

平成21年度国土交通省補助事業  
長期優良住宅実現のための技術基盤強化を行う事業  
木造長期優良住宅の総合的検証委員会  
耐久性分科会報告書

平成22年3月

木造長期優良住宅の総合的検証委員会耐久性分科会  
（（社）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整理した。

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、その分布を再評価するとともに、新たな加害シロアリの被害実態などを検討した。

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、実験方法などの検討を実施した。

第 4 章では、現代の新構法を対象に住宅メーカー等にヒアリングを主体とした健全度実態調査を実施し、現在の認定基準の基となった「建設省耐久性総プロ」以降に出現した新しい構法の健全度を評価することを試みた。

第 5 章では、接合部試験体を強制劣化させたモデル実験を実施し、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を検討した。

第 6 章では、木造住宅における構造体木部が許容しうる湿潤状態に関して実験方法を検討し、今後の実験計画を策定する上での知見を得た。

第 7 章では、小屋裏の結露害を防止するための適切な換気方法基準を策定することを目的に、小屋裏温湿度環境の実態把握実験を実施した。

第 8 章では、接合金物・接合具の耐久性基準を明らかにすることを最終目的に、初年度作業として、既往の技術資料や知見を収集整理するとともに、耐用限界の定義や劣化外力

の整理など基本的事項について検討した。

第 9 章では、以上の検討結果を総括するとともに、次年度以降の検討課題について整理した。

耐久性に関する知見を実験や調査によって獲得しようとする場合には、構造性能などに比べて一般的に長い時間が必要となる。そのような意味から言っても、また本年度は本事業の初年度であることを考えても、必ずしも各検討項目について十分な成果が得られているものばかりではないが、次年度以降の本格的な検討作業の準備は本年度で整えられたと評価できる。

短い期間であったにもかかわらず、本年度の検討作業を精力的に実施していただいた担当者各位に、この場を借りてお礼申し上げる。

平成 22 年 3 月 16 日

耐久性分科会  
主査 中島正夫

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 21 年度 報告書目次

はじめに

|         |                     |    |
|---------|---------------------|----|
| 第 1 章   | 研究概要                | 1  |
| 1. 1    | 研究背景と目的             | 1  |
| 第 2 章   | 劣化外力の再評価            | 3  |
| 2. 1    | 各種シロアリ分布、被害実態に関する検証 | 3  |
| 2. 1. 1 | 目的                  | 3  |
| 2. 1. 2 | 方法                  | 3  |
| 2. 1. 3 | 結果と考察               | 3  |
| 2. 1. 4 | 結論と今後の課題            | 14 |
|         | 参考文献                | 15 |
| 2. 2    | 腐朽危険度に関する検証         | 16 |
| 2. 2. 1 | 目的                  | 16 |
| 2. 2. 2 | 方法                  | 16 |
| 2. 2. 3 | 結果と考察               | 17 |
| 2. 2. 4 | 結論と今後の課題            | 23 |
|         | 参考文献                | 23 |
| 第 3 章   | 保存処理の耐久性と耐久性能に関する検討 | 25 |
| 3. 1    | 目的                  | 25 |
| 3. 2    | 方法                  | 25 |
| 3. 3    | 結果                  | 27 |
| 3. 4    | 結論と今後の課題            | 42 |
| 第 4 章   | 新構法住宅および中古住宅の健全度の検証 | 44 |
| 4. 1    | 目的                  | 44 |
| 4. 2    | 調査方法等               | 44 |
| 4. 3    | 結果と考察               | 49 |
| 4. 4    | 結論と今後の課題            | 58 |
| 第 5 章   | モデル試験による接合部の強度劣化評価  | 63 |
| 5. 1    | 目的                  | 63 |
| 5. 2    | 方法                  | 63 |
| 5. 3    | 結果と考察               | 64 |
| 5. 4    | 結論と今後の課題            | 81 |

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| 第 6 章 | 構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討 | 82  |
| 6.1   | 背景及び目的            | 82  |
| 6.2   | 実験方法              | 82  |
| 6.3   | 実験結果              | 85  |
| 6.4   | まとめ               | 87  |
|       | 参考文献              | 87  |
| 第 7 章 | 小屋裏換気口の要求性能に関する検討 | 88  |
| 7.1   | はじめに              | 88  |
| 7.2   | 実験概要              | 88  |
| 7.3   | 結果及び考察            | 93  |
| 7.4   | まとめ               | 100 |
|       | 参考文献              | 100 |
| 第 8 章 | 接合金物、接合具の耐久性評価    | 101 |
| 8.1   | はじめに              | 101 |
| 8.2   | 接合金物、接合具の腐食実態     | 101 |
| 8.3   | 接合金物、接合具の耐久性の定義   | 104 |
| 8.4   | 劣化外力              | 108 |
| 8.5   | 現状の防錆処理           | 115 |
| 8.6   | 今後の課題             | 116 |
|       | 参考文献              | 117 |
| 第 9 章 | まとめと今後の課題         | 119 |
| 9.1   | 今年度研究成果のまとめ       | 119 |
| 9.2   | 今後の課題             | 121 |

## 第1章 研究概要

### 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。
- 4) 1)～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撞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。

## 第2章 劣化外力の再評価

### 2.1 各種シロアリ分布、被害実態に関する検証

#### 2.1.1 目的

シロアリによる木造家屋の劣化危険度（ハザード）を検証することを目的として、シロアリの生息分布と気象データとの関係を明らかにするとともに、家屋の被害実態調査を行う。

#### 2.1.2 方法

##### (1) 文献等調査

気象因子とシロアリの生息分布との関係ならびに環境因子とシロアリの行動との関係、蟻害に関するハザードマップの事例について文献等を調査した。

##### (2) シロアリ分布図と気象データの再構築

農林水産省基礎数値データベースシステムから、2009年1月のアメダス気象データをダウンロードし、シロアリの分布に影響を及ぼす可能性のある気温に関する因子を抽出した。抽出データにしたがって、日本全国における気象ラインを作成した。

##### (3) 被害実態調査項目の選定

調査項目を選定するために、(社)日本しろあり対策協会の8支部計15社に対して、各社が通常営業時に使用する物件調査報告書の提供を依頼した。物件調査報告書をもとに、調査シートを考案・作成し、このシートと物件調査報告書を使って被害実態調査を試行した。

##### (4) ヒアリング

東海白蟻研究所の星野氏と岡崎シロアリ技研の神谷氏には最近の家屋の蟻害発生傾向（建物の構造、工法と蟻害の関係）、廣瀬産業の廣瀬氏にはイエシロアリによる被害の特徴を中心に、個別ヒアリングを行った。

#### 2.1.3 結果と考察

##### (1) 文献等調査結果

##### (a) 日本における主要加害シロアリ種の分布<sup>1)-3)</sup>

日本には現在22種類のシロアリが定着・生息しており、そのうちイエシロアリ、ヤマトシロアリ、アメリカカンザイシロアリ、ダイコクシロアリの4種が主要木材加害種とみなされている。イエシロアリとヤマトシロアリが属するミゾガシラシロアリ科のシロアリは、「地下シロアリ」と総称される。これらのシロアリは、家屋の周辺に営巣していた場合、巣から蟻道をのぼし地中を通して床下に到達後、蟻道を立ち上げて内部に侵入する。一方、アメリカカンザイシロアリ、ダイコクシロアリは乾燥した木材の内部のみで生活することから「乾材シロアリ」と称され、被害材に付着したコロニーもしくは周辺の被害家屋からの羽アリの飛来が、被害の拠点となる。最近「乾材シロアリ」による被害がマスコミ等で大きく取り上げられているが、全国的にみると、イエシロアリ、ヤマトシロアリによる被害がほとんどであり、家屋におけるシロアリ対策は、これら「地下シロアリ」対策が基本である。

イエシロアリは、台湾～中国南部原産と考えられており、日本へは約300年前に移入し



たとえられる。戦前までは静岡県が北限であったが、戦後、神奈川、東京、千葉で被害が発生し、2009年現在では、茨城県潮来市を野外分布北限とし、千葉県以南の太平洋～瀬戸内海～九州の海岸線に沿って沖縄まで、比較的温暖な地域に生息している。しかし、分布域であっても海岸線から遠い内陸や標高の高い地域で生息が認められることは少ない。戦後、神奈川では横須賀の米軍基地およびその隣接地の横須賀学院が被害の初報告であるが、県内の他地域へは有翅虫（羽あり）の群飛により拡大したと考えられている。房総半島へは九州地方からの街路樹の移設により、街路樹に付着していた巣を拠点として人為的に侵入したとみなされている。

ヤマトシロアリは北海道北部を除きほぼ日本全国に分布している（北海道名寄市が分布北限）。シロアリは熱帯～亜熱帯原産であることから、ヤマトシロアリ属のシロアリは長い年月をかけて次第に低温に対する耐性を獲得し、徐々に分布域を広げてきていると考えられる。同属のシロアリはチベット高原にまで生息しているほか、暖房の普及によりカナダ・トロント、ドイツ・ハンブルグ、イギリス・サウントンといった高緯度の都市でも、生息・被害が報告されている。

アメリカカンザイシロアリは北米原産の外来種であり、1975年の東京都江戸川区における被害発見<sup>4)</sup>から20年を経た2005年末現在で、被害発生履歴地は20都府県の市町村に点在している<sup>5)</sup>。ダイコクシロアリと同様、含水率12～15%程度の乾燥した木材内部だけで、水の供給がなくても生息が可能である、擬職蟻（他の階級に分化する能力を持った職蟻）を有していて少数の個体からコロニーを再生できる、巣材と餌場とが共通のため生活範囲が狭い、といった共通の特徴がある。

このようにシロアリは種によってその生態が異なり、家屋への加害形態も分布域（被害発生地）も異なることが知られている。したがって、各種シロアリ種の野外分布域および発生地域の把握は、シロアリ対策の基本であり、重要な情報である。一般に昆虫の生息分布は気温により限定される。ヤマトシロアリの分布北限は1月の平均気温が $-4^{\circ}\text{C}$ 、イエシロアリの分布北限は1月の平均気温 $4^{\circ}\text{C}$ で最低平均気温 $0^{\circ}\text{C}$ 、ダイコクシロアリの場合は1月の平均気温 $10^{\circ}\text{C}$ の各ラインとほぼ一致するとされている<sup>6, 7)</sup>。また、外来種であるアメリカカンザイシロアリは日本では野外分布が確認されていないが、北米の西海岸地域では野外分布が認められ、自然分布北限はワシントン州タコマ、南限はメキシコのガイマスおよびカリフォルニア半島である。気象ラインとしては、北限は1月の平均気温 $0^{\circ}\text{C}$ のラインに合致している<sup>8-11)</sup>。これらの気象ラインについては、一部地域ではアップデートがされているものの、非常に古い気象データに基づいた気象ラインが使用され続けているのが現状である。そこで、本項目では最新のアメダスデータを使用した新たな気象ラインの作成を行い、現時点での最新のシロアリ分布図と照合することにより、各シロアリ種の分布北限を示すより適切な気象データを検索する。なおシロアリの生息調査は、(社)日本しろあり対策協会が実施したアンケート調査に基づいた「シロアリ分布図」が存在するが、2005年末時点の情報であり、逐次アップデートする必要がある（図2.1）。

#### (b) シロアリの活動と気温との関係

ヤマトシロアリの分布北限は1月の平均気温が $-4^{\circ}\text{C}$ 、イエシロアリの分布北限は1月の平均気温 $4^{\circ}\text{C}$ で最低平均気温 $0^{\circ}\text{C}$ とされている。その根拠を検証するべく、文献調査を行った。

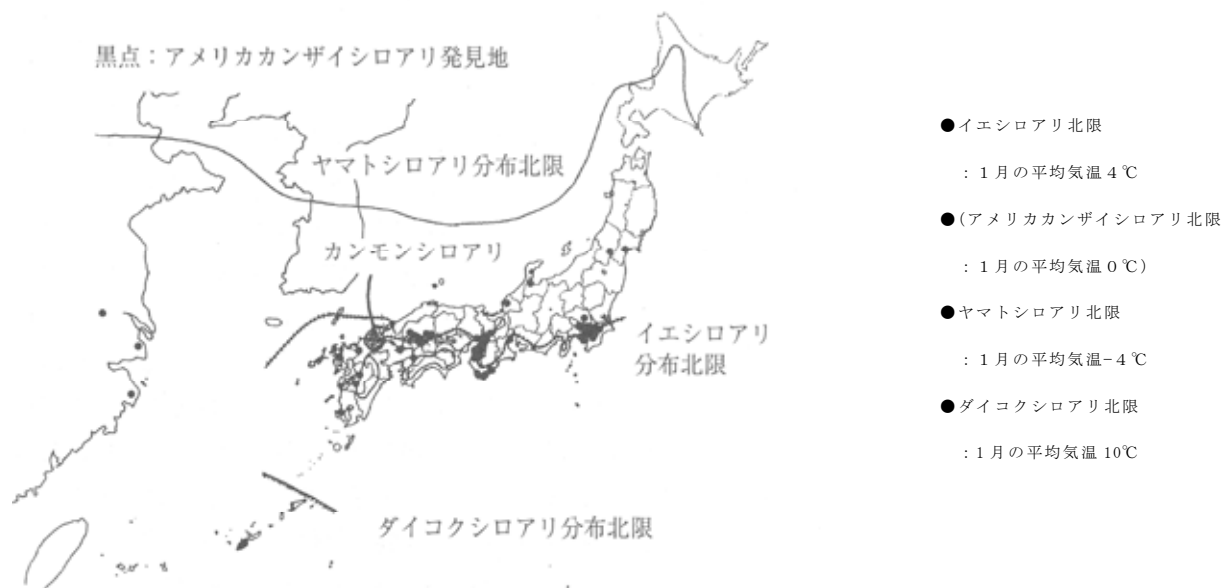


図 2.1 日本産主要シロアリ種の分布および被害発生履歴地<sup>1)</sup>

### 1) 環境温度と餌の消費量との関係

濾紙を餌として用いて行った室内実験では、15～40℃の範囲では、イエシロアリの場合、活動の最適温度は25～35℃で、35℃で消費量が最大となり、温度が低下するにつれ消費量は減少した。40℃ではほとんど消費されず長期間生存できなかった<sup>12)</sup>。ヤマトシロアリでも同様な傾向が認められた。イエシロアリとヤマトシロアリとを比較すると、30℃、35℃では1頭あたり、イエシロアリがヤマトシロアリの2倍程度、濾紙を消費するのに対して、25℃以下ではほぼ同程度であった<sup>13)</sup>。

### 2) 環境温度とAE発生との関係

アコースティック・エミッション(AE)モニタリングにより、環境温度を変化させた場合のイエシロアリの摂食活動を計測すると、27℃から温度を低下させた場合は12℃になると、温度を上昇させた場合は40℃になるとAEの発生が停止した<sup>14)</sup>。さらに22℃から温度を低下させた場合は17℃になるとほぼAE発生が停止するが、10℃付近で40時間保持した後でも、再度加温すると17℃でAE発生が再開した<sup>15)</sup>。また、-10℃～-20℃に約15時間放置後加温してもAE発生は停止したままであり、イエシロアリは致死した。一方ヤマトシロアリでは、22℃から温度を低下させた場合は13℃で(イエシロアリより低い)ほぼAE発生が停止するが、加温によりAE発生が再開、しかし、-15℃～-5℃に10時間放置後加温してもAE発生は停止したままで、ヤマトシロアリは致死した。

### 3) 産地別ヤマトシロアリの耐寒性の違い<sup>16-18)</sup>

札幌、秋田、つくば、鹿児島 of 各地方で採取されたヤマトシロアリを、札幌における早春の気候に合わせ最低温度3.5℃、最高温度11℃の条件で5週間飼育すると、札幌産が餌への食害度が最も大きく、生存率も86.7%と最も高かった。一方、鹿児島産はほとんど食害せず、生存率も最も低かった(生存率6.8%)。

### (c) シロアリの家屋への侵入経路に関する情報<sup>2)</sup>

家屋への侵入経路として、地下シロアリでは蟻道による侵入、有翅虫の飛来、乾材シロ

アリでは被害材（製品）の持ち込みという、大きく分けて3パターンの経路がある。

ヤマトシロアリと比較して、イエシロアリは巣や蟻道の構築能力が高く、採餌範囲は巣を中心に半径100mに及ぶ。蟻道の深さは地下水位や土質、土壌含水率など環境条件で異なるが、一般に採餌用の蟻道は地下15～30cmの地中に作られることが多く、生活に必要な水分を得るための水取り用蟻道は、近くの水源または地下水まで達する。

有翅虫の飛来に関しては、一般にシロアリは飛翔能力は低く、飛行距離は風の条件による。イエシロアリの場合、飛行距離は数百mであり、風に乗っても1km以下とされる。ヤマトシロアリは4～5月の昼間に、イエシロアリは6～7月の夕方に大量に群飛し、2階部分からも侵入・営巣する事例がある。一方、アメリカカンザイシロアリの群飛はイエシロアリやヤマトシロアリと比較すると小規模で、時期は3～11月の不定期に生じる。被害家屋の薬剤処理や解体等による激しい振動など、何らかの「刺激」を与えると上記以外の季節にも群飛が見られることがある。また、有翅虫は適切な生息場所が見つかるまでは容易には羽を落とさない。アメリカカンザイシロアリの被害が周囲で発生している地域においては、有翅虫の飛来による加害リスクの存在を加味する必要がある。また、すでに乾材シロアリが営巣している家具等を家屋内に持ち込んでしまい、気づかぬうちに建物全体に被害が広がるケースも存在する。乾材シロアリの職蟻は、他階級への分化能力を有する擬職蟻であり、乾燥した木材の内部だけで生息可能なことから、建材や家具等で人為的に移動しやすい。またヤマトシロアリも擬職蟻のため、少数の個体からコロニーを再生できることから、防除施工においても残党を作らないよう気をつけるべきである。イエシロアリの場合は初期巣の状態ですぐに街路樹や物資に付着することで、遠隔地に人為的移入を果たす事例が知られている。

#### (d) 蟻害発生予測モデル

1990年代～2000年代初頭にかけて世界各国で、部材および家屋の生物劣化予測モデルに関する報告が相次いだ。その中で、ポルトガルにおけるシロアリ分布と気象データとの関係性に関する報告<sup>19,20)</sup>とオーストラリア・CSIROによる住宅の立地条件と住宅の構造・工法がシロアリ被害に及ぼす影響に関する取り組み<sup>21-24)</sup>が、本項目の推進に参考となる。

##### 1) ポルトガルにおけるシロアリ分布と気象データとの関係性に関する報告

Nobre & Nunes (2002)<sup>19)</sup>は、温湿度や降水量などの気象データのほか、土壌組成や建物数、人口などの因子と、ポルトガル全域に広く分布するヤマトシロアリ属の*R. lucifugus*の生息との関係を検討し、*R. lucifugus*の生息確率(Prob(*R. lucifugus* presence))を、ロジスティック回帰分析により、降水日数(DR)、日照時間(IS)、岩石状土壌の有無(LS)、人口(HP)の4因子で構成される数式として表した。

$$\text{Prob}(\textit{R. lucifugus presence}) = 1 / (1 + e^{-Z})$$

$$Z = -8.2253 + 0.5769(\text{HP}) - 0.5967(\text{LS}) + 1.0364(\text{IS}) + 0.9936(\text{DR})$$

なお、*R. lucifugus*の生息分布に関しては、過去の文献とシロアリ業者の調査をもとに、地図上で50km四方のエリアを作成し、エリア内での生息の有無により判断している。

##### 2) オーストラリア「Termite Tally」<sup>21-24)</sup>

オーストラリア・CSIROでは1996～98年に5122件の住宅調査を行い、その結果を解析することにより、住宅の立地条件と住宅の構造・工法がシロアリによる被害に及ぼす影響を調査した。その結果、以下の事項を成果として挙げている。

- a) 住宅内へのシロアリの侵入に関わる因子としては、築年数が主要な因子であり、住宅の構造（木造、コンクリート造、鉄骨造など）とは関係が希薄である。
- b) シロアリ被害の根絶には、土壌または木部の薬剤処理が最も効果的である。
- c) 建物内の蟻害は壁体内、床材、床束、軒縁、幅木、根太、大引、窓枠にみられる。
- d) 屋外での蟻害は、山積みの木材や枝材、生立木、枯死木、柵、枕木、切株、納屋にみられる。

オーストラリアにおけるシロアリの仮想ハザードマップは、主としてシロアリの‘野外における発生（分布）’に基づいて作成したものであり、建物に対するシロアリの加害圧を示したものである。したがって、実際は仮想ハザードマップと比較して、工法やシロアリ防除の効果により、建物の加害リスクは小さい。シロアリ分布の決定に影響を与える第1因子は温度であり、その次に降水量である。植生や土質は温度や湿度と比較すると、その影響は小さい。

シロアリによる被害を4段階に分け、各段階固有の関連因子を想定し、その因子の有無等によりシロアリによる加害リスクをスコア付け・数値化した。

- 1) シロアリが住宅から 50m の範囲に成熟した巣を作るまでに要する時間

関連因子：Climate Index, 土質, シロアリ種, 築年数, 植生

- 2) シロアリが巣から住宅へ到達するまでの時間

関連因子：土質、伐根の有無など

- 3) シロアリが地面から部材へ到達するまでの時間

関連因子：土壌処理の有無、使用樹種

- 4) 部材の被害が生じるまでの時間

関連因子：薬剤処理の有無、使用樹種

- (e) シロアリによる家屋の被害実態

蟻害の発生リスクを見積もるためには、実際の家屋の被害実態調査が必要である。(社)日本しろあり対策協会では、「シロアリの被害の実態を全国レベルで調べ、その内容を分析、消費者・行政等にその情報を公開する」ことを目的として、全国のしろあり防除士により実態調査を行った(調査期間:2001年9月15日~12月25日(105日間)、調査戸数:16,435棟)<sup>25,26)</sup>。この報告では、家屋の築年数、建物の種類と蟻害との関係等が明らかにされたが、加害シロアリの種類や蟻害・腐朽部位に関する調査項目の欠如など、調査項目の不備が散見される。2005年には関東地方だけであるが、アンケートにより建物の工法と蟻害との関係を精査している<sup>27)</sup>。工法と蟻害との関係についてはさらに、基礎の形態と蟻害<sup>28)</sup>、ねこ土台家屋におけるシロアリ被害<sup>29)</sup>について報告されている。例えば、築年数と蟻害との関係からは、一部工法とも関係するが、建物の仕様に関する法律等の改正時期の影響を把握できる。公平かつ有意義な実態調査を遂行するためには調査家屋の非特定化、調査項目の選定、解析方法 が重要な鍵であり、この3項目につき十分推敲するべきである。

- (2) シロアリ分布図と気象データの再構築

農林水産省基礎数値データベースシステムから、2009年1月のアメダス気象データを抽出した。さらに、シロアリの分布に影響が最も大きいと考えられる温度に関して、平均気温4℃と-4℃のラインのほか、平均最低気温0℃および平均気温10℃のラインの構築を行った(図2.2)。

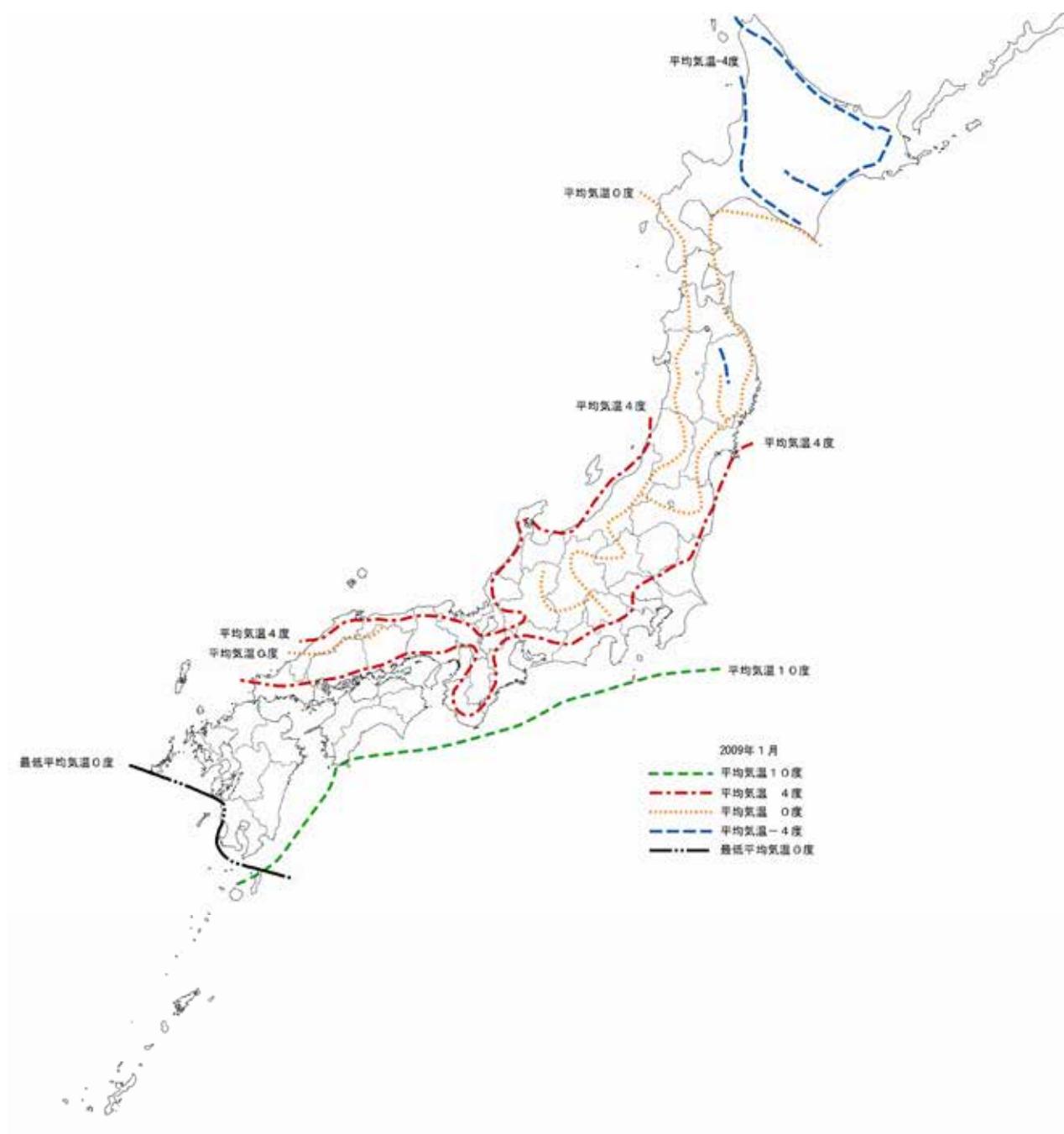


図 2.2 2009 年 1 月の気象データに基づいた各種気温ライン

### (3) 被害実態調査項目の選定

(社) 日本しろあり対策協会の 8 支部計 15 社に対して、物件調査報告書の提供を依頼した結果、特に東北支部および四国支部からさらに他社への依頼を行ったため、最終的に 30 社から 733 件の報告書の提供がなされた。報告書には建物の種類、築年数、被害箇所については、普遍的に記載があった。各社の事業形態（新築予防中心か駆除中心かなど）や、調査時期によりデータに偏りが出る。特にヤマトシロアリのみ分布し被害が発生している地域では、羽ありの発生（群飛）に気づいて駆除を依頼されるケースが多く、調査・施工時期が 4～6 月に偏っている。真の意味での「生物劣化被害の実態」を調査するためには、オーストラリアでの実態調査<sup>21-24)</sup>のように、被害実態調査を行うための臨時的組織を形成

して物件を調査するなど工夫する必要がある。

物件調査報告書に記載された共通の調査項目、ならびに過去の実態調査の調査項目等を参考に、調査シートが提案された。提供された報告書を本シートの項目に則り整理を進めた。調査シートに関して、劣化外力 TG および廣瀬産業・廣瀬氏に意見を求めたところ、当方ほか 2 名より、以下の点につき改善を求める意見が寄せられた。

- a) 床の高さ：床下高さ、外地盤面高さに分けて記述
- b) 基礎構造：基礎床下構造とし、土壌、土間コン、防止シート敷設を追加
- c) 周辺環境：海岸沿い、斜面立地の向き（東、南、西、北） を追加
- d) 土壌湿気 → 床下土壌の湿気
- e) 雨漏り → 雨漏り跡 ☐有（場所： ） ☐無
- f) 換気口 ☐有 ☐無 ……項目追加
- g) ねこ土台 ☐有 ☐無 ……項目追加
- h) 外壁の通気 ☐有 ☐無 ……項目追加
- i) シロアリ：有無ではなく、調査時に生息が認められるか、過去の蟻害跡かを記入
- j) 被害状況 → 個々の部材ごとに被害程度を記入
- k) 蟻害発生状況 ☐外部からの侵入（侵入箇所： ） ☐内部発生（営巣場所： ） ……項目追加

ー以下は補足的項目ー

- l) 庭の構成 庭（☐有 ☐無）、樹木（☐有 ☐無）、花壇（☐有 ☐無） ……項目追加
- m) 建物周囲の水はけ ☐良好 ☐普通 ☐悪い ……項目追加
- n) 敷地内わき水、出水 ☐有 ☐無 ……項目追加
- o) 雨水の排水 ☐土壌浸透 ☐一部排水溝 ☐排水溝

以上をふまえ、表 2.1 の整理シートへと改良し、物件調査結果を入力・整理した。今回の整理シートには「データなし」のケースが多くデータ母数が小さいため、統計的価値が小さいと思われるが、以下の 2 例について図表化を試行したので記載する。

- ・地域別の蟻害・腐朽発生率（図 2.3a）
- ・木造住宅における各蟻害発生箇所の割合と各被害度合（図 2.3b）

地域別の蟻害に関しては、関東および北海道・東北地域は他地域よりも低い傾向にあった。また、木造住宅における各蟻害発生箇所は玄関・勝手口が圧倒的に多い、という傾向が明らかとなった。

#### (4) ヒアリング結果

(a) 廣瀬氏ヒアリングーイエシロアリ被害の特徴についてー

イエシロアリ被害地域では、工務店から現場での処理を依頼されるが、関東地方中心にヤマトシロアリのみの被害地域では、業者各社が営業して物件に個別に対応する、という業務形態に大きく違いがある。

廣瀬氏の意見（印象）では、イエシロアリとヤマトシロアリとの被害率を比較すると、鹿児島では 80 対 20、福岡で 50 対 50、松山で 10 対 90 とのこと。

以下、その他の概要を示す。

# 1) ベタ基礎および断熱材の被害について

全国的に基礎断熱（外断熱）のシロアリによる被害が報じられているが、ベタ基礎であっても金物部分の隙間から内部へ侵入する事例もある。

表 2.1 物件調査票整理用シート

| ■ シロアリ調査シート<br>100320表 |           | 物件番号      | 記入者                                                                    | 記入日                               | 疑問有                               |  |  |
|------------------------|-----------|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| 1<br>建物概要              | 1001      | 調査年月日     | 年 月 日                                                                  |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1002      | 建物図面      | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1003      | 郵便番号      | 〒                                                                      |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1004      | 住所        |                                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1005      | 築年数       | 年                                                                      |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1006      | 床の高さ      | cm                                                                     |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1007      | 基礎高さ      | cm                                                                     |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1008      | 外壁造り      | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1009      | 1階床面積     | 床面積単位 1.m <sup>2</sup> 2.坪 3.床面積 ( ) 9.データなし                           |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1010      | 施工面積      | 床面積単位 1.m <sup>2</sup> 2.坪 3.施工面積 ( ) 9.データなし                          |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1011      | 建物階数      | 1.平屋 2.2階建 3.3階建 4.集合住宅 9.データなし                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1012      | 建築構造      | 1.木造 2.在来工法 3.2×4工法 4.木造プレハブ 5.鉄骨造 6.RC造 8.その他 ( ) 9.データなし             |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1013      | 基礎構造      | 1.束基礎 2.布基礎 3.ベタ基礎 4.パッキン基礎 5.基礎外断熱 6.基礎内断熱 7.ブロック基礎 8.その他 ( ) 9.データなし |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1014      | 浴室構造      | 1.ユニット 2.在来浴室 9.データなし                                                  |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1015      | 増改築       | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1016      | 床下収納庫     | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1017      | 断熱材       | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 1018      | 防湿シート     | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 2<br>立地概要 | 1019      | 基礎はつり                                                                  | 0.無 1.有 9.データなし                   |                                   |  |  |
| 1020                   |           | 外壁材       | 1.サイディング 2.モルタル 3.ALC 4.煉瓦 8.その他 ( ) 9.データなし                           |                                   |                                   |  |  |
| 2001                   |           | 密集度合い     | 1.密集している 2.密集していない 9.データなし                                             |                                   |                                   |  |  |
| 2002                   |           | 目当たり      | 1.よい 2.悪い 9.データなし                                                      |                                   |                                   |  |  |
| 2003                   |           | 周囲田圃      | 1.田圃である 2.田圃でない 9.データなし                                                |                                   |                                   |  |  |
| 2004                   |           | 山の斜面傾斜    | 1.傾斜している 2.傾斜していない 9.データなし                                             |                                   |                                   |  |  |
| 2005                   |           | 川が近い      | 1.近くにある 2.近くにない 9.データなし                                                |                                   |                                   |  |  |
| 2006                   |           | 池が近い      | 1.近くにある 2.近くにない 9.データなし                                                |                                   |                                   |  |  |
| 2007                   |           | 海が近い      | 1.近くにある 2.近くにない 9.データなし                                                |                                   |                                   |  |  |
| 2008                   |           | 湖が近い      | 1.近くにある 2.近くにない 9.データなし                                                |                                   |                                   |  |  |
| 3<br>劣化要因              | 2009      | 地下水位      | 1.浅い 2.深い 9.データなし                                                      |                                   |                                   |  |  |
|                        | 3001      | 床下土壌湿度    | 1.乾 2.普通 3.湿 4.超湿 9.データなし                                              |                                   |                                   |  |  |
|                        | 3002      | 木材腐朽      | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 3003      | カビ        | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 3004      | 雨漏り跡      | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 3005      | 床下残材      | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 3006      | 床下通風      | 1.良い 2.普通 3.悪い 9.データなし                                                 |                                   |                                   |  |  |
|                        | 3007      | 水漏れ       | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 3008      | 近隣被害      | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 3009      | 床下換気方式    | 0.無 1.換気口 2.ねこ土台 3.床下換気扇 8.その他 ( ) 9.データなし                             |                                   |                                   |  |  |
| 4<br>被害状況              | 4001      | シロアリ      | 0.無 1.食痕有 3.生息 9.データなし                                                 |                                   |                                   |  |  |
|                        | 4002      | 蟻道        | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 4003      | シロアリの種類   | 1.ヤマトシロアリ 2.イエシロアリ 3.カンザイシロアリ 8.その他 ( ) 9.データなし                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 4004      | 羽蟻        | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 4005      | 蟻蟻        | 0.無 1.有 9.データなし                                                        |                                   |                                   |  |  |
|                        | 4006      | シロアリ被害方位1 | 0.中央 1.北 2.北東 3.東 4.南東 5.南 6.南西 7.西 8.北西 9.データなし                       |                                   |                                   |  |  |
|                        | 4007      | シロアリ被害方位2 | 0.中央 1.北 2.北東 3.東 4.南東 5.南 6.南西 7.西 8.北西 9.データなし                       |                                   |                                   |  |  |
|                        | 4008      | シロアリ被害方位3 | 0.中央 1.北 2.北東 3.東 4.南東 5.南 6.南西 7.西 8.北西 9.データなし                       |                                   |                                   |  |  |
|                        | 4009      | 支障<br>箇所  | 被害度合                                                                   | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |                                   |  |  |
|                        | 4010      |           | 土台                                                                     | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |                                   |  |  |
| 4011                   | 柱         |           | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし                                      |                                   |                                   |  |  |
| 4012                   | 筋違        |           | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし                                      |                                   |                                   |  |  |
| 4013                   | 間柱        |           | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし                                      |                                   |                                   |  |  |
| 4<br>被害状況              | 4014      | 支障<br>箇所  | 窓台                                                                     | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |                                   |  |  |
|                        | 4015      |           | その他                                                                    | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |                                   |  |  |
|                        | 4016      |           | 支障<br>箇所                                                               | 被害度合                              | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |  |  |
|                        | 4017      |           |                                                                        | 土台                                | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |  |  |
|                        | 4018      |           |                                                                        | 大引                                | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |  |  |
|                        | 4019      | 床束        |                                                                        | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |                                   |  |  |
|                        | 4020      | 根太        |                                                                        | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |                                   |  |  |
|                        | 4021      | 支障<br>箇所  | 柱                                                                      | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |                                   |  |  |
|                        | 4022      |           | 筋違                                                                     | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |                                   |  |  |
|                        | 4023      |           | 間柱                                                                     | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし |                                   |  |  |
| 4024                   | 床板        |           | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし                                      |                                   |                                   |  |  |
| 4025                   | 窓台        |           | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし                                      |                                   |                                   |  |  |
| 4026                   | 支障<br>箇所  | その他       | 00.無 11.有 0.無 1.小 2.中 3.大 9.データなし                                      |                                   |                                   |  |  |





|        | 棟 数 | シロアリ被害 | 腐朽発生 |
|--------|-----|--------|------|
| 北海道・東北 | 136 | 58%    | 10%  |
| 関東     | 210 | 40%    | 10%  |
| 北陸・信越  | 70  | 84%    | 13%  |
| 東海     | 41  | 90%    | 0%   |
| 関西     | 44  | 84%    | 0%   |
| 中国     | 52  | 88%    | 33%  |
| 四国     | 50  | 94%    | 0%   |
| 九州・沖縄  | 134 | 84%    | 25%  |

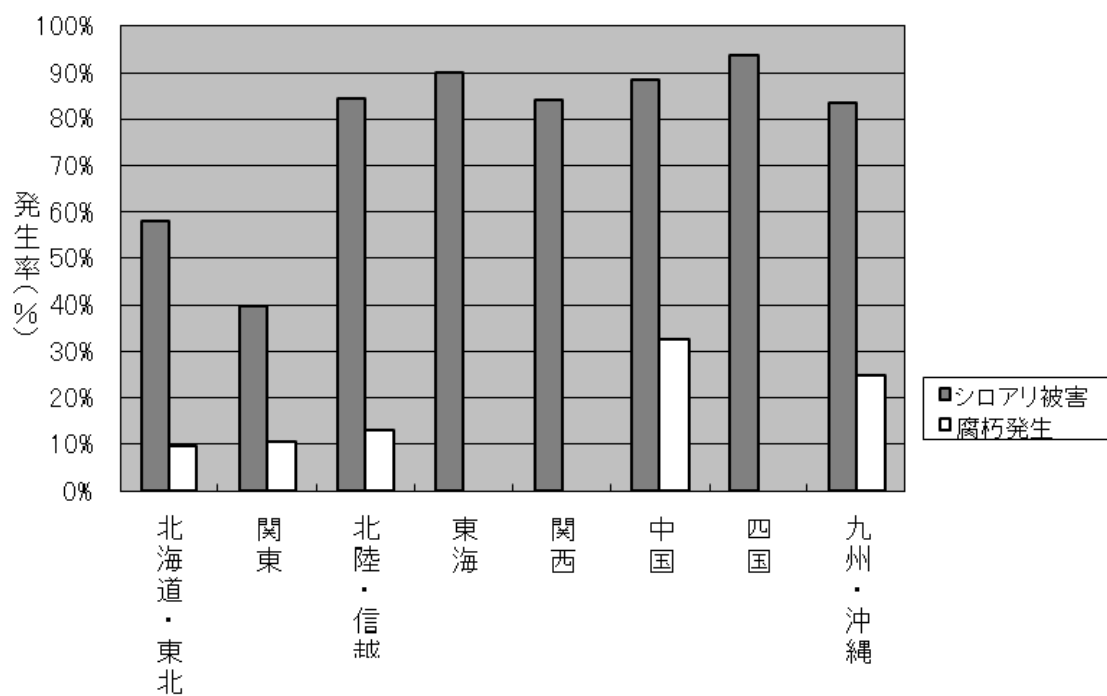


図 2.3(a) 地域別蟻害腐朽発生率

|         | 玄関・勝手口 | 風呂 | 洗面脱衣 | 便所 | 台所 | 和室 | 洋室 | 2階 |
|---------|--------|----|------|----|----|----|----|----|
| 被害度合 小  | 1%     | 4% | 2%   | 1% | 2% | 3% | 2% | 0% |
| 被害度合 中  | 3%     | 4% | 2%   | 2% | 2% | 3% | 2% | 0% |
| 被害度合 大  | 1%     | 2% | 2%   | 1% | 1% | 1% | 0% | 0% |
| 被害度合 不明 | 25%    | 0% | 0%   | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% |

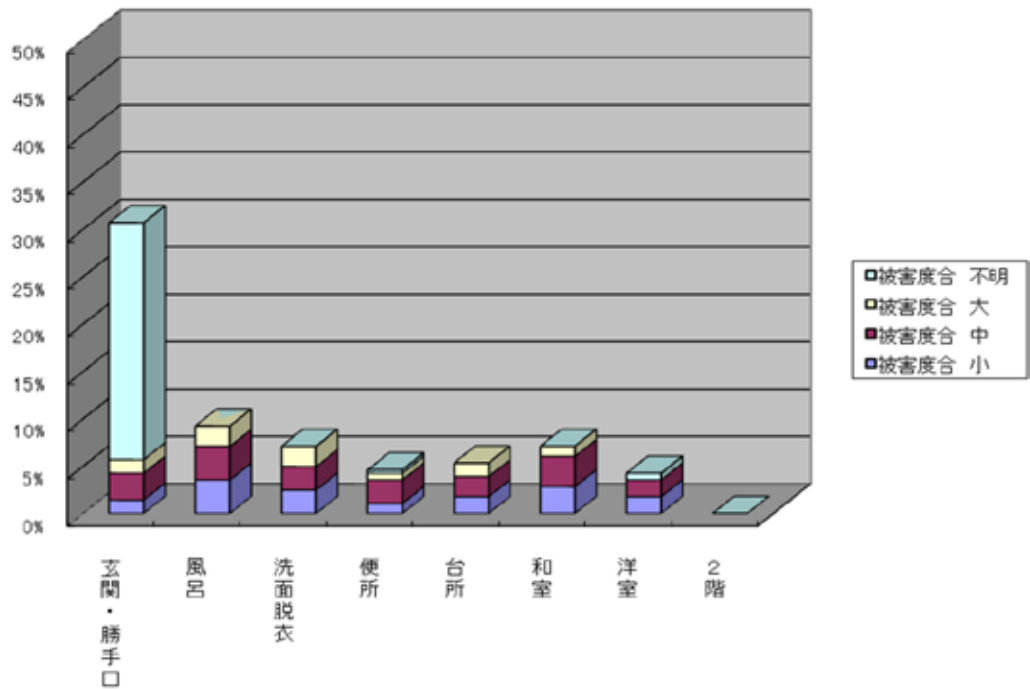


図 2.3 (b) 木造住宅における各蟻害発生箇所の割合と各被害度合

## 2) 玄関、勝手口等の被害の頻発について

玄関、勝手口等全体の基礎工事の終了後に施工する箇所にシロアリの発生が多いので、施工前に当該箇所への土壌処理を行うべきである。その他、工法的解決策としては、外たきまで布基礎、べた基礎を出す、たたきの部分、犬走りの部分を外まで出すようにする。

## 3) 2階ベランダからの被害

羽アリの飛来により、雨水が浸入して湿った環境であればそこに営巣し、被害を生じる事例あり。ベランダはアルミ製で外側に飛び出した構造がよい（：具体的なイメージが掴めませんでした）。

15～20年前の安作りの2×4住宅でベランダからの雨漏りで、バルコニーや腰壁に羽アリが付き営巣する事例が多かった。

## 4) 上下水道の配管の仕舞

従来は配管を埋めていたが、配管がシロアリにかじられる被害が生じたため、埋めなくなった。その分、配管の仕舞の部分にスペースができ、そこに被害が生じるようになった。

## 5) 樹木のイエシロアリ被害の影響

生きた庭木や街路樹に営巣し、そこが拠点となって家屋の被害を起こす事例がある。

## 6) 土壌処理の必要性

土壌処理は処理土壌の化学的バリアによる侵入防止の効果だけが謳われているが、実際はさらに巣が近くにあれば、土壌処理剤の影響で巣を弱らせる効果もある。イエシロアリ防除の場合は、土壌処理を行い、さらにベイト工法を併用するとよい。

## 7) 実際の GL

新築現場では、床下部分の土が大量に余るため、残土を基礎の外側にならして使う場合

が多い。この場合、基礎の外側では地面から基礎上端までの基礎高が低くなるので、注意を要する。よって、調査の際には床下高さと、外地盤面高さとに分けて記述すべきである。

#### 8) 基礎はつりの問題

昭和 40～50 年代は、現場処理の際、基礎をはつる必要性があった（工法的問題）。関東・甲信越地方で 3 年ほど前から、新たにシロアリ業者による基礎はつりの問題が生じている。

#### 9) その他

a) 長期優良住宅の実現に向けて、リフォームの精度向上に期待したい。

b) 個別の施主に対する住まい方などの項目に関しては、シロアリ業者ではなく「建築士協会」などの協力を得て行った方がよいのではないかな？

#### (b) 星野氏、神谷氏ヒアリング ―最近の建物の構造・工法と蟻害の関係―

最近被害報告が増加している基礎断熱の被害事例と現場対策を中心に、一部調査に同行するとともに、事例に関してヒアリングを行った。

基礎断熱工法が普及しはじめて約 10 年が経過し、多い月では星野氏だけで 3～4 回駆除工事が入るとのことである。

型枠の内側に断熱材を挿入後、コンクリートを流し込んでいく場合、流し込む先が見えないためジャンカがしやすい。シロアリは 1mm 程度のすき間があれば、容易に内部に侵入可能である<sup>30)</sup>。このようなジャンカの部分や水抜き穴、配管等のすき間から侵入される事例が知られる。いったん断熱材に到達したシロアリは、均一材料である断熱材を縦横無尽にかじって上部に進んでいくとともに、時には営巣することもある。

今回同行した現場は、築 3 年でベランダからヤマトシロアリの羽アリが群飛した築 8 年の家屋であった。調査時には家屋内から小屋裏部分の断熱材にも、内部に蟻道が走っているのが確認できるほど被害が進行しており、床下部材は軽微な被害であったのに対して、2 階の胴縁には激しい被害があり、ベランダの窓枠と 2 階床の間にすき間も生じ始めていた。

駆除作業の手順としては(1)基礎の外側の土を掘り返して、基礎外側の土壌中の蟻道を確認(2)水切りの下部分の基礎を約 5cm 幅カットして、蟻害を受けている断熱材ごと除去(3)あらわしになった断熱材の上端に薬剤を塗布(4)基礎外側下部から発泡系薬剤を圧をかけて注入 という順に行った。

星野氏は、シロアリが木材を加害する＝木材しか加害しないという誤解を生じ、断熱材を加害するはずがない、または加害するという考えが及ばなかったために、現在のような被害が生じていると話している。

ヤマトシロアリは上述のとおり、ほぼ日本全国に生息・分布している。スチロール系断熱材のように、シロアリが栄養にもならないがかじって穿孔し、時に営巣するような材料を、家屋外と家屋内の橋渡しとしてしまったがために、シロア리를家屋内に招き入れる結果となっているのが、基礎断熱の被害の現状である。

### 2.1.4 結論と今後の課題

シロアリの野外生息分布に関して、古くから気温との関係が報告されてきた。今回の文献調査等により、他の気象データとも関連性が考えられることが示唆された。また、文献およびヒアリングにより、シロアリの野外分布域そのものがシロアリのハザードマップであり、実際に家屋がシロアリによる被害を受けるか否かに関しては、建物の防蟻措置の程

度や種類に影響される可能性が大きいことが明らかとなった。今後、各気象・環境因子を用いたロジスティック解析等を検討することにより、日本においても気象・環境因子を用いた建物のシロアリ被害の数値化ができると思われる。

次年度は被害実態調査を行う予定であるが、今回の調査シートをさらに調査する側が回答しやすく、かつ、解析する側が使いやすいものに改良する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 森本桂・竹松葉子：シロアリの生態と被害，しろあり及び腐朽防除施工の基礎知識，（社）日本しろあり対策協会，pp.11-37, 2010.
- 2) 山野勝次：シロアリの生態に関する実務的知識（1），しろあり，107，pp.12-21, 1997.
- 3) 大村和香子：日本に侵入するシロアリ，森林防疫，59(1)，pp.15-21, 2010.
- 4) 森 八郎：アメリカ乾材シロアリ東京都内に定着．しろあり，27，pp. 45-46, 1976.
- 5) 乾材シロアリ対策特別委員会：乾材シロアリとその防除対策に関する報告書，しろあり147，pp. 11-24, 2007.
- 6) Abe, Y. : On the distribution of the oriental termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki in Japan. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. IV ser. Biology, XI(4), pp. 453-472.
- 7) Morimoto, K. : Biology of termites in the Far East. Rev. Plant Prot. Res., 8, pp.29-40, 1975.
- 8) Light, S. F. : The distribution and biology of the common dry-wood termite, *Kaloterms minor*. In: Termites and termite control. (ed. By Kofoid, C. A., Light, S. F., Hornoer, A.C., Randall, M., Herms, W.B., Bowe, E.E.) , 2nd ed., University of California Press, Berkeley, pp. 210-216, 1934.
- 9) Weidner, H.: Termiten in Hamburg. Ztschr. Pflanzenkrankh. u. Pflanzensch. 47, pp. 593-596, 1937.
- 10) Gay, F. J.: Species introduced by man. In: Biology of termites Vol. 1 (ed. By Krishna, K. and Weesner, F.M.) , pp. 459-494 , 1969.
- 11) Weesner, F.M., Termites of the nearctic region. In: Biology of Termites, Vol. II. (ed. By Krishna, K. and Weesner, F.M.) , Academic Press, New York and London, pp. 477-525, 1970.
- 12) 山野勝次：イエシロアリの食害量に関する実験，しろあり，37，pp.9-15, 1979.
- 13) 山野勝次、渡部雅行：ヤマトシロアリの摂食量に及ぼす個体数・兵蟻割合・温度の影響，しろあり，70，pp.17-20, 1987.
- 14) 今村祐嗣、藤井義久：AE モニタリングによるシロアリの木材摂食活動の解析，木材保存，21(2)，pp.11-19, 1995.
- 15) 須田岳晴：シロアリの食害活動に及ぼす光および気流の影響、京都大学大学院農学研究科課題論文.pp. 28, 1999.
- 16) 青山修三、村上竜彦：北海道旭川市内で発見したシロアリ被害家屋 北海道における新シロアリ生息分布の考察，しろあり，133，pp.9-15, 2003.
- 17) 青山修三、村上竜彦：北海道留萌市で発見したシロアリ被害家屋 北海道における新シロアリ生息分布の考察第二報，しろあり，141，pp.10-15, 2005.

