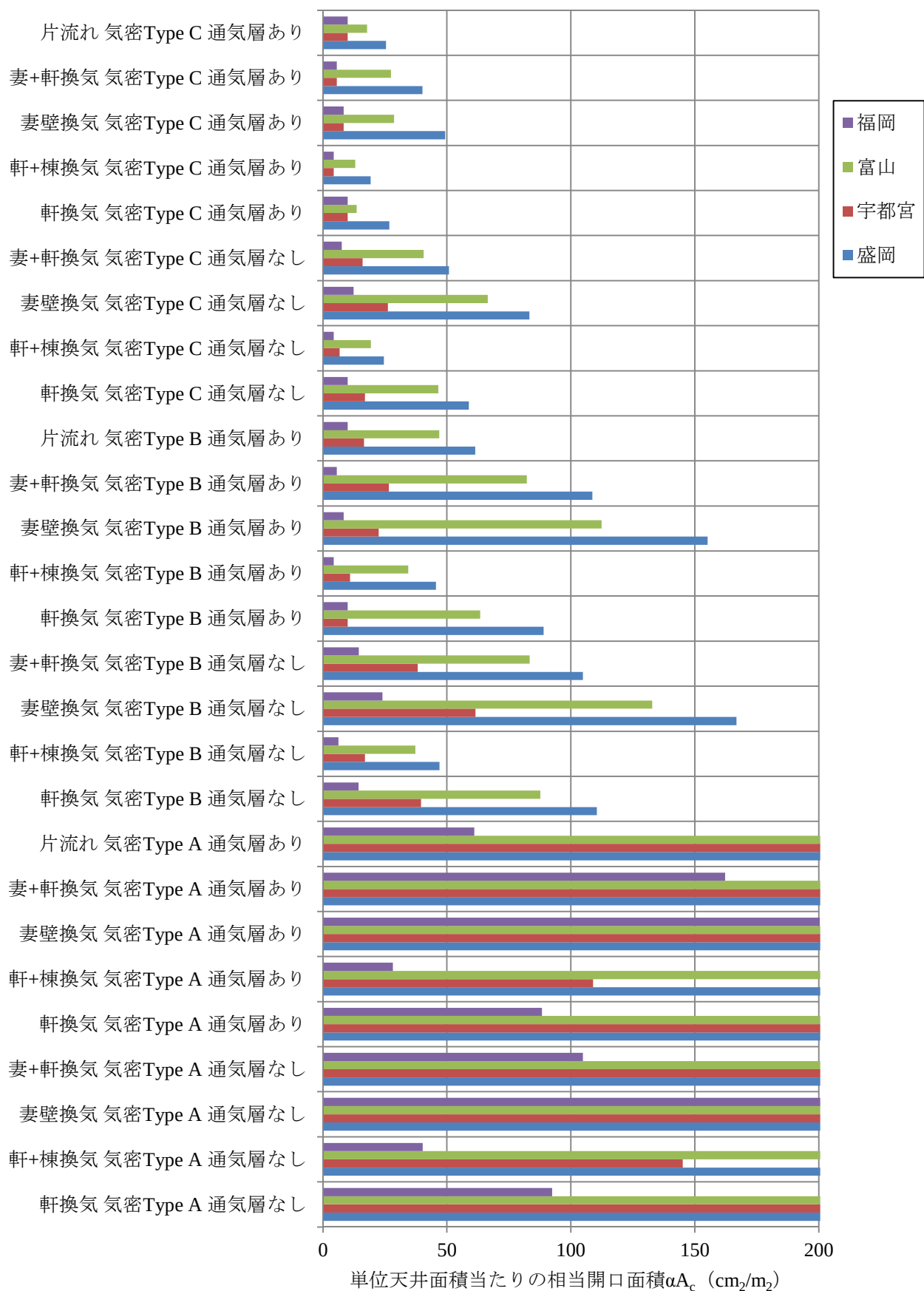


図 20 単位天井面積あたりの相当開口面積計算結果（室内相対湿度 60%、野地板含水率 90%）

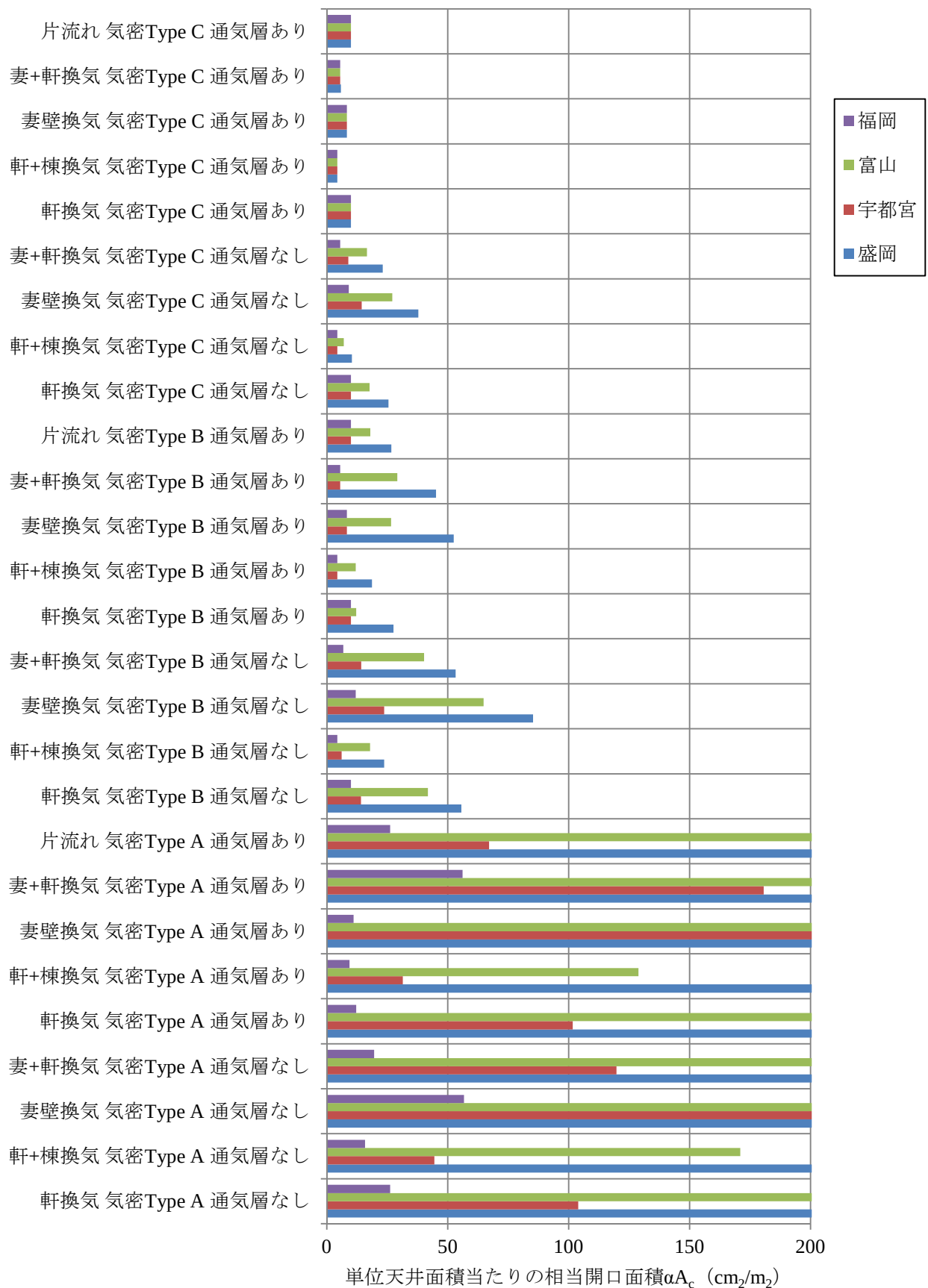


図 21 単位天井面積あたりの相当開口面積計算結果（室内相対湿度 60%、野地板含水率 98%）

表 15 係数 $f_{R, \alpha A}$ 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>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>	<u>1080</u>
			棟換気	<u>96</u>	<u>339</u>	<u>499</u>	<u>1106</u>	<u>378</u>	829	<u>1568</u>	<u>1890</u>
		妻換気		<u>5</u>	<u>21</u>	<u>32</u>	<u>86</u>	<u>23</u>	59	<u>144</u>	<u>199</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>	<u>1252</u>
			軒換気	<u>20</u>	<u>78</u>	<u>124</u>	<u>380</u>	<u>90</u>	242	<u>750</u>	<u>1252</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>	<u>1000</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>	<u>1866</u>
			棟換気	<u>126</u>	<u>462</u>	<u>695</u>	<u>1680</u>	<u>516</u>	1207	<u>2562</u>	<u>3265</u>
		妻換気		<u>4</u>	<u>19</u>	<u>31</u>	<u>118</u>	<u>21</u>	66	<u>375</u>	<u>1200</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>	<u>386</u>
			軒換気	<u>16</u>	<u>58</u>	<u>86</u>	<u>206</u>	<u>64</u>	148	<u>308</u>	<u>386</u>
		軒換気		<u>24</u>	<u>82</u>	<u>120</u>	<u>252</u>	<u>91</u>	193	<u>343</u>	<u>403</u>
	片流れ		<u>13</u>	<u>48</u>	<u>74</u>	<u>193</u>	<u>54</u>	133	<u>315</u>	<u>427</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 $f_{R, \alpha A}$ 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		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>	<u>3687</u>
			棟換気	863	2078	3540	<u>6452</u>	1448	<u>3974</u>	<u>6452</u>	<u>6452</u>
		妻換気		86	203	335	<u>622</u>	143	<u>373</u>	<u>919</u>	<u>1012</u>
		妻軒	妻換気	274	656	1104	<u>2118</u>	458	<u>1234</u>	<u>3246</u>	<u>3600</u>
			軒換気	274	656	1104	<u>2118</u>	458	<u>1234</u>	<u>3246</u>	<u>3600</u>
	通気層 あり	軒換気		197	1000	1000	<u>1000</u>	626	<u>1000</u>	<u>1000</u>	<u>1000</u>
		軒棟	軒換気	556	2335	3687	<u>3687</u>	1173	<u>3687</u>	<u>3687</u>	<u>3687</u>
			棟換気	972	4086	6452	<u>6452</u>	2053	<u>6452</u>	<u>6452</u>	<u>6452</u>
		妻換気		109	1200	1200	<u>1200</u>	303	<u>1200</u>	<u>1200</u>	<u>1200</u>
		妻軒	妻換気	288	1172	3600	<u>3600</u>	602	<u>3600</u>	<u>3600</u>	<u>3600</u>
			軒換気	288	1172	3600	<u>3600</u>	602	<u>3600</u>	<u>3600</u>	<u>3600</u>
		軒換気		251	880	1000	<u>1000</u>	496	<u>1000</u>	<u>1000</u>	<u>1000</u>
	片流れ		131	318	547	<u>1000</u>	221	<u>616</u>	<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 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>	<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>	<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>	<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>	<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	<u>176</u>
		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	<u>821</u>
		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	<u>901</u>
		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	<u>381</u>

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	1000
		軒棟	軒換気	340	672	943	2586	429	893	2551	3687
			棟換気	594	1176	1650	4525	751	1563	4464	6452
		妻換気		59	117	162	421	75	154	416	834
		妻軒	妻換気	190	374	522	1398	240	496	1380	2914
			軒換気	190	374	522	1398	240	496	1380	2914
	通気層 あり	軒換気		112	362	1000	1000	157	822	1000	1000
		軒棟	軒換気	351	853	1471	3687	464	1335	3687	3687
			棟換気	614	1493	2574	6452	812	2336	6452	6452
		妻換気		64	190	445	1200	89	375	1200	1200
		妻軒	妻換気	184	442	752	3600	242	684	3600	3600
			軒換気	184	442	752	3600	242	684	3600	3600
	片流れ		162	374	603	1000	213	555	1000	1000	

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>	400	
		軒棟	軒換気		<u>28</u>	<u>105</u>	<u>158</u>	<u>384</u>	<u>118</u>	276	<u>585</u>	746
			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>	480	
		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>	<u>1474</u>
			棟換気		399	<u>715</u>	<u>1290</u>	<u>1290</u>	637	<u>1189</u>	<u>1290</u>	<u>1290</u>
		妻換気		80	<u>134</u>	<u>280</u>	<u>450</u>	122	<u>202</u>	<u>480</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>	<u>1440</u>
			軒換気		264	<u>440</u>	<u>912</u>	<u>1440</u>	399	<u>661</u>	<u>1440</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>	<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>	<u>1474</u>
			棟換気		822	<u>1290</u>	<u>1290</u>	<u>1290</u>	1290	<u>1290</u>	<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>	<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>	<u>1440</u>
			軒換気		546	<u>1440</u>	<u>1440</u>	<u>1440</u>	1440	<u>1440</u>	<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>	<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	<u>404</u>
			棟換気		<u>2</u>	<u>11</u>	<u>38</u>	125	<u>6</u>	<u>32</u>	139	<u>353</u>
		妻換気		<u>0</u>	<u>1</u>	<u>4</u>	16	<u>0</u>	<u>3</u>	18	<u>70</u>	
		妻軒	妻換気		<u>0</u>	<u>4</u>	<u>16</u>	66	<u>2</u>	<u>13</u>	76	<u>408</u>
			軒換気		<u>0</u>	<u>4</u>	<u>16</u>	66	<u>2</u>	<u>13</u>	76	<u>408</u>
	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	<u>328</u>	
		軒棟	軒換気		<u>3</u>	<u>17</u>	<u>58</u>	203	<u>10</u>	<u>49</u>	226	<u>682</u>
			棟換気		<u>2</u>	<u>15</u>	<u>51</u>	177	<u>9</u>	<u>43</u>	198	<u>597</u>
		妻換気		<u>0</u>	<u>0</u>	<u>3</u>	16	<u>0</u>	<u>3</u>	19	<u>360</u>	
		妻軒	妻換気		<u>0</u>	<u>3</u>	<u>12</u>	44	<u>1</u>	<u>10</u>	48	<u>142</u>
			軒換気		<u>0</u>	<u>3</u>	<u>12</u>	44	<u>1</u>	<u>10</u>	48	<u>142</u>
		片流れ		<u>1</u>	<u>5</u>	<u>18</u>	59	<u>3</u>	<u>16</u>	65	<u>152</u>	

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	400	
		軒棟	軒換気		136	268	377	1034	171	357	1020	1474
			棟換気		118	235	330	905	150	312	892	1290
		妻換気		23	46	64	168	30	61	166	333	
		妻軒	妻換気		76	149	208	559	96	198	552	1165
			軒換気		76	149	208	559	96	198	552	1165
	通気層 あり	軒換気		44	144	400	400	62	328	400	400	
		軒棟	軒換気		140	341	588	1474	185	534	1474	1474
			棟換気		122	298	514	1290	162	467	1290	1290
		妻換気		25	76	178	480	35	150	480	480	
		妻軒	妻換気		73	176	300	1440	96	273	1440	1440
			軒換気		73	176	300	1440	96	273	1440	1440
	片流れ		64	149	241	400	85	222	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 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	<u>400</u>	
		軒棟	軒換気		260	616	952	1474	331	910	1474	<u>1474</u>
			棟換気		228	538	832	1290	289	797	1290	<u>1290</u>
		妻換気		48	105	152	276	60	147	323	<u>440</u>	
		妻軒	妻換気		156	344	499	900	196	481	1053	<u>1430</u>
			軒換気		156	344	499	900	196	481	1053	<u>1430</u>
	通気層 あり	軒換気		149	400	400	400	294	400	400	<u>400</u>	
		軒棟	軒換気		332	1474	1474	1474	491	1474	1474	<u>1474</u>
			棟換気		291	1290	1290	1290	429	1290	1290	<u>1290</u>
		妻換気		81	480	480	480	139	480	480	<u>480</u>	
		妻軒	妻換気		199	1371	1440	1440	291	1440	1440	<u>1440</u>
			軒換気		199	1371	1440	1440	291	1440	1440	<u>1440</u>
	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 $f_{R,\alpha A}$ (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 $k-\epsilon$ 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]

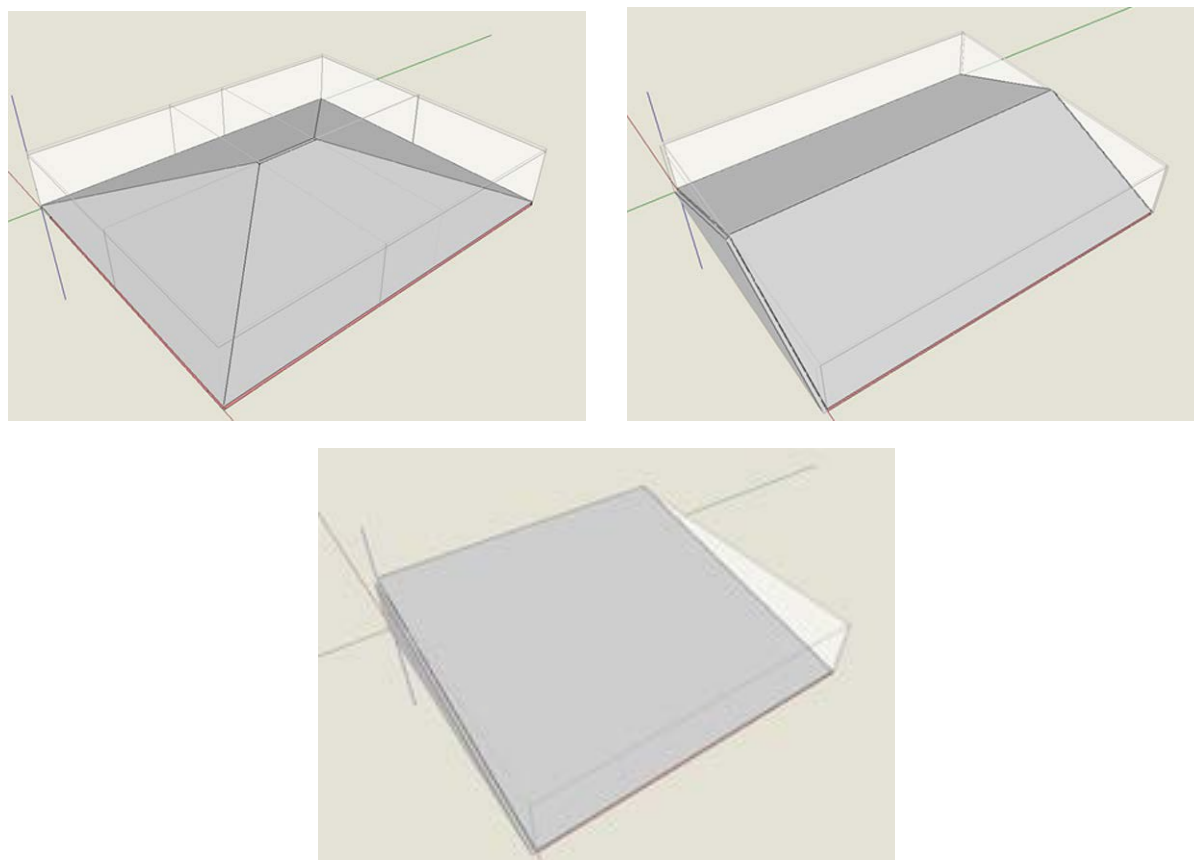


図 22 計算対象モデル（左上：寄棟、右上：切妻、下：片流れ）

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	0.608338	0.252229	0.365003
0.126114	0.456253	0.252229	0.608338	0.126114	0.273752
0.204024		0.408049		0.204025	0.730006
1.368759	1.825014	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	0.912507	1.825010	0.912507	0.365003
0.126114	0.456253	0.252229	0.608338	0.126114	0.342190	0.252229	0.456254	0.252228		0.126114	0.273752
0.126114	0.456253	0.252229	0.608338	0.126114	0.684380	0.252229	0.912507	0.252228		0.126114	0.273752
0.204024		0.408049		0.204025		0.408050		0.408048		0.204025	0.730006
1.368759	1.825014	1.825014	1.368760	1.368760	1.825015	1.368760	1.825015	1.825010	1.825010	1.368760	1.825015

外気流入 0.912507 0.912507 0.912507 0.912506 0.912507
室内流入 0.456252 0.912507 0.456253 0.912508 0.456253 0.912504 0.456253 0.912508

片流れ			
軒		1	
0.5	1	0.5	1
流入	流出	流入	流出
0.912507	1.368760	0.912506	1.825010
0.126114		0.252228	
0.126114		0.252228	
0.204025		0.408048	
1.368760	1.825010	1.825010	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

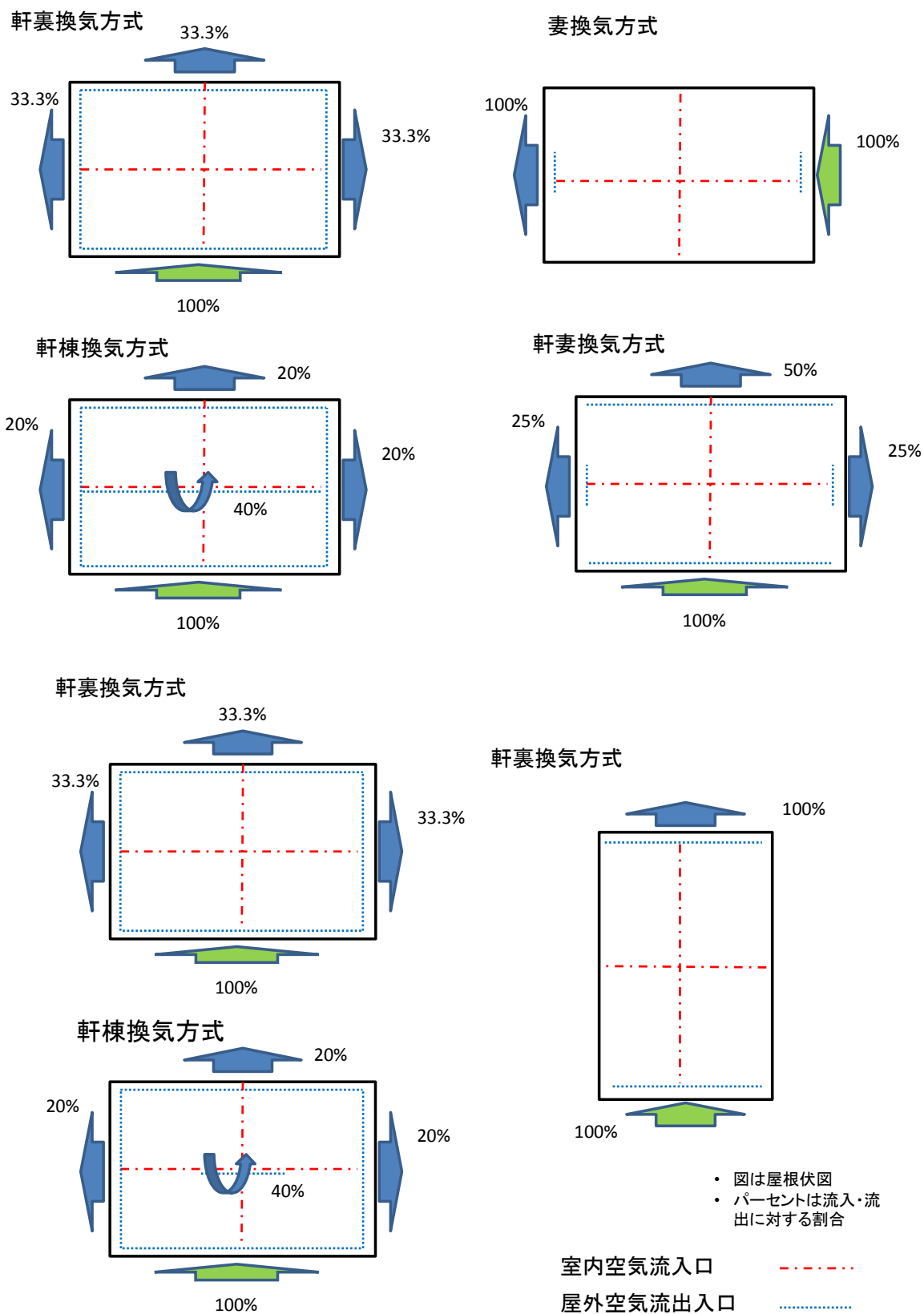


図 24 小屋裏空間への流出入の割合

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。

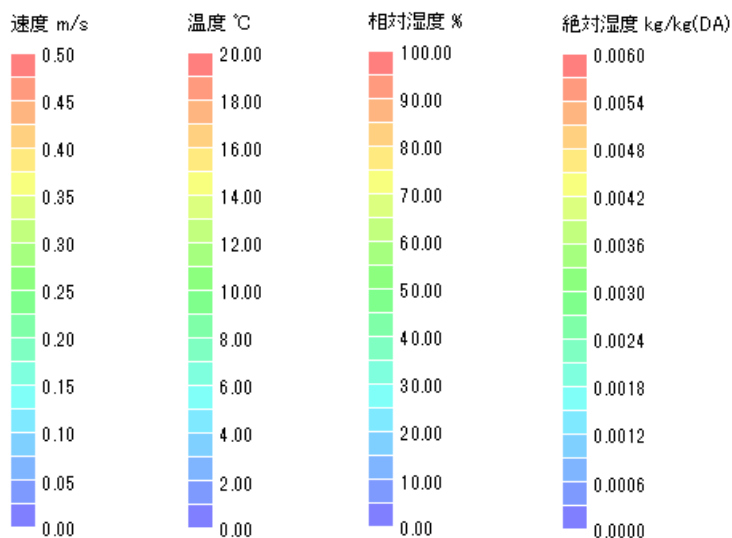
小屋裏内の気流速度はおおよそ 0.2m/s 以下で、居室からの流入箇所から上昇し、勾配屋根に沿って上昇・下降する循環流が見られる。棟換気と片流れ屋根の場合に若干差が生じており、前者は 0.23m/s (図 27)、後者は 0.1m/s 程度 (図 29) となるがオーダー的には小さく、脈動圧のみの想定では自然対流に近い気流性状であった。

