５．材料部会

5.1 今年度の検討方針

(1) 材料品質・接合 WG、天然乾燥 SWG

伝統的技術を活用して木造住宅を設計・建築する際、もしくは伝統的技術を活用した木造建築物の建築確認審査を受ける際に障害となっている課題はいくつかある。このうち、材料に起因する問題で実務者が最も重要と考える問題、並びに実務者の経験に基づく知見と科学的に証明されている知見の間に多少の相違、もしくは齟齬がある問題について抽出し、経済的、労力的に可能な範囲で解決に資する技術的検討を行うことを目的とする。

そもそも木造建築物の構造設計に際して、時刻歴応答計算や限界耐力計算、エネルギー法を適用した場合を除いた全ての場合に、建築基準法施行令（以下、「令」と称する）第 3 章第 3 節の仕様書的規定が適用されるが、令第 46 条第 2 項を適用して、S62 建設省告示（以下、「建告」と称する）第 1898 号に掲げる材料を使用して、S62 建告第 1899 号の構造計算、則ち許容応力度計算を行えば多くの仕様規定が適用除外される。特に壁量規定が除外されると差し鴨居の回転抵抗を考慮に入れた独立柱の耐力計算や垂れ壁や腰壁の類の耐力計算に基づいた構造設計が可能となり、伝統構法には極めて有効と考えられる。

しかし、ここで障害となるのは S62 建告第 1898 号に掲げる材料を使用しなければならないことであり、基本的には日本農林規格（JAS）を適用した製材（含水率 15%または 20%以下）、集成材、LVL 等に限られていることである。製材の JAS では、乾燥材の生産には乾燥設備を有することが必要条件として位置づけられており、基本的に天然乾燥材は未乾燥材と同列の扱いである。

そこで、製材の JAS 見直し（H22 原案作成済み、H23 継続審議中）に合わせて、天然乾燥の位置づけを盛り込むべく、天然乾燥の定義やその含水率と乾燥割れの程度の関係に関する技術的な知見、並びに伝統構法に許容される乾燥割れや節等の欠点について、伝統構法の構造方法の技術的基準のなかで、「材料」に関する規定として盛り込むことを検討することが、最優先課題と考えられる。

以上の考え方に基づいて、昨年度までの検討事項で今年度も検討が必要な事項に、実務者らよって検討を要望された事項を加えて実験的検討を加え、3 年間の WG・SWG の取り纏めをおこなう。

(2) 耐久性 WG

近年の大地震後に実施された家屋被害の調査によると、倒壊した木造家屋の損傷部位には腐朽や虫害といった生物劣化が認められることが多いことが報告されている。このことは建物の耐震性と同時に、耐久性の確保が伝統的木造に重要であることを示している。

また多くの実務家の間では、耐久性確保の重要性は認識されているものの、建物木部の腐朽や虫害、実際の劣化、その診断方法や対策のための判断基準などに関する基本的な知見が整備されていないのが実情である。その結果、劣化に対する正しい認識と、それに基づく対策の体系化が非常に遅れている。また銅板を用いた木部の保護など、伝統的な家造りにおいてもいくつかの特徴的な劣化対策が施されているものの、その効果についての科学的な検証はほとんど行なわれていない。

耐久性 WG では、平成 22、23 年度に引き続き、全国の伝統的木造の劣化調査を行い、伝統的木造における劣化の特性について分析した。また木部保護を目的とした銅板の使用状況の調査や銅板の腐朽抑制効果の実験的検証を行った。さらに全国の実務家が伝統的木造の耐久性や劣化状態を調査するための手引きをとりまとめた。今年度はそれらの結果を報告するとともに、3 年間の WG の取り纏めを行う。

(3) 古材 WG

我が国の木造建築は、気候・風土・生活習慣等によって地域の特色ある木造文化を形成してきた。これらの多くは地域性に対応した軸組構造であり、部材と仕口・継手がこのような伝統的軸組構造を支えている。しかしながら、古材より成る伝統的な軸組構法は力学的な観点からの調査がそれほどなされていないのが現状であり、前年度は解体古建築より採取した古材に焦点をあて、小試験体による各種の強度試験および実大材の破壊実験を行うことによりヤング係数と破壊強度に関するデータの蓄積を行った。その結果、実験した範囲においては古材の各種の材料定数は新材と比較しても大きく見劣りするものではなく、また、非破壊的手法によるヤング係数推定法を用いて古材の残存強度を推定する方法を提案した。一方で、通し貫接合部の復元力特性について新材と古材を用いて新たに加工・組立てた接合部の実験を行い、実験した範囲内では古材が新材に劣る傾向を見出すことはできなかったが、今後さらに検討が必要であることなどがわかった。今年度は、このような前年度の成果を受け、既存の伝統的木造建築物においてその構成部材の材料特性やめり込み特性および仕口の復元力特性を把握することが重要であると判断し、実務者が必要に応じて古材を安心して再利用できる道筋を拓くため、「古材の仕口接合部実験」、「新材の仕口接合部実験」、「古材の材料試験」の３課題の実験を行いそれらの結果を報告するとともに、3 年間の WG の取り纏めを行う。

(3) 平成 24 年度材料部会研究課題

平成 24 年度材料部会の研究課題の一覧を表 5.1.1-1 に示す。

表 5.1.1-1　平成 24 年度材料部会研究課題

（1. は 今年度の検討方針）	
2.　伝統的構法に使用する木材の品質に関する検討	（材料品質・接合 WG）
2.1　通柱の欠点が連層壁のせん断性能に与える影響	
2.2　柱の背割りがその捻れ抵抗性能に与える影響	
2.3　込み栓の木取りとその強度特性の関係	
2.4　実務者の目視選別による天然乾燥材の範囲	
2.5　乾燥方法の差異がその切削特性に与える影響	
2.6　葉枯らし乾燥が土台の割裂性能に与える影響	
3.　天然乾燥の実態調査	（天然乾燥 SWG）
3.1　追加調査の位置づけ	
3.2　調査方法	
3.3　調査結果	
3.4　まとめ	
4.　水中貯木処理材の特性	（天然乾燥 SWG）
4.1　水中貯木処理木材の重量変化	
4.2　未乾燥丸太の含水率分布	
4.3　乾燥速度推定のための 100℃試験	
5.　伝統的木造建築物の耐久性	（耐久性 WG）
5.1　伝統的木造建築物の耐久性調査	

5.2　銅製金物の腐朽抑制効果の検証
5.3　伝統的木造建築物の耐久性調査マニュアル
5.4　まとめ

6.　古材の強度性能と評価　（古材 WG）
6.1　意義と目的
6.2　実験計画
6.3　古材の仕口接合部試験
6.4　新材の仕口試接合部験
6.5　古材の材料試験
6.6　仕口評価用材料試験
6.7　接合強度解析のための応力波伝播速度とヤング係数
6.8　まとめ

平成 24 年度には、材料部会傘下の各 WG の進捗状況を確認するために、材料部会を以下のように 4 回開催した。

・第 1 回材料部会は平成 24 年 6 月 30 日（金）14:45～16:45 まで、立命館大学びわこ・くさつキャンパスコアステーション 3F・第 4 会議室において開催した。
・第 2 回材料部会は平成 24 年 10 月 17 日（水）19:00～21:00 まで、京都市景観まちづくりセンターにおいて開催した。
・第 3 回材料部会は平成 24 年 12 月 26 日（水）14:00－17:00 まで、京都市景観まちづくりセンターにおいて開催した。
・第 4 回材料部会は平成 25 年 2 月 23 日（土）14:00－17:00 まで、京都市景観まちづくりセンターにおいて開催した。

5.2 伝統的構法に使用する木材の品質に関する検討

5.2.1　通柱の欠点が連層壁のせん断性能に与える影響

・柱に最も大きな曲げモーメントが作用する胴差し周辺部に特に節や目切れの箇所を配置した試験体を 2 体作成し、その性能を昨年度の試験結果との比較を行った。そのところ、節が少ない場合と比べて節を接合部付近に配置した場合、初期剛性や降伏耐力はほぼ変わらないが、最大耐力の低下がみられた。

5.2.2　柱の背割りがその捻れ抵抗性能に与える影響

・信頼水準 75%の 95%下側許容限界値で論ずると、含水率を 15%に調整した比較では、背割りのある乾燥材は背割りのない未乾燥材と比較して、せん断弾性係数が 20%程度低いが、せん断強度はばらつきが少ないため約 4 倍高かった。また、背割りのある乾燥材と背割りのない乾燥材を比較すると、背割りのある乾燥材のせん断弾性係数が約 2 倍高かったが、せん断強度はほぼ同じであった。
・動的せん断弾性係数と静的せん断弾性係数とを比べると、背割りのある乾燥材は動的せん断弾性係数が静的に比べて平均値で 40%程度高く、背割りのない乾燥材でも 30%程度高くなった。背割りのない未乾燥材では、動的と静的せん断弾性係数は比較的近い値であった。
・たわみ振動法(T.G.H.法)からせん断強度を推定することは、難しいと考えられる。

5.2.3　込み栓の木取りとその強度特性の関係

・気乾密度は 800～1000kg/m3、関東と関西の材料に差異はなさそうである。
・円盤内密度の分布では、今回の実験の範囲内では、芯に近いほどばらつきが大きくなる傾向にあったが、さらに詳しく調べる必要がある。
・縦振動ヤング係数は平均的には 20kN/mm^2 程度と非常に高い。芯に近い材料ほど欠点を含むためか、ヤング係数が低下する。
・曲げ破壊係数も平均的には 140N/mm^2 と極めて高い。非常に低い値を示すものがあるが、芯に近い部分で、明らかな乾燥割れの欠点を有しているものに限る。
・欠点のあるものを除去すると、曲げ破壊係数やヤング係数と密度に緩い相関がありそうであるが、指標としては弱い。
・JIS3 点曲げにおけるせん断たわみの影響は 16%程度であった。
・縦振動ヤング係数と曲げ破壊係数には強い相関が見られた。
・逆対称 4 点曲げによるせん断強度は平均的に 30N/mm^2 程度と極めて高い。全てのデータでは無いが、いす型せん断では 24N/mm^2 程度のせん断強度であり、逆対称曲げ法がやや高い値を示した。
・せん断強度と密度やヤング係数との相関は見られない。縦振動ヤング係数が小さくとも、せん断強度があまり低下しないのは特筆すべきである。
・ここには示していないが、部分横圧縮降伏（比例限度）強度は平均 25N/mm^2 程度、5%時で 35N/mm^2 程度を示しており、極めて強い。
・これらの値は曲げについては山井の実験値と概ね一致する傾向にあるが、せん断や横圧縮性能は山井の試験値よりもさらに高い値を示した。なお、木質構造接合部設計マニュアルにおける密度との相関による算定値は、概ね妥当な値を与える。

5.2.4　実務者の目視選別による天然乾燥材の範囲

・高温乾燥材の場合、心材・辺材の明るさが低下し、心材の赤みが低下する一方、辺材の赤みと心・辺材の黄色みが上昇した。その結果として辺材の彩度が高い値を示した。
・未乾燥材は特に心材で明るさが小さく、心辺材とも全体に赤みの強い材色を示した。
・天然乾燥材や、比較的低温で乾燥させた材の場合、概ね似たような材色を示したが、高温セット乾燥材と顕著な差があるとは言い難い。
・今回選択した各地域においては、それぞれ試行錯誤の末に独自の乾燥法に行き着いたと考えられ乾燥の温度や経過時間はそれぞれ異なるものの、結果として材色に大きな変化を及ぼすような手法は避けられてきたのではないかと考えられる。
・極度の高温乾燥条件が材色に与える影響は顕著であり、特に心材と辺材のコントラストがなくなる傾向が見られた。未乾燥材において心材と辺材のコントラストが最も大きいが、今回選択した各産地では、それぞれ未乾燥材の材色を出来るだけ維持するような乾燥方法を発展させたと考えられる。
・高温セット乾燥材は、コントラストが他の乾燥法と比べてやや小さく、高温乾燥材の材色にやや近づく様子がうかがえた。

5.2.5　乾燥方法の差異がその切削特性に与える影響

・切削片や切削後の試験体の形状は、すべての乾燥材が R 方向（柾目面）及び T 方向（木口面）で数本に切れたり、粉々になったのに対して、未乾燥材は L 方向（柾目面）と同様に、連続した切削片であった。
・L 方向（柾目面）の「軸方向の荷重の平均値及び最小値」、R 方向（柾目面）の「横方向の荷重の最大値」、T 方向（木口面）のすべての特性値は気乾密度（密度-15%）との間で高い相関係数が得られ、

のみによる切削抵抗が材料の密度に影響を受けることが明らかになった。
・未乾燥材について、調湿前後の各特性値を比較した結果、切削片や切削後の試験体の形状と同様に、T 方向(木口面)について、「軸方向の荷重の平均値及び最小値」が調湿後に増大しており、のみによる木口面の切削抵抗及び切削片の形状が含水率、おおよそ繊維飽和点を境に異なることわかった。

5.2.6　葉枯らし乾燥が土台の割裂性能に与える影響

・割裂は込栓穴の周囲を起点として発生するが、必ずしも込栓の上下端を基点とせず、また、干割れが存在しでもそれを基点としない場合がある。
・その結果、干割れの有無や程度は必ずしも割裂耐力に影響するものでは無いことが示唆された。
・すなわち、通常使用される向きに込栓穴を加工しても、その直交面に込栓穴を加工しても、割裂耐力におよぼす影響は小さかった。
・割裂破壊定数には密度とのある程度の相関が見られたが、干割れの程度の大きい試験体はばらつきが大きい傾向が見られた。
・平均的には、土台の割裂挙動は破壊の発生後も緩やかに耐力低下する変形性能を有していると言える。

5.3 天然乾燥の実態調査

5.3.1　追加調査の位置づけ

・平成 22～23 年度にかけて 34 件のヒアリング調査を行った。しかしながら未調査の地域において、天然乾燥材の製造実績が高く、特徴的な乾燥方法を行う製材所が存在するという情報を得られたため、追加調査を行うこととなった。

5.3.2　調査方法

・調査方法は前年度と同様に天然乾燥の乾燥方法についての分類整理を行うために、乾燥方法、乾燥期間、気候風土等への対応等に関する乾燥や流通経路等の実態調査を中心として、乾燥の定義や干割れを欠点とみなしているか等の考え方についても聞き取りを行った。
・ヒアリング調査シートは前年度と同じものを使用した。

5.3.3　調査結果　5.3.4 まとめ

・今回の調査により、新たな乾燥方法等の情報が得られ、これまでの実態調査の補完を行うことができた。
・産地は地元材を使用しているところが多い。アカマツは産地が限定されるため県外で購入される場合もある。
・切り旬を意識している業者が多い。切り旬は 9～3 月という回答が最も多い。
・製材後の乾燥方法としては、桟積み乾燥が多い。
・気候風土等への対応として、必ずしも風通しや日射が良い場所が適しているとは限らない。材料の用途によっては、風や日射を遮ることも必要である。
・製材乾燥前の粗挽きの際の歩増しは、スギ製材 120 角では、+15 ㎜が最も多く、ついで+10 ㎜という結果となった。
・出荷前の含水率の管理方法については、含水率計で測定しているという回答が多く、次いで重量で判断している、期間で判断しているという回答であった。
・乾燥終了の判断基準では 25%が最も多く、次いで 20%が多い。
・急激な乾燥による割れを防ぐため、割れ止め剤（ボンド）、かすがいに加え、四側面にスリッ

トを入れるところもあった。
・背割りを入れる理由は、割れ防止目的が多い。
・天然乾燥材の流通については、今年度調査では、住宅設計会社を関連会社に持つ業者が多く、市場買いする業者が多かったが、昨年度までの結果を纏めると自社で伐採・葉枯らしを行っているため素材生産に関わっている業者が多かった。

5.4 水中貯木処理材の特性

5.4.1　水中貯木処理木材の重量変化

・貯木期間 10 ヶ月と 12 ヶ月の供試スギ丸太について、12 ヶ月間貯木されたものでは 10/24 体（約 41%）が全没または半没することが分かった。
・また、貯木期間中の供試スギ丸太の重量変化を重量増加率の指標でみると、切り旬に伐採された埼玉県飯能産のものは、貯木 10 ヵ月で 17.5%、貯木 12 ヶ月で 20.1%程度の水分を吸収することが分かった。

5.4.2　未乾燥丸太の含水率分布

・10 ヶ月と 12 ヶ月の水中貯木処理の結果、丸太の長さ方向で、心材部と移行帯を含む箇所は木口面より 10～20cm の範囲で水分含浸性がみられた。
・しかし、それ以外の心材部では水分含浸性は認められなかった。

5.4.3　乾燥速度推定のための 100℃試験

・水中貯木処理が木材の乾燥性改善に効果があるかどうかに関しては、今回行った 10 か月の水中貯木処理の結果では、スギ辺材部において、その効果が認められた。
・スギ心材部ではその効果が認められなかった。
・水中貯木処理の乾燥性向上効果については、”認められる”、”認められない”の賛否両論ある。今回の結果からその理由を推定すると、木材乾燥において最も時間を要するのは乾燥が遅い心材部の乾燥である。通常の針葉樹製材は心材部が材の大半を占めている。したがって、乾燥初期においては辺材部の乾燥性が水中貯木処理により向上が伺えたとして、急速な乾燥が見られる可能性があるが、しかしながら材全体として、かつまた乾燥全期間を通しての乾燥時間短縮効果は大きいものにはならない。このあたりが水中貯木処理による乾燥性向上が”認められる”、”認められない”という賛否両論が生じる所以と推定される。
・さらに正確な結論は、水中貯木処理材の気体透過性の結果と照らし合わせることで得られよう。

5.5　伝統的木造建築物の耐久性

5.5.1　伝統的木造建築物の耐久性調査

・平成 22、23 年度に引き続き、全国の伝統的な木造建築について、主要構造部材の腐朽や虫害など生物劣化の発生状況を調査した。
・調査対象物件は、築年数がおよそ 60 年以上の 12 軒の木造建築物で、現在住居や店舗などして利用されている物件とした。
・調査の結果から、建物の設置されている環境、構造や仕様、施工技術や住まい方と劣化との関係を検討した。
・調査範囲は、床下、内装・室内、小屋裏、屋根・外周のうち可能な領域とした。
・調査は専門的な道具を用いない、いわゆる一次診断で、目視、ドライバによる突き刺診、打診、触診を行った。
・生物劣化が生じていると認められた部位については写真を撮影した。

・床下においては、劣化の種類（T：シロアリ、D：腐朽、B：甲虫類）および推定した劣化程度（1：被害程度小～3：被害程度大）をチョークで記して写真を撮影するとともに、劣化部位を図面に記した。
・調査対象物件に共通して見られる劣化現象や建物の構造や材料などとの関連でみられる特徴的な現象を、1)建物の構造・仕様と劣化との関連、2)材料や施工方法と劣化との関連、3)建物周囲環境と劣化との関連、4)住まい方と劣化との関連等の観点から取り纏めた。
・これまでの調査結果（物件情報、調査情報など、文書・画像・図面など）のデータを集約したインターネット対応型のデータベースを構築し、関係者が閲覧できるようにする方向で検討中である。

5.5.2　銅製金物の腐朽抑制効果の検証

・銅金物を施工すると、雨水や結露水によって周岡の木材へ銅が溶出する。
・溶出する鋼の量は、何らかの腐朽抑制効果が期待できるレベルである。
・銅が溶出する範囲や量は、金物の表面積に関係する。
・銅の溶出する範囲や量は、樹種や環境条件によって異なるが、辺材より心材のほうが溶出には有利である。
・銅釘を打ち付けると、鋼は釘穴内部へも溶出する。
・実際の住宅床下でも、結露が発生する環境であれば銅金物から銅が溶出する。
・強制腐朽試験において銅系金属板で木材を挟み込むと腐朽が 抑制された。
・銅系金属板から溶出した銅が腐朽抑制に寄与したと考えられる。
・銅系金属板の中では黄銅板が最も効果が高く、カワラタケによる腐朽を完全に抑制した。
・黄銅板でもオオウズラタクケに対する効果が低く、木材保存剤の性能基準には及ばなかった。
・これらのことから、伝統的構法の建築物において銅金物は単なる防水カバーとして機能しているだけではなく、そこから溶出する銅の腐桁抑制作用によっても周辺木材の劣化抑制に寄与していると考えられる。
・しかし、強制腐朽試験の結果では木材保存処理の代替となるほどの信頼度は期待できない。
・総合的な耐久性対策の一環として、他の対策と併用して活用することが最良と考える。

5.5.3　伝統的木造建築物の耐久性調査マニュアル

・伝統木造にみられる劣化部位の検出やその評価手順については、平成 23 年度の報告書に詳述しているが、24 年度はこれまでの調査結果を整理および分析し、床下や屋根などの部位ごとに劣化症状の例を解説する。
・マニュアルの章立ては、1)調査準備、2)調査の手順、3)劣化症状とその見極め、4)建物の構造・仕様と劣化との関連、5)材料や施工方法と劣化との関連、6)建物周囲環境と劣化との関連、7)住まい方と劣化との関連、8)調査結果の整理、分析と取り纏めの 8 章から成る。

5.5.4　まとめ

・平成 22、23 年度に引き続き、平成 24 年度は全国の伝統木造建築の劣化調査および銅板の腐朽抑制効果の調査および検証実験を実施した。
・全国の伝統木造建築の劣化調査については、今後もより多くの調査結果を集める必要があるとともに、全ての物件の調査結果を詳しく分析し、構造、材料、施工、環境や住まい方と劣化との関係を検討する必要がある。
・銅板に関する検証実験についても継続してより長期にわたる効果の発現状態を見極める必要がある。

・将来的にはそれらの知見をもとに伝統的木造の耐久性確保のための方向付けが明らかになると思われるが、現状では現行法における耐久性確保に関する内容を把握し、その範囲でより実際的な耐久性確保のための策を実務家が講じることが求められる。

5.6 古材の強度性能と評価

5.6.1　意義と目的

・前年度までの成果を受け、既存の伝統的木造建築物においてその構成部材の材料特性やめり込み特性および仕口の復元力特性を把握することが重要であると判断し、(1)古材の仕口接合部実験、(2)新材の仕口実験、そして(3)古材の材料実験の 3 項目について実験を行い、実務者が必要に応じて古材を安心して再利用できる道筋を拓くための知見を提供することを目的とした。

5.6.2　実験計画

・古材の仕口接合部実験では、古材の仕口接合部の復元力特性の把握を目的として、長野市寺院客殿・福山市民家より採取した仕口接合部に対し、モーメント抵抗性能を公開実験で試験を行った。
・新材を用いた仕口接合部実験では、入手した古材と比較のための新材から同樹種、同形状の仕口試験体を作成し、仕口の回転抵抗モーメントの剛性・降伏値・復元力特性を得て、古材と新材の材料としての違いが仕口の復元力特性に及ぼす影響を検討した。
・古材の材料試験では、古材の材料特性の把握を目的として、長野市寺院客殿の解体部材に対し、縦圧縮・横圧縮・部分横圧縮(めり込み)の試験を行った。特に、めり込み試験は、JISZ2101 の部分圧縮試験をベースとしながら、めり込み特性を得るために、載荷方法・解析手法などは独自の方法で実施した。

5.6.3　古材の仕口接合部試験

・ほぞ接合部の復元力特性は、ほぞの寸法・形状と篏合の程度に大きな影響を受けた。特に、長ほぞと短ほぞの違いは、それらの復元力特性に大きな違いをもたらした。
・今回実施できた試験は限られたものではあるが、長ほぞを持つ接合部は大きな変形には耐えられないものの、剛性・強度は大きく、既往の（新材を用いた）研究例と比較しても遜色はなかった。
・短ほぞを持つ試験体は非常に低い復元力特性（剛性・強度）であった。また、篏合の程度もほぞ接合部の復元力特性に大きく影響した。篏合が甘い場合には、負荷初期の復元力は非常に低い結果となった。今回の短ほぞの剛性・強度が小さかった原因は、このような篏合の甘さに原因があるが、これについては施工当初より緩く加工していたのか、経年・劣化によるものかは判断できなかった。
・古建築のほぞ接合部における篏合の程度を知ることの重要性が認識された。
・現状では建物の解体前の状態でほぞの形状寸法等を知る手段はないが、例えば構造物の改修・点検を実施するうえで、何らかの方法を用いておおよそのほぞの形状寸法を知ることは非常に重要であり、非破壊的な調査手法の開発が望まれる。

5.6.4　新材の仕口試接合部験

・新材・古材に拘わらず、短ほぞは耐力は小さいが、変形能力は大きい。
・それに対し長ほぞは耐力は大きいが、ほぞの破壊により耐力が決まり、変形能力は小さいことが言える。これらは主にほぞの形状寸法によるもので、新材・古材で共通した傾向であった。
・古材ががたつきまたは劣化により嵌合度が低くなるものが少なくないが、かみ合いが始まれば

剛性は新材より大きい傾向が見られた。これは材料の差異か、古材が強度アップしたためかは今回の実験結果からは判明しない。
・全体に嵌合度が復元力特性に大きな影響を与えることが明らかとなり、現存する古材の仕口接合部の評価には重要な要素となる。
・古材はやや硬いが脆いという特徴とともに局所的にばらつきがが大きいことが明らかとなった。

5.6.5　古材の材料試験

・古材の材料試験においては、縦圧縮試験、横圧縮試験、めり込み試験の 3 種類を実施した。
・今回試験を行った NUC（スギ）、NUP（アカマツ）の縦圧縮、横圧縮の材料特性値は、ハンドブックや他の古材と比べ比較的大きくなる傾向にあった。
・めり込み試験においては、年輪方向別の応力度-ひずみ曲線形状は大方過去の試験結果と同様の傾向を示したが、アカマツの LR 方向においては安定しためり込みを生じない試験体が多かった。
・シミュレーション結果における EPM パラメータをみると、全面圧縮と部分圧縮の降伏ひずみの比率を示す η の値は過去の実験結果と同様の結果となり、剛性増大率を決定するパラメータ γH におおいては横圧縮ヤング係数に依存する傾向になる結果となった。
・塑性ひずみ倍率 C においては、今回の試験においても傾向の把握は困難であった。

5.6.6　仕口評価用材料試験

・めり込みを主なメカニズムとする仕口の復元力特性は、ほぞの横圧縮ヤング係数と降伏応力度に支配されると考えられるため、新材と古材試験体のほぞ部分に対する全面横圧縮試験を実施した。
・小試験体では、年輪傾角の影響が大きくバラツキが大きかったため、柱のほぞに近い部分について実大のめり込み実験を実施した。
・実大試験体の性能と小試験体の性能の相関は、試験体数が少なくバラツキが大きかった。

5.6.7　接合強度解析のための応力波伝播速度とヤング係数

・非破壊的に接合部の強度性能を評価する手法を検討した結果、超音波の伝播速度を用い、あらかじめ用意した密度と横弾性係数のデータベースを基準としたモンテカルロシミュレーションにより、良好な推定精度を得られる可能性が示唆された。
・推定精度の更なる向上のためには、実際と同様の条件となる実大材を対象とした応力波伝播速度と横圧縮ヤング係数に関するデータベースの構築を図る必要がある。

5.6.8　まとめ

・古材より成る伝統的な軸組構法を力学的な観点から解明を行い、古材の再利用の道を切り開くために、(1)古材の仕口接合部実験、(2)新材の仕口実験、そして(3)古材の材料実験の 3 項目について実験を実施し、上述した興味深い多くの知見を得た。
・古材に関連する今後の課題として、解体部材を用いて古材の材料特性のデータベースの蓄積をはかること、その中で、経年による材料特性の変化の解明を進めることが重要である。
・古材の再利用と古材からなる仕口接合部の復元力特性の評価のために、現存する仕口の嵌合度の評価法の研究、現存する古材の横圧縮ヤング係数と降伏応力度の推定手法と測定機器の研究開発が望まれる。
・・・

5.2.1 通柱の欠点が連層壁のせん断性能に与える影響

（1）目的

通し柱を含む鉛直構面、特に下階に水平抵抗要素がない場合の上階の水平抵抗要素が設計通りの性能を発揮するか否かは、通し柱の曲げ耐力に依存している。伝統構法における構造躯体は施工者が品質管理を行って、通し柱の下階の胴差との仕口付近には構造耐力上支障となるような欠点を含まないように配慮されている。しかし、この配慮がなされない場合等、品質管理の有効性について検証した例はほとんどない。

昨年度は実際に節や目切れ等の欠点を有する通し柱と欠点が制御された通し柱を構成材料として連層耐力壁試験体を作成し、せん断試験を行った。この時、耐力が 8 割低下に達した時の耐力の低下量は欠点が少ない試験体と多い試験体で、それぞれ平均で 0.71、0.66 となり、欠点が多い条件で欠点の少ない試験体より耐力の低下が 17%大きい結果となった。また、耐力低下の要因は、節外周からの亀裂発生であり、節の材料欠点が通し柱曲げ性能及び架構耐力性能に影響したことを確認した。

本年度は柱に最も大きな曲げモーメントが作用する胴差し周辺部に特に節や目切れの箇所を配置した試験体を2体作成し、その性能を昨年度の試験結果との比較を行った。

（2）試験概要

2体の試験体は昨年度の試験番号に習ってF-7、F-8とそれぞれ呼ぶ。表5.2.1-1に示すスギ部材を主に用いた。図5.2.1-1に示すように柱芯々幅が1820mm、桁芯までの高さが5630mmの2層試験体である。通し柱の下段と中段にはほぞ差しの足固めと胴差接合部を設け、2層目は真壁形式構造用合板耐力壁となっている。桁は長ほぞ差しで通し柱と接合している。

表5.2.1-1　構成部材の仕様

部材	樹種	等級	断面寸法
通し柱	スギ	無等級	150mm×150mm
桁	スギ	無等級	150mm×240mm
胴差	スギ	無等級	150mm×300mm
足固め	スギ	無等級	120mm×180mm
鼻栓	カシ	無等級	10mm×30mm
込み栓	カシ	無等級	18mm×18mm
構造用合板	カラマツ（3層）	JAS特類2級	150mm×240mm

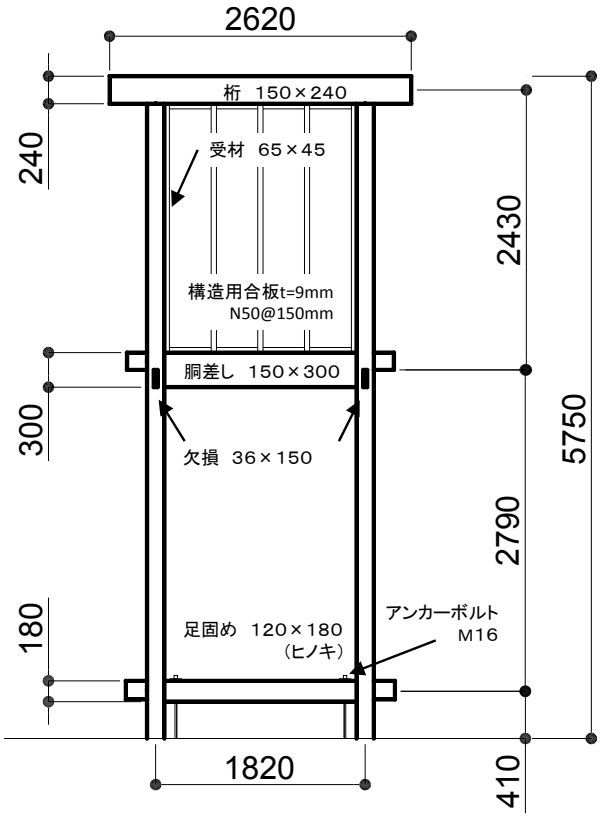


図5.2.1-1　試験体概要図



写真5.2.1-1　試験の様子

通し柱－胴差接合部には、面外方向のほぞ穴欠損及び、ほぞも再現し、建物の立体架構における実際の接合及び欠損状態を再現してある。以降、図5.2.1-1試験体図の右側の柱をを北柱、左側を南柱、図の下から足固め、胴差、桁と記述する。

各部材の弾性係数と含水率を表5.2.1-2及び表5.2.1-3にそれぞれ示した。含水率は部材両端木口付近で測定したその平均値、弾性係数は部材曲げ実験を実施して算出した結果を示してある。

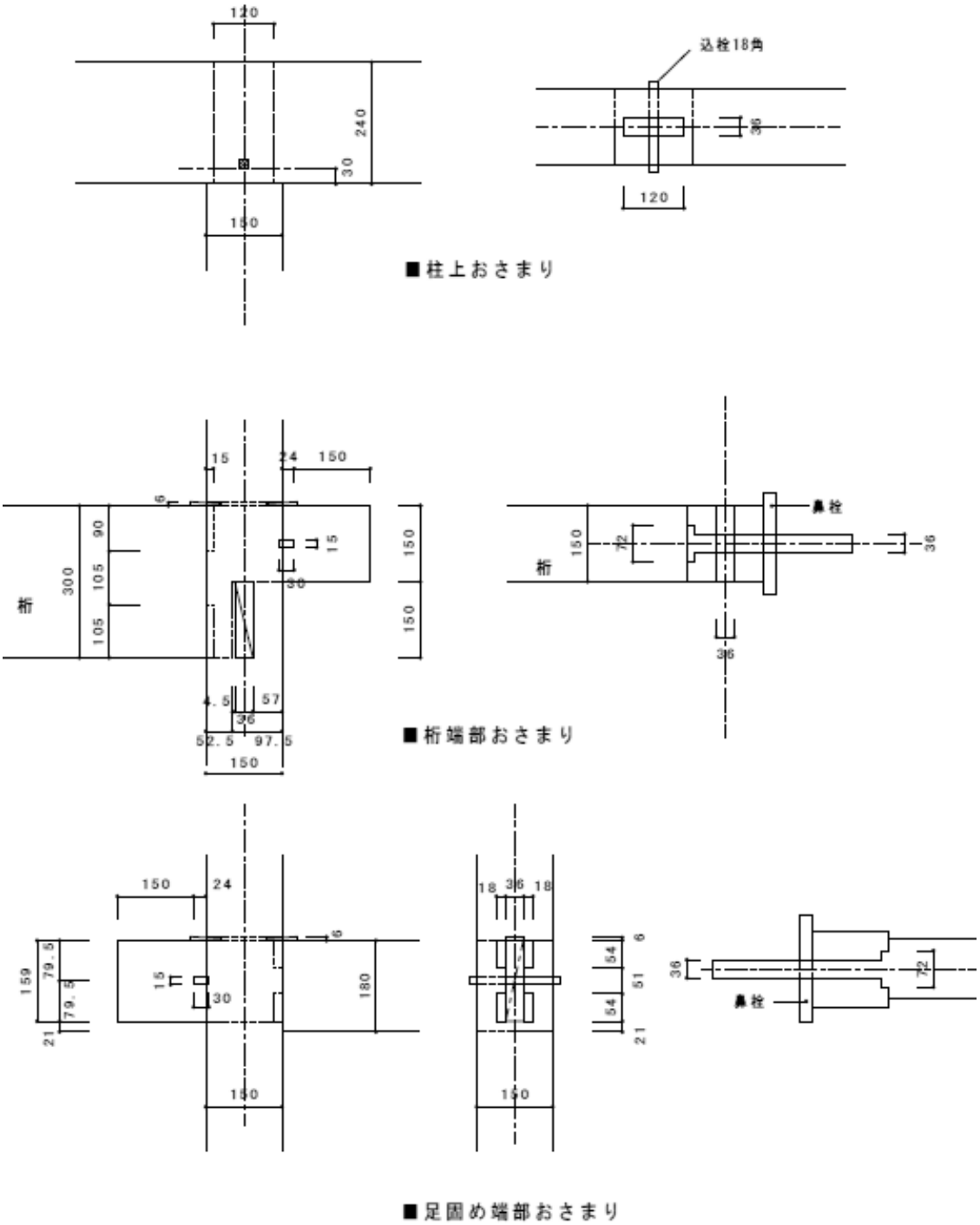


図5.2.1-2　各接合部収まり図

表 5.2.1-2　各部材の特性値

部位	寸法 mm			曲げヤング係数 kN/mm^2	含水率%	気乾密度 kg/m^3
	幅	高さ	長さ			
F-7 北柱	150	150	6,267	8.58	29.0	483
F-7 南柱	150	150	6,152	7.06	41.0	586
F-8 北柱	150	150	6,155	10.09	25.0	552
F-8 南柱	150	150	6,225	6.03	23.3	431
F-7 桁	148	238	3,237	6.66	15.0	443
F-8 桁	148	238	4,078	9.31	15.0	430
F-7 胴差し	148	299	2,860	8.04	19.0	460
F-8 胴差し	149	300	4,698	9.60	14.0	393
F-7 足固め	118	178	4,076	10.68	13.0	514
F-8 足固め	130	188	3,048	10.91	-	489

加力は、図 5.2.1-3 に示す桁高さで変位制御の正負漸増静的加力とし、3 回の繰り返し加力を桁高さの 1/30rad.まで実施し、その後、8 割低下を確認し、制御が可能な限り試験体を一方向に引いた。

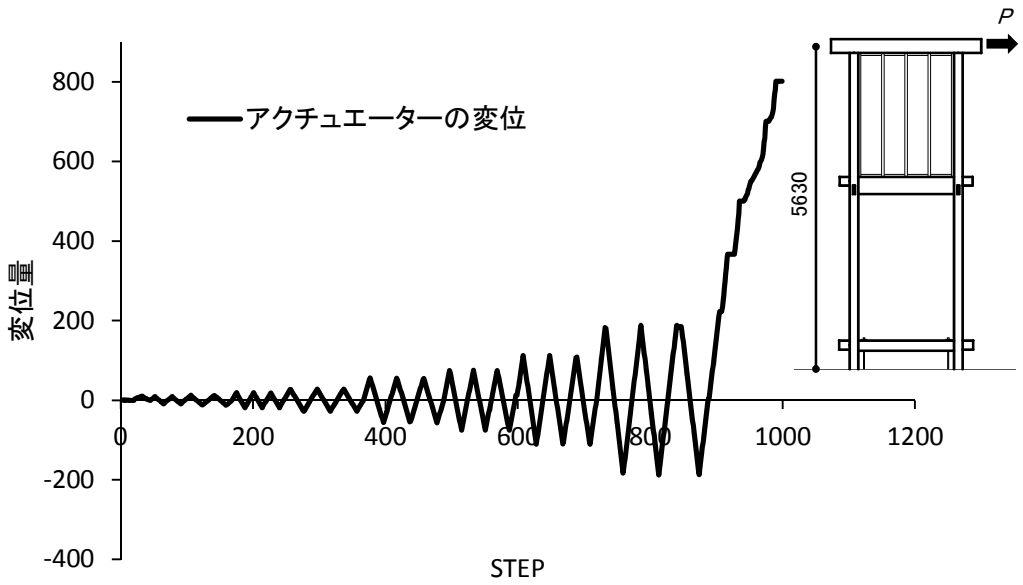


図 5.2.1-3　加力スケジュール

表5.2.1-3、図5.2.1-4と5に示す荷重、変位を22か所、ひずみを36か所の合計58か所を測定した。

表 5.2.1-3　計測内容一覧

個数	Ch No.	測定機器	測定場所・位置	目的
1	0ch	ACT荷重		ACT耐力測定
2	1ch	ACT変位		ACT変位測定
3	2ch	SDP200	頂部桁変位	桁高さ変位1/30rad.まで
4	3ch	W2000	頂部桁変位	桁高さ変位1/10rad.まで
5	4ch	SDP200	南側胴差高さ柱水平変位	胴差高さ変位1/30rad.まで
6	5ch	SDP200	北側胴差高さ柱水平変位	胴差高さ変位1/30rad.まで
7	6ch	W1000	南側胴差高さ柱水平変位	胴差高さ変位1/10rad.まで
8	7ch	W1000	北側胴差高さ柱水平変位	胴差高さ変位1/10rad.まで
9	8ch	SDP200	南側柱脚水平変位	柱脚水平変位量
10	9ch	SDP200	北側柱脚水平変位	柱脚水平変位量
11	10ch	CDP50	南側柱頭鉛直変位	接合部間変形量
12	11ch	CDP50	北側柱頭鉛直変位	接合部間変形量
13	12ch	CDP100	南側柱脚鉛直変位	接合部間変形量
14	13ch	CDP100	北側柱脚鉛直変位	接合部間変形量
15	14ch	CDP50	南側胴差上接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
16	15ch	CDP50	南側胴差下接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
17	16ch	CDP50	北側胴差上接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
18	17ch	CDP50	北側胴差下接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
19	19ch	CDP50	南側足固め上接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
20	20ch	CDP50	南側足固め下接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
21	21ch	CDP50	北側足固め上接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
22	22ch	CDP50	北側足固め下接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
23	23ch	ゲージ1	南側柱・2層上・南面 ε	曲げ・軸応力
24	24ch	ゲージ1	南側柱・2層上・北面 ε	曲げ・軸応力
25	25ch	ゲージ1	南側柱・2層下・南面 ε	曲げ・軸応力
26	26ch	ゲージ1	南側柱・2層下・北面 ε	曲げ・軸応力
27	27ch	ゲージ1	北側柱・2層上・南面 ε	曲げ・軸応力
28	28ch	ゲージ1	北側柱・2層上・北面 ε	曲げ・軸応力
29	29ch	ゲージ1	北側柱・2層下・南面 ε	曲げ・軸応力
30	30ch	ゲージ1	北側柱・2層下・北面 ε	曲げ・軸応力
31	31ch	ゲージ1	南側柱・1層上・南面 ε	曲げ・軸応力
32	32ch	ゲージ1	南側柱・1層上・北面 ε	曲げ・軸応力
33	33ch	ゲージ1	南側柱・1層下・南面 ε	曲げ・軸応力
34	34ch	ゲージ1	南側柱・1層下・北面 ε	曲げ・軸応力
35	35ch	ゲージ1	北側柱・1層上・南面 ε	曲げ・軸応力
36	36ch	ゲージ1	北側柱・1層上・北面 ε	曲げ・軸応力
37	37ch	ゲージ1	北側柱・1層下・南面 ε	曲げ・軸応力
38	38ch	ゲージ1	北側柱・1層下・北面 ε	曲げ・軸応力
39	39ch	ゲージ1	南側柱・0層上・南面 ε	曲げ・軸応力
40	40ch	ゲージ1	南側柱・0層上・北面 ε	曲げ・軸応力
41	41ch	ゲージ1	北側柱・0層下・南面 ε	曲げ・軸応力
42	42ch	ゲージ1	北側柱・0層下・北面 ε	曲げ・軸応力
43	43ch	ゲージ1	桁・南側・上 ε	曲げ・軸応力
44	44ch	ゲージ1	桁・南側・下 ε	曲げ・軸応力
45	45ch	ゲージ1	桁・北側・上 ε	曲げ・軸応力
46	46ch	ゲージ1	桁・北側・下 ε	曲げ・軸応力
47	47ch	ゲージ1	胴差・南側・上 ε	曲げ・軸応力
48	48ch	ゲージ1	胴差・南側・下 ε	曲げ・軸応力
49	49ch	ゲージ1	胴差・北側・上 ε	曲げ・軸応力
50	50ch	ゲージ1	胴差・北側・下 ε	曲げ・軸応力
51	51ch	ゲージ1	足固め・南側・上 ε	曲げ・軸応力
52	52ch	ゲージ1	足固め・南側・下 ε	曲げ・軸応力
53	53ch	ゲージ1	足固め・北側・上 ε	曲げ・軸応力
54	54ch	ゲージ1	足固め・北側・下 ε	曲げ・軸応力
55	55ch	ゲージ2	南側アンカーボルト南面	曲げ・軸・せん断応力
56	56ch	ゲージ2	南側アンカーボルト北面	曲げ・軸・せん断応力
57	57ch	ゲージ2	北側アンカーボルト南面	曲げ・軸・せん断応力
58	58ch	ゲージ2	北側アンカーボルト北面	曲げ・軸・せん断応力

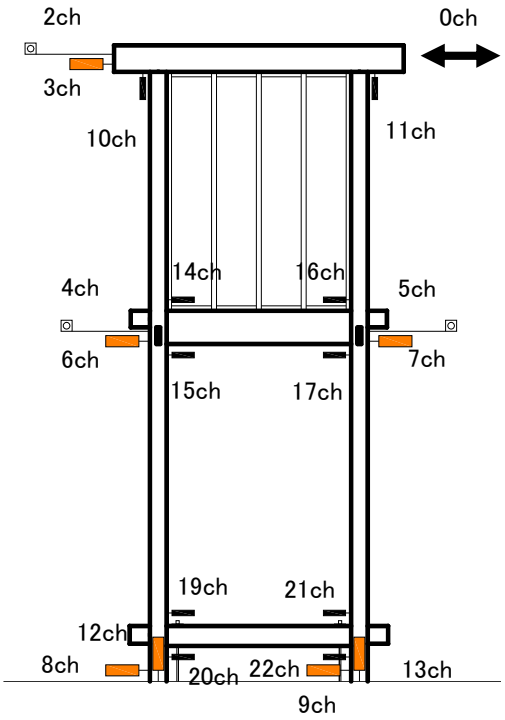


図 5.2.1-4　変位計配置図

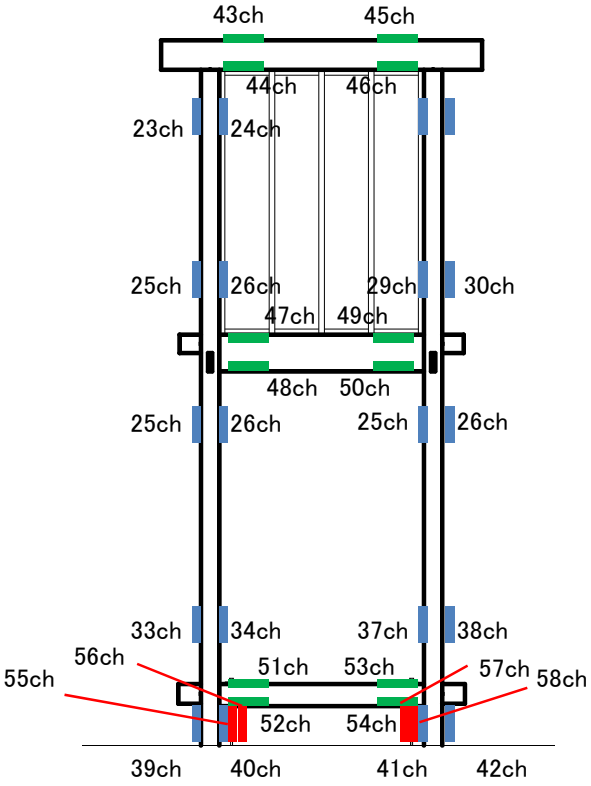


図 5.2.1-5　ひずみゲージ配置図

（３）試験結果

図 5.2.1-6 と図 5.2.1-7 に F-7 と F-8 の試験結果における、頂部荷重-頂部変形角 θ_1 曲線と完全弾塑性置換したものを示す。頂部の変形角を算出するに当たり図の 3ch から 8ch を差し引いた値に両変位計の垂直距離を除することによって求めた。

$$\theta_1 = (6ch-8ch)/5420 \qquad (5.2.1\text{-}1)$$

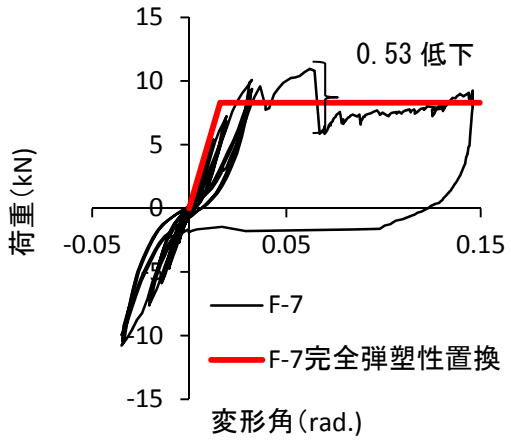


図 5.2.1-6　荷重−頂部回転角関係（F-7）

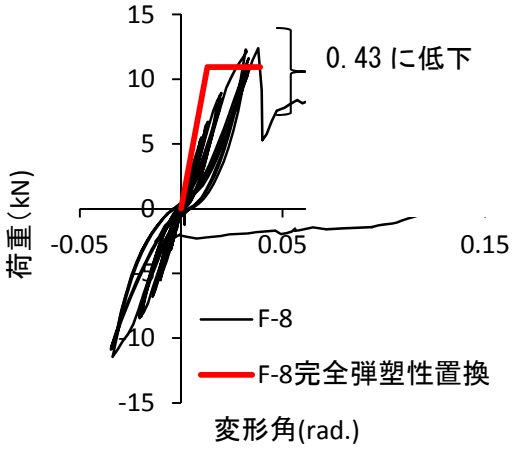


図 5.2.1-7　荷重−頂部回転角関係（F-8）

F-7 の条件では約 1/30rad.で足下の鼻栓が折れ、1/15rad.で両方の柱がほぼ同時に折れた。その後、耐力は僅かながら右上がりに上昇した。F-8 の条件では 1/25rad.の時点で梁らが両方とも折れ、耐力が低下した。

図 5.2.1-8 と図 5.2.1-9 に F-7 と F-8 の試験結果における、頂部荷重と胴差し-足固め間変形角 θ_2 の関係を示す。頂部の変形角を算出するに当たり下記の式を用いた。

$$\theta_2 = (6ch-8ch)/2850-(19ch+20ch)/320 \qquad (5.2.1\text{-}2)$$

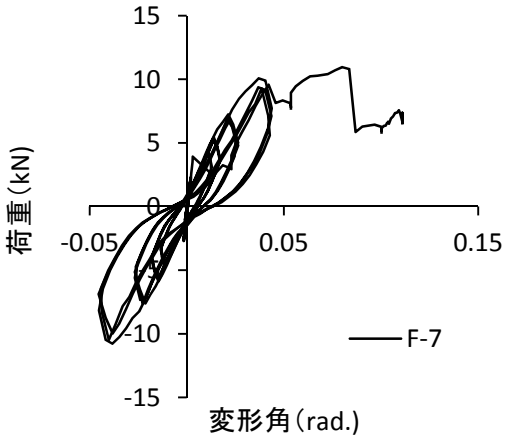


図 5.2.1-8　荷重−胴差し回転角関係（F-7）

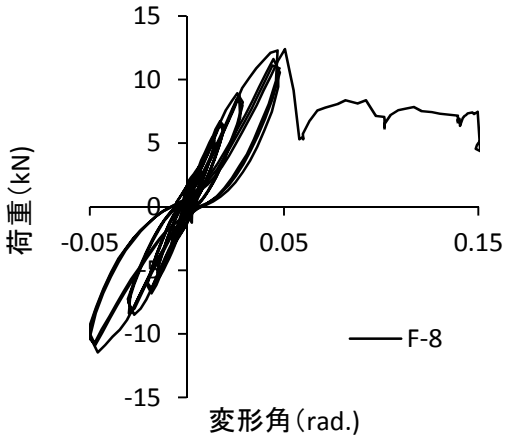


図 5.2.1-9　荷重−胴差し回転角関係（F-8）

柱が折れるときの θ_2 は F- 7 、F-8 でそれぞれ約 1/22,1/12rad.であった。
各種算定値を昨年度の結果と併せて**表** 5.2.1-3 に示した。

（４）損傷観察結果

各試験体の試験後の全体の写真、破壊性状と水平変位、写真を記録した。写真5.2.1-4と表写真5.2.1-5に示す。



800mm 変形時



1/30rad.
胴差高さ：約 1/10rad. 柱(南)西面胴差目切れを起因とする亀裂の進展



1/15.2rad.(8 割低下の要因)
胴差高さ：1/22rad.
柱(南)南節での割れ



1/15.2rad.(8 割低下の要因)
胴差高さ：1/22rad.
柱(北)欠損端より折れ

写真 5.2.1-4　**試験体**：F-7



800mm 変形時



1/30rad.
胴差高さ：約 1/28rad.柱(北)鼻栓の折れ



1/25rad.(8 割低下の要因)
胴差高さ：約 1/22rad.
柱(南)西面胴差欠損部から割れ



1/25rad.(8 **割低下の要因**)
胴差高さ：約 1/22rad.
柱(北)ほぞの折れ

写真 5.2.1-5　試験体：F-8

（５）まとめ

柱に最も大きな曲げモーメントが作用する胴差し周辺部に特に節や目切れの箇所を配置した試験体を 2 体作成し、その性能を昨年度の試験結果との比較を行った。そのところ、節が少ない場合と比べて節を接合部付近に配置した場合、初期剛性や降伏耐力はほぼ変わらないが、最大耐力の低下がみられた。

表 5.2.1-4　各種算定値

項目		C-1	C-2	C-3	C-4	Ave.	S.D.		F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	Ave.	S.D.
最大荷重	[kN]	16.06	16.51	11.09	14.20	14.46	2.46		13.59	17.64	13.89	14.27	15.23	15.71	10.98	12.40	14.21	2.05
最大荷重時層間変形角	[rad.]	0.10	0.10	0.05	0.13	0.10	0.03		0.09	0.10	0.08	0.10	0.11	0.12	0.06	0.04	0.09	0.03
終局耐力Pu	[kN]	13.46	14.44	9.30	12.63	12.46	2.23		11.53	15.26	12.34	12.18	12.94	13.57	8.30	10.92	12.13	2.04
終局耐力時層間変形角	[rad.]	0.10	0.10	0.06	0.16	0.10	0.04		0.09	0.11	0.09	0.12	0.11	0.12	0.15	0.04	0.10	0.03
降伏変位δy	[cm]	8.64	9.58	5.15	9.97	8.33	2.20		7.66	10.01	8.13	7.97	7.87	7.56	8.70	6.99	8.11	0.91
構造特性係数Ds	−	0.56	0.58	0.57	0.44	0.54	0.06		0.53	0.55	0.57	0.46	0.50	0.47	0.29	0.63	0.50	0.10
初期剛性K	kN/cm	0.98	0.94	1.08	0.81	0.95	0.11		0.94	1.03	0.98	0.98	1.01	1.04	0.67	0.91	0.94	0.12
1/120rad.剛性	kN/cm	1.33	1.40	1.21	1.32	1.31	0.08		1.38	1.52	1.36	1.46	1.52	1.55	0.85	1.04	1.34	0.26
降伏耐力Py	[kN]	8.44	8.97	5.56	8.03	7.75	1.51		7.19	10.30	7.98	7.82	7.98	7.86	5.81	6.33	7.66	1.34
P_{120}	[kN]	3.31	3.49	3.01	3.28	3.28	0.20		3.44	3.80	3.39	3.63	3.80	3.86	4.26	4.61	3.85	0.41
Pu・0．2／Ds	[kN]	4.83	4.94	3.26	5.69	4.68	1.02		4.34	5.51	4.32	5.30	5.13	5.81	5.77	3.46	4.95	0.83
Pmax・2／3	[kN]	10.71	11.01	7.39	9.47	9.64	1.64		9.06	11.76	9.26	9.51	10.15	10.47	7.32	8.27	9.47	1.36

5.2.2 柱の背割りがその捨れ抵抗性能に与える影響

(1) 実験の背景・目的

比較的大きな断面の柱を乾燥させるためには、背割りを入れる場合は少なくない。一方で、伝統構法においては、貫を設けて水平耐力を確保する場合が多い。このとき、水平面内において水平抵抗要素の配置が均等でないと、地震荷重下の各構面のせん断変形が均等にはならない。すなわち、建築物は捩れ挙動を示し、直交方向の壁は面外に捩れることになる。このとき、直交方向の壁を通じて柱には捩れ変形が与えられることになる。背割りを入れた柱は、背割りのない柱に比べて材料力学的に捩れ挙動に対して、弱いことは自明である。そこで、スギ柱材の背割りの有無が捩れ抵抗に与える影響について、静的捩り試験によって評価する。

(2) 試験方法

1) 静的試験

(a) 静的試験方法

試験体は長さ 4m×150mm×150mm のスギ材で、背割りのない未乾燥材及び乾燥材各 3 体、背割りのある材 3 体を用意した。

静的捩り試験は、(社) 日本建築学会木質構造限界状態設計指針 (案)・同解説 [5.2.2-1)] の試験方法に従って行った。図 5.2.2-1 に試験概要図を、試験状況を写真 5.2.2-1 に示す。

試験体を固定支持部と回転支持部において、めり込み防止のための鋼板を介してボルトにより軽く締め付け、トルク負荷用レバーアームの回転軸から 310mm の位置で試験機により試験体が破壊するまで加力した。

試験体の固定距離は、断面寸法の 18 倍である 2700mm とした。なお、試験体回転軸方向に 2100mm 及び 2300mm の測定点間距離で、また、回転軸から各変位計までの距離を 55mm として、捩れ回転角を測定した。

試験機は、広島県立総合技術研究所林業技術センター (株) 前川試験機製作所製 IP-100/A-200-B2 (最大能力 1000kN, ラムストローク 500mm) を使用した。

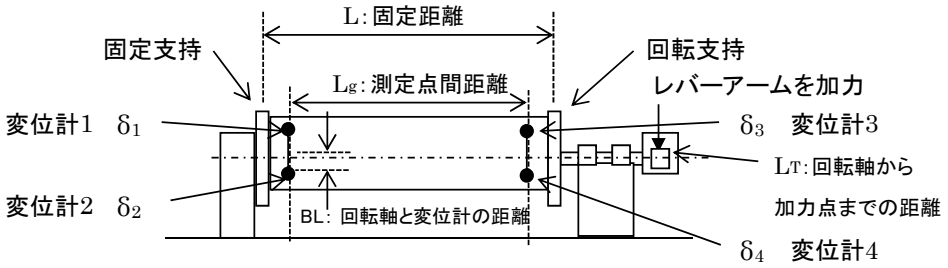


図 5.2.2-1 静的捩り試験概要図



写真 5.2.2-1 試験状況全景



写真 5.2.2-2 回転支持部



写真 5.2.2-3 加力状況



写真 5.2.2-4 固定支持部

(b) 静的評価方法

静的捻り試験において、せん断弾性係数 G 及びせん断強度 τ をつぎの式により算出した。

せん断弾性係数 G

$$G = \frac{1}{f_1 db^3} \frac{\Delta T}{\Delta\theta / L_g} \qquad (5.2.2\text{-}1)$$

T：捻りモーメント（$F \times L_T$），L_T：回転軸から加力点までの距離（310mm）

f_1：角棒のねじり公式における係数

b<=d のとき $\quad f_1 = 1/3 - 0.21\frac{b}{d} + 0.0175\left(\frac{b}{d}\right)^5$

b：試験体の短辺

d：試験体の長辺

θ：回転角，$\quad \theta = \{(\delta 3 - \delta 4) - (\delta 1 - \delta 2)\} / 2BL$

δ_1：固定側 材縁上部の水平方向変位量

δ_2：固定側 材縁下部の水平方向変位量

δ_3：回転側 材縁上部の水平方向変位量

δ_4：回転側 材縁下部の水平方向変位量

BL：回転軸から変位計までの距離（55mm）

L：試験体の固定間距離（2700mm）

せん断強度 τ

$$\tau = \frac{T}{\alpha db^2} \qquad (5.2.2\text{-}2)$$

α：d/b の比による係数（b=d のとき 0.208）

2) 動的試験

(a) 動的試験方法

静的試験を行う前にせん断弾性係数の簡便な非破壊評価方法として、動的弾性係数の測定を試みた。測定は、たわみ振動法(T.G.H.法)[5.2.2-2)]により行った。試験体は静的試験に供する背割りのない

未乾燥材及び乾燥材各 3 体、背割りのある乾燥材 3 体である。

たわみ振動法（T.G.H.法）では、スパンを試験体の長さの 0.552 倍の距離として台の上に置き、試験体中央部材面を上からハンマーで打撃し、下面方向からマイクロフォンで高次の固有振動数を測定した。

(b) 動的評価方法

たわみ振動法（T.G.H.法）では、試験体長さ、断面 2 次半径、密度を求め、せん断分布定数（1.2）、せん断弾性係数の初期値（0.8Gpa）を設定する。次に、振動次数 n に依存する係数 mn と Fmn、1 から 6 次程度までの曲げ固有振動数、各 n における見かけの曲げヤング係数を求める。さらに各 n におけるプロット用の系列 X、Y を求め、その 1 次回帰式 Y=aX+c とプロットが一致するとき、傾き a と切片 c が次の関係となる。

$$a = -1.2\left(E_{fr-t} \Big/ G_{fr-t} \right) \quad , \quad c = E_{fr-t} \tag{5.2.2-3}$$

$E_{fr\text{-}t}$：真の曲げヤング係数
$G_{fr\text{-}t}$：せん断弾性係数

(3) 結果と考察

静的捻り試験に係る試験結果を、表 5.2.2-1、図 5.2.2-2 から図 5.2.2-5 及び写真 5.2.2-5 から写真 5.2.2-14 に示す。表 5.2.2-1 において、含水率を 15%時の値に調整して比較してみると、背割りのある乾燥材は背割りのない未乾燥材と比較すると、せん断弾性係数が平均値で 40%程度、せん断強度が 30%程度低下している。また、背割りのある乾燥材と背割りのない乾燥材では、背割りのある乾燥材のせん断弾性係数が平均値で 20%程度低く、せん断強度が 10%程度高かった。最大捻りモーメント時における回転角は、背割りのある乾燥材の方が大きく、粘りが期待できる。

信頼水準 75%の 95%下側許容限界値（以下 5%下限値）では、含水率を 15%時の値に調整して比較してみると、背割りのある乾燥材は背割りのない未乾燥材と比較すると、せん断弾性係数が 20%程度低下しているが、せん断強度はばらつきが少ないため約 4 倍高かった。また、背割りのある乾燥材と背割りのない乾燥材では、背割りのある乾燥材のせん断弾性係数が約 2 倍高かったが、せん断強度はほぼ同じであった。

図 5.2.2-2 では、背割りのある乾燥材 3 体の捻りモーメント-回転角曲線がほぼ一致しおり、ばらつきが少ないことがよく分かる。また、背割りのない未乾燥材はばらつきが多いが、背割りのない乾燥材はばらつきが少ない。図 5.2.2-4 及び図 5.2.2-5 から、背割りのある乾燥材については、密度とせん断強度性能に相関はないようである。

写真 5.2.2-14 から静的捻り試験によるせん断破壊は、材表面から髄に向けて進行するようであるが、髄を通り越してはいないようである。試験機の回転角に限界があるため、最終確認はできなかった。

背割りのない乾燥材では、表面割れが貫通割れではないものの一面全体にわたって存在する。深さは 60mm 程度で、静的捻り試験においては、表面割れが背割りと同様な影響を及ぼしたと推察されるが、貫通割れではないため、せん断弾性係数やせん断強度に違いが出たものと考えられる。

表 5.2.2-1 静的捻りせん断試験結果

試験体 No	試験時密度 kg/m^3	全乾密度 kg/m^3	全乾法含水率 %	静的曲げヤング係数 kN/mm^2	縦振動法ヤング係数 kN/mm^2	T_{max} kN・mm	θ_{max} rad	G kN/mm^2	含水率15%時G kN/mm^2	τ N/mm^2	含水率15%時τ N/mm^2	備　考
1	965	385	151.0	7.89	7.35	5625	0.457	0.681	0.776	7.94	8.91	背割りなし未乾燥材
2	599	328	90.8	7.74	7.42	3305	0.357	0.478	0.544	4.70	5.27	
3	536	361	57.7	7.46	6.95	3992	0.428	0.499	0.568	5.66	6.35	
平均値	700	358	99.8	7.70	7.24	4307	0.414	0.552	0.630	6.10	6.84	
5%下限値								0.200	0.228	0.86	0.96	正規分布あてはめ
標準偏差	231	29	47.3	0.22	0.25	1192	0.052	0.112	0.128	1.66	1.87	
変動係数%	33.1	8.0	47.4	2.8	3.5	27.7	12.4	20.3	20.3	27.3	27.3	
4	444	365	18.6	6.42	7.39	3084	0.581	0.389	0.415	4.62	4.89	背割りあり乾燥材　背割り深さ65mm
5	392	321	17.3	6.63	6.78	2946	0.531	0.321	0.334	4.18	4.33	背割りあり乾燥材　背割り深さ77mm
6	441	384	17.0	8.84	8.70	3112	0.536	0.309	0.320	4.42	4.57	背割りあり乾燥材　背割り深さ77mm
平均値	426	357	17.6	7.30	7.62	3047	0.550	0.340	0.356	4.41	4.60	
5%下限値								0.204	0.195	3.71	3.71	正規分布あてはめ
標準偏差	29	33	0.84	1.34	0.98	89	0.028	0.043	0.051	0.22	0.28	
変動係数%	6.9	9.2	4.8	18.3	12.8	2.9	5.0	12.7	14.3	5.0	6.1	
8	405	362	15.0	9.38	9.52	2738	0.410	0.424	0.424	4.03	4.03	背割りなし乾燥材 表面割れ深さ54mm
9	369	333	14.7	8.10	8.29	2836	0.491	0.460	0.458	4.17	4.15	背割りなし乾燥材 表面割れ深さ65mm
10	352	320	15.4	8.34	8.30	2996	0.325	0.423	0.426	4.34	4.36	背割りなし乾燥材 表面割れ深さ68mm
平均値	375	338	15.0	8.61	8.70	2857	0.409	0.436	0.436	4.18	4.18	
5%下限値								0.368	0.375	3.70	3.65	正規分布あてはめ
標準偏差	27	21	0.37	0.68	0.71	130	0.083	0.022	0.019	0.15	0.17	
変動係数%	7.2	6.3	2.5	7.9	8.1	4.6	20.2	4.9	4.4	3.6	4.0	

※含水率15%時G及びτは、ASTM D 2915^{-2002} により、含水率が22%以上を22%として含水率15%時の値に調整したものである。
背割りなし乾燥材の表面割れ深さは、長さ方向の1m間隔3か所の平均深さとした。　5%下限値とは、信頼水準75%の95%下側許容限界値のことを示す。

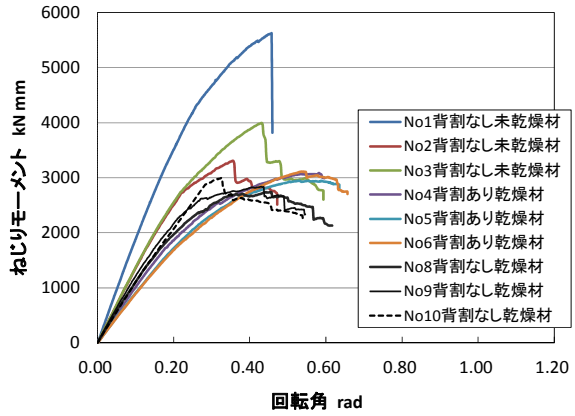


図 5.2.2-2 回転角と捻りモーメント

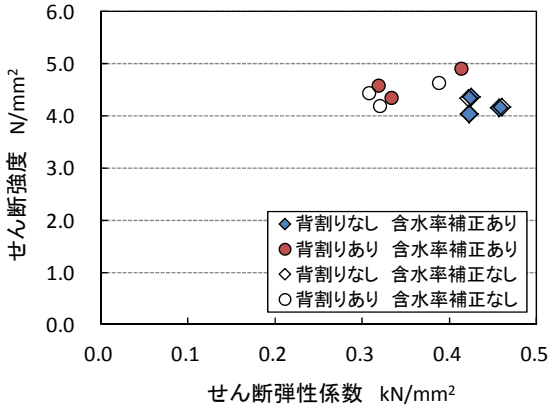


図 5.2.2-3 せん断弾性係数とせん断強度

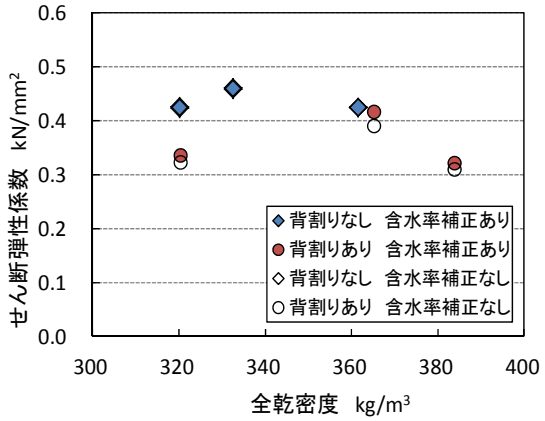


図 5.2.2-4 全乾密度とせん断弾性係数

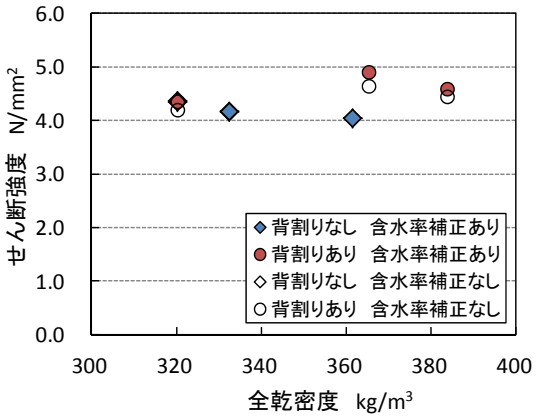


図 5.2.2-5 全乾密度とせん断強度

※図のせん断弾性係数及びせん断強度の含水率補正ありは、ASTM D 2915-2002 により 15%時の含水率の値に調整したものである。また、背割りなし材、背割りあり材どちらも乾燥材である。

調整式：せん断弾性係数　$G_{15} = G1(1.44-0.0020\times15)/(1.44-0.0020\times M1)$

せん断強度　$\tau_{15} = \tau1(1.33-0.0167\times15)/(1.33-0.0167\times M1)$

M1：試験材の含水率 %

G_{15}：含水率 15%時のせん断弾性係数

G1：含水率 M1%時のせん断弾性係数

τ_{15} ：含水率 15%時のせん断強度

τ1 ：含水率 M1%時のせん断強度



写真 5.2.2-5 No1 せん断破壊状況



写真 5.2.2-6 No2 終局状況



写真 5.2.2-7 No4 背割り部分せん断破壊

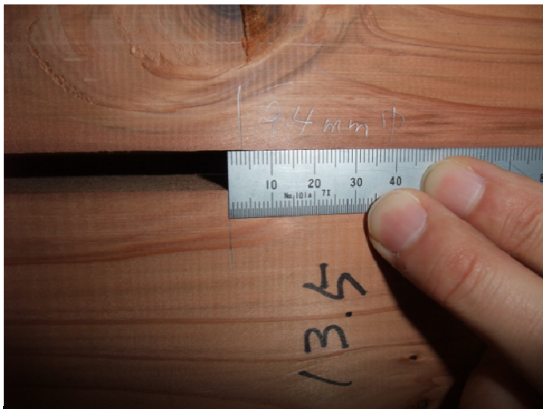


写真 5.2.2-8 No5 背割り部分のずれ(3mm)



写真 5.2.2-9 No8 表面割れ及び終局状況



写真 5.2.2-10 No8 表面割れ部分のずれ



写真 5.2.2-11 No9 節間のせん断破壊



写真 5.2.2-12 No10 表面割れの状況



写真 5.2.2-13 No10 末口の木口割れ

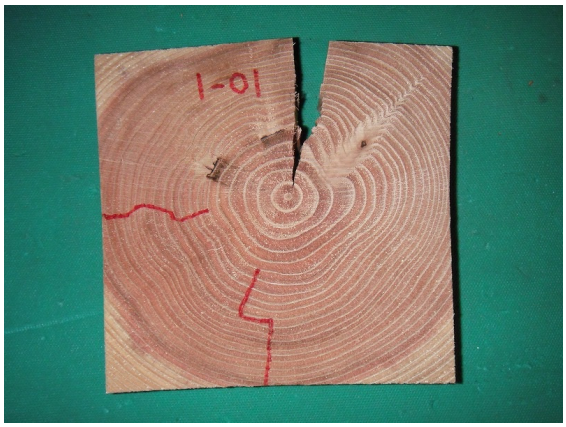


写真 5.2.2-14 No10 元口から 1m 部分せん断破壊

また、動的と静的せん断弾性係数の比較について、表 5.2.2-2 及び図 5.2.2-6 に示す。

たわみ振動法(T.G.H.法)のせん断弾性係数は、背割りのある乾燥材と背割りのない乾燥材とほぼ同じであった。動的と静的せん断弾性係数を比べると、背割りのある乾燥材は動的せん断弾性係数が静的に比べて平均値で 40%程度高く、背割りのない乾燥材でも 30%程度高くなった。背割りのない未乾燥材では、動的と静的せん断弾性係数は比較的近い値であった。

背割りや表面割れが動的せん断弾性係数に影響を及ぼしそうなこと、また、静的せん断弾性係数とせん断強度の相関が不明なこともあり、たわみ振動法(T.G.H.法)からせん断強度を推定することは、難しいと考えられる。

表 5.2.2-2 動的及び静的せん断弾性係数の比較

試験体	静的試験		動的試験				
	見かけの曲げヤング係数	静的	縦振動法	たわみ振動法(T.G.H.法)			
No	E kN/mm^2	G kN/mm^2	$E_{fr\text{-}l}$ kN/mm^2	$E_{fr\text{-}t}$ kN/mm^2	$G_{fr\text{-}t}$ kN/mm^2	$E_{fr\text{-}t}/G_{fr\text{-}t}$	備　考
1	7.89	0.681	7.35	9.92	0.515	19.3	背割りなし未乾燥材
2	7.74	0.478	7.42	9.32	0.456	20.4	背割りなし未乾燥材
3	7.46	0.499	6.95	9.22	0.418	22.0	背割りなし未乾燥材
4	6.42	0.389	7.39	8.21	0.598	13.7	背割りあり乾燥材　背割り深さ65mm
5	6.63	0.321	6.78	7.11	0.631	11.3	背割りあり乾燥材　背割り深さ77mm
6	8.84	0.309	8.70	7.87	0.587	13.4	背割りあり乾燥材　背割り深さ77mm
8	9.38	0.424	9.52	9.96	0.604	16.5	背割りなし乾燥材 表面割れ深さ54mm
9	8.10	0.460	8.29	9.17	0.501	18.3	背割りなし乾燥材 表面割れ深さ65mm
10	8.34	0.423	8.30	8.54	0.681	12.5	背割りなし乾燥材 表面割れ深さ68mm

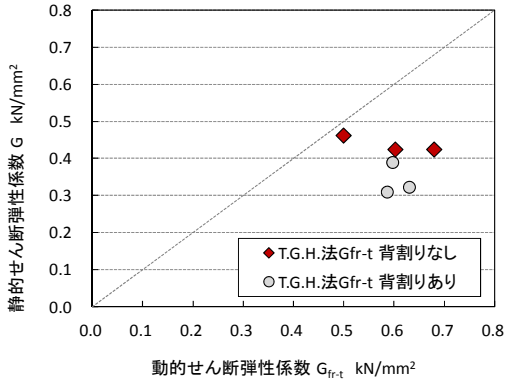


図 5.2.2-6 動的及び静的せん断弾性係数

(4) まとめ

試験体が各条件 3 体ではあるが、背割りのある乾燥材の方が背割りのない乾燥材よりも、せん断強度が高く、また最大捻りモーメント時における回転角も大きいことが分かった。これは、背割りのない乾燥材には表面割れが存在し、このことがせん断強度性能に影響を及ぼしたと考えられる。背割りのない乾燥材に表面割れが存在した場合は、背割りのある乾燥材の方が粘り強さに期待できそうである。

文献

5.2.2-1) (社) 日本建築学会編集：木質構造限界状態設計指針（案）・同解説、p.349、丸善、2003.
5.2.2-2) 久保島吉貴：未発表資料

5.2.3 込栓の木取りとその強度特性の関係

(1) はじめに

伝統構法接合部の強度特性について、仕様規定によらず、算定式に基づいて任意に耐力を定める手法が検討されている。一方で、例えば長ほぞ込栓接合部の込栓のめり込み耐力、せん断耐力、金輪継ぎ手の込栓圧縮耐力などに関して、接合具の材料強度特性値について平成 12 年建設省告示第 1452 号や平成 13 年国土交通省告示第 1024 号の数値に従うと、実験による耐力と比べて過小に評価される事が多く、問題点として指摘されている。建築基準法施工令第 89 条では「かた木で特に品質優良なもの」を車知、込栓の類に使用する場合においては、軸方向、曲げ、せん断の各許容応力度を 2 倍まで増大することができる規定があるが、その明確な品質基準は定められていない。

本課題ではこのような広葉樹接合具の強度特性について、特に接合具として高い強度性能を持つことが知られ、一般に用いられるカシ材に関して、製材や仕上げ加工の過程で欠点が除去されることによる材料品質の安定化や、丸太からの木取りの位置による年輪頃角の発生確率等について注目し、昨年度までに実施した現地調査に引き続き、各種の材料強度試験を実施して影響を確認した。

(2) 供試材とその木取り

これまで関西地域および関東地域の広葉樹製材所での現地調査および聞き取りにより、接合具として用いられるシラカシ材の製材工程について調査した。なお、近年大規模にカシ材の製材を行っている業者は少なく、調査対象とした製材所は代表的な 2 社である。その結果、関東・関西地域で製材の工程に違いが確認された。すなわち、込栓材質について、関西地域では主としてカシ丸太の辺材から採取される追い柾材が多く、関東地域では心材から採取される材料が多いことが明らかとなった。また関東地域では心材に発現しやすい、ボタンと呼ばれる着色部位を選択的に使用することがわかった。一方で関東・関西の地域を問わず、欠点の除去と乾燥工程は、製材所と込栓加工工場の 2 段階で行われており、材料品質の安定化に対し有効に機能していると考えられた。

以上を踏まえると特に材料の横断面内採取位置が品質におよぼす影響を明らかとする必要が認められた。そこで関西・関東から下記の材料を調達した。

1) 関西材：人工林からの萌芽更新材料が多い、小割乾燥、辺材を込栓として用いる。

径 274-324mm、長 370-400mm のシラカシ生材丸太 6 体（写真 5.2.3-1）を生材の状態で仕入れ、図 5.2.3-2 の様に小割に木取りした後に研究室で 6 ヶ月間自然乾燥させた。



写真 5.2.3-1　関西シラカシ丸太（生材）

2) 関東材：街路樹等の一本立木が多い、板挽き乾燥、芯に近い部分を用いる。

厚 40mm、幅 260-390mm、長 450mm のシラカシ天然乾燥板材 10 枚（写真 5.2.3-2）について、実

験を行った。



写真 5.2.3-2　関東シラカシ板材（天然乾燥材）

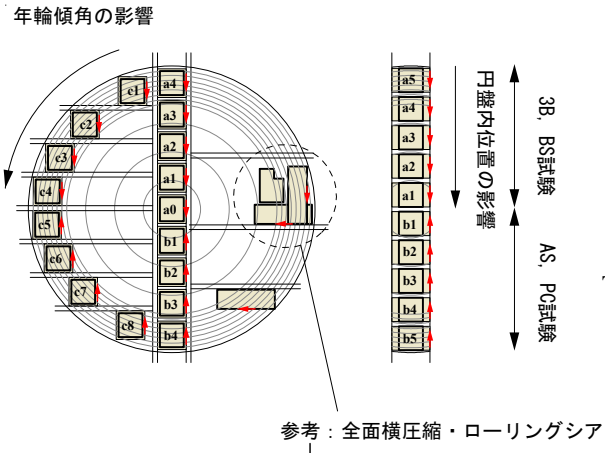


図 5.2.3-1　木取りと乾燥

(3) 材料試験

1) 密度

全乾法含水率計測、円盤内密度分布計測

2) 動的特性値

縦振動と撓み振動を実施

3) 曲げ強度試験

3 点曲げ試験：変動スパン法（6H-->10H の条件で長期曲げ許容応力度に相当する加力を行い、その後 14H の条件で破壊試験）を実施

4) せん断強度試験

いす型せん断試験

逆対称曲げせん断試験

いす型せん断による RT 面せん断

5) 横圧縮強度試験

部分横圧縮試験

全面横圧縮試験

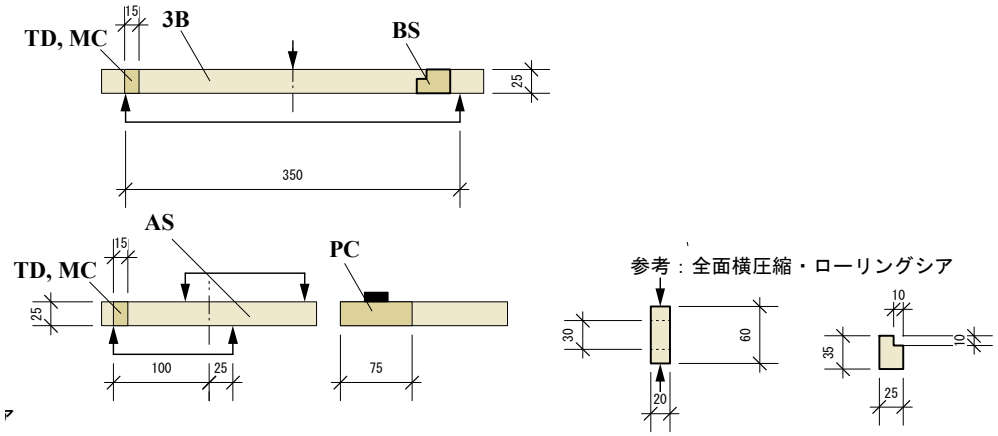
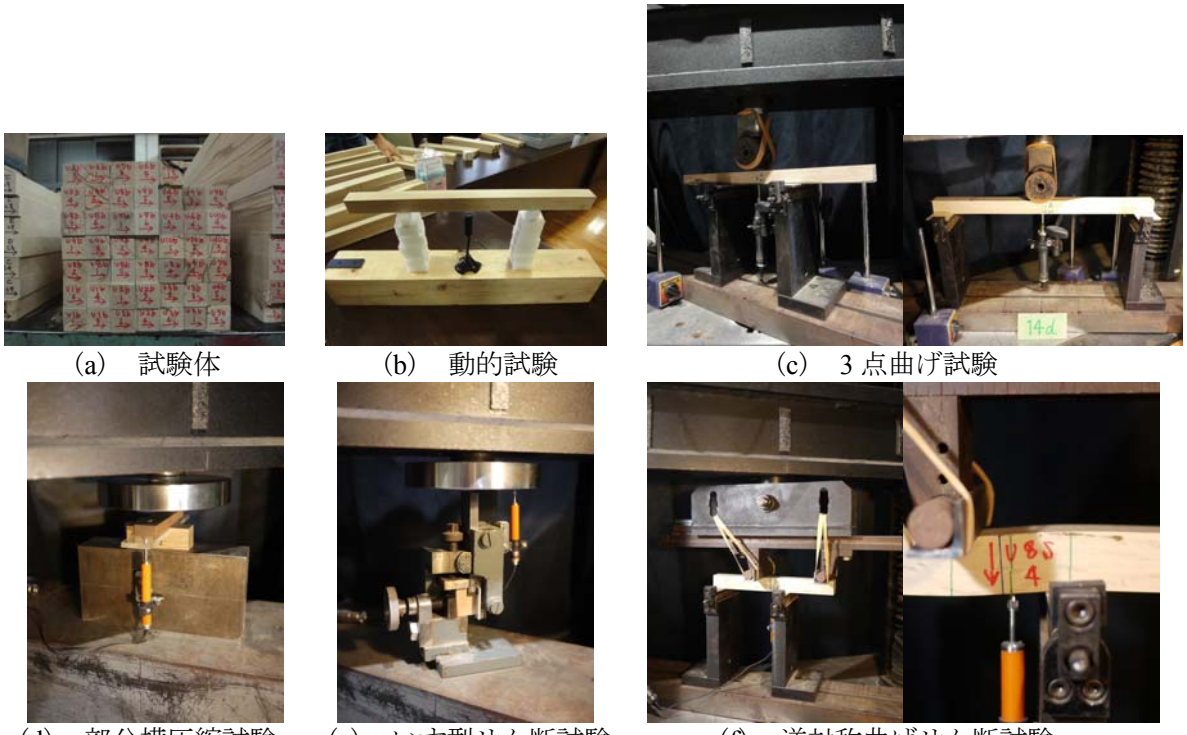


図 5.2.3-2　各種試験方法



(a)　試験体　(b)　動的試験　(c)　3 点曲げ試験

(d)　部分横圧縮試験　(e)　いす型せん断試験　(f)　逆対称曲げせん断試験

写真 5.2.3-3　各種試験方法

(4) 結果と考察

①気乾密度は 800～1000kg/m^3、関東と関西の材料に差異はなさそうである。

②円盤内の密度の分布では、芯に近いほどばらつきが大きくなる傾向。やや密度が低下する？板断面を用いてさらに詳しく調べる。

③縦振動ヤング係数は平均的には 20kN/mm^2 程度と非常に高い。芯にほど近い材料は欠点を含むためか、ヤング係数が低下する。

④曲げ破壊係数も平均的には 140N//mm^2 と極めて高い。非常に低い値を示すものがあるが、芯に近い部分で、明らかな乾燥割れの欠点を有しているもの。

⑤欠点のあるものを除去すると、曲げ破壊係数やヤング係数と密度に緩い相関があるかも知れないが、指標としては弱い。

⑥JIS3 点曲げにおけるせん断たわみの影響は 16%程度
⑦縦振動ヤング係数と曲げ破壊係数には強い相関が見られる。
⑧逆対称曲げ法によるせん断強度は平均的に 30N/mm^2 程度と極めて高い。全てのデータでは無いが、いす型せん断では 24N/mm^2 程度のせん断強度であり、逆対称曲げ法がやや高い値を示す。
⑨せん断強度と密度やヤング係数との相関は見られない。縦振動ヤング係数が小さくとも、せん断強度があまり低下しないのは特筆すべきである。
⑩ここには示していないが、部分横圧縮降伏(比例限度)強度は平均 25N/mm^2 程度、5%時で 35N/mm^2 程度を示しており、極めて強い。
⑪これらの値は曲げについては山井の実験値と概ね一致する傾向にあるが、せん断や横圧縮性能は山井の試験値よりもさらに高い値を示した。なお、木質構造接合部設計マニュアルにおける密度との相関による算定値は、概ね妥当な値を与える。

1) 密度

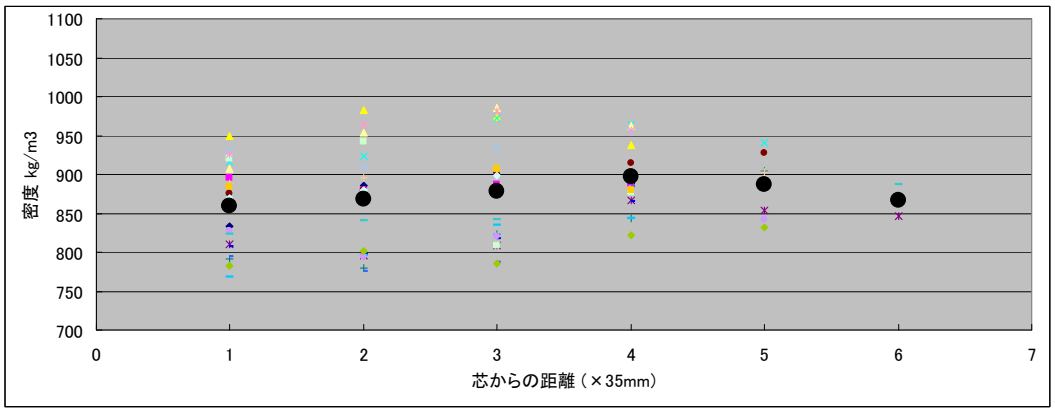


図 5.2.3-3　円盤内の気乾密度の分布(関東材)