- 18) 青山修三：札幌産ヤマトシロアリの低温環境における行動 第3報 冬季条件下におけるトビイロケアリとヤマトシロアリとの死亡率の比較, ペストロジー, 23(2), pp. 59-62, 2008.
- 19) Nobre, T., and Nunes, L. : Subterranean termites in Portugal. Tentative model of distribution, IRG/WP 02-10420, 2002.
- 20) Nobre, T., and Nunes, L. : Model of termite distribution in Portugal. Follow up. IRG/WP 03-10479, 2003.
- 21) Leicester, R.H. , Foliente, G.C. : Models for Timber Decay and Termite Attack, Durability of Building Materials and Components, pp.1-10, 1999.
- 22) Cookson, L.J.: *Termite Survey and Hazard Mapping*, Client Report No. 664, for the Reliability-Based Durability Design Method for Timber Project, CSIRO Forestry and Forest Products, 1999.
- 23) Leicester, R.H., Wang, C.H. : A Probabilistic Model for Termite Attack, Proceedings of International Conference on Structural Safety and Reliability, pp.17-21, 2001.
- 24) Leicester, R.H., Wang, C.H., Cookson, L.J. : A Risk Model for Termite Attack in Australia, IRG/WP 03-10468 ,2003.
- 25) (社) 日本しろあり対策協会 広報・編集委員会：シロアリ被害実態調査報告, しろあり, 130, pp.17-24, 2002.
- 26) 中島正夫：全国の住宅建築を対象としたしろあり被害アンケート調査、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.409-410, 2002.
- 27) 中島正夫：関東支部における蟻害・腐朽を対象とした床下実態調査の概要, しろあり, 145, 27-33, 2006.
- 28) 吉村剛、村尾宗則：シロアリの建物侵入箇所に関するアンケート調査結果, しろあり, 152, pp. 1-9, 2009.
- 29) (社) 日本しろあり対策協会 仕様書委員会：ねこ土台設置家屋におけるシロアリ被害アンケート報告, しろあり, 153, pp.54-61, 2010.
- 30) 須貝与志明, 渡辺大輔, 外丸和之, 広重亮一：シロアリが侵入できるコンクリートのスキ間, しろあり, 128, pp.11-16, 2002.

## 2.2 腐朽危険度に関する検証

### 2.2.1 目的

これまで系統的に調べられたことがない日本における建築害菌の調査をおこない、建築物を加害している菌を特定する。また、培養が可能であったものについては、純粋培養し菌種毎に生育適温を求め、生育適温とマイクログライメイトとの関連を明らかにする。

### 2.2.2 方法

#### (1) 既知の建築害菌リストの作成

信頼できるソースをサーベイし、過去に報告されている建築害菌をリストアップする。

#### (2) サンプルング方法の調査

腐朽材のサンプルング方法を整理する。

### (3)菌種同定法の調査

菌種同定法の現状を整理する。

#### 2.2.3 結果と考察

##### (1)既知の建築害菌リスト

###### (a)北島<sup>1)</sup>

建築土木用木材 31 種の形態等の試験をおこなった文献で、カイメンタケ、ワタグサレタケ\*、ナミダタケ、カタウロコタケ\*、イチョウタケ、ナラタケ\*を明確に建築用材に腐朽を引き起こすと記述している。なお\*印を付けたものは、建築用材への被害は外国の文献からの引用であり、国内における建築用材の被害についての記述はない。

###### (b)十代田<sup>2)</sup>

モルタル塗り洋風住宅や和風住宅の腐朽事例調査をおこない、洋風住宅のベイツガ柱からイチョウタケ(*Paxillus Panusides*)、和風住宅のヒノキ土台等からコゲイロカイガラタケ(*Lentinus abietina*)、スギ柱からワタグサレタケ(*Poria vaporaria*)と推定される菌糸を得た。また、ベイマツ添え柱からはイチョウタケと推定される菌糸を得た。別の和風住宅からは、スエヒロタケ(*Schizophyllum commune*)と推定される菌糸を母屋から、ワタグサレタケ(*Poria vaillantii*)と推定される菌糸を板塀柱から得ている。

###### (c)十代田<sup>3)</sup>

十代田は木材腐朽菌中建築に使用された木材部に寄生する腐朽菌の主なものとして、ワタグサレタケ (*Poria vaporaria*)、ナミダタケ (*Merulius lacrymans*)、カイガラタケ (*Lenzites betulina*)、キカイガラタケ (*Lenzites sepiaria*)、ヒロバノキカイガラタケ (*Lenzites sulfurea*)、ヒメシロカイガラタケ (*Lenzites yoshinagai*)、コゲイロカイガラタケ (*Lenzites abietina*)、スエヒロタケ (*Schizophyllum commune*)、イチョウタケ (*Paxillus pannoides*)、クロクモタケ (*Polystictus versicolor*)、ヒイロタケ (*Polystictus sanguineus*)、カイメンタケ (*Polystictus schweinitzii*)の 12 種の菌をあげている(太字は比較的被害が大きい菌)。

###### (d)青島<sup>4)</sup>

用材や生立木しか侵さない木材腐朽菌と建築物を侵す木材腐朽菌とを分けたリストを作成し、建築物を侵す菌として以下を報告した。

マワタグサレキン(*Poria vaillantii*)、ニクイロアナタケモドキ(*Poria nigrescens*)、シイサルノコシカケ(*Poria tephlopore*)、和名なし(*Poria placenta*)、チョークアナタケ(*Spongiporus xanthus*)、ワタグサレタケ(*Spongiporus sinuosus*)、ナミダタケ(*Serpula lacrymans*)、ヒロハノキカイガラタケ(*Gloeophyllum striatum*)、キカイガラタケ(*Gloeophyllum saepiarium*)、マツオウジ(*Lentinus lepideus*)、イチョウタケ(*Paxillus panuoides*)、イドタケ(*Coniophora puteana*)、オガサワラハリヒラタケ(*Gyrodontium versicolor*)、ホシゲタケ(*Asterostroma apalium*)、オオウズラタケ(*Tyromyces palustris*)、カワラタケ(*Coriolus versicolor*)、ウスバタケ(*Irpex lacteus*)、ヒイロタケ(*Pycnoporus coccineus*)

###### (e)高橋<sup>5)</sup>

図鑑および文献調査から、日本に分布する褐色腐朽菌リストを作成し、マツオオジ、イ

チョウタケ、オオウズラタケ、ワタグサレタケ、チョークアナタケ、マワタグサレタケ、シイサルノコシカケ\*注、カベタケ、イドタケ、ナミダタケ、コナナミダタケ、オガサワラハリヒラタケを建築物で発生するとした。（\*注：シイサルノコシカケは白色腐朽菌）

(f)林<sup>6)</sup>

20種の建築材の腐朽菌のリストを作成した。子実体の形態や、腐朽型、針葉樹・広葉樹のどちらを好むか、その分布地域等々、建築害菌を形態から同定するための情報が良く整理されている。

(g)まとめ

以上の文献調査から、全体として30種程度の菌種からなる腐朽菌リストを作成した（表2.X）。

表 2.X 過去に建築材で発生する腐朽菌として報告された菌（数字は文献番号）

| 番号 | 菌名                                               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|--------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| 1  | ワタグサレタケ ( <i>Poria vaporaria</i> )               | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2  | ナミダタケ( <i>Merulius lacrymans</i> )               | ○ |   | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3  | カイガラタケ( <i>Lenzites betulina</i> )               |   |   | ○ |   |   |   |
| 4  | キカイガラタケ( <i>Lenzites sepiaria</i> )              |   |   | ○ | ○ |   | ○ |
| 5  | ヒロバノキカイガラタケ<br>( <i>Lenzites sulfurea</i> )      |   |   | ○ | ○ |   | ○ |
| 6  | ヒメシロカイガラタケ( <i>Lenzites yoshinagai</i> )         |   |   | ○ |   |   |   |
| 7  | コゲイロカイガラタケ ( <i>Lenzites abietina</i> )          |   | ○ | ○ |   |   |   |
| 8  | スエヒロタケ ( <i>Schizophyllum commune</i> )          |   | ○ | ○ |   |   |   |
| 9  | イチョウタケ ( <i>Paxillus pannoides</i> )             | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 10 | クロクモタケ( <i>Polystictus versicolor</i> )          |   |   | ○ |   |   |   |
| 11 | ヒイロタケ( <i>Polystictus sanguineus</i> )           |   |   | ○ | ○ |   | ○ |
| 12 | カイメンタケ ( <i>Polystictus schweinitzii</i> )       | ○ |   | ○ |   |   |   |
| 13 | カタウロコタケ( <i>Xylobolus frustulatus</i> )          | △ |   |   |   |   |   |
| 14 | ナラタケ( <i>Armillaria mellea</i> )                 | △ |   |   |   |   |   |
| 15 | マワタグサレキン( <i>Poria vaillantii</i> )              |   |   |   | ○ | ○ | ○ |
| 16 | ニクイロアナタケモドキ( <i>Poria nigrescens</i> )           |   |   |   | ○ |   | ○ |
| 17 | シイサルノコシカケ( <i>Poria tephlopore</i> )             |   |   |   | ○ | ○ | ○ |
| 18 | <i>Poria placenta</i>                            |   |   |   | ○ |   |   |
| 19 | チョークアナタケ( <i>Spongiporus xanthus</i> )           |   |   |   | ○ | ○ | ○ |
| 20 | マツオオジ( <i>Lentinus lepideus</i> )                |   |   |   | ○ | ○ | ○ |
| 21 | イドタケ( <i>Coniophora puteana</i> )                |   |   |   | ○ | ○ | ○ |
| 22 | オガサワラハリヒラタケ<br>( <i>Gyrodontium versicolor</i> ) |   |   |   | ○ | ○ | ○ |
| 23 | ホシゲタケ( <i>Asterostroma apalum</i> )              |   |   |   | ○ |   | ○ |
| 24 | オオウズラタケ( <i>Fomitopsis palustris</i> )           |   |   |   | ○ | ○ | ○ |

|    |                                        |  |  |  |   |   |   |
|----|----------------------------------------|--|--|--|---|---|---|
| 25 | ウスバタケ( <i>Irpex lacteus</i> )          |  |  |  | ○ |   | ○ |
| 26 | カベタケ( <i>Coniophora arida</i> )        |  |  |  |   | ○ |   |
| 27 | コナナミダタケ                                |  |  |  |   | ○ |   |
| 28 | バライロサルノコシカケ( <i>Fomitopsis rosea</i> ) |  |  |  |   |   | ○ |
| 29 | スルメタケ( <i>Rigidoporus lineatus</i> )   |  |  |  |   |   | ○ |
| 30 | アラゲカワラタケ( <i>Trametes hirsula</i> )    |  |  |  |   |   | ○ |
| 31 | カワラタケ( <i>Trametes versicolor</i> )    |  |  |  |   |   | ○ |

注：○は建築物の腐朽菌、△は外国文献の引用



## (2) サンプルング方法に関する文献調査

### (a) 採集箇所

建築害菌の菌種を正確かつ簡便に同定していくためには、同定に適した採取箇所を採集者に伝える必要がある。菌の専門書やマニュアルを参照したところ、日本しろあり対策協会発行の「蟻害・腐朽検査員のための 現場調査補助写真集」が最も今回の目的に適していた（図 2.X）。採集担当者には、上記写真集に載っている子実体や腐朽部を参考に採集を依頼するのが適切であると考えられた。<sup>7)</sup>



図 2.X 現場調査補助写真集の例

### (b) 採集・移送方法

#### 1) 子実体の採集・移送方法

子実体を採集する際は、傘の部分、髷の部分をするだけ触らないように注意し、木材に付着している部分から切り取る。

子実体等の採集物はできるだけ雑菌が入らない状態で運ぶのが望ましいが、子実体をポリ袋に入れて移送すると、移送中に高い確率で腐敗変質する<sup>8)</sup>ことが指摘されている。これを防ぐために、雑菌と接触させないことを



図 2.X 滅菌済み移送用袋

目的に、滅菌したわら半紙でくるむ方法が記されている<sup>9)</sup>が、現在オートクレーブ滅菌・ガス滅菌可能で通気性もある滅菌用袋が市販されていることから、滅菌したこれらの袋を採集者に送付しておくのが望ましいと考えられた(図 2.X)。

一方、移送方法については、ドライアイスで低温に保ち持ち帰るか、航空便等を利用して 24 時間以内に到着するよう送付するとの記述が、軟質担子菌類の移送方法として記されていたが、<sup>9)</sup> 採集者に常にドライアイスを準備してもらうことは現実的でないことから、クール宅急便等を利用し採集物を迅速に送ってもらうことが現実的であると考えられた。

## 2) 腐朽した住宅部材の採集・移送方法

住宅解体材のようにある程度大きな部材がとれる場合は、腐朽部分を含む範囲を蒸れないように包み、クール宅急便等で移送する。

一方、大きな部材をとれない場合には、できるだけ部材を傷つけないようにしながら試料を採集する必要がある。「住宅の腐朽・虫害の診断マニュアル」には、このための方法として、ドリルで穿孔した際にでる削り屑を集める方法が詳細に記されている(図 2.X)。<sup>10)</sup> 採集した削り屑は子実体の移送方法に準じて移送する。

## (3) 菌種同定法の文献調査

これまで木材腐朽菌の同定は、子実体や担子器等の形態に基づいておこなわれており、子実体が存在しない場合の菌種同定は判定が不確かとならざるを得なかった。これに対し、近年遺伝子の特異性を用いた診断法が発達し、子実体等の形態を観察しなくても種を同定できるようになった。以下、各状況に応じた菌種同定に関する報告を記す。

### (a) 腐朽菌が生きている場合

生きた腐朽菌が腐朽材や子実体に存在する場合は、採取した腐朽材等から腐朽菌の単離培養をおこない、単一の菌株を得る。単離菌株の菌叢から抽出した DNA をユニバーサルプライマーを用いて PCR で増幅後、DNA シーケンサーを使って塩基配列を決定し、菌種を決定する。<sup>11)</sup>

### (b) 腐朽菌・子実体は死滅しているが十分な DNA を抽出できる場合

- 1) 採取した腐朽材から直接 DNA を抽出し、担子菌に特徴的なプライマー（または、ユニバーサルプライマー）を用いた PCR で増幅する。増幅した DNA を制限酵素で切断し、切断された断片数および長さから菌種を決定する。

<sup>12)</sup>

- 2) 採取した腐朽材から直接遺伝子を抽出し、種特異的なプライマーを用いた PCR をおこなった際の増幅を確認する。<sup>13)</sup>

### (c) 腐朽菌が死滅し DNA 量も十分でない場合

- 1) 採取した腐朽材から微量の DNA 抽出し  $\phi$  29 DNA ポリ



図 2.X 試料採集方法  
(住宅の腐朽・虫害の診断マニュアルより)



## ○ 遺伝子の特異性を利用した診断法

生物は、細胞内にある遺伝子（DNA）に刻まれた遺伝情報に基づいてタンパク質を合成している。DNA は生物種によって異なることから、この特徴を利用し、診断対象となる木材中に木材腐朽菌の DNA が含まれているかどうかを調べる。診断作業は、1) 診断対象となる試料（木材や菌糸様物質等）の採取→ 2) 試料から DNA を抽出→ 3) 抽出した DNA の増幅→ 4) 増幅した DNA の解析、の手順で行う。以下にその一例について記す。

### 1) 試料採取

腐朽が疑われる木材部位、あるいはその周辺に付着している菌糸様物質を採取する（写真①）。木部から採取する場合はナイフやドリル等を用い、菌糸様物質の場合はピンセットや薬さじ等によって回収する。使用する工具等を試料回収ごとに洗浄・消毒したりして、試料ごとの DNA が混ざらないようにする。



DNA を抽出する試験片（長さ数ミリ）。

### 2) DNA の抽出

0.1 ～ 1g の試料から DNA を抽出する。市販の抽出キットやスピンカラムを利用すると、抽出や濃縮が簡便に行える。

### 3) PCR 法による DNA 増幅反応の実施

試料から抽出した DNA を、各種の木材腐朽菌固有の DNA 部分に対して選択的に結合するプライマー（人工合成した DNA 断片）および DNA 合成酵素などを含む反応液に加え、サーマルサイクラー（温度制御装置）を用いて所定の温度プログラム下で反応を行う。一般的なプログラム例としては、まず 95℃ 程度で 2 分間プレヒートさせた後、① 95℃・45 秒程度（DNA の二本鎖を一本鎖にする）→ ② 55℃・45 秒程度（一本鎖になった DNA にプライマーがつく：アニーリング）→ ③ 72℃・45 秒程度（DNA 合成酵素が働き、プライマーを起点に DNA が増幅）反応させる。①～③を 30 回繰り返し、最後に 72℃・5 分間反応させて終了する（写真②）。



サーマルサイクラー（遺伝子を増幅する装置）で遺伝子を増幅する。

### 4) 電気泳動法による増幅 DNA の解析

エチジウムブロマイドを加えた 1.5 ～ 3% のアガロース（寒天）ゲルを電気泳動槽にセットし、泳動用色素を添加した PCR 増幅産物をゲルの陰極側に注入する（写真③）（あらかじめ注入するための溝をあけておく）。電気泳動を行った後、UV 照射下（トランスイルミネーターなどを使用）で観察すると、木材腐朽菌の DNA が試料に含まれていた場合、DNA のバンド（木材腐朽菌 DNA の増幅産物）がゲル上に現れる（写真④）。



電気泳動で特異的に切られた遺伝子の長さを調べる。

### 増幅した DNA の電気泳動像（写真右）

a ～ e：各木材腐朽菌の標準株から得た DNA のバンド  
A, B：現場から採取した試料から得た DNA のバンド  
この場合、試料 A のバンド位置が木材腐朽菌 e と等しかったため、この試料には腐朽菌 e がいたことが判明した。また、試料 B には腐朽菌 a ～ e が存在しなかったと推察された。

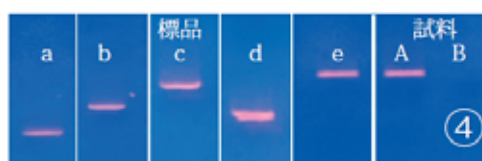


図 2.X 腐朽材中の菌種同定方法（木製外構材のメンテナンスマニュアルより）

メラゼで非選択的に増幅し、次いで担子菌や糸状菌に特徴的なプライマーを用いた PCR で選択的に増幅する。得られた個々の PCR 産物を形質転換した大腸菌内で増幅するなどした後、塩基配列を決定する。<sup>14)</sup>

- 2) 採取した腐朽材から微量の DNA 抽出し  $\phi$  29 DNA ポリメラーゼで非選択的に増幅し、次いで担子菌や糸状菌に特徴的なプライマーを用いた PCR で選択的に増幅する。得られた個々の PCR 産物を(b)の方法で解析する。

なお、上記(b)1)の場合については、「木製外構材のメンテナンスマニュアル」に手順が記されている (図 2.X)。<sup>14)</sup>

## 2.2.4 結論と今後の課題

住宅用部材の腐朽防止を考える際には、実際に建築物に被害を及ぼす菌種を明らかにしておくことが非常に重要である。今回の文献調査により、既知の建築害菌の菌種が非常に限定されることが明らかとなった。この理由として、①建築物に被害を及ぼす菌の種類が少ない可能性と、②多数の菌が建築物に被害を及ぼしているが培養・同定が難しかったため、それが顕在化していなかった、という 2 つの可能性が考えられた。

住宅用部材の腐朽防止を図る上では、対象とする建築害菌を正しく把握しておく必要がある。そこで、近年発達した遺伝子を用いた菌種同定方法を用いて、これまで検証できなかった上記②の可能性を検証しておくことが今後重要な課題である。

次年度は、2.2.3 に記した方法に従い、下記実施体制で実験を遂行する。

### 今後の実施体制

森林総合研究所 木材改質研究領域、森林微生物研究領域  
筑波大学生命環境科学研究科  
東京大学大学院農学生命科学研究科  
東京農工大学共生科学技術研究科  
高知工科大物質・環境システム工学科

### 参考文献

- 1) 北島君三、森林総合研究所研究報告、28:1-82 (1928)
- 2) 十代田三郎、建築雑誌、53:1201-1210 (1939)
- 3) 十代田三郎、日本建築學會論文集、41:1-26 (1950)
- 4) 青島清雄、日本木材学会生物劣化研究会資料、pp.1-8 (1979)
- 5) 高橋旨象、きのこ木材、pp.46-47 (1989)
- 6) 林康夫、文化財の虫菌害、45:24-35 (2003)
- 7) 森本桂、福田清春、中島正夫、現場調査補助写真集、pp.31-55 (2007)
- 8) 林康夫、菌類研究法、pp.274-277 (1983)
- 9) 有田郁夫、菌類研究法、pp.155-172 (1983)
- 10) 土居修一ら、住宅の腐朽・虫害の診断マニュアル、pp.138-139 (2007)
- 11) Ota Y ら、Asian Mycological Congress 2009 Abstract Book、P-78 (2009)
- 12) Sake Horisawa、Yoh Sakuma、Katsuhiko Takata、Shuichi Doi、J Wood Sci、

- 50:427–432 (2004)
- 13) Sakae Horisawa、Yoh Sakuma、Shuichi Doi、J Wood Sci、55:133–138 (2009)
  - 14) 和田朋子ら、木材保存、35:57-65 (2009)
  - 15) 森満範、木製外構材のメンテナンスマニュアル,pp.25 (2008)

### 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研究をおこなう。

#### 3.2 方法

##### (1) 木粉に有効成分を添加し促進劣化させた際の有効成分の減少率測定

平成 22 年度以降におこなう実験の予備試験として、予め木粉にしたスギ材に木材保存剤の有効成分を添加し、20℃、50℃、80℃（相対湿度はいずれも 75%）の環境下に放置し、木材保存剤の有効成分減少率を測定した。

##### (a) 使用薬剤

本実験で使用した有効成分およびその構造式は以下の通り（図 3.1）。

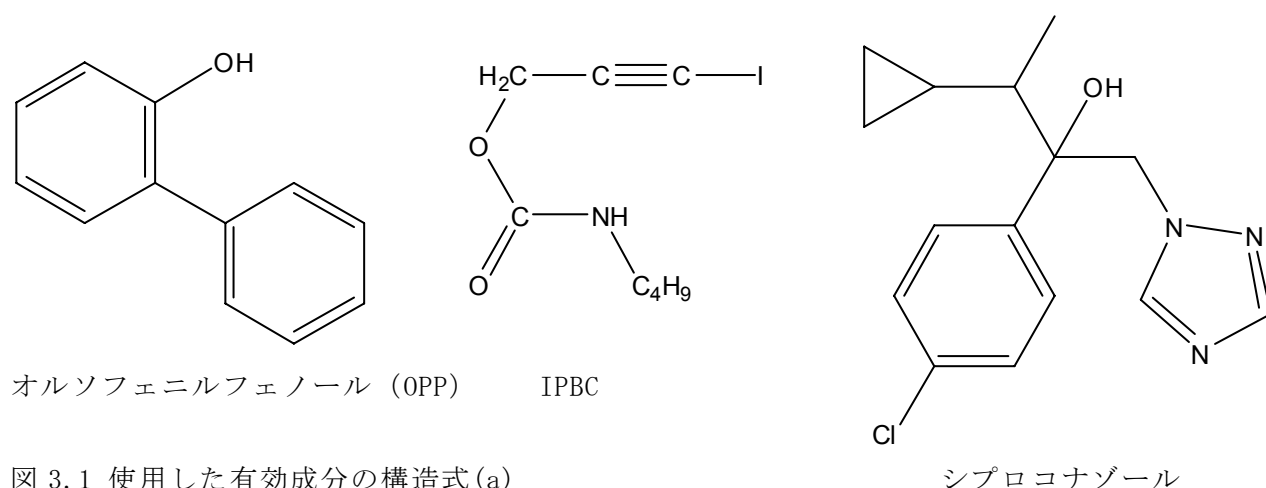


図 3.1 使用した有効成分の構造式(a)

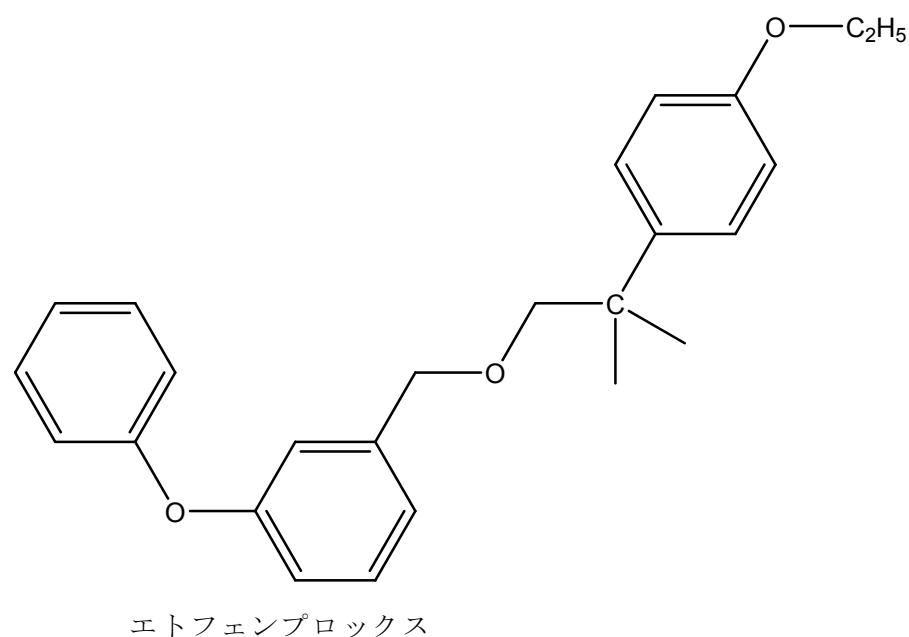
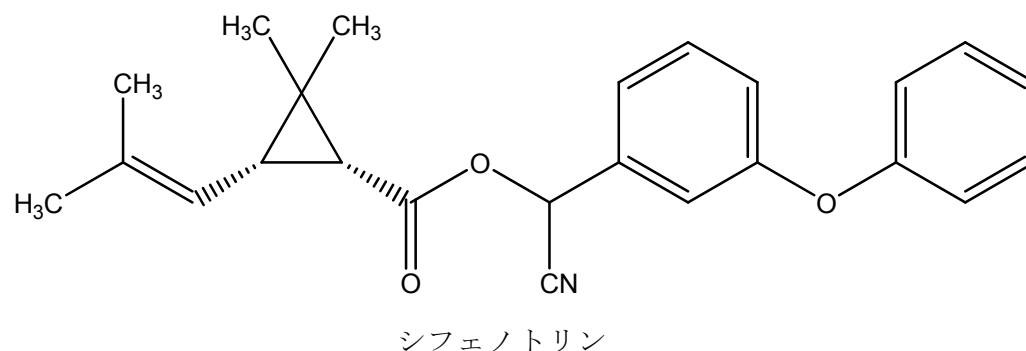
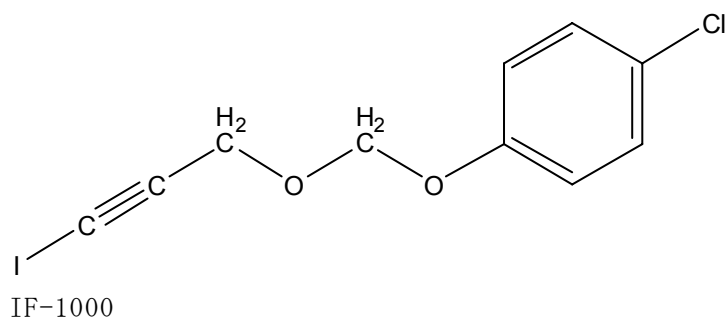


図 3.1 使用した薬剤とその構造式(b)

## (b) 保存処理木粉の促進劣化方法

### 1) 保存処理木粉の調製

スギ辺材またはスギ心材から調製した木粉を 1g ずつ 100ml 容のサンプル管に入れ、上記保存処理薬剤の有効成分をそれぞれ 20 $\mu$ g (OPP については 10 $\mu$ g) 溶かしたメタノール 1ml を添加し、メタノールが木粉全体にいき渡るよう良く混合した。

### 2) 促進劣化方法

100ml 容のサンプル管に入れた上記保存処理木粉をサンプル管ごと 20℃、50℃、80℃（相対湿度 75%）に設定した恒温恒湿器内に入れ、サンプル管のフタを外した状態で促進劣化試験に供した。暴露終了後の木粉は、サンプル管のフタをした後 20℃で有効成分定量時まで保管した。

### 3) 有効成分の抽出

促進劣化試験に供した保存処理木粉を入れたサンプル管にメタノール 20ml を添加し、超音波照射下 3 時間抽出した。メタノール抽出液をアドバンテック社製親水性 PTFE フィルター（孔径 0.22 $\mu$ m）に通し、懸濁物をろ過した。ろ過したメタノール抽出液を 200 $\mu$ l 抜き取り SPE 濃縮管に入れ、窒素気流下 50℃で濃縮・乾固した。濃縮管に酢酸エチル 2ml を加え、超音波照射下 3 分間処理することで、メタノール抽出物を酢酸エチルに転容した。酢酸エチル抽出物を 1ml ずつバイアルに入れ、GCMS 分析に供した。

### 4) 有効成分の定量

有効成分の定量は島津 GCMS-QP2010 を用いておこなった。GCMS の測定条件は下記の通り。

- ・ 注入量：2 $\mu$ l
- ・ 気化室温度：250℃
- ・ カラム圧力：120kPa、全流量：20ml/分、カラム流量：2.04ml/分
- ・ 高圧注入圧力 250kPa、高圧注入時間：2.00 分
- ・ オープン温度プログラム  
50℃（3 分）－25℃/分－150℃－10℃/分－300℃（5 分）
- ・ イオン源温度：230℃
- ・ インタフェース温度：250℃
- ・ 測定モード：SCAN または SIM

### (2) 木材保存剤の現状調査及び試験方法の検討

日本木材保存協会が認定している木材保存剤をリストアップし、その有効成分を調査した。なお、調査にあたっては、薬剤生産者、使用者、分析担当者から構成される「保存処理の長期耐久性検討 TG」を組織した。

## 3.3 結果

### (1) 木粉に有効成分を添加し促進劣化させた際の有効成分の減少率測定

#### 1) 有効成分のリテンションタイム及びマススペクトル

図 3.2 に今回使用した有効成分のトータルイオンクロマトグラムを示す。また、各有効成分のマスキングクロマトグラムを図 3.3 に示す。



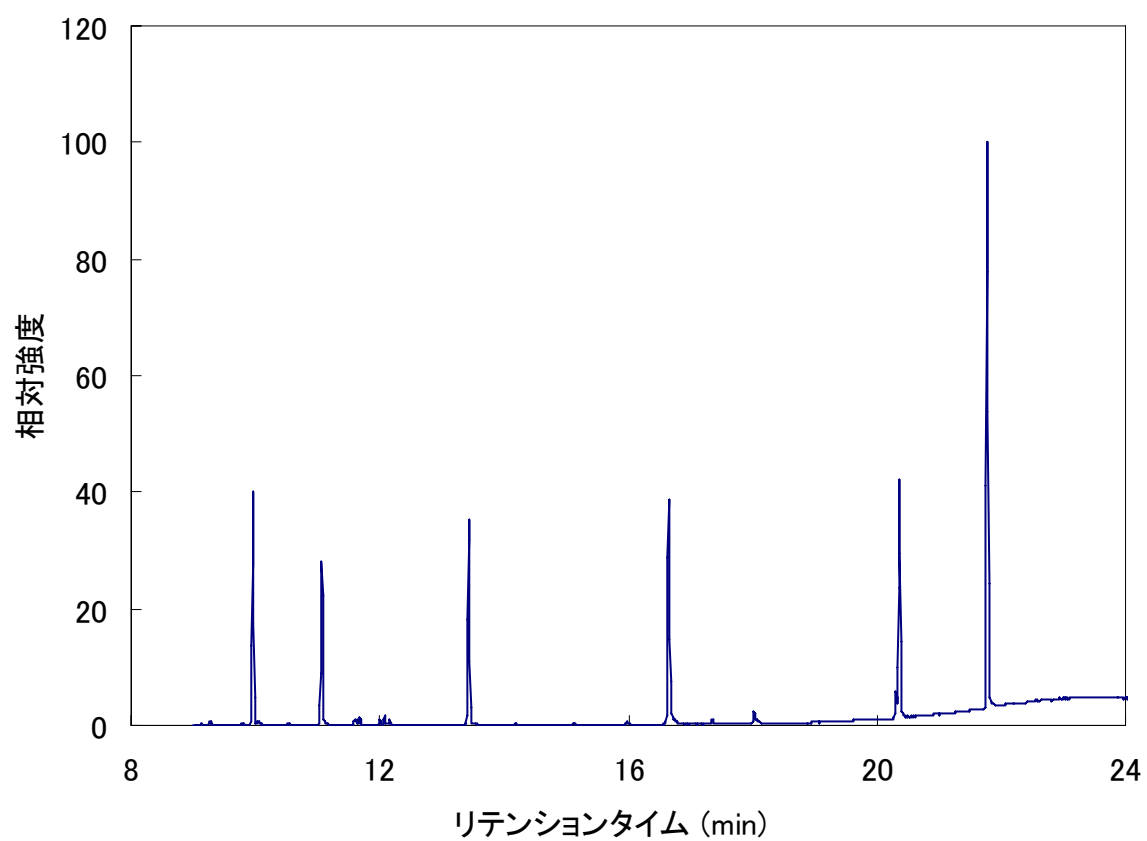
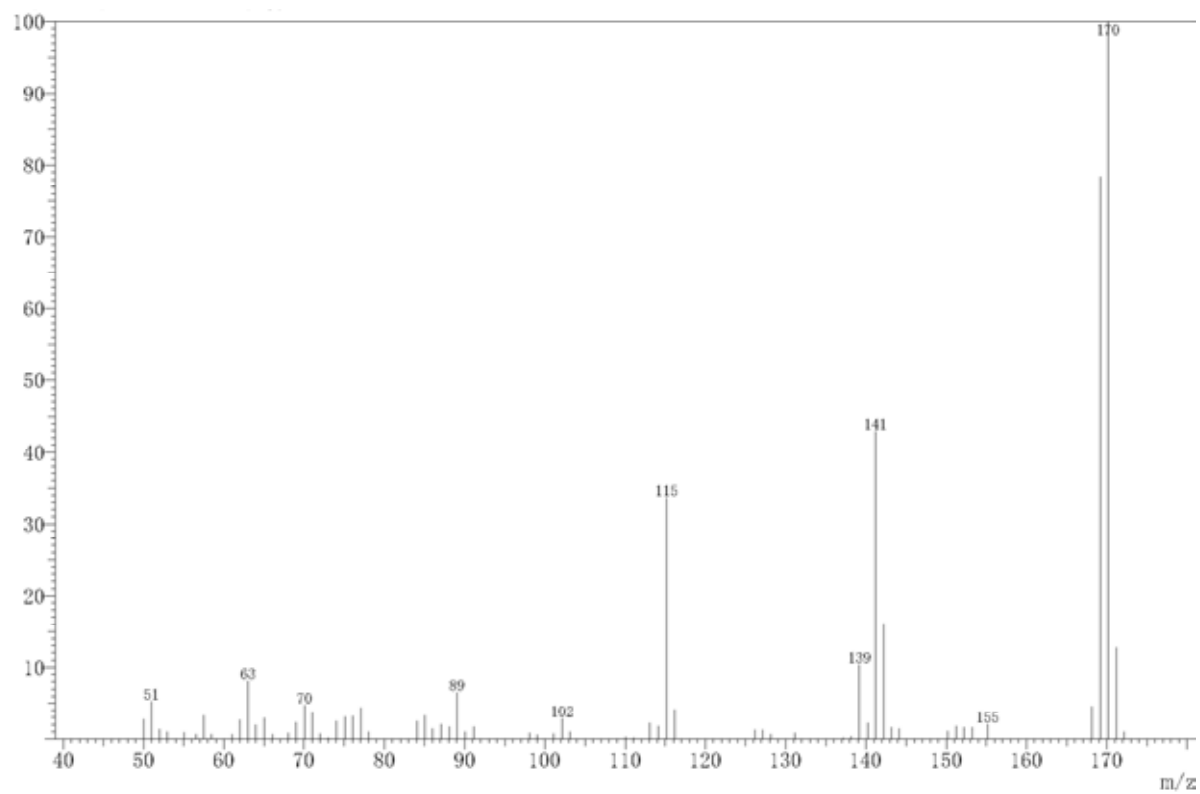
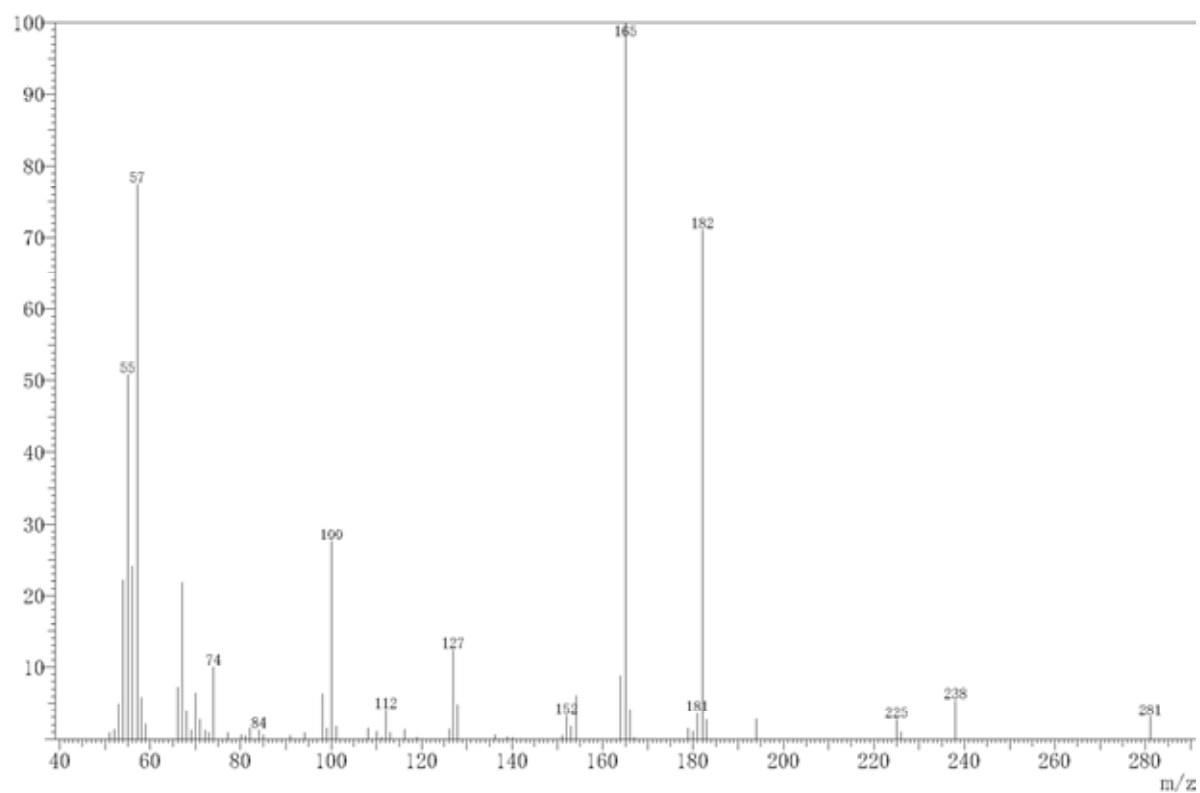


図 3.2 供試した有効成分のトータルイオンクロマトグラム (TIC)

ピーク左から、OPP、IPBC、IF-1000、シプロコナゾール、シフェノトリン、エトフェンプロックス

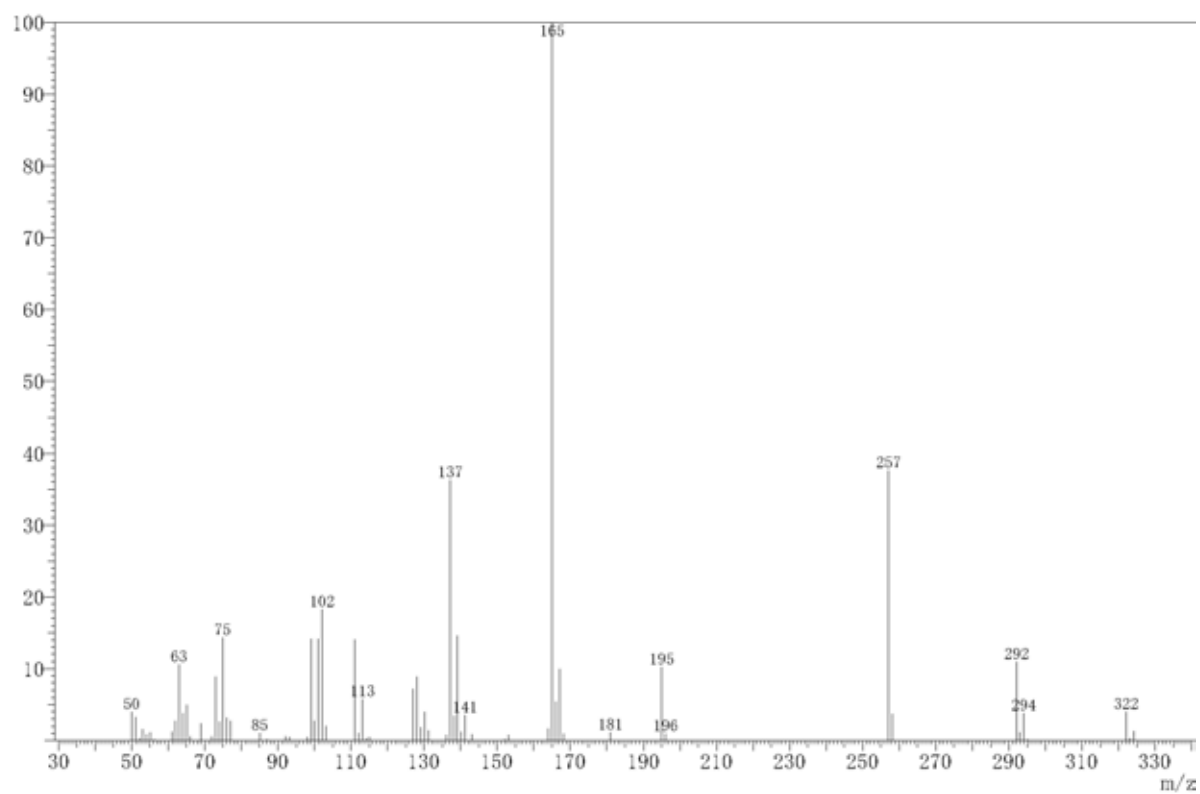


OPP のマスペクトル

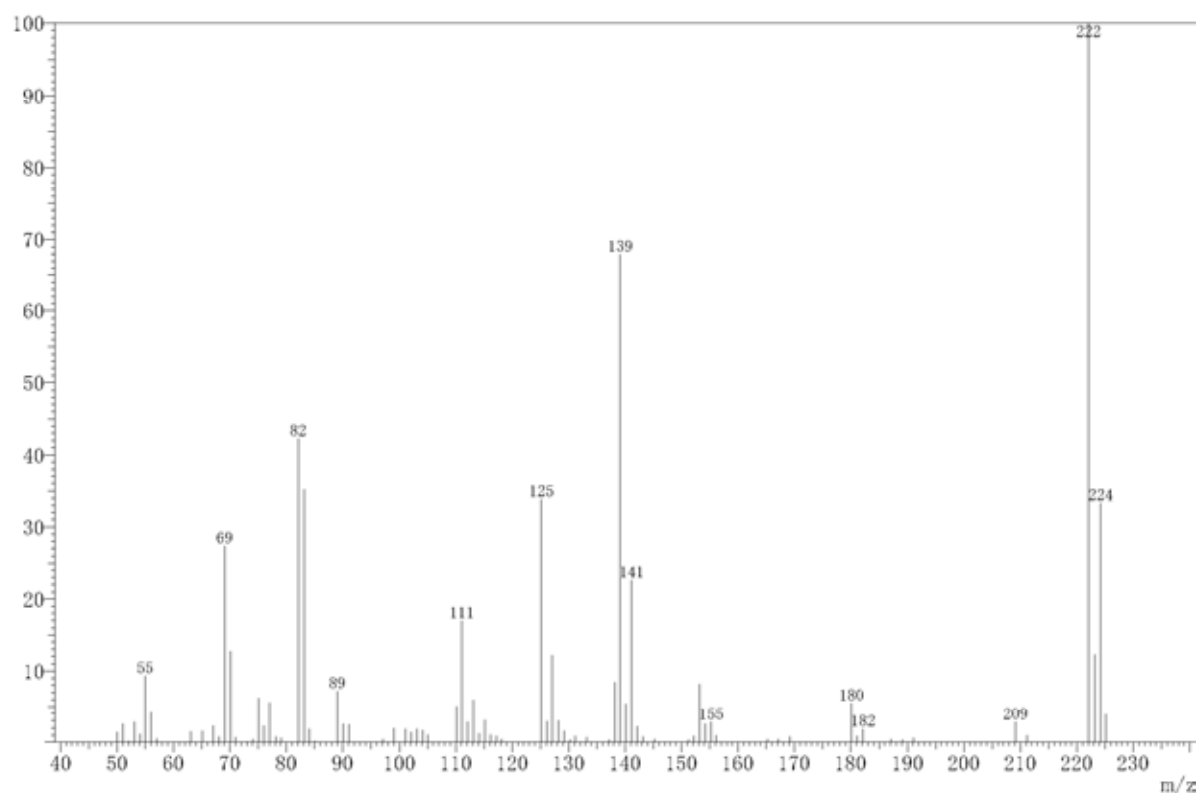


IPBC のマスペクトル

図 3.3 各有効成分のマスペクトル (a)

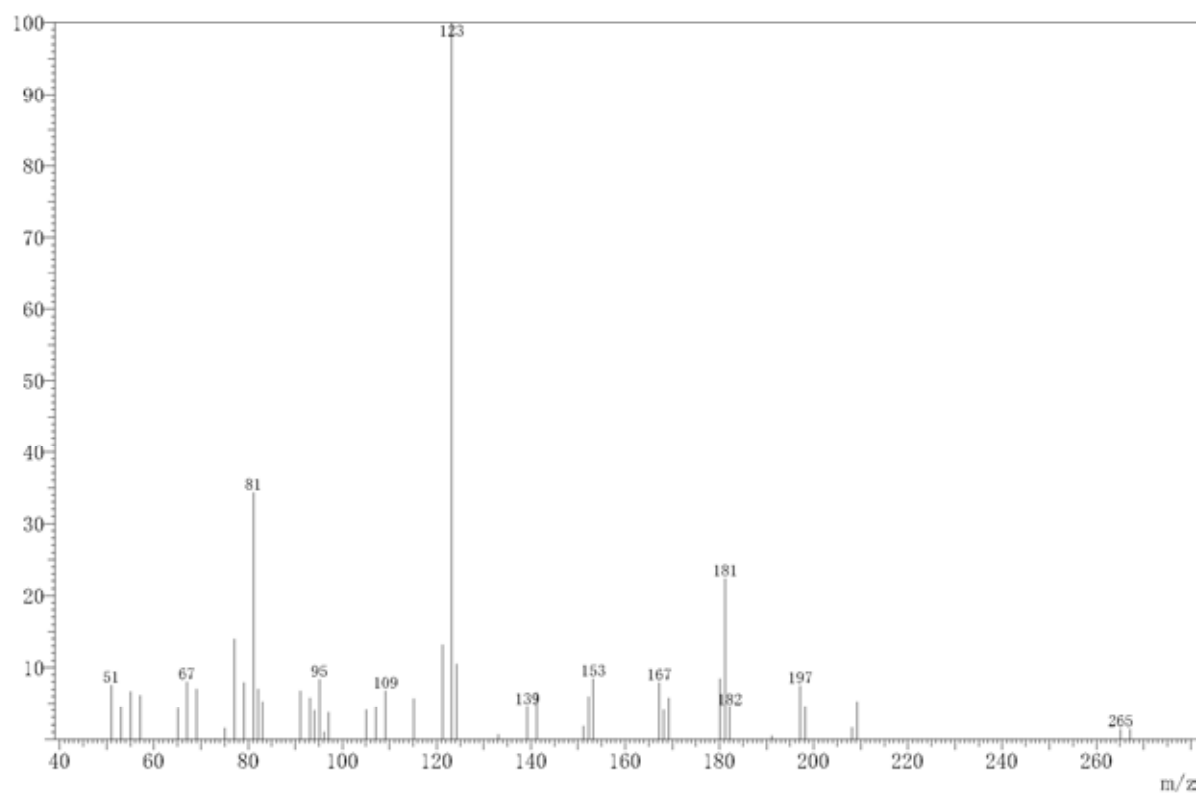


IF-1000 のマススペクトル

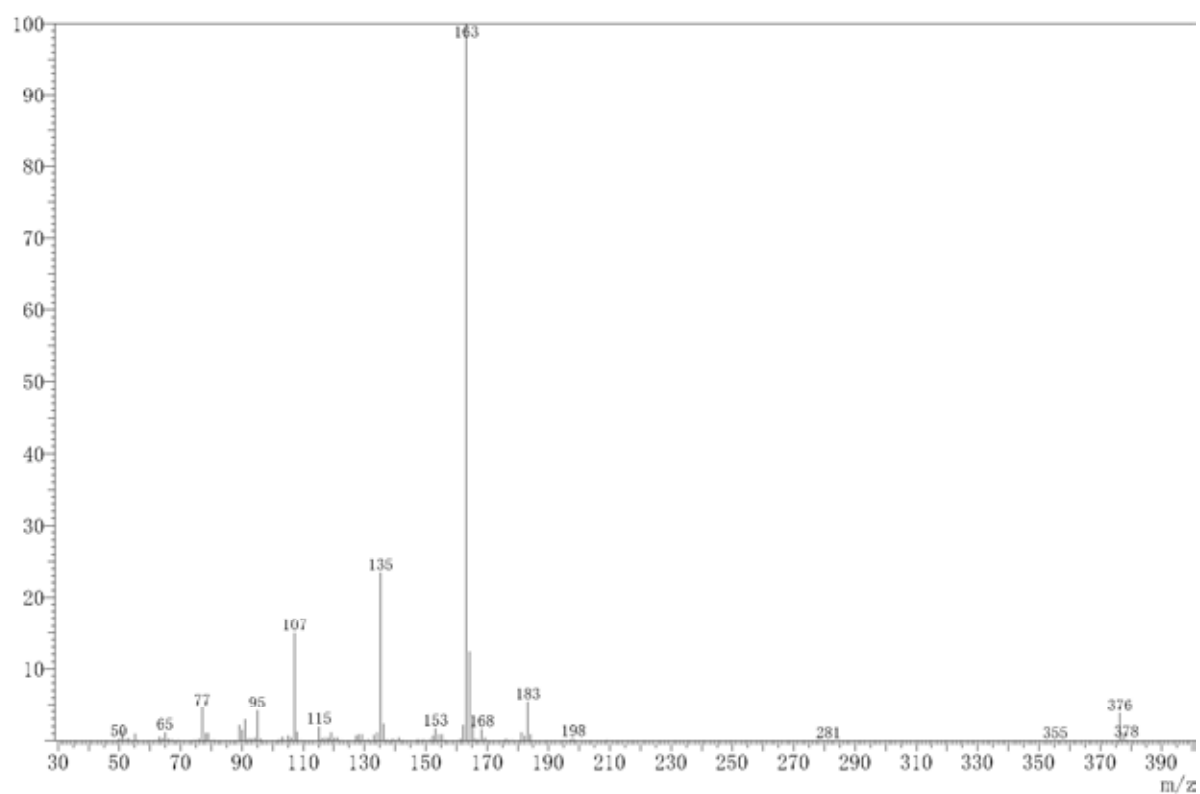


シプロコナゾールのマススペクトル

図 3.3 各有効成分のマススペクトル (b)