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

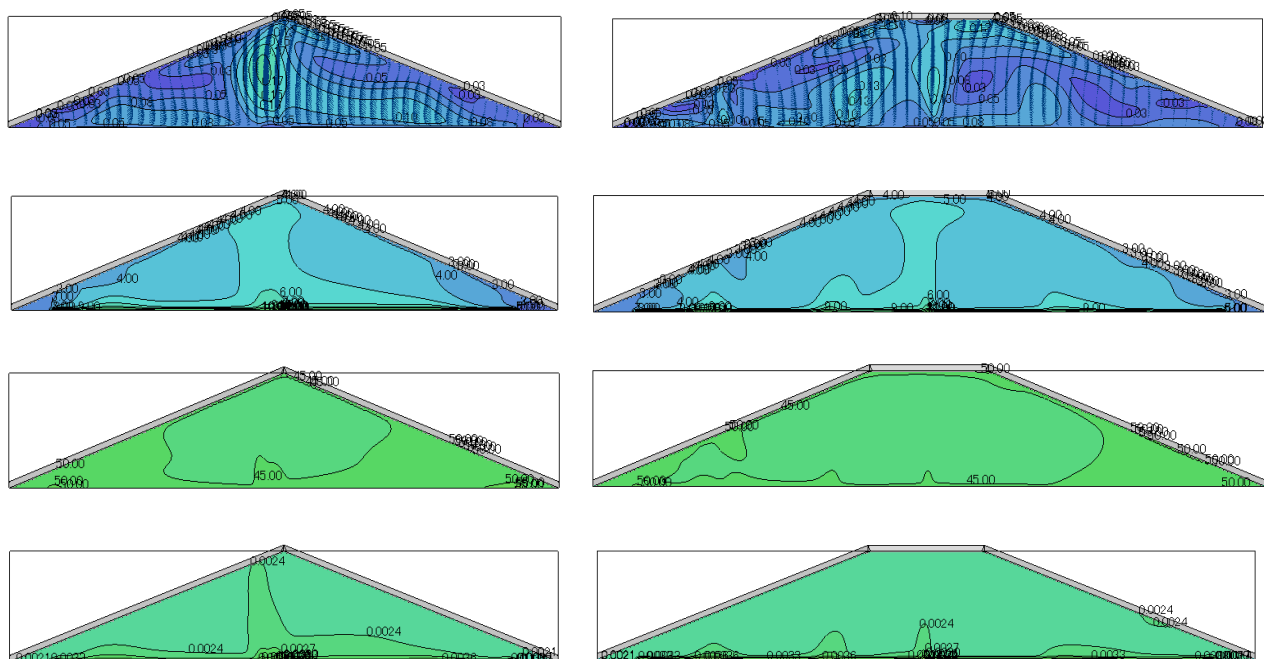


図 25 寄棟屋根・軒換気（室内空気：外気＝0.5：1.0）

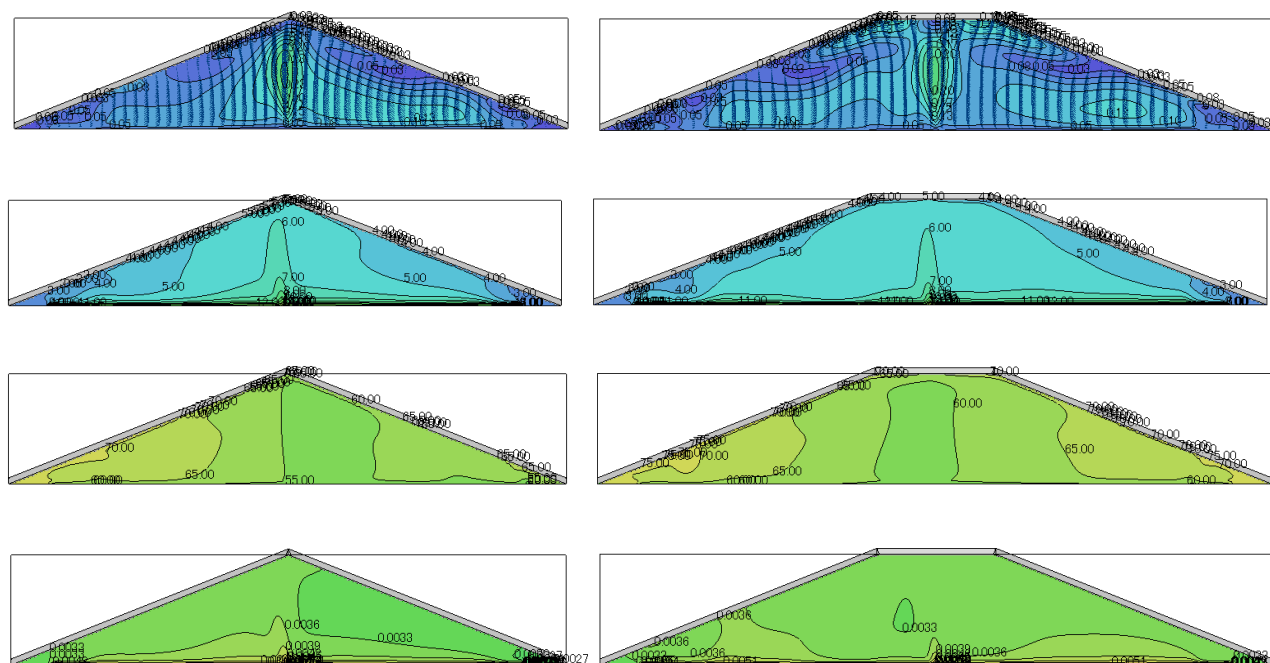


図 26 寄棟屋根・軒換気（室内空気：外気＝1.0：1.0）

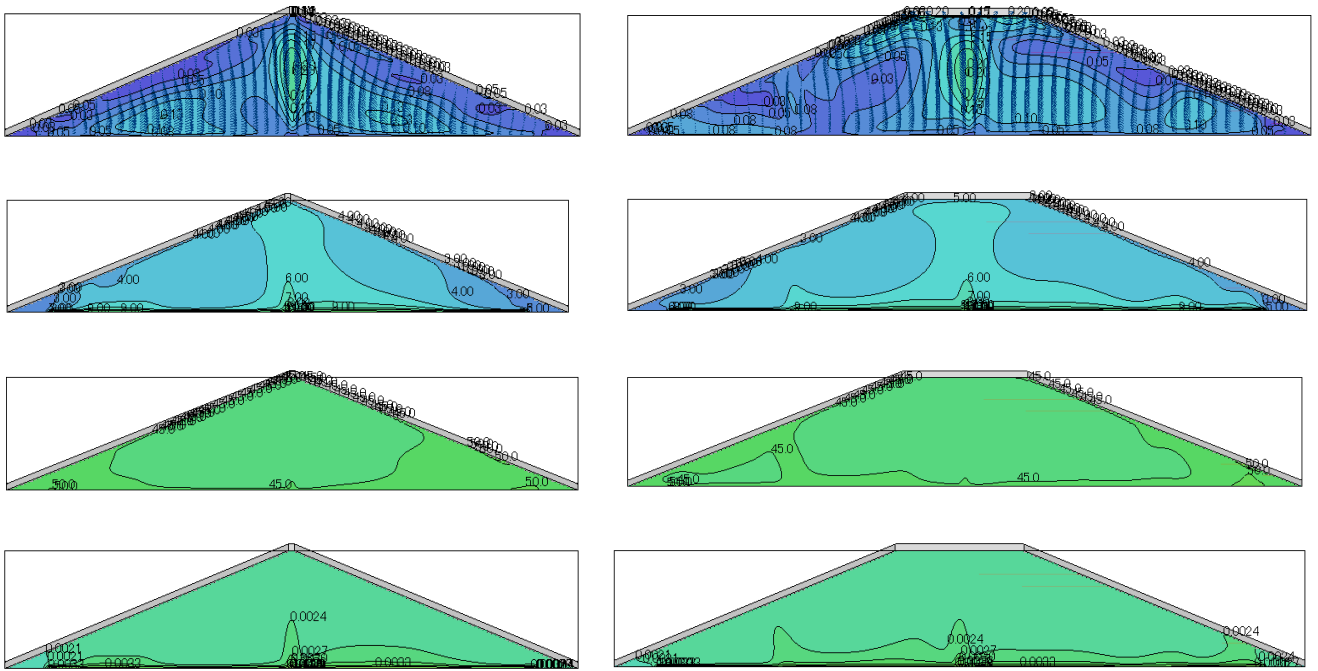


図 27 寄棟屋根・軒+棟換気（室内空気：外気=0.5：1.0）

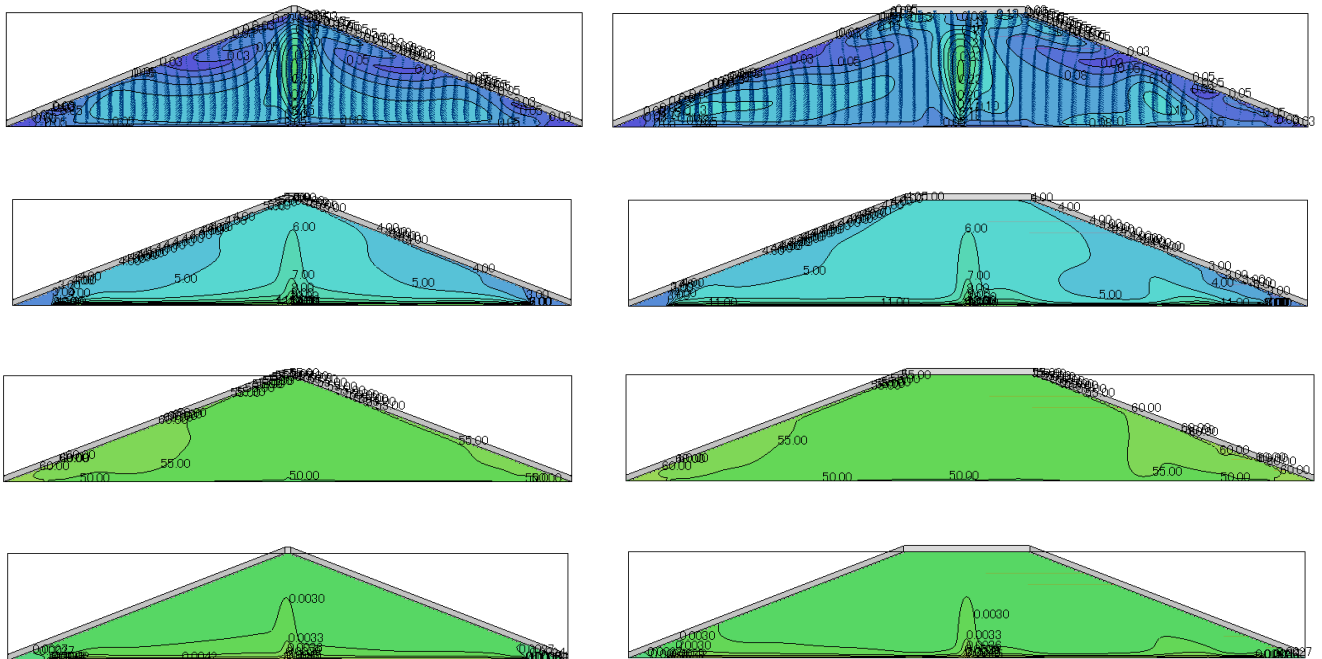


図 28 寄棟屋根・軒+棟換気（室内空気：外気=1.0：1.0）

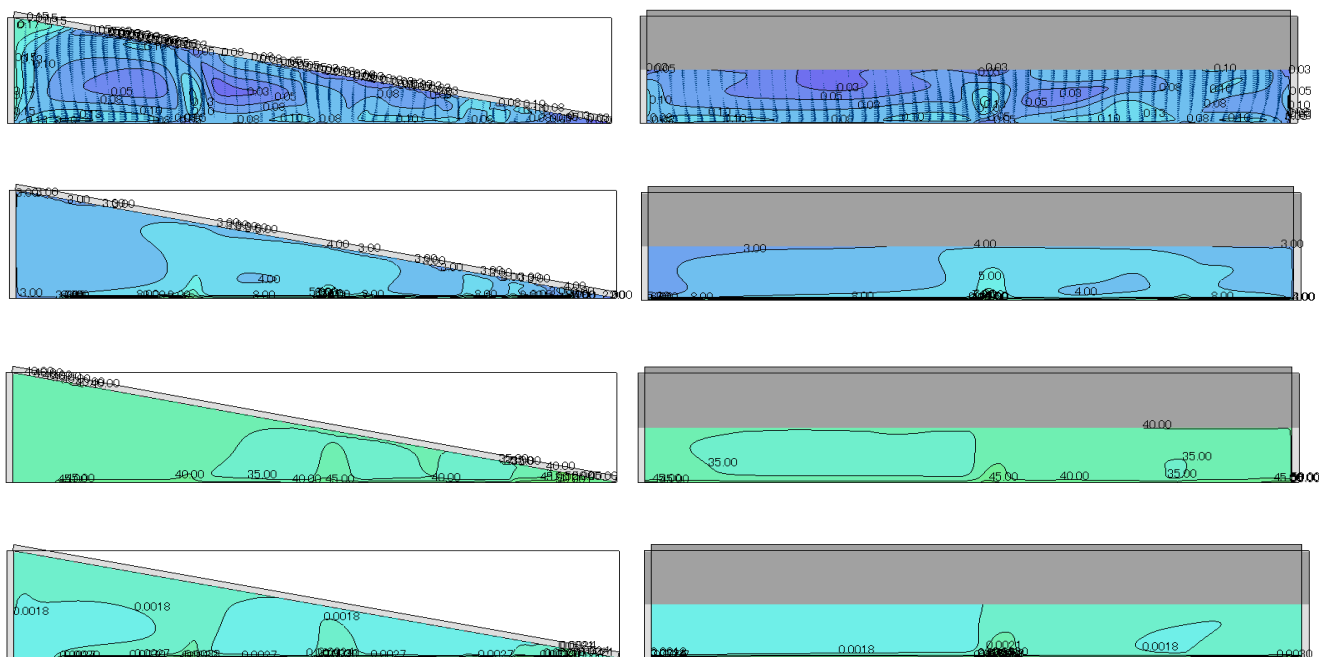


図 29 片流れ屋根・軒換気 (室内空気 : 外気=0.5 : 1.0)

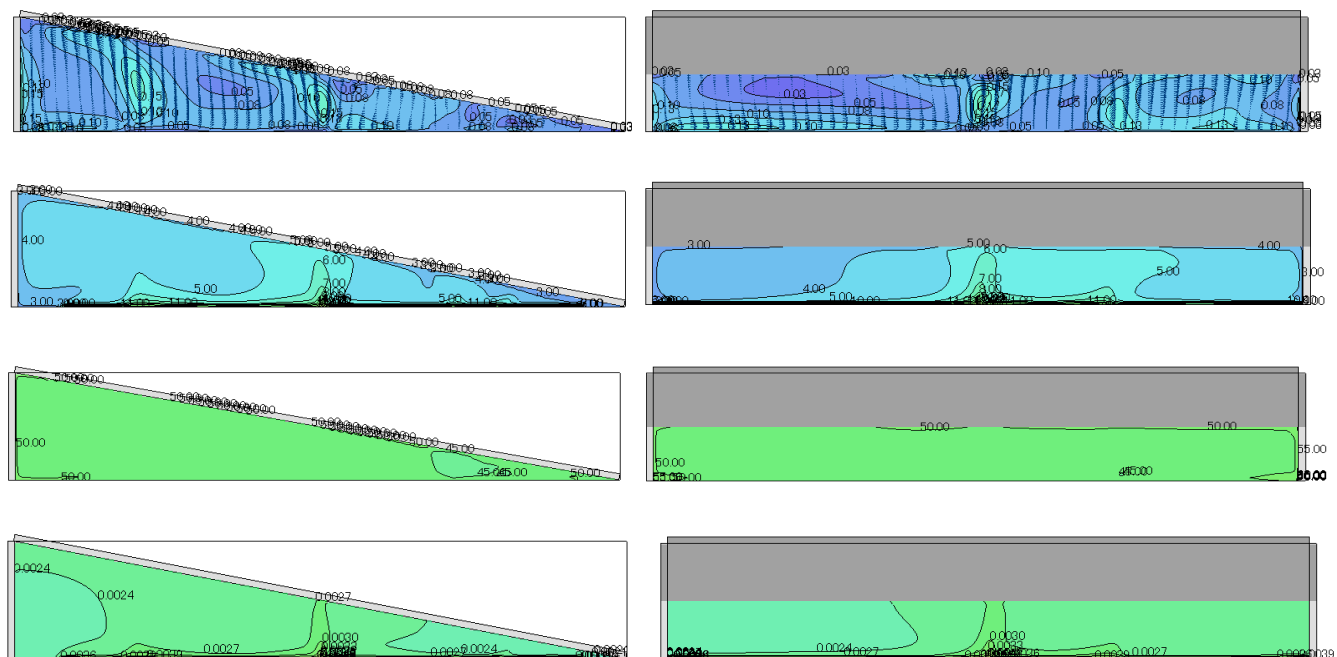


図 30 片流れ屋根・軒換気 (室内空気 : 外気=1.0 : 1.0)

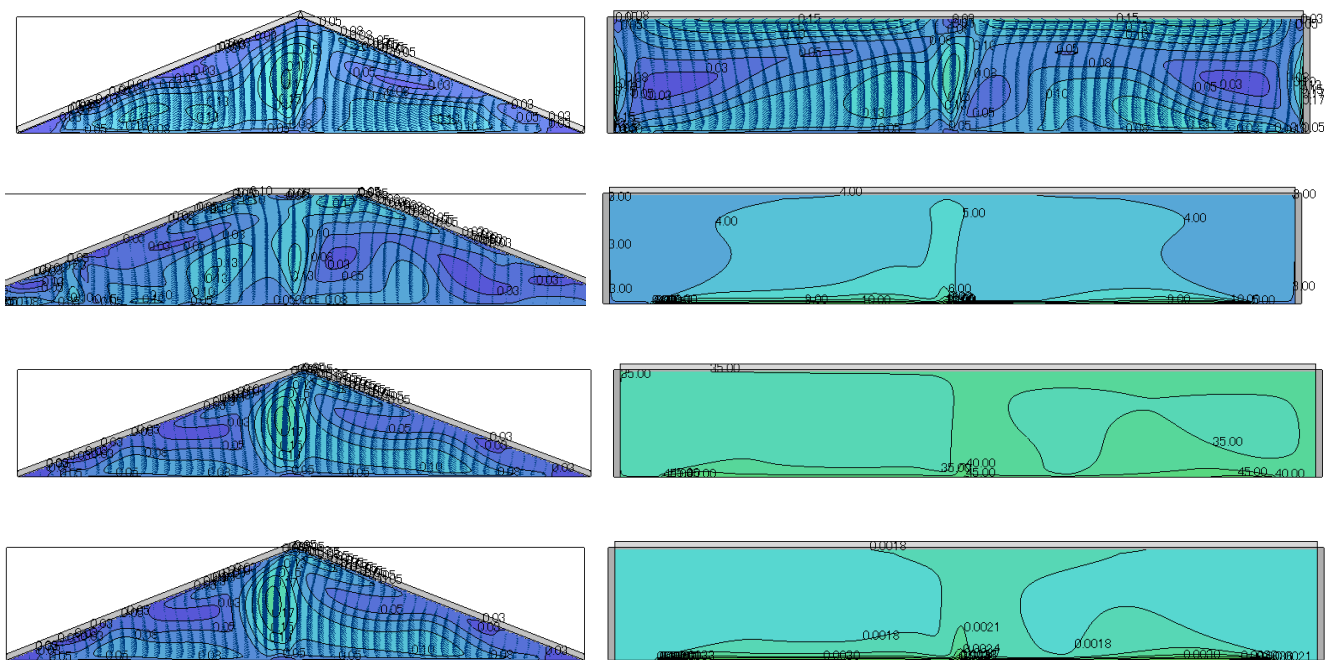


図 31 片流れ屋根・軒換気（室内空気：外気＝1.0：1.0）

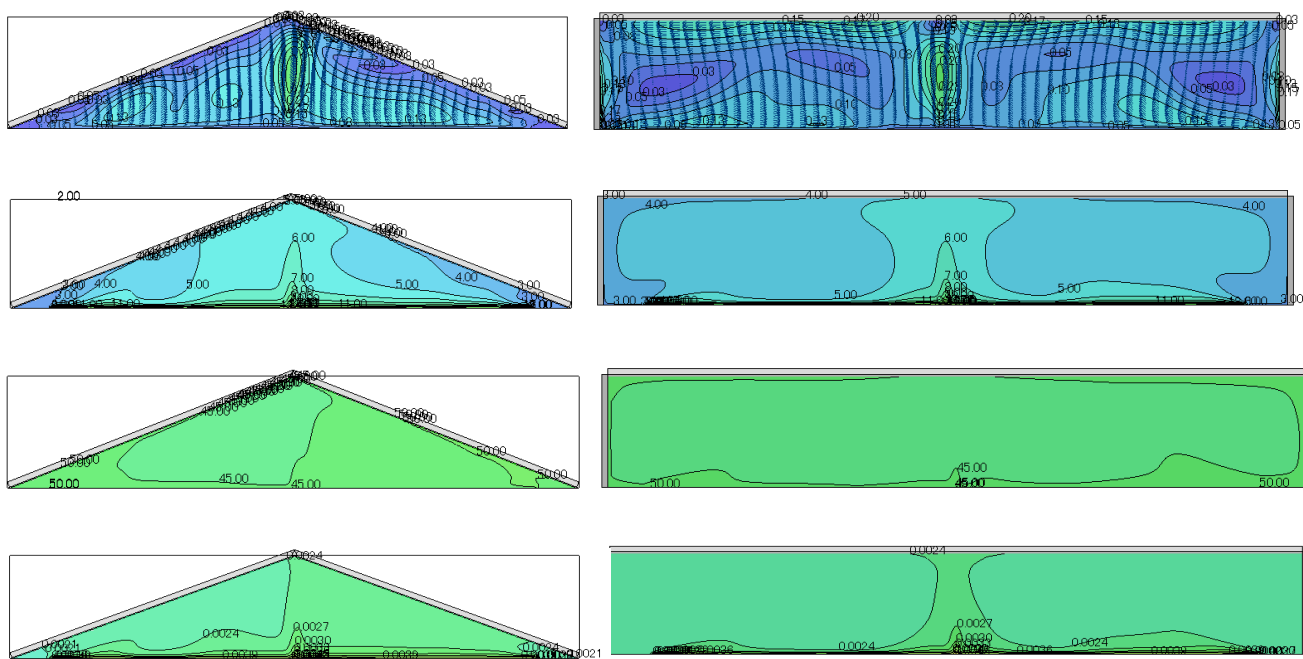


図 32 切妻根・軒換気（室内空気：外気＝1.0：1.0）

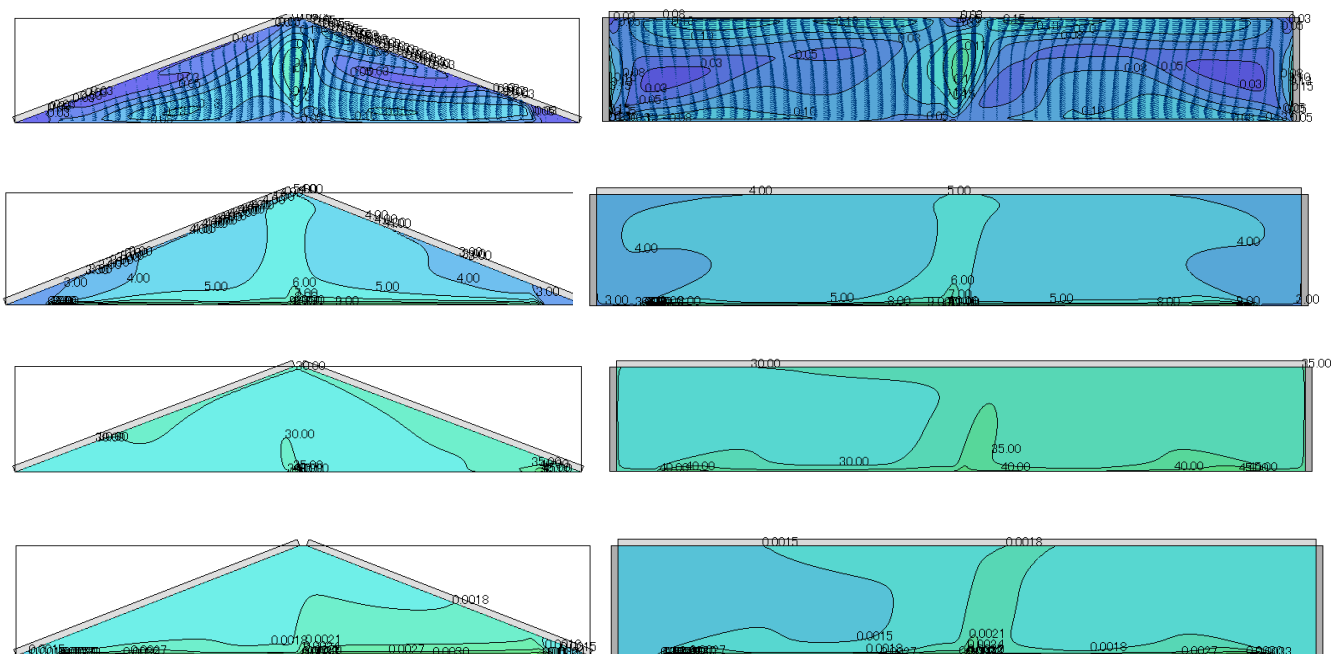


図 33 切妻根・軒+棟換気（室内空気：外気=0.5：1.0）

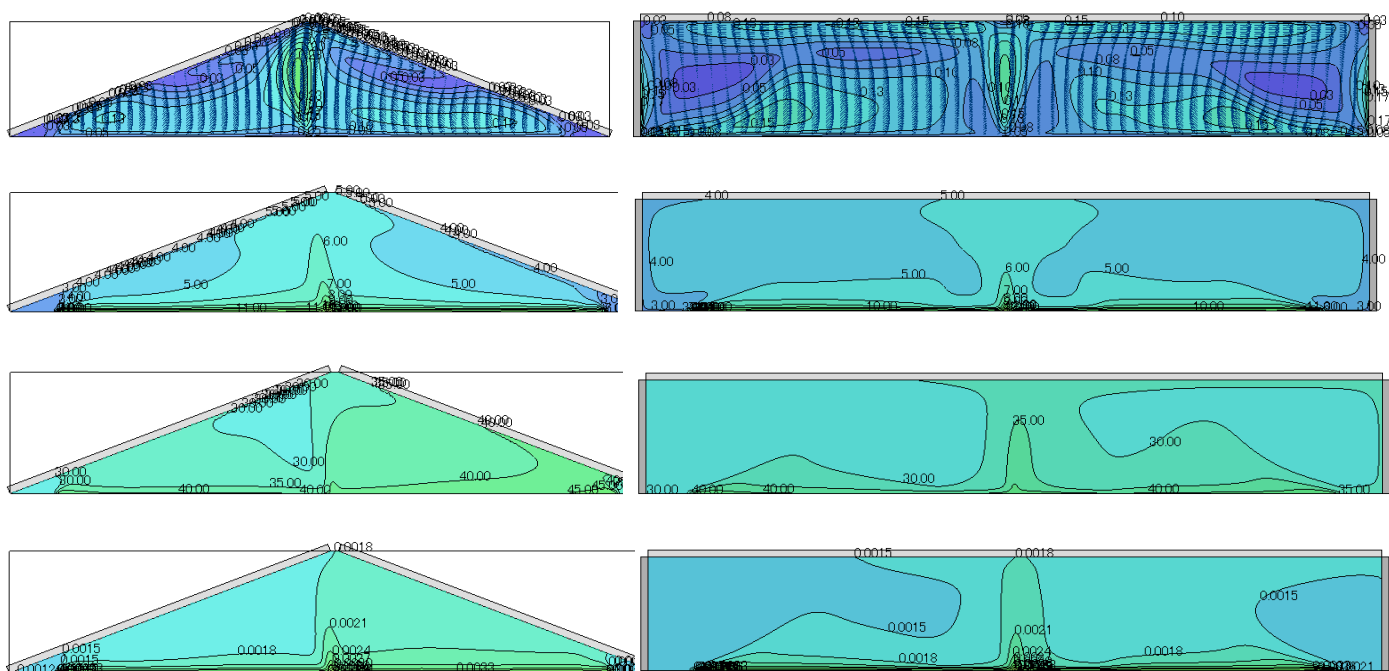


図 34 切妻根・軒+棟換気（室内空気：外気=1.0：1.0）

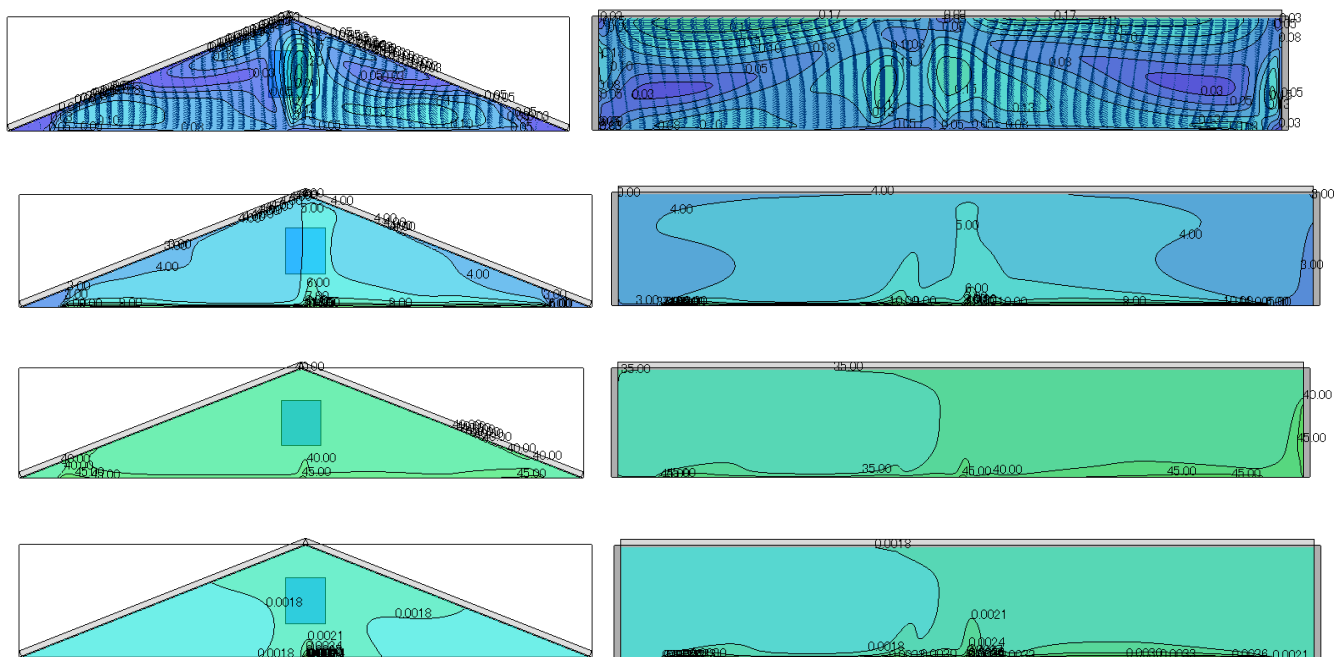


図 35 切妻根・妻換気 (室内空気 : 外気 = 0.5 : 1.0)