2) 曲げ特性値

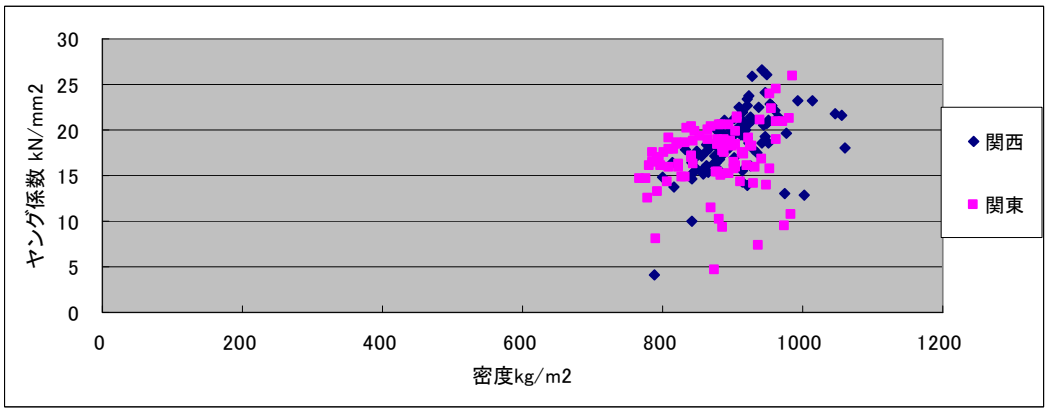


図 5.2.3-4　密度と縦振動ヤング係数の関係

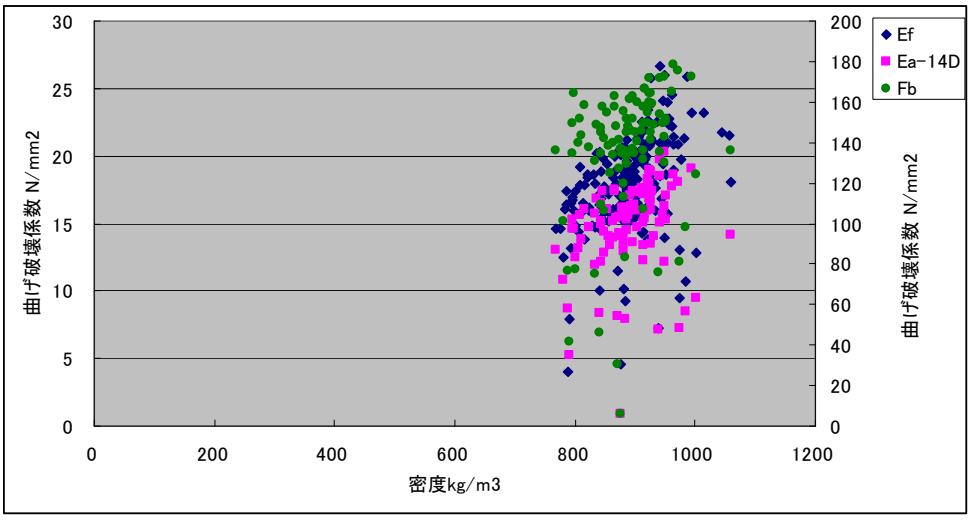


図 5.2.3-5　密度と曲げ破壊係数の関係、密度とヤング係数の関係

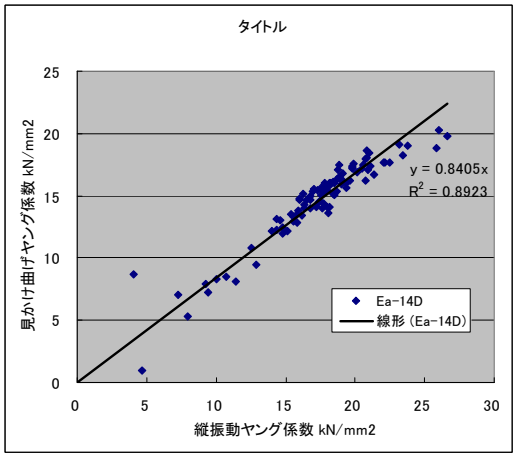


図 5.2.3-6　縦振動と三点曲げのヤング係数

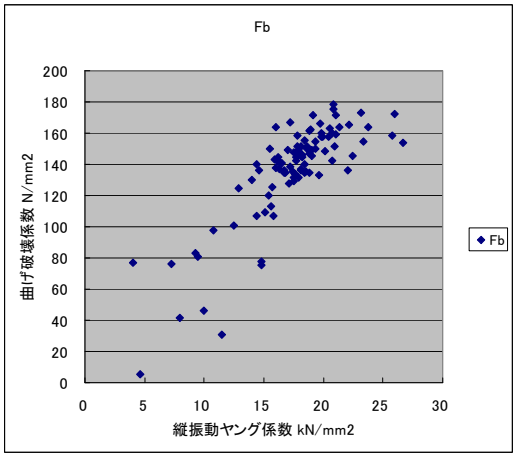


図 5.2.3-7　縦振動ヤング係数と曲げ破壊係数

3）せん断特性値

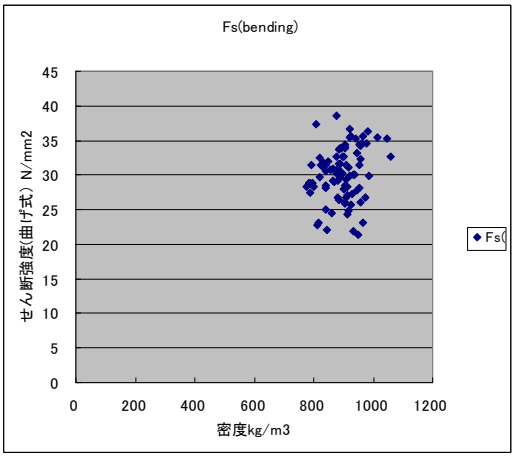


図 5.2.3-8　密度と曲げ式せん断強度

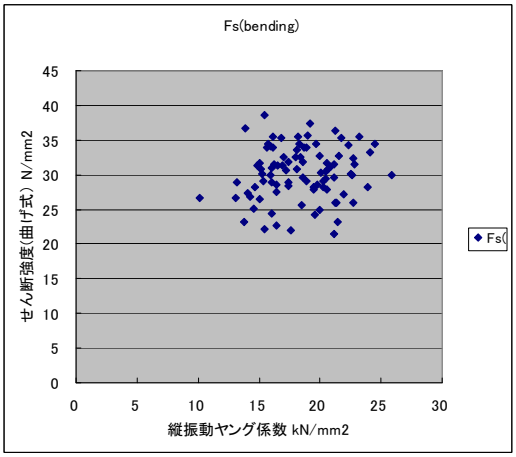


図 5.2.3-9　縦振動ヤング係数と曲げ式せん断強度

4）横圧縮特性値

表 5.2.3-1　山井による試験結果と基準強度等

		bending						shearing				
n	密度	$E_{b(050)}$	基準E0	Eb (manual)	$\sigma b_{(005)}$	基準Fb	Fb(005) (manual)	$\tau r_{(005)}$	基準Fs	$\tau t_{(005)}$	基準Fs	Fs(005) (manual)
51	961	**17.0**	10.0	15.3	**112.6**	38.4	104.1	**20.3**	4.2	**17.5**	4.2	16.4
12	902	**16.6**	10.0	14.5	**108.8**	38.4	98.1	**18.4**	4.2	**17.4**	4.2	15.3

			compression, others				Partial compression						
	n	密度	基準Fc	基準F90	基準E90	基準G0	$\sigma pT_{(005)}$	σ5%T	基準 Fcv(e)	$\sigma pR_{(005)}$	σ5%R	基準 Fcv(e)	$F_{cv(e)(005)}$ (manual)
アカガシ	50	961	27.0	5.4	0.40	0.67	**10.8**	21.8	12.0			12.0	19.4
シラカシ	12	902	27.0	5.4	0.40	0.67	**8.3**	19.7	12.0			12.0	17.8

$$E = 2100 + 13700\rho \qquad F_b = 8.1 + 136\rho \qquad F_{s.nom} = -1.9 + 24.7\rho \qquad F_{cvf} = -8.2 + 35.4\rho$$

5.2.4 実務者の目視選別による天然乾燥材の範囲

(1) 試験体の概要

目視選別時の供試体寸法は、業者より納入された寸法（120×120×3000mm）であった。目視選別終了後直ちに後の曲げ試験用の試験体（寸法 120×120×2400mm)と「5.2.5 乾燥方法の差異がその切削特性に与える影響（寸法 120×120×300mm)」課題用の試験体とに切り分け、その際に材料の元側と末側からそれぞれ厚 10mm 程度の板を切り出し、全乾法による含水率を計測した。曲げ試験用の試験体は目視選別後直ちに搬出し、表面の測色調査および曲げ強度試験を実施した。

各試験体には通し番号がつけられており、連続する 4 つずつの番号は同じ産地（乾燥方法）の木材を示す。なお、試験体番号 1-28 が実際に目視選別に供したもので、試験体番号 29-36 は極度の高温乾燥と生材の条件をより詳細に調べるために追加して求めた試験体である。

(2) 表面の測色調査

① 試験方法

実務者の目視選別調査に供した材料は、目視選別実施後およそ 1 週間直射光の当たらない小屋中で保管した後に、表面の測色を行った。

人工乾燥による色調への影響は心材と辺材でそれぞれ傾向が異なることが知られている。このため、心材・辺材をそれぞれ計測対象とした。試験体の 4 表面において、選択できる場合には心・辺材をそれぞれ最大 4 カ所で、表面の汚れや日焼けの影響を取り除くため鉋で薄く表面を削り取った後に計測した。計測回数は一カ所あたり一回とした。

測色は KONICA MINOLTA 製分光測色計 CM-2600d を用いて行った。経口 3mm のターゲットマスクを使用し、一般的な測色法である UV100%を含む D65 光源、観察視野 10°で測定を行った。結果は CIEL*a*b*表色系の色差絶対値を記録した。以下は正反射光を含む CI 処理結果についてのみ論じる。



写真 5.2.4-1　KONICA MINOLTA 製分光測色計 CM-2600d



写真 5.2.4-2　測色風景

本試験で使用した測色計は、計測範囲内（φ3mm)の色の平均値を与える。試験体は柱材のため、表面付近はほぼ板目材であり、一年輪内でも色味は変動するために、測色箇所の選択は注意を払う必要がある。本計測では晩材の影響を除外するため、できるだけ年輪境界の早材側を計測点として選んだ。なお、追加試験体については分光測色計を使用し、ターゲットマスクの計測範囲は φ8mm である。

CIEL*a*b*表色系では下記の色相値を与える。

L*：　明るさ：0~100　数値が大きい程明るい。

a*：　緑-赤色味：-100~0~100　緑~無彩色~赤

b*： 青-黄色味：-100~0~100 青~無彩色~黄

C： 彩度 $\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$

また、異なった 2 点の色差（コントラスト）は、

ΔE： 色差 $\sqrt{\Delta L^{*2}+\Delta a^{*2}+\Delta b^{*2}}$

$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$： 異なった測定点における明るさ、緑-赤色味、青-黄色味値の差で与えられる。

各試験体の数値は、全ての計測点での数値を平均した値を用いて評価した。

② 測色時含水率

表 5.2.4-1 測色時の試験体含水率（全乾法による）

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
乾燥方法	①. 低温乾燥材				②. 低温乾燥材				③. 天然乾燥材				④. 60-70℃乾燥材			
元側	28.4	23.4	21.9	18.0	14.8	14.0	14.7	15.8	18.3	18.8	18.0	20.0	18.7	16.8	16.0	--
末側	27.0	26.0	21.5	18.2	15.0	14.1	14.1	14.3	18.2	17.5	18.5	21.3	16.8	16.2	16.1	15.5
平均値	27.7	24.7	21.7	18.1	14.9	14.0	14.4	15.1	18.2	18.2	18.2	20.6	17.8	16.5	16.1	15.5

No.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
乾燥方法	⑤. 高温セット乾燥材				⑥. 天然乾燥材				⑦. 60-70℃乾燥材			
元側	14.6	14.3	20.8	13.5	15.8	15.8	16.4	16.1	17.9	19.0	19.2	19.8
末側	14.5	14.5	15.0	13.8	16.0	16.0	15.4	15.0	18.6	19.0	22.1	18.8
平均値	14.5	14.4	17.9	13.6	15.9	15.9	15.9	15.6	18.3	19.0	20.6	19.3

No.	29	30	31	32	33	34	35	36
乾燥方法	⑧. 高温乾燥材				⑨. 未乾燥材			
元側								
末側								
平均値	12.4	9.9	11.1	11.7	47.2	25.7	30.5	60.0

※No.29-36 は曲げ試験時の全乾法含水率

③測色結果

下図の X 軸の 1-9 はそれぞれ表 5.2.4-1 中の乾燥方法番号に対応している。

①．低温乾燥材 ②．低温乾燥材 ③．天然乾燥材 ④．60-70℃乾燥材 ⑤．高温セット乾燥材 ⑥．天然乾燥材 ⑦．60-70℃乾燥材 ⑧．高温乾燥材 ⑨．未乾燥材

また、L*、a*、b*、C の図中の各点は 1 試験体の 4 面計最大 12 点で計測した値の平均値を示す。横バーは各産地の 4 体の試験体の値の平均値を示す。

色差については、図中の各点は 1 試験体の心材と辺材の L*、a*、b*の平均値同士の差から求めた。横バーはその各産地 4 体の平均値を示す。

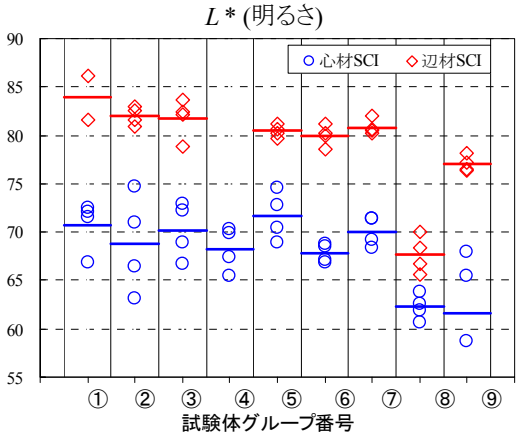


図 5.2.4-1　各試験体の L*値の平均値

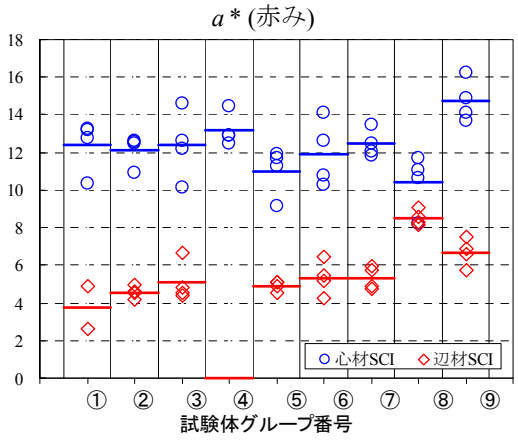


図 5.2.4-2　各試験体の a*値の平均値

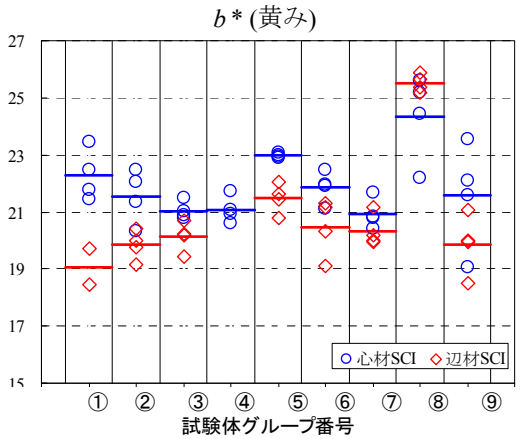


図 5.2.4-3　各試験体の b*値の平均値

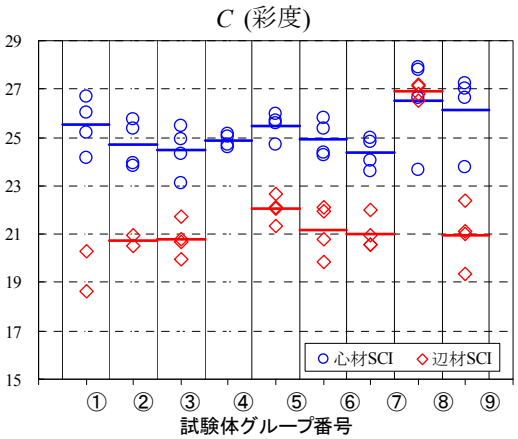


図 5.2.4-4　各試験体の C*値の平均値

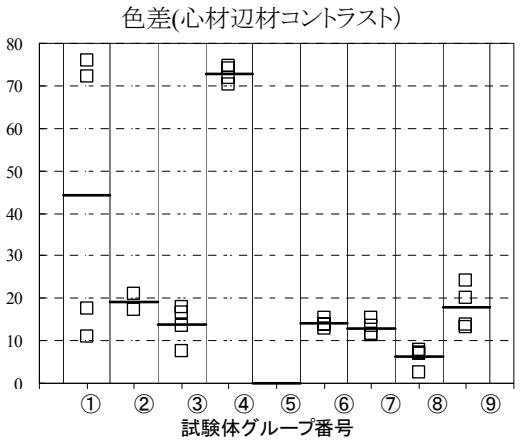


図 5.2.4-5　各試験体の心材（平均）と辺材（平均）間の ΔE

(3) 欠点計測

試験体の 4 表面における節の位置と径を計測した。図 5.2.4-6 にその分布を示す。

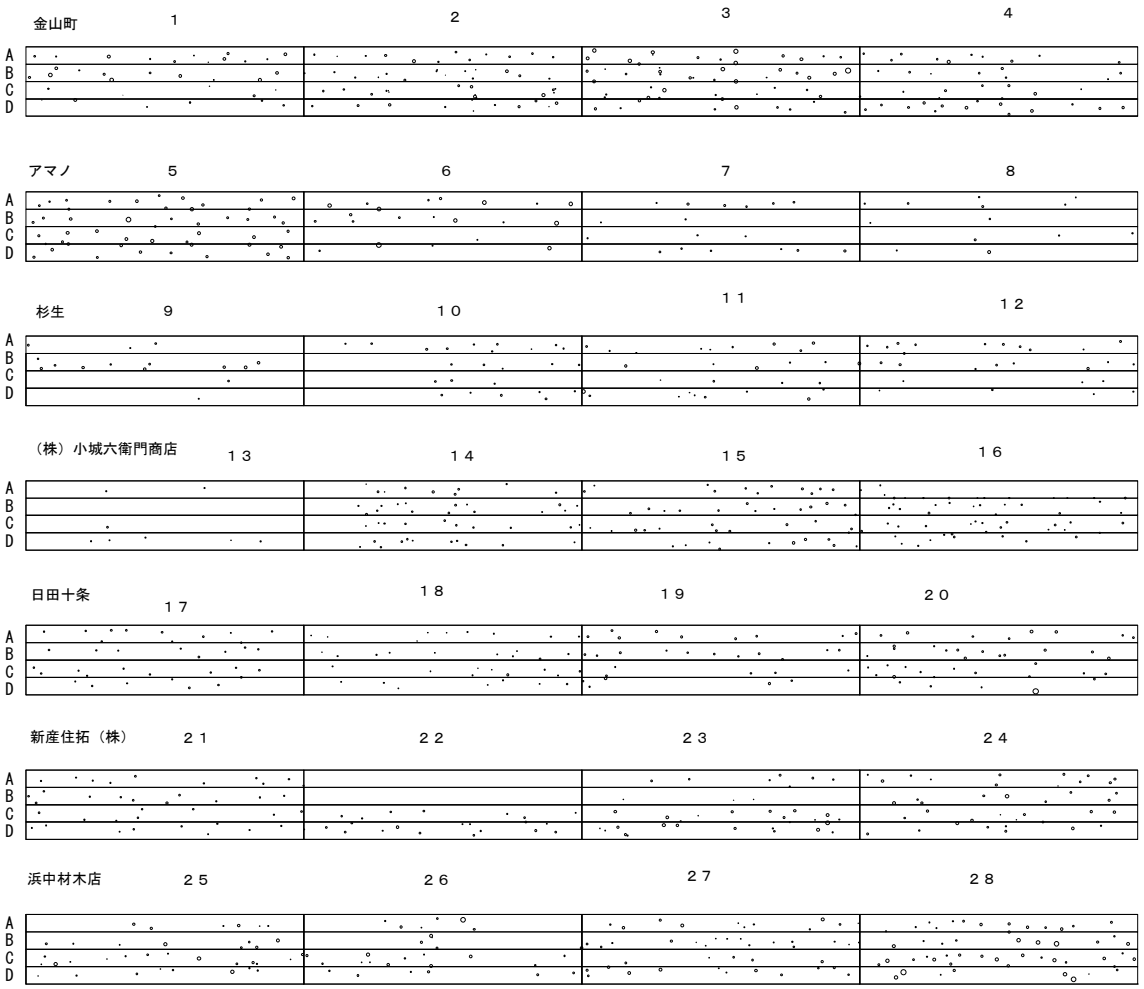


図 5.2.4-6　供試体の欠点(節)の分布

(4) 曲げ強度試験

供試材は曲げ破壊試験によって強度特性値を計測した。曲げ試験はスパン 720-720-720mm（梁せいの 6-6-6 倍）の 3 等分点 4 点曲げ試験法によった。試験体番号 1-28 は京都大学生存圏研究所で、29-36 は森林総合研究所でそれぞれ試験を行ったが、京都大学における試験方法を図 5.2.4-7 に示す。

試験体は背側（A 面）を上端になるように配置し、Instron1000kN サーボアクチュエータを用いて 5mm/min の変位速度で静的加力を行った。試験体中央部および加力点直下でのたわみを計測し、破壊に至るまで加力した。

得られた荷重-変位曲線の弾性範囲から見かけと真の曲げヤング係数を算定し、また最大荷重から曲げ破壊係数を算定した。

試験に先立って、気乾状態での重量と表面含水率を計測し、縦振動法による動的ヤング係数を測定した。また試験後の破壊点付近から薄板を採取して全乾法による含水率を計測した。

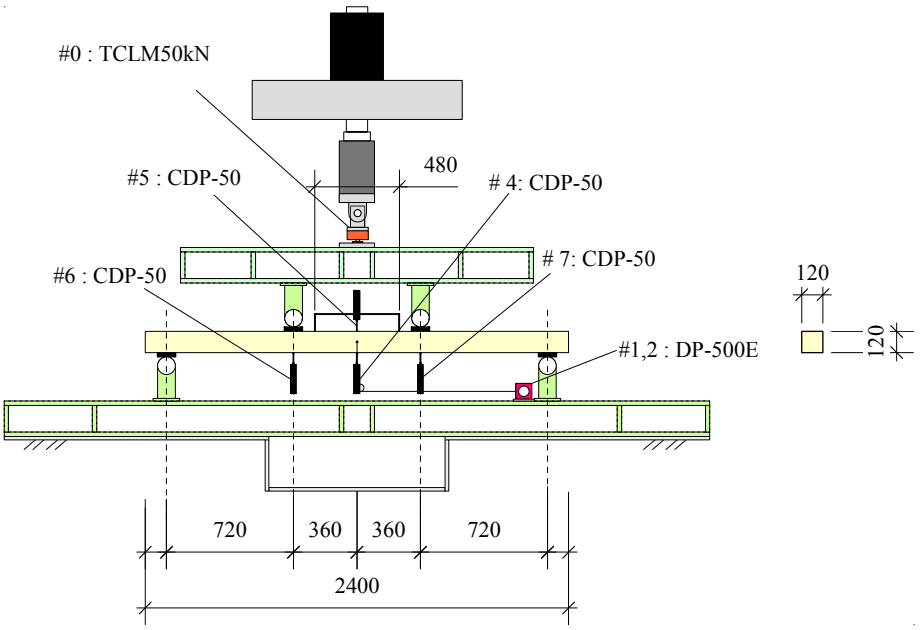


図 5.2.4-7　曲げ試験方法

表 5.2.4-2　試験結果一覧

試検体番号	グループ番号	乾燥法	密度 kg/m3	全乾法含水率 %	全乾密度 kg/m3	Efr kN/mm2	EL kN/mm2	El kN/mm2	MOR N/mm2	δPmax mm	平均年輪幅 mm
1	①	低温	473.4	22.2	370.7	8.2	8.2	9.0	43.9	68	4.0
2		低温	435.8	22.8	349.5	6.9	7.0	7.6	43.6	63	5.0
3		低温	430.0	20.0	353.3	7.9	8.1	8.0	35.1	39	4.9
4		低温	385.4	18.1	326.4	6.6	6.8	7.4	38.9	57	5.1
5	②	低温	416.1	16.0	362.1	7.2	7.6	7.9	39.7	59	6.2
6		低温	416.1	16.5	364.9	8.7	8.9	9.9	56.2	69	4.7
7		低温	356.5	16.0	311.6	6.7	7.0	7.2	43.6	60	3.3
8		低温	432.3	16.8	375.7	9.3	9.3	9.9	56.5	66	3.3
9	③	天然	398.7	18.8	337.2	9.1	9.2	10.2	45.2	71	3.7
10		天然	408.6	19.4	345.7	7.7	8.2	8.6	47.2	72	4.3
11		天然	373.3	18.2	315.8	6.9	7.9	8.1	43.7	72	4.6
12		天然	434.6	21.0	360.3	8.1	8.6	9.4	44.5	59	4.0
13	④	60-70	390.6	17.7	331.6	7.5	8.0	8.5	46.2	157	3.9
14		60-70	333.3	16.8	286.1	3.3	3.7	3.7	25.4	68	6.1
15		60-70	304.4	17.0	262.3	2.9	2.9	3.0	24.8	85	6.0
16		60-70	339.7	17.1	294.1	4.8	5.0	5.2	32.0	64	6.2
17	⑤	高温	387.2	16.3	338.0	6.1	6.8	7.1	41.8	62	4.8
18		高温	396.4	15.2	346.6	6.7	8.1	8.4	46.9	64	4.5
19		高温	360.5	16.7	305.8	5.7	6.2	6.8	33.9	62	5.5
20		高温	391.8	15.7	344.7	6.4	6.9	7.6	44.0	70	3.2
21	⑥	天然	402.2	16.5	347.0	7.6	8.0	8.3	45.4	52	4.8

22		天然	399.9	17.1	345.0	7.2	7.7	8.4	44.2	57	4.3
23		天然	409.1	17.3	352.9	7.4	8.1	8.7	46.1	53	3.7
24		天然	364.6	16.7	315.5	7.3	7.8	7.5	44.6	63	3.8
25	⑦	60-70	424.2	18.4	358.7	5.7	6.7	6.7	40.1	63	3.2
26		60-70	391.8	19.1	329.1	7.4	7.5	7.5	38.6	61	4.3
27		60-70	444.4	18.8	368.4	7.4	7.6	8.2	39.4	46	4.2
28		60-70	441.0	20.3	369.7	7.6	7.7	8.3	42.6	68	4.6
29	⑧	高温	410.8	12.4	365.6	9.2	8.2	9.3	55.3		3.1
30		高温	413.0	9.9	375.9	9.0	8.4	9.5	47.8		4.3
31		高温	414.7	11.1	373.2	7.3	7.1	7.5	47.0		3.7
32		高温	353.7	11.7	316.6	6.2	6.7	6.9	27.8		4.0
33	⑨	生材	669.5	47.2	454.8	8.7	7.9	8.6	32.9		2.5
34		生材	487.2	25.7	387.7	7.8	7.6	8.4	40.9		2.8
35		生材	476.6	30.5	365.2	7.2	7.2	7.7	36.9		3.6
36		生材	637.0	60.0	398.1	8.9	8.6	9.7	42.0		4.3

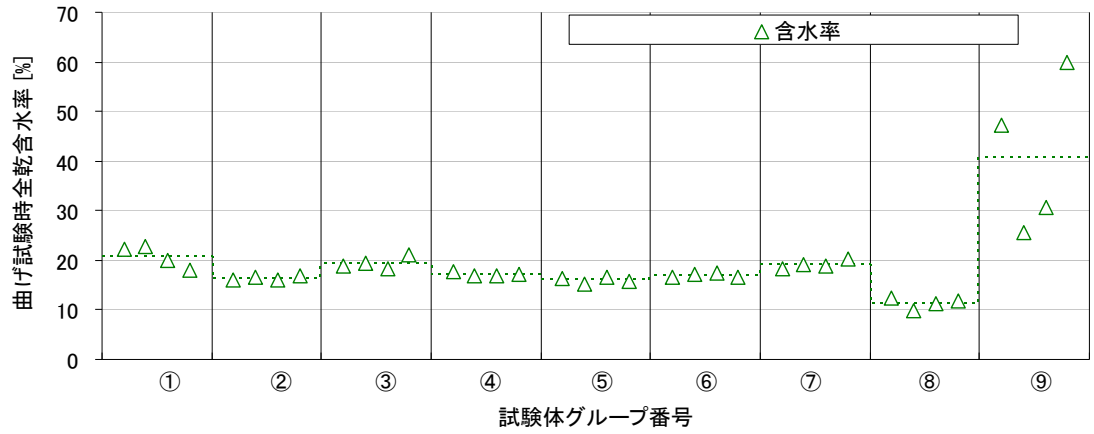


図 5.2.4-8　曲げ試験時の全乾法含水率の分布

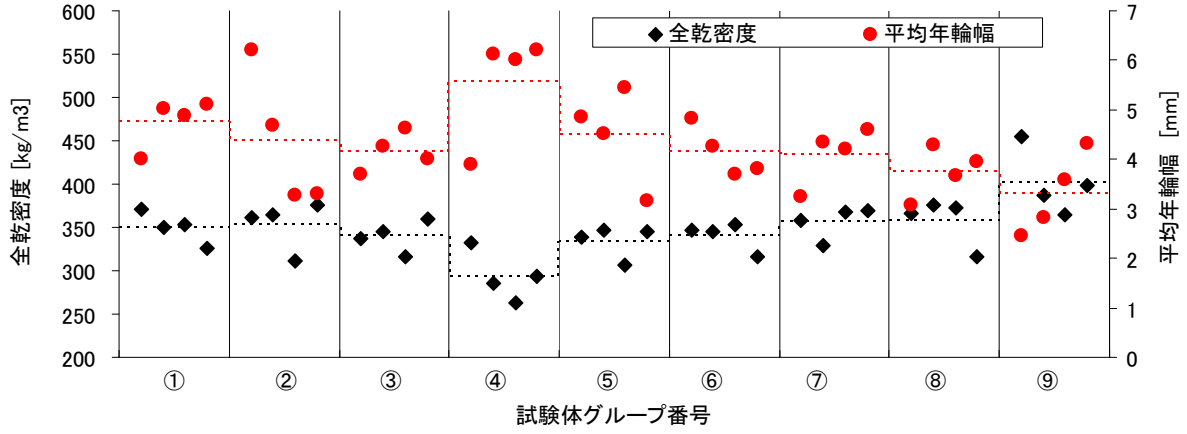


図 5.2.4-9　密度と平均年輪幅の分布

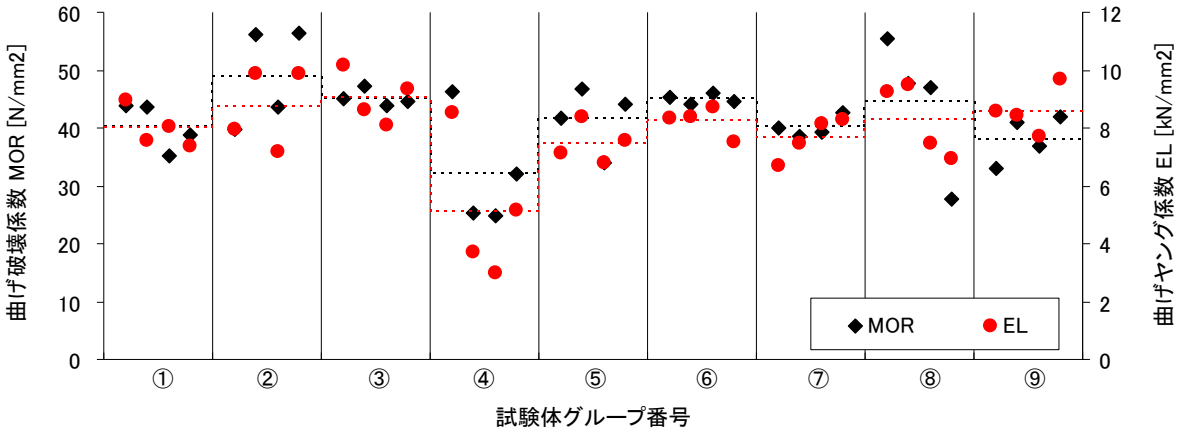


図 5.2.4-10　曲げヤング係数と曲げ破壊係数の分布

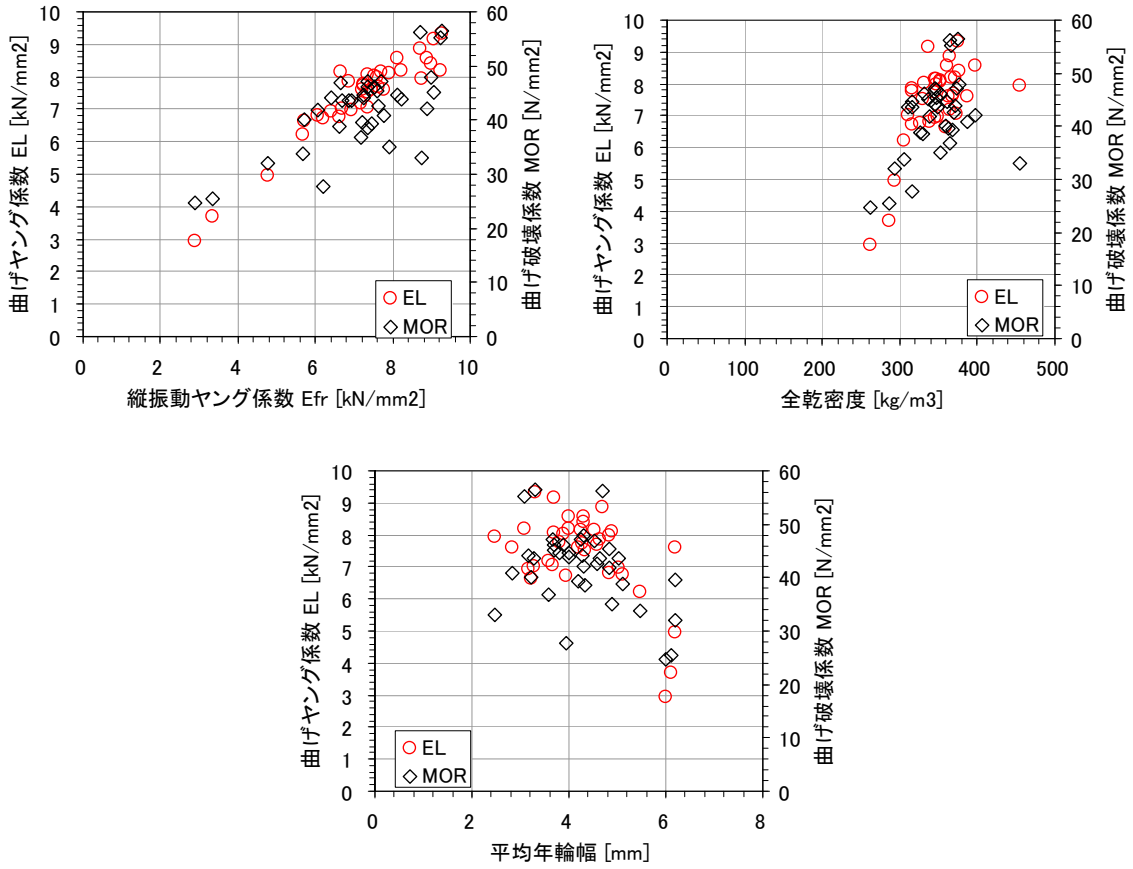


図 5.2.4-11　各種特性値の相関

5.2.5 乾燥方法の差異がその切削特性に与える影響

(1) はじめに

実務者らによれば、現在市中に流通している乾燥材の多くは人工乾燥材であり、特に 100℃以上の高温セットや乾燥温度によって処理された高温乾燥材は、天然乾燥された木材に比べて、脆く折れやすい、もしくは割裂しやすいことや、切削刃物の磨耗を早めることなどが言われている。

昨年、生材、人工乾燥材、集成材、および天然乾燥材を対象に、軽便送材車付帯鋸盤(1100mm)を使用して、試験体（フリッチ）を測定治具に固定し、送り速度は 10m/min、20m/min、30m/min の 3 段階に変化させ、5mm 厚の薄板を挽いたときに生じる主分力及び背分力をロードセルによって測定した。その結果、帯鋸では切削する力が大きいため、乾燥方法、含水率状態の違いによる帯鋸による切削抵抗の差異は認められなかった。

そこで、今年度は伝統構法の実務者が使用する刃物と切削速度が類似させた試験条件によって、乾燥方法、含水率状態の違いによるノミ（鑿）の切削抵抗の差異について検討した。なお、切削抵抗試験の試験条件、すなわち切削片の厚さ、切削速度等を設定するため、あらかじめ予備試験を実施した。

(2) 予備試験

1) 試験体

西川産スギの天然乾燥材を試験体として用いた。試験体の寸法は試験機の試験体固定部位に対応した 60mm×50mm×10mm とした。

切削方向(切削面)は、L 方向（LR 面、写真 5.2.5-1、右側)、T 方向（RT 面、写真 5.2.5-1、中央)、R 方向（LR 面、写真 5.2.5-1、左側）の 3 方向とした。LT 面の L 方向は、切削毎に早材と晩材の割合が変化することによってデータにばらつきが生じるために実施しなかった。薄い材は切削後の削り屑。

刃物は刃こぼれに備え 17 本準備し、すべて刃先角度は 29 度とした(写真 5.2.5-2)。

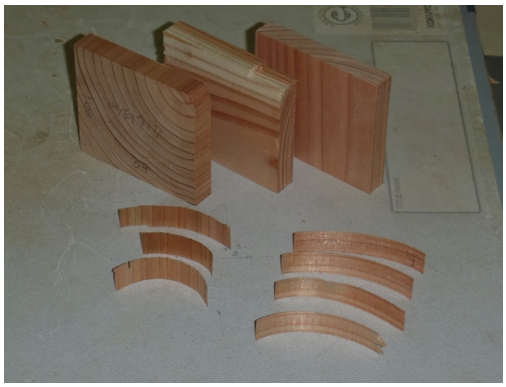


写真 5.2.5-1　試験体と削り屑



写真 5.2.5-2　切削刃物

2) 試験方法

森林総合研究所所有の試験機(写真 5.2.5-3)を用いた。

切削抵抗試験は、図 5.2.5-1、写真 5.2.5-4 に示したように、まず研磨した刃物の刃先をわずかに傾けて試験機に固定し、試験体を写真左側の可動部に固定ネジ止め固定する。次に、試験体を固定した可動部を所定の高さまで上げた後、落下させて試験体を切削する。切削の際に刃物側のロードセルによって水平方向及び垂直方向の荷重を測定した。また、可動部本体には加速度計を取付けることによって、切削時の加速度も測定した。

なお、試験体の 3 寸法のうち、切削断面は 50mm×10mm で、60mm は切削方向の長さである。



写真 5.2.5-3　試験機本体

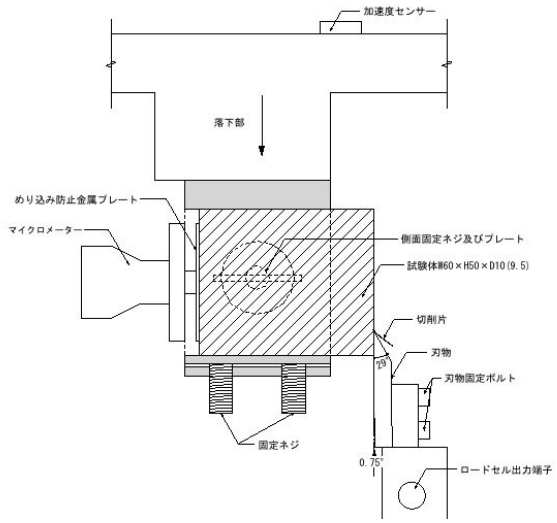


図 5.2.5-1　切削試験機における切削部分の模式図

3）切削厚さと切削速度

適切な切削高さと切削速度を探るため、試験体を取付ける際の作業性も考慮しながら、刃先から上方へ 50 ミリ程度上げ、切削片の厚さを 1mm、0.3mm、0.1mm、0.2mm と変化させ、安定して切削出来る高さについて検討した。切削片の厚さが 1mm の場合では、木口面の切削の際、すべて切削しきれず、切削抵抗のために試験体が途中で止まってしまった。一方、0.3mm 程度の場合では試験体が途中で止まること無く切削できたが、0.1mm になると、試験体の落下時移動が原因と思われる切削不良が発生し、きれいな全面の削り屑にならなかった。そこで、切削片の厚さを 0.2mm として試験した結果、写真 5.2.5-1 に示したように、きれいな削りくずが得られた。したがって、切削片の厚さを 0.2mm に設定することにした。

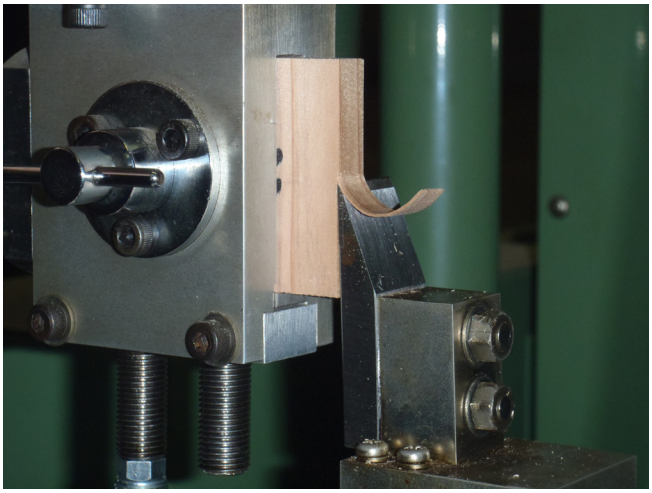


写真 5.2.5-4　試験機で切削している様子

切削速度に関しては、その場で実施した、手加工によるノミの加速度 3～5G を参考に、同等の加速度が得られる高さ 70mm を採用し、設定することにした。

4）課題

試験体を押える部品が欠損していた事により、切削中の試験体の固定が不十分と判断されたため、それを補うための治具を作製することとなった。新しい治具は、本試験前に製作し、再度、予備試験によって試験体の固定具合を確認することとなった。

(3) 本試験

1）試験体の製作

乾燥方法の異なる 8 製材所から 4 体ずつに未乾燥材 4 体を加え、表 5.2.5-1 に示した合計 36 本の供試

材(寸法：120mm×120mm×3000mm)から採取を行った。すべての試験体は、元口側から 300mm 及び末口側から 300mm の両部分からそれぞれ一体ずつ、干割れや節を含まないように採取した。

表 5.2.5-1　供試材の概要

試験体番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
乾燥方法	1:天然乾燥＋低温乾燥				2:低温乾燥＋天然乾燥				3:天然乾燥材			
含水率(%)	27.7	24.7	21.7	18.1	14.3	14.0	14.4	15.1	18.2	18.2	18.2	20.6
みかけの密度(kg/m^3)	473	436	430	385	416	416	357	432	399	409	373	435
密度-15%(kg/^{3})	426	402	406	375	419	420	359	432	388	398	363	415
縦振動法によるヤング係数(kN/mm^2)	8.2	6.9	7.9	6.6	7.2	8.7	6.7	9.3	9.1	7.7	6.9	8.1
試験体番号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
乾燥方法	4:天然乾燥＋中温乾燥				5:高温セット＋天然乾燥				6:天然乾燥			
含水率(%)	17.8	16.5	16.1	15.5	14.5	14.4	17.9	13.6	15.9	15.9	15.9	15.6
みかけの密度(kg/m^3)	391	333	304	340	387	396	361	392	402	400	409	365
密度-15%(kg/^{3})	382	329	301	339	389	398	352	397	399	397	406	363
縦振動法によるヤング係数(kN/mm^2)	7.5	3.3	2.9	4.8	6.1	6.7	5.7	6.4	7.6	7.2	7.4	7.3
試験体番号	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
乾燥方法	7:中温乾燥＋天然乾燥				8:高温人工乾燥材				9:未乾燥			
含水率(%)	18.3	19.0	20.6	19.3	12.4	9.9	11.1	11.7	47.2	25.7	30.5	60.0
みかけの密度(kg/m^3)	424	392	444	441	411	413	415	354	670	487	477	637
密度-15%(kg/^{3})	412	379	423	425	421	432	430	364	523	446	420	458
縦振動法によるヤング係数(kN/mm^2)	5.7	7.4	7.4	7.6	9.2	9.0	7.3	6.2	8.7	7.8	7.2	8.9

※密度-15% はみかけの密度と含水率から、体積変化を無視して推定した含水率15%時の密度



写真 5.2.5-5　試験体採取前



写真 5.2.5-6　荒木取り後

本試験に用いた試験体は、1 供試材につき、切削方向(切削面)は L 方向（LR 面)、R 方向（LR 面)、T 方向（RT 面）の切削用試験体を 2 体ずつ、一方は森林総研搬入後直ちに(以下、無調湿試験体)、他方は恒温恒湿室（20℃、70%）で調湿後(以下、調湿試験体)、切削抵抗試験を実施した。したがって、本試験に供した全試験体数は、以下の式のとおり、216 体である。なお、各試験体について、それぞれ 1 体ずつの予備試験体を製作したため、製作試験体の総数は、216 体×2＝432 体である。

9（製材工場）×4（供試材）×3（方向）×2（水分状態）＝ 216 体



写真 5.2.5-7　分決め後の状態



写真 5.2.5-8　完成試験体（試験体



写真 5.2.5-9　無調湿試験体
（試験体 29～36）



写真 5.2.5-10　調湿時の試験体
（試験体 33～36）

試験体の仕上り寸法は、試験機への設置性を考慮し 60mm×50mm×9.5mm とした。したがって、実際の切削断面寸法は 50mm×9.5mm で実施した。なお、無調湿試験体 1～36 及び調湿試験体 1～32 は仕上がり寸法で作製し、調湿試験体 33～36 に関しては、他の試験体に比べて含水率が高く、調湿による寸法収縮や変形が生じることが予想されたため、仕上りより 5%の歩増し寸法で一旦試験体を製作後、恒温恒湿室によって調湿し、平衡状態に達した時点で仕上り寸法に仕上げた。ただし、木取りの関係から乾燥の進みにくい R 方向（LR 面）の試験体に関しては、加工の都合上、仕上がり寸法で仕上げた後、恒温恒湿室で調湿した。

2）試験方法：

研磨した刃物の刃先をわずかに傾けて試験機に固定し、試験体を落下可動部にネジ止め固定した。その後可動部を所定の高さまで上げた後落下させ試験体を切削した（(1）予備試験を参照)。切削の際、刃物側に取り付けたロードセルからの電圧変化を記録するとともに、可動部本体に取付けた加速度計からのデータを記録した。



写真 5.2.5-11　切削試験機本体

3）切削厚さと切削速度

切削高さは予備試験の結果を参考にしながら試験体を取付ける際の作業性も考慮し、刃先から 70mm とした。切削厚さは 0.2mm とし、切削速度に関しては、予備試験で実施した手加工によるノミの加速度を参考にし、3～5G 程度とした。

4）切削試験状況

原則的に年輪の安定した末口側の 2 体を試験体とし、合計 216 体を選び切削試験を行った。1 試験体ごとに 3 回切削データを採取したので、全試験データは以下のとおり 648 データである。刃物の交換は試験体 15～20 体程度切削毎に行った。切削しにくい試験体は、数回切削実施後有効な 3 データを記録した。

9（製材工場）×4（供試材）×3（方向）×2（水分状態）×3（繰り返し）＝648

切削片の形状、特に T 方向（木口面）の切削片の形状は含水率によって異なり、写真 5.2.5-12～写真 5.2.5-14 に示したように未乾燥材の試験体は切削し易く、T 方向（木口面）の切削でも削れたが、KD 高温材や恒温恒湿室にて保管していた試験体については、切削面が荒れ切削屑が粉々になってしまうものが見受けられた。

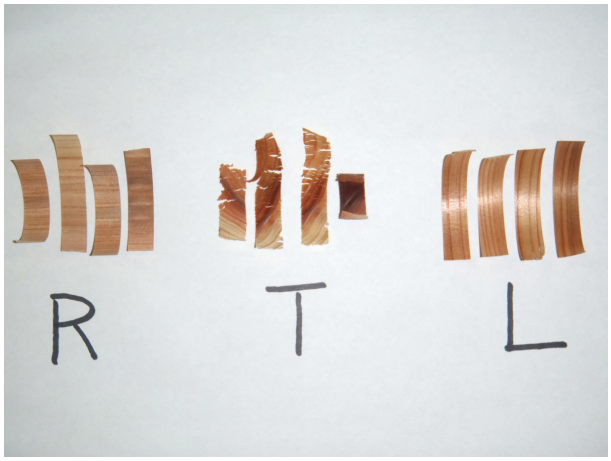


写真 5.2.5-12　未乾燥材の切削片の形状

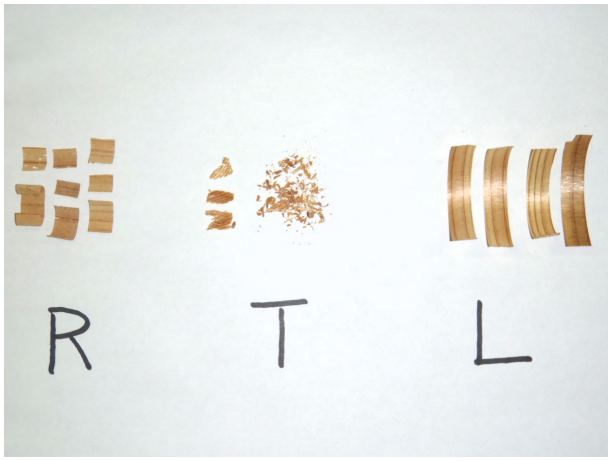


写真 5.2.5-13　人工乾燥材の切削片の形状

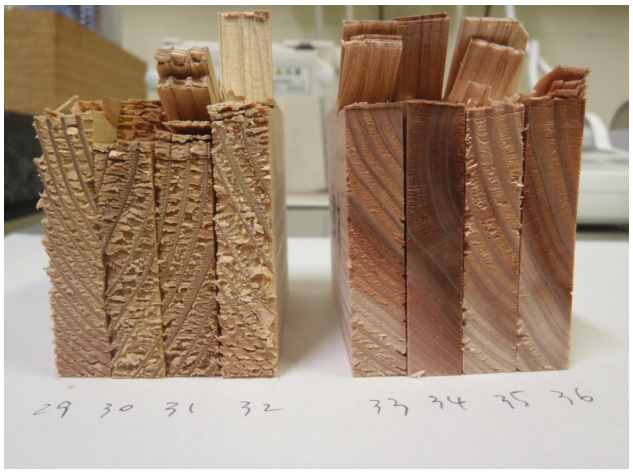


写真 5.2.5-14　切削した試験体の表面
左側：人工乾燥材、右側：未乾燥材

5）切削試験結果

加速度計及びロードセルによって得られた切削試験データを加速度、軸方向、横方向の荷重の経時変化へデータ変換したグラフを、L 方向、R 方向、T 方向の 3 方向それぞれについて図 5.2.5-2～図 5.2.5-4 に示した。これらのデータから、ロードセルによって計測した最下図の軸方向と横方向の経時的荷重変化から以下の特性値を求めた。

■特性値

軸方向の荷重データ（最小値（ピーク値）、平均値、初期の傾き）

横方向の荷重データ（最大値（ピーク値）、最小値（ピーク値）

各試験体の概要及びすべての切削試験結果を表 5.2.5-2～表 5.2.5-7 に、各試験体について、特性値の平均値を算出したものを表 5.2.5-8～表 5.2.5-13 に示した。全試験データのうち、データ収録時のタイミングのずれから特性値が算出できないものは欠損値とした。さらに、これらの平均値を乾燥方法ごとにプロットしたグラフを図 5.2.5-5～図 5.2.5-46 に示した。青色のプロットは試験体ごと平均値、赤色のプロットは同一乾燥方法から得られた 4 試験体の平均値を示している。なお、乾燥方法 1～9 の番号は表 5.2.5-1 に対応しており、すなわち、乾燥方法 3、6 が天然乾燥材、乾燥方法 8 が高温人工乾燥材、乾燥方法 9 が未乾燥材、その他は天然乾燥と人工乾燥（低温乾燥、中温乾燥）あるいは高温セットを組み合わせた乾燥材である。

全体的にみて、高温人工乾燥材（乾燥方法 8）が、天然乾燥材（乾燥方法 3、6）あるいは天然乾燥と人工乾燥を組み合わせた乾燥材（乾燥方法 1、2、4、5、7）と比べて特異の特性値であるとは認められない。また、本切削試験で得られたすべての特性値は試験体の密度、含水率、切削片の厚さなどによって影響されていることが予想される。したがって、これらの複数の因子が影響している各特性値について乾燥方法ごとの有意差検定を実施することは適切でないと判断した。そこで、まず、前年度の研究成果からの帯鋸による切削抵抗に大きな影響を及ぼしていると結論づけられた密度について検討することにした。

今回の結果から、切削片の厚さの影響をキャンセルすること困難ではあるが、恒温恒湿室で調湿された後の試験体については含水率の影響をキャンセルできると考えられる。そこで、4 つの特性値、すなわち、軸方向の平均値、最小値、初期の傾き、および横方向の最大値について、気乾密度（密度-15%）との関係を切削方向別に図 5.2.5-47～図 5.2.5-58 に示した。気乾密度（密度-15%）との間で高い相関係数が得られた特性値は、L 方向（柾目面）については「軸方向の荷重の平均値」、「軸方向の荷重の最小値」、R 方向（柾目面）については「横方向の荷重の最大値」であった。特に、切削片及び試験体の切削面に状況が異なる T 方向（木口面）については、すべての特性値との間で高い相関係数が得られた。

次に、各特性値の含水率の影響を検討するため，未乾燥材である乾燥方法 9 の試験体について調湿前及び調湿後の特性値を表 5.2.5-13 に示した。切削片や切削後の試験体の形状と同様に、T 方向（木口面）について、軸方向の荷重の平均値及び最大値が調湿前に比べ調湿後に増大していた。

(4) まとめ

切削片や切削後の試験体の形状は、すべての乾燥材が R 方向（柾目面）及び T 方向（木口面）で数本に切れたり、粉々になったのに対して、未乾燥材は L 方向（柾目面）と同様に、連続した切削片であった。

L 方向（柾目面）の「軸方向の荷重の平均値及び最小値」、R 方向（柾目面）の「横方向の荷重の最大値」、T 方向（木口面）のすべての特性値は気乾密度（密度-15%）との間で高い相関係数が得られ、ノミによる切

削抵抗が材料の密度に影響を受けることが明らかになった。
・未乾燥材について、調湿前後の各特性値を比較した結果、切削片や切削後の試験体の形状と同様に、T 方向(木口面)について、「軸方向の荷重の平均値及び最小値」が調湿後に増大しており、ノミによる木口面の切削抵抗及び切削片の形状が含水率、おおよそ繊維飽和点を境に異なることわかった。

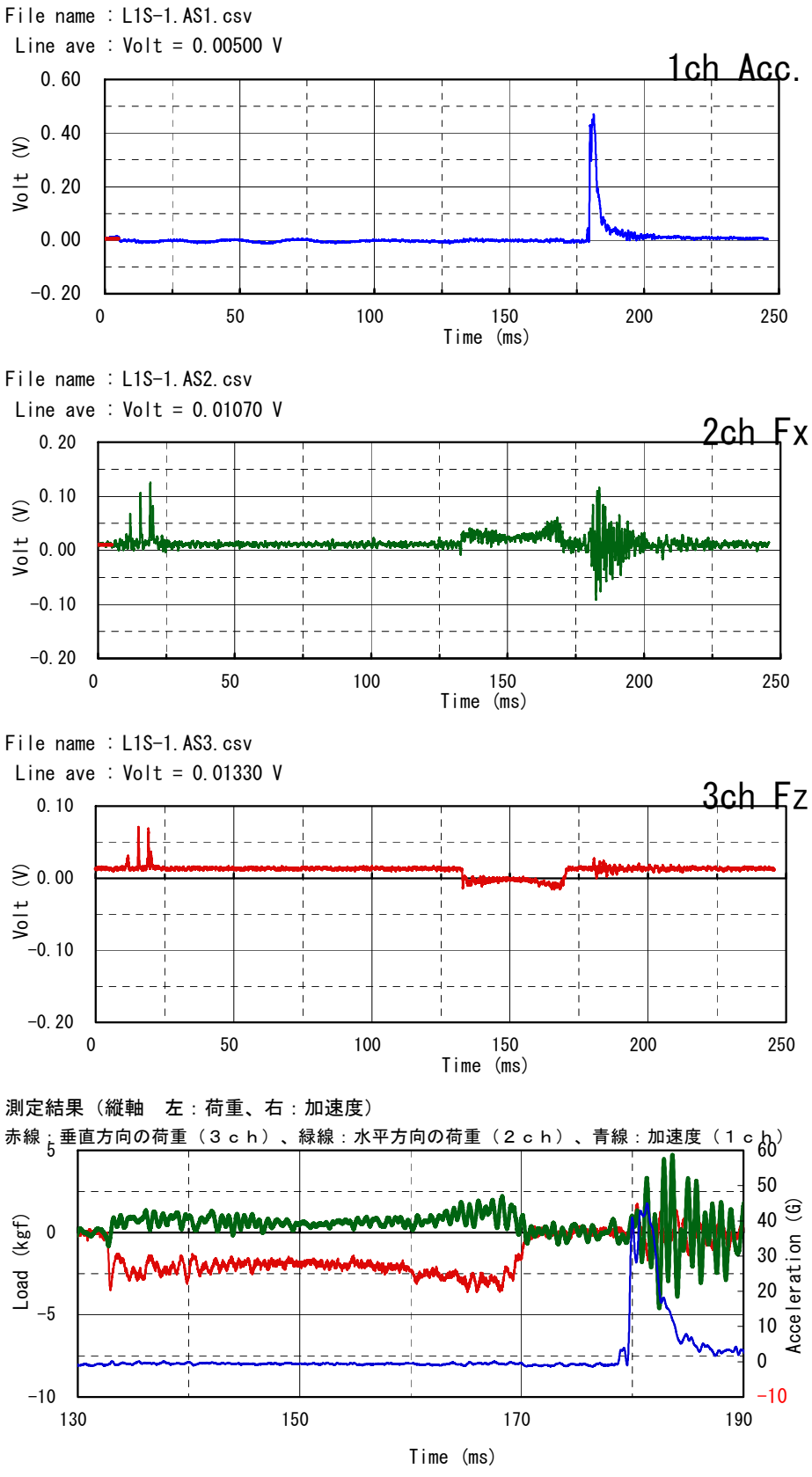


図 5.2.5-2　切削試験で得られた荷重及び加速度の経時変化（L 方向（LR 面））

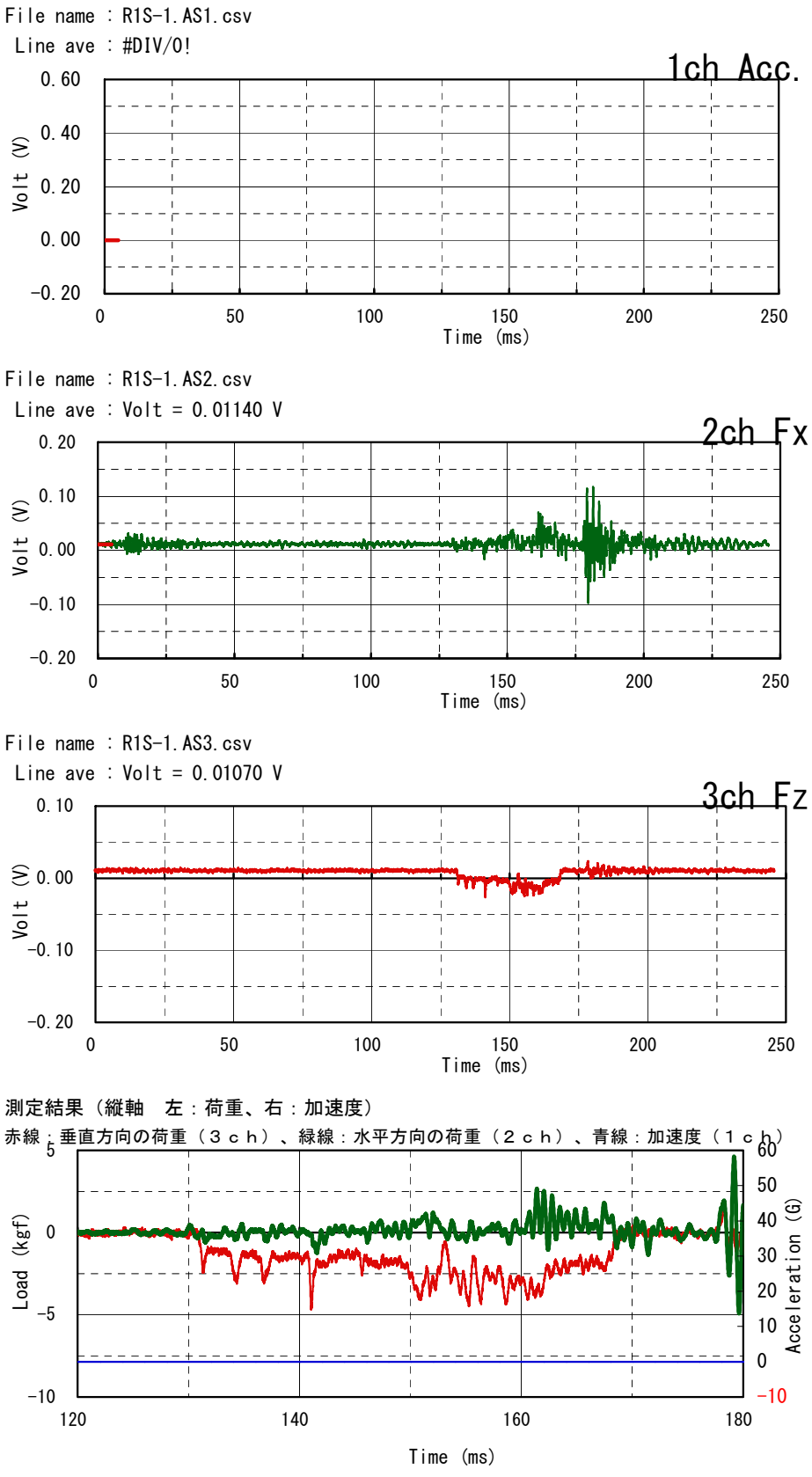


図 5.2.5-3　切削試験で得られた荷重及び加速度の経時変化（R 方向（LR 面））

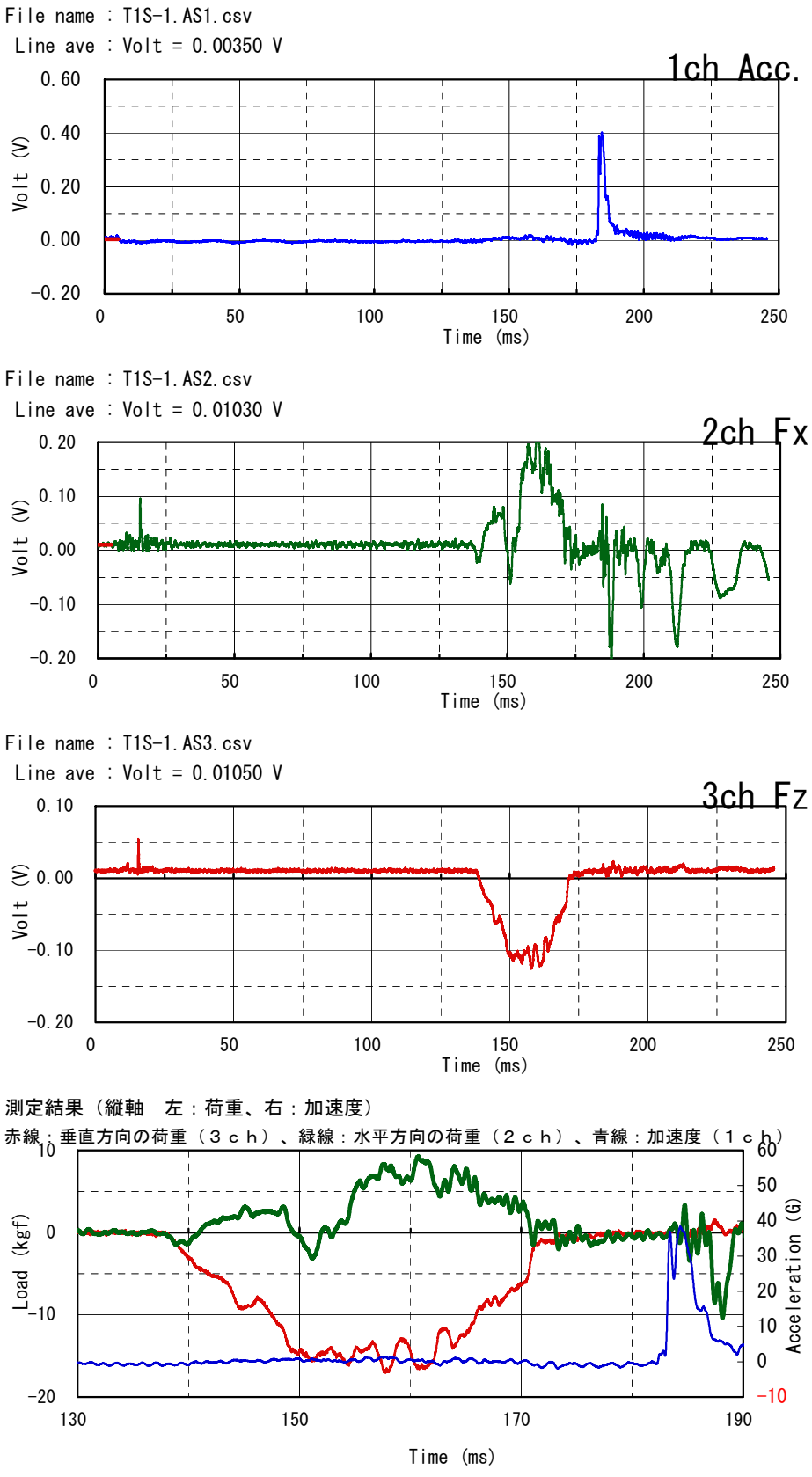


図 5.2.5-4　切削試験で得られた荷重及び加速度の経時変化（T 方向（RT 面））

表 5.2.5-2　切削試験体及び試験結果の概要(無調湿試験体、L 方向(LR 面))

方向	試験体番号	寸法(mm)			重量(g)			切削片の厚さ(mm)				軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		備考
												平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	
		50mm	10mm	60mm	切削前	切削後	切削後(全乾)		T1	T2	T3	平均	各切削片の測定値				
L方向切削(LR面)	末1	50.10	9.51	60.08	11.69	11.52	9.81	1回目	0.47	0.15	0.32	0.31	−2.18	−3.62	−11.25	−0.84	2.24	
								2回目	0.22	0.50	0.42	0.38	−2.77	−4.29	−12.39	−0.76	2.03	
								3回目	0.14	0.11	0.22	0.16	−1.69	−3.17	−10.36	−0.55	1.35	
	末2	50.12	9.55	60.07	11.33	10.98	9.24	1回目	0.21	0.30	0.39	0.30	−1.52	−2.96	−6.35	−0.44	1.88	
								2回目	0.22	0.20	0.26	0.23	−1.35	−2.24	−8.36	−0.62	1.53	
								3回目	0.26	0.33	0.47	0.35	−1.42	−2.77	−6.82	−0.56	1.58	
	末3	50.20	9.54	60.11	10.96	10.67	9.18	1回目	0.32	0.56	0.34	0.41	−2.31	−3.85	−6.88	−0.72	2.03	
								2回目	0.10	0.06	0.07	0.08	−1.31	−2.07	−2.93	−0.69	1.04	
								3回目	0.49	0.39	0.38	0.42	−2.11	−3.52	−8.28	−0.52	1.87	
	末4	50.19	9.53	60.18	10.76	10.52	9.11	1回目	0.07	0.06	0.06	0.06	−1.55	−2.14	−4.39	−0.68	0.87	
								2回目	0.21	0.18	0.22	0.20	−2.26	−3.51	−6.48	−0.98	1.84	
								3回目	0.30	0.28	0.18	0.25	−2.40	−3.97	−10.03	−0.57	1.68	
	末5	50.14	9.51	60.04	11.33	11.12	9.82	1回目	0.43	0.54	0.54	0.50	−1.81	−3.32	−9.72	−0.85	2.68	
								2回目	0.15	0.10	0.16	0.14	−1.12	−2.06	−7.29	−0.81	0.99	
								3回目	0.31	0.11	0.03	0.15	−1.20	−2.28	−4.69	−0.73	1.39	
	末6	50.13	9.58	60.23	10.93	10.67	9.49	1回目	0.13	0.14	0.14	0.14	−1.26	−1.99	−1.59	−0.51	1.11	
								2回目	0.27	0.36	0.41	0.35	−1.68	−3.15	−8.81	−0.69	1.50	
								3回目	0.47	0.31	0.19	0.32	−1.78	−3.32	−7.60	−0.65	1.71	
	末7	50.18	9.58	60.39	9.16	8.95	7.97	1回目	0.25	0.19	0.12	0.19	−1.02	−1.84	−5.74	−0.87	1.21	
								2回目	0.20	0.34	0.25	0.26	−1.19	−1.77	−5.26	−0.88	1.38	
								3回目	0.15	0.16	0.29	0.20	−1.25	−2.06	1.36	−0.74	1.13	
	末8	50.18	9.57	60.18	12.58	12.06	10.65	1回目	0.17	0.08	0.08	0.11	−1.47	−2.53	−1.05	−0.76	0.58	
								2回目	0.13	0.40	0.48	0.34	−2.15	−3.57	−7.27	−0.56	2.15	
								3回目	0.19	0.04	0.04	0.09	−1.43	−2.80	−5.45	−0.59	0.75	
	元9	50.24	9.52	60.05	10.70	10.46	9.13	1回目	0.26	0.18	0.15	0.20	−1.78	−2.91	−6.65	−0.62	1.32	
								2回目	0.22	0.18	0.16	0.19	−1.82	−2.77	−5.21	−0.48	1.46	
								3回目	0.20	0.35	0.41	0.32	−1.99	−4.33	−6.56	−0.97	2.17	
	末10	50.14	9.53	60.29	11.20	10.89	9.52	1回目	0.06	0.18	0.29	0.18	−1.31	−3.02	−6.73	−0.77	1.46	
								2回目	0.17	0.17	0.25	0.20	−1.21	−2.12	−4.69	−1.34	1.87	
								3回目	0.32	0.37	0.33	0.34	−1.55	−3.20	−6.32	−0.67	1.55	
	末11	50.10	9.56	60.22	10.42	10.15	8.90	1回目	0.38	0.15	0.04	0.19	−1.38	−3.57	−10.03	−0.83	1.43	
								2回目	0.18	0.19	0.21	0.19	−1.40	−2.29	−6.86	−0.87	1.78	
								3回目	0.24	0.28	0.13	0.22	−1.59	−2.80	−5.77	−0.73	1.64	
	末12	50.10	9.52	60.03	10.73	11.31	9.81	1回目	0.34	0.46	0.22	0.34	−1.74	−2.87	−8.94	−0.62	1.81	
								2回目	0.38	0.05	0.10	0.18	−1.42	−2.80	−3.42	−0.63	1.21	
								3回目	0.17	0.29	0.35	0.27	−1.80	−2.78	−8.89	−0.56	1.31	
	末13	50.13	9.56	60.27	10.20	9.98	8.81	1回目	0.35	0.45	0.10	0.30	−2.29	−3.54	−3.60	−0.98	2.23	
								2回目	0.32	0.25	0.29	0.29	−2.17	−3.41	−7.65	−0.75	1.75	
								3回目	0.04	0.05	0.20	0.10	−1.51	−2.68	−1.56	−0.50	0.77	
	末14	50.09	9.55	60.27	8.54	8.26	7.36	1回目	0.39	0.47	0.36	0.41	−1.81	−3.01	−7.47	−0.78	1.63	
								2回目	0.07	0.21	0.20	0.16	−1.30	−2.43	−6.89	−0.41	1.28	
								3回目	0.09	0.19	0.38	0.22	−1.22	−2.12	−7.81	−0.59	1.25	
	末15	50.18	9.52	60.18	8.20	7.86	6.90	1回目	0.19	0.17	0.20	0.19	−1.39	−2.08	−0.99	−0.80	1.07	
								2回目	0.11	0.06	0.03	0.07	−0.96	−1.68	−1.74	−0.70	0.67	
								3回目	0.43	0.46	0.39	0.43	−1.91	−2.90	−6.09	−0.74	1.66	
	末16	50.09	9.53	60.22	8.87	8.72	7.67	1回目	0.14	0.18	0.21	0.18	−1.25	−2.16	−5.81	−0.88	0.82	
								2回目	0.16	0.19	0.12	0.16	−1.19	−1.97	−3.17	−0.76	0.93	
								3回目	0.09	0.05	0.07	0.07	−0.94	−1.48	−2.82	−0.45	0.57	
	末17	50.14	9.54	60.21	10.46	10.18	9.15	1回目	0.12	0.22	0.46	0.27	−1.46	−2.46	−2.51	−0.65	1.05	
								2回目	0.26	0.32	0.23	0.27	−1.77	−3.16	−8.03	−0.88	1.45	
								3回目	0.39	0.29	0.10	0.26	−1.52	−3.71	−9.96	−0.45	1.18	
	末18	50.15	9.55	60.15	10.48	10.06	9.07	1回目	0.41	0.30	0.16	0.29	−1.52	−2.80	−1.68	−0.89	1.30	
								2回目	0.40	0.42	0.21	0.34	−1.84	−3.16	−7.25	−0.96	1.34	
								3回目	0.26	0.25	0.35	0.29	−1.79	−2.78	−7.97	−0.70	1.70	
	末19	50.14	9.54	60.15	9.16	8.87	8.00	1回目	0.18	0.04	0.06	0.09	−0.90	−1.66	−2.24	−0.87	1.35	
								2回目	0.21	0.35	0.33	0.30	−1.14	−2.21	−5.33	−0.37	1.11	
								3回目	0.56	0.49	0.32	0.46	−1.19	−3.29	−6.82	−0.78	1.34	
	末20	50.15	9.56	60.24	11.22	10.93	9.86	1回目	0.29	0.25	0.19	0.21	−1.56	−2.71	−5.38	−1.04	1.49	
								2回目	0.14	0.17	0.14	0.15	−1.36	−2.11	−4.14	−0.48	0.86	
								3回目	0.63	0.58	0.52	0.58	−2.27	−3.77	−12.65	−0.63	1.84	
	末21	50.22	9.52	60.21	10.64	10.35	9.17	1回目	0.29	0.40	0.19	0.29	−1.67	−2.72	−2.08	−0.66	1.60	
								2回目	0.36	0.34	0.19	0.30	−1.59	−3.16	−6.79	−0.58	1.46	
								3回目	0.37	0.40	0.42	0.40	−1.73	−2.95	−7.76	−0.61	1.33	
	末22	50.23	9.59	60.24	11.40	10.56	9.29	1回目	0.10	0.20	0.19	0.16	−1.42	−2.58	−5.29	−0.61	1.36	
								2回目	0.51	0.39	0.34	0.41	−2.08	−3.15	−6.13	−0.72	1.68	
								3回目	0.38	0.45	0.45	0.43	−2.14	−3.36	−8.64	−0.92	1.69	
	末23	49.92	9.54	60.19	11.45	11.04	9.74	1回目	0.18	0.33	0.22	0.24	−1.41	−2.38	−3.06	−0.72	1.12	
								2回目	0.48	0.48	0.20	0.39	−1.71	−3.25	−4.50	−0.69	1.54	
								3回目	0.38	0.30	0.33	0.34	−1.47	−2.68	−8.24	−0.96	1.34	
	末24	50.03	9.54	60.14	9.44	9.16	8.12	1回目	0.14	0.28	0.34	0.25	−1.54	−2.68	−6.38	−0.58	1.29	
								2回目	0.10	0.36	0.32	0.26	−1.62	−3.16	−7.92	−0.44	1.19	
								3回目	0.42	0.21	0.14	0.26	−1.57	−2.53	−5.38	−0.93	1.33	
	末25	50.03	9.51	60.10	11.73	11.35	10.06	1回目	0.18	0.25	0.17	0.20	−1.84	−3.12	−6.23	−0.80	1.56	
								2回目	0.19	0.20	0.20	0.20	−1.72	−2.48	−6.43	−0.94	2.24	
								3回目	0.46	0.42	0.44	0.44	−2.28	−3.70	−9.04	−0.72	1.85	
	末26	50.18	9.53	60.16	9.73	9.29	8.27	1回目	0.45	0.45	0.56	0.49	−1.89	−3.23	−7.04	−0.83	1.89	
								2回目	0.14	0.24	0.33	0.24	−1.45	−3.22	−8.13	−0.45	1.49	
								3回目	0.44	0.62	0.57	0.54	−2.05	−4.13	−6.95	−0.61	2.28	
	末27	50.09	9.56	60.21	10.21	9.83	8.75	1回目	0.09	0.34	0.37	0.27	−1.90	−3.30	−3.07	−1.40	1.28	
								2回目	0.06	0.47	0.34	0.29	−1.81	−3.99	−8.10	−0.73	1.21	
								3回目	0.04	0.06	0.17	0.09	−1.37	−2.58	−4.25	−0.29	1.40	
	末28	50.03	9.53	60.19	11.86	11.36	10.07	1回目	0.10	0.13	0.23	0.15	−1.62	−2.29	−0.72	−0.82	0.88	
								2回目	0.23	0.48	0.42	0.38	−2.34	−3.95	−9.07	−0.67	1.66	
								3回目	0.18	0.28	0.20	0.22	−1.91	−2.93	−8.01	−0.84	2.05	
	末29	49.89	9.52	60.14	11.31	11.01	9.85	1回目	0.12	0.13	0.11	0.12	−1.79	−2.38	−4.78	−0.74	0.60	
								2回目	0.32	0.21	0.06	0.20	−2.26	−3.52	−8.42	−1.02	1.03	
								3回目	0.29	0.21	0.23	0.24	−2.13	−3.56	−4.51	−1.33	0.89	
	末30	49.93	9.51	60.13	9.92	9.78	8.95	1回目	0.37	0.13	0.06	0.19	−1.61	−2.56	−2.24	−0.89	1.02	※計測データNG
								2回目	0.30	0.30	0.31	0.30	※					
								3回目	0.16	0.19	0.24	0.20	−1.80	−2.88	−5.07	−0.79	0.59	
	末31	49.93	9.45	60.12	10.65	10.41	9.31	1回目	0.17	0.14	0.21	0.17	−1.82	−2.64	−4.68	−0.61	0.79	
								2回目	0.47	0.29	0.17	0.31	−1.75	−3.11	−4.83	−1.04	1.81	
								3回目	0.41	0.27	0.22	0.30	−1.74	−2.88	−7.53	−1.03	1.05	
	末32	49.89	9.46	60.16	9.11	8.96	8.00	1回目	0.19	0.28	0.20	0.22	※					
								2回目	0.23	0.21	0.25	0.23	−2.13	−3.07	−5.74	−1.15	1.28	計測データNG
								3回目	0.38	0.24	0.34	0.32	−2.41	−4.91	−5.37	−3.65	0.86	
	末33	50.23	9.56	60.11	13.87	13.46	10.76	1回目	0.22	0.27	0.13	0.21	−2.33	−3.81	−8.42	−1.37	1.20	
								2回目	0.16	0.17	0.22	0.18	−2.31	−3.26	−10.46	−1.16	1.58	
								3回目	0.30	0.27	0.16	0.24	−2.39	−3.99	−13.79	−0.67	1.51	
	末34	50.24	9.54	60.15	14.90	14.55	11.21	1回目	0.18	0.32	0.26	0.25	−2.37	−3.31	−10.92	−1.02	2.05	
								2回目	0.29	0.09	0.10	0.16	−1.78	−3.16	−8.35	−1.20	1.79	
								3回目	0.15	0.29	0.20	0.21	−2.23	−3.11	−8.07	−0.63	2.29	
	末35	50.01	9.58	60.18	11.60	11.11	8.62	1回目	0.42	0.51	0.48	0.47	−2.43	−4.39	−10.19	−0.41	2.41	
								2回目	0.29	0.33	0.51	0.38	※					※計測データNG
								3回目	0.21	0.17	0.23	0.20	−1.74	−3.16	−9.21	−0.55	1.67	
	末36	49.89	9.58	60.15	14.55	14.04	10.36	1回目	0.23	0.19	0.06	0.16	−1.96	−3.17	−7.11	−1.40	1.56	※計測データNG
								2回目	0.17	0.27	0.30	0.25	−2.50	−3.86	−6.00	−1.40	2.19	
								3回目	0.12	0.40	0.42	0.31	※					

表 5.2.5-3　切削試験体及び試験結果の概要(無調湿試験体、R 方向(LR 面))

方向	試験体番号	寸法(mm)			重量(g)			切削片の厚さ(mm)				軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		備考
												平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	
		50mm	10mm	60mm	切削前	切削後	切削後(全乾)		T1	T2	T3	平均	各切削片の測定値				
R方向切削(LR面)	末1	50.15	9.60	60.15	11.81	11.43	9.78	1回目	0.53	0.33	0.21	0.36	※					※計測データNG
								2回目	0.17	0.22	0.12	0.17	−1.50	−3.34	−2.25	−1.00	1.22	
								3回目	0.12	0.29	0.10	0.17	−1.44	−3.03	−2.83	−1.21	1.36	
	末2	50.17	9.62	60.08	11.01	10.75	9.03	1回目	0.52	0.45	0.48	0.48	−1.96	−5.40	−3.17	−3.73	4.46	
								2回目	0.13	0.22	0.31	0.22	−1.43	−3.12	−4.22	−1.43	1.25	
								3回目	0.16	0.11	0.10	0.12	−1.17	−2.41	−2.72	−0.93	0.77	
	末3	50.10	9.61	60.90	11.50	10.97	9.30	1回目	0.25	0.16	0.15	0.19	−1.12	−2.19	−0.59	−0.44	1.40	
								2回目	0.37	0.35	0.24	0.32	−1.37	−3.13	−3.29	−2.15	3.28	
								3回目	0.23	0.90	0.19	0.44	−1.14	−2.48	−3.50	−0.78	0.95	
	末4	50.21	9.64	60.16	10.87	10.62	9.15	1回目	0.30	0.33	0.40	0.34	−1.87	−4.21	−4.21	−1.00	1.54	
								2回目	0.26	0.17	0.15	0.19	−1.65	−2.92	−2.11	−1.19	0.65	
								3回目	0.32	0.32	0.22	0.29	−1.79	−4.53	−1.35	−1.22	1.42	
	末5	50.27	9.61	60.17	11.55	11.17	9.86	1回目	0.19	0.22	0.33	0.25	−1.38	−3.10	−2.27	−1.05	1.98	
								2回目	0.29	0.45	0.55	0.43	−1.39	−3.74	−2.16	−0.98	3.26	
								3回目	0.10	0.24	0.37	0.24	−1.21	−2.80	−3.14	−0.88	1.17	
	末6	50.21	9.69	60.17	11.87	11.51	10.15	1回目	0.54	0.43	0.29	0.42	−1.62	−3.36	−0.82	−2.35	2.87	
								2回目	0.52	0.49	0.32	0.44	−1.50	−3.52	−7.32	−1.46	2.46	
								3回目	0.29	0.25	0.24	0.26	−1.54	−2.92	−9.69	−0.96	1.79	
	末7	50.27	9.68	60.19	9.67	9.42	8.36	1回目	0.22	0.19	0.25	0.22	−1.04	−2.34	−1.70	−1.23	0.99	※計測データNG
								2回目	0.22	0.24	0.26	0.24	−1.51	−5.19	−4.14	−0.71	0.91	
								3回目	0.50	0.42	0.25	0.39	※					
	末8	50.27	9.63	60.24	12.43	12.20	10.74	1回目	0.22	0.23	0.26	0.24	※					※計測データNG
								2回目	0.17	0.21	0.37	0.25	※					
								3回目	0.32	0.26	0.27	0.28	※					
	末9	50.22	9.65	60.36	10.93	10.30	8.93	1回目	0.25	0.26	0.24	0.25	−1.94	−9.42	−2.55	−6.93	3.19	
								2回目	0.52	0.44	0.56	0.51	−1.63	−7.22	−1.15	−7.03	0.83	
								3回目	0.47	0.32	0.24	0.34	−1.31	−6.02	−0.81	−6.69	0.75	
	末10	50.15	9.67	60.07	11.44	11.03	9.49	1回目	0.58	0.56	0.52	0.55	−1.42	−3.54	−3.36	−1.29	2.14	
								2回目	0.18	0.27	0.34	0.26	−1.04	−2.33	−0.74	−0.56	1.10	
								3回目	0.36	0.47	0.57	0.47	−1.19	−2.86	−0.48	−1.24	1.83	
	末11	50.19	9.77	60.16	11.06	10.69	9.27	1回目	0.30	0.34	0.33	0.32	−1.52	−2.93	−2.78	−2.16	1.05	
								2回目	0.31	0.32	0.31	0.31	−1.59	−4.19	−2.63	−2.07	1.14	
								3回目	0.17	0.25	0.35	0.26	−1.49	−3.75	−2.67	−1.72	0.90	
	末12	50.15	9.67	60.13	11.71	11.44	9.87	1回目	0.20	0.35	0.30	0.28	−1.42	−2.65	−1.24	−1.57	1.88	
								2回目	0.27	0.21	0.22	0.23	−1.21	−2.62	−2.04	−0.61	1.01	
								3回目	0.12	0.08	0.12	0.11	−1.06	−1.94	−0.74	−0.55	0.65	
	末13	50.21	9.59	60.17	10.56	10.30	9.03	1回目	0.12	0.24	0.15	0.17	−1.47	−2.32	−3.67	−0.65	0.93	
								2回目	0.12	0.18	0.12	0.14	−1.21	−2.32	−2.36	−1.06	0.63	
								3回目	0.25	0.40	0.47	0.37	−1.75	−4.59	−0.44	−1.25	1.54	
	末14	50.20	9.63	60.20	8.62	8.28	7.28	1回目	0.12	0.20	0.16	0.16	−1.25	−2.21	−1.92	−0.86	0.91	
								2回目	0.26	0.45	0.62	0.44	−1.83	−3.64	−1.80	−1.73	2.33	
								3回目	0.31	0.23	0.14	0.23	−1.08	−2.31	−2.50	−0.79	1.05	
	末15	50.15	9.68	60.14	9.57	9.26	8.18	1回目	0.43	0.34	0.21	0.33	−1.76	−4.00	−3.10	−1.38	1.69	
								2回目	0.37	0.31	0.24	0.31	−1.69	−3.44	−2.34	−1.39	1.50	
								3回目	0.21	0.51	0.37	0.36	−1.68	−3.10	−1.53	−0.57	1.44	
	末16	50.11	9.66	60.15	10.51	10.09	8.85	1回目	0.65	0.56	0.35	0.52	−1.74	−3.64	−3.49	−2.26	2.26	
								2回目	0.38	0.44	0.25	0.36	−1.45	−3.32	−1.85	−1.55	1.55	
								3回目	0.54	0.43	0.41	0.46	−1.67	−3.69	−3.43	−1.70	1.83	
	末17	50.14	9.64	60.13	10.54	10.16	9.00	1回目	0.15	0.38	0.48	0.34	−1.34	−3.30	−0.65	−2.02	2.92	
								2回目	0.26	0.32	0.35	0.31	−1.38	−2.45	−1.17	−0.66	1.49	
								3回目	0.22	0.38	0.32	0.31	−1.37	−2.51	−1.36	−1.21	2.61	
	末18	50.15	9.64	60.13	11.35	11.11	9.92	1回目	0.42	0.32	0.16	0.30	−0.62	−3.37	−2.51	−2.89	2.01	※計測データNG
								2回目	0.55	0.40	0.34	0.43	−1.44	−6.65	−4.16	−1.24	2.42	
								3回目	0.14	0.28	0.24	0.22	※					
	末19	50.16	9.63	60.17	9.97	9.78	8.74	1回目	0.23	0.24	0.41	0.29	−1.28	−2.41	−2.89	−0.98	1.00	
								2回目	0.14	0.15	0.25	0.18	−1.09	−2.29	−3.75	−0.73	1.04	
								3回目	0.18	0.14	0.18	0.17	−1.30	−3.06	−2.55	−1.33	1.14	
	末20	50.15	9.64	60.11	10.95	10.50	9.38	1回目	0.60	0.42	0.52	0.51	−1.83	−5.39	−4.06	−2.38	1.78	
								2回目	0.46	0.56	0.47	0.50	−1.90	−4.83	−3.12	−1.77	1.90	
								3回目	0.39	0.47	0.33	0.40	−1.18	−3.85	−5.23	−2.28	1.17	
	末21	50.15	9.64	60.13	11.28	10.92	9.58	1回目	0.42	0.32	0.31	0.35	−1.68	−4.76	−3.77	−4.17	2.42	
								2回目	0.25	0.39	0.35	0.33	−1.56	−3.75	−2.39	−1.26	2.34	
								3回目	0.20	0.22	0.15	0.19	−1.41	−2.76	−0.91	−0.92	1.44	
	末22	50.19	9.57	60.13	11.16	10.82	9.47	1回目	0.27	0.25	0.14	0.22	−1.54	−4.05	−2.59	−3.06	1.35	
								2回目	0.50	0.46	0.40	0.45	−1.93	−6.60	−2.56	−2.42	2.38	
								3回目	0.14	0.12	0.17	0.14	−1.12	−2.52	−0.63	−2.24	0.86	
	末23	50.20	9.71	60.18	11.26	10.90	9.50	1回目	0.53	0.13	0.50	0.39	−1.26	−6.28	−3.09	−1.83	2.51	
								2回目	0.13	0.20	0.16	0.16	−1.10	−2.45	−5.40	−0.64	0.95	
								3回目	0.34	0.31	0.21	0.29	−1.13	−3.42	−7.91	−1.25	1.78	
	末24	50.16	9.65	60.17	10.00	9.97	8.57	1回目	0.58	0.50	0.37	0.48	−1.23	−2.72	−4.72	−1.15	1.96	
								2回目	0.11	0.17	0.18	0.15	−1.09	−4.44	−8.14	−3.30	0.55	
								3回目	0.06	0.28	0.35	0.23	−1.00	−2.48	−4.80	−1.53	0.91	
	末25	50.12	9.68	60.13	11.42	10.92	9.61	1回目	0.36	0.37	0.34	0.36	−1.68	−3.17	−2.42	−1.70	1.86	
								2回目	0.50	0.51	0.41	0.47	−1.79	−4.10	−2.73	−1.95	2.46	
								3回目	0.10	0.11	0.20	0.14	−1.12	−2.56	−0.67	−1.06	1.06	
	末26	50.22	9.62	60.12	10.50	9.97	8.70	1回目	0.32	0.37	0.35	0.35	−1.62	−5.34	−2.25	−1.08	1.92	
								2回目	0.19	0.37	0.42	0.33	−1.60	−5.22	−2.50	−1.21	1.93	
								3回目	0.28	0.31	0.36	0.32	−1.61	−7.60	−2.46	−1.19	1.81	
	末27	50.10	9.63	60.14	12.89	12.52	10.89	1回目	0.31	0.41	0.27	0.33	−1.61	−4.50	−4.37	−1.69	1.45	
								2回目	0.29	0.34	0.25	0.29	−1.49	−5.43	−3.20	−1.31	1.69	
								3回目	0.18	0.14	0.13	0.15	−1.20	−3.34	−2.45	−0.84	0.57	
	末28	50.07	9.66	60.12	12.67	12.27	10.66	1回目	0.38	0.30	0.40	0.36	−1.30	−2.97	−0.69	−2.45	2.24	
								2回目	0.35	0.32	0.25	0.31	−1.20	−2.63	−1.76	−2.32	1.52	
								3回目	0.44	0.54	0.60	0.53	−1.39	−3.25	−2.01	−1.60	2.88	
	末29	50.06	9.41	60.02	11.00	10.64	9.68	1回目	0.29	0.36	0.31	0.32	−1.15	−3.97	−3.24	−1.83	1.52	※計測データNG
								2回目	0.45	0.67	0.57	0.56	※					
								3回目	0.29	0.74	0.50	0.51	※					
	末30	50.08	9.43	60.09	11.27	11.07	10.19	1回目	0.26	0.27	0.25	0.26	−1.19	−4.40	−4.11	−0.84	1.24	※計測データNG
								2回目	0.12	0.14	0.18	0.15	※					
								3回目	0.38	0.33	0.32	0.34	−1.27	−5.57	−4.51	−1.61	2.09	
	元31	49.98	9.43	59.97	10.79	10.26	9.33	1回目	0.75	0.39	0.58	0.57	−3.77	−6.46	−5.26	−3.52	0.78	
								2回目	0.52	0.54	0.64	0.57	−3.07	−5.88	−3.35	−2.55	0.76	
								3回目	0.55	0.54	0.43	0.51	−2.64	−4.59	−2.13	−4.81	1.50	
	末32	50.01	9.41	60.00	9.16	8.86	8.03	1回目	0.37	0.53	0.51	0.47	−1.96	−5.21	−3.60	−2.50	2.26	
								2回目	0.41	0.38	0.37	0.39	−1.80	−3.96	−3.20	−5.32	1.80	
								3回目	0.17	0.23	0.35	0.25	−1.67	−4.42	−1.13	−5.88	1.34	
	末33	50.07	9.48	60.04	17.66	16.70	11.19	1回目	0.29	0.38	0.36	0.34	※					※計測データNG
								2回目	0.32	0.53	0.39	0.41	※					
								3回目	0.15	0.41	0.31	0.29	−1.47	−3.46	−7.20	−0.96	2.07	
	末34	50.06	9.49	60.09	15.37	14.88	11.52	1回目	0.31	0.32	0.25	0.29	−0.59	−2.87	−1.83	−1.60	1.29	
								2回目	0.34	0.39	0.29	0.34	−1.60	−3.99	−10.70	−3.19	1.39	
								3回目	0.42	0.34	0.19	0.32	−1.62	−4.31	−10.80	−0.98	1.48	
	末35	50.07	9.47	60.09	13.09	12.52	8.73	1回目	0.29	0.33	0.27	0.30	−1.09	−2.78	−4.27	−1.30	1.32	
								2回目	0.17	0.27	0.46	0.30	−1.27	−3.33	−5.52	−1.12	1.99	
								3回目	0.30	0.41	0.47	0.39	−1.18	−3.56	−13.37	−1.30	1.10	
	末36	50.06	9.46	60.13	21.46	19.61	10.30	1回目	0.50	0.56	0.45	0.50	−1.55	−4.29	−7.23	−1.42	2.71	※計測データNG
								2回目	0.29	0.34	0.27	0.30	−1.28	−3.11	−8.75	−0.84	1.38	
								3回目	0.54	0.49	0.41	0.48	※					