シフェノトリンのマススペクトル



エトフェンプロックスのマススペクトル

図 3.3 各有効成分のマススペクトル (c)

## 2) 木粉抽出物のトータルイオンクロマトグラム

図 3.4 には、20℃の促進劣化環境に 1 日間曝した、木材保存剤有効成分を含むスギ辺材木粉またはスギ心材木粉のメタノール抽出物のトータルイオンクロマトグラム (TIC) を示す。図から明らかなように、心材から調製した木粉をメタノールで抽出した際には、木粉抽出成分に由来する多数のピークが認められたが、辺材から調製した木粉をメタノールで抽出した場合にはこれらのピークが認められなかった。木材抽出成分に由来するピークは木材保存剤の有効成分分析時の定量結果に悪影響を与える恐れがあることから、次年度以降実験をおこなう際には辺材部のみを用いて実験をおこなった方が良いと考えられた。

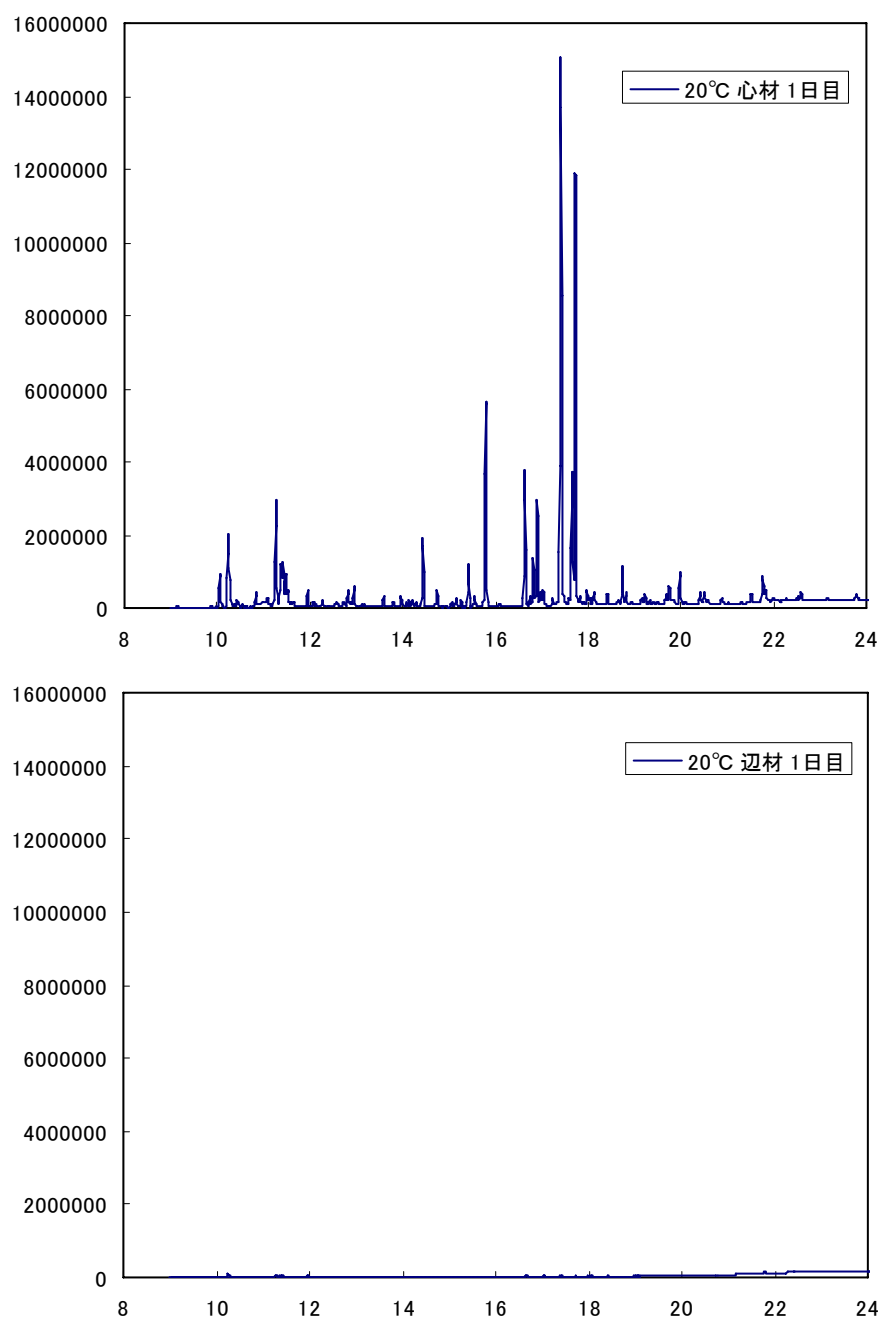


図 3.4 心材および辺材から調製した木粉のメタノール抽出物の TIC

### 3) 木材保存剤有効成分の定量

図 3.2 から求めた各有効成分のリテンションタイム及び図 3.4 から求めたマスキロマトグラムに基づき、今回使用した有効成分の定量に最適な SIM プログラムを作成し、有効成分残存量の定量をおこなった。なお、定量に使用した各有効成分のリテンションタイムおよびターゲットイオンを表 3.1 に示す。

表 X.1 各有効成分のリテンションタイムおよびターゲットイオン(m/z)

| 有効成分名      | リテンションタイム(分) | ターゲットイオン(m/z) |
|------------|--------------|---------------|
| OPP        | 9.97         | 170.1         |
| IPBC       | 11.08        | 164.9         |
| IF-1000    | 13.44        | 165.0         |
| シプロコナゾール   | 16.67        | 139.1         |
| シフェノトリン    | 20.38        | 123.2         |
| エトフェンプロックス | 21.79        | 163.2         |

上記条件で有効成分を定量し、残存率を求めた結果を以下に示す。なお図 3.5 が心材木粉、図 3.6 が辺材木粉を使用して得られた結果である。

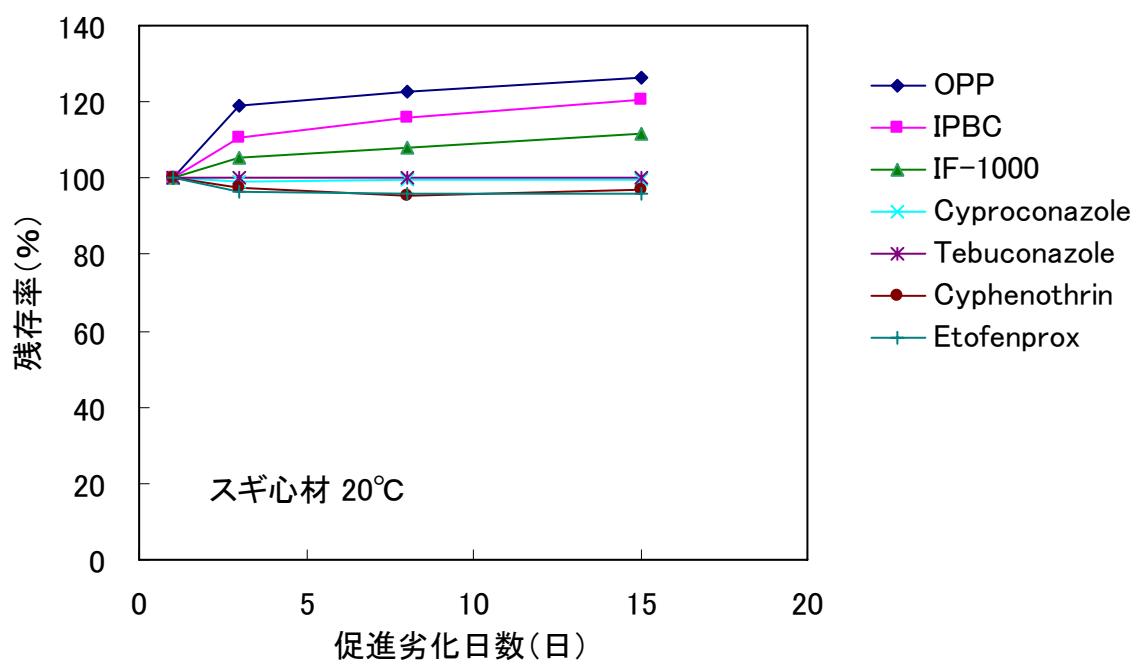


図 3.5 スギ心材に添加した木材有効成分促進劣化した際の有効成分残存率(a)

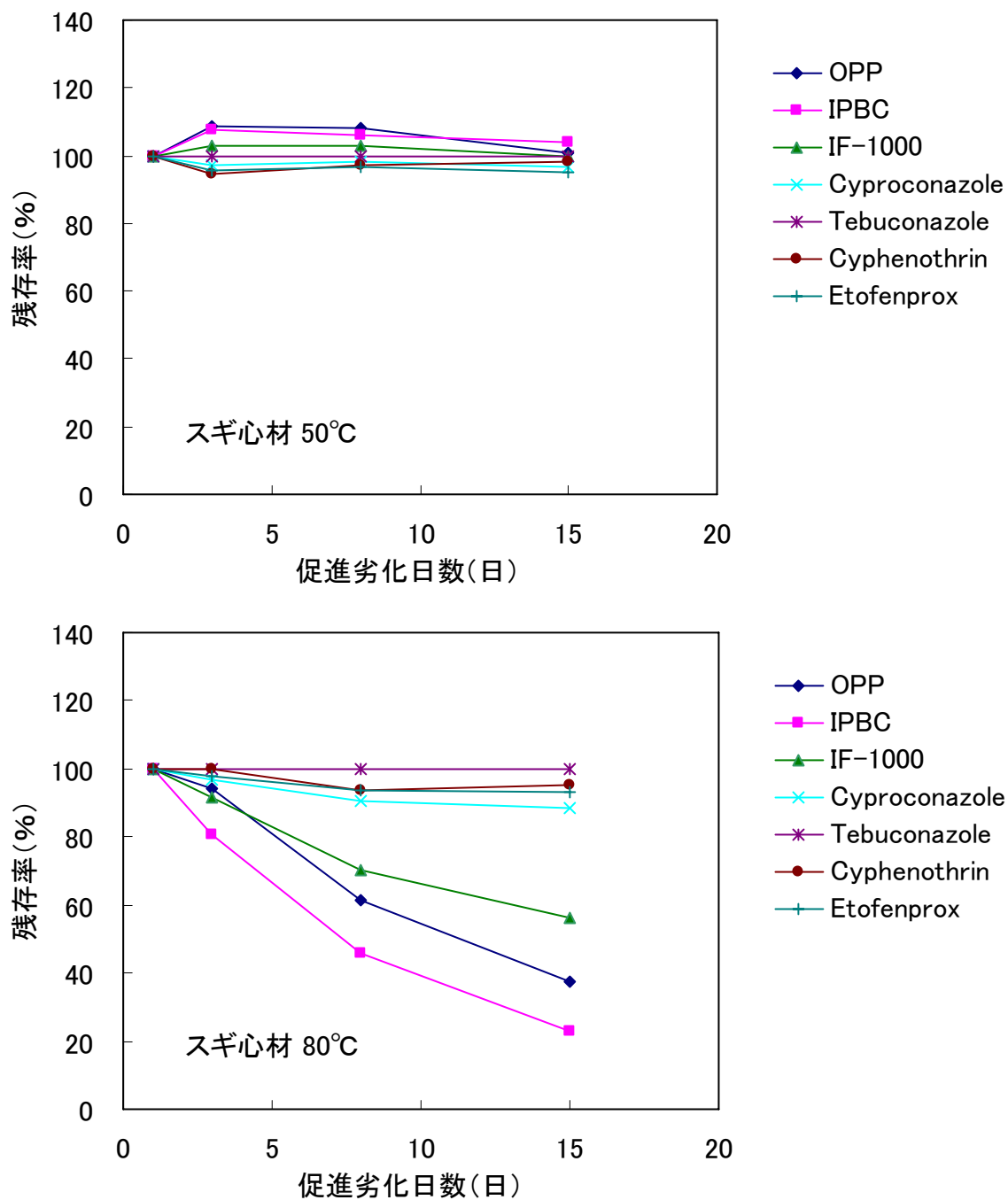


図 3.5 スギ心材に添加した木材有効成分促進劣化した際の有効成分残存率(b)

20°Cで促進劣化した際に、有効成分のうち比較的早い時間に溶出する OPP、IPBC、IF-1000 が促進劣化時間の増加に伴い、初期値より高い値となるのが観測されたがその理由は不明であるが、先に木粉抽出物のトータルイオンクロマトグラムのところでも述べたように、木材抽出成分が測定に何らかの影響を与えたのかもしれない。

一方、木粉添加後 80°Cで促進劣化した場合には、IPCB, IR-1000, OPP が劣化開始 15 日目で残存率 50%程度以下まで低下することが認められた。

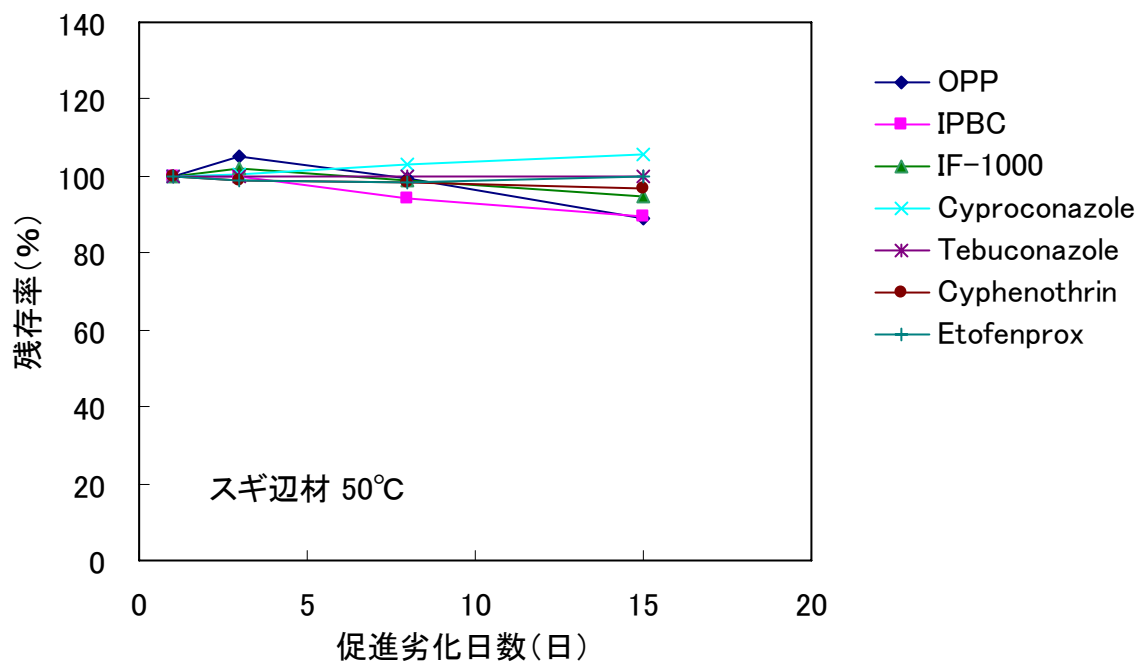
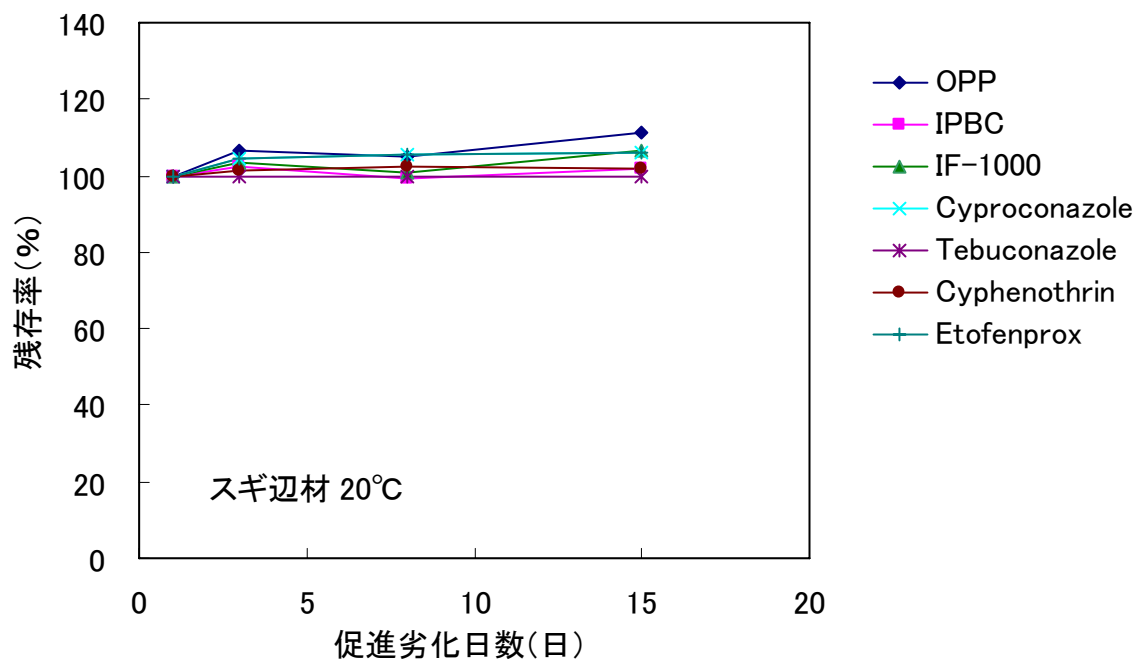


図 3.6 スギ辺材に添加した木材有効成分促進劣化した際の有効成分残存率(a)



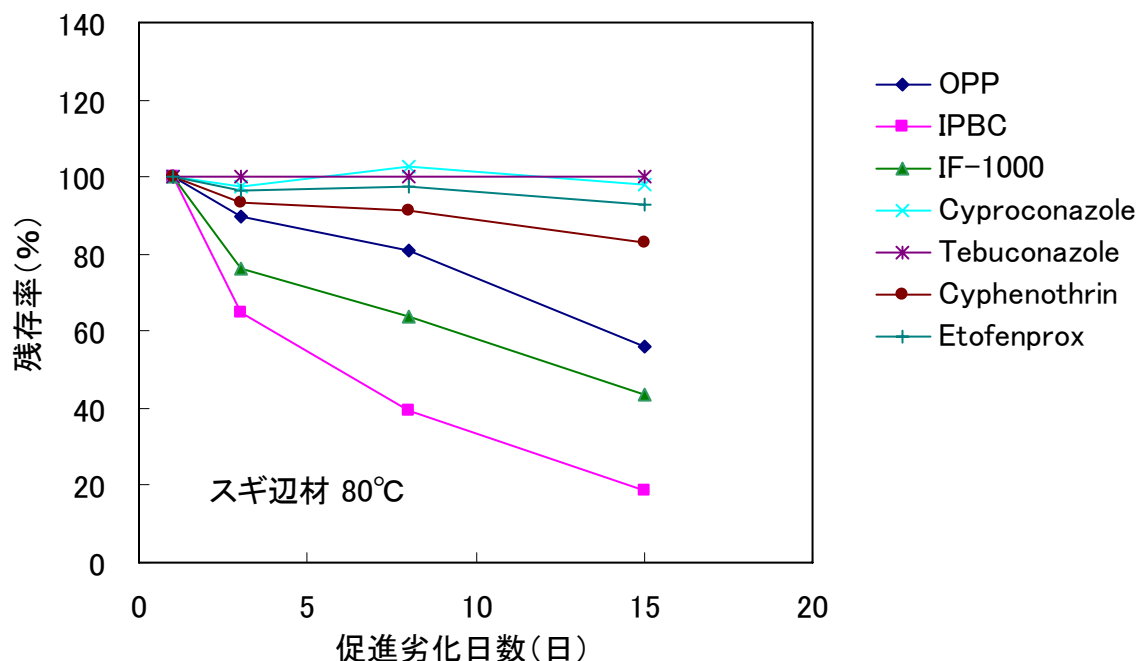


図 3.6 スギ辺材に添加した木材有効成分促進劣化した際の有効成分残存率 (b)

有効成分をスギ辺材木粉に滴下し促進劣化をおこなった試験体では、図 3.6 に示すように、有効成分をスギ心材木粉に滴下した際に見られたような残存率の見かけ上の増加はほとんど認められなかったことから、次年度以降の実験では、木粉抽出物のトータルイオンクロマトグラムの結果から予想されたように、辺材部分を使用した実験が望ましいことが示唆された。

一方、温度と残存率との関係では、20℃で促進劣化した場合には残存率の減少が認められないのに対し、50℃で促進劣化した試料では opp、IPBC の残存率が若干低下するのが観測され、80℃では OPP、IPBC、IF-1000 の残存率が大きく低下し、シフェノトリンの残存量が若干低下するのが観測された。

なお、温度が 10℃上がるごとに劣化速度が 2 倍になると仮定すると、80℃15 日間の促進劣化期間は平均気温 20℃における 32 ヶ月（2 年半教）に相当する。（50℃15 日間では 4 ヶ月に相当）

## (2) 木材保存剤の現状調査及び試験方法の検討

### (a) 保存処理の長期耐久性検討 TG

木材保存剤の生産者、使用者、分析担当者等から構成される「保存処理の長期耐久性検討 TG」を組織した。参画機関は以下の通り。

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

財団法人 日本合板検査会

住友林業株式会社

(b) 検討薬剤のリストアップ

社団法人 日本木材保存協会の認定薬剤の一覧表（表 3.2）から木材保存剤の有効成分を抽出（表 3.3）し、平成 22 年度以降の実験で使用するための基礎資料とした。

表 3.2 から明らかなように、認定薬剤は種類が非常に多く、個々の認定薬剤をそれぞれ別個に促進劣化に供試し、その耐久性を評価することは時間的・金銭的に不可能であると結論し、有効成分の標品を用いて実験を行うこととした。なお、使用する薬剤は、原則として注入処理用木材保存剤の有効成分全てと表面処理用の有効成分の中から重要なものを選ぶことにした。

(c) 劣化促進方法

促進劣化方法には、建材やプラスチック等の促進劣化試験に広く用いられている、高温環境下に試験体をおく試験方法を採用することにした。湿度をコントロールすることも最初検討したが、木材から放出される酢酸が恒湿器の冷却器部分で凝結し、冷却器を傷めることが報告されたため、湿度条件はコントロールしないことにした。

(d) 試験体形状

促進劣化時の試験体形状が結果に影響を与えることが予想されたため、実際の使用に即した試験体形状であり、かつ分析の手間がかからない試験体形状となるよう検討した。

最終的な案として、表面処理用の有効成分の分析には全て辺材からなる 100×100×1mm の板を使用し、注入処理用の有効成分分析には全て辺材からなる 10×10×20(L)mm の試験体を使用することにした。なお、上記表面処理用試験体が実際に調達できるか確認中。

(d) 試験実施場所

促進劣化試験は、三井化学アグロ株式会社および森林総合研究所でおこなうことにした。分析については、分析を専門におこなっているリサーチセンターに依頼分析することを検討したが、必要な予算が確保できないことから、TG 参画者が分析することにした。

日本木材保存協会認定 木材保存剤(1)

表 3.2 日本木材保存協会の認定薬剤リスト (a)

| 品 目                                           | 用 途                | 製 品 名                      | 認定年月日                     | 認定番号                                       | 主 成 分                    | 認定を受けた者              | 次期更新期日          |            |
|-----------------------------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------|------------|
| 木材防腐・防蟻剤                                      | 接着剤混入用             | リクタス-S S                   | 平 21. 1. 1                | A-5049                                     | サンブラス・S-421              | 三井化学アグロ株式会社          | H.24. 1. 1      |            |
|                                               |                    | ケミホルツブライCTF                | 〃                         | A-5340                                     | イシダ・カワリト・IPBC・2-フェニルエノール | オーシカケミテック株式会社        | 〃               |            |
|                                               |                    | サンブレザー-G L T               | 平 21. 7. 1                | A-5345                                     | エトゾブ・ワックス・IPBC           | 株式会社ザイエンス            | H.24. 7. 1      |            |
|                                               |                    | S B-1350乳剤                 | 〃                         | A-5346                                     | ジワルマジェン・アセチン・ジブ・ロナゾール    | 株式会社エス・デ・イー・エヌ・バィテック | 〃               |            |
|                                               |                    | ランバートG I P                 | 〃                         | A-5347                                     | d-4-T-フェニル・IP-1000・IPBC  | 住友化学株式会社             | 〃               |            |
|                                               |                    | ケミホルツランバートG I P            | 〃                         | A-5348                                     | 〃                        | オーシカケミテック株式会社        | 〃               |            |
|                                               |                    | ランバートG I P「E S」            | 〃                         | A-5349                                     | 〃                        | 住化エンビロサイエンス株式会社      | 〃               |            |
|                                               |                    | SDS SDB-1377剤              | 平 19. 7. 1                | A-5391                                     | ジブ・ロナゾール・アセチン・ジブ・リト      | 株式会社エス・デ・イー・エヌ・バィテック | H.22. 7. 1      |            |
|                                               |                    | ケミホルツブライSDB-1377剤          | 〃                         | A-5392                                     | 〃                        | オーシカケミテック株式会社        | 〃               |            |
|                                               |                    | ケミホルツブライL I K剤             | 〃                         | A-5393                                     | ジブ・ロナゾール・アセチン・ジブ・リト      | 株式会社エス・デ・イー・エヌ・バィテック | 〃               |            |
|                                               |                    | エス・デ・イー・エヌ・バィテック・ブライL I K剤 | 〃                         | A-5394                                     | 〃                        | 株式会社エス・デ・イー・エヌ・バィテック | 〃               |            |
|                                               |                    | リクタス-D F                   | 平 20. 9. 4                | A-5420                                     | ジブ・アセチン・F-69             | 三井化学アグロ株式会社          | H.23. 7. 1      |            |
|                                               |                    | 加圧注入用                      | トヨゾール C U                 | 平 21. 1. 1                                 | A-5054                   | ナフテノ酸銅               | ケミプロ化成株式会社      | H.24. 1. 1 |
|                                               |                    |                            | トヨゾール Z N                 | 〃                                          | A-5055                   | ナフテノ酸亜鉛              | 〃               | 〃          |
|                                               |                    |                            | ペンタキエアニュー BM              | 〃                                          | A-5056                   | DDAC                 | 株式会社ザイエンス       | 〃          |
|                                               |                    |                            | マイトレック A C Q              | 平 20. 8. 1                                 | A-5099                   | 酸化第二銅・BKC            | 株式会社コシイブレザー・ビンダ | H.23. 8. 1 |
|                                               |                    |                            | セクボア A A C                | 平 19. 5. 1                                 | A-5216                   | DDAC                 | 大日本木材防腐株式会社     | H.22. 5. 1 |
|                                               |                    |                            | モクボア Z E                  | 〃                                          | A-5217                   | ナフテノ酸亜鉛              | 〃               | 〃          |
|                                               |                    |                            | エバウウッド P N-700            | 平 20. 1. 1                                 | A-5223                   | ハートナツグ酸亜鉛・ハートリソ      | 住化エンビロサイエンス株式会社 | H.23. 1. 1 |
|                                               | レザック R             |                            | 平 21. 6. 1                | A-5226                                     | DDAC                     | 株式会社コシイブレザー・ビンダ      | H.24. 6. 1      |            |
| タナリスCu a z                                    | 〃                  |                            | A-5233                    | 酸化第二銅・ほう酸・デブ・ロナゾール                         | 株式会社ザイエンス                | 〃                    |                 |            |
| セルボア P                                        | 平 20. 1. 1         |                            | A-5265                    | DDAC・ほう酸                                   | 越井木材工業株式会社               | H.23. 1. 1           |                 |            |
| サイアプロピン                                       | 平 19. 8. 1         |                            | A-5321                    | ポリエチレン・リコール・ホルマリン・尿素・トキサイト・GS・セリブ・デノ・酸カリウム | 株式会社アズ                   | H.22. 8. 1           |                 |            |
| 加圧注入用一<br>JIS K 1571:2004<br>附属書（規定）に<br>よる認定 | L C-250剤           | 平 20. 1. 1                 | A-5323                    | 水酸化第二銅・リグ・ニルホル酸塩                           | 株式会社エス・デ・イー・エヌ・バィテック     | H.23. 1. 1           |                 |            |
|                                               | タナリスC Y            | 〃                          | A-5324                    | 酸化第二銅・ジブ・ロナゾール                             | 株式会社ザイエンス                | 〃                    |                 |            |
|                                               | ペンタキエアEC030        | 〃                          | A-5325                    | DDAC・デブ・ロナゾール・イシダ・カワリト                     | 〃                        | 〃                    |                 |            |
|                                               | L C-350剤           | 平 21. 1. 1                 | A-5339                    | 水酸化第二銅・ジブ・ロナゾール・リグ・ニルホル酸塩                  | 株式会社エス・デ・イー・エヌ・バィテック     | H.24. 1. 1           |                 |            |
|                                               | ニツサンクリンC I         | 平 21. 7. 1                 | A-5344                    | ジブ・ロナゾール・アセチン・ジブ・リト                        | 兼松日産農林株式会社               | H.24. 7. 1           |                 |            |
|                                               | エコテインバスター-M N W-20 | 平 22. 1. 1                 | A-5363                    | DDAC・ハートリソ                                 | 松垣薬品工業株式会社               | H.25. 1. 1           |                 |            |
|                                               | レザックI M D          | 〃                          | A-5364                    | DDAC・イシダ・カワリト                              | 株式会社コシイブレザー・ビンダ          | 〃                    |                 |            |
|                                               | マイトレックC u C        | 〃                          | A-5365                    | 酸化第二銅・ジブ・ロナゾール                             | 〃                        | 〃                    |                 |            |
|                                               | レザックD P S          | 平 19. 7. 1                 | A-5369                    | DMPAP・ジワルマジェン                              | 〃                        | H.22. 7. 1           |                 |            |
|                                               | ペンボア-A A C 40 E C  | 平 20. 7. 1                 | A-5372                    | DMPAP・ジブ・ロナゾール・アセチン・ジブ・リト                  | 大日本木材防腐株式会社              | H.23. 7. 1           |                 |            |
|                                               | セクボアBM-P           | 〃                          | A-5373                    | DMPAP                                      | 株式会社ザイエンス                | 〃                    |                 |            |
| コエエクスP B                                      | 平 19. 9. 3         | A-5412                     | エトゾブ・ワックス・IPBC・2-フェニルエノール | 越井木材工業株式会社                                 | H.22. 7. 1               |                      |                 |            |
| シンクロス-E F                                     | 平 21. 9. 14        | A-5421                     | エトゾブ・ワックス・F-69            | 三井化学アグロ株式会社                                | H.24. 7. 1               |                      |                 |            |
| ティンボア                                         | 平 20. 2. 12        | A-5418                     | ハナホル酸ニオトリウム水和剤            | U. S. Borax Inc.                           | H.23. 1. 1               |                      |                 |            |

表 3.2 日本木材保存協会の認定薬剤リスト (b)

## 社団法人日本木材保存協会認定 木材保存剤 (2)

| 品 目      | 用 途                                        | 製 品 名            | 認定年月日       | 認定番号   | 主 成 分                         | 認定を受けた者          | 次期更新期日       |
|----------|--------------------------------------------|------------------|-------------|--------|-------------------------------|------------------|--------------|
| 木材防腐・防蟻剤 | 表面処理用<br>(油性)                              | カレート油剤           | 平 21. 10. 1 | A-5165 | ベニトリン・ナフ・ラス・S-421             | 住友化学株式会社         | H. 24. 10. 1 |
|          |                                            | ケミホルツカレート油剤      | "           | A-5169 | "                             | オーシカケミテック株式会社    | "            |
|          |                                            | サンブレザー OG        | "           | A-5182 | ナフ・酸銅                         | 株式会社ザイエンス        | "            |
|          |                                            | サンブレザー OGR       | "           | A-5183 | ナフ・酸銅・ナフ・油                    | "                | "            |
|          |                                            | コダマカレート油剤        | "           | A-5204 | ベニトリン・ナフ・ラス・S-421             | 児玉化学工業株式会社       | "            |
|          |                                            | ピレス油剤            | 平 22. 1. 1  | A-5288 | ピ・フェニトリン・ジ・ナフ・油               | ケミプロ化成株式会社       | H. 25. 1. 1  |
|          |                                            | フマキラーエコロフエン油剤A   | "           | A-5294 | エト・フェニトリン・ジ・ナフ・油              | フマキラー株式会社        | "            |
|          |                                            | メトロフエン油剤         | 平 19. 5. 1  | A-5221 | エト・フェニトリン・ジ・ナフ・ラス             | 三井化学アグロ株式会社      | H. 22. 5. 1  |
|          |                                            | ケミプロシロネン油剤       | "           | A-5237 | ジ・フェニトリン・ジ・ナフ・ラス              | ケミプロ化成株式会社       | "            |
|          |                                            | コシイアリビレス油剤       | 平 19. 8. 1  | A-5245 | ピ・フェニトリン・IPBC                 | 株式会社コシイブレザービング   | H. 22. 8. 1  |
|          |                                            | ニチノーアリビレス油剤      | "           | A-5251 | "                             | 日本農薬株式会社         | "            |
|          |                                            | ケミプロアリビレス油剤      | "           | A-5253 | "                             | ケミプロ化成株式会社       | "            |
|          |                                            | アリビレス油剤          | "           | A-5255 | "                             | エフエムシー・ケミカルズ(株)  | "            |
|          |                                            | ケミホルツアリビレス油剤     | "           | A-5257 | "                             | ケミホルツ株式会社        | "            |
|          |                                            | エコロフエン油剤         | "           | A-5306 | エト・フェニトリン・ジ・ナフ・油              | 三井化学アグロ株式会社      | "            |
|          |                                            | サンブレザーOP-C       | "           | A-5307 | "                             | 株式会社ザイエンス        | "            |
|          |                                            | アリデン油剤-E         | 平 22. 1. 1  | A-5308 | エト・フェニトリン・ジ・ナフ・ラス・IBTE・ジ・ナフ・油 | 三井化学アグロ株式会社      | H. 25. 1. 1  |
|          |                                            | エコロフエン油剤         | 平 20. 1. 1  | A-5316 | エト・フェニトリン・ジ・ナフ・ラス・IPBC        | 三井化学アグロ株式会社      | H. 23. 1. 1  |
|          |                                            | フマキラーホルサー油剤      | "           | A-5261 | ベニトリン・IPBC-MGK264             | フマキラー株式会社        | "            |
|          |                                            | ホルサー油剤           | "           | A-5263 | 同上                            | 住友化学工業株式会社       | "            |
|          |                                            | コシイシロネン油剤A       | "           | A-5327 | ジ・フェニトリン・IPBC                 | 株式会社コシイブレザービング   | "            |
|          |                                            | ヤシマアリビレス油剤       | 平 20. 7. 1  | A-5329 | ピ・フェニトリン・IPBC                 | ヤシマ産業株式会社        | H. 23. 7. 1  |
|          |                                            | フマキラーエコロフエン油剤C   | "           | A-5330 | エト・フェニトリン・ジ・ナフ・油              | フマキラー株式会社        | "            |
|          |                                            | アリダンヘキサイドH油剤     | 平 20. 8. 1  | A-5230 | BDOP・S-421・ナフ・ラス              | フクビ化学工業株式会社      | H. 23. 8. 1  |
|          |                                            | アリシスゴールド-S T     | 平 21. 1. 1  | A-5337 | エト・フェニトリン・ジ・ナフ・ラス             | ケミプロ化成株式会社       | H. 24. 1. 1  |
|          |                                            | フマキラーウッドデクト油剤    | "           | A-5338 | ジ・ナフ・油・IPBC・ジ・フェニトリン          | フマキラー株式会社        | "            |
|          |                                            | フマキラーエコロフエン油剤    | 平 21. 7. 1  | A-5275 | エト・フェニトリン・ジ・ナフ・ラス・IPBC        | フマキラー株式会社        | H. 24. 7. 1  |
|          |                                            | 金鳥シロネン油剤P        | 平 22. 1. 1  | A-5350 | ジ・フェニトリン・IPBC                 | 大日本除菌株式会社        | H. 25. 1. 1  |
|          |                                            | ケミホルツトップフェエース油剤P | "           | A-5353 | "                             | オーシカケミテック株式会社    | "            |
|          |                                            | 金鳥シロネン油剤C        | "           | A-5355 | ジ・フェニトリン・ジ・ナフ・油               | 大日本除菌株式会社        | "            |
|          |                                            | ケミプロシロネン油剤C      | "           | A-5356 | "                             | ケミプロ化成株式会社       | "            |
|          |                                            | アリゾールCS          | "           | A-5360 | "                             | 大日本木材防腐株式会社      | "            |
|          |                                            | 白アリスーパー-21       | "           | A-5361 | "                             | 株式会社吉田製油所        | "            |
|          |                                            | キシラモントラッド        | 平 19. 7. 1  | A-5366 | ナフ・ジ・ナフ・油・ナフ・油・ナフ・油           | 日本エンバイロケミカルズ株式会社 | H. 22. 7. 1  |
|          |                                            | サンエイムアリビレスS油剤    | 平 20. 1. 1  | A-5370 | ピ・フェニトリン・IPBC                 | 株式会社サンエイム        | H. 23. 1. 1  |
|          |                                            | アリコンS油剤C         | "           | A-5371 | シラフルオフェン・ジ・プロコナゾール            | 泉商事株式会社          | "            |
|          | 表面処理用(油溶性)<br>性) - 深浸潤用:<br>注入処理用試験を<br>適用 | ペンタキエアOP         | 平 20. 2. 12 | A-5419 | DDAC・ナフ・油                     | 株式会社ザイエンス        | H. 23. 1. 1  |

社団法人日本木材保存協会認定 木材保存剤 (3)

表 3.2 日本木材保存協会の認定薬剤リスト(c)

| 品 目      | 用 途             | 製 品 名               | 認定年月日       | 認定番号   | 主 成 分                      | 認定を受けた者            | 次期更新期日      |
|----------|-----------------|---------------------|-------------|--------|----------------------------|--------------------|-------------|
| 木材防腐・防蟻剤 | 表面処理用<br>(水希釈系) | サンブレザーP-W96         | 平 22. 1. 1  | A-5295 | エトフェンゾ・ワックス・IPBC・テア・コナジール  | 株式会社ザイエンス          | H. 25. 1. 1 |
|          |                 | ビレス30WE             | "           | A-5296 | ビ・フェントリン・ジ・コナジール           | ケミプロ化成株式会社         | "           |
|          |                 | アリビレス30WE           | "           | A-5297 | "                          | エフエムシー・ケミカルズ(株)    | "           |
|          |                 | ハチクサン20WE/TC        | "           | A-5298 | イミダ・クロア・リト・ジ・コナジール         | ケミプロ化成株式会社         | "           |
|          |                 | ハチクサン20WE/AC        | "           | A-5299 | "                          | パ・エム・ワックス・ケミカル株式会社 | "           |
|          |                 | フマキラー-エコロフエンW       | "           | A-5303 | エトフェンゾ・ワックス・IPBC           | フマキラー株式会社          | "           |
|          |                 | サンブレザー-WOT          | 平 19. 8. 1  | A-5241 | サリン酸銅                      | 株式会社ザイエンス          | H. 22. 8. 1 |
|          |                 | ケミホルツヘキサイドH乳剤       | "           | A-5250 | BDQP-S-421・サリン             | オースンケミテック株式会社      | "           |
|          |                 | アリダンヘキサイドH乳剤        | "           | A-5268 | "                          | フク化学工業株式会社         | "           |
|          |                 | エコロフエンCW            | "           | A-5317 | エトフェンゾ・ワックス・ジ・コナジール        | 三井化学アグロ株式会社        | "           |
|          |                 | アリデン乳剤-E S          | "           | A-5318 | エトフェンゾ・ワックス・IBTE・サリン       | 三井化学アグロ株式会社        | "           |
|          |                 | アリデン乳剤-E C          | "           | A-5319 | エトフェンゾ・ワックス・IBTE・サリン       | 三井化学アグロ株式会社        | "           |
|          |                 | エコロフエンW             | 平 22. 1. 1  | A-5320 | エトフェンゾ・ワックス・IPBC           | 三井化学アグロ株式会社        | H. 25. 1. 1 |
|          |                 | コシイアリビレス20W乳剤       | 平 20. 7. 1  | A-5334 | ビ・フェントリン・IPBC・テア・コナジール     | 株式会社コシイブレザービング     | H. 23. 7. 1 |
|          |                 | フマキラー-エコロフエンCW      | "           | A-5336 | エトフェンゾ・ワックス・ジ・コナジール        | フマキラー株式会社          | "           |
|          |                 | ハチクサンSL             | 平 21. 7. 1  | A-5342 | イミダ・クロア・リト・ジ・コナジール・イナジリン   | バイエルクロップサイエンス株式会社  | H. 24. 7. 1 |
|          |                 | J CハチクサンSL          | "           | A-5343 | "                          | 日本カーリット株式会社        | "           |
|          |                 | エバ・ウッッド乳剤PC30W      | 平 22. 1. 1  | A-5362 | ベ・ホルトリン・ジ・コナジール            | 住化エンビロサイエンス株式会社    | H. 25. 1. 1 |
|          |                 | 水性キシラモモン3W          | 平 19. 7. 1  | A-5367 | クロチン・ジ・コナジール・IPBC          | 住化エンビロサイエンス株式会社    | H. 22. 7. 1 |
|          |                 | エクスミン木部処理乳剤C        | "           | A-5368 | ベ・ホルトリン・ジ・コナジール            | 住友化学株式会社           | "           |
|          |                 | アクアアリゾール            | 平 20. 7. 1  | A-5374 | トリホトリン・ジ・コナジール             | 大日本木材防腐株式会社        | H. 23. 7. 1 |
|          |                 | 水性白アリスバー            | "           | A-5375 | "                          | 株式会社吉田製油所          | "           |
|          |                 | コンシックスBF20乳剤        | 平 18. 7. 1  | A-5376 | ビ・フェントリン・テア・コナジール・コナジール    | 株式会社コシイブレザービング     | H. 21. 7. 1 |
|          |                 | アリビレス木部乳剤20         | "           | A-5377 | ビ・フェントリン・テア・コナジール・IPBC     | エフエムシー・ケミカルズ(株)    | "           |
|          |                 | ニチノアーアリビレス木部乳剤20    | "           | A-5378 | "                          | 日本農薬株式会社           | "           |
|          |                 | アリビレス木部乳剤20「ES」     | "           | A-5380 | "                          | 住化エンビロサイエンス株式会社    | "           |
|          |                 | ケミホルツアリビレス木部乳剤20    | "           | A-5381 | "                          | オースンケミテック株式会社      | "           |
|          |                 | オプティガード20EC         | 平 22. 1. 1  | A-5383 | チリホトリン・ジ・コナジール・サリン・ジ・コナジール | シンジェンタジャパン株式会社     | H. 25. 1. 1 |
|          |                 | ケミプロオプティガード20EC     | "           | A-5384 | "                          | ケミプロ化成株式会社         | "           |
|          |                 | ケミホルツオプティガード20EC    | "           | A-5385 | "                          | オースンケミテック株式会社      | "           |
|          |                 | オプティガード20EC「ES」     | "           | A-5387 | "                          | 住化エンビロサイエンス株式会社    | "           |
|          |                 | モクボ-オプティガード20EC     | "           | A-5388 | "                          | 大日本木材防腐株式会社        | "           |
|          |                 | 木部用天然ビレトリンMC「ES」    | 平 20. 1. 1  | A-5395 | ビ・トリン・サリン・コナジール            | 住化エンビロサイエンス株式会社    | H. 23. 1. 1 |
|          |                 | ミケプロック乳剤(木部処理用)「AC」 | 平 20. 7. 1  | A-5396 | ジ・ナリリン・F-69                | 三井化学アグロ株式会社        | H. 23. 7. 1 |
|          |                 | ミケプロック乳剤(木部処理用)     | "           | A-5397 | "                          | 三井化学アグロ株式会社        | "           |
|          |                 | 白アリミケプロック           | "           | A-5398 | "                          | 株式会社吉田製油所          | "           |
|          |                 | ラロール乳剤「ES」          | "           | A-5399 | ジ・ナリリン・サリン・コナジール           | 住化エンビロサイエンス株式会社    | "           |
|          |                 | ララップMC-A木部処理剤「ES」   | "           | A-5400 | ジ・フェントリン・ジ・コナジール           | 住化エンビロサイエンス株式会社    | "           |
|          |                 | ララップMC木部処理剤         | "           | A-5401 | "                          | 住友化学株式会社           | "           |
|          |                 | アリビレス20WSE          | 平 21. 1. 1  | A-5402 | ビ・フェントリン・サリン・コナジール         | エフエムシー・ケミカルズ(株)    | H. 24. 1. 1 |
|          |                 | ニチノアーアリビレス20WSE     | "           | A-5403 | "                          | 日本農薬株式会社           | "           |
|          |                 | しろあり御用水性            | 平 20. 1. 1  | A-5404 | ベ・ホルトリン・ジ・コナジール            | 岩崎産業株式会社           | H. 23. 1. 1 |
|          |                 | 木部用キクトップMC          | 平 21. 7. 11 | A-5405 | ブ・ホルトリン・サリン・コナジール          | 住化エンビロサイエンス株式会社    | H. 24. 7. 1 |
|          |                 | シロネン木部用水性乳剤         | "           | A-5406 | ジ・ナリリン・サリン・コナジール・IF-NR     | 大日本除蟲菊株式会社         | "           |

表 3.2 日本木材保存協会の認定薬剤リスト(d)

社団法人日本木材保存協会認定 木材保存剤 (3)

| 品 目 | 用 途 | 製 品 名          | 認定年月日       | 認定番号   | 主 成 分                    | 認定を受けた者           | 次期更新期日      |
|-----|-----|----------------|-------------|--------|--------------------------|-------------------|-------------|
|     |     | ケミプロシノン木部用水性乳剤 | "           | A-5407 | "                        | ケミプロ化成株式会社        | "           |
|     |     | FTSララップMC木部処理材 | 平 22. 1. 1  | A-5409 | ジフェトリン・ジブ・ロコナゲル          | アキア・ト・タルバタ株式会社    | H. 25. 1. 1 |
|     |     | タケロックSP20W     | "           | A-5410 | クロチニジン・IPBC・ブ・ロコナゲル      | 日本エンバ・イカシ油株式会社    | "           |
|     |     | ニッサンラロール乳剤     | "           | A-5411 | ジ・テラジ・ヘチコナゲル             | 兼松日産農林株式会社        | "           |
|     |     | アリアアリンロールTC    | 平 19. 9. 3  | A-5413 | チアトキム・ジブ・ロコナゲル・IPBC      | 大日本木材防腐株式会社       | H. 22. 7. 1 |
|     |     | サモックス20WE      | "           | A-5414 | "                        | シンジェンタジャパン株式会社    | "           |
|     |     | ケミプロサモックス20WE  | "           | A-5415 | "                        | ケミプロ化成株式会社        | "           |
|     |     | エバーウッド乳剤HP30   | "           | A-5416 | ベ・ルトリン・ヘチコナゲル            | 住化エンビロサイエンス株式会社   | "           |
|     |     | ハチクサンME        | 平 21. 9. 14 | A-5422 | イダ・クロア・リト・ジブ・ロコナゲル・IP-NR | バイエルクロップサイエンス株式会社 | H. 24. 7. 1 |
|     |     | ハチクサンME/cp     | "           | A-5423 | "                        | ケミプロ化成株式会社        | "           |
|     |     | 水性白アリスーパーE x   | "           | A-5424 | チアトキム・ジブ・ロコナゲル・IPBC      | 株式会社吉田製油所         | "           |

表 3.3 木材保存剤の有効成分及び協力剤リスト

| 有効成分名      | 英語名                                    | 処理法 |    |    |
|------------|----------------------------------------|-----|----|----|
|            |                                        | 表面  | 注入 | 接混 |
| サンプラス      |                                        | ○   |    | ○  |
| S-421      |                                        | ○   |    | ○  |
| イミダクロプリド   | imidacloprid                           | ○   | ○  | ○  |
| IPBC       |                                        | ○   |    | ○  |
| OPP        | o-phenylphenol                         |     |    | ○  |
| エトフェンプロックス | Etofenprox                             | ○   | ○  | ○  |
| シラフルオフェン   | Silafluofen                            | ○   | ○  | ○  |
| アセタミプリド    | Acetamiprid                            |     |    | ○  |
| シプロコナゾール   | Cyproconazole                          | ○   |    | ○  |
| シフェノトリン    | Cyphenothrin                           | ○   |    | ○  |
| IF-1000    |                                        |     |    | ○  |
| ジノテフラン     | Dinotefuran                            | ○   |    | ○  |
| F-69       |                                        | ○   | ○  | ○  |
| ナフテン酸銅     |                                        | ○   | ○  |    |
| ナフテン酸亜鉛    |                                        |     | ○  |    |
| DDAC       | Dimethyldiethylammonium chloride       |     | ○  |    |
| BKC        | Dialkyldimethylbenzylammonium chloride |     | ○  |    |
| バーサチック酸亜鉛  |                                        |     | ○  |    |
| ペルメトリン     | permethrin                             | ○   | ○  |    |
| テブコナゾール    | Tebconazole                            |     | ○  |    |
| ホウ酸        | boric acid                             |     | ○  |    |
| トミサイドGS    |                                        |     | ○  |    |
| DMPAP      |                                        |     | ○  |    |
| ビフェントリン    | Biphenthrin                            | ○   |    |    |
| IBTE       |                                        | ○   |    |    |
| MGK264     |                                        | ○   |    |    |
| BDCP       | 4-Bromo-2,5-dichlorophenol             | ○   |    |    |
| クロチアニジン    | Clothianidin                           | ○   |    |    |
| チアメトキサム    | Thiamethoxam                           | ○   |    |    |
| イソチアゾリン    |                                        | ○   |    |    |
| ベルメトリン     | Permethrin                             | ○   |    |    |
| プロピコナゾール   | Propiconazole                          | ○   | ○  |    |
| トラロメトリン    | Tralomethrin                           | ○   |    |    |
| チアベンダゾール   | Tiabendazole                           | ○   |    |    |
| ピレトリン      | Pyrethrin                              | ○   |    |    |
| ヘキサコナゾール   | Hexaconazole                           | ○   |    |    |
| プラレトリン     | Prallethrin                            | ○   |    |    |
| IF-NR      |                                        | ○   |    |    |

### 3.4 結論と今後の課題

木材保存剤有効成分を促進劣化環境におくことで、長期間使用した保存処理木材に含まれる木材保存剤の残存量を予測できる可能性が示唆された。また、実験には木材抽出成分量が少ない辺材部を使用するのが適していることが示唆された。

一方、木材保存剤は認定薬剤だけをとっても非常に数が多いことから、各製品を個別に分析することは非現実的であり、有効成分を評価するのが現実的であると結論された。

本年度は分析を簡単にするために予め木粉にした試料に木材保存剤有効成分を添加して試験をおこなったが、より実際に即した形状で試験をおこなうことが必要である。

有効成分によっては、シス、トランスやR、Sなどの立体異性が存在し、分析が非常に難しいものもあることが予想されるため、重要かつ分析が容易なものから試験を実施する。



## 第4章 新構法住宅および中古住宅の健全度の検証

### 4.1 目的

現代木造住宅に適用されている新構（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）に関する実態調査を実施し、これらの耐久性能を明らかにする。