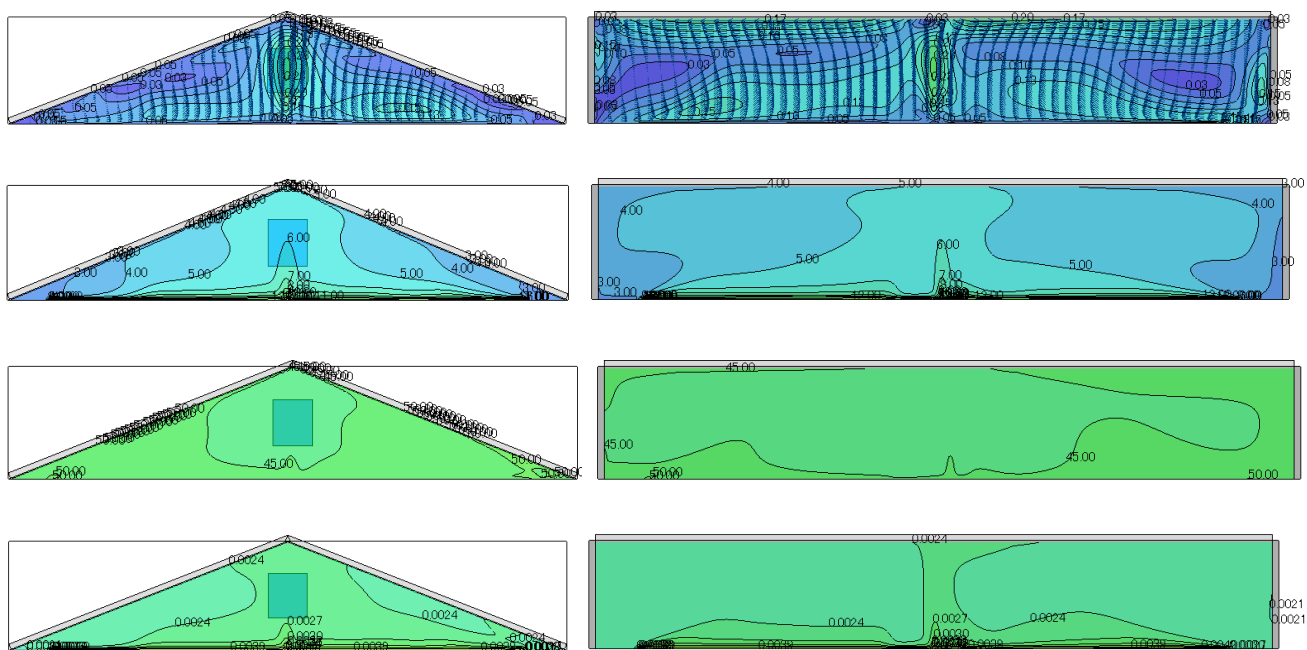


図 36 切妻根・妻換気 (室内空気 : 外気 = 1.0 : 1.0)

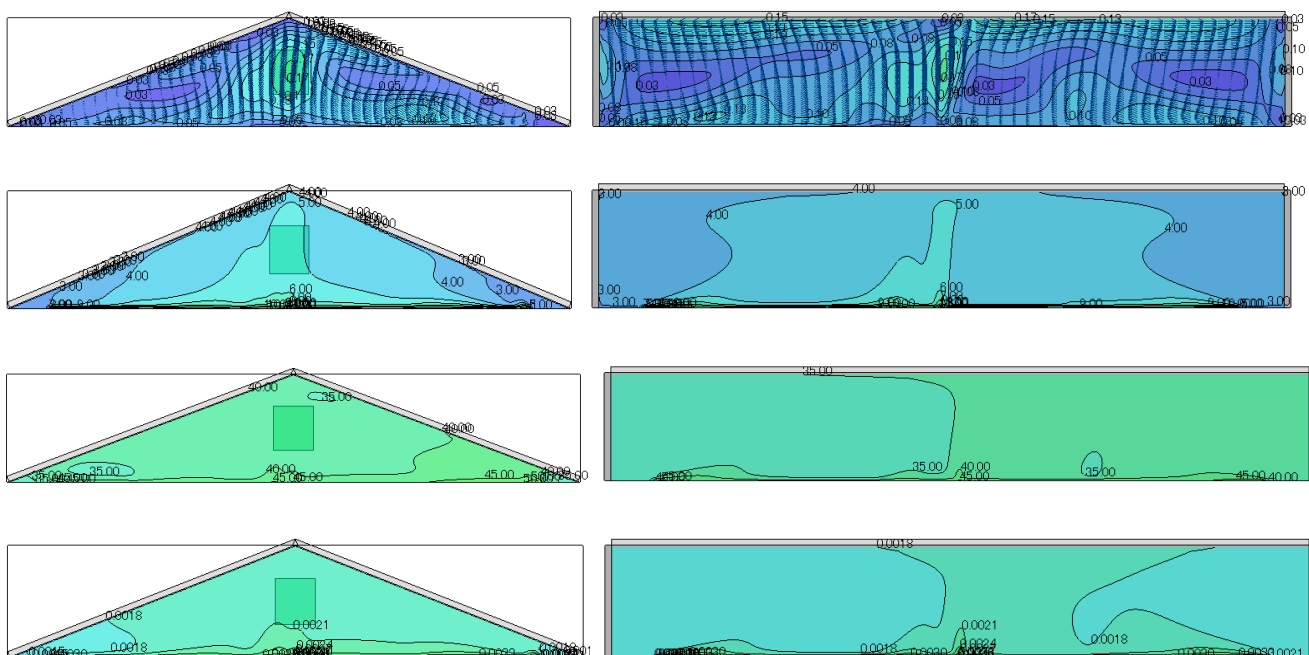


図 37 切妻根・軒+妻換気 (室内空気 : 外気=0.5 : 1.0)

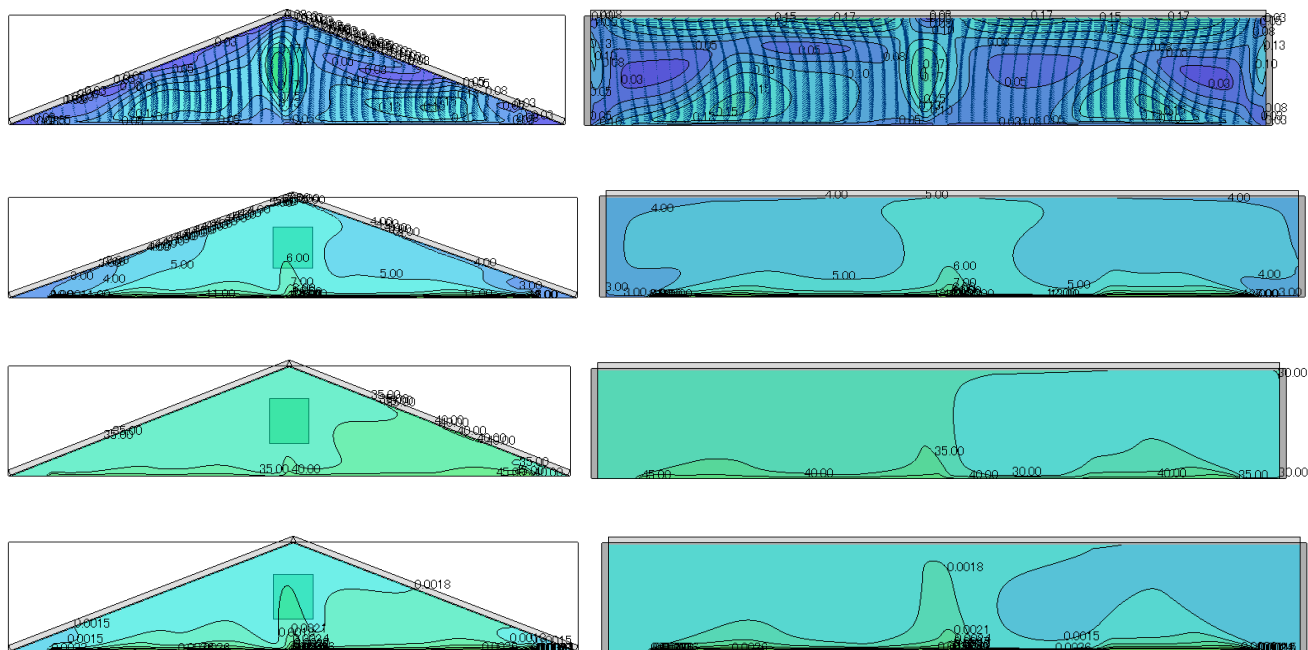


図 38 切妻根・軒+妻換気 (室内空気 : 外気=1.0 : 1.0)

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。

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。

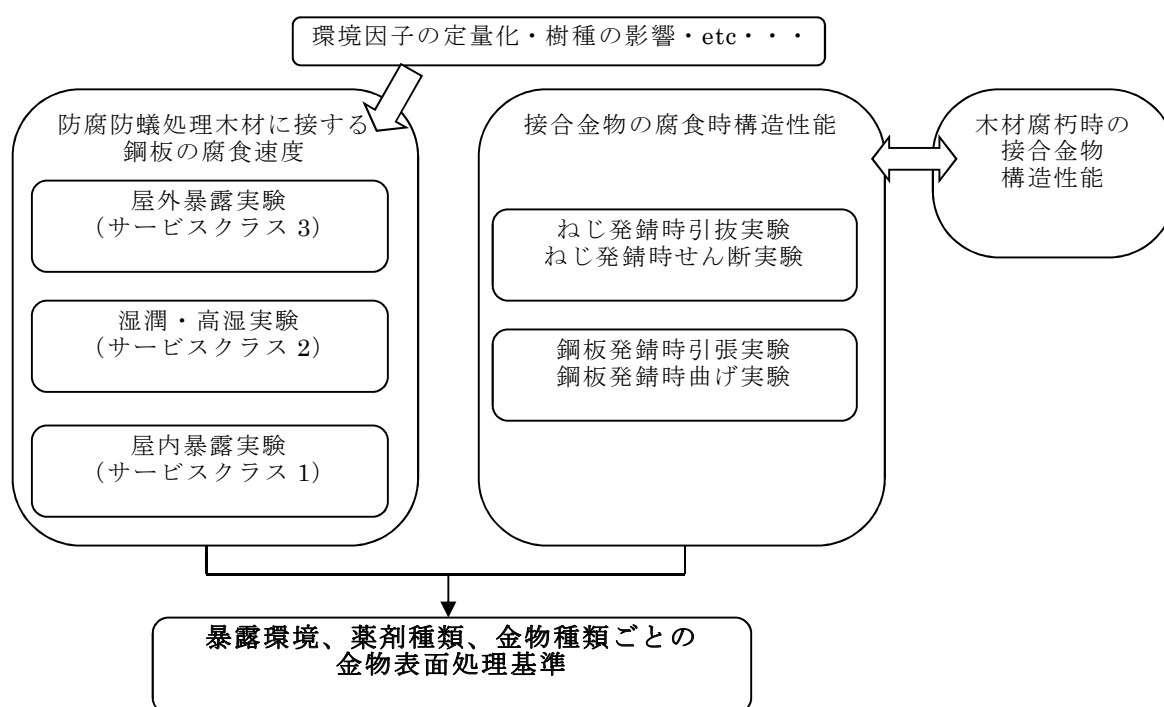


図 8.1.1 検討概要

8.1.2 平成 24 年度までの取組内容と成果

本 TG では平成 23 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

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。

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年度はこれに加え、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	なりゆき	100%RH	木材端部浸水
高湿	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	屋外暴露実験・湿潤実験
つくば	住友林業株式会社 筑波研究所屋上	屋外暴露実験・高湿実験
宇治	京都大学生存圏研究所	屋外暴露実験
旭川	北海道立総合研究機構 林産試験場	屋外暴露実験
春日井	中部大学18号館屋内	屋内暴露実験

表 8.2.3 観察スケジュール

試験地	試験種別	start	8週目観察	12週目観察	24週目観察	1年目観察	1.5年目観察	2年目観察	3年目観察
横浜	屋外・湿潤	2010/10/20	2010/12/15	2011/01/12	2011/04/14	2011/10/20	2012/06/01	2012/08/22	2014/01/23
つくば	屋外	2010/10/18	2010/12/08	2011/01/06	2011/04/04	2011/10/18	2012/05/26	2012/08/31	2014/01/24
宇治	屋外	2010/10/26	2010/12/22	2011/01/23	2011/04/23	2011/11/16	2012/07/06	2012/09/14	2014/01/09
旭川	屋外	2010/11/12	2011/01/07	2011/02/10	2011/04/28	2011/11/18	2012/06/02	2012/08/20	2014/02/03
つくば(高湿)	高湿	2010/12/10	2011/02/04	2011/03/07	2011/06/22	2011/12/09	2012/06/02	2012/10/12	2014/01/24
春日井	屋内	2012/09/14	-	2012/12/14	2013/11/18				

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

	表記記号	商品名	鋼板の表面処理																	
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
ねじの表面処理	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																		○

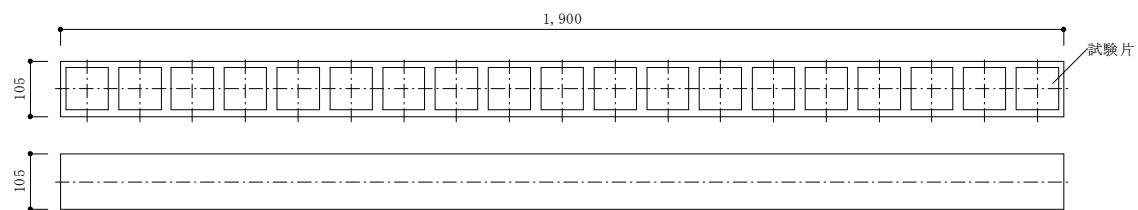


図 8.2.2 屋外暴露実験 試験体図

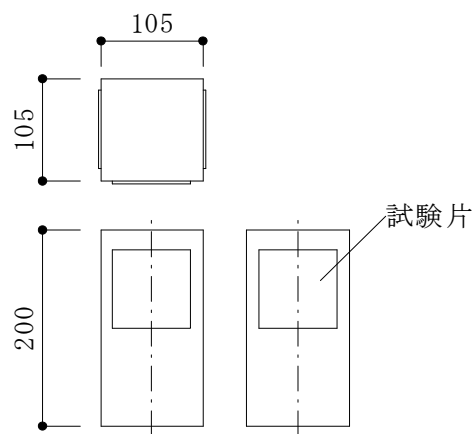


図 8.2.3 湿潤実験 試験体図

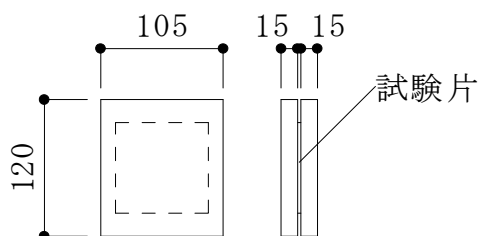


図 8.2.4 高湿実験・屋内暴露実験 試験体図

8.2.3 評価方法

試験体鋼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(ペイマガ)	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(ペイマガ)	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	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
ホウ酸	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(ペイマガ)	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	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
ホウ酸	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(ペイマガ)	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

	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	2.7	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
ホウ酸	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(ペイソガ)	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 8.2.12 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	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
ホウ酸	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(ペイソガ)	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 8.2.13 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	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
ホウ酸	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 8.2.14 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	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
ホウ酸	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 8.2.15 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
ホウ酸	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(ベイツガ)	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 8.2.16 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
ホウ酸	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(ベイツガ)	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 8.2.17 評価結果（屋外暴露実験・つくば・2 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	4.7	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
ピフェントリンほか				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 8.2.18 評価結果（屋外暴露実験・つくば・3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	2.7	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 8.2.19 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	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	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 8.2.20 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	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
ホウ酸	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 8.2.21 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	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
ホウ酸	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 8.2.22 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 8.2.23 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 8.2.24 評価結果（屋外暴露実験・宇治・2 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				4.3	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
チアメキサムほか				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
ピフェントリンほか				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 8.2.25 評価結果（屋外暴露実験・宇治・3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
エトフェンプロックス乳剤	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
エトフェンプロックス油剤	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
ホウ酸	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(ペイマガ)	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 8.2.26 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
エトフェンプロックス乳剤	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
エトフェンプロックス油剤	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
ホウ酸	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(ペイマガ)	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 8.2.27 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	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
ホウ酸	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(ペイソガ)	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 8.2.28 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	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
ホウ酸	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(ペイソガ)	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 8.2.29 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 8.2.30 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 8.2.31 評価結果（屋外暴露実験・旭川・2 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	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
チアメトキサムほか				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
ピフェントリンほか				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 8.2.32 評価結果（屋外暴露実験・旭川・3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
エトフェンプロックス乳剤	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
エトフェンプロックス油剤	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
ホウ酸	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(ペイマガ)	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 8.2.33 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
エトフェンプロックス乳剤	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
エトフェンプロックス油剤	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
ホウ酸	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(ペイマガ)	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 8.2.34 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	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
チアマトキサムほか	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
ホウ酸	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 8.2.35 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	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
チアマトキサムほか	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
ホウ酸	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 8.2.36 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 8.2.37 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 8.2.38 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
ピフェントリンほか				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 8.2.39 評価結果（湿潤実験・3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
チアマトキサムほか	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 8.2.40 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
チアマトキサムほか	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 8.2.41 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 8.2.42 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 8.2.43 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(ベイツ)	3.0	2.0	4.0	1.0	4.0	1.0	1.7
未処理材(ベイツガ)	3.0	2.0	4.0	1.0	3.7	1.0	1.3

図 8.2.44 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(ベイツ)	3.0	2.0	4.0	1.0	4.0	1.0	1.7
未処理材(ベイツガ)	3.0	2.0	4.0	1.0	3.7	1.0	1.3

図 8.2.45 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
ホウ酸	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 8.2.46 評価結果（高湿実験・3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 8.2.47 に示す。また、図 8.2.48 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 $- 2\sigma$	平均値 $+ 2\sigma$
R	32	195
G	38	177
B	42	165

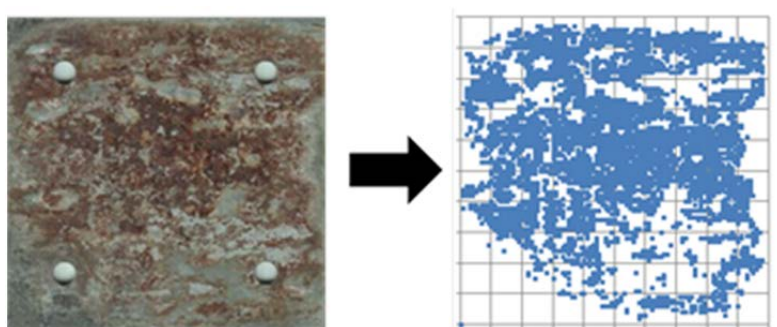


図 8.2.47 赤錆抽出の一例

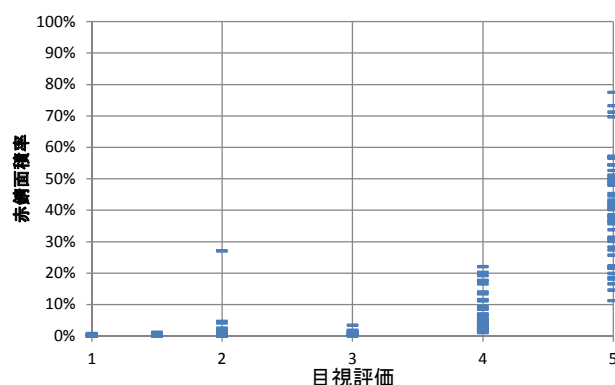


図 8.2.48 目視評価結果と赤錆面積率

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 8.2.49、50 に示す。

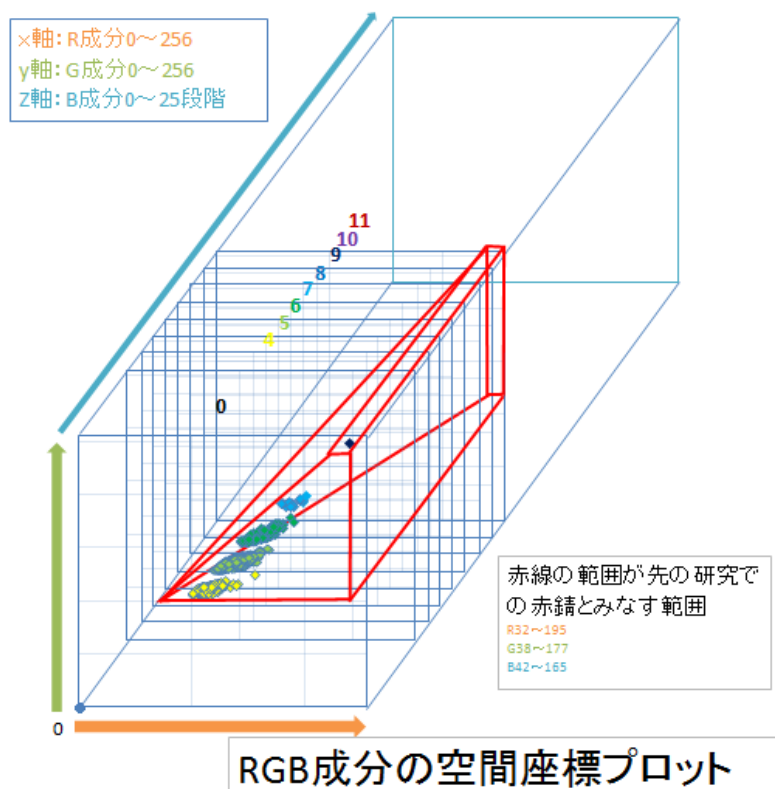


図 8.2.49 赤錆 RGB 成分の空間座標プロット

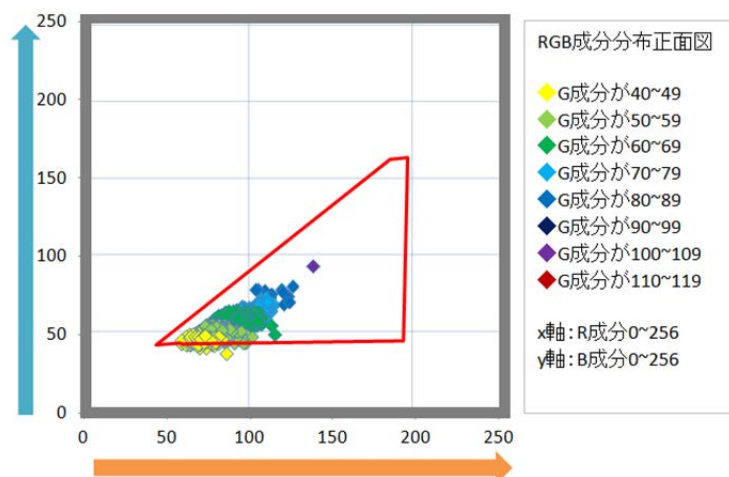


図 8.2.50 赤錆 RGB 成分の空間座標プロット（G 軸に垂直な面への投影）

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 8.2.51 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 8.2.52 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。

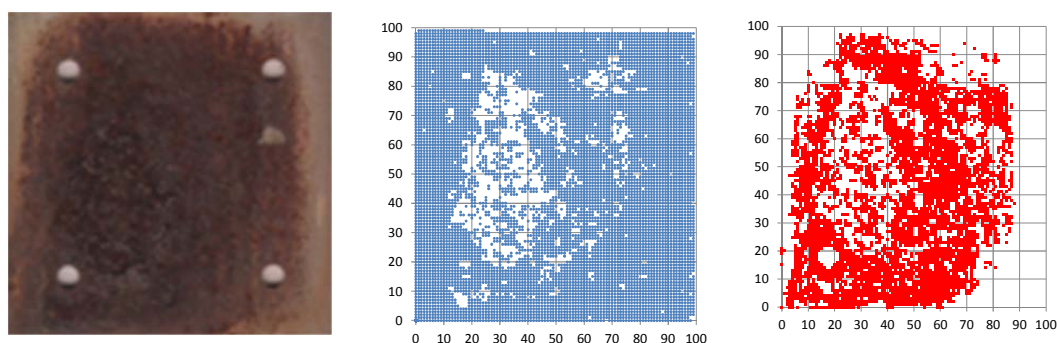


図 8.2.51 解析法の比較（左：画像、中央：旧方法による赤錆範囲、右：新方法による赤錆範囲）

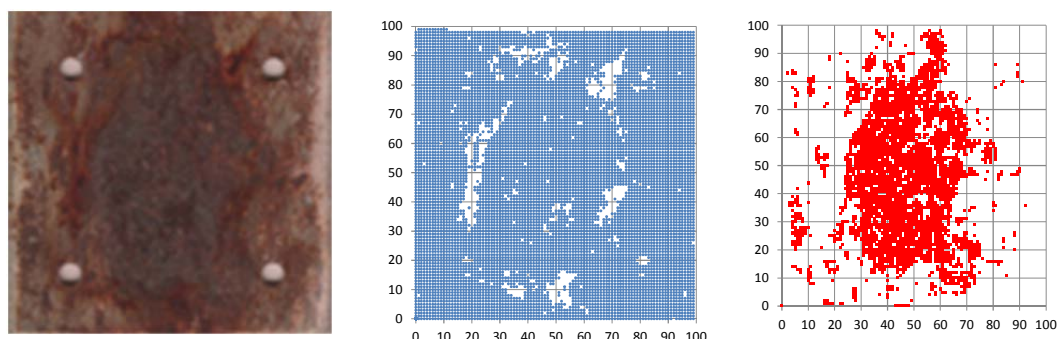


図 8.2.52 新たな課題（左：画像、中央：旧方法による赤錆範囲、右：新方法による赤錆範囲）

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 (mg・NaCl/㎡・day)