表 5.2.5-4　切削試験体及び試験結果の概要(無調湿試験体、T 方向(RT 面))

方向	試験体番号	寸法(mm)			重量(g)			切削片の厚さ(mm)					軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		備考
													平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	
		50mm	10mm	60mm	切削前	切削後	切削後(全乾)		T1	T2	T3	平均	各切削片の測定値					
T方向切削（RT面）	末1	50.09	9.47	60.01	12.31	11.83	10.04	1回目	0.46	0.79	0.64	0.63	−9.24	−17.09	−1.96	−3.25	9.31	
								2回目	0.35	0.48	0.43	0.42	−5.62	−9.89	−7.32	−4.64	3.79	
								3回目	0.46	0.29	0.45	0.40	−7.27	−9.73	−8.82	−8.55	4.75	
	末2	50.03	9.54	60.04	11.49	11.08	9.27	1回目	0.46	0.65	0.26	0.46	−6.31	−16.54	−2.59	−1.95	9.05	
								2回目	0.32	0.29	0.29	0.30	−4.41	−8.01	−2.76	−2.24	4.75	
								3回目	0.45	0.41	0.36	0.41	−6.11	−9.00	−7.76	−1.93	6.75	
	末3	50.13	9.53	60.04	11.42	10.68	9.14	1回目	0.50	0.70	0.49	0.56	−7.13	−12.48	−2.19	−5.41	5.77	
								2回目	0.66	0.67	0.70	0.68	−8.38	−11.96	−9.67	−4.29	5.03	
								3回目	0.42	0.52	0.54	0.49	−5.99	−8.90	−7.81	−2.82	4.45	
	末4	50.13	9.51	60.04	11.11	10.69	9.24	1回目	0.62	0.36	0.43	0.47	−7.01	−10.78	−8.48	−1.95	6.52	
								2回目	0.57	0.60	0.37	0.51	−6.26	−12.55	−5.65	−0.83	6.40	
								3回目	0.20	0.13	0.46	0.26	−5.06	−10.91	−6.03	−1.40	4.52	
	末5	50.18	9.56	60.04	11.26	10.66	9.41	1回目	0.24	0.25	0.44	0.31	−7.01	−12.59	−5.80	−3.26	6.43	
								2回目	0.23	0.45	0.42	0.37	−5.84	−10.57	−7.73	−3.43	6.03	
								3回目	0.55	0.38	0.31	0.41	−6.77	−11.41	−7.23	−4.57	5.55	
	末6	50.23	9.53	60.05	11.18	10.72	9.44	1回目	0.48	0.31	0.50	0.43	−6.00	−11.42	−5.82	−4.74	4.65	
								2回目	0.34	0.26	0.27	0.29	−5.41	−7.28	−10.05	−4.34	3.42	
								3回目	0.52	0.45	0.35	0.44	−6.78	−9.73	−10.25	−5.06	4.43	
	末7	50.22	9.54	60.05	9.50	8.50	7.51	1回目	0.46	0.44	0.40	0.43	−6.07	−11.27	−1.21	−3.05	2.92	2回計測不能
								2回目	−	0.58	−	0.58	−6.37	−11.35	−7.43	−3.75	1.79	
								3回目	0.48	0.31	0.49	0.43	−5.52	−9.12	−5.88	−3.46	1.72	
	末8	50.22	9.53	60.11	11.80	11.46	10.08	1回目	0.34	0.12	0.29	0.25	−5.29	−9.18	−7.20	−2.19	1.59	
								2回目	0.22	0.42	0.71	0.45	−6.51	−15.61	−10.07	−3.25	4.55	
								3回目	0.57	0.46	0.55	0.53	−9.88	−15.82	−7.21	−3.07	9.70	
	末9	50.26	9.60	60.07	11.98	10.66	9.25	1回目	0.48	0.45	0.37	0.43	−9.55	−23.87	−8.88	−5.65	5.18	
								2回目	0.34	0.21	0.38	0.31	−4.65	−8.69	−1.56	−7.66	1.48	
								3回目	0.38	0.30	0.36	0.35	−6.24	−10.47	−6.90	−2.54	3.14	
	末10	50.14	9.51	60.04	11.56	11.08	9.64	1回目	0.47	0.29	0.47	0.41	−6.84	−11.85	−10.76	−4.22	7.14	
								2回目	0.51	0.22	0.16	0.30	−7.12	−18.41	−10.13	−3.88	3.77	
								3回目	0.20	0.62	0.61	0.48	−5.60	−12.56	−8.55	−2.40	8.25	
	末11	50.22	9.57	60.12	9.47	9.25	8.07	1回目	0.21	0.27	0.27	0.25	−3.55	−7.07	−5.70	−3.08	1.29	1回計測不能
								2回目	−	0.10	0.13	0.12	−3.61	−7.46	−3.46	−3.86	1.18	
								3回目	0.42	0.38	0.46	0.42	−5.43	−12.16	−12.43	−2.54	2.43	
	末12	50.12	9.54	60.08	11.62	11.25	9.69	1回目	0.42	0.36	0.26	0.35	−5.20	−11.32	−12.26	−3.65	3.82	
								2回目	0.40	0.38	0.33	0.37	−5.46	−11.49	−0.84	−1.90	4.52	
								3回目	0.11	0.37	0.37	0.28	−3.42	−10.90	−13.58	−0.75	3.69	
	末13	50.25	9.54	60.08	10.30	10.04	8.86	1回目	0.48	0.71	0.42	0.54	−9.11	−22.14	−12.62	−3.83	5.37	
								2回目	0.37	0.33	0.35	0.35	−4.18	−8.98	−12.29	−3.40	2.04	
								3回目	0.37	0.42	0.45	0.41	−5.09	−8.86	−15.57	−3.84	3.60	
	末14	50.29	9.54	60.08	8.06	7.66	6.75	1回目	0.16	0.22	0.16	0.18	−1.74	−4.30	−2.01	−2.84	0.40	
								2回目	0.57	0.63	0.52	0.57	−5.43	−9.45	−8.18	−3.27	4.74	
								3回目	0.46	0.60	0.60	0.55	−4.18	−7.65	−6.97	−2.17	3.05	
	末15	50.19	9.51	60.01	8.53	8.08	7.13	1回目	0.80	0.90	0.12	0.61	−1.76	−3.81	−6.84	−0.72	1.75	
								2回目	0.18	0.26	0.50	0.31	−3.32	−7.82	−10.87	−3.64	4.33	
								3回目	0.42	0.50	0.35	0.42	−4.02	−6.60	−12.06	−0.69	3.36	
	末16	50.25	9.56	60.16	8.41	8.00	7.09	1回目	0.35	0.27	0.11	0.24	−3.70	−6.13	−8.49	−1.90	2.23	
								2回目	0.46	0.52	0.42	0.47	−5.02	−6.93	−11.01	−1.33	2.34	
								3回目	0.28	0.14	0.30	0.24	−3.55	−6.43	−3.34	−2.98	1.74	
	末17	50.17	9.56	60.10	10.98	10.63	9.50	1回目	0.54	0.32	0.23	0.36	−4.94	−10.85	−8.06	−4.30	5.47	
								2回目	0.38	0.42	0.36	0.39	−5.74	−11.44	−13.60	−6.50	6.09	
								3回目	0.38	0.33	0.37	0.36	−4.74	−11.33	−13.12	−4.87	3.17	
	末18	50.18	9.57	60.08	11.02	10.62	9.43	1回目	0.47	0.31	0.41	0.40	−6.30	−11.06	−16.24	−4.70	4.87	
								2回目	0.52	0.54	0.48	0.51	−6.28	−11.08	−8.19	−2.83	6.63	
								3回目	0.52	0.60	0.49	0.54	−6.64	−10.65	−9.22	−2.61	6.88	
	末19	50.21	9.54	60.06	9.38	9.08	8.11	1回目	0.22	0.17	0.21	0.20	−4.74	−8.31	−12.42	−2.24	2.39	
								2回目	0.37	0.45	0.40	0.41	−7.74	−16.40	−10.78	−3.58	1.92	
								3回目	0.69	0.28	0.53	0.50	−7.06	−13.42	−11.56	−8.10	3.40	
	末20	50.23	9.57	60.08	10.68	10.37	9.27	1回目	0.62	0.18	0.19	0.33	−9.02	−14.92	−9.34	−2.99	5.44	
								2回目	0.32	0.25	0.06	0.21	−4.60	−8.59	−7.86	−3.94	3.44	
								3回目	0.46	0.52	0.24	0.41	−7.44	−11.37	−7.52	−5.50	5.29	
	末21	50.19	9.57	60.05	11.66	10.40	9.15	1回目	0.14	0.18	0.25	0.19	−2.76	−6.88	−9.48	−2.83	1.40	※計測データNG
								2回目	0.17	0.24	0.23	0.21	※					
								3回目	0.52	0.28	0.48	0.43	−4.53	−13.14	−2.37	−2.94	3.30	
	末22	50.25	9.54	60.12	12.00	11.58	10.11	1回目	0.47	0.43	0.54	0.48	−8.70	−14.28	−19.47	−5.96	7.90	
								2回目	0.30	0.34	0.36	0.33	−5.14	−8.00	−9.76	−5.83	4.40	
								3回目	0.53	0.51	0.44	0.49	−5.95	−16.45	−18.61	−0.90	5.45	
	末23	50.22	9.54	60.00	11.12	10.68	9.35	1回目	0.41	0.54	0.55	0.50	−5.48	−10.57	−15.45	−3.40	4.23	
								2回目	0.20	0.27	0.47	0.31	−5.51	−11.07	−12.97	−4.99	3.87	
								3回目	0.62	0.53	0.20	0.45	−5.66	−11.12	−11.69	−4.10	5.63	
	末24	50.24	9.55	60.01	9.88	9.55	8.41	1回目	0.30	0.29	0.40	0.33	−5.66	−15.01	−12.87	−4.27	2.11	
								2回目	0.32	0.56	0.27	0.38	−4.49	−10.27	−12.93	−5.12	1.58	
								3回目	0.56	0.61	0.67	0.61	−8.37	−21.55	−16.03	−5.51	3.06	
	末25	50.13	9.50	60.03	11.04	10.63	9.32	1回目	0.43	0.52	0.51	0.49	−6.63	−16.81	−17.37	−3.21	2.43	
								2回目	0.47	0.44	0.44	0.45	−6.41	−11.54	−13.43	−2.80	4.05	
								3回目	0.58	0.34	0.30	0.41	−5.49	−9.73	−15.54	−2.30	3.48	
	末26	50.16	9.57	60.03	10.33	9.96	8.68	1回目	0.35	0.21	0.44	0.33	−5.02	−14.34	−15.09	−6.10	2.05	
								2回目	0.30	0.14	0.20	0.21	−3.00	−6.73	−2.52	−6.39	1.68	
								3回目	0.60	0.61	0.59	0.60	−7.69	−15.43	−13.65	−3.63	4.73	
	末27	50.16	9.58	60.01	11.29	10.08	9.43	1回目	0.51	0.59	0.54	0.55	−7.91	−27.57	−17.18	−13.89	3.12	
								2回目	0.29	0.48	0.49	0.42	−5.97	−11.87	−17.40	−3.91	3.86	
								3回目	0.47	0.68	0.68	0.61	−9.00	−14.86	−15.99	−6.02	7.07	
	末28	50.18	9.54	60.00	11.14	10.75	9.41	1回目	0.60	0.36	0.51	0.49	−8.30	−16.10	−1.09	−4.87	5.08	
								2回目	0.41	0.41	0.20	0.34	−5.75	−12.17	−11.08	−2.79	2.89	
								3回目	0.61	0.60	0.47	0.56	−7.83	−10.82	−11.51	−2.15	5.64	
	末29	50.08	9.54	60.07	11.41	11.00	9.83	1回目	0.12	0.25	0.12	0.16	−6.44	−9.81	−9.57	−3.63	1.12	
								2回目	0.51	0.55	0.48	0.51	−7.74	−24.48	−13.98	−4.04	2.76	
								3回目	0.23	0.21	0.20	0.21	−3.91	−11.19	−5.01	−4.19	1.27	
	末30	50.04	9.53	60.03	10.45	9.84	9.03	1回目	0.23	0.43	0.45	0.37	−6.30	−14.06	−9.29	−5.37	0.88	
								2回目	0.54	0.49	0.15	0.39	−4.73	−9.93	−1.69	−3.79	0.76	
								3回目	0.47	0.31	0.21	0.33	−4.23	−7.29	−8.58	−6.32	1.09	
	末31	49.98	9.52	60.00	10.90	10.48	9.37	1回目	0.41	0.50	0.49	0.47	−8.70	−13.30	−8.60	−6.07	1.83	
								2回目	0.42	0.41	0.22	0.35	※					※計測データNG
								3回目	0.39	0.67	0.83	0.63	−9.01	−14.78	−12.46	−14.03	3.21	
	末32	50.06	9.56	60.00	9.37	9.17	8.06	1回目	0.36	0.43	0.42	0.40	−10.49	−23.00	−13.82	−6.40	0.83	
								2回目	0.52	0.11	0.33	0.32	−5.66	−13.88	−9.92	−4.45	0.94	
								3回目	0.29	0.38	0.46	0.38	−4.33	−7.51	−6.89	−4.49	0.74	
	末33	50.17	9.64	59.89	14.70	14.22	11.40	1回目	0.48	0.48	0.33	0.43	−7.68	−13.55	−5.08	−2.61	7.48	
								2回目	0.64	0.49	0.47	0.53	−9.04	−16.39	−15.08	−6.03	8.42	
								3回目	0.26	0.27	0.35	0.29	−6.67	−9.76	−11.53	−3.44	5.41	
	末34	50.15	9.56	60.04	13.33	13.01	9.97	1回目	0.27	0.23	0.18	0.23	−4.44	−7.88	−0.24	−3.44	5.16	
								2回目	0.33	0.37	0.24	0.31	−6.08	−9.19	−12.27	−2.98	2.94	
								3回目	0.23	0.18	0.27	0.23	※					
	末35	50.14	9.61	59.68	11.43	11.12	8.93	1回目	0.64	0.56	0.29	0.50	−7.01	−11.98	−10.69	−4.05	4.45	※計測データNG
								2回目	0.57	0.52	0.47	0.52	※					
								3回目	0.31	0.28	0.26	0.28	※					
	末36	50.20	9.57	59.84	13.04	12.72	10.12	1回目	0.34	0.48	0.22	0.35	※					※計測データNG
								2回目	0.41	0.54	0.46	0.47	−4.01	−7.12	−3.50	−5.27	7.70	
								3回目	0.21	0.21	0.26	0.23	−4.70	−7.81	−12.94	−2.55	1.67	

表 5.2.5-5　切削試験体及び試験結果の概要(調湿試験体、L 方向(LR 面))

方向	試験体番号	寸法(mm)			重量(g)			切削片の厚さ(mm)					軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		備考
													平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	
		50mm	10mm	60mm	切削前	切削後	切削後(全乾)		T1	T2	T3	平均	各切削片の測定値					
L方向切削(LR面)	末1	50.08	9.51	59.51	11.75	11.39	10.01	1回目	0.25	0.41	0.22	0.29	−2.22	−4.65	−3.19	−1.86	1.77	
								2回目	0.44	0.43	0.15	0.34	−2.38	−4.14	−0.72	−0.93	1.65	
								3回目	0.14	0.27	0.33	0.25	−1.95	−3.94	−5.38	−0.90	1.46	
	末2	50.16	9.51	59.71	11.01	10.76	9.35	1回目	0.09	0.60	0.34	0.34	−1.54	−4.16	−2.46	−0.80	1.56	
								2回目	0.24	0.17	0.11	0.17	−1.31	−2.48	−1.44	−1.01	1.39	
								3回目	0.30	0.28	0.20	0.26	−1.65	−2.96	−5.01	−0.82	1.72	
	末3	50.10	9.54	59.92	10.96	10.76	9.40	1回目	0.35	0.45	0.26	0.35	−2.01	−3.58	−0.95	−0.29	1.90	※計測データNG
								2回目	0.24	0.15	0.26	0.22	−1.61	−2.39	−1.60	−0.72	1.89	
								3回目	0.14	0.16	0.14	0.15	※					
	末4	50.12	9.63	60.21	10.05	9.86	8.60	1回目	0.26	0.28	0.18	0.24	−2.04	−3.12	−0.86	−0.30	1.75	
								2回目	0.07	0.26	0.21	0.18	−1.75	−3.11	−6.82	−0.59	1.28	
								3回目	0.21	0.21	0.29	0.24	−1.84	−2.88	−3.44	−0.33	2.03	
	末5	50.14	9.60	60.27	11.42	11.12	9.82	1回目	0.30	0.31	0.07	0.23	−1.86	−3.52	−2.37	−0.91	1.17	※計測データNG
								2回目	0.18	0.29	0.43	0.30	−1.51	−3.12	−4.43	−0.48	1.35	
								3回目	0.51	0.37	0.55	0.48	※					
	末6	50.26	9.52	60.15	10.63	10.42	9.22	1回目	0.34	0.55	0.33	0.41	−2.56	−4.31	−3.79	−0.71	2.00	※計測データNG
								2回目	0.41	0.45	0.34	0.40	※					
								3回目	0.32	0.09	0.10	0.17	−1.36	−2.47	−2.94	−0.94	1.35	
	末7	50.18	9.65	60.26	9.56	9.43	8.33	1回目	0.09	0.26	0.16	0.17	−1.41	−2.44	−10.03	−0.51	1.39	
								2回目	0.20	0.13	0.26	0.20	−1.30	−2.22	−1.62	−0.38	1.84	
								3回目	0.17	0.41	0.44	0.34	−1.78	−3.82	−4.64	−1.22	2.30	
	末8	50.11	9.62	60.21	11.57	11.32	9.96	1回目	0.26	0.27	0.25	0.26	−2.11	−3.27	−3.38	−0.41	1.18	※計測データNG
								2回目	0.43	0.42	0.19	0.35	−1.85	−4.63	−4.00	−1.18	1.64	
								3回目	0.53	0.44	0.09	0.35	※					
	末9	50.14	9.60	60.05	11.76	11.29	9.82	1回目	0.22	0.56	0.27	0.35	−2.58	−4.22	−2.43	−1.34	2.01	※計測データNG
								2回目	0.32	0.16	0.15	0.21	−1.73	−3.25	−4.96	−0.78	1.52	
								3回目	0.23	0.43	0.38	0.35	※					
	末10	50.15	9.58	60.30	11.70	11.43	9.98	1回目	0.42	0.35	0.12	0.30	−2.69	−5.15	−3.57	−1.34	0.78	※計測データNG
								2回目	0.09	0.38	0.23	0.23	※					
								3回目	0.36	0.24	0.16	0.25	−1.94	−4.06	−4.12	−0.59	1.42	
	末11	50.04	9.61	60.24	11.58	10.41	9.11	1回目	0.08	0.29	0.27	0.21	−1.74	−3.02	−1.28	−0.74	1.65	
								2回目	0.26	0.14	0.07	0.16	−1.38	−2.37	−3.06	−0.60	1.58	
								3回目	0.30	0.20	0.23	0.24	−1.68	−2.38	−2.93	−0.56	1.73	
	末12	50.04	9.49	59.78	11.14	10.78	9.46	1回目	0.24	0.45	0.15	0.28	−2.66	−4.25	−1.75	−1.10	0.84	
								2回目	0.29	0.61	0.55	0.48	−1.91	−3.56	−4.45	−0.70	1.76	
								3回目	0.13	0.21	0.29	0.21	−1.59	−2.59	−4.15	−0.69	1.53	
	末13	50.12	9.57	60.28	10.84	10.34	9.11	1回目	0.67	0.65	0.11	0.48	−2.55	−5.45	−5.20	−1.05	2.45	
								2回目	0.53	0.46	0.09	0.36	−2.17	−3.53	−2.09	−0.53	1.73	
								3回目	0.14	0.28	0.43	0.28	−2.46	−4.70	−6.30	−1.29	1.32	
	末14	50.13	9.59	60.24	8.54	8.35	7.35	1回目	0.54	0.54	0.29	0.46	−1.77	−4.30	−6.53	−1.06	1.65	※計測データNG
								2回目	0.24	0.18	0.14	0.19	−1.18	−1.82	−1.51	−0.36	0.91	
								3回目	0.17	0.14	0.09	0.13	※					
	末15	49.90	9.51	60.16	7.69	7.53	6.63	1回目	0.33	0.39	0.22	0.31	−1.82	−2.81	−4.39	−0.36	1.79	※計測データNG
								2回目	0.41	0.39	0.39	0.40	※					
								3回目	0.39	0.28	0.04	0.24	−1.06	−2.37	−1.51	−0.34	1.46	
	末16	50.10	9.58	60.22	9.24	9.10	7.99	1回目	0.16	0.11	0.13	0.13	−1.11	−1.82	−3.34	−0.46	0.70	
								2回目	0.36	0.23	0.02	0.20	−1.27	−3.17	−0.12	−0.60	1.38	
								3回目	0.15	0.20	0.18	0.18	−1.34	−2.11	−1.60	−0.68	0.90	
	末17	50.17	9.60	60.37	10.96	10.61	9.48	1回目	0.42	0.29	0.03	0.25	−1.90	−3.67	−1.02	−0.90	1.53	※計測データNG
								2回目	0.23	0.25	0.23	0.24	−2.03	−3.31	−3.37	−0.52	2.44	
								3回目	0.42	0.22	0.21	0.28	※					
	末18	50.06	9.58	60.28	11.34	11.04	9.87	1回目	0.28	0.07	0.06	0.14	−1.41	−2.61	−0.89	−0.70	1.59	
								2回目	0.35	0.42	0.19	0.32	−1.96	−3.04	−2.35	−1.04	1.78	
								3回目	0.38	0.23	0.16	0.26	−1.67	−3.88	−5.30	−0.81	1.38	
	末19	50.08	9.66	60.31	9.69	9.43	8.43	1回目	0.32	0.33	0.15	0.27	−1.88	−2.95	−0.45	−0.67	1.86	
								2回目	0.39	0.24	0.19	0.27	−1.71	−3.63	−2.76	−1.08	1.63	
								3回目	0.30	0.38	0.19	0.29	−1.86	−3.47	−0.74	−0.46	1.44	
	末20	50.07	9.60	60.29	10.58	10.28	9.20	1回目	0.23	0.19	0.12	0.21	−1.52	−2.46	−1.46	−0.69	1.66	
								2回目	0.24	0.26	0.15	0.22	−1.62	−3.34	−3.12	−0.60	1.51	
								3回目	0.55	0.26	0.09	0.30	−1.98	−4.49	−7.75	−1.23	2.09	
	末21	50.09	9.55	60.21	10.94	10.73	9.46	1回目	0.45	0.16	0.14	0.25	※					※計測データNG
								2回目	0.25	0.14	0.20	0.20	−1.63	−2.55	−2.08	−0.75	1.57	
								3回目	0.33	0.26	0.19	0.26	−1.73	−3.34	−4.28	−0.83	1.28	
	元22	50.10	9.58	60.33	11.89	10.32	9.04	1回目	0.58	0.96	0.16	0.57	−1.67	−3.42	−4.10	−0.68	1.75	
								2回目	0.72	0.41	0.24	0.46	−1.51	−3.99	−5.89	−0.76	1.99	
								3回目	0.36	0.34	0.18	0.29	−1.49	−3.13	−2.89	−0.92	2.21	
	末23	50.14	9.60	60.29	11.73	11.49	10.07	1回目	0.39	0.39	0.18	0.32	−1.77	−3.45	−4.76	−0.69	1.56	
								2回目	0.42	0.42	0.45	0.43	−1.96	−3.45	−6.54	−0.64	1.75	
								3回目	0.20	0.11	0.16	0.16	−1.49	−2.44	−1.74	−0.78	1.23	
	末24	50.06	9.61	60.36	9.90	9.67	8.53	1回目	0.34	0.40	0.21	0.32	−2.26	−3.73	−4.54	−0.55	1.43	
								2回目	0.35	0.15	0.19	0.23	−1.91	−3.03	−3.37	−1.07	1.57	
								3回目	0.28	0.21	0.17	0.22	−2.05	−3.58	−5.22	−0.91	1.49	
	末25	50.12	9.61	60.25	12.24	11.97	10.49	1回目	0.27	0.24	0.21	0.24	−2.31	−3.83	−2.59	−1.29	1.56	※計測データNG
								2回目	0.23	0.27	0.17	0.22	−2.20	−3.21	−4.09	−1.01	1.81	
								3回目	0.40	0.29	0.29	0.33	※					
	末26	50.06	9.59	60.05	9.51	9.26	8.14	1回目	0.41	0.28	0.34	0.34	−1.64	−2.75	−3.89	−0.70	1.77	
								2回目	0.28	0.26	0.27	0.27	−1.58	−3.34	−5.17	−0.79	1.85	
								3回目	0.22	0.30	0.14	0.22	−1.41	−2.72	−2.07	−0.93	1.53	
	末27	50.05	9.63	60.17	9.86	9.58	8.40	1回目	0.31	0.13	0.05	0.16	−1.45	−2.30	−2.48	−0.47	1.18	
								2回目	0.38	0.22	0.16	0.25	−1.53	−3.31	−6.61	−0.78	1.19	
								3回目	0.44	0.63	0.57	0.55	−2.31	−4.91	−9.66	−1.10	2.00	
	末28	50.07	9.58	60.20	11.10	10.93	9.62	1回目	0.35	0.16	0.14	0.22	−1.64	−2.77	−0.35	−0.52	1.03	
								2回目	0.17	0.15	0.18	0.17	−1.52	−2.41	−2.57	−1.20	1.29	
								3回目	0.33	0.34	0.17	0.28	−1.75	−3.42	−6.40	−0.82	2.04	
	末29	49.95	9.48	60.12	11.32	11.21	10.07	1回目	0.39	0.47	0.43	0.43	−2.50	−3.72	−5.51	−0.89	1.68	
								2回目	0.18	0.26	0.21	0.22	−2.23	−3.48	−2.80	−1.03	1.05	
								3回目	0.32	0.41	0.33	0.35	−2.40	−3.67	−3.88	−1.13	1.41	
	末30	49.92	9.50	60.11	9.89	9.73	8.91	1回目	0.30	0.26	0.20	0.25	−1.55	−2.82	−3.61	−0.73	1.13	
								2回目	0.28	0.27	0.22	0.26	−1.80	−3.50	−6.54	−1.03	0.91	
								3回目	0.13	0.05	0.06	0.08	−1.15	−1.95	−2.43	−0.61	0.52	
	末31	49.92	9.46	59.95	10.61	10.42	9.40	1回目	0.26	0.37	0.16	0.26	−1.85	−2.93	−1.01	−0.43	1.68	
								2回目	0.42	0.48	0.36	0.42	−2.13	−3.90	−7.69	−0.46	1.89	
								3回目	0.21	0.12	0.08	0.14	−1.42	−2.25	−1.48	−0.63	1.20	
	末32	49.99	9.46	60.08	9.04	8.84	7.97	1回目	0.32	0.43	0.26	0.34	−1.76	−3.07	−1.98	−0.85	1.29	
								2回目	0.35	0.34	0.43	0.37	−1.84	−3.09	−4.69	−0.75	1.40	
								3回目	0.14	0.07	0.08	0.10	−1.36	−2.45	−3.06	−1.13	0.63	
	末33	50.16	9.53	60.12	14.26	13.99	12.24	1回目	0.35	0.44	0.30	0.36	−2.60	−3.99	−3.84	−0.77	1.84	
								2回目	0.41	0.16	0.13	0.23	−1.90	−3.62	−3.49	−0.23	1.56	
								3回目	0.43	0.35	0.08	0.29	−2.33	−3.85	−1.75	−1.01	1.81	
	末34	50.18	9.52	60.16	12.15	11.92	10.34	1回目	0.20	0.16	0.07	0.14	−1.63	−2.65	−2.51	−0.62	1.25	
								2回目	0.21	0.24	0.20	0.22	−1.94	−3.09	−4.60	−0.54	1.79	
								3回目	0.23	0.11	0.17	0.17	−1.76	−3.17	−3.12	−1.15	1.14	
	末35	50.14	9.53	60.10	10.37	10.17	8.88	1回目	0.19	0.17	0.12	0.16	−1.48	−3.14	−2.53	−0.50	1.08	
								2回目	0.12	0.14	0.07	0.11	−1.20	−2.15	−3.37	−0.54	0.90	
								3回目	0.44	0.42	0.33	0.40	−1.93	−3.68	−4.07	−0.83	2.09	
	末36	50.10	9.53	60.16	12.87	12.59	10.98	1回目	0.42	0.21	0.13	0.25	−1.76	−2.92	−3.31	−0.67	1.80	
								2回目	0.20	0.20	0.19	0.20	−1.79	−2.63	−3.01	−0.90	0.97	
								3回目	0.28	0.24	0.17	0.23	−1.81	−2.88	−4.30	−0.89	1.26	

表 5.2.5-6　切削試験体及び試験結果の概要(調湿試験体、R 方向(LR 面))

方向	試験体番号	寸法(mm)			重量(g)			切削片の厚さ(mm)					軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		備考
													平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	
		50mm	10mm	60mm	切削前	切削後	切削後(全乾)		T1	T2	T3	平均	各切削片の測定値					
R方向切削(LR面)	末1	49.87	9.66	59.80	11.03	10.65	9.36	1回目	0.44	0.47	0.42	0.44	−2.09	−3.42	−7.04	−1.13	2.25	※計測データNG
								2回目	0.19	0.21	0.38	0.26	※					
								3回目	0.44	0.56	0.69	0.56	−2.14	−3.66	−6.34	−1.82	2.16	
	末2	49.71	9.65	59.91	10.85	10.28	8.97	1回目	0.40	0.40	0.47	0.42	−2.10	−4.46	−8.20	−4.53	1.36	
								2回目	0.74	0.57	0.43	0.58	−2.66	−5.83	−3.93	−2.26	1.27	
								3回目	0.39	0.19	0.30	0.29	−2.19	−4.12	−4.66	−2.92	0.64	
	末3	49.91	9.67	59.75	11.41	11.13	9.70	1回目	0.29	0.45	0.30	0.35	−1.54	−2.90	−1.43	−1.83	1.80	※計測データNG
								2回目	0.32	0.19	0.25	0.25	※					
								3回目	0.30	0.22	0.17	0.23	−2.11	−3.05	−1.79	−1.16	0.93	
	末4	50.14	9.62	60.12	10.21	9.63	8.37	1回目	0.34	0.36	0.26	0.32	−1.81	−3.90	−5.21	−1.23	0.74	
								2回目	0.37	0.41	0.34	0.37	−1.87	−4.42	−11.92	−1.90	0.92	
								3回目	0.26	0.30	0.32	0.29	−1.65	−3.33	−6.47	−1.12	1.02	
	末5	50.26	9.64	60.18	11.41	11.05	9.68	1回目	0.35	0.41	0.31	0.36	※					※計測データNG
								2回目	0.38	0.36	0.39	0.38	−2.03	−3.37	−1.56	−0.92	1.48	
								3回目	0.16	0.28	0.28	0.24	−1.93	−3.46	−10.03	−1.06	1.41	
	末6	50.15	9.62	60.30	11.64	11.31	9.93	1回目	0.23	0.34	0.42	0.33	−1.56	−3.51	−0.31	−2.04	1.46	※計測データNG
								2回目	0.49	0.37	0.58	0.48	※					
								3回目	0.51	0.51	0.71	0.58	−1.73	−3.70	−2.68	−1.52	2.78	
	末7	50.24	9.63	60.39	9.85	9.34	8.28	1回目	0.18	0.26	0.25	0.23	−1.61	−3.66	−1.86	−1.52	0.98	
								2回目	0.46	0.37	0.40	0.41	−1.78	−5.34	−3.90	−2.79	1.83	
								3回目	0.26	0.25	0.10	0.20	−1.67	−4.36	−1.34	−1.86	0.78	
	末8	50.18	9.62	60.23	12.06	11.67	10.29	1回目	0.16	0.11	0.28	0.18	−1.56	−3.16	−10.03	−0.95	0.84	※計測データNG
								2回目	0.54	0.49	0.42	0.48	−1.91	−3.71	−2.04	−1.68	1.84	
								3回目	0.40	0.48	0.35	0.41	※					
	末9	50.11	9.65	60.30	10.78	10.42	9.10	1回目	0.26	0.40	0.10	0.25	−1.29	−2.80	−0.52	−1.58	0.99	
								2回目	0.39	0.47	0.60	0.49	−1.55	−7.40	−9.59	−1.77	1.02	
								3回目	0.56	0.70	0.63	0.63	−1.55	−5.53	−10.06	−2.58	1.69	
	末10	50.10	9.69	60.35	11.44	11.13	9.66	1回目	0.27	0.23	0.10	0.20	−0.72	−2.19	−2.45	−1.16	1.66	
								2回目	0.27	0.31	0.37	0.32	−1.58	−2.95	−2.84	−1.34	0.98	
								3回目	0.22	0.23	0.34	0.26	−1.49	−3.30	−4.35	−2.08	1.09	
	末11	50.07	9.59	60.21	10.95	10.54	9.18	1回目	0.32	0.20	0.22	0.25	−1.74	−5.65	−5.58	−5.42	1.06	※計測データNG
								2回目	0.33	0.32	0.41	0.35	※					
								3回目	0.37	0.36	0.35	0.36	−1.87	−3.56	−9.21	−2.51	1.65	
	末12	50.06	9.63	60.05	11.33	11.05	9.65	1回目	0.26	0.19	0.23	0.23	−1.51	−4.20	−1.22	−1.76	0.74	
								2回目	0.27	0.36	0.40	0.34	−1.93	−7.65	−4.69	−4.48	1.34	
								3回目	0.24	0.26	0.28	0.26	−1.67	−6.30	−9.12	−4.19	0.71	
	末13	50.44	9.57	60.24	10.65	10.39	9.09	1回目	0.35	0.40	0.29	0.35	−1.71	−3.07	−3.12	−0.87	1.21	
								2回目	0.30	0.30	0.38	0.33	−1.74	−3.15	−5.75	−1.16	1.31	
								3回目	0.29	0.22	0.21	0.24	−1.54	−3.03	−5.91	−0.84	0.82	
	元14	50.15	9.56	58.18		8.98	7.84	1回目	0.49	0.66	0.66	0.60	−2.02	−4.58	−4.56	−3.09	1.71	
								2回目	0.35	0.34	0.27	0.32	−1.91	−3.38	−6.01	−2.28	1.53	
								3回目	0.63	0.50	0.40	0.51	−2.09	−4.58	−4.71	−2.04	2.54	
	末15	50.24	9.63	60.19	8.40	8.17	7.15	1回目	0.38	0.63	0.60	0.54	−1.77	−3.75	−3.09	−1.19	2.16	
								2回目	0.29	0.35	0.34	0.33	−0.50	−2.42	−0.96	−0.46	2.32	
								3回目	0.22	0.10	0.10	0.14	−1.58	−2.88	−1.83	−0.67	0.98	
	末16	50.20	9.58	60.15	9.02	8.78	7.67	1回目	0.33	0.37	0.39	0.36	−1.17	−2.83	−0.97	−1.02	1.20	
								2回目	0.20	0.26	0.45	0.30	−1.32	−2.41	−3.06	−0.78	0.88	
								3回目	0.45	0.20	0.35	0.33	−1.43	−3.10	−4.18	−0.85	1.37	
	末17	50.41	9.61	60.06	11.33	10.94	9.74	1回目	0.58	0.42	0.19	0.40	−1.71	−4.09	−1.60	−1.06	1.02	
								2回目	0.18	0.31	0.33	0.27	−1.55	−3.31	−0.68	−1.01	1.35	
								3回目	0.23	0.17	0.21	0.20	−1.49	−2.75	−1.85	−0.69	1.39	
	末18	50.18	9.62	60.16	11.50	11.21	9.99	1回目	0.18	0.32	0.28	0.26	−1.60	−3.33	−0.78	−1.08	1.77	
								2回目	0.49	0.13	0.26	0.29	−1.79	−3.80	−0.75	−0.66	2.16	
								3回目	0.34	0.38	0.13	0.28	−1.81	−4.29	−2.51	−0.69	1.46	
	末19	50.16	9.60	60.11	9.62	9.37	8.34	1回目	0.10	0.12	0.29	0.17	−1.34	−4.98	−1.16	−0.96	1.05	
								2回目	0.33	0.37	0.33	0.34	−1.67	−6.34	−3.34	−1.22	1.63	
								3回目	0.37	0.45	0.28	0.37	−1.74	−4.81	−1.43	−0.79	2.17	
	末20	50.17	9.62	60.10	11.24	10.99	9.79	1回目	0.21	0.63	0.43	0.44	−1.44	−3.48	−1.18	−1.02	1.17	
								2回目	0.21	0.23	0.25	0.23	−1.08	−3.46	−1.33	−1.05	0.79	
								3回目	0.22	0.42	0.40	0.35	−1.41	−3.22	−0.76	−0.79	1.04	
	末21	50.20	9.59	60.11	10.76	10.42	9.12	1回目	0.24	0.52	0.30	0.35	※					※計測データNG
								2回目	0.59	0.48	0.16	0.41	−1.85	−4.11	−2.04	−1.54	2.34	
								3回目	0.45	0.37	0.15	0.32	※					
	末22	50.21	9.62	60.00	11.85	11.53	10.04	1回目	0.45	0.30	0.35	0.37	−2.02	−4.42	−2.86	−0.92	2.29	
								2回目	0.23	0.27	0.35	0.28	−1.78	−4.24	−1.11	−0.67	1.58	
								3回目	0.35	0.22	0.26	0.28	−2.02	−4.91	−2.94	−0.76	1.89	
	末23	50.27	9.58	60.18	11.31	10.71	9.35	1回目	0.31	0.29	0.39	0.33	−1.45	−3.51	2.51	−1.38	1.16	
								2回目	0.11	0.11	0.24	0.15	−1.25	−3.58	−0.99	−0.74	0.71	
								3回目	0.26	0.21	0.17	0.21	−1.66	−3.56	−5.46	−1.62	1.80	
	末24	50.24	9.62	60.11	10.34	10.14	8.89	1回目	0.26	0.31	0.13	0.23	※					※計測データNG
								2回目	0.15	0.15	0.21	0.17	−1.25	−2.22	−1.43	−0.66	0.60	
								3回目	0.10	0.11	0.28	0.16	※					
	末25	50.17	9.75	60.22	11.81	11.51	10.05	1回目	0.63	0.56	0.31	0.50	−1.64	−3.01	−3.68	−1.50	2.23	
								2回目	0.23	0.31	0.20	0.25	−1.42	−2.73	−2.27	−0.91	1.31	
								3回目	0.42	0.56	0.54	0.51	−1.71	−3.26	−2.46	−1.30	2.40	
	末26	50.16	9.56	60.18	10.99	10.68	9.32	1回目	0.37	0.36	0.41	0.38	−1.82	−5.23	−1.46	−2.46	3.18	
								2回目	0.51	0.40	0.29	0.40	−1.71	−3.79	−2.45	−0.91	1.42	
								3回目	0.45	0.51	0.56	0.51	−1.97	−4.71	−2.48	−1.99	3.02	
	末27	50.19	9.52	60.07	11.28	11.10	9.92	1回目	0.27	0.36	0.32	0.32	−1.15	−2.06	−1.48	−1.11	1.32	
								2回目	0.14	0.25	0.41	0.27	−1.32	−2.78	−1.00	−0.76	1.28	
								3回目	0.18	0.16	0.20	0.18	−1.06	−2.17	−1.06	−0.73	0.93	
	末28	50.15	9.66	60.05	11.34	11.01	9.62	1回目	0.17	0.33	0.37	0.29	−1.17	−2.32	−3.34	−1.01	1.21	※計測データNG
								2回目	0.45	0.44	0.45	0.45	※					
								3回目	0.41	0.43	0.44	0.43	−1.33	−2.77	−3.16	−2.09	1.43	
	末29	50.01	9.42	59.97	10.89	10.68	9.75	1回目	0.46	0.49	0.54	0.50	−1.35	−2.63	−1.30	−1.32	1.39	
								2回目	0.16	0.18	0.14	0.16	−1.08	−2.06	−4.97	−0.65	0.69	
								3回目	0.16	0.11	0.13	0.13	−1.10	−2.52	−9.84	−0.77	0.75	
	末30	50.10	9.35	60.06	11.46	11.18	10.26	1回目	0.38	0.41	0.43	0.41	−1.16	−2.52	−3.02	−2.29	3.04	
								2回目	0.42	0.25	0.35	0.34	−1.16	−2.35	−0.63	−2.35	2.89	
								3回目	0.34	0.23	0.15	0.24	−1.10	−2.17	−2.24	−0.83	1.24	
	元31	49.90	9.41	59.91	10.52	10.19	9.28	1回目	0.48	0.47	0.34	0.43	−1.59	−3.33	−3.09	−2.16	1.82	
								2回目	0.28	0.43	0.41	0.37	−1.46	−2.76	−0.99	−0.95	1.79	
								3回目	0.17	0.25	0.23	0.22	−1.16	−2.10	−1.66	−1.39	0.73	
	末32	50.01	9.42	59.95	9.04	8.83	8.03	1回目	0.22	0.28	0.20	0.23	−1.62	−2.72	−2.35	−2.37	0.98	
								2回目	0.29	0.34	0.37	0.33	−1.67	−3.14	−2.79	−1.87	1.05	
								3回目	0.18	0.27	0.27	0.24	−1.66	−2.76	−1.99	−1.17	1.12	
	末33	49.76	9.87	59.32	14.62	13.95	12.18	1回目	0.27	0.37	0.26	0.30	−2.05	−5.15	−1.81	−2.29	4.54	
								2回目	0.26	0.35	0.31	0.31	−1.62	−3.74	−2.01	−1.08	1.60	
								3回目	0.56	0.56	0.39	0.50	−2.03	−4.87	−1.64	−1.20	2.92	
	末34	49.67	9.66	59.62	11.74	11.48	10.02	1回目	0.38	0.46	0.34	0.39	−1.93	−3.08	−4.30	−1.44	1.69	
								2回目	0.35	0.20	0.35	0.30	−1.93	−4.96	−3.84	−0.95	1.16	
								3回目	0.12	0.28	0.45	0.28	−1.99	−5.02	−2.33	−1.27	2.99	
	末35	49.99	9.73	59.48	10.61	10.28	8.96	1回目	0.59	0.35	0.49	0.48	−1.40	−2.85	−2.78	−1.08	1.24	
								2回目	0.54	0.50	0.28	0.44	−1.39	−2.58	−3.53	−0.88	1.58	
								3回目	0.28	0.19	0.13	0.20	−1.26	−2.68	−0.91	−0.47	1.50	
	末36	49.62	9.69	58.83	12.58	12.11	10.62	1回目	0.53	0.39	0.43	0.45	−1.66	−3.60	−0.78	−1.98	2.35	
								2回目	0.48	0.46	0.52	0.49	−1.90	−4.56	−1.00	−1.25	2.38	
								3回目	0.37	0.26	0.31	0.31	−1.12	−2.47	−0.74	−1.25	0.90	

表 5.2.5-7　切削試験体及び試験結果の概要(調湿試験体、T 方向(RT 面))

方向	試験体番号	寸法(mm)			重量(g)			切削片の厚さ(mm)					軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		備考
													平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	
		50mm	10mm	60mm	切削前	切削後	切削後(全乾)		T1	T2	T3	平均	各切削片の測定値					
T方向切削（RT面）	末1	49.51	9.58	60.03	11.75	11.39	10.01	1回目	0.41	0.51	0.30	0.41	−8.55	−16.91	−0.81	−4.66	4.57	
								2回目	0.27	0.30	0.30	0.29	−5.33	−13.19	−11.42	−1.73	1.87	
								3回目	0.58	0.20	0.18	0.32	−7.69	−14.74	−8.26	−2.70	6.53	
	末2	49.68	9.53	59.98	11.88	11.53	10.04	1回目	0.30	0.16	0.21	0.22	−4.51	−6.98	−5.20	−5.92	3.98	
								2回目	0.39	0.31	0.39	0.36	−6.80	−12.89	−10.75	−4.05	4.08	
								3回目	0.34	0.34	0.37	0.35	−8.16	−13.62	−7.56	−7.59	7.56	
	末3	50.00	9.55	60.03	11.10	10.68	9.35	1回目	0.29	0.29	0.38	0.32	−6.12	−9.13	−6.38	−4.32	2.51	
								2回目	0.39	0.30	0.37	0.35	−5.55	−11.82	−9.16	−2.21	2.08	
								3回目	0.13	0.19	0.16	0.16	−3.99	−6.28	−5.60	−3.43	2.38	
	末4	50.05	9.59	60.08	13.20	12.67	11.03	1回目	0.24	0.31	0.25	0.27	−5.09	−11.21	−8.01	−1.84	3.23	
								2回目	0.26	0.38	0.47	0.37	−8.43	−26.27	−9.94	−4.08	6.28	
								3回目	0.66	0.54	0.48	0.56	−9.26	−14.90	−8.57	−5.69	5.87	
	末5	50.11	9.57	60.07	11.24	10.76	9.51	1回目	0.33	0.28	0.27	0.29	−8.90	−14.58	−11.37	−4.16	2.85	
								2回目	0.20	0.23	0.31	0.25	−5.12	−9.26	−5.72	−2.43	1.55	
								3回目	0.08	0.19	0.21	0.16	−7.54	−13.31	−9.68	−2.36	4.47	
	末6	50.09	9.63	60.09	11.11	10.80	9.54	1回目	0.11	0.39	0.20	0.23	−6.23	−11.33	−6.17	−4.26	1.59	
								2回目	0.33	0.64	0.31	0.43	−10.88	−18.59	−8.11	−8.89	4.04	
								3回目	0.47	0.46	0.53	0.49	−7.46	−18.98	−8.90	−4.22	2.51	
	末7	50.13	9.56	60.08	9.64	9.09	8.04	1回目	0.66	0.81	0.84	0.77	−14.13	−28.99	−9.21	−7.05	4.54	
								2回目	0.23	0.18	0.19	0.20	−3.90	−7.06	−1.52	−4.93	0.53	
								3回目	0.46	0.21	0.23	0.30	−6.78	−12.65	−6.89	−4.74	1.46	
	末8	50.15	9.60	60.12	10.78	10.20	8.98	1回目	0.53	0.82	0.90	0.75	−12.27	−21.20	−8.02	−4.98	4.70	
								2回目	0.63	0.67	0.59	0.63	−11.14	−17.83	−10.74	−7.78	3.85	
								3回目	0.57	0.12	0.32	0.34	−7.40	−12.29	−7.02	−5.30	1.79	
	末9	49.99	9.65	60.08	10.84	10.55	9.25	1回目	0.37	0.39	0.33	0.36	−8.91	−15.83	−2.82	−4.20	2.46	
								2回目	0.42	0.33	0.43	0.39	−8.16	−21.35	−11.67	−8.11	2.88	
								3回目	0.42	0.38	0.53	0.44	−7.80	−11.69	−7.37	−2.71	5.12	
	末10	49.93	9.56	60.06	11.92	11.38	10.00	1回目	0.14	0.48	0.19	0.27	−9.65	−17.18	−5.77	−5.24	2.58	
								2回目	0.42	0.38	0.46	0.42	−7.12	−17.64	−10.12	−5.04	2.60	
								3回目	0.62	0.67	0.60	0.63	−10.17	−17.34	−8.15	−4.55	6.09	
	末11	50.09	9.56	60.09	10.14	9.90	8.72	1回目	0.35	0.23	0.40	0.33	−6.35	−9.02	−5.21	−3.20	1.24	
								2回目	0.49	0.44	0.43	0.45	−7.12	−23.08	−10.48	−4.34	3.27	
								3回目	0.50	0.47	0.50	0.49	−8.14	−16.53	−5.98	−3.64	2.35	
	末12	49.79	9.59	60.11	11.36	10.96	9.67	1回目	0.47	0.59	0.63	0.56	−11.19	−17.57	−6.38	−3.66	3.46	
								2回目	0.55	0.69	0.76	0.67	−10.38	−16.69	−9.94	−5.43	5.00	
								3回目	0.41	0.24	0.76	0.47	−7.13	−15.24	−2.92	−5.30	5.41	
	末13	50.15	9.63	60.08	10.81	10.47	9.25	1回目	0.41	0.57	0.46	0.48	−8.93	−21.84	−12.11	−7.78	3.99	
								2回目	0.24	0.41	0.27	0.31	−3.58	−8.08	−2.72	−3.59	1.06	
								3回目	0.72	0.53	0.58	0.61	−9.80	−15.40	−13.32	−5.69	4.81	
	末14	50.14	9.58	60.10	8.44	8.25	7.30	1回目	0.37	0.40	0.36	0.38	−5.08	−9.99	−0.20	−4.13	1.26	
								2回目	0.81	0.58	0.46	0.62	−5.74	−21.35	−8.21	−7.16	1.09	
								3回目	0.58	0.45	0.32	0.45	−3.77	−7.72	−0.41	−3.13	0.43	
	末15	50.15	9.64	60.08	7.55	7.31	6.47	1回目	0.47	0.50	0.45	0.47	−4.95	−9.23	−4.76	−3.66	2.12	
								2回目	0.73	0.68	0.60	0.67	−5.19	−8.84	−5.77	−2.53	3.46	
								3回目	0.43	0.38	0.32	0.38	−4.61	−6.75	−5.54	−1.65	3.39	
	末16	50.07	9.60	60.10	8.87	8.62	7.61	1回目	0.27	0.22	0.24	0.24	−4.98	−8.89	−2.86	−4.01	1.00	
								2回目	0.45	0.58	0.65	0.56	−9.63	−21.75	−7.61	−5.30	3.36	
								3回目	0.16	0.25	0.30	0.24	−3.96	−8.29	−2.39	−3.06	0.68	
	末17	50.34	9.62	60.18	12.04	11.75	10.49	1回目	0.43	0.35	0.21	0.33	−10.41	−20.48	−9.05	−5.82	3.20	
								2回目	0.43	0.49	0.42	0.45	−6.50	−15.07	−9.29	−5.71	2.85	
								3回目	0.36	0.13	0.32	0.27	−7.31	−11.83	−5.56	−10.50	2.78	
	末18	50.13	9.60	60.08	11.76	11.54	10.29	1回目	0.25	0.25	0.13	0.21	−7.87	−12.92	−1.35	−3.91	2.19	
								2回目	0.39	0.41	0.46	0.42	−9.81	−27.56	−8.97	−7.06	4.10	
								3回目	0.35	0.52	0.60	0.49	−6.70	−14.94	−6.99	−3.76	3.14	
	末19	50.18	9.61	60.07	9.97	9.79	8.75	1回目	0.21	0.48	0.45	0.38	−8.38	−18.44	−11.51	−4.93	1.13	
								2回目	0.72	0.25	0.33	0.43	−4.75	−10.59	−10.16	−3.45	1.52	
								3回目	0.73	0.30	0.36	0.46	−4.46	−9.05	−1.29	−3.00	0.49	
	末20	50.13	9.65	60.06	10.47	9.65	8.61	1回目	0.42	0.64	0.63	0.56	−6.22	−12.43	−1.27	−6.16	3.22	
								2回目	0.88	0.50	1.01	0.80	−12.62	−25.08	−14.53	−6.23	3.60	
								3回目	0.71	0.70	0.48	0.63	−10.03	−18.07	−11.89	−13.88	3.88	
	末21	50.07	9.59	60.05	11.03	10.73	9.46	1回目	0.88	0.64	0.62	0.71	−11.29	−26.56	−11.16	−11.82	5.15	
								2回目	0.43	0.50	0.35	0.43	−8.08	−12.95	−7.00	−8.43	1.86	
								3回目	0.44	0.41	0.62	0.49	−5.32	−9.16	−2.01	−3.67	2.00	
	末22	50.08	9.58	60.09	11.76	11.42	10.06	1回目	0.44	0.36	0.32	0.37	−8.82	−15.35	−15.12	−3.93	3.85	
								2回目	0.58	0.60	0.47	0.55	−11.62	−17.14	−12.72	−4.26	7.96	
								3回目	0.56	0.54	0.42	0.51	−9.24	−14.29	−13.68	−4.36	6.94	
	末23	50.11	9.58	60.08	11.75	11.48	10.08	1回目	0.61	0.56	0.71	0.63	−10.39	−18.59	−4.94	−5.40	4.25	
								2回目	0.21	0.38	0.29	0.29	−7.61	−25.79	−14.36	−4.89	3.03	
								3回目	0.30	0.87	0.96	0.71	−8.91	−16.99	−10.12	−4.82	7.26	
	末24	50.17	9.56	60.07	10.47	10.13	8.94	1回目	0.38	0.53	0.73	0.55	−14.91	−31.99	−12.34	−6.70	4.15	
								2回目	0.46	0.09	0.63	0.39	−6.76	−14.64	−6.97	−5.05	1.71	
								3回目	0.66	0.70	0.79	0.72	−10.75	−18.11	−11.31	−3.76	6.53	
	末25	50.07	9.58	60.06	12.35	11.70	10.25	1回目	0.46	0.44	0.47	0.46	−10.02	−18.74	−13.70	−4.37	2.88	
								2回目	0.83	0.91	0.75	0.83	−14.11	−25.91	−10.03	−6.77	9.86	
								3回目	0.88	0.97	0.46	0.77	−9.85	−13.82	−11.38	−7.38	7.88	
	末26	50.00	9.59	60.06	10.44	10.14	8.90	1回目	0.54	0.41	0.47	0.47	−8.87	−26.98	−12.08	−7.07	2.72	
								2回目	0.64	0.34	0.67	0.55	−6.92	−18.53	−8.20	−4.14	2.09	
								3回目	0.20	0.13	0.31	0.21	−5.09	−8.86	−3.31	−3.99	0.55	
	末27	50.02	9.62	60.02	11.11	10.80	9.44	1回目	0.37	0.51	0.42	0.43	−9.82	−15.98	−7.98	−7.14	2.90	
								2回目	0.31	0.24	0.36	0.30	−6.75	−12.66	−8.47	−7.79	2.07	
								3回目	0.29	0.40	0.30	0.33	−6.01	−10.74	−3.91	−3.16	1.21	
	末28	50.02	9.56	60.02	10.82	10.14	8.90	1回目	0.61	0.76	0.54	0.64	−9.66	−18.07	−11.98	−9.13	3.72	
								2回目	0.49	0.38	0.39	0.42	−5.90	−11.32	−8.36	−3.97	3.11	
								3回目	0.42	0.49	0.61	0.51	−6.37	−13.10	−8.05	−2.63	1.67	
	末29	49.98	9.57	60.11	11.32	10.71	9.60	1回目	0.19	0.23	0.15	0.19	−7.70	−12.33	−7.40	−5.13	0.47	
								2回目	0.19	0.44	0.40	0.34	−8.34	−14.58	−8.45	−6.62	3.17	
								3回目	0.29	0.37	0.39	0.35	−7.00	−10.69	−8.14	−3.27	2.79	
	末30	50.06	9.55	60.11	9.74	9.33	8.57	1回目	0.24	0.30	0.26	0.27	−7.00	−16.03	−11.93	−11.80	0.28	
								2回目	0.33	0.51	0.33	0.39	−8.82	−18.53	−10.45	−6.26	1.03	
								3回目	0.44	0.16	0.40	0.33	−6.94	−12.74	−12.91	−5.38	0.00	
	末31	49.95	9.49	59.99	11.39	11.13	10.06	1回目	0.20	0.27	0.26	0.24	−9.12	−25.56	−11.31	−10.67	1.24	
								2回目	0.35	0.25	0.70	0.43	−11.22	−19.25	−2.37	−5.87	2.34	
								3回目	0.51	0.28	0.67	0.49	−9.24	−17.51	−10.89	−5.23	1.18	
	末32	50.00	9.54	59.99	9.58	9.17	8.24	1回目	0.41	0.44	0.42	0.42	−13.20	−27.50	−14.43	−7.37	1.01	
								2回目	0.52	0.23	0.32	0.36	−6.78	−14.08	−5.37	−11.05	0.40	
								3回目	0.32	0.21	0.33	0.29	−6.86	−12.73	−3.66	−7.06	0.23	
	末33	50.17	9.52	60.16	14.85	14.04	12.30	1回目	0.99	0.73	1.04	0.92	−16.00	−26.79	−14.20	−7.71	16.56	
								2回目	0.61	0.61	0.67	0.63	−10.82	−18.92	−11.11	−7.02	9.46	
								3回目	0.60	0.64	0.50	0.58	−11.60	−19.29	−14.82	−5.04	10.39	
	末34	50.11	9.55	60.18	12.13	11.77	10.27	1回目	0.51	0.67	0.61	0.60	−15.74	−27.80	−14.00	−6.56	4.28	
								2回目	0.55	0.52	0.58	0.55	−11.26	−15.42	−4.63	−5.23	1.82	
								3回目	0.35	0.39	0.41	0.38	−8.12	−12.27	−9.07	−3.47	0.97	
	末35	50.19	9.52	60.19	10.19	9.81	8.55	1回目	0.38	0.23	0.32	0.31	−9.60	−17.67	−9.57	−4.23	1.26	
								2回目	0.47	0.48	0.43	0.46	−8.07	−22.72	−11.15	−5.41	2.38	
								3回目	0.28	0.26	0.20	0.25	−6.21	−10.71	−8.39	−4.69	0.52	
	末36	50.14	9.54	60.21	12.75	12.31	10.72	1回目	0.42	0.52	0.47	0.47	−7.77	−15.07	−4.63	−8.16	9.21	
								2回目	0.18	0.60	0.64	0.47	−7.33	−23.71	−11.14	−5.17	5.64	
								3回目	0.22	0.62	0.57	0.47	−7.53	−18.23	−6.53	−3.93	6.95	

表 5.2.5-8　試験体及び切削試験結果から得られた特性値(無調湿試験体、L 方向(LR 面))

方向	試験体番号	軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		含水率	密度		備考
		平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	(全乾法)	(試験時)	(含水率15%)	
		平均値					(%)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	
L方向切削（LR面）	末1	−2.21	−3.69	−11.33	−0.71	1.87	17.4	408	400	
	末2	−1.43	−2.66	−7.17	−0.54	1.67	18.8	394	381	
	末3	−1.91	−3.15	−6.03	−0.64	1.65	16.2	381	377	
	末4	−2.07	−3.21	−6.97	−0.75	1.46	15.5	374	372	
	末5	−1.38	−2.55	−7.23	−0.80	1.68	13.2	396	402	
	末6	−1.58	−2.82	−6.00	−0.62	1.44	12.4	378	386	
	末7	−1.15	−1.89	−3.21	−0.83	1.24	12.3	316	323	
	末8	−1.68	−2.97	−4.59	−0.64	1.16	13.2	435	442	
	元9	−1.86	−3.34	−6.14	−0.69	1.65	14.6	373	374	
	末10	−1.36	−2.78	−5.91	−0.93	1.63	14.4	389	391	
	末11	−1.46	−2.89	−7.55	−0.81	1.62	14.0	361	364	
	末12	−1.66	−2.82	−7.08	−0.60	1.44	15.3	375	374	
	末13	−1.99	−3.21	−4.27	−0.74	1.58	13.3	353	358	
	末14	−1.44	−2.52	−7.39	−0.59	1.38	12.2	296	304	
	末15	−1.42	−2.22	−2.94	−0.75	1.13	13.9	285	288	
	末16	−1.13	−1.87	−3.93	−0.70	0.77	13.7	309	312	
	末17	−1.58	−3.11	−6.83	−0.66	1.23	11.3	363	375	
	末18	−1.71	−2.91	−5.63	−0.85	1.44	10.9	364	377	
	末19	−1.08	−2.38	−4.80	−0.67	1.27	10.9	318	330	
	末20	−1.73	−2.86	−7.39	−0.72	1.40	10.9	388	403	
	末21	−1.66	−2.94	−5.54	−0.62	1.46	12.9	370	377	
	末22	−1.88	−3.03	−6.69	−0.75	1.58	13.7	393	397	
	末23	−1.53	−2.77	−5.27	−0.79	1.33	13.3	399	405	
	末24	−1.58	−2.79	−6.56	−0.65	1.27	12.8	329	335	
	末25	−1.95	−3.10	−7.23	−0.82	1.88	12.8	410	418	
	末26	−1.80	−3.53	−7.37	−0.63	1.89	12.3	338	346	
	末27	−1.69	−3.29	−5.14	−0.81	1.30	12.3	354	362	
	末28	−1.96	−3.06	−5.93	−0.78	1.53	12.8	413	421	
	末29	−2.06	−3.15	−3.24	−1.03	0.84	11.8	396	407	
	末30	−1.71	−2.72	−3.65	−0.84	0.80	9.3	347	366	※計測データNG
	末31	−1.77	−2.88	−5.68	−0.90	1.22	11.8	375	386	
	末32	−2.27	−3.99	−5.56	−2.40	1.07	12.0	321	329	計測データNG
	末33	−2.34	−3.69	−10.89	−1.07	1.43	25.1	481	442	
	末34	−2.12	−3.19	−9.11	−0.95	2.04	29.8	517	458	
	末35	−2.08	−3.77	−9.70	−0.48	2.04	28.9	402	359	※計測データNG
	末36	−2.23	−3.52	−6.55	−1.40	1.88	35.5	506	429	※計測データNG

表 5.2.5-9　試験体及び切削試験結果から得られた特性値(無調湿試験体、R 方向(LR 面))

方向	試験体番号	軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		含水率	密度		備考
		平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	(全乾法)	(試験時)	(含水率15%)	
		平均値					(%)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	
R方向切削（LR面）	末1	−1.47	−3.18	−2.54	−1.11	1.29	16.9	408	401	※計測データNG
	末2	−1.52	−3.64	−3.37	−2.03	2.16	19.0	380	367	
	末3	−1.21	−2.60	−2.46	−1.12	1.88	18.0	392	382	
	末4	−1.77	−3.89	−2.56	−1.14	1.20	16.1	373	370	
	末5	−1.32	−3.21	−2.52	−0.97	2.14	13.3	397	403	
	末6	−1.55	−3.27	−5.94	−1.59	2.37	13.4	405	411	
	末7	−1.28	−3.77	−2.92	−0.97	0.95	12.7	330	337	※計測データNG
	末8	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	13.6	426	432	※計測データNG
	末9	−1.63	−7.55	−1.50	−6.88	1.59	15.3	374	373	
	末10	−1.22	−2.91	−1.53	−1.03	1.69	16.2	393	389	
	末11	−1.53	−3.62	−2.69	−1.98	1.03	15.3	375	374	
	末12	−1.23	−2.40	−1.34	−0.91	1.18	15.9	402	398	
	末13	−1.48	−3.08	−2.16	−0.99	1.03	14.1	364	367	
	末14	−1.38	−2.72	−2.07	−1.12	1.43	13.7	296	299	
	末15	−1.71	−3.51	−2.32	−1.11	1.55	13.2	328	333	
	末16	−1.62	−3.55	−2.92	−1.84	1.88	14.0	361	364	
	末17	−1.36	−2.75	−1.06	−1.30	2.34	12.9	363	369	
	末18	−1.03	−5.01	−3.33	−2.07	2.22	12.0	390	401	※計測データNG
	末19	−1.22	−2.59	−3.06	−1.01	1.06	11.9	343	353	
	末20	−1.64	−4.69	−4.14	−2.14	1.62	11.9	377	387	
	末21	−1.55	−3.76	−2.36	−2.12	2.07	14.0	388	391	
	末22	−1.53	−4.39	−1.93	−2.57	1.53	14.3	386	389	
	末23	−1.16	−4.05	−5.46	−1.24	1.75	14.7	384	385	
	末24	−1.11	−3.21	−5.88	−1.99	1.14	16.3	343	339	
	末25	−1.53	−3.28	−1.94	−1.57	1.79	13.6	391	396	
	末26	−1.61	−6.05	−2.40	−1.16	1.89	14.6	362	363	
	末27	−1.43	−4.42	−3.34	−1.28	1.24	15.0	444	444	
	末28	−1.30	−2.95	−1.49	−2.13	2.21	15.1	436	435	
	末29	−1.15	−3.97	−3.24	−1.83	1.52	9.9	389	407	※計測データNG
	末30	−1.23	−4.98	−4.31	−1.23	1.66	8.6	397	420	※計測データNG
	元31	−3.16	−5.64	−3.58	−3.63	1.01	10.0	382	399	
	末32	−1.81	−4.53	−2.64	−4.57	1.80	10.3	324	338	
	末33	−1.47	−3.46	−7.20	−0.96	2.07	49.2	620	478	※計測データNG
	末34	−1.27	−3.72	−7.78	−1.93	1.39	29.2	538	479	
	末35	−1.18	−3.23	−7.72	−1.24	1.47	43.4	459	368	
	末36	−1.42	−3.70	−7.99	−1.13	2.04	90.4	754	455	※計測データNG

表 5.2.5-10　試験体及び切削試験結果から得られた特性値(無調湿試験体、T 方向(RT 面))

方向	試験体番号	軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		含水率	密度		備考
		平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	(全乾法)	(試験時)	(含水率15%)	
		平均値					(%)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	
T方向切削（RT面）	末1	-7.38	-12.24	-6.03	-5.48	5.95	17.8	432	422	
	末2	-5.61	-11.18	-4.37	-2.04	6.85	19.5	401	386	
	末3	-7.16	-11.11	-6.56	-4.17	5.08	16.8	398	392	
	末4	-6.11	-11.41	-6.72	-1.39	5.81	15.7	388	386	
	末5	-6.54	-11.52	-6.92	-3.75	6.01	13.3	391	397	
	末6	-6.06	-9.48	-8.71	-4.72	4.16	13.6	389	394	
	末7	-5.98	-10.58	-4.84	-3.42	2.14	13.2	330	336	2回計測不能
	末8	-7.22	-13.54	-8.16	-2.83	5.28	13.7	410	415	
	末9	-6.81	-14.34	-5.78	-5.28	3.27	15.2	413	412	
	末10	-6.52	-14.27	-9.81	-3.50	6.39	14.9	404	404	
	末11	-4.20	-8.90	-7.20	-3.16	1.64	14.6	328	329	1回計測不能
	末12	-4.69	-11.23	-8.89	-2.10	4.01	16.1	404	401	
	末13	-6.13	-13.33	-13.49	-3.69	3.67	13.3	358	363	
	末14	-3.78	-7.13	-5.72	-2.76	2.73	13.5	280	283	
	末15	-3.04	-6.08	-9.92	-1.68	3.15	13.3	298	302	
	末16	-4.09	-6.50	-7.61	-2.07	2.10	12.8	291	297	
	末17	-5.14	-11.21	-11.59	-5.22	4.91	11.9	381	391	
	末18	-6.41	-10.93	-11.22	-3.38	6.12	12.6	382	390	
	末19	-6.51	-12.71	-11.60	-4.64	2.57	12.0	326	335	
	末20	-7.02	-11.63	-8.24	-4.14	4.72	11.9	370	380	
	末21	-3.64	-10.01	-5.92	-2.89	2.35	13.7	404	409	※計測データNG
	末22	-6.60	-12.91	-15.95	-4.23	5.91	14.5	416	418	
	末23	-5.55	-10.92	-13.37	-4.16	4.58	14.2	387	389	
	末24	-6.17	-15.61	-13.94	-4.97	2.25	13.6	343	348	
	末25	-6.18	-12.69	-15.45	-2.77	3.32	14.1	386	389	
	末26	-5.24	-12.17	-10.42	-5.37	2.82	14.7	358	359	
	末27	-7.62	-18.10	-16.86	-7.94	4.68	6.9	392	421	
	末28	-7.29	-13.03	-7.89	-3.27	4.54	14.2	388	390	
	末29	-6.03	-15.16	-9.52	-3.96	1.72	11.9	398	409	
	末30	-5.09	-10.43	-6.52	-5.16	0.91	9.0	365	385	
	末31	-8.86	-14.04	-10.53	-10.05	2.52	11.8	382	393	※計測データNG
	末32	-6.83	-14.79	-10.21	-5.11	0.83	13.8	326	330	
	末33	-7.80	-13.24	-10.57	-4.03	7.10	24.7	508	468	
	末34	-5.26	-8.54	-6.26	-3.21	4.05	30.5	463	408	
	末35	-7.01	-11.98	-10.69	-4.05	4.45	24.5	397	367	※計測データNG
	末36	-4.36	-7.46	-8.22	-3.91	4.69	25.7	454	415	※計測データNG

表 5.2.5-11　試験体及び切削試験結果から得られた特性値(調湿試験体、L 方向(LR 面))

方向	試験体番号	軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		含水率	密度		備考
		平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	(全乾法)	(試験時)	(含水率15%)	
		平均値					(%)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	
L方向切削（LR面）	末1	−2.19	−4.24	−3.10	−1.23	1.63	13.8	415	419	
	末2	−1.50	−3.20	−2.97	−0.88	1.56	15.1	387	386	
	末3	−1.81	−2.99	−1.28	−0.51	1.89	14.5	383	384	※計測データNG
	末4	−1.88	−3.04	−3.71	−0.40	1.69	14.7	346	347	
	末5	−1.69	−3.32	−3.40	−0.70	1.26	13.2	394	400	※計測データNG
	末6	−1.96	−3.39	−3.36	−0.83	1.68	13.0	369	376	※計測データNG
	末7	−1.50	−2.83	−5.43	−0.71	1.84	13.2	328	333	
	末8	−1.98	−3.95	−3.69	−0.79	1.41	13.7	399	403	※計測データNG
	末9	−2.16	−3.74	−3.69	−1.06	1.76	15.0	407	407	※計測データNG
	末10	−2.31	−4.61	−3.85	−0.96	1.10	14.5	404	406	※計測データNG
	末11	−1.60	−2.59	−2.42	−0.64	1.65	14.3	400	402	
	末12	−2.05	−3.47	−3.45	−0.83	1.38	14.0	392	396	
	末13	−2.40	−4.56	−4.53	−0.96	1.83	13.5	375	380	
	末14	−1.48	−3.06	−4.02	−0.71	1.28	13.6	295	299	※計測データNG
	末15	−1.44	−2.59	−2.95	−0.35	1.62	13.6	269	273	※計測データNG
	末16	−1.24	−2.36	−1.69	−0.58	0.99	13.9	320	323	
	末17	−1.96	−3.49	−2.19	−0.71	1.98	11.9	377	387	※計測データNG
	末18	−1.68	−3.18	−2.85	−0.85	1.58	11.9	392	403	
	末19	−1.82	−3.35	−1.32	−0.74	1.64	11.9	332	341	
	末20	−1.71	−3.43	−4.11	−0.84	1.76	11.7	365	376	
	末21	−1.68	−2.95	−3.18	−0.79	1.43	13.4	380	385	※計測データNG
	元22	−1.56	−3.51	−4.29	−0.79	1.98	14.2	411	414	
	末23	−1.74	−3.12	−4.35	−0.71	1.51	14.1	404	407	
	末24	−2.07	−3.45	−4.38	−0.84	1.50	13.4	341	346	
	末25	−2.26	−3.52	−3.34	−1.15	1.69	14.1	422	425	※計測データNG
	末26	−1.54	−2.94	−3.71	−0.81	1.72	13.8	330	333	
	末27	−1.76	−3.50	−6.25	−0.78	1.46	14.0	340	343	
	末28	−1.64	−2.87	−3.10	−0.85	1.45	13.6	384	389	
	末29	−2.38	−3.62	−4.06	−1.02	1.38	11.3	398	411	
	末30	−1.50	−2.76	−4.19	−0.79	0.85	9.2	347	365	
	末31	−1.80	−3.03	−3.39	−0.51	1.59	10.9	375	389	
	末32	−1.65	−2.87	−3.24	−0.91	1.11	10.9	318	330	
	末33	−2.28	−3.82	−3.03	−0.67	1.74	14.3	496	499	
	末34	−1.77	−2.97	−3.41	−0.77	1.39	15.3	423	422	
	末35	−1.54	−2.99	−3.32	−0.63	1.36	14.5	361	363	
	末36	−1.78	−2.81	−3.54	−0.82	1.34	14.7	448	449	

表 5.2.5-12　試験体及び切削試験結果から得られた特性値(調湿試験体、R 方向(LR 面))

方向	試験体番号	軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		含水率	密度		備考
		平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	(全乾法)	(試験時)	(含水率15%)	
		平均値					(%)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	
R方向切削（LR面）	末1	−2.12	−3.54	−6.69	−1.48	2.21	13.8	383	387	※計測データNG
	末2	−2.32	−4.80	−5.59	−3.24	1.09	14.6	378	379	
	末3	−1.83	−2.97	−1.61	−1.49	1.36	14.7	396	397	※計測データNG
	末4	−1.78	−3.89	−7.87	−1.42	0.89	15.1	352	352	
	末5	−1.98	−3.42	−5.79	−0.99	1.44	14.2	391	394	※計測データNG
	末6	−1.64	−3.60	−1.50	−1.78	2.12	13.9	400	404	※計測データNG
	末7	−1.69	−4.45	−2.37	−2.06	1.20	12.8	337	344	
	末8	−1.74	−3.43	−6.03	−1.32	1.34	13.4	415	421	※計測データNG
	末9	−1.46	−5.24	−6.72	−1.98	1.23	14.5	370	371	
	末10	−1.26	−2.81	−3.21	−1.53	1.24	15.2	390	390	
	末11	−1.80	−4.61	−7.39	−3.97	1.36	14.8	379	379	※計測データNG
	末12	−1.70	−6.05	−5.01	−3.48	0.93	14.5	391	393	
	末13	−1.66	−3.08	−4.93	−0.96	1.11	14.3	366	368	
	元14	−2.01	−4.18	−5.09	−2.47	1.93	14.5	0	0	
	末15	−1.28	−3.02	−1.96	−0.77	1.82	14.3	288	290	
	末16	−1.31	−2.78	−2.73	−0.88	1.15	14.5	312	313	
	末17	−1.58	−3.38	−1.38	−0.92	1.25	12.3	389	399	
	末18	−1.73	−3.81	−1.35	−0.81	1.80	12.2	396	406	
	末19	−1.58	−5.38	−1.98	−0.99	1.62	12.4	332	340	
	末20	−1.31	−3.39	−1.09	−1.15	1.20	12.3	388	397	
	末21	−1.85	−4.11	−2.04	−1.54	2.34	14.3	372	374	※計測データNG
	末22	−1.94	−4.52	−2.30	−0.78	1.92	14.8	409	409	
	末23	−1.45	−3.55	−1.31	−1.25	1.22	14.5	390	392	
	末24	−1.25	−2.22	−1.43	−0.66	0.60	14.1	356	359	※計測データNG
	末25	−1.59	−3.00	−2.80	−1.24	1.98	14.5	401	403	
	末26	−1.84	−4.58	−2.13	−1.79	2.54	14.6	381	382	
	末27	−1.18	−2.34	−1.18	−0.87	1.18	11.9	393	404	
	末28	−1.25	−2.54	−3.25	−1.55	1.32	14.4	390	392	※計測データNG
	末29	−1.18	−2.41	−5.40	−0.91	0.94	9.5	385	405	
	末30	−1.14	−2.35	−1.96	−1.82	2.39	9.0	407	430	
	元31	−1.40	−2.73	−1.92	−1.50	1.45	9.8	374	392	
	末32	−1.65	−2.87	−2.38	−1.80	1.05	10.0	320	335	
	末33	−1.90	−4.59	−1.82	−1.52	3.02	14.5	502	504	
	末34	−1.95	−4.35	−3.49	−1.22	1.95	14.6	410	412	
	末35	−1.35	−2.71	−2.40	−0.81	1.44	14.7	367	368	
	末36	−1.56	−3.55	−0.84	−1.49	1.88	14.0	445	449	

表 5.2.5-13　試験体及び切削試験結果から得られた特性値(調湿試験体、T 方向(RT 面))

方向	試験体番号	軸方向の荷重(kgf)			横方向の荷重(kgf)		含水率	密度		備考
		平均値	最小値	傾き(kgf/ms)	最小値	最大値	(全乾法)	(試験時)	(含水率15%)	
		平均値					(%)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	
T方向切削（RT面）	末1	-7.19	-14.95	-6.83	-3.03	4.32	13.8	413	417	
	末2	-6.49	-11.16	-7.84	-5.86	5.20	14.8	418	419	
	末3	-5.22	-9.08	-7.05	-3.32	2.33	14.2	387	390	
	末4	-7.59	-17.46	-8.84	-3.87	5.13	14.9	458	458	
	末5	-7.19	-12.38	-8.93	-2.99	2.95	13.1	390	397	
	末6	-8.19	-16.30	-7.73	-5.79	2.71	13.2	383	389	
	末7	-8.27	-16.23	-5.87	-5.57	2.18	13.1	335	341	
	末8	-10.27	-17.11	-8.59	-6.02	3.44	13.6	372	377	
	末9	-8.29	-16.29	-7.29	-5.01	3.48	14.1	374	377	
	末10	-8.98	-17.38	-8.01	-4.94	3.76	13.8	416	420	
	末11	-7.20	-16.21	-7.22	-3.73	2.29	13.5	352	357	
	末12	-9.57	-16.50	-6.41	-4.80	4.62	13.3	396	402	
	末13	-7.44	-15.10	-9.38	-5.69	3.29	13.2	373	379	
	末14	-4.86	-13.02	-2.94	-4.80	0.92	13.0	292	297	
	末15	-4.92	-8.27	-5.36	-2.62	2.99	13.0	260	265	
	末16	-6.19	-12.97	-4.29	-4.12	1.68	13.3	307	312	
	末17	-8.07	-15.80	-7.97	-7.34	2.94	12.0	413	424	
	末18	-8.13	-18.48	-5.77	-4.91	3.14	12.1	407	417	
	末19	-5.86	-12.69	-7.65	-3.79	1.05	11.9	344	354	
	末20	-9.62	-18.53	-9.23	-9.45	3.57	12.1	360	370	
	末21	-8.23	-16.22	-6.72	-7.97	3.00	13.4	383	388	
	末22	-9.90	-15.59	-13.84	-4.18	6.25	13.5	408	413	
	末23	-8.97	-20.46	-9.81	-5.04	4.85	13.9	407	411	
	末24	-10.81	-21.58	-10.21	-5.17	4.13	13.3	363	369	
	末25	-11.33	-19.49	-11.70	-6.17	6.87	14.1	429	432	
	末26	-6.96	-18.12	-7.86	-5.07	1.79	13.9	363	366	
	末27	-7.53	-13.13	-6.79	-6.03	2.06	14.4	385	387	
	末28	-7.31	-14.16	-9.46	-5.24	2.83	13.9	377	381	
	末29	-7.68	-12.53	-8.00	-5.00	2.14	11.6	394	406	
	末30	-7.59	-15.77	-11.76	-7.82	0.44	8.9	339	358	
	末31	-9.86	-20.78	-8.19	-7.26	1.58	10.6	401	416	
	末32	-8.95	-18.10	-7.82	-8.49	0.55	11.3	335	346	
	末33	-12.81	-21.67	-13.38	-6.59	12.13	14.1	517	521	
	末34	-11.71	-18.50	-9.23	-5.09	2.36	14.6	421	423	
	末35	-7.96	-17.03	-9.71	-4.78	1.39	14.7	354	355	
	末36	-7.54	-19.01	-7.43	-5.75	7.27	14.8	443	443	