### 4.2 調査方法等

住宅メーカーが所有する実態調査報告（実験住宅等における壁体内等の温湿度や木材含水率等の測定記録を含む）を基に、新たな構（工）法に関する事故例や改修例等を収集整理し、それらの耐久性能等について検討する。なお、調査に際しては、住宅メーカー（日本木造住宅産業協会、ツーバイフォー建築協会、プレハブ建築協会、日本建築士事務所協会連合会等）だけではなく、木材保存協会や白対協関連の各メーカーからの情報等も合わせて収集整理を行う。さらに、可能であれば、住宅支援機構における優良中古一戸建て等の住宅融資の際に実施されている評価基準を基にした調査判定結果も活用する。

#### 4.2.1 調査対象の構（工）法等

以下に示すような新構（工）法等に関する現状での問題点等についてヒアリング調査を行った。

- (1) 外断熱
- (2) 高気密高断熱
- (3) ベタ基礎
- (4) 床下・小屋裏換気
- (5) 壁体通気
- (6) 金物
- (7) 維持管理手法（点検周期、点検箇所、点検方法（所有者・専門業者）、改修方法等）

#### 4.2.2 調査項目

上記調査対象項目の（1）から（7）に関しては以下の内容について調査を実施した。なお、調査に当たっては、実態調査シート（1）から（3）に示すような調査票を作成し、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こととした。さらに、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。

- (1) 構（工）法、仕様
- (2) 温湿度、木材等の含水率等の計測記録
- (3) 維持管理（点検）方法等
- (4) 事故例（事故発生原因等を含め）
- (5) 改修例（事故発生原因等の除去方法、改修方法等）

#### 4.2.3 調査対象者及び調査時期

ヒアリング調査は、表 4.1 に示すように住宅生産者（大手ハウスメーカー、工務店等）及びその他の組織（公益法人、業界団体、専門的な調査会社等）を対象に行い、今回は以下の 5 社に対し実施した。

表 4.1 調査対象者一覧

|     | 対象者名      | 特徴       | 調査日      |
|-----|-----------|----------|----------|
| A 社 | 大手ハウスメーカー | 木造軸組工法   | H22/1/18 |
| B 社 | 大手ハウスメーカー | 枠組壁工法    | H22/1/12 |
| C 社 | 中堅工務店     | 高耐久仕様を採用 | H22/1/12 |
| D 社 | 中堅工務店     | 一般仕様     | H22/1/22 |
| E 社 | 調査専門会社    | シロアリ防除   | H22/1/22 |

#### 調査実施者

ヒアリング調査は、TG 委員、コンサルタント及び事務局の三者が立ち会うことを基本として実施した。メンバーは以下の通り（敬称略）。

|         |                                          |
|---------|------------------------------------------|
| TG 委員   | 佐藤雅俊、中島正夫、齋藤宏昭、槌本敬大                      |
| コンサルタント | 大倉靖彦、山口克己（（株）アルセッド建築研究所）<br>北瀬幹哉（環デザイン舎） |
| 事務局     | 津田千壽（建築住宅性能基準推進協会）<br>竹内孝常（（社）日本木材保存協会）  |

表 4.2 現代木造の耐久性能に関する事態調査シート (1)

|      |            |                                                                                                                                |                   |
|------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 調査概要 | ヒアリング対象事業者 | 事業者名                                                                                                                           | 担当者名              |
|      | ヒアリング年月日   | 2010年           月           日                                                                                                  | : ~ :           : |
|      | ヒアリング実施者   |                                                                                                                                |                   |
|      | 関連資料       | <input type="checkbox"/> 事故調査報告書 <input type="checkbox"/> 設計図書 <input type="checkbox"/> その他(                                 ) |                   |

## I 基本事項

|          |     |             |                                                                                                                                                                                                                           |
|----------|-----|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 対象建物・敷地等 | 1.1 | 対象住宅所在地     |                                                                                                                                                                                                                           |
|          | 1.2 | 対象住宅の種別     | <input type="checkbox"/> 注文住宅 <input type="checkbox"/> 分譲住宅 <input type="checkbox"/> 賃貸住宅                                                                                                                                 |
|          | 1.3 | 構造・工法       | <input type="checkbox"/> 木造軸組 <input type="checkbox"/> 2×4 <input type="checkbox"/> 木質プレハブ <input type="checkbox"/> その他( )                                                                                                |
|          | 1.4 | 階数          | 地上( 階) 地下( 階)                                                                                                                                                                                                             |
|          | 1.5 | 延べ床面積       | ( m <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                        |
|          | 1.6 | 敷地面積        | ( m <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                        |
|          | 1.7 | 竣工年         | 西暦( 年) ⇒築後経過年数( 年)                                                                                                                                                                                                        |
|          | 1.8 | 公的融資の有無     | <input type="checkbox"/> 金融支援機構(金融公庫)による融資有 <input type="checkbox"/> 無                                                                                                                                                    |
|          | 1.9 | 新しい構(工)法の採用 | <input type="checkbox"/> 外断熱 <input type="checkbox"/> 高断熱高気密 <input type="checkbox"/> 外壁通気 <input type="checkbox"/> 床下・小屋裏換気 <input type="checkbox"/> 金物 <input type="checkbox"/> べた基礎<br><input type="checkbox"/> その他( ) |

## II 事故、劣化事象、改修等の概要

|         |     |             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------|-----|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 事故・劣化概要 | 2.1 | 事故の分類・発生部位  | <input type="checkbox"/> 木部の腐朽 ⇒ 部位[ <input type="checkbox"/> 床組 <input type="checkbox"/> 軸組 <input type="checkbox"/> 小屋組 <input type="checkbox"/> その他 (箇所) ]<br><input type="checkbox"/> 蟻害 ⇒ 部位[ <input type="checkbox"/> 床組 <input type="checkbox"/> 軸組 <input type="checkbox"/> 小屋組 <input type="checkbox"/> その他 (箇所) ]<br><input type="checkbox"/> その他 ( ) |
|         | 2.2 | 事故発見時期      | 西暦(                  年) ⇒ 築後経過年数(                  年)                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|         | 2.3 | 事故の想定発生原因   | <input type="checkbox"/> 想定外の現象 <input type="checkbox"/> 住まい方の問題 <input type="checkbox"/> 維持管理不足 <input type="checkbox"/> 設計不良 <input type="checkbox"/> 施工不良<br><input type="checkbox"/> その他 ( )                                                                                                                                                                |
|         | 2.4 | 事故発見の経緯     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|         | 2.5 | 劣化要因        | <input type="checkbox"/> 雨水浸入 <input type="checkbox"/> 結露 <input type="checkbox"/> シロアリ <input type="checkbox"/> 設備関連 <input type="checkbox"/> その他 ( )                                                                                                                                                                                                          |
| 改修等の概要  | 2.6 | 劣化事象等の内容    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|         | 3.1 | 事故発生原因の除去方法 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|         | 3.2 | 改修等の内容      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

### III 住まい方等の概要

— 47 —

表 4.4 現代木造の耐久性能に関する事態調査シート (3)

## IV 劣化対象部位・事象等に関する詳細情報

|          |     |         |                                                                                                                                                                                                                 |  |
|----------|-----|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 立地<br>関連 | 6.1 | 宅地の種類   | <input type="checkbox"/> 既存宅地 <input type="checkbox"/> 造成宅地(造成後 年) <input type="checkbox"/> 不明                                                                                                                  |  |
|          | 6.2 | 宅地の概況   | <input type="checkbox"/> 高台・丘陵地 <input type="checkbox"/> 市街地 <input type="checkbox"/> 畑地/ <input type="checkbox"/> 谷地 <input type="checkbox"/> 水田 <input type="checkbox"/> 沼地跡 <input type="checkbox"/> 地下水位が高い |  |
|          | 6.3 | 宅地周辺の概況 | <input type="checkbox"/> 高密度 <input type="checkbox"/> 中密以下 [隣棟間隔 m程度(最小)]                                                                                                                                       |  |
|          | 6.4 | シロアリ地区  | <input type="checkbox"/> ヤマトシロアリ地区 <input type="checkbox"/> ヤマトシロアリ地区・イエシロアリ地区 <input type="checkbox"/> その他( )                                                                                                  |  |
|          | 6.5 | その他     |                                                                                                                                                                                                                 |  |

|           |                     |               |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                          |  |
|-----------|---------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 各部<br>仕様等 | 7.1                 | 基礎・地盤         | 基礎形式                                                                                                        | <input type="checkbox"/> べた基礎 <input type="checkbox"/> 布基礎 <input type="checkbox"/> 独立基礎 <input type="checkbox"/> その他( )                                                                 |  |
|           |                     |               | 基礎高さ                                                                                                        | <input type="checkbox"/> 地盤面からの基礎高さ( mm)                                                                                                                                                 |  |
|           |                     |               | 地盤の防蟻                                                                                                       | <input type="checkbox"/> コンクリートによる(厚さ mm、基礎取合い部の措置 )                                                                                                                                     |  |
|           |                     |               |                                                                                                             | <input type="checkbox"/> 土壌処理(仕様 ) <input type="checkbox"/> 防蟻シート(仕様 )                                                                                                                   |  |
|           | 7.2                 | 床下            | 床下高さ                                                                                                        | 有効高さ( mm)                                                                                                                                                                                |  |
|           |                     |               | 床下点検口                                                                                                       | 設置方法( )                                                                                                                                                                                  |  |
|           |                     |               | 床下換気                                                                                                        | <input type="checkbox"/> 基礎開口(寸法 ) <input type="checkbox"/> ねこ土台(仕様 )                                                                                                                    |  |
|           |                     |               | 床下防湿                                                                                                        | <input type="checkbox"/> コンクリート(厚さ mm) <input type="checkbox"/> 防湿フィルム(厚さ mm、仕様 )                                                                                                        |  |
|           | 7.3                 | 木部の防腐防蟻       | 薬剤処理                                                                                                        | <input type="checkbox"/> 有(方法 、範囲 、時期 ) <input type="checkbox"/> 無                                                                                                                       |  |
|           | 7.4                 | 外壁            | 仕上げ材                                                                                                        | <input type="checkbox"/> モルタル <input type="checkbox"/> サイディング <input type="checkbox"/> 板張り(縦・横・下見張) <input type="checkbox"/> タイル張 <input type="checkbox"/> その他( )<br>※軒庇による雨水保護範囲外の仕様( ) |  |
|           |                     |               | 通気措置                                                                                                        | <input type="checkbox"/> 有(通気層厚 mm、通気胴縁 、防風材 ) <input type="checkbox"/> 無                                                                                                                |  |
|           |                     |               | 下地面材                                                                                                        | <input type="checkbox"/> ラス下地板 <input type="checkbox"/> 構造用合板 <input type="checkbox"/> シーリングボード <input type="checkbox"/> その他( )                                                          |  |
|           |                     |               | 開口部                                                                                                         | 仕様( ) 防水納まり( )                                                                                                                                                                           |  |
|           |                     |               | シーリング材                                                                                                      | 品質、処理方法( )                                                                                                                                                                               |  |
|           |                     |               |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                          |  |
|           | 7.5                 | 小屋裏           | 換気措置                                                                                                        | <input type="checkbox"/> 有(給気の方法 、排気の方法 ) <input type="checkbox"/> 無                                                                                                                     |  |
|           |                     |               | 小屋裏点検口                                                                                                      | 設置方法( )                                                                                                                                                                                  |  |
|           | 7.6                 | 屋根            | 屋根形状                                                                                                        | 勾配( ) / <input type="checkbox"/> 切妻 <input type="checkbox"/> 寄棟 <input type="checkbox"/> 入母屋 <input type="checkbox"/> 片流 <input type="checkbox"/> 陸屋根 <input type="checkbox"/> その他( )    |  |
|           |                     |               | 葺き材                                                                                                         | <input type="checkbox"/> 粘土瓦 <input type="checkbox"/> セメント瓦 <input type="checkbox"/> 金属板 <input type="checkbox"/> スレート <input type="checkbox"/> その他( )                                   |  |
|           |                     |               | 下地材等                                                                                                        | 下ぶき材・下地材( )<br>※瓦葺きにおける排水方法( )                                                                                                                                                           |  |
|           |                     |               | 通気措置                                                                                                        | <input type="checkbox"/> 有(通気層厚 mm、通気胴縁 、防風材 ) <input type="checkbox"/> 無                                                                                                                |  |
|           |                     |               | 軒・けらば                                                                                                       | 軒の出寸法( mm) けらばの出寸法( mm)                                                                                                                                                                  |  |
|           |                     |               | 樋                                                                                                           | 形式、コーナー部の処置( )                                                                                                                                                                           |  |
|           |                     |               |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                          |  |
|           | 7.7                 | 陸屋根・<br>バルコニー | 勾配・防水工法                                                                                                     | 勾配( ) / <input type="checkbox"/> FRP防水 <input type="checkbox"/> シート防水 <input type="checkbox"/> その他( )                                                                                    |  |
|           |                     |               | 手すり壁                                                                                                        | <input type="checkbox"/> 開口有 <input type="checkbox"/> 開口無 防水措置( )                                                                                                                        |  |
|           | 7.8                 | 断熱構造          | 基礎                                                                                                          | <input type="checkbox"/> 外張断熱工法( <input type="checkbox"/> 外側 <input type="checkbox"/> 内側) <input type="checkbox"/> 無                                                                     |  |
|           |                     |               |                                                                                                             | 断熱材の種類・厚さ( ) 土台間との気密措置( )                                                                                                                                                                |  |
|           |                     |               | 床                                                                                                           | <input type="checkbox"/> 充填断熱工法 <input type="checkbox"/> 無                                                                                                                               |  |
|           |                     |               |                                                                                                             | 断熱材の種類・厚さ( ) 防湿材( )                                                                                                                                                                      |  |
| 外壁        |                     |               | <input type="checkbox"/> 充填断熱工法 <input type="checkbox"/> 外張断熱工法 <input type="checkbox"/> 充填断熱+外張断熱          |                                                                                                                                                                                          |  |
|           |                     |               | 断熱材の種類・厚さ( ) 防湿材( )                                                                                         |                                                                                                                                                                                          |  |
|           |                     |               | ※外張の場合 ⇒断熱材の継目の気密措置( )                                                                                      |                                                                                                                                                                                          |  |
| 天井・屋根     |                     |               | <input type="checkbox"/> 充填断熱工法(天井) <input type="checkbox"/> 外張断熱工法(桁上) <input type="checkbox"/> 外張断熱工法(屋根) |                                                                                                                                                                                          |  |
|           | 断熱材の種類・厚さ( ) 防湿材( ) |               |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                          |  |
|           | 気流止め                | 措置方法( )       |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                          |  |
| 7.9       | その他<br>(施工管理の方法等)   |               |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                          |  |

### 4.3 結果と考察

現時点における各社毎のヒアリング結果の概要を以下に報告する。

#### (1) A社（大手ハウスメーカー、木造軸組工法）

南関東地域に建設された築後 20 年以上が経過した 3 物件（木造軸組工法）について実施された、耐久性調査に関する情報の提供があった。耐久性調査の主な項目は、i）内外装仕上げの損傷の状態、ii）構造材・下地材の腐朽・漏水痕・蟻害の有無、iii）基礎、モルタル等のサンプル採取による性能確認試験、iv）固有振動測定であった。

また、リフォーム物件における建物解体時に確認された劣化事象等の事例の提供があった。

木部の腐朽については、特に湿式工法による在来浴室周りにおける事例が報告された。  
＜依頼追加資料＞

①土台の仕様と防腐防蟻処理の方法、②事故物件に係る保証基準や点検に関する資料  
以下、ヒアリング結果の概要を示す。

#### ①基礎

- ・商業地と住宅地の物件を比べると、コンクリートの中性化は商業地の方が進行していた。
- ・出隅部や換気口周りにクラックがみられたが耐久性に大きな影響を与えるほどではない。

#### ②屋根

- ・築 20 年の物件の化粧スレート屋根はすべての面の塗装劣化が激しく、全面に塗膜剥離が発生し、北・西面には藻の発生もみられた。

#### ③外壁

- ・築 20 年の物件ですべての面においてモルタルのクラックがみられた。特に開口部や庇周りに多く発生していた。壁体内に漏水痕は確認されなかった。木部の腐朽はみられなかった。
- ・開口部の上部には屋根庇、窓庇の設置を原則必須としており、雨漏れの例はみられない。
- ・他社施工のリフォーム物件で、雨水が外壁に浸入し壁体内一面に黒カビが発生していたものがある。

#### ④構造用木材

- ・築 22 年と 25 年の物件で、在来浴室と洗面脱衣室間の土台に腐朽がみられた。
- ・築 25 年の物件では浴室と廊下間の土台にも腐朽がみられた。これらの腐朽は、浴室床面が土台天端よりも低いため、立ち上がり隅角部から浸水したことによると考えられる。
- ・上記以外の土台、柱、梁、筋かい、ラス板、束等の木材に、腐朽や蟻害はみられなかった。
- ・他社施工のリフォーム物件では、浴室の出窓下部に木部の腐朽がみられた。
- ・こうした浴室周りの不具合については、浴槽に多量の湯を貯め浴室に湯を撒き散らす、浴室から濡れたまま脱衣室に出て床面を濡らすといった、使い方の問題が関係しているとも考えられる。

#### ⑤シロアリ被害

- ・現場でつくった湿式工法による浴室の出入り口周りの被害がみられた。

#### ⑥住まい方

- ・気密住宅で開放型ストーブ（灯油又はガスのファンヒーター）を使っていたことでの結露等の劣化事例がある。

## (2) B社（大手ハウスメーカー、木造枠組壁工法）

枠組壁工法の住宅について、これまで比較的一般的にみられた事故や劣化事象等の概要についての情報を得た。

### <依頼追加資料>

①個別の事故物件情報、②保証基準、点検に関する資料

以下、ヒアリング結果の概要を示す。

#### ①点検、再保証

- ・10年目以降の再保証は有償メンテを受けることが条件である。点検は無償だがメンテナンスは有償で平均費用は約125万円（約10万円／年）。再保証の契約割合は40%強。
- ・10年時の補修措置としては、外壁や屋根の再塗装、コーキング打ち直し、防蟻再処理を行っている。
- ・10年点検では補修工事が必要でない場合も多く、今までの事例から築後15年頃に点検補修を行う方が意味あるのではないかと考えている。

#### ②シロアリ被害

- ・福岡県の島にある築10年ほどの充填断熱工法の物件でシロアリの被害があり、3年前に調査を行った。築5～10年の間にシロアリ被害があったことになる。
- ・ウッドデッキに隠れている基礎部分に蟻道が形成されていた。蟻道が見えなかったために被害が拡大し、2階の床まで面的にやられていたので、建て替えを行った。土台廻り等の部分的な被害なら部分補修により対応できるが、被害が全体に及んでいたこと、会社の信用確保のための経営的な判断により、瑕疵保証により建て替えるということになった。
- ・本物件は別荘用途であり、間欠的な利用で維持管理も不十分であったことも影響した。
- ・基礎断熱はシロアリ被害が怖いので採用していない。床断熱としている。

#### ③雨漏り劣化

- ・事例例では雨漏れが最も多い。
- ・屋根より開口部まわりが多い。特に台風のとくに多い。
- ・開口部まわりでは、サッシつばと合板の防水テープ（プチルテープ）の不完全な接着が原因で雨水浸入する。施工時に合板が濡れているとテープが付着しにくく、材料を乾かした状態にする施工管理が求められる。
- ・外壁と軒天の接点のとめていない部分、サッシとモルタルの接点はどうしてもすいてしまうので処理しきれず、水が入ってしまうことがある。瑕疵の対象ではないがシーリングなどを行う。

#### ④バルコニー周りの劣化

- ・バルコニーの笠木から雨水の浸入があるので、笠木下に通気がとれる納まりとした。
- ・手すり壁部分に開口を設け格子が入る等の複雑な形にすると、雨水が浸入しやすい。
- ・バルコニー床はこれまでFRP防水としていたが、シンナー臭の問題でウレタン防水に変更した。
- ・陸屋根は要望があるが、防水より小屋裏換気の面で課題があり行っていない。

#### ⑤床下・地盤関係の劣化等

- ・床下の腐朽はほとんどない。
- ・局地的に夏型の結露が発生することがある。夏場の放射冷却による基礎結露はねこ土台などの構造的な問題ではなく、まわりに緑が多く水蒸気圧が高い鎌倉などの地域に見られるようである。
- ・防蟻処理は薬剤を使用するので住まい手がやりたがらないことが多い。べた基礎なので立ち上がり部分にクラックが出た場合防蟻剤入りコーキングで処理する。

#### ⑥金物劣化

- ・防腐処理の薬品で錆が発生したことがあった。アンカーボルトは大丈夫だった。

#### ⑦断熱施工

- ・外断熱は採用していない。複雑な形状の建物に対し施工精度を確保しにくく、数年後に問題が出てくるのではないか。出窓などは水受けになる。

#### ⑧浴室周り

- ・2F浴室の場合は床組の防腐処理を行う。断熱材に水が含むと厄介なので断熱はしない。

#### ⑨外壁

- ・外壁はモルタルが圧倒的に多い。サイディングは不具合が生じることが多く、近年モルタルが標準仕様に戻った。

#### ⑩要望事項等

- ・木部の防腐防蟻にホウ酸を使えるようにしてほしい。安全面以外に、耐火性能がある
- (3) C社(中堅工務店、高耐久仕様)

木造軸組工法の住宅について、築3年と10年のモデルハウス解体状況や比較的一般的にみられた事故や劣化事象等の概要についての情報を得た。

#### <依頼追加資料>

- ①事項により改良を行った工法等の情報、②保証の内容、③リフォーム関係の工事項目以下、ヒアリング結果の概要を示す。

#### ①定期点検

- ・点検シートのフォーマットは年ごとに異なり、10年目の点検から専門部署が行う。
- ・他社のものでもあまりないが、土台周りの劣化、腐朽菌の発生のような例はある。
- ・自社物件では昭和53年築が最も古い。当時の展示場を調べたところ、合板の接着不良があった。また、構造用合板ではなくただのコンパネを使っていた。
- ・足場の費用が一番かかる問題がある。瓦で200万円。スレート屋根の塗装で300万円。

#### ②シロアリ被害

- ・防腐防蟻処理(ACQ)した柱、下地材を1階のすべてに採用している(⑨参照)。
- ・車庫の水切り下地の防腐処理をしていなかった部材に発生した。
- ・浜名湖近くの物件の玄関の框に発生した例がある。
- ・自社物件では建て替えるまでの事故はない。
- ・他社物件を建て替えた例はあり、そこから様々な対策を行っている。
- ・築15、20年で在来浴室まわりの被害が多い。

#### ③雨漏り劣化

- ・20年前までは雨漏りが一番多かった。対策を専門的に取組み、ほとんどなくなった。



- ・サッシの枠相互の取り付け部に欠陥がある製品もあった。サッシを下地にかぶせれば大丈夫と思ったが不十分でメーカーと共同で開発を行った。サッシ周りが切れても下地部分で対応している。

#### ④バルコニー周りの劣化

- ・設計ルールとして、既存の調査から判断しルーフバルコニーはやらないことにしていた。後付けのアルミバルコニーとするか、どうしても必要な場合は完全なルーフバルコニーでなく、外壁から外に出る部分をつくってその部分で樋から水を流すことにした。
- ・シート防水をやっていたときに接着が切れて水が浸入したことがあった。それ以降、造船の技術者で加工できる技術者も多いので半硬質の FRP とした。硬質だと割れの心配があった。グラスファイバーも 1 プライでは隙間だらけだったので 2 プライとした。
- ・トップコートは行い、10 年目点検で劣化調査を行っている。

#### ⑤床下劣化関係

- ・去年までねこ土台はやらなかった。従来の換気口で 200×400 ミリの大きさ。
- ・長期優良住宅では基礎幅を 150 ミリから 165 ミリにした。基礎考えるとねこ土台。補強筋がもたないということで基礎梁的にする要因でねこ土台にした。
- ・当初ねこ土台の事故を聞いた。換気不足で床が濡れた。蜘蛛の巣で換気口がふさがれ、その上水切りで隠されメンテナンスできないことが問題だった。
- ・床下の点検システムを構築している。2、5、10 年の点検を行うことになっている。また、換気口の形状にオリジナルの工夫がある。基礎高さも 450～600 ミリとしている。階段が増える課題はある。

#### ⑥断熱気密施工

- ・平成 12 年から高断熱高気密を始めた。環境試験室で他社の仕様を調べると結露するものもあった。
- ・単体で見れば性能が出るが、6 面の取り付けの部分で結露が発生しやすい。設計図書であいまいな部分に結露が多かった。
- ・外断熱はやってはいけない。壁と屋根の部分があいまいで、設計も施工も甘く、断熱欠損が集中してしまう。テープでは止まらないジョイント結露がみえてくる。
- ・外壁の穴あけ時に断熱材を欠損させる等の問題があり、家電量販店のエアコン業者は入れないよう注意喚起している。防犯システムも同様である。
- ・夏型の結露はどれくらいおこっているか。実験結果だが、アルミサッシ周りに起こる。

#### ⑦浴室

- ・ユニットバスとし、断熱材を 6 面パッケージしたものを採用している。

#### ⑧屋根周り

- ・棟換気は 80 年代半ばにやったが、雨水が浸入するのでやめた。軒裏は有孔ボード（安価である）。住宅金融支援機構の 1/300 という換気基準を使っている。

#### ⑨木材防腐処理

- ・木部の防腐処理は昭和 58 年から通し柱を含め 1 階部分はすべて CCA を行っていた。20 年前くらいから ACQ に切り替え 1 階柱、土台などへ加圧処理を行っている。合板、面材も加圧でやっている。軒先周りや通気胴縁なども行っている。
- ・ACQ の耐久性は、事故などで水がかかからなければ半永久的である。

- ・構造部分はシロアリの被害がないが、無処理の玄関かまちが食べられた。築7年。コンクリートの打継ぎの部分から出てきた。そこへペレットを入れるようになった。

#### ⑩金物

- ・モデルハウスの金物が木材の防腐剤の影響で錆びていた。しかし、錆の進行は3年、10年のどちらもそれほどでもない。

#### ⑪外壁

- ・85年からはサイディングの割合が100%。それまではラスモルタルだった。縦胴縁による通気層の確保と現場の施工管理性、耐震性を考慮した結果である。

#### (4) D社（中堅工務店、一般仕様）

建設コストに配慮された工法や仕様の選択及び劣化事象等の概要についての情報を得た。

#### <依頼追加資料>

- ①施工検査マニュアル、（雨仕舞納まり、構造管理方法）②断熱の標準おさまり③メンテナンスチェックリスト④ルーフバルコニーのおさまり  
以下、ヒアリング結果の概要を示す。

#### ①業務概要

- ・年間500棟
- ・坪単価は、建て売りは60から65万円。注文は80万円
- ・業務エリアは一都四県 神奈川、千葉、埼玉、茨城の南部

#### ②施工管理・検査

- ・住宅性能表示制度が施行された2000年以降、現場における施工管理の徹底が進み、目立ったクレームはない。
- ・住宅の外観は比較的単純で複雑な納まりを避けることなどにより、雨漏り等のクレームが減ってきている。
- ・設計施工で重視している部分は、下屋と壁の取り合いの部分、窓の下と防水の切り張り部分、棟違いによる破風の小さい部分、バルコニーの出入口下、笠木の部分である。
- ・築6、7年経過すると雨だれで、バルコニー笠木を止めるコーチボルトから水が入ってくることもあり、注意している。
- ・雨仕舞については防水紙の重ねしろ、構造については釘のピッチを厳格に検査している。
- ・サッシ廻りは防水テープに過信し過ぎると危険である。2×4用の両面テープを使っていた時は特に冬季に施工した物件に事故が多かった。アスファルトフェルトを張る時にしわが出来やすく、そこが水みちになるため、それ以来両面テープはやめた。サッシつばの防水はアクリルテープを使っている。
- ・ルーフバルコニーは、保証機構の設計施工基準が明確でないこと、また、省エネルギー基準での断熱措置の扱いが明確でないことにより採用が少なくなった。今は、上階外壁面に下がり壁をつくり、断熱層、防湿層の連続性を確保するようにした。また、バルコニーの下に点検口はつくっていないが、壁から一枚目のところはビスで外せるようにしている。

#### ③敷地条件と劣化

- ・密集地より郊外の方が外壁に風が吹きつけられやすいので、雨漏りが多い。
- ・密集地の外壁廻りの方が湿気はたまりそうに考えられるがコケは生えていない。

#### ④外壁

- ・外壁はコストを抑えるために通気層を設けずモルタル直塗りとしている。建て売りも分譲も同じ。モルタルにクラックが生じる恐れがあるので通気層を取らないようにしている。
- ・モルタル直塗りだからといって合板が腐ったことはないと思う。今まで直塗りをベースに納まりなど決めていた。省エネルギー対策等級4をとるときだけ通気層を取る。
- ・防湿材には以前は別張り防湿フィルムを使っていたが、断熱材に付属した耳付きの防湿フィルムでよくなったのでそれを使っている（耳をタッカーで止めただけで、テープ止めはしない）。
- ・防水層にはアスファルトフェルト（20 kg 同等品）、透湿防水シートは直塗りできないし、タッカーを打ったときに漏水の心配がある。
- ・外壁下地は OSB を使っている。北米産のものは湿気に弱く（木口から水が浸入する）、1、2 年後に外壁が膨らんだ事故があったため、クロノボール（ポーランド産）を使っている。北欧産は防水ワックスをかけているものもあり、品質が安定している。ラージ合板を使わないのはコストの問題。
- ・OSB は一日半で張り、また同一日にフェルトを張って、雨にさらさないように工程管理している。
- ・手間をかけずに、クレームなくやれるかを考えている。すぐに防水を張るなど。バルコニー廻りの下端は水を吸うから気をつけるように、現場監督レベルではやっている。
- ・仕上げは最近、弾性系のリシン吹き付けにかわってきている。（透湿性は低い）耐用年数は7～8年で洗浄と塗替えが必要となる。

#### ⑤換気

- ・床下については、初期の基礎コンクリートから湿気を含む強い臭いが発生し、室内への流入を避けるために、屋外へ強制換気して床下を負圧にしている。台所の換気扇をまわしても床下から流入しない様に確認している。
- ・小屋裏については、軒裏に有孔板を用いて換気している。天井断熱は、温暖地だけが対象なので、のせているだけだが、問題はまだない。

#### ⑥結露被害

- ・築1年目の住宅で、北側の母屋下がり屋根断熱になるような所に、内部結露の発生がみられた。屋根面の通気が十分に確保できず、内部の湿気が抜けなくてしみがでてくる。軒裏には通気経路をとっているが、グラスウールがふくらみ通気経路をふさいでしまう。冷気が屋根にあたると、結露し、結露水がおちてしみがでてかびる。垂木一枚分の通気層にたまごのパッケージの様なスペーサーを入れ、防湿シートを張り対処した。こういった結露は、石油ストーブを使っていたり、24 時間換気を止めていたりする場合に生じているようである。

#### ⑦その他仕様

- ・構造材に欧州赤松又はスプリース、土台は米ひばで薬剤現場処理（地面から1mの高さの範囲）。床は24mmのラージを使っている。
- ・基礎はべた基礎で、内側基礎断熱工法としている。

## ⑧リフォーム工事

- ・リフォーム部門はあるが、自社物件の改修やリフォームのフォローはできていない。建て売りメーカーでは遅れているが、新築の方が経営面で有利でもあり、リフォームまで手がまわらない。
- ・新興住宅地や造成地の物件が多いこともあり、ユーザーは安価でかつ近くにある地場のリフォーム業者を利用することが多いようである。保証期間でのトラブルはほとんどない。

## ⑨保証

- ・今年の秋頃から10年延長保証を行う予定であるが、10年目における点検方法は検討中である。また、保証期間内にリフォームを行った場合の対応も検討している。

## ⑩定期点検

- ・定期点検は、地元の担当が3カ月、1年、2年、10年目に無償で行っている。床下も床下点検口から見える局所的な範囲を目視点検している。床下は有効380mmを確保し、人通孔を設けている。
- ・薬剤業者（シロアリ駆除会社）が5年目に有償（7～8万円）で希望した場合に点検を行っている。有償なので不要だというケースがほとんどである。

## ⑪住まい方とクレーム

- ・建物自体のクレームではなく種類が変わってきている。隣家の音がうるさいので何とかしてほしい、家族内の問題だが、上下階の音を何とかしてほしい、また2Fに浴室を設置した場合の水を流す音など、音についてのクレームが増えている。

## 5) E社（調査専門会社）

カンザイシロアリが活きているサンプルケースが見せられた。蟻害にあった事例の紹介と蟻害調査シートについて情報を得た。

以下、ヒアリング結果の概要を示す。

### ①カンザイシロアリ

- ・インドネシア家具から出てきたようだ。製造工程で入るのではなくあとから、組み立てラインやストック場所に入るのではないか。
- ・手に負えないが、日本の家がだめになるほどではない。食べられても断面欠損5割にはならない。木くい虫だとおもえばよい。
- ・木がたくさんあれば気ままに食べる。集中的にはない。一か所から粉が出てきていれば初期だということがいえるが、二か所だと広がっているから手に負えないだろう。
- ・家の中の環境は良いので地域関係ない。その家で生き残れば隣へ行ける。寒い地域で隣が近ければ移れる。2～11月まで羽蟻目撃されている。同じ時期に他のシロアリの羽蟻もでるので識別は難しい。
- ・生命力は強いが繁殖スピードは低い。みんな女王蟻になれる。今いる環境が危ないと思えば羽蟻になり皆飛んでいく。完全に乾燥しているところでは生きていけない。ヤマトシロアリも自分で2階に上がっていくことができる。
- ・中野区で歩いているとアメリカカンザイシロアリの糞が目視される。だしのもとのような形状。雨戸の戸袋や水切りなどにも見られた。夜寝ていたら音がすることもある。

## ②シロアリの性質

- ・日本中オーエムソーラーは大変なことになっている。基礎土間下の居心地が良い。
- ・蟻に対するバリヤがどれだけ丈夫かによるが 100%防げるわけではない。シロアリはただそこにいてただランダムに動く。小さな隙間でもシロアリがアタックすれば、また、ランダムにぶつかれば、侵入する。意図的に動くわけではない。
- ・べた基礎が悪いわけではなく、来る範囲は減っている。しかし絶対来ないわけではない。長寿命となるとメンテナンスできなければならない。
- ・陸屋根の屋上から羽蟻がついて、土があり生き残ることある、笠木から入ることもある。基礎の換気口から入って大引きに行くこともある。
- ・東京より千葉で圧倒的にヤマトシロアリが駆除しても再発生することが多い。原因は、千葉のほうがシロアリ元気。東京都と神奈川はかわらない。
- ・シロアリが活性化していても駆除方法は同じ。住い手はリスクがある地域という認識をするしかない。
- ・他地域から持ってこられてもほとんど死ぬが、何回かやっていると生き残るのもある。

## ③蟻害事例

- ・埼玉県のスーラーサーキットの家に蟻害があった。外断熱、基礎も外断熱。築7、8年。症状としては、和室の敷居に穴があいておかしいということで調べると基礎外部の発砲断熱材の中を通り基礎換気の地窓から入った。侵入経路は他に4か所あった。
- ・今はステンレスメッシュで断熱材を覆ってシロアリが断熱材に入れないようにしている。
- ・配管の結露防止の発砲スチロールを外すと蟻道あった。蟻道は唾液と糞などでできており中は高温多湿になっている。
- ・ヤマトシロアリは極端に巣を作らないが、イエシロアリはつくる。巣の中が空調しっかりできている、オーストラリアの事例などは大きい。
- ・ピットの外からセパレーターの隙間を通して入ってくる。基礎立ち上りのコーナー部分から下から入ってきた事例もある。
- ・基礎パッキン部分を狙ってきた事例がある。下から上へ。蟻道できる前にいろいろ歩き、いいところがあれば、そこへ蟻道ができる。
- ・基礎の内断熱にもできている。床は防湿コンクリート。事例は土台にクレオソート塗っているようだ。
- ・上がったところの土台が薬剤処理しているからそこを通り過ぎて行く最近の事例がある。今の薬剤忌避性がない。シロアリが食べなければ効かない。リン系、ピレスロイド系は忌避性がある。
- ・床は防湿コン、内基礎断熱。食べられて大引き食われている事例。断熱材はがすと蟻道あった。床の断熱は床レベルで行ったほうがよい。最近基礎が室内空間だから薬品使えない。
- ・2×4は被害の拡散が大きい。壁通気がない物件で窓から雨水入り、乾かないので少しでも入る被害が広がりシロアリをよんでしまう。
- ・同じ条件なら2×4のほうが蟻害にあいやすい。壁体内の空気が動かないことが課題。事故が起きると乾かない。
- ・ユニットバスの下から上がっている例もある。下を点検できないと困る。

- ・玄関の扉の枠から上へあがってくる木製の枠が蟻を呼ぶ。下の床仕上げに接する部分は切った方がよい。

#### ④シロアリ防蟻・駆除方法

- ・シロアリ侵入経路が見えること。そのバリエーションが突破されているかどうかを確認できること。
- ・セパレーターから入ってきた。コンクリート、鉄筋の隙間から入ってくる。異質のものがあると入りやすい。0.5～0.7 mmの隙間からシロアリは入ってくる。
- ・シロアリ駆除には液体散布が一番よい。どこまでも液体が入る。物理的なものは欠損かならずで。全体をやるにはコストの問題もある。ここからしか入らないとわかっていれば、そこを定期的にみて、蟻道を壊せばよい。
- ・ソーラーサーキットで提案しているのは、基礎の上5センチカットし練った薬を斜めにいれる。床下侵入は普通に目視できるようにすること。
- ・20年ものでは、玄関が最も多い。土に近い框の部分が欠点。基本的にシロアリは明るいところは歩かない。
- ・玄関の床のタイルの下を通り、框へたどりつく。基礎と仕上げモルタルの間でもシロアリが通る。異質なものが合わさる部分。外断熱でなくても通る。初期に、いろいろなことやって未来永劫なんとかしようというのは無理。
- ・新築時に防蟻処理をしておき5年頃確認できて更新できるように。発泡スチロール系断熱材は溶けたようにシロアリに食べられる。基礎外断熱やらなければ外はあまりきにしないでよい。樋の裏側からはいることもある。ウッドデッキは被害が多い。
- ・餌木をうめ、定期的に交換するのがよい。日の光、空気が動くのは嫌う。GLから30から50センチ下を基本的に動いているようだ。
- ・物理的なものを使う時は動かないかどうか確認しなければならない。シロアリがだめな温度はある。
- ・シロアリの害敵は黒アリ。くも。カビ。巣にカビはえるとだめ。シロアリを駆除するカビがあるが薬剤で駆除した方が早い。
- ・シロアリ調査や駆除で入っても住宅壊せない。仕上げモルタルに穴をあけ、断熱材に薬を入れた。孔がなければ薬を入れても出てくる。その後は経過観察しかない。泡状の薬品でクロチアニジン。
- ・維持管理のしやすさ、人通口設けて、くまなく見ることができることが必要。断熱を否定できないが、まだ課題がある。皆さんそれぞれの専門がある。オールラウンドな専門はいない。
- ・自社の展示場では実験的に基礎断熱の地面に接する断熱材をはがせられるようにした。
- ・内断熱の基礎のほうでシロアリは上がってくる割合は低い。メンテをどう計画して実行するか。生き物の難しさがある。駆除しきれない。飼育するとすぐ死ぬ。一頭ごとはずごく弱い。
- ・ベイト工法でわかったのがヤマトシロアリは、一軒の家で4、5個巣ある場合があり一つやっつけてもつぎつぎでてくる。イエシロアリは1件の巣から広がる。
- ・一般ユーザーへ説明するのは、日本が大きな巣でその上にシロアリの餌で家をつくっていること。

- ・外壁通気と蟻害の関係は、湿気が抜けるから、蟻害にはよいだろう。湿気がこもるような閉じたところが減るほうがよい。しかし、通気層工法だと意識できていないのでしっかりとしたデータはない。これからが被害があるかもしれない。

#### 4.4 結論と今後の課題

表 4.2 にヒアリング調査結果をまとめて示す。この結果より、主に以下のことが看取された。

##### (1) 劣化事象について

- (a) 屋根、壁、開口部などの雨仕舞（防水層の施工不備、施工管理不足）に起因する劣化が多い。
- (b) バルコニー笠木部の劣化および漏水
- (c) 小屋裏換気口からの雨水の浸入
- (d) 基礎断熱に関しては、外断熱の場合、シロアリ被害が多い
- (e) 1 階開口部と繋がるウッドデッキ部からのシロアリ被害が多い
- (f) 現場施工型の浴室周りの劣化被害が多い
- (g) 住い方に起因する例として、開放型ストーブの使用による結露被害が多い
- (h) シロアリは処理木材があっても、それを食害しなければ死なず、それらを避けて侵攻するため、建物内にシロアリを進入させないことと早期発見が重要である

##### (2) 現在の仕様で留意している点

- (a) 基礎高さを 450・600mm としている
- (b) ねこ土台にくもの巣ができ、換気が悪くなったため、従来型の基礎換気口に変更
- (c) 1 階の軸組み材すべてについて木材保存薬剤処理を実施
- (d) 外壁は通気工法でサイディング張りともルタル塗りの両方があり、モルタル塗りが増加している傾向
- (e) 開口部のサッシ、サッシ周辺からの雨漏りが多く、防水施工・管理に苦労している
- (f) ルーフバルコニーは、FRP 防水パンを設置し断熱材も施工。基本的にルーフバルコニーを禁止している会社もある
- (g) 小屋裏換気は、告示の仕様通り
- (h) 浴室は、ユニットバスを設置
- (i) 外断熱については、今回のメーカーは消極的（断熱欠損が集中しやすい、蟻外が心配など）である
- (j) 公庫あるいは品確法等の仕様に準拠していれば、それほどの劣化は生じない

##### (3) 維持管理

- (a) 各社自社等の保証基準により、10 年目から有償による建物診断等を実施
- (b) 現状における劣化状況を勘案すると、10 年ではなく 15 年目から点検等を開始してもよさそうである
- (c) 10 年目点検では、屋根を含め外装仕上げ、防水層、防腐防蟻の再処理などを主に

#### 検査

- (d) 5年目点検で、居住者から防腐防蟻の再処理に関しては不要と返答があり、維持管理上の問題となっている場合がある。特に、居住者の経済状況に左右されるようである
- (e) 維持管理に関しては、マンション管理のように月々一定額の積立てを法律等で規定する必要がある
- (f) 蟻害に関しては、外部から木部の状態が目視観察できるような工夫が必要であろう
- (g) 蟻害に関しては、シロアリ生息地域では再発生する可能性が高いので、防除後も定期的な点検等が必要である

以上、調査結果を総括したが、劣化が生じる可能性のある部位等に関しては、雨仕舞や浴室など水（分）に関連する箇所等がその大部分であり、維持管理に関連する部位等の検査もそれらが主になっている。このような状況を踏まえ、来年度以降は、さらに具体的な仕様毎の劣化状況等についてヒアリング調査や建物の解体時等における実態調査を実施し、新構法の耐久性能を検討するとともに、木造住宅の耐久性能を向上させるための措置等の検討を含め、他 TG と連携し具体的な耐久性向上のための仕様等についても検討を行う予定である。





## 第5章 モデル試験による接合部の強度劣化評価

### 5.1 目的

木部構造体の維持管理のための基礎資料を得ることを目的とし、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接合部の強度劣化試験を実施し、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作成することを全期間の計画とした。

そのため、接合部の強度劣化試験では、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、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こととし、まず生物劣化の強制劣化操作方法を新たに考案することとした。次に、接合部の強度試験結果に基づいた非破壊評価技術では、非破壊試験によって得られる劣化度数値と接合耐力との関係を明らかにすることとし、接合部モデル試験に供試する試験体を対象に初期の非破壊パラメータを明らかにすることとした。

そこで、今年度は、次の内容に取り組むこととした。

1. シロアリおよび腐朽菌による生物劣化を、実大サイズの接合部モデル試験体に強制的に発生させる操作方法を新たに考案することとした。
2. 接合部強度低下に及ぼす生物劣化の影響を実験的に明らかにするため、強制劣化操作方法と関連付けした接合部モデル試験を検討するとともに、接合部モデル試験に供試する試験体を対象に初期の非破壊パラメータを検討することとした。

### 5.2 方法

#### 5.2.1 生物劣化の強制劣化操作方法

生物劣化の強制劣化操作は、イエシロアリと腐朽菌とを区別するとともに、両者の複合作用を検討するため、これまでに報告実績がある屋外暴露方法を検討することとした。

##### (1) イエシロアリによる強制劣化方法

イエシロアリによる強制劣化操作は、接合部モデル試験体の部材を組まない状態と部材を組んだ状態で強制劣化させる方法をそれぞれ考案することとした。

それぞれ考案するに当たり、どのように蟻害を人為的に発生させるかについて、発生させたい場所と発生させたくない場所、発生の程度、発生の程度に寄与すると思われる因子、イエシロアリの誘導の方法、発生を抑制する方法を共通で整理することとした。

##### (2) 腐朽菌による強制劣化方法

腐朽菌による強制劣化操作は、ファンガスセラーと菌床によって強制劣化させる方法をそれぞれ考案することとした。

##### (3) 屋外暴露方法

屋外暴露は、シロアリと腐朽菌による強制劣化方法を同時に管理でき、これまでに報告実績があるところを条件とし、その条件を満たしている候補地を選定することとした。

#### 5.2.2 接合部モデル試験の検討

接合部モデル試験を実施するに当たり、設定する劣化条件は、5.2.1の生物劣化の強制劣化操作方法と関連づけて検討することとした。設定する試験体の条件は、樹種、想定する接合部、1条件当たりの試験体数について検討することとした。また、接合部強度

試験の実施方法について検討することとした。

### 5.3 結果と考察

#### 5.3.1 生物劣化の強制劣化操作方法

##### (1) イエシロアリによる強制劣化方法

接合部試験体の部材を組まない状態で、どのように蟻害を発生させるかについて、発生させたい場所と発生させたくない場所、発生 の 程度、発生 の 程度に寄与すると思われる因子、イエシロアリの誘導の方法、発生を抑制する方法を整理した。

発生させたい場所は、接合金物を取り付けるところとその周辺とした。発生させたくない場所は、接合部試験を行う際、加力に重要となる部分とその周辺とした。発生 の 程度は、イエシロアリによる蟻害の発生が始まってからの経過時間と試験体の設置方向で調整することにした。発生 の 程度に寄与すると思われる因子は、樹種、隙間、設置方法とした。イエシロアリの誘導の方法は、巣のあるコンクリート製容器と隣接する試験体設置用のコンクリート製容器とをアクリル板や薄板などで繋ぎ、試験体がイエシロアリの餌場の役割を果たすようにして誘導することとした。発生を抑制する方法は、蟻害を発生させたくない場所にステンレスメッシュを巻きこれをアルミテープで留めることで固定し、イエシロアリが進入できないようにすることとした。

次に、接合部試験体を組み立てた状態で、どのように蟻害を発生させるかについて、発生させたい場所と発生させたくない場所、発生 の 程度、発生 の 程度に寄与すると思われる因子、イエシロアリの誘導の方法、発生を抑制する方法を整理した。

発生させたい場所と発生させたくない場所は、接合部試験体の部材を組まない状態と同様とした。発生 の 程度は、イエシロアリによる蟻害の発生が始まってからの経過時間で調整することにした。発生 の 程度に寄与すると思われる因子は、樹種、隙間、設置方法、明かり、風とした。イエシロアリの誘導の方法は、巣のあるプラスチック製容器とその横に置いた試験体設置用のプラスチック製容器とをアクリル板などで繋ぎ、試験体がイエシロアリの餌場の役割を果たすようにして誘導することにした（写真 5.1）。発生を抑制する方法は、アルミホイルを巻きビニルテープで留めて固定するとともに、調光、業務用扇風機、人為的なイエシロアリの強制除去のいずれかを蟻害の発生状況を観察しながら適宜取捨選択して行うことにした（写真 5.1）。

また、接合部試験体を組み立てた状態で蟻害を強制的に発生させる方法の具体的な進め方を検討した。まず、試験体はT型に組み、接合金物で予め所定の釘打ちを行ったものを用いることにした。蟻害操作は、1回につき1体とした。樹種は、まずベイツガで実施し、次いで、アカマツ、ベイマツのいずれかを順次行い、最後にスギで行うことにした。蟻害操作の設定条件は、蟻害の発生状況、試験体の設置方法、発生を抑制する方法、蟻害操作の期間とした。蟻害の発生状況は、発生する場所と程度を確認することにした。試験体の設置方法は、コンクリートブロック上に縦置きと横置きの2つの方法とした。蟻害操作の期間は、まず2週間とした。また、横置き2体、縦置き2体のベイツガの蟻害操作が終了した時点で、蟻害操作の設定条件を見直しすることにした。

写真 5.2 から写真 5.5 に強制劣化操作による劣化の発生過程を示した。捜査開始直後からイエシロアリによる加害が始まり、時間の経過に伴い蟻土が発達していく様子が確認で

き、2週間後には写真 5.6 のような蟻害を得ることができた。



写真 5.1 試験体を組んだ状態で強制劣化操作するためのイエシロアリの誘導方法  
(左側容器：イエシロアリの巣、右側容器：ベイツガ試験体)



写真 5.2 試験体を組んだ状態で強制劣化操作している様子  
(期間：3 時間後、樹種：ベイツガ)





写真 5.3 試験体を組んだ状態で強制劣化操作している様子  
(期間：6 日後、樹種：ベイツガ)



写真 5.4 試験体を組んだ状態で強制劣化操作している様子  
(期間：10 日後、樹種：ベイツガ)



写真 5.5 試験体を組んだ状態で強制劣化操作している様子  
(期間：2週間後、樹種：ベイツガ)



写真 5.6 写真 5 の蟻土を除去したときの蟻害発生状況  
(期間：2週間後、樹種：ベイツガ)

## （２）腐朽菌による強制劣化方法

まず、ファンガスセラーによる強制劣化方法は、日本工業規格 K 1571:2004（木材保存剤の性能試験方法及び性能基準）に規定している 4.2.2 ファンガスセラー試験の腐朽槽試験に基づき腐朽槽を試作し検討した。

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

## （３）屋外暴露方法

腐朽菌による強制劣化方法と同時に管理でき、これまでに報告実績があるところを条件とし候補地を選定した結果、森林総合研究所熊本支所構内とした。設置するに当たり、生物劣化の発生を抑制する方法の詳細について、試験体を設置するまでに更に検討する必要がある。

## 5.3.2 接合部モデル試験の検討結果

### （１）設定した劣化条件

設定した劣化条件は、コントロール１条件（劣化なし）、屋内設置１条件、屋外暴露１条件、シロアリによる強制劣化２条件（森林総研、廣瀬産業）、腐朽菌による強制劣化２条件（ファンガスセラー、菌床）の合計７条件とした。