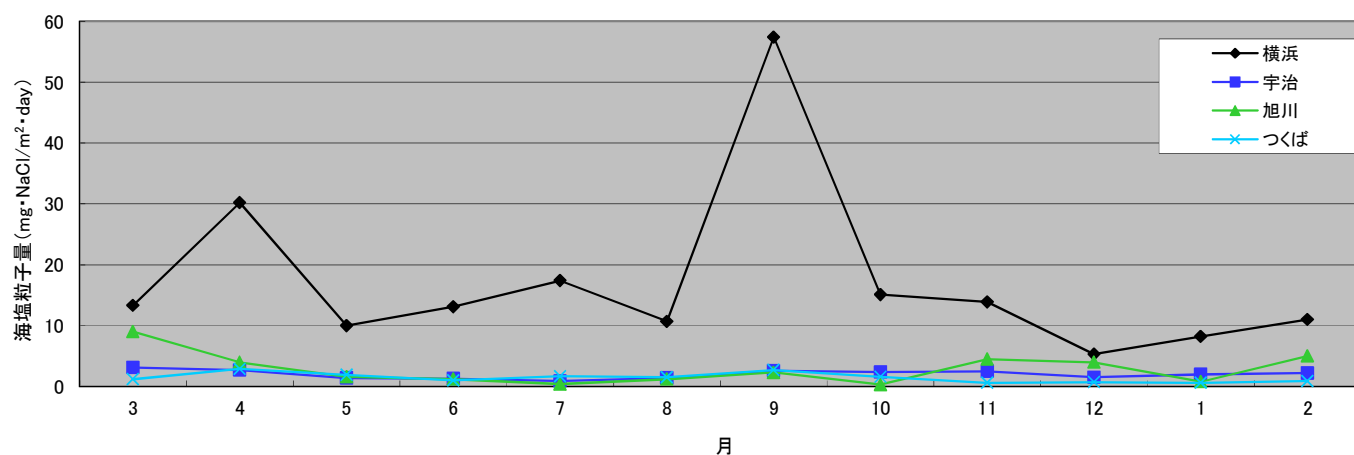


図 8.2.53 飛来海塩粒子量

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ン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

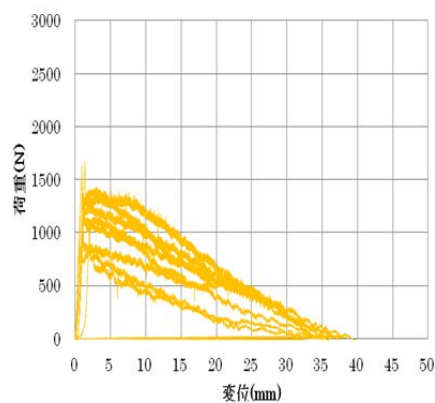


図 8.3.3 荷重変形曲線 (N65 新品)

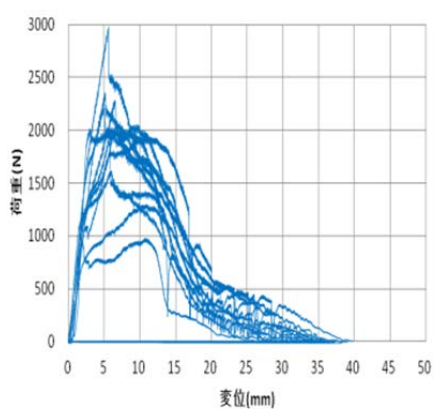


図 8.3.4 荷重変形曲線
(N65 劣化度 3.5)

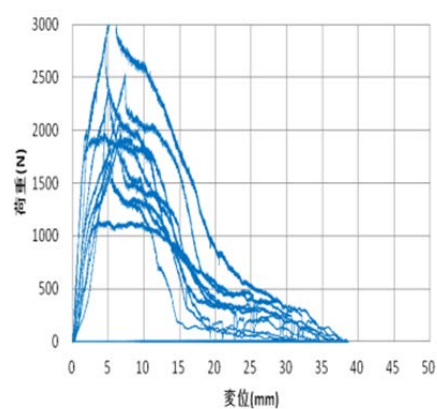


図 8.3.5 荷重変形曲線
(N65 劣化度 4)

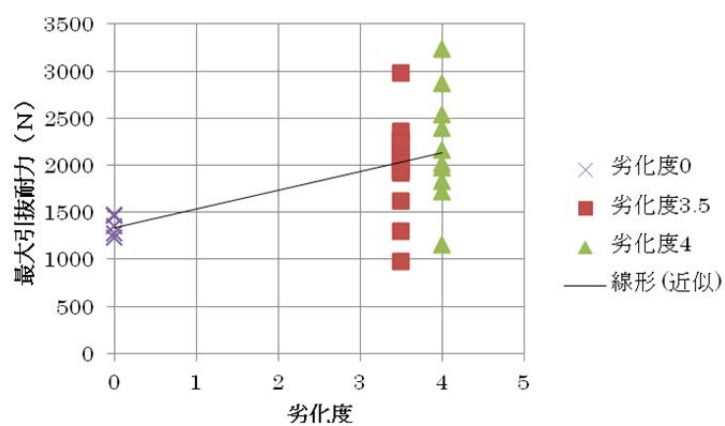


図 8.3.6 劣化度と最大引抜耐力

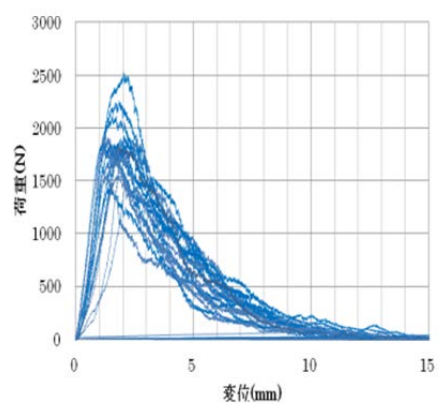


図 8.3.7 荷重変形曲線
(L30 木ねじ 新品)

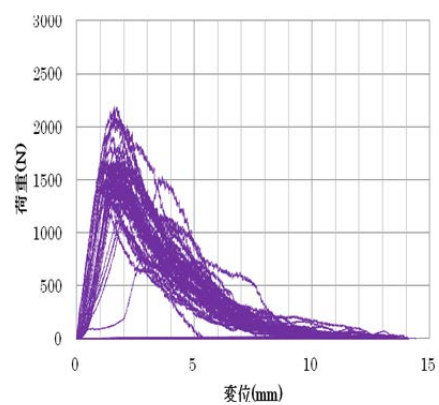


図 8.3.8 荷重変形曲線
(L30 木ねじ 劣化度 2)

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態を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。

9.2 前年度調査の詳細分析

9.2.1 調査概要

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、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。アンケート 2013 年 1 月に依頼状とともに郵送で配布し、ファックスや Web 入力で回収した（図 1）。

ファックスでの回答が約 340 社、Web からの回答が約 110 社で、合計約 450 社（回収率は約 23%程度）であった。重複や無効回答などを除いたその結果、348 社から有効回答を得た。アンケート実施の際の依頼状とアンケート質問事項の前文を後掲する。

このアンケートは(一社)すまいづくりまちづくりセンター連合会に登録されている建築士事務所向けに設置されています。非登録の事業者や団体の回答はご遠慮下さい。

住宅の維持保全計画についてのアンケート調査

以下の質問で、選択肢がある場合には該当部分にチェックをし、フォームや表には回答を記入してください。

Q1. 貴社について伺います。

組織名		従業員数	人
創業年(西暦)	年	業務エリア	
所在地(住所)			
電話番号		FAX番号	
回答者お名前		E-mail	

Q2. 貴社の住宅建設の実績について伺います。

Q2-1 過去3年間の新築住宅について

全着工戸数 戸、そのうち分譲 戸、注文 戸
そのうち木造 戸、木造住宅の主な構法 ☐ 軸組構法 ☐ 2×4工法 ☐ 木質プレハブ工法 ☐ その他

Q2-2 過去3年間の増改築・リフォーム工事について

全着工戸数 戸、そのうち分譲 戸、注文 戸
そのうち木造 戸、木造住宅の主な構法 ☐ 軸組構法 ☐ 2×4工法 ☐ 木質プレハブ工法 ☐ その他

Q2-3 この1年の新築住宅について

図 1 Web からのアンケート回答ページの冒頭部

9.2.2 結果

(1) 回答工務店の概要

有効回答の得られた 348 社について、従業員数は 1 人～200 人であり、平均 10.7 人であった。営業年数は 0 年～141 年であり、平均 29.9 年であった。所在地域は、関東、北陸・甲信越、東海、中国・四国地方が若干多いが、全国から大きな偏りなく回答が得られた（表 1）。

工務店の所在地と従業員数について、北海道は従業員数の多い工務店が多く、小規模から中規模工務店において比較的均等に回答が得られた。他の地域は、従業員数 1 人または 2～5 人の小規模工務店が 6 割程度を占めている。工務店の所在地と営業年数について、北海道は営業 30 年以上が 6 割弱をしめており、他の地域に比べて営業年数の長い工務店が多い。北陸・甲信越は 10 年以下 24.5%、31～50 年以下 34.7%と営業年数の短い工務店と長い工務店に分かれた。中国・

四国は21年以上30年以下24.0%、31年以上の50年以下26.0%と営業20年以上が6割以上を占めていた。他の地域は営業年数20年以下の比較的新しい工務店が多かった。

表1 回答工務店概要

従業員数	%(n=348)	営業年数	%(n=348)	所在地* ¹	%(n=348)
1人	21.6	0～10年	20.7	北海道	10.6
2～5人	38.8	11～20年	19.5	東北	10.3
6～10人	14.1	21～30年	17.2	関東	15.2
11～20人	11.5	31～50年	25.0	北陸・甲信越	14.1
21人以上	10.6	51年以上	15.2	東海	14.1
不明	3.4	不明	2.3	近畿	11.2
				中国・四国	14.4
				九州・沖縄	9.8

*¹所在地分類

北海道：北海道

東北：青森、秋田、岩手、宮城、山形、福島県

関東：茨城、群馬、栃木、埼玉、千葉、神奈川県、東京都

北陸・甲信越：新潟、福井、富山、石川、山梨、長野県

東海：静岡、岐阜、愛知、三重県

近畿：滋賀、兵庫、奈良、和歌山県、大阪府、京都府

中国・四国：鳥取、島根、岡山、広島、山口、香川、愛媛、徳島、高知県

九州・沖縄：福岡、佐賀、長崎、大分、熊本、宮崎、鹿児島、沖縄県

(2) 回答工務店の実績

1) 着工件数

過去1年間の新築全着工戸数は0～250戸であり、平均7.6戸であった。新築分譲は0～250戸、平均1.9戸であり、新築注文は0～91戸、平均7.5戸であった。また、新築木造は0～250戸、平均7.9戸であり、軸組構法が76.2%を占めていた。所在地別にみると、関東では0戸が3割、1～5戸が約5割であり、新築全着工戸数は抑えられている傾向がみられる。近畿、東北では1～5戸が6割を占めており、北海道および九州・沖縄では1～5戸に次いで6～10戸の割合がやや高く、過去1年間の新築全着工戸数に地域差がみられる（表2）。

過去1年間の増改築・リフォーム全着工戸数は0戸から360戸であり、平均11.6戸であった。増改築・リフォームのうち、木造住宅は0戸から340戸、平均15.0戸であり、軸組構法が76.1%を占めていた。増改築・リフォームにおいても、軸組構法の注文木造住宅を手がけている工務店が多い。所在地別にみると、関東では0戸が47.2%、1～5戸が37.7%であり、新築全着工戸数と同様に増改築・リフォーム全着工戸数も抑えられている傾向がみられる。東北、近畿、中国・四国では1～5戸が5割を占めており、北海道および九州・沖縄、近畿では6～10戸、11～20戸の割合がやや高く、過去1年間の新築全着工戸数と同様に、過去1年間の増改築・リフォーム全着工戸数にも地域差がよみとれる（表2）。

表2 回答工務店の実績

過去1年間の 新築全着工戸数	(%) (n=348)	所在地別 (%) 北海道(n=37)	東北(n=36)	関東(n=53)	北陸・甲信越(n=49)	東海(n=49)	近畿(n=39)	中国・四国(n=50)	九州・沖縄(n=34)
0戸	16.7	8.1	11.1	32.1	12.2	10.2	10.3	26.0	17.6
1～5戸	51.7	35.1	61.1	49.1	57.1	55.1	61.5	52.0	41.2
6～10戸	14.9	27.0	13.9	5.7	14.3	16.3	12.8	10.0	23.5
11～20戸	7.2	10.8	5.6	5.7	6.1	12.2	7.7	4.0	5.9
21戸以上	9.5	18.9	8.3	7.5	10.2	6.1	7.7	8.0	11.8
過去1年間の増改築・ リフォーム全着工戸数	(%) (n=348)	所在地別 (%) 北海道(n=37)	東北(n=36)	関東(n=53)	北陸・甲信越(n=49)	東海(n=49)	近畿(n=39)	中国・四国(n=50)	九州・沖縄(n=34)
0戸	29.3	32.4	22.2	47.2	24.5	26.5	12.8	30.0	35.3
1～5戸	44.3	29.7	55.6	37.7	49.0	49.0	51.3	52.0	23.5
6～10戸	10.3	16.2	11.1	5.7	12.2	8.2	10.3	6.0	17.6
11～20戸	6.3	8.1	2.8	0.0	8.2	4.1	12.8	6.0	11.8
21戸以上	9.8	13.5	8.3	9.4	6.1	12.2	12.8	6.0	11.8
雨漏り発生の有無	(%) (n=348)	所在地別 (%) 北海道(n=37)	東北(n=36)	関東(n=53)	北陸・甲信越(n=49)	東海(n=49)	近畿(n=39)	中国・四国(n=50)	九州・沖縄(n=34)
あり	36.5	37.8	22.2	43.4	40.8	38.8	48.7	22.0	38.2
なし	63.5	62.2	77.8	56.6	59.2	61.2	51.3	78.0	61.8
蟻害発生の有無	(%) (n=348)	所在地別 (%) 北海道(n=37)	東北(n=36)	関東(n=53)	北陸・甲信越(n=49)	東海(n=49)	近畿(n=39)	中国・四国(n=50)	九州・沖縄(n=34)
あり	17.2	2.7	5.6	17.0	30.6	16.3	20.5	16.0	26.5
なし	82.8	97.3	94.4	83.0	69.4	83.7	79.5	84.0	73.5

2) 雨漏り発生の有無

雨漏りについて、表2に示すように、今までに施工した住宅で雨漏りが発生した工務店は36.5%であり、雨漏り経験工務店あたりの総数は平均11.9戸であった。雨漏りした住宅の築後年数は0～42年、平均7.5年であった。雨漏りが発生した経験をもつ工務店は、従業員数が多く、営業年数が長い傾向がみられる。所在地域でみると、近畿、関東、北陸・甲信越では4割を越えており、東北、中国・四国では2割程度と低い。長期優良住宅との関連をみると、長期優良住宅が雨漏りした工務店は7社であり、そのうち6社は1戸のみであったが、1社は40戸と発生数が多い。雨漏りした住宅の築後年数は1～2年で、平均1.3年であった。雨漏りが発生した箇所は、外壁、屋根、バルコニー・ベランダであり、ほぼ同数であった。長期優良住宅以外が雨漏りしたのは111社であり、雨漏り総数は1～120戸、平均7.8戸であった。雨漏りした住宅の築後年数は0～42年、平均8.0年であった。雨漏りが発生した箇所は、外壁34.2%、屋根33.3%、バルコニー・ベランダ9.9%、サッシ・開口部6.3%であった。雨漏りが発生した箇所別に、雨漏りした住宅の築後年数の平均を示すと、外壁は築後8.0年、屋根は築後5.4年、バルコニー・ベランダは12.9年、サッシ・開口部は13.1年であり、屋根からの雨漏りは施工後早い時期から雨漏りが発生しており、施工不良が影響していると予想される。

3) 蟻害発生の有無

蟻害について、表2に示すように、今までに施工した住宅で蟻害が発生した工務店は17.2%であり、蟻害経験工務店あたりの総数は1～120戸であり、平均8.8戸であった。蟻害が発生した住宅の築後年数は0～35年、平均13.0年であった。所在地域でみると、北陸・甲信越、九州・沖縄では3割程度、一方、北海道、東北では1割に満たず、わずかである。長期優良住宅との関連をみると、長期優良住宅で蟻害が発生した工務店は1社であり、被害例は40戸であった。最新の被害例において住宅の築後年数は2年であった。なお、蟻害発生箇所は不明である。長期優良住宅以外で蟻害が発生したのは45社であり、蟻害発生総数は1～120戸、平均7.9戸であった。

蟻害が発生した住宅の築後年数は0～35年、平均13.2年であった。蟻害が発生した箇所は、浴室などの水回り、バルコニー・ベランダであった。また、これら蟻害が発生した住宅の防蟻処理について、処理あり62.2%、処理なし33.3%であった。防蟻処理されていたにもかかわらず、蟻害が発生した住宅の築後年数は0年から35年であり、平均15.3年であった。これらのことから新築や入居時に処理したのち、再処理されてない例が多いと予想される。

(3) 長期優良認定住宅の実績

長期優良認定住宅の着工経験のある工務店は54.9%であった。認定年は2009年から2013年であり、2009年、2010年で6割以上を占めている。今までの着工戸数は0～400戸であり、平均10.6戸である。着工住宅のうち、分譲住宅は0～18戸、平均6.1戸、注文住宅は0～400戸、平均11.0戸であり、注文住宅で長期優良住宅の認定を受けていることが多い。また、木造住宅の着工戸数は0～400戸、平均10.0戸であった。住宅の構法は軸組構法85.3%、2×4工法7.3%であった。屋根仕上は、瓦葺き37.7%、金属板葺き43.5%であり、外壁仕上はサイディング61.8%、モルタル17.3%、金属板9.9%であった。このように、着工された長期優良認定住宅は木造軸組で、屋根は瓦葺きか金属板葺き、外壁はサイディングまたはモルタルが多数を占めている(表3)。

表3 長期優良認定住宅の概要

長期優良認定住宅 着工実績	(%) (n=348)	所在地別 (%)	北海道(n=37)	東北(n=36)	関東(n=53)	北陸・甲信越(n=49)	東海(n=49)	近畿(n=39)	中国・四国(n=50)	九州・沖縄(n=34)
あり	54.9		75.7	47.2	49.1	51.0	59.2	56.4	52.0	50.0
なし	45.1		24.3	52.8	50.9	49.0	40.8	43.6	48.0	50.0

長期優良認定住宅着工実績ありのみ (n=191)										
長期優良住宅建設戸数	(%) (n=191)	所在地別 (%)	北海道(n=28)	東北(n=17)	関東(n=26)	北陸・甲信越(n=25)	東海(n=29)	近畿(n=22)	中国・四国(n=26)	九州・沖縄(n=17)
0戸	3.7		0.0	11.8	0.0	4.0	0.0	9.1	3.8	5.9
1戸	22.0		7.1	29.4	34.6	20.0	24.1	4.5	42.3	11.8
2～5戸	33.5		39.3	29.4	38.5	32.0	24.1	45.5	23.1	35.3
6～10戸	18.3		32.1	23.5	11.5	20.0	13.8	18.2	15.4	11.8
11～20戸	13.1		14.3	5.9	11.5	12.0	17.2	18.2	7.7	17.6
21戸以上	9.4		7.1	0.0	3.8	12.0	20.7	4.5	7.7	17.6

認定木造住宅の 主な構法	(%) (n=191)	所在地別 (%)	北海道(n=28)	東北(n=17)	関東(n=26)	北陸・甲信越(n=25)	東海(n=29)	近畿(n=22)	中国・四国(n=26)	九州・沖縄(n=17)
軸組	85.3		67.9	76.5	92.3	92.0	96.6	77.3	92.3	82.4
2×4工法	7.3		32.1	5.9	7.7	4.0	3.4	0.0	0.0	0.0
その他	0.5		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9
不明	6.8		0.0	17.6	0.0	4.0	0.0	22.7	7.7	11.8

認定住宅の主な 屋根仕上	(%) (n=191)	所在地別 (%)	北海道(n=28)	東北(n=17)	関東(n=26)	北陸・甲信越(n=25)	東海(n=29)	近畿(n=22)	中国・四国(n=26)	九州・沖縄(n=17)
瓦葺き	37.7		3.6	23.5	23.1	56.0	44.8	40.9	61.5	52.9
金属板葺き	43.5		92.9	58.8	42.3	36.0	37.9	27.3	19.2	23.5
スレート葺き	5.2		0.0	0.0	11.5	4.0	3.4	9.1	7.7	5.9
色石綿瓦葺き	3.1		0.0	0.0	7.7	0.0	3.4	0.0	7.7	5.9
シングル葺き	3.1		3.6	0.0	11.5	0.0	3.4	4.5	0.0	0.0
その他	1.6		0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0	5.9
不明	5.8		0.0	17.6	3.8	4.0	0.0	18.2	3.8	5.9

認定住宅の主な 外壁仕上	(%) (n=191)	所在地別 (%)	北海道(n=28)	東北(n=17)	関東(n=26)	北陸・甲信越(n=25)	東海(n=29)	近畿(n=22)	中国・四国(n=26)	九州・沖縄(n=17)
サイディング	61.8		67.9	58.8	34.6	68.0	69.0	54.5	61.5	88.2
モルタル	17.3		3.6	11.8	50.0	8.0	13.8	13.6	26.9	0.0
金属板	9.9		14.3	5.9	3.8	16.0	17.2	9.1	3.8	5.9
その他	5.2		14.3	0.0	7.7	4.0	0.0	9.1	3.8	0.0
不明	5.8		0.0	23.5	3.8	4.0	0.0	13.6	3.8	5.9

長期優良認定住宅の着工経験について、工務店の所在地域別にみると、経験ありは北海道

75.7%、東海 59.2%、近畿 56.4%であり、北海道で長期優良住宅認定に積極的な様子が見えがえる。また、工務店の所在地域別に主な構法、屋根仕上げ、外壁仕上げをみると、北海道では他の地域に比べて2×4工法が32.1%とやや多く、屋根仕上げは金属板葺きが92.9%と大半を占めている。一方、関東では外壁仕上げとしてモルタルが50%と半数を占め、他の地域に比べてモルタルの割合が高い（表3）。

（4）維持保全計画書の実態

維持保全計画書は50%の工務店で作成しており、作成年は1988年から2012年であった。作成方法は、自社で作成49.1%、所属団体のフォーマットを使用40.5%であった。維持保全計画を作成する上で参考とした資料は、「住まいの管理手帳」29.5%、「よくわかる 長もちする住宅の設計手法マニュアル「設計・施工・維持管理」」（以降、よくわかる 設計手法マニュアルと記す）26.0%、その他22.0%、参考資料なし9.8%であった。その他として、今までの実績や経験、JBN（中小工務店の全国組織）の資料が挙げられた（表4）。

表4 維持保全計画書の実態

維持保全計画書の有無	%(n=347)		
あり	49.9		
なし	50.1		
維持保全計画書ありのみ (n=173)			
維持保全計画書の作成方法	%(n=173)	維持保全計画書で考慮している地域性	%(n=173)
自社で作成	49.1	最低温度や最高温度など温度	5.8
所属団体フォーマット使用	40.5	季節風や防風などの風	9.2
その他	4.0	シロアリの生育分布	13.3
無回答	6.4	日照時間	1.2
維持保全計画書作成時の参考資料	%(n=173)	降水量や降雪量	13.9
住まいの管理手帳	29.5	潮風・塩害	8.7
よくわかる 設計手法マニュアル	26.0	その他	4.6
その他	22.0	考慮していない	36.4
参考資料なし	9.8	無回答	6.9
無回答	12.7	維持保全計画書における独自の工夫	%(n=173)
点検周期の決定方法	%(n=173)	維持保全計画にかかる積立金計画について記述した	13.3
マニュアル・参考資料どおり	48.0	費用の無料・有料の区別を明確にした	12.7
部材や部品の耐用年数を考慮	22.0	地域の気象条件を考慮して計画をたてた	5.8
住まい方を考慮	12.7	使用している部材、部品に合わせて計画年数を変更した	5.8
気象条件を考慮	8.7	計画年数を長期優良住宅の認定基準よりも延長して記述した	2.3
シロアリの生育分布を考慮	2.3	点検結果に応じて交換や補修を推奨するような記述をした	12.7
無回答	6.4	交換時期、補修時期の目安を明確に記述した	4.0
		雨漏りなどに対する点検を強化した	3.5
		シロアリに対する点検を強化した	2.9
		点検回数を増やした	3.5
		点検時期を明確に記述した	2.9
		点検用紙を記述式からチェック式にした	6.4
		点検方法を簡易で分かりやすい方法にした	1.7
		その他	4.6
		無回答	17.9

1) 維持保全計画の有無

維持保全計画の有無について、工務店の所在地域別にみると（図 2）、維持保全計画ありは、北海道では 70.3%、九州・沖縄では 64.7%であり、計画書ありの割合が高い。一方、中国・四国地方では、維持保全計画ありは 30.0%であり、維持保全計画が積極的にたてられていない様子が伺える。

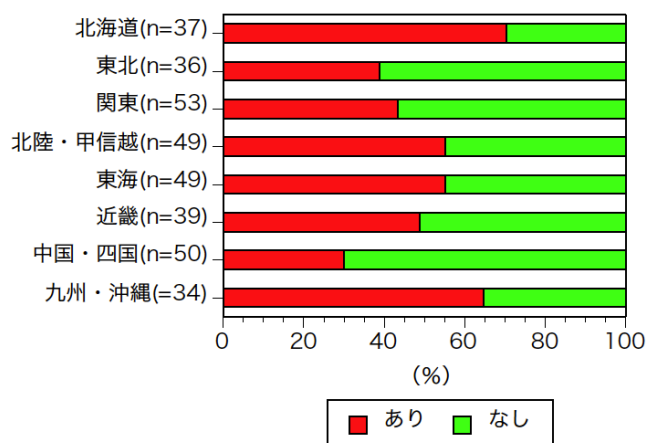


図2 維持保全計画書の有無（地域別）

2) 維持保全計画の作成方法

維持保全計画の作成方法は、図 3 に示すように、北海道では「自社で作成」61.5%、「所属団体のフォーマットを使用」30.8%であり、「自社で作成」の割合が高い。一方、九州・沖縄では、「自社で作成」、「所属団体のフォーマットを使用」はともに 36.4%であり、無回答が 27.3%を占める。東北では、「自社で作成」50.0%、「所属団体のフォーマットを使用」35.7%であり、その他の地域では、「自社で作成」、「所属団体のフォーマットを使用」はほぼ半々である。北海道では、維持保全計画の作成が自社で積極的に行われている傾向がよみとれる。

