

令和5年度 建築基準整備促進事業（調査事項M10）成果報告

CLT等を利用した住宅における評価方法基準化に関する検討

令和6年4月

実施事業者 株式会社アルセッド建築研究所

〔国立研究開発法人 建築研究所との共同研究〕

事業の背景・目的

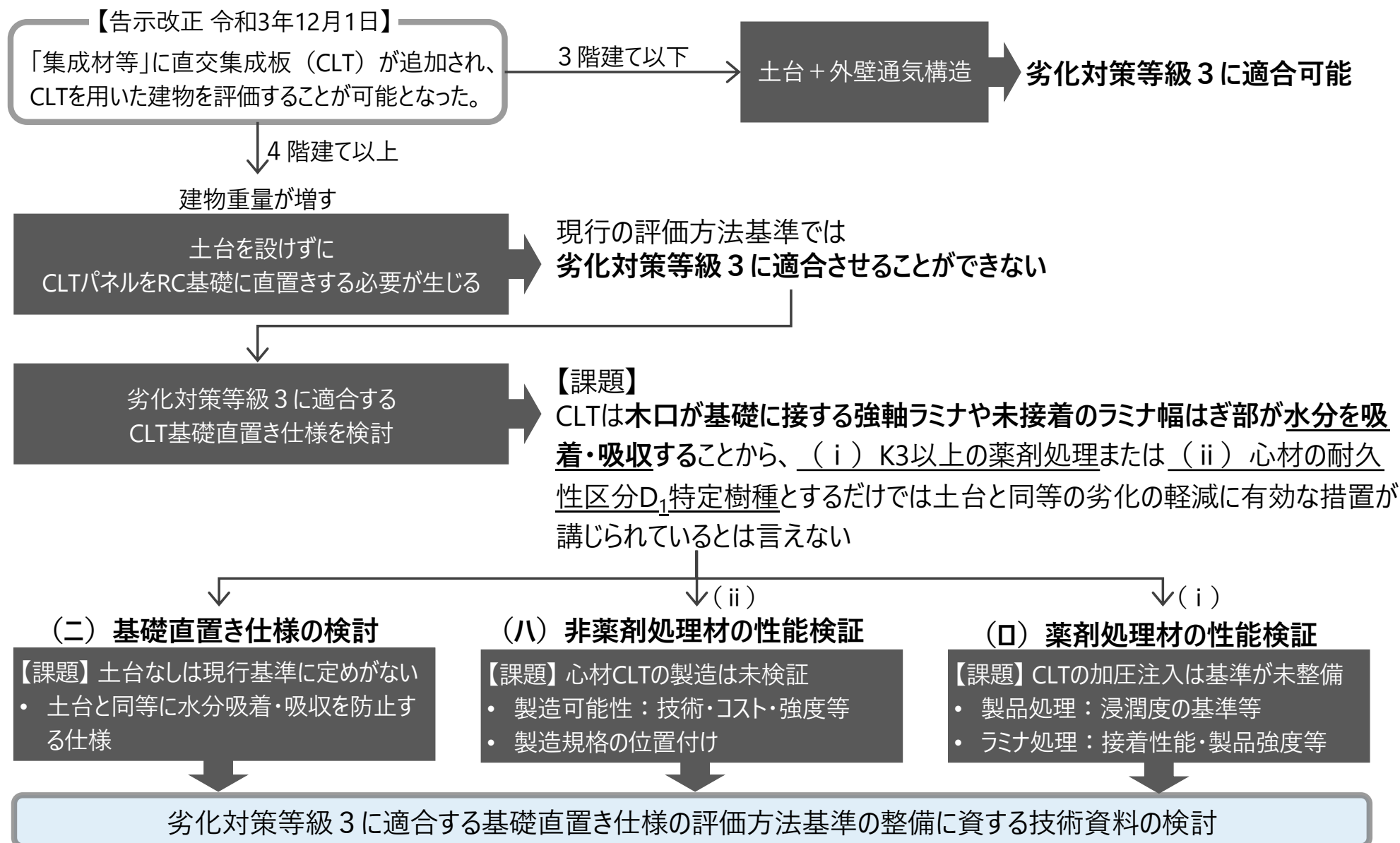
- 現行の住宅性能表示制度の一部の評価項目において、**評価方法基準が整備されていない**ことからCLT等※¹を利用した住宅を評価できない。
- 特に、**劣化対策等級**はその住宅の耐用年数の判断基準として金融機関で活用される場合があるが、CLT等を利用した住宅は現行基準では評価できず、CLT等を利用した住宅の普及の隘路になっているとの指摘がある。



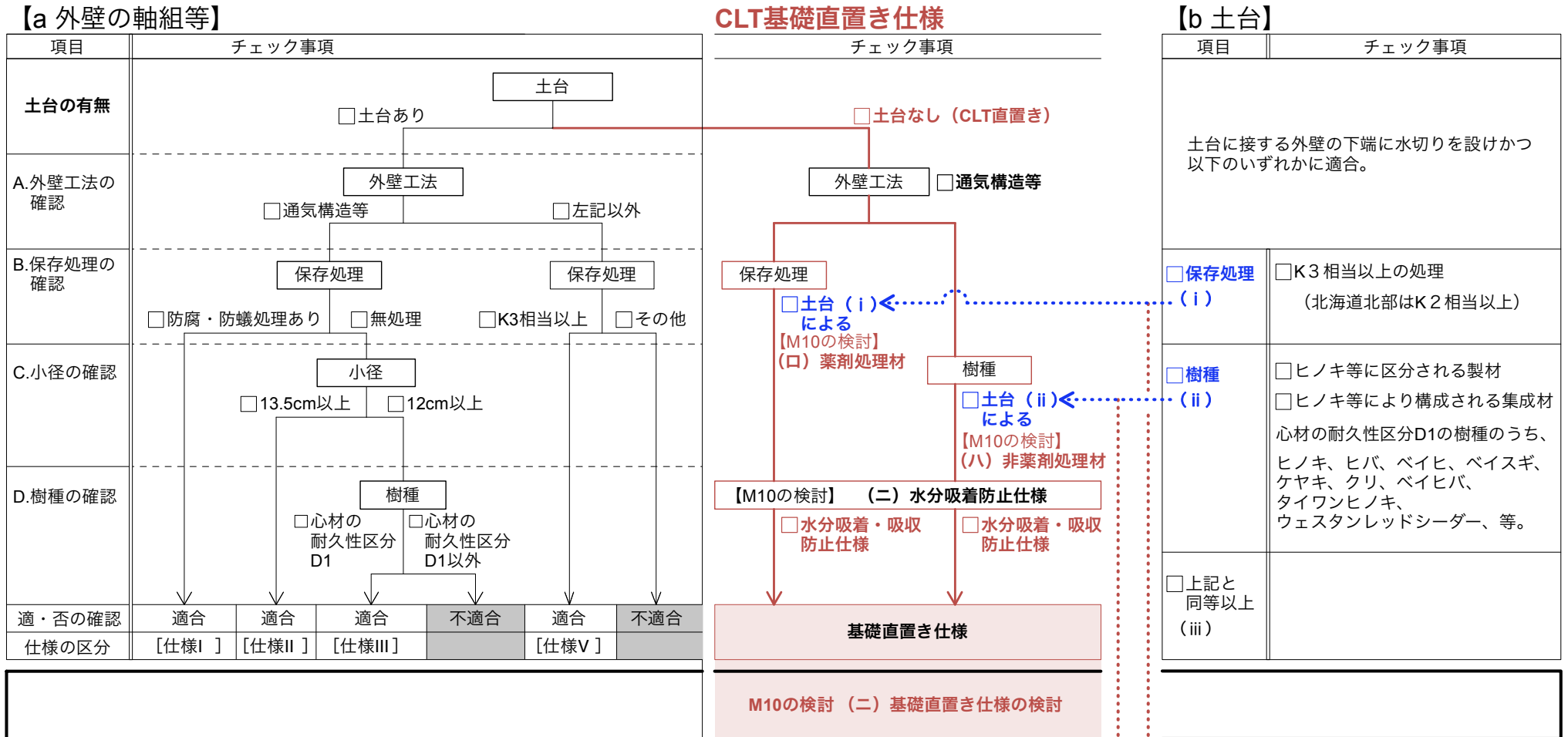
- 本事業は、CLT等を利用した住宅の普及を図るため、
 - CLT等を利用した工法の特徴を踏まえ、
 - 必要な性能検証実験等を行い、CLT等を利用した住宅における**評価方法基準の整備に資する技術的資料をまとめる**ことを目的とする。

※1 直交集成板（CLTパネル）、集成材厚板パネル、LVLパネル、NTL（Nail Laminated Timber）、DLT（Dowel Laminated Timber）、等の大断面木質材料

事業の内容……評価方法基準 劣化対策等級 3 と本事業の検討との対応



事業の内容……評価方法基準 劣化対策等級3 と本事業の検討との対応



- (二) 【課題】土台なしは現行基準には定めがない

【検討】

 - 土台と同等に水分吸着・吸収を防止する仕様

(ハ) 【課題】心材CLTの製造は未検証

【検証】

 - 製造可能性：技術・コスト・強度等
 - 製造規格の位置付け

(ロ) 【課題】CLT加圧注入は基準が未整備

【検証】

 - 製品処理：浸潤度の基準等
 - ラミナ処理：接着性能・製品強度等

調査・検討のフロー

R3

(イ) CLT等を利用した事例の収集・整理

- ・CLT等を利用した住宅の劣化対策工法事例を調査し、
- ・課題の評価方法基準における位置づけを区分する。

- ① 雨水の滞留抑制
- ② 内部からの結露水等の滞留抑制
- ③ 設備漏水の滞留抑制

事例より、
課題を抽出

(二) 基礎直置き仕様の検討資料

R4

追加調査と課題抽出

1. CLTと基礎の取り合い形状
2. 外壁通気工法
3. 内部側の防湿

R5

評価方法基準の整備に資する技術資料の検討

(ロ) 薬剤処理材の性能検証

外壁通気工法と組み合わせる保存処理の仕様として薬剤処理CLTを選択することができるかを検証。

「保存処理直交修正板（CLT）の日本農林規格に資するデータ収集・調査事業（日本木材防腐工業組合）」の成果を共有

1. 製造技術の開発
2. 製造基準・品質基準
3. 耐候性要求性能把握
4. 耐久性要求性能把握

1. 製造工程・性能評価
2. 品質基準案
3. 耐候性要求性能
4. 耐久性要求性能

(ハ) 非薬剤処理材の性能検証

外壁通気工法と組み合わせる保存処理の仕様として心材CLTを選択することができるかを検証。

- ・心材CLTの課題の抽出
- ・製造実験、強度試験の計画

1. 製造実験
2. 強度試験

1. 規格・基準への位置づけの検討

(二) 基礎直置き仕様の検討

CLT等をコンクリート基礎上に直接設置する場合について、実験により水分吸着防止性能を検証し、評価方法基準に位置付けられる基礎直置き仕様に資する技術資料をまとめる。