### （２）試験体

試験体を作製する樹種は、日本建築学会の木質構造設計規準・同解説の樹種グループおよび木材工業ハンドブックの耐久性区分を参考にし、アカマツ、スギ、ベイツガ、ベイマツとした。想定する接合部は、生物劣化の強制劣化操作方法が部材端部と部材中間部の検討ができるよう、土台一柱のＴ型とした。試験体の寸法は、土台および柱ともに１０５mm正角とし、土台長さは１m、柱長さは７５０mmとした（図 5.1）。また、土台と柱の接合は、長さ３cmの短ほぞとし、Z マーク金物の CP-T を用いることにした。すべての試験体は、プレカット後に密度、縦振動法によるヤング係数を測定し、密度の平均値と標準偏差に有為差がないように設定した劣化条件の７グループに分けた。１グループあたり試験体数は、６体とした。また、グループ分けした試験体は、劣化操作開始前にピロディンによるピン打ち込み深さの測定、ターマトラックによる測定およびレジストグラフによる測定を行った。

表 5.1 に対象全樹種における各非破壊パラメータの基本統計量、図 5.2 に対象全樹種における各非破壊パラメータの平均値の比較結果、図 5.3 に対象全樹種の密度と縦振動法のヤング係数との関係、図 5.4 に対象全樹種のピロディンの打ち込み深さと密度との関係を



示した。対象樹種間で比較すると密度と縦振動法のヤング係数の平均値で差があった。また、密度と縦振動法のヤング係数との間に正の相関が認められた。ピロディンのピン打ち込み深さと密度との間には、累乗の近似式の方が決定係数は高かった。

表 5.2 にアカマツにおける各非破壊パラメータの基本統計量、図 5.5 にアカマツにおける各非破壊パラメータの平均値の比較結果、図 5.6 にアカマツの密度と縦振動法のヤング係数との関係、図 5.7 にアカマツのピロディンの打ち込み深さと密度との関係を示した。対象部材間で比較すると密度の平均値に差があったが、縦振動法のヤング係数の平均値には差はなかった。また、密度と縦振動法のヤング係数との間に正の相関が認められた。ピロディンのピン打ち込み深さと密度との間には、対象全樹種の時と同様、累乗の近似式の方が決定係数は高かった。

表 5.3 にスギにおける各非破壊パラメータの基本統計量、図 5.8 にスギにおける各非破壊パラメータの平均値の比較結果、図 5.9 にスギの密度と縦振動法のヤング係数との関係、図 5.10 にスギのピロディンの打ち込み深さと密度との関係を示した。対象部材間で比較すると密度と縦振動法のヤング係数の平均値に差はなかった。また、密度と縦振動法のヤング係数との間に相関は認められなかった。更に、ピロディンのピン打ち込み深さと密度との間にも、相関は認められなかった。

表 5.4 にベイツガにおける各非破壊パラメータの基本統計量、図 5.11 にベイツガにおける各非破壊パラメータの平均値の比較結果、図 5.12 にベイツガの密度と縦振動法のヤング係数との関係、図 5.13 にベイツガのピロディンの打ち込み深さと密度との関係を示した。対象部材間で比較すると密度と縦振動法のヤング係数の平均値に差はなかった。また、密度と縦振動法のヤング係数との間に正の相関が認められた。ピロディンのピン打ち込み深さと密度との間には、累乗の近似式の方が決定係数は高かった。

表 5.5 にベイマツにおける各非破壊パラメータの基本統計量、図 5.14 にベイマツにおける各非破壊パラメータの平均値の比較結果、図 5.15 にベイマツの密度と縦振動法のヤング係数との関係、図 5.16 にベイマツのピロディンの打ち込み深さと密度との関係を示した。対象部材間で比較すると密度と縦振動法のヤング係数の平均値に差はなかった。また、密度と縦振動法のヤング係数との間に正の相関があった。ピロディンのピン打ち込み深さと密度との間には、累乗の近似式の方が決定係数は高かった。



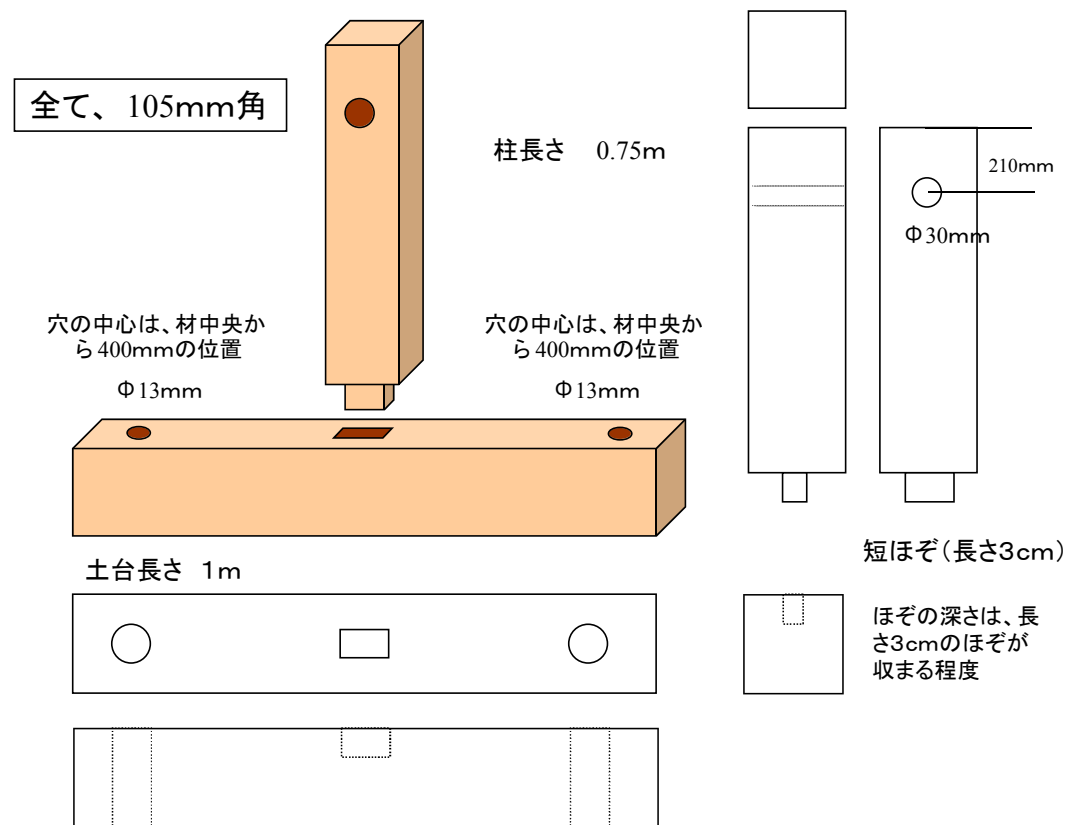


図 5.1 接合部モデル試験体の概要

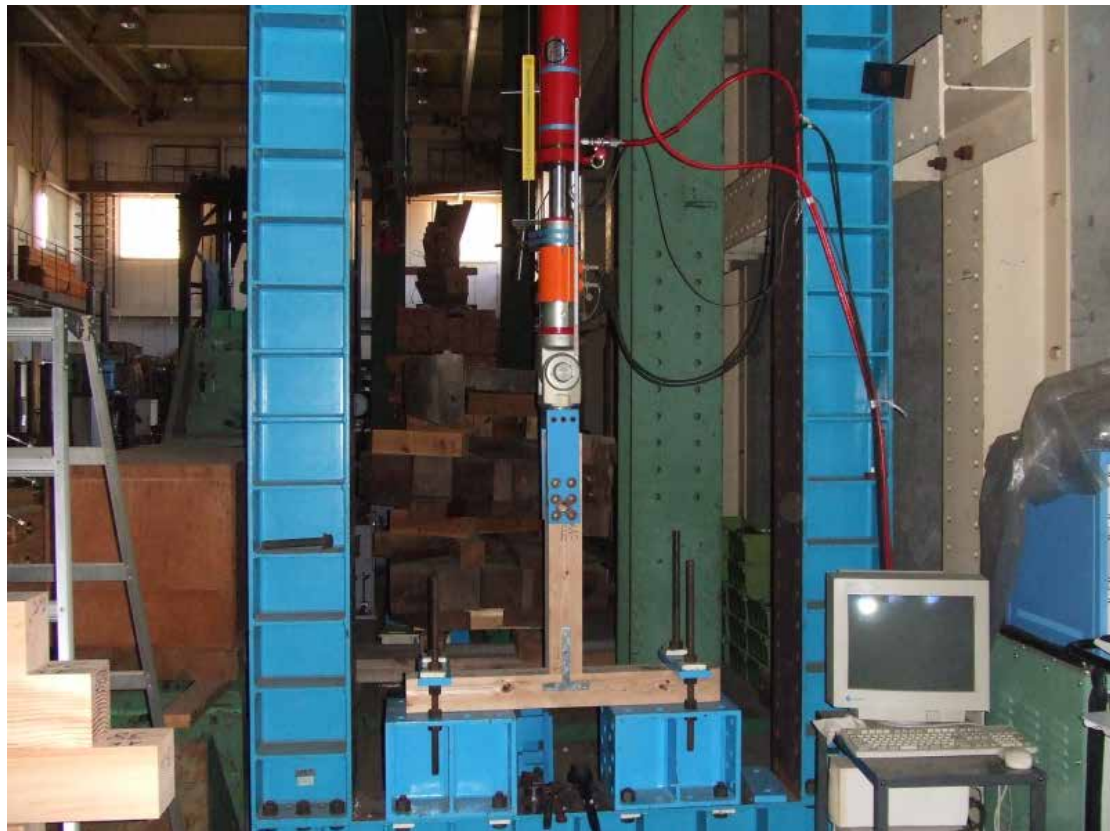


写真 5.7 接合部モデル試験体の強度試験の様子

表 5.1 対象全樹種における各非破壊パラメータの基本統計量

| 項目      | 全樹種                            |                                |           | アカマツ                           |                                |           | スギ                             |                                |           |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
|         | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) |
| データ数    | 360                            | 360                            | 341       | 90                             | 90                             | 90        | 90                             | 90                             | 84        |
| 最小値     | 327                            | 4.91                           | 5.0       | 417                            | 6.00                           | 10.0      | 351                            | 4.91                           | 11.5      |
| 平均値     | 482                            | 10.19                          | 13.8      | 486                            | 8.75                           | 14.8      | 432                            | 7.56                           | 17.1      |
| 最大値     | 750                            | 17.19                          | 24.0      | 750                            | 12.66                          | 22.5      | 542                            | 10.06                          | 23.0      |
| 標準偏差    | 67                             | 2.85                           | 3.8       | 52                             | 1.35                           | 2.7       | 36                             | 1.16                           | 2.9       |
| 変動係数(%) | 13.8                           | 28.0                           | 27.6      | 10.8                           | 15.4                           | 18.1      | 8.4                            | 15.4                           | 16.9      |

| 項目      | ベイツガ                           |                                |           | ベイマツ                           |                                |           |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
|         | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) |
| データ数    | 90                             | 90                             | 84        | 90                             | 90                             | 83        |
| 最小値     | 327                            | 5.90                           | 5.0       | 425                            | 6.12                           | 7.0       |
| 平均値     | 482                            | 12.97                          | 10.2      | 528                            | 11.48                          | 12.8      |
| 最大値     | 639                            | 16.98                          | 19.0      | 698                            | 17.19                          | 24.0      |
| 標準偏差    | 72                             | 2.15                           | 2.5       | 63                             | 2.53                           | 3.2       |
| 変動係数(%) | 14.9                           | 16.6                           | 24.5      | 11.9                           | 22.0                           | 25.3      |

(凡例)  
 $\rho$  : 密度(kg/m<sup>3</sup>)  
Efr-L : 縦振動法のヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>)  
P : ピロディンのピン打ち込み深さ(mm)

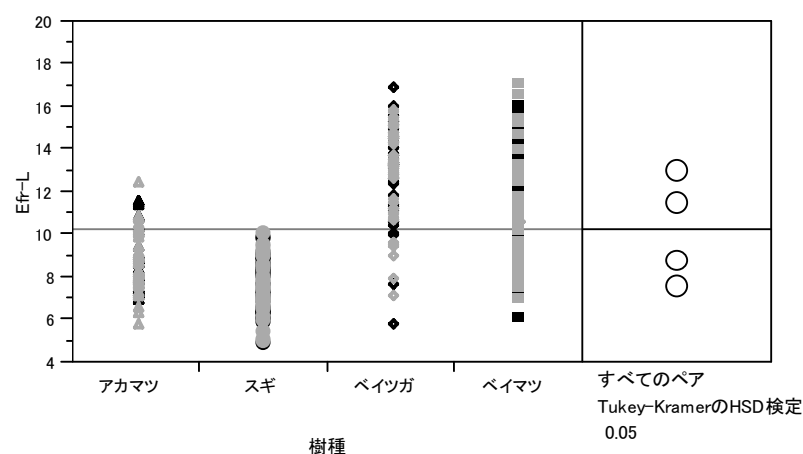
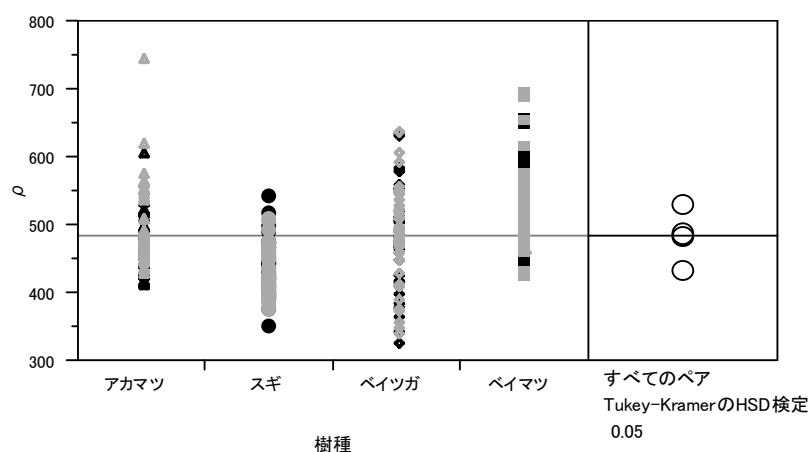


図 5.2 対象全樹種における各非破壊パラメータの比較結果  
(上 : 密度、下 : 縦振動法のヤング係数、黒 : 土台、灰色 : 柱)

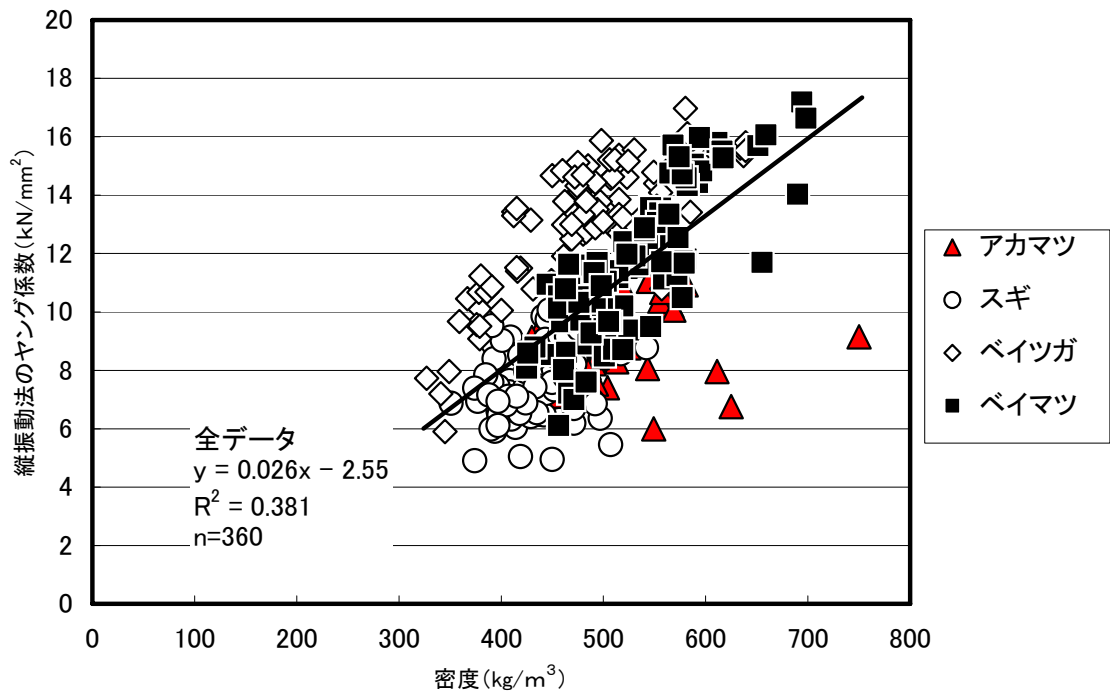


図 5.3 対象全樹種の密度と縦振動法のヤング係数との関係

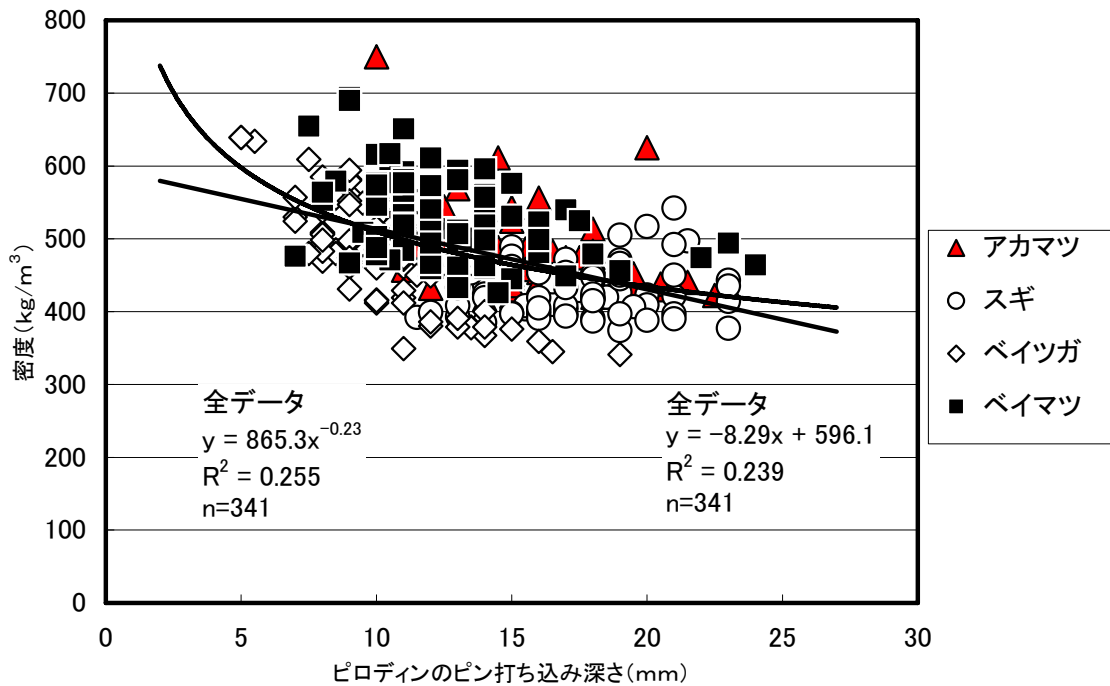


図 5.4 対象全樹種のピロディンの打ち込み深さと密度との関係

表 5.2 アカマツの各非破壊パラメータの基本統計量

| アカマツ<br>項目 | 全部材                            |                                |           | 土台                             |                                |           | 柱                              |                                |           |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
|            | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) |
| データ数       | 90                             | 90                             | 90        | 45                             | 45                             | 45        | 45                             | 45                             | 45        |
| 最小値        | 417                            | 6.00                           | 10.0      | 417                            | 7.08                           | 10.5      | 433                            | 6.00                           | 10.0      |
| 平均値        | 486                            | 8.75                           | 14.8      | 472                            | 8.80                           | 15.2      | 500                            | 8.69                           | 14.5      |
| 最大値        | 750                            | 12.66                          | 22.5      | 611                            | 11.75                          | 22.5      | 750                            | 12.66                          | 20.5      |
| 標準偏差       | 52                             | 1.35                           | 2.7       | 43                             | 1.41                           | 2.7       | 58                             | 1.30                           | 2.7       |
| 変動係数(%)    | 10.8                           | 15.4                           | 18.1      | 9.1                            | 16.0                           | 17.6      | 11.5                           | 15.0                           | 18.4      |

(凡例)

$\rho$  : 密度(kg/m<sup>3</sup>)

Efr-L: 縦振動法のヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>)

P: ピロディンのピン打ち込み深さ(mm)

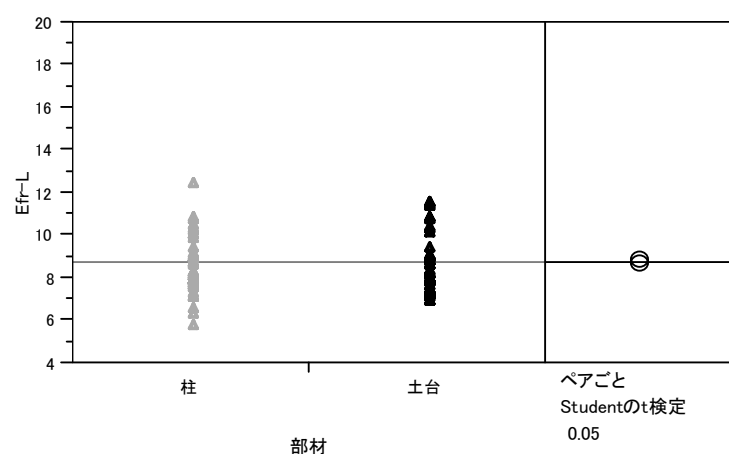
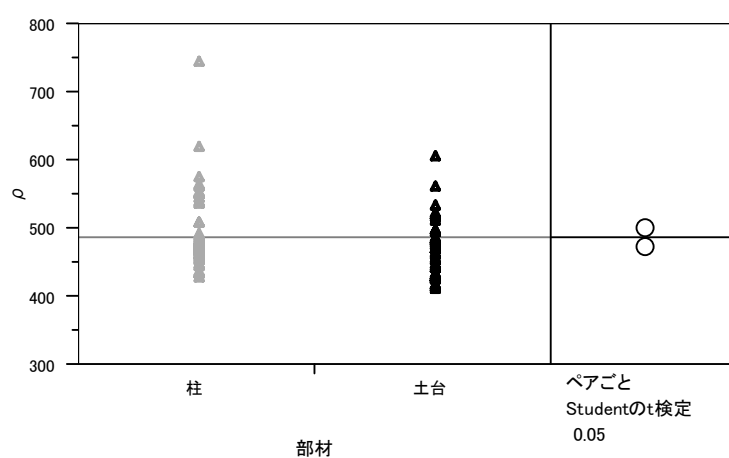


図 5.5 アカマツにおける各非破壊パラメータの比較結果  
(上: 密度、下: 縦振動法のヤング係数)

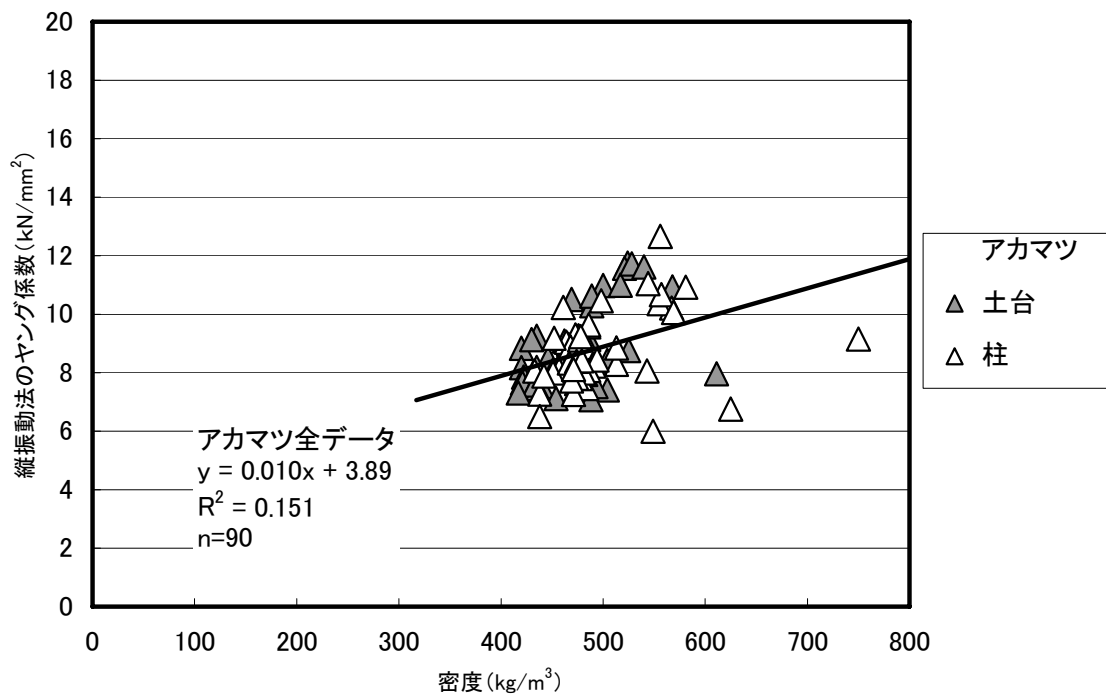


図 5.6 アカマツの密度と縦振動法のヤング係数との関係

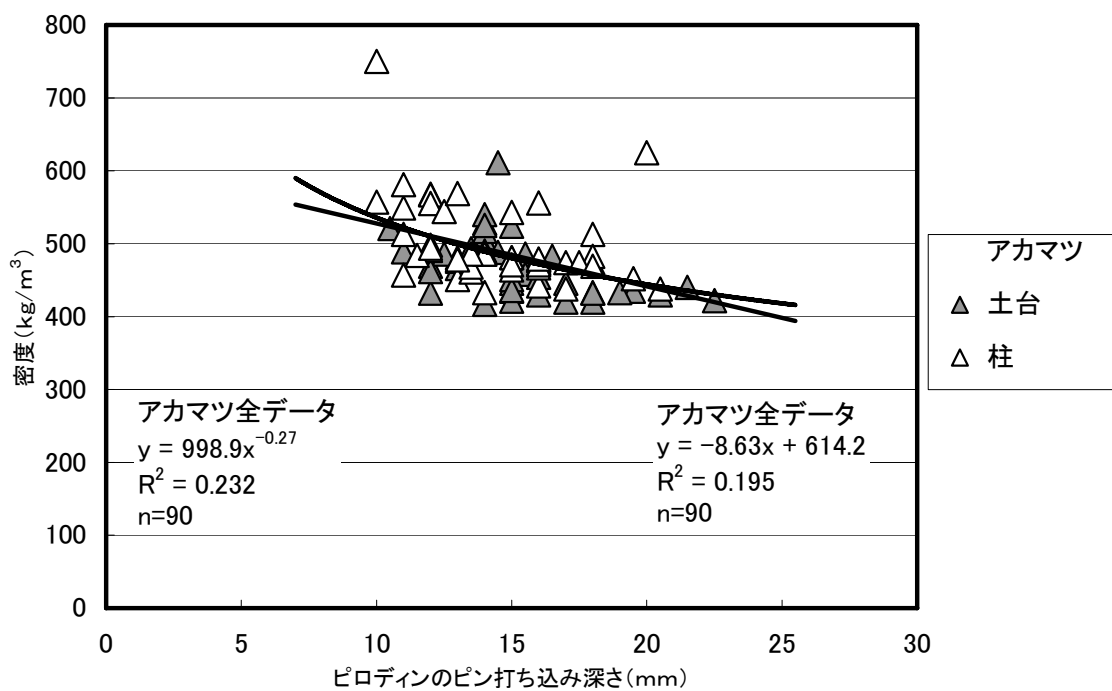


図 5.7 アカマツのピロディンの打ち込み深さと密度との関係

表 5.3 スギの各非破壊パラメータの基本統計量

| スギ<br>項目 | 全部材                            |                                |           | 土台                             |                                |           | 柱                              |                                |           |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
|          | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) |
| データ数     | 90                             | 90                             | 84        | 45                             | 45                             | 42        | 45                             | 45                             | 42        |
| 最小値      | 351                            | 4.91                           | 11.5      | 351                            | 4.91                           | 11.5      | 374                            | 4.95                           | 11.5      |
| 平均値      | 432                            | 7.56                           | 17.1      | 435                            | 7.58                           | 17.6      | 429                            | 7.53                           | 16.6      |
| 最大値      | 542                            | 10.06                          | 23.0      | 542                            | 9.85                           | 23.0      | 507                            | 10.06                          | 23.0      |
| 標準偏差     | 36                             | 1.16                           | 2.9       | 38                             | 1.14                           | 2.7       | 35                             | 1.19                           | 3.1       |
| 変動係数(%)  | 8.4                            | 15.4                           | 16.9      | 8.6                            | 15.1                           | 15.2      | 8.1                            | 15.8                           | 18.4      |

(凡例)

$\rho$  : 密度(kg/m<sup>3</sup>)  
Efr-L: 縦振動法のヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>)  
P: ピロディンのピン打ち込み深さ(mm)

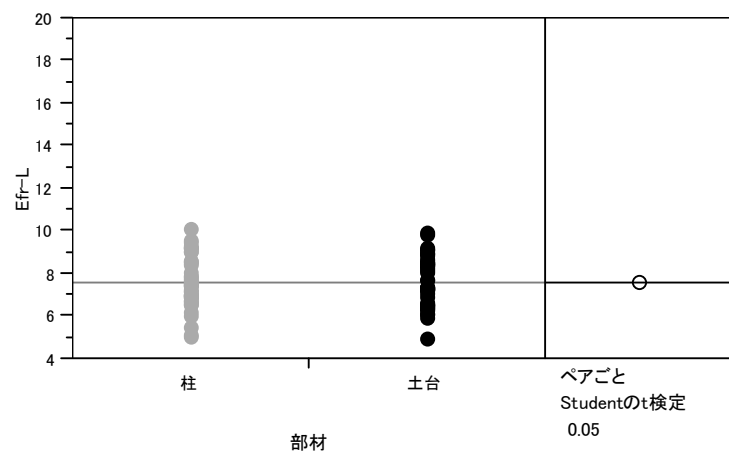
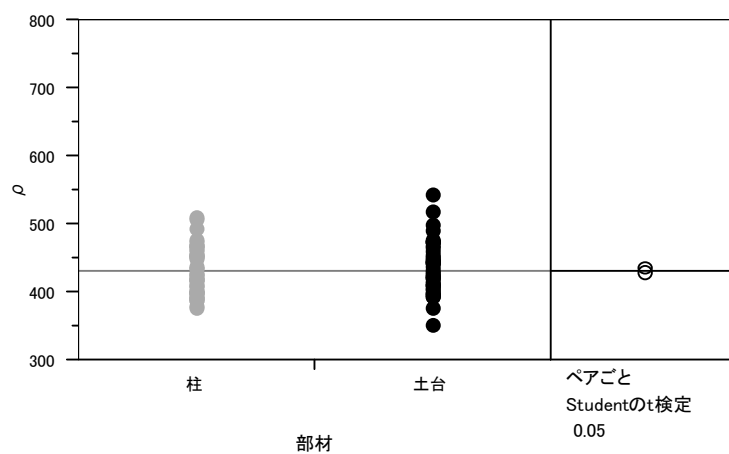


図 5.8 スギにおける各非破壊パラメータの比較結果  
(上: 密度、下: 縦振動法のヤング係数)

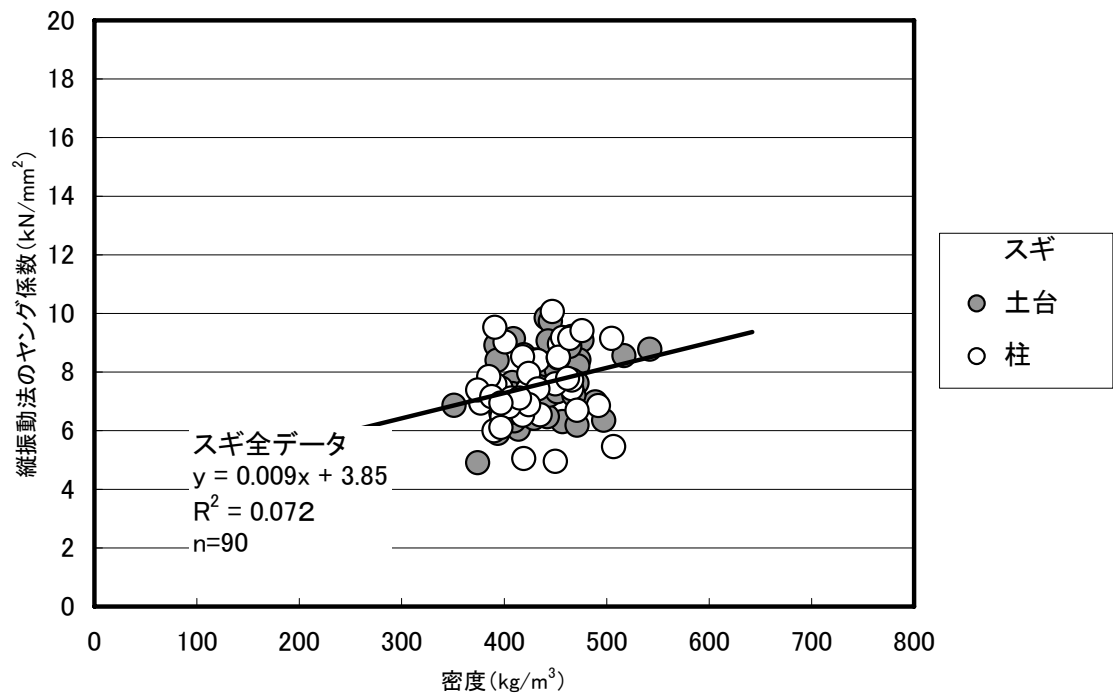


図 5.9 スギの密度と縦振動法のヤング係数との関係

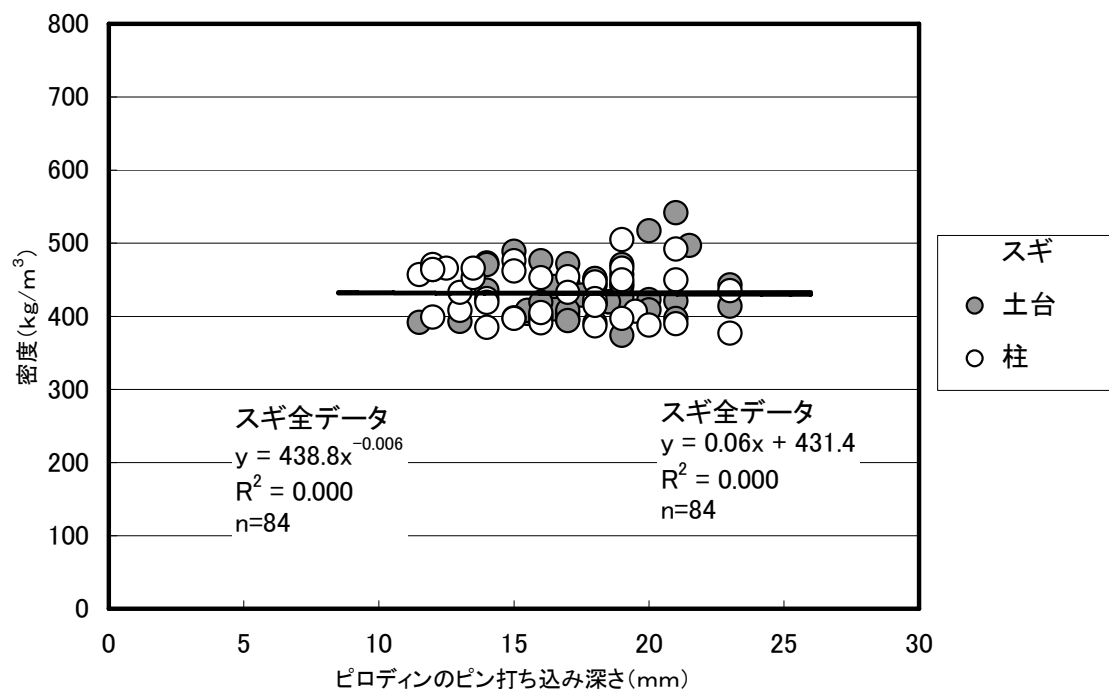


図 5.10 スギのピロディンの打ち込み深さと密度との関係

表 5.4 ベイツガの各非破壊パラメータの基本統計量

| ベイツガ<br>項目 | 全部材                            |                                |           | 土台                             |                                |           | 柱                              |                                |           |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
|            | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) |
| データ数       | 90                             | 90                             | 84        | 45                             | 45                             | 42        | 45                             | 45                             | 42        |
| 最小値        | 327                            | 5.90                           | 5.0       | 327                            | 5.90                           | 5.5       | 341                            | 7.19                           | 5.0       |
| 平均値        | 482                            | 12.97                          | 10.2      | 481                            | 13.04                          | 10.4      | 484                            | 12.91                          | 10.0      |
| 最大値        | 639                            | 16.98                          | 19.0      | 637                            | 16.98                          | 16.5      | 639                            | 15.87                          | 19.0      |
| 標準偏差       | 72                             | 2.15                           | 2.5       | 73                             | 2.13                           | 2.2       | 72                             | 2.19                           | 2.7       |
| 変動係数(%)    | 14.9                           | 16.6                           | 24.5      | 15.2                           | 16.3                           | 21.6      | 14.8                           | 17.0                           | 27.3      |

(凡例)

$\rho$  : 密度(kg/m<sup>3</sup>)  
Efr-L: 縦振動法のヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>)  
P: ピロディンのピン打ち込み深さ(mm)

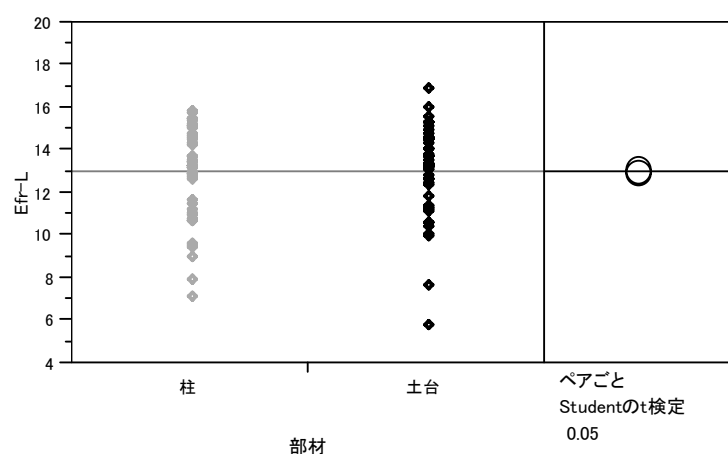
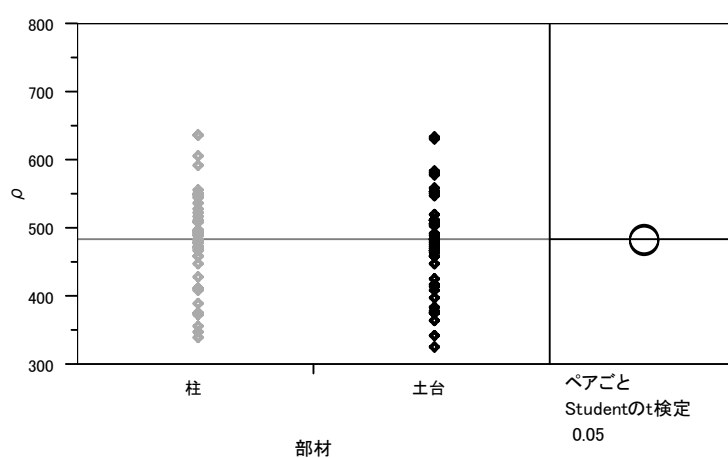


図 5.11 ベイツガにおける各非破壊パラメータの比較結果  
(上: 密度、下: 縦振動法のヤング係数)



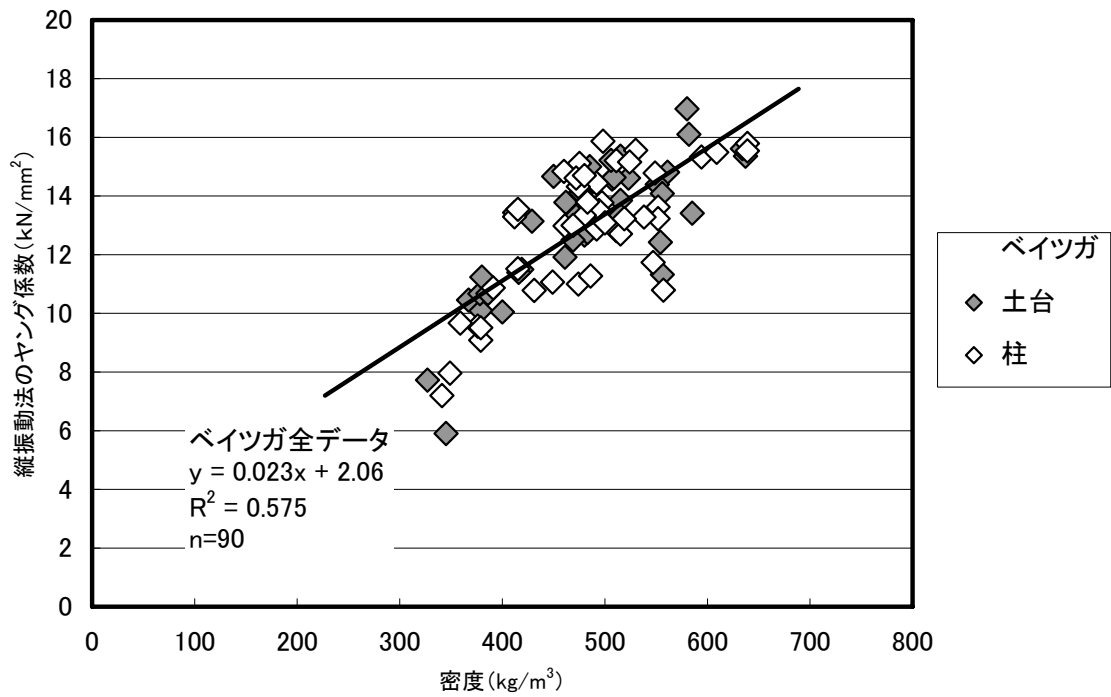


図 5.12 ベイツガの密度と縦振動法のヤング係数との関係

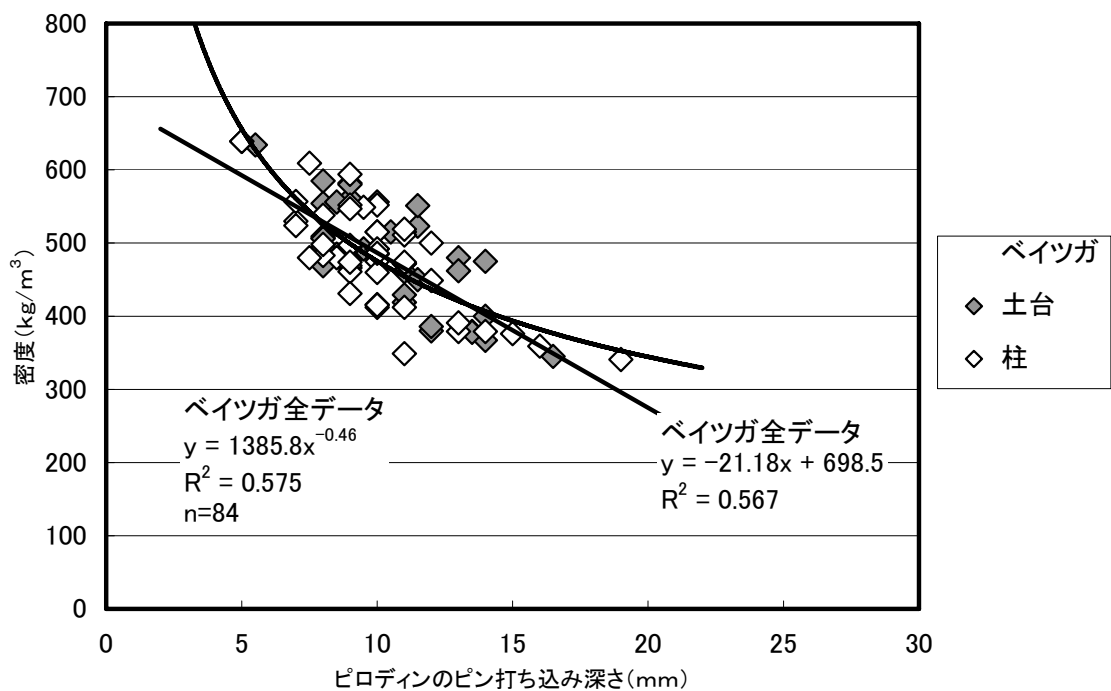


図 5.13 ベイツガのピロデインの打ち込み深さと密度との関係

表 5.5 バイマツの各非破壊パラメータの基本統計量

| ベイマツ<br>項目 | 全部材                            |                                |           | 土台                             |                                |           | 柱                              |                                |           |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
|            | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Efr-L<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) |
| データ数       | 90                             | 90                             | 83        | 45                             | 45                             | 42        | 45                             | 45                             | 41        |
| 最小値        | 425                            | 6.12                           | 7.0       | 426                            | 6.12                           | 8.0       | 425                            | 6.99                           | 7.0       |
| 平均値        | 528                            | 11.48                          | 12.8      | 531                            | 11.89                          | 13.2      | 525                            | 11.06                          | 12.3      |
| 最大値        | 698                            | 17.19                          | 24.0      | 659                            | 16.07                          | 24.0      | 698                            | 17.19                          | 23.0      |
| 標準偏差       | 63                             | 2.53                           | 3.2       | 58                             | 2.56                           | 3.3       | 68                             | 2.45                           | 3.2       |
| 変動係数(%)    | 11.9                           | 22.0                           | 25.3      | 10.8                           | 21.5                           | 24.6      | 12.9                           | 22.2                           | 26.0      |

(凡例)

$\rho$  : 密度(kg/m<sup>3</sup>)  
Efr-L: 縦振動法のヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>)  
P: ピロディンのピン打ち込み深さ(mm)

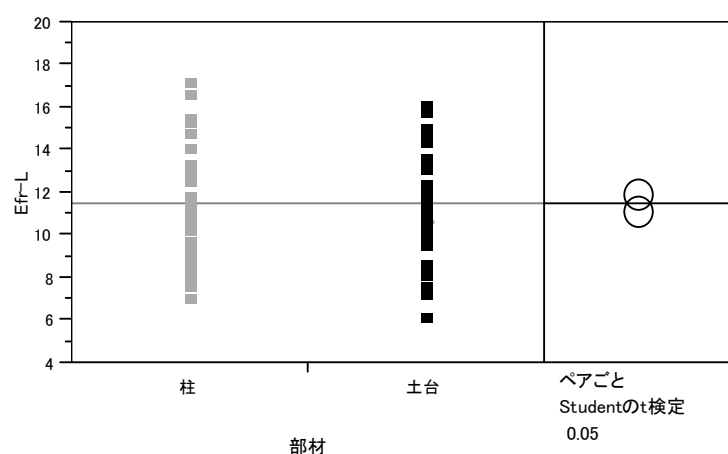
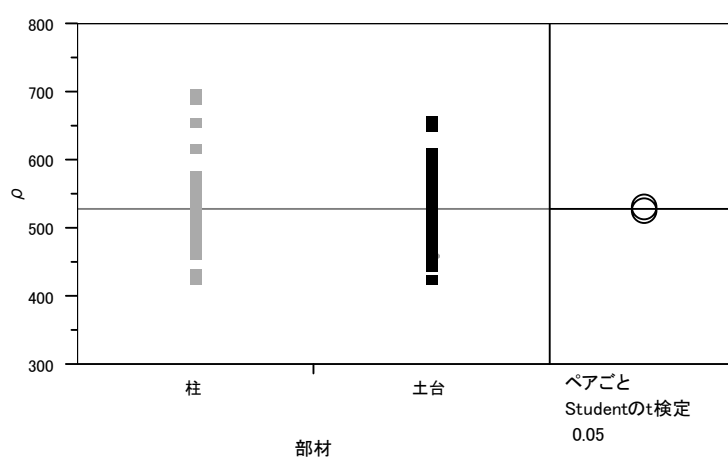


図 5.14 バイマツにおける各非破壊パラメータの比較結果  
(上: 密度、下: 縦振動法のヤング係数)

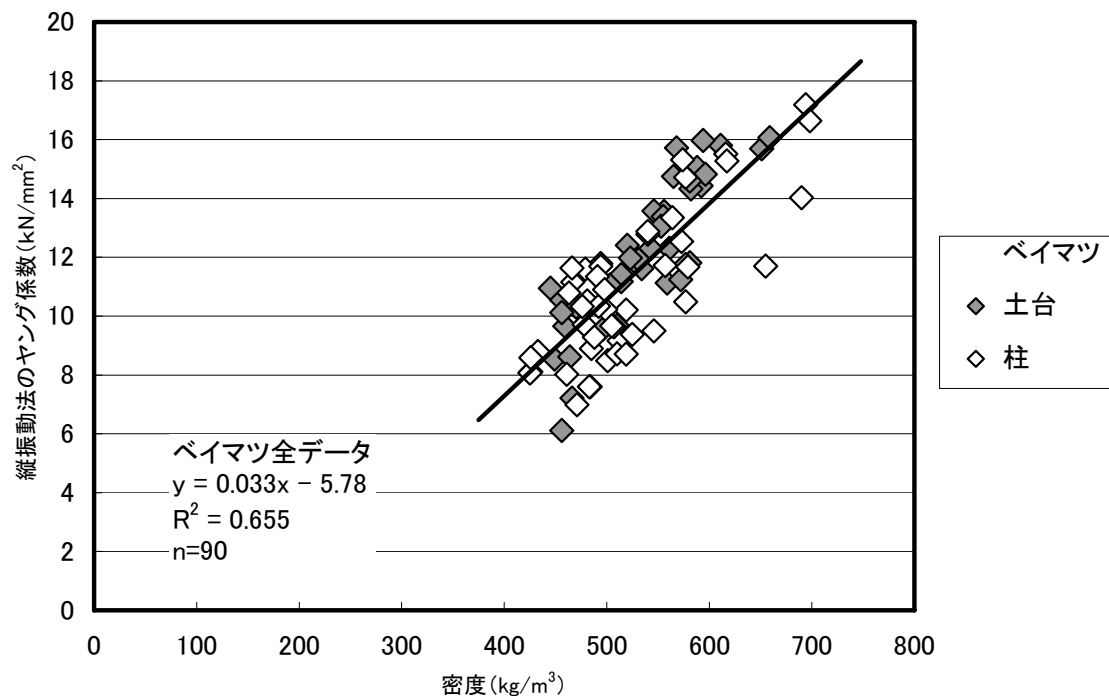


図 5.15 ベイマツの密度と縦振動法のヤング係数との関係

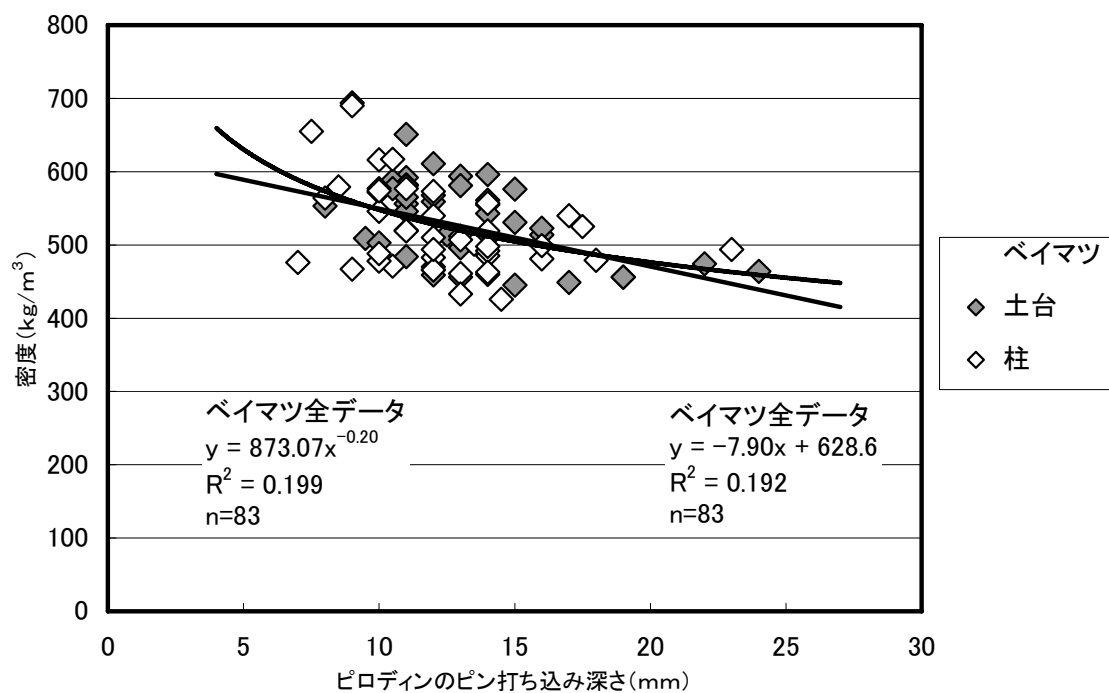


図 5.16 ベイマツのピロディンの打ち込み深さと密度との関係

### (3) 接合部強度試験の検討

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加力試験することとした。

劣化操作後に接合部加力試験に供する試験体は、温度  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度  $65\pm 5\%\text{RH}$  の恒温恒湿条件で調湿し、平衡状態になってから試験することとした。試験時は、試験開始と試験終了時の気温と湿度を記録することとした。