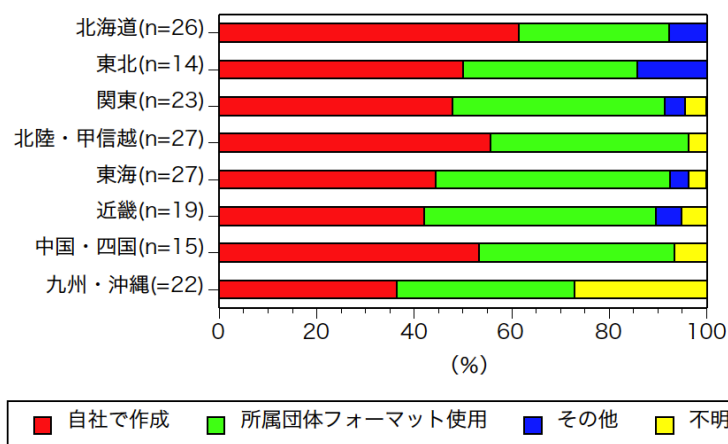


図3 維持保全計画の作成方法（地域別）

図4に示すように、維持保全計画書の作成を自社で作成している場合、参考資料は「よくわかる 長もちする住宅の設計手法マニュアル「設計・施工・維持管理」」29.4%、「住まいの管理手帳」28.2%、その他23.5%であり、所属団体のフォーマットを使用している場合は、参考資料は「住まいの管理手帳」35.2%、「よくわかる 長もちする住宅の設計手法マニュアル「設計・施工・維持管理」」26.8%、その他23.9%であり、所属団体のフォーマットとして、「住まいの管理手帳」が参照されることが多いことがわかる。「住まいの管理手帳」の維持保全計画に従った計画が多いと予想される。

また、維持保全計画書の作成を自社で作成している場合、点検周期の決定方法は、マニュアル・参考資料どおり37.6%、部材や部品の耐用年数を考慮37.6%、住まい方を考慮10.6%、気象条件を考慮9.4%であるが、所属団体のフォーマットを使用している場合は、マニュアル・参考資料どおり64.8%、住まい方を考慮16.9%である。自社で作成している場合、部材や部品の耐用年数が考慮されている（図5）。

さらに、維持保全計画書の作成を自社で作成している場合、維持保全計画における地域性の考慮について、地域性を考慮していない35.3%であるが、考慮されている地域性として降水量・降雪量16.5%、シロアリ生育分布12.9%である。所属団体のフォーマットを使用している場合は、地域性を考慮していない40.8%とさらに高いが、考慮されている地域性はシロアリ分布16.9%、降水量・降雪量14.1%である（図6）。地域性が考慮されることは少ないが、考慮される内容としては降水量・降雪量、シロアリ分布であり、自社作成、フォーマット使用ともに大きな違いはみられないが、自社で作成している場合は降水量・降雪量、フォーマットを使用している場合はシロアリ分布を考慮する傾向がみられる。

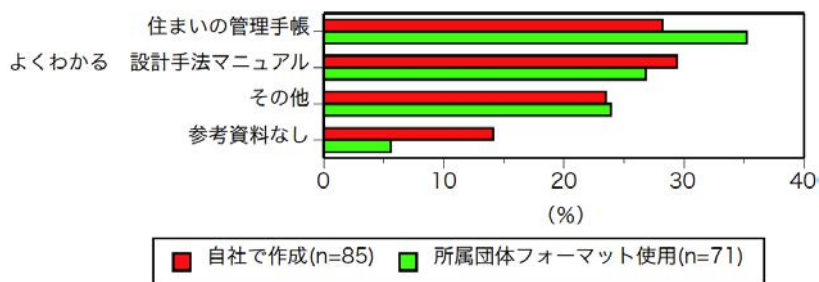


図4 維持保全計画作成における参考資料（作成方法別）

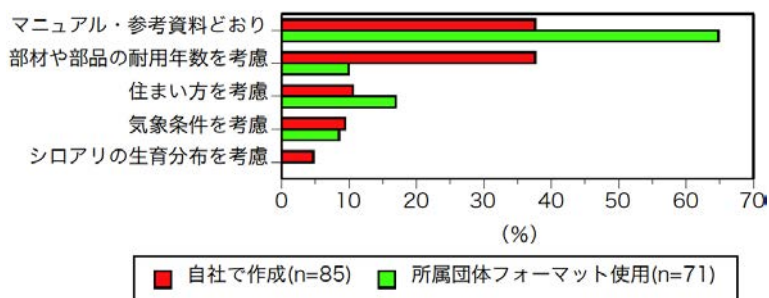


図5 維持保全計画における点検周期の決定方法（作成方法別）

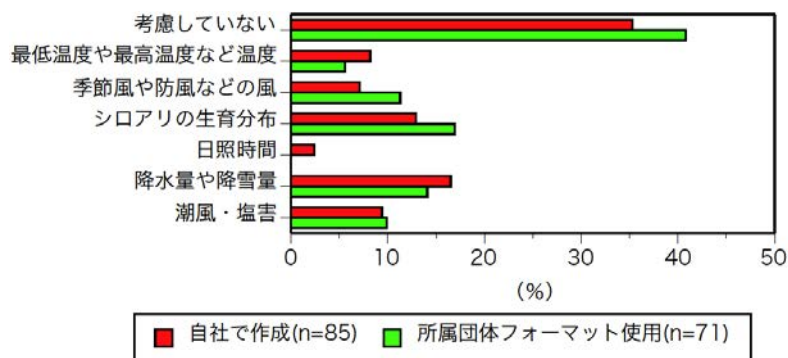


図6 維持保全計画における地域性を考慮した具体的内容（作成方法別）

3) 維持保全計画の参考資料

維持保全計画の参考資料として、北海道、東海、近畿では「住まいの管理手帳」が「よくわかる 設計手法マニュアル」より参考にされている割合が高い。一方、関東、九州・沖縄では、「よくわかる 設計手法マニュアル」の方が参考にされている割合が高い（図7）。

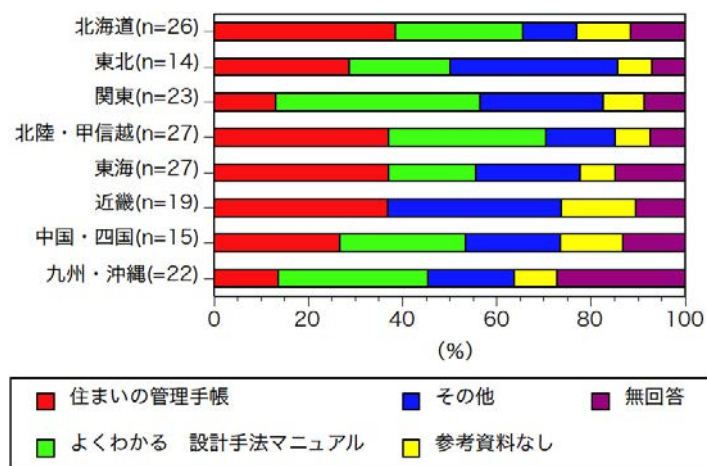


図7 維持保全計画作成における参考資料（地域別）

4) 維持保全計画における点検周期の決定方法

維持保全計画書における点検周期の決定方法は、マニュアル・参考資料どおり 48.0%、部材や部品の耐用年数を考慮 22.0%、住まい方を考慮 12.7%、気象条件を考慮 8.7%、シロアリの生息分布を考慮 2.3%であり、マニュアルや参考資料が重視されている傾向がみられる（表4）。

地域別にみると、北海道では「マニュアル・参考資料どおり」34.6%、「部材や部品の耐用年数を考慮」34.6%であり、中国・四国では「マニュアル・参考資料どおり」33.3%、「部材や部品の耐用年数を考慮」46.7%であるが、その他の地域では「マニュアル・参考資料どおり」が「部材や部品の耐用年数を考慮」より点検周期の決定方法に大きく影響している。また、「住まい方を考慮」は関東で、「気象条件を考慮」は東北、北陸・甲信越、中国・四国でやや高い傾向がみ

られる（図 8）

また、維持保全計画を作成する上で参考とした資料による影響をみると、「住まいの管理手帳」を参考にしている場合、点検周期の決定方法において、マニュアル・参考資料どおり 49.0%、気象条件を考慮 11.8%であり、「よくわかる 設計手法マニュアル」を参考にしている場合、マニュアル・参考資料どおり 55.6%、気象条件を考慮 2.2%であり、気象条件が考慮される割合は低い。また、維持保全計画書で地域性を考慮している具体的な内容は、「住まいの管理手帳」を参考にしている場合、考慮していない 35.3%、シロアリの生育分布 21.6%であり、「よくわかる 長もちする住宅の設計手法マニュアル「設計・施工・維持管理」」を参考にしている場合、考慮していない 26.7%、シロアリの生育分布 13.3%、潮風・塩害 13.3%であり、潮風・塩害の割合がやや高い。

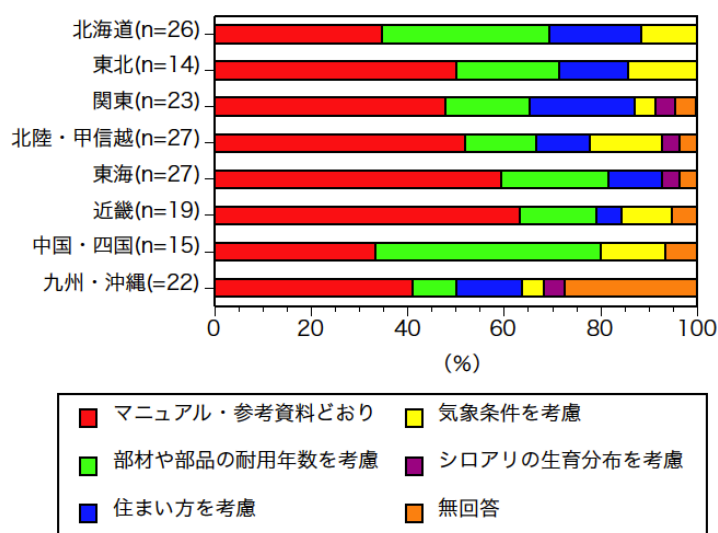


図 8 維持保全計画における点検周期の決定方法（地域別）

5) 維持保全計画における地域性を考慮した具体的内容

維持保全計画書で地域性を考慮している具体的な内容として、降水量や降雪量 13.9%、シロアリの生育分布 13.3%、季節風や防風などの風 9.2%、潮風・塩害 8.7%、最低温度や最高温度などの温度 5.8%であった（表 4）。

地域別にみると、図 9 に示すように、北海道および東北では降水量や降雪量、九州・沖縄ではシロアリの生育分布、中国・四国では季節風や防風などの風が他の地域に比べて考慮されている。一方、全体として「考慮していない」が 36.4%と 3 割以上を占めており、「考慮していない」割合がやや高い東海や近畿地方では気候が比較的温暖なことも影響していると予想される。

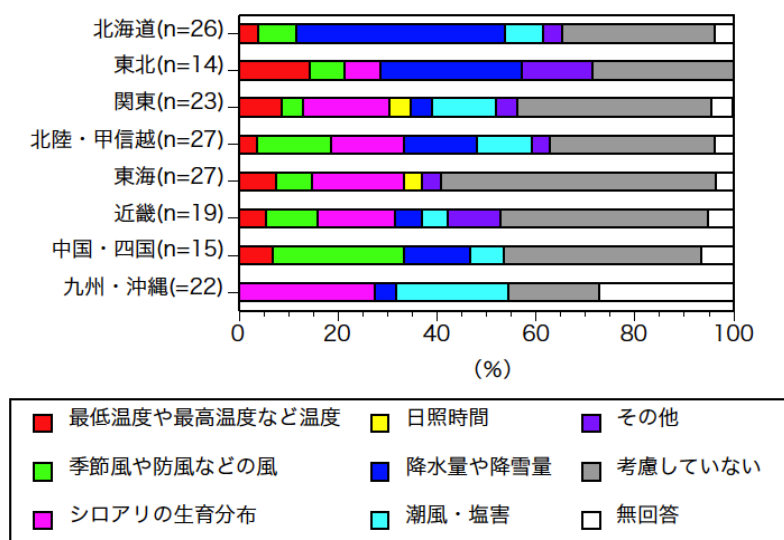


図9 維持保全計画における地域性を考慮した具体的内容（地域別）

6) 維持保全計画書における独自の工夫点

維持保全計画書における独自の工夫点として、表4に示すように、維持保全計画にかかる積立金計画について記述した13.3%、費用の無料・優良の区別を明確にした12.7%、点検結果に応じて交換や補修を推奨するような記述をした12.7%であり、その他の工夫点は多岐にわたっている。全体として、維持保全にかかわる費用面を考慮している姿勢がみられる。維持保全計画書の作成方法による大きな違いはみられないが、自社で作成している場合は費用面（維持保全計画にかかる積立金計画について記述した、費用の無料・優良の区別を明確にした）、フォーマットを使用している場合は点検結果に応じて交換や補修を推奨するような記述をしたがやや高い傾向がみられる。

維持保全計画における独自の工夫について、図10に示すように、「点検結果に応じて交換や補修を推奨するような記述をした」は北海道（23.1%）、北陸・甲信越（14.8%）、東海（22.2%）、九州・沖縄（13.6%）で高い傾向がみられた。「維持保全計画にかかる積立金計画について記述した」、「費用の無料・優良も区別を明確にした」は九州・沖縄以外の地域で工夫されている割合が高かった。東北では「点検用紙を記述式からチェック式にした」14.3%、「交換時期、補修時期の目安を明確に記述した」14.3%であった。また、「地域の気象条件を考慮して計画をたてた」は北海道（11.5%）、近畿（10.5%）でやや高かった。このように、維持保全計画における独自の工夫について、費用面に関しては、九州・沖縄以外の地域で工夫されており、その他の内容については、個々の工務店により多岐にわたっている。自由記述された意見より、工務店の今までの住宅の維持保全に対する取り組み方、経営規模、施主とのかかわり方などにより、重点の置き方が異なっていることがわかった。

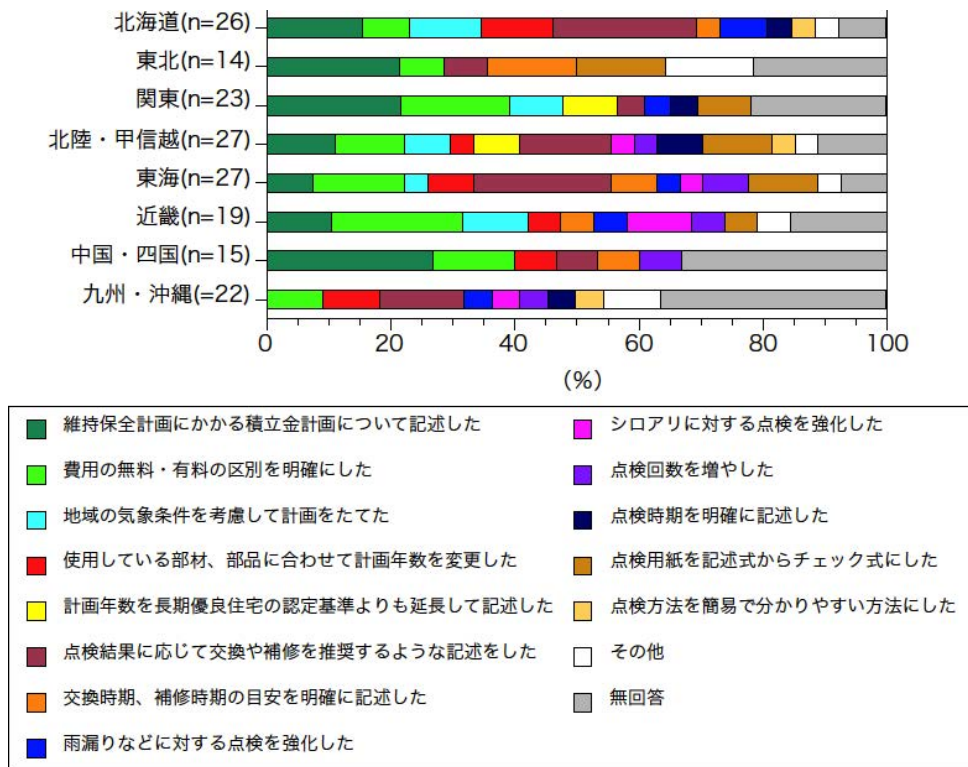


図10 維持保全計画書における独自の工夫（地域別）

(5) 長期優良住宅の今後の取組みについて

長期優良住宅の今後の取組みについて、顧客の希望があれば実施 59.5%、全棟で実施 27.2% であり、顧客の希望を重視する傾向がみられる（表 5）。一方、近畿、東海地方では、全棟で実施が 4 割程度を占めており、長期優良住宅を基本スタイルとして取組む工務店が増えてきている様子が伺える。なお、維持保全計画書の作成方法等による、今後の取組み姿勢に違いはみられなかった。

表 5 長期優良住宅の今後の取組み

長期優良住宅の 今後の取組み	(%) (n=173)	所在地別 (%) 北海道(n=26)	東北(n=14)	関東(n=23)	北陸・甲信越(n=27)	東海(n=27)	近畿(n=19)	中国・四国(n=15)	九州・沖縄(n=22)
基本的に全棟で実施	27.2	19.2	14.3	26.1	22.2	37.0	42.1	26.7	27.3
お客様の希望があれば実施	59.5	76.9	78.6	65.2	70.4	40.7	47.4	73.3	31.8
その他	5.8	0.0	7.1	8.7	3.7	11.1	5.3	0.0	9.1
実施予定なし	2.3	3.8	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	4.5
不明	5.2	0.0	0.0	0.0	3.7	3.7	5.3	0.0	27.3

(6) まとめ

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、2013 年 1 月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。その結果、維持保全計画について、作成方法として自社で作成と所属団体のフォーマット使用に大きく分かれていた。自社で作成の場合、今までの経験や部材や部品の耐用年数を考慮して、所属団

体のフォーマットを使用の場合、マニュアルや参考資料どおりに点検周期等の計画が立てられていた。地域の気候条件などが維持保全計画や点検内容に影響すると予想したところ、北海道や東北では降雪に対する意識が高いこと、反対に九州や沖縄ではシロアリや潮風・塩害に対する意識が高いことがわかった。また、比較的温暖な地域では、地域性を考慮する積極的な姿勢はみられなかったが、長期優良認定を前提とした住宅建設が進められる方向にあることも明らかとなった。地域の捉え方として、降水量や降雪量、山側・海側、シロアリの生育分布、卓越風の影響などを勘案して検討していく必要があるといえる。

9.3 工務店に関するアンケートによる詳細調査（平成 25 年度実施分）

9.3.1 調査概要

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、2013 年 1 月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。関東、北陸・甲信越、東海、中国・四国地方に所在する事務所・工務店が若干多かったが、全国から大きな偏りなく回答が得られた。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。アンケートは 2013 年 12 月に郵送で配布し、ファックスで回収した。41 社より有効回答を得た。

9.3.2 結果概要

(1) 回答工務店の概要

回答の得られた 41 社について、所在地は北陸・甲信越、東海地方がやや多かったが、全国に分布している。従業員数は 2～130 人、平均 20.2 人、営業年数は 3～112 年、平均 39.5 年であった。長期優良木造住宅の建設戸数は、総戸数 0～400 戸、平均 21.2 戸であり、2013 年の 1 年間では 0～98 戸、平均 6.6 戸であった。

(2) 前回アンケートとの相違

追加アンケートで有効回答を得た 41 社と、前回回答の得られた 348 社のうち今回の追加アンケートに回答しなかった 307 社（前回アンケートと記す）との回答を比較すると、従業員数は追加アンケートでは 11～20 人および 20 人以上がそれぞれ 2 割以上を占め、従業員数 1 人が 2 割以上を占めていた前回よりも、従業員数が多い傾向がみられた。工務店の営業年数や所在地において、追加アンケートと前回アンケートで大きな違いはみられなかった。雨漏りや蟻害の発生については、追加アンケートの方が発生ありの割合は若干高いが有意な差はみられなかった。維持保全計画の有無について、追加アンケートは「計画あり」が 66%を占め、前回アンケートの 48%よりも高かった。維持保全計画ありについて、計画の作成方法は、追加アンケートでは「所属団体のフォーマットを使用」が 59%と半数

以上を占めたが、前回アンケートでは「自社で作成」が 52%を占めていた。計画を作成する際に参考とした資料は、追加アンケートでは「住まいの管理手帳」が 37%と最も多く、前回アンケートでは「よくわかる長もちする住宅の設計手法マニュアル」28%、「住まいの管理手帳」28%であった。点検周期の決定方法について、前回アンケートでは「部材や部品の耐用年数を考慮」24%、「住まい方を考慮」14%と考慮した内容が多岐にわたっていたが、追加アンケートでは「マニュアル・参考資料どおり」が 67%と回答が集中していた。維持保全計画書で地域性を考慮した具体的内容として、前回アンケートでは「なし」は 34%、「降水量・降雪量」15%、「シロアリの生育分布」14%であったが、追加アンケートでは「なし」が 48%と約半数を占めていた。維持保全計画書における独自の工夫として、追加アンケートおよび前回アンケートともに「費用の無料・有料の区別を明確にした」12～15%であり、追加アンケートでは「点検結果に応じて交換や補修を推奨するような記述をした」22%、「維持保全計画にかかる積立金計画について記述した」22%と工夫点がある程度まとまっていた。なお、長期優良認定住宅の工法、屋根仕上げ、外壁仕上げについて、追加アンケートと前回アンケートで大きな違いはなく、工法は軸組構法が 8 割以上を占め、屋根仕上げは瓦葺きと金属板葺きがそれぞれ 4 割程度、外壁仕上げはサイディングが 6 割、モルタルが約 2 割であった。

(3) 追加アンケートの結果詳細

住宅の維持保全計画について、「あり」が 7 割であり、そのうち維持保全の計画年数は「30 年」が 4 割を占め、30 年より長い計画は 1 社のみで、他は 30 年より短かった。計画年数が 30 年より短い場合、無償点検期間や瑕疵保証期間と合わせて回答している事務所・工務店もあると予想される。維持保全に関する取組みとして、「当たり前のこととして取組んでいる」が 4 割以上を占めるが、「必要にせまられて取組んでいる」が 2 割を超えており、維持保全を意識し始めている様子も伺える。維持保全計画の今後の必要性について、「必要である」32%、「場合による」49%、「必要ない」17%であった。「場合による」理由として、計画通りに傷まない、経年劣化を一律に扱うことは難しいなどが挙げられた。

維持保全計画における点検について、点検箇所ごとに仕上げ、点検周期、点検周期の決定方法、点検実施者、点検内容、費用、点検で発見された不具合などについて詳細に尋ねた。屋根仕上げは「瓦」39%、「スレート」12%、「金属」29%であり、「瓦」は北陸・甲信越、東海、中国・四国、九州・沖縄で、「金属」は北海道で使用されている割合が高かった。外壁仕上げは「サイディング」59%、「モルタル」10%であり、「サイディング」は北陸・甲信越、東海、九州・沖縄で、「モルタル」は中国・四国で使用されている割合が高い傾向がみられた。点検周期は「住まいの管理手帳」や「よくわかる 長もちする住宅の設計手法マニュアル「設計・施工・維持管理」」などの参考資料どおりに決定されていることが多いが、床下周りや屋根、外壁では周囲の環境を考慮している例もみられた。周囲の環境として、沿岸地域、地下水位、積雪、敷地の広さなどが具体的に挙げられた。維持保全計画が 30 年の場合、築後 10 年までは点検箇所にかかわらず、1 年、2 年、5 年、10 年後のよう

に初期に少し頻繁に点検が行われ、築後 10 年を過ぎると、軸組や小屋組は 10 年周期で、外壁や内部建具および外部建具は 5 年より短い周期で、これら以外は 5 年周期で、築後 30 年まで点検が計画されている。築後 10 年を境にして、構造躯体と外装・建具と内装で点検周期が変化している。点検は工務店従業員による目視やハンマー等による打診により行われている。基礎、土台、軸組、床組の点検において、診断士が行う例がわずかにみられた。また、外壁、内部床、壁、建具、設備類においては居住者と一緒に点検する割合が少し増えている。点検で見つかった不具合は、建具に多く、次いで内壁、外壁であり、長期優良認定住宅で発見された不具合はわずかであった。なお、仕上げ材料や所在地域との関連について、特徴的な関連はみられなかった。

住宅の維持保全に対する考え方として、社会的要請や環境問題などから設計事務所や工務店側のあり方に重点がおかれている場合と、施主次第とする場合があった。点検の実施にあたり、計画時期とのズレが生じていることが多い。小規模工務店などでは人手不足が要因として挙げられたが、点検の計画上の時期よりも、新年の挨拶や台風シーズン前などに実施して、居住者との関係を深めるツールとして、点検が位置づけられていることが多い。点検の時期が部材や部品の耐用年数などに関連している場合もあるが、年間業務や行事の一環として、また、建物の耐久性に大きく影響する雨や雪への対応を考慮した点検が行われている。維持保全計画には示されないものの、地域の状況に応じた点検が実施されていることがわかった。また、住宅の維持保全および維持管理において、地域の特性や住まい方を考慮することについて、「是非考慮すべき」44%、「できれば考慮したい」44%、「考慮する必要なし」5%であり、考慮する意見が多かった。所在地域別にみると、北海道、近畿、中国・四国では「是非考慮すべき」の割合が高く、九州・沖縄、北陸・甲信越では「できれば考慮したい」の割合が高い傾向がみられた。なお、営業年数や従業員数とのかかわりはみられなかった。

維持保全計画のマニュアル化において、降水量や降雪量、冬期の積雪の程度など木造住宅の劣化要因の一つである「水」に関わる状況を把握し、所在地域の特性としてその対応策を示していくことは重要である。また、点検や補修にかかる費用を含めた維持管理計画の立案および維持保全計画が計画通りに実施されるよう、工務店および居住者の意識を高めていくことも必要である。