- ・水分吸着防止性能による劣化対策評価の検討
- ・試験方法の検討
- ・含水率計測方法の検討

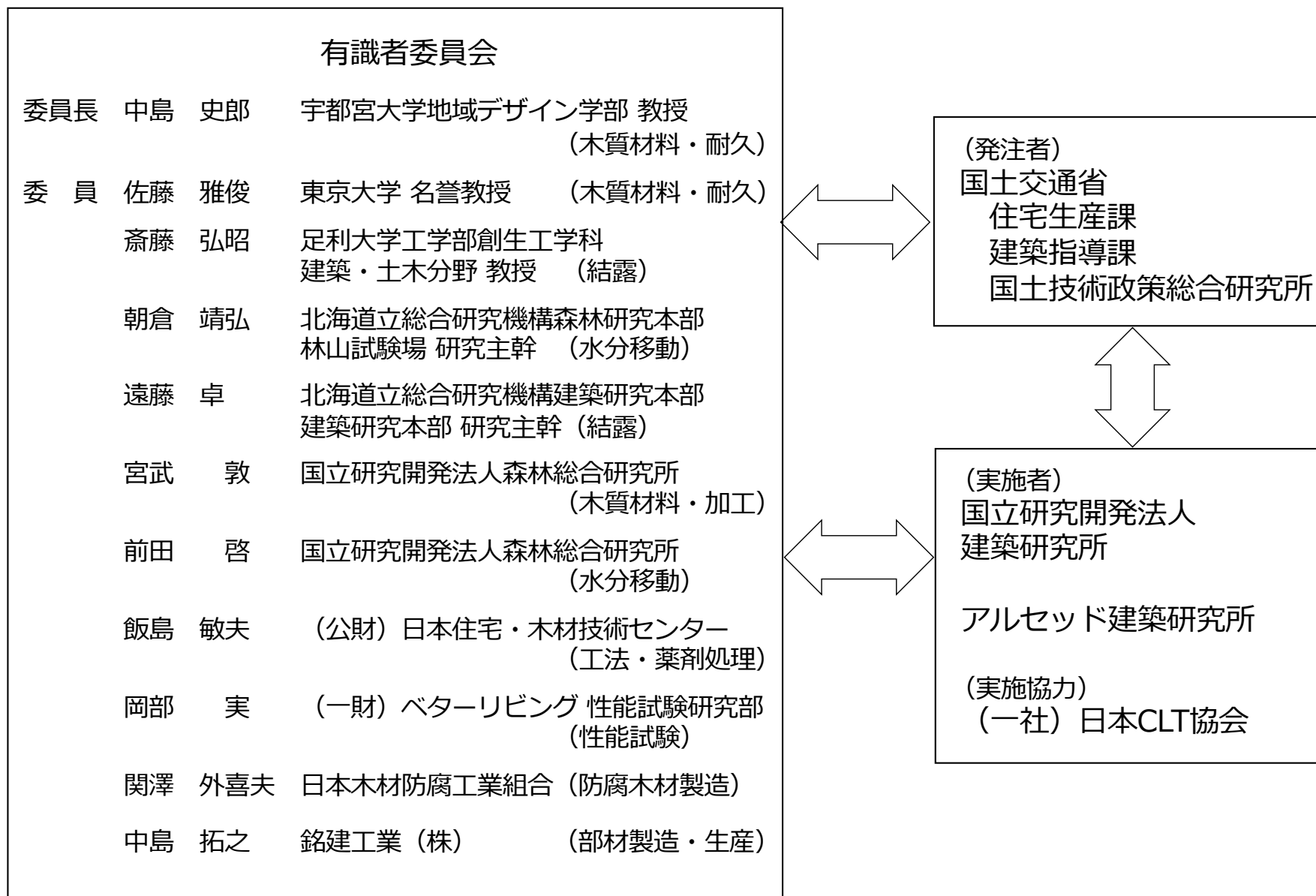
基礎直置き仕様の提案

水分吸着性状の把握

1. 水中浸漬による水分吸着実験

1. 水分吸着・吸収防止仕様の検討

検討体制



(口) 薬剤処理材の性能検証

基礎直置き仕様として水分吸着・吸収防止仕様と組み合わせる薬剤処理CLTの規格を検証するため、

「保存処理材条件を考慮した直交集成板（CLT）の

日本農林規格化に資するデータ収集・調査」（日本木材防腐工業組合）

の成果を共有した。

1. 保存処理条件を考慮した直交集成板 (CLT) の日本農林規格化に資するデータ収集・調査事業

1. 製造工程の異なる保存処理CLTの製造技術の開発と性能評価

内容：直交集成板の日本農林規格で求められる品質及びJAS製品に与えられる各種基準強度について、保存処理CLTを対象にデータ収集することを目的に、製品処理およびラミナ処理により保存処理CLTを試作し、その品質及び強度性能等を明らかにした。

- ① **製品処理による保存処理CLTの製造：**乾式・湿式に関わらず一定の品質が確保できる可能性が示された。
- ② **ラミナ処理による保存処理CLTの製造：**レゾルシノール樹脂接着剤の使用により安定した性能を確保しうるものと考えられた。その場合・高周波過熱による接着法を用いると生産効率の向上が可能であることが明らかとなった。
- ③ **接着剤：**水性高分子イソシアネート樹脂は、レゾルシノール樹脂に比べて剥離率が高くなったことから、使用環境を限定するなどその利用は慎重に検討する必要があることが示唆された。
- ④ **5層5プライCLTの製品処理：**寸法制度と含水率で一部基準を超える場合があった。測定箇所の選択等選定にあたって手順あるいは水溶性薬剤注入後の適正な乾燥スケジュールについて今後検討する必要がある。
薬剤の浸潤度、吸収量について一部基準を満たさなかった部分もあり、今後、注入条件や薬剤濃度について検討する必要がある。

2. 保存処理CLTの規格に求められる品質基準案の作成

内容：直交集成板の日本農林規格で保存処理CLTに求められる各種品質項目について、評価方法や評価基準を提案することを目的に、これまで明らかになった各種条件で製造された保存処理CLTの品質、強度性能等に基づいて、日本農林規格に必要となる品質基準、試験手順を検討した。

- ① **ラミナ処理による保存処理CLTの製造：**通常の手順・基準で品質が確保し得ることが分かった。
- ② **製品処理による保存処理CLTの製造：**浸潤度への要求水準を緩和することで一定品質の製品が製造可能であることが分かった。ただし今後、品質確保のための具体的な手順・基準作成には適正製造条件の確認が必要であり、また浸潤度の要求水準を緩和した場合には、それによって製造した製品の使用箇所などについて別途検討が必要。

進捗：CLTの日本農林規格化に向けた基礎的資料の収集は着実に進んでいる。

課題：製品処理についてはCLT製造工場と保存処理工場との間での物の流れが一層複雑になることや破壊を伴う検査サンプルの採取が難しくなることなどを背景に、CLTの各種品質項目の測定、評価方法、評価基準に幾つかの検討課題が残されており、検討が必要。

1. 保存処理条件を考慮した直交集成板 (CLT) の日本農林規格化に資するデータ収集・調査事業

3. 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐候性要求性能把握

内容：日射、雨水などの影響が異なる使用環境について、保存処理CLTへの耐候性要求性能を把握することを目的にR2年度から継続している各種塗装を施した保存処理CLTの気象劣化の差について検討した。

- ① **色差：**無処理無塗装の試験体に比べ、加圧処理した試験体に塗装を施した試験体は色差が少なく、CLTの耐候性が向上することが示唆された。
塗装の種類によりその向上度合いは異なり、半透明系より不透明系の方が、また含浸系より造膜系の方が優れた耐候性を示した。
- ② **木口シールの有無：**概ね木口シールなしの方が、木口シール有りよりも変色が大きい傾向が見て取れた。今後の経過観察により、木口シールの劣化抑制効果の検討を進める必要がある。
- ③ **干割れ：**垂直設置より水平設置、木口シール有りより木口シール無しの試験体の方が、幅、深さともに進行していた。
なお、CLTにおける干割れの長さ、幅から深さを推測する方法などは今後検討していきたい課題の一つである。

4. 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐久性要求性能把握

内容：仕様や経年により雨水の影響を受ける使用環境について、バックアップ対策としての保存処理CLTへの要求耐久性能を把握することを目的に、保存処理をした試験体（保存処理TL（トリプルレイヤー）ユニット）の曝露試験と幅はぎ部などを接着した試験体（接着TLユニット）の曝露試験を実施した。

- ① **保存処理TLユニットの曝露試験：**無処理の試験体に比べて、保存薬剤を加圧注入した試験体はいずれも被害度は1以下（ほとんど劣化なし）であるのに対して、無処理の試験体はいずれも被害度が2.7から3.3（最大で5）であることが確認され、無処理の危険性ととも保存処理の有効性が示された。
- ② **接着TLユニットの曝露試験：**幅はぎ接着したTLユニットの含水率はそうでないユニットよりも低いレベルで推移することが確認され、接着が確実な場合は若干ではあるが雨水の侵入を抑制する効果が示された。

まとめ：CLTが劣化リスクの高い環境に置かれる場合には、無処理では数年で使用に堪えない状態まで劣化しているのに対して、ラミナに保存処理や幅はぎ接着が施されている場合には劣化の発生が抑制されることが示された。

(ハ) 非薬剤処理材の性能検証

基礎直置き仕様として水分吸着・吸収防止仕様と組み合わせる仕様に心材ラミナを用いて製造するCLTを選択することが可能かについて検証した。

令和3年度：課題の抽出／実験計画

令和4年度：製造可能性の検証……CLTパネルの製造実験

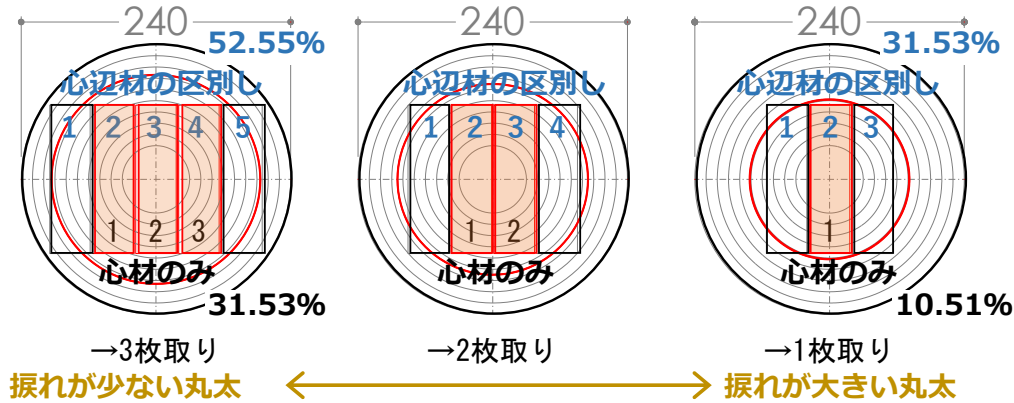
強度性能の検証……CLTパネルの強度試験

令和5年度：製造規格・製造基準の位置づけの検討

1.心材によるCLTパネル（マザーボード）の製造歩留まり

1-1. 丸太からのラミナ製材歩留り（ヒノキ240mmφ）

ヒノキの推定心材率60%……下図赤丸は元末の心材の重なる範囲を示す
 → 図注に採材可能なラミナの枚数と、その時のラミナ歩留りを示す。



丸太から心材ラミナが1枚しか取れなくても**残る部分から**辺材混じりラミナを含む**別製品を採材**することが可能で、**製品全体を見れば**心辺材区別なく製材した場合と同等の歩留まりも可能である。