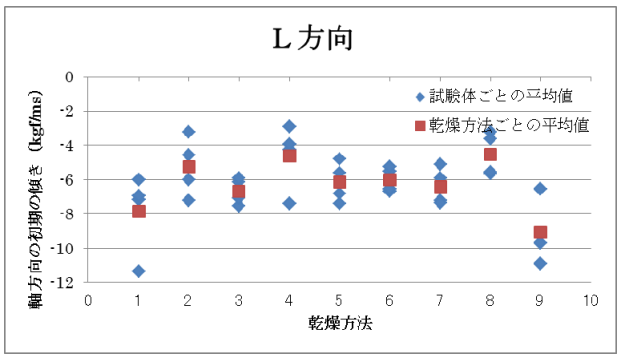


図 5.2.5-5　含水率
（無調湿試験体、L 方向(LR 面)）

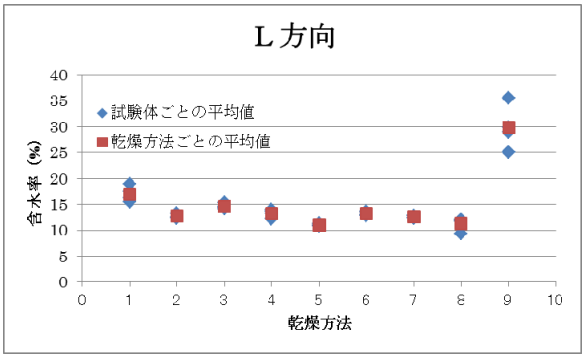


図 5.2.5-9　軸方向の初期の傾き
（無調湿試験体、L 方向(LR 面)）

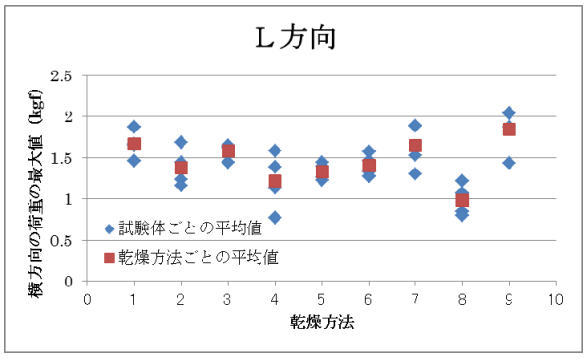


図 5.2.5-6　密度 - 15%
（無調湿試験体、L 方向(LR 面)）

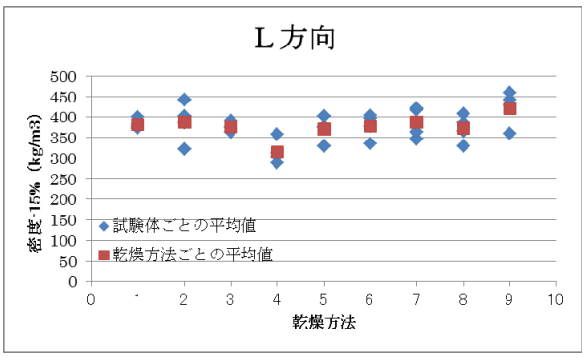


図 5.2.5-10　横方向の荷重の最大値
（無調湿試験体、L 方向(LR 面)）

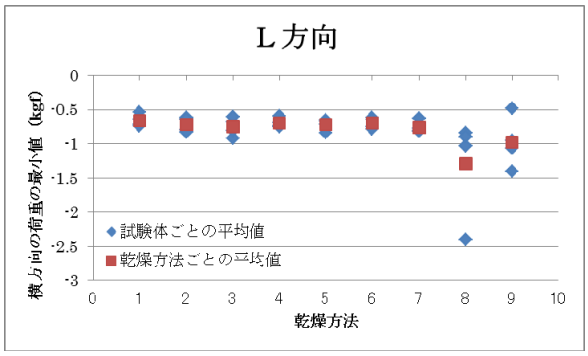


図 5.2.5-7　軸方向の荷重の平均値
（無調湿試験体、L 方向(LR 面)）

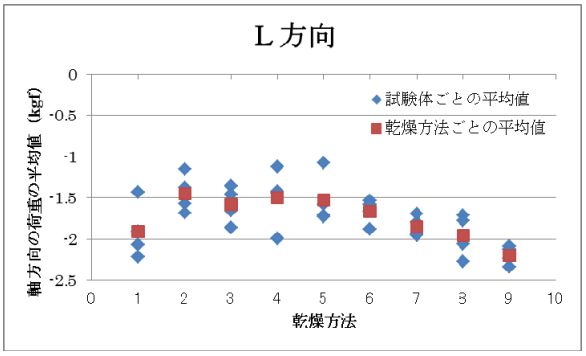


図 5.2.5-11　横方向の荷重の最小値
（無調湿試験体、L 方向(LR 面)）

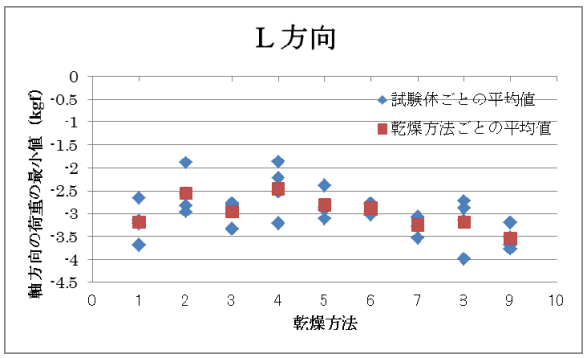


図 5.2.5-8　軸方向の荷重の最小値
（無調湿試験体、L 方向(LR 面)）

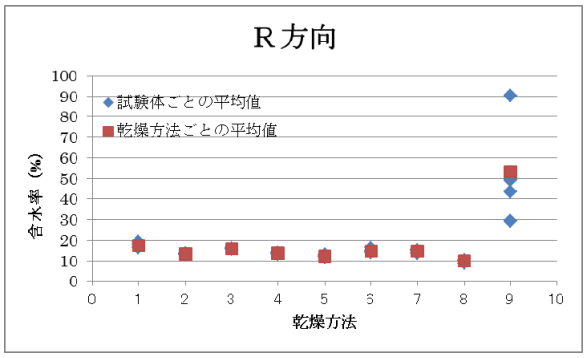


図 5.2.5-12　含水率
（無調湿試験体、R 方向（LR 面））

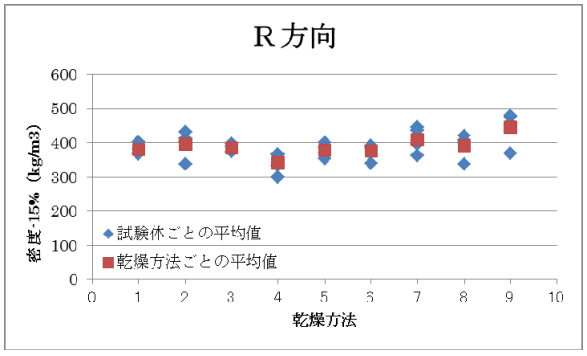


図 5.2.5-13　密度 - 15%
（無調湿試験体、R 方向（LR 面））

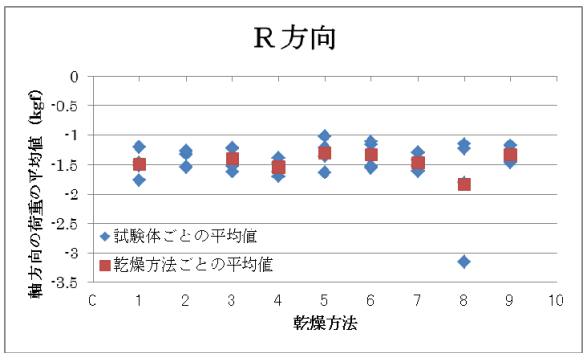


図 5.2.5-14　軸方向の荷重の平均値
（無調湿試験体、R 方向（LR 面））

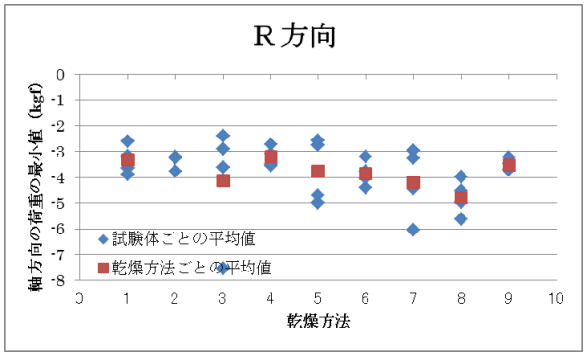


図 5.2.5-15　軸方向の荷重の最小値
（無調湿試験体、R 方向（LR 面））

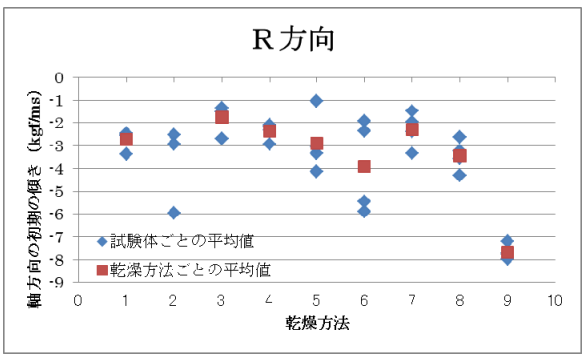


図 5.2.5-16　軸方向の初期の傾き
（無調湿試験体、R 方向（LR 面））

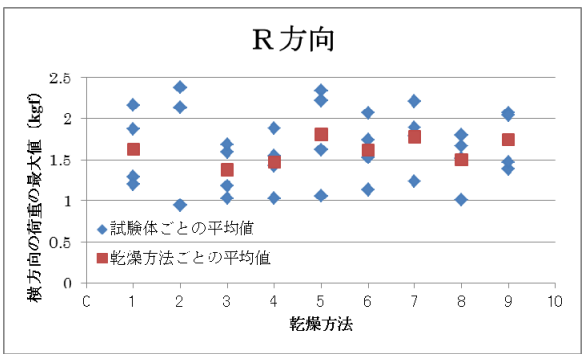


図 5.2.5-17　横方向の荷重の最大値
（無調湿試験体、R 方向（LR 面））

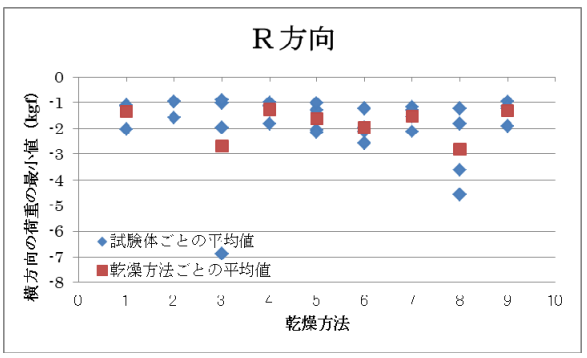


図 5.2.5-18　横方向の荷重の最小値
（無調湿試験体、R 方向（LR 面））

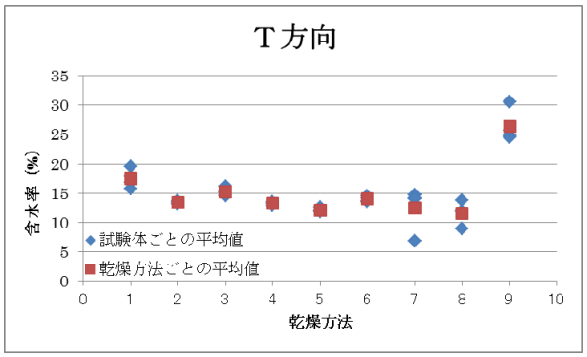


図 5.2.5-19　含水率
（無調湿試験体、T 方向（RT 面））

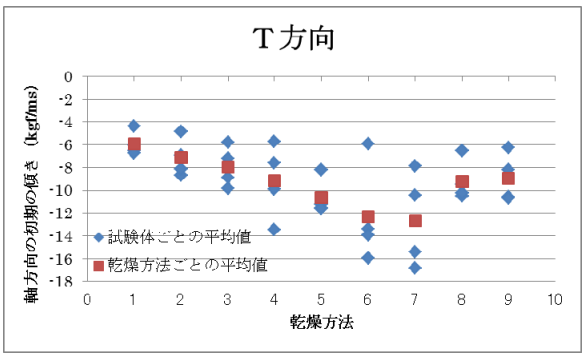


図 5.2.5-23　軸方向の初期の傾き
（無調湿試験体、T 方向（RT 面））

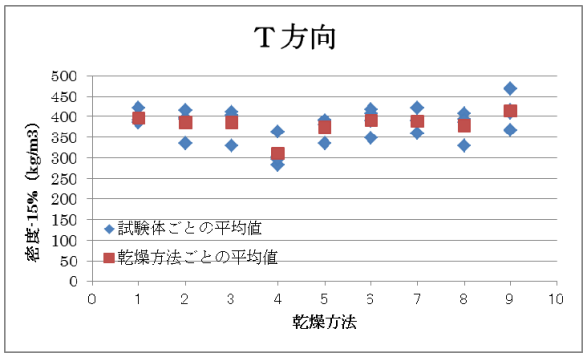


図 5.2.5-20　密度 - 15%
（無調湿試験体、T 方向（RT 面））

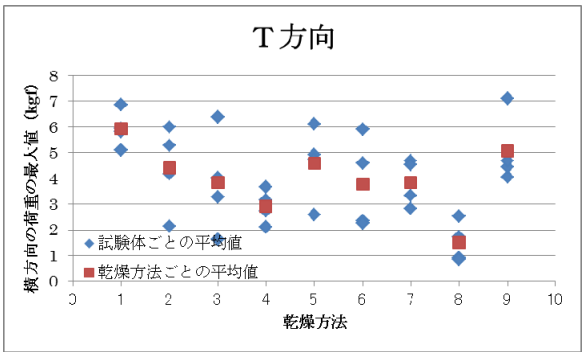


図 5.2.5-24　横方向の荷重の最大値
（無調湿試験体、T 方向（RT 面））

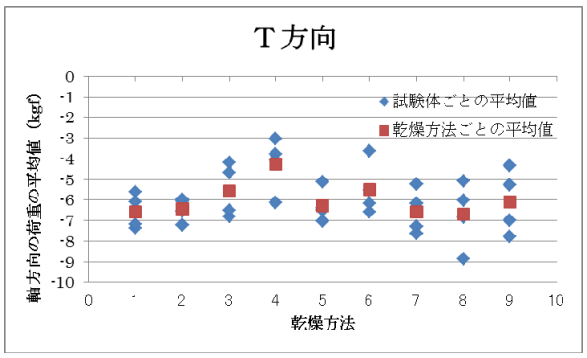


図 5.2.5-21　軸方向の荷重の平均値
（無調湿試験体、T 方向（RT 面））

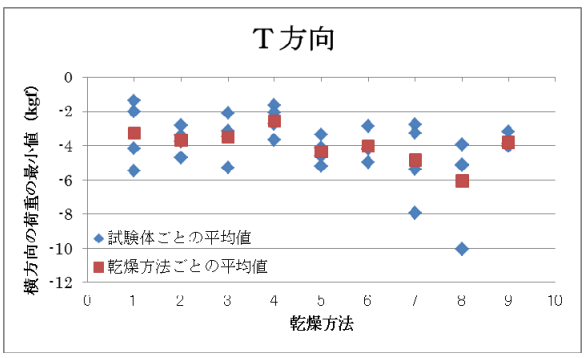


図 5.2.5-25　横方向の荷重の最小値
（無調湿試験体、T 方向（RT 面））

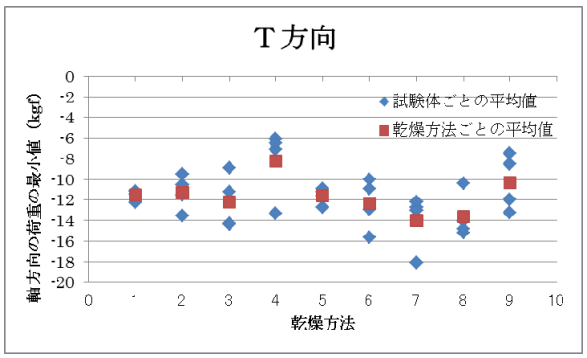


図 5.2.5-22　軸方向の荷重の最小値
（無調湿試験体、T 方向（RT 面））

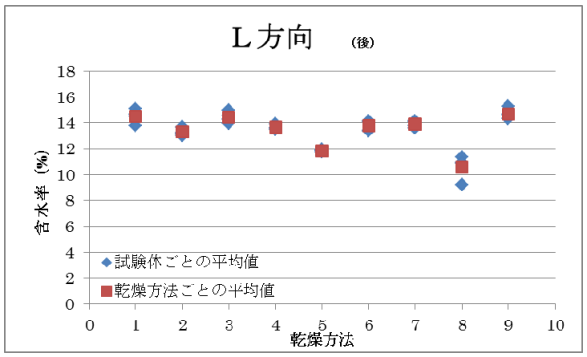


図 5.2.5-26　含水率
（調湿試験体、L 方向（LR 面））

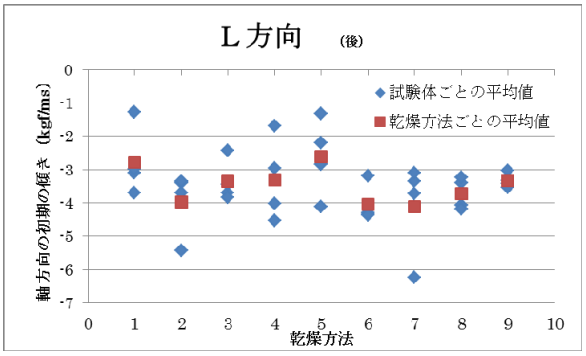


図 5.2.5-30　軸方向の初期の傾き
（調湿試験体、L 方向（LR 面））

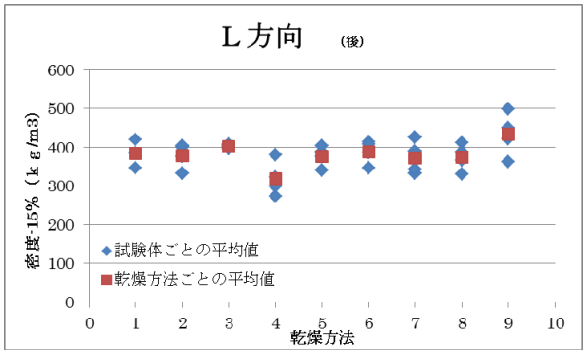


図 5.2.5-27　密度 - 15%
（調湿試験体、L 方向（LR 面））

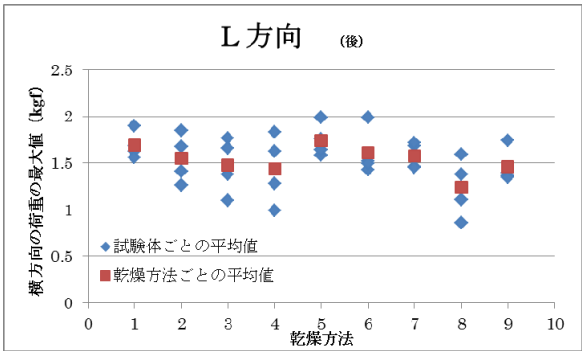


図 5.2.5-31　横方向の荷重の最大値
（調湿試験体、L 方向（LR 面））

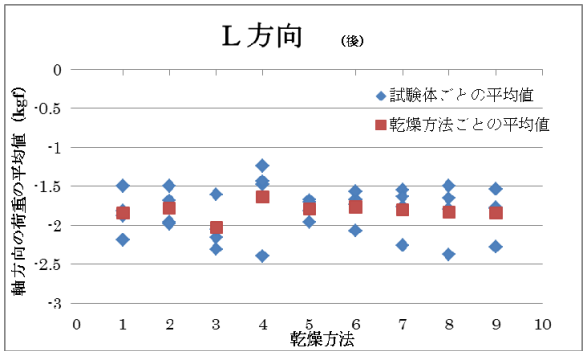


図 5.2.5-28　軸方向の荷重の平均値
（調湿試験体、L 方向（LR 面））

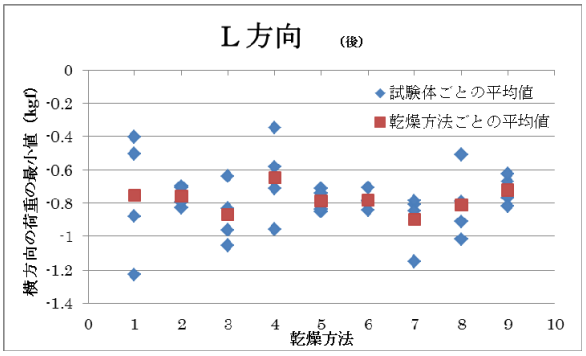


図 5.2.5-32　横方向の荷重の最小値
（調湿試験体、L 方向（LR 面））

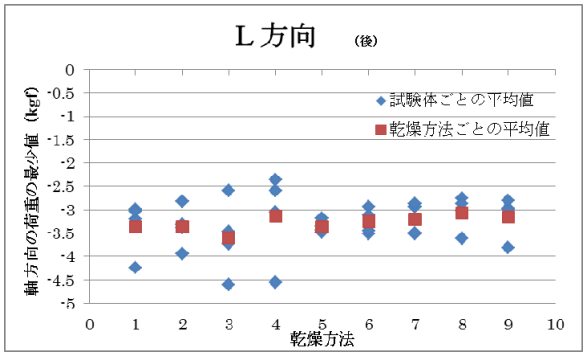


図 5.2.5-29　軸方向の荷重の最小値
（調湿試験体、L 方向（LR 面））

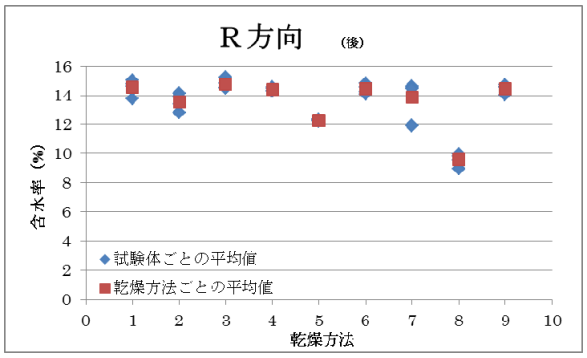


図 5.2.5-33　含水率
（調湿試験体、R 方向（LR 面））

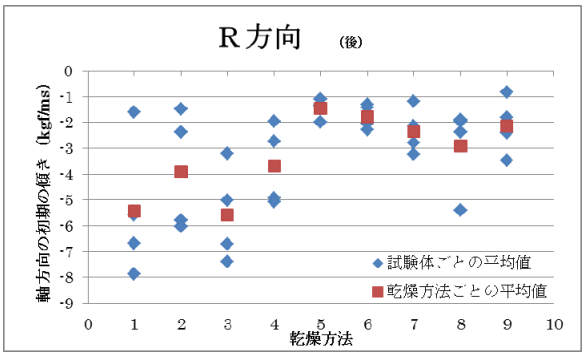


図 5.2.5-37　軸方向の初期の傾き
（調湿試験体、R 方向（LR 面））

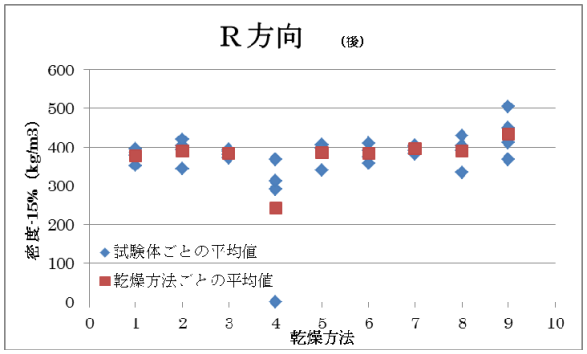


図 5.2.5-34　密度 - 15%
（調湿試験体、R 方向（LR 面））

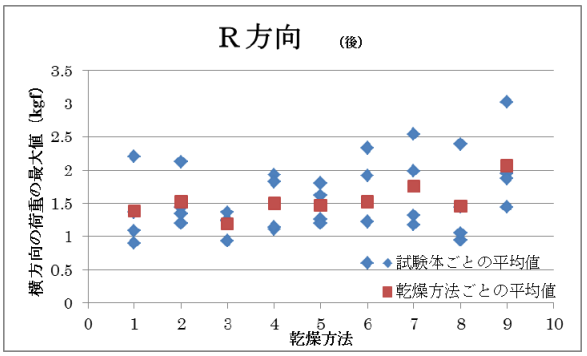


図 5.2.5-38　横方向の荷重の最大値
（調湿試験体、R 方向（LR 面））

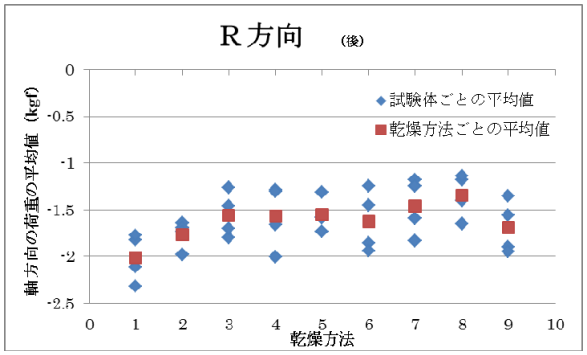


図 5.2.5-35　軸方向の荷重の平均値
（調湿試験体、R 方向（LR 面））

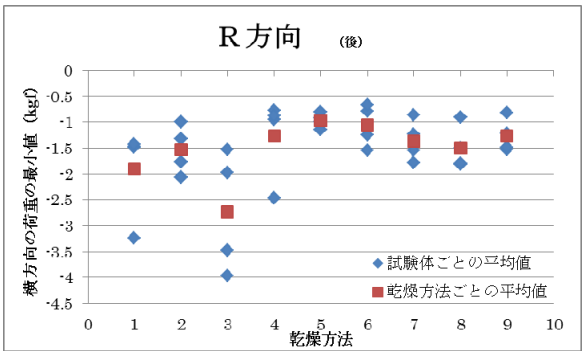


図 5.2.5-39　横方向の荷重の最小値
（調湿試験体、R 方向（LR 面））

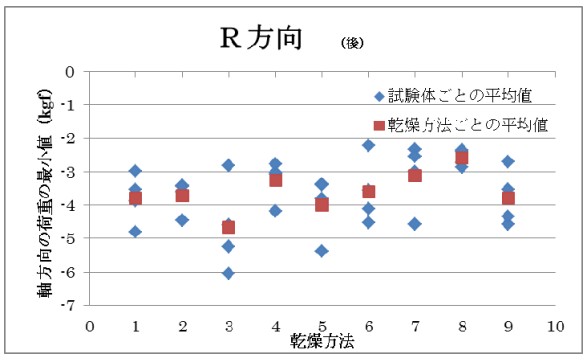


図 5.2.5-36　軸方向の荷重の最小値
（調湿試験体、R 方向（LR 面））

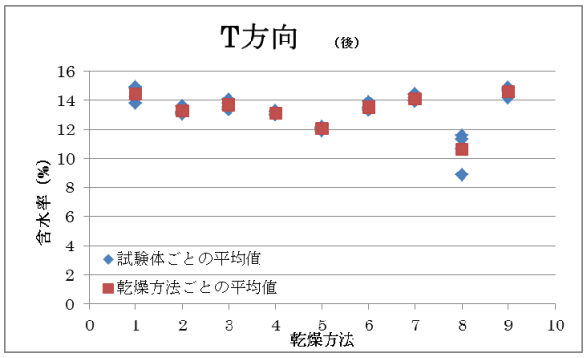


図 5.2.5-40　含水率
（調湿試験体、T 方向（RT 面））

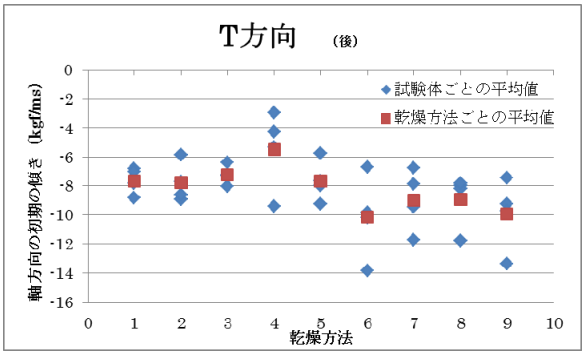


図 5.2.5-44　軸方向の初期の傾き
（調湿試験体、T 方向（RT 面））

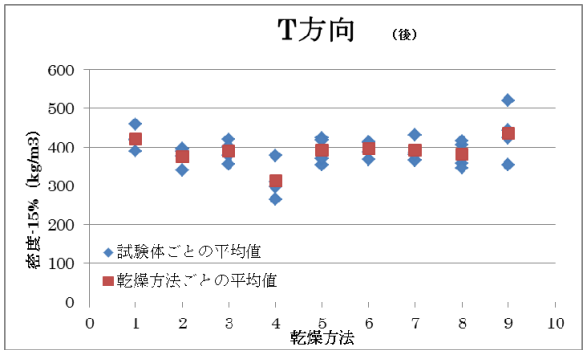


図 5.2.5-41　密度 - 15%
（調湿試験体、T 方向（RT 面））

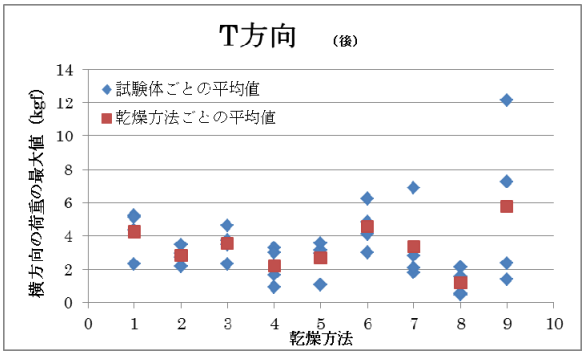


図 5.2.5-45　横方向の荷重の最大値
（調湿試験体、T 方向（RT 面））

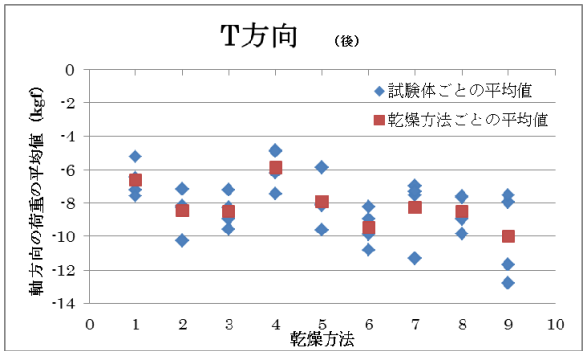


図 5.2.5-42　軸方向の荷重の平均値
（調湿試験体、T 方向（RT 面））

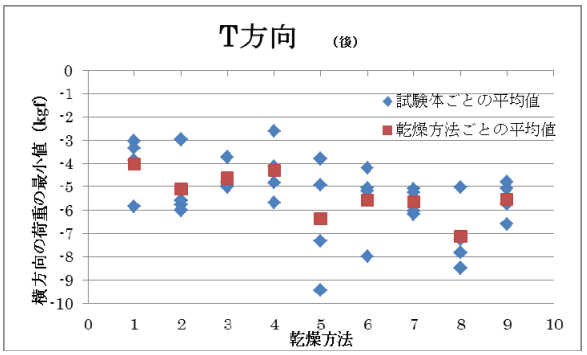


図 5.2.5-46　横方向の荷重の最小値
（調湿試験体、T 方向（RT 面））

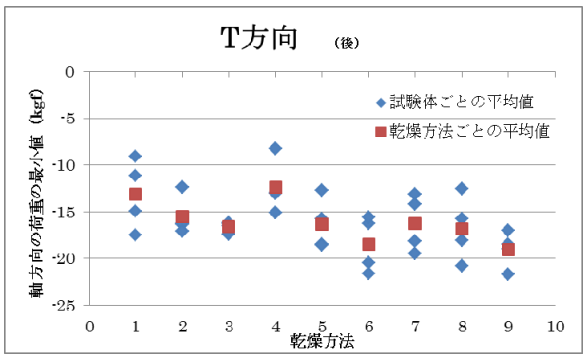


図 5.2.5-43　軸方向の荷重の最小値
（調湿試験体、T 方向（RT 面））

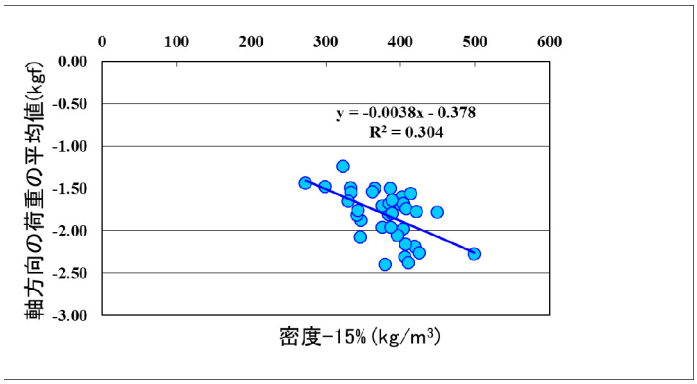


図 5.2.5-47　気乾密度と軸方向の荷重の平均値との関係（調湿試験体、L 方向（LR 面））

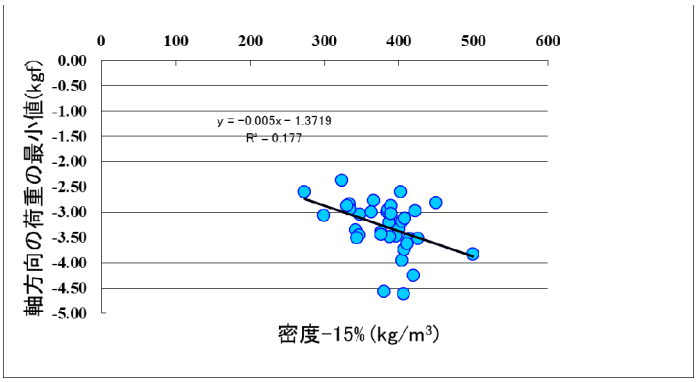


図 5.2.5-48　気乾密度と軸方向の荷重の最小値との関係（調湿試験体、L 方向（LR 面））

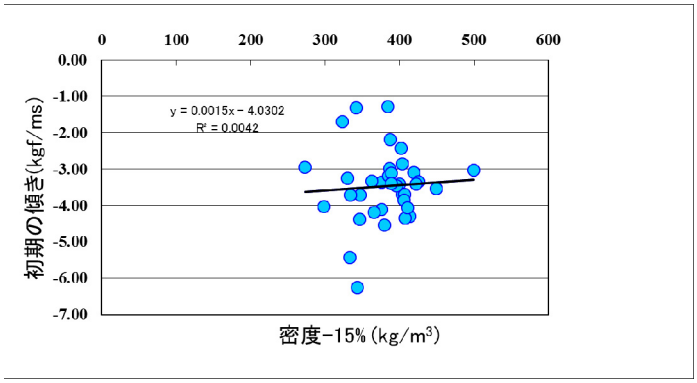


図 5.2.5-49　気乾密度と軸方向の初期の傾きとの関係（調湿試験体、L 方向（LR 面））

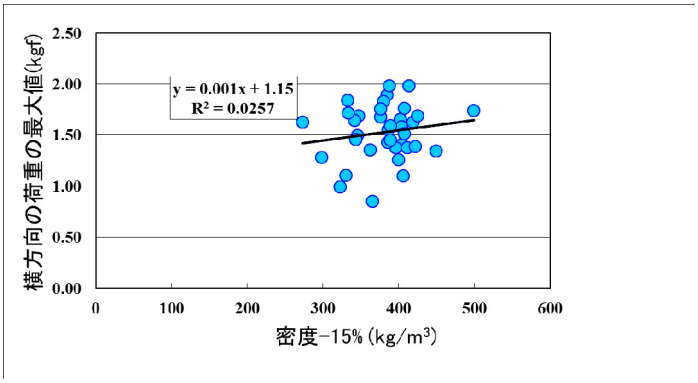


図 5.2.5-50　気乾密度と横方向の荷重の最大値との関係（調湿試験体、L 方向（LR 面））

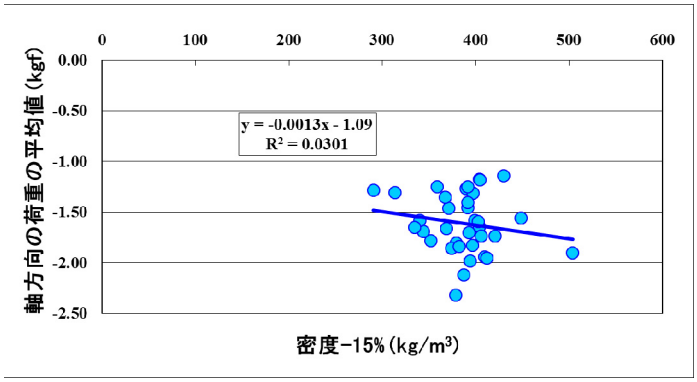


図 5.2.5-51　気乾密度と軸方向の荷重の平均値との関係（調湿試験体、R 方向（LR 面））

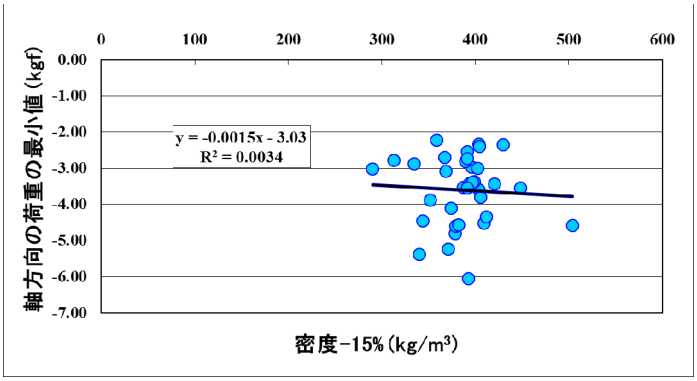


図 5.2.5-52　気乾密度と軸方向の荷重の最大値との関係（調湿試験体、R 方向（LR 面））

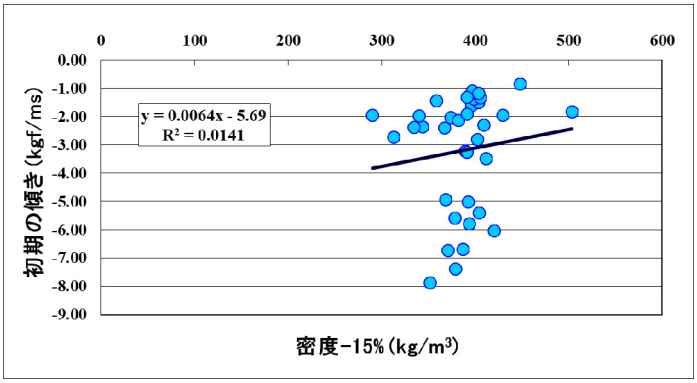


図 5.2.5-53　気乾密度と軸方向の初期の傾きとの関係（調湿試験体、R 方向（LR 面））

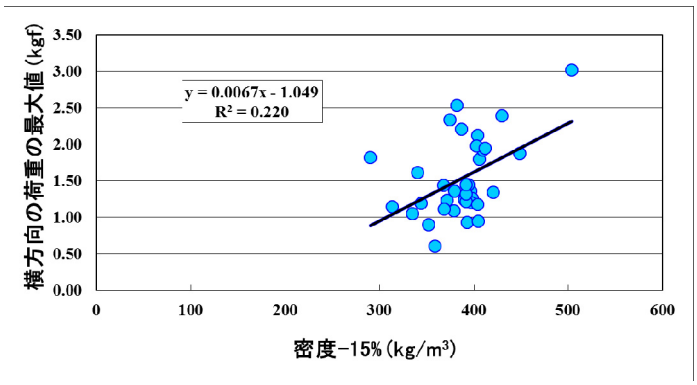


図 5.2.5-54　気乾密度と横方向の荷重の最大値との関係（調湿試験体、R 方向（LR 面））

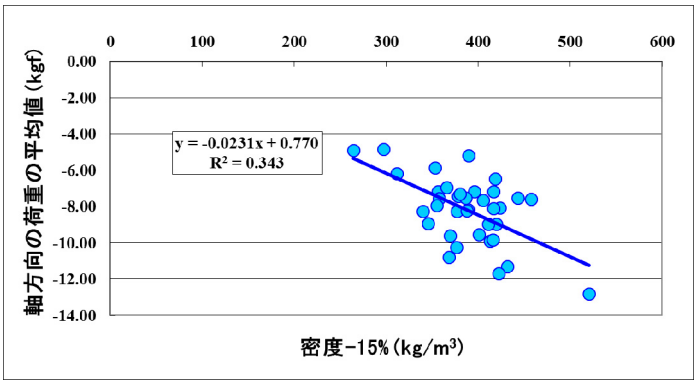


図 5.2.5-55　気乾密度と軸方向の荷重の平均値との関係（調湿試験体、T 方向（RT 面））

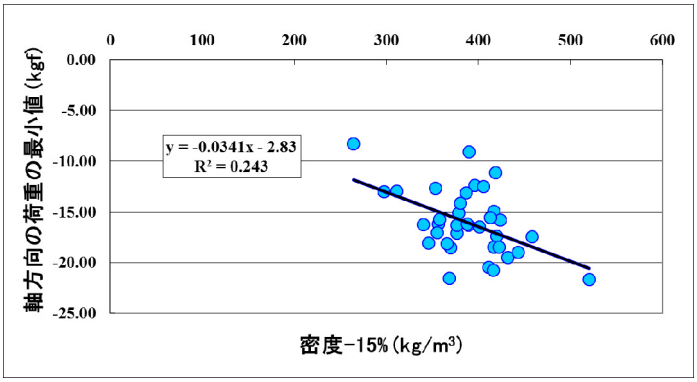


図 5.2.5-56　気乾密度と軸方向の荷重の最小値との関係（調湿試験体、T 方向（RT 面））

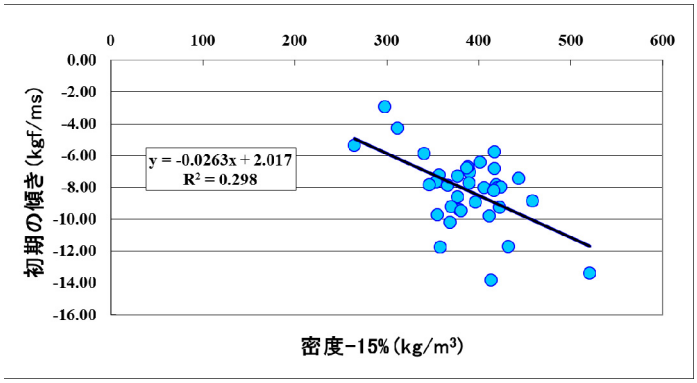


図 5.2.5-57　気乾密度と軸方向の傾きとの関係（調湿試験体、T 方向（RT 面））

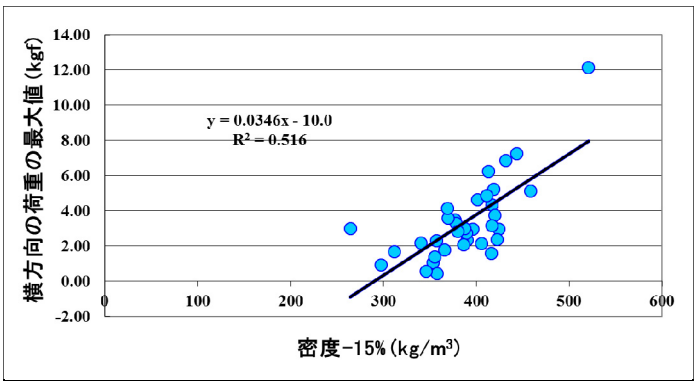


図 5.2.5-58　気乾密度と横方向の荷重の最大値との関係（調湿試験体、T 方向（RT 面））

表 5.2.5.-13　未乾燥材の調湿前後における切削試験結果の比較

乾燥方法	切削方向（切削面）	切削時期	軸方向の荷重			横方向の荷重		含水率（全乾法）	密度-15%
			平均値 (kgf)	最小値 (kgf)	傾き (kgf/ms)	最小値 (kgf)	最大値 (kgf)	(%)	(kg/m^3)
未乾燥 9	L方向（LR面）	調湿前	−2.20	−3.54	−9.06	−0.98	1.85	29.8	422
		調湿後	−1.84	−3.15	−3.32	−0.72	1.46	14.7	433
	R方向（LR面）	調湿前	−1.34	−3.53	−7.67	−1.31	1.74	53.1	445
		調湿後	−1.69	−3.80	−2.14	−1.26	2.07	14.5	433
	T方向（RT面）	調湿前	−6.11	−10.30	−8.93	−3.80	5.07	26.4	415
		調湿後	−10.00	−19.05	−9.94	−5.55	5.79	14.6	435

5.2.6 葉枯らし乾燥が土台の割裂性能に与える影響

(1) 試験の概要

長ほぞ込栓接合部を模して、鋼製の込栓およびほぞ治具を用いた土台の割裂試験を行った。土台をスパン 800mm で支持し、中央に設けた貫通ほぞ穴（90×36mm）に鋼製の治具を挿入し、鋼製の込栓(18×18mm)を介して土台に圧縮力を加えた。なお、込栓の打ち込み位置は伝統構法によく用いられる方法に準拠し、込栓の下端(ここでは上端)が土台の中心軸上にくるように位置した。すなわち、込栓の上端(ここでは下端)と土台の縁との距離は 42mm とした。

実務者は込栓の穴を加工する際に、干割れの発生を見据え、割れの少ない面に込栓穴がくるように加工するとされる。ここでは、万一干割れの生じた面に込栓穴が来た場合に、干割れが割裂性能におよぼす影響を評価するために①通常実務者が加工する面に込栓穴を設けた試験体と②通常実務者が加工する面に直交する面に込栓穴を設けた試験体の 2 種類を同数用意した。すなわち、②の条件では干割れが最も激しい面に込栓穴が設けられていることとなる。

(2) 干割れの計測

試験前に土台における干割れの計測を行った。込栓の挿入される土台両側面において、込栓位置を中心に両側 300mm ずつを計測範囲とした。込栓位置から、20mm、150mm、300mm 離れた位置でそれぞれ干割れの土台上端からの位置、干割れ幅、干割れ深さを記録した。

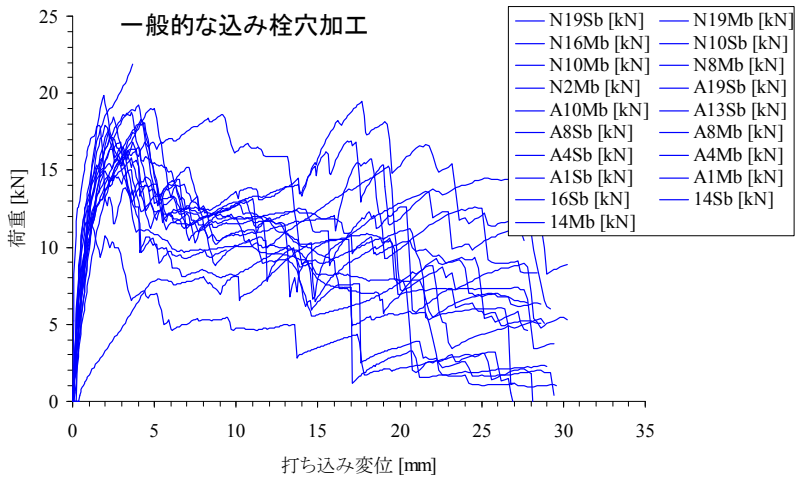
(3) 土台割裂試験と評価方法

Instron100kN 万能試験機を用いて変位速度 5mm/min で単調載荷し、ほぞ治具と土台の相対変位を計測した。込栓挿入部から土台は割裂を生じるが、変形が概ね 30mm に達するまで加力を続けた。

土台の割裂性能は次式の割裂破壊定数 Cr で評価した。

$$C_r = \frac{P_{\max}}{2b}\sqrt{\frac{1}{h_e}-\frac{1}{h}}$$

ここに Pmax は最大荷重、b は土台幅(mm)、he は込栓と土台の縁距離(42mm)、h は土台のせい(120mm)である。



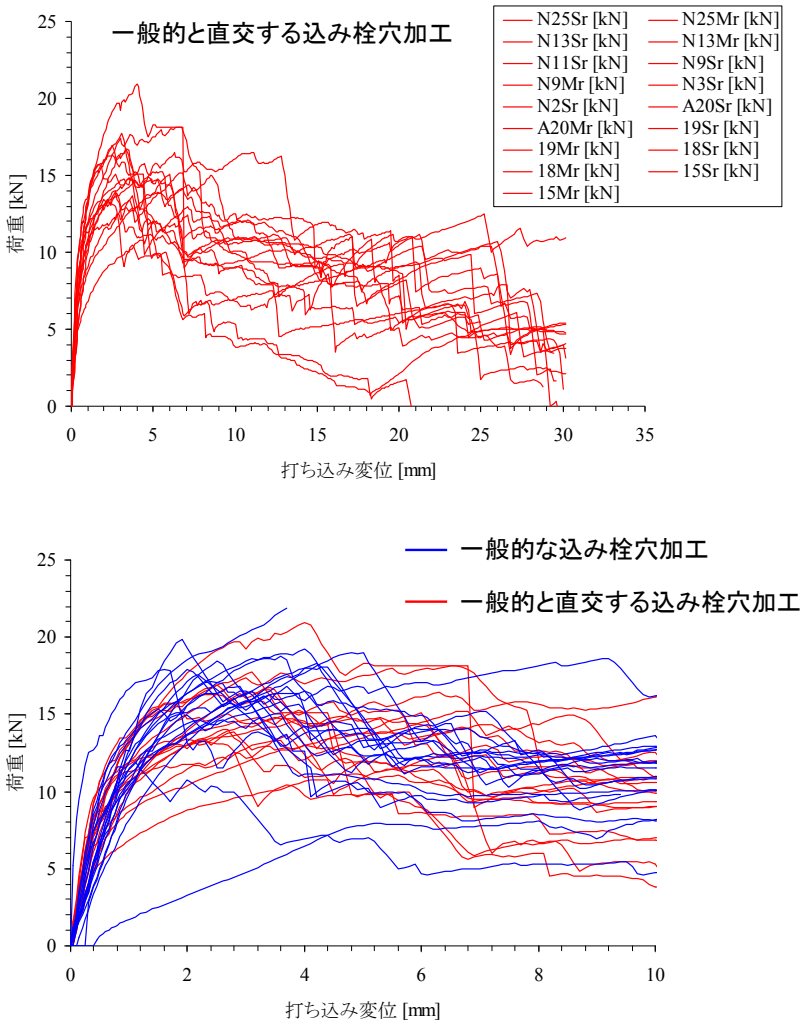


図 5.2.6-1　込み栓の打ち込み変位と荷重

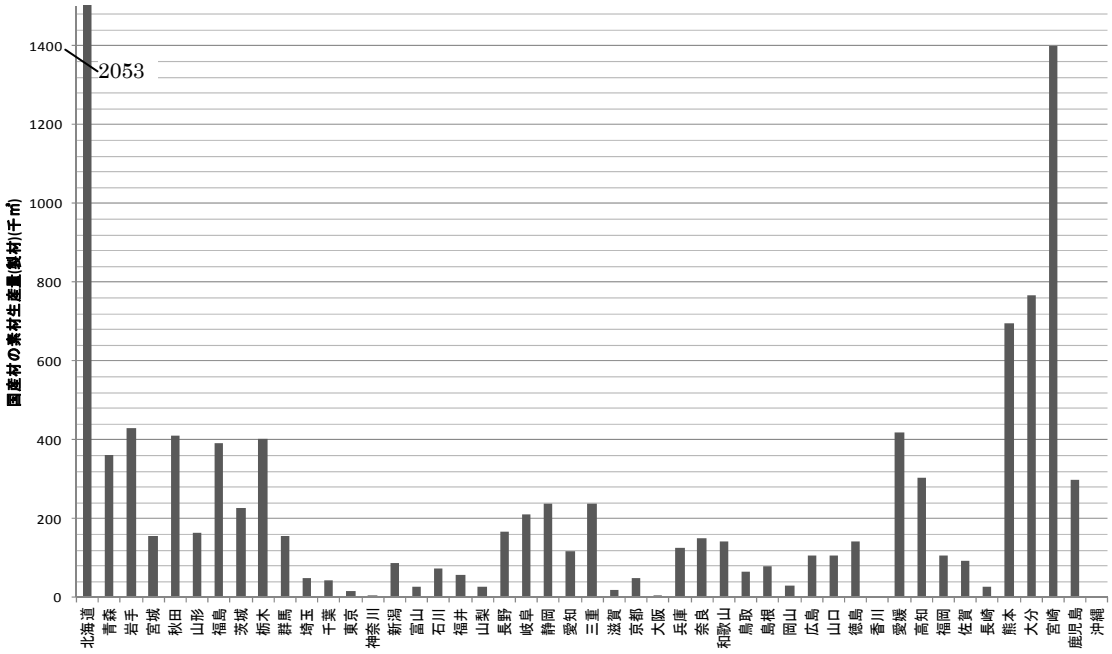
5.3　天然乾燥の実態調査

5.3.1　追加調査の位置づけ

天然乾燥材の実態調査については、平成 21 年度からアンケート調査を開始し、平成 22～23 年度はヒアリングによる実態調査 34 件を実施した。

しかしながら未調査の地域において、木材生産量が多く(図 5.3.1-1 参照)、特徴的な乾燥方法を行う製材所が存在するという情報が得られたため、愛媛県 4 件の追加調査を行うこととなった。

3 年間実施したヒアリング調査先の年間生産量の合計は 58,269m^3 であり、これは日本国内の乾燥材の製材品出荷量(平成 23 年)[1)]2,632,000m^3 から求めると 2.2%を占めることになる。



※「木材需給と木材工業の現況(平成 23 年版)」[1)]の統計よりグラフを作成した。

図 5.3.1-1　平成 23 年　都道府県別　国産材の素材生産量(製材用)

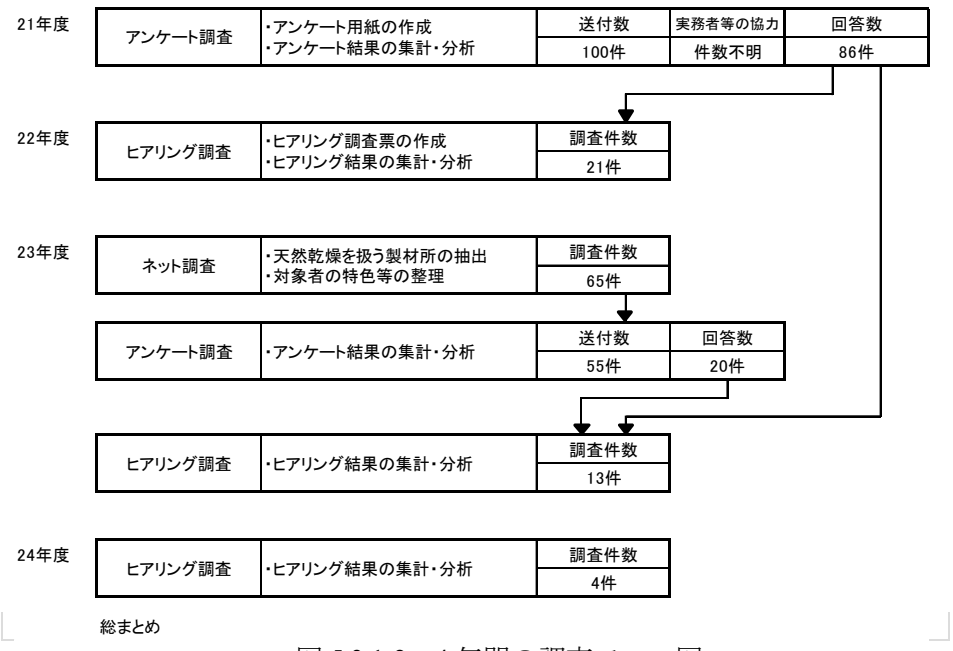


図 5.3.1-2　4 年間の調査フロー図

5.3.2　調査方法

アンケートは製材所 6 社について実施し、その中から一定以上の年間生産量があるものを選抜して、4 社について、ヒアリング調査を行うこととした。

調査方法は前年度と同様に天然乾燥の乾燥方法についての分類整理を行うために、乾燥方法、乾燥期間、気候風土等への対応等に関する乾燥や流通経路等の実態調査を中心として、乾燥の定義や干割れを欠点とみなしているか等の考え方についても聞き取りを行った。

ヒアリング調査シートは前年度と同じものを使用した。シートは、属性・概要を書き込むベースシートと、詳細に乾燥方法等を纏める樹種別・用途別シートに大別している。ヒアリング調査は、アンケート調査対象者から選別しているため、アンケートでの回答を予め記入しておき、それを踏まえてヒアリングを実施した。

5.3.3　調査結果

データの整理にあたっては、アンケート結果から、無作為抽出ではなく、一定以上の生産量、乾燥方法に特徴のあるものを選別して実施しているため、これらに影響を受けそうなものについては統計的な分析は避けている。

(1) ヒアリング対象者の地域分布

ヒアリングの調査対象となった地域は図 5.3.3-1 のとおりである。図中、黒星が 22 年度、赤星が 23 年度、青星が今年度実施分である。

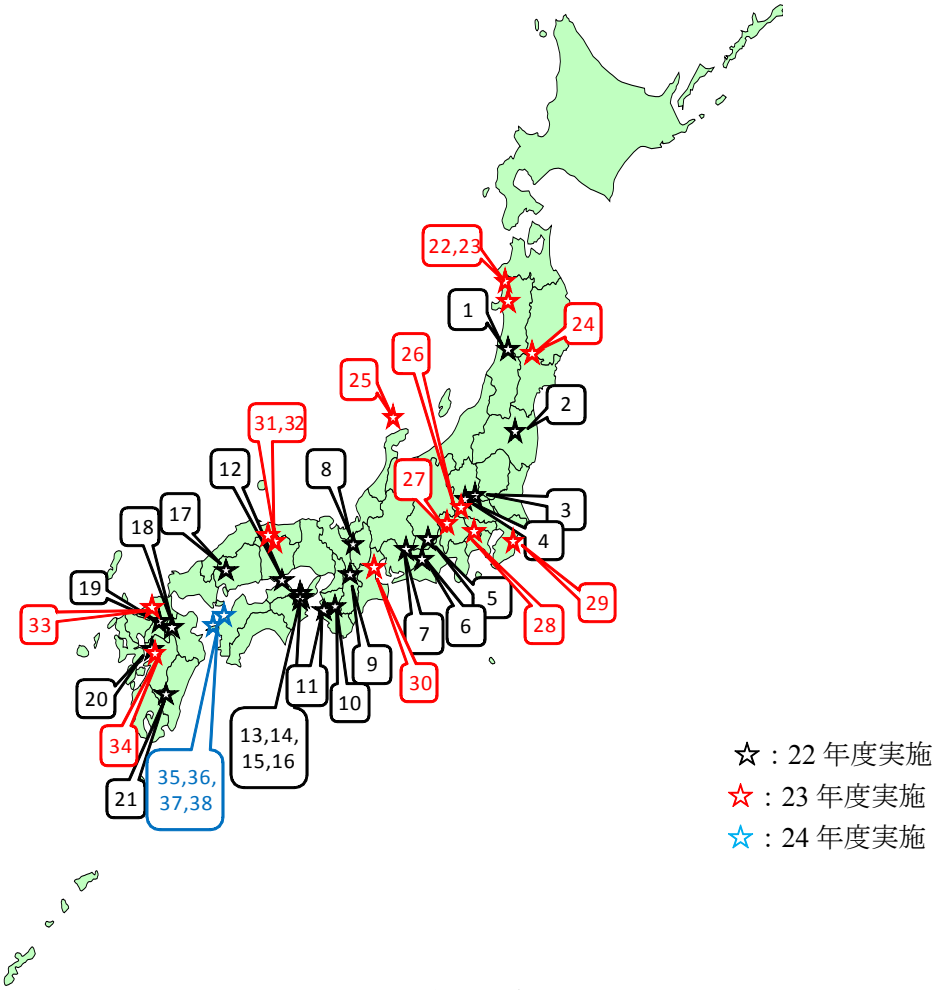


図 5.3.3-1　調査対象の所在地

(2) 産地(表 5.3.3-2)

4 社ともスギ、ヒノキは地元産材を使用している。例外としてアカマツは他県から購入している。

これまで行った調査のデータを合わせて見ていくと県産材使用率は図 5.3.3-2 のとおり、若干県産材使用率が増える結果となった。

(3) 切り旬(表 5.3.3-2)

前年度までの調査と同様に 4 件とも水を吸い上げる時期を避けているという回答であり、市場買いにおいても時期を選んで購入している。

これまで行った調査のデータを合わせて見ていくと切旬が決まっているか否かとの質問に対する回答として、図 5.3.3-3 のとおり、若干「かんがえている」という回答が増える結果となったが、全体の傾向は同じく、切旬はかなり意識されているという結果となった。また切り旬の時期は 9 月～3 月が多い。

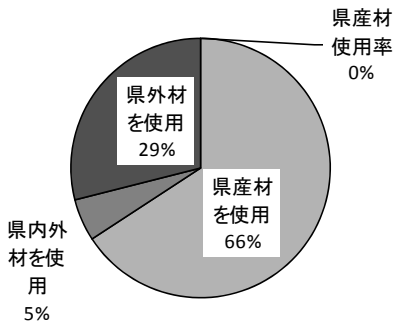


図 5.3.3-2　県産材使用率(n=38)

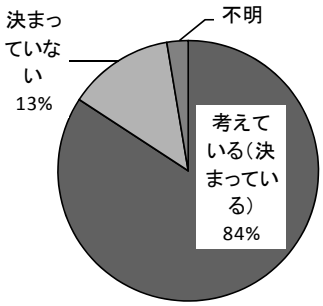


図 5.3.3-3　切り旬を考えているか(n=38)

(4) 乾燥方法等の種類(表 5.3.3-2)

製材前乾燥は、葉枯らし乾燥 1 件のみであった。製材後乾燥は、桟積み乾燥 4 件、立てかけ乾燥 3 件、中温乾燥後桟積み乾燥 1 件、井桁積み乾燥 1 件であった。

表 5.3.3-2 の No.35 の立てかけ乾燥はたすき掛けに掛ける方法をとっている(写真 5.3.3-1)。No.38 は、海岸沿いの風通しが良い場所で乾燥させており、下地材の井桁に積んだ乾燥方法が特徴的であった(写真 5.3.3-2)。この製材所の乾燥場所では乾きが早いため(海岸沿い)、化粧材は屋内で乾燥させ、急激な乾燥による割れを防いでいる。



写真 5.3.3-1　立てかけ乾燥



写真 5.3.3-2　下地材の井桁積み乾燥

これまでの調査結果から、乾燥方法について表 5.3.3-1 に示すとおり整理した。

表 5.3.3-1　本調査で対象とした乾燥方法等の種類

製材前乾燥			製材後乾燥		
山での乾燥等	貯水池等での乾燥等	土場等での乾燥等	製材所等での乾燥等		
			前処理	本乾燥	後処理
・葉枯らし乾燥	・水中処理	・輪掛け乾燥（井桁） ・野積み乾燥 ・桟積み乾燥	・低温処理 ・中温処理 ・高温セット ・燻蒸熱処理	・桟積み乾燥 ・立て掛け乾燥	・低温乾燥（処理） ・高温乾燥（処理） ・桟積み養生

乾　燥　・　処　理　の　順　番

出荷前の含水率の管理方法については、含水率計、重量、期間という複数回答があり、顧客先や用途によって管理方法を変える場合と、重量や期間で判断し含水率計での測定は補助的に行っている場合がある。昨年度からの結果を合計すると、図 5.4.3-4 のとおり意外にも含水率計で測定しているという回答が多く、次いで重量で判断している、期間で判断しているという回答であった。

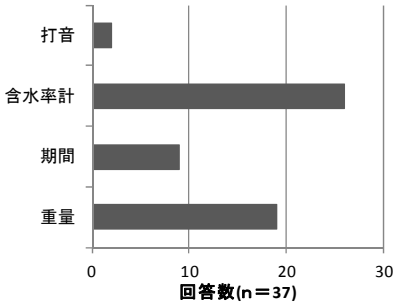


図 5.3.3-4　含水率の管理方法(n=37)
※複数回答あり

(5) 乾燥材の含水率(表 5. 3. 3-2、表 5. 3. 3-3)

乾燥終了の含水率は何%以下を乾燥材として認識しているかという質問に対しては、20%が 2 件、25%が 1 件、35%が 1 件という結果であった。今年度 4 件(No35～38)を含む全体の傾向は図 5.3.3-5 のとおり 25%、20%が多い結果となった。なお、「15～20%」などのような回答の場合、「20%以下」に含めている。

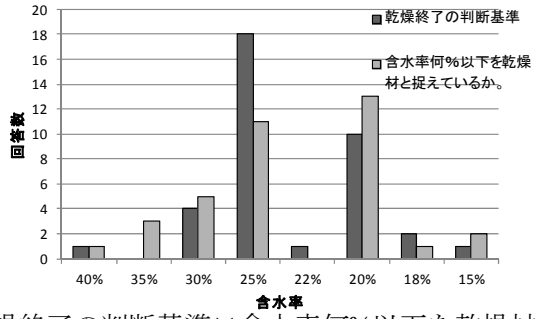


図 5.3.3-5　乾燥終了の判断基準×含水率何%以下を乾燥材と捉えているか
(含水率毎の回答数) (n=36)

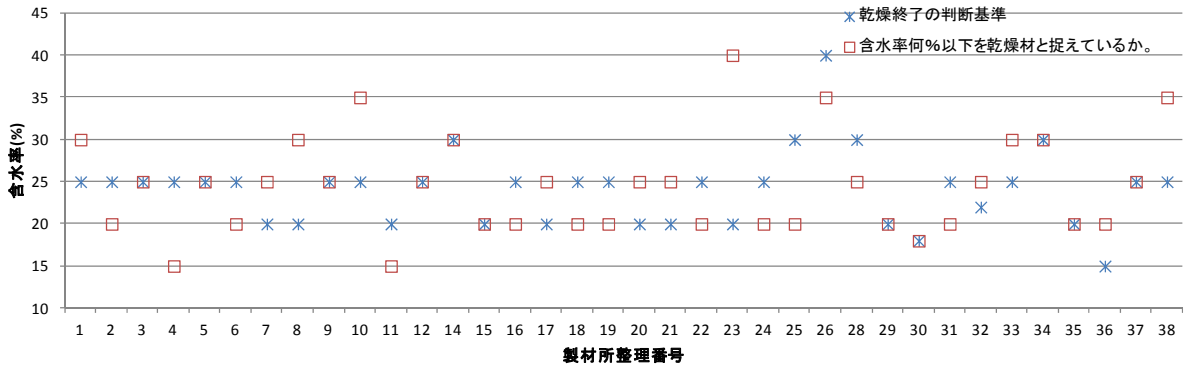


図 5.3.3-6　乾燥終了の判断基準×含水率何%以下を乾燥材と捉えているか
(製材業者毎の回答) (n=36)

(6) 製材乾燥前の挽き寸法(表 5. 3. 3-3)

通常、製品出荷となるまでの乾燥収縮や曲り・ねじれを想定して粗挽き時には大き目の断面で挽いている。ヒアリングでは 120 角に仕上げる場合について質問しており、今年度 4 件(No35～38)を含む全体の傾向は図 5.3.3-7 に示すとおり 15mm が最も多く、次いで 10mm が多いことが分かった。なお、寸法に幅がある場合は最小値を採った。また、製品出荷時の含水率が低いほど、歩増し寸法が大きくなるのではないかと考え、同じ表にプロットしてみたが、はっきりとした相関は見られなかった。

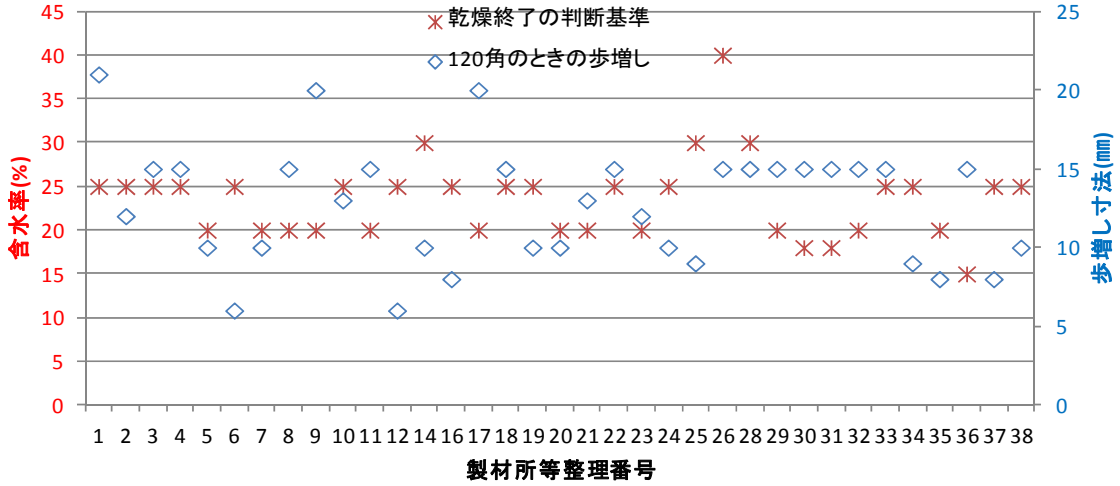


図 5.3.3-7　120 角断面仕上げ材の歩増し寸法と乾燥後の含水率との関係(n=35)

(7) 干割れ及び背割り(表 5. 3. 3-3)

化粧材を除いた場合、干割れは欠点でないとする回答は 3 件、5mm 幅を超えると欠点であるという回答 1 件が得られた。干割れ対策としては、急激な乾燥による割れを防ぐため、割れ止め剤（ボンド)、かすがいに加え、四側面にスリットを入れるところもあった。このスリットは面材大壁仕様の際に寸法安定性が良く、干割れ位置がコントロールできるとの説明を受けた。化粧柱については通常の背割りを行っており、構造材との使い分けをしている。

(8) 天然乾燥材の流通について(表 5. 3. 3-4)

4 社中 2 社が関連会社に住宅設計会社があり、仕口加工を行った上で邸別に出荷している。供給先が決まっているため、比較的長い期間桟積み乾燥を行っているのが特徴である。

昨年度までの結果では、自社で伐採・葉枯らしを行っている業者も多く、素材生産に関わっている業者が多かった。顧客からの要望により、含水率計測定の実施や人工乾燥との併用を行う業者も増えている。

表 5.3.3-2　調査結果　その 1

「ー」：あり得ない場合の「なし」

「なし」：選択可能な状況において「なし」としているもの

番号	産地	樹種	用途	切り旬		製材前の乾燥方法①（山での乾燥(一部池)）		製材前の乾燥方法②（土場での乾燥）		製材後の乾燥方法		
				時期	切り旬を決めている理由	名称	乾燥期間	名称	乾燥期間	名称	乾燥期間	桟木の寸法
35	愛媛県	スギ	柱、梁、板材、他	無回答	虫害防止	葉枯らし乾燥	5～9か月	丸太野積み	なし	桟積み乾燥 乾きにくいもの、納期によっては中温乾燥	柱8か月～1年、平角8ヶ月～2年	柱20mm。平角40mm。
						なし	なし	なし	なし			柱、土台20mm
		ヒノキ	柱、土台等	3,4,5月以外	割れやすい時期を避ける	なし	なし	なし	なし	桟積み乾燥	ヒノキ柱5年、ヒノキ土台1年、スギ母屋1年	25mm
										立てかけ乾燥	2ヶ月	ー
			板材							桟積み乾燥	3年	60mm
36	愛媛県	スギ、ヒノキ	梁、桁材	10月～1月	虫害防止							
	広島県、高知県	マツ										
37	愛媛県	スギ、ヒノキ	柱、土台等	5～10月の原木は購入しない	虫害防止	なし	なし	なし	なし	桟積み乾燥	3～4ヶ月	40mm
			平角							中温乾燥→桟積み乾燥	中温乾燥10～14日+桟積み1ヶ月以上	21mm
			板							立てかけ乾燥後、桟積み乾燥	立て掛け1ヶ月以上、桟積み3ヶ月以上	12mm
38	愛媛県	スギ、ヒノキ、マツ	構造柱、土台、梁桁	スギヒノキ9～3月、マツ11～3月	虫害防止	丸太桟積み	製材開始まで。最低1～2ヶ月	なし	なし	桟積み乾燥	柱3ヶ月、平角6ヶ月、大黒柱1年	柱30mm、梁桁60mm
			板							桟積み乾燥	フローリング1年以上、役物板6ヶ月以上	フローリング30mm以上、約物板18mm以下
			化粧柱							桟積み乾燥または立て掛け	1～2年	30mm
			下地材							井桁積み乾燥	1ヶ月	ー

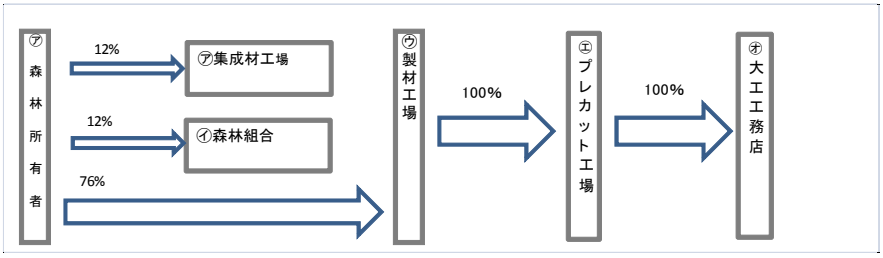
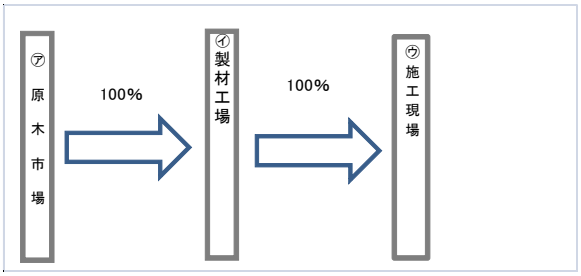
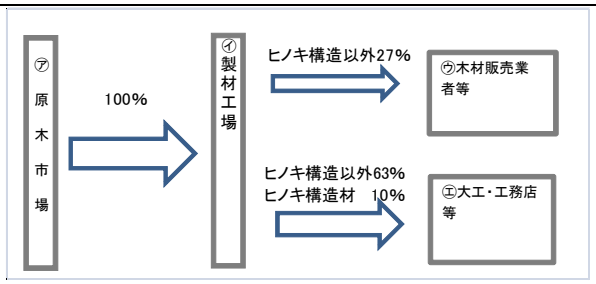
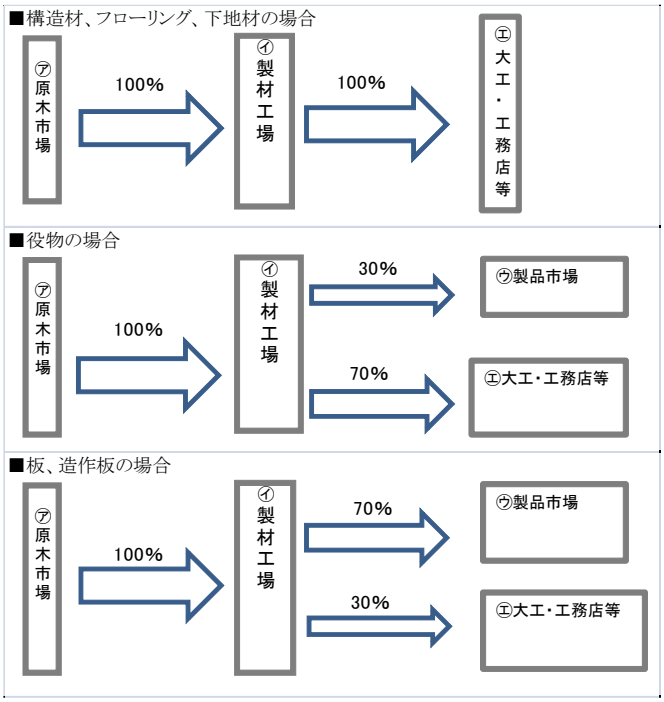
表 5.3.3-3　調査結果　その 2

「ー」：あり得ない場合の「なし」

「なし」：選択可能な状況において「なし」としているもの

番号	乾燥材の定義		材料の挽き方		干割れについて				背割りについて		
	含水率何%以下を乾燥材と捉えているか。	製品として出荷できる状態であるとの見極め方法	製材機械等	120角に対する挽き寸法	どこまでの干割れを欠点でないと考えるか。	干割れを防ぐための工夫	干割れについての品質管理の方法	許容範囲を超えた干割れの処理方法	背割りの有無	背割りを入れる理由	背割りをしない理由
35	20%	含水率、割れの大きさ	ツインソー	+8～10mm	貫通割れ以外	・四面背割り ・かすがい、ボンド、テープ ・葉枯らし乾燥	目視検査、全数	再割りする	一面背割りはヒノキの化粧柱、四面背割りはスギヒノキ構造柱とヒノキ土台	背割りは化粧材のため。四面背割りは大壁面材仕様のためと寸法安定性を高めるため	マツ梁桁材は芯去り材のため、背割りを入れない。
36	20%	期間	シングルソー、ツインソー	+15mm	貫通割れ以外	・背割り、ボンド、新聞紙を巻く(化粧柱) ・背割りに楔をうつことにより、化粧面の割れを防止	なし	再割りする	化粧材、マツ以外の梁桁材には背割りを入れる。	化粧面に割れを生じさせないため。	マツ梁桁材は芯去り材のため、背割りを入れない。
37	構造材25%、板材15%	含水率	シングルソー	+8mm +13mm	構造材なら、幅5mm以上の割れは欠点	ボンド	目視検査全数	割るなどして使い廻す。	化粧柱のみいれる	割れのコントロールのため	マツ梁桁材は芯去り材のため、背割りを入れない。
					床板材：割れがないこと 天井材：ヘアクラック程度なら適	木表を直射日光に当てない。	目視検査全数				
38	構造材35%以下	重量	シングルソー、ツインソー	+10mm +10mm	貫通割れ以外は欠点でない	・ボンド ・背割り	目視検査全数	割るなどして使い廻す。	背割り、四面スリット	化粧柱に背割り。構造柱(面材張り大壁)に四面スリット	

表　5.3.3-4　天然乾燥材の流通経路(今年度調査分)

番号	属性	流通経路
35	業態：製材業 産地：愛媛県 樹種：スギ、ヒノキ 用途：柱、梁、板材、他	
36	業態：製材業 産地：愛媛県、広島県、高知県 樹種：スギ、ヒノキ、マツ 用途：柱、梁、板材、他	
37	業態：製材業 産地：愛媛県 樹種：スギ、ヒノキ 用途：柱、梁、板材、他	
38	業態：製材業 産地：愛媛県 樹種：スギ、ヒノキ 用途：柱、梁、板材、他	

5.3.4 まとめ

今回の調査により、新たな乾燥方法等の情報が得られ、これまでの実態調査の補完を行うことができた。これまでの調査結果をまとめると下記のとおりとなる。

- 産地は地元材を使用しているところが多い。スギやヒノキは地元材が多く、産地が限られるアカマツは県外から仕入れることが多いことが分かった。
- 切旬を意識して伐採している業者が多い。切り旬の時期は 9 月～3 月という回答が最も多い。
- 製材前の乾燥方法で最も多い方法は葉枯らし乾燥、製材後の乾燥で最も多い方法は桟積み乾燥であるが、現在、様々な乾燥方法の試みがなされていることが分かった。
- 気候風土等への対応として、地域によっては急激な乾燥による割れを防ぐため、日射や風通しを軽減させているところもある。
- 製材乾燥前の粗挽きの際の歩増し寸法は、スギ製材 120 角では、+15mm が最も多く、ついで+10 mm という結果となった。
- 出荷前の含水率の管理方法については、含水率計で測定しているという回答が多く、次いで重量で判断している、期間で判断しているという回答であった。
- 乾燥終了の判断基準では 25%が最も多く、次いで 20%が多い。
- 急激な乾燥による割れを防ぐため、割れ止め剤（ボンド）、かすがいに加え、四側面にスリットを入れるところもあった。
- 背割りを入れる理由は、割れ防止目的が多い。
- 天然乾燥材の流通については、今年度調査では、住宅設計会社を関連会社に持つ業者が多く、市場買いする業者が多かったが、昨年度までの結果を纏めると自社で伐採・葉枯らしを行っているため素材生産に関わっている業者が多かった。

参考文献 1） 財団法人日本住宅木材技術センター:木材需給と木材工業の現況（平成 23 年版）、P86、P173、2012 年 12 月

5.4 水中貯木処理材の特性

5.4.1 貯木期間 10 ヶ月と 12 ヶ月のスギ丸太の重量変化

(1) 水中貯木処理用の供試丸太

スギ材の水中貯木による特性を知るために、生材、貯木 10 ヶ月、貯木 12 ヶ月及び輪掛の 4 条件の供試用丸太を 2011 年 10 月に準備した。実験条件は表 5.4.1-1 のとおりであり、生材丸太 8m（埼玉県飯能市吾野地区の西川材）で伐り旬に伐採されたものを 12 本使用した。それぞれの丸太を図 5.4.1-1 のように元口より、2m 長さで 4 等分し、3 体を 1 グループとして、16 グループで構成した。水中貯木は 2011 年 11 月 11 日から独立行政法人建築研究所の貯水池に約 10 ヶ月と 12 カ月の 2 種の条件で貯木した。なお、同表の網掛けを施してあるグループ A の 1 番玉（①と表記、以下同じ)、グループ B の 2 番玉（②)、グループ C の 3 番玉（③)、グループ D の 4 番玉（④）については、昨年度に生材用供試丸太の含水率分布として報告したものである。本実験で試験体に付した名称は図 5.4.1-2 のとおりとした。

表 5.4.1-1　供試用丸太材の実験条件

	①（1 番玉 2m）	②（2 番玉 2m）	③（3 番玉 2m）	④（4 番玉 2m）
グループ A(丸太 3 本)	生材用	貯木 10 ヶ月用	貯木 12 ヶ月用	輪掛用
グループ B(丸太 3 本)	輪掛用	生材用	貯木 10 ヶ月用	貯木 12 ヶ月用
グループ C(丸太 3 本)	貯木 12 ヶ月用	輪掛用	生材用	貯木 10 ヶ月用
グループ D(丸太 3 本)	貯木 10 ヶ月用	貯木 12 ヶ月用	輪掛用	生材用

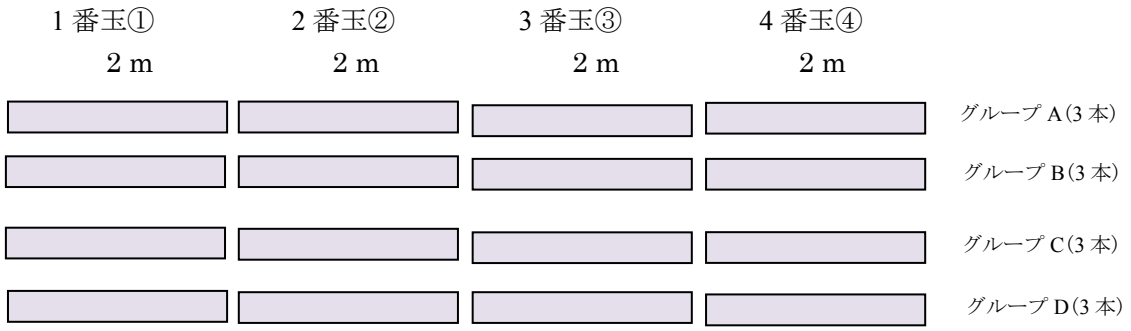


図 5.4.1-1　8m 丸太の木取り法

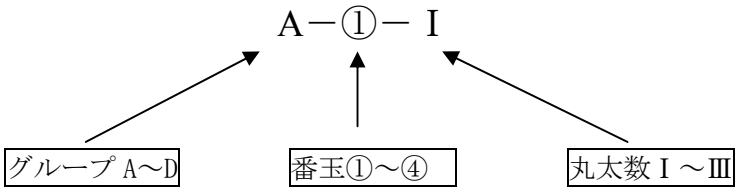


図 5.4.1-2　試験体の名称の付し方

(2) スギ丸太の重量変化

貯木期間 10 ヶ月の供試用丸太（A-②-Ⅰ、A-②-Ⅱ、A-②-Ⅲ、B-③-Ⅰ、B-③-Ⅱ、B-③-Ⅲ、C-④-Ⅰ、C-④-Ⅱ、C-④-Ⅲ、D-①-Ⅰ、D-①-Ⅱ、D-①-Ⅲ）12 本と貯木期間 12 ヶ月の供試用丸太（A-③-Ⅰ、A-③-Ⅱ、A-③-Ⅲ、B-④-Ⅰ、B-④-Ⅱ、B-④-Ⅲ、C-①-Ⅰ、C-①-Ⅱ、C-①-Ⅲ、D-②-Ⅰ、D-②-Ⅱ、D-②-Ⅲ）12 本及び輪掛天然乾燥用の貯木 12 ヶ月の供試丸太（A-④-Ⅰ、A-

④−Ⅱ、A−④−Ⅲ、B−①−Ⅰ、B−①−Ⅱ、B−①−Ⅲ、C−②−Ⅰ、C−②−Ⅱ、C−②−Ⅲ、D−③−Ⅰ、D−③−Ⅱ、D−③−Ⅲ）12 本の合計 36 本の重量変化を表 5.4.1-2 に示した。同表には、供試スギ丸太（2m 長）が水中貯木期間中に沈み始めた状態（沈みと記載）と貯木池の底に完全に沈んだもの（全没）及び中間的なもの（半没）の状況についても記入した。12 ヶ月貯木された供試丸太 24 本の内、10 本が全没か半没であった。また、番玉が上になるほど沈みやすいような傾向も見られるが例外もあり、現状では分からない。

表 5.4.1-2　貯木 10 ヶ月と 12 ヶ月の供試スギ丸太の重量増加率

試料名称	長さ(mm)	元口直径(mm)	貯木前重量(kg)	水中貯木中の重量(kg)（下段は測定日）										
			2011/11/7	2011/12/8	2012/1/23	2012/3/2	2012/3/29	2012/5/12	2012/6/23	2012/7/31	2012/8/27	2012/9/28	2012/10/29
A−②−Ⅰ	2025	249	87	95	100	101	102	101	102	103	102	切断済み	
A−②−Ⅱ	2018	303	87	92	99	100	100	99	104	103	104	切断済み	
A−②−Ⅲ	2022	268	90	98	102	103	104	101	104	104	105	切断済み	
A−③−Ⅰ	2020	258	82	89	94	94	95	94	96	96	沈み 95	97	全没 98
A−③−Ⅱ	2022	255	82	86	92	93	93	92	94	95	94	99	半没 96
A−③−Ⅲ	2022	254	82	87	91	92	92	92	94	94	沈み 94	98	全没 96
A−④−Ⅰ	2026	242	73	79	82	83	84	84	84	85	88	89	全没 87
A−④−Ⅱ	2018	244	77	83	86	87	87	沈み 87	87	90	88	93	全没 93
A−④−Ⅲ	2027	237	71	75	79	79	81	79	80	82	80	85	全没 83
B−①−Ⅰ	2035	305	108	117	122	125	126	123	127	127	126	132	130
B−①−Ⅱ	2040	286	103	111	114	116	116	116	118	119	119	124	半没 122
B−①−Ⅲ	2036	297	105	115	121	122	122	121	126	124	124	129	127
B−③−Ⅰ	2030	287	95	103	109	110	110	109	111	111	112	切断済み	
B−③−Ⅱ	2025	259	82	89	93	95	93	92	95	95	94	切断済み	
B−③−Ⅲ	2008	258	81	88	93	93	93	92	94	94	95	切断済み	
B−④−Ⅰ	2032	264	86	93	98	99	98	98	100	100	99	104	102
B−④−Ⅱ	2025	242	69	74	79	79	79	79	82	82	82	85	83
B−④−Ⅲ	2015	249	71	77	82	83	83	81	85	84	85	89	86
C−①−Ⅰ	2036	294	94	101	107	109	107	109	111	111	109	113	110
C−①−Ⅱ	2029	294	97	107	115	116	117	114	117	117	117	120	118
C−①−Ⅲ	2010	283	95	102	108	110	110	111	112	112	112	116	114
C−②−Ⅰ	2022	271	86	93	98	100	100	100	101	102	102	107	104
C−②−Ⅱ	2019	276	82	92	100	102	102	102	104	104	105	105	107
C−②−Ⅲ	2033	269	90	97	103	103	105	沈み 105	104	106	105	106	全没 108
C−④−Ⅰ	2031	240	73	78	82	83	83	82	84	85	沈み 85	切断済み	
C−④−Ⅱ	2036	242	68	77	81	82	84	83	84	85	85	切断済み	
C−④−Ⅲ	2024	237	69	74	80	80	82	沈み 80	83	82	83	切断済み	
D−①−Ⅰ	2040	290	98	107	111	112	114	113	115	114	沈み 117	切断済み	
D−①−Ⅱ	2030	290	101	110	116	118	118	117	119	119	119	切断済み	
D−①−Ⅲ	2012	294	106	116	122	124	126	124	127	126	128	切断済み	
D−②−Ⅰ	2027	256	74	81	87	88	88	89	88	89	90	93	92
D−②−Ⅱ	2021	274	91	100	104	106	107	105	109	107	106	111	111
D−②−Ⅲ	2027	276	95	104	109	111	111	111	115	114	沈み 114	117	全没 113
D−③−Ⅰ	2018	239	68	74	79	80	79	79	81	81	80	84	81
D−③−Ⅱ	2026	258	84	90	95	96	96	94	96	98	97	101	100
D−③−Ⅲ	2027	260	88	95	99	101	102	沈み 101	101	104	103	103	全没 105

1）水中貯木処理中のスギ丸太の重量増加率

貯木 10 ヶ月と貯木 12 ヶ月のスギ丸太の重量変化を式 5.4.1-1 によって、それぞれ重量増加率を求めた。番玉毎のその結果の平均値（貯木 10 ヶ月　A−②：A−②−Ⅰ～Ⅲ、B−③：B−③−Ⅰ～Ⅲ、C−④：C−④−Ⅰ～Ⅲ、D−①：D−①−Ⅰ～Ⅲ、貯木 12 ヶ月　A−③：A−③−Ⅰ～Ⅲ、A−④：A−④−Ⅰ～Ⅲ、B−①：B−①−Ⅰ～Ⅲ、B−④：B−④−Ⅰ～Ⅲ、C−①：C−①−Ⅰ～Ⅲ、C−②：C−②−Ⅰ～Ⅲ、D−②：D−②−Ⅰ～Ⅲ、D−③：D−③−Ⅰ～Ⅲ）を図 5.4.1-3 に示した。

$$x = \frac{(Ww - Wg)}{Wg} \times 100\ (\%) \qquad (5.4.1\text{-}1)$$

ここで、x：重量増加率(%)、W_g：水中貯木前の供試スギ丸太の重量(kg)、W_w：水中貯木期間の供試スギ丸太の重量(kg)である。

貯木 12 ヶ月の 24 本について、貯木 10 ヶ月の経過時と 12 ヶ月の重量増加率の平均値は、それぞれ 17.5%と 20.1%であった。また、同個体については、グループ C の供試スギ丸太（C−④①②−Ⅱ）1 本が他のものより水中貯木処理初期段階で著しく水分を吸収したことが分かる。

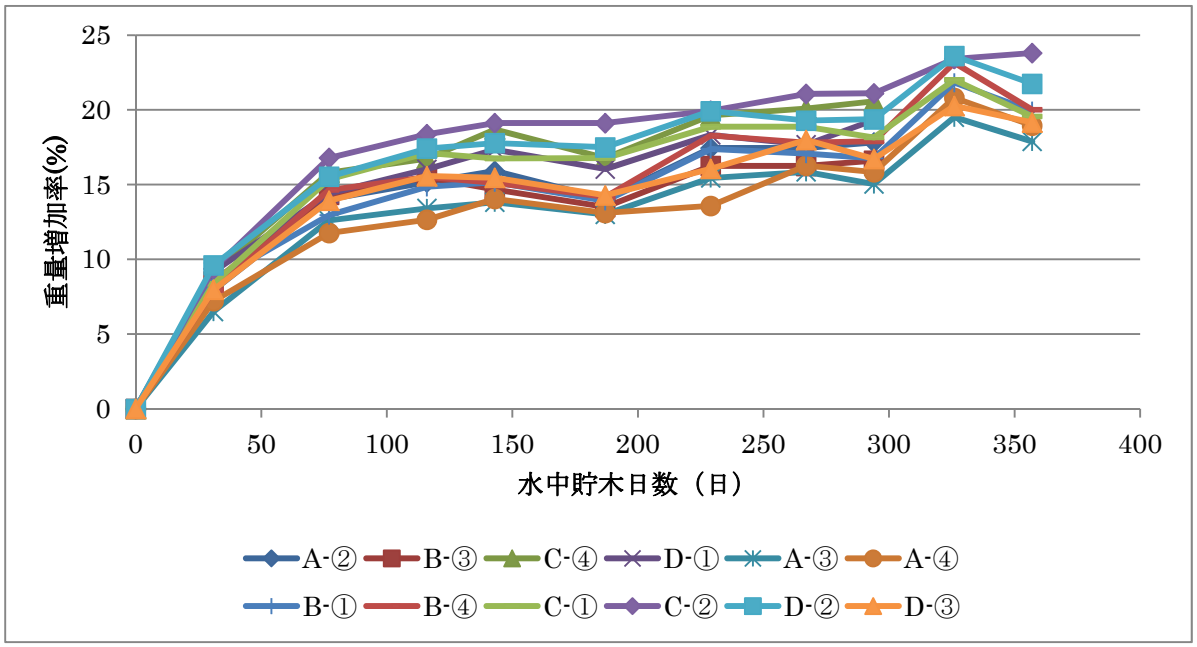


図 5.4.1-3　貯木 10 ヶ月と 12 ヶ月の供試スギ丸太の番玉毎の重量増加率の平均値

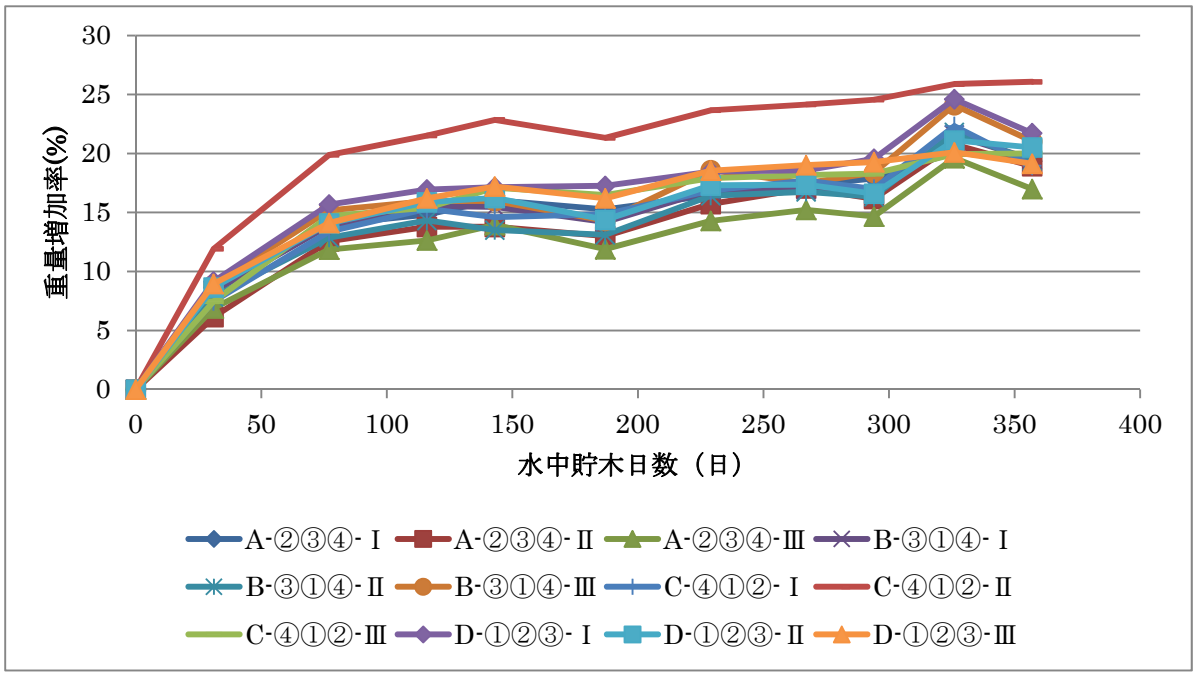


図 5.4.1-4　貯木 10 ヶ月と 12 ヶ月の供試スギ丸太の同個体の重量増加率の平均値

(3) まとめ

貯木期間 10 ヶ月と 12 ヶ月の供試スギ丸太について、12 ヶ月間貯木されたものでは 10/24 体（約 41%）が全没または半没することが分かった。また、貯木期間中の供試スギ丸太の重量変化を重量増加率の指標でみると、切り旬に伐採された埼玉県飯能産のものは、貯木 10 ヵ月で 17.5%、貯木 12 ヶ月で 20.1%程度の水分を吸収することが分かった。

5.4.2 10ヶ月と12ヶ月間水中貯木処理したスギ丸太の水分含浸性

(1)供試丸太と試験体

水中貯木処理の実験は、「5.4.1 貯木期間 10 ヵ月と 12 ヵ月のスギ丸太の重量変化」で示した表 5.4.1-1 のように計画した。水中貯木は 2011 年 11 月 11 日から独立行政法人建築研究所の貯水池に約 10 ヶ月間貯木したものと約 12 ヶ月間貯木した 2 種類の条件とした。水分含浸性を知るための試験体は、貯木期間 10 カ月の供試スギ丸太（A-②-Ⅰ、A-②-Ⅱ、A-②-Ⅲ、B-③-Ⅰ、B-③-Ⅱ、B-③-Ⅲ、C-④-Ⅰ、C-④-Ⅱ、C-④-Ⅲ、D-①-Ⅰ、D-①-Ⅱ、D-①-Ⅲ）12 本と貯木期間 12 ヶ月の供試用丸太（A-③-Ⅰ、A-③-Ⅱ、A-③-Ⅲ、B-④-Ⅰ、B-④-Ⅱ、B-④-Ⅲ、C-①-Ⅰ、C-①-Ⅱ、C-①-Ⅲ、D-②-Ⅰ、D-②-Ⅱ、D-②-Ⅲ）12 本の合計 24 本である。このそれぞれの供試用丸太の含水率測定は、図 5.4.2-1 に示したように 2m 長丸太の元口より 10cm 毎に 13 個の円盤試験体を切り出したものを実験に供した。なお、本実験で試験体に付した名称は図 5.4.2-2 のように最後の数字で円盤試験体の輪切り位置を示すことにした。