加力方法は、繰り返し加力とし、そのスケジュールは IS011670 とした。繰り返し加力スケジュールを設定するための終局変位  $D_u$  は、各樹種の密度の中央値とその前後の3体で単調加力試験を行いその平均値を用いることとした。また、劣化操作した試験体の接合部試験の場合、繰り返し加力の設定値となる終局変位  $D_u$  は、各樹種とも劣化なしのコントロールで実施した繰り返し加力試験の終局変位  $D_u$  の平均値を用いることとした。加力速度は、単調加力の場合、試験における最大荷重までの時間が5〜10分となるように設定することとした。また、繰り返し加力の場合、 $0.1\sim 10\text{mm/s}$  の範囲で一定の加力速度にすることとした。その際、無理な加速度が生じないような加力速度を設定することとした。

得られた試験結果から、初期剛性、降伏耐力、降伏変位、最大耐力、終局耐力、終局変位を算出することとした。

## 5.4 結論と今後の課題

モデル試験による接合部の強度劣化評価するため、今年度は、シロアリおよび腐朽菌による生物劣化を実大サイズの接合部モデル試験体に強制的に発生させる操作方法を新たに考案することとした。その結果、シロアリおよび腐朽菌による強制劣化方法について、それぞれ2種類の方法を考案することができた。

また、接合部強度低下に及ぼす生物劣化の影響を実験的に明らかにするため、強制劣化操作方法と関連付けした接合部モデル試験を提案するとともに、密度、縦振動法のヤング係数、ピロディンによるピン打ち込み深さを接合部モデル試験に供試する試験体の非破壊パラメータとして検討した。その結果、樹種によって非破壊パラメータの出現範囲が異なること、樹種ごとに非破壊パラメータの相関関係が異なることが明らかになった。

今後は、考案したシロアリおよび腐朽菌による強制劣化方法により、強制的に生物劣化を生じさせた実大サイズの接合部モデル試験体で接合部試験を実施し、各非破壊パラメータと接合耐力との関係を実験的に明らかにする必要がある。

## 第6章 構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討

### 6.1 背景及び目的

構造躯体の劣化要因である木材腐朽の進行を、外皮の層構成と気象データ及び室内条件から予測するモデルが齋藤ら<sup>1),2)</sup>により提案されている(図 6.1.1 参照)。本モデルは、腐朽が進行する対数増殖期(図 6.1.2 ②)を対象として、多層壁内の熱水分移動と木材腐朽菌による質量減少及び水分生成量を定量的に算出し、最終的には設計段階における構造耐力の低下や耐用年数の評価を試みるものである。しかし、これまで菌糸定着までの誘導期(図 6.1.2 ①)に関する検討例は少なく、湿潤と乾燥が繰り返される状況の検討は未着手である。実際の腐朽現象は一時的な高含水状態が数ヶ月程度継続する誘導期を経た後に進行すると考えられており<sup>3),4)</sup>、実状に即した評価を行ううえで誘導期の検討は不可欠と考えられる。

そこで本検討では実験室実験により、雰囲気湿度が周期的に変動する非定常条件下での菌糸定着時間や腐朽進行を把握し、誘導期におけるモデル構築のバックデータを収集するとともに、有害な結露を判断するための知見を得る。

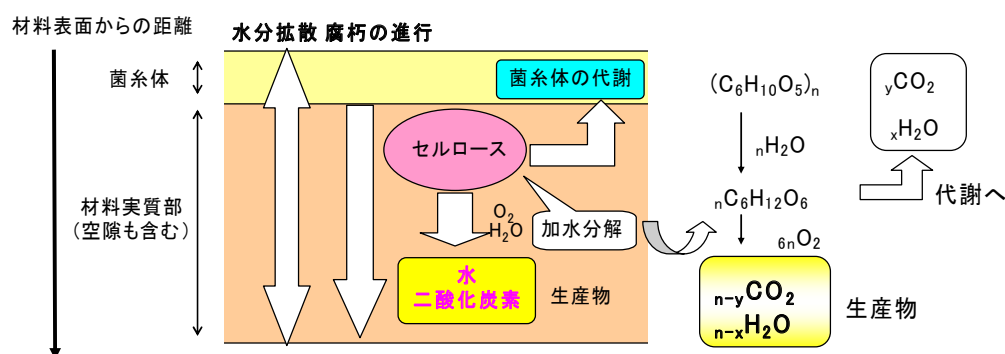


図 6.1.1 水分収支を考慮した木材腐朽進行予測モデルの概要<sup>1)</sup>

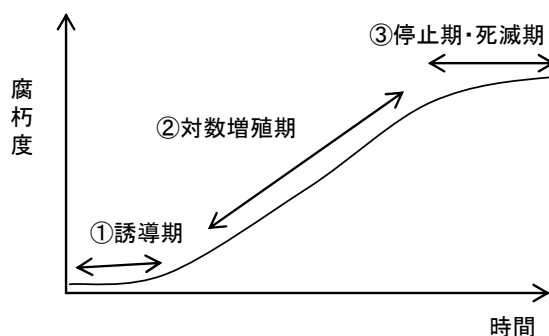


図 6.1.2 腐朽進行と時間の関係<sup>1)</sup> (イメージ)

### 6.2 実験方法

実験は、雰囲気湿度変動による菌糸定着及び腐朽進行の影響を把握するため、菌糸を接種した木片を湿度制御可能なデシケータ内に設置し、定期的に質量減少率を測定する。雰囲気湿度は図 6.2.1 に示すように、蒸留水を満たしたデシケータにポンプをつなぎ、メンブレンフィルターを経由した乾燥空気を設定時間毎に供給することにより制御する。

実験条件を表 6.2.1 に示す。Case0 は湿潤状態の湿度一定条件であり、他の実験条件のリファレンス

となる。Case1～Case6 は予め腐朽操作を施した  $5 \times 5 \times 2\text{mm}$  程度の種木を健全材の上面に設置し間接的に菌糸を接種した試料を用いる実験で、図 6.1.2 ①の誘導期に関する知見を得ることを目的としている。一方、Case7～Case9 は培地の菌叢上で健全材に直接接種した試料を用い、図 6.1.2 ②の対数増殖期の腐朽進行を考察する。図 6.2.2 に菌糸接種後の試料の状況を示す。

供試菌はオオウズラタケとし、試料は赤松辺材、木目は腐朽が進行し易い木口方向とした。設定温度は  $23^{\circ}\text{C}$ 、変動周期 12 時間～1 週間とし、乾燥・湿潤の時間配分は 1 : 1 とした。乾燥時の湿度は、近年の工法を採用した躯体内の湿度変動を想定し、変動が少ないケース（約 90%）と変動が大きいケース（約 75%）の 2 水準とした。菌糸接種前の試料はオートクレーブ滅菌を行い、一連の腐朽操作も滅菌箱を用い、雑菌が混入しないよう配慮した。試料の含水率及び質量減少率は（1）、（2）式により求める。試験の実施状況を図 6.2.3 に示す。

$$w = \frac{m_w - m_d}{m_w} \quad \dots (1)$$

$$L = \frac{m_n - m_d}{m_n} \quad \dots (2)$$

ここに、

$w$  : 質量含水率 (kg / kg)

$L$  : 質量減少率 (-)

$m_n$  : 菌糸接種前の絶乾質量 (g)

$m_w$  : 曝露後腐朽菌を剥がした後の質量 (g)

$m_d$  : 曝露後腐朽菌を剥がした後の絶乾質量 (g)

表 6.2.1 試験条件

| Case | 乾燥湿度 | 周期 (湿潤/乾燥) | 接種方法 | 抜取時期          | n 数 | 備考                                              |
|------|------|------------|------|---------------|-----|-------------------------------------------------|
| 0    | —    | 連続         | 直接   | 1, 2, 4, 6 ヶ月 | 5   | 樹種：赤松<br>寸法：30φ、厚さ 5mm、<br>木目：木口<br>供試菌：オオウズラタケ |
| 1    | 75%  | 12h/12h    | 間接   |               |     |                                                 |
| 2    | 75%  | 72h/72h    |      |               |     |                                                 |
| 3    | 75%  | 168h/168h  |      |               |     |                                                 |
| 4    | 90%  | 12h/12h    |      |               |     |                                                 |
| 5    | 90%  | 72h/72h    |      |               |     |                                                 |
| 6    | 90%  | 168h/168h  |      |               |     |                                                 |
| 7    | 75%  | 12h/12h    | 直接   |               |     |                                                 |
| 8    | 75%  | 72h/72h    |      |               |     |                                                 |
| 9    | 75%  | 168h/168h  |      |               |     |                                                 |

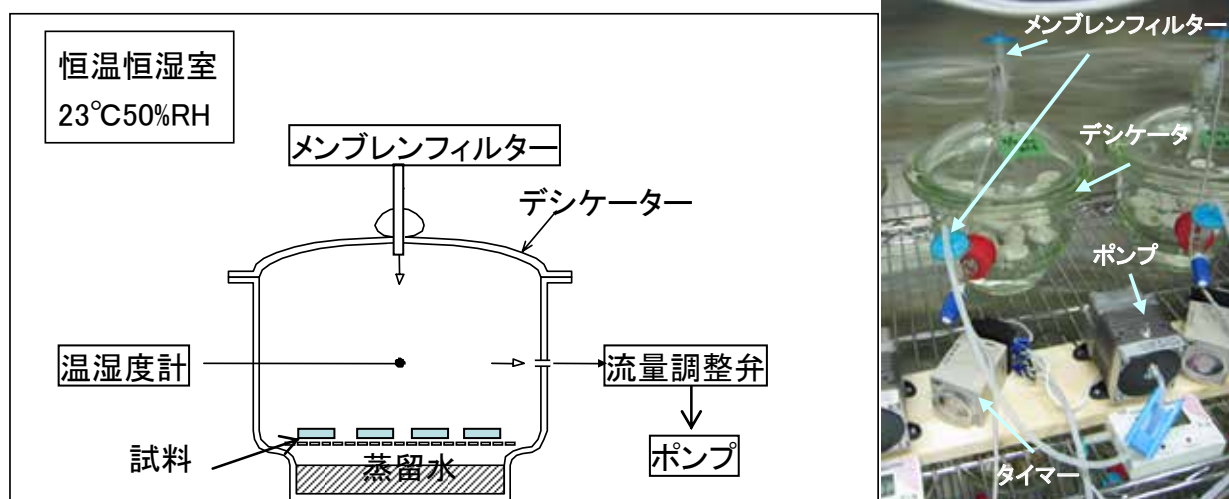


図 6.2.1 試験装置概要



図 6.2.2 試料設置状況（左：直接接種、右：間接接種）



図 6.2.3 試験実施状況（左：直接接種、右：間接接種）

### 6.3 実験結果

本実験は6ヶ月以上の期間を要するため、今年度は曝露時間の関係より間接接種は曝露1ヶ月、直接接種は曝露3ヶ月までの結果を報告する。24時間周期(12h/12h)であるCase1、4、7については、木材の調湿性によりデシケータの湿度上昇に遅れが生じ、高湿となる頻度が少なくなる傾向が確認されたため、試験開始1ヵ月後よりマグネットスターラーによりデシケータ内の蒸留水を攪拌し、設定値通りの変動が確保できるよう配慮した。

#### (1) 間接接種 (Case1～Case6)

Case0～Case6の曝露1ヶ月の質量含水率と質量減少率の結果を、表6.3.1及び表6.3.2に示す。

Case0は、雰囲気を100%RHに維持した比較用のデータである。含水率はサンプリングを行った時間が乾燥過程か湿潤過程かによって若干の差異が生じるが、全体の傾向としてはCase0の0.317kg/kgに比べCase1～Case6の値は繊維飽和点を大きく下回っている。

質量減少率については、乾燥湿度75%RHで0.024以上、90%RHで0.01以下となっている。本来、乾燥湿度が高いCase4～Case6の質量減少率が大きくなると予想されるが、本実験ではこれに反する結果となっている。要因として、デシケータ内の気流分布や接種した菌糸の活力の異なることが予想されるが、曝露1ヶ月では質量減少率の変化量が小さいため、菌糸定着時間に関する考察は今後の結果を得てから行う必要がある。

表 6.3.1 間接接種時の質量含水率測定結果 (単位 : kg/kg)

| Case<br>(周期) | Case0<br>(連続) | Case1<br>(12h/12h) | Case2<br>(72h/72h) | Case3<br>(168h/168h) | Case4<br>(12h/12h) | Case5<br>(72h/72h) | Case6<br>(168h/168h) |
|--------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1ヶ月          | 0.317[0.076]  | 0.208[0.046]       | 0.142[0.018]       | 0.192[0.012]         | 0.183[0.009]       | 0.190[0.004]       | 0.201[0.004]         |
| 乾燥湿度         | —             | 75%RH              |                    |                      | 90%RH              |                    |                      |

\*[ ]は標準偏差

表 6.3.2 間接接種時の質量減少率測定結果 (単位 : -)

| Case<br>(周期) | Case0<br>(連続) | Case1<br>(12h/12h) | Case2<br>(72h/72h) | Case3<br>(168h/168h) | Case4<br>(12h/12h) | Case5<br>(72h/72h) | Case6<br>(168h/168h) |
|--------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1ヶ月          | 0.034[0.037]  | 0.035[0.031]       | 0.029[0.004]       | 0.024[0.008]         | 0.005[0.001]       | 0.009[0.002]       | 0.010[0.004]         |
| 乾燥湿度         | —             | 75%RH              |                    |                      | 90%RH              |                    |                      |

\*[ ]は標準偏差

#### (2) 直接接種 (Case7～Case9)

Case7～Case9の曝露1、3ヶ月の質量含水率と質量減少率の結果を、表6.3.3～表6.3.4及び図6.3.1～図6.3.2に示す。

直接接種における初期値は、培地上の菌叢における接種後の測定結果であるため、試料の含水率が0.37kg/kgと繊維飽和点を越えており、1、3ヶ月後は増加している。しかし、周期的に乾燥を行うCase7～Case9では含水率が0.2kg/kg程度を維持しており、繊維飽和点以下となっている。

質量減少率についてはCase7、Case9が増加しているが、曝露3ヶ月では168h周期のCase9がCase0を越えている。また、Case8は曝露3ヶ月でも初期値からの変化がほとんど見られない。直接接種でも



現時点では1日や3日程度の乾燥湿潤の周期が腐朽進行に与える影響は明確に表れておらず、今後の推移を確認する必要がある。

表 6.3.3 直接接種時の質量含水率測定結果（単位：kg/kg）

| Case<br>(周期) | Case0<br>(連続) | Case7<br>(12h/12h) | Case8<br>(72h/72h) | Case9<br>(168h/168h) |
|--------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 初期値          | 0.373 [0.004] | 0.382 [0.023]      |                    |                      |
| 1 ヶ月         | 0.391 [0.069] | 0.152 [0.007]      | 0.189 [0.013]      | 0.163 [0.008]        |
| 3 ヶ月         | 0.498 [0.033] | 0.253 [0.040]      | 0.176 [0.006]      | 0.173 [0.007]        |

表 6.3.4 直接接種時の質量減少率測定結果（単位：－）

| Case<br>(周期) | Case0<br>(連続) | Case7<br>(12h/12h) | Case8<br>(72h/72h) | Case9<br>(168h/168h) |
|--------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 初期値          | 0.091 [0.001] | 0.113 [0.023]      |                    |                      |
| 1 ヶ月         | 0.118 [0.017] | 0.111 [0.019]      | 0.113 [0.023]      | 0.108 [0.027]        |
| 3 ヶ月         | 0.144 [0.039] | 0.144 [0.013]      | 0.105 [0.025]      | 0.187 [0.031]        |

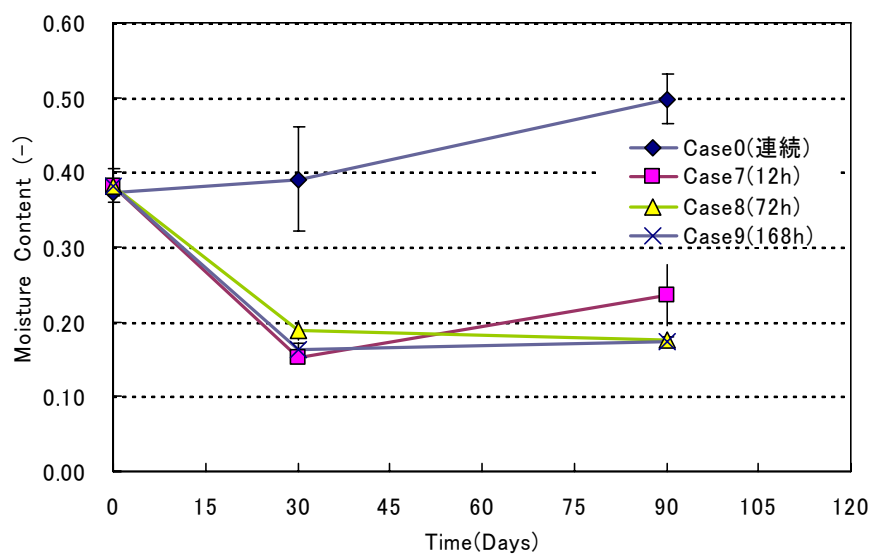


図 6.3.1 直接接種における質量含水率の推移

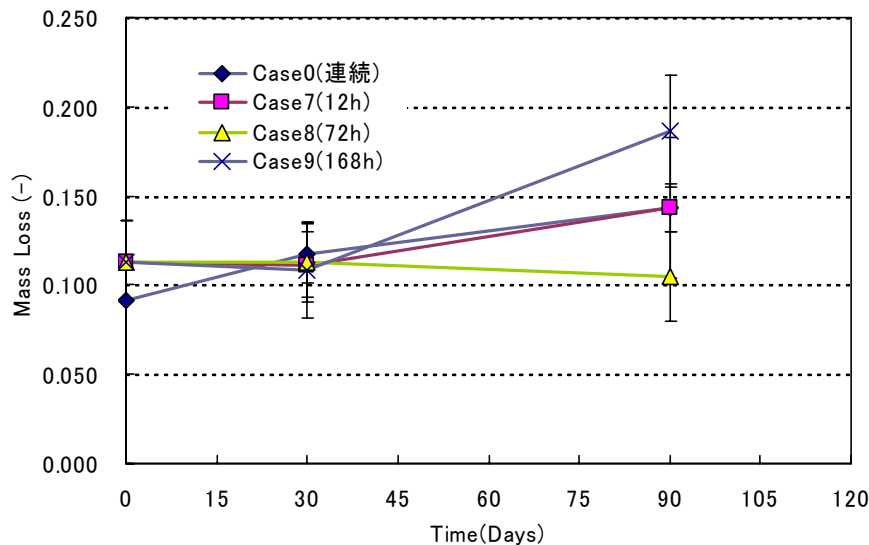


図 6.3.2 直接接種における質量減少率の推移

#### 6.4 まとめ

本研究では、構造躯体が許容しうる湿潤状態を検討する観点から、雰囲気湿度が周期的に変動する際の誘導期と対数増殖期における腐朽進行に関する実験を行った。誘導期については、菌糸接種後 1 ヶ月程度で若干の質量減少率増加が見られたが、その値は 1~3% と僅かであるため、菌糸定着時間の判定は難しく今後の推移を見守る必要がある。対数増殖期の腐朽進行についても同様であった。

しかし、本実験を継続し数ヶ月から半年程度の曝露後の結果を得られれば、構造躯体が許容しうる湿潤状態の判断に有用な知見の収集が可能と思われるため、今後も継続して検討を進める予定である。

#### <参考文献>

- 1) 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 No.630、pp971~978、2008.8
- 2) 齋藤宏昭、福田清春、澤地孝男：水分収支を考慮した木材腐朽予測モデルの構築 その 3 室内腐朽実験に基づく予測モデルの検証、日本建築学会大会学術講演梗概集 D2、pp.311~312、2009.9
- 3) 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.
- 4) Hiroataka Suzuki, Yukie Kitadani, Kentaro Suzuki, Atsushi Iwamae, Hisaya Nagai: Development on Damage Functions of Wood Decay for Building Envelope Design, The International Research Group on Wood Preservation, Document No.IRG/WP 05-10556, 2005.

## 第7章 小屋裏換気口の要求性能に関する検討

### 7.1 はじめに

屋根部における野地板及び垂木などの劣化は、漏水及び結露により生じると考えられており、これら木部の乾燥を促進させる目的で小屋裏換気口の設置が推奨されている。本来、小屋裏の湿度性状は、小屋裏換気口からの排湿だけでなく、室内からの水蒸気流入や木材の吸放湿に影響され<sup>1)、2)</sup>、周辺環境や気象条件にも大きく影響を受ける。しかし、現行の小屋裏換気口面積の目安は品確法等における屋根形状毎の規定のみであり<sup>3)</sup>、前述の要因は考慮されてない。既往研究<sup>4)、5)</sup>によれば、小屋裏湿度環境は天井面の気密性など建物下部構造の影響が大きいことが、多数室を対象とした数値計算により示されており、小屋裏換気口の要求性能もこれらを勘案することが望ましい。特に、近年は様々な工法の住宅があるうえ、断熱・気密性能も変化しており、小屋裏湿度性状は従来と大きく異なることが予想される。

これらの背景を考慮し、本節では小屋裏空間に繋がる躯体の隙間性状や防湿・気密性能に着目した実験を行い、小屋裏換気口面積の要求性能を定めるための知見を得ることを目的とする。

### 7.2 実験概要

#### 7.2.1 実験住宅の概要

##### (1) 建物及び躯体仕様

実験住宅は、図 7.1 に示す南北切妻屋根を持つ平面形状 3.64m×3.64m、天井高 2.45m の 1 階建である（埼玉県越谷市）。立地条件としては、南側と東側約 3m に隣地との塀が、西側 2m に同規模の実験住宅があり、実験住宅北側は開けている。天井は別張り防湿フィルムを施工し、袋入り断熱材グラスウール 10K 厚 100mm の 2 重敷きとし、外壁及び床も平成 11 年省エネルギー基準の断熱性能に準じた仕様となっている。

実験棟外観及び各部の施工状況を図 7.2、図 7.3 に示す。実験棟の居室には、部屋中央部に間仕切壁を想定した下がり壁（天井より 300mm 下がり）を設け、下端は相当隙間面積 17 c m<sup>2</sup> の開口を設けた<sup>注)</sup>。これは間仕切壁を経由した小屋裏への移流による水蒸気流入の再現が目的であり、小屋裏湿度に対する影響の大きいことが既往研究<sup>4)、5)</sup>で指摘されている。

注) 下がり壁の隙間面積の設定について

桑沢、齋藤らの断熱改修実測で間仕切壁の気流止めによって、約 67.5cm<sup>2</sup> 相当隙間面積が減少したという報告があり<sup>6)</sup>、今回の実験住宅の床面積 13.25m<sup>2</sup> に換算すると 6.6cm<sup>2</sup> の相当隙間面積となる。本実験では、この数値に電気配線などの隙間を考慮した相当隙間面積 17 c m<sup>2</sup> を設定し、別途、気密測定により隙間量を確認した。

##### (2) 暖房及び換気設備

居室の空調についてはヒートポンプエアコン及び加湿器を設置し、設定温度 20℃、相対湿度 50%RH で制御した。ただし、制御方法はエアコン及び加湿器付属の設定による。また、居室はパイプファンで給気を行う第 2 種換気とし、居室の換気回数がほぼ 0.5 回/h になるようにボルトスライダーにより調整した。第 2 種換気によって、小屋裏と下がり壁下部の差圧は常時 3Pa 程度生じており、小屋裏内に水蒸気が侵入し易い安全側の設定となっている。

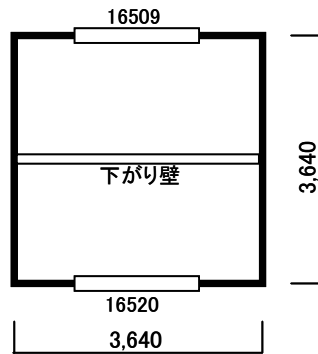


図 7.1 実験棟の平面図



図 7.2 実験棟外観（北側）



サイディングは実験中に取り外せるようにした（取合い部、継ぎ目はコーキング代わりに気密テープ）



天井断熱施工状況



下がり壁気流止め



軒換気口は軒一軒換気の場合  
気密テープで塞ぐ

図 7.3 実験棟の施工状況

### 7.2.2 センサー設置位置

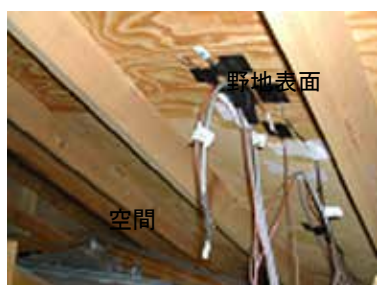
各種センサーの設置位置を表 7.1 に、センサーの設置状況を図 7.4 に示す。温湿度センサーは、小屋裏空間の南北空間に加え、野地板近傍、野地板近傍下部（桁梁直上）、通気層内部にも設置した。また、小屋裏への移流量を把握するため、小屋裏換気口、通気層上端、間仕切壁上部に熱線風速計を設置した。さらに、小屋裏と外気、下がり壁、換気口内外に圧力チューブを設置することにより、換気回路網によるシミュレーション計算の与条件となる差圧データを収集した。

表 7.1 各種センサーの設置位置

| 温湿度                           |        |               |        |      | CADAC  | CADAC通し | 備考                         |             |
|-------------------------------|--------|---------------|--------|------|--------|---------|----------------------------|-------------|
| 屋根野地                          | 南      | 下部            | 内側表面   | T    | 0-00   | 00      | 通気層や軒裏換気の流出入付近の状況把握        |             |
|                               |        |               | 内側表面近傍 | T    | 01     | 01      |                            |             |
|                               |        |               | 内側表面近傍 | RH   | 02     | 02      |                            |             |
|                               |        | 中央            | 内側表面   | T    | 03     | 03      |                            |             |
|                               |        |               | 内側表面近傍 | T    | 04     | 04      |                            |             |
|                               |        |               | 内側表面近傍 | RH   | 05     | 05      |                            |             |
|                               | 北      | 下部            | 内側表面   | T    | 06     | 06      | 通気層や軒裏換気の流出入付近の状況把握        |             |
|                               |        |               | 内側表面近傍 | T    | 07     | 07      |                            |             |
|                               |        |               | 内側表面近傍 | RH   | 08     | 08      |                            |             |
|                               |        | 中央            | 内側表面   | T    | 09     | 09      |                            |             |
|                               |        |               | 内側表面近傍 | T    | 10     | 10      |                            |             |
|                               |        |               | 内側表面近傍 | RH   | 11     | 11      |                            |             |
|                               |        | 吊り木直上         | 内側表面   | T    | 12     | 12      | 袋入り断熱材施工の弱点部の状況把握          |             |
|                               |        |               | 内側表面近傍 | T    | 13     | 13      |                            |             |
| 内側表面近傍                        | RH     |               | 14     | 14   |        |         |                            |             |
| 小屋裏空間                         | 南      | 中央            |        | T    | 15     | 15      |                            |             |
|                               |        |               |        | RH   | 16     | 16      |                            |             |
|                               |        |               |        | T    | 17     | 17      |                            |             |
|                               | 北      | 中央            |        | RH   | 18     | 18      |                            |             |
|                               |        |               |        | T    | 19     | 19      |                            |             |
|                               |        |               |        | RH   | 1-00   | 20      |                            |             |
|                               | 間仕切壁   | 直上            |        | T    | 01     | 21      |                            |             |
|                               |        |               |        | RH   | 02     | 22      |                            |             |
|                               |        | 断熱材との<br>取合い部 |        | T    | 03     | 23      | 袋入り断熱材施工の弱点部の状況把握          |             |
|                               |        |               |        | RH   | 04     | 24      |                            |             |
|                               | 断熱材継ぎ目 | 直上            |        | T    | 05     | 25      | 袋入り断熱材施工の弱点部の状況把握          |             |
|                               |        |               |        | RH   | 06     | 26      |                            |             |
|                               |        | 小屋梁           | 中央     | 表面   | T      | 07      | 27                         | 吸放湿の目安を得るため |
|                               | 妻壁     | 東             | 中央     | 表面近傍 | RH     | 08      | 28                         |             |
| 内側表面                          |        |               |        | T    | 09     | 29      |                            |             |
| 内側表面近傍                        |        |               |        | T    | 10     | 30      |                            |             |
| 西                             |        | 中央            | 内側表面近傍 | RH   | 11     | 31      |                            |             |
|                               |        |               | 内側表面   | T    | 12     | 32      |                            |             |
|                               |        |               | 内側表面近傍 | T    | 13     | 33      |                            |             |
| 内側表面近傍                        |        | RH            | 14     | 34   |        |         |                            |             |
|                               |        | 天井            | 断熱材    | 南    | 小屋裏側表面 | T       | 15                         |             |
| 内装材                           | 北      | 小屋裏側表面        | T      | 16   | 36     |         |                            |             |
|                               | 南      | 居室側表面         | T      | 17   | 37     |         |                            |             |
| 北                             | 居室側表面  | T             | 18     | 38   |        |         |                            |             |
| 通気層内<br>(20cm程度挿入)            | 南      | 窓有り           |        | T    | 19     | 39      | 窓有り部と窓無し部の通気層の状況を把握        |             |
|                               |        |               |        | RH   | 2-00   | 40      |                            |             |
|                               |        | 窓無し           |        | T    | 01     | 41      |                            |             |
|                               |        |               |        | RH   | 02     | 42      |                            |             |
|                               | 北      | 窓有り           |        | T    | 03     | 43      | 窓有り部と窓無し部の通気層の状況を把握        |             |
|                               |        |               |        | RH   | 04     | 44      |                            |             |
|                               |        | 窓無し           |        | T    | 05     | 45      |                            |             |
|                               |        |               |        | RH   | 06     | 46      |                            |             |
| 居室                            |        |               |        | T    | 07     | 47      |                            |             |
|                               |        |               |        | RH   | 08     | 48      |                            |             |
| 差圧                            |        |               |        |      |        |         |                            |             |
| 小屋裏 中央部 - 居室 下がり壁下            |        |               |        |      | 09     | 49      | 換気量を把握するため<br>換気回路網計算検証のため |             |
| 軒天 南側 - 居室 下がり壁下              |        |               |        |      | 10     | 50      |                            |             |
| 軒天 北側 - 居室 下がり壁下              |        |               |        |      | 11     | 51      |                            |             |
| 外気 基準点 - 居室 下がり壁下             |        |               |        |      | 12     | 52      |                            |             |
| 風速                            |        |               |        |      | CADAC  | CADAC通し |                            |             |
| 軒換気口                          | 南      | (指向性)         |        |      | 2-13   | 53      |                            |             |
|                               | 北      | (指向性)         |        |      | 14     | 54      |                            |             |
| 棟                             | (指向性)  |               |        | 15   | 55     |         |                            |             |
|                               | (指向性)  |               |        | 16   | 56     |         |                            |             |
| 通気層                           | 南      | 窓有り           | 風速     |      | 17     | 57      | 軒天から20cm程度下がった部分           |             |
|                               |        |               | 温度     |      | 18     | 58      |                            |             |
|                               |        | 窓無し           | 風速     |      | 19     | 59      |                            |             |
|                               |        |               | 温度     |      | 3-00   | 60      |                            |             |
|                               | 北      | 窓有り           | 風速     |      | 01     | 61      |                            |             |
|                               |        |               | 温度     |      | 02     | 62      |                            |             |
|                               |        | 窓無し           | 風速     |      | 03     | 63      |                            |             |
|                               |        |               | 温度     |      | 04     | 64      |                            |             |
| 熱流                            |        |               |        |      |        |         |                            |             |
| 屋根野地                          | 南      | 中央            | 熱流     |      | 05     | 65      | 熱伝達率の把握のため                 |             |
|                               |        |               | 温度     |      | 06     | 66      |                            |             |
|                               | 北      | 中央            | 熱流     |      | 07     | 67      |                            |             |
|                               |        |               | 温度     |      | 08     | 68      |                            |             |
| 居室側天井                         | 南      | 中央            | 熱流     |      | 09     | 69      | 熱伝達率の把握のため                 |             |
|                               |        |               | 温度     |      | 10     | 70      |                            |             |
|                               | 北      | 中央            | 熱流     |      | 11     | 71      |                            |             |
|                               |        |               | 温度     |      | 12     | 72      |                            |             |
| 気象                            |        |               |        |      |        |         |                            |             |
| 全天日射量                         |        | 水平面           |        |      |        | 13      | 73                         |             |
| 気象ステーション(温度、湿度、風向、風速、大気圧、降雨量) |        |               |        |      |        |         |                            |             |

※網掛け部は測定器不足のため、集中実測にて測定予定

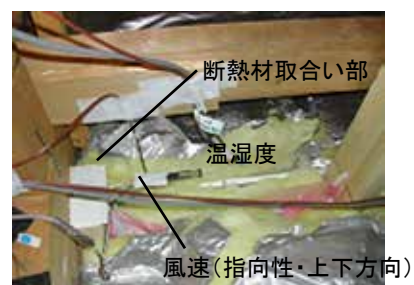




野地南側



野地北側



間仕切壁 直上



軒天換気口 風速計



通気層



風速(指向性・横方向)

軒部分



軒天換気口 微差圧計



天井吊り木上 野地表面



天井吊り木 直上



気象ステーション(温湿度・風向風速計など)  
と日射計【実験棟北側】



室内ロガーなど



室内下がり壁と隙間状況

図 7.4 各種センサーの設置状況

### 7.2.3 実験条件

実験は、小屋裏換気口及び天井面の気密・防湿の組合せを設定し、それぞれ 1 週間程度の測定を行う。本年度は、軒のみ換気＋間仕切壁気流止め＋全日暖房を基準ケースとして、以下の 4 ケースの実験を行う。軒換気口は住宅金融支援機構の木造住宅工事共通仕様書に合致するように設置した。

表 7.2 実験条件及びスケジュール

| Case       | Case1    | Case2   | Case3     | Case4     |
|------------|----------|---------|-----------|-----------|
| 小屋裏換気口     | 軒のみ      | 軒のみ（半開） | 軒のみ       | 軒のみ（半開）   |
| 通気層からの空気流入 | あり       |         |           |           |
| 気流止め       | あり       |         | なし        |           |
| 実験期間       | 1/26～2/2 | 2/2～2/9 | 2/11～2/18 | 2/18～2/22 |
| 居室         | 連続暖房     |         |           |           |
| 備考         | 基準ケース    | —       | —         | —         |

## 7.3 結果及び考察

### 7.3.1 Case1 及び Case2（気流止めあり）

Case1 及び Case2 の各測定点の温度変動、相対湿度変動、絶対湿度変動のグラフを図 7.5～図 7.7 に示す。図中凡例の「表面」とは小屋裏空間に面する野地板表面を意味し、「表面近傍」は野地板表面の近傍空気の状態を意味する。ただし、「表面」の相対湿度については「表面近傍」の絶対湿度を表面温度の測定値で補正して算出したものである。なお、絶対湿度変動は日射量との相関性が強いので、水平面全天日射量を右軸に挿入した。

図 7.5 の居室温度は約 22℃、55% で推移している。外気温度は 2/1 から最高、最低値ともに低くなり、特に 2/3 からはほぼ毎日、最低温度が 0℃を下回っている。図 7.6 の野地板表面の相対湿度は Case2 となる 2/3 の前後より朝方に露点に達する日が観測され、結露発生頻度が増えている。これは外気の低温化に加え、軒裏換気口を半分とした双方の条件が影響している。

小屋裏内の絶対湿度は日射量とともに上昇している。これは、日射により野地板温度が上昇し、合板内に吸着されている水蒸気が小屋裏空間に放湿されているためである。ただし、日射量が多いものの絶対湿度上昇が低い 1/29 や 2/7 は、外部風速が最大で 3～4m/s 程度と他の期間に比べ高く（図 7.8）、それに連動するように軒換気口の小屋裏側風速も最大約 2.0m/s が計測されていることから（図 7.9）、外部風による換気の促進が推測される。

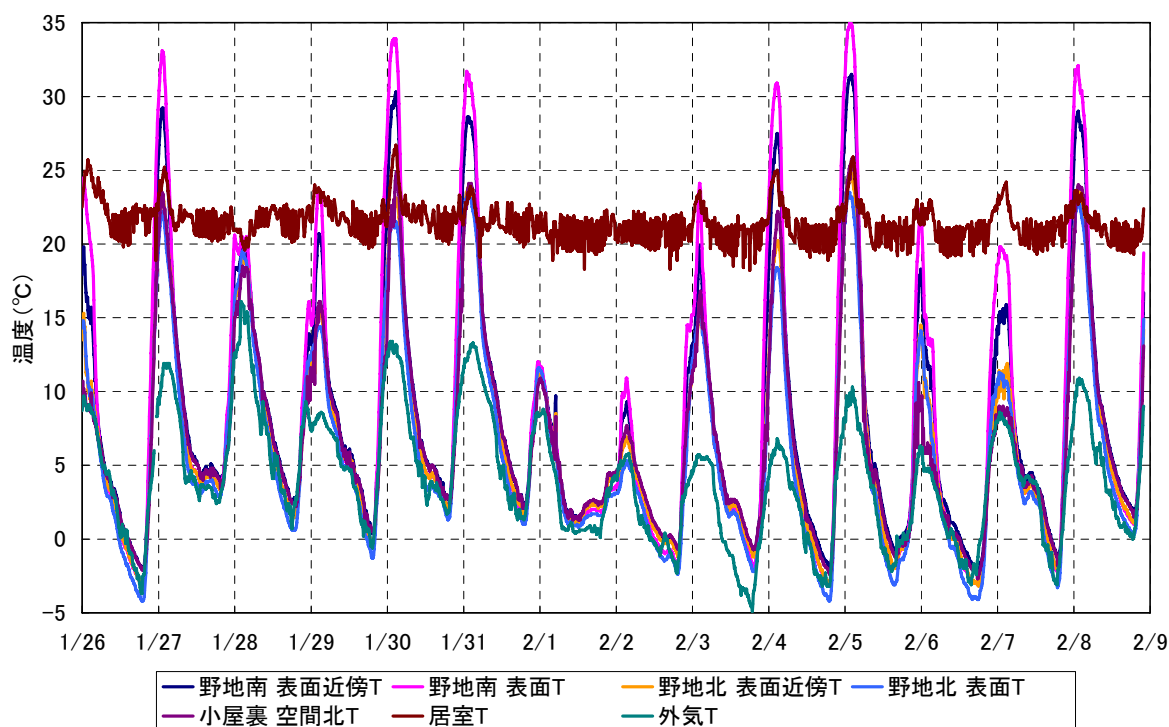


図 7.5 温度変動グラフ（Case1：1/26～2/2、Case2：2/2～2/9）



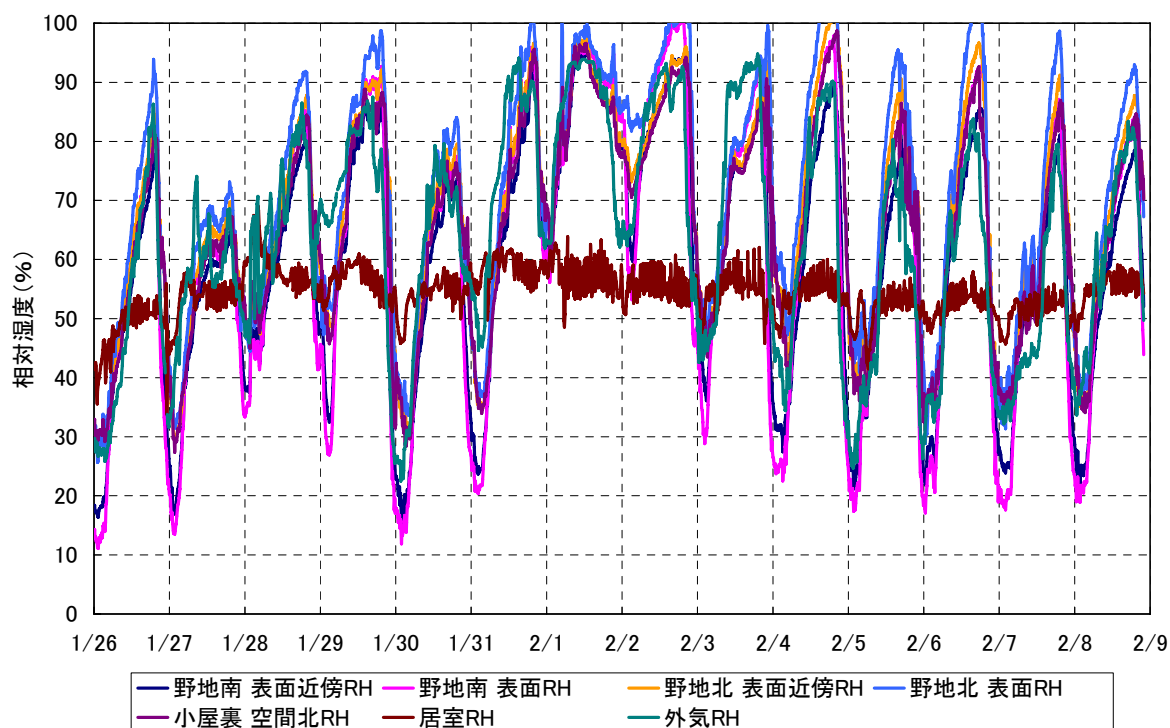


図 7.6 相対湿度変動グラフ (Case1 : 1/26～2/2、Case2 : 2/2～2/9)

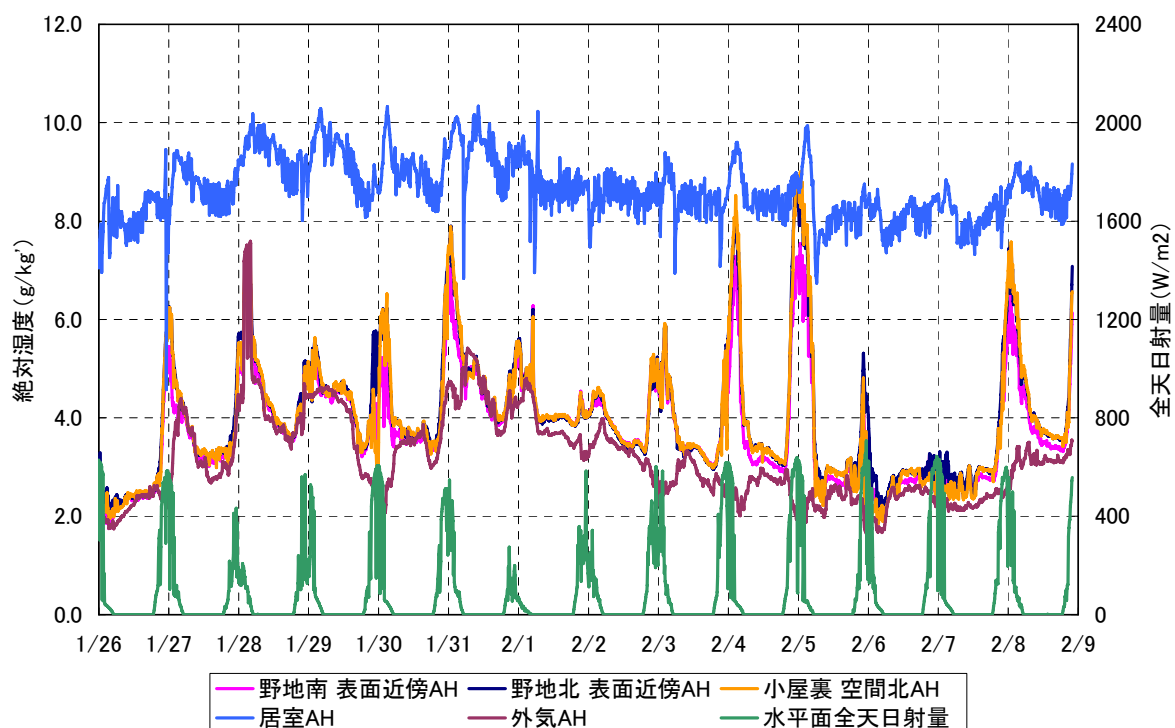
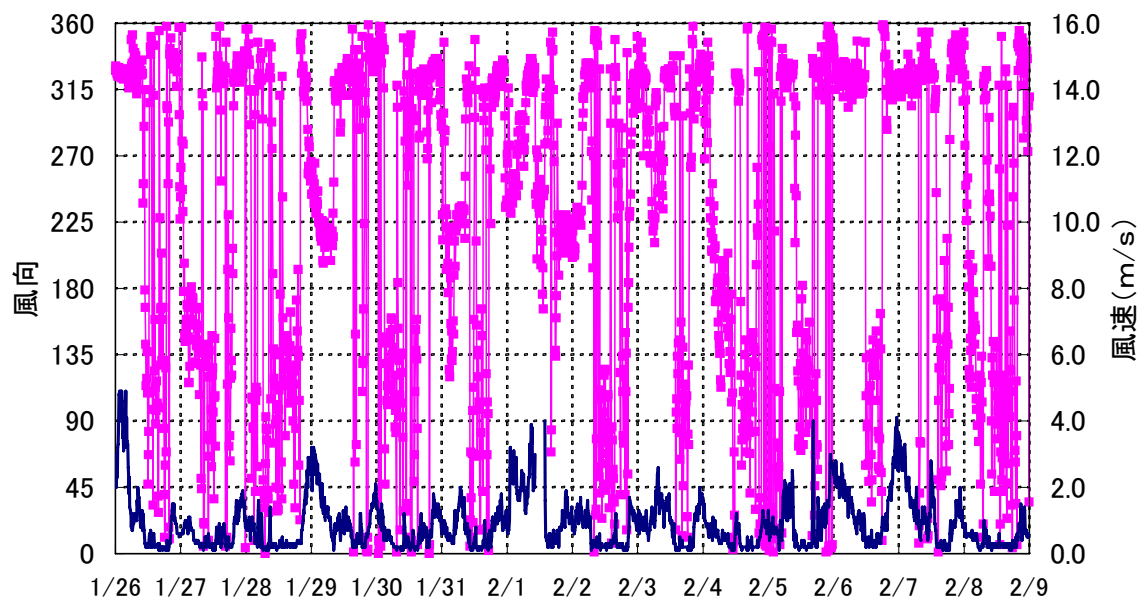


図 7.7 絶対湿度・全天日射量変動グラフ (Case1 : 1/26～2/2、Case2 : 2/2～2/9)



※風向は真北を 0° として時計回りに 360°

図 7.8 外部風向・風速 (Case1 : 1/26～2/2、Case2 : 2/2～2/9)

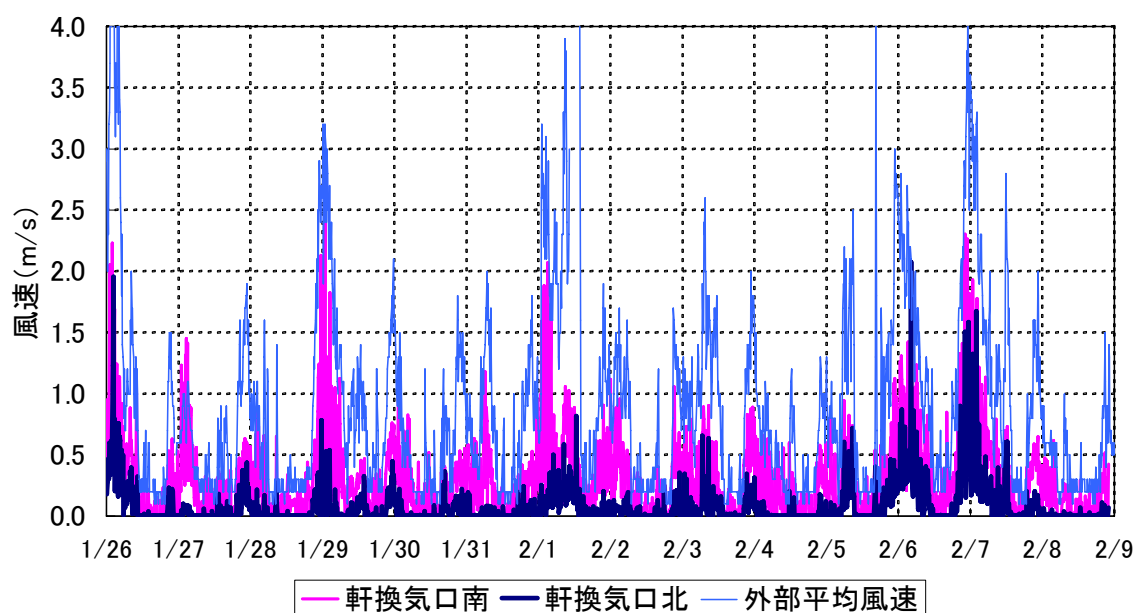


図 7.9 軒換気風速と外部風速 (Case1 : 1/26～2/2、Case2 : 2/2～2/9)

### 7.3.2 Case3 及び Case4 (気流止めなし)

間仕切壁上部の気流止めが無い条件である、Case3 及び Case4 の温度変動、相対湿度変動、絶対湿度変動のグラフを図 7.10～図 7.12 に示す。図 7.10 の居室温度の傾向が 2/18 より変化しているが、これは床上約 1.2m に設置した室内の温度センサーが床に落下したことによる。