ただし、**心材ラミナの採材を優先**したことで木取りの効率が悪くなる場合がある。製材所へのヒアリングも行い、歩留まりが**10%程度低下**すると推測した。

製品歩留まりの**低下率**は16%まで大きくなり、**7.6%程度**に近づけることができると推測される。

1-2. 製品（マザーボード）の製造歩留り

製造工程	① 心辺材区別なくラミナを製材		② 心材ラミナ+別部材を製材		③ 心材ラミナを製材	
	工程毎の歩留まり	歩留まり(原木～製品)	工程毎の歩留まり	歩留まり(原木～製品)	工程毎の歩留まり	歩留まり(原木～製品)
原木（丸太）	100%	100%	100%	100%	100%	100%
↓						
原板（ラミナ）	52.55%	100%	42.55%	100%	31.53%	100%
↓						
乾燥、粗取り（グレーディング）	89%	100%	89%	100%	89%	100%
↓						
縦継ぎ、仕上げ切削	87%	100%	87%	100%	87%	100%
↓						
プレス（積層接着）	99%	100%	99%	100%	99%	100%
↓						
製品（マザーボード）	100%	40.28%	100%	32.62%	100%	24.17%

① → ②: ラミナ歩留り-10% (製品歩留り-7.6%)

② → ③: 製品歩留り-16%

2.心材によるCLTパネルの製造検証

【製 造】 グレーディングの結果、心材だけを選別することによる強度低下はラミナの強度区分L10の範囲内に収まっており、強度等級Mx90のCLT製造が困難となるような強度低下は見られなかった。心材ラミナを使ったMx90の製造は可能。

【経済性】 製造工程は通常のCLT製品と同じで、変わるのは心材ラミナを集材し選別する工程のみ。現時点では、心材ラミナ選別コストは薬剤処理コストに比べても安価であり、製品として供給可能と考えられる。

【製造したマザーボード】

マザーボード：厚150×1830×8040

樹 種：ヒノキ（心材ラミナ）

層構成：5層5プライ

強度等級：S90

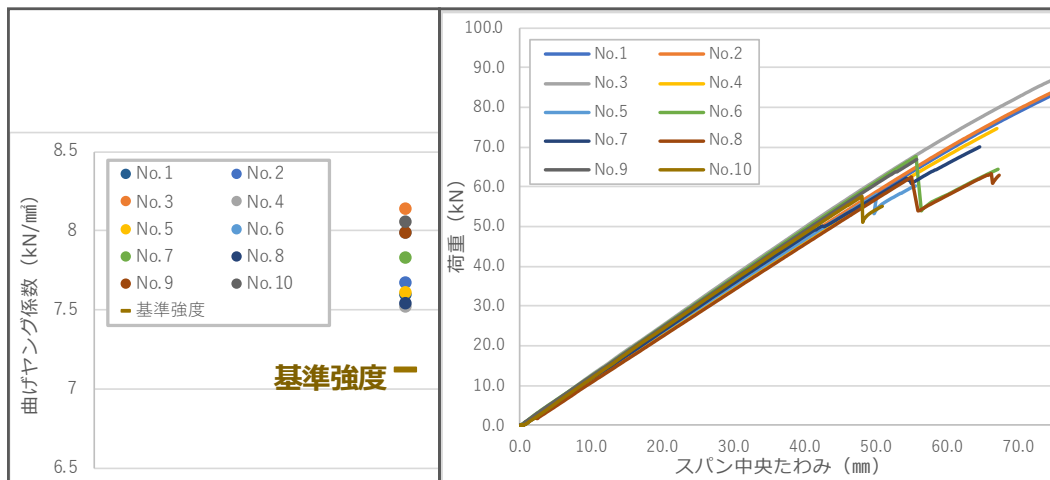
ラミナ寸法：30×122mm

接着剤：イソシアネート系



【曲げ試験】

破壊形態は全て試験体最外層のフィンガージョイント部又は節を起点とする曲げ破壊であった。全ての試験体が基準強度を上回る結果となった。



(曲げ強度)

(荷重・たわみ関係)

【減圧加圧剥離試験の結果】

剥離率は最も高いもので3.6%、その他は0.0%と低い値を示した。（JAS基準値10%）

【ブロックせん断試験の結果】

木破率は最も低いもので90%、その他は100%となりほぼ木破で破断した。（JAS基準値65%）

【JASに準拠した評価】

減圧加圧剥離試験、ブロックせん断試験とも供試した全ての試験片が基準を満たし接着性能が良好であることが示された。

3. 製造規格・製造基準の検討

現状

心材CLTの製造は可能

課題

心材のみで製造するCLTについて規格や基準がないため、**内層まで全て心材であることを証明することが難しい**

対応案

- ① 製造者が心材であることを何かしらの方法で宣言する
- ② 第三者による検査で心材であることを証明する
- ③ **JASに規格を定めて、その規格に従って認証工場が製造する**

JASに規格を定めるには

課題

心材の定義づけをどうやるかが課題

- 心材をどのように定義し、管理・検査するか
- CLT製品になった段階では判定できず、ラミナの段階で管理・検査が必要
- 樹種や産地によって心材を目視判定できるか不明
- 保存処理などと異なり、原材料の特性の差は検査の判定基準を明確に示しにくい

心材をどう定義するか

JAS規格化に向けて

課題

心材をどのように目視判定するか

対応案

- 製造段階で心辺材を管理することは可能
- 心材と辺材を**目視で区別可能なスギを対象**に規格を定め、
 - 心辺材の区別が難しい樹種は、技術的に可能となった段階で規格に加えていく

参考

- ユーロコードには心材率の記載がある

4.参考……ユーロコードにおける心材の定義／製造システムの検討

EN350

木材及び木質系製品の耐久性
- 木材及び木質系材料の生物学的要因に対する耐久性の試験と分類

■ 辺材/Sapwood

成長した樹木において、生きた細胞を含み、樹液を通す木材の外側の部分

- 心材より淡色であることが多いが、樹種によっては心材と区別できないこともある。

■ 心材/Heart wood

成長した樹木において、生きた細胞を含まず、樹液を通さなくなった木材の内側の部分

- 樹種によっては辺材と区別できないこともあるが、辺材よりも色が濃いことが多い。

■ 遷移材（中間材）/Transition wood

辺材と心材の間にある木材の部分

■ 未成熟材/Juvenile wood

樹木の中心部に最も近い木質組織の数本の成長輪の集合で、しばしば 得意な性質を持つ

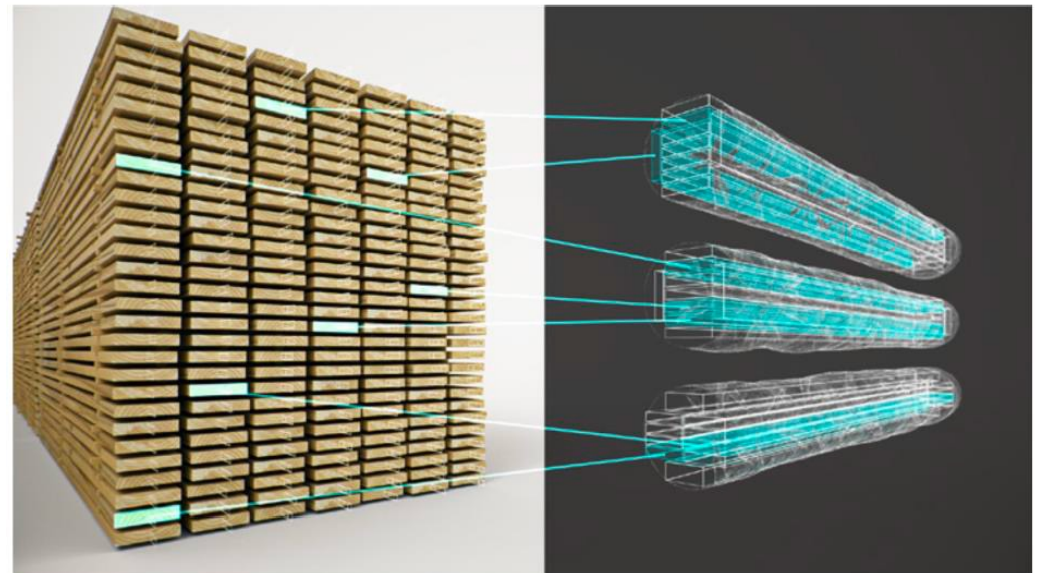
EN350において、明確に**辺材と心材を区別する定量的な指標は見当たらない**。

スギとベイヒの辺材幅は、日本の既往研究データに比べ小さく評価されており適用できない。日本国内の樹種において径級や樹齢の異なる原木の調査などにより検討することが必要と考えられる。

心材だけを用いたCLTを製造するシステムの検討

心材の区別を自動で認識させることができれば、心材ラミナを効率よく採材することができる。

- 製材用の原木スキャナーシステムを応用して、材面の色味を測定し、基準値を設定できれば製材ライン上で心材を自動判定した採材の可能性がある。
……CT Log（マイクロテック社/イタリア）等
- ヒノキの心材の色の違いを色指数で現し、色の違いによる防蟻性を確認した研究があり、スキャンによる自動判別に応用できる可能性がある。
……雉子谷佳男（宮崎大学）



原木のスキャンからラミナまでのトレースのイメージ

(二) 基礎直置き仕様の検討

基礎直置き仕様として薬剤処理、心材のD₁特定樹種と組み合わせる水分吸着・吸収防止使用について検討した。

令和3年度：1. 水分吸着防止性能による劣化対策評価の検討

2. 試験方法の検討

3. 含水率計測方法の検討

令和4年度：1. 水分吸着性状の把握……水中浸漬による水分吸着実験

2. 水分吸着防止仕様の検討

令和5年度：1. 水分吸着防止仕様の検証……ねこ土台浸漬実験

2. 金物の結露の影響の検証……床下結露実験

3. 基礎直置き仕様の提案

1-1. CLTと土台の水分吸着・吸収性状の検証……実験の目的

■ 直接水中に浸して水分の吸着性状を検証 ……【水中に浸漬する極端な条件で実験】

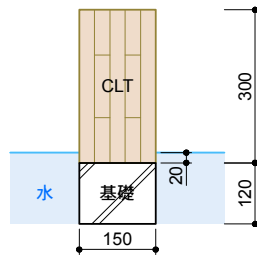
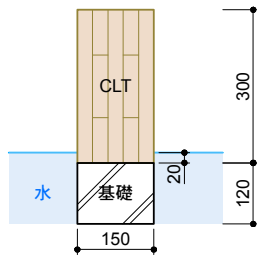
CLT