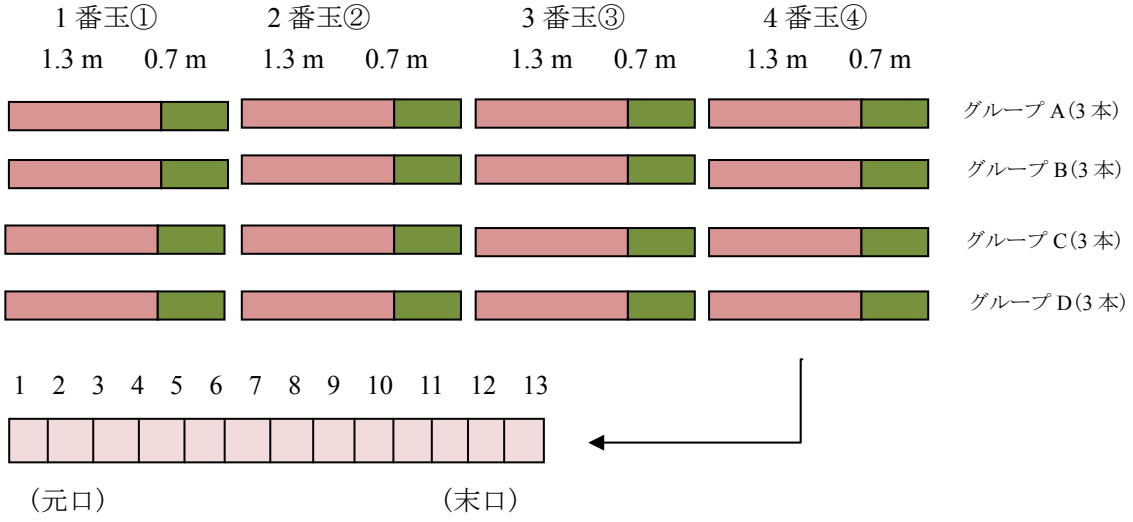


図 5.4.2-1　8m 丸太の分割法と 1.3m の円盤試験体の木取り法

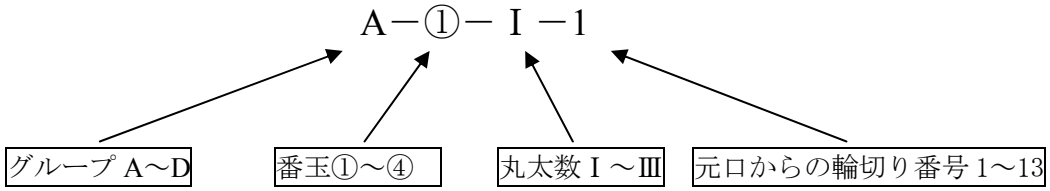


図 5.4.2-2　試験体の名称の付し方

(2) 含水率試験片の作成法

供試スギ丸太を切断した円盤試験体から含水率を測定するために図 5.4.2-3 に示したように 32 個に切断して含水率試験片を作成した。円盤試験体は長さ方向に基準線を入れておき、円盤に切断したので連続性を確保した。また、含水率試験体の木取り方法は、次のような方針で決めた。

① 円盤の長さ方向の基準線から髄を通る直線を引き、髄を中心とした直交線を引く
② それぞれの 2 直線に平行に辺材と心材の移行帯部に 4 本の直線を引く
③ 心材部を水平と鉛直方向に 2 等分して、32 個の含水率試験体を作成する

上記の分割によって、辺材部、移行帯を含む箇所、心材部の 3 種類の含水率試験体が得られるよ

うにした。同図の分割法より、辺材部：1～4、5 と 10、11 と 16、17 と 22、23 と 28 及び 29～32、移行帯を含む部分：6～9、12 と 15、18 と 21 及び 24～27、心材部：13 と 14 及び 19 と 20 として含水率の平均値を求めた。写真 5.4.2-1 に円盤試験体 D-①-Ⅱ-13 の一例を示す。

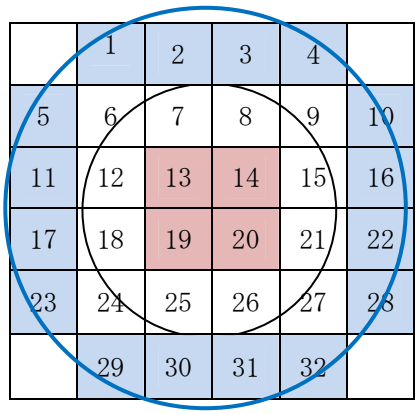


図 5.4.2-3 含水率試験体の分割法



写真 5.4.2-1 D-①-Ⅱ-13 の分割

(3) スギ丸太の長さ方向の水分含浸性

1) 10 ヵ月貯木処理

10 ヵ月貯木後のスギ丸太の長さ方向の含水率は、図 5.4.2-4 に示したように（辺材部）－（移行帯を含む箇所）－（心材部）で明確な差が認められたものが 6 体あった。また、図 5.4.2-5 に示したように（辺材部）が高含水率で（移行帯を含む箇所）と（心材部）が近接するものが 3 体、その他として図 5.4.2-6 に示したように（辺材部）の含水率が高く（心材部）が（移行帯を含む箇所）のものより一部大きくなるものが 3 体であった。なお、それぞれの図の含水率測定位置 13 は水中貯木された 2m 丸太の 1.3m に相当するもので、測定位置 7 に相当するとみなせる。

丸太の長さ方向の辺材部は 10 ヶ月間水中貯木した全てのスギ丸太 12 体が良好な水分含浸性を示した。移行帯を含む箇所は、辺材部と心材部から構成されていることから辺材部の良好な水分含浸性の効果により、心材部の含水率よりも高くなったり、両者が近似することになると思われる。また、長さ方向では水に接する木口面から 10～20cm 程度が心材部と移行帯を含む箇所の水分含浸性が良好な範囲であることが分かる。

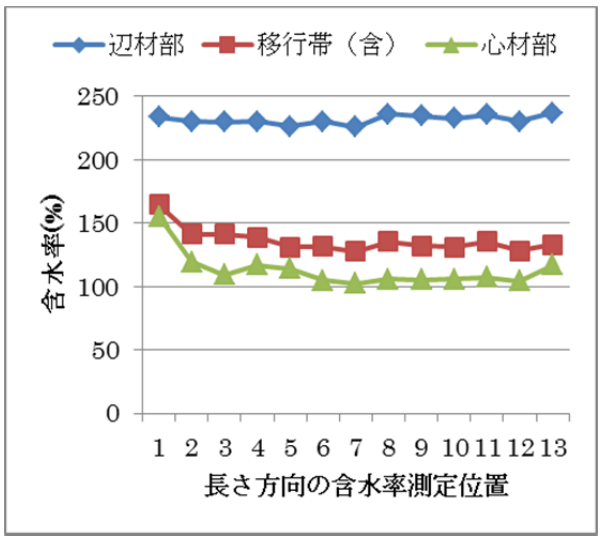


図 5.4.2-4 10 ヵ月貯木後の B-③-Ⅲの含水率

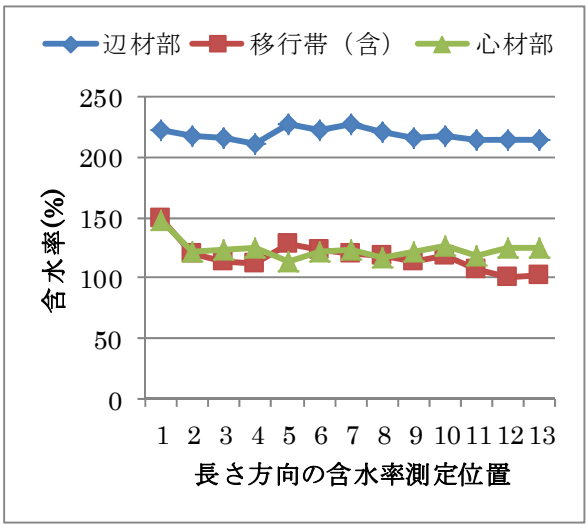


図 5.4.2-5 10 ヵ月貯木後の A-②-Ⅱの含水率

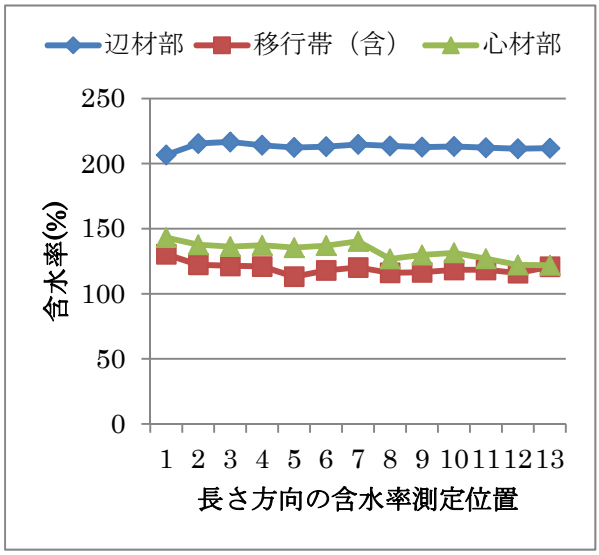


図 5.4.2-6 貯木 10 ヵ月後の D-①-Ⅱの含水率

2）12 ヵ月貯木処理

12 ヵ月貯木後のスギ丸太の長さ方向の含水率は、図 5.4.2-7 に示したように（辺材部）－（移行帯を含む箇所）－（心材部）で明確な差が認められたものが 9 体あった。また、図 5.4.2-8 に示したように（辺材部）が高含水率で（移行帯を含む箇所）と（心材部）が近接するものが 2 体、その他のパターンとして図 5.4.2-9 に示した（辺材部）の含水率が高く（心材部）が（移行帯を含む箇所）のものより大きくなるものが 1 体だけあった。

貯木期間が 2 ヶ月長くなることによって、（辺材部）－（移行帯を含む箇所）－（心材部）に差が認められものが 75%を占めるようになった。この傾向は、移行帯を含む箇所に水分が含浸してくることによると考えられるので、（辺材部）が高含水率で（移行帯を含む箇所）と（心材部）が近接するもの及び（辺材部）の含水率が高く（心材部）が（移行帯を含む箇所）のものより大きくなるものは少なくなる。長さ方向では水に接する木口面から 10～20cm 程度が心材部と移行帯を含む箇所の水分含浸性が良好な範囲であることは 10 ヶ月貯木のものと同じ傾向である。

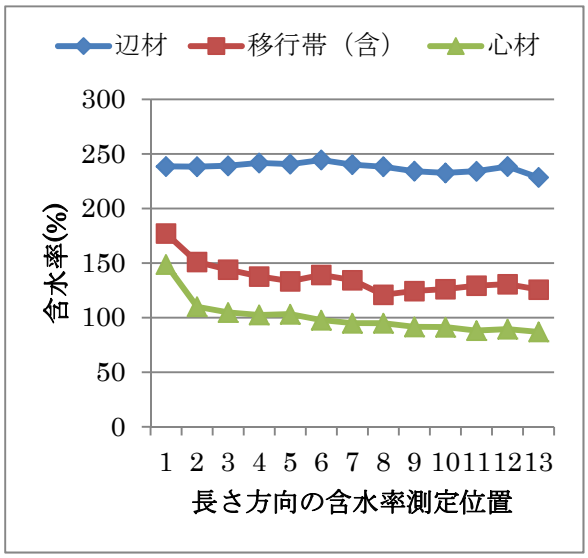


図 5.4.2-7 貯木 12 ヵ月後の C-①-Ⅱの含水率

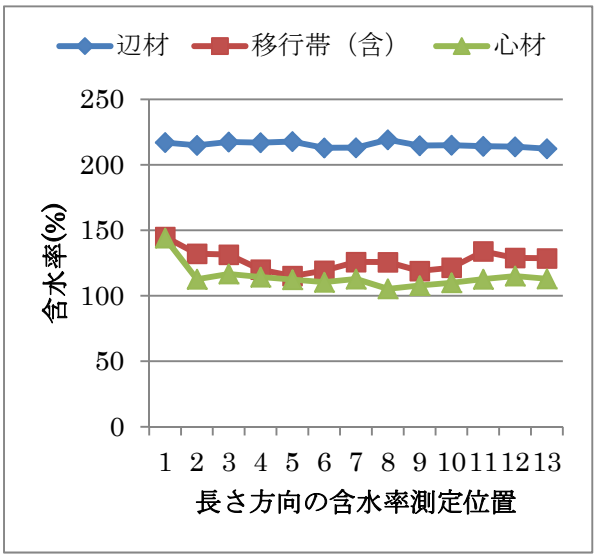


図 5.4.2-8 貯木 12 ヶ月後の C-①-Ⅲの含水率

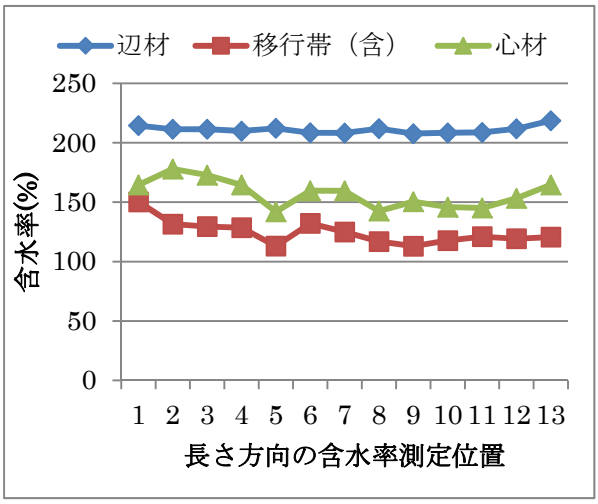


図 5.4.2-9 貯木 12 ヶ月後の D-②-Ⅱの含水率

(4) 10 ヶ月と 12 ヶ月の貯木処理をしたスギ丸太と水中貯木処理をしなかったスギ丸太の水分比較

10 ヶ月と 12 ヶ月の貯木処理した試験体丸太の含水率円盤試験体の辺材部、移行帯を含む箇所及び心材部の含水率をグループ（A、B、C、D）毎に、試験体丸太数（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）について平均値を求めた。水中貯木処理を行わなかった丸太試験体 C-③-Ⅰ、C-③-Ⅱ、C-③-Ⅲ（昨年度に報告したデータ）と 10 ヶ月貯木した丸太試験体 C-④-Ⅰ、C-④-Ⅱ、C-④-Ⅲ及び 12 ヶ月貯木した丸太試験体 C-①-Ⅰ、C-①-Ⅱ、C-①-Ⅲの結果を図 5.4.2-10 に示した。他の全ての 10 ヶ月と 12 ヶ月貯木したスギ丸太と水中貯木処理を行わなかったものについても、この図とほぼ同じ傾向を示した。

水中貯木処理を行わなかったスギ丸太の含水率は、移行帯を含む箇所が心材部よりも低くなる傾向を示すものが多いが、この箇所に水分が含浸して心材部と同程度かそれ以上になるものが多くみられた。一方、心材部は 10 ヶ月と 12 ヶ月の水中貯木処理で水分含浸性はみられなかった。

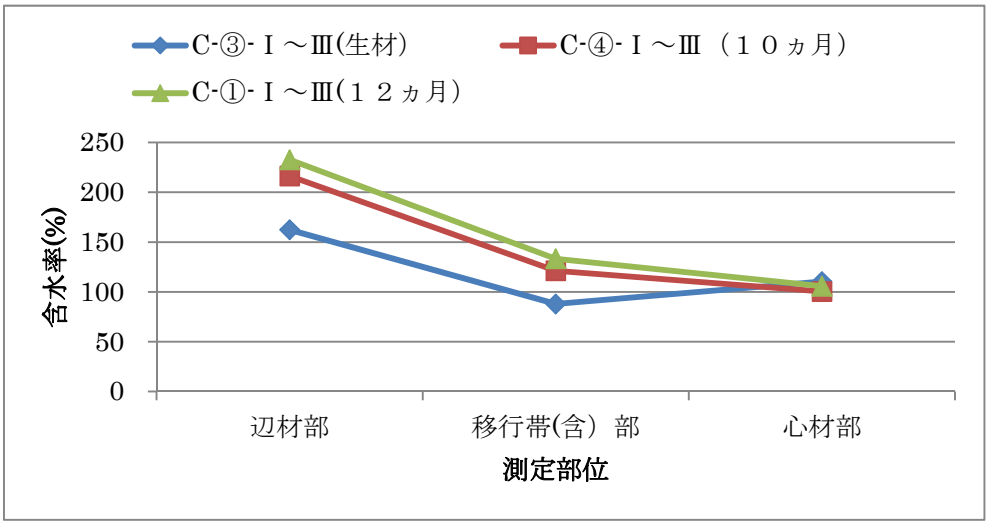


図 5.4.2-10 水中貯木処理をしなかった丸太と 10 ヶ月及び 12 ヶ月貯木の含水率

(5) 10 ヵ月と 12 ヵ月の貯木処理をしたスギと水中貯木処理をしなかったスギの全収縮率

平成 24 年度の報告と同様に木材の収縮率を 10 ヵ月貯木の試験体（A-②-Ⅰ-5 と 8、A-②-Ⅱ-5 と 8、A-②-Ⅲ-5 と 8、B-③-Ⅰ-5 と 8、B-③-Ⅱ-5 と 8、B-③-Ⅲ-5 と 8、C-④-Ⅰ-5 と 8、C-④-Ⅱ-5 と 8、C-④-Ⅲ-5 と 8、D-①-Ⅰ-5 と 8、D-①-Ⅱ-5 と 8、D-①-Ⅲ-5 と 8）と 12 ヵ月貯木の試

験体（A−③−Ⅰ−5 と 8、A−③−Ⅱ−5 と 8、A−③−Ⅲ−5 と 8、B−④−Ⅰ−5 と 8、B−④−Ⅱ−5 と 8、B−④−Ⅲ−5 と 8、C−①−Ⅰ−5 と 8、C−①−Ⅱ−5 と 8、C−①−Ⅲ−5 と 8、D−②−Ⅰ−5 と 8、D−②−Ⅱ−5 と 8、D−②−Ⅲ−5 と 8）について求めた。切り旬に伐採したスギと貯木 10 ヵ月と 12 ヵ月の全収縮率を表 5.4.2-1～表 5.4.2-3 にそれぞれ示す。また、それらを T 方向と R 方向別に水中貯木無し、貯木 10 ヶ月、貯木 12 ヶ月の関係を図 5.4.2-11～図 5.4.2-18 にそれぞれ示す。

表 5.4.2-1 水中貯木処理を行わなかったスギの全収縮率

試験体名	部位	方向	全収縮率(%)	T/R の比
A−①	心材	T 方向	5.79	3.0
		R 方向	1.96	
	辺材	T 方向	6.75	2.1
		R 方向	3.23	
B−②	心材	T 方向	5.94	2.5
		R 方向	2.36	
	辺材	T 方向	6.26	1.9
		R 方向	3.25	
C−③	心材	T 方向	5.37	2.4
		R 方向	2.21	
	辺材	T 方向	5.83	1.9
		R 方向	3.01	
D−④	心材	T 方向	6.13	2.3
		R 方向	2.71	
	辺材	T 方向	6.23	1.8
		R 方向	3.41	

表 5.4.2-2 貯木 10 ヵ月のスギの全収縮率

試験体名	部位	方向	全収縮率(%)	T/R の比
A−②	心材	T 方向	6.34	2.7
		R 方向	2.33	
	辺材	T 方向	6.62	2.1
		R 方向	3.14	
B−③	心材	T 方向	5.45	2.7
		R 方向	2.01	
	辺材	T 方向	5.86	1.7
		R 方向	3.38	
C−④	心材	T 方向	5.80	2.2
		R 方向	2.63	
	辺材	T 方向	5.67	1.9
		R 方向	2.92	
D−①	心材	T 方向	6.67	2.4
		R 方向	2.77	
	辺材	T 方向	6.33	1.9
		R 方向	3.28	

表 5.4.2-3 貯木 12 ヵ月のスギの全収縮率

試験体名	部位	方向	全収縮率(%)	T/R の比
A−③	心材	T 方向	5.51	3.0
		R 方向	1.81	
	辺材	T 方向	6.36	2.4
		R 方向	2.66	
B−④	心材	T 方向	5.25	2.6
		R 方向	2.03	
	辺材	T 方向	5.87	2.1
		R 方向	2.80	
C−①	心材	T 方向	5.40	2.0
		R 方向	2.68	
	辺材	T 方向	6.42	2.6
		R 方向	2.50	
D−②	心材	T 方向	6.29	2.2
		R 方向	2.86	
	辺材	T 方向	6.48	1.9
		R 方向	3.48	

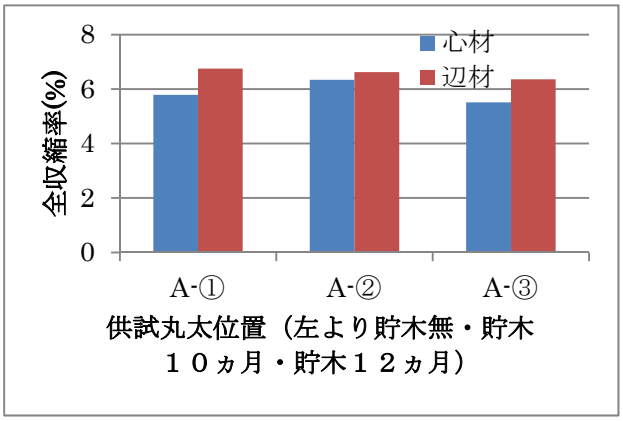


図 5.4.2-11 A−①・②・③の T 方向の全収縮率

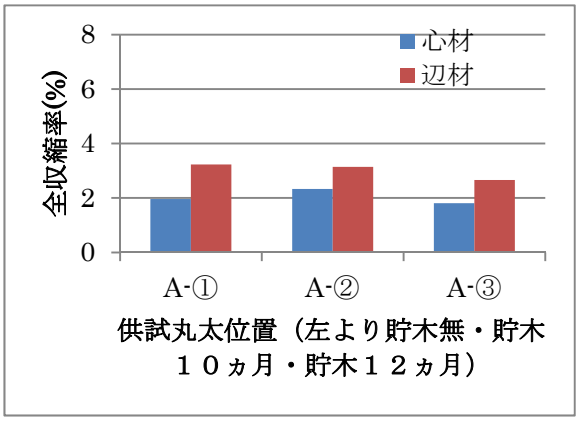


図 5.4.2-12 A−①・②・③の R 方向の全収縮率

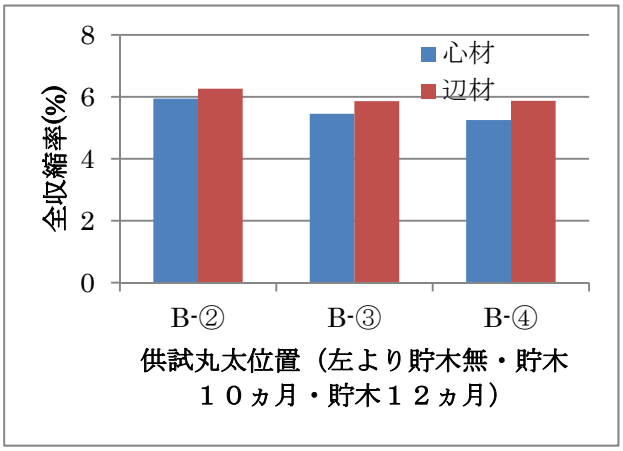


図 5.4.2-13 B−②・③・④の T 方向の全収縮率

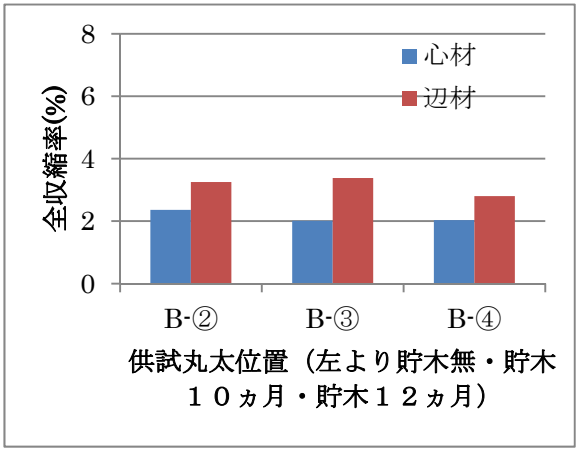


図 5.4.2-14 B−②・③・④の R 方向の全収縮率

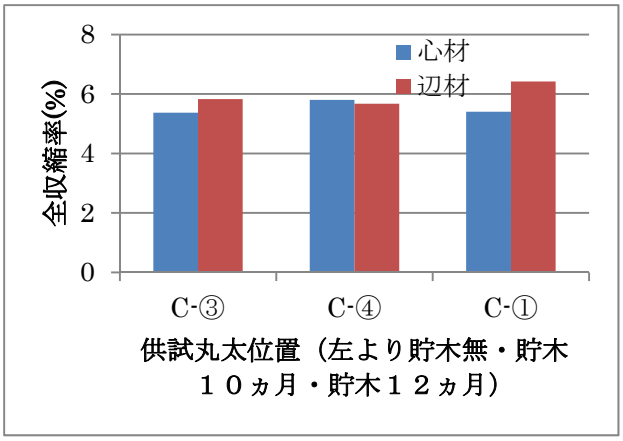


図 5.4.2-15　C−③・④・①の T 方向の全収縮率

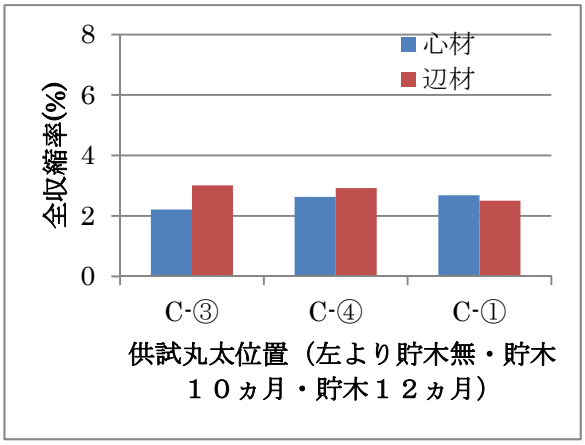


図 5.4.2-16　C−③・④・①の R 方向の全収縮率

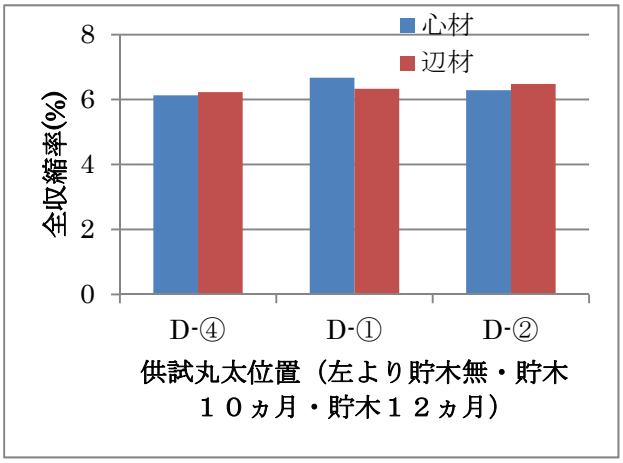


図 5.4.2-17　D−④・①・②の T 方向の全収縮率

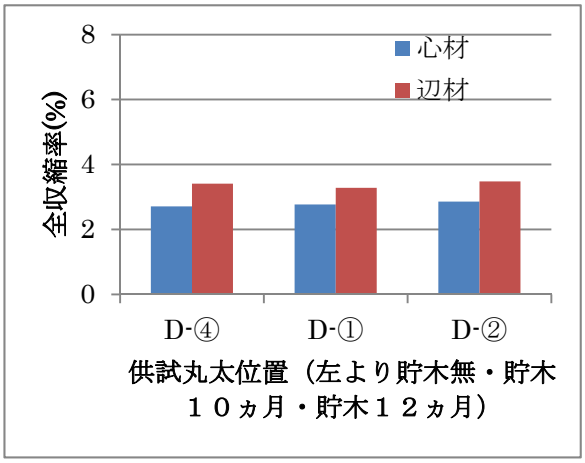


図 5.4.2-18　D−④・①・②の R 方向の全収縮率

(5)まとめ

10 ヶ月と 12 ヶ月の水中貯木処理の結果、丸太の長さ方向で、心材部と移行帯を含む箇所は木口面より 10〜20cm の範囲で水分含浸性がみられた。しかし、それ以外の心材部では水分含浸性は認められなかった。全収縮率については、試験体の辺材部の T/R（接線方向の全収縮率÷半径方向の全収縮率）が心材部のものより小さい傾向を示すものが多かった。しかし、水中貯木処理を行わなかったスギと貯木 10 ヵ月及び 12 ヵ月のものに特徴的な相違は認められなかった。

5.4.3 乾燥速度推定のための 100℃試験

(1) はじめに

木材が水中貯木されることにより乾燥性が改善されるかどうかを検証するために、従来人工乾燥スケジュール推定法である、通称 100℃試験を応用して、その乾燥速度を測定することで検証した。

(2) 実験方法

1) 試験材

10 か月間水中貯木したスギ丸太（埼玉県飯能市吾野地区の西川材、直径 24-29cm、2.3m 長さ）より得た材を用いた。すなわち、辺材部および心材部から得た、板目板材を試験材とした。寸法は厚さ 20mm×幅 100mm×長さ 200mm である。

スギ丸太は、独立行政法人建築研究所の貯水池（写真 5.4.3-1）に 2011 年 11 月上旬から 2012 年 8 月下旬までの約 10 か月間貯木されたものである。スギ丸太を貯水池から引き上げた後、当日のうちに玉切りして乾燥しないようにラップフィルムで包んだ。それを輸送した後、製材して所定の寸法の試験材を得た。



写真 5.4.3-1　スギ丸太水中貯木風景（建築研究所貯水池）

2) 方法

方法は、乾燥方法が不明の木材に対する乾燥スケジュール簡易推定法として開発された（たとえば、寺沢真：木材乾燥スケジュールの簡易決定法,木材工業,総説,Vol.20,No.5,2-7（1965））法を応用した。 すなわち、100℃の恒温器内で木材を乾燥させる（写真 5.4.3-2）。その経過中に発生する損傷（初期割れ、断面変形、内部割れ）を観察して、損傷の程度から人工乾燥スケジュールを推定する。今回は乾燥開始から 30 分ごとに重量計測を行い、得られる乾燥曲線（指数関数近似）から、乾燥速度の大小に関わる乾燥速度減少係数（図 5.4.3-1 中の式の係数 K）により乾燥性の評価を行った。K 値は、負の値を示すが、その絶対値が大きいほど早く乾燥することを意味する係数である。

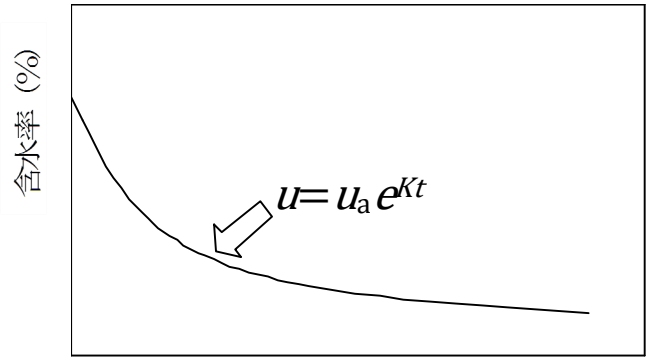


図 5.4.3-1　乾燥曲線イメージ

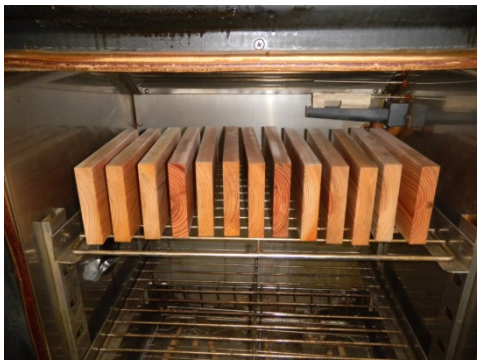


写真 5.4.3-2　100℃試験風

(3) 結果・考察

1) 10 か月水中貯木したスギ試験材の含水率

図 5.4.3-2 に 10 か月水中貯木したスギ丸太から得た 100℃試験材の試験直前の初期含水率を示す。辺材では 200%を越えていた。一方、心材では 90%前後であった。概ね伐採直後の辺材および心材含水率に相当する水分状態にあったことがわかる。

2) 乾燥曲線

10 か月水中貯木後のスギ辺材および心材の 100℃試験の乾燥経過を図 5.4.3-3 に、未処理のそれを図 5.4.3-4 示す。これらの図中には指数回帰曲線の式と乾燥速度減少係数 (*K*) も同時に示してある。データとの相関は良好である。

3) 水中処理材の乾燥性

10 か月水中貯木処理した試験材および未処理の試験材について、初期含水率、平均年輪幅、全乾密度、乾燥速度減少係数の結果を表 5.4.3-1 にまとめて示した。

また図 5.4.3-5 にはスギ辺材の水中貯木処理材と未処理材の乾燥速度減少係数の比較を示した。

①辺材と心材の乾燥性

表 5.4.3-1 および図 5.4.3-3、図 5.4.3-4、図 5.4.3-5、特に図 5.4.3-5 から、辺材においては、未処理、水中貯木処理の各辺材の乾燥速度減少係数について 2 つの標本平均の差の検定（t 検定）を行った結果、危険率 1%有意差があったことから、10 か月間の水中貯木処理により乾燥速度減少係数の絶対値が大きくなる（乾燥速度が大きくなる）傾向がうかがえる。

一方、図 5.4.3-6 に心材の乾燥速度減係数を示したが、心材では、10 か月の水中貯木処理では乾燥速度に及ぼす影響は見られない。

水中貯木処理材の辺材と心材の乾燥性を比較したのが図 5.4.3-7 である。明らかに辺材の方が心材に比べて乾燥性が良いことがわかる。

②乾燥速度と初期含水率の関係

図 5.4.3-8 に初期含水率と乾燥速度減少係数の関係を示す。縦軸は反転して示してある。数値の絶対値が大きいほど乾燥が杯ことを意味する。

10 か月水中貯木処理材においては、初期含水率が高いほど、乾燥性が良いという相関がみられたが、未処理材においては両者の相関は見られなかった。

③乾燥速度と平均年輪幅の関係

図 5.4.3-9 に、平均年輪幅と乾燥速度減少係数の関係を示す。両者の相関関係は見られなかった。

④乾燥速度と全乾密度の関係

図 5.4.3-10 に、全乾密度と乾燥速度減少係数の関係を示す。統計的には両者の相関関係はほとんど見られなかった（有意水準 P=0.1 では有意差あり）。一般的に言えば、密度が大きいほど乾燥性は悪くなるといわれている。

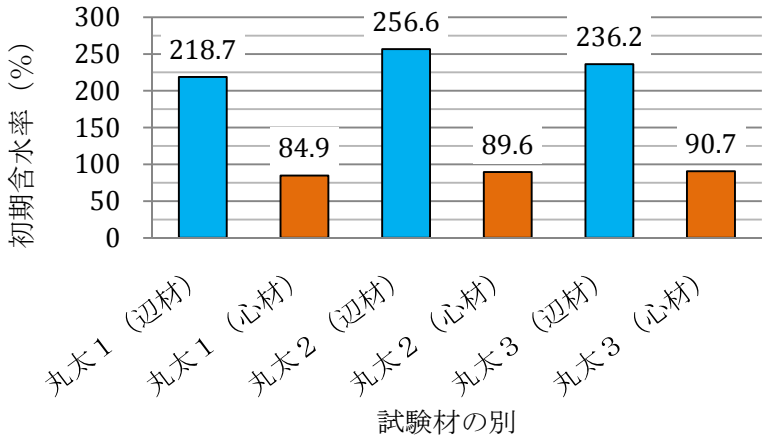
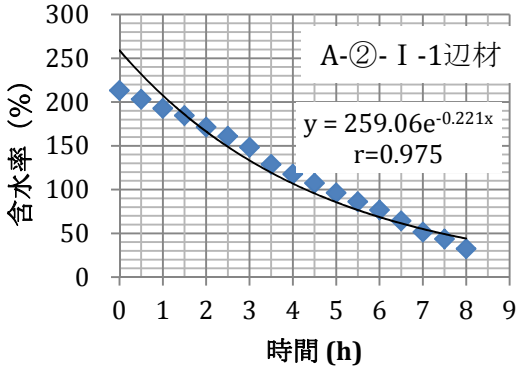
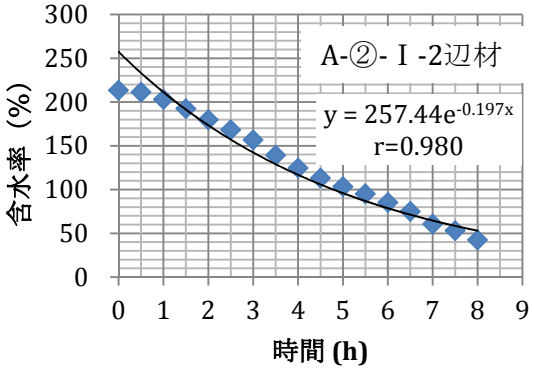
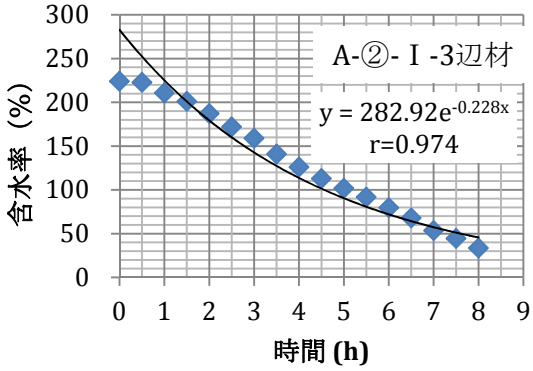
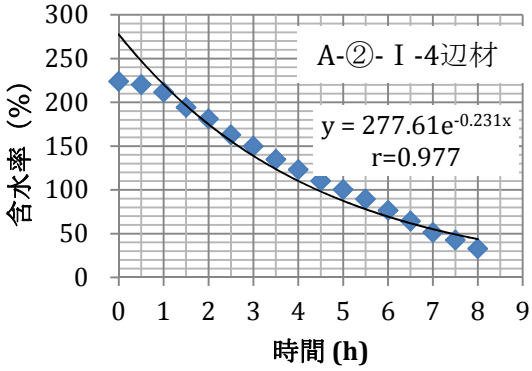


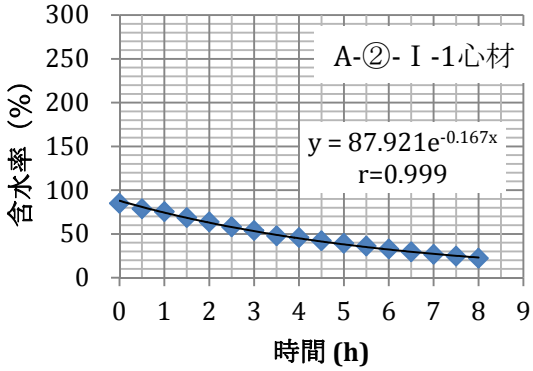
図5.4.3-2　スギ材の初期含水率（10か月水中貯木材）

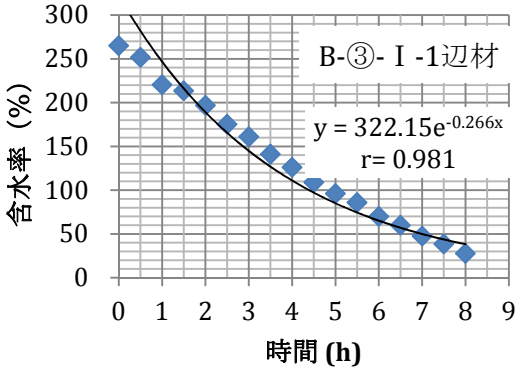

A-②-Ⅰ-1辺材
y = 259.06e-0.221x
r=0.975
含水率（%）
時間 (h)

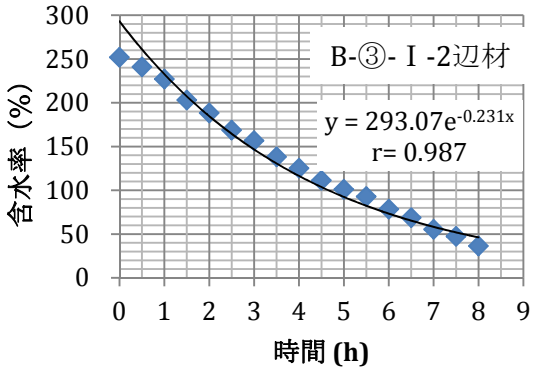

A-②-Ⅰ-2辺材
y = 257.44e-0.197x
r=0.980
含水率（%）
時間 (h)

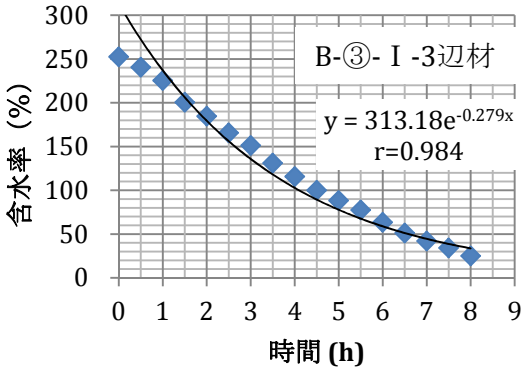

A-②-Ⅰ-3辺材
y = 282.92e-0.228x
r=0.974
含水率（%）
時間 (h)


A-②-Ⅰ-4辺材
y = 277.61e-0.231x
r=0.977
含水率（%）
時間 (h)


A-②-Ⅰ-1心材
y = 87.921e-0.167x
r=0.999
含水率（%）
時間 (h)


B-③-Ⅰ-1辺材
y = 322.15e-0.266x
r= 0.981
含水率（%）
時間 (h)


B-③-Ⅰ-2辺材
y = 293.07e-0.231x
r= 0.987
含水率（%）
時間 (h)


B-③-Ⅰ-3辺材
y = 313.18e-0.279x
r=0.984
含水率（%）
時間 (h)

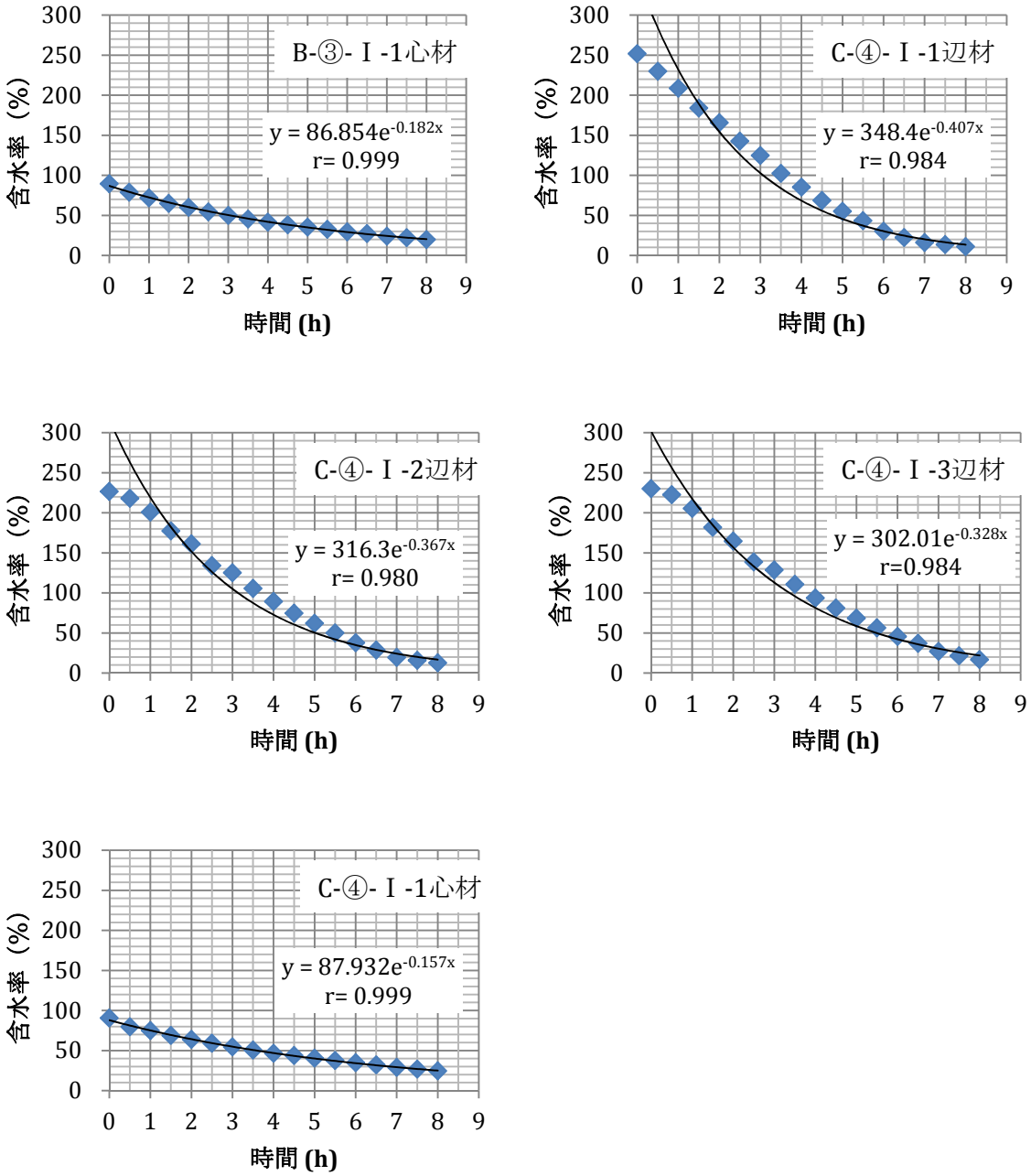
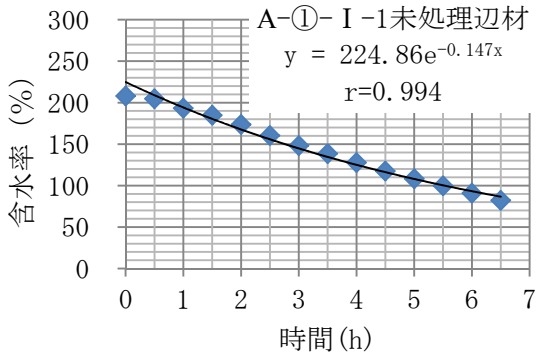
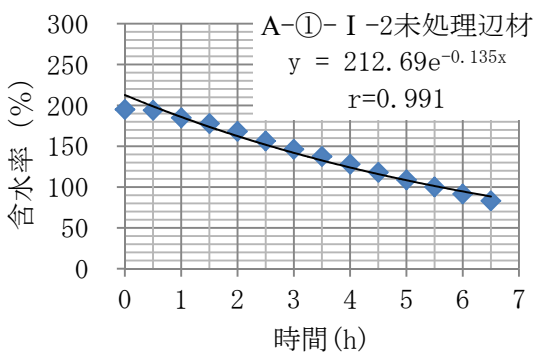
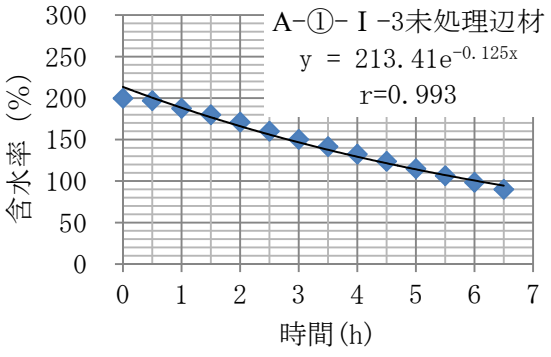
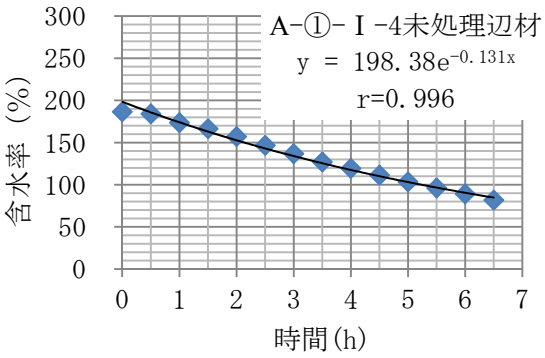


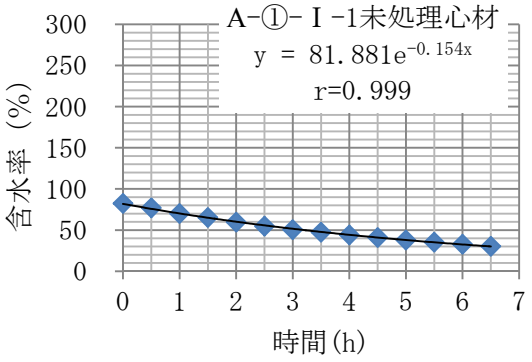
図 5.4.3-3　10 か月水中貯木処理したスギ材の 100℃試験時の乾燥曲線

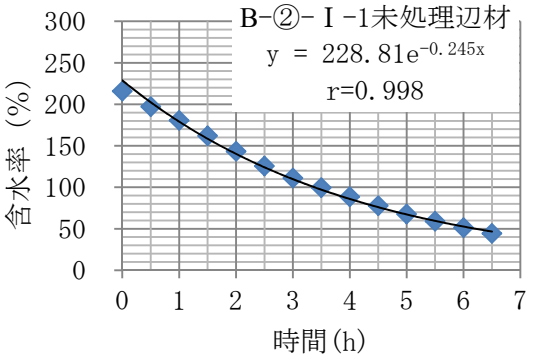

A-①-Ⅰ-1未処理辺材
y = 224.86e-0.147x
r=0.994
含水率（%）
時間(h)

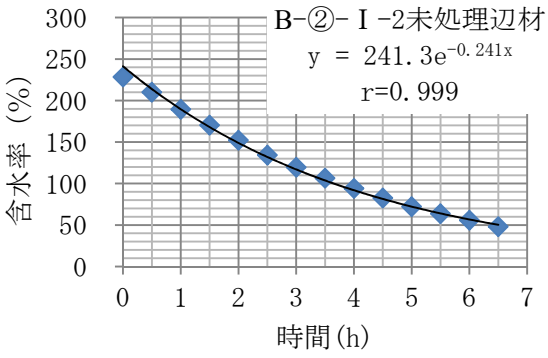

A-①-Ⅰ-2未処理辺材
y = 212.69e-0.135x
r=0.991
含水率（%）
時間(h)

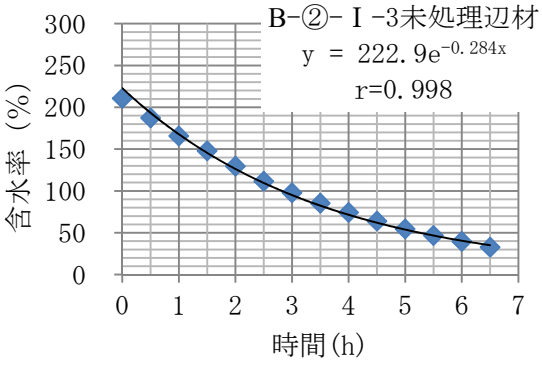

A-①-Ⅰ-3未処理辺材
y = 213.41e-0.125x
r=0.993
含水率（%）
時間(h)


A-①-Ⅰ-4未処理辺材
y = 198.38e-0.131x
r=0.996
含水率（%）
時間(h)


A-①-Ⅰ-1未処理心材
y = 81.881e-0.154x
r=0.999
含水率（%）
時間(h)


B-②-Ⅰ-1未処理辺材
y = 228.81e-0.245x
r=0.998
含水率（%）
時間(h)


B-②-Ⅰ-2未処理辺材
y = 241.3e-0.241x
r=0.999
含水率（%）
時間(h)


B-②-Ⅰ-3未処理辺材
y = 222.9e-0.284x
r=0.998
含水率（%）
時間(h)

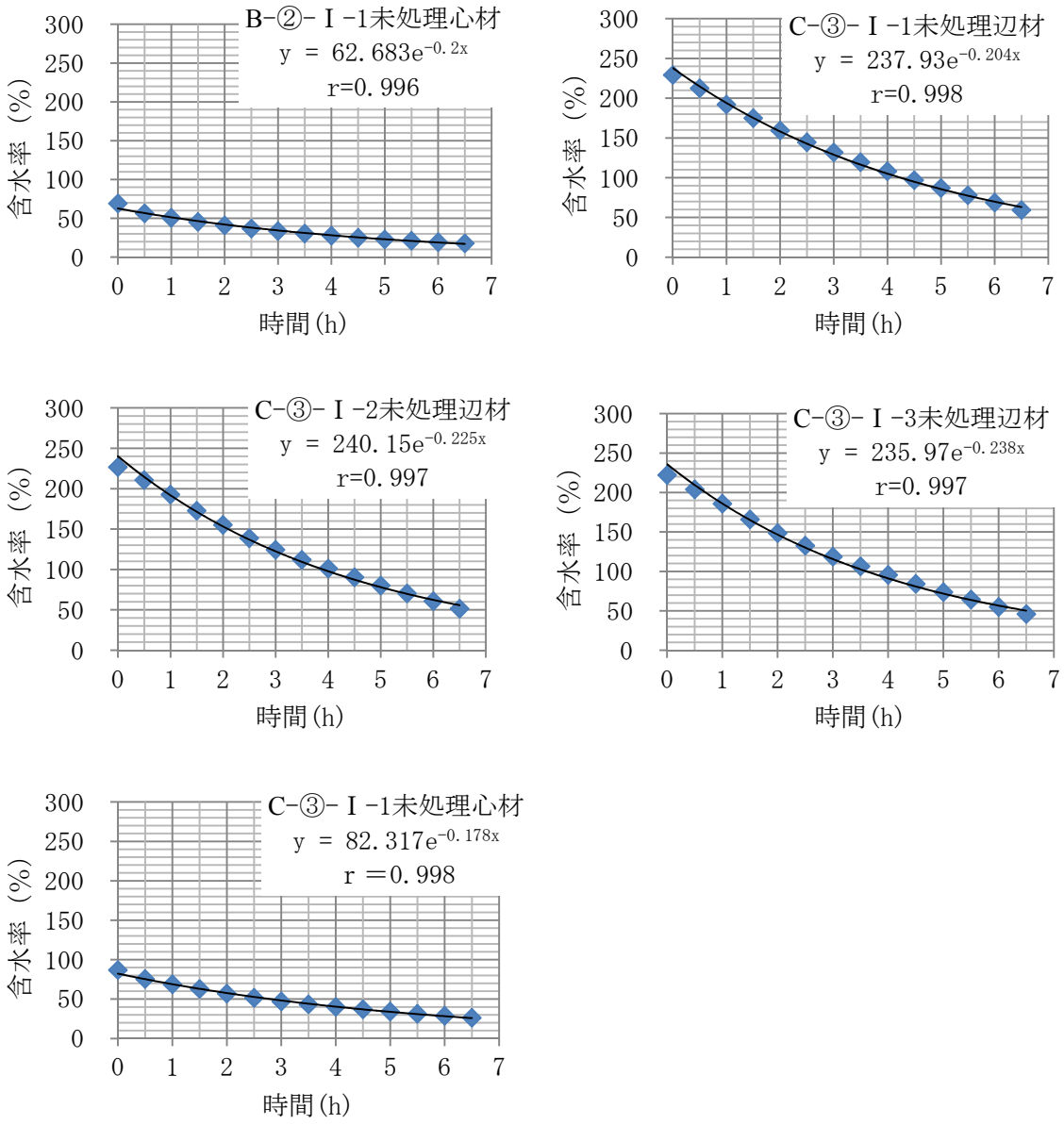


図 5.4.3-4　未処理スギ材の 100℃試験時の乾燥曲線

表 5.4.3-1　スギ水中貯木処理材の乾燥速度

丸太番号	処理の別	試験体		初期含水率（%）		平均年輪幅（mm）		全乾密度（g/cm^3）		乾燥速度減少係数(1/T)	
A	10か月水中貯木材	辺材	A-②-Ⅰ-1	213.3	218.7	2.2	1.8	0.39	0.37	-0.221	-0.219
			A-②-Ⅰ-2	213.5		1.7		0.38		-0.197	
			A-②-Ⅰ-3	224.2		1.7		0.36		-0.228	
			A-②-Ⅰ-4	224.0		1.7		0.37		-0.231	
		心材	A-②-Ⅰ-1	84.9	84.9	2.9	2.9	0.37	0.37	-0.167	-0.167
	未処理材	辺材	A-①-Ⅰ-1	208.2	197.4	1.6	1.6	0.35	0.36	-0.147	-0.135
			A-①-Ⅰ-2	195.2		1.8		0.35		-0.135	
			A-①-Ⅰ-3	199.7		1.4		0.36		-0.125	
			A-①-Ⅰ-4	186.5		1.5		0.36		-0.131	
		心材	A-①-Ⅰ-1	82.4	82.4	1.5	1.5	0.38	0.38	-0.154	-0.154
B	10か月水中貯木材	辺材	B-③-Ⅰ-1	265	256.6	1.9	1.8	0.32	0.33	-0.266	-0.259
			B-③-Ⅰ-2	252.1		2.1		0.33		-0.231	
			B-③-Ⅰ-3	252.7		1.6		0.34		-0.279	
		心材	B-③-Ⅰ-1	89.6	89.6	3.6	3.6	0.36	0.36	-0.182	-0.182
	未処理材	辺材	B-②-Ⅰ-1	215.8	218.3	2.2	2.1	0.34	0.34	-0.245	-0.257
			B-②-Ⅰ-2	228.3		1.9		0.35		-0.241	
			B-②-Ⅰ-3	210.7		2.1		0.34		-0.284	
		心材	B-②-Ⅰ-1	69.2	69.2	3.3	3.3	0.36	0.36	-0.200	-0.200
C	10か月水中貯木材	辺材	C-④-Ⅰ-1	251.9	236.2	2	2.1	0.34	0.35	-0.407	-0.367
			C-④-Ⅰ-2	226.7		2.1		0.36		-0.367	
			C-④-Ⅰ-3	230.1		2.2		0.36		-0.328	
		心材	C-④-Ⅰ-1	90.7	90.7	3.6	3.6	0.40	0.40	-0.157	-0.157
	未処理材	辺材	C-③-Ⅰ-1	229.2	226.0	1.9	1.9	0.35	0.35	-0.204	-0.222
			C-③-Ⅰ-2	226.7		1.8		0.36		-0.224	
			C-③-Ⅰ-3	222.0		1.9		0.33		-0.238	
		心材	C-③-Ⅰ-1	86.7	86.7	2.8	2.8	0.39	0.39	-0.178	-0.178

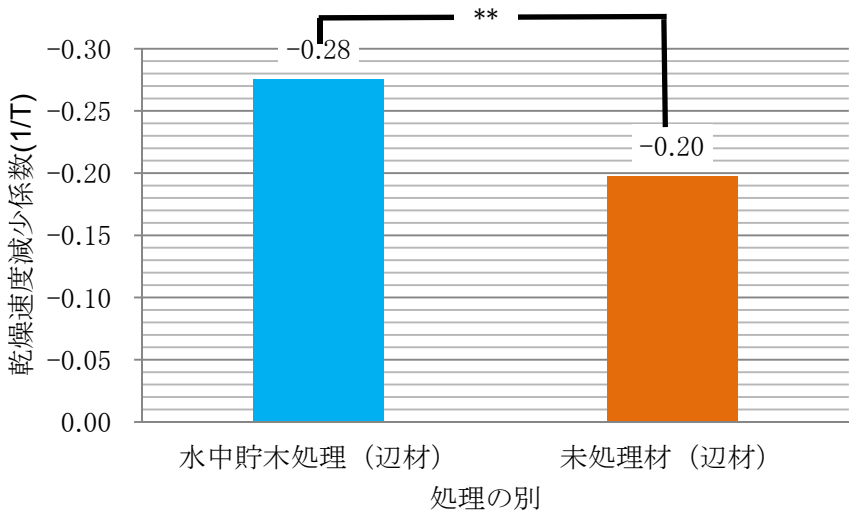


図5.4.3-5　10か月水中貯木処理したスギ辺材の乾燥速度減少係数
**：1%の危険率で有意差あり。

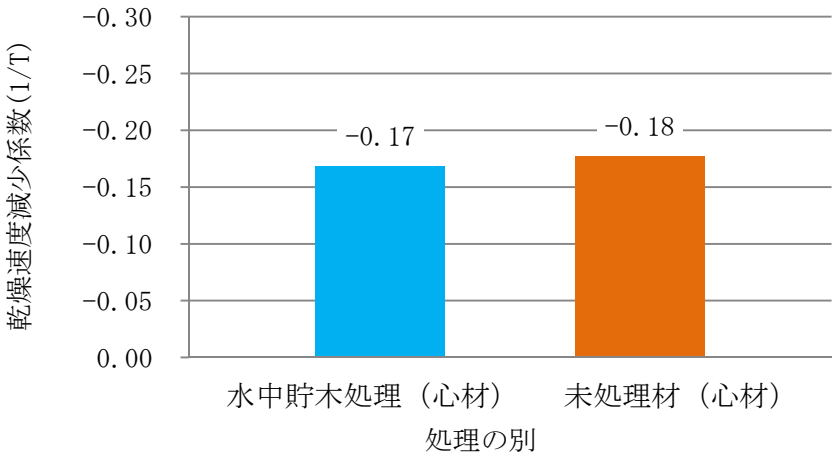


図5.4.3-6　10か月水中貯木処理したスギ心材の乾燥速度減少係数

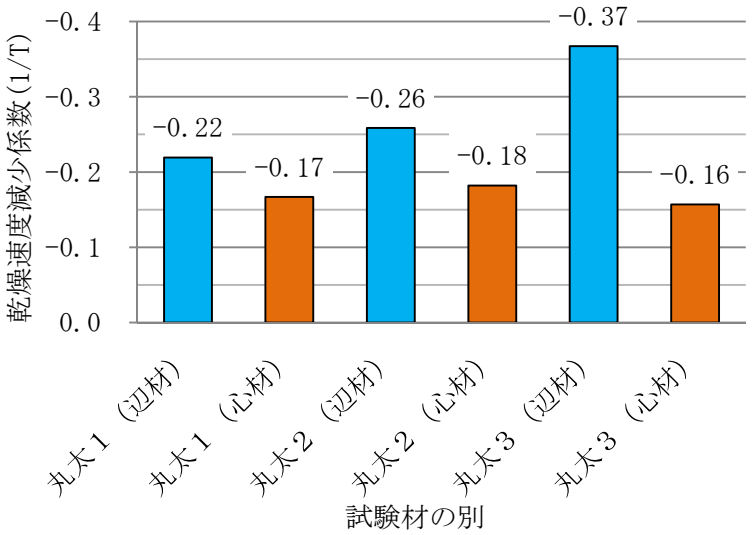


図5.4.3-7　スギ材の乾燥速度減少係数（10か月水中貯木材）

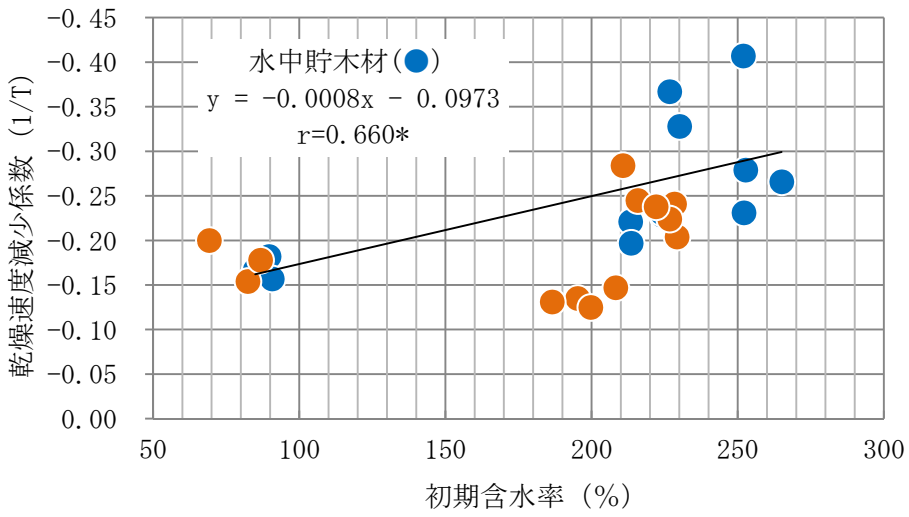


図5.4.3-8　乾燥速度減少係数と初期含水率の関係

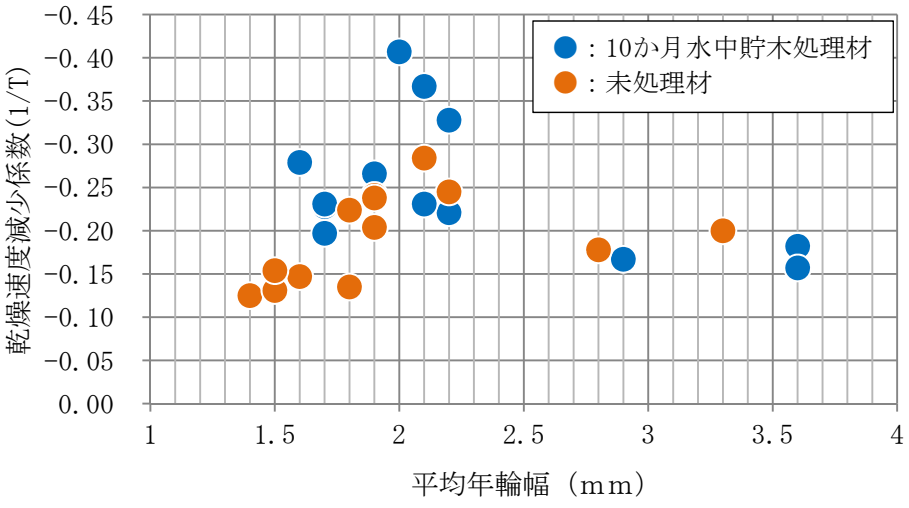


図5.4.3-9　乾燥速度減少係数と平均年輪幅の関係

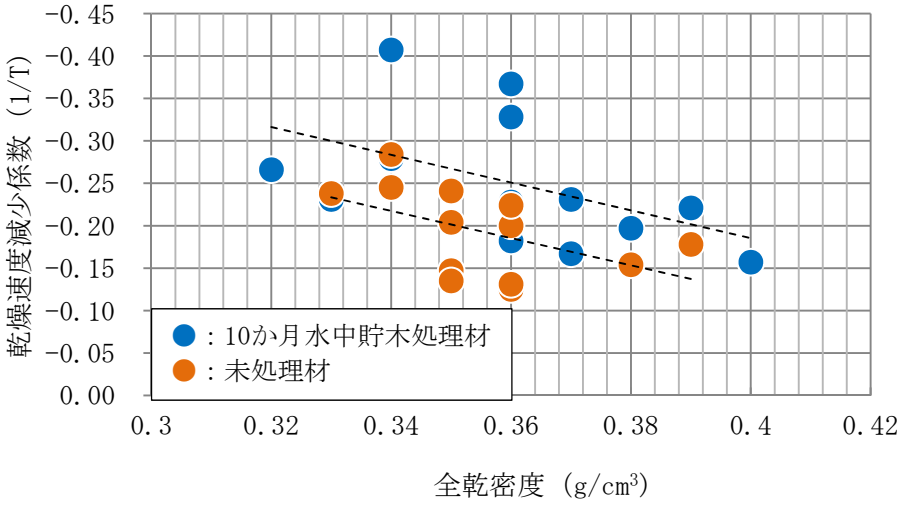


図5.4.3.10　乾燥速度減少係数と全乾密度の関係

(4) まとめ

10 か月水中貯木したスギ材について 100℃試験により、乾燥開始後 8 時間までの乾燥経過を指数関数で近似したときの係数＝乾燥速度減少係数を求め乾燥性を評価した。乾燥速度減少係数は、負の値をとるが、その絶対値が大きいほど乾燥が早くなることを示す。結果は以下のようであった。

1) 10 か月水中貯木したスギ試験材の含水率は、辺材では 200%を越えていた。一方、心材では 90%前後であった。これは伐採直後に材が示す含水率状態とほぼ近い。

2) 100℃試験の乾燥経過は指数回帰曲線に良くフィットした。

3) 水中処理材の乾燥性

①辺材と心材の乾燥性

辺材においては、10 か月間の水中貯木処理により乾燥速度減少係数の絶対値が大きくなる（乾燥速度が大きくなる）傾向がうかがえる。心材では、10 か月の水中貯木処理では乾燥速度に及ぼす影響は見られない。水中貯木処理材の辺材と心材の乾燥性比較では、明らかに辺材の方が心材に比べて乾燥性が良い。

②乾燥速度と初期含水率の関係

10 か月水中貯木処理材においては、初期含水率が高いほど、乾燥性が良いという相関がみられたが、未処理材においては両者の相関は見られなかった。

③乾燥速度と平均年輪幅の関係

平均年輪幅と乾燥速度減少係数の間には相関関係は見られなかった。

④乾燥速度と全乾密度の関係

一般的に言えば、木材の密度が大きいほど乾燥性は悪くなるといわれている。今回の試験結果では非常に弱い相関（有意水準 P=0.1 では有意差あり）があるように見えるが、統計的には両者の相関関係は認められなかった。

(5) 結論

水中貯木処理が木材の乾燥性改善に効果があるかどうかに関しては､今回行った 10 か月の水中貯木処理の結果では、スギ辺材部において、その効果が認められた。

一方スギ心材部ではその効果が認められなかった。

水中貯木処理の乾燥性向上効果については､”認められる”､”認められない”の賛否両論ある。今回の結果からその理由を推定すると、木材乾燥において最も時間を要するのは乾燥が遅い心材部の乾燥である。通常の針葉樹製材は心材部が材の大半を占めている。したがって、乾燥初期においては辺材部の乾燥性が水中貯木処理により向上が伺えたとして、急速な乾燥が見られる可能性があるが、しかしながら材全体として、かつまた乾燥全期間を通しての乾燥時間短縮効果は大きいものにはならない。このあたりが水中貯木処理による乾燥性向上が”認められる”､”認められない”という賛否両論が生じる所以と推定される。

さらに正確な結論は、水中貯木処理材の気体透過性の結果と照らし合わせることで得られよう。

5.5 伝統的木造建築物の耐久性

近年の大地震後に実施された家屋被害の調査によると、倒壊した木造家屋の損傷部位には腐朽や虫害といった生物劣化が認められることが多いことが報告されている。このことは建物の耐震性と同時に、耐久性の確保が伝統的木造に重要であることを示している。

また多くの実務家の間では、耐久性確保の重要性は認識されているものの、建物木部の腐朽や虫害、実際の劣化、その診断方法や対策のための判断基準などに関する基本的な知見が整備されていないのが実情である。その結果、劣化に対する正しい認識と、それに基づく対策の体系化が非常に遅れている。また銅板を用いた木部の保護など、伝統的な家造りにおいてもいくつかの特徴的な劣化対策が施されているものの、その効果についての科学的な検証はほとんど行なわれていない。

耐久性 WG では、平成 22、23 年度に引き続き、全国の伝統的木造の劣化調査を行い、伝統的木造における劣化の特性について分析した。また木部保護を目的とした銅板の使用状況の調査や銅板の腐朽抑制効果の実験的検証を行った。さらに全国の実務家が伝統的木造の耐久性や劣化状態を調査するための手引きをとりまとめた。本節ではその結果を報告する。

5.5.1 伝統的木造建築物の耐久性調査

(1)調査の概要

平成 22、23 年度に引き続き、全国の伝統的な木造建築について、主要構造部材の腐朽や虫害など生物劣化の発生状況を調査した。調査対象物件は、築年数がおよそ 60 年以上の木造建築物で、現在住居や店舗などして利用されている物件とした。調査の結果から、建物の設置されている環境、構造や仕様、施工技術や住まい方と劣化との関係を検討した。

(2)調査対象物件

調査対象物件の一覧を表 5.5.1-1 に示す。

表 5.5.1-1　調査対象物件の一覧

番号	調査日	所在地	物件の概要	調査範囲	生物劣化の概要
1-1	6 月 16 日	岐阜県高山市 宮地家	民家主屋	床下・小屋 裏・外周	腐朽・蟻害・甲虫害あり 床下一部低い・湿気多。
1-2	6 月 17 日	岐阜県高山市 緒方家	農家 （移築）	床下・小屋 裏・外周	腐朽・蟻害・甲虫害あり 床下高い・湿気少ない。
1-3	6 月 17 日	岐阜県高山市 荒川家	農家主屋	床下・小屋 裏・外周	腐朽・蟻害あり 床下一部低い・湿気多い。
1-4	7 月 29 日	大阪市平野区	民家	床下・小屋 裏・外周	腐朽・蟻害・甲虫害あり 床下低い・湿気多。
1-5	8 月 2 日	京都府与謝郡 与謝野町	民家主屋	床下・室内・ 外周	腐朽・蟻害・甲虫害あり 床下低い・湿気多。
1-6	8 月 3 日	京都府与謝郡 与謝野町	民家主屋 物置	床下・室内・ 外周下	腐朽・蟻害・甲虫害あり 床下一部低い・湿気多。
1-7	8 月 3 日	京都府与謝郡 与謝野町	民家	床下・室内・ 外周	外観調査・腐朽あり
1-8	10 月 25 日	京都府京田辺市	民家主屋・ 土蔵	床下・室内・ 外周	腐朽・蟻害・甲虫害あり 床下低い・湿気多。

1-9	11 月 17 日	青森県弘前市	酒屋母屋	室内・外周	主に外観・床下一部の調査 床下一部低い・湿気少ない。
1-10	11 月 17 日	青森県弘前市	武家屋敷	室内・外周	主に外観と小屋裏の調査
1-11	11 月 18 日	青森県黒石市	商家	室内・外周	腐朽・蟻害・甲虫害あり 湿気多。
1-12	11 月 18 日	青森県黒石市	商家	室内・外周	腐朽・蟻害・甲虫害あり 湿気多。

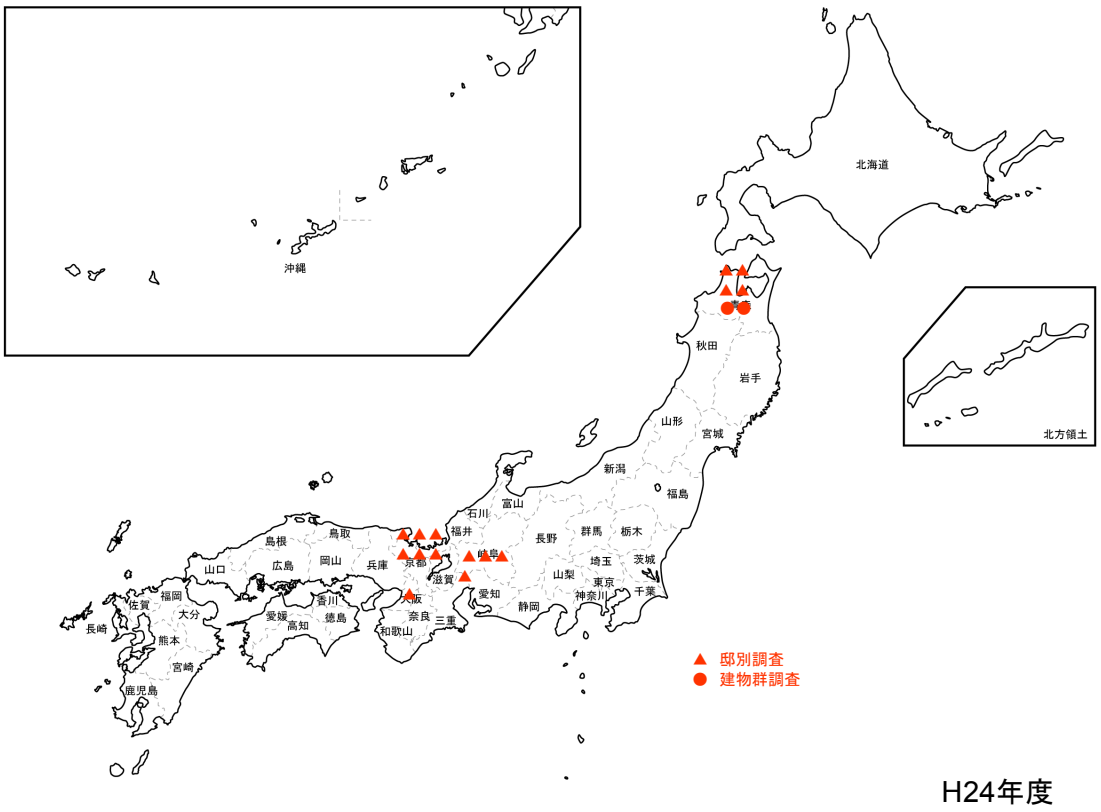


図 5.5.1-1　調査物件の分布図

(3)　調査方法

調査範囲は建物所有者等と協議し、床下、内装・室内、小屋裏、屋根・外周のうち可能な領域とした。調査は専門的な道具を用いない、いわゆる一次診断で、目視、ドライバによる突き刺診、打診、触診を行った。生物劣化が生じていると認められた部位については写真を撮影した。床下においては、劣化の種類（T：シロアリ、D：腐朽、B：甲虫類）および推定した劣化程度（1：被害程度小～3：被害程度大）をチョークで記して写真を撮影するとともに、劣化部位を図面に記した。調査方法の詳細については、平成 23 年度の報告書で解説をしているが、本節 5.5.3 でも触れる。

(4)　調査結果（邸別の耐久性評価結果）

1)　民家（宮地家、高山市、6 月 16 日）

明治 8 年の大火の後すぐに立てられた高山の標準的な町家。軒が低く、細長い間取りで道路側から主屋、中庭、土蔵と並んでいる。かつては越中街道に面していて米屋、酒屋などの商売を営みながら農業も行っていた。

建物は修復保存処理が行われており、現在は一般に公開されている。居住状態ではない。



写真 5.5.1-1　宮地家正面

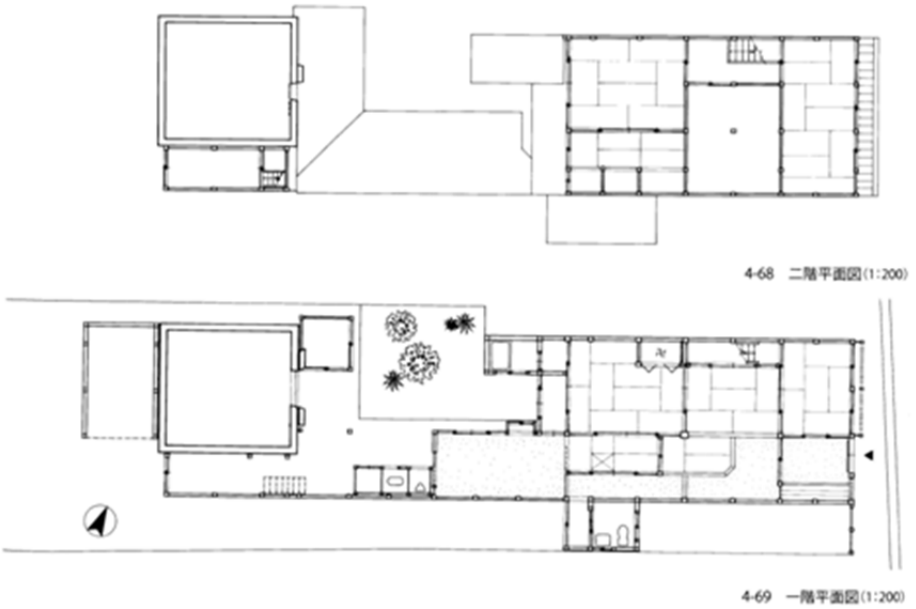


図 5.5.1-2　宮地家平面図





写真 5.5.1-2　床下での劣化検出部位
上左：床下と土壌の状態、上中：土台の蟻害、
上右：土台の蟻害と腐朽、下：土台の腐朽部

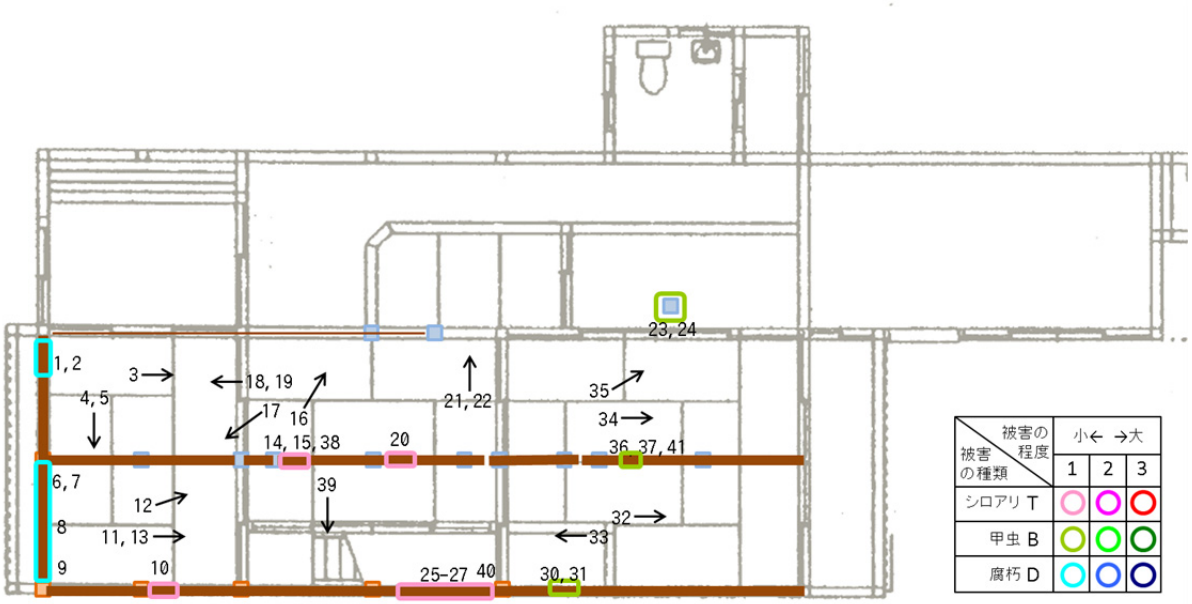


図 5.5.1-3　宮地家床下の劣化調査結果

床下の土壌は概ね乾燥しており、床高さは建物中央から中庭にかけては十分高い。しかし道路側に向かって土壌面が高くなり、かつ道路側溝からの排水などの影響と思われる水分や換気不良による湿気によって、土壌は湿っており、土台などに腐朽が認められた。また腐朽部位の付近や側面（妻面）壁側の足元（土台）では、ヤマトシロアリの食害痕跡が認められた（側柱の足元まで）。また換気不良のため湿気・結露が発生しており、それによる床束の腐朽が認められた。

2)　農家（荒川家・重要文化財、高山市、6 月 17 日）

荒川家は天正年間(1573～92)から続くという旧家。主屋と土蔵は江戸中期に建てられたもの。

現在は文化財建造物として、保存修復され一般に公開されている。居住状態ではないが、維持保全は実施されている。



写真 5.5.1-3　荒川家正面



写真 5.5.1-4　荒川家床下の状態
左：地覆の腐朽（進行性）、右：床束の腐朽



写真 5.5.1-5　荒川地家床下の劣化状態
左：地覆の腐朽、右：同じ



図 5.5.1-4　荒川地家床下の劣化調査結果

床下の土壌はやや湿っている。床下高は総じて低く、換気も良好ではない。床束を中心に腐朽が認められた。特に礎石に接している束の下端付近では腐朽が頻発していた。シロアリや甲虫の食害は認められなかった。建物周囲の土台などにも腐朽が認められた。

建物外周には重大な劣化は認められなかった。庇が深いため雨水や降雪による外壁や木部の濡れが避けられたためと思われる。

3)　農家（緒方家・移築物件、高山市、6 月 17 日）

木造平屋（157m^2）、農家造り、屋根はくれ葺きで置石で固定。内部はどうじ、ざしき、にわ、でい、まやなどを設けている。江戸後期の住宅で大型。嘉永 3 年（1850 年）建築、平成 15 年移築され現在に至る。移築後の床下土壌はコンクリートスラブ製。現在は保存建物として公開。



写真 5.5.1-6　緒方地家床下の甲虫類食害の発生状況

虫孔の直径が 1 から 2 ㎜程度の食害はヒラキクイムシ類、2 から 3 ㎜のものはケブカシバンムシなどシバンムシ類（竹は除く）、3 から 4 ㎜のものは、カミキリムシ類、クロタマムシなど（広葉樹ではシンクイムシも）、5 ㎜以上は概ねハチ類と推定される。



写真 5.5.1-7　緒方地家床下の腐朽発生状況

左：床束の褐色腐朽、右：大引（クリ）の白色腐朽

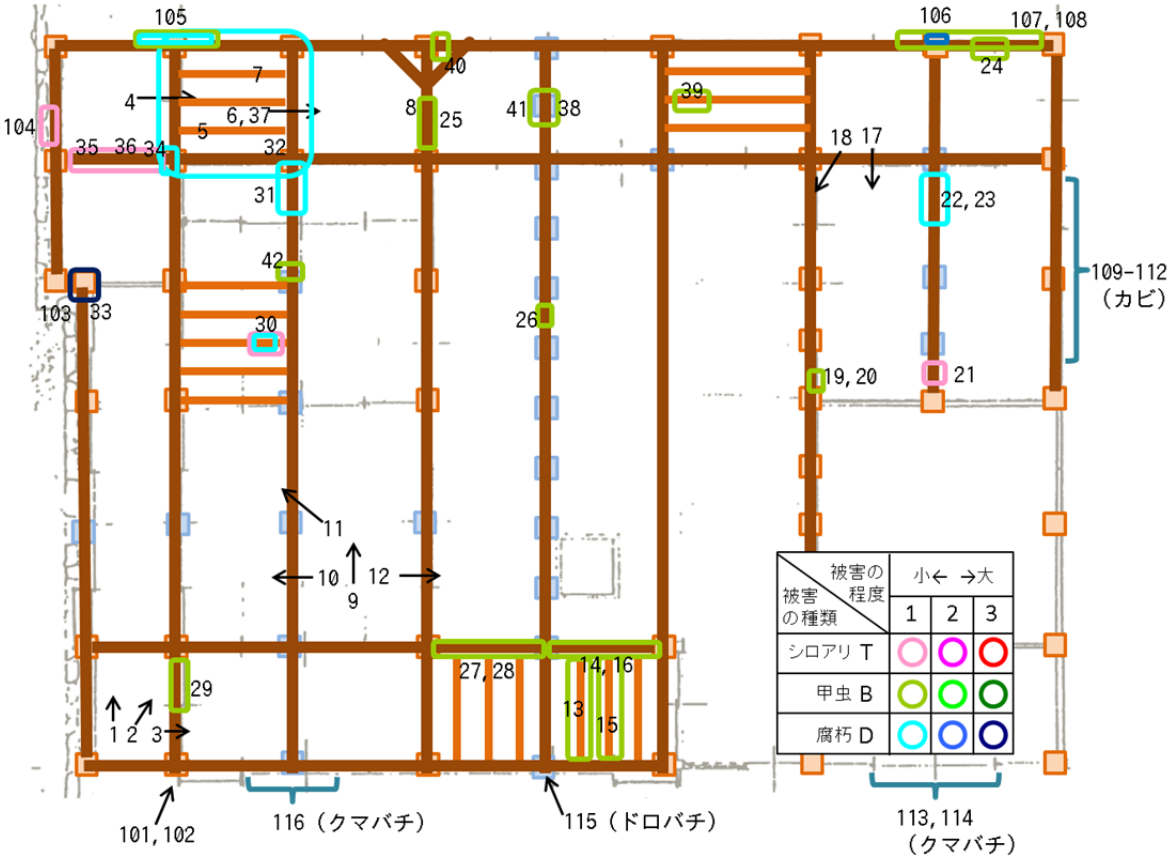


図 5.5.1-5　緒方家床下の劣化調査結果

移築後は、コンクリートスラブの上に設置され、かつ建物周囲に対して床下空間が開放されているため、材は乾燥しており、一部の区画を除いて腐朽は認められなかった（過去の痕跡のみ）。シロアリ食害の痕跡も認められたが、おそらく移築前に発生したものと思われる。

その一方で、甲虫類やハチ類による食害痕跡は多数認められた。

4)　民家（大阪市平野区、7 月 29 日）

昭和初期に建築された木造軸組み、2 階建て、瓦葺きの建物（一部はコンクリート造）である。

床下土壌は現しで、シロアリの這い上がりおよび食害の痕跡が数ヶ所で認められた。仏間裏の区画の床下基礎が閉鎖状態にあり、ここにおいてシロアリ食害が発生していることが予測された。

居住状態で維持管理状態は良好であるが、床下については手入れは十分ではなく、腐朽や虫害が長年にわたって発生・拡大したものと思われる。



写真 5.5.1-8　調査住宅の正面



写真 5.5.1-9　調査住宅の床下の状態

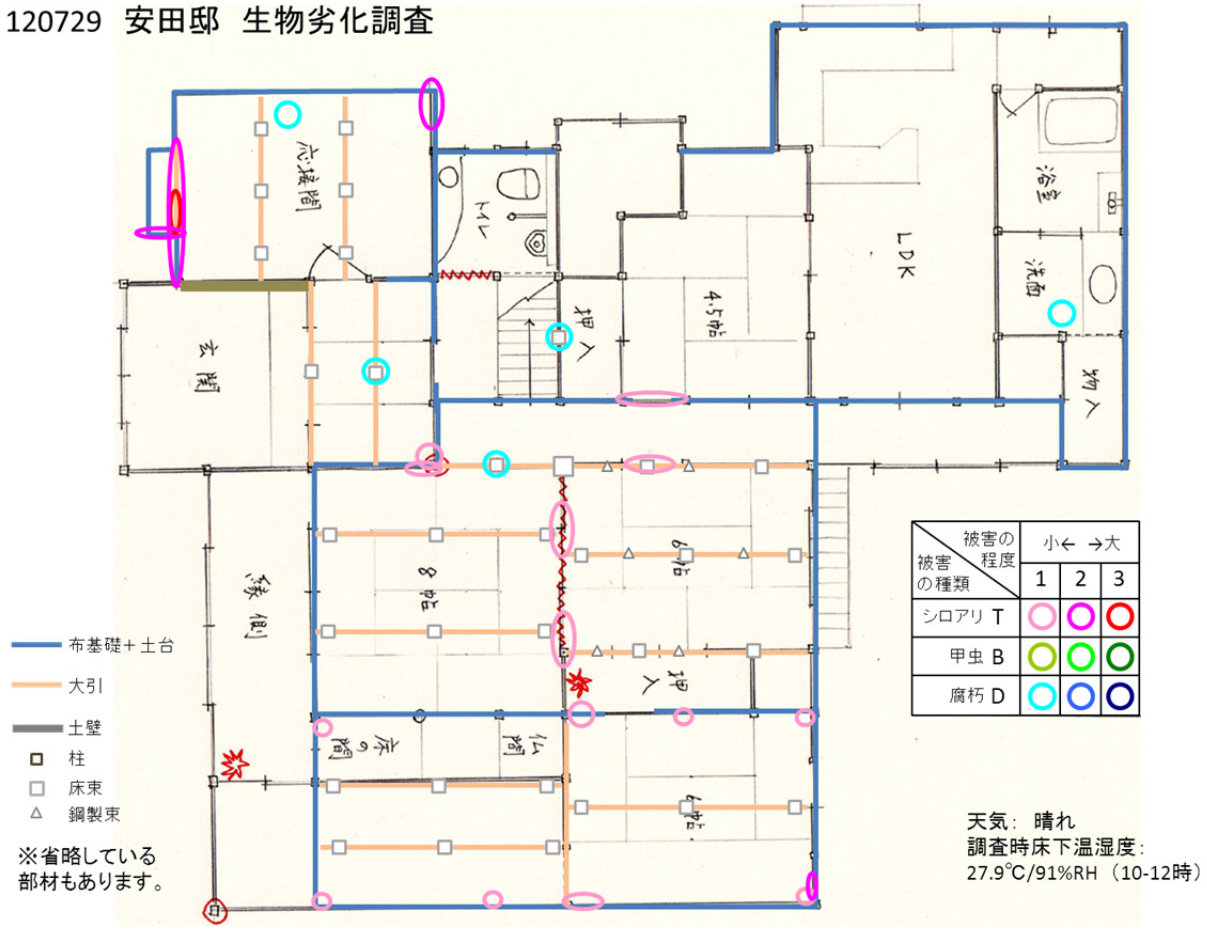


図 5.5.1-6　調査住宅の床下の劣化分布

洋間はモルタル仕上げの大壁で、外観から内部の劣化状態を知ることは難しい。また部分的な改修や修理の履歴、シロアリ駆除の履歴が認められた。定期的で根本的なシロアリ対策を施していないためシロアリ食害が根治せず、分散したとも思えるような劣化分布であった。