2/11～2/17 は 2/14 を除くと曇天や降雪の影響で昼間でも外気温度が低く推移している。外部風速 (図 7.13) は Case1,2 の実験期間に比べると最大風速は小さいが、例えば 2/15～17 のように

1. 5m/s 程度の卓越風が継続する気象条件であった。この期間は (2/15~17)、軒換気口の風速が常時 0.5m/s 程度観測され、Case1, 2 の約 0.2m/s (夜間) より換気量が多い。しかしながら、Case3 の相対湿度 (図 7. 11) は露点に達する頻度が増えており、気温低下と気流止めの撤去が影響を及ぼしたものと推察される。本来、Case3 に比べると軒換気口面積を半分にした Case4 の方が湿度環境は厳しくなるはずであるが、相対湿度の時系列データを見る限り、気温低下の影響が顕著であったと言えよう。

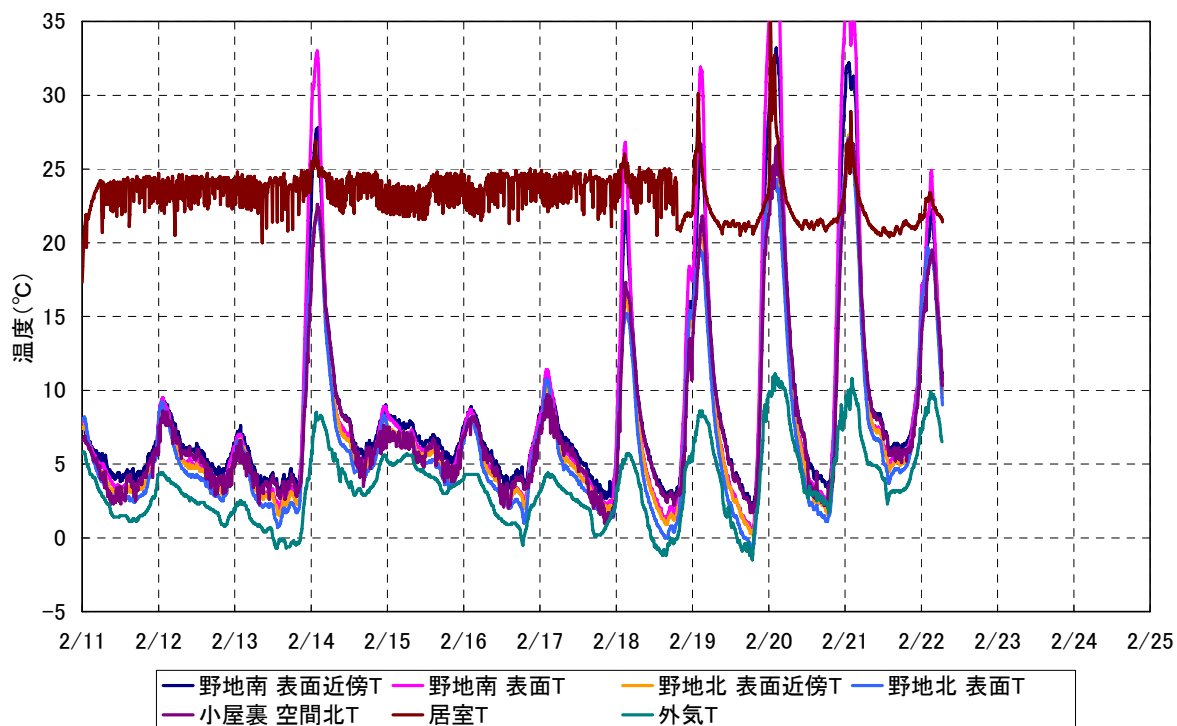


図 7. 10 温度変動グラフ (Case3 : 2/11~2/18、Case4 : 2/18~2/22)

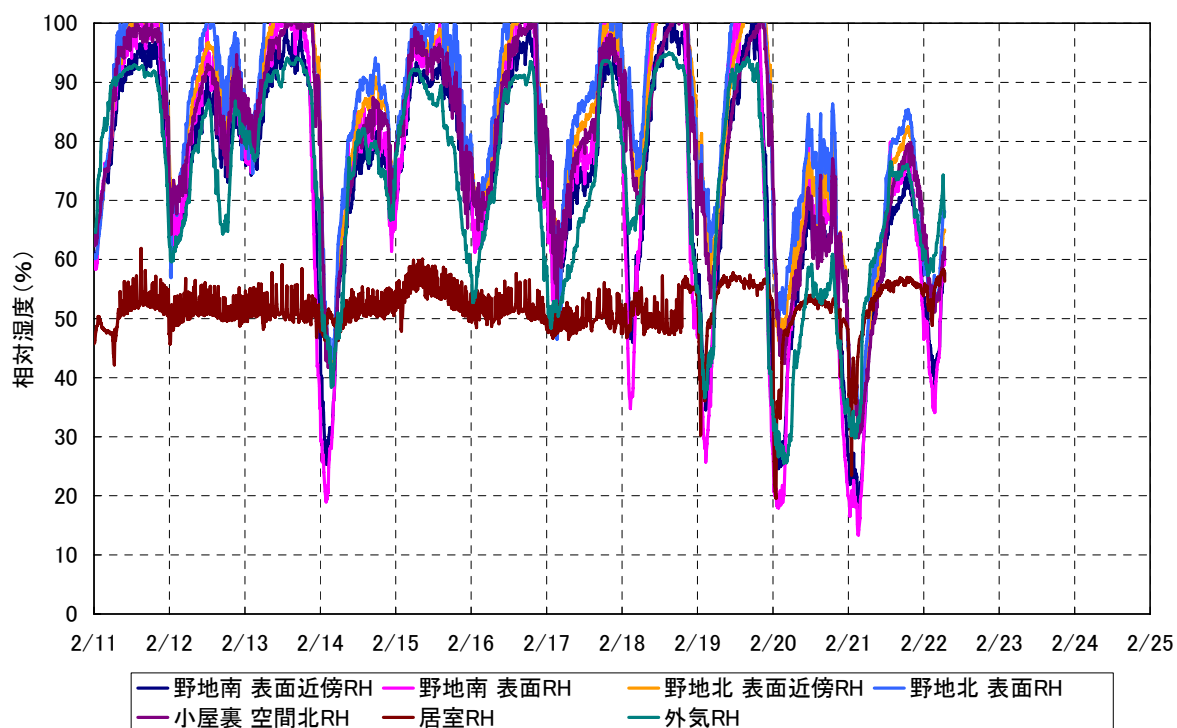


図 7.11 相対湿度変動グラフ (Case3 : 2/11~2/18、Case4 : 2/18~2/22)

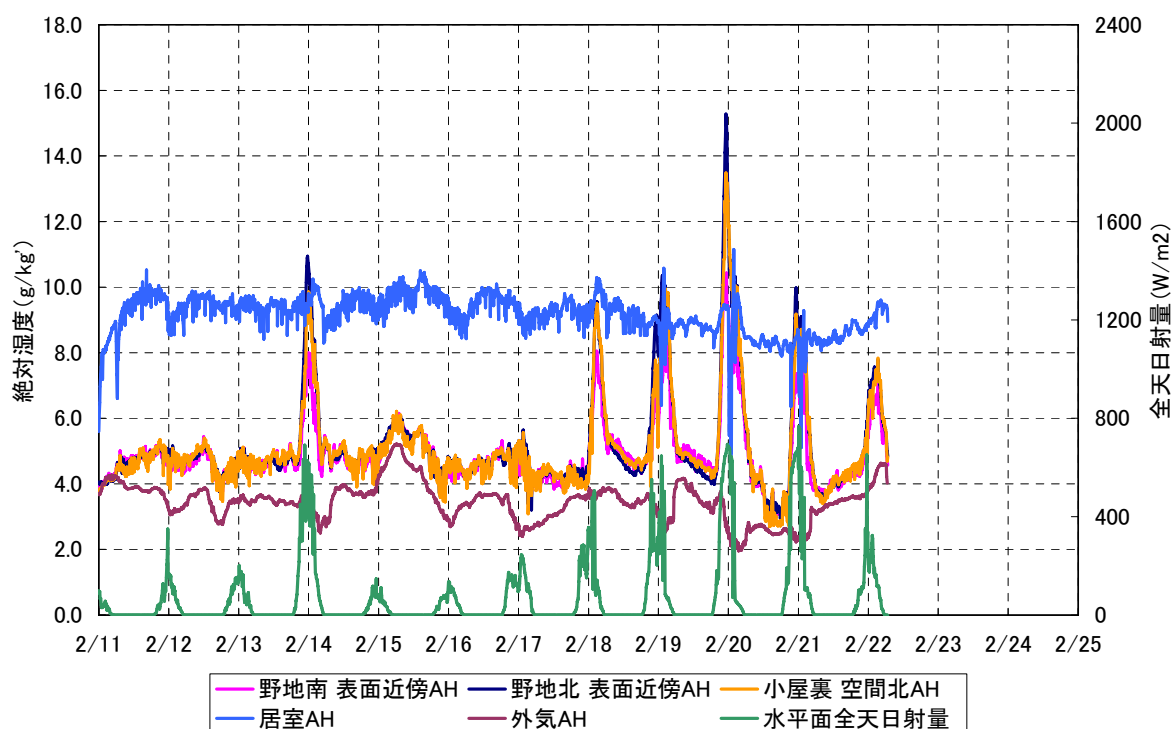


図 7.12 絶対湿度・全天日射量変動グラフ (Case3 : 2/11~2/18、Case4 : 2/18~2/22)

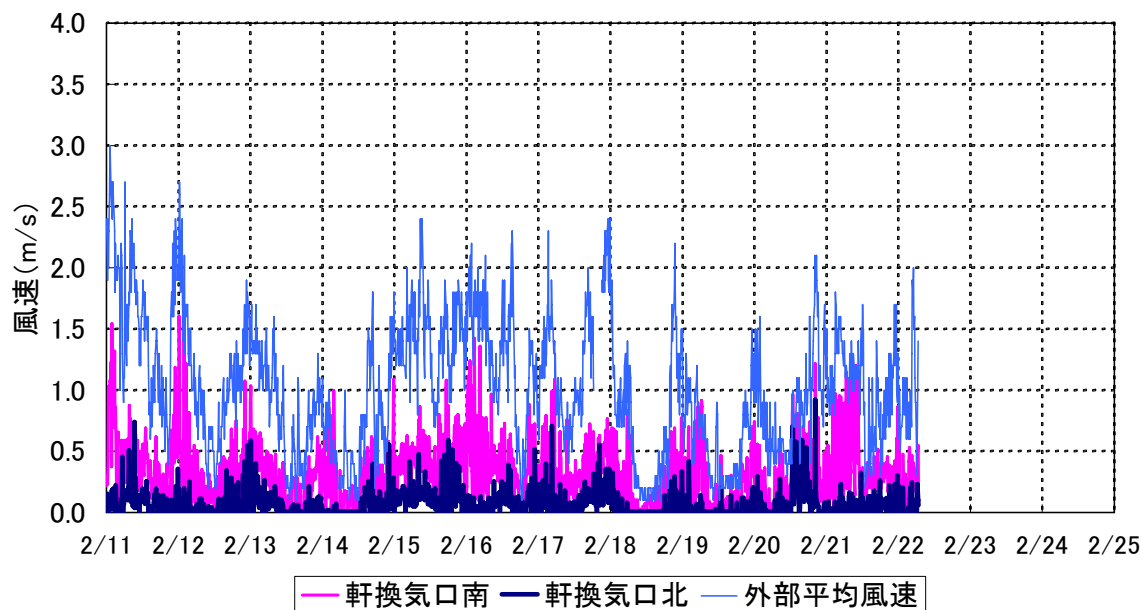


図 7.13 軒換気風速と外部風速 (Case3 : 2/11～2/18、Case4 : 2/18～2/22)

### 7.3.3 無次元絶対湿度による比較

これまで示した時系列のプロファイルでは、気象条件や木材の吸放湿等によって、小屋裏湿度に対する換気口面積や気流止めの影響を比較するのが困難であった。そこで、内外の絶対湿度差で無次元化した値を求め、与条件に対する影響を考察する。比較対象とするデータは、温湿度変動が安定する 0～6 時の期間平均値とし、以下の式により無次元絶対湿度を求めた。無次元絶対湿度は 0 が外気、1 が居室と同等であることを意味しており、1 に近づくほど対象部位が高湿化したことになる。

$$\chi = (X_a - X_o) / (X_i - X_o) \quad (1)$$

ここに、 $\chi$  : 小屋裏無次元絶対湿度  $X_a$  : 小屋裏絶対湿度 (g/kg')

$X_o$  : 外気絶対湿度 (g/kg')  $X_i$  : 主要暖房室の絶対湿度 (g/kg')

0～6 時における絶対湿度の期間平均値を図 7.14 に、無次元絶対湿度を図 7.15 に示す。図 7.14 の絶対湿度測定値では、気流止めを撤去したことによる差異は読み取れるが、例えば Case1、Case2 を比較すると、換気口面積を半減させたにもかかわらず、条件変更後、外気絶対湿度の低下により小屋裏各部の絶対湿度も低下している。

図 7.13 の無次元絶対湿度では、Case1 より Case2 が全体的に高く、換気口面積を半減させたことによる影響が見られる。図 7.15 によれば、気流止め撤去による小屋裏空間の高湿化は明らかであり、Case3、Case4 とともに Case1 の 2 倍以上の値となっている。部位の影響も確認でき、軒天換気口に近い野地板下部の値は他部位に比べ小さく、外気に近い環境であることが読み取れる。Case3 の無次元絶対湿度が Case4 に比べ高い理由については、結露による野地板の湿潤状態の継続が推察される。

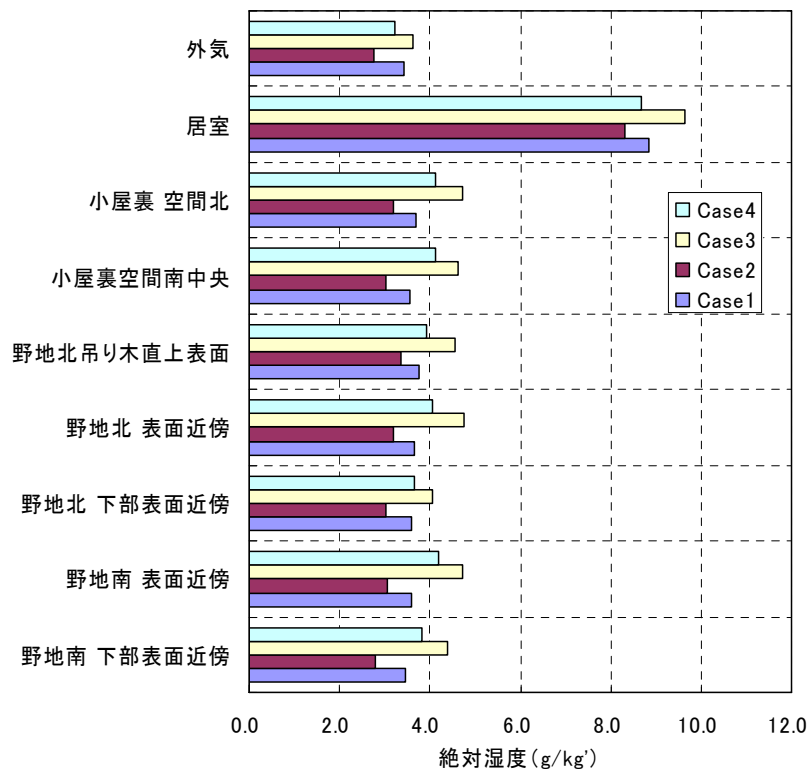


図 7.14 各部位の絶対湿度 (0～6 時の平均値)

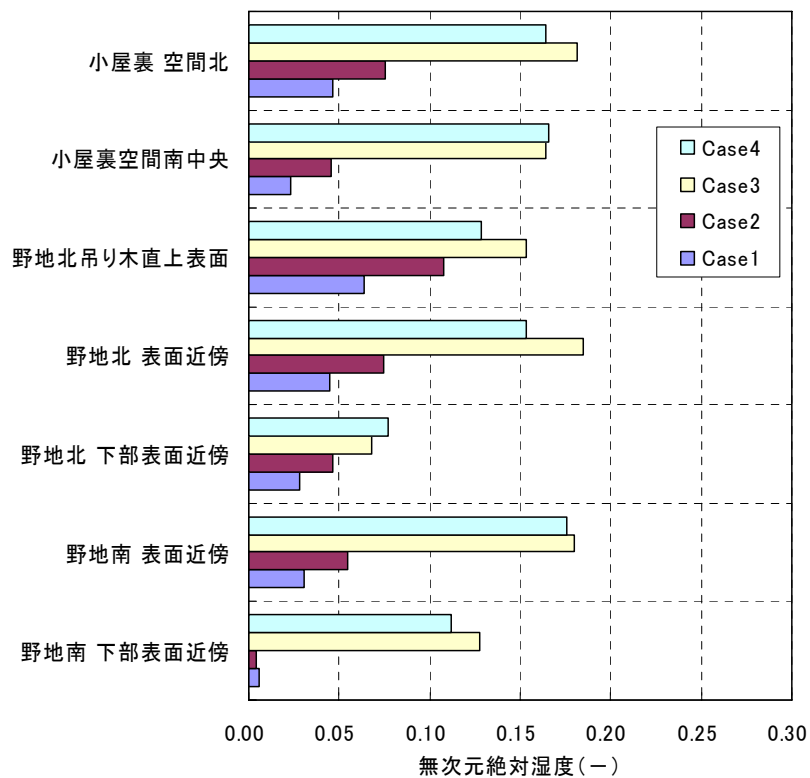


図 7.15 各部位の無次元絶対湿度 (0～6 時の平均値)

#### 7.4 まとめ

本節では現行の省エネ基準に準拠する性能を持つ建物を対象に、躯体の隙間性状や防湿・気密性能に着目した実験を行い、小屋裏換気面積の要求性能を検討するためのデータ収集を行った。

今年度得られた知見は軒天換気口を持つ建物に限定されるが、小屋裏空間の高湿化に対しては換気口面積の大小より、気流止め有無の影響が大きいことが示された。この結果は、気流止めの施工例が少ない旧来の住宅と、天井面の気密性能が担保された近年の住宅では、要求される換気口面積が異なることを意味する。また、曇天日の相対湿度の上昇は、太平洋側と日本海側など気候地域の差異が影響することを示唆している。

今後の課題としては、以下の項目が挙げられる。

- ・棟換気や妻換気など換気口の差異に対する検討
- ・室内及び外部空間との換気による水分収支の定量的な解析
- ・天井面の気密・防湿性能を緩和させた際の検討
- ・気象条件による影響

来年度以降は、上記の項目に関する実験を継続するとともに数値計算による検討も加え、建物下部構造や気象条件を勘案した小屋裏換気口の要求性能を整備する予定である。

#### <参考文献>

- 1) 宮田靖久, 松本 衛: 住宅の小屋裏と床下空間の熱・湿気性状, 日本建築学会計画系論文集 第457号, pp19-28, 1994.3
- 2) Don W. Fugler : Conclusions from Ten Years of Canadian Attic Research, ASHRAE Transactions, vol. 105, pt. 1, 819-825, 1999
- 3) 国土交通省住宅局住宅生産課: 日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説 (新築住宅)、工学図書、2009
- 4) 齋藤宏昭、本間義視、他: 小屋裏を対象とした防露性能評価法の開発 (その 3) 湿害防止のための透湿抵抗比の提案、日本建築学会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.281~282、2008.9
- 5) Hiroaki Saito, Yoshinori Honma, Hisashi Miura: Requirements of Airtightness for Moisture Control in Attic based on Whole Building HAM Model, Proceedings of 'The 30th AIVC Conference in 2009', 2009.10 (pdf file)
- 6) 桑沢保夫, 齋藤宏昭、他: 木造戸建住宅の省エネルギー改修に関する研究 その 3、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.105-106、2007.9
- 7) 松岡大介, 齋藤宏昭、他: 小屋裏を対象とした防露性能評価法の開発 (その 2) 実測調査に基づく湿気性状分析、日本建築学会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.279~280、2008.9

## 第 8 章 接合金物、接合具の耐久性評価

### 8.1 はじめに

#### 8.1.1 背景と目的

2009 年に長期優良住宅の基本的基準が策定された。この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）の対策等級 3 をベースに維持管理要件を加えたものであり、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、面材耐力壁の釘やビス、柱頭柱脚金物など、構造耐力要素としての金属接合具の使用が多くなってきている。2000 年の建築基準法改正では、建設省告示 1460 号により、柱頭柱脚および筋かいの端部の仕様が、接合金物として明確に規定された。また、面材耐力壁の性能は接合具の性能が支配的であることが多い。すなわち、接合金物および接合具の構造特性が建物の構造特性に及ぼす影響が相対的に高くなっているといえる。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具の劣化特性を明らかにするための取組みを行う。

#### 8.1.2 出カイメージ

基準イメージとしては、①接合金物（および接合具）の表面処理グレードを数区分し、②当該接合金物（および接合具）の使用環境を数区分し、③これらの組み合わせによって当該接合金物（および接合具）の構造性能に対する劣化低減係数  $\alpha$  を規定するものなどが考えられる。さらに、これらは対象金物の使用方法や建物の目標供用期間ごとに規定される。

表 8.1 接合金物の構造性能劣化低減係数マトリクスのイメージ

|      |     | 表面処理グレード |     |     |
|------|-----|----------|-----|-----|
|      |     | 1        | 2   | 3   |
| 使用環境 | I   | 1.0      | 0.8 | 0.6 |
|      | II  | 1.0      | 1.0 | 0.8 |
|      | III | 1.0      | 1.0 | 1.0 |

### 8.2 接合金物、接合具の腐食実態

まず、既往の研究の文献調査を行い、接合金物、接合具、その他鋼材の腐食実態を整理した。

#### 8.2.1 部位による腐食

Kubler は部材境界面での錆が著しいことを指摘し、建設時の配慮、例えば適切なコーキングなどによって錆を抑止することができるとしている<sup>1)</sup>。また、含水率約 18% 超で木材



内の釘は錆びやすくなることを指摘している。

石本らは築 21 年の軽量鉄骨住宅のさびの評価を行っている<sup>2)</sup>。特に含水率の高い他材料と接触した部分に錆が見られる。

### 8.2.2 薬剤処理木材との接触による腐食

Baker は薬剤処理木材において含水率が高くなると腐食が進行することを指摘している<sup>3)</sup>。特にホウ酸等を含む防火処理木材は、低い湿度でも腐食性を有するとしている。

山田は各種表面処理を施した金物を防腐防蟻処理した木材に取り付け、屋外暴露試験、耐湿試験を行っている<sup>4)</sup>。ACQ や CUAZ-2 などの銅が含まれている薬剤によって防腐防蟻処理した木材に対して、亜鉛系のめっきを施した金物を取り付けた場合、比較的早く腐食が進むことを指摘している。また、表面に樹脂系の皮膜を持つ表面処理の場合は比較的腐食しにくいことを指摘している。

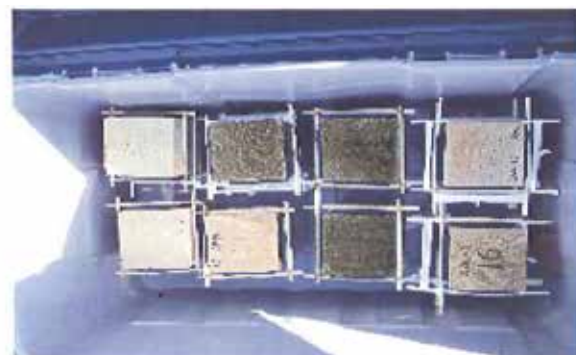
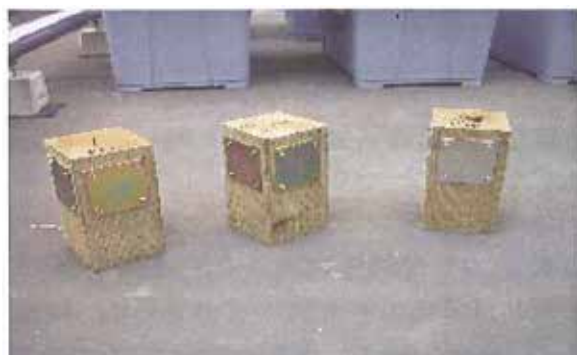


写真 8.1 耐湿試験の様子<sup>4)</sup>

### 8.2.3 木造住宅における鋼材の腐食

神山らは築 23 年の軸組工法木造住宅の釘を調査、釘径と重量を測定している<sup>5)</sup> (図 8.1)。重量減少率は外壁に比べて床下が大きく、外壁の方位別に比較すると北側が最も大きい。外壁の重量減少率は 10～20% 程度である。床下の湿潤環境が釘錆に大きく影響するとしている。また同様に、築 11～27 年の木造住宅のくぎを調査し、減少径と経過年数の関係をまとめている<sup>6)</sup>。

今村らは関東地方を中心とした木造住宅の外壁における釘の劣化状態を調査し、目視による釘の劣化度を定義し、釘の錆量およびせん断力から求めた釘の有効直径と関連付けている<sup>7)</sup>。なお、劣化度は 0.5 単位で評価するとしている (表 8.2)。

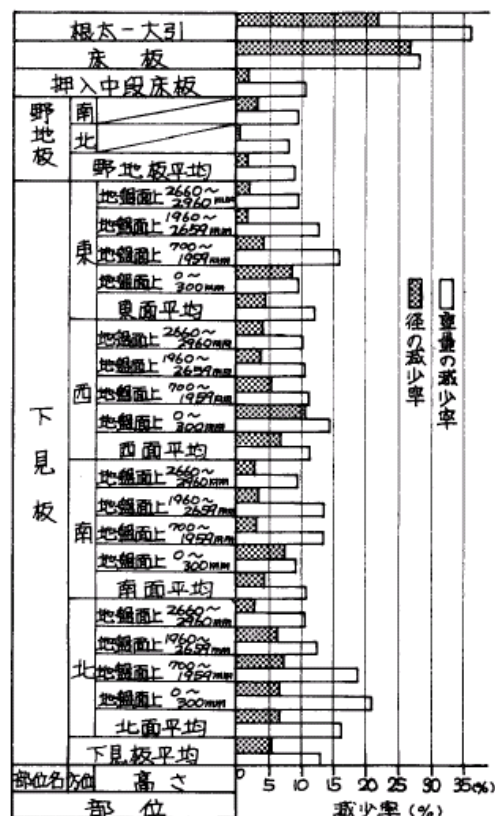
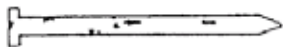


図 8.1 釘の部位別減少率<sup>5)</sup>

表 8.2 今村らの釘の劣化度評価基準<sup>6)</sup>

| 劣化度<br>Rating | 基 準<br>Standard                                         | 例<br>Example                                                                       |
|---------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | 微 小 さ び<br>Scarcely rusted                              |  |
| 2             | 表面部分的さび, 肉眼的損傷なし<br>Partially rusted, no visible defect |  |
| 3             | 表面全面さび, 内部健全<br>Totally rusted, no defect inside        |  |
| 4             | 部分的損傷, 原長維持<br>Partially defect, with original length   |  |
| 5             | 原 形 不 明<br>Failure                                      |  |

石山らは木材含水率と木材由来の酢酸を劣化因子として着目し、高温高湿暴露による促進試験と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ている<sup>8)</sup> (8.3.2 参照)。

#### 8.2.4 鉄骨造建築物における鋼材の腐食

スチールハウス構造・耐久性研究報告<sup>9)</sup>では、スチールハウス用鋼材について、自動車用材料腐食試験法<sup>10)</sup> (複合サイクル試験) によって促進試験を行っている。促進試験 30 サイクルが屋外暴露 3～20 年相当であるとしている。

作本らは型钢およびねじ接合部の促進耐久性試験、ねじ接合部の促進劣化後のせん断試験を行い、型钢の耐用年数を推定している<sup>11)</sup>。促進試験は自動車用材料腐食試験法によっておこない、屋外と屋内の腐食速度の比率は 1/8 としている。この腐食速度の比率は耐久性総プロによる「鉄骨造建築物の設計用劣化外力設定指針」<sup>12)</sup>の露出度係数 (表 8.3) として与えられている。

表 8.3 露出度係数 BX<sup>12)</sup>

| 符号  | 露出状況      |           | 露出度係数   |         |     |
|-----|-----------|-----------|---------|---------|-----|
|     |           |           | 表面無処理鋼材 | 亜鉛めっき鋼材 | 塗膜  |
| BX1 | 外部露出      |           | 1.0     | 1.0     | 1.0 |
| BX2 | 半露出       | 常時乾燥      | 3.0     | 3.0     | 3.0 |
| BX3 |           | 湿潤、乾燥の繰返し | 1.0     | 1.0     | 2.0 |
| BX4 | 非露出       | 常時乾燥      | 6.0     | 8.0     | 6.0 |
| BX5 |           | 湿潤、乾燥の繰返し | 0.8     | 0.8     | 3.0 |
| BX6 | コンクリート端境面 |           | 1.0     | 1.0     | 0.8 |

※BX4-亜鉛めっき鋼材の露出度係数は現在では 7.0 を用いている。

### 8.3 接合金物、接合具の耐久性の定義

耐久性とはある性能を維持する性能と考えられる。すなわち、構造性能をどれだけ維持できるか（構造性能の耐久性）、防水性能をどれだけ維持できるか（防水性能の耐久性）、などと言い換えることができる。したがって、ある機能部材の耐久性を定義するためには、これらの性能を考慮した限界状態を定義する必要がある。以下に鉄骨造建築物の例と、木造住宅の限界状態を考えるための一例として、釘の劣化時性能に関する研究例を挙げる。

#### 8.3.1 鉄骨造建築物の限界状態

鉄骨造建築物の鋼材においては経験的に断面欠損が 10%に到達した時点を限界状態としており（式 8.1）<sup>12)</sup>、また、亜鉛めっきの限界状態（標準耐用年数）は、めっき付着量の 90%が消失した時点とすることが多い（式 8.2）。

鋼材の標準耐用年数 <sup>12)</sup>

$$Y_{0S} = \frac{0.1 \times t}{N \times \alpha_s} \quad \dots \text{式 8.1}$$

ここで、

$Y_{0S}$  : 表面無処理鋼材の標準耐用年数（年）

$t$  : 鋼材の板厚（mm）

$N$  : 部材の断面形  $N=1$  閉断面形

$N=2$  開断面形

$\alpha_s$  : 標準地域における鋼材の年間腐食量（ $\alpha_s=0.05\text{mm/年}$ ）

亜鉛めっきの標準耐用年数 <sup>12)</sup>

$$Y_{0Z} = \frac{0.9 \times z}{N \times \alpha_z} \quad \dots \text{式 8.2}$$

ここで、

$Y_{0Z}$  : 亜鉛めっきの標準耐用年数（年）

$z$  : 亜鉛めっき量（ $\text{g/m}^2$ ）

$N$  : 部材の断面形  $N=1$  閉断面形

$N=2$  開断面形

$\alpha_z$  : 標準地域における亜鉛めっきの年間腐食量（ $\alpha_z=11\text{g/m}^2 \cdot \text{年}$ ）

例えば、厚さ 2.3mm の鋼板の標準耐用年数は、以下のようになる。

$$Y_{0S} = \frac{0.1 \times t}{N \times \alpha_s} = \frac{0.1 \times 2.3}{2 \times 0.05} = 2.3\text{年} \quad \dots \text{式 8.3}$$

同様に、溶融亜鉛めっき Z27 の表面処理の標準耐用年数は、以下のようになる。

$$Y_{0Z} = \frac{0.9 \times z}{N \times \alpha_z} = \frac{0.9 \times 275/2}{1 \times 11} = 11.25\text{年} \quad \dots \text{式 8.4}$$

### 8.3.2 釘の劣化時性能

木造長期優良住宅の接合金物や接合金具の基準を策定するためには、これらの限界状態を定義する必要がある。すなわち、接合金物や接合金具に使用される鋼材の断面欠損（重量減少率）が何%に到達する時点を限界状態とするのが適当であるのかを検討する必要がある。8.3.2 節には、これを定義する上で重要な情報である、釘の劣化時性能に関する既往の研究を整理した。また、8.3.3 節には、釘劣化時の合板耐力壁の性能に関する研究例を紹介する。

徳田は、木材の含水率条件をパラメータとして釘の引抜き実験を行い、引抜き耐力における釘の錆の影響を考察している<sup>13)</sup>。気乾状態を継続させた試験体および湿潤状態を継続させた試験体では釘の引抜き耐力に対して錆が寄与する割合はかなり大きく、約 1.5 倍になると報告している。また、木材を水に漬けて含水率を上昇させてから引抜き実験を行うと、釘に加わる側圧の急激な低下と摩擦係数の減少により、釘の引抜き耐力は減少するが、釘が発錆して木材との付着が強くなっていると、釘の引抜き耐力は増加すると報告している<sup>14)</sup>。

平井らは木材に OSB を打ちつけた釘接合部試験体を沸騰水中および常温水中に浸漬後、一定期間室内放置し、釘接合せん断耐力の推移を検証している<sup>15)</sup>。

Johnson は防火処理木材に合板を釘打ちし、3 種の条件下（低温・常温・高温高湿）に暴露し、せん断実験を行っている<sup>16)</sup>。防火処理木材に打たれた釘は高温高湿下では劣化が著しく、パンチングアウトによって耐力低下を示した。

宮村らは製材にパーティクルボードもしくは合板を釘打ちし、高湿環境下に暴露し、釘の引抜き試験およびせん断試験を行っている<sup>17)</sup>。引抜き耐力は釘の錆に大きく影響を受ける一方、せん断耐力は釘の錆に加えて含水率の変化に大きく影響を受けると報告している。

今村らは、釘の劣化度と釘接合部のせん断耐力について実験および考察を行い、たとえば劣化度 3 の CN50 釘による合板釘接合部の 0.9mm すべり変位時耐力は、劣化なしの場合の 55%程度であると報告している<sup>4)</sup>。なお、劣化度と有効直径の関係（表 8.4）によれば、劣化度 3 の 2 CN50 釘の重量減少率は 20%程度（長さの減少を無視し、重量減少率が断面積の減少に等しいと考えると、 $100\%-(90\%)^2=19\%$ ）であると考えられる。

福本らは築 30 年の木造住宅を移築した試験体とそれを新しい材料で再現した試験体について震動台加振実験を行っている<sup>18)</sup>。移築試験体は再現試験体と比べ、剛性、最大耐力、エネルギー吸収性能が小さく、経年劣化によって建物の構造性能が低下する可能性を指摘している。

表 8.4 釘の劣化度と有効直径残存率<sup>6)</sup>

| 劣化度<br>Rating | 釘の種類<br>Kind of nails |     |      |
|---------------|-----------------------|-----|------|
|               | N32                   | F50 | CN50 |
| 1             | 100                   | 100 | 100  |
| 2             | 92                    | 103 | 108  |
| 3             | 82                    | 90  | 90   |
| 4             | 75                    | 87  | 73   |
| 5             | —                     | 74  | —    |

N32: 長さ 32mm, 直径 1.83mm  
 32mm in length, 1.83mm in diameter  
 F50: 長さ 50mm, 直径 2.4mm  
 50mm in length, 2.4mm in diameter  
 CN50: 長さ 50mm, 直径 2.87mm  
 50mm in length, 2.87mm in diameter

### 8.3.3 合板耐力壁釘接合部の劣化時性能

石山らは合板耐力壁釘接合部の釘が発錆した時の耐力柱・釘・合板接合部を再現した試験体（図 8.2）を高温高湿せん断試験を行っている。

釘が発錆していない場合に比べ、発錆初期は最大耐力がいったん増加し、さらに錆が進行すると減少していく様子を示している（図 8.3）。釘の

発錆によって合板耐力壁の釘接合部のせん断荷重変形特性が変化するメカニズムを以下のように説明している<sup>20)</sup>。

釘が発錆していない場合に比べ、発錆初期は最大耐力がいったん増加し、さらに錆が進行すると減少していく様子を示している（図 8.3）。釘の発錆によって合板耐力壁の釘接合部のせん断荷重変形特性が変化するメカニズムを以下のように説明している<sup>20)</sup>。

- (1)一般的に、せん断力によって釘の引抜きが始まると、スティック－スリップを繰り返しながら、荷重は概ね一定値を示す。
- (2)釘の発錆によって引抜き抵抗が増加すると、（釘が発錆していない場合は）引抜きを発生させる荷重に達しても釘が引抜けず、さらに荷重が上昇する。さらに荷重が上昇すると、パンチングアウトによって荷重低下する。一般的にパンチングアウトは脆性的であり、荷重低下は急である。この時発錆によって釘の胴径が減少し、合板面内方向および主材軸方向の反力、釘の曲げ耐力が小さくなるものの、引抜き抵抗力の増加分がこれを上回る。
- (3)さらに発錆が進むと、釘頭径の減少により、パンチングアウトが早期に発生する。

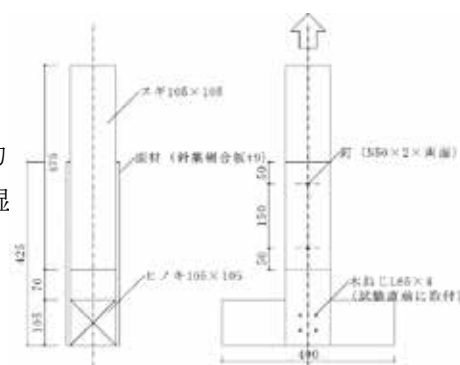


図 8.2 試験体図<sup>19)</sup>

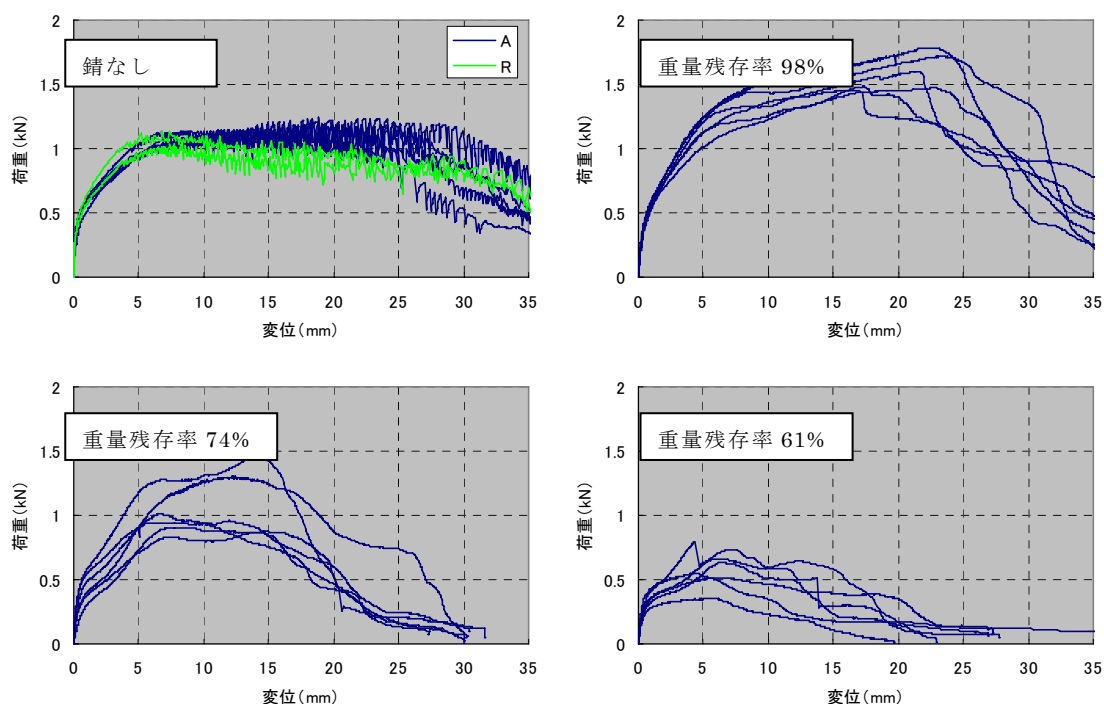
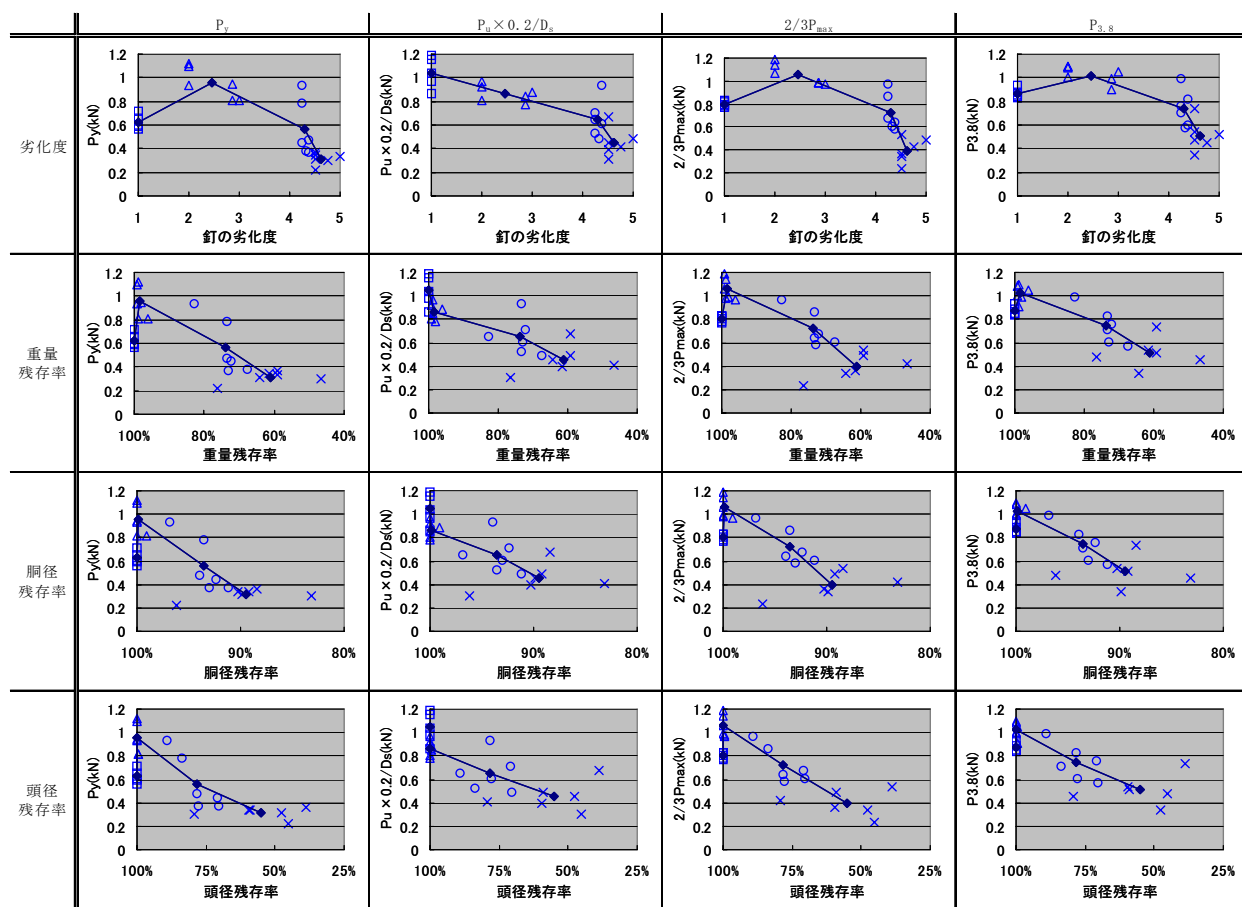


図 8.3 荷重変形曲線<sup>19)</sup>

これらの得られた荷重変形曲線を完全弾塑性モデル化し、耐力壁の評価方法<sup>21)</sup>に準じて、 $P_y$ 、 $P_u \times 0.2/D_s$ 、 $2/3P_{max}$  および  $P_{3.8}$ （面材が剛体かつ間柱に完全固定されていると仮定した時の層間変形角  $1/120\text{rad}$  時の変位）を算出し、その変化傾向を検証している（図 8.4）。これによると、 $P_u \times 0.2/D_s$  は劣化初期から減少傾向を示すが、 $P_y$ 、 $2/3P_{max}$ 、 $P_{3.8}$  は劣化の進行に伴い、一旦上昇傾向を示した後、減少していく様子がわかる。このように、釘の劣化に伴う各性能値の変化がそれぞれ異なるということは、耐力壁の許容耐力決定因子が釘の劣化状態によって変化する可能性を示唆する。また、ここで扱っている合板耐力壁釘接合部の場合の許容耐力は、釘が発錆していない時は  $P_y$  で決定し、釘の発錆に伴って一旦上昇して  $P_u \times 0.2/D_s$  で決定した後、再び低下して重量残存率約 75%で初期値に戻ることをわかる（再び  $P_y$  で決定する）。



□: Aグループ、△: Bグループ、○: Cグループ、×: Dグループ

図 8.4 釘の劣化指標と各種性能値<sup>19)</sup>



## 8.4 劣化外力

接合金物や接合金具の使用環境、すなわち、建物の立地条件や建物の部位などの違いによる劣化状況を評価するためには、劣化外力を整理する必要がある。また、接合金物や接合金具の表面処理グレードを評価するための促進試験方法を検討する上でも、劣化外力をどう捉えるかは重要である。

### 8.4.1 劣化外力の整理

「鉄骨造建築物の設計用劣化外力設定指針」<sup>12)</sup>では、亜鉛めっきの劣化外力として、亜硫酸ガス、海塩粒子、湿度、温度、降水等を挙げ、日本全国の亜鉛めっきの劣化分布を4段階にグレーディングして示している（図8.5）。なお、亜鉛めっきの劣化に対しては、海岸地域、または工業地域、交通量の多い地域で海塩粒子または亜硫酸ガス等の劣化外力の影響が、水の劣化外力による影響に比較して大きいとしている。

また、上記マクロな劣化外力分布に加え、ミクロな劣化外力分布として、露出度係数（表8.2.2）、部位係数を示している。

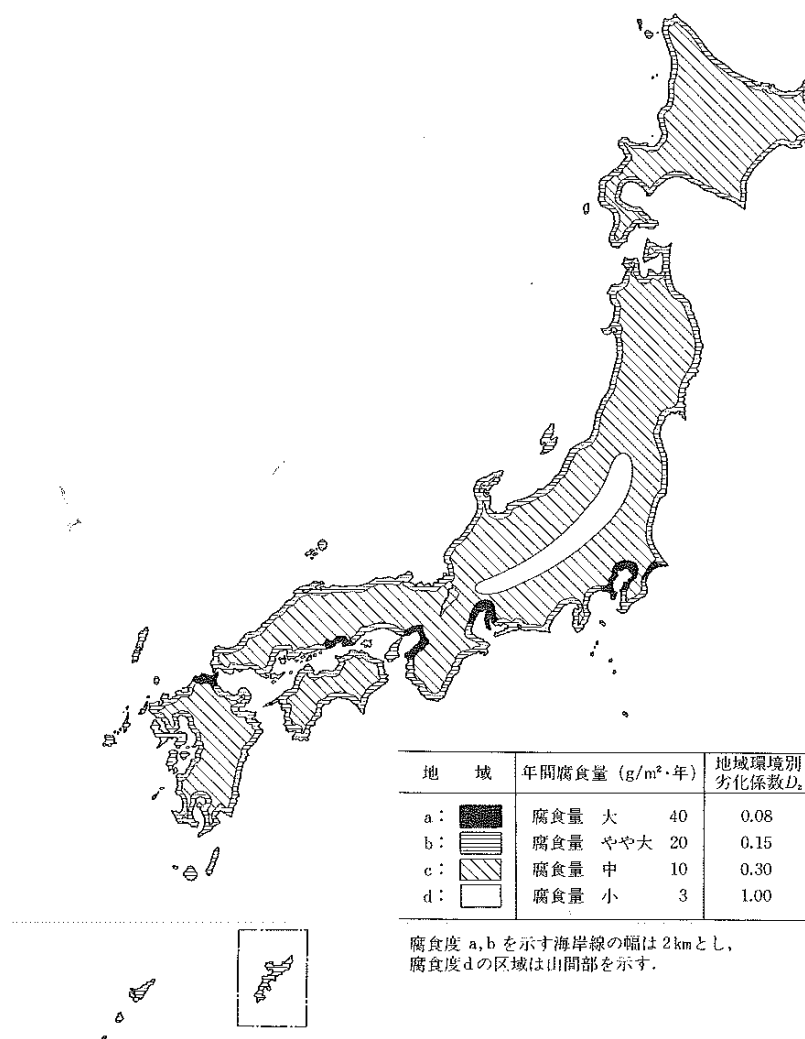


図 8.5 亜鉛めっきの劣化外力分布図<sup>12)</sup>

一方、木造住宅特有の劣化外力として、木材由来の酸の影響が挙げられる。木材は温度と湿度の影響を受け、酢酸を発生する。すなわち、木材のヘミセルロースのアセチル基が

加水分解を受け、酢酸となって遊離する<sup>22)</sup>。酸性環境下では鉄の腐食速度は増加する<sup>23)</sup>。また、8.2.2 節で述べた通り、木材保存薬剤の影響を考慮する必要がある。

#### 8.4.2 促進劣化試験法の整理

現在、一般的に行われている耐久性関連試験を整理すると、表 8.5 のようになる。木造住宅用接合金物の耐久性関連試験としては、塩水噴霧試験、複合サイクル試験などを実施することが多い。しかしながら、これらの試験で成績のよいものが必ずしも実環境で成績がよいわけではないと言われている。これは前述の通り木造住宅特有の劣化外力を考慮する必要性を示唆している。これまでの木造住宅用接合金物の表面処理は、自動車産業や土木、電力分野用途として開発された技術を導入することが多かったが、最近では木造住宅用の表面処理が開発されてきている。これらの性能検証においては、木材に取り付けた状態での湿潤試験など、木造住宅用としての新たな促進劣化試験方法が試行されてきている。また、実環境に対する促進試験の加速係数は不明なことが多いが、スチールハウス構造・耐久性研究報告書によれば、大気暴露試験と複合サイクル試験との関係は表 8.6 のようになる。

表 8.5 主な耐久性関連試験方法

| 試験方法     | 準拠規格         | 概要                                                          |
|----------|--------------|-------------------------------------------------------------|
| 屋外暴露試験   | JIS Z 2381   | 部材・材料等を屋外にさらして劣化の程度を調べる試験。                                  |
| 塩水噴霧試験   | JIS Z 2371   | 一定温度の槽の中に置いた試料に所定の温度、濃度の塩水を噴霧して行う促進試験。                      |
| 複合サイクル試験 | JASO M609-91 | 自然環境に近似し、かつ促進する目的で、塩水噴霧(2時間)・乾燥(4時間)・湿潤(2時間)の雰囲気を繰り返して行う試験。 |
| 湿潤試験     | JIS K2246    | 試料を相対湿度95%以上の湿潤状態に保持する試験。                                   |
| キヤス試験    | JIS D0201    | 塩水噴霧に用いる塩水に、少量の酢酸および塩化第二銅を添加し、腐食速度を高めた促進試験。                 |
| 亜硫酸ガス試験  | JIS D0201    | 所定の濃度の亜硫酸ガス(SO <sub>2</sub> )を含んだ槽の中に試料を入れ、腐食程度を調べる試験。      |