A.CLT

各3体

A-1. スギCLT

A-2. ヒノキCLT



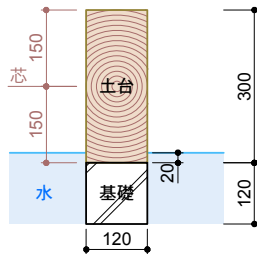
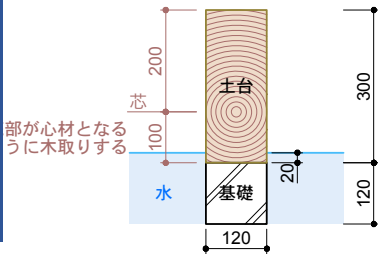
土台

B.土台 ……水分吸着防止性能の比較対象

各3体

B-1. ヒノキ心材

B-2. スギ (辺材含む心持ち材)



1. CLTが水分をどのように吸着するか

CLTが水分をどのように吸着するかを実験により定量的に把握する。

2. 土台(製材)が水分をどのように吸着するか

製材土台が水分をどのように吸着するかを実験により定量的に把握する。

土台と同じように水分吸着を抑制するCLT直置き仕様を検討する(R4~R5)

■ RC基礎を介して水分の吸着性状を検証

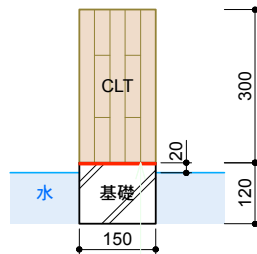
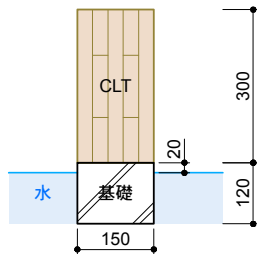
CLT

C.CLT

各2体

C-1. スギCLT

C-2. スギCLT+アスファルトルーフィング

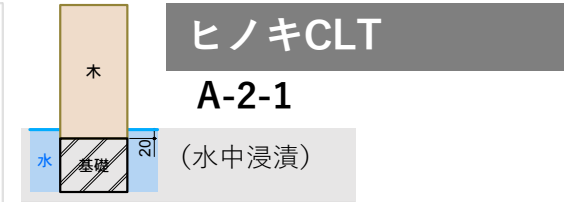


3. 基礎を介して水分をどのように吸着するか

コンクリート基礎からの水分移動を検証する

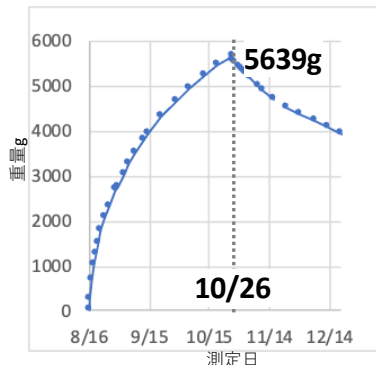
1-2. CLTと土台の水分吸着・吸収性状の検証……実験の結果

■ 基礎に直置きしたCLTを水中に浸漬

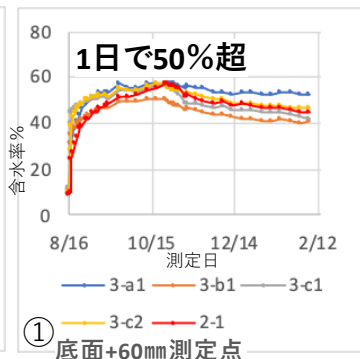


- 浸漬 1日 で含水率50%超え
- 71日で 5,639g 水分を吸収 ←

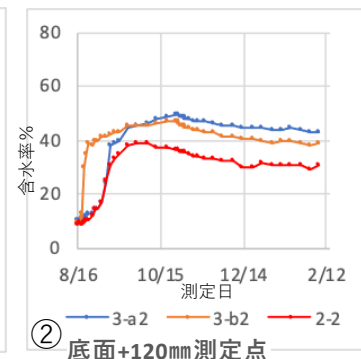
水分に接するとCLTは製材土台の10倍の速度で水分を吸着・吸収する。



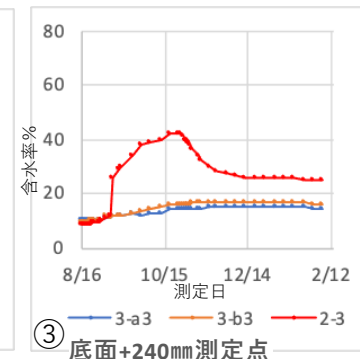
重量変化 (g)



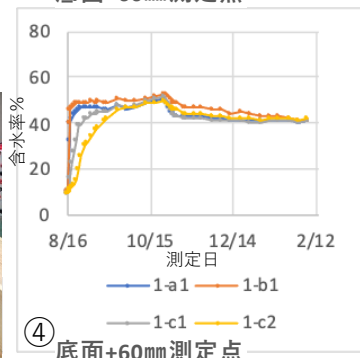
① 底面+60mm測定点



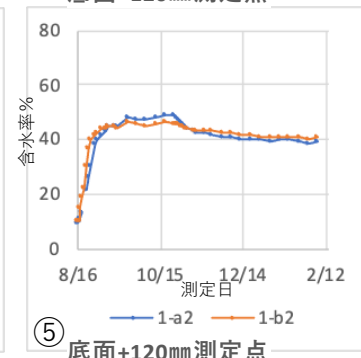
② 底面+120mm測定点



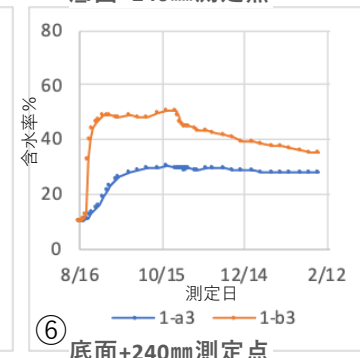
③ 底面+240mm測定点



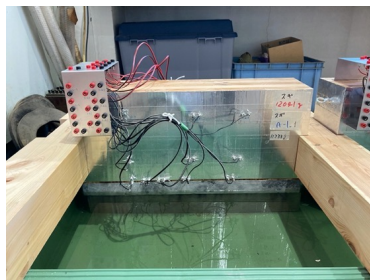
④ 底面+60mm測定点



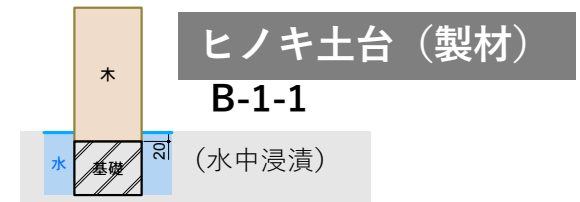
⑤ 底面+120mm測定点



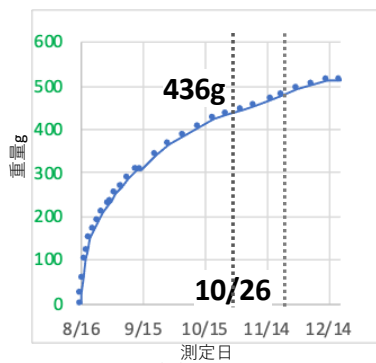
⑥ 底面+240mm測定点



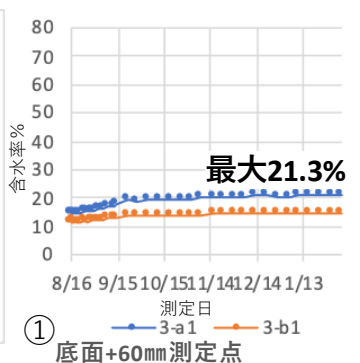
■ 基礎に直置きした土台を水中に浸漬



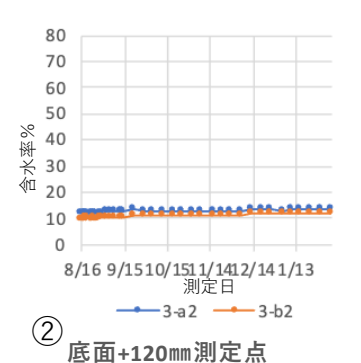
- 71日で 436g 水分を吸収
- 含水率の最大値は21.3%



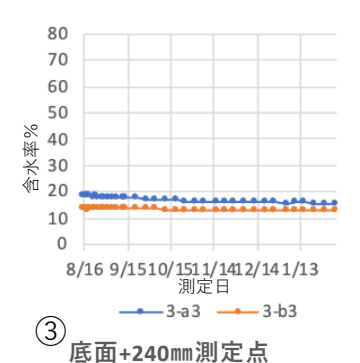
重量変化 (g)