5)　民家（京都府与謝野町、8 月 2 日）

伝建地区における保存建物（改修中）について調査を行った。木造平屋（一部中二階がある）、瓦葺きで、当初建物は江戸期のものと思われる。

床下が低く、換気も不良のため、腐朽やシロアリ食害、さらに甲虫食害が多数認められた。また進行性のシロアリ食害も認められた。建物壁面に露出している柱などの構造部材については甲虫類や雨仕舞い不良によると思われるシロアリ食害の痕跡が認められた。



写真 5.5.1-10　調査住宅の正面

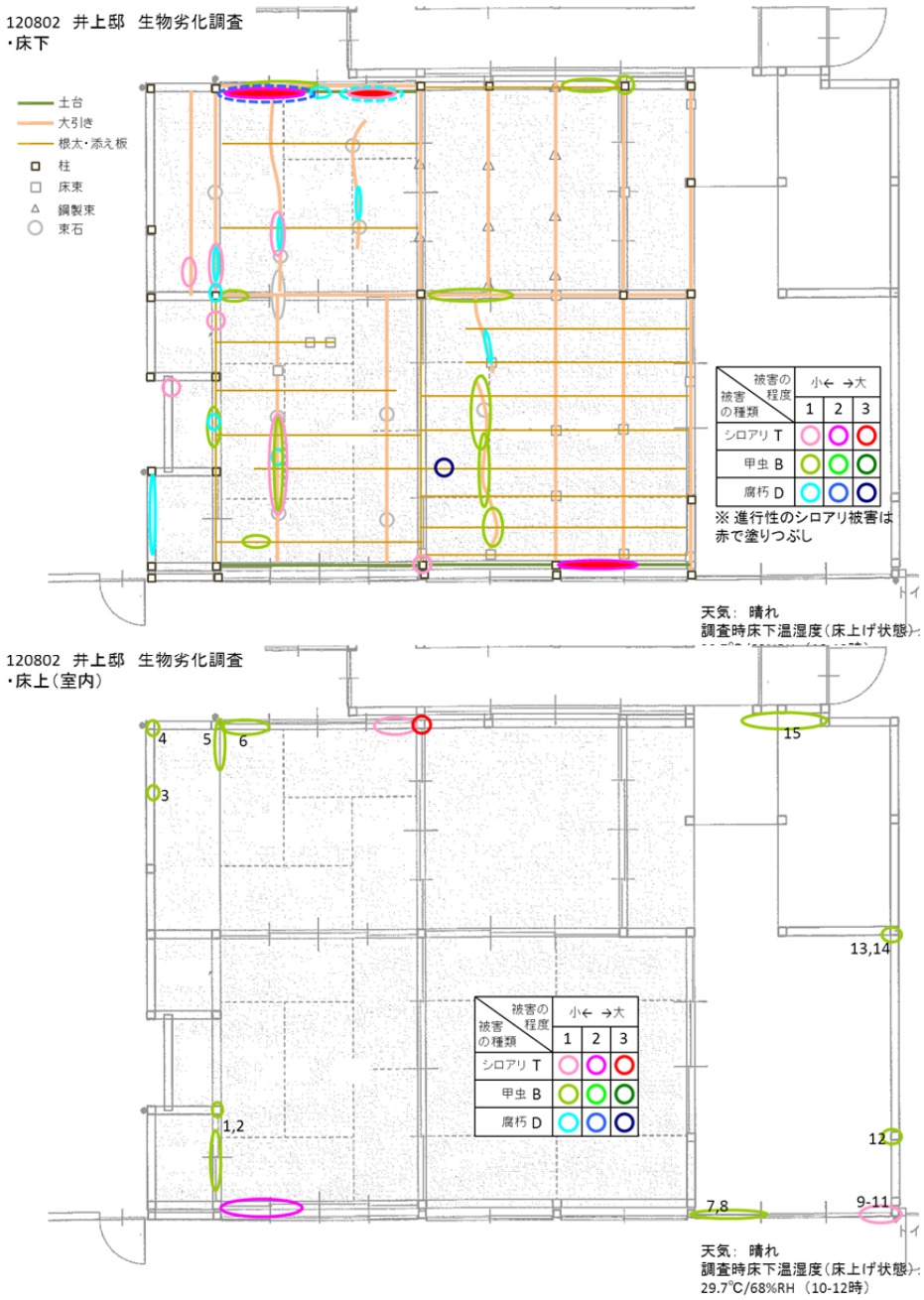


図 5.5.1-7　調査住宅の劣化分布

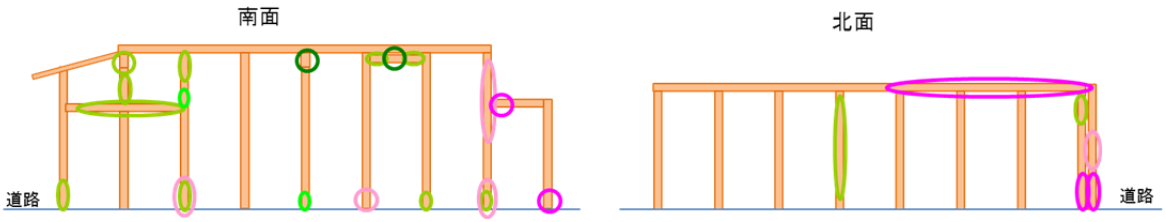


写真 5.5.1-8　調査住宅の正面

6)　民家（京都府与謝野町、8 月 3 日）

伝建地区における保存建物について調査を行った。木造二階建て、瓦葺きで、居住状態にあり、繊維関連業が営まれている。建物奥の部分は近年に改修されている。

通り庭から奥の土間にかけてシロアリ食害が認められた。また床下を中心に甲虫類の食害痕跡が多数認められた。建物の表および裏を中心に外周付近では腐朽症状が認められた。



写真 5.5.1-11　調査住宅の正面

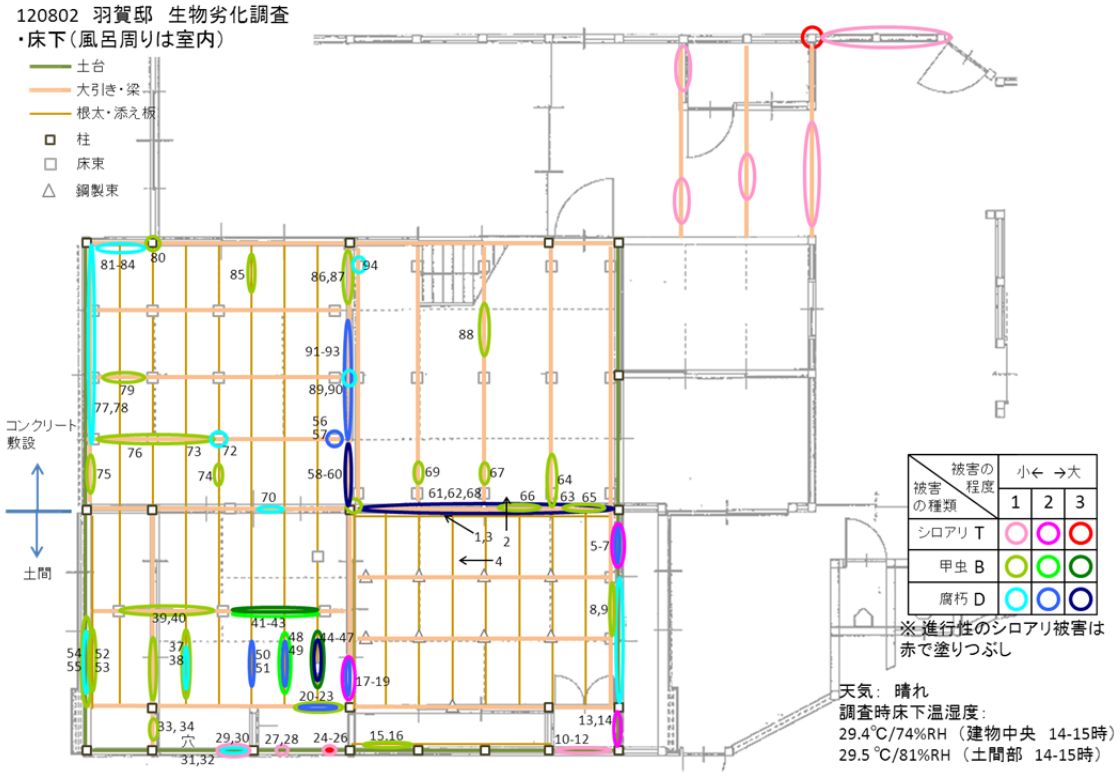


図 5.5.1-9　調査住宅の床下の劣化分布

奥の間の大引きを中心激しい腐朽部位が確認されている。またこのあたりを中心に甲虫の被害も多発していた。

7)　民家（京都府与謝野町、8 月 3 日）

伝建地区における保存建物について調査を行った。木造二階建て、瓦葺きで、居住状態にある。詳細な内部の調査はできなかったため、外壁を中心に調査を行った。この地方の特色として、外壁の土壁を荒壁ないしは中塗りで仕上げている場合がある。また軒裏も同様に壁土で塗りこめ仕上げとしている。さらに庇の出が浅く、建物が適切に維持管理されていないと、短期間で土壁の剥落、雨水の浸潤、劣化発生が繰り返され、甚大化する傾向にある。

8)　民家（京田辺市（吉山邸）、10 月 25 日）

奈良と京都を結ぶ街道筋の建物で、木造二階建て、瓦葺きの建物である。かつては料理屋が営まれており、土蔵がある。

屋根瓦の葺き替えなどの改修は行われてきたが、床下については、専門のシロアリ防除業者が種々の施工を行った履歴が認められる。



写真 5.5.1-12　調査住宅の正面

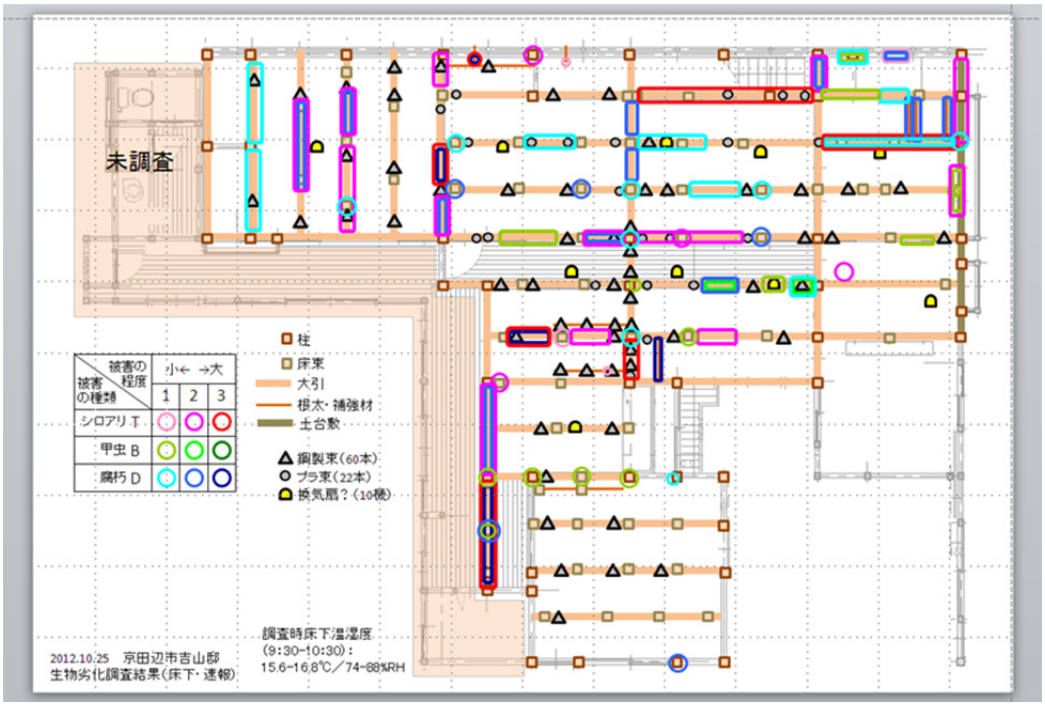


図 5.5.1-10　調査住宅の床下の劣化分布

長年の間にシロアリ食害および腐朽が進行し、その分布領域も広く、部分的には劣化の程度も激しい。床下土壌の状態と換気などとの関連で発生したと思われる。床下のシロアリ防除工事にともないプラスチック製の束、床下換気装置、床下土壌乾燥剤の施工などが相当になされた痕跡が認められる。



写真 5.5.1-13　調査住宅の床下の状態

9)　商家（青森県弘前市、11 月 17 日）

弘前城の城下町は、南北に長く東西に短いほぼ矩形の弘前城を、自然地形を活かしながら四方から取り囲むように配置された。今は搦手門となっている北門（亀甲門）が当初の弘前城の大手門であり、その北側に亀甲町と呼ばれる一筋の町人町をはさんで、数か町の侍町が配置された。この侍町を仲町と呼んでいるが、保存地区はこの地域のほぼ 3 分の 2、面積約 10.6 ヘクタールの区域である。保存地区は往時の地割りをよく踏襲しているほか、道路沿いに連続するサワラの生垣、点在する門や板塀、前庭の樹木が独特の景観を生みだし、前庭の奥に建つ木造真壁造の主屋とともに城下町の雰囲気を残している。近年、多くの伝統的な町並みが大きく変ぼうしているなかにあって、江戸時代の武家屋敷街の景観を今に伝える地区として重要である伝建地区概要（弘前市 HP より作成）。

石場家は江戸時代、弘前藩出入りの商家であり、主に藁製品を取り扱っていた。石場家は少なくとも 18 世紀初頭から続く家柄で、最初の建築は 18 世紀前半であり、主屋は初め他所にあった物を 19 世紀初頭、現在地（弘前城北部の亀甲門前）に移築したと推定されている。石場家住宅は 1973 年（昭和 48 年）2 月 23 日に国の重要文化財に指定された。現在も住居として使われているが、内部を見学することが出来る。桁行 18.1m、梁間 18.2m、一部は二階建てとなっている。屋根は南面が入母屋造、北面、東面突出部、北面突出部が切妻造、出入り口は妻入り。東面突出部　桁行 5.7m、梁間 8.3m。北面突出部　桁行 2.8m、梁間 9.2m。主屋は角地にあり南面と西面が通りに面しており、津軽地方独特の「こみせ」（雨や雪をしのぐ、木造のアーケード）がある。



写真 5.5.1-14　調査住宅とその床下の状態

石場家については詳細調査はできなかったが、床高は低いものの、床下土壌は乾燥しており、腐朽が促進されるような環境ではなかった。

10)　武家屋敷（旧岩田家住宅、弘前市仲町伝建地区、11 月 17 日）

寄棟造、茅葺、玄関及東・南・北面庇付、柾葺、桁行 11.454 メートル、梁間 6.681 メートル

この建物は、仲町伝統的建造物群保存地区の東端にあり、諸資料からみて寛政時代末から文化年間（1800 年前後）に建てられたものと考えられる。数度の改造を受けているが、主要構造部材や屋根などはほぼ建築当初のままで今日に至った。岩田氏から門、土地と共に弘前市に寄贈され、調査に基づいて第一次改造時の姿に復元されている。弘前城下の中級武士の住宅で、また敷地利用も旧態を保ち、当時の生活を知る貴重な遺構である（旧岩田家概要、同 HP から）。

岩田家については､外観および室内側からの調査を行った｡床下の状態については不明であるが、保存修復に伴う茅葺き屋根の改修後、適切に維持管理されており外観上大きな劣化症状は未と得られなかった。ただし戸閉め状態にあることが多く、換気を中心とする湿気対策が必要と思われる。また小屋裏については 1 階床からの吹き抜け構造になっており、囲炉裏などを使用することでかつては煙による甲虫類の忌避や材の乾燥保持が可能であったと思われる。



写真 5.5.1-15　調査住宅と小屋裏の状態

11、12)　商家（青森県黒石市、黒石市中町伝建地区、11 月 18 日）

黒石市街地の形成は、明暦 2 年（165.5)、津軽信英（のぶふさ）が弘前藩より黒石津軽家の創立を許され、黒石の浅瀬石川北側に陣屋を築き、その北側の町を整備したことに始まる。陣屋の北側に武家地を、その東側の浜街道沿いに中町等の商家町を配した。浜街道は弘前と青森を結び、黒石はその中継地点として発展し、江戸中期には重要文化財の高橋家住宅などの規模の大きな商家が建てられ、町並みが整えられていた。

保存地区は、東西約 170m、南北約 260m、面積約 3.1ha の範囲で、規模の大きな町家が残り、その前面には連続して庇を張り出し､「こみせ」と呼ばれる通路を設ける。町家の主屋は主として切妻造妻入の二階建とし、二階正面には出格子窓を付け、前面のこみせは冬期には正面の柱間に板戸や障子戸を落とし込み､雪や風の吹き込みを避ける構造とする｡こみせは今日も日常の往来に供され、こみせが連続して並ぶ町並みは東北地方北部の他地域ではすでに失われ､極めて貴重である（概要、青森県 HP から)。

黒石地区では､2 件の商家の調査（主に外観）を行った｡積雪による木部の濡れが長期間にわたって発生すると思われるが､気温が低いため腐朽菌の発生は活発ではないと思われる｡しかし建物の経過年数が長いと緩やかに腐朽が進行するものと思われる｡また夏場には気温が相当上昇するため､ヤマトシロアリも生息可能で､調査建物についてもシロアリの食害痕跡が認められた。



写真 5.5.1-16　調査建物の外観とシロアリ食害

5.5.2　調査データ整理用データベースの構築

これまでの調査結果（物件情報、調査情報など、文書・画像・図面など）のデータを集約したインターネット対応型のデータベースを構築。関係者が閲覧できるようにする（将来的にはより広い範囲に公開できるようにすることも可能）

1）仕様

本データベースの仕様は以下の通りである。

- インターネットでアクセス可能（クラウド型）、本体はサーバ上に構築
- ブラウザで閲覧可能
- 管理者を設定、ユーザを設定、ユーザの権限制限可能
- 邸別にデータ管理（基本情報、関連ファイル（図面や写真）は、ブラウザから各アプリを軌道して閲覧可能。編集は権限に応じて可能、データは DB から DL 可能）
- 新規入力画面は別途設定
- 総括データのページは別途設定

2）ページ構成

本データベースのページ構成は以下の通りである。

(1)　総覧のページ

- 調査物件リストおよび分布（3 年分）
- 耐久性調査マニュアル

(2)　地域別・邸別の耐久性調査結果

- 90 棟＋地方予備調査
- 物件概要、劣化調査の結果図面、写真、劣化状況解説



図 5.5.2-1　データベースの総覧のページ

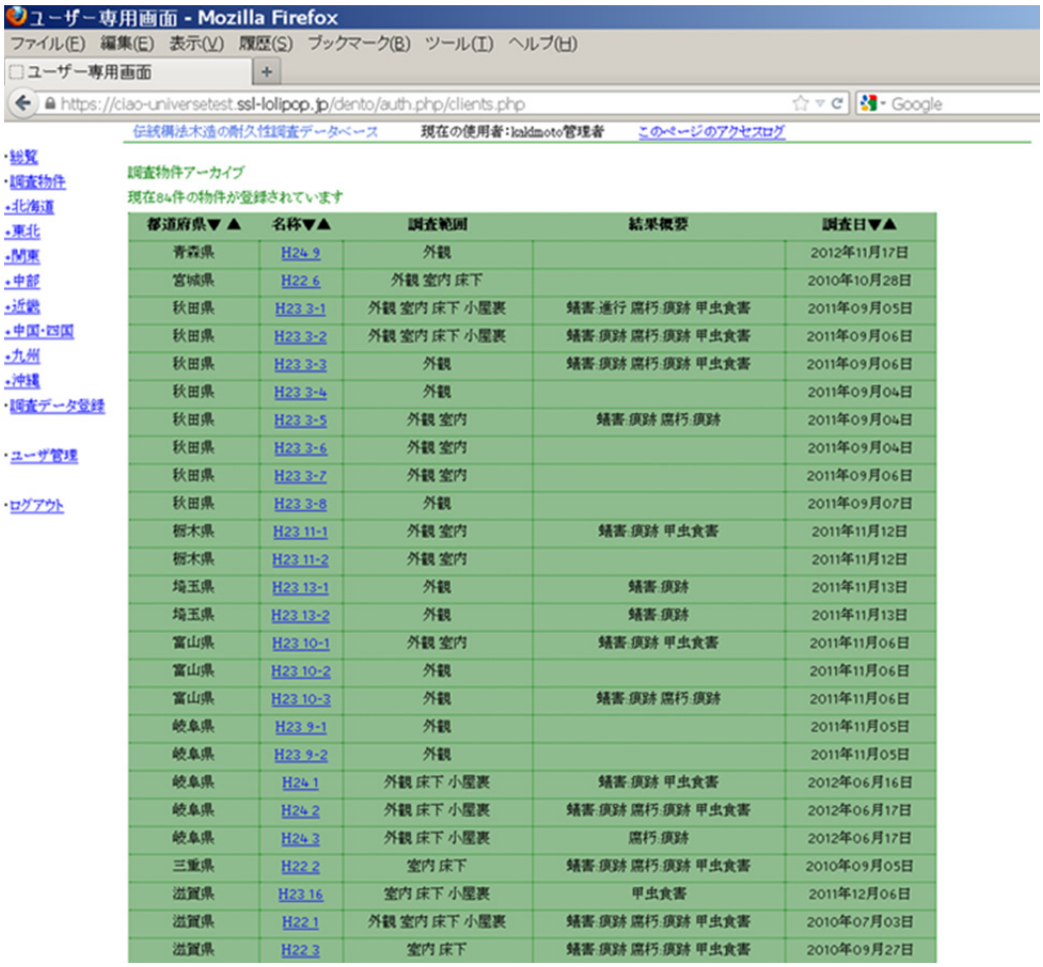


図 5.5.2-2　データベースの建物リストのページ



図 5.5.2-3　データベースの邸別データのページ

5.5.3 伝統的木造建築物の耐久性調査マニュアル

伝統木造にみられる劣化部位の検出やその評価手順については､平成 23 年度の報告書に詳述している。本年度は、診断の流れを総括するとともに、これまでの調査結果を整理および分析し、床下や屋根などの部位などの特性ごとに劣化症状の例を解説することとする。

1)　調査準備

事前の準備に関する注意事項は以下のとおりである。

・事前に建物の概要（所在地（気候と環境）、所有者・管理者の情報、間取り、築年数、構造や建築様式、水周り設備の状況、改築や生物劣化防除の履歴、現状で確認されている劣化や不具合など）に関する情報が入手しておく。
・可能な限り建物の図面を入手し、事前に調査の計画を検討し、必要な用具などを準備しておく。また建物だけでなく庭や周囲の状況についても把握しておく。
・床下や小屋裏への入り口の確保、高所に上がるための脚立や足場の準備、養生などについては、所有者や管理者と打ち合わせの上、準備しておく。
・構造調査も行う場合には、そちらを先に行い、構造を把握した上で劣化調査を行ったほうが調査だけでなくデータ整理の面でも効率的である。

劣化診断の際の装備の例を以下に紹介する。

・床下や小屋裏に入るための服装（作業服（裾、袖口や首筋のしまった作業服）、マスク、軍手、作業靴。帽子はつばのないものか、作業服にフードがついていればこれを利用する。また高所では安全帽（ヘルメット）や安全帯が必要。床下を這う場合には、膝や肘用のパッドがあれば楽に動ける）
・照明装置（手持ちのライトやヘッドライト（高輝度 LED など明るいもの）、別途必要に応じて床下や小屋裏に設置するライトと延長コード）
・マイナスドライバ（取手に手持ちライトをテープで巻きつけておくと調査の時に便利である）
・デジカメ（小型の現場用カメラなど防塵や防水対策付のもの。ベルトをつけて首から吊るす）
・現場記入用図面と筆記用具
・チョーク（チョークホルダ付）（部材に識別記号や劣化状況を記入するためのもの。写真に写しこむ。チョークを用いることができない場合は、養生テープと油性マジック）

以上は、床下などの作業性が悪い場所に入る時の装備で、道具類はなるべく身体に装着し、現場では両手が自由になるように工夫する。道具類が多い場合には、手提げの袋や小型の道具入れに入れて持ち歩く。　床下や小屋裏のほこりや付着物には、過去に施工された防腐剤や防蟻剤などを含めて有害なものもあるので、素肌を露出しないことやマスクを着用すること。

その他に下記のものを準備しておき、適宜利用する。

・サンプルを採取用のノミ、手鋸、カッターナイフなどの工具
・ビニール製の小袋やサンプル瓶
・ハンマ（打診用）
・小型の手鏡、ルーペ、双眼鏡、ファイバースコープなど（物陰の観察、微細部分の観察、高所の観察、構造内部の観察に用いる）
・含水率計（二次診断の器具であるが、あれば便利である。腐朽などの劣化が疑われる点を中心に計測する）。
・脚立、養生用ビニールシート、足場板、大工道具や電動工具、掃除道具とゴミ袋

2)　調査の手順

一次診断（調査）では、専門の診断装置を用いることなく、視診、触診およびハンマによる打診やドライバによる突刺診で診断を行う。ここでは訓練された検査員が、床下、天井裏、室内、外周について、主要構造部材を中心に診断する。主要な構造部材については原則として全て調査する。一次診断の目的は、明らかな劣化部位や、劣化の可能性がある部位をもれなく抽出することで、さらに劣化の種類、範囲や程度をおよそ判定することも求められる。さらに劣化の進行性を判別することも求められる。

診断（判定）の結果は、図面に記録するとともに、部材にチョークなどでマークして写真撮影を行う（マーキング方法については後述)。このとき、例えば写真した順番を図面に落とし込むなどして、写真と図面への記録との関連が後で見失われないように注意する。部材に直接チョークでマークできない場合には養生テープや付箋などを貼り付け、これに判定結果を書きこむ。マーキングは後日確認したり、改修などの作業のために残すこともありえるが、原則として調査が終了すると消去する。

調査は、建物外周・内側についてその構造、材料、仕様などを確認、および劣化症状の有無を確認しながら概観した上で、床下部分を中心に腐朽・蟻害・甲虫害の診断を行う。床下部分でシロアリ食害が確認された場合には、1 階上部構造への拡大の有無を調べる。さらに小屋裏について、雨漏りとそれに由来する劣化の有無を調べる。

閉鎖領域（大壁内、閉鎖基礎内など）や調査が困難な狭い領域については、周囲の症状から判定するしかないが、この領域について劣化の発生が疑われる場合には、別途部材の取り外しなどを伴う詳しい調査を計画あるいは実施する。

診断（調査）では、劣化の有無だけでなく、調査領域について生物劣化が発生しやすい環境にあるかどうかの判定も行う。例えば、床下や室内の換気や通気状態、湿気、床下および周囲土壌の湿気、断熱材の使用状態、雨仕舞い、建物周囲の植栽とその管理状態なども評価し、記録する。

また改修、シロアリ防除などのメンテナンスの履歴、所有者や管理者が認識している症状などについても記録しておく。

3)　劣化症状とその見極め

診断（調査）では、以下の劣化に関連する症状を検出し、劣化の有無、種類、範囲と程度を判定する。ここで判定とは、劣化と思われる症状の認められる部位について、腐朽、蟻害（シロアリ）および甲虫食害と判断することをさす。

(1) 部材の変色・シミ、触感

生物劣化と関連して発生する材の変色は、水しみによる変色である（菌類による変色については付着物として後述する）。また腐朽がある程度進行すると、材が褐色化したり、白色化することもあるが、この場合には後述するような材の変形や割れなどの破壊、ささくれなどの表面性状の変化を伴う。塗料や保存剤、汚れなどと紛らわしい場合があるので注意を要する。

触感に関しては、まず表面が湿った感じがするかどうかの判定を行う。明らかに湿った感じがする場合には、材が他の腐朽症状を示していないか確認する。また指などで木材の表面を押してみた時の弾力を判定し、内部（表層近く）が空洞化していないか確認する（虫害や腐朽が進んだ状態の場合で、内部が空洞化していたり、ぜい弱化していると弾力がなくなる）。弾力の判定は後述するハンマによる打診やドライバの突刺し診とあわせて行う。

また木材表面の凹凸やささくれ、毛羽立ちなども劣化に伴って変化する。通常の部材は鋸挽きやかんな仕上げしたものが施工されるが、経年でみられる割れや反り・捩じれとは異なる凹凸や性状の変化が認められれば注意深く診断する。

(2) 部材の変形、破壊（割れ、せん断、圧潰）

蟻害によって木部内部が空洞化すると、部材の圧潰したり、折損したりする。また腐朽が進行すると変色に伴って材が崩落したり、割れたりする。割れは施工後の乾燥によっても発生するが、木材腐朽（特に針葉樹材に頻発する褐色腐朽）では腐朽の終盤状態になって、材が乾燥し始めるとともに干割れが発生する。この割れは繊維方向だけでなく繊維の直交方向にも発生する（これは腐朽によって実質が消失した木材が乾燥するとともに大きく収縮するために起き、消し炭のような状態になる)。木材の乾燥によって生じる収縮割れは繊維に沿って発生し、また腐朽などによる変色などの材質の変化を伴わない。

(3) 部材接合部のずれ

部材そのものの変形や破壊だけでなく、接合部分のずれなども調べる。蟻害などがあり部材の強度が程度すると仕口部分で部材がずれたり、部材が傾斜したり、結果として抜けや隙間が生じる場合がある。部材や構面の強度不足によってもこれらの現象は生じるが、これらの現象が局部的である、劣化の他の症状も認められる、などによって判定する。

(4) 穴（虫害の識別）

材の表面に発生した概ね真円に近い穴については、甲虫類やハチ類による食害と関連付けて検討する。小屋裏の材（マツ類、ケヤキ材)、建物の外周面に暴露している部材や床下の部材（クリ材やケヤキ材）などの辺材（白太）に、直径が 1mm から数 mm 程度の丸孔が複数個あいている場合には概ね甲虫類（シバンムシ類、キクイムシ類やカミキリ類）の食害と考えられる。時に穴に虫粉が詰まっている場合もある。これらの昆虫による食害が、建物竣工後に外界から飛来してきた成虫が木材表面に産卵し、府下した幼虫が木材の辺材を食害して発生する。幼虫は脱皮を繰り返し、さなぎの時期を経てやがて成虫になって材から穴をあけて脱出する。脱出にともない坑道に堆積していた虫粉が下方に落下・堆積することもある。これらの昆虫は乾燥した材料でも生息でき、被害は長年にわたって継続するが、食害領域は概ね辺材に留まる。

カミキリ類の多くは生材に発生し、乾燥状態では生息できないが、乾燥不良の材料を用いて施工すると竣工後に残存していた幼虫が成虫になって発生することがある。しかしこの場合には再発はない。またこれらの虫害の履歴のある材料を用いて施工することもあるので、診断に際しては注意が必要である。

(5) 付着物（腐朽菌菌糸関連、蟻道関連）

木材の表面についた付着物については、シロアリの食害および菌類による腐朽との関連で検討する必要がある。

主に床下領域について布基礎、束石や部材の表面に幅が数 mm 程度で筋状に土や砂粒状のもので道筋のようなものが形成されている場合には、シロアリの蟻道である可能性が高い。これは土中のシロアリが床下空間に這い上がり、さらにこれらの部材の表面に形成するトンネル状の通路であり、ここと通じて餌となる木材にたどりつく。これらの蟻道（塊状になっている場合には蟻土）が認められると、その部材および周囲の部材の内部が食害されている可能性が高い。特に床の面まで達すると床面に沿って水平面内に、また柱や壁の内部を食い上がって鉛直面内に食害領域が広がっていることが多いので注意深く調べること。蟻道 1 本でも、経過時間が長いと上部構造が相当食害されている可能性がある。また建物外周面でも、日蔭などでは蟻道が構築されることがある。断熱材の内部、土壁内の木舞竹なども食害するが、発見しにくい。

シロアリは木材の表面に蟻道を構築しながら行動範囲を広げるか、木材内部を食害しながら行動範囲を広げるのが基本であるが、材の隙間や割れ目などを巧みに利用しながら行動範囲を広げるので、部材の隙間、穴や割れ面などが土様のもので詰まっている場合には、シロアリ食害が内部で進行している可能性がある（甲虫類による食害と見誤りやすいが、これについては、食害のパターン、虫粉の性状、虫粉に混在しているものなどを手掛かりに識別する)。

羽アリが床下や小屋裏に発生した場合に、材や土壌に羽アリが落とした羽が付着している場合や、

羽アリが飛翔するために蟻土が外部に露出することがある。外壁側から観察した場合には目地や隙間に詰まった土、穴の他、上記の特徴をとらえて蟻害を検出する。

腐朽菌に関する付着物の特徴は白い綿状、膜状の付着物である。これらは腐朽菌の菌糸と関連付けて抽出する。木材腐朽性を示さないカビ類の菌糸は色も様々で、常態も色々であることから、厳密な判定方法ではないが、現場では白い綿状・膜状の付着物と、その周囲の材の変化から腐朽を判定する。

(6) 打音

ハンマによる打撃が許される場合には、打撃音の特徴から内部の空洞化を判定する。

(7) ドライバーの突き刺し

マイナスドライバ（中型のもの）を材に突刺しで、その貫入の程度で表面および木材の劣化度を判定する。概ねドライバの先端のみが入り、断面欠損が 3 割以下と評価される場合はレベル 1、ドライバが結構奥まで入り、断面欠損が 3 から 7 割程度あると推定される場合はレベル 2、ドライバが軽く奥まで入り、断面欠損が 7 割以上あると思われる場合にはレベル 3 として評価する。

現場に残すマーキングでは、部材に劣化の範囲を記した上で、甲虫食害の場合は B、シロアリ食害の場合は T、腐朽の場合は D としてその後にレベルの数字（1 から 3）を添えてマーキングする。さらに劣化が進行性と判定される場合には、最後に P の文字を添えておく。

4) 建物の構造・仕様と劣化との関連

(1) 床下の構造・仕様と虫害・腐朽

・多くの伝統的木造建築の床下は土壌現しなっており、シロアリが侵入しやすい状況にある。シロアリは多くの場合、土中から礎石の表面に蟻道を構築し、柱や床束の下端にたどり着き、そこを起点に食害を開始している。

・床下が土壌現しになっている場合、木部が土壌の湿気の影響を受け、劣化しやすい。

・床下が低く、閉じられているため通気や換気が十分ではなく、木部が劣化しやすい。

・土壌からの浸潤水によって柱、束が土台が下端部を中心に腐朽しやすい。

・水周り設備や外壁の近傍では劣化がおきやすい。

(2) 屋根や小屋裏の構造・仕様と虫害・腐朽

・屋根部に発生する劣化は、主に雨漏りによる腐朽や、雨水浸潤部に発生したシロアリ食害のほか、シバンムシなど甲虫類による食害が多い。

・床下からのシロアリ食害が小屋裏にまで達している場合もある。

・妻面、破風尻や隅木周りは雨水が浸潤しやすい、劣化しやすい。

・棟木は、漆喰部からの雨水の浸潤などで長年の間に劣化していることが多い。

(3) 壁の仕様と虫害・腐朽

・土壁と柱などとの隙間からの水分の発生や虫の侵入によって土壁の芯を構成している貫や木舞竹に虫害（シロアリやシンクイムシ類）が発生している事例がある。

・外壁や軒側から雨水浸潤によって芯材が腐朽している場合がある。

・土壁が床下まで降りた状態で、床下土壌に接している場合には、シロアリ食害が発生しやすい。

・土蔵などの大壁では、表層の漆喰の剥離や瓦屋根部からの雨水の浸潤によって壁芯材が劣化していることがある。

5) 材料や施工方法と劣化との関連

(1) 構造用材の劣化症状

・比較的耐久性の高いとされているヒノキ材については劣化の発生頻度は比較的低い。

・ヒノキやスギについては特に辺材（白太）に劣化が多い。

・マツ、クリやケヤキでは主に辺材（白太）に、甲虫の食害や腐朽が発生しやすい。またこれらの材にもシロアリ食害は発生しうる。
・心材（赤身）は劣化しにくい。
・蟻害は、材料の割れ、背割りなどの隙間や部材通しの隙間を伝って発達することが多い。
・かまどや囲炉裏、線香などの煙に長年暴露された部材は、甲虫類の食害が発生しにくい。
(2)　施工方法と劣化との関連
・伝統的な劣化対策として銅板を用いて木材表面を被覆している場合がある。腐朽対策として有効と思われるが、表面の銅板と内部の木部との間隙に水分が浸潤したり、滞留したりする場合などでは腐朽抑制効果が発揮されていない場合がある。
･水周りを中心とする改築の際に､土壌からのシロアリ侵入や結露などの対策が不適切であったり、十分でないために劣化が起きている場合がある。

6)　建物周囲環境と劣化との関連
(1)土壌
・建物周囲の土壌やそこでの水分状態（乾燥状態）によっては、建物への湿気や水分の侵入が阻止できず劣化しやすい環境になっている場合がある。また降雨時に薄いが床下方向に流入してくる場合も同様である。
・池、手水、流水のある側溝などとの関連での水分浸潤も劣化の原因となる場合がある。
(2)周囲環境
・植栽が建物に近く、根元付近に発達したコロニーからのシロアリ侵入が起きやすい場合がある。また植栽の落ち葉が雨どいを詰まらせ排水不良となり、あふれた水分が軒や壁を濡らして腐朽や虫害が起きている場合がある。
・玄関、勝手口や縁側部、建物周囲の塀などからのシロアリ侵入や水分浸潤による腐朽が認められる場合がある。

7)　住まい方と劣化との関連
(1)日常の建物の使い方と維持管理
・近年では畳や床を上げての大掃除などの住まい手による維持管理の機会が減少し、早期での劣化の発見や処置が困難になりつつある。
・床下や小屋裏などの空間が物置状態や放置状態になっており劣化の発生と進行が発見されないことが多い。
・住まい手の劣化に対する知識や意識が十分ではなく、劣化を過小評価した結果、劣化が甚大化していることがある。
(2)増築や改築
・農家や町屋などで、台所を中心に土間の床上げを行った結果、床下部分の換気や通気が阻害され腐朽や虫害が発生している。またこれらの領域では床高さが低く、維持管理がしにくい。
・伝統的な木造では、本来風呂やトイレなどの水周り設備は邸内になく、別棟に配置されていたが時代とともにこれらの設備が家屋内に配置されるようになった。これに伴いこの周囲に腐朽や蟻害が発生しやすくなり、周囲にまで拡大していることが多い。またこれらの設備では大壁構造、閉鎖基礎や防水処理工事によって、被害が見えにくく、顕在化する頃には相当に深刻になっている。

以上、本節では、耐久性調査のためにマニュアルについて、その骨子を解説したが、実務者向けに手順を明らかにし、調査の際に必要となる参照図版などを盛り込んだより実際的なマニュアルを今後編集し、今後公表することが望ましい。

5.5.4 銅製金物の腐朽抑制効果の検証

耐久性 WG では、伝統的構法における劣化対策の検証として、木構造物に施工された銅金物の腐朽抑制効果について検討を行っている。

これまで、事例調査では銅金物周辺の木材の劣化が抑制されている事例が認められ、分析結果は金物から銅イオン溶出を示唆した。実証実験では、銅イオンの基礎的な殺菌・防腐特性を確認してきた。H24 年度は、銅金物から木材への銅イオン溶出についての検証実験、銅板を接触させた状態での木材腐朽実験を実施した。

(1) 銅金物から木材への銅の移行の検証実験

金物から木材への銅の移行を検証するため、スギ、ヒノキ、アカマツ、ケヤキへ銅板などを取り付けて(写真 5.5.4-1 左)、恒温高湿での室内強制湿潤条件(写真-5.5.4-1 中)ならびに屋外(写真-5.5.4-1 右)で曝露した(写真-5.5.4-1)約 10 ヶ月間曝露した後、試験体の材面を微小部蛍光 X 線測定装置(㈱島津製作所製 μEDX-1300)を用いて Cu-Kα 線強度のマッピング分析を行い、金物から木材への銅溶出を評価した。銅の移行の進行状況を調べるため、室内強制湿潤条件のスギ辺材、ならびに心材試験体では、2 週、4 週(1 ヶ月)、20 週(5 ヶ月)後にも取り出して材面を測定した。実験方法は、平成 23 年度報告書のとおりである。



写真 5.5.4-1　銅釘、銅金網、銅板を取り付けた試験体。
H23 年 9～10 月から室内強制湿潤条件(左、中)、あるいは屋外(右)で曝露。

1) 曝露試験体の測定結果

曝露開始後 20 週目、すなわち 5 ヶ月目までの試験材材面の Cu-Kα 線強度のマッピング分析の結果は平成 23 年度に報告しており、そこでは

- 銅は、金物から周囲の木材へ、主に繊維方向に沿って移行する。
- 移行領域は湿潤期間とともに拡がっていく。
- 銅の移行領域の広さは、金物の種類によって異なる。
- 銅の移行パターンは、樹種間で若干異なる。

という傾向が見られた。以下、平成 23 年度までの結果を踏まえながら、曝露 10 ヶ月目の分析結果のカラーマッピング像に基づいて検討する。

① 銅の移行の進行

図 5.5.4-1 は、室内強制湿潤条件で曝露した銅板付スギ辺材試験材表面の光学像と Cu カラーマッピング像で、それぞれ曝露開始後、5、10 ヶ月目の像である。曝露期間の経過とともに、移行範囲が拡大し、また銅板近傍での Cu-Kα 線強度が高くなっていることが分かる。

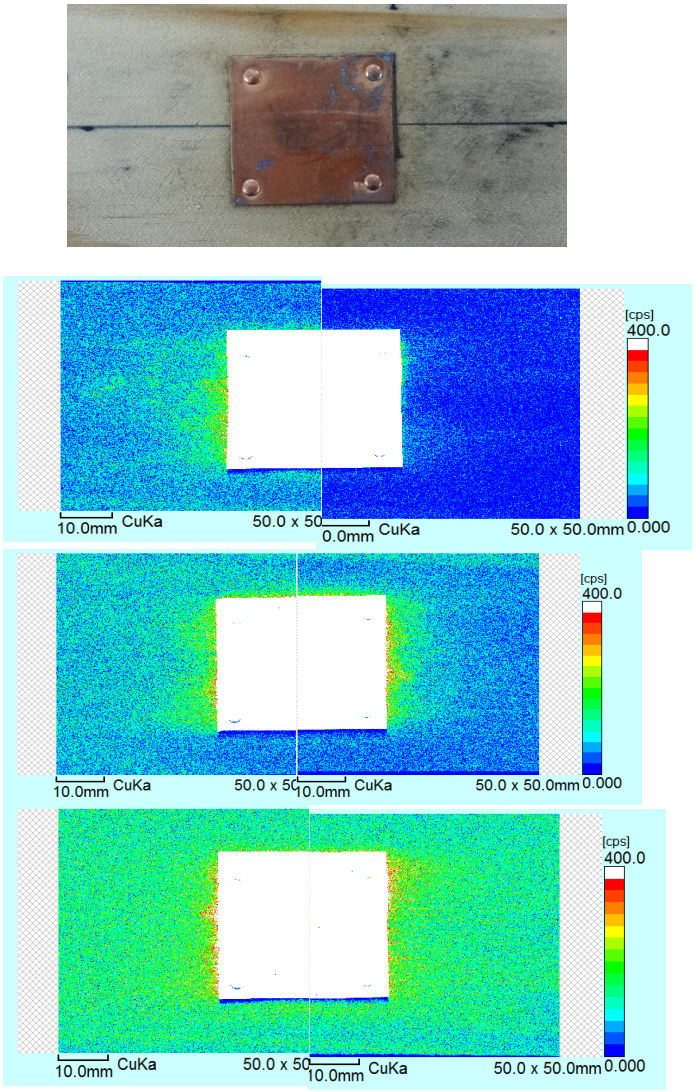


図 5.5.4-1　室内強制湿潤条件で曝露した銅板付スギ辺材試験材表面の分析結果
上から光学像、1 ヶ月目、5 ヶ月目、10 ヶ月目の Cu-Kα 線カラーマッピング像

② 銅金物の種類と銅の移行の関係

図 5.5.4-2 は、銅板、銅金網、銅釘を取り付けて曝露したスギ辺材試験材の表面の光学像と Cu カラーマッピング像である。曝露条件は、室内強制湿潤条件で 10 ヶ月曝露である。金物の種類によって銅の移行の様相は異なり、範囲の広さは銅板＞銅金網＞銅釘、移行範囲の形状は銅板と銅金網では金物の縁から繊維方向に伸びる帯状、銅釘では釘穴から繊維方向に沿って伸びる筋状であり、いずれも金物と木材の接触状態を反映していた。これら銅移行領域の形状から、銅の移行に水が関与していることは確実であり、移行は金物からの銅の溶出と考えられる。

③ 曝露条件と銅の溶出の関係

図 5.5.4-3～4 は、室内強制湿潤条件と屋外野天の両条件で 10 ヶ月経過した銅板付き試験体のカラーマッピング像である。いずれの樹種においても、銅板からの銅の溶出範囲は室内強制湿潤より屋外野天のほうがが広くなる傾向が認められた。

室内強制湿潤と屋外野天の水分条件を以下に整理して比較する。

室内強制湿潤の場合、木材は湿潤ガーゼに接触しているため材面は常時飽水状態であるが、ガーゼからの吸水は毛管圧によるため木材の吸水力以上の水分は供給されず、材面に余剰水が溜まるこ

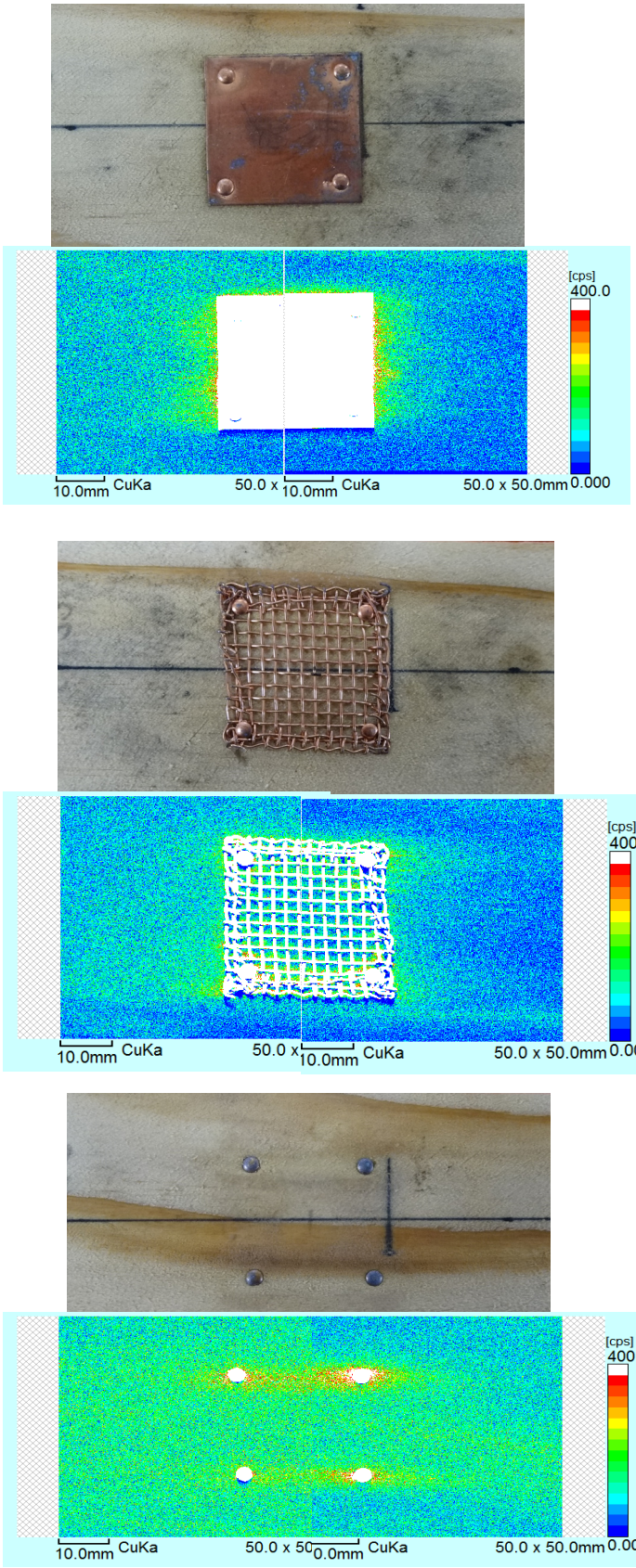


図 5.5.4.-2　室内強制湿潤条件で 10 ヶ月曝露したスギ辺材試験材表面の分析結果
上から、銅板付き、銅金網付き、銅釘の各試験体の光学像と Cu-Kα カラーマッピング像

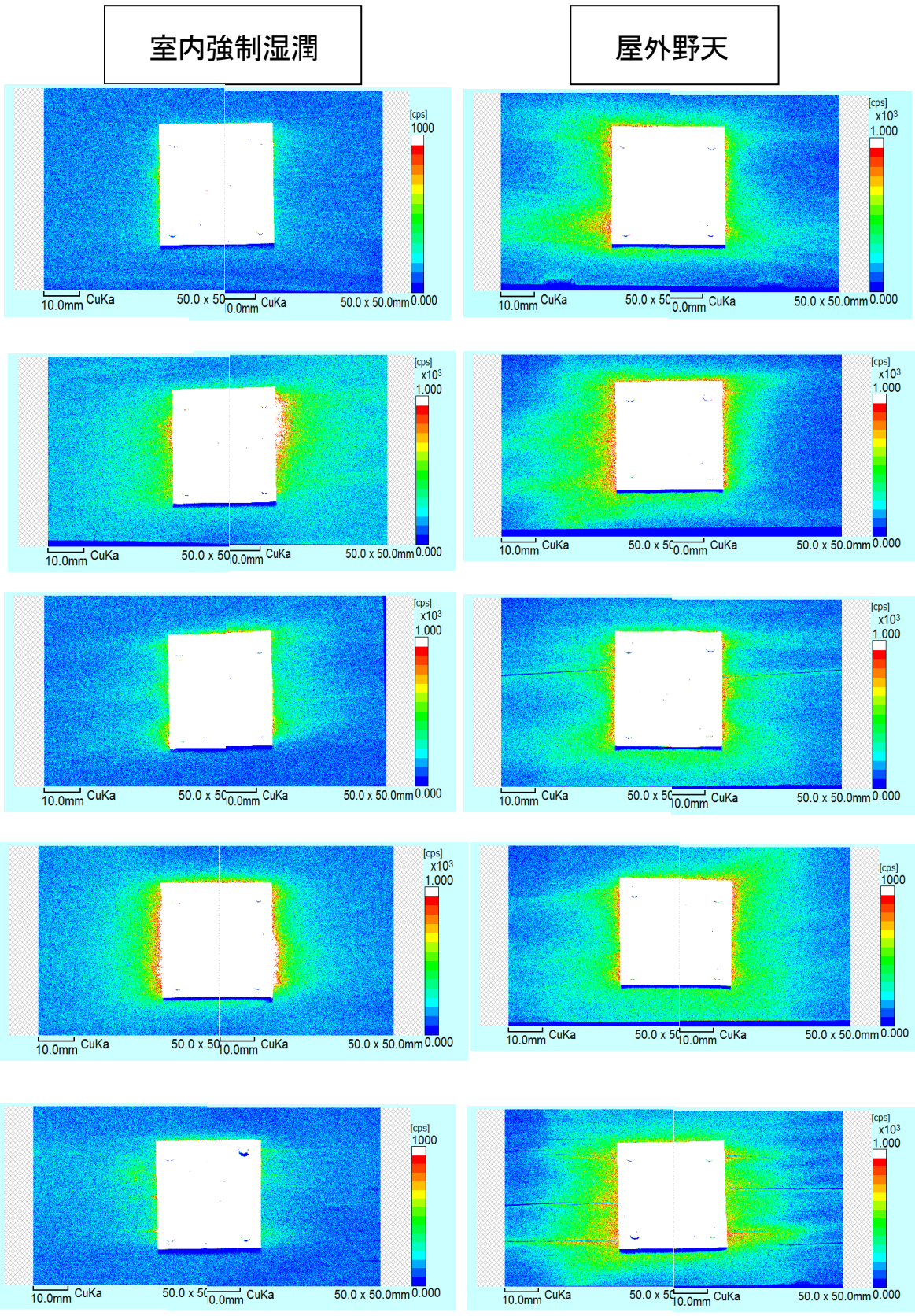


図 5.5.4-3　10 ヶ月曝露した銅板付き試験材表面の Cu-Kα 線カラーマッピング画像
（上から、スギ辺材、同心材、ヒノキ辺材、同心材、アカマツ辺材）

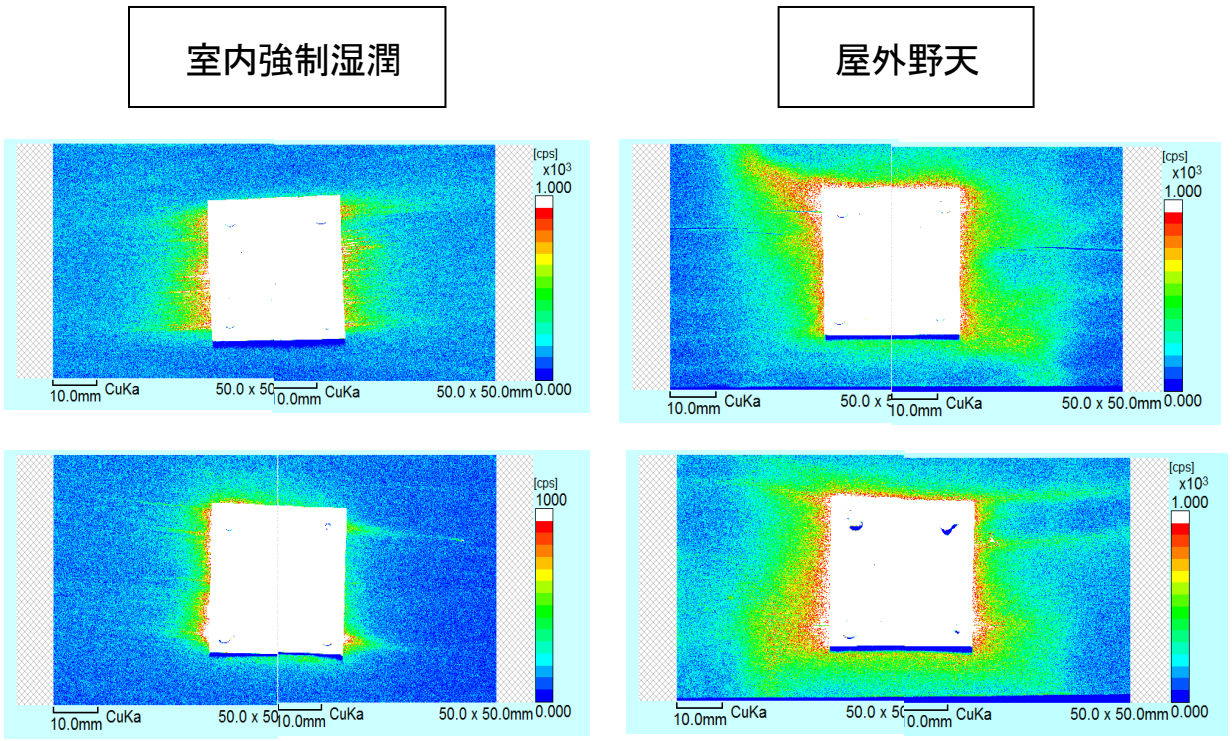


図 5.5.4-4　10 ヶ月曝露した銅板付き試験材表面の分析結果
（上から、アカマツ心材、ケヤキ心材の Cu-Kα カラーマッピング像）

とはない。また密閉容器内で温度も一定であるため、材面での蒸発や結露もおこらない。したがって、材面付近は蒸散や流動による動的な水の移動は起こらない安定した湿潤状態である。

これに対して、野天は水分条件が大きく変動する曝露条件である。降雨時以外は試験材は乾燥しており、材面に水分は存在していない。しかし、降雨時には木材の吸水力に関係なく（ほとんどの場合は吸水力以上の）水分が供給されるため、材面には余剰水が溜まり、材面を容易に移動する。また、降雨後しばらくの期間は、湿潤した材面が日照や風にさらされるため、材面の水分は急速に蒸散し、それに伴って材内水分も移動する。したがって、野天の場合は、銅金物から溶出した銅を含んだ水分が移動しやすいと考えられる。

これらのことから、銅金物から木材への銅の移行にとっては、安定的に少量の水分が供給される条件より、間欠的であっても大量の水分が供給される条件のほうが、有利と考えられる。

④ 試験材の種類と銅の移行の関係

図 5.5.4-3～図 5.5.4-4 の試験体の種類は、スギ辺材、同心材、ヒノキ辺材、同心材、アカマツ辺材、同心材、ケヤキ心材で、全て同じカラースケール表示である。試験材の種類間で銅の溶出範囲を比較すると、全ての樹種を通じて心材＞辺材の傾向が認められるが、樹種間の違いは判然としなかった。

以上のように、カラーマッピング像は直感的な視覚データとして非常に理解しやすいが、その一方でマッピング像の構成要素は特性 X 線強度の面分布という三次元的で複雑な情報であるため、定量的なデータ比較が難しい。そこで、次の細目ではマッピング分析結果を劣化抑制への寄与という観点から単純化し、定量的な解析を試みた。

2）マッピング分析結果の定量解析手法

マッピング分析データの定量解析にあたっては、Cu-Kα 線検出強度に閾値を設定して、閾値以上

か未満かの二値化することにより、マッピングデータを閾値以上の領域の面積データとして単純化する手法を検討した。本検証実験は、銅金物の劣化抑制効果の検証であるので、閾値は腐朽抑制効果が期待できるか否かの境界であるべきだが、Cu-Kα 線検出強度と腐朽抑制効果の直接的な関係は不明である。そこで、Cu-Kα 線検出強度と試験材表面の Cu 量の関係式を求めるとともに、Cu 付着量と腐朽抑制効果との関係を調べ、Cu-Kα 線検出強度の閾値を設定した。

蛍光 X 線分析における Cu-Kα 線検出強度は原理的には測定面の Cu の存在量により決まるが、実際には基材の条件等にも左右される。そこで、分析で検出された Cu-Kα 線強度から木材表面の銅の量を定量するための検量線を作成した。具体的には、スギ辺材を各種濃度の硫酸銅水溶液に浸せきして銅付着量が明らかな標準試験片を調製し、これを蛍光 X 線分析に供して Cu-Kα 線強度を測定した。得られた検量線式とグラフは図 5.5.4-5 のとおりで、決定係数 0.999 の非常に高い相関関係が認められた。この検量線を用いて、Cu-Kα 線強度から試験材表面の銅付着量を求めることが可能となった。

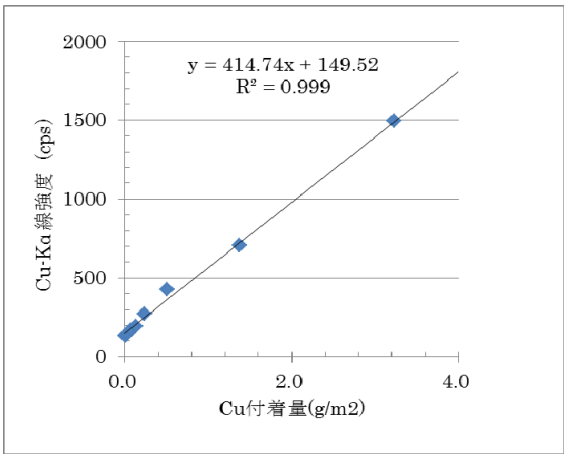


図 5.5.4-5　硫酸銅を浸せき処理したスギ辺材標準試験片による検量線

木材表面の Cu 量と腐朽抑制効果の関係については、文献調査の結果、硫酸銅 3%水溶液に浸せき処理したスギ木レンガが施工後 3 年後も健全であったとの実証的報告が存在した [1)]。文献中に薬剤付着量は記されていなかったが、記載されていた木レンガ材積と硫酸銅の消費量から、このときの硫酸銅の付着量は銅換算 0.68g/m^2 と推定された。したがって、この値を何らかの腐朽抑制効果が期待できる硫酸銅付着量の閾値と考えることができる。本実験において銅金物から木材に移行した銅成分の種類は未確認であり、硫酸銅以外の銅化合物である可能性も高いが、現段階では他に適切な数値もないことから、本実験ではこの値を腐朽抑制効果が期待できる Cu 付着量の閾値に用いた。

図 5.5.4-5 の検量線から腐朽抑制効果が期待できる Cu 付着量（0.68g/m^2）に相当する Cu-Kα 線強度を求めた結果、438cps という値が得られた。以下では、この数値を丸めた 400cps を Cu-Kα 線強度閾値に用いた。解析では、Cu-Kα 線強度マッピングデータを 400cps を境界にして二値化、すなわち白黒画像で表示し、画像中の白色（400cps 以上）のドット数を画像計測ソフト（Area Measure ver.2.00 Rev.0）で求めた。以下に、銅板付きスギ心材試験体の表面画像で実際の解析事例を示す。

図 5.5.4-6 は、屋外野天で 10 ヶ月曝露した銅板付きスギ心材試験体のカラーマッピング画像である。これを 400cps を閾値として二色化したマッピング像が図 5.5.4-7 である。この中の白色ドット数（95,909Pixcel）には銅板の像も含まれている。そこで、閾値を 2000cps に上げて銅板のみを白色表示した画像（図 5.5.2-8）の白色ドット数を計測し（79,524Pixcel）、これを 95,909Pixcel から差し引いて銅板周囲の白色ドット数 16,385Pixcel を得た。この値が、Cu-Kα 線強度が 400cps 以上、すなわち何らかの腐朽抑制効果が期待できる試験材面の面積となる。以下では、この面積にもとづいて各試験体の分析結果を定量的に比較する。

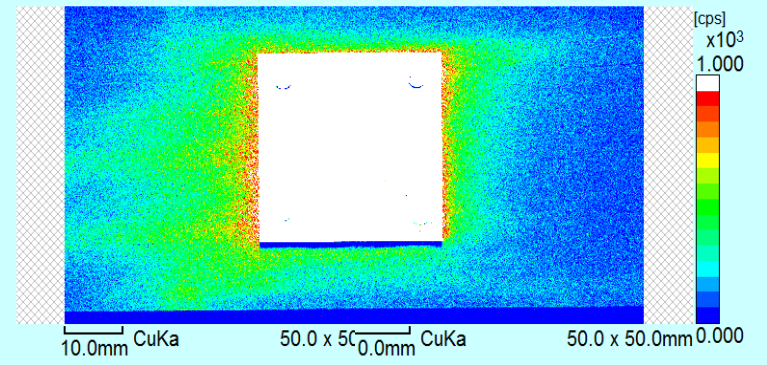


図 5.5.4-6　屋外野天で 10 ヶ月曝露した銅板付きスギ心材試験体のカラーマッピング画像

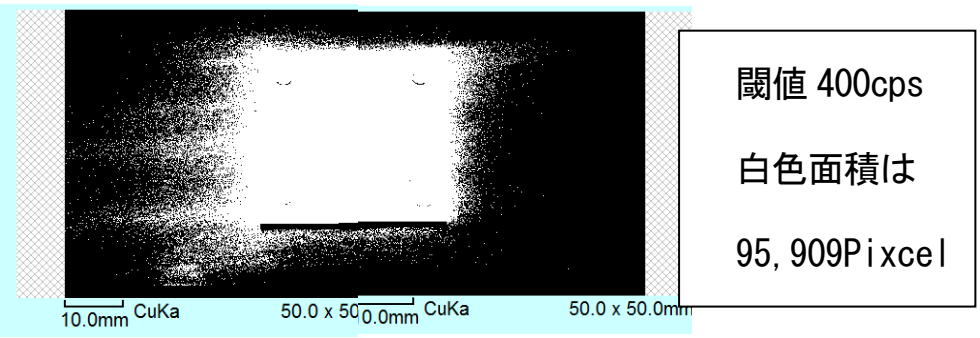


図 5.5.4-7　図 5.5.4.-6 を 400cps 閾値で二色化した白黒マッピング画像（銅板と銅溶出部が白色）

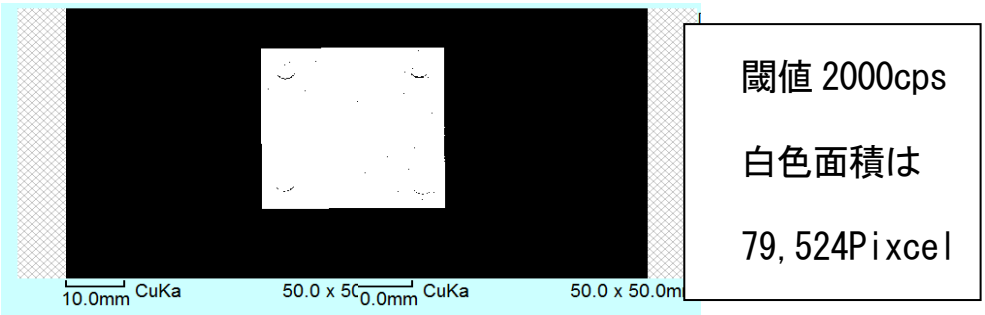


図 5.5.4-8　図 5.5.4-6 を 2,000cps 閾値で二色化した白黒マッピング画像（銅板のみが白色）

3）400cps 閾値二色化による定量解析の結果

① 銅の溶出の進行

図 5.5.4-9 は、銅板を取り付けたスギ辺材とヒノキ辺材の両試験体にについて、Cu-Kα 線強度が 400cps 以上の領域の面積の推移を示した。なお、以下ではこの 400cps 以上の領域の面積を、銅溶出面積として扱う。図 5.5.4-9 によると、いずれの試験体でも銅溶出面積は曝露期間とともに増加しているが、5 ヶ月目から 10 ヶ月目にかけての増加率は、スギ辺材では 1.5 倍、ヒノキ辺材では約 8 倍で、ヒノキ辺材の増加が著しいことが分かる。

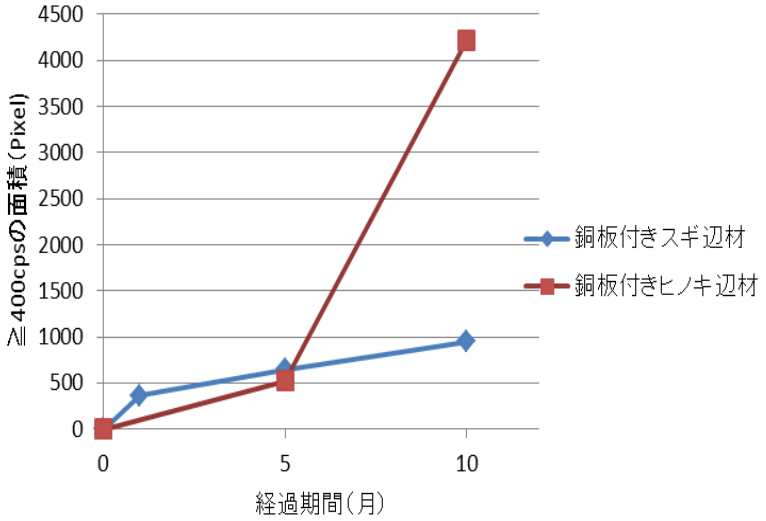


図 5.5.4-9　室内強制湿潤条件下における銅移行の推移

② 銅金物の種類と銅の溶出の関係

図 5.5.4-10 は、銅板、銅金網、ならびに銅釘の各種金物を取り付けて室内強制湿潤条件で曝露したスギ辺材試験体の銅溶出面積の推移を示した。いずれの金物でも銅溶出面積は曝露期間とともに増加しているが、銅板ではほぼ同じ傾きで増加したのに対し、銅釘では 5 ヶ月目から 10 ヶ月目にかけて面積が 10 倍に急増しており、金物の種類によって銅溶出の進行パターンが異なった。

なお、図 5.5.4-10 は金物の周囲への銅の溶出の比較であるが、銅板や銅金網では金物に覆われた面への溶出は含まれていない。そこで、写真 5.5.4-2 に示したように、野天曝露 10 ヶ月後の試験体から金物類を外して材面を測定した。図 5.5.4-11 には各試験体の銅溶出面積、図 5.5.4-12 には試験体の材種ごとに銅板付け試験体を 1 とした銅溶出面積比を示した。いずれの材種でも、銅の溶出面積比は、銅金網は 1.1 前後、銅釘は 0.1～0.2 であった。銅の溶出面積は基本的に銅金物の面積に依存していると考えられた。なお、銅金網の銅溶出面積比が 1 以上であった理由として、銅金網のほうが銅板より雨水と金属の接触面積が大きかったため溶出しやすかったのではないかと推察される。

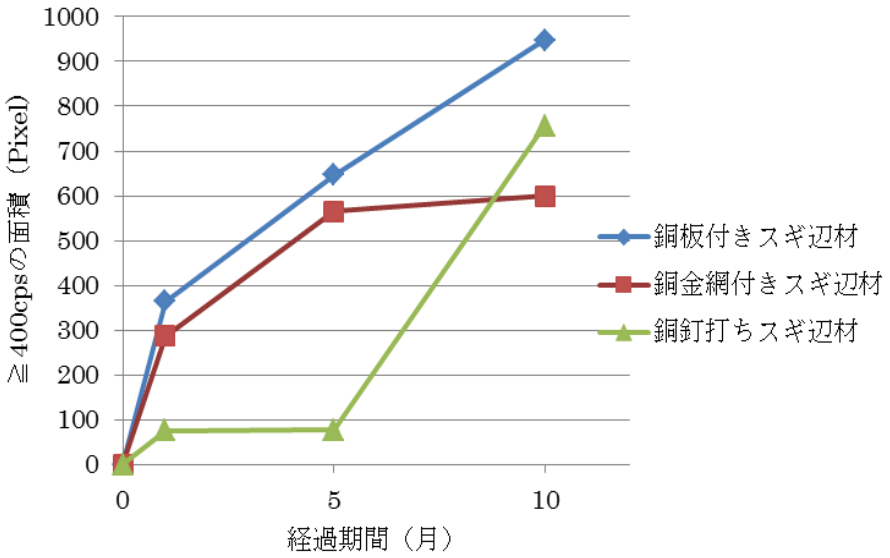


図 5.5.4-10　室内強制湿潤条件下における銅移行の推移
（金物種類による違い）

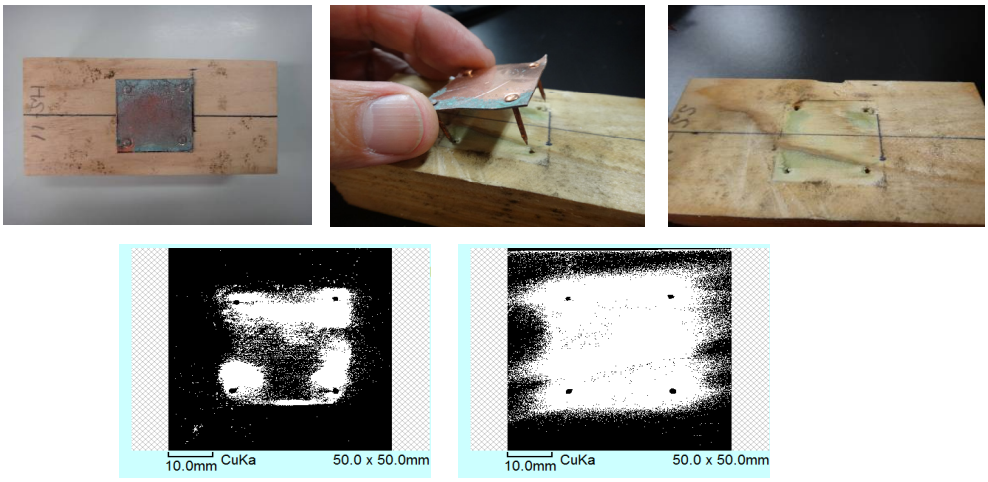


写真 5.5.4-2　曝露後の試験材からの銅金物取り外しの様子と取り外した材面のマッピングデータ二色化白黒画像(左：銅板　右：銅金網)の例

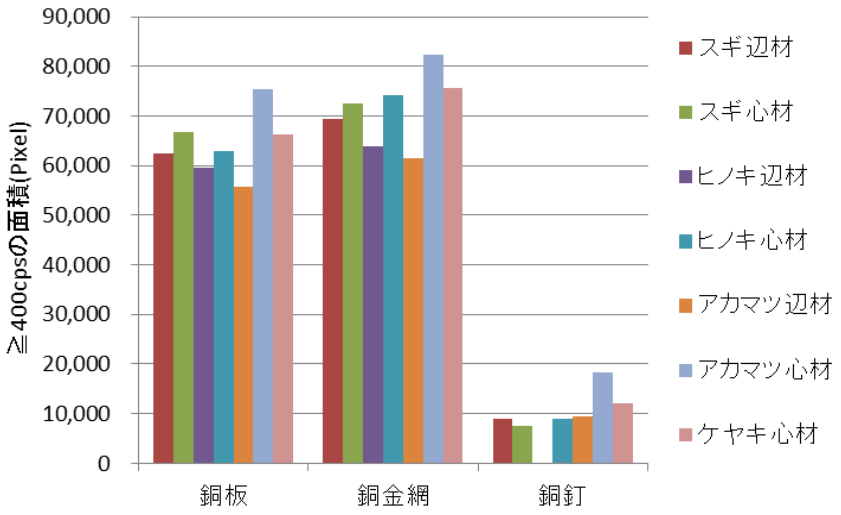


図 5.5.4-11　10ヶ月野天曝露した試験材における銅の溶出
(金物を外して材面を測定。)

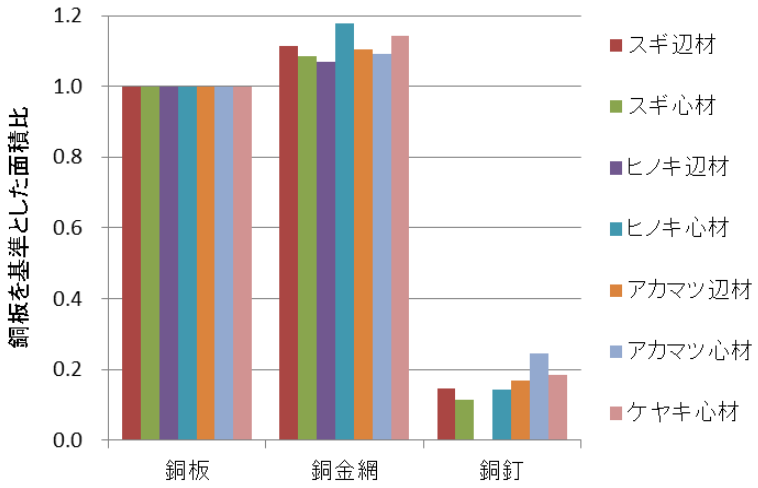


図 5.5.4-12　10ヶ月野天曝露した試験体における銅の溶出
(銅板付け試験体の面積を 1 とした面積比で表示)

③　曝露条件と銅の溶出の関係

図 5.5.4-13 は、各種曝露条件で 10 ヶ月曝露した銅板付き試験材の銅溶出面積を一括表示したグラフである。曝露条件は室内強制湿潤、屋外軒下（端：軒先ラインから 50cm 程度）、屋外野天である。図 5.5.4-14 は、試験材ごとの室内強制湿潤の銅溶出面積に対する野天や軒下の面積比である。樹種により程度の差はあるが、いずれの試験材でも野天が最も面積比が大きく、最も小さいヒノキ心材で 1.3 倍、最も大きいスギ辺材では 18.3 倍であった。一方、野外曝露でも軒下は室内強制湿潤より総じて小さい値を示し、スギ辺材以外では 0.1～0.8 倍であった。屋外における銅金物から木材への銅の溶出には、雨水が大きく寄与していることが示唆された。その一方で、スギ辺材以外の試験材では室内強制湿潤条件が野天に次ぐ面積を示していることから、雨水が直接かからなくても、木材が結露水や土壌水分を吸収できる状況であれば、銅金物から銅が溶出すると考えられる。

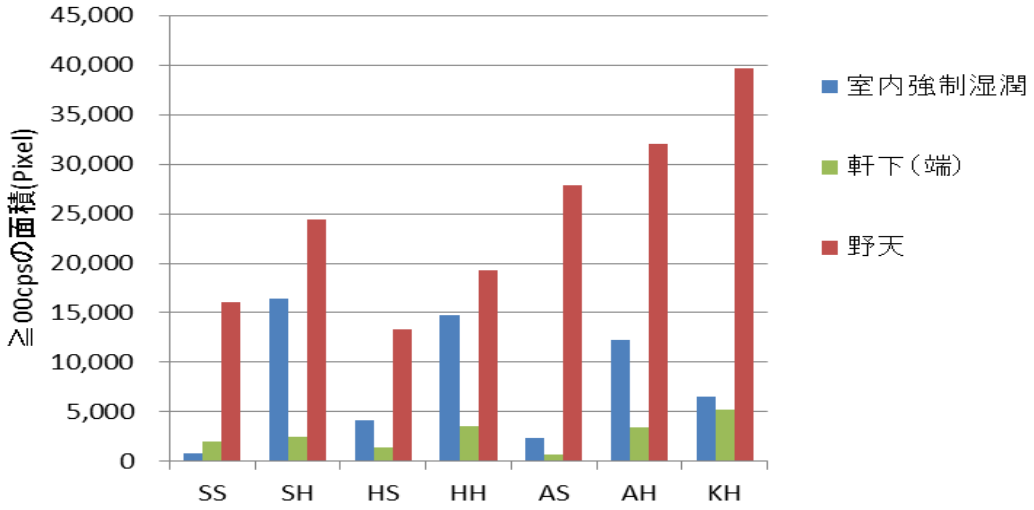


図 5.5.4-13　各種条件で 10 ヶ月曝露した銅板付き試験材における銅溶出面積
SS：スギ辺材　SH：スギ心材　HS：ヒノキ辺材　HH:ヒノキ心材
AS：アカマツ辺材　AH：アカマツ心材　KH：ケヤキ心材

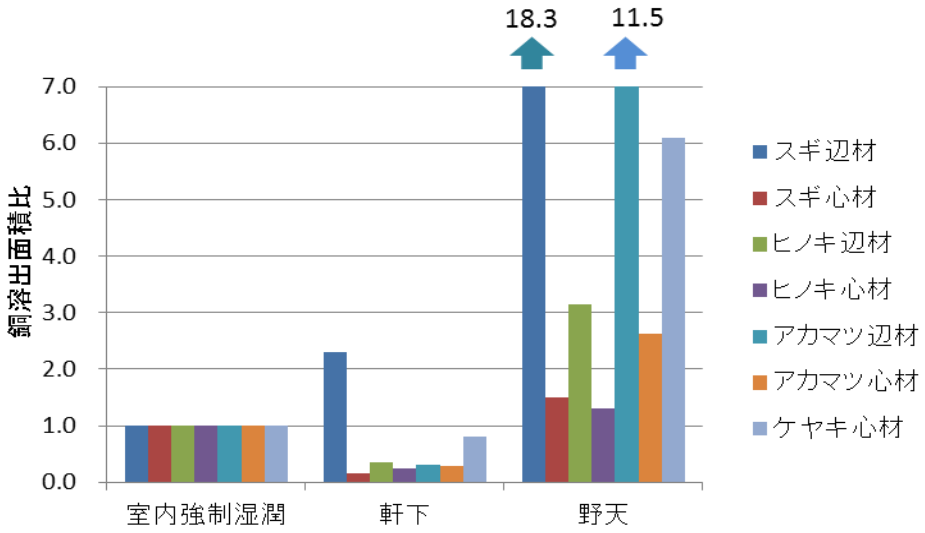


図 5.5.4-14　各種条件で 10 ヶ月曝露した銅板付き試験材における銅溶出面積比
（樹種記号は図 5.5.4-13 と同じ）

④　試験材の種類と銅の溶出の関係

図 5.5.4-15～図 5.5.4-17 に、曝露条件ごとに各種試験材の銅溶出面積を比較した。

図 5.5.4-15 は、室内強制湿潤した試験材の結果である。心材と辺材の差が顕著であり、最も差異の大きかったスギでは、心材試験材の銅溶出面積は辺材試験材のおよそ 17 倍であった。樹種間でも差が認められ、心材ではスギ＞ヒノキ＞アカマツ＞ケヤキであったが、辺材ではヒノキ＞アカマツ＞スギの順で、心材と辺材とでは異なる結果となった。

図 5.5.4-16 は、軒下端に曝露した結果である。銅溶出面積は、いずれの試験材でも心材＞辺材であったが、最も差異の大きかったアカマツでも、心材試験材の面積は辺材試験材のおよそ 4 倍で、室内強制湿潤と比較すると差異は小さくなった。樹種間の比較については、心材ではケヤキ＞ヒノキ≧アカマツ＞スギ、辺材ではスギ＞ヒノキ＞アカマツで、強制湿潤と異なる順位となった。

図 5.5.4-17 の野天における銅溶出面積は、いずれの試験材も心材＞辺材であったが、その差は他の曝露条件と比べると小さく、最も差が大きなスギの場合でも心材試験材の面積は辺材試験材の 1.6 倍に過ぎなかった。樹種間で比較すると、心材ではケヤキ＞アカマツ＞スギ＞ヒノキ、辺材ではアカマツ＞スギ＞ヒノキとなった。

以上の結果を総合すると、銅の溶出はいずれの樹種でも辺材より心材のほうが多い傾向にあるが、樹種間の比較となると暴露条件によって溶出しやすさの順位が変化するため、単純な優劣判断は難しい。

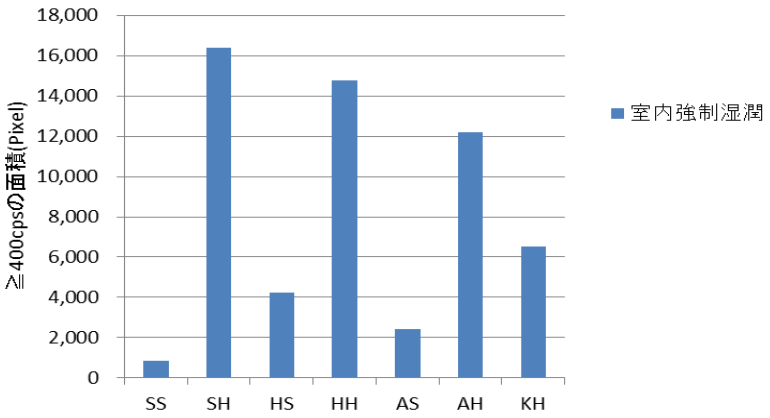


図 5.5.4-15　室内強制湿潤　10 ヶ月後の各種銅板付き試験材における銅の移行
（樹種記号は図 5.5.4-13 と同じ）

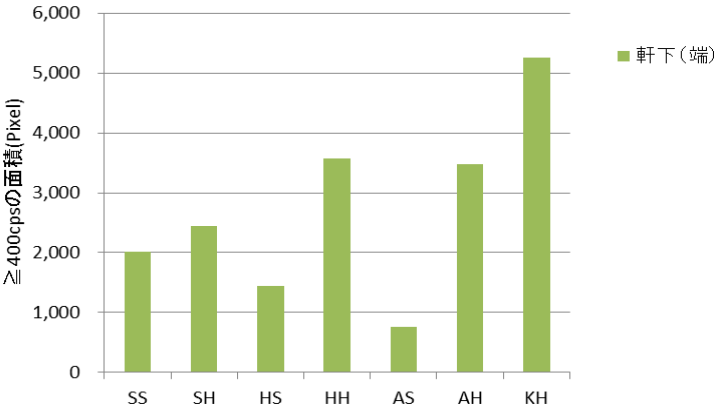


図 5.5.4-16　軒下に 10 ヶ月曝露した銅板付き試験材における銅の移行
（樹種記号は図 5.5.4-13 と同じ）

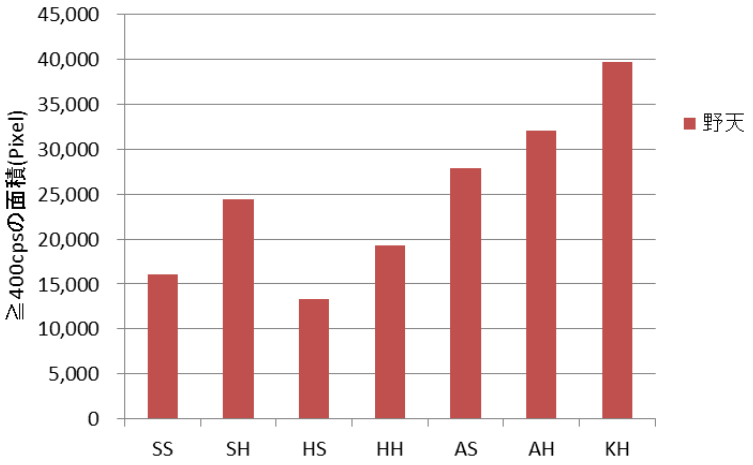


図 5.5.4-17　屋外野天で 10 ヶ月曝露した各種試験材における銅の移行
（樹種記号は図 5.5.4-13 と同じ）

4）銅釘から釘穴周辺への銅の溶出

銅釘打ち込み付け試験体の銅金物を固定していた銅釘の釘穴に沿って鋸断し、その断面をマッピング分析した。切削作業上、断面の釘穴に対する角度や位置をそろえることが難しく、同一条件の断面を得ることができなかった。そのため、材面分析のような定量的比較は行わず、カラーマッピング像の一例を示して銅溶出の様相を定性的に述べるにとどめる。

図 5.5.4-18 は、屋外野天 10 ヶ月曝露した銅釘打ち込みスギ辺材、スギ心材、ケヤキ心材の各試験材の釘穴の繊維方向断面の光学像と Cu-kα 線強度のカラーマッピング像である。いずれの試験材でも釘穴面から周囲木材への銅の移行が認められた。これは、銅釘と材の界面に表面から浸透した雨水に釘の側面から銅が溶出し、銅を含む雨水が材内部へ浸透したものと考えられる。銅の溶出範囲の広さや溶出量は、釘穴の深さ方向には関係なく、釘穴の木材組織に関係していた、すなわち溶出範囲は晩材部と晩材に近接する早材部に沿って拡大し、溶出量も晩材部周辺が高かった。なお、スギ心材やケヤキ心材の画像では、釘穴の奥で銅溶出量が高い傾向がみられたが、釘穴の奥は雨水が滞留して銅が溶出しやすい環境になっている可能性がある。

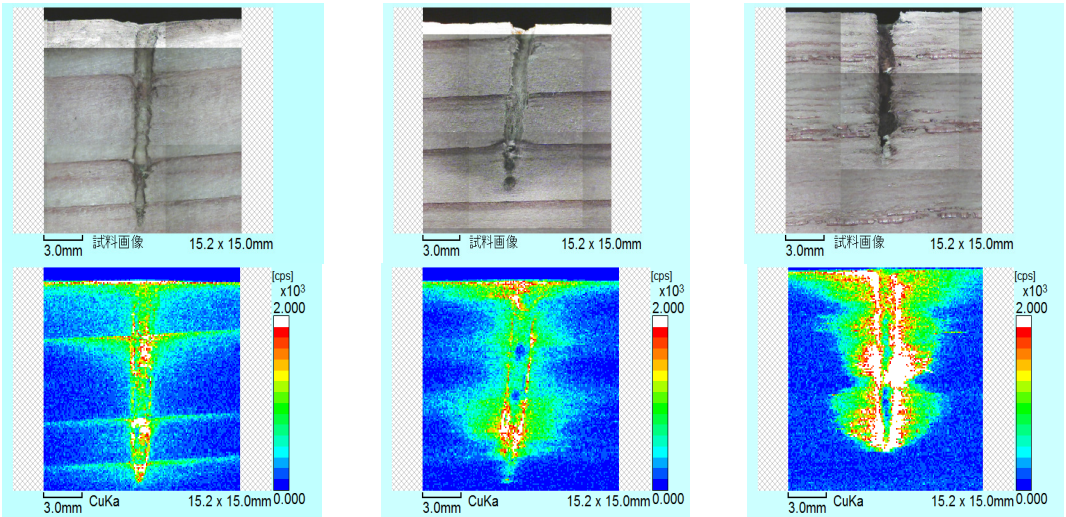


図 5.5.4-18　屋外野天で 10 ヶ月曝露した釘打ち試験材の釘穴内部への銅の溶出
（左から　スギ辺材、スギ心材、ケヤキ心材）

以上、1)～4)の室内強制湿潤や野外野天での曝露実験の結果を総合すると、伝統工法で多用されるケヤキ、スギ、ヒノキ、アカマツといった樹種では、木材が湿潤するような状況であれば、屋外でも屋内でも銅金物から周辺木部の表面、ならびに釘穴などの内部へ銅が溶出し、そのときの銅の付着量は金物近傍では腐朽抑制に寄与するレベルに達すると考えられる。銅溶出面積の広さは基本的に銅金物の表面積に依存していると考えられるが、使用環境、樹種などの条件によっても多様に変化するため、銅金物からの銅溶出量や溶出範囲を確実に制御するにはより広範かつ長期的な検討が必要である。

なお、平成 24 年 11 月から床下環境における銅溶出の検証実験として、京都大学農学部内の床下環境実験スペースにおいてモデル曝露実験を開始した。この実験の経過状況を以下に報告する。

5) 床下環境での曝露実験

床下条件での銅板の腐朽抑制効果を検証するため、温湿度環境の異なる床下実験スペース 4 区画(いずれも土壌現し約 1 坪、床高さ 400mm。床断熱の有無×換気口の有無の 4 条件)の土壌に、300mm 角で厚さ 30mm の御影石礎板を設置し、その上に気乾状態の 45mm 角、長さ 110mm の二方柾のヒノキ材 8 本を木口面を下にして設置した。設置の際、礎板を対角線で 2 分して、一方に厚さ 0.1mm、幅 10mm の銅板を巻き付けて銅釘 4 本で固定した銅板付き試験体、他方に銅板のない対照試験体を設置した。設置の様子を写真 5.5.4-3 に示した。