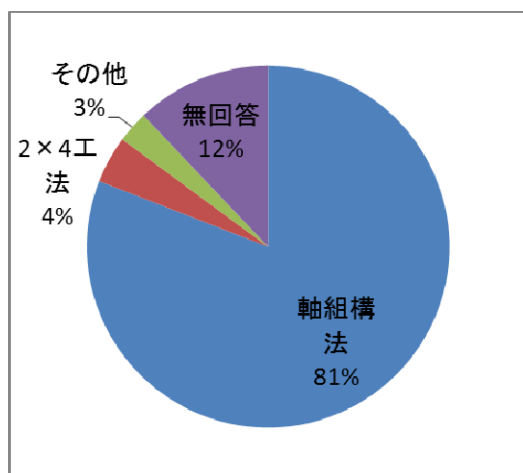


図 11 過去 3 年間の新築木造住宅の主な構法

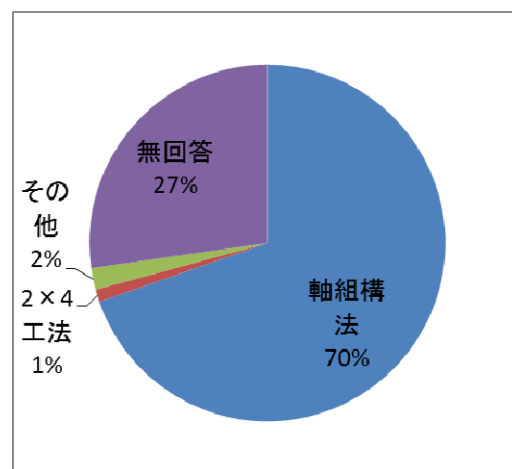


図 12 過去 3 年間の増改築・リフォーム木造住宅の主な構法

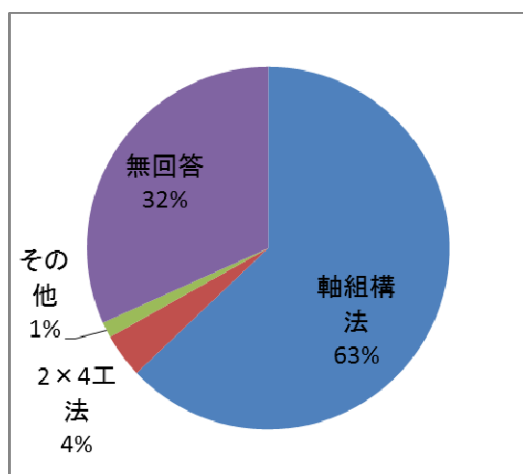


図 13 この 1 年間の新築木造住宅の主な構法

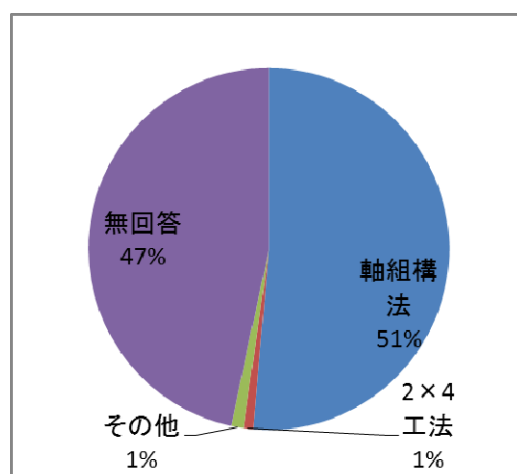


図 14 この 1 年間の増改築・リフォーム木造住宅の主な構法

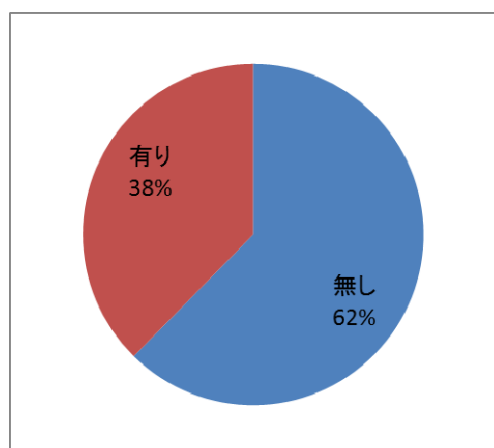


図 15 雨漏りの経験

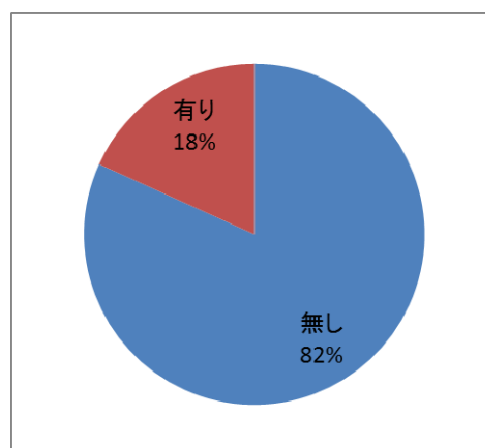


図 16 蟻害の経験

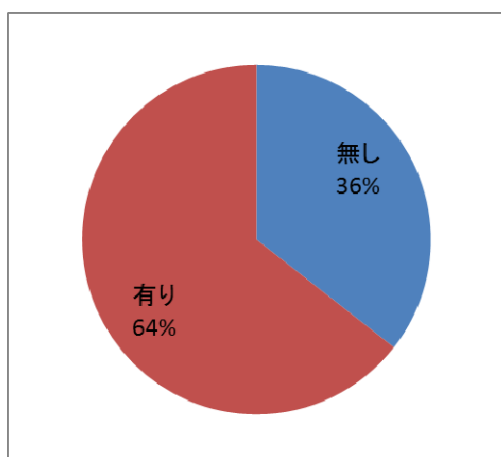


図 17 長期優良住宅以外の防蟻処理の有無

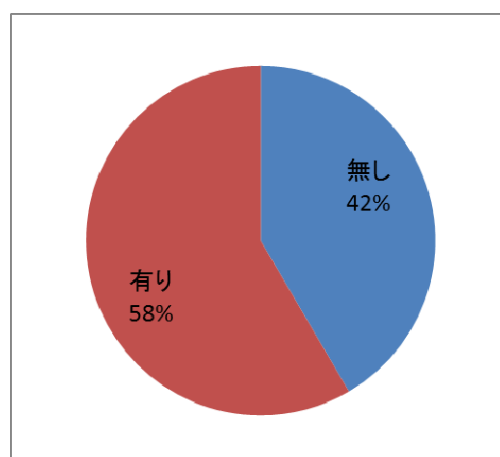


図 18 認定住宅の有無

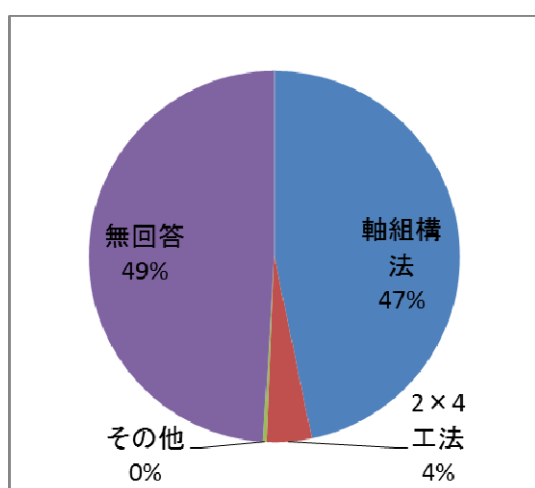


図 19 認定木造住宅の主な構法

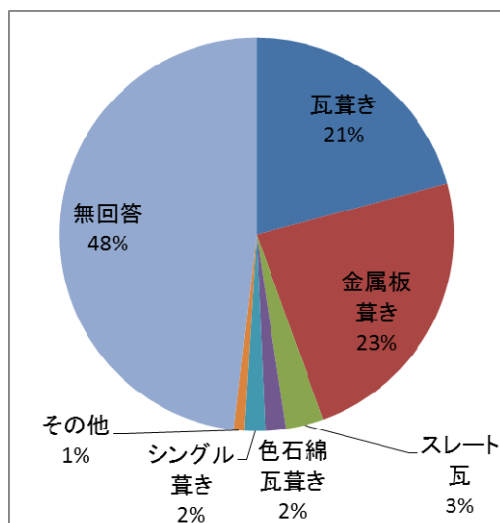


図 20 認定住宅の主な屋根仕上げ

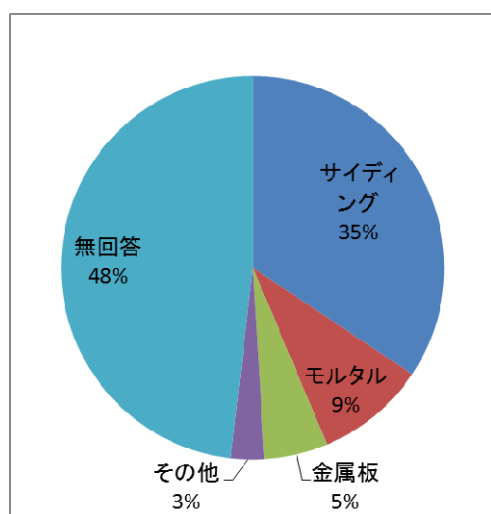


図 21 認定住宅の主な外壁仕上げ

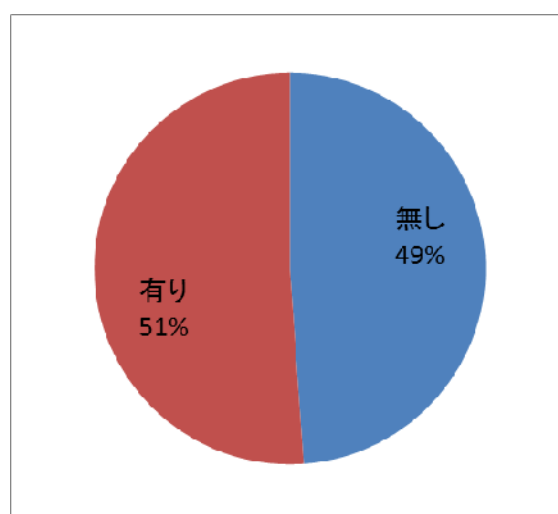


図 22 維持保全計画

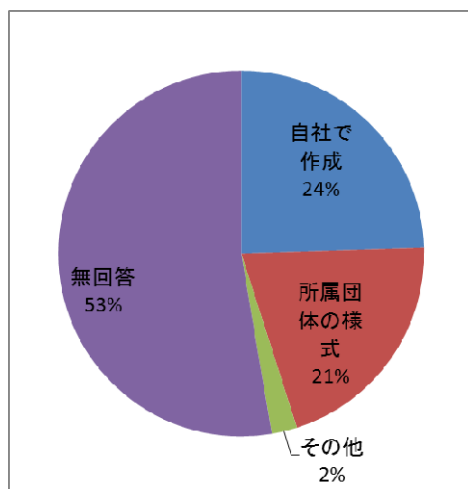


図 23 維持保全計画書の作成方法

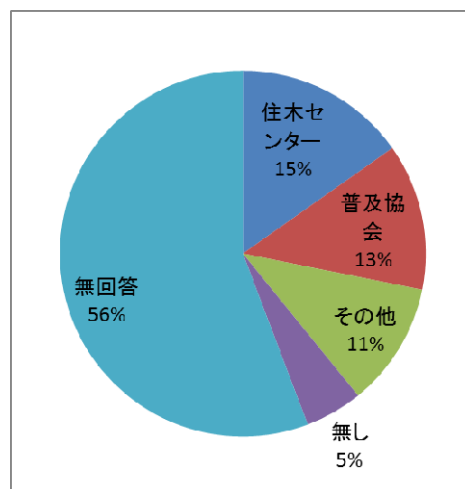


図 24 維持保全計画書の参考資料

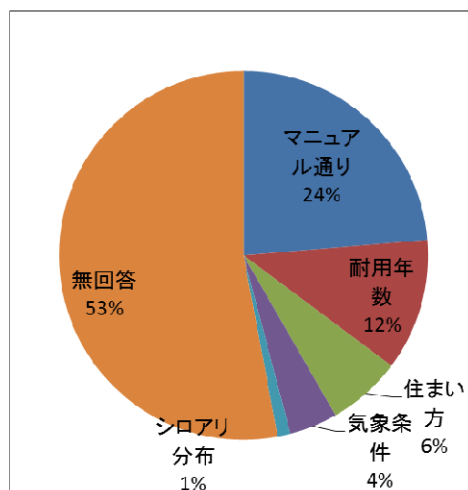


図 25 維持保全計画書の点検周期の決定方法

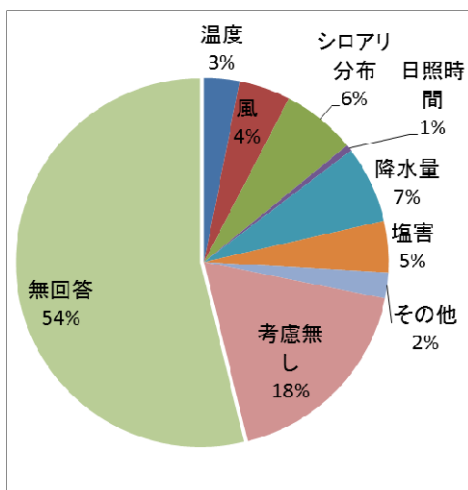


図 26 維持保全計画書における地域性の考慮

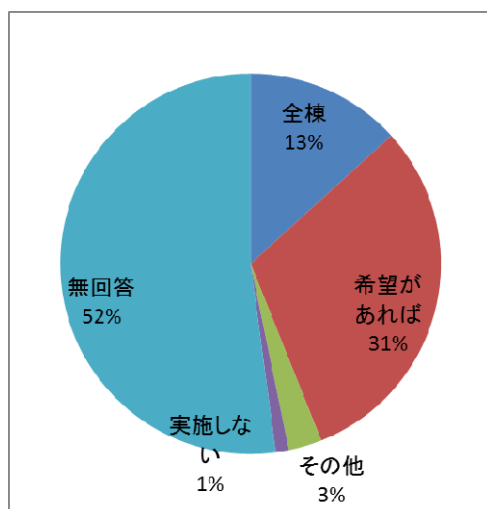


図 27 優良住宅の取り組み

9.4 ハウスメーカー 2 社に対する調査

9.4.1 はじめに

近年、住宅分野ではストック社会の実現を目指した様々な取り組みが行われているが、その中でも維持保全計画の作成が求められていることは、住宅の長寿命化を図る上で重要な要因である。特に、日本のように地域による気候差が大きい場合は、地域差を配慮した維持保全計画が必要である。しかし現状の維持保全計画の策定は、各企業や工務店に任されているため、地域の実情にあった維持保全計画であるかは定かではない。

そこで本研究では、木造住宅を対象に、長期優良住宅における適切な維持保全計画を作成したために、建設される地域の気候が住宅劣化に与える影響を踏まえた維持保全計画の作成手法を検討した。

9.4.2 研究方法

まず各地域の気候要因が住宅の各部位の劣化に影響を与える度合いを評価し、5つの地域区分を作成した。

次に、地域区分別に 60 年間のメンテナンスや交換に必要なコスト（以下「維持保全コスト」）の算出を行う。本研究では、枠組壁構法を主としたハウスメーカー（以下「A 社」）と在来構法を主としたハウスメーカー（以下「B 社」）の 2 社の維持保全計画から、適切な維持保全に必要な維持保全コストを算出し比較を行う。

また、A 社の実データ（実際の不具合の補修工事内容とその費用）より概算した維持保全コストと維持保全計画から算出した維持保全コストを比較したことで現状の維持保全計画の問題点を明らかにした。

なお、既往の研究では地域区分と A 社の維持保全コストの算出分析まで行っている。

9.4.3 前年度までの成果概要

住宅の劣化に影響を及ぼすと考えられる気候要因を選定し、気候要因が住宅劣化に与える影響を評価（以下「気候要因評価」）したために、まず日本全国を気候条件により 5つの地域区分に分類した。次に住宅の部位ごとに、どの気候要因が劣化を促進させる可能性が高いか検討し、メンテナンスの重要性を評価した（以下「維持保全評価」）。最後に保全評価の結果をもとに地域区分に分類したため、全国の地上気候観測所 148 地点(以下「観測点」)における気象データから算出した保全評価を統合した係数(以下「地域係数」)を算出した。算出した 148 観測点の地域係数をもとに日本の全地域における地域区分の分布をマッピングした。地域係数が最も小さな区分を地域 1、最も大きな区分を地域 5 と設定した（図 28）。

次に地域区分ごとに維持保全コストを比較したにあたって、物件によってはプランや規模が異なるため、単価はそのままに、保全数量を東京都の物件サンプルの 1 つ（以下「物件 A」）に揃えることで、同プラン・規模の物件の場合の維持保全コストを算出し、地域区分別に換算コスト（物件 A 換算コスト）を比較した。

次に、物件 A に対する各地域区分の平均換算コストの割合(以後「保全係数」)を地域 1 から地域 4 までの保全係数の分布を近似直線に用いて整理し、地域 5 の保全係数を推計した。

その結果、地域 5 は 125%、地域 1 は 101%、地域 2 は 107%、地域 3 は 113%、地域 4 は 119%となった（図 29）。

以上の結果から地域係数が高い地域に建設された住宅ほど維持保全コストを高く設定した必要があること、また気候条件が最も厳しい地域 5 では維持保全コストを東京(地域 1)に比べて 1/4 程度高めに設定したことが望ましいことが明らかになった。

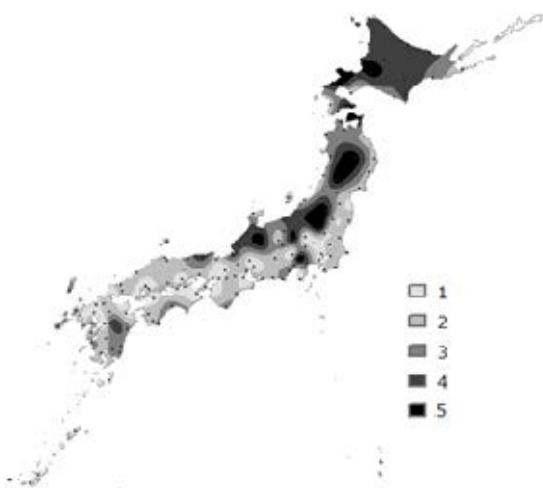


図 28 地域区分の分布

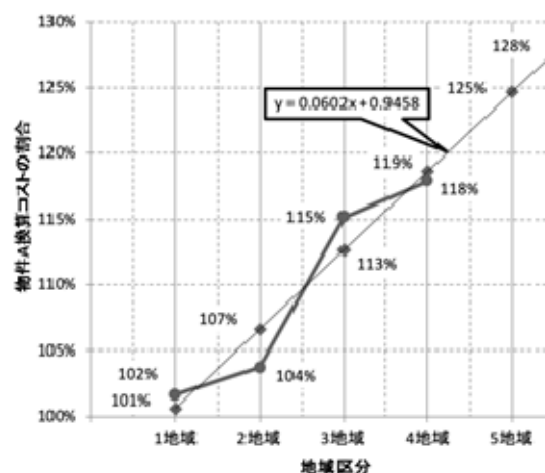


図 29 回帰式からみた換算コストの推計

9.4.4 構法の違いからみた中長期保全計画の検証

2 社で維持保全コストの比較をしたにあたり、B 社維持保全コストの算出を行う。算出したにあたり、B 社における地域ごとに 10 棟、合計 50 棟の維持保全計画データを用いた。

その資料・データの各保全項目の面積、数量に、単価金額をかける。次に、1 回の補修金額を算出した。この金額に必要な補修回数をかけることで、60 年間維持保全するための金額を算出した（図 30、図 31）。

図 3 は防蟻処理から外部足場までの保全項目の物件 A 換算コストを地域別に積上げのグラフで示したものである。これより地域 1 から地域 5 にかけて、気候条件が厳しくなっているわけだが、それぞれの地域の物件 A 換算コストが地域差を配慮している傾向はみられなかった。むしろ地域 1 から地域 4 にかけて費用が低くなっているようにも見える。

一方、図 31 は防蟻処理から外部足場までの物件 A 換算コストの合計を 100%とした場合の、それぞれの保全項目の占めている割合である。これより外壁と外部足場の二つの項目で全体の約 60%を占めていることが分かる。また外壁に関しては全体の約 40%を占めている。

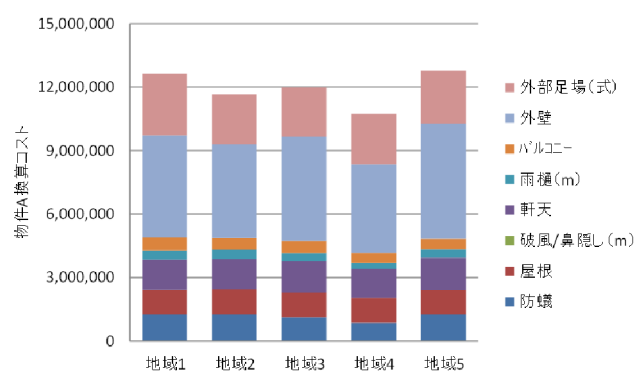


図 30 B 社の維持管理コスト (60 年)

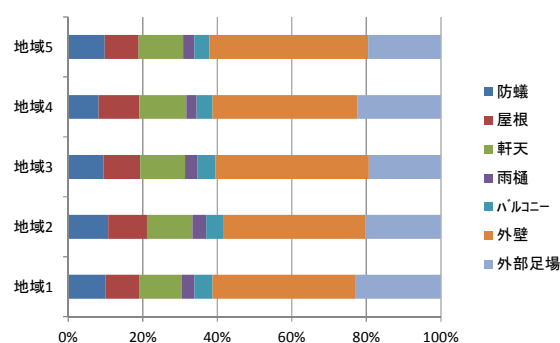


図 31 地域別に見た維持保全費用比率 (B 社)

表 6 B 社の物件 A 換算コスト算出方法 (一部)

B社 群馬県前橋市の物件サンプル				
メンテナンス項目		メンテナンス項目別 維持保全コスト(a)	物件Aの 維持保全数量(b)	物件A換算の 維持保全コスト(a × b)
外部 共通	防蟻	¥ 23,045	54.4 m ²	¥ 1,253,648
	屋根	¥ 18,898	60.1 m ²	¥ 1,135,770
	軒天	¥ 36,134	42.0 m ²	¥ 1,517,628
	雨樋	¥ 14,860	28.8 m ²	¥ 427,968
	バルコニー	¥ 77,088	9.9 m ²	¥ 763,171
	外壁	¥ 21,244	208.8 m ²	¥ 4,435,747
	外部足場	¥ 2,511,760	107.2 m ²	¥ 2,511,760
外部 A 社	玄関ドア	¥ 832,465	1 本	¥ 832,465
	サッシ	¥ 3,204,605	1 本	¥ 3,204,605
	雨戸	¥ 184,941	3 箇所	¥ 554,823
	給湯器	¥ 1,909,822	1 台	¥ 1,909,822
内部 A 社	廃棄物処理	¥ 1,526	107.2 m ²	¥ 163,587
	ユニットバス	¥ 941,995	1 箇所	¥ 941,995
	エアコン	¥ 1,750,000	1 式	¥ 1,750,000
	ガスコンロ	¥ 1,036,750	1 台	¥ 1,036,750
	排水管	¥ 316,071	1 式	¥ 316,071
合計				¥ 22,755,810

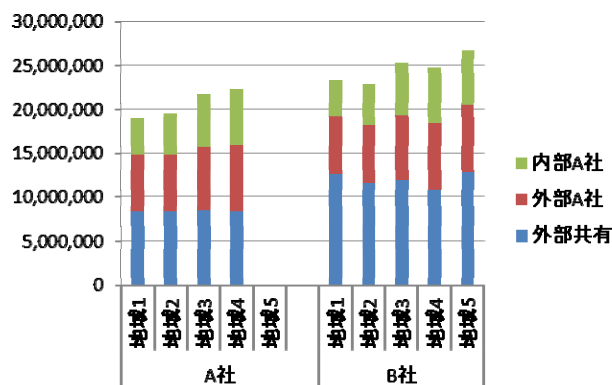


図 32 地域別にみた A 社 B 社の物件 A 換算コスト

また、B 社においても物件 A 換算コストを算出した（表 6）。なお、B 社の維持保全計画データに記載されていた外部部位（以後「外部共通」）記載されていない外部及び内部の部位については、A 社の物件 A 換算コストを適用している（以後「外部 A 社」「内部 A 社」）。その結果、主に外部（外部共有＋外部 A 社）の保全項目に関して A 社、B 社共に地域差を考慮しているとは言い難いが、内部 A 社の保全項目に関しては 1 地域から 4 地域にかけて増加傾向がみられ、地域差を配慮しているという結果がみられる。（図 32）。

9.4.5 実データからみた維持保全の実施状況

本研究では A 社における補修件数、引渡実績数、補修費用の分かる実データ 17 万件を使用した。

A 社の実データ（実際の不具合の補修工事内容とその費用）の補修項目に振り分けの段階が 3 段階あり、それを補修レベル 1、レベル 2、レベル 3 としたと、補修レベル 1 は 26 項目、補修レベル 2 は 94 項目、補修レベル 3 は 35 項目ある。それぞれのレベルの項目を A 社の維持保全計画書の保全項目に照らし合わせた結果、どのレベルの項目もほぼ対応しておらず、補修レベル間で照らし合わせてみても割り振りができないものが多くみられた。補修レベル 1 に維持保全計画書の保全項目を照らし合わせてみたものが図 33 である。維持保全計画書の保全項目において、重複の多いものほど色が濃くなっている。

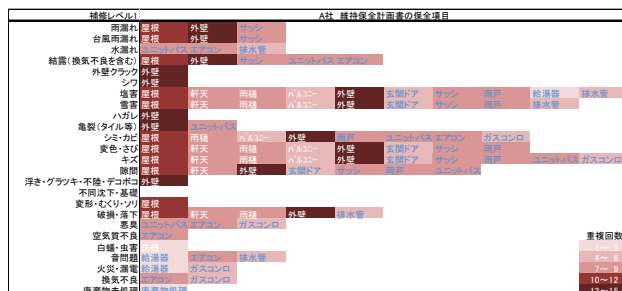


図 33 保全項目の調整

なお補修レベル 1 と維持保全計画書の保全項目で照らし合わせてみた結果、重複したものが多く、また割り振りの基準がはっきりしていないことより、現状の補修レベル 1 の項目では計画段階のデータと適応させることは難しい。そのため、実データを維持保全計画に活用したことも難しい。また、実データの補修レベル内の振り分けは同じ補修工事内容であっても、項目が違うものがあり、補修記録に記述した人の感覚で振り分けが異なったものと思われる。

以上の結果を踏まえ、実データから修繕率を算出した。修繕率を算出したためにまず、引渡実績表から 32 ある支店を 5 つの地域に振り分け、つぎに支店ごとに 2010 年までの引渡実績数を実データから抽出したことで、地域毎の引渡実績数を算出した。次に各地域で実データの項目別補修件数表から経年別に補修件数を抽出した。

なお今回の抽出は、補修レベル 1 の 26 の項目で行い、各地域の合計で補修発生率を算出した。算出方法として、引渡実績数を分母、1 年目の補修件数を分子として、補修発生率を算出した。その結果、引渡直後の補修発生率が最も高いが、年数が経過したにつれて補修発生率が減少したことが明らかになった（図 34）。

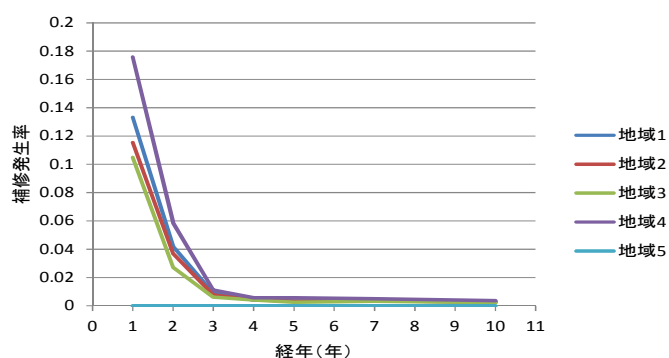


図 34 補修発生率（補修項目：キズ）

実データでは 10 年間しか把握できないため、今後の継続的な調査が必要ではあるが、この結果を見る限り、補修発生率は信頼性理論で用いられるバスタブ曲線と同様に推移したと考えられる。