① 底面+60mm測定点



② 底面+120mm測定点

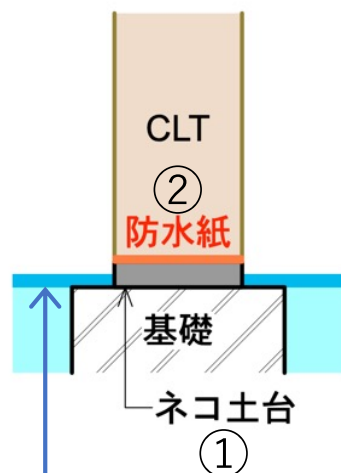


③ 底面+240mm測定点

2-1. ねこ土台浸漬実験……実験の目的と内容

■ 事後的漏水があってもCLTの底部が浸水しない仕様を検討する

- ① **ネコ土台**を敷いて、基礎天端に水分が滞留してもCLTの底面が浸水しない構造とする。



ネコ土台 ...材質の候補

- モルタル
- 金属

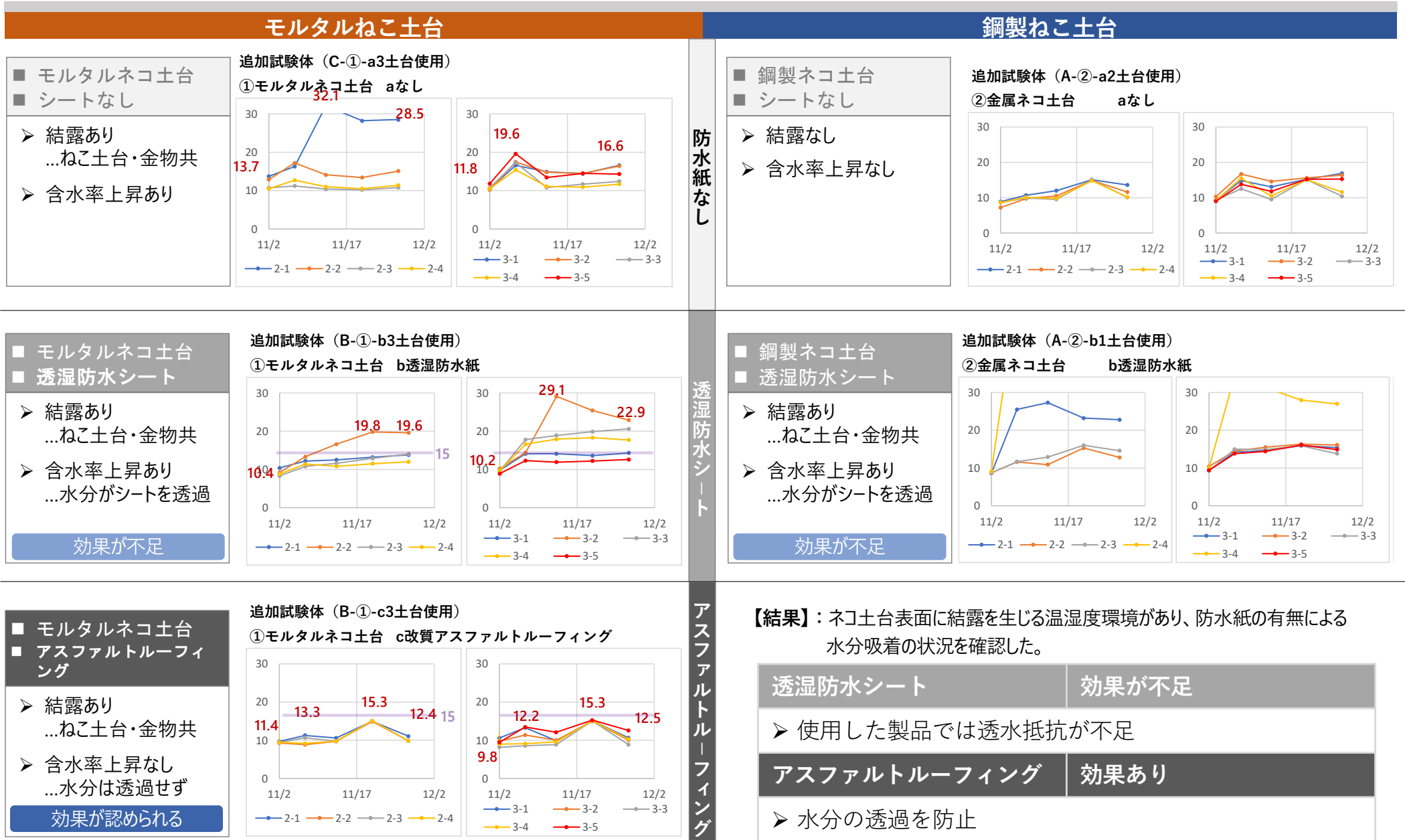
- ② **防水紙等**を敷いてネコ土台を介した水分吸着を防止する。

防水紙等 ...材質の候補

- アスファルトルーフィング
- 透湿防水シート
- なし

ネコ土台の**高さの半分まで浸水**させて、基礎天端に事後的水分滞留状態を再現して**CLT底面からの水分吸着を検証**する。

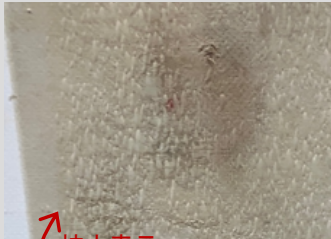
2-2. ねこ土台浸漬実験……実験の結果



2-3. ねこ土台浸漬実験……防水紙の効果

■ 透湿防水シート : 水分を透過した

透湿防水シートの状態 12/18

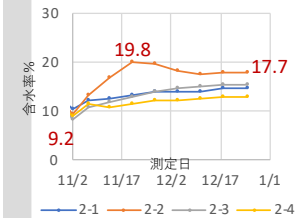


拡大表示



表面に水分の透過と思われる変色が認められる。ステープルの孔も水分透過を起こすため、施工上の留意が必要。

弱軸層の含水率(2層目)%

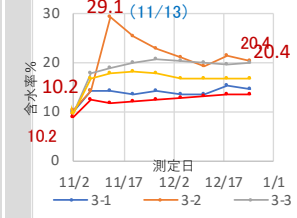


含水率の上昇あり_2-2

重量変化 g



強軸層の含水率(3層目)%



含水率の急上昇あり_3-2

含水率の上昇あり_3-3、3-4

モルタルねこ土台の含水率%



ねこ土台の状態 11/7 (結露を観察した日…12/18は観察されず)

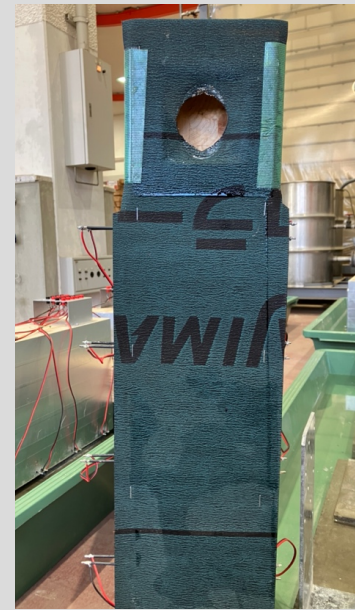


11/7に観察されたねこ土台の結露の状況。ねこ土台の表面全体に結露を生じた。

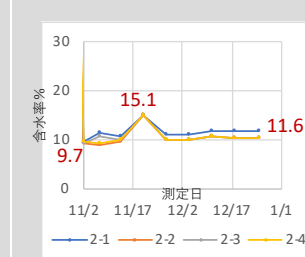
■ アスファルトルーフィング : 水分の透過を防止した

透湿防水シートの状態 12/18

表面に水分の付着による変色が認められる。

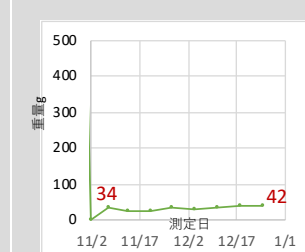


弱軸層の含水率(2層目)%



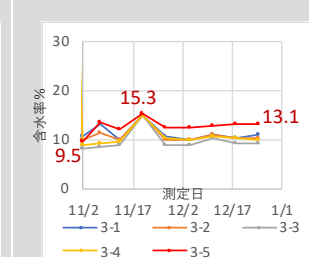
含水率ほぼ一定

重量変化 g



重量微増

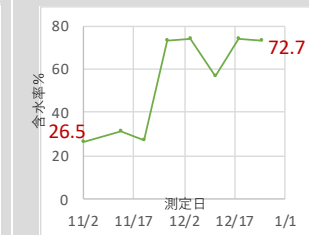
強軸層の含水率(3層目)%



含水率ほぼ一定

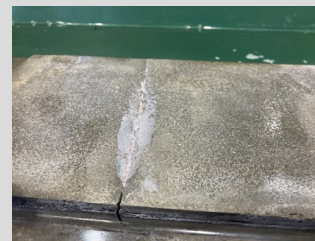
座彫部で微増_3-5

モルタルねこ土台の含水率%




含水上昇あり

ねこ土台の状態 12/18

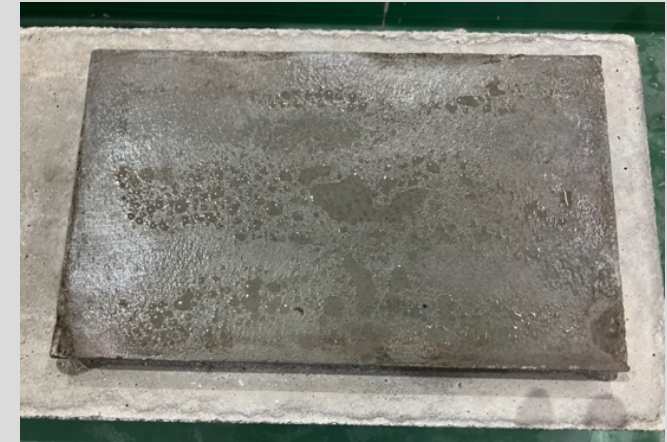


モルタルねこ土台は全面的に結露が生じた。基礎緊結金物はベースプレートの上に結露を生じた。

2-4. ねこ土台浸漬実験……水分滞留の原因

水分滞留の原因	考察
<p>① モルタルねこ土台がその内部を通して、浸漬する水分を吸い上げることはない</p>	<p>初期のモルタルねこ土台周囲の水染みから、水槽の水の吸い上げを想像した。その後染み跡は残るものの、ねこ土台周囲の水分発生は継続していない。水と接する部分での染み込みは長期にわたる水分滞留の原因にはならないと思われる。</p> <p>【PC基礎を浸漬した重量変化による参考データ】</p> <p>下記は120mm角のコンクリート基礎を2段に積んで浸水させ、重量変化を測定したデータである。</p>  <p>どちらも水槽の水を吸収するが一定量以上にならない。両者の水分吸収量を比較すると、水面以下に浸漬した部分が一定の水分を吸収するが、浸漬していない上部にまで吸収は進まないと想像され、同じことがモルタルねこ土台でも生じており、水面の高さ程度までで水分の浸透が止まり、上面には達しないものと思われる。</p>
<p>② モルタルねこ土台の割れ目は、毛細管現象による浸水の他、結露を誘引する場合がある</p>	<p>2つに割れたねこ土台2体の水分発生量が他に比べて多かったことから、毛細管現象による浸水が想像されたが、その後も割れのある2体の水分滞留は多いものの、割れ目部に水分が観察されなくなった。毛細管現象の他に、割れ目に水分が浸水して水と接する面が増えたことにより結露が誘発された可能性が考えられる。</p>
<p>③ モルタル製、鋼製とも結露により水分滞留が生じる</p>	<p>水面近くは蒸発により室内空気より水蒸気量が増して、モルタルねこ土台の温度が露点に近づいている可能性がある。表面温度が露天に近い状態で、CLTとの接触の仕方、隙間など試験体ごとの微妙な設置条件の違いが、結露の有無に影響している可能性が考えられる。</p>