各区画にはセンサーを設置して温湿度をモニターしながら、10 月 13 日から 1 月 20 日までの約 2 ヶ月間設置した後、試験体を回収した。回収した試験体は、銅板を取り外して微小部蛍光 X 線測定装置を用いてマッピング分析した。4 区画に設置した銅板付き試験体の 4 面のマッピング画像を図 5.5.4-19～図 5.5.4-22 に示した。≧400cps 閾値二色化画像に基づく銅溶出面積は図 5.5.4-23 に示した。各床下区画、ならびに床上空間と外気の温湿度変化は図 5.5.4-24 に示した。

マッピングカラー画像を比較すると、換気口のない北西区画(図 5.5.4-19)と南東区画(図 5.5.4-20)では銅板巻き付け部分の材面に銅が溶出しているが、換気口のある北東区画(図 5.5.4-21)と南西区画(図 5.5.4-22)では溶出はわずかである。図 5.5.4-23 によると、換気口の有無によって、銅溶出面積に 10 倍以上の差を生じていた。換気口の有無は、床下区画の湿度変化にも大きく影響しており、換気口のない北西と南東の 2 区画は設置期間中ほぼ RH100%の飽湿状態であったのに対し、換気口のある北東と南西の 2 区画は RH100%になることはほとんどなかった。

これらの結果を総合すると、北西区画と南東区画はほぼ飽湿状態であったため、御影石礎板や銅板の表面に頻繁に結露が発生し、この結露水によって銅が材面へ溶出したと考えられる。

以上の 1)～5)の結果から、次のことが明らかになった。

① 銅金物を施工した木材が湿潤した状態であれば、周囲の木材へ銅が溶出する。
② 溶出する銅の量は、何らかの腐朽抑制効果が期待できるレベルである。
③ 銅が溶出する領域の広さは、金物の表面積に関係する。
④ 銅の溶出する範囲や量は、樹種や環境条件によって異なるが、辺材より心材のほうが有利である。
⑤ 銅釘を打ち付けると、銅は釘穴内部へも溶出する。
⑥ 実際の住宅床下でも、結露が発生する環境であれば銅金物から銅が溶出する。





写真 5.5.4-3　床下区画と試験体(上：換気口なし　下：換気口あり)

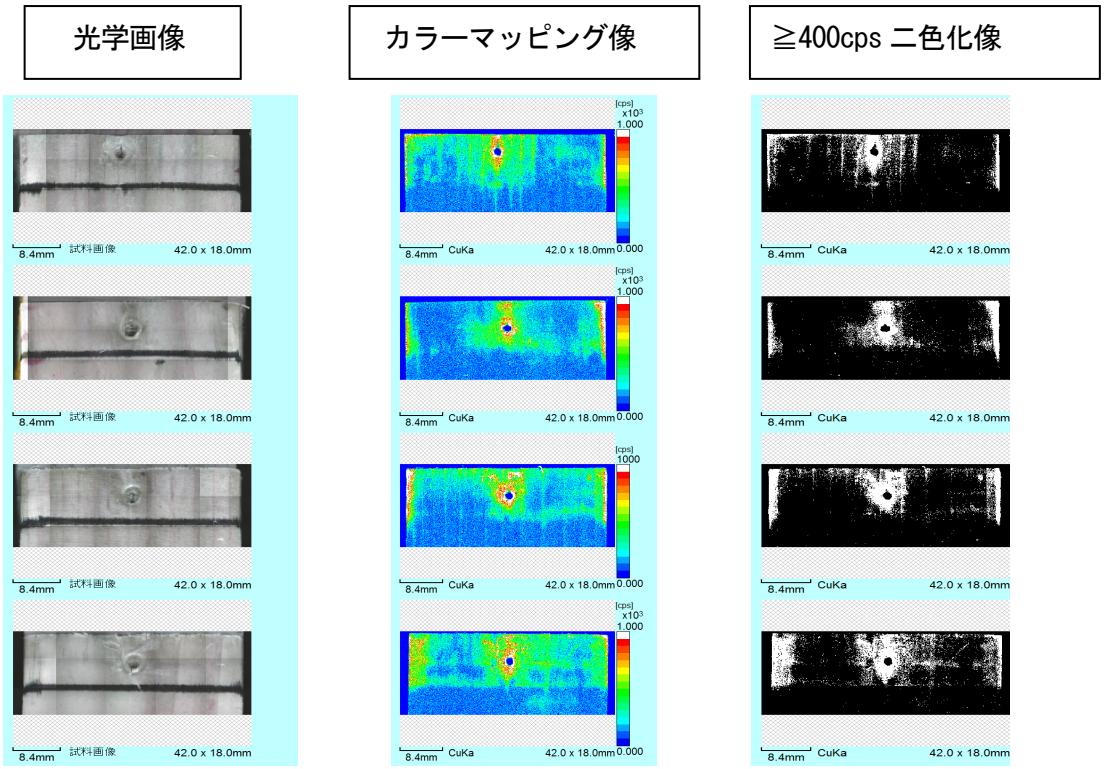


図 5.5.4-19　北西区画床下(断熱材なし　換気口なし)に 3 ヶ月曝露した銅板根巻き試験材の 4 側面の銅の溶出（銅板の位置は、マーキング線下方）

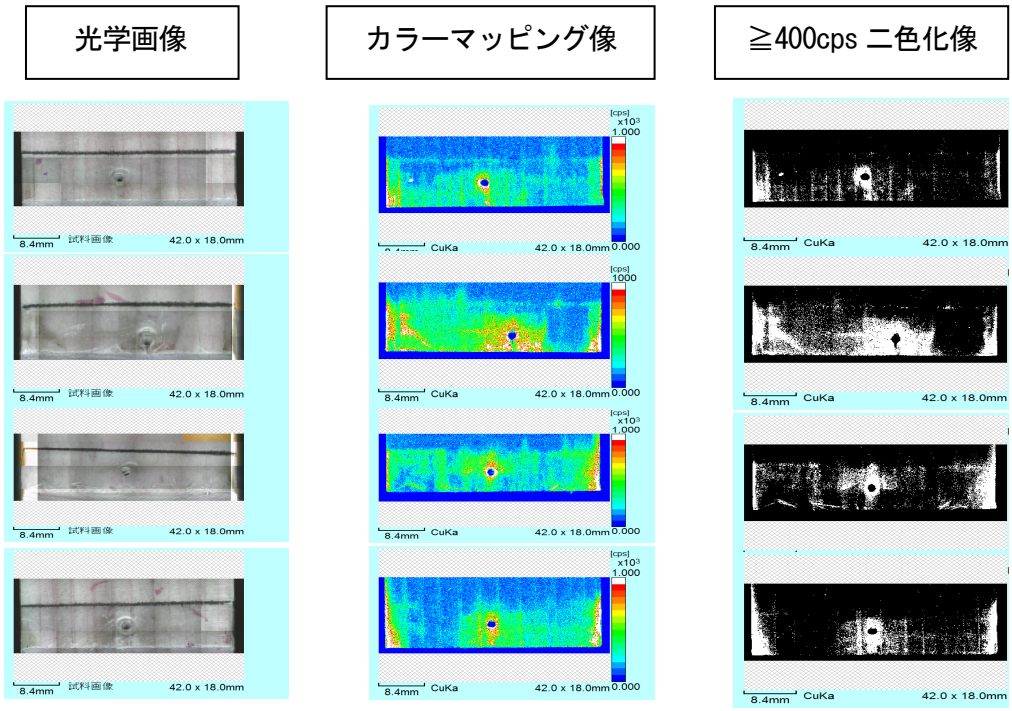


図 5.5.4-20　南東区画床下(断熱材あり　換気口なし)に 3 ヶ月曝露した銅板根巻き試験材の 4 側面の銅の溶出(銅板の位置は、マーキング線下方)

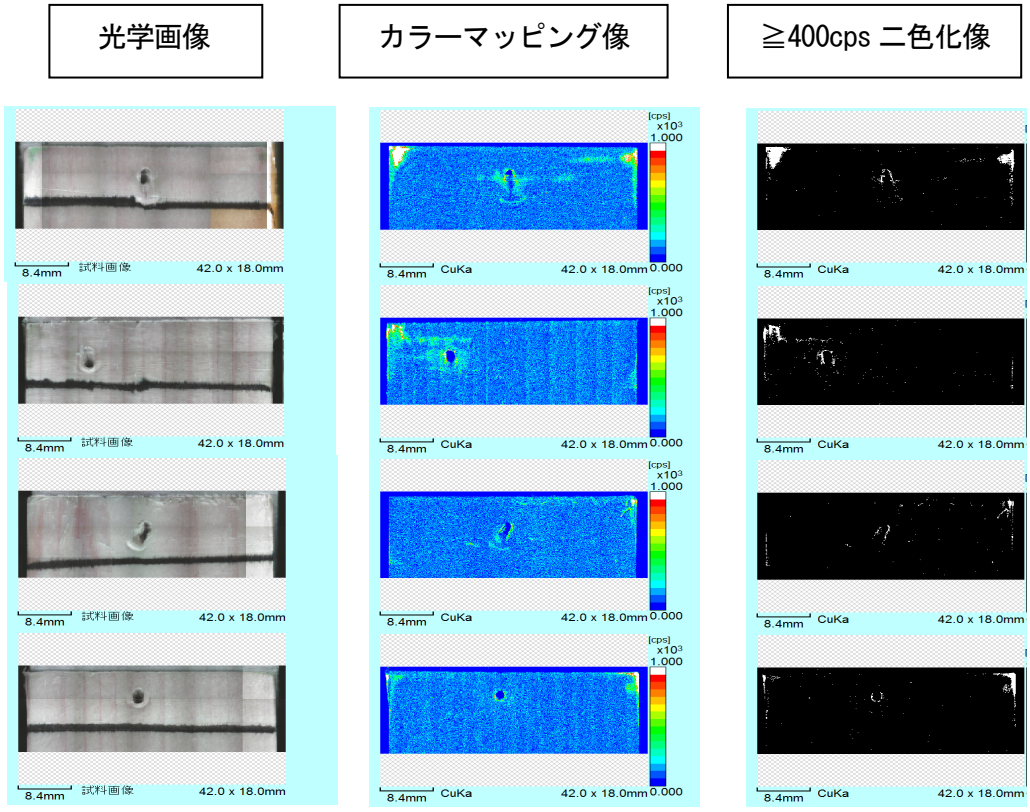


図 5.5.4-21　北東区画床下(断熱材なし　換気口あり)に 3 ヶ月曝露した銅板根巻き試験材の 4 側面の銅の溶出（銅板の位置は、マーキング線上方)

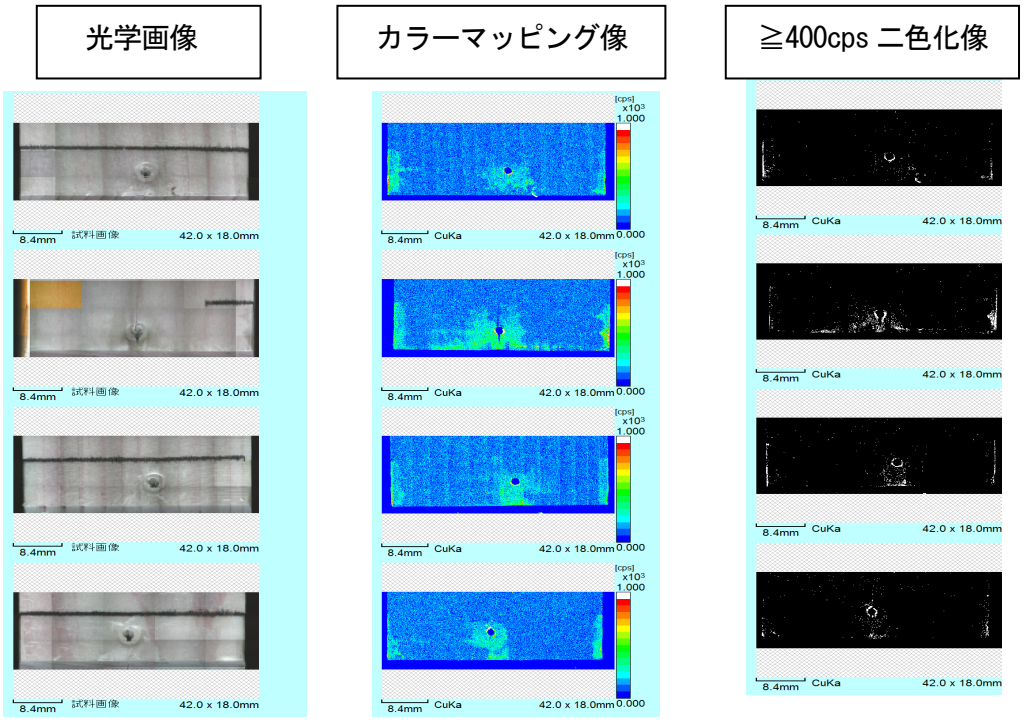


図 5.5.4-22　南西区画床下(断熱材なし　換気口あり)に 3 ヶ月曝露した銅板根巻き試験材の 4 側面の銅の移行(銅板の位置は、マーキング線上方)

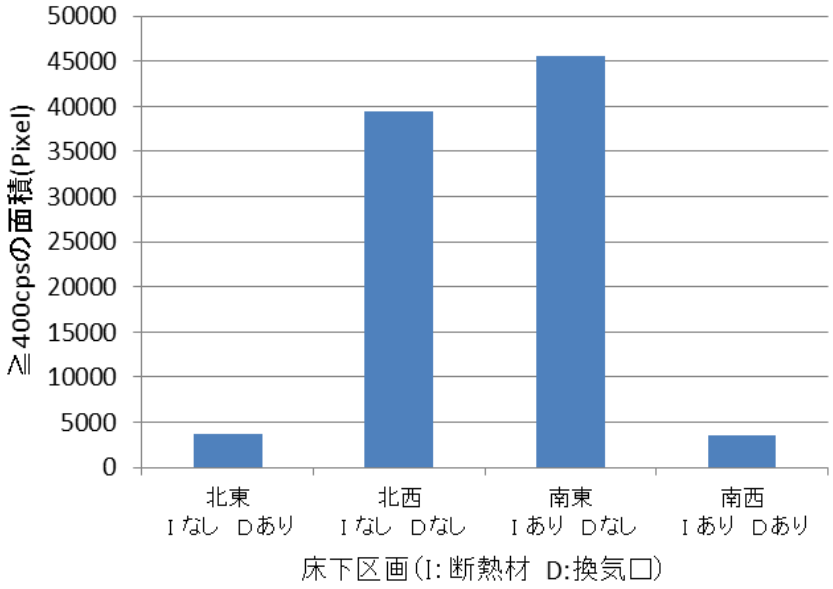


図 5.5.4-23　各床下区に 3 ヶ月曝露した銅板根巻き試験材の銅の溶出量の比較

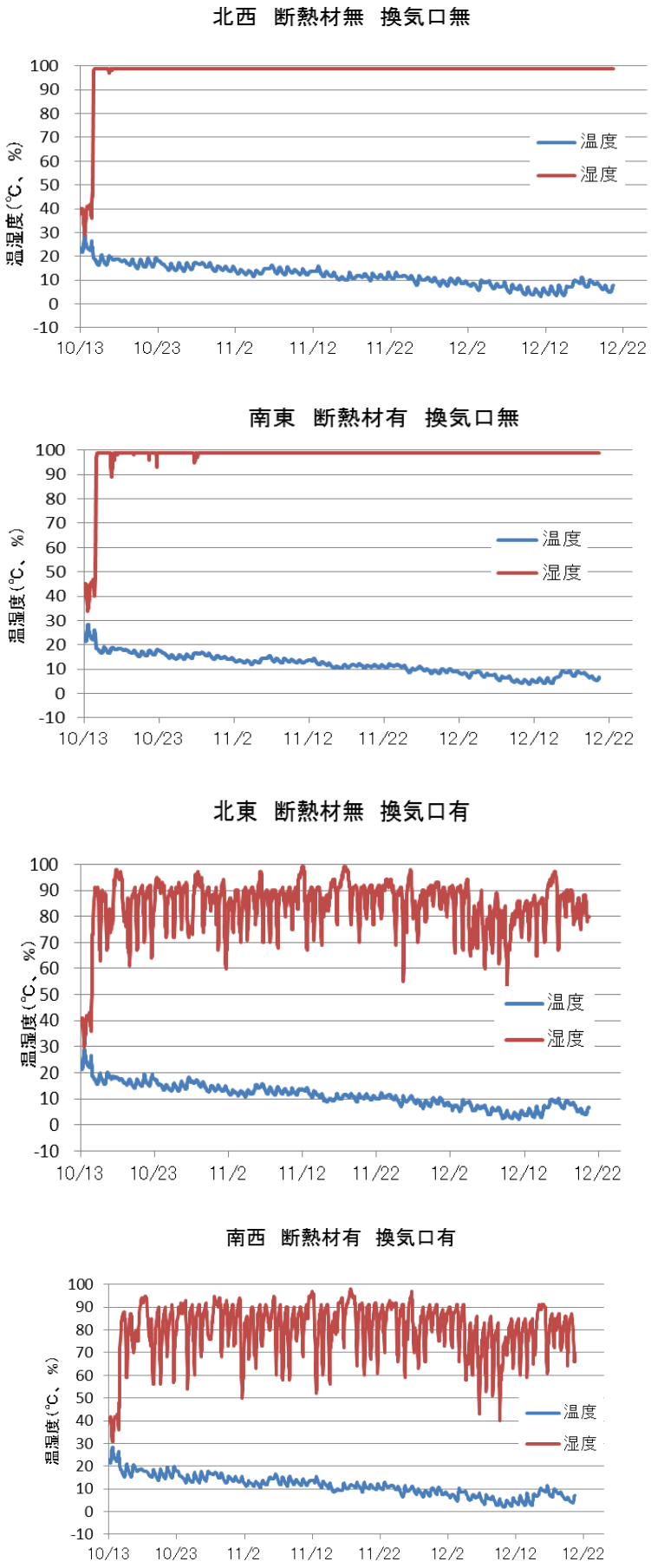


図 5.5.4-24　各床下区画、床上空間、ならびに外気の温湿度変化

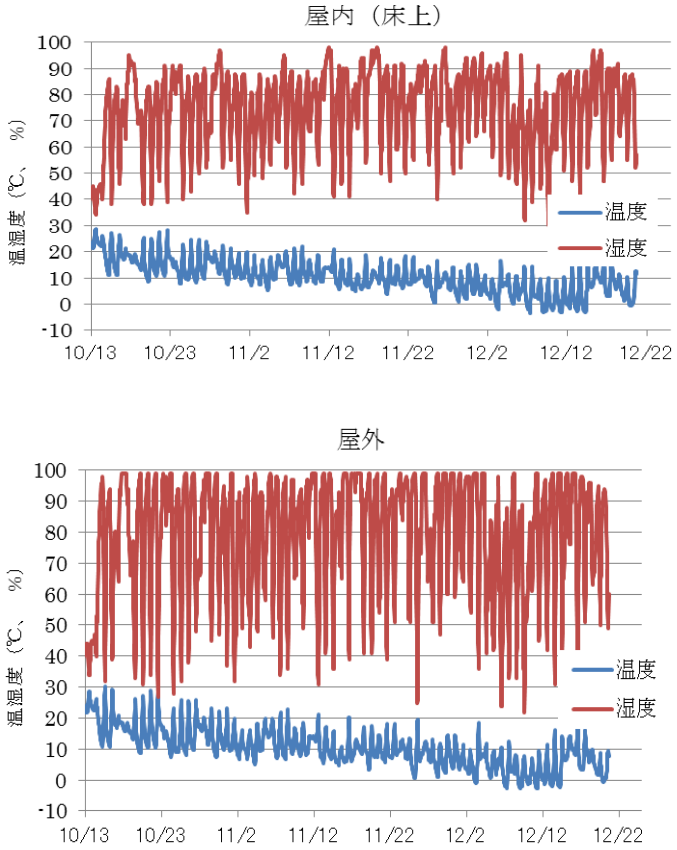


図 5.5.4-24　各床下区画、床上空間、ならびに外気の温湿度変化（つづき）

(2) 金物取り付け部材を想定した室内強制腐朽試験

これまでの事例調査によると（例えば三条大橋の欄干）、銅製金物から雨水などによって溶出した銅イオンが、木材の劣化抑制に寄与している可能性がある。銅イオンの腐朽抑制作用について、平成 22 年度に無機銅化合物で処理した木材の強制腐朽試験を行い、カワラタケや銅耐性菌オオウズラタケに対する効果を確認している。平成 23～24 年度は、より実際に近い条件で腐朽抑制効果を検証するために、金物を取り付けた部材を想定した室内強制腐朽試験を実施した。

1）実験方法

金物を取り付けた部材、すなわち木材と金物が常時接触している状態を想定して、60℃恒量測定済みの 20（T）×20（R）×10（L）mm スギ辺材試験片 3 枚を 30mm 角の金属板 4 片で交互に挟んで結束バンドで固定し、サンドイッチユニットを作製した（写真 5.5.4-4）。金属板は、銅板　銅金網、黄銅板のほか、対照としてガルバリウム鋼、ステンレス鋼など建築に使用される板金を用いた（表 5.5.4-1）。

このサンドイッチユニットを、JIS K1571:2010 木材保存剤－性能基準及びその試験方法 6.4.1.1（防腐性能室内試験　注入処理用）に準拠した強制腐朽試験に供した。すなわち、オオウズラタケ（*Fomitopsis palustris* FFPRI 0507）、およびカワラタケ（*Trametes versicolor* FFPRI 1030）をそれぞれ接種・培養した培養瓶へ、ユニットを入れて 27℃RH83%の至適条件でさらに培養した。12 週間培養した後、ユニットを解体して再度試験片の 60℃恒量を測定して質量減少率を算出した。JIS K1571:2010 では木材保存剤の防腐性能基準として、室内試験における質量減少率は 2 菌種ともに 3%以下であることと規定していることから、銅金物などの腐朽抑制効果を考察する上でも、この基準値をひとつの目安とした。

なお、本実験の目的は銅板などの金属が木材に接触することによる腐朽抑制効果の検証であるが、

上記の培養試験では、金属は木材だけでなく培養瓶内の腐朽菌の菌床にも接触するため、培地を介して菌床の活性に悪影響を及ぼすおそれもある。そこで、金属板を突き刺した菌床でスギ辺材を 12 週間腐朽させて、培地への影響を確認する実験も行った。

さらに、腐朽抑制への金属板の関与を検討するため、試験終了後の試験片の木口を微小部蛍光 X 線分析装置(㈱島津製作所製 μEDX-1300)を用いて、Cu などのマッピング分析を行った。

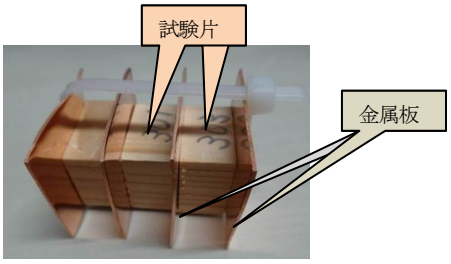


写真 5.5.4-4　サンドイッチユニット

表 5.5.4-1　サンドイッチユニットに使用した金属板

金属板の種類	規格など
銅板	厚さ0.6mm
銅金網	線径0.66mm　10メッシュ　平折り
アルミニウム板	JISH4000 A5052P　厚さ0.6mm
ステンレス鋼板	SUS304　厚さ0.6mm
ガルバリウム鋼板	JISG3321厚さ0.8mm
黄銅板	JISH3100　C2801P　厚さ0.6mm

2) 腐朽試験の結果

金属板でサンドイッチして強制腐朽した後の試験片の質量減少率を、表 5.5.4-2 に示した。

オオウズラタケによる強制腐朽に対しては、著しい抑制効果は認められなかった。すなわち、ステンレス鋼板や銅金網でサンドイッチした試験片の質量減少率は 50%以上で、金属板のないコントロール試験片と同程度であった。銅板や黄銅板でサンドイッチした試験片の質量減少率も 20～30%台で、コントロールよりやや低下したに過ぎなかった。ガルバリウム鋼板やアルミニウム板で挟んだ試験片の質量減少率は 10%未満に低下し、数字の上では腐朽を著しく抑制したかのように見受けられる。しかし、試験片は明らかに腐朽を受けて脆弱化しており(写真 5.5.4-5)、実際には腐朽をやや抑制した程度の効果であった。ガルバリウム鋼板やアルミニウム板において試験片の質量減少率と実際の腐朽状態とが乖離していた理由については、試験片自体は腐朽により質量を減じたが、その一方でオオウズラタケの産生したシュウ酸等によってガルバリウム鋼のメッキやアルミニウムが腐食し、そこから溶出した成分が試験片に付着して質量を補填した可能性がある。

カワラタケによる強制腐朽では、銅系の金属板に抑制効果が認められた。すなわち、ステンレス鋼､アルミニウム､ならびにガルバリウム鋼の各板でのサンドイッチ試験片の質量減少率は25～30%でコントロール同等であったが、銅板や黄銅板でのサンドイッチ試験片の質量減少率は 10%を下回り、とくに黄銅板では質量減少が認められなかった。銅板、黄銅板での試験片は腐朽試験後もきわめて堅牢であり、カワラタケによる腐朽は明らかに抑制されていた。銅金網でも試験片の質量減少率は 14%に低下したが、銅板と比較すると腐朽抑制効果は低かった。銅板との抑制効果の差は、金属と木材の接触面積の違いによるものと考える。

なお、金属板の菌床への影響については、表 5.5.4-3 に示したように、金属板を刺し込んだオオウズラタケ、ならびにカワラタケの菌床は、金属板のないコントロール培地と同様にスギ辺材を激しく腐朽した。したがって、上述の腐朽抑制効果は、菌床への悪影響によるものでなく、金属板と木材の接触によるものと考えられる。

以上のように、銅系の金属板は強制腐朽試験において、接触する木材の腐朽を抑制した。その抑制効果は、オオウズラタケに対する効力が低いため、木材保存剤の性能基準には及ばないものの、最も効果の高い黄銅板ではカワラタケによる腐朽を完全に抑制することができた。

3) 蛍光 X 線分析の結果

図 5.5.4-25 は、カワラタケによる強制腐朽終了後の銅板サンドイッチ試験片と黄銅板サンドイッチ試験片の金属接触面の光学像(左)、蛍光 X 線マッピング分析の Cu-Kα 線強度像(中)、ならびに≧400cps 二色化マッピング像(右)である。試験片には、閾値を上回る量の Cu が広範囲にわたって分布しており、銅金物から溶出した銅イオンが木材へ移行して腐朽を抑制したものと推察される。

以上の実験結果を総合すると、伝統的構造物で用いられる銅金物は、木材保存剤の性能基準には及ばないものの木材の腐朽を抑制する効果を有しており、銅金物の中では黄銅が最も抑制効果が高いと考えられる。

表 5.5.4-2　各種金属板サンドイッチ試験片の強制腐朽後の質量減少率
（平均±標準偏差）

金属板の種類	菌種:オオウズラタケ	菌種:カワラタケ
銅板	36.8% ±9.2%	6.0% ±7.7%
銅金網	53.6% ±4.0%	14.0% ±7.4%
黄銅板	24.7% ±8.2%	−0.6% ±0.9%
ステンレス鋼板	54.3% ±2.4%	29.7% ±8.6%
アルミニウム板	*5.7% ±6.3%	29.3% ±11.7%
ガルバリウム鋼板	*8.6% ±3.6%	27.8% ±12.0%
コントロール	51.6% ±5.7%	34.3% ±8.2%
		*:本文参照



写真 5.5.4-5　強制腐朽後のガルバリウム鋼板サンドイッチ試験片の外観
（オオウズラタケによる腐朽）

表 5.5.4-3　各種金属板を接触させた菌床で強制腐朽したスギ辺材の質量減少率
（平均±標準偏差）

	菌種:オオウズラタケ	菌種:カワラタケ
銅板	41.6% ±3.4%	21.1% ±6.6%
銅ネット	35.3% ±3.4%	24.1% ±3.4%
黄銅板	39.5% ±6.6%	27.1% ±6.6%
ステンレス板	40.9% ±3.4%	28.8% ±3.4%
ガルバリウム鋼板	52.5% ±6.6%	35.0% ±6.6%
アルミニウム板	49.6% ±3.4%	26.1% ±3.4%
コントロール	42.2% ±8.7%	27.9% ±6.6%

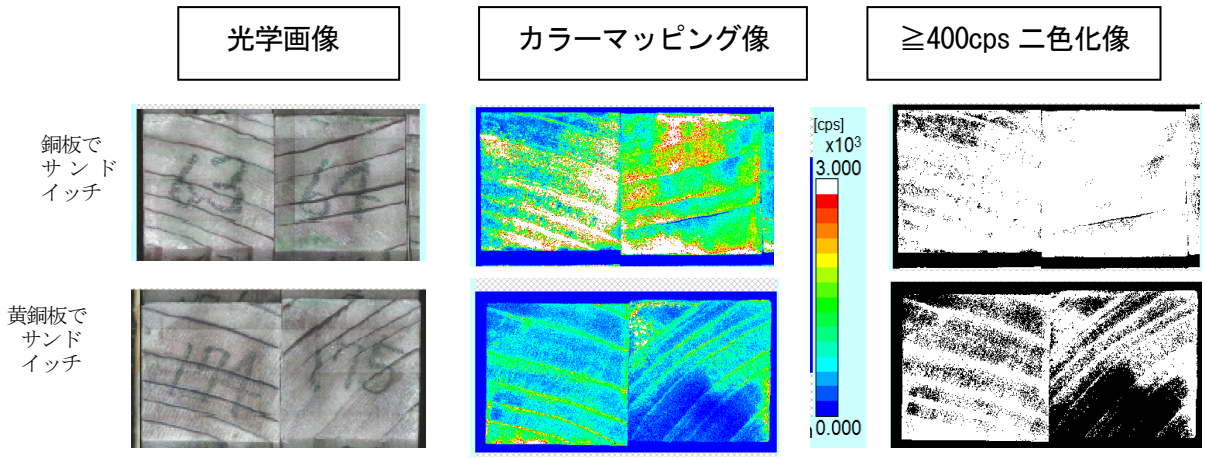


図 5.5.4-25　カワラタケにより強制腐朽したサンドイッチ試験片の蛍光 X 線マッピング分析像
左から光学像、Cu-Kα 線強度像、Cu 二色化領域像(Cu-Kα≧400cps が白ドット)

(3) まとめ

(1) (2)の検証実験の結果、以下のことが明らかになった。

① 銅金物を施工すると、雨水や結露水によって周囲の木材へ銅が溶出する。
② 溶出する銅の量は、何らかの腐朽抑制効果が期待できるレベルである。
③ 銅が溶出する範囲や量は、金物の表面積に関係する。
④ 銅の溶出する範囲や量は、樹種や環境条件によって異なるが、辺材より心材のほうが溶出には有利である。
⑤ 銅釘を打ち付けると、銅は釘穴内部へも溶出する。
⑥ 実際の住宅床下でも、結露が発生する環境であれば銅金物から銅が溶出する。
⑦ 強制腐朽試験において銅系金属板で木材を挟み込むと腐朽が抑制された。
⑧ 銅系金属板から溶出した銅が腐朽抑制に寄与したと考えられる。
⑨ 銅系金属板の中では黄銅板が最も効果が高く、カワラタケによる腐朽を完全に抑制した。
⑩ 黄銅板でもオオウズラタケに対する効果が低く、木材保存剤の性能基準には及ばなかった。

これらのことから、伝統的構法の建築物において銅金物は単なる防水カバーとして機能しているだけではなく、そこから溶出する銅の腐朽抑制作用によっても周辺木材の劣化抑制に寄与していると考えられる。しかし、強制腐朽試験の結果では木材保存処理の代替となるほどの信頼度は期待できない。総合的な耐久性対策の一環として、他の対策と併用して活用することが最良と考える。

【引用文献】 1) 高橋幹夫 他 : 木レンガ歩道の試作と性能評価、山形県立林業試験場研究報告、20、p.51-5.5 、1991 年

まとめ

平成 22、23 年度に引き続き、平成 24 年度は全国の伝統木造建築の劣化調査および銅板の腐朽抑制効果の調査および検証実験を実施した。前者については今後もより多くの調査結果を集める必要があるとともに、全ての物件の調査結果を詳しく分析し、構造、材料、施工、環境や住まい方と劣化との関係を検討する必要がある。また銅板に関する検証実験についても継続してより長期にわたる効果の発現状態を見極める必要がある。

将来的にはそれらの知見をもとに伝統的木造の耐久性確保のための方向付けが明らかになると思われるが、現状では現行法における耐久性確保に関する内容を把握し、その範囲でより実際的な耐久性確保のための策を実務家が講じることが求められる。本節では最後に、現行法における耐久性確保に関する部分を引用し、さらに耐久性確保のために注意を払うべき点を解説する。

(1) 現行の建築関係法令における耐久性確保に関する規定

現行の建築関係法令のうち、限界耐力計算を用いた構造計算書の計算手順における耐久性確保に関する規定は以下の通りである。

・　建築基準法施行令 37 条：構造部材の耐久性

構造耐力上主要な部分で特に腐食、腐朽又は摩損のおそれのあるものには、腐食、腐朽若しくは摩損しにくい材料又は有効なさび止め、防腐若しくは摩損防止のための措置をした材料を用いなければならない

・　同 41 条：木材

構造耐力上主要な部分に使用する木材の品質は、節、腐れ、繊維の傾斜、丸身等による耐力上の欠点がないものでなければならない

・　同 49 条：外壁内部等の防腐措置等

木造の外壁のうち、鉄網モルタル塗その他軸組は腐りやすい構造である部分の下地には、防水紙その他これに類するものを使用しなければならない。

2　構造耐力上主要な部分である柱、筋かい及び土台のうち、地面から 1m 以内の部分には、有効な防腐措置を講ずるとともに、必要に応じて、しろありその他の虫による害を防ぐための措置を講じなければならない

その他の関係法令として、住宅の品質確保に関する促進等に関する法律(品確法)では、住宅性能表示基準及び評価方法の基準において、劣化対策等級(構造躯体等)を定めている。また同法の既存住宅の評価では、特定現況検査によって生物劣化(腐朽・蟻害)の現況を調査することとしている。さらに参考となる項目として、長期優良認定制度では、品確法の劣化等級 3 に加えて維持管理に関する項目の他、特定住宅瑕疵担保責任法(雨漏りと基礎に関する規定類)が見られる。これらの法的根拠に基づいて様々な劣化対策が設計や施工の段階で採用されるが、実際の住宅で発生する劣化は環境や住まい方にも依存し、複雑で多様であり、各対策の効果には限界もある。

(2) 耐久性確保のための注意点

建築物の耐久性(劣化)は、設計、材料と施工に依存するとともに、その建築物がたつ環境と住まい方(維持管理)に大きく依存する。実務者にとっては主に、設計、材料選択と施工における耐久性の確保対策が課題である。しかし対策を考える上で重要な点は、建築物を立てる環境とそこでの劣化リスクを知ること、劣化リスクに応じた対策を効果とコストをバランスさせながら選択することにある。シロアリ食害に対しては、土壌からの這い上がりをいかに阻止するか、腐朽に対しては木

部の水分管理(水切れ・雨仕舞・結露対策)をいかに行うかが基本となる。耐久性向上は以下の観点から検討する。また維持管理の主体は所有者や管理者であるが、実務者は設計から施工の段階で、維持管理のための点検や補修に関する配慮も必要である。

1) 建物を立てる環境に対する認識と対策

耐震性能を確保するために地盤の調査や改良を行うように、実務者は耐久性確保のための環境調査や対策を考えることも重要である。例えば土壌の水分状態、温湿度や降雨・降雪の季節変化、シロアリなどの分布状態、周囲の環境などを知り、基礎(床下)周囲や外壁などの仕様を耐久性確保の観点から最適化することが望ましい。一般的には床下からの湿気やシロアリ侵入を防ぐために、防湿や防蟻シートを施工する、土間コンやベタ基礎にすることで劣化のリスクは低減される。

2) 材料に関する留意点

耐久性・耐蟻性に優れた材料の選択、乾燥材の使用、各種の防腐・防蟻処理の選択が求められる。伝統的な木造ではグリーン材を用いる場合もあるが、含水率が約30%以上の材については腐朽が発生しうるので注意が必要である。またグリーン材の辺材にはカミキリなどの昆虫が生息している可能性があり、竣工後に発生する可能性もあるので注意が必要である。伝統的な木造では加圧注入処理材は敬遠され、現場で塗布する薬剤などを活用する傾向にあるが、薬剤の効果、持続性や安全性などに注意を払う必要がある。また近年ではVOCや環境問題への配慮から化学薬剤に依存しない手法も開発されつつある。断熱材を壁体、床に使用する場合には、これへのシロアリの侵入についても注意を払う必要がある。

3) 仕様や施工上の留意点

木部は濡らさない、濡れてもすぐに乾燥する状態に保つ、土壌に着けないのが基本である。また石材、金物だけでなく断熱材など熱伝導性の異なる材料や湿気との接触による結露に注意を払う必要もある。床高さを十分取り、土壌に防湿対策を施し、床下空間の通気と換気を確保することなどは基本である。また軒の出を確保して外壁の雨かかりを抑えることも重要である。近年では耐水性の優れた外装材料が開発されてはいるが、経年での目地や窓周りからの雨水の浸入を極力さけるようにする。

4) 維持管理

完璧で長期間持続する劣化対策を建築時に実現することは難しい。さらに建物が建築された環境と住まい方によって、時間とともに建物には劣化が生じる。建物の寿命を実質的に長らえるには点検と補修に基づく維持管理が基本となる。また設計・施工者は点検しやすく、補修しやすい構造、計画、材料や施工方法を選択すべきである。点検には、所有者が行う日常点検のほかに、専門家が数年に一度実施する床下などの定期点検の他、台風や地震のあとの不具合を点検する不定期点検が考えられる。

5) その他

市場には関連法規に適合させながら、これらを目的とした様々な工法や材料が提供されている。一般的には単一の対策で完全な防虫や防腐を実現することは難しく、複数の手法を組み合わせることが多い。しかし各対策の原理、効果や特性を理解した上で対策方法の組み合わせを決定する必要がある。

また既存建物の耐震改修など場合には、事前の調査によって、劣化の有無、種類、範囲や程度を明らかにした上で、改修を行う。腐朽や虫害があった場合、とくにそれが進行性の場合には、駆除や環境対策を実施する必要があり、その上で強度補償や環境改善などの措置が求められる。

伝統木造の調査を進めるにあたり各地域の実務者の方々に多大な協力を頂いた。これらの方々に深甚な感謝の意を表します。

5.6 古材の強度性能と評価

5.6.1 実験の意義と目的

我が国の木造建築は、気候・風土・生活習慣等によって地域の特色ある木造文化を形成してきた。これらの多くは地域性に対応した軸組構造であり、部材と仕口・継手がこのような伝統的軸組構造を支えている。しかしながら、古材より成る伝統的な軸組構法は力学的な観点からの調査がそれほどなされていないのが現状であり、前年度は解体古建築より採取した古材に焦点をあて、小試験体による各種の強度試験および実大材の破壊実験を行うことによりヤング係数と破壊強度に関するデータの蓄積を行った。その結果、実験した範囲においては古材の各種の材料定数は新材と比較しても大きく見劣りするものではなく、また、非破壊的手法によるヤング係数推定法を用いて古材の残存強度を推定する方法を提案した。一方で、通し貫接合部の復元力特性について新材と古材を用いて新たに加工・組立てた接合部の実験を行い、実験した範囲内では古材が新材に劣る傾向を見出すことはできなかったが、今後さらに検討が必要であることなどがわかった。

今年度は、このような前年度の成果を受け、既存の伝統的木造建築物においてその構成部材の材料特性やめり込み特性および仕口の復元力特性を把握することが重要であると判断し、実務者が必要に応じて古材を安心して再利用できる道筋を拓くため、次の 3 項目について研究を実施した。

(1) 古材の仕口接合部実験

古建築物の解体時に採取した柱梁接合部の強度実験を行い、次の項目(2)と比較して経年による接合性能を調べる。

(2) 新材の仕口接合部実験

上記項目(1)と同様の仕口を新材で製作し、(1)の実験の比較対象として接合性能の違いを調べる。

(3) 古材の材料試験

既往の研究より、伝統的構法では接合部の横圧縮めり込み特性が重要であることがわかった。めりこみ特性は、仕口接合部の解析にも必要な情報となるため、項目(1)の材料を用いてデータの蓄積を図る。

なお、ここで検討対象とした古材の位置付けについては、前年度と同様、特に厳密な定義によるものではないが、一度建築物に使用され数十年以上経過した後に解体され再利用を意図する部材、および建築後数十年以上経過した現存する伝統的木造建築物で、構造的な評価に際して材料特性が不明または不確定なため、何らかの評価を必要とする部材を想定した。

5.6.2 実験計画

(1) 対象とした試験材

1) 長野市の寺院客殿解体部材

長野県長野市の寺院客殿（明治 27 年築、築後経過年数 118 年）解体材を対象とする。樹種は柱材がスギ、桁材がアカマツである。寺院客殿の外観を写真 5.6.2-1 に示す。当該建物は瓦葺の平屋、間取りは現地の由緒ある寺院の客殿である。



写真 5.6.2-1　外観写真



写真 5.6.2-2　実験対象部材

2) 福山市の民家解体部材

広島県福山市の民家（昭和 20 年代築、築後経過年数 60-70 年）解体材を対象とする。樹種は柱材がスギとヒノキ、桁材がアカマツである。民家の外観を写真 5.6.2-3 に示す。当該建物は瓦葺の二階建てである。



写真 5.6.2-3　外観写真



写真 5.6.2-4　試験体

(2) 実験計画の概要

1) 古材の仕口接合部実験

古材の仕口接合部の復元力特性の把握を目的として、長野市寺院客殿・福山市民家より採取した仕口接合部に対し、モーメント抵抗試験を行った。試験は「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008 年版）、（財）日本住宅・木材センター、2010．4」に準拠し、名古屋大学で実施した。

2) 新材の仕口接合部実験

入手した古材と比較のための新材から同樹種、同形状の仕口試験体を作成し、仕口の回転抵抗モーメントの剛性・降伏値・復元力特性を得て、古材と新材の材料としての違いが仕口の復元力特性に及ぼす影響を見ようとした。実験は立命館大学で実施した。

3) 古材の材料試験

古材の材料特性の把握を目的として、長野市寺院客殿の解体部材に対し、縦圧縮・横圧縮・部分横圧縮（めり込み）の試験を行った。試験は日本工業規格 JISZ2101 に準拠し、試験体の作成および載荷を行った。特に、めり込み試験は、JISZ2101 の部分圧縮試験をベースとしながら、めり込み特性を得るために、載荷方法・解析手法などは独自の方法で実施した。材料試験はそれぞれ、名古屋大学・立命館大学でほぼ半数ずつを実施した。

5.6.3 古材の仕口接合部試験

(1) 実験方法

現存する伝統構法建築物の接合部のモーメント抵抗性能を把握するため、古建築から採取したほぞ接合部の力学実験を行った。試験体採取にあたり、古建築の解体寸前に接合部付近を斜材で固定することで接合部に負荷をかけずに実験室へ運搬し、試験機に設置した。試験体は、長野市の寺院客殿から採取したもの 4 体（以下、NU 試験体）と福山市の民家から採取したもの 7 体（以下、FU 試験体）の計 11 体である。なお、今回の部材は柱－桁接合部位から採取したが、本報告書では柱梁試験体と記す。

NU 試験体は長野県長野市の寺院客殿の解体時に採取した T 字型ほぞ接合部試験体である。建物を写真 5.6.3-1 に示す。建築年数は 118 年であった。試験体の外形寸法はいずれも約 1500×2000mm であった。柱材の断面形状は正方形で、断面寸法は 112×112mm であった。梁材の断面は矩形、円形など様々であり、その梁背も 90～190mm と様々であった。梁材断面の一例を写真 5.6.3-2 に示す。樹種は、柱材はスギ（*Cryptomeria japonica* D.DON）、梁材はアカマツ（*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.）であった。



写真 5.6.3-1　NU 試験体採取地（寺院客殿）



写真 5.6.3-2　NU 試験体の梁材断面（左：NU1　右：NU2）

FU 試験体は広島県福山市の民家から採取した T 字型ほぞ試験体である。採取元の建物を写真 5.6.3-3 に示す。解体時の建築年数は約 60 年であった。外形寸法は NU とほぼ同等で約 1500×2000mm であった。柱材の断面形状はほぼ正方形であり、断面寸法は 105×102～115×117mm であった。梁材の断面形状はほぼ円形で、その梁背は 170～233mm であった。柱材の樹種は試験体によって異なり、FU3 と FU6 はヒノキ（*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.）、FU4、5、7、8、9 はスギ（*Cryptomeria japonica* D.DON）であった。梁材の樹種はアカマツ（*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.）であった。



写真 5.6.3-3　FU 試験体採取地（福山市民家）

全試験体の詳細を表 5.6.3-1 に示す。また、試験後に測定したほぞ寸法とほぞ穴寸法を表 5.6.3-2 に示す。なお、これらの表では、数か所測定による平均値を示している。

表 5.6.3-1　ほぞ接合部試験体の詳細

試験体	採取元	柱（樹種，断面寸法）	梁（樹種，梁背）	備考
NU1	長野市寺院客殿	スギ，112×112mm	アカマツ，90mm	ほぞ突出40mm
NU2		スギ，112×112mm	アカマツ，190mm	
NU3		スギ，112×112mm	アカマツ，170mm	
NU4		スギ，112×112mm	アカマツ，187mm	梁材に虫害（接合部付近はなし），ほぞ突出13mm
FU3	福山市民家	ヒノキ，116×114mm	アカマツ，220mm	ほぞ突出（14mm），接合部に直交切欠きあり
FU4		スギ，100×102mm	アカマツ，228mm	
FU5		スギ，110×110mm	アカマツ，203mm	
FU6		ヒノキ，117×115mm	アカマツ，233mm	ほぞ突出（9mm），接合部に直交切欠きあり
FU7		スギ，105×106mm	アカマツ，203mm	接合部に直交切欠きあり
FU8		スギ，110×110mm	アカマツ，228mm	接合部に直交切欠きあり
FU9		スギ，113×104mm	アカマツ，203mm	

表 5.6.3-2　ほぞ・ほぞ穴寸法

試験体	採取元	ほぞ寸法（長さ×幅×厚さ）	ほぞ穴寸法（深さ×幅×厚さ）	備考
NU1	長野市寺院客殿	130.0×87.7×29.4mm	（貫通）×93.3×30.2mm	
NU2		147.7×88.5×29.1mm	（貫通）×92.6×30.0mm	
NU3		45.0×88.2×29.1mm	（未測定）×91.1×29.9mm	ほぞ下面は接触せず
NU4		200.0×102.0×42.7mm	（貫通）×103.4×44.1mm	
FU3	福山市民家	190.0×70.4×29.5mm	（貫通）×72.8×30.1mm	
FU4		76.0×70.9×29.1mm	99.0×74.5×30.0mm	
FU5		75.0×72.1×29.8mm	85.0×77.0×34.0mm	
FU6		169.0×71.4×30.1mm	（貫通）×78.0×36.0mm	
FU7		68.0×70.4×27.9mm	88.0×72.2×30.0mm	
FU8		70.0×71.9×29.2mm	81.0×77.0×33.0mm	
FU9		78.0×71.0×30.2mm	100.0×75.1×31.5mm	

実験は名古屋大学農学部木質構造実験室で行った。NU シリーズ試験体は平成 24 年 6～7 月、FU シリーズ試験体は同 10 月に実施した。なお、7 月 6 日と 10 月 25 日は公開実験日とし、一般から見学参加を呼び掛けて行った。

試験体の設置を図 5.6.3-1 と写真 5.6.3-4 で説明する。梁材は試験機とアンカーボルトで固定されている。柱頭部はアクチュエータとピン接合されており、ここが加力点となっている。加力は定速制御の正負交番繰り返し載荷で行った。加力速度は 200mm/min とした。加力の折り返し点は、変形角 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30、1/10rad.の 9 ステップに、試験機の限界で

あるストローク 200mm（約 1/5rad.に相当）を加えて行った。各ステップでの繰返し回数は 3 回であり、計 30 サイクル行った。加力の大きさをアクチュエータに繋いだロードセル（SFL-100kN、島津製作所、容量 100kN）で読み取った。また、変位計を 6 つ設置した。変位計①～④（DP-1000E、東京測器研究所、容量 1000mm、精度 10×10^{-6}/mm と CDP-50、東京測器研究所、容量 50mm、精度 200×10^{-6}/mm）は変形角の算定、変位計⑤、⑥（CDP-100、東京測器研究所、容量 100mm、精度 100×10^{-6}/mm）は柱材の浮き上がり量の測定に用いた。

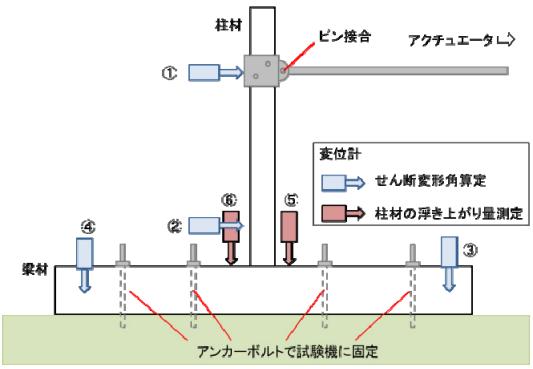


図 5.6.3-1　ほぞ試験体の実験の様子

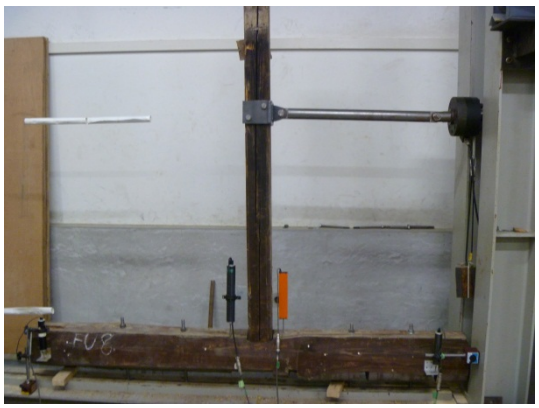


写真 5.6.3-4　実験の様子

(2) 結果と考察

図 5.6.3-2～図 5.6.3-12 にほぞ接合部試験体の復元力特性を示す。また、図 5.6.3-13、図 5.6.3-14 にこれらのグラフから作成したモーメントー変形角関係（包絡線）を示す。ここで、モーメントはロードセルの値に、仕口部分から加力点までの距離を掛けることで求めた。また、変形角は変位計①と②で得られる柱材の傾きから変形③と④で求めた梁材の傾きを引くことで得られた、いわゆる真の変形角である。図 5.6.3-2～図 5.6.3-12 で示された縦軸の値は、試験体によって値が大きく異なったため、あえて統一しなかった。

図 5.6.3-13、図 5.6.3-14 から読み取れるモーメント抵抗性能の大小により二別できる。この大小の差が現れた原因としては、ほぞの形状（長ほぞ、短ほぞ）の違いと、篏合の甘さが挙げられる。

長ほぞの試験体（NU2、4、FU3、6）はモーメント抵抗性能が大きく、これらの試験体が示した抵抗性能は、既往の新材ほぞ接合部の力学性能研究例 [1)]と比較しても劣ることはなかった。これらの接合部は例えば古建築改修の際にも、十分な耐力要素として継続利用できると考えられる。しかしながら、これらの接合部試験体のモーメント抵抗性能は、写真 5.6.3-5 のように、ほぞ根本の折損をもって最大モーメントを示した後、急激な低下を示した。したがって、伝統構法建築物の力学的な特徴である、高い靭性（最大荷重後もその抵抗力を発揮し続ける）といった結果は見受けられなかった。

例えば写真 5.6.3-6 に示すような短ほぞの試験体（NU1、3、FU4、5、7、8、9）は試験前から篏合の甘さが目立った。篏合が甘いことは、加力前に柱材に手を掛けた際に容易に傾いたことから推測できた。グラフでは復元力の発現までに時間を要したこと、また発現後もその復元力はほとんど示されなかったことがわかる。したがって、今回の試験のような水平方向荷重の想定において、耐力要素としては成り立たないと考えられる。篏合が甘い短ほぞを用いる利点として、建設の際のはめ込みの容易さが挙げられる。これらのことから、当時施工にあたった大工は長ほぞと短ほぞを上手に配置し、建築物に必要な抵抗要素の確保と、施工手間の双方を考慮していたと想像される。

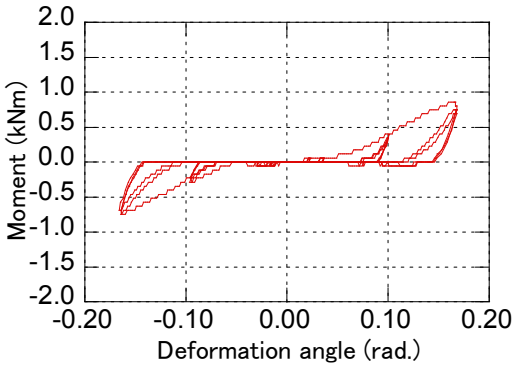


図 5.6.3-2　NU1 復元力特性

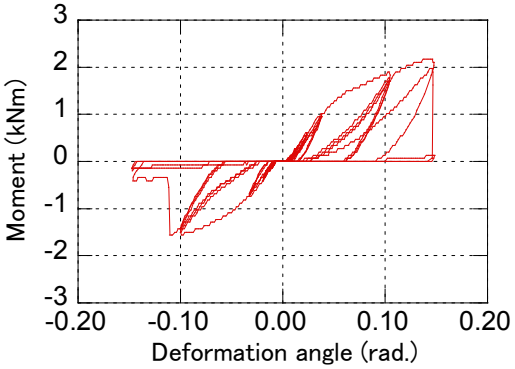


図 5.6.3-3　NU2 復元力特性

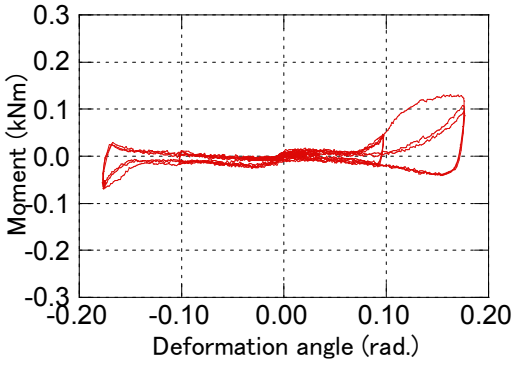


図 5.6.3-4　NU3 復元力特性

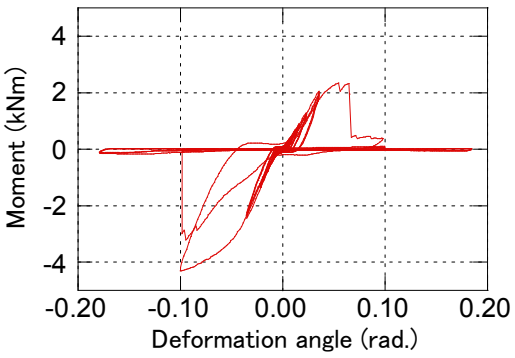


図 5.6.3-5　NU4 復元力特性

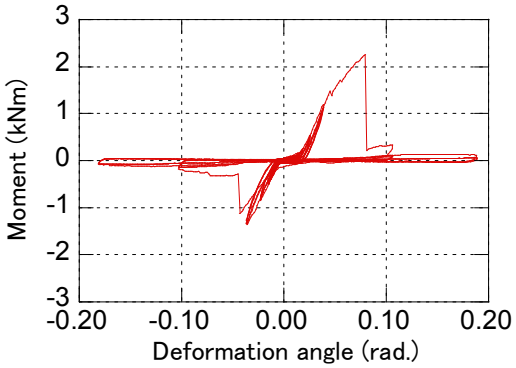


図 5.6.3-6　FU3 復元力特性

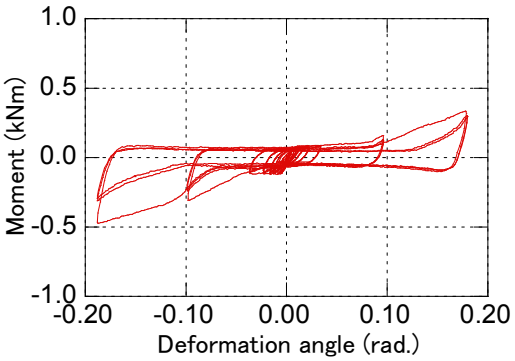


図 5.6.3-7　FU4 復元力特性

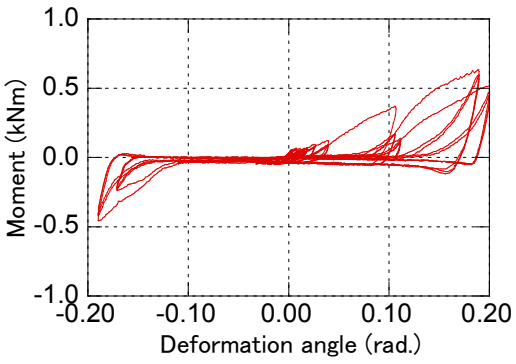


図 5.6.3-8　FU5 復元力特性

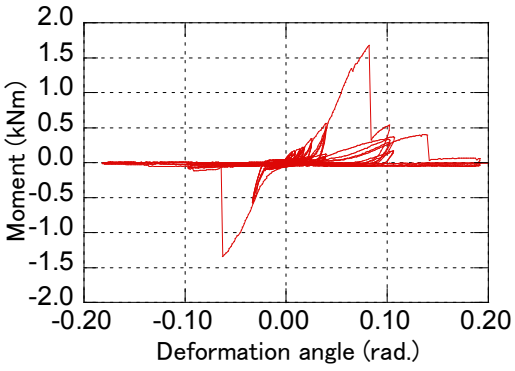


図 5.6.3-9　FU6 復元力特性

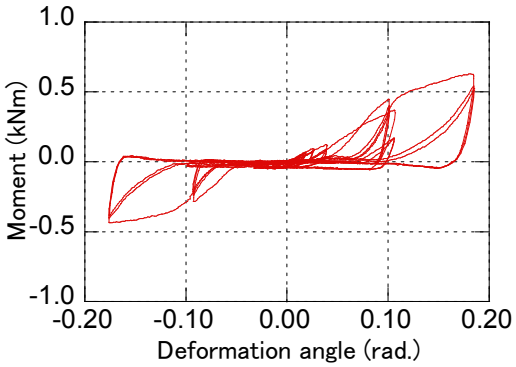


図 5.6.3-10　FU7 復元力特性

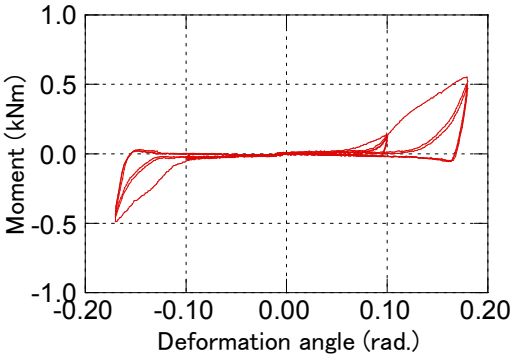


図 5.6.3-11　FU8 復元力特性

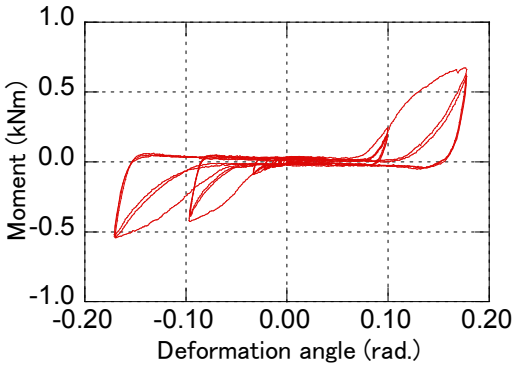


図 5.6.3-12　FU9 復元力特性

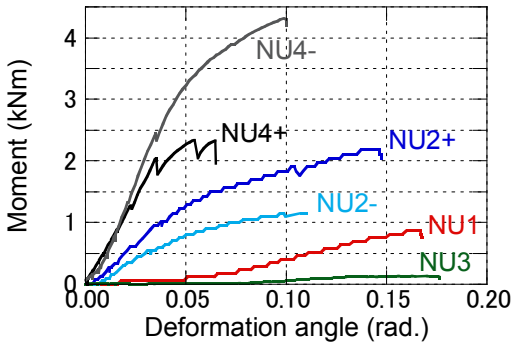


図 5.6.3-13　包絡線（NU シリーズ）

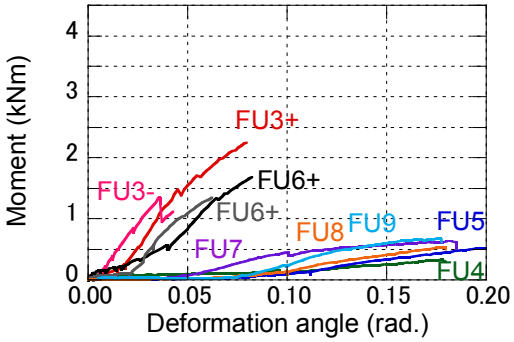


図 5.6.3-14　包絡線（FU シリーズ）



写真 5.6.3-5　ほぞ根元での折損（FU3）



写真 5.6.3-6　短ほぞの形状（FU5）



写真 5.6.3-7　加力状況（FU8）



写真 5.6.3-8　柱材の浮き上がり（FU7）

ほぞ接合部の復元力を評価する手段として、完全弾塑性モデルによる特性値の算定[2)]を用いた。算出された特性値を表 5.6.3-1 にまとめた。完全弾塑性モデルの適応は主に図 5.6.3-2～図 5.6.3-12 に示されるグラフの第一象限で行った。しかしながら、例えば NU2 では、右側負荷と左側負荷で復元力の挙動が大きく異なる試験体が見られる。このような試験体は第一象限に加え、第三象限も完全弾塑性モデルの適応の対象とし、特性値の算出を行った。表中の試験体番号後の+、-はそれぞれ右側方向負荷（第一象限）時、左側方向負荷（第三象限）時での挙動と対応している。

試験体が示した復元力の挙動の中に、完全弾塑性モデルの適応ができないものがあった。これらの多くは、篏合の甘さによる変形初期の抵抗力を発揮しない範囲の存在が原因と考えられる。完全弾塑性モデルが適応できなく、特性値の算出ができなかった項目は表中で「-」を用いて示している。

表 5.6.3-1 からは、先述の内容が特性値に表れていることがうかがえる。例えば、長ほぞが示した最大モーメント Mmax は既往の新材を用いたほぞ接合部解析例と比べても同等、あるいはそれ以上の結果を示した。短ほぞの試験体は長ほぞの試験体に比べ、最大モーメントが非常に小さいことが顕著に現れた。最大耐力時変形角 θm は、長ほぞの試験体が短ほぞの試験体に劣った。これは、長ほぞはほぞ根元の折損（写真 5.6.3-5）の発生をもって最大モーメントを示したことと、短ほぞは篏合の甘さゆえ、復元力の発揮開始までに変形を要したことが原因として挙げられる。篏合の甘さに関しては、変形角 1/120rad.時の耐力 M_{120} からもその様子がうかがえる。多くの試験体で変形角 1/120rad.時ではほとんど復元力を発揮していない。篏合はある程度の構造物の変形に対する耐力要素としては非常に重要であることが示唆された。図 5.6.3-15 に完全弾塑性モデル特性値の分布を示す。この図からも、各試験体によって接合性能は大きく異なることが明らかである。ほぞ寸法、篏合の程度が接合性能に大きく影響することが改めて認識された。

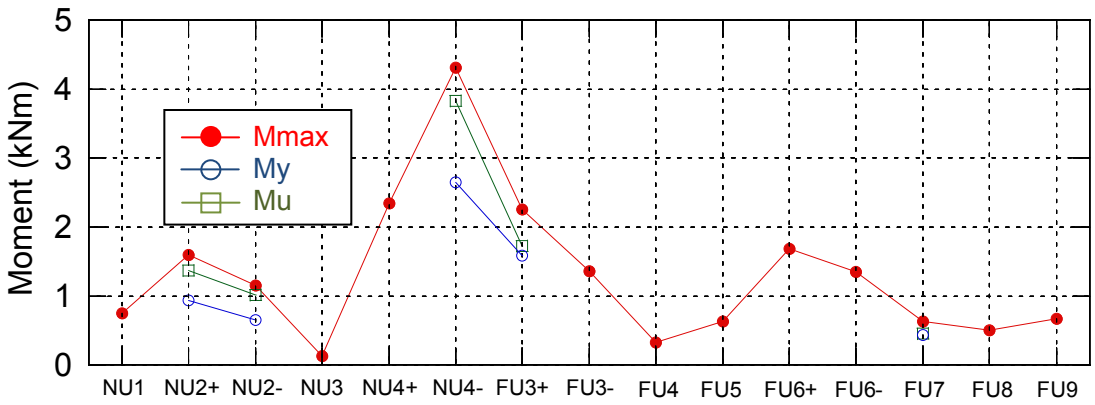


図 5.6.3-15　完全弾塑性モデル特性値の分布

表 5.6.3-3　完全弾塑性モデル特性値一覧

	最大耐力	最大耐力時変形角	1/120耐力	2/3最大耐力	降伏耐力	降伏変形角	終局耐力	終局変形角	弾塑性変形角	剛性	塑性率	構造特性係数
	Mmax (kNm)	θm (rad.)	M_{120} (kNm)	2/3Mmax (KNm)	My (kNm)	θy (rad.)	Mu (kNm)	θu (rad.)	θv (rad.)	K (kNm/rad)	μ	Ds
NU1	0.75	0.160	0.000	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
NU2+	1.60	0.137	0.100	1.07	0.936	0.045	1.375	0.148	0.073	18.718	2.013	0.575
NU2-	1.15	0.097	0.049	0.77	0.650	0.037	1.013	0.110	0.062	16.248	1.772	0.627
NU3	0.13	0.163	0.005	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-
NU4+	2.34	0.054	0.471	1.56	-	-	-	-	-	-	-	-
NU4-	4.31	0.099	0.328	2.88	2.647	0.037	3.830	0.100	0.057	67.705	1.769	0.628
FU3+	2.25	0.080	0.109	1.50	1.581	0.048	1.723	0.080	0.056	30.867	1.428	0.734
FU3-	1.36	0.036	0.214	0.91	-	-	-	-	-	-	-	-
FU4	0.33	0.178	0.064	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-
FU5	0.63	0.189	0.005	0.42	-	-	-	-	-	-	-	-
FU6+	1.68	0.082	0.163	1.12	-	-	-	-	-	-	-	-
FU6-	1.35	0.062	0.047	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-
FU7	0.63	0.180	0.011	0.42	0.438	0.097	0.453	0.185	0.102	4.450	1.820	0.615
FU8	0.50	0.179	0.006	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-
FU9	0.67	0.177	0.029	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-

■長ほぞ試験体　□短ほぞ試験体

(3) まとめ

ほぞ接合部の復元力特性は、ほぞの寸法・形状と篏合の程度に大きな影響を受ける。特に、長ほぞと短ほぞの違いは、それらの復元力特性に大きな違いをもたらした。今回実施できた試験は限られたものではあるが、長ほぞを持つ接合部は大きな変形には耐えられないものの、剛性・強度は大きく、既往の（新材を用いた）研究例と比較しても遜色はなかった。一方、短ほぞを持つ試験体は非常に低い復元力特性（剛性・強度）であった。また、篏合の程度もほぞ接合部の復元力特性に大きく影響する。篏合が甘い場合には、負荷初期の復元力は非常に低い結果となった。今回の短ほぞの剛性・強度が小さかった原因は、このような篏合の甘さに原因があるが、これについては施工当初より緩く加工していたのか、経年・劣化によるものかは判断できなかった。古建築のほぞ接合部における篏合の程度を知ることの重要性が認識された。

現状では建物の解体前の状態でほぞの形状寸法等を知る手段はないが、例えば構造物の改修・点検を実施するうえで、何らかの方法を用いておおよそのほぞの形状寸法を知ることは非常に重要であり、非破壊的な調査手法の開発が望まれる。

（参考文献）

1）坂田弘安、山崎義弘、宇田川洋隆、大橋好光：曲げせん断を受ける長ほぞ差し込栓打ち接合部の力学的挙動に関する研究、日本建築学会構造系論文集 671, 45-54（2012）

2）（財）日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008 年版），2008

3）棚橋秀光、鈴木祥之：伝統木造仕口の回転めり込み弾塑性特性と十字型通し貫仕口の定式化，日本建築学会構造系論文集 662，811-819（2011）

5.6.4 新材の仕口接合部実験

(1) 実験方法

1) 新材のT字型試験体

長野寺院客殿（築後約 118 年）で採取し載荷実験を実施した T 字型仕口接合部、および福山民家（築後約 60 年）で採取の T 字型仕口接合部と同様の仕口接合部を新材で加工・組立て、載荷実験を行った。

長野試験体：2 体（NN 試験体）

福山試験体：4 体（FN 試験体）

実験場所：立命館大学びわこ・くさつキャンパス、セル実験室

時期：2012 年 10 月 22 日から 26 日

古材仕口のほぞなどの寸法を確認の上、同じ樹種の新材で極力同じ寸法の仕口を再現するよう加工し組立て、載荷した。古材仕口内部では、ほぞの劣化や乾燥収縮により嵌合度が緩くなるため、強度が出にくい傾向が古材の実験で見られたが、新材の加工では勘合度について特別な考慮はせず、一般的な精度で加工・組立てた。仕口の詳細や寸法は、採取した古材仕口形状に合わせた T 字型試験体とし、柱は 120mm 角～105mm 角スギ、梁は幅 140～150mm、高さ 190～200mm のアカマツで、ほぞ長さは短いものから梁を貫通したものまで 6 体で、図 5.6.4-1 に仕口の詳細を、表 5.6.4-1 に仕口寸法一覧表を示す。長野、福山の古材と新材の対応は同表に示す。福山の梁は、丸太で柱の取りつき面のみ平面に加工したもので、仕口部の梁の高さを同じとすることで新材では矩形断面材で代用した。

表 5.6.4-1　仕口寸法一覧表（単位 mm）

	新材	古材	W	D	B	H	d	b	h	備　考
長野	NN2	NU2	140	190	120	120	90	30	150	長ほぞ
	NN4	NU4	140	190	120	120	100	45	200	ホゾ貫通
福山	FN3	FU3	150	200	120	120	70	30	215	長ほぞ・ホゾ貫通
	FN4	FU4	150	200	105	105	70	30	76	短ほぞ
	FN6	FU6	150	200	120	120	70	30	215	長ほぞ・ホゾ貫通
	FN7	FU7	150	200	105	105	70	30	68	短ほぞ

2) 実験方法

図 5.6.4-2 に T 字型を逆にした実験のセットアップを示す。ロードセルで載荷荷重を、6 箇所の変位計で載荷点・仕口・支点の変位を測定した。アクチュエータ（電動式 AE-80、THK インテックス社、容量 800mm）で変位制御し、ロードセル（TCLM-20kNB、東京測器研究所、容量 20kN）で読み取った。変位計はワイヤ-式変位計 DP-1000E（東京測器研究所、容量 1000 mm）と接触型変位計 CDP-50M（東京測器研究所、容量 50 mm）による。

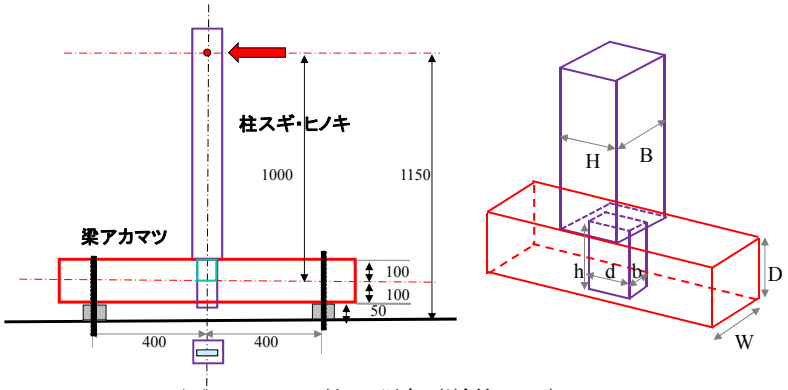


図 5.6.4-1　仕口詳細（単位 mm）

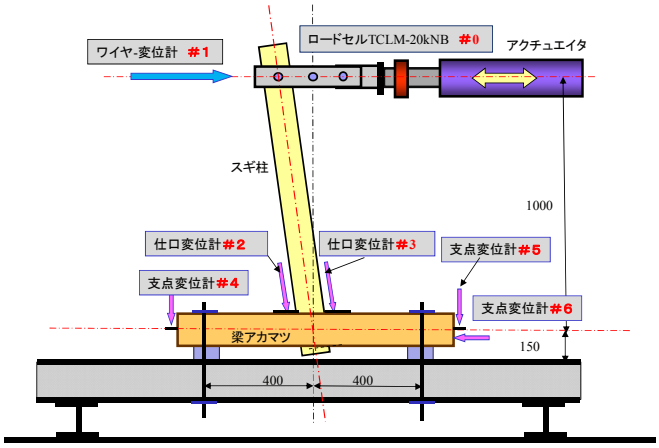


図 5.6.4-2　T 字型仕口接合部実験セットアップ

載荷レベルは 1/240、1/120、1/60、1/30、1/20、1/15、1/10、1/5 の 8 段階で各レベルで正負交番 3 回繰返しとし、載荷速度は 30mm/min から順次 90mm/min まで変化させた。

写真 5.6.4-1 に載荷状況、写真 5.6.4-2 に仕口の変形状況の一例を示す。

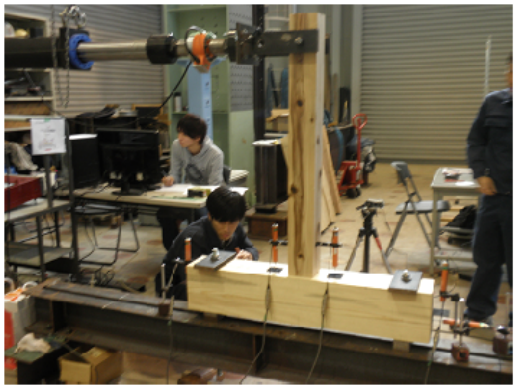


写真 5.6.4-1　載荷状況

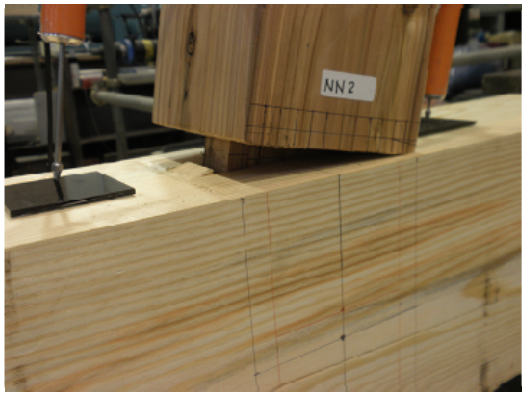


写真 5.6.4-2　仕口の変形状況

(2) 結果と考察

1) 新材仕口接合部の復元力特性

各試験体の結果を仕口のモーメント(kNm)―回転角(rad)で表すと図 5.6.4-3～図 5.6.4-5 のような復元力を示した。回転角は仕口変位計の変位差を変位計間隔で除して求めた。

長ほぞの NN4、FN3、FN6 では、載荷方向にもよるが、0.05～0.1rad でほぞが破壊して抵抗力を喪失したが、FN4、FN7 の短ほぞや、やや短い NN2 では抵抗モーメントは小さいが、0.2rad 程度まで抵抗力を維持し、変形能力が大きいことが確認できた。

NN2 と NN4 の絶対的な耐力の差異は NN4 のほぞ厚さ b が 45mm と他の 30mm に比べ 5 割増しなこととほぞ長さが長いことが指摘できる。

試験後の仕口解体後のほぞの変形状況を写真 5.6.4-3～写真 5.6.4-5 に示す。写真中の数字は仕口解体後のほぞ幅実測値を示す。

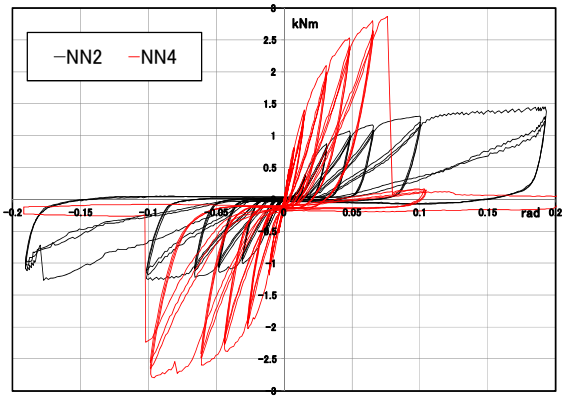


図 5.6.4-3　NN2、NN4 復元力特性

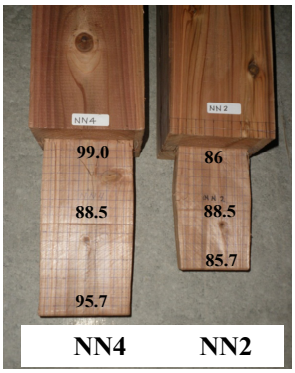


写真 5.6.4-3　FN2、FN4 ほぞの変形

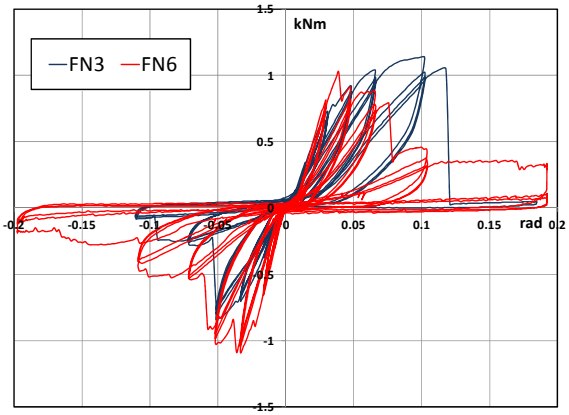


図 5.6.4-4　FN3、FN6 の復元力特性



写真 5.6.4-4　FN3、FN6 ほぞの変形

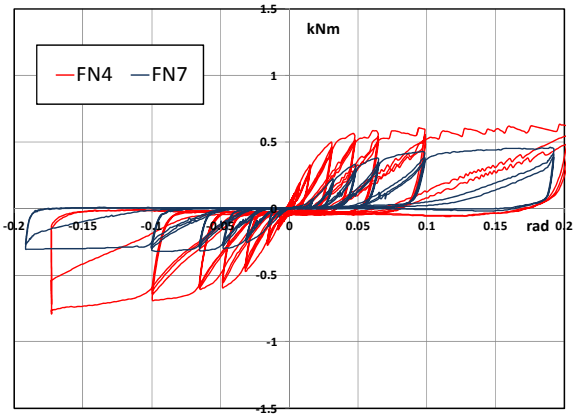


図 5.6.4-5　FN4、FN7 の復元力特性

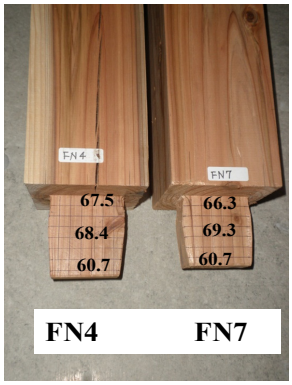


写真 5.6.4-5　FN4、FN7 ほぞの変形

ほぞ長さがやや短い NN2、短ほぞの FN4、FN7 では仕口の回転に伴う圧縮変形によりほぞがビア樽状に変形しているが、長ほぞの変形は目立たず、変形が進む前にほぞの根元で破壊が起こったと推定される。

込栓の無い T 字型仕口の復元力の既往実験データは少ないが、文献[1)]の NN2 と同じ長ほぞで M_{max} ＝1.54kNm、および限界耐力設計用に示されている数値[2)]より 1P(半間)架構の水平せん断耐力を 4

個所の仕口の抵抗モーメントに換算すると、

長ほぞ：M_{max}＝1.0kNm＜M_{max}:NN2、NN4、FN3、FN6

短ほぞ：M_{max}＝0.34kNm＜M_{max}:FN4、FN7

となり、今回の実験結果は一般的な仕口の限界耐力設計用数値の強度を上回る。

ただし、NN2 を除き、長ほぞの変形性能は小さい。NN2 のほぞ形状が、変形性能、めり込み性能の両方で大きな値を示した。

図 5.6.4-6 に全試験体の復元力特性の包絡線を示す。それによれば、正負の載荷による差異は少なく、ほぞの形状による違いが耐力、変形性能の差異となっていることが確認できる。

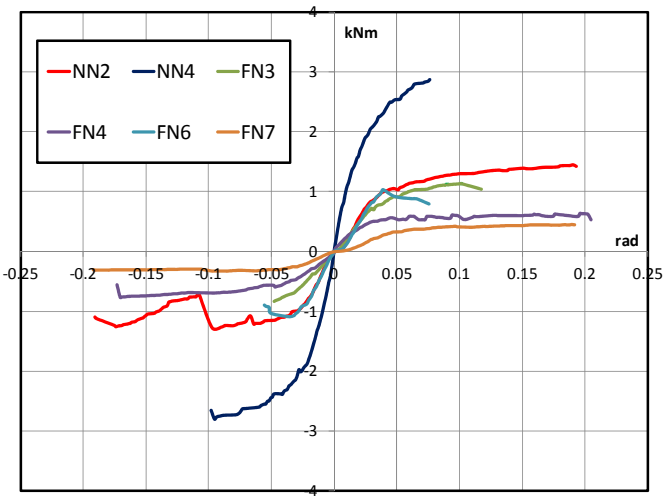


図 5.6.4-6　各試験体の復元力特性の包絡線

3）完全弾塑性モデル置換特性値による評価

上記の実験結果の復元力特性より、一般的な評価法である完全弾塑性モデル特性値を求め、一覧を表 5.6.4-2 に、その主な特性値として、最大耐力、終局耐力、降伏耐力の分布を図 5.6.4-7 に示す正負の差異は少ないので正載荷の復元力特性で代表させている。

全体に、絶対的な差異はあるが、各試験体の最大耐力、終局耐力、降伏耐力の比率は同程度である。

表 5.6.4-2　完全弾塑性モデル特性値一覧

	最大耐力	最大耐力時変形角	1/120耐力	2/3最大耐力	降伏耐力	降伏変形角	終局耐力	終局変形角	弾塑性変形角	剛性	塑性率	構造特性係数
	Mmax (kNm)	θm (rad)	M_{120} (kNm)	2/3Mmax (kNm)	My (kNm)	θy (rad)	Mu (kNm)	θu (rad)	θv (rad)	K (kNm/rad)	μ	Ds
NN2	1.45	0.190	0.098	0.97	0.907	0.034	1.19	0.125	0.044	26.7	2.75	0.47
NN4	2.87	0.076	0.894	1.91	1.614	0.020	2.59	0.100	0.032	81.5	3.73	0.39
FN3	1.14	0.101	0.160	0.76	0.673	0.027	0.99	0.125	0.040	24.7	3.10	0.44
FN4	0.63	0.196	0.213	0.42	0.418	0.023	0.56	0.125	0.031	18.3	4.05	0.38
FN6	1.03	0.039	0.088	0.69	0.664	0.025	0.76	0.100	0.028	26.8	3.54	0.41
FN7	0.46	0.189	0.018	0.31	0.300	0.043	0.39	0.125	0.055	7.03	2.27	0.53

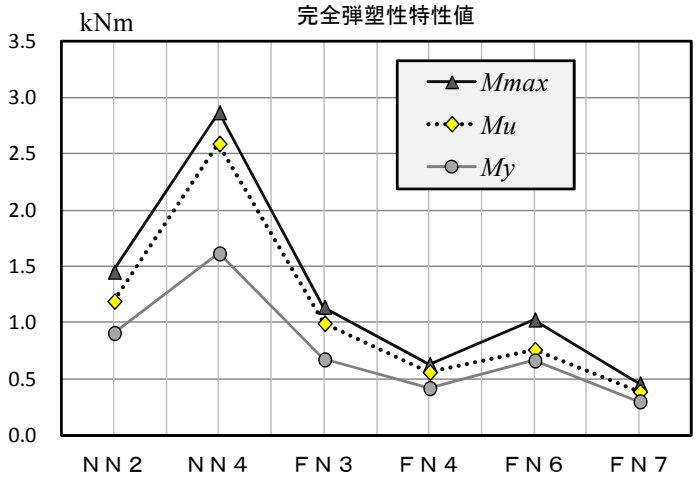


図 5.6.4-7　完全弾塑性の主な特性値

(3) 古材仕口接合部との比較

1) 完全弾塑性モデル置換特性値による比較

新材・古材の比較として、まず完全弾塑性特性値の一覧を表 5.6.4-3 に、その主な特性値として、最大耐力、終局耐力、降伏耐力の分布を図 5.6.4-8 に示す。

古材仕口接合部試験体のいくつかは、完全弾塑性モデルになじまない復元力特性となったため、特性値が得られていないものと考える。また 5.6.3 古材の仕口接合部実験にあるように、正負で耐力・特性がかなり異なるものは、ここでも併記している。

また、当初柱はすべてスギと判断していたが、材料試験の段階で、FU3、FU6 がヒノキであることが判明し、材料の基本的な差異も加味して評価する必要があり、それは次項で行う。

表 5.6.4-3　完全弾塑性モデル特性値比較表

	最大耐力	最大耐力時変形角	1/120耐力	2/3最大耐力	降伏耐力	降伏変形角	終局耐力	終局変形角	弾塑性変形角	剛性	塑性率	構造特性係数
	Mmax (kNm)	θm (rad)	M_{120} (kNm)	2/3Mmax (kNm)	My (kNm)	θy (rad)	Mu (kNm)	θu (rad)	θv (rad)	K (kNm/rad)	μ	Ds
NN2	1.45	0.190	0.098	0.97	0.907	0.034	1.19	0.125	0.044	26.7	2.75	0.47
NU2+	1.60	0.137	0.100	1.07	0.936	0.045	1.37	0.148	0.073	18.7	2.01	0.57
NU2-	1.15	0.097	0.049	0.77	0.650	0.037	1.01	0.110	0.062	16.2	1.77	0.63
NN4	2.87	0.076	0.894	1.91	1.614	0.020	2.59	0.100	0.032	81.5	3.73	0.39
NU4+	2.34	0.054	0.471	1.56	-	-	-	-	-	-	-	-
NU4-	4.31	0.099	0.328	2.88	2.647	0.037	3.83	0.100	0.057	67.7	1.77	0.63
FN3	1.14	0.101	0.160	0.76	0.673	0.027	0.99	0.125	0.040	24.7	3.10	0.44
FU3+	2.25	0.080	0.109	1.50	1.581	0.048	1.72	0.080	0.056	30.9	1.43	0.73
FU3-	1.36	0.036	0.214	0.91	-	-	-	-	-	-	-	-
FN4	0.63	0.196	0.213	0.42	0.418	0.023	0.56	0.125	0.031	18.3	4.05	0.38
FU4	0.33	0.178	0.064	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-
FN6	1.03	0.039	0.088	0.69	0.664	0.025	0.76	0.100	0.028	26.8	3.54	0.41
FU6+	1.68	0.082	0.163	1.12	-	-	-	-	-	-	-	-
FU6-	1.35	0.062	0.047	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-
FN7	0.46	0.189	0.018	0.31	0.300	0.043	0.39	0.125	0.055	7.03	2.27	0.53
FU7	0.63	0.180	0.011	0.42	0.438	0.097	0.45	0.185	0.102	4.45	1.82	0.62

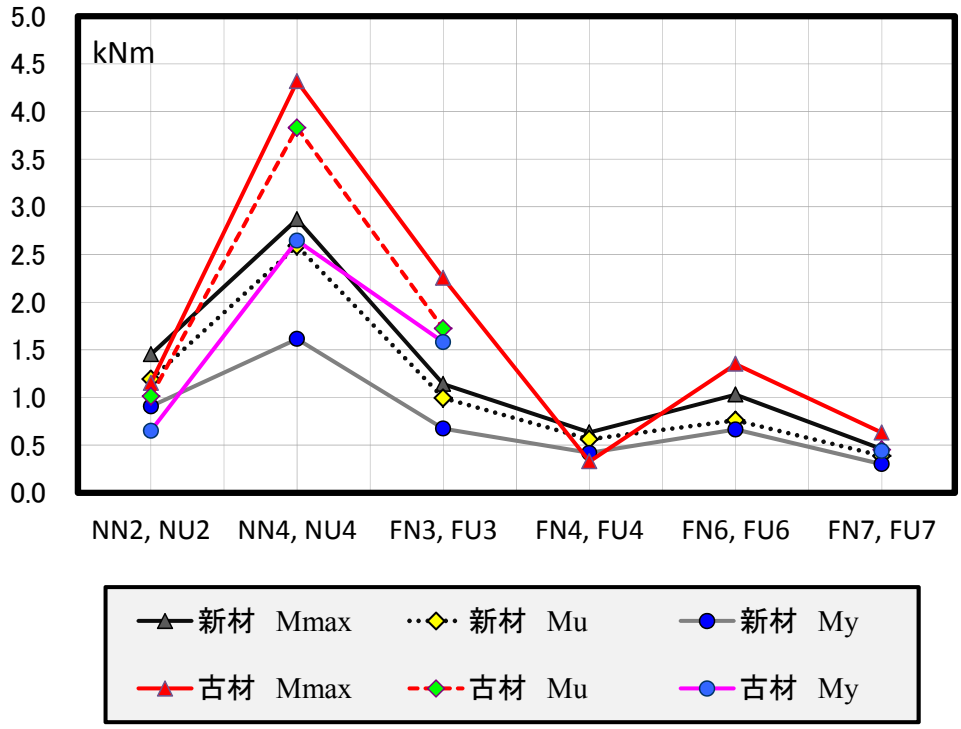


図 5.6.4-8　　完全弾塑性モデルによる主な特性値比較

2）材料特性を考慮した復元力特性の総合的比較

同じ形状の仕口接合部でも、古材・新材の材料特性が異なれば、復元力が異なる結果となる。そこで、仕口のほぞのめり込み性能を支配する主要な材料定数はほぞの横圧縮ヤング係数と降伏応力度と考えて、新材・古材の仕口単位でほぞ付近の柱から採取した横圧縮試験体の試験結果（詳細は 5.6.6 参照）より新材・古材の主な材料定数の比較表を表 5.6.4-4 に示す。それらの定数の新材に対する古材の比率を図 5.6.4-9 に示す。これによれば、古材が全体に新材よりかなり剛性、降伏応力度、密度とも高いことが分かる。