同様に補修レベル 1 の 26 項目で各項目の平均でこれを行った（表 7、表 8）。なお、経年 1 年目の補修を伴う不具合は各支店全てで発生しているわけではないので、引渡実績数は補修が発生している支店のみ算出の際に使用したものとした。

表 7 各補修項目補修発生件数

補修レベル1	経年1年目	経年2年目	経年3年目	経年4年目	経年5年目	経年7年目	経年10年目
外壁クラック	1366 件	859 件	155 件	94 件	94 件	71 件	82 件
シワ	4542 件	3057 件	283 件	107 件	61 件	59 件	29 件
雨漏れ	543 件	456 件	323 件	319 件	286 件	554 件	924 件
台風雨漏れ	170 件	135 件	96 件	97 件	88 件	134 件	170 件
水漏れ	1341 件	867 件	509 件	492 件	558 件	929 件	1401 件
結露	210 件	145 件	54 件	44 件	49 件	83 件	164 件
ハガレ	8672 件	5070 件	821 件	428 件	360 件	336 件	320 件
亀裂	17350 件	10312 件	1588 件	796 件	678 件	719 件	564 件
シミ・カビ	231 件	189 件	58 件	32 件	56 件	42 件	60 件
変色・サビ	633 件	532 件	130 件	81 件	122 件	92 件	120 件
キズ	5202 件	1632 件	344 件	175 件	145 件	147 件	112 件
隙	3417 件	3142 件	396 件	112 件	157 件	84 件	83 件
浮き・グラツキ・不陸	3850 件	2003 件	407 件	198 件	234 件	180 件	198 件
不同沈下・基礎	13 件	11 件	5 件	4 件	7 件	11 件	16 件
変形・むくり・ソリ	934 件	650 件	171 件	99 件	134 件	135 件	181 件
落下・破損	809 件	669 件	275 件	279 件	478 件	632 件	1082 件
不良	189215 件	81607 件	16738 件	12305 件	10851 件	15937 件	16124 件
悪臭	155 件	96 件	41 件	37 件	40 件	42 件	45 件
白蟻	44 件	34 件	16 件	14 件	39 件	31 件	38 件
音問題	6749 件	3849 件	931 件	508 件	435 件	403 件	333 件
火災・漏電	27 件	25 件	21 件	25 件	26 件	50 件	51 件
換気不良	35 件	22 件	8 件	10 件	9 件	6 件	13 件
営業上の問題	128 件	69 件	22 件	13 件	24 件	12 件	26 件
残り工事	9658 件	1636 件	299 件	158 件	245 件	167 件	254 件
有償工事	3665 件	3024 件	2104 件	2438 件	3489 件	5491 件	8118 件
その他	13361 件	6967 件	2365 件	1663 件	2271 件	2586 件	3613 件

表 8 各補修項目補修発生率

補修レベル1	経年1年目	経年2年目	経年3年目	経年4年目	経年5年目	経年7年目	経年10年目
外壁クラック	0.03900	0.02618	0.00444	0.00282	0.00295	0.00202	0.00352
シワ	0.15667	0.09847	0.00795	0.00442	0.00232	0.00222	0.00109
雨漏れ	0.01449	0.01144	0.00792	0.00751	0.00707	0.01397	0.02264
台風雨漏れ	0.00502	0.00315	0.00228	0.00216	0.00186	0.00284	0.00355
水漏れ	0.02412	0.01587	0.00972	0.00899	0.01030	0.01845	0.02872
結露	0.00665	0.00474	0.00175	0.00165	0.00209	0.00341	0.00669
リコール	0.02000	0.01087	0.00177	0.00293	0.00218	0.00284	0.00485
ハガレ	0.22570	0.12656	0.02066	0.01124	0.00998	0.00930	0.00969
亀裂	0.49643	0.27791	0.04007	0.02140	0.01801	0.01926	0.01593
シミ・カビ	0.00478	0.00380	0.00114	0.00059	0.00123	0.00086	0.00140
変色・サビ	0.01537	0.01271	0.00308	0.00175	0.00328	0.00220	0.00324
キズ	0.13228	0.04117	0.00850	0.00454	0.00380	0.00383	0.00284
隙	0.08986	0.07437	0.00924	0.00265	0.00435	0.00213	0.00229
浮き・グラツキ・不陸	0.09909	0.04930	0.00961	0.00516	0.00593	0.00479	0.00524
不同沈下・基礎	0.00034	0.00025	0.00014	0.00009	0.00019	0.00029	0.00052
変形・むくり・ソリ	0.02297	0.01485	0.00380	0.00243	0.00340	0.00348	0.00480
落下・破損	0.01855	0.01563	0.00658	0.00660	0.01162	0.01603	0.02835
不良	5.05265	2.12207	0.42499	0.31972	0.28353	0.41423	0.41492
悪臭	0.00371	0.00237	0.00098	0.00084	0.00108	0.00110	0.00120
白蟻	0.00092	0.00077	0.00049	0.00040	0.00174	0.00079	0.00122
音問題	0.18872	0.10538	0.02513	0.01410	0.01173	0.01176	0.00968
火災・漏電	0.00057	0.00061	0.00044	0.00054	0.00068	0.00119	0.00125
換気不良	0.00103	0.00059	0.00017	0.00022	0.00024	0.00018	0.00052
営業上の問題	0.00278	0.00141	0.00036	0.00021	0.00075	0.00028	0.00051
残り工事	0.21285	0.04353	0.00865	0.00558	0.00834	0.00547	0.00928
有償工事	0.08497	0.07328	0.05763	0.07059	0.10401	0.16907	0.26106
その他	0.31847	0.15463	0.05027	0.03703	0.04913	0.06113	0.08854

なお、各保全項目を地域別に経年のグラフにした結果、初期故障型、偶発故障型、摩耗故障型の 3 種類の型の傾向がみられた。初期故障型とは、補修発生率が時間とともに減少しているもの（図 35）。偶発故障型とは補修発生率が時間に関わらず一定のもの（図 36）、摩耗故障型とは補修発生率が時間と共に増加しているものである（図 37）。すべての保全項目の合計金額を第 2 章の物件 A の維持保全コストで除したものをグラフに示した（図 38）。

なお故障率の推移を探るために図 11 で金額を分析に使用したのは、各保全項目の故障率が全体に占める割合が異なるためであり、各保全項目の金額の割合にしたことで影響に及ぼす程度を比較したことが可能となるからである。

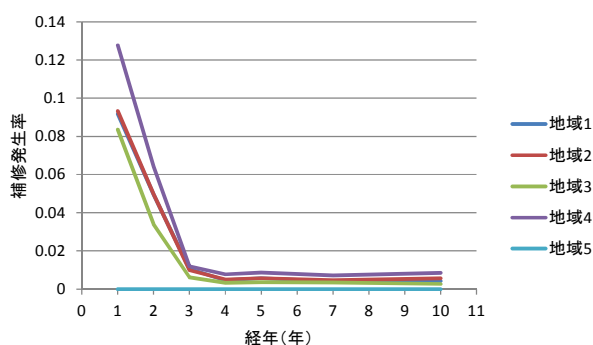
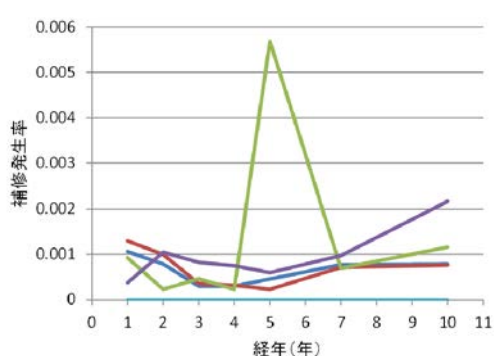


図 35 初期故障型（例：浮き・グラツキ・不陸）

図 36 偶発故障型（例：白蟻・虫害）

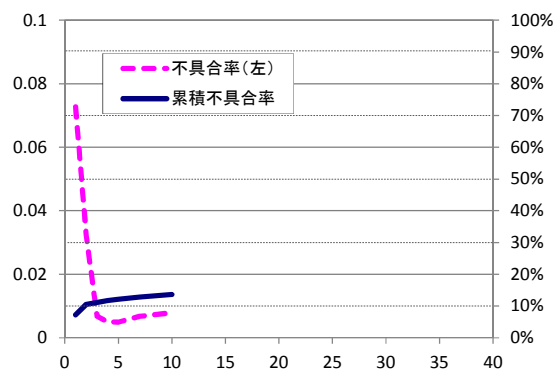
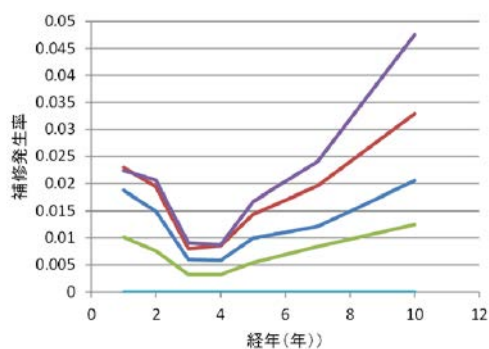


図 37 摩耗故障型（例：火災・漏電）

図 38 金額による補修発生率

なお図 37 を見る限り、全体の補修発生率もバスタブ曲線に当てはまると仮定できれば、実データの推移を見る限り初期故障段階は約 3 年で収束したと考えられる。なお地域別の平均補修費用を表 9 に示す。

表 9 地域別に見た平均補修費用

補修レベル1	地域1						
	経年1年目	経年2年目	経年3年目	経年4年目	経年5年目	経年7年目	経年10年目
キズ	¥ 20,711	¥ 27,224	¥ 28,619	¥ 29,258	¥ 29,810	¥ 30,359	¥ 30,775
シミ・カビ	¥ 1,628	¥ 2,936	¥ 3,398	¥ 3,636	¥ 4,061	¥ 4,411	¥ 4,802
シワ	¥ 282	¥ 488	¥ 509	¥ 515	¥ 520	¥ 523	¥ 525
その他	¥ 49,943	¥ 76,756	¥ 86,215	¥ 92,673	¥ 101,086	¥ 110,478	¥ 122,824
ハガレ	¥ 30,356	¥ 48,120	¥ 51,048	¥ 52,509	¥ 53,694	¥ 54,721	¥ 55,606
悪臭	¥ 29	¥ 47	¥ 56	¥ 62	¥ 70	¥ 77	¥ 85
雨漏れ	¥ 5,628	¥ 10,596	¥ 14,209	¥ 17,862	¥ 20,956	¥ 26,821	¥ 36,305
営業上の問題	¥ 1,017	¥ 1,556	¥ 1,740	¥ 1,845	¥ 1,992	¥ 2,077	¥ 2,264
音問題・床鳴り	¥ 27,024	¥ 42,131	¥ 45,781	¥ 47,706	¥ 49,356	¥ 50,879	¥ 52,057
火災・漏電	¥ 87	¥ 164	¥ 224	¥ 287	¥ 345	¥ 459	¥ 607
外壁クラック	¥ 9,488	¥ 14,858	¥ 15,975	¥ 16,654	¥ 17,346	¥ 17,884	¥ 18,225
換気不良	¥ 133	¥ 204	¥ 232	¥ 261	¥ 295	¥ 323	¥ 366
亀裂	¥ 77,061	¥ 124,248	¥ 131,605	¥ 135,099	¥ 138,407	¥ 141,448	¥ 143,756
隙	¥ 5,079	¥ 9,913	¥ 10,529	¥ 10,703	¥ 10,941	¥ 11,068	¥ 11,183
結露	¥ 3,603	¥ 5,621	¥ 6,498	¥ 7,164	¥ 7,755	¥ 8,738	¥ 10,767
残り工事・様子見	¥ 71,268	¥ 81,958	¥ 83,639	¥ 84,365	¥ 85,535	¥ 86,270	¥ 87,080
水漏れ	¥ 9,265	¥ 15,355	¥ 18,914	¥ 22,354	¥ 26,255	¥ 31,969	¥ 40,895
台風雨漏れ	¥ 207	¥ 418	¥ 581	¥ 744	¥ 890	¥ 1,112	¥ 1,397
落下・破損	¥ 4,014	¥ 7,219	¥ 8,506	¥ 9,761	¥ 11,896	¥ 14,494	¥ 18,890
白蟻・虫害	¥ 604	¥ 1,052	¥ 1,223	¥ 1,395	¥ 1,656	¥ 2,096	¥ 2,544
不同沈下・基礎	¥ 363	¥ 766	¥ 927	¥ 1,068	¥ 1,411	¥ 1,754	¥ 2,117
浮き・グラツキ・不陸	¥ 10,091	¥ 15,533	¥ 16,700	¥ 17,205	¥ 17,837	¥ 18,274	¥ 18,736
変形・むくり・そり	¥ 3,682	¥ 6,327	¥ 7,068	¥ 7,464	¥ 8,035	¥ 8,563	¥ 9,182
変色・さび	¥ 3,530	¥ 6,324	¥ 7,142	¥ 7,637	¥ 8,320	¥ 8,898	¥ 9,430
有償工事	¥ 2,996	¥ 5,446	¥ 7,060	¥ 8,635	¥ 11,332	¥ 15,130	¥ 20,345
不良	¥ 854,641	¥ 1,227,894	¥ 1,306,313	¥ 1,361,517	¥ 1,408,150	¥ 1,477,128	¥ 1,541,694
地域1合計	¥ 1,192,718	¥ 1,733,156	¥ 1,854,710	¥ 1,938,582	¥ 2,018,950	¥ 2,125,956	¥ 2,242,463

補修レベル1	地域2						
	経年1年目	経年2年目	経年3年目	経年4年目	経年5年目	経年7年目	経年10年目
キズ	¥ 17,961	¥ 23,712	¥ 24,914	¥ 25,569	¥ 26,083	¥ 26,621	¥ 27,050
シミ・カビ	¥ 1,280	¥ 2,391	¥ 2,684	¥ 2,875	¥ 3,149	¥ 3,326	¥ 3,657
シワ	¥ 450	¥ 760	¥ 794	¥ 801	¥ 805	¥ 811	¥ 814
その他	¥ 39,222	¥ 60,795	¥ 67,952	¥ 72,990	¥ 80,736	¥ 88,828	¥ 100,808
ハガレ	¥ 32,413	¥ 52,705	¥ 55,885	¥ 57,546	¥ 58,927	¥ 60,341	¥ 61,690
悪臭	¥ 34	¥ 55	¥ 62	¥ 71	¥ 79	¥ 87	¥ 96
雨漏れ	¥ 4,533	¥ 8,533	¥ 11,334	¥ 14,183	¥ 16,831	¥ 21,919	¥ 31,145
営業上の問題	¥ 265	¥ 453	¥ 530	¥ 568	¥ 607	¥ 641	¥ 752
音問題・床鳴り	¥ 21,811	¥ 35,206	¥ 38,550	¥ 40,391	¥ 42,024	¥ 43,380	¥ 44,627
火災・漏電	¥ 71	¥ 132	¥ 200	¥ 293	¥ 378	¥ 567	¥ 706
外壁クラック	¥ 9,406	¥ 15,646	¥ 16,674	¥ 17,265	¥ 17,795	¥ 18,244	¥ 18,703
換気不良	¥ 86	¥ 174	¥ 204	¥ 255	¥ 284	¥ 292	¥ 314
亀裂	¥ 89,576	¥ 146,118	¥ 155,609	¥ 160,222	¥ 163,747	¥ 168,145	¥ 171,531
隙	¥ 4,688	¥ 9,536	¥ 10,151	¥ 10,317	¥ 10,516	¥ 10,637	¥ 10,755
結露	¥ 3,492	¥ 5,527	¥ 7,457	¥ 8,030	¥ 8,674	¥ 9,919	¥ 12,352
残り工事・様子見	¥ 46,767	¥ 53,871	¥ 55,285	¥ 55,864	¥ 56,857	¥ 57,736	¥ 59,086
水漏れ	¥ 8,966	¥ 14,645	¥ 18,327	¥ 21,965	¥ 26,216	¥ 33,900	¥ 45,072
台風雨漏れ	¥ 351	¥ 672	¥ 873	¥ 1,095	¥ 1,314	¥ 1,648	¥ 2,077
落下・破損	¥ 4,918	¥ 9,073	¥ 10,791	¥ 12,623	¥ 15,702	¥ 19,893	¥ 26,942
白蟻・虫害	¥ 738	¥ 1,304	¥ 1,506	¥ 1,688	¥ 1,819	¥ 2,223	¥ 2,658
不同沈下・基礎	¥ 655	¥ 1,065	¥ 1,174	¥ 1,365	¥ 1,502	¥ 2,048	¥ 2,731
浮き・グラツキ・不陸	¥ 10,268	¥ 15,733	¥ 16,820	¥ 17,373	¥ 18,000	¥ 18,512	¥ 19,123
変形・むくり・そり	¥ 4,068	¥ 7,112	¥ 7,873	¥ 8,305	¥ 8,820	¥ 9,398	¥ 10,279
変色・さび	¥ 3,781	¥ 7,328	¥ 8,002	¥ 8,478	¥ 9,104	¥ 9,572	¥ 10,399
有償工事	¥ 2,530	¥ 4,488	¥ 5,670	¥ 6,997	¥ 8,830	¥ 11,674	¥ 15,943
不良	¥ 793,059	¥ 1,149,850	¥ 1,214,543	¥ 1,288,968	¥ 1,318,323	¥ 1,384,276	¥ 1,478,421
地域2合計	¥ 1,100,392	¥ 1,620,884	¥ 1,733,862	¥ 1,816,095	¥ 1,897,118	¥ 2,014,638	¥ 2,157,731

補修レベル1	地域3						
	経年1年目	経年2年目	経年3年目	経年4年目	経年5年目	経年7年目	経年10年目
キズ	¥ 16,314	¥ 20,546	¥ 21,502	¥ 22,152	¥ 22,567	¥ 23,072	¥ 23,415
シミ・カビ	¥ 989	¥ 1,467	¥ 1,582	¥ 1,631	¥ 1,780	¥ 1,895	¥ 2,043
シワ	¥ 294	¥ 511	¥ 520	¥ 524	¥ 527	¥ 532	¥ 534
その他	¥ 43,162	¥ 62,246	¥ 68,900	¥ 73,525	¥ 79,686	¥ 88,010	¥ 98,863
ハガレ	¥ 35,635	¥ 53,972	¥ 56,780	¥ 58,363	¥ 59,536	¥ 60,697	¥ 61,693
悪臭	¥ 17	¥ 26	¥ 31	¥ 34	¥ 39	¥ 45	¥ 52
雨漏れ	¥ 9,461	¥ 15,821	¥ 20,315	¥ 24,181	¥ 27,664	¥ 35,170	¥ 46,968
営業上の問題	¥ 840	¥ 1,166	¥ 1,178	¥ 1,216	¥ 1,504	¥ 1,567	¥ 1,617
音問題・床鳴り	¥ 27,307	¥ 41,313	¥ 44,349	¥ 45,976	¥ 47,342	¥ 48,690	¥ 49,595
火災・漏電	¥ 59	¥ 106	¥ 126	¥ 145	¥ 185	¥ 271	¥ 330
外壁クラック	¥ 14,468	¥ 22,320	¥ 23,629	¥ 24,274	¥ 24,900	¥ 25,361	¥ 25,822
換気不良	¥ 131	¥ 184	¥ 219	¥ 228	¥ 245	¥ 254	¥ 264
亀裂	¥ 117,221	¥ 179,053	¥ 186,750	¥ 191,462	¥ 194,809	¥ 198,838	¥ 201,641
隙	¥ 4,461	¥ 6,944	¥ 7,246	¥ 7,344	¥ 7,479	¥ 7,566	¥ 7,653
結露	¥ 3,552	¥ 5,048	¥ 5,982	¥ 6,637	¥ 7,385	¥ 8,553	¥ 10,890
残り工事・様子見	¥ 48,525	¥ 63,023	¥ 66,520	¥ 69,434	¥ 73,229	¥ 75,304	¥ 79,952
水漏れ	¥ 1,825	¥ 2,954	¥ 3,423	¥ 3,903	¥ 4,379	¥ 5,200	¥ 6,300
台風雨漏れ	¥ 876	¥ 1,201	¥ 1,489	¥ 1,724	¥ 1,891	¥ 2,090	¥ 2,387
落下・破損	¥ 2,174	¥ 3,802	¥ 4,496	¥ 5,194	¥ 6,362	¥ 8,163	¥ 10,635
白蟻・虫害	¥ 528	¥ 660	¥ 924	¥ 1,055	¥ 1,290	¥ 1,686	¥ 2,346
不同沈下・基礎	¥ 178	¥ 357	¥ 624	¥ 624	¥ 981	¥ 981	¥ 1,516
浮き・グラツキ・不陸	¥ 9,194	¥ 12,927	¥ 13,603	¥ 13,967	¥ 14,369	¥ 14,745	¥ 15,039
変形・むくり・そり	¥ 4,304	¥ 6,163	¥ 6,633	¥ 7,004	¥ 7,405	¥ 7,875	¥ 8,374
変色・さび	¥ 2,407	¥ 3,808	¥ 4,189	¥ 4,474	¥ 5,046	¥ 5,290	¥ 5,685
有償工事	¥ 3,625	¥ 6,732	¥ 9,645	¥ 13,448	¥ 19,098	¥ 28,287	¥ 43,186
不良	¥ 995,151	¥ 1,392,797	¥ 1,474,720	¥ 1,536,385	¥ 1,588,545	¥ 1,665,258	¥ 1,742,016
地域3合計	¥ 1,342,699	¥ 1,905,144	¥ 2,025,376	¥ 2,114,955	¥ 2,201,224	¥ 2,318,390	¥ 2,452,004

補修レベル1	地域4						
	経年1年目	経年2年目	経年3年目	経年4年目	経年5年目	経年7年目	経年10年目
キズ	¥ 27,343	¥ 36,473	¥ 38,209	¥ 39,094	¥ 39,979	¥ 40,771	¥ 41,353
シミ・カビ	¥ 1,531	¥ 2,956	¥ 3,382	¥ 3,573	¥ 4,126	¥ 4,466	¥ 5,189
シワ	¥ 1,419	¥ 2,221	¥ 2,281	¥ 2,332	¥ 2,357	¥ 2,378	¥ 2,389
その他	¥ 51,061	¥ 72,632	¥ 78,311	¥ 83,515	¥ 89,484	¥ 96,880	¥ 114,686
ハガレ	¥ 31,238	¥ 55,766	¥ 59,200	¥ 61,191	¥ 63,439	¥ 65,396	¥ 67,957
悪臭	¥ 23	¥ 42	¥ 49	¥ 53	¥ 64	¥ 73	¥ 83
雨漏れ	¥ 2,842	¥ 5,250	¥ 6,613	¥ 7,889	¥ 9,629	¥ 12,820	¥ 17,402
営業上の問題	¥ 285	¥ 456	¥ 494	¥ 494	¥ 665	¥ 722	¥ 817
音問題・床鳴り	¥ 37,096	¥ 57,822	¥ 62,874	¥ 65,939	¥ 68,331	¥ 71,160	¥ 73,641
火災・漏電	¥ 43	¥ 136	¥ 188	¥ 256	¥ 384	¥ 537	¥ 759
外壁クラック	¥ 16,223	¥ 30,044	¥ 32,322	¥ 33,897	¥ 35,800	¥ 36,918	¥ 40,129
換気不良	¥ 271	¥ 416	¥ 428	¥ 475	¥ 554	¥ 610	¥ 846
亀裂	¥ 144,649	¥ 218,977	¥ 229,023	¥ 234,643	¥ 240,039	¥ 245,190	¥ 250,439
隙	¥ 7,324	¥ 12,996	¥ 13,678	¥ 13,876	¥ 14,347	¥ 14,522	¥ 14,751
結露	¥ 10,797	¥ 19,544	¥ 22,439	¥ 25,877	¥ 30,643	¥ 38,243	¥ 53,022
残り工事・様子見	¥ 42,119	¥ 52,502	¥ 54,391	¥ 55,639	¥ 57,858	¥ 59,528	¥ 61,821
水漏れ	¥ 7,922	¥ 13,435	¥ 16,994	¥ 19,859	¥ 23,180	¥ 30,364	¥ 42,474
台風雨漏れ	¥ 128	¥ 250	¥ 309	¥ 361	¥ 408	¥ 536	¥ 629
落下・破損	¥ 4,795	¥ 9,205	¥ 11,145	¥ 13,021	¥ 16,597	¥ 21,745	¥ 31,928
白蟻・虫害	¥ 213	¥ 809	¥ 1,278	¥ 1,703	¥ 2,044	¥ 2,598	¥ 3,333
不同沈下・基礎	¥ 921	¥ 1,496	¥ 1,841	¥ 2,072	¥ 2,417	¥ 3,338	¥ 4,948
浮き・グラツキ・不陸	¥ 14,057	¥ 21,114	¥ 22,415	¥ 23,263	¥ 24,210	¥ 24,992	¥ 25,931
変形・むくり・そり	¥ 3,447	¥ 5,921	¥ 6,515	¥ 6,957	¥ 7,765	¥ 8,535	¥ 9,772
変色・さび	¥ 4,704	¥ 8,881	¥ 9,900	¥ 10,286	¥ 11,479	¥ 12,252	¥ 13,533
有償工事	¥ 1,649	¥ 3,429	¥ 5,037	¥ 7,095	¥ 10,324	¥ 15,962	¥ 24,730
不良	¥ 1,349,053	¥ 1,903,409	¥ 2,007,160	¥ 2,088,401	¥ 2,163,199	¥ 2,269,743	¥ 2,372,001
地域4合計	¥ 1,761,153	¥ 2,536,185	¥ 2,686,385	¥ 2,801,761	¥ 2,919,320	¥ 3,082,277	¥ 3,275,066

9.4.6 実データと維持保全計画の比較

以上の結果を踏まえ、実データの維持保全コストと維持保全計画上の維持保全コストを比較した。なお、実データの維持保全コストは経年別に算出しているため、維持保全計画上の維持保全コストも経年別に算出した。また実データの維持保全コストの概算に使用した補修単価は、補修記録から抽出した1回の補修金額を平均したものを使用している。そして物件AはA社の物件サンプルの中でも面積、数量共に平均的なものを使用しているため、物件A換算コストの算出に使用したデータをA社、B社共に使用したものとした。

維持保全計画の中から各保全項目の補修単価、補修回数を抽出した。ここで抽出した補修単価は、物件A換算コストで使用した前の現状コストを算出した際に使用したものである。よって補修単価を物件A換算コストになるよう調整した。各保全項目において物件A保全面積を各地域の保全面積の平均で除したものを補修単価にかけることで、物件Aに換算した補修単価を算出した。

また抽出した補修回数に関しては、地域毎の平均をとっているため少数点が発生したが、回数であるため小数点以下を四捨五入し整数に変換している。変換したものを換算補修回数とした。整数の回数の値を少数の回数の値で除したものを物件Aに換算した補修単価にかけたものを換算補修単価とした。さらに維持保全計画では、維持保全期間を60年に設定しているため、60年を換算補修回数で除し補修のスパンとした。