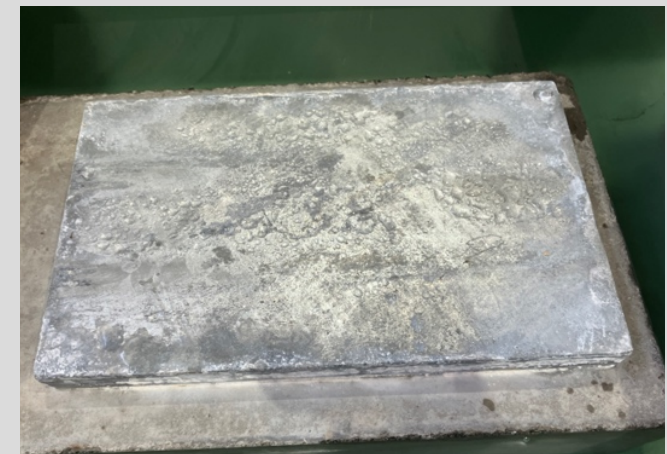
モルタルねこ土台 A-①-b2



11/7 全面に水分滞留あり

図 4-115 モルタルねこ土台に生じた水分滞留

鋼製ねこ土台 B-②-a3



9/7 全面に水分滞留あり

図 4-116 鋼製ねこ土台に生じた水分滞留

3-1. 床下結露実験……実験の目的と内容

【実験の目的】

■ CLTをコンクリート基礎に緊結する金物は、建築物の室内と屋外の空気環境および、建築の室内外の防湿性能の有無によって結露を生じる可能性がある。

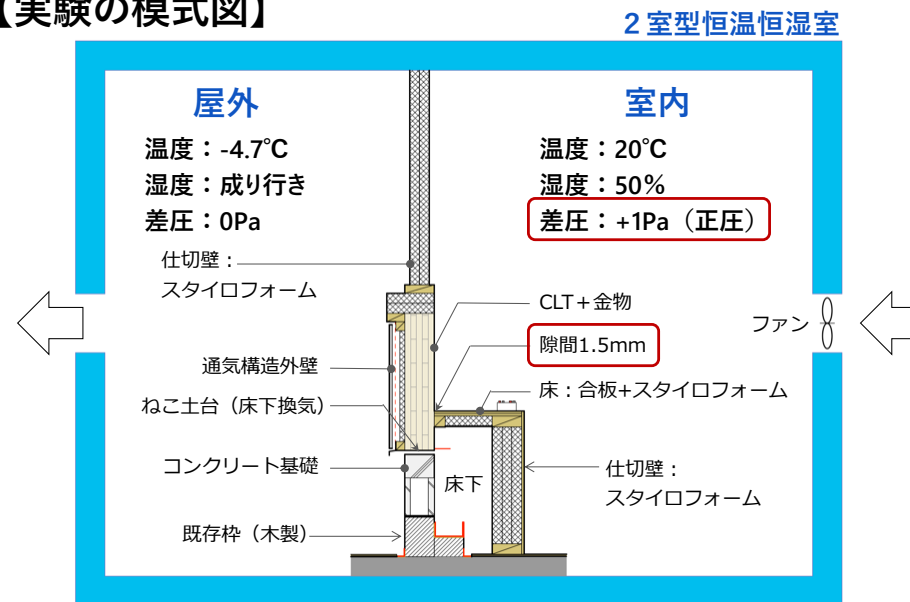
結露の発生状態と、金物に接するCLTがどのように水分を吸着・吸収するかを実験より検証した。

本実験は平成28年度林野庁委託事業「CLT建築物等普及促進委託事業（CLTの性能データ収集・分析）、木構造振興株式会社」において実施された結露実験を参考に計画したものである。

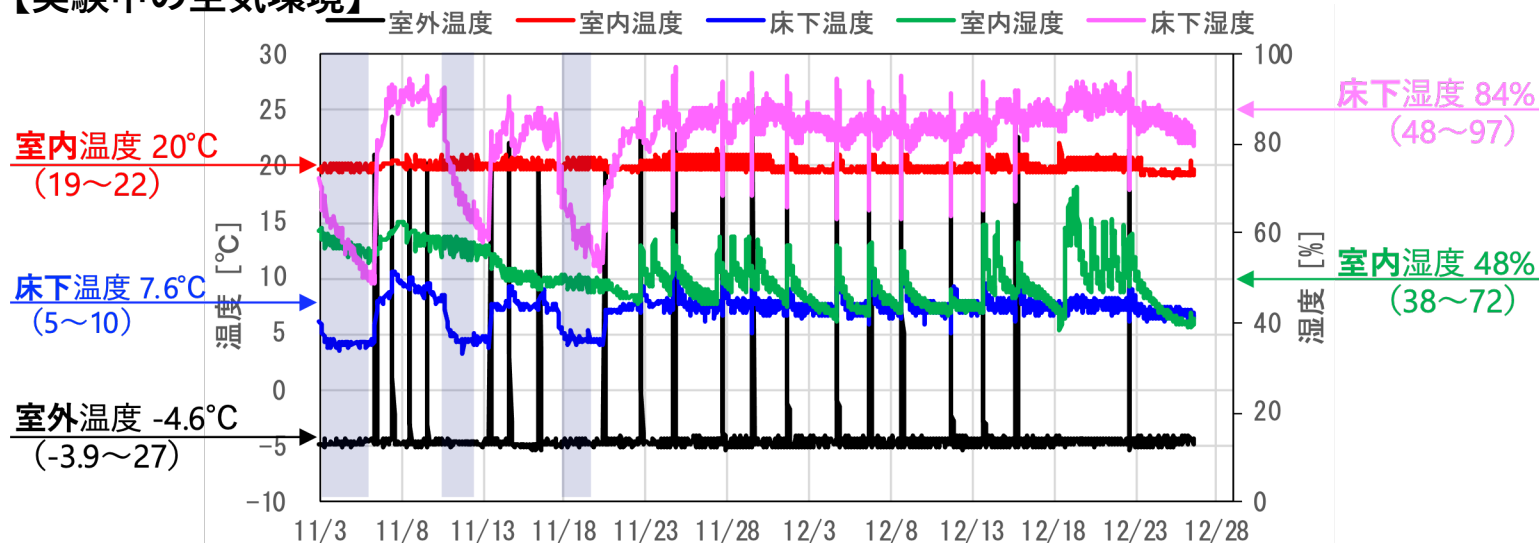
この実験で、床と壁の取合い部に気密テープを張って室内空気の床下への漏気を遮断すると床下金物に結露が生じないことが確認されている。

本実験では、意図的に床と壁の取合い部全長に渡って1.5mmの隙間を設け、室内を1Paに加圧して結露が発生する状態を保つ環境をつくって実施した。

【実験の模式図】



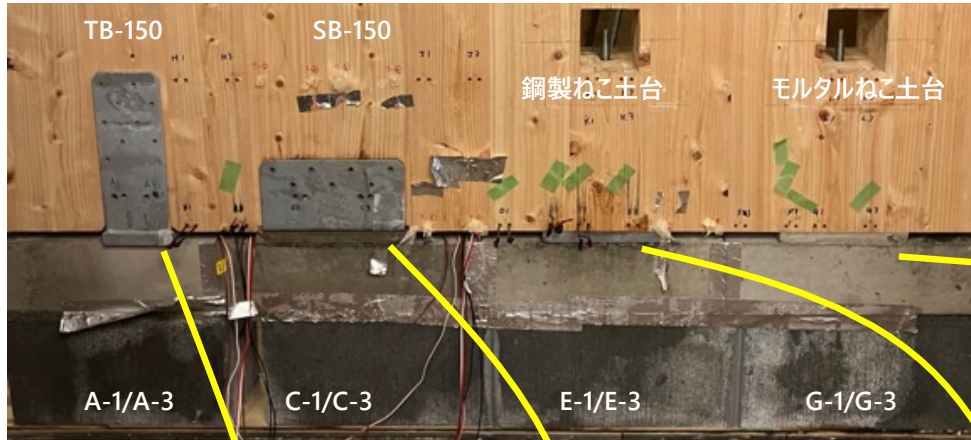
【実験中の空気環境】



3-3. 床下結露実験……実験の結果 (目視 1)

【床下側】 SB-15と鋼製ねこ土台に結露を生じた

【床下側】金物結露あり/木部水分吸着あり



【屋外側】 結露なし

【屋外・通気層側】金物結露なし/木部水分吸着なし

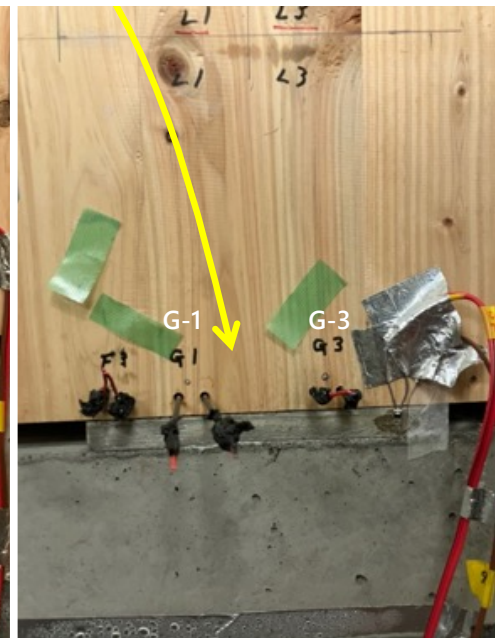
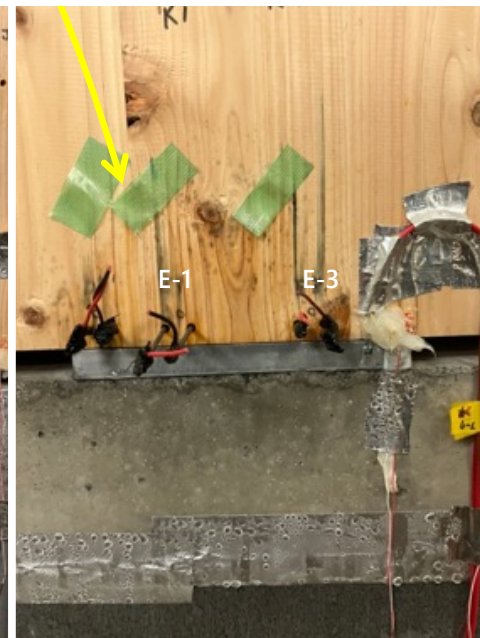
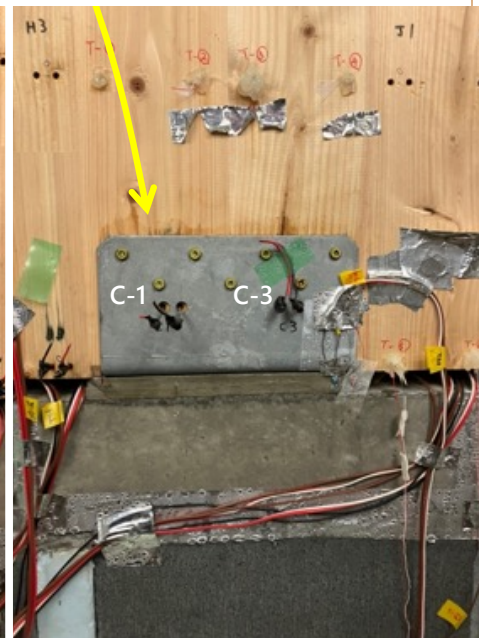