表 5.6.4-4　新材古材仕口ほぞの主な材料定数比較表

新材仕口	横圧縮ヤング係数	横圧縮降伏応力度	縦圧縮ヤング係数	密度	古材仕口	横圧縮ヤング係数	横圧縮降伏応力度	縦圧縮ヤング係数	密度
	E(MPa)	σy(MPa)	E(GPa)	(kg/m^3)		E(MPa)	σy(MPa)	E(GPa)	(kg/m^3)
NN2	137	2.86	9.31	355	NU2	297	3.49	7.6	368
NN4	101	2.61	9.31	324	NU4	262	4.05	10.8	417
FN3	227	3.52	5.43	354	FU3	425	6.92	14.3	520
FN4	276	4.4	11.5	446	FU4	316	4.00	11.1	442
FN6	260	2.23	7.68	369	FU6	448	6.76	13.8	503
FN7	155	2.52	6.83	285	FU7	304	3.48	9.2	427

FU3、FU6 が特に高いのは、スギではなくヒノキであったためである。FU2、FU4 の横圧縮ヤング係数が異常に高い理由は不明である。

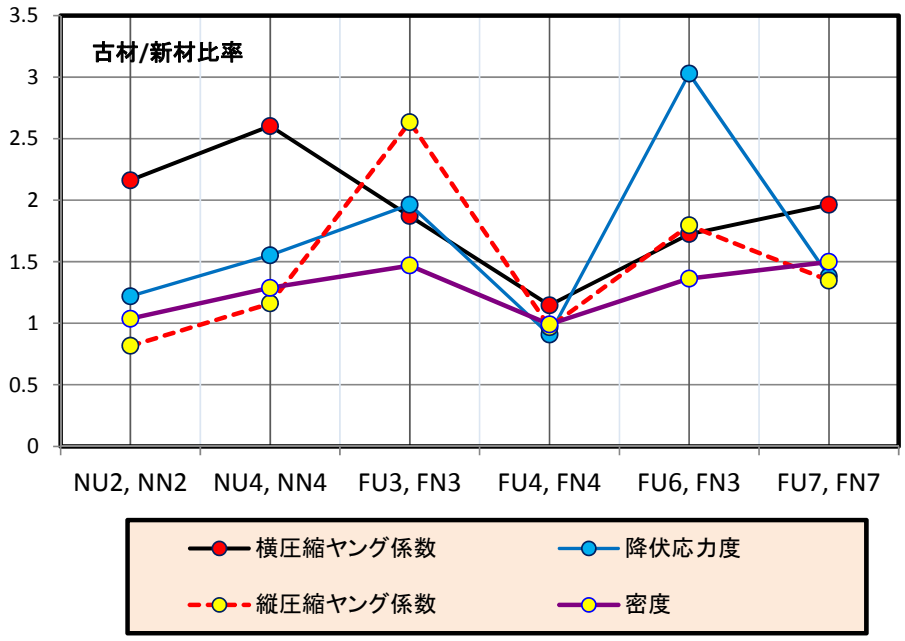


図 5.6.4-9　主な材料定数の新材の古材に対する比率

これらの比率を考慮して以下、仕口接合部毎に比較を行う。

①NN2：NU2：

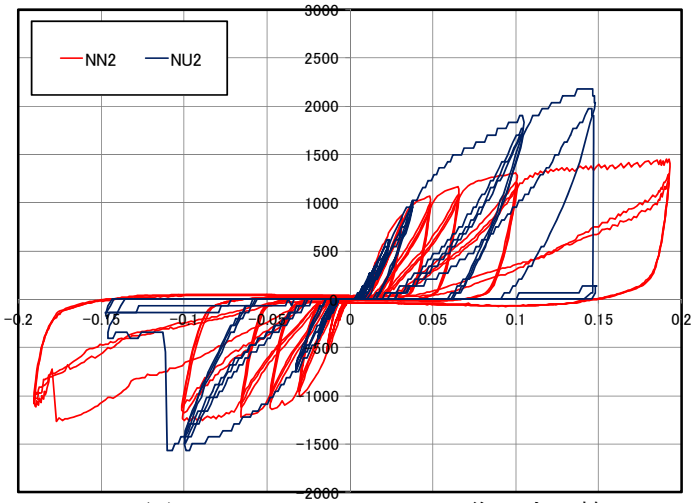


図 5.6.4-10　NN2、NU2 の復元力比較

弾性剛性はほぼ同じであるが、NN2 が 0.04rad からめり込みの降伏が始まるまたは摩擦が切れて剛性が低下するのに対し、NU2 は 0.045rad 付近から剛性低下が始まるが、その低下の程度は小さく、正載荷で 0.15rad、負載荷 0.1rad に至って耐力が激減する。降伏の始まりの差異は NU2 の降伏応力度が NN2 のそれより 2 割ほど高いことと対応する。

NU2 の横圧縮ヤング係数は NN2 のそれより 2.2 倍と大きく、局部的なばらつきによるものか不明ではあるが、それがそのまま弾性剛性に差異となって表れているとは考えられない。NU2 の降伏後の剛性の低下が少ない原因は不明であるが、他の古材試験体の傾向を含めて考えると、古材の降伏後の剛性低下は局所的に小さい場合があるようである。

全体に負方向載荷では初期のすべりを除いて NN2 と NU2 は比較的よくあっている

②NN4:NU4

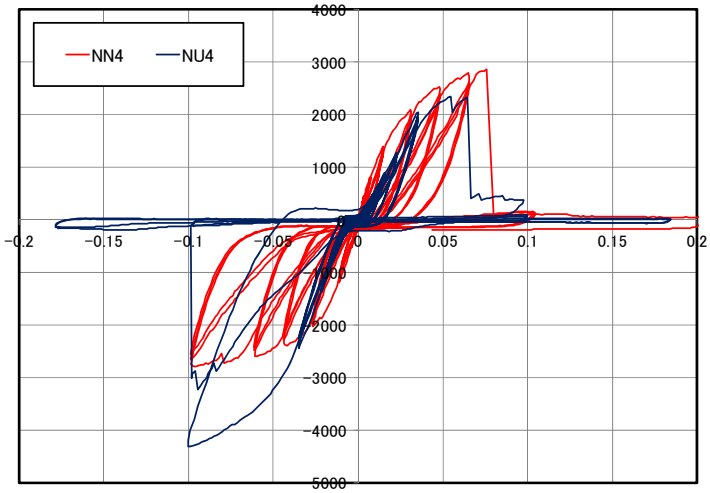


図 5.6.4-11　NN4、NU4 の復元力比較

NN4 の弾性剛性（K=81.5 k Nm/rad）は大きいがこれは仕口組立時に打ち込みが硬かったことと関連して, 嵌合度が高かったことがあげられる、NN2 と復元力特性力と傾向がよく似ており、NN4 も 0.04rad から降伏始める、または摩擦が切れて剛性が低下し、0.07rad でほぞが破壊したのに対し、NU4 は負方向載荷で 0.1 rad で最大 Mmax=4.2kNm となるが、正方向載荷では 2.3kNm にとどまり、新材と同程度となり、0.07rad で耐力を喪失する。

NU4 の横圧縮ヤング係数は NN4 のそれより 2.6 倍と大きく、特性値も負載荷では差が大きいが、正載荷では概ね古材と新材の差異は少ない。古材では載荷方向でばらつく傾向は共通している。

③FN3:FU3

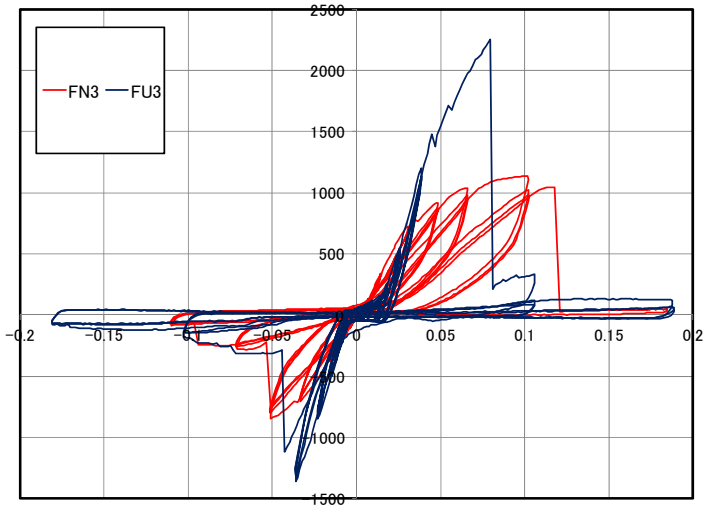


図 5.6.4-12　FN3、FU3 の復元力比較

FU3 で初期のすべりが若干みられるが、弾性剛性は FN3 より大きいが、FN3 が 0.03rad から降伏始めるまたは摩擦が切れて剛性が低下し、正載荷で 0.12rad、負載荷で 0.05rad でほぞが破壊したのに対し、FU3 は正載荷 0.05 rad で降伏し、0.08rad で耐力が激減、負載荷では降伏することなく 0.04rad で激減する。FU3 の樹種はヒノキと判明し、横圧縮ヤング係数はスギ FN3 のそれより 1.8 倍と大きく、その差が復元力に表れているとも解釈できる。長ほぞで変形能力は全体に小さいことがわかる。

古材は載荷方向で最大荷重の差異が大きいが、局所的に材料強度がばらつくことによると推察される。

④FN4:FU4

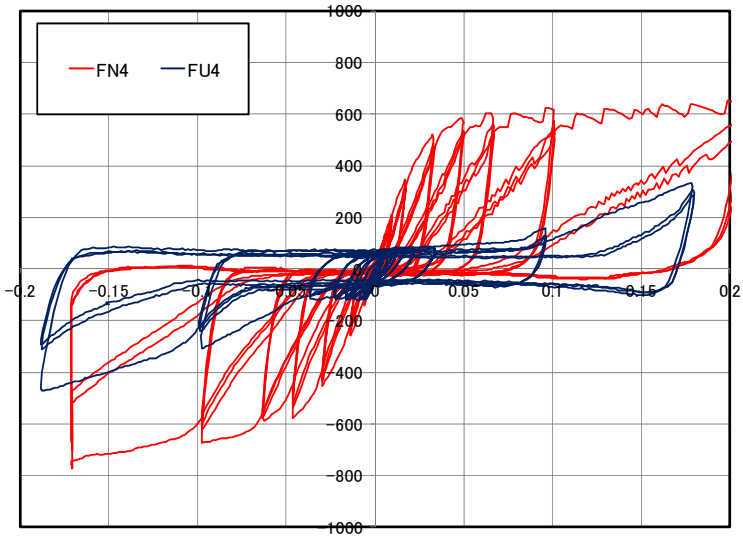


図 5.6.4-13　FN4、FU4 の復元力比較

FN4 の横圧縮ヤング係数は FU4 のそれと概ね同等であるが、FU4 はがたつきか劣化のため、初期剛性が小さく、0.1rad からかみ合いが強まり、その剛性は FN4 よりかなり小さい。FN4 が 0.035rad から摩擦が切れてギザギザしたグラフとなり、変形は持続する。

短ほぞとして、耐力は小さいが変形能力は大きい。

FN4、FU4 は材料特性の差異は少なく、概ね同等の材料と見られるので古材の抵抗が小さいのは嵌合度が緩いためとみられる。

⑤FN6:FU6

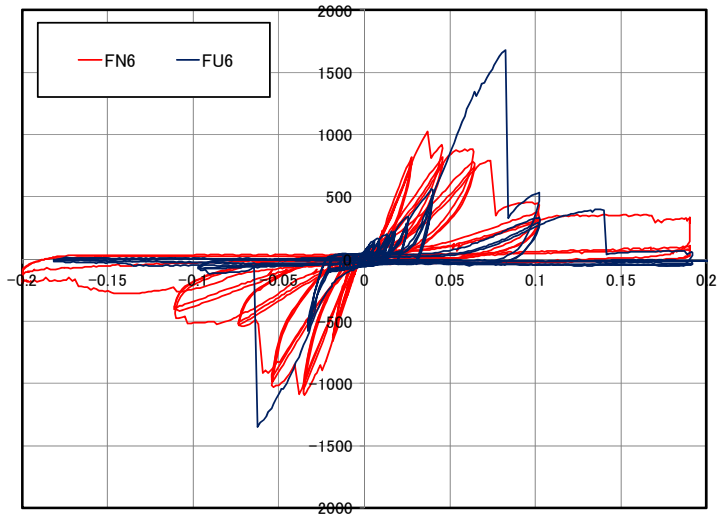


図 5.6.4-14　FN6、FU6 の復元力比較

FU6 ははがたつきか劣化のため、初期剛性が小さいが、0.05rad から嵌合度が強まり、その剛性は FN6 とよく似ており、FN6 が 0.035rad から破壊が起きて耐力が減少したのに対し、FU6 は 0.08rad まで増大した後、破壊した。

FU6 はヒノキで、横圧縮ヤング係数は FN6 より 1.7 倍と大きく、その差が復元力に表れているとも解釈できる。FU6 の降伏応力度はヒノキであるとしても FN6 と比べ異常に大きく、その原因は不明であるが、復元力特性の降伏点には現れるには至っていない。

⑥FN7:FU7

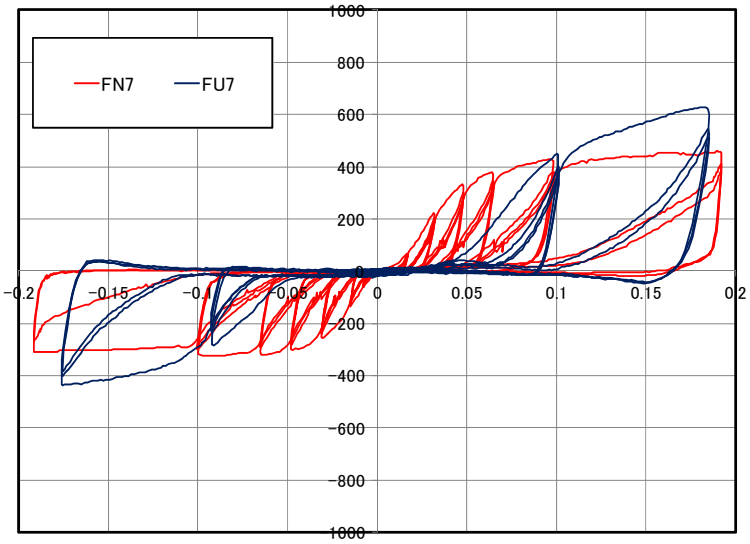


図 5.6.4-15　FN7、FU7 の復元力比較

FU7 ははがたつきか劣化のため、初期剛性が小さく、0.05rad 程度から嵌合度が強まり、その剛性は FN7 と同等であるが、0. 1 rad で降伏が起こり、変形は 0.18rad まで維持された。降伏後の塑性剛性は FN7 より大きい。それに対して、FN7 は 0.04rad で降伏し、塑性勾配はほぼ水平で変形は 0.19rad まで増大する。

FU7 の横圧縮ヤング係数は FN7 のそれより 2.0 倍、降伏応力度は 1.4 倍と大きいが、その差がそのまま、復元力に表れているとは限らない。

3）まとめ

復元力特性の比較の全体のまとめとして、新材・古材に拘わらず、短ほぞは耐力は小さいが、変形能力は大きい。それに対し長ほぞは耐力は大きいが、ほぞの破壊により耐力が決まり、変形能力は小さいことが言える。これらは主にほぞの形状寸法によるもので、新材・古材で共通した傾向であった。

また、古材ががたつきまたは劣化により嵌合度が低くなるものが少なくないが、かみ合いが始まれば剛性は新材より大きい傾向が見られた。これは材料の差異か、古材が強度アップしたためかは今回の実験結果からは判明しない。全体に嵌合度が復元力特性に大きな影響を与えることが明らかとなり、現存する古材の仕口接合部の評価には重要な要素となる。

しかし、古材はやや硬いが脆いという特徴とともに局所的にばらつきが大きいことが明らかとなった。

（参考文献）

1）坂田弘安、山崎義弘、宇田川洋隆、大橋好光：曲げせん断を受ける長ほぞ差し込栓打ち接合部の力学的挙動に関する研究、日本建築学会構造系論文集、671, 45-54.2012.1.

2）木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル、2004.3.

5.6.5 古材の材料試験

古材の材料特性の把握を目的として、長野市の寺院客殿（建築年数約 118 年）の解体部材を対象に材料試験を行った。試験体とした部材と樹種を以下に示す。

① 柱-スギ（NUC）

腐朽箇所を除いた健全部から試験体を作成した。本報告では NUC とする。

② 梁-アカマツ（NUP）

腐朽・虫害箇所を除いた健全部から試験体を作成した。本報告では NUP とする。

（1）圧縮試験

1）試験方法

圧縮試験は日本工業規格 JISZ2101 に準拠し、試験体の作成および載荷を行った。圧縮試験は縦圧縮試験と横圧縮試験を行い、それぞれ名古屋大学・立命館大学でほぼ半数ずつ担当した。

① 縦圧縮

縦圧縮試験の試験体寸法は、断面 30mm×30mm、高さ 60mm の直方体とした。縦圧縮ヤング係数は試験体のひずみ計測位置によって異なるため、通常の試験体中央部におけるひずみゲージ計測（試験体中央部の対面にひずみゲージを計 2 枚貼付して測定し、その平均値とする）によるヤング係数（*Ec*）の他に、試験機のクロスヘッド間ひずみによるもの（*Ea*）を算出した。載荷速度は 0.2mm/min とし、応力度-ひずみの履歴傾向を把握するためクロスヘッド間ひずみで 2%程度まで載荷した。

測定項目はヤング係数（kN/mm^2）および縦圧縮強さ（N/mm^2）とした。

② 横圧縮

横圧縮試験体の試験体寸法は、断面 30mm×30mm、高さ 60mm の直方体とした。横圧縮ヤング係数においても、縦圧縮の場合と同様に、通常の試験体中央部におけるひずみゲージ（正面背面の 2 面）計測によるヤング係数（*Ec*）の他に、試験機のクロスヘッド間ひずみによるもの（*Ea*）を算出した。載荷速度は 1.0mm/min とし、応力度-ひずみの履歴傾向を把握するためクロスヘッド間ひずみで 10%程度まで載荷した。また、横圧縮ヤング係数は木口の年輪方向によって大きく異なるため、本試験では図 5.6.5-1 に示す、LR（半径方向）、LT（接線方向）の 2 方向を対象に試験を行った。

測定項目はヤング係数（N/mm^2）および降伏応力度（N/mm^2）とした。なお、横圧縮試験における降伏応力度の算定法に規定はないため、図 5.6.5-2 が示すように、弾性直線と降伏後の近似直線との交点を降伏点とした。

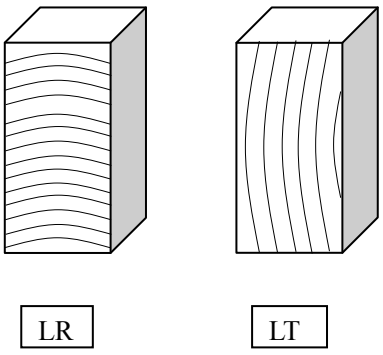


図 5.6.5-1　年輪方向

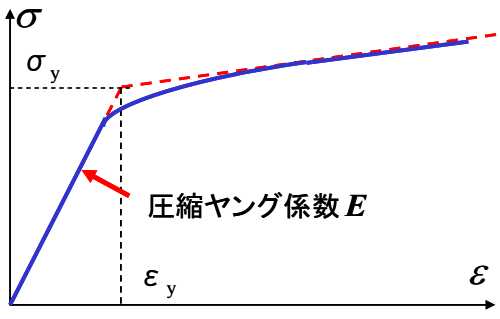


図 5.6.5-2　降伏点の算定法

2）試験体数

試験体数および密度を表 5.6.5-1 に示す。

表 5.6.5-1　試験体概要

樹種		試験		試験体数	密度(kg/m^3)	含水率(%)
NUC	スギ	縦圧縮		18	412 (4)	11.2 (14)
		横圧縮	LR	6	375 (6)	11.0 (16)
			LT	6	397 (6)	10.2 (17)
NUP	アカマツ	縦圧縮		18	444 (12)	10.7 (14)
		横圧縮	LR	6	443 (13)	9.0 (9)
			LT	3	490 (7)	11.8 (1)

※（　）内は変動係数 (%)

3）結果と考察

表 5.6.5-2 に、試験結果の平均値を示す。表には木材工業ハンドブックの平均値 [1]および昨年度行った埼玉県川越市・滋賀県湖南市の古民家解体部材（スギ・アカマツ）の縦圧縮試験結果 [2]も併せて示す。なお、NUC（スギ)、NUP（アカマツ）の縦圧縮においては、*Ec* が非常に大きくなる試験体がいくつか見られたため、*Ec* が NUC : 15kN/mm^2、NUP : 25kN/mm^2 を超える試験体においては、異常値として表 5.6.5-2 からは除外した。

表 5.6.5-2　試験結果の平均値

樹種		経過年数	試験		*Ea* (kN/mm^2)	*Ec* (kN/mm^2)	縦圧縮強さ (N/mm^2)	降伏応力度 (N/mm^2)
NUC	スギ	118	縦圧縮		3.9 (25)	9.0 (30)	37.7 (11)	
			横圧縮	LR	0.37 (19)	0.84 (16)		3.8 (11)
				LT	0.18 (13)	0.49 (42)		3.7 (11)
川越	スギ	190	縦圧縮		3.5 (1)	5.9 (1)	31.2 (10)	
湖南	スギ	170	縦圧縮		3.4 (1)	5.5 (1)	33.4 (3)	
スギ(handbook)			縦圧縮			7.35	35.0	
			横圧縮	LR		0.59		
				LT		0.29		
NUP	アカマツ	118	縦圧縮		3.2 (47)	11.7 (34)	38.3 (9)	
			横圧縮	LR	0.22 (28)	0.18 (70)		3.9 (28)
				LT	0.23 (36)	0.45 (22)		4.9 (33)
湖南	アカマツ	170	縦圧縮		6.6 (1)	13.3 (1)	42.0 (10)	
アカマツ(handbook)			縦圧縮			11.77	45.0	
			横圧縮	LR		1.23		
				LT		0.64		

※（　）内は変動係数 (%)

表 5.6.5-2 より、NUC（スギ）において、縦圧縮ヤング係数（*Ec*)、縦圧縮強さ、横圧縮ヤング係数ともにハンドブックの平均値と比べ大きくなった。昨年度行った、川越市古民家のスギ（経過年数 190 年）および湖南市古民家のスギ（経過年数 170 年）の縦圧縮試験結果と比較すると、*Ea* は同程度であるが、*Ec*、縦圧縮強さは NUC の方が大きくなる結果となっている。

NUP（アカマツ）においては、縦圧縮ヤング係数（*Ec*）はハンドブックの値と比べ同程度であったが、縦圧縮強さは小さくなった。横圧縮ヤング係数はハンドブックの値と比較して特に LR 方向が 10%程度と非常に小さくなる結果となっている。湖南市古民家のアカマツ（経過年数 170 年）の縦圧縮試験結果と比較すると、*Ec*、縦圧縮強さは同程度であるが、*Ea* は小さくなった。

ひずみ計測位置の違いによるヤング係数を比較すると、縦圧縮における *Ec*/*Ea* は NUC で 2.3、NUP で 4.0 となり、昨年度の古材（スギ : 1.6、アカマツ 2.0）と比べひずみ計測位置によるヤング係数の差が大きい結果となった。横圧縮における *Ec*/*Ea* は *Ea*>*Ec* となった NUP の LR を除いてスギで 2.5、アカマツで 2.0 となった。

試験体間のばらつきにおいては、NUP（アカマツ）で大きくばらつく結果となった。

図 5.6.5-3～5.6.5-4 に、縦圧縮における *Ec* および強さと密度との相関関係を示す。縦圧縮におい

ては、一般的に材料特性値と密度との相関が高いとされるが、図 5.6.5-3～5.6.5-4 を見るに、あまり高い相関は得られなかった。

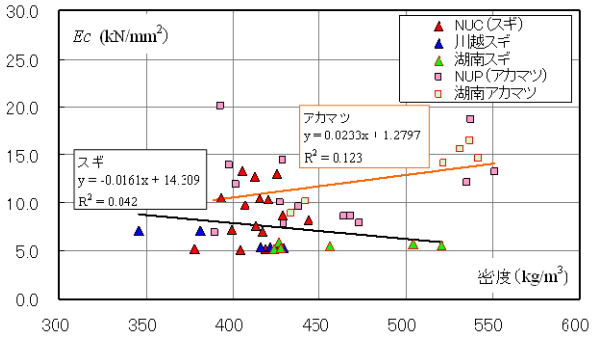


図 5.6.5-3　*Ec*-密度相関

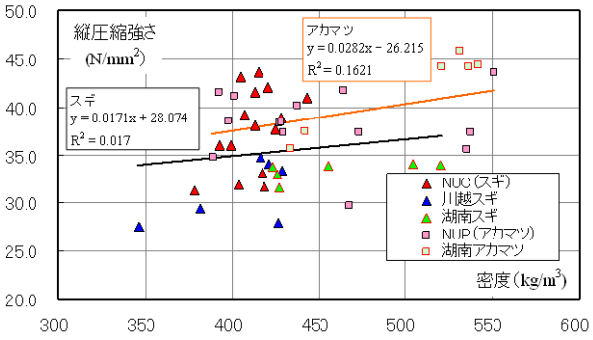


図 5.6.5-4　縦圧縮強さ-密度相関

(2) めり込み試験

1) 試験方法

めり込み試験は、JISZ2101 の部分圧縮試験をベースとしながら、載荷時における試験体両端の跳ね上がり防止を意図として図 5.6.5-5 に示す「挟み込み式載荷」とした[3)]。木口の年輪傾角等の変化を含む試験体間のばらつきを極力少なくするため、めり込み試験体は 1 個の部分圧縮試験体（P）と繊維方向の両隣の 2 個の全面横圧縮試験体（S）を 1 セットとし、部分圧縮試験結果と 2 つの全面横圧縮試験結果との比較によりめり込みに関わるパラメータを求める。めり込み試験は、LR（半径方向）、LT（接線方向）、LTR（LR と LT の中間：追柾方向）の 3 種の年輪方向（図 5.6.5-6）に対し試験を行った。試験体寸法はめり込み試験体が断面 30mm×30mm、長さ 90mm の直方体、全面横圧縮試験体が一辺 30mm の立方体とする。めり込み試験体長さは、高さの 3 倍であるが、挟み込み式とすることで有効高さは 15mm となって、載荷長比 λ は 1、端距離比 δ は 2 となり、ほぼ無限長のめり込み条件が確保される。

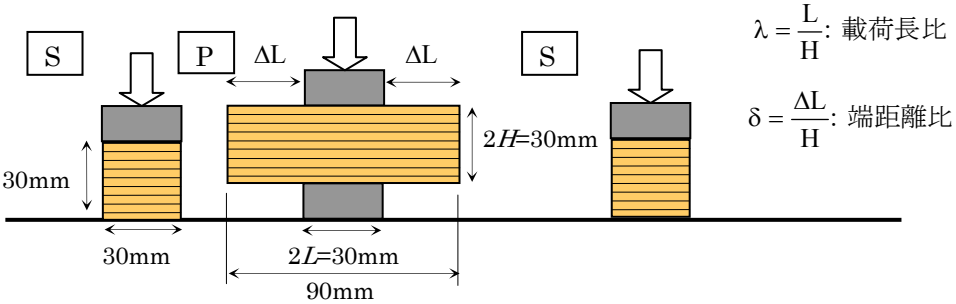


図 5.6.5-5　めり込み試験体

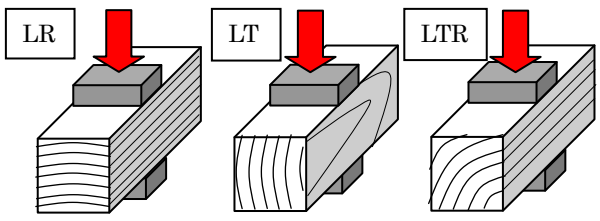


図 5.6.5-6　年輪方向

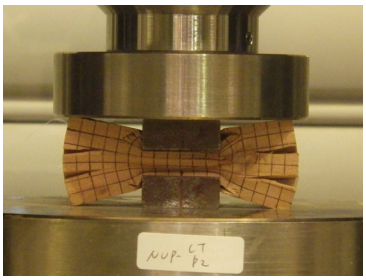


写真 5.6.5-1　載荷の様子

表 5.6.5-3　試験体概要

樹種		年輪方向	試験体数(セット)	密度(kg/m^3)	含水率(%)
NUC	スギ	LR	12	422 (8)	11.3 (9)
		LT	12	409 (9)	11.3 (13)
		LTR	12	397 (8)	11.4 (10)
NUP	アカマツ	LR	12	462 (8)	11.5 (10)
		LT	12	439 (14)	11.2 (9)
		LTR	12	460 (8)	11.0 (10)

※(　) 内は変動係数 (%)

載荷速度は、部分圧縮、全面横圧縮ともに 1.0mm/min とし、各年輪方向それぞれ 8 セットは、大ひずみの挙動を確認するためにひずみ 0.6 を越える大ひずみまで載荷した。残りはひずみ 0.2 までの載荷とした。試験体数は 1 つの年輪方向で 12 セット（1 つの古材で 3 方向 36 セット）とした。試験体概要を表 5.6.5-3 に示す。

2）評価方法

めり込み試験の評価法には弾塑性パステルナークモデル（以下EPMと略す）を用いる。

連続体の最も簡易な力学的モデルであるウィンクラーモデル（同WM：図5.6.5-7）を鉛直方向のせん断剛性Gで連続性を確保したものがパステルナークモデル（同PM：図5.6.5-8）で、めり込み表面変位は指数関数で表され、木材のめり込み現象に適したモデルである。

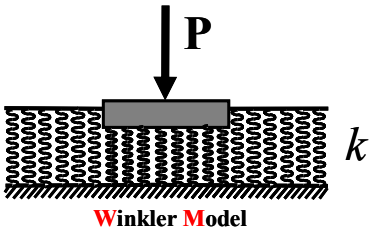


図 5.6.5-7　ウィンクラーモデル

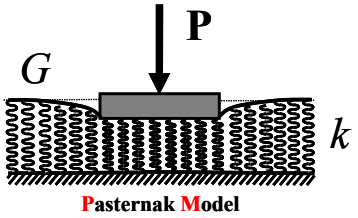


図 5.6.5-8　パステルナークモデル

EPMはPMを弾塑性挙動に拡張したモデルで、指数関数のひずみ分布とひずみ硬化に基づく降伏メカニズムの概念図（図5.6.5-9）に示すように、部分圧縮試験結果と全面横圧縮試験結果の比較により、EPMパラメータを設定してシミュレートすることが可能であり、(5.6.5-1)～(5.6.5-8)式の均等めり込みの定式化は棚橋ら[3)]の提案による。

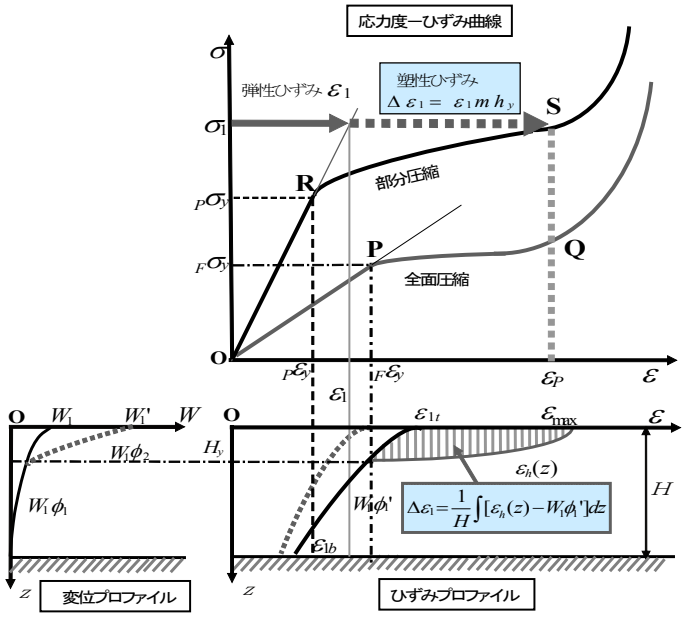


図 5.6.5-9　降伏メカニズムの概念図

めり込み部の剛な載荷板のエッジ付近は、早い時期から降伏し塑性化が起こるとされているが、ある段階までは弾性と見なして部分圧縮の場合の内部の鉛直方向のひずみ分布を一個のひずみの形状関数(5.6.5-7)式で近似化し、その平均ひずみをε_1、最上部でε_{1t}、最下部でε_{1b}と仮定する。荷重増大とともにε_1が増大し、最上部のひずみε_{1t}が全面横圧縮の降伏ひずみ$_F\varepsilon_y$に達して**R**点で明瞭に降伏が現れ、その点のひずみを部分圧縮降伏ひずみ$_P\varepsilon_y$とすると、(5.6.5-8)式の関係より、ηは**R**点と**P**点のひずみの比で決まる。表面からH_yまでの降伏した部分は全面圧縮の挙動に従いひずみが急増し、**S**点でひずみ硬化に至って落ち着くとする。荷重の増大に伴い、その塑性範囲が下部に拡大する関係を、降伏深さ比h_yと弾性ひずみに対する平均ひずみ増大率mの積で、ひずみプロファイルの塑性ひずみ量$\Delta\varepsilon$を表し、弾性段階の剛性増大率ζ_pと塑性のひずみ増大を(5.6.5-3)式の剛性関数$\zeta_p(\varepsilon)$でまとめて表現する。したがって剛性関数は、弾塑性挙動を制御する重要な機能をもつ。このようにして、弾塑性ひずみ-応力度関係が得られる。

なお、ここでのヤング係数E は、クロスヘッドの変位により求めた横圧縮ヤング係数とし、降伏点は材料試験における横圧縮と同様に降伏後の近似直線と弾性直線の交点と定義し、EPM解析の基本となる$\sigma_y = \varepsilon_y E$ の関係が確保される。この点で、JISZ2101による降伏点などとは若干異なる。

応力度−ひずみ関数： $\varepsilon_p = \dfrac{\sigma}{E\zeta_p(\varepsilon)}$ (5.6.5-1)

剛性増大率： $\zeta_p = 1+\dfrac{1-e^{-\gamma\Delta L}}{\gamma L} = 1+\dfrac{1-e^{-\gamma H\delta}}{\gamma H\lambda}$ (5.6.5-2)

剛性関数： $\zeta_p(\varepsilon) = \dfrac{\zeta_p}{1+mh_y}$ (5.6.5-3)

無次元特性値：γH、　端距離：ΔL、　部材高さ：H、
載荷長：$2L$、　端距離比：$\delta=\Delta L/H$、　載荷長比：$\lambda=L/H$

実用近似式

平均ひずみ増大率： $m = C(1\text{-}1/\kappa)$

降伏深さ比： $h_y = \dfrac{H_y}{H} = \dfrac{1}{\eta} ln\,\kappa \;:\; (0 \le h_y \le 1)$ (5.6.5-4)

塑性ひずみ倍率：C、降伏深さ：H_y

降伏比： $\kappa = \dfrac{\varepsilon}{{}_P\varepsilon_y} = \dfrac{\varepsilon\eta}{{}_F\varepsilon_y}$ (5.6.5-5)

実用ひずみ分布： $W_1\phi_1' = \varepsilon_1\eta e^{-\eta\frac{z}{H}}$ (5.6.5-6)

表面変位：W_1、その平均ひずみ：ε_1

ひずみの形状関数： $\phi_1' = \eta e^{-\eta\frac{z}{H}}$ (5.6.5-7)

パラメータ： $\eta = \dfrac{{}_F\varepsilon_y}{{}_P\varepsilon_y}$ (5.6.5-8)

全面圧縮降伏ひずみ：$_F\varepsilon_y$、部分圧縮降伏ひずみ：$_P\varepsilon_y$

具体的には、部分圧縮試結果と全面横圧縮試験結果（いずれも載荷面積あたりの応力度と元の高さあたりのクロスヘッド間ひずみで示す）の比較により、(5.6.5-1)～(5.6.5-8)式を用いた均等めり込みの弾塑性応力度−歪関係のシミュレーションを行い、EPM のパラメータの特定を行った。パラメータは、E、ε_y（または σ_y）、γH、η、C の 5 つで、E、ε_y はめり込み試験体の両隣の全面横圧縮試験体 2 つのクロスヘッド間ひずみによる横圧縮ヤング係数と降伏ひずみの平均値である。その他のパラメータは、全面横圧縮試験結果とめり込み試験結果の剛性の比率より無次元特性値 γH（値が小さいほど剛性増大率が大きくなる）、降伏ひずみの比率より η、降伏後の剛性に沿うように定数 C を順次決定する。

なお、本報告においては、過去に実施した既往の実験「新材＜スギ・ヒノキ・アカマツ・ケヤキ＞・古材＜スギ（経過年数 170 年・190 年）、ヒノキ（経過年数 375 年）、アカマツ（経過年数 155 年・170 年・300 年）、ケヤキ（経過年数 167 年・190 年・375 年）＞を対象」の結果[2)]も含めた検討を行う。

3）結果と考察

① 応力度−ひずみ曲線

各年輪方向別においてひずみ 0.6 以上まで載荷した際の応力度-ひずみ曲線と載荷後の試験体形状を図 5.6.5-10～図 5.6.5-11 に示す。

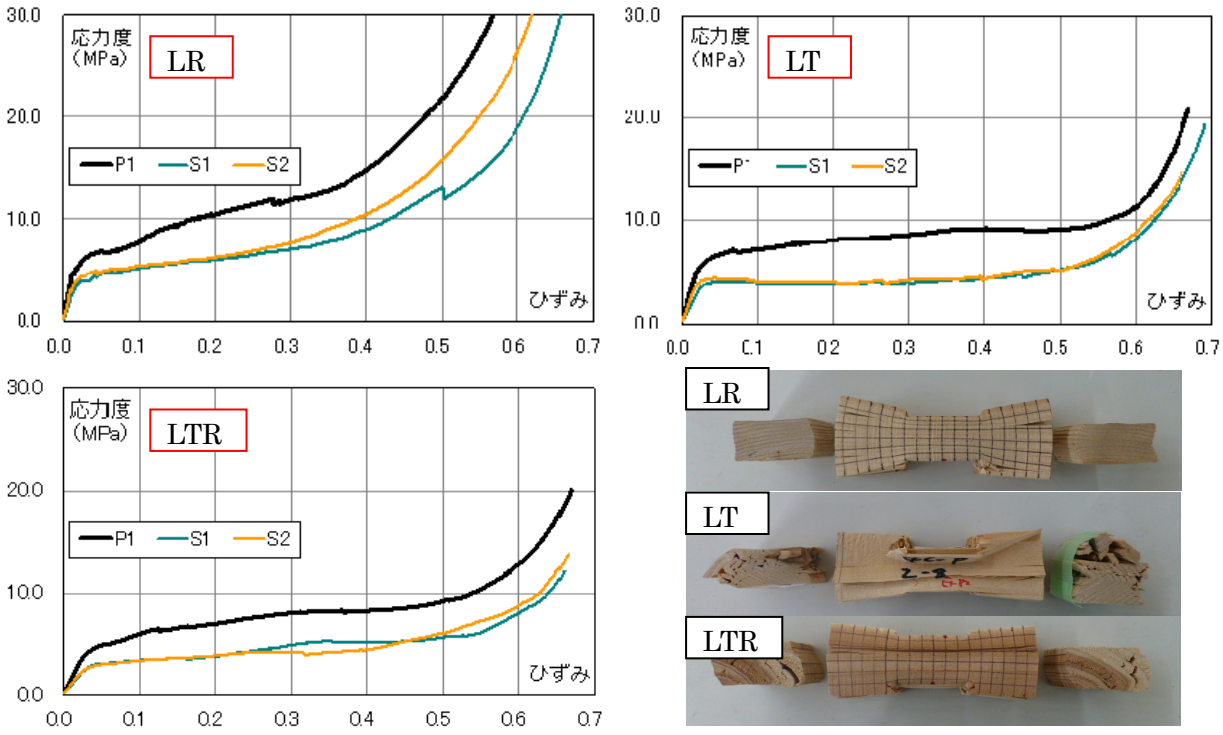


図 5.6.5-10　NUC の応力度-ひずみ曲線と載荷後形状

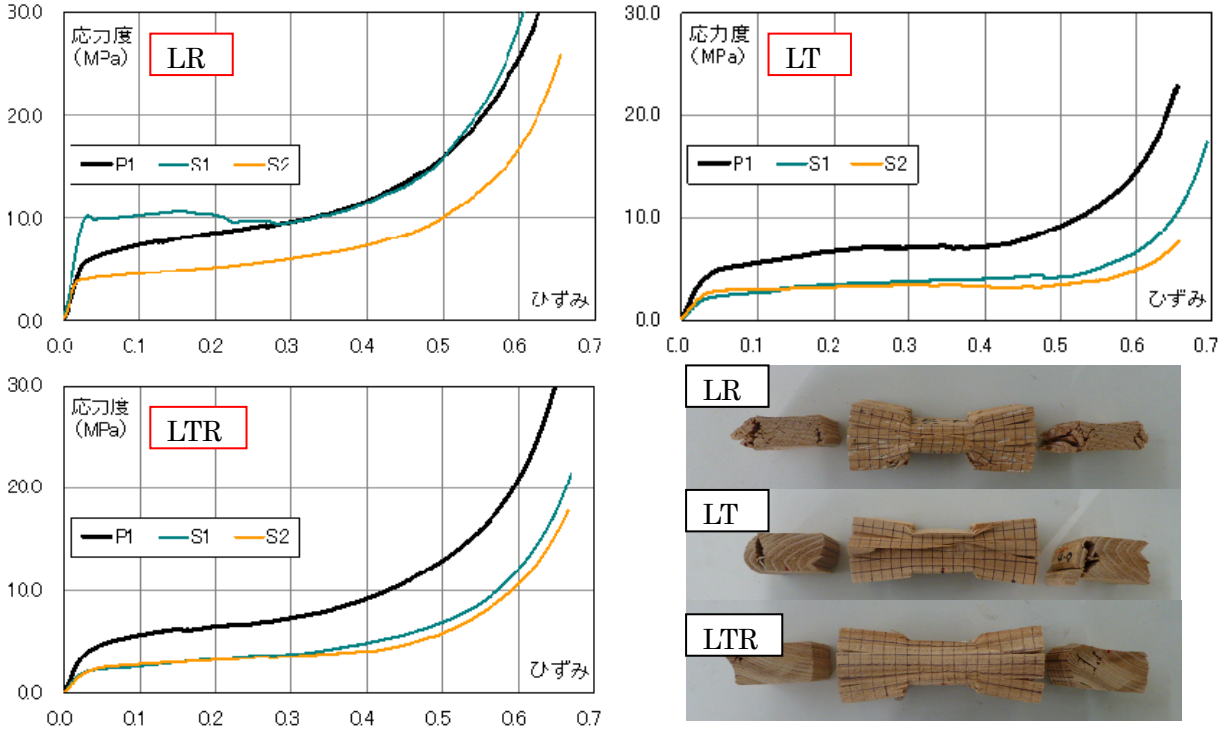


図 5.6.5-11　NUP の応力度-ひずみ曲線と載荷後形状

樹種別で比較すると、スギ（NUC）においては、部分圧縮が全面圧縮に比べ高強度・高剛性になる比較的安定しためり込み現象が発生していた。載荷後形状においても、大変形まで載荷した LT 方向の試験体を除いて目立った損傷などは確認されなかった。それに対し、アカマツ（NUP）においては、全面圧縮の方が部分圧縮よりも高強度・高剛性になる試験体が多く見られ、試験体間によるばらつきが非常に大きい結果となった。試験後の載荷形状においては、スギに比べると脆く崩れている試験体が多かった。

年輪方向別で見ると、LR 方向においてはスギ・アカマツともに LT・LTR と比べ 2 次勾配が大きく、ひずみ硬化現象による応力度上昇も比較的ひずみの早い段階（ひずみ 0.3 あたり）で発生していることがわかる。それに対し、LT 方向はスギ・アカマツともに大変形時に脆く崩れる結果となり、載荷の途中で年輪が座屈するような現象も確認されている。そのため、ひずみが 0.5 辺りを越えるまでは応力度の上昇も発生していない。LTR 方向においては、応力度−ひずみ曲線・載荷後形状ともに LR・LT 方向の中間のような結果となった。このような年輪方向による傾向は、昨年度のめり込み試験結果[2)]と同様であった。

なお、全面圧縮試験における横圧縮ヤング係数 E と降伏応力度 σ_y との間には、過去に実施した実験結果[2)]と今回の実験結果を統合して図 5.6.5-12 が示すように、高い相関関係（決定係数 R^2=0.76）が得られている。したがって、樹種・部材の経過年数・年輪方向に関係なく、E と σ_y のどちらか一方を把握することで、もう一方の数値を予測することが可能だと考えられる。ただし、精度の問題は残る。

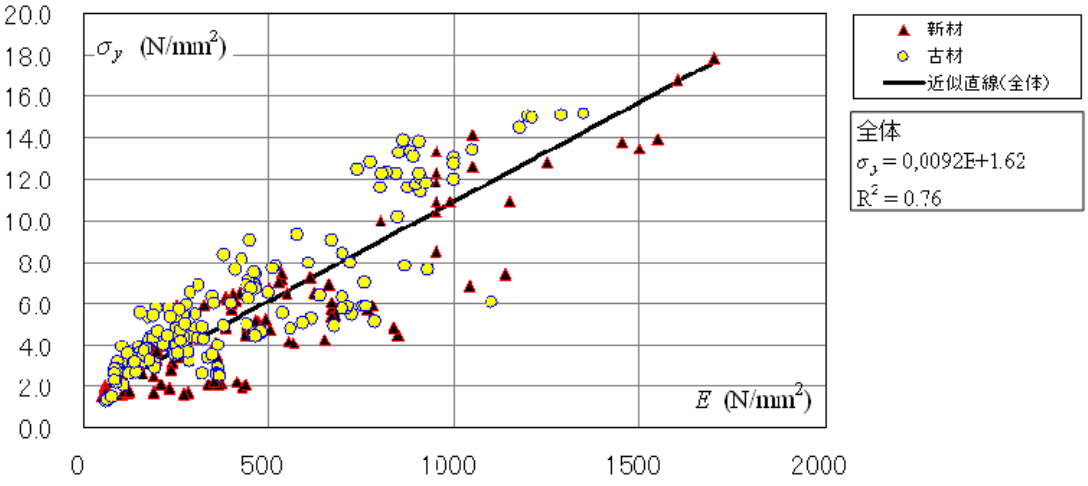


図 5.6.5-12　E -σ_y の相関関係

② EPM パラメータ特定

試験結果の応力度–ひずみ曲線に対し、EPM シミュレーションを行った。例として NUP の LT 方向における EPM シミュレーション結果を図 5.6.5-13 に示す。また、得られた EPM パラメータの平均値(av)と変動係数(cv)を表 5.6.5-4 に示す。なお、全面圧縮の弾性直線が部分圧縮の直線より傾きが大きくなる試験体(例えば図 5.6.5-11 の LR 方向)など γH が理論的に求められないケースがあり、材料のばらつきの可能性も否定できないが、原因は特定できなかったため、全体評価に取り入れるのは適切ではないと判断して、表 5.6.5-4 では除いて平均値を算定した。

表 5.6.5-4 より、全面圧縮による降伏ひずみと部分圧縮における降伏ひずみとの比を表す η においては、樹種・年輪方向関係なく、η = 1.1～1.3 の範囲に収まる結果となった。この結果は、既往の実験においても同様の傾向（η = 1.1～1.4）が示されており、虫害・腐朽などが発生していない健全古材であれば、この範囲をとるものと判断してよさそうである。

塑性ひずみ倍率 C においては、ばらつきも大きく他のパラメータとの相関も見られないため、傾向の把握が困難な結果となった。C の値は樹種・ヤング係数・降伏ひずみと最大ひずみ・年輪方向・全面圧縮の塑性剛性・せん断破壊・割裂破壊など多くの要因と関連する可能性があるが、現段階ではそれらの相関関係は明らかではない。その数値が小さいほど塑性剛性を大きく評価することになるため、塑性剛性の過大評価を避けるためには、設計用の数値としては、平均値より上限値に近い数値が適当と考える。

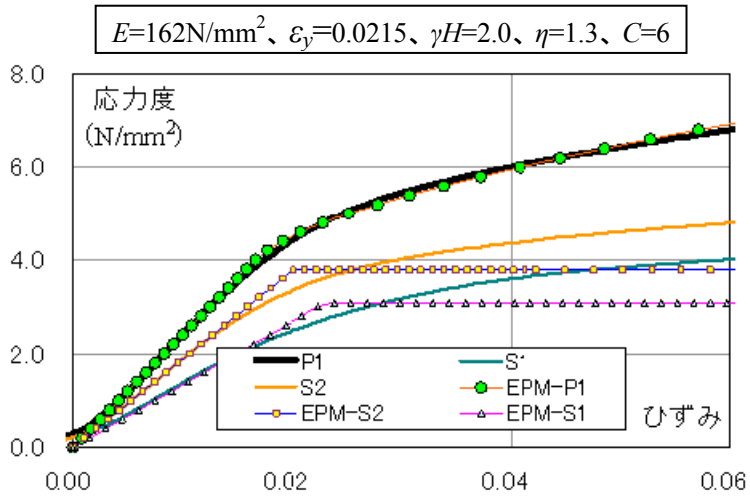


図 5.6.5-13　NUP（アカマツ）LT 方向における EPM シミュレーション

表 5.6.5-4　めり込み試験結果

樹種		年輪方向		E (N/mm^2)	ε_y	γH	η	C	σ_y (N/mm^2)	$E\zeta_p$ (N/mm^2)
NUC	スギ	LR	av.	269	0.0142	4.6	1.2	13	3.59	362
			cv.	23	30	122	19	39	8	20
		LT	av.	203	0.0246	2.7	1.3	35	4.90	313
			cv.	20	15	91	15	145	15	22
		LTR	av.	112	0.0281	1.9	1.2	10	3.05	172
			cv.	18	19	26	14	27	13	18
NUP	アカマツ	LR	av.	278	0.0162	3.0	1.2	23	4.24	409
			cv.	45	17	47	18	74	35	54
		LT	av.	178	0.0221	2.9	1.2	12	3.67	239
			cv.	38	24	41	12	58	33	30
		LTR	av.	177	0.0237	2.2	1.3	42	4.16	265
			cv.	36	13	46	39	203	36	39

※（　）内は変動係数 (%)

めり込みによる剛性増大率を決定するパラメータ γH においては、過去の実験結果において、横圧縮ヤング係数との相関が比較的高い（決定係数 R^2=0.50）ことが分かっている。NUP、NUC の結果を過去の実験結果に加えた E–γH 相関図を図 5.6.5-14 に示す。図 5.6.5-14 が示すように、NUP、NUC の結果を含めた場合においても R^2=0.49 と比較的高い相関が得られている。古材と新材の比較においては、古材の方が新材と比べ γH が大きい傾向があり、剛性増大率では小さめになる。

図 5.6.5-15 に示す、横圧縮ヤング係数 E とめり込み剛性増大後の弾性めり込み剛性 $E\zeta_p$ の相関関係においては、図 5.6.5-14 に比べばらつきが大きく減少し、非常に高い相関関係にあることがわかった。このことは、めり込み試験のめり込み剛性から横圧縮ヤング係数を推定する可能性を示唆するが、載荷長比 λ、端距離比 δ や寸法効果等に依存することを考慮する必要がある。

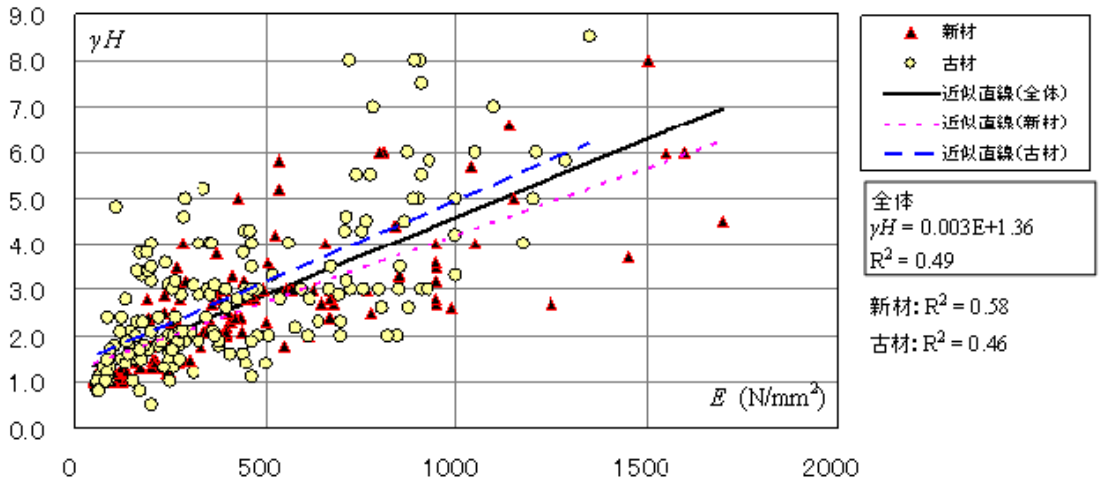


図 5.6.5-14　E -γH の相関関係

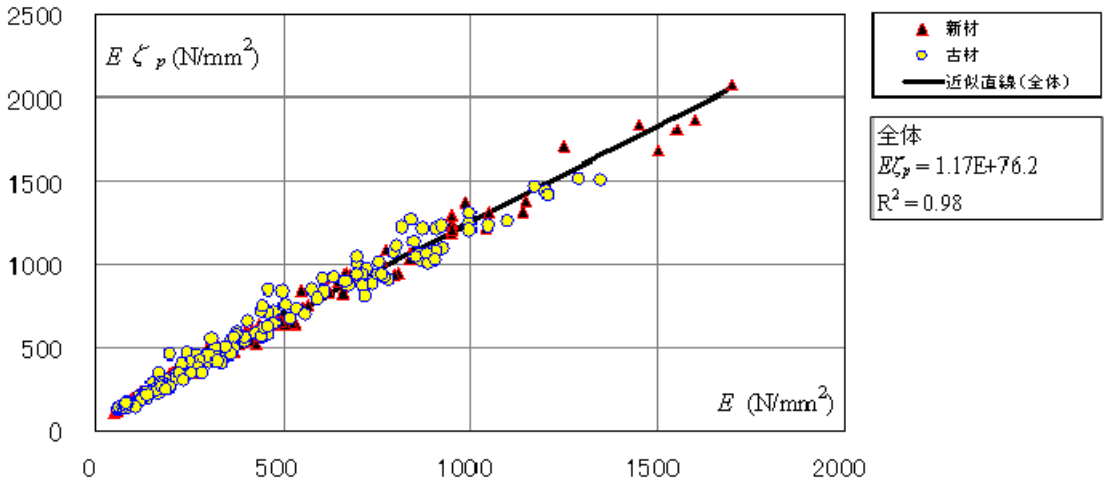


図 5.6.5-15　E -$E\zeta_p$ の相関関係

(3) まとめ

材料試験においては、今回試験を行った NUC（スギ）、NUP（アカマツ）の材料特性値は、ハンドブックや他の古材と比べ、スギは比較的大きかったが、アカマツは小さい傾向にあった。

めり込み試験においては、年輪方向別の応力度-ひずみ曲線形状は大方過去の試験結果と同様の傾向を示したが、アカマツの LR 方向においては安定しためり込みを生じない試験体が多かった。シミュレーション結果における EPM パラメータをみてみると、η の値は過去の実験結果と同様の結果となり、γH の値も横圧縮ヤング係数に依存する傾向になる結果となった。C においては、今回の試験においても傾向の把握は困難であった。

(参考文献)

1) 森林総合研究所：木材工業ハンドブック

2)「伝統的構法の設計法及び性能検証実験」検討委員会 2011 年度報告書

3) 棚橋秀光・大岡優・伊津野和行・鈴木祥之：木材のめり込み降伏メカニズムと均等めり込み弾塑性変位の定式化、日本建築学会構造系論文集，Vol.76, No.662, pp.811-819, 2011.4.

5.6.6 仕口評価用材料試験

(1) 古材・新材の仕口のほぞの横圧縮試験

めり込みを主なメカニズムとする仕口の復元力特性は、ほぞの横圧縮ヤング係数と降伏応力度に支配されると考えられる。そこで、新材と福山試験体ではほぞに対応する全面横圧縮試験体を各試験体のほぞに近い位置より、ほぞの圧縮方向に 3 片横並びに採取し、JIS 規格に従って圧縮試験を行い、横圧縮ヤング係数(クロスヘッド変位 *E*a、ひずみゲージ *E*c による 2 種類の横圧縮ヤング係数)と降伏応力度を求めた。長野試験体では柱材の横圧縮試験体の値を用いたため、ほぞの近くとは限らない。

その結果を表 5.6.6-1 に示す。FU3、FU6 はヒノキ、その他はスギである。

表 5.6.6-1　新材・古材柱の横圧縮試験による横圧縮ヤング係数と降伏応力度一覧

(av.：平均、cv.：変動係数%)

		横圧縮ヤング係数		最大強度	降伏ひずみ	降伏応力度	密度	縦圧縮ヤング係数1)
		*E*a (MPa)	*E*c (MPa)	σu (MPa)	*εy*	*σy* (MPa)	kg/m3	*E*(GPa)
NN2	av.	137	259	3.77	0.021	2.86	355	9.3
	cv.	47	46	18	8	44	6.0	
NN4	av.	101	173	3.26	0.028	2.61	324	9.3
	cv.	33	24	19	38	9	3.0	
FN3	av.	227	450	4.3	0.017	3.52	354	5.4
	cv.	49	82	14	32	11	6.0	
FN4	av.	276	572	5.4	0.017	4.4	446	11.5
	cv.	50	39	29	26	33	7.0	
FN6	av.	260	538	2.91	0.016	2.23	369	7.7
	cv.	116	121	38	60	31	6.0	
FN7	av.	155	365	2.7	0.020	2.52	285	6.8
	cv.	64	72	21	41	28	2.0	
新材全体	av.	193	657	3.7	0.020	3.03	356	8.3
	cv.	75	39	33	37	35	15	26
NU2	av.	297	657	4.93	0.012	3.49	368	7.6
	cv.	39	39	13	13	12	3.7	
NU4	av.	262	638	4.95	0.018	4.05	417	10.8
	cv.	42	47	18	42	4.9	2.3	
FU3	av.	425	533	8.1	0.016	6.92	520	14.3
	cv.	16	21	11	7	16	2.1	
FU4	av.	316	350	4.9	0.015	4.0	442	11.1
	cv.	71	53	41	29	36	9.6	
FU6	av.	448	469	7.66	0.015	6.76	503	13.8
	cv.	31	18	24	8	23	5.8	
FU7	av.	304	530	4.4	0.014	3.48	427	9.2
	cv.	71	96	21	41	21	8.2	
古材全体	av.	348	521	5.9	0.015	4.93	473	11.1
	cv.	42	48	33	30	37	10	23

注１）応力波（Fakopp)または超音波(Pundit)による

全体に柱が芯持ち材のため、年輪傾角の変化が激しく（写真 5.6.6-1、図 5.6.6-1 参照）、若干の位置変化で材料定数の変化が大きいことが特徴である。しかも 3 個の横並びの試験片の中央は芯に近い木口断面を持ち、横圧縮ヤング係数が大きい傾向が明確に見られる。

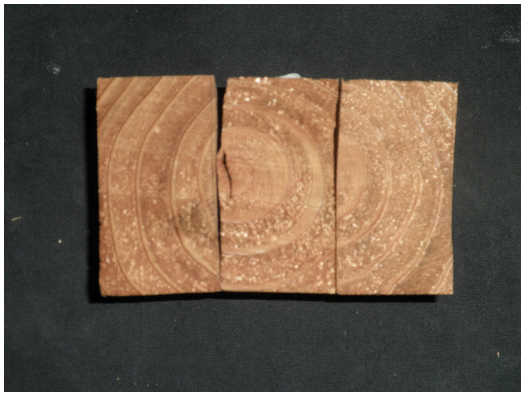


写真 5.6.6-1 芯持ち材の位置による年輪方向（NN2）

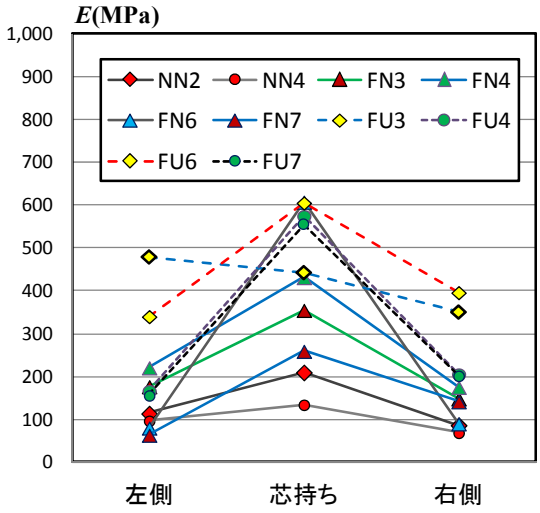


図 5.6.6-1　横圧縮ヤング係数の左右の変動

(2) 実大めり込み試験

1) 実大めり込み試験の要領

前項で柱が芯持ち材のため、年輪傾角の変化が激しく、小試験片の結果のばらつき傾向が明らかとなったが、柱材の実大の圧縮試験との関連と実大めり込みの特性を調べるために、柱材のほぞに近い部分から、柱断面のまま実大の横圧縮試験体とめり込み試験体をセットで採取し、図 5.6.6-2 の要領で実大部材で全面横圧縮試験とめり込み試験を行った。試験体採取には 400mm 程度必要とするため、材料試験体の採取を優先した結果、古材からの採取はできなかったが、新材仕口からは採取が容易なことから、6 体の新材仕口の柱スギ材より全面圧縮 WS1、WS2 と WP1 の 3 個を 1 セットとして 6 セット採取し、実大の圧縮試験、めり込み試験を実施した。写真 5.6.6-2 にめり込み載荷状況を示す。

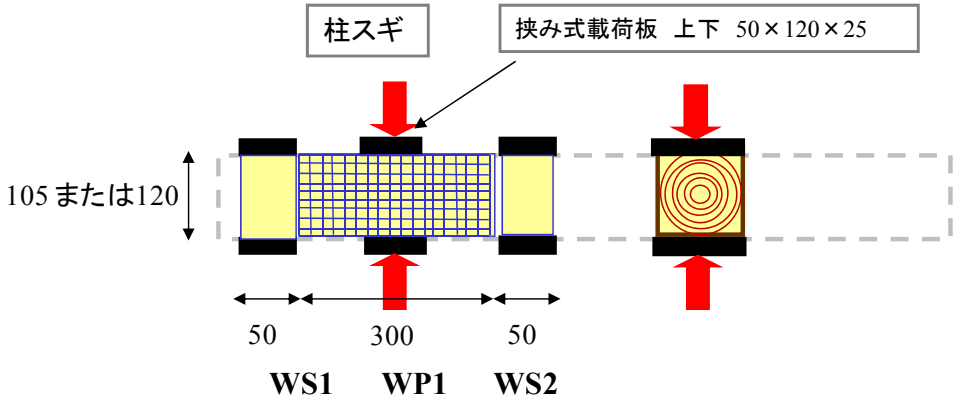


図 5.6.6-2　実大めり込み試験要領

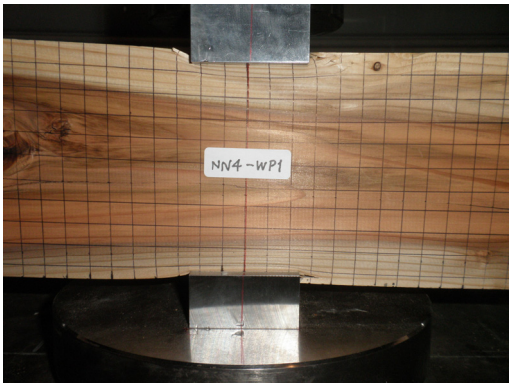


写真 5.6.6-2　めり込み載荷による変形の様子

2）実大めり込み試験の結果と考察

小試験片と実大圧縮試験の関係は表 5.6.6-3、図 5.6.6-4、図 5.6.6-5 に示す。

横圧縮ヤング係数・降伏応力度の平均値は 190MPa、3.1MPa 程度で材料試験と概ね一致する結果が得られたが、個々には相当ばらつき、材料定数の評価が難しい。

参考に応力波（Fakopp）または超音波（Pundit）による縦ヤング係数の平均値は新材 8.3GPa、古材 11.1GPa 程度で、応力波または超音波で見る限り、古材がひとまわり硬い材料であることが分かる。

表 5.6.6-2　横圧縮ヤング係数と降伏応力度の実大試験との比較

	横圧縮ヤング係数(実大)	横圧縮ヤング係数(試験片)	横圧縮降伏応力度(実大)	横圧縮降伏応力度(試験片)
	E (MPa)	Ea (MPa)	σ_y (MPa)	σ_y (MPa)
NN2	170	137	3.06	2.86
NN4	150	101	3.00	2.61
FN3	360	227	3.60	3.52
FN4	125	276	3.00	4.4
FN6	140	260	3.08	2.23
FN7	170	155	2.72	2.52
av.	186	193	3.08	3.03
cv.	47	75	9	35

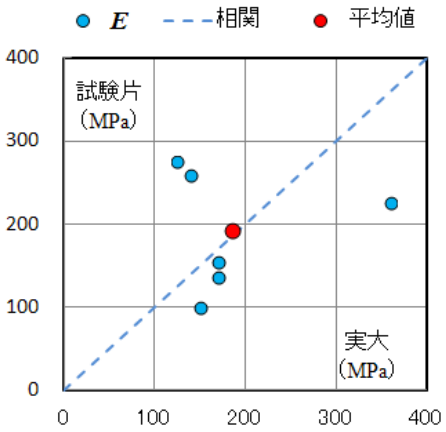


図 5.6.6-3　横圧縮ヤング係数の相関

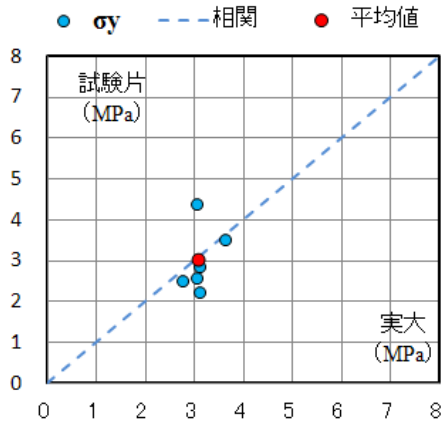


図 5.6.6-4　横圧縮降伏応力度の相関

実大めり込み試験結果を弾塑性パステルナーク・モデルによるシミュレーションを行った結果の一例を図 5.6.6-5 に、パラメータの一覧を表 5.6.6-3 に示す。解析手法は、5.6.5 と同じであり省略する。

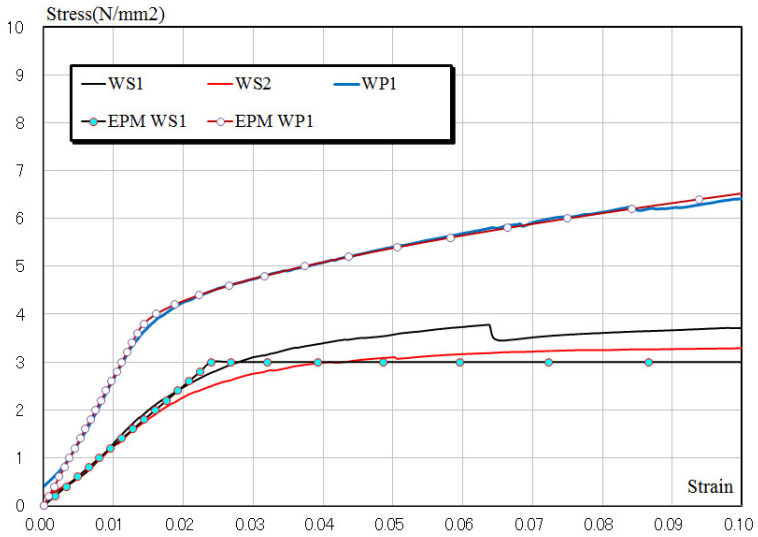


図 5.6.6-5　実大めり込みのシミュレーションの一例(NN4)

表 5.6.6-3　実大めり込み試験のシミュレーション結果

	横圧縮ヤング係数	横圧縮降伏ひずみ	無次元特性値	形状関数のパラメータ	無次元特性値	塑性ひずみ倍率	横圧縮降伏応力度	増大横圧縮ヤング係数
	E(MPa)	ε_y	γH	η	γL	C	σ_y(MPa)	$E\ \zeta_p$(MPa)
NN2	170	0.018	1.3	1.54	0.65	35	3.06	421
NN4	150	0.020	1.7	2.0	0.85	20	3.00	324
FN3	360	0.010	1.5	2.0	0.75	35	3.60	829
FN4	125	0.024	1.8	1.75	0.86	22	3.00	269
FN6	140	0.022	1.7	2.0	0.85	20	3.08	302
FN7	170	0.016	1.7	1.75	0.81	40	2.72	376
av.	186	0.018	1.62	1.84	0.79	29	3.1	420
cv.	47	27	11	10	10	31	9	49

なお参考に、昨年度の貫の実大めり込み試験結果と無次元特性値 γH とめり込み剛性分布を重ねると図 5.6.6-6、図 5.6.6-7 となり、昨年度のスギの貫(厚 30 ㎜高さ 100mm)の実大めり込みより γH は小さく、剛性増大効果が大きいことを意味する。増大しためり込み剛性は全体に昨年度より大きい結果となった。データ数がまだ少なく、十分な蓄積がないので評価が難しいが、今後のデータ蓄積が期待される。

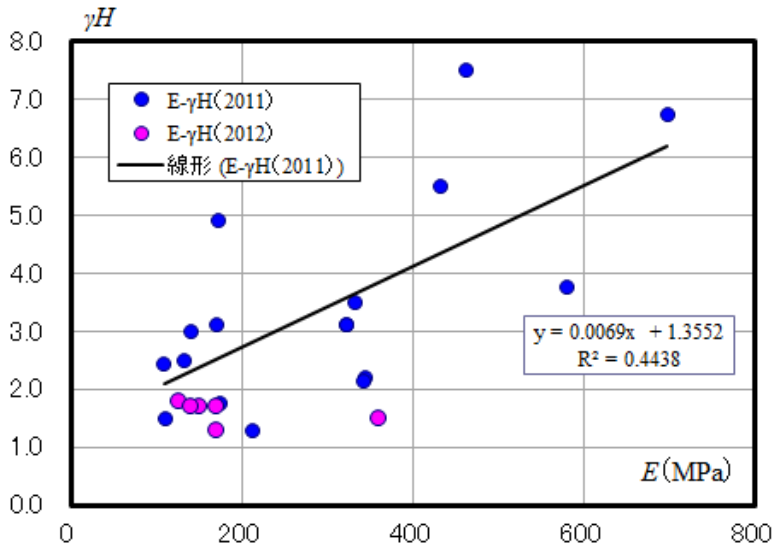


図 5.6.6-6　横圧縮ヤング係数 E と無次元特性値 γH の関係

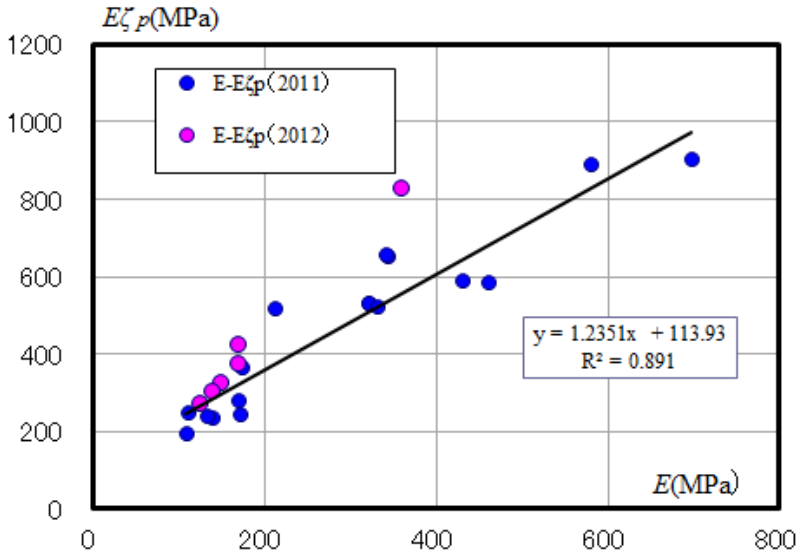


図 5.6.6-7　横圧縮ヤング係数 E とめり込み剛性 $E\zeta p$ の関係

5.6.7 接合強度解析のための応力波伝播速度とヤング係数

(1) はじめに

古材を再利用するに際し、現場では古材の材料特性が不安要素となる。これまでの報告により、一般的な使用に際して古材は新材と同様に扱うことができるとしたが、本来は個々の材料に対してその特性を把握し、評価することが望ましい。木材ならびに既存構造物で使用されている部材という対象を扱う場合には、非破壊的な手法により材料特性を評価し、その力学性能を推定するのがより実際的である。構造部材の強度に関する非破壊検査手法として、音速によるヤング率推定は測定の簡便性だけでなく、他の強度性能を評価する上でのヤング率の重要性から有効な手段である。

昨年度は、実大曲げ強度について古材の基準強度算定、ならびにこれを現場評価するための手法として応力波伝播速度（FAKOPP による）を用いた縦弾性係数（曲げヤング率）の推定法について報告した。今年度、古材 WG が取り組んだ接合強度に対しては、横圧縮ヤング率重要な推定因子となり得るが、これも伝播速度による評価が可能と考えられる。本項では、音速を用いた横弾性係数の推定について検討した結果を報告する。

(2) 方法

1) 横圧縮ヤング率の測定

横圧縮ヤング率は、5.6.5 項で前述した横圧縮試験により求めた。横圧縮試験では、通常の試験体中央部におけるひずみゲージ（正面背面の 2 面）計測によるヤング係数（*E*c）と、試験機のクロスヘッド間ひずみによるもの（*E*a）を算出している。ここでは、接合強度解析に用いる *E*a について以降の分析を行った。試験体の寸法は、30×30×60（L）mm で、樹種（試験体数）はスギ（n=31）およびアカマツ（n=27）である。

2) 伝播速度の測定

昨年度の報告では、非破壊による弾性係数の推定法として、FAKOPP による応力波伝播速度を用いた弾性係数の推定法を紹介した。応力波測定法は、現場での測定容易性や良好な再現性、ならびに測定機器の経済性から有効な手法である。ただし、本項で検討する解析においては、測定対象が小試験体であり、応力波を用いた実験が困難である。そこで、本項では、音速の測定に関して Pundit による超音波伝播速度を用いた推定法を採用した。

超音波伝播速度の測定に用いた機器（超音波試験機 Pundit lab、PROCEQ 社）を写真 5.6.7-1 に示す。写真 5.6.7-2 に示すように、1 組のトランスジューサーで試験体を挟み込ませ、超音波を伝播させた。模式図を図 5.6.7-1 に示す。試験体は 5.6.5 章で述べた圧縮小試験体（試験前）を用いた。超音波の伝播距離は 60mm である。試験体の断面は 30×30mm であり、トランスジューサーの直径（50mm）より小さかった。測定時の小試験体の設置は、トランスジューサーと小試験体断面の中心が一致するように行った。また、超音波伝播方向は、各試験体の圧縮試験時の負荷方向に同じとした。超音波の周波数は 200kHz である。超音波伝播時間を同一箇所で 3 回測定し、それらの平均値と伝播距離から超音波伝播速度を得た。

解析に用いた横圧縮試験体の伝播速度と横圧縮ヤング率を表 5.6.7-1 にまとめる。含水率は、国内で一般に用いられている気乾含水率より低い。ただし、古材は平衡含水率が低くなること、現場では材の内部まで含めた平均含水率を測定することが難しいことなどから、ここでは含水率補正を行っていない。



写真 5.6.7-1　測定機器

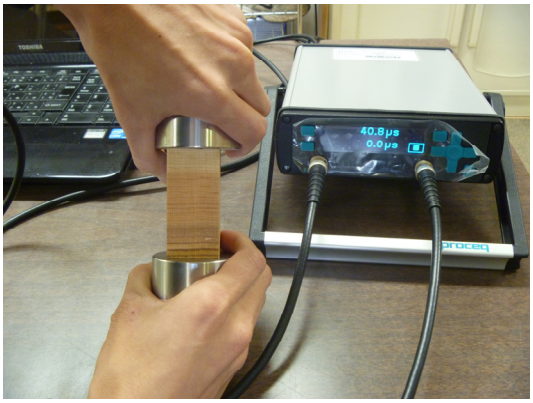


写真 5.6.7-2　測定時の様子

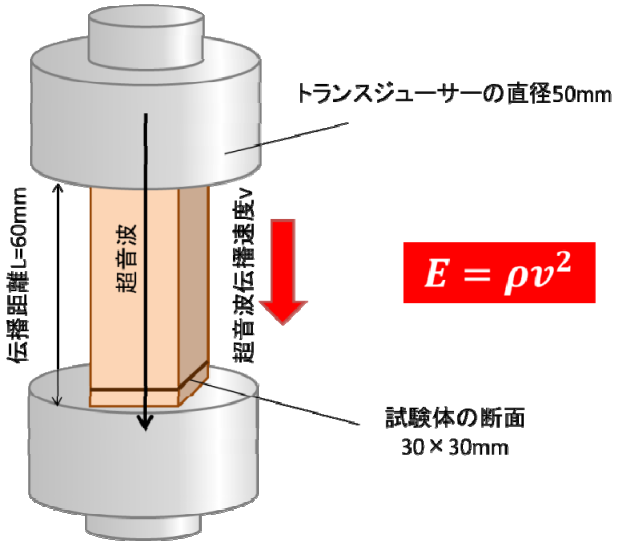


図 5.6.7-1　測定時の模式図

表 5.6.7-1　横圧縮試験体の伝播速度と横弾性係数

樹種	試験体数	含水率	伝播速度	密度	横弾性係数	
		MC	V	ρ	ρ v2	横圧縮
		%	m/s	kg/m^3	GPa	GPa
スギ	31	9.8	1350.9	415.5	0.76	0.18
		(2.0)	(141.4)	(38.8)	(0.16)	(0.11)
アカマツ	27	10.1	1358.9	482.1	0.91	0.27
		(1.4)	(164.5)	(45.1)	(0.25)	(0.10)

3）検討方法

木材の横方向に伝播させた超音波伝播速度から、密度を測定することなく横圧縮ヤング率を求める手法を以下に示す。

①実験から得られた密度 ρ－横弾性係数 ρV^2（図 5.6.7-2）を基準データベースとするモンテカルロシミュレーションを行い、超音波伝播速度の測定値（V）から ρV^2 を推定する。

②表 5.6.7-1 に示すように、横圧縮ヤング率について伝播速度から算出した ρV^2 と圧縮試験から求めた *E*a は異なった値を示す。そこで、実験から得られた横弾性係数 ρV^2－*E*a の関係式（図 5.6.7-3）を用いて、①で求めた ρV^2 を *E*a に変換し、これを *E*a の推定値とする。

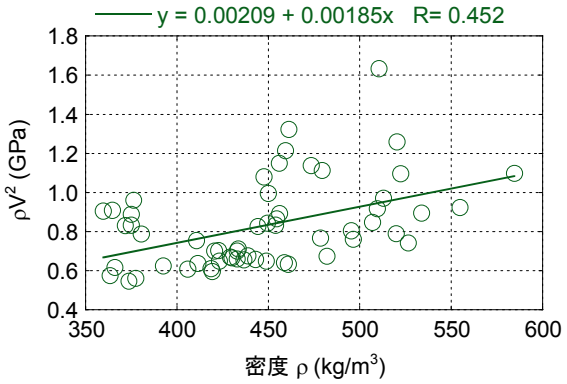


図 5.6.7-2　密度と ρV^2 の関係

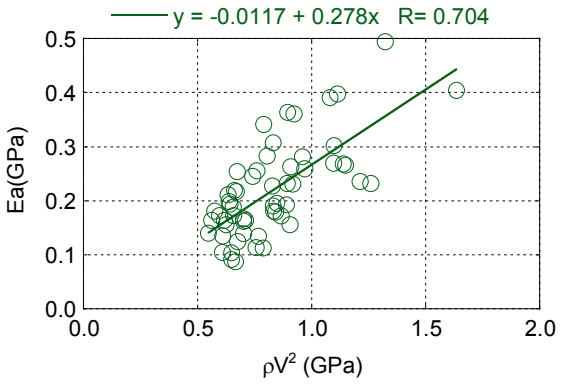


図 5.6.7-3　ρV^2 と横圧縮ヤング率の関係

③②で推定した *E*a の妥当性について、実験より得られた *E*a と比較し、その推定精度を調べた。

(3) 推定結果

*E*a の推定結果を図 5.6.7-4 に示す。両者は正の相関関係を示し、推定精度として実測値に対する推定値の比を調べたところ、平均値±標準偏差で 1.1±0.4（変動係数 36%）となった。必ずしも十分な推定精度を得るには至らなかったが、既存構造部材に対して非破壊的にその力学性能を評価する手法としては、一定の可能性が示された。

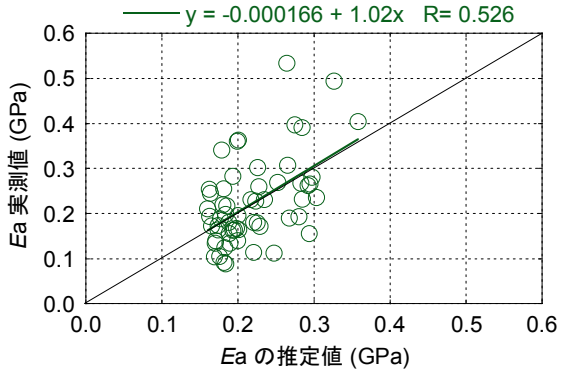


図 5.6.7-4　*E*a の推定値と実測値の比較

(4) まとめ

本項では、伝統構法建造物において、非破壊的に接合部の強度性能を評価する手法を検討した。その結果、音波の伝播速度を用い、あらかじめ用意した密度と横弾性係数のデータベースを基準としたモンテカルロシミュレーション法により、良好な推定精度を得られる可能性が示唆された。今後、推定精度の更なる向上のためには、実際と同様の条件となる実大材を対象とした応力波伝播速度と横圧縮ヤング率に関するデータベースの構築を図る必要があり、また、現場での汎用性のためには本手法をより簡便化させた計算法を提案する必要がある。

5.6.8 まとめ

古材より成る伝統的な軸組構法を力学的な観点から解明を行い、古材の再利用の道を切り開くために、前年度の検討に引き続いて今年度行った検討結果の総括と今後の課題を以下にまとめる。

(1) 古材の仕口接合部の評価について

伝統構法建築物の解体時に接合部を解体しないで採取したほぞ仕口接合部 11 体の強度実験を行った。込栓なしの T 字型タイプで、経年数は 120 年までの 11 試験体の極めて限られた事例の範囲であったが、施工当初の精度や緩み、劣化・経年変化などを含めて接合の嵌合度による復元力特性に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。

また、ほぞの形状に関しては、長ほぞでは剛性・強度は大きいが変形性能に乏しくほぞの破壊で最大耐力が決まること、短ほぞでは全体に剛性・強度が小さいが嵌合度の影響を受けやすく、少しのがたつきで変形しやすいなど、強度と変形性能に大きな差異がみられた。ただし、古材の短ほぞの剛性・強度が特に小さい要因は、施工当初の精度や緩みなのか、劣化・経年変化などによるものかの区別は困難である。

比較のために行った新材で同じ形状の仕口接合部の実験結果によると、新材仕口接合部では一般的な施工精度による嵌合度では比較的ばらつきは少なく、復元力特性の差異は長ほぞ、短ほぞの形状による影響が主な要因であることが判明した。

さらに、前年度実施の古材を用いた十字型仕口接合部の実験結果では、新材に劣る傾向は見られなかったという結果をふまえると、古材を再利用するに際しては、基本的には新材と同等に扱うことができると考える。

長ほぞ、短ほぞのなどの仕口詳細による復元力特性に及ぼす影響は、古材・新材に拘わらず仕口接合部の評価および設計に関わる問題として対処すればよいと考える。

また、現存する古材からなる仕口接合部の復元力特性の評価に際しては、嵌合度を十分考慮する必要があり、その程度を非破壊的に調査・定量化することが望まれるが、現状では困難である。建築物を解体せずに仕口接合部の嵌合度に関する状況を非破壊的に見分ける手法の開発については、今後の重要な検討課題となろう。

(2) 古材の材料試験とめり込み試験

古材の材料特性のデータを蓄積する課題としては、材料試験とともに横圧縮およびめり込み特性に重点を置いて検討した。その結果、今回対象となった古材はヤング係数・強度とも新材に比べ、アカマツのクロスヘッド変位による横圧縮ヤング係数を除いて全体に大きめの値を示したが、ばらつきが大きい傾向を示した。このことは新材・古材の仕口のほぞ部の横圧縮試験でも同様な傾向がみられた。ばらつきの大きい傾向は前年度の材料試験結果でも見られ、経年変化によるものか他の要因によるものかの解明は現段階では困難である。

全体として古材の強度に関しては特に劣る傾向は見られないが、ばらつき、脆さが目立つ傾向は否定できない。

古材のめり込みにおける剛性増大率は、前年度の結果と同様に新材に比べやや小さい傾向が見られた。

(3) 非破壊による材料特性推定について

古材を再利用するに際して、古材の材料特性が不安要素となるが、一般的な使用に際しては、新材と同様に扱うことができるとしたが、材料特性を把握する必要がある場合には、何らかの推定手法が必要となる。そのためには非破壊の推定法が望ましい。

縦ヤング係数に関しては、応力波による推定手法が実績もあり、一定の信頼性もある。しかし、

仕口接合部の性能評価を対象とする場合には､横圧縮ヤング係数と降伏応力度の推定が基本となる。その点で、前年度の推定の試み（Fakopp による）、今年度は超音波による推定手法（Pundit による）を試みたが、まだ検討段階にあり実用化には至っていない。縦ヤング係数の推定から横圧縮ヤング係数と降伏応力度を換算するのも一つの方法であるが、年輪傾角依存性が高いため、現段階では、精度に乏しい。今後、このような推定手法や測定機器の研究開発が強く期待される。

(4) 今後の課題

今後の古材に関連する課題として、解体部材を用いて古材の材料特性のデータベースの蓄積をはかること、その中で、経年による材料特性の変化の解明を進めることが重要である。

古材の再利用と古材からなる仕口接合部の復元力特性の評価のために、現存する仕口の嵌合度の評価法の研究、現存する古材の横圧縮ヤング係数と降伏応力度の推定手法と測定機器の研究開発が望まれる。

5.7 まとめ

材料部会では、これまでの 3 年間にわたって、日本全国の天然乾燥の実態を調査し、無垢材の乾燥方法の違いが含水率、材色、各種強度、そして干割れの発生に及ぼす影響等の定量化を試み、主として乾燥割れや節等の欠点が無垢材の仕口強度や骨組み架構の構造強度に及ぼす影響ついて実験を行ってきた。また、実務家の要望する無垢材に関する経験的な評価に対する科学的な真相の解明にも力を注いで来た。

加えて、既存の伝統的木造建築物を対象とした木材の腐朽・蟻害の実態調査を 3 年間にわたって日本の多くの地域で継続し、伝統的木造建築物における木材の生物劣化の状況を幾つかのパラメータ事に類型化するとともに、実務家による劣化診断に資する耐久性調査マニュアルの策定と取り組んで来た。これら調査と平行して銅系金物の腐朽抑制効果についても、実験的な検討をい続けてきた。

更にこれらと平行して、非破壊的手法によるヤング係数推定法を用いて、寺院や古民家に使われて来た古材の残存強度の推定と実大木材の破壊実験による構造特性推定法の精度向上とデータの蓄積を行うとともに、古民家・古寺院の解体骨組みの一部を用いた古材仕口と形状・寸法を同一とした心材仕口の性能比較などを行い、古材の再利用時における設計者への有用な知見の提供に努めてきた。

得られた成果、実験データは膨大な数と量に昇るが、代表的な概要については上述した各 WG もしくはSWGの活動成果の部分に掲載されている。その中でも特に特記すべき点を挙げるとすれば、以下のような点が挙げられる。

- 天然乾燥木材に発生する干割れは、少なくとも込み栓を有する柱－土台接合部が引き抜き力を受けた場合の割裂性能に著しい悪影響を及ぼすものではない。この実験的事実は、宮崎地区、京都地区、富山地区、筑波地区という気候・環境条件の大きく異なる 4 箇所において同一試験条件で実施した実大実験を通じて確認されたものであり、一つの科学的結論を示すに必要十分な試験体の数によって確認された事実であり、非常に信頼性の高い成果として評価できるものである。
- 全国 34 箇所にわたる無垢材生産工場を実際に調査し、無垢材の天然乾燥状況を詳細に調査したデータが取り纏められた。このデータは我が国の無垢材の生産実態を知る上で非常に貴重なものであり、伝統木造建築の再出発にあたっての重要な材料供給サイドの現状を明らかにするもので、学術的にも、また実務的にも高く評価されるものである。
- これまでは、木造建築の劣化診断は判断が難しく、専門家によるしかないと思われてきたが、伝統木造の作り手によって診断するという立場から、分かりやすい新たな劣化診断マニュアルが策定される予定である。これによって、文化的価値の高い伝統木造建築物の維持・保全に関する新しい側面が拓かれることが期待される。
- 試験数こそ限られているものの、古材と新材の仕口試験体に対する構造性能の比較実験の結果、古材仕口ではバラツキが大きく、やや脆い性状を示すことが明らかとなった。この事は、古材を再利用する際の設計に貴重な示唆を与えるものであり、実務的に重要な成果と言える。

最後に、三年間にわたって、材料部会の活動を支えて頂いた全ての実務者、研究者、設計者、事務局の皆様に深甚なる感謝の意を表します。