表 8.6 複合サイクル試験と大気暴露試験との関係<sup>9)</sup>

| J A S O M 6 0 9 - 9 1 法 |         | 3 日 | 3 0 サイクル |
|-------------------------|---------|-----|----------|
| 大気暴露<br>試験              | 沖縄      | 1 年 | 約 3 年    |
|                         | 重工業地帯   | 1 年 | 約 3 年    |
|                         | 都市・海岸地帯 | 2 年 | 約 6.5 年  |
|                         | 田園 地帯   | 3 年 | 約 1 0 年  |
|                         | 山間・乾燥地帯 | 6 年 | 約 2 0 年  |



### 8.4.3 釘の寿命予測

石山らは木材含水率と木材由来の酢酸を劣化因子として着目し、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<sup>8)</sup>。アイリングモデルは高分子材料の寿命予測でよく使用される、温度を加速因子としたアレニウスモデルをその他の加速因子も考慮して拡張したものである<sup>24)</sup>。ここでは、木材のヘミセルロースのアセチル基が加水分解を受け、酢酸となって遊離する<sup>22)</sup>メカニズムを高分子材料の化学反応と考えるとアレニウス則を適用し、木材含水率の影響を指数則と仮定して、温度と木材含水率を劣化因子としたアイリングモデルによって寿命予測をおこなった。寿命予測の概要を図 8.6 に示し、以下に概要を述べる。なお、本研究では木材内の釘を対象とするため、ストレス因子は温度および平衡含水率（EMC）とした。また、釘の腐食の程度は釘の重量で表すこととする。

- ①木材に釘を打ち込んだ試験体をいくつかの温湿度条件に暴露し、当該条件での木材中の釘の経時変化データを得る。
- ②釘劣化時の構造性能実験を行い、初期構造性能を維持できなくなる釘の限界残存重量  $W$  を設定する。
- ③①、②より、各温湿度条件における寿命  $L_n$  を算定する。
- ④各温度、EMC および  $L_n$  をアイリングモデルに適用し、回帰分析によって諸定数を算出する。
- ⑤木造住宅の各部位の温湿度データおよびその温湿度での EMC を④で得られた式に適用し、その条件下での寿命を算定する。

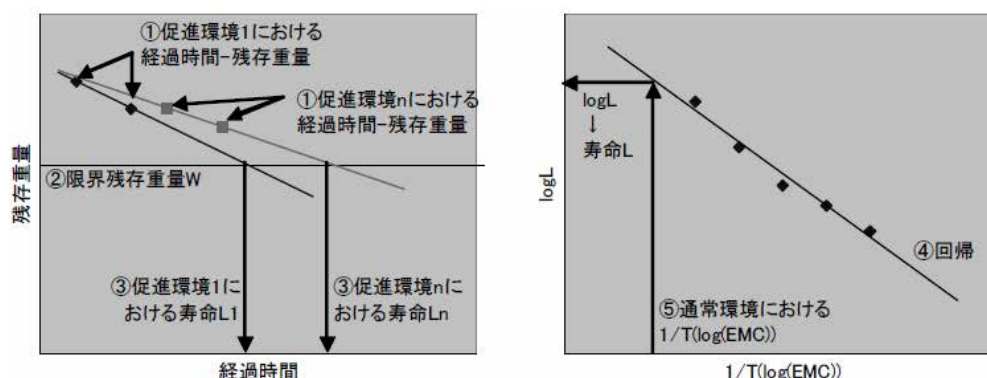


図 8.6 寿命予測の概要<sup>8)</sup>

合板耐力壁釘接合部の劣化時性能実験<sup>19)</sup>に基づ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。また、表面処理なし、6 価クロメート、3 価クロメート、熔融亜鉛めっきそれぞれについて得られたモデルによって、温湿度ごとの特定重量残存率に達する年数を試算した結果を、表 8.7 から表 8.10 に示す。

表 8.7 温湿度ごとの特定重量残存率に達する年数（表面処理なし）

■釘劣化予測-コントロール(表面処理なし)-

|    |        |        |        |        |         |         |         |         |
|----|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| a  | 8.7    | 10.7   | 11.4   | 10.6   | 6.8     | 4.7     | 3.4     | 2.5     |
| k  | 8299.1 | 8327.6 | 8362.8 | 8843.3 | 10432.2 | 11309.4 | 11870.5 | 12261.8 |
| -n | -11.9  | -12.4  | -12.5  | -12.6  | -12.7   | -12.8   | -12.8   | -12.9   |

| T<br>°C | RH<br>%RH | EMC<br>% | 重量残存率(CN65釘換算) |      |      |      |       |       |       |        |
|---------|-----------|----------|----------------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|
|         |           |          | 0.95           | 0.9  | 0.85 | 0.8  | 0.75  | 0.7   | 0.65  | 0.6    |
| 20      | 50        | 9.3      | 807            | 2140 | 3537 | 6699 | 24317 | 52677 | 89755 | 133635 |
| 20      | 55        | 10.1     | 292            | 741  | 1210 | 2274 | 8173  | 17602 | 29878 | 44364  |
| 20      | 60        | 11.0     | 106            | 259  | 417  | 777  | 2766  | 5923  | 10015 | 14832  |
| 20      | 65        | 12.0     | 38             | 88   | 141  | 261  | 918   | 1955  | 3293  | 4864   |
| 20      | 70        | 13.1     | 13             | 29   | 46   | 84   | 292   | 617   | 1035  | 1524   |
| 20      | 75        | 14.5     | 4              | 9    | 14   | 25   | 86    | 181   | 303   | 444    |
| 20      | 80        | 16.0     | 1              | 2    | 4    | 7    | 23    | 48    | 80    | 116    |
| 20      | 80        | 16.0     | 1              | 2    | 4    | 7    | 23    | 48    | 80    | 116    |
| 25      | 50        | 9.1      | 600            | 1602 | 2648 | 4887 | 16225 | 33460 | 55245 | 80470  |
| 25      | 55        | 10.0     | 217            | 556  | 907  | 1661 | 5462  | 11198 | 18419 | 26757  |
| 25      | 60        | 10.8     | 79             | 194  | 313  | 568  | 1850  | 3772  | 6180  | 8953   |
| 25      | 65        | 11.8     | 28             | 66   | 106  | 191  | 614   | 1245  | 2032  | 2936   |
| 25      | 70        | 12.9     | 10             | 22   | 34   | 61   | 195   | 392   | 638   | 919    |
| 25      | 75        | 14.2     | 3              | 7    | 10   | 18   | 57    | 115   | 186   | 267    |
| 25      | 80        | 15.8     | 1              | 2    | 3    | 5    | 15    | 30    | 48    | 69     |
| 25      | 80        | 15.8     | 1              | 2    | 3    | 5    | 15    | 30    | 48    | 69     |
| 30      | 50        | 9.0      | 469            | 1261 | 2086 | 3755 | 11440 | 22501 | 36043 | 51405  |
| 30      | 55        | 9.8      | 170            | 438  | 715  | 1276 | 3851  | 7531  | 12017 | 17092  |
| 30      | 60        | 10.6     | 62             | 153  | 246  | 436  | 1304  | 2535  | 4030  | 5716   |
| 30      | 65        | 11.6     | 22             | 52   | 83   | 146  | 432   | 835   | 1323  | 1871   |
| 30      | 70        | 12.7     | 8              | 17   | 27   | 47   | 137   | 262   | 414   | 584    |
| 30      | 75        | 14.0     | 2              | 5    | 8    | 14   | 40    | 76    | 120   | 169    |
| 30      | 80        | 15.6     | 1              | 1    | 2    | 4    | 10    | 20    | 31    | 44     |
| 30      | 80        | 15.6     | 1              | 1    | 2    | 4    | 10    | 20    | 31    | 44     |
| 35      | 50        | 8.8      | 384            | 1041 | 1723 | 3028 | 8493  | 15959 | 24829 | 34699  |
| 35      | 55        | 9.6      | 139            | 360  | 589  | 1028 | 2854  | 5332  | 8264  | 11518  |
| 35      | 60        | 10.4     | 50             | 125  | 203  | 351  | 964   | 1791  | 2766  | 3844   |
| 35      | 65        | 11.4     | 18             | 43   | 68   | 117  | 319   | 589   | 905   | 1255   |
| 35      | 70        | 12.5     | 6              | 14   | 22   | 37   | 100   | 184   | 282   | 390    |
| 35      | 75        | 13.7     | 2              | 4    | 6    | 11   | 29    | 53    | 81    | 112    |
| 35      | 80        | 15.3     | 1              | 1    | 2    | 3    | 8     | 14    | 21    | 29     |
| 35      | 80        | 15.3     | 1              | 1    | 2    | 3    | 8     | 14    | 21    | 29     |
| 40      | 50        | 8.6      | 327            | 897  | 1488 | 2555 | 6617  | 11900 | 18001 | 24670  |
| 40      | 55        | 9.4      | 118            | 310  | 507  | 864  | 2216  | 3963  | 5972  | 8162   |
| 40      | 60        | 10.2     | 43             | 107  | 174  | 294  | 746   | 1327  | 1991  | 2714   |
| 40      | 65        | 11.1     | 15             | 36   | 58   | 98   | 246   | 434   | 649   | 882    |
| 40      | 70        | 12.2     | 5              | 12   | 19   | 31   | 77    | 135   | 201   | 273    |
| 40      | 75        | 13.4     | 2              | 4    | 5    | 9    | 22    | 39    | 58    | 78     |
| 40      | 80        | 15.0     | 0              | 1    | 1    | 2    | 6     | 10    | 15    | 20     |
| 40      | 80        | 15.0     | 0              | 1    | 1    | 2    | 6     | 10    | 15    | 20     |

単位: 年

表 8.8 温湿度ごとの特定重量残存率に達する年数（6 価クロメート）

■釘劣化予測-電気亜鉛めっき(6価クロメート)-

|    |         |        |         |         |         |         |         |         |
|----|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| a  | 5.9     | 10.4   | 0.3     | -4.1    | -6.3    | -7.5    | -8.3    | -8.8    |
| k  | 10837.4 | 9923.7 | 14003.6 | 15887.6 | 16831.8 | 17405.4 | 17792.4 | 18071.6 |
| -n | -13.3   | -13.8  | -14.1   | -14.3   | -14.5   | -14.5   | -14.6   | -14.6   |

| T  | RH  | EMC  | 重量残存率(CN65釘換算) |       |        |         |         |         |         |         |
|----|-----|------|----------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| °C | %RH | %    | 0.95           | 0.89  | 0.85   | 0.8     | 0.75    | 0.7     | 0.65    | 0.6     |
| 20 | 50  | 9.3  | 11432          | 15018 | 305414 | 1423122 | 3333614 | 5860700 | 8848106 | #####   |
| 20 | 55  | 10.1 | 3658           | 4605  | 90800  | 415727  | 964182  | 1684104 | 2530866 | 3471952 |
| 20 | 60  | 11.0 | 1179           | 1423  | 27204  | 122398  | 281081  | 487792  | 729705  | 997623  |
| 20 | 65  | 12.0 | 372            | 431   | 7979   | 35268   | 80180   | 138235  | 205829  | 280423  |
| 20 | 70  | 13.1 | 112            | 124   | 2227   | 9662    | 21738   | 37222   | 55155   | 74872   |
| 20 | 75  | 14.5 | 31             | 33    | 574    | 2440    | 5429    | 9228    | 13604   | 18396   |
| 20 | 80  | 16.0 | 8              | 8     | 131    | 548     | 1204    | 2030    | 2976    | 4007    |
| 20 | 80  | 16.0 | 8              | 8     | 131    | 548     | 1204    | 2030    | 2976    | 4007    |
| 25 | 50  | 9.1  | 7518           | 10485 | 169730 | 712208  | 1583298 | 2696687 | 3985300 | 5402328 |
| 25 | 55  | 10.0 | 2409           | 3221  | 50550  | 208424  | 458762  | 776310  | 1142005 | 1542749 |
| 25 | 60  | 10.8 | 777            | 996   | 15160  | 61426   | 133876  | 225085  | 329605  | 443748  |
| 25 | 65  | 11.8 | 246            | 301   | 4446   | 17696   | 38181   | 63773   | 92953   | 124708  |
| 25 | 70  | 12.9 | 74             | 87    | 1238   | 4839    | 10332   | 17139   | 24860   | 33232   |
| 25 | 75  | 14.2 | 21             | 23    | 318    | 1217    | 2569    | 4231    | 6105    | 8130    |
| 25 | 80  | 15.8 | 5              | 5     | 72     | 271     | 565     | 924     | 1325    | 1758    |
| 25 | 80  | 15.8 | 5              | 5     | 72     | 271     | 565     | 924     | 1325    | 1758    |
| 30 | 50  | 9.0  | 5237           | 7752  | 100755 | 382303  | 808279  | 1335444 | 1933608 | 2582775 |
| 30 | 55  | 9.8  | 1678           | 2381  | 30007  | 111875  | 234192  | 384428  | 554065  | 737541  |
| 30 | 60  | 10.6 | 541            | 736   | 8993   | 32950   | 68297   | 111388  | 159807  | 212000  |
| 30 | 65  | 11.6 | 171            | 222   | 2633   | 9476    | 19444   | 31504   | 44989   | 59474   |
| 30 | 70  | 12.7 | 51             | 64    | 731    | 2583    | 5244    | 8439    | 11992   | 15795   |
| 30 | 75  | 14.0 | 14             | 17    | 186    | 646     | 1297    | 2072    | 2929    | 3843    |
| 30 | 80  | 15.6 | 4              | 4     | 42     | 143     | 283     | 448     | 630     | 824     |
| 30 | 80  | 15.6 | 4              | 4     | 42     | 143     | 283     | 448     | 630     | 824     |
| 35 | 50  | 8.8  | 3849           | 6045  | 63610  | 219106  | 441442  | 708382  | 1005738 | 1324537 |
| 35 | 55  | 9.6  | 1231           | 1853  | 18910  | 63999   | 127665  | 203536  | 287645  | 377521  |
| 35 | 60  | 10.4 | 396            | 572   | 5655   | 18806   | 37145   | 58837   | 82771   | 108262  |
| 35 | 65  | 11.4 | 125            | 172   | 1650   | 5391    | 10541   | 16587   | 23226   | 30273   |
| 35 | 70  | 12.5 | 37             | 49    | 456    | 1463    | 2830    | 4422    | 6162    | 8002    |
| 35 | 75  | 13.7 | 10             | 13    | 116    | 363     | 695     | 1078    | 1495    | 1934    |
| 35 | 80  | 15.3 | 3              | 3     | 26     | 79      | 150     | 231     | 319     | 410     |
| 35 | 80  | 15.3 | 3              | 3     | 26     | 79      | 150     | 231     | 319     | 410     |
| 40 | 50  | 8.6  | 2976           | 4956  | 42554  | 133560  | 256911  | 400876  | 558529  | 725665  |
| 40 | 55  | 9.4  | 949            | 1514  | 12604  | 38867   | 74021   | 114750  | 159140  | 206049  |
| 40 | 60  | 10.2 | 304            | 465   | 3754   | 11376   | 21451   | 33039   | 45610   | 58852   |
| 40 | 65  | 11.1 | 95             | 139   | 1091   | 3246    | 6059    | 9271    | 12738   | 16379   |
| 40 | 70  | 12.2 | 28             | 40    | 300    | 876     | 1617    | 2457    | 3360    | 4304    |
| 40 | 75  | 13.4 | 8              | 10    | 75     | 216     | 394     | 594     | 809     | 1032    |
| 40 | 80  | 15.0 | 2              | 2     | 17     | 47      | 84      | 126     | 171     | 217     |
| 40 | 80  | 15.0 | 2              | 2     | 17     | 47      | 84      | 126     | 171     | 217     |

単位: 年

表 8.9 温湿度ごとの特定重量残存率に達する年数（3 価クロメート）

■ 釘劣化予測-電気亜鉛めっき(3価クロメート)-

|    |        |        |         |         |         |         |         |         |
|----|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| a  | 7.0    | 8.3    | 2.1     | -0.2    | -1.4    | -2.1    | -2.5    | -2.8    |
| k  | 9654.8 | 9888.6 | 12560.8 | 13629.1 | 14214.1 | 14585.0 | 14841.7 | 15030.1 |
| -n | -12.4  | -12.9  | -13.2   | -13.4   | -13.5   | -13.6   | -13.6   | -13.7   |

| T  | RH  | EMC  | 重量残存率(CN65釘換算) |       |       |        |        |        |         |         |
|----|-----|------|----------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|
| °C | %RH | %    | 0.95           | 0.9   | 0.85  | 0.8    | 0.75   | 0.7    | 0.65    | 0.6     |
| 20 | 50  | 9.3  | 4400           | 11049 | 98279 | 267386 | 494087 | 759778 | 1052444 | 1364357 |
| 20 | 55  | 10.1 | 1517           | 3652  | 31565 | 84690  | 155179 | 237270 | 327317  | 423005  |
| 20 | 60  | 11.0 | 527            | 1216  | 10212 | 27021  | 49098  | 74647  | 102557  | 132129  |
| 20 | 65  | 12.0 | 180            | 397   | 3239  | 8449   | 15222  | 23011  | 31483   | 40434   |
| 20 | 70  | 13.1 | 59             | 124   | 980   | 2520   | 4501   | 6763   | 9213    | 11794   |
| 20 | 75  | 14.5 | 18             | 36    | 275   | 697    | 1232   | 1840   | 2495    | 3183    |
| 20 | 80  | 16.0 | 5              | 9     | 69    | 172    | 302    | 448    | 604     | 768     |
| 20 | 80  | 16.0 | 5              | 9     | 69    | 172    | 302    | 448    | 604     | 768     |
| 25 | 50  | 9.1  | 3055           | 7628  | 58517 | 150127 | 268674 | 404876 | 553051  | 709656  |
| 25 | 55  | 10.0 | 1055           | 2525  | 18825 | 47629  | 84525  | 126652 | 172294  | 220396  |
| 25 | 60  | 10.8 | 367            | 841   | 6096  | 15211  | 26769  | 39884  | 54036   | 68909   |
| 25 | 65  | 11.8 | 125            | 275   | 1933  | 4756   | 8298   | 12292  | 16585   | 21083   |
| 25 | 70  | 12.9 | 41             | 86    | 584   | 1416   | 2449   | 3606   | 4845    | 6138    |
| 25 | 75  | 14.2 | 12             | 25    | 163   | 390    | 668    | 977    | 1307    | 1650    |
| 25 | 80  | 15.8 | 3              | 6     | 41    | 96     | 163    | 236    | 314     | 395     |
| 25 | 80  | 15.8 | 3              | 6     | 41    | 96     | 163    | 236    | 314     | 395     |
| 30 | 50  | 9.0  | 2237           | 5562  | 37022 | 89788  | 155843 | 230345 | 310473  | 394510  |
| 30 | 55  | 9.8  | 773            | 1841  | 11910 | 28485  | 49026  | 72053  | 96720   | 122518  |
| 30 | 60  | 10.6 | 268            | 613   | 3854  | 9092   | 15517  | 22676  | 30315   | 38283   |
| 30 | 65  | 11.6 | 91             | 200   | 1220  | 2838   | 4802   | 6978   | 9289    | 11694   |
| 30 | 70  | 12.7 | 30             | 62    | 368   | 842    | 1413   | 2041   | 2705    | 3394    |
| 30 | 75  | 14.0 | 9              | 18    | 102   | 231    | 383    | 550    | 726     | 908     |
| 30 | 80  | 15.6 | 2              | 5     | 25    | 56     | 93     | 132    | 173     | 216     |
| 30 | 80  | 15.6 | 2              | 5     | 25    | 56     | 93     | 132    | 173     | 216     |
| 35 | 50  | 8.8  | 1721           | 4268  | 24789 | 56965  | 96016  | 139315 | 185394  | 233383  |
| 35 | 55  | 9.6  | 593            | 1411  | 7961  | 18041  | 30153  | 43502  | 57653   | 72351   |
| 35 | 60  | 10.4 | 206            | 469   | 2571  | 5746   | 9523   | 13661  | 18031   | 22558   |
| 35 | 65  | 11.4 | 70             | 152   | 811   | 1788   | 2938   | 4191   | 5508    | 6870    |
| 35 | 70  | 12.5 | 23             | 47    | 243   | 529    | 861    | 1220   | 1597    | 1985    |
| 35 | 75  | 13.7 | 7              | 13    | 67    | 144    | 232    | 327    | 426     | 528     |
| 35 | 80  | 15.3 | 2              | 3     | 17    | 35     | 56     | 78     | 101     | 124     |
| 35 | 80  | 15.3 | 2              | 3     | 17    | 35     | 56     | 78     | 101     | 124     |
| 40 | 50  | 8.6  | 1386           | 3436  | 17507 | 38204  | 62611  | 89250  | 117328  | 146384  |
| 40 | 55  | 9.4  | 476            | 1132  | 5603  | 12057  | 19594  | 27771  | 36358   | 45220   |
| 40 | 60  | 10.2 | 165            | 375   | 1803  | 3826   | 6165   | 8689   | 11329   | 14046   |
| 40 | 65  | 11.1 | 56             | 121   | 567   | 1186   | 1894   | 2654   | 3446    | 4259    |
| 40 | 70  | 12.2 | 18             | 37    | 169   | 349    | 552    | 769    | 993     | 1224    |
| 40 | 75  | 13.4 | 5              | 11    | 46    | 94     | 148    | 204    | 263     | 323     |
| 40 | 80  | 15.0 | 1              | 3     | 11    | 23     | 35     | 48     | 62      | 75      |
| 40 | 80  | 15.0 | 1              | 3     | 11    | 23     | 35     | 48     | 62      | 75      |

単位: 年

表 8.10 温湿度ごとの特定重量残存率に達する年数（溶融亜鉛めっき）

■釘劣化予測-溶融亜鉛めっき-

|    |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| a  | -3.2    | -11.0   | -16.2   | -18.4   | -19.6   | -20.4   | -20.9   | -21.2   |
| k  | 10736.1 | 14585.0 | 16955.3 | 18044.7 | 18680.3 | 19099.0 | 19396.4 | 19618.7 |
| -n | -9.7    | -10.7   | -11.1   | -11.3   | -11.5   | -11.6   | -11.6   | -11.7   |

| T  | RH  | EMC  | 重量残存率(CN65釘換算) |       |        |         |         |         |         |         |
|----|-----|------|----------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| °C | %RH | %    | 0.954          | 0.9   | 0.85   | 0.8     | 0.75    | 0.7     | 0.65    | 0.6     |
| 20 | 50  | 9.3  | 2351           | 63118 | 448034 | 1220087 | 2313316 | 3652583 | 5178336 | 6846711 |
| 20 | 55  | 10.1 | 1020           | 25272 | 173089 | 462238  | 865487  | 1354572 | 1907880 | 2509829 |
| 20 | 60  | 11.0 | 445            | 10178 | 67276  | 176207  | 325839  | 505529  | 707411  | 925934  |
| 20 | 65  | 12.0 | 191            | 4034  | 25717  | 66039   | 120578  | 185415  | 257750  | 335648  |
| 20 | 70  | 13.1 | 79             | 1540  | 9455   | 23785   | 42858   | 65296   | 90147   | 116768  |
| 20 | 75  | 14.5 | 31             | 553   | 3264   | 8033    | 14273   | 21532   | 29510   | 38009   |
| 20 | 80  | 16.0 | 11             | 182   | 1028   | 2472    | 4326    | 6456    | 8778    | 11237   |
| 20 | 80  | 16.0 | 11             | 182   | 1028   | 2472    | 4326    | 6456    | 8778    | 11237   |
| 25 | 50  | 9.1  | 1473           | 32189 | 200752 | 515404  | 944383  | 1458063 | 2034571 | 2658414 |
| 25 | 55  | 10.0 | 640            | 12905 | 77664  | 195539  | 353829  | 541505  | 750694  | 975926  |
| 25 | 60  | 10.8 | 279            | 5201  | 30210  | 74600   | 133317  | 202256  | 278574  | 360339  |
| 25 | 65  | 11.8 | 120            | 2061  | 11546  | 27954   | 49327   | 74170   | 101483  | 130600  |
| 25 | 70  | 12.9 | 50             | 786   | 4239   | 10053   | 17506   | 26080   | 35439   | 45364   |
| 25 | 75  | 14.2 | 20             | 281   | 1458   | 3384    | 5810    | 8571    | 11561   | 14715   |
| 25 | 80  | 15.8 | 7              | 92    | 457    | 1035    | 1750    | 2555    | 3418    | 4324    |
| 25 | 80  | 15.8 | 7              | 92    | 457    | 1035    | 1750    | 2555    | 3418    | 4324    |
| 30 | 50  | 9.0  | 968            | 17385 | 95801  | 232507  | 412374  | 623233  | 856624  | 1106756 |
| 30 | 55  | 9.8  | 421            | 6970  | 37061  | 88209   | 154499  | 231454  | 316059  | 406288  |
| 30 | 60  | 10.6 | 184            | 2808  | 14409  | 33635   | 58182   | 86404   | 117223  | 149933  |
| 30 | 65  | 11.6 | 79             | 1111  | 5500   | 12586   | 21497   | 31641   | 42644   | 54264   |
| 30 | 70  | 12.7 | 33             | 423   | 2014   | 4515    | 7609    | 11096   | 14852   | 18798   |
| 30 | 75  | 14.0 | 13             | 151   | 690    | 1513    | 2515    | 3631    | 4824    | 6071    |
| 30 | 80  | 15.6 | 5              | 49    | 215    | 460     | 752     | 1075    | 1416    | 1772    |
| 30 | 80  | 15.6 | 5              | 49    | 215    | 460     | 752     | 1075    | 1416    | 1772    |
| 35 | 50  | 8.8  | 665            | 9907  | 48497  | 111549  | 191795  | 284033  | 384830  | 491906  |
| 35 | 55  | 9.6  | 289            | 3966  | 18734  | 42258   | 71751   | 105326  | 141773  | 180305  |
| 35 | 60  | 10.4 | 126            | 1595  | 7271   | 16084   | 26971   | 39246   | 52484   | 66414   |
| 35 | 65  | 11.4 | 54             | 630   | 2768   | 6004    | 9940    | 14335   | 19044   | 23974   |
| 35 | 70  | 12.5 | 22             | 239   | 1010   | 2146    | 3506    | 5009    | 6608    | 8274    |
| 35 | 75  | 13.7 | 9              | 85    | 344    | 715     | 1152    | 1630    | 2135    | 2658    |
| 35 | 80  | 15.3 | 3              | 27    | 106    | 216     | 342     | 479     | 622     | 770     |
| 35 | 80  | 15.3 | 3              | 27    | 106    | 216     | 342     | 479     | 622     | 770     |
| 40 | 50  | 8.6  | 477            | 5939  | 25956  | 56717   | 94672   | 137513  | 183784  | 232541  |
| 40 | 55  | 9.4  | 206            | 2371  | 9998   | 21423   | 35312   | 50841   | 67503   | 84979   |
| 40 | 60  | 10.2 | 90             | 951   | 3868   | 8129    | 13232   | 18884   | 24910   | 31201   |
| 40 | 65  | 11.1 | 38             | 374   | 1468   | 3023    | 4859    | 6872    | 9005    | 11221   |
| 40 | 70  | 12.2 | 16             | 141   | 533    | 1075    | 1705    | 2390    | 3110    | 3854    |
| 40 | 75  | 13.4 | 6              | 50    | 181    | 356     | 557     | 773     | 998     | 1230    |
| 40 | 80  | 15.0 | 2              | 16    | 55     | 107     | 164     | 225     | 288     | 353     |
| 40 | 80  | 15.0 | 2              | 16    | 55     | 107     | 164     | 225     | 288     | 353     |

単位: 年

## 8.5 現状の防錆処理

### 8.5.1 鉄骨造の基準

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、鉄骨造の柱、梁、筋かいに使用されている鋼材について、鋼材の厚さに応じた表面処理が規定されている。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ることになっている。

### 8.5.2 現在流通している接合金物の表面処理

現在流通している木造住宅接合金物の主な表面処理とそれぞれの特徴を表 8.11 にまとめた。現状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、スーパーダイヤおよび ZAM である（HDZ55 同等）。ただし、これらはめっき鋼板として供給されるため、溶接が必要な金物（特にホールダウン金物、羽子板金物に多い）には使用できない。したがって、実質上の最も高い同等性評価は、HDZ35 もしくは Ep-Fe/Zn8/CM2C である。

表 8.11 現在流通している木造住宅接合金物の主な表面処理

| 区分         | 表面処理           | アンカー<br>ボルト | 羽子板<br>金物 | 筋かい<br>金物 | ホール<br>ダウン<br>金物 | ボルト | 座金 | 火打ち | かど<br>金物 | 特徴                     | 溶融亜鉛<br>めっき<br>同等性 |
|------------|----------------|-------------|-----------|-----------|------------------|-----|----|-----|----------|------------------------|--------------------|
| 表面処理<br>鋼板 | Ep-Fe/Zn5/CM2C | ○           | △         |           | △                | ○   | ○  |     |          | -                      | -                  |
|            | 溶融亜鉛めっき鋼板Z27   |             |           | ○         | △                |     |    | ○   | ○        | -                      | -                  |
|            | スーパーダイヤ        |             |           | ○         | △                |     |    | ○   | ○        | 亜鉛・アルミ・マグネシウム<br>合金めっき | HDZ55              |
|            | ZAM            |             | △         |           | △                |     |    |     | ○        | 亜鉛・アルミ・マグネシウム<br>合金めっき | HDZ55              |
| めっき        | KSGめっき         | ○           |           |           | ○                | ○   |    |     |          | 亜鉛-すず合金めっき             | HDZ35              |
|            | 溶融亜鉛めっきHDZ50   |             |           |           | ○                |     | ○  |     |          | -                      | -                  |
| 塗装         | ダクロタイズド処理      |             |           |           | ○                |     |    |     |          | アルミ-亜鉛焼付塗装             | HDZ35              |
|            | ジオメット          |             |           |           |                  |     | ○  |     |          | アルミ-亜鉛焼付塗装             | HDZ35              |
|            | ディスゴ           |             |           |           |                  |     |    |     |          | アルミ-亜鉛焼付塗装             | HDZ35              |
| 複合皮膜       | デュラルコート        |             |           | ○         | ○                |     |    |     | ○        | 電気亜鉛めっき<br>+有機被膜       | -                  |
|            | BIKコート         |             | ○         |           | ○                |     | ○  |     |          | 電気亜鉛めっき<br>+シリカ化合物皮膜   | -                  |
|            | プロイズ           |             |           |           |                  |     |    |     |          | 電気亜鉛めっき<br>+樹脂被膜       | -                  |
| ステンレス      | SUS304         |             | ○         | ○         | ○                | ○   | ○  |     | ○        | -                      | -                  |
|            | SUS430         |             |           | ○         | ○                |     |    |     | ○        | -                      | -                  |
|            | NSS431 DP-2    |             |           | ○         |                  |     |    |     | ○        | -                      | -                  |
|            | YUS180         |             |           |           |                  |     |    |     | ○        | -                      | -                  |

※△は溶接なしのみ（溶接ありの場合はあとめっきとしなければならない）

※参考：（財）日本建築センターHP「建設技術審査証明取得技術一覧」、金物総合カタログ「匠の一冊」

## 8.6 今後の課題

### 8.6.1 接合金物、接合具の腐食実態

#### (1)解体調査の拡充

木造住宅躯体内における接合金物、接合具の劣化予測を行うためには、促進劣化試験によるものに加え、解体調査による劣化予測の修正が欠かせない。しかしながら、現在利用できる木造住宅の解体調査等による劣化データは数少なく、20年以上前のものが殆どである。現在では壁体内の通気工法や防水紙の高性能化など、躯体内の環境も変化してきていると考えられ、あらたなデータの蓄積が必要である。また、築50年などの古い建物も数多くなってきており、さらなるデータの蓄積が可能になってきている。年代、地域、工法などできるだけ数多くのデータを蓄積し、劣化実態の把握をすることが必要である。

#### (2)接合金物の腐食事例収集

特に事故的な腐食事例など、金物メーカーが保有している可能性がある。主な金物メーカー等にヒヤリングを行い、特殊な例も含めて金物腐食の事例を収集する。

### 8.6.2 木造住宅における接合金物、接合具の限界状態の定義

鉄骨造建築物の鋼材においては経験的に断面欠損が10%に到達した時点を限界状態としている。鉄骨造建築物の鋼材は常時荷重を負担し、また、鋼材の断面性能がダイレクトに躯体の性能（曲げ、せん断、引張等）に影響すると考えられる。一方、木造住宅における接合金物や接合具は一部を除いて常時荷重を負担しない。また、鋼材の断面性能はダイレクトに躯体の性能に影響せず、木材などの周辺部材との関係や、応力状態によって性能が異なる。例えば、8.3.3節で述べたように、合板耐力壁の釘接合部においては、釘の腐食初期には一旦性能が向上し、重量残存率約75%で初期値に戻る。

#### (1)劣化指標の補完

8.3.3節で行った実験では、劣化指標が大きく分けて4水準と少ない。特に、重量残存率80～90%のデータが少ないため、補完することによって性能の変化をより詳細に捉え、限界状態をより精緻に設定することができる。

#### (2)接合金物の劣化時性能の把握

8.3.3節では合板耐力壁の釘接合部について述べているが、接合金物など、鋼板を側材とするねじによる接合部の性能について、限界状態を定義する必要がある。

#### (3)その他接合部の劣化時性能の把握

合板と軸材に限らず、無機系面材耐力壁、ボルトなど、木造住宅で使用される主な接合部について、限界状態を定義する必要がある。

#### (4)ばらつきの取り扱い

8.3.3 節で述べた合板耐力壁の釘接合部性能については、建物全体を考えたときのマルチプル効果により、実験平均値で考察しているが、その他接合部の場合はどのように取り扱う必要があるのか、整理しておく必要がある。

### 8.6.3 劣化外力の整理（木造住宅における部位別係数の設定）

#### (1)木造住宅躯体内の環境測定

「鉄骨造建築物の設計用劣化外力設定指針」における鉄骨造の耐用年数推定は、標準耐用年数に各係数を乗じて行う。この中で、特に部位別係数については、現代の木造住宅について再検証する必要がある。木造住宅躯体内の環境測定等により、木造住宅用部位別係数の策定を行う。

#### (2)木造住宅用の促進劣化試験の実施

8.4.2 節で述べた通り、塩水噴霧試験、複合サイクル試験で成績のよいものが必ずしも実環境で成績がよいわけではないと言われている。また、近年、木造住宅用の促進劣化試験の試行が行われてきている。これら劣化促進試験と実環境との比較検証を行う必要がある。

#### (3)木材保存薬剤、事故的水がかりの考え方の整理

木造住宅の接合金物の耐久性については、定常的な状態における経年劣化の影響より、木材保存薬剤や事故的水がかりによる劣化の影響が大きいと思われる。これらの影響の取り扱いについて、維持管理状況も踏まえて整理する必要がある。

#### (4)アイリングモデルによる劣化予測の精度向上

8.3.2 節で述べたアイリングモデルによる釘の劣化予測の精度向上のため、以下の事項を確認することが望ましい。

(a)時間-重量減少の関係は線形として扱ってよいか

(b)含水率因子は指数モデルが妥当であるか

(c)実環境での腐食実態との整合性

(d)酢酸の発生と影響、含水率の変化を含めて化学反応論的に置き換える

### 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)神山幸弘、肱黒弘三、安祥司：くぎ接合の耐久性に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）,pp.1777-1778,1979.9



- 7)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
- 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（2010.6 掲載予定）
- 9)（社）鋼材倶楽部 住宅建材小委員会：スチールハウス構造・耐久性報告,1996.3
- 10)JASO M 609-91：自動車規格 自動車用材料腐食試験方法
- 11)作本好文、野村広正、松本雅充、二宮淳、宮尾俊明、坂本義仁：亜鉛めっき薄板軽量型鋼の耐久性に関する実験的研究,日本建築学会構造系論文集,第 540 号,pp.133-140
- 12)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
- 13)徳田迪夫：釘接合の研究（第 2 報） 各種含水率条件下における釘の引抜き抵抗力ー特にサビの影響についてー,木材学会誌,vol.24,No.10,pp705-713,1978
- 14)徳田迪夫：釘接合の研究（第 3 報） 繰返し含水率変化を受ける実大釘接合部の釘引抜き抵抗力,木材学会誌,vol.24,No.11,pp822-827,1978
- 15)張沛文、上田恒司、平井卓郎：構造用木質面材と木材との釘接合部の劣化促進試験方法,木材学会誌,vol.43,No.12,pp.1030-1034,1997
- 16)Johnson,J.W. : Lateral Bearing Strength of Fasteners in Lumber-Plywood Joints Treated with Fire Retardants, Research Paper 28,Oregon State University,Forest Research Laboratory,School of Forestry,1976.2
- 17)宮村雅史、佐藤雅俊：高湿度環境下における釘接合部の耐力変化,日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）,構造系,pp.2705-2706,1984
- 18)福本有希、腰原幹雄、槌本敬大、河合直人、五十田博、清水秀丸：震動台による既存木造住宅の耐震性能検証実験 その 21 C 棟の耐震性能,日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）,構造Ⅲ,pp.479-480,2007.8
- 19)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
- 20)石山央樹：木造住宅の劣化時構造性能に関する研究,東京大学 2009 年度博士論文
- 21)（財）日本・住宅木材技術センター：木造軸組構法住宅の許容応力度設計（2008 年版）,2009.1
- 22)今村博之ほか：木材利用の科学,共立出版,1983.3
- 23)腐食防食協会：腐食防食ハンドブック,丸善,2004.12
- 24)早川浄：高分子材料の寿命評価・予測法,アイピーシー,1994.5

## 第9章 まとめと今後の課題

### 9.1 今年度研究成果のまとめ

耐久性に関する検討は、構造性能に関する検討に比べて、その性格上実験による場合も実態調査による場合も総じて長い時間を要することが多い。その意味で、本事業の初年度としての研究成果は、主に次年度からの本格的な検証作業に向けての実験あるいは調査の方向性や段取りを検討する上での知見が中心であったが、一部では目的とする成果が出始めているものもある。以下に各 TG 別の成果のまとめを記す。

#### (1) 各種シロアリ分布、被害実態に関する検証（劣化外力 TG）

シロアリによる木造住宅の劣化危険度を評価することを目的に、文献調査を実施するとともにシロアリ分布図を新たに作成するための気象データの再構築、実態調査計画のほか、シロアリ防除業者や識者へのヒアリングを実施した。その結果、シロアリの野外生息分布に関して、気温以外の気象データとも関連性が考えられることが示唆された。また、文献およびヒアリング調査により、シロアリの野外分布域そのものがシロアリのハザードマップであり、実際に家屋がシロアリによる被害を受けるか否かに関しては、建物の防蟻措置の程度や種類に影響される可能性が大きいことが明らかとなった。

#### (2) 腐朽危険度に関する検証（劣化外力 TG）

腐朽危険度の評価に関しては、これまで系統的に調べられてこなかった日本における建築加害菌の特定をし、腐朽菌種ごとに生育適温を求めて建物各部位のマイクロクライメイトとの関連性をつかむことを目的とした。そのために、既知の資料から建築加害菌をリストアップするとともに、腐朽菌のサンプリング方法、同定方法について検討を加えた。その結果、既知の建築害菌の菌種が非常に限定されることが明らかとなった。この理由として、①建築物に被害を及ぼす菌の種類が少ない可能性と、②多数の菌が建築物に被害を及ぼしているが培養・同定が難しかったため、それが顕在化していなかった、という 2 つの可能性が考えられた。また、菌種の同定方法に関しては近年発達した遺伝子による方法が有効であることが各種の文献調査などから明らかとなった。

#### (3) 保存処理の耐久性評価に関する検討（保存処理検討 TG）

保存処理木材の耐久性能を予測・評価することを目的に、促進劣化試験による保存薬剤有効成分の減少率測定や木材保存剤の現状調査を実施した。その結果、木材保存剤有効成分を促進劣化環境におくことで、長期間使用した保存処理木材に含まれる木材保存剤の残存量を予測できる可能性が示唆された。また、実験には木材抽出成分量が少ない辺材部を使用するのが適していることが示唆された。一方、木材保存剤は認定薬剤だけをとっても非常に数が多いことから、各製品を個別に分析することは非現実的であり、有効成分を評価するのが現実的であることなどが明らかとなった。

#### (4) 新構法住宅および中古住宅の健全度の検証（劣化対策 TG）

現代木造住宅に適用されている外断熱、高気密高断熱、ベタ基礎、壁体内通気などの新

構法の実態を調査し、これらの耐久性能を検証することを目的に、ハウスメーカーや工務店、リフォーム専門会社、シロアリ防除会社などを対象に各社供給物件の実態調査データの収集およびヒアリング調査を実施した。その結果、劣化事象に関しては屋根、開口部、外壁、バルコニー回りなどからの雨水漏水に起因するものが多いこと、外張りの基礎断熱工法ではシロアリ被害が多発しがちなこと、1階開口部に繋がるウッドデッキのシロアリ被害が多いことなどが分かった。また、維持管理面では、調査対象となった各社とも10年点検では屋根、外装、防水層、防蟻処理などを対象としており、それ以降は有償による建物診断となること、確実な維持管理を担保するには積み立てを義務化することが必要であること、蟻害に関しては外部から木部を直視できる工夫が必要であることなどが指摘され、新構法における耐久性確保上の課題が抽出された。

#### (5) モデル試験による接合部の強度劣化評価（強度劣化 TG）

木部構造体の維持管理のための基礎資料を得ることを目的に、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接合部の強度劣化試験を実施し、その結果に基づいた非破壊評価技術、既存建物の維持管理における補修判断基準の作成について検討した。このうち今年度は、シロアリおよび腐朽菌による生物劣化を実大サイズの接合部モデル試験体に強制的に発生させる操作方法を新たに考案することとした。その結果、シロアリおよび腐朽菌による強制劣化方法について、それぞれ2種類の方法を考案することができた。

また、接合部強度低下に及ぼす生物劣化の影響を実験的に明らかにするため、強制劣化操作方法と関連付けした接合部モデル試験を提案するとともに、密度、縦振動法のヤング係数、ピロディンによるピン打ち込み深さを接合部モデル試験に供試する試験体の非破壊パラメータとして検討した。その結果、樹種によって非破壊パラメータの出現範囲が異なること、樹種ごとに非破壊パラメータの相関関係が異なることが明らかになった。

#### (6) 構造躯体が許容しうる湿潤状態の検討（劣化対策 TG）

本検討課題では、木材の周辺湿度が周期的に変動する環境下での菌糸定着時間や腐朽進行速度を把握し、腐朽誘導期における腐朽モデル構築のデータを収集するとともに、有害な結露を判定するための知見を得ることを目的としている。そのために、湿度制御可能なデシケータ内に菌糸を接種した木片を設置し、定期的に質量減少率を測定するという実験を実施した。その結果、間接的に菌糸を接種しても、1週間程度の湿潤状態では質量減少率の増加は確認できないことが明らかとなり、今後の実験計画上の知見を得た。

#### (7) 小屋裏温湿度環境の把握実験（劣化対策 TG）

小屋裏の結露を防止するための喚起措置の適切なあり方に関する基礎データとして、小屋裏温湿度環境を把握することを目的とした実験を行った。実験は8畳大の1階建て実験棟を利用し、天井面にグラスウール断熱材、防湿シートを施工した上で、各種小屋裏換気方式による小屋裏温湿度の測定を行った。

#### (8) 接合金物、接合具の耐久性評価（接合金物検討 TG）

阪神淡路大震災における木造住宅の被害実態を受けて平成12年に基準法が改正され、現

在の木造は金物や接合具が接合部耐力の主役となっている。にもかかわらず、それらの耐久性に関する品質基準は明確になっていない。本課題の目的は木造住宅の接合金物、接合具の劣化特性を明らかにして、長期優良住宅に用いられる接合金物や接合具の耐久性基準を明確にすることである。そのため、初年度しての本年度は金物腐食のメカニズムや腐食実態を各種文献資料で整理するとともに、金物や接合具の耐久性の定義について検討を加え、さらに劣化外力や釘の寿命予測手法、金物防錆処理方法の現状について、既往の知見や資料を収集、整理した。

## 9.2 今後の課題

### (1) 各種シロアリ分布、被害実態に関する検証（劣化外力 TG）

被害実態については、今年度は調査の枠組みを検討した。次年度は今回作成した調査シートをさらに調査する側が回答しやすく、かつ、解析する側が使いやすいものに改良する必要がある。また、各種気象データをもとにシロアリ生息マップを構築することが大きな課題である。

### (2) 腐朽危険度に関する検証（劣化外力 TG）

本検証課題の基本認識は、住宅用部材の腐朽防止を図る上では、対象とする建築害菌を正しく把握しておく必要があるということである。そこで重要になるのは、菌種の同定であるが、近年発達した遺伝子を用いた菌種同定方法を用いて、これまで検証できなかった多数の菌が同一建築物を加害している場合への対応可能性を検証しておくことが今後重要な課題である。

### (3) 保存処理の耐久性評価に関する検討（保存処理検討 TG）

今年度は分析を簡単にするために予め木粉にした試料に木材保存剤有効成分を添加して試験をおこなったが、より実際に即した形状で試験をおこなうことが必要である。

有効成分によっては、シス、トランスやR、Sなどの立体異性が存在し、分析が非常に難しいものもあることが予想されるため、重要かつ分析が容易なものから試験を実施することを検討する必要がある。

### (4) 新構法住宅および中古住宅の健全度の検証（劣化対策 TG）

今年度は新構法の劣化実態についてヒアリングを主体とした調査を行ったが、次年度以降は、具体的な仕様毎の劣化状況等について追加ヒアリング調査を実施するとともに、建物の解体時等における劣化実態調査を実施し、新構法の耐久性能を検討する必要がある。また、木造住宅の耐久性能を向上させるための措置等の検討を含め、他 TG と連携し具体的な耐久性向上のための仕様等についても検討を行うことが課題である。

### (5) モデル試験による接合部の強度劣化評価

今年度は強制劣化方法の検討を中心に、接合部強度の非破壊パラメータの検討を行ったが、次年度は、今回考案したシロアリおよび腐朽菌による強制劣化方法により、強制的に生物劣化を生じさせた実大サイズの接合部モデル試験体で接合部試験を実施し、各非破壊

パラメータと接合耐力との関係を実験的に明らかにしていく必要がある。

#### (6) 構造躯体が許容する湿潤状態の検討（劣化対策 TG）

今年度の検討結果では間接的に菌糸を接種しても、1週間程度の湿潤状態では質量減少率の増加は確認できなかった。次年度以降の実験結果より、数ヶ月オーダーの湿潤乾燥の繰り返しによる菌糸定着時間に関する知見を得、長期的な木材耐久性評価の枠組を構築することが必要である。

また、未着手のテーマとして、

##### ①構造耐力低下に関する予測モデルの精度検証

##### ②フィールドにおける実態との比較

などの項目が挙げられる。

現行の腐朽予測モデルは熱水分収支と質量減少率を計算対象としており、①では質量減少率と圧縮応力等、力学的特性との関係を組み込むことにより、構造耐力低下の予測を試みる予定である。また、モデルは実験室実験をベースとした腐朽速度を用いているため、実態より厳しい予測結果となる。ゆえに②では、実際の躯体内の温湿度分布やプロファイルなどを勘案した結果を収集し、実態に即した評価モデルの構築を意図している。

#### (7) 小屋裏温湿度環境の把握実験（劣化対策 TG）

小屋裏の温湿度環境について、本年度の結果に加えさらに換気方式を変えた場合（例えば妻面吸気一棟排気など）の検討を加えるとともに、有害な結露が発生しないための適切な小屋裏換気面積のあるべき数値基準について明らかにすることが次年度以降の課題となる。

#### (8) 接合金物、接合具の耐久性評価（接合金物検討 TG）

今年度は既往知見や資料の収集整理が中心であった。次年度以降は接合金物、接合具の耐久性評価に関する枠組み、すなわち耐用限界状態の定義や劣化外力の整理などの議論を深めるとともに、以下のような具体的な劣化データや劣化外力評価を行う必要がある。

##### ①解体調査の拡充

木造住宅躯体内における接合金物、接合具の劣化予測を行うためには、促進劣化試験によるものに加え、解体調査による劣化予測の修正が欠かせない。しかしながら、現在利用できる木造住宅の解体調査等による劣化データは数少なく、20年以上前のものが殆どである。現在では壁体内の通気工法や防水紙の高性能化など、躯体内の環境も変化してきていると考えられ、あらたなデータの蓄積が必要である。また、築50年などの古い建物も数多くなってきており、さらなるデータの蓄積が可能になってきている。年代、地域、工法などできるだけ数多くのデータを蓄積し、劣化実態の把握をすることが必要である。

##### ②接合金物の腐食事例収集

特に事後的な腐食事例など、金物メーカーが保有している可能性がある。主な金物メーカー等にヒアリングを行い、特殊な例も含めて金物腐食の事例を収集する。

##### ③木造住宅躯体内の環境測定

「鉄骨造建築物の設計用劣化外力設定指針」における鉄骨造の耐用年数推定は、標準耐用年数に各係数を乗じて行う。この中で、特に部位別係数については、現代の木造住宅について再検証する必要がある。木造住宅躯体内の環境測定等により、木造住宅用部位別係数の策定を行う。

#### ④木造住宅用の促進劣化試験の実施

すでに述べた通り、塩水噴霧試験、複合サイクル試験で成績のよいものが必ずしも実環境で成績がよいわけではないと言われている。また、近年、木造住宅用の促進劣化試験の試行が行われてきている。これら劣化促進試験と実環境との比較検証を行う必要がある。

#### ⑤木材保存薬剤、事故的水がかりの考え方の整理

木造住宅の接合金物の耐久性については、定常的な状態における経年劣化の影響より、木材保存薬剤や事故的水がかりによる劣化の影響が大きいと思われる。これらの影響の取り扱いについて、維持管理状況も踏まえて整理する必要がある。

#### ⑥アイリングモデルによる劣化予測の精度向上

アイリングモデルによる釘の劣化予測の精度向上のため、以下の事項を確認することが望ましい。

- (a) 時間-重量減少の関係は線形として扱ってよいか
- (b) 含水率因子は指数モデルが妥当であるか
- (c) 実環境での腐食実態との整合性
- (d) 酢酸の発生と影響、含水率の変化を含めて化学反応論的に置き換える

なお、今年度は維持管理手法に関する検討は開始できなかった。部位毎の点検項目、点検周期、点検方法、点検結果の判断基準と対応措置などの維持管理の基礎となる技術の検討、大壁造の場合の外壁点検方法の開発などは次年度以降の検討課題である。

執筆者（[] は執筆分担）

|       |                          |                         |
|-------|--------------------------|-------------------------|
| 中島正夫  | 関東学院大学工学部建築学科 教授         | [1.1] [9.1～9.2]         |
| 大村和香子 | （独）森林総合研究所木材改質研究領域 主任研究員 | [2.1.1～2.1.4]           |
| 桃原郁夫  | （独）森林総合研究所木材改質研究領域 チーム長  | [2.2.1～2.2.4] [3.1～3.4] |
| 佐藤雅俊  | 東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授     | [4.1～4.4]               |
| 加藤英雄  | （独）森林総合研究所構造利用研究領域 主任研究員 | [5.1～5.4]               |
| 齋藤宏昭  | （独）建築研究所建築生産研究グループ 研究員   | [6.1～6.4] [7.1～7.4]     |
| 石山央樹  | 住友林業（株）筑波研究所 主任研究員       | [8.1～8.6]               |

以上