▼金物結露：なし/木部水分吸着：なし

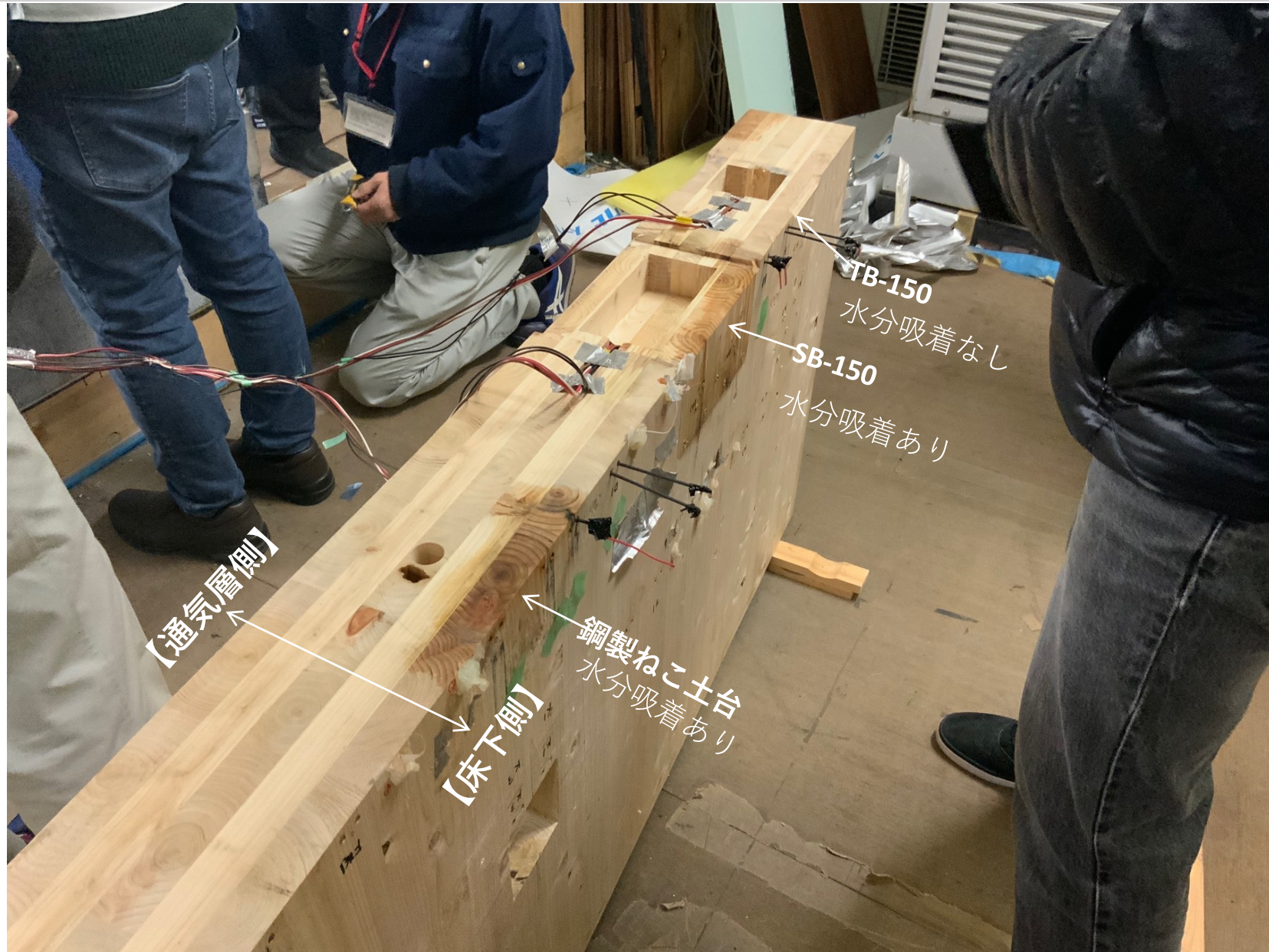
▼金物結露：あり/木部水分吸着：あり

▼金物結露：あり/木部水分吸着：あり

▼モルタル結露：なし/木部水分吸着：なし



3-4. 床下結露実験……実験の結果（目視2）



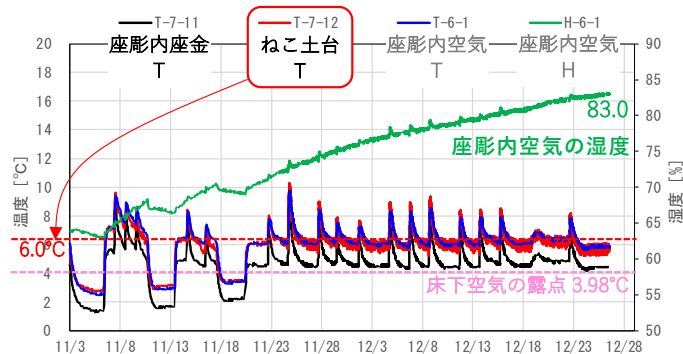
3-5. 床下結露実験……実験の結果 (CLTの内部含水率 1)

(1) 引張金物BT-150

【結果】結露なし

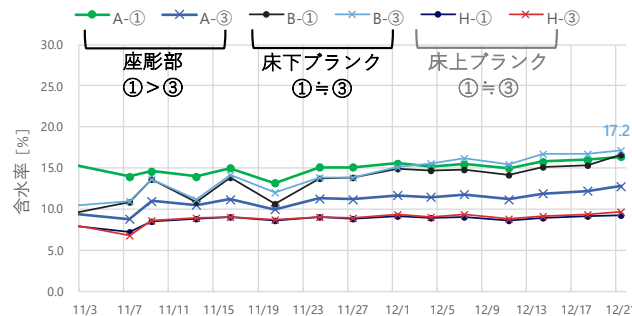
【試験体の温湿度】

TB-150 金物の床下側 T-7-12 の平均温度は 6.0°C、床下空気の露点温度より高く、金物は結露しなかった。



【CLT の内部含水率】

座堀部の 1 層目ラミナ A-①の含水率が 3 層目ラミナ A-③より高く、室内から供給される水蒸気の影響を感じさせるが、時間経過に伴う含水率の上昇は微量である。



【結露と CLT の水分吸着】

TB-150 金物は上部が床上に露出しておりその表面温度は平均 12.8°C、この影響で床下ベースプレート部の表面温度も平均 6.0°Cとなり、結露を生じなかったと思われる。

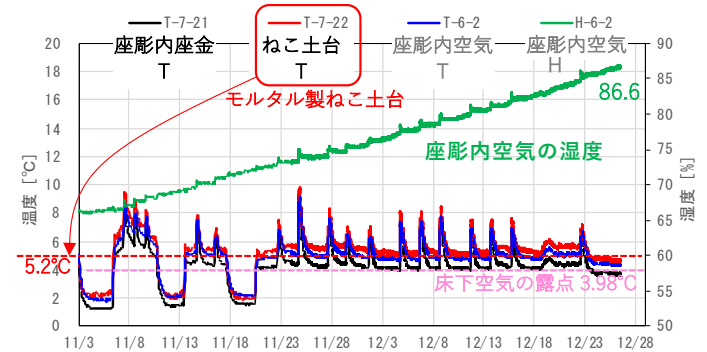


(2) せんだん金物ST-150 + モルタルねこ土台

【結果】結露あり→ 1 層目ラミナの含水率が上昇

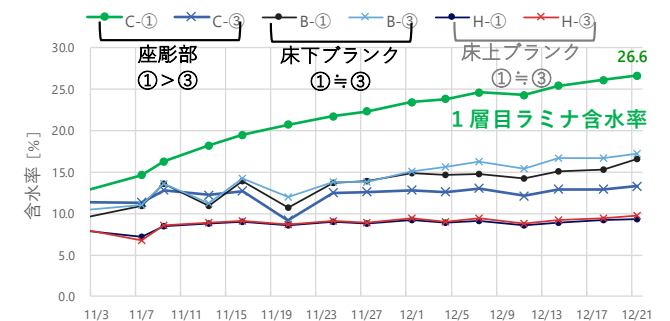
【試験体の温湿度】

SB-150 金物は露点以下となり結露を生じたと考えられる。モルタル製ねこ土台の表面温度は露点より高い平均 5.2°Cであり、金物の結露水が流下してねこ土台にも水分が吸着したと考えられる。



【CLT の内部含水率】

SB-150 金物に接する座彫内 1 層目ラミナの含水率 c-①が継続して上昇。金物の結露水を吸着・吸収したことを解体時に目視確認した。3 層目ラミナ c-③の含水率はほぼ一定で、影響が小さい。



【結露と CLT の水分吸着】

SB-150 金物は、床下側の垂直面が結露しこれに接する 1 層目ラミナが水分を吸着。金物厚の 4.5mm 切削部の隙間から床下空気が漏れし 2 層目、4 層目のラミナがこの木口断面より水分を吸着・吸収した。

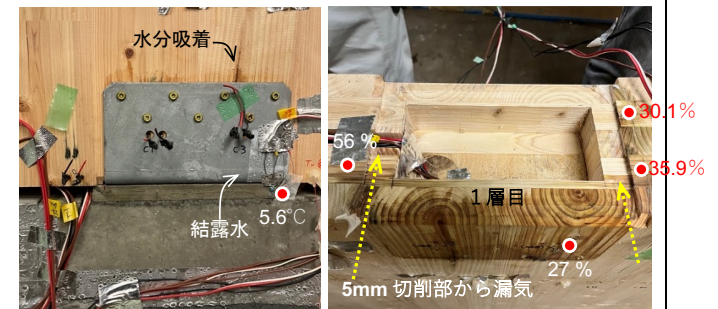


図 4-105 基礎直置き仕様の CLT 内部含水率

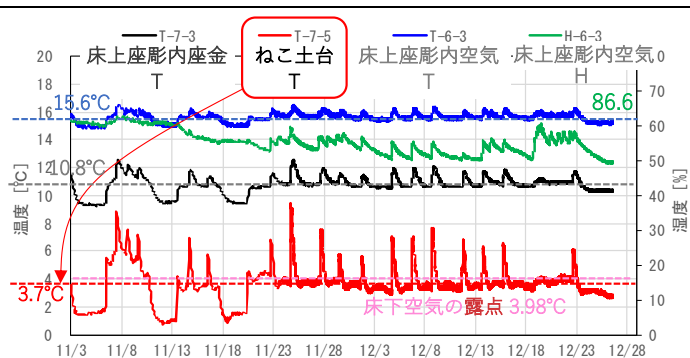
3-6. 床下結露実験……実験の結果 (CLTの内部含水率 2)