以上の設定を行うことで、どの地域の住宅が引渡後どの程度の経年でどの程度の費用が必要になるかが明らかになった。なお各経年の維持保全コストの合計値を地域毎に算出し、A社では地域1～4、B社では地域1～5の平均値を算出した結果と、図38の補修記録を用いた維持保全コストと比較した結果を図39に示す。

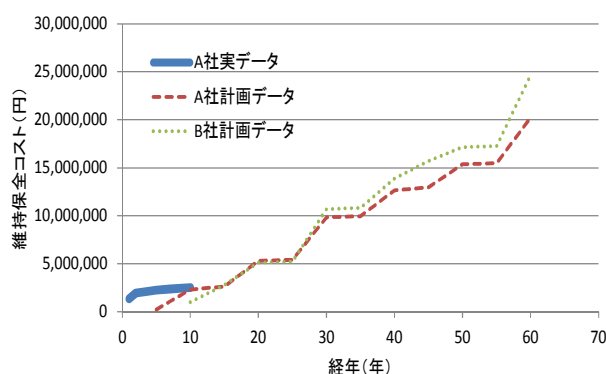


図 39 60年間維持保全したための費用の推移

10年目の金額はA社計画データで¥2,317,215、A社実データで¥2,531,816 とほぼ同金額になり、B社計画データは¥1,001,356 になった。1年目から5年目に関してのA社実データは1年目から補修を伴う不具合が発生しているのに対して、A社計画データは5年目か

ら、B 社計画データは 10 年目からの補修予定の設定になっている。この結果から、維持保全計画の全体的な金額はそれほど変わらないと考えられるが、従来の維持保全計画よりも早めに補修金額が発生する可能性が高いと考えられる。

9.4.7 まとめ

構法の違いからみた中長期計画の検証を行うことで、維持保全コストにおいて構法による違いはあまり見られなかった。しかし、外部、内部の保全項目に分けて分析を行った結果、外部の保全項目に関しては、地域差に影響を及ぼしているとは言い難い状況である一方、内部の保全項目に関しては地域差が発生している可能性が高いという結果に至った。また A 社と B 社、つまりツーバイフォー構法と在来軸組構法において維持保全金額の違いはあまり見られなかった。両社とも全国的な規模のハウスメーカーであることから、木造構法による維持保全金額の違いはあまり考慮する必要はないと考えられる。

また、補修費用の実データを用いた維持保全の実施状況の分析から、実際の補修費用と維持保全計画の保全項目の時期にずれがあること、特に維持保全計画書で計画しているよりも早い時期に補修を伴う不具合が発生していることが明らかになった。

以上、従来の維持保全計画に本研究の成果を反映させれば、より地域に適切な維持保全計画の策定が可能となるだけでなく、不具合に対してより迅速な対応が可能となることから、木造住宅の長寿命化や中古住宅の流通の拡大が実現するだろう。

9.5 維持管理情報データベース

本事業およびこれまでに研究を目的として実施した住宅の温湿度調査に関するデータや文献を収録・保存するためのインターネット対応型のデータベースを構築し、維持管理の指針を得るために必要となる住宅の環境などに関する情報源とすることとした。今後関係者に開示する予定である

9.6 長期維持保全計画の立案において考慮すべき因子

9.6.1 シロアリの分布

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考慮した維持管理計画の立案が求められる。

本事業では、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、各シロアリ種の分布を制御する気象要因を検討してきた。また地表～地中温度の計測、イエシロアリ巣温計測、土壌性ガスの採集・分析から、ハザードマップに資するヤマトシロアリの野外分布限界として積雪がある状態での土壌凍結深が 10 cm 以下であることなどを明らかにしてきた。これらの成果をまとめて、ヤマトシロアリ、イエシロアリの最新の野外生息分布マップを明らかにした。

さらに劣化対策や維持管理の手法を最適化するために、各シロアリ種のハザードマップ

(被害危険度マップ)の提案を提案した。提案では、イエシロアリのハザードマップとしては、過去のイエシロアリ発生情報を加味して福島(1972)の提唱した1月の平均気温0℃以上の地域を指定し、ヤマトシロアリのハザードマップとしては、ヤマトシロアリが越冬可能な環境を加味して、積雪がある状態での土壌凍結深が10 cm以下の地域、であることを指定している。

今後これらの調査を継続・深化させることで、より正確なハザードマップの構築が可能になると予測され維持管理計画の立案において、地域性を考慮するための資料が獲得できると考えられる。

その一方で、都市化や住宅の高断熱化が進むと、住宅内や周辺でシロアリが越冬しやすい環境が人為的に形成されるため、地域の気候や環境要因のみではシロアリ生息の可能性は十分には評価できない可能性がある。今後はこれらについての検討も必要になると思われる。また気候変動などによってシロアリの生息領域が変化することもあると考えられるので、劣化対策や維持管理計画の立案においては、修正可能で柔軟性のある手法も視野に入れる必要があると思われる。

9.6.2 腐朽リスク

住宅に生息する腐朽菌の種類、建物内での分布や国内での分布に関する知見も、維持管理計画を立案する上で重要である。本事業では、近年急速に発達した遺伝情報を利用した木材腐朽菌同定手法を建築害菌の同定に適用し、菌糸や子実体が明確ではない住宅等の腐朽部材からの木材腐朽菌の検出手法を検討し、実践的な手法を確立した。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利点としては、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が可能である、同定に必要なサンプル量は僅かである、多数の菌種やその存在密度を解析可能である、およびこれらの情報に統計手法を組み合わせることで、より詳しい解析が可能である、を挙げることができる。

本事業では、検証した手法によって、菌類の分布に関する知見を蓄積することを目的として、住宅などの診断現場で採取した試料について腐朽菌の同定を実施した。その結果は、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は明瞭な関係が無いことを強く示唆していたが、まだサンプル数が少ないことや、東北・北海道のサンプルが入手できていないことなどから、信頼性の高い結論とするには時期尚早だと考えられる。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。また、腐朽が始まってから時間を経た腐朽材では、激しく腐朽しているにもかかわらず菌類の遺伝子が検出できない(同定できない)という、限界も課題として残っている。

その一方で、担子菌を中心とする木材腐朽性の菌類と、それ以外とを簡便に識別する手法の確立も重要で、これによって設計時の菌類に関する環境評価や維持管理上の診断や処置方法を策定する上で、信頼性の高い実務が確立できる。さらに菌類の全国的な分布に関

する検討に加えて、住宅については床下・室内・小屋裏や壁内、水周りなどの間での菌相や密度の違いも検討する必要があると考えられる。

9.6.3 保存処理材の耐久性

住宅部材に用いられる保存処理木材の耐用年数やそれに及ぼす環境因子に関する知見は維持管理技術の確立にとって重要である。特に既往の接地・暴露条件ではなく、非接地・非暴露条件にある木材の耐用年数は基礎的知見として重要である。

本事業では、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を予測することを目的に、木粉に添加された状態で高温条件下に暴露する促進劣化試験を実施した。

これまで加温した環境に暴露する促進劣化試験を実施し、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、微量で効力を発揮するシプロコナゾールの住宅部材中での耐久性について検討した結果、木材に注入した場合でも残存率が暴露温度により異なり、温度が高いほど消失速度が速いことが明らかになった。

その一方で、実験法上での課題も明らかになった。例えば表面積の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ことが示唆された。

また注入処理用木材保存剤で処理された試験体に含まれる有効成分量の経時変化は、表面処理用木材保存剤の有効成分量の経時変化と較べバラツキが大きく、有効成分残存量と暴露温度との関係を厳密に議論することができなかった。その原因として減圧下で木材保存剤を注入する方法をとったためと推定された。そのため初期の有効成分量の変動係数を1%以下に抑える方法で調製した試験体を用いての有効成分残存量と暴露温度との関係を検討した。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。

この事業の成果は、木材保存剤の耐久性を短期間で予測できることを示唆するものである。これをベースに CUAZ を注入した試験体を用いて耐久性を検証したが、その結果は促進劣化45日目までのものであり、今後も促進劣化試験を継続して実施する必要がある。

以上のように、本事業では木材保存剤の耐久性を評価および予測する手法を明らかにしたものの、実際に用いられる多数の薬剤について、様々環境下での薬剤自身の耐久性を示す幅広いデータを獲得するには至らなかった。また分析方法そのものの簡素化や改良も望まれる。

今後、本事業の知見をもとに、知見が蓄積されることが望まれる。またそれによって、点検の周期などがより明確になる。特に保存処理木材の耐久性について、非接地・非暴露の状態での基礎的知見を獲得することは、維持管理における点検周期を確定する上で重要であると考えられる。

9.6.4 各工法の劣化特性

工法別の劣化特性を把握することは維持管理計画を立案する上で重要である。本事業では、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、べた基礎、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、整理し、これら構（工）法等の耐久性に関する健全度を検証した。

まず住宅建設会社、駆除会社、住宅保証団体・住宅検査会社等が所有する実態調査報告を基に、新たな構（工）法に関する事故例や改修例等をヒアリング等において収集・整理した。調査対象項目は、(1)基本事項、(2)事故・劣化事象・改修等の概要、(3)住い方の概要、(4)劣化対象部位・事象等とした。さらに住宅メーカー等 5 社と住宅保証・検査会社等 3 社、外装材メーカー、在来大手ハウスメーカー、しろあり駆除会社、住宅検査会社、建築団体、2x4 大手ハウスメーカーなどそれぞれ 1 社毎の合計 13 社に対して、ヒアリング調査を実施した。調査結果に基づき、19 項目の事故例を選択し、事故事例が発生した事象等を、劣化部位、劣化事例、所在地、竣工年数、構造仕様、劣化原因、設計基準、制御対策などの項目に分けてまとめを行った。さらに事故事例原因チェックシートを基に他 TG 等の成果を取り込み「耐久性確保のための設計・施工マニュアル（案）」を作成する際の基礎資料を作成した。

今後これらの知見がさらに蓄積、整理されることにより工法別の維持管理計画の立案が可能になると思われる。その一方で、調査の結果から、住宅竣工後の劣化の原因として、施工不良などの施工上の問題点（瑕疵を含む）が散見され、特に建築防水に関連する項目の多いことが看取された。これらについては、維持管理で行う検査の対象となるものの、検出後の対策や扱いが通常の維持管理のそれとは異なる。今後は、施工不良などに関する事象を維持管理の中でどのように扱うかも検討する必要がある。

さらに今後木造住宅に適用される新たな構（工）法（外断熱、高気密高断熱、べた基礎、床下・小屋裏換気、壁体通気、金物等）に関する実態調査等の資料等についても、耐久性の検証し、耐久性の向上措置以外に維持管理上の課題について検討する必要がある。さらに維持管理における点検方法を検討する上で、構造と劣化との関連性に関する知見は重要であるため、この観点からの分析も求められる。また維持管理のし易さ、補修や交換のし易さの観点からの耐久性確保も今後の課題であり、この観点からの新規工法の検討についての考察も求められる。

9.6.5 接合部の劣化による強度低下

劣化が生じたときに躯体の構造強度がどの程度低下しているのかを評価できることは維持管理を適切に進める上で重要である。本事業では、そのため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検討した。

接合部強度試験では、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ことを目的とした。まず生物劣化を強制的に発生させる方法を新たに考案し、劣化状態を再現・調整した試験体について接合部強度試験を実施し、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、これまでに接合部強度試験が終了した部材による縦圧縮試験を実施し、縦圧縮強度と劣化程度との関係を検討した。その結果は限定的な条件に限られたものであるため、生物劣化と接合強度性能との関連を明確化するには至らなかった。

その一方で部材縦圧縮試験では、腐朽菌により劣化した材およびイエシロアリにより劣化した材は、コントロールと比べて縦圧縮強さが小さくなる傾向だった。また密度と縦圧縮強さとの関係には、正の相関が認められたことから、部材の縦圧縮強さを推定するパラメータとしては、密度が有効と考えられる。さらにピロディンによるピン打ち込み深さと密度との間に相関が認められていることから、ピロディンによるピン打ち込み深さが部材の縦圧縮強さを推定するのに有効であることが示唆された。

部材や接合部の強度に及ぼす生物劣化の影響、さらにそれらと診断時の劣化程度の評価基準との関係については、今後、実験や解析手法を含めた検討が必要となると思われる。とりわけ維持管理において実施される点検・診断で獲得される症状データと実際の劣化度や強度性能との関連を明らかにする方向での検討が今後望まれる。

9.6.6 湿度環境

湿度や結露環境と木材の含水率変化との関係などに関する知見は、木材の劣化（特に腐朽）促進条件を明らかにする上で重要で、これに基づく維持管理計画の立案が求められる。本事業では、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た。また材料面までの透湿係数を測定したうえで、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した。

その結果、期間平均の相対湿度が同等でも一時的に繊維飽和点に達する場合は菌糸が定着する可能性が明らかになるとともに、菌糸定着の判断方法として、連続した湿潤や乾燥湿潤条件での暴露期間の目安を明らかにした。

またこれらの温度依存性を考慮して、春期から秋期に対して冬期については 2 倍程度の期間が許容できるであると推定できた。

まとめとして、8 ヶ月の暴露試験から得られた結果より、深刻な木造躯体の劣化を防止するために許容できる湿潤状態として、①連続した湿潤については、相対湿度 98% 以上が 1 カ月程度、②乾燥湿潤（周期的に繊維飽和点を越える場合）については、平均相対湿度 95%以上が 2～3 カ月程度、平均相対湿度 85%以下が 6～7 か月程度が限界として推定された。これらの数値は雨水に直接暴露される環境や、屋外の土木構造物は想定していないため、数値の適用にあたっては注意が必要である。また温度 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

容できると思われる。

菌糸定着の期間については、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り、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。これらの知見をもとに建物内の温湿度管理を行うことでより適切な維持管理が可能になるとと思われる。

生物劣化のうち腐朽については、結露や漏水などに起因する水分浸潤の監視を行い、早期でその異常を検出することが望まれる。これらの水分浸潤の発生リスクに関する知見は重要であり今後も多くの知見が蓄積されることが望ましい。

9.6.7 小屋裏換気と防露措置

小屋裏の換気状態と劣化との関連についての知見は、維持管理計画立案の上で重要である。本事業では、これまで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を検討した。これにより、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でき、維持管理の適切化も促進できる。

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。

検討の結果、地域区分としては、寒冷地、準寒冷地、温暖地、積雪地、蒸暑地といった分類が必要になること、換気経路については妻換気方式において、現行基準からの大幅な開口面積の増加が示唆されること、妻換気以外でも換気経路を勘案し要求性能を変える必要があることなどが明らかになった。また天井面の気密性能を考慮することも重要であることが分かった。

今後は、気密性能と室内温湿度の影響、さらに初期水分や雨水浸入による影響、下屋、ルーフバルコニー等の考慮が検討課題となる。それらの知見をもとに小屋裏や野地部分の

維持管理の手法が最適化されるものと考えられる。とりわけ小屋裏部分については維持管理の手薄な領域であり、かつ野地部分の状態は直接的な確認が殆どできない領域である。バルコニーも漏水や施工不良などとの関連で、内部で劣化が進行しやすい領域である。今後はこれらの部位の点検手法や周期の確立にむけた知見の獲得が望まれる。

9.6.8 接合金物の耐久性

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。またこれらの知見は維持管理計画や診断上重要な課題である。

本事業では、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検討した。事業では、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。さらに欧米における防錆基準データの収集と検討、保存処理木材と金物防錆処理との反応性について屋外曝露試験と耐湿試験による検討、金物、接合金具の新たな品質基準の検討を行った。

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。

これらの評価は相対的なものであり、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ため、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。

これらの知見を今後も蓄積、整理することでより維持管理上の重要な課題である、点検周期などが明らかになる。その際には他の TG の成果を元に、地域の環境、構造・工法、湿気などの劣化外力などの影響を加味することも原理的には可能になる。その一方で被覆部分の下地にある金物の点検方法が新たな課題となると思われる。

第10章 各TGの研究成果のまとめおよび長期優良住宅認定基準等の見直しに向けて

10.1 各 TG の研究成果のまとめ

研究プロジェクトの最終年度にあたって、今年度までの各 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。

10.1.1 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。

今年度は昨年度様々な調査検討結果から提唱したヤマトシロアリの野外分布を抑制している自然要因は土壤凍結であるという仮説の検証を中心として研究を行った。

その結果、ハザードマップに資するヤマトシロアリの野外分布限界として、積雪がある状態での土壤凍結深度が 10cm 以下のラインであることを提案し得た。また、地中温度と土壌性ガスのシロアリ生息との関係を検討した結果、イエシロアリ営巣部分では明瞭な傾向を得ることができた。

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。

なお今後の課題としては、同様の測定、調査を他の地域でも継続し、ヤマトシロアリ、イエシロアリのおのおのの営巣状態における生存可能な温度と期間に関する条件を明らかにしていくことが求められる。

10.1.2 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。

今後の課題としては、腐朽材の採取地や採取部位・部材の範囲を広げ、サンプリング数を増やすことにより、菌類の種類やその生息密度と建設地や部位・部材との関係性を再検証していくことが求められる。

10.1.3 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。

今後は、シプロコナゾールの長期耐久性能について最終的な結論を得るために、より長い曝露実験を継続していく必要がある。また、本 TG の枠外であるが、雨水が浸入している環境下での保存処理の耐久性についても別途検討が行われることを期待したい。

10.1.4 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マニュアル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、留意点について分析し、設計・施工マニュアル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 分析を実施するとともに、他の TG の成果を取り込み「設計・施工マニュアル（案）」を作成するための基礎資料を整備した。

今後は、今年度までで整備した資料をもとに、「耐久性能確保のための新構（工）法設計・施工マニュアル（案）」の作成を行っていく必要がある。

10.1.5 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、密度などが有効な強度劣化の評価指標となることなどを明らかにした。

今年度は、強制劣化手法の改善を図るとともに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。

今後は、これまでの結果に基づいてより幅広く非破壊パラメータの検討を行い、その結果から現場での劣化による部材や接合部の強度低下率についての的確に評価が可能な診断指標を抽出し作成していく必要がある。

10.1.6 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。

今後は、さらに検証実験を積み上げて、判断基準の確度を高めていく必要がある。

10.1.7 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。

10.1.8 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、昨年度に引き続き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。

今後は、引き続き各種暴露実験の継続的観察を行っていくほか、接合金物・接合具の発錆時における構造性能を検証していくことが必要である。

10.1.9 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 2 点あり、その一つめは、昨年度回答をもらった企業を対象に実施した追加調査である。この追加調査で、維持保全のための点検箇所、点検時期、点検周期、点検方法の立案方法のほか、計画立案上考慮している要因（地域性、劣化外力、住まい方など）など、さらに詳細な維持管理計画の立案状況について明らかにしている。検討事項の二つめは、大手ハウスメーカー 2 社の数十年にわたる維持管理に関する膨大な量のデータ解析を行ったことである。解析の結果から、全国を 5 地域に分けた場合の地域別不具合（蟻害、雨漏り、外壁亀裂、漏水など）発生率とその年次変化を明らかにするとともに、地域別の維持管理コストの実態などを明らかにしている。

一つめの検討結果は、長期優良住宅認定における維持保全計画立案における画一性を浮かび上がらせたばかりでなく、そこに潜む問題点を解き明かす上で役に立つものとなっている。また、二つめの検討結果は、今後の長期優良住宅における維持保全計画のあり方を考える上で幾多の示唆や基礎資料を与えるものとなっている。

なお、最後に維持保全計画を立案していく上でどのような因子を考慮すべきかについて、他の TG の成果を踏まえて提案した。

今後は、他の TG の最終検討成果が出た時点で、それらを盛り込んだ維持保全計画の立案方法を示すとともに、実効性のある維持保全計画のありようについて指針を定めていく必要がある。

10.2 本研究プロジェクトの成果を踏まえた長期優良住宅認定基準等の見直しに向けて

最後に本研究プロジェクトのまとめとして、以上の各 TG の検討成果が、現行の長期優良住宅認定基準等（個別の認定基準のほか、関連する解説などを含む）の見直しにどのように関連してくるかについて主査としての見解を以下に示しておく。

10.2.1 各種シロアリ生息実態に関する調査検討

わが国の木造建築物の設計、維持管理においては、主たる劣化外力としてのシロアリの分布状況を正確に把握することは極めて重要な情報となる。現行の長期優良住宅の認定基準あるいは品確法劣化軽減等級における地盤対策に係る告示では、北海道、東北、北陸にある 1 道 10 県については、解説部分では推奨事項となっているが、原則としては地盤への防蟻対策が免除されることとなっている¹⁾。しかし、本 TG の成果によれば、北海道の道東を除いては、いずれの地域ともシロアリの生息と被害が確認されている。シロアリ被害は

発見がしづらく、「進行が遅い」²⁾といえども発見したときには手遅れになっている可能が高いものであり、生息・被害の両方が確認されている地域では地盤対策を取ることを原則とするように告示の見直しを検討すべきである。

10.2.2 建築加害菌に関する検討

本 TG の研究成果は、木造建築を構成する木質材料の耐久性を考える上で、抜本的な見直しを迫る可能性を秘めている。すなわち、建築用木材の主たる加害菌が何かにより、JAS の防腐効力試験方法から始まって現場における既存建築物の劣化診断方法にまで影響を生じる可能性がある。ただ、現段階ではまだ建築加害菌の同定について遺伝子解析手法が有用であることが示され、その方法を使って一部の腐朽部材の解析がなされたところである。今後、本研究で示された手法を使って、より広くかつより精度良く建築用木材腐朽菌の実態について解析が進むことを期待したい。

10.2.3 保存処理の耐久性と耐久性能に関する検討

本検討の成果は主に維持管理のあり方に関わる成果であり、建物に雨水浸入などの事故が生じていない場合における木材保存処理の耐用年数について一定の知見を示している。今後、更なる検討が進んで各種保存処理ごとの耐用年数が概算値でもいいから示されれば、それをもとにした耐久設計法あるいは維持管理計画法が確立されてくる可能性があり、それらを踏まえた維持保全計画書を作成することが求められることになろう。

10.2.4 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

現行の品確法劣化軽減等級および長期優良住宅認定基準の告示では、外壁を通気工法等とすることや基礎をベタ基礎とすることなどが、耐久性向上に有効な措置として規定されている³⁾。しかし、そのような工法に早期の劣化が生じていることが一部の実態としてあることを本 TG の成果として示した。合わせて、その原因は設計にあるというよりも主として施工や工事管理に起因していることも示した。薬剤処理に頼らず工法で耐久性を向上させる場合には、確実に正しい施工とそれを担保する工事管理が不可欠であることが改めて証明された形となっている。これらの工法を規定している告示の解説⁴⁾などに、本 TG の成果を踏まえて施工上留意すべき点、工事管理上の盲点などについて是非、記載すべきと考える。

10.2.5 接合部の強度劣化評価

本 TG の成果は、蟻害や腐朽を受けた木部接合部の残存強度を定量的に評価する一つの手法（劣化診断手法）を示したものであり、今後追加の検討をしていくことで、より汎用性のある非破壊診断指標が得られることになると考えられる。このような技術が必要となるのは、既存木造住宅の維持保全を実施していく場合に、劣化診断が重要な役割をもつこと

による。その場合、診断結果は定性的なもので終わるのではなく定量的に強度の残存率などを示しうるものであれば、その後の対応が補修でいいのか補強までしなければならないのかなどを判断する上で有用な情報を提供してくれることとなり、今後の既存木造の長期使用にとって不可欠の技術となる。

10.2.6 構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討

従来、木造建築物の躯体にとって有害な結露の判定について、定量的な判断基準がなかった。本研究の成果は、結露に対する木造建築物の各部層構成の評価、言い換えれば木造建築物の各部構法設計内容の結露面からの評価方法を呈示したものである。様々な実験とシミュレーションにより一つの評価基準を示したことは、今後の木造住宅だけではなく木造建築物全体の耐久設計に大きな拠り所を提供するものである。

本 TG で得られた知見は、品確法劣化軽減等級あるいは長期優良住宅認定基準告示などに示された仕様に沿わない層構成を持つ住宅が出てきた場合（特別評価方法の対象となった場合）の結露害の評価手法と判断基準を提供するものとして有用なものになるう。

10.2.7 小屋裏換気口の要求性能に関する検討

現行の小屋裏換気口の要求面積に関する品確法劣化軽減等級あるいは長期優良住宅認定基準の告示に示された数値は、全国一律に構法の区別無く定められているものであり、現在の木造住宅構法のように外壁通気層が小屋裏につながっている場合や天井気密が様々な場合には、必ずしも現行告示の面積レベルが妥当ではないケースが多く見られるようになってきた。

本 TG では現在の木造住宅、特に長期優良住宅のような省エネルギー性能などに配慮した住宅を対象にして、建設地域、外壁通気条件、天井気密、換気方式などに応じて、小屋組や野地板に有害な結露が生じないための所要小屋裏換気口面積の新たな基準値を求めている。これによれば、現行基準で十分な場合も多いが、建設地域やその他の条件によっては現行基準の 2 倍を超える換気面積が必要となるケースがあることが示されており、本成果にもとづいた精緻化を含めた現行告示の見直しが必要と考える。

10.2.8 接合金物の耐久性評価に関する検討

接合金物の防錆処理については、現行の品確法劣化軽減等級あるいは長期優良住宅認定基準の告示には何も規定されていない。しかし、100 年を超える長期間にわたる使用を考え、接合金物が今の住宅構法から見て容易に交換可能ではない実態とそれにもかかわらず金物が構造的に重要な役割を担っている現状を踏まえれば、木造住宅における接合金物の防錆基準を整えることが焦眉の急であることは以前から指摘されてきたところである。それに対して、本 TG では、鉄骨造に準じる金物防錆基準を求めて長期にわたる曝露実験を繰り返し、現時点で一定の知見を得るところとなっている。最終的な防錆基準を定めるには今少

しの検討が必要であるが、今後の基準制定に向けた基礎資料として活用されることを期待したい。

10.2.9 長期優良住宅における維持管理に関する検討

本 TG の研究成果から明らかになったように、現在の長期優良住宅の多くが立地や構法、材料によらず、借り物の既存資料にもとづいた画一的な維持保全計画を作成して認定を得ている。もちろん、一部には使う材料の仕様、地域気候などの条件を配慮してオリジナルの維持保全計画を立てている事業者もいるが、試行錯誤しながら苦心して作成しているのが実態として見えるところである。

本来、建物の維持保全の内容は使用材料や地域性あるいは使い方によって大きく異なってくるものであり、長期優良住宅にはそのような条件を反映した維持保全計画の立案と実践が基本的に求められる。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 の成果は、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しているものとする。

<参考文献>

- 1) 国土交通省告示第 1347 号 3-1(3)イ①
- 2) 国土交通省住宅局ほか監修、日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説(新築住宅)、p. 200、2010 年
- 3) 国土交通省告示第 1347 号 3-1(3)、国土交通省告示第 1347 号 3-1(3)イ①
- 4) 国土交通省住宅局ほか監修、日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説(新築住宅)、p. 195、p. 200、2010 年

「木造長期優良住宅の総合的検証委員会 耐久性分科会」実施体制

	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
〃	大村和歌子	(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
〃	角倉英明	(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
〃	臼井勝之	(一社)日本建築士事務所協会連合会
〃	飯山道久	(一社)日本木造住宅産業協会
〃	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
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
行 政	上森康幹	国土交通省住宅局住宅生産課木造住宅振興室
	飯田俊平	国土交通省住宅局住宅生産課木造住宅振興室
事務局	竹内孝常	(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 大村和歌子

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 関東学院大学 中島正夫