(3) 引ボルトM16 + 鋼製ねこ土台

【結果】結露あり→1層目ラミナの含水率が上昇

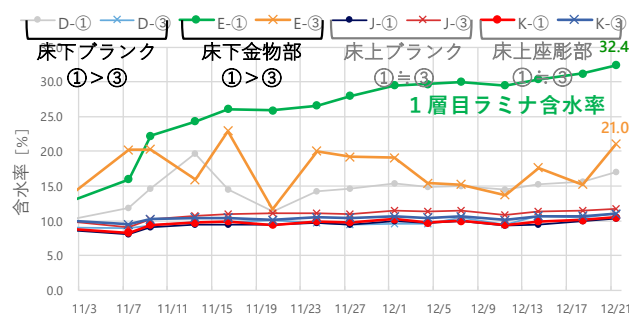
【試験体の温湿度】

鋼製ねこ土台の表面温度は平均 3.7°C でほぼ一定。床下空気の露点温度、平均 3.98°C を下回り結露が発生した。床上座掘部の金物 10.8°C は座掘部空気の 15.6°C より低く、床下温度からの影響が感じられる。



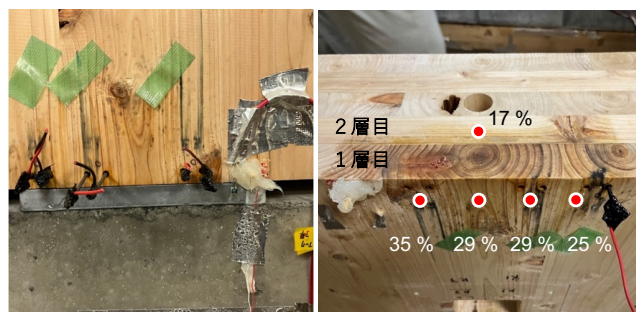
【CLT の内部含水率】

鋼製ねこ土台は床下に面する木口面で結露が進行し、これに接する1層目ラミナ E-①の含水率が最も上昇、3層目 E-③がこれに次ぐ。凸凹の原因は不明。D-①はラミナの一部分が鋼製ねこ土台に接する。



【結露と CLT の水分吸着】

鋼製ねこ土台の結露水の吸着・吸収は1層目ラミナに集中し、2層目以降には影響がない。2層目の底部表面に若干の変色が認められるが含水率は17%であった。

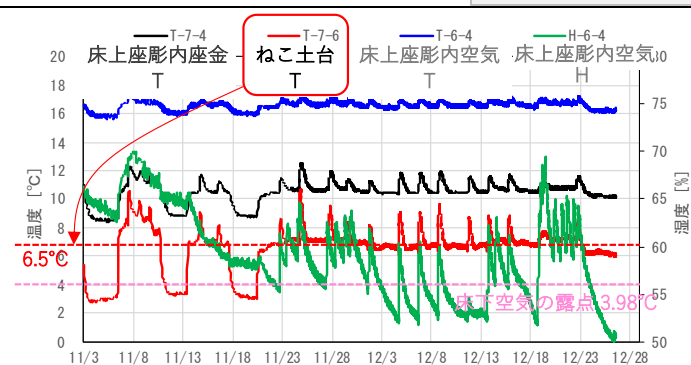


(4) 引ボルトM16 + モルタルねこ土台

【結果】結露なし

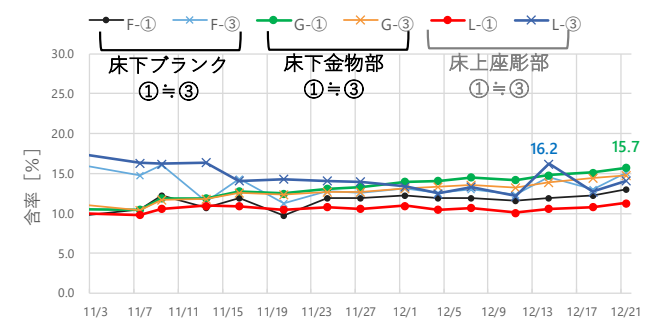
【試験体の温湿度】

モルタルねこ土台の表面温度は平均 6.5°C でほぼ一定。床下空気の露点温度 3.98°C より 2.5°C ほど高く、床下空気温度 7.2°C に近い。



【CLT の内部含水率】

CLT 内部の含水率はごく微増するもほとんど変化がない。

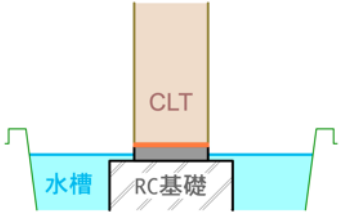


【結露と CLT の水分吸着】

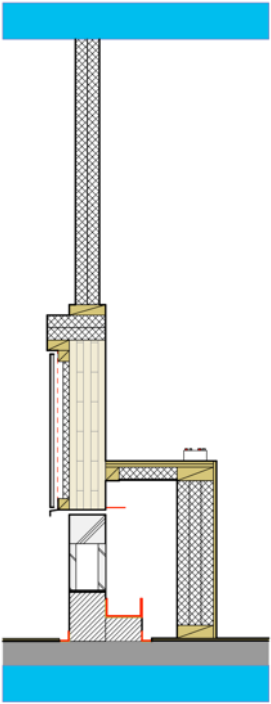
モルタルねこ土台には結露を生じなかった。



4-1. 水分吸着・吸収防止に有効な仕様……ねこ土台浸漬実験より

実験項目	実験内容	結果・考察
<p>1 基礎を浸水させ、ねこ土台を介する水分吸着防止を検証</p> 	<p>ねこ土台を厚さの下半分まで水に浸漬した時のねこ土台における水分発生状況と、その水分の CLT への吸着防止に有効な仕様を検証した。</p> <p>※現象を把握するため、現実には継続しがたい極端な状況を設定（ねこ土台厚の下半分まで常時水没）</p>	<p>〔結果〕ねこ土台天端に水分滞留を生じ、これに接する CLT が水分を吸着・吸収して含水率が上昇。</p> <p>〔原因〕主に結露</p> <ul style="list-style-type: none">✓ 水槽内の水面近くは相対湿度が高く、水と接するねこ土台のわずかな温度低下と相乗して結露が生じやすい。✓ モルタルねこ土台が、その天端面まで水分を吸い上げて滞留させることはない。✓ 割れ目の水分滞留は、毛細管現象による吸上げのほか、滞留水に接して温度が低下し結露することも考えられる。 <p>〔対策〕防水紙を敷く</p> <ul style="list-style-type: none">✓ アスファルトルーフィングはねこ土台に生じた水分の CLT への吸着を防止する効果がある。

4-2. 水分吸着・吸収防止に有効な仕様……床下結露実験より

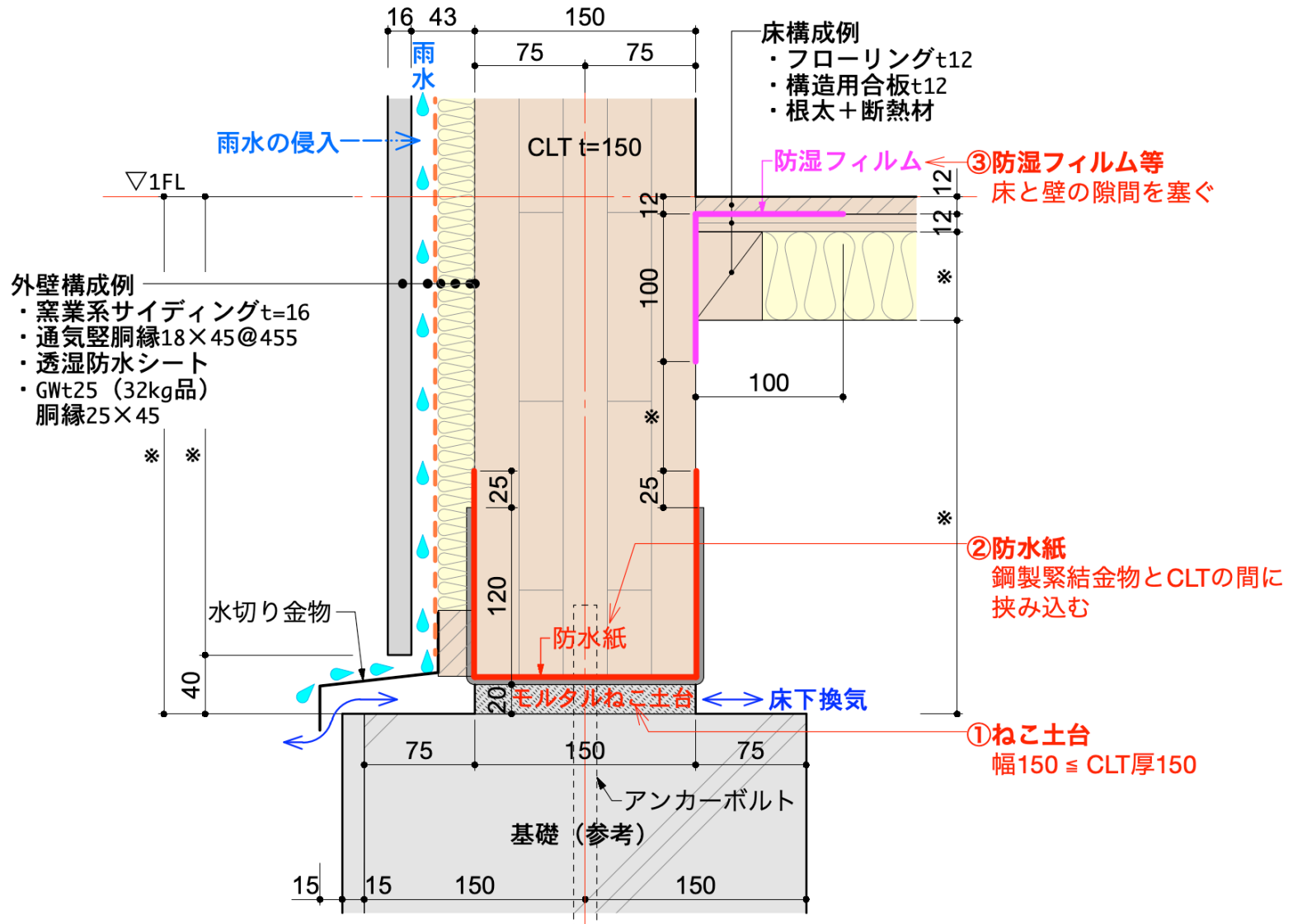
実験項目	実験内容	結果・考察
<p>2 建物の基礎廻りを再現し、結露水の吸着・吸収性状を検証</p> 	<p>冬型の結露における内外温湿度を設定し、室内から床下へ漏気させて結露を誘発、結露水の CLT への水分吸着・吸収性状を検証する。</p> <p>※現象を把握するため、現実には継続しがたい極端な状況を設定（床と壁の取合い部に連続する 1.5mm の隙間を作り室内を 1Pa に加圧）</p>	<p>〔結果〕 金属部分に水分滞留を生じた。 〔原因〕 結露 〔対策〕 防水紙を挟む／室内からの漏気を遮断する</p> <ul style="list-style-type: none">✓ CLT と金属の間に防水紙を挟んで水分吸着を防止する。✓ 室内から床下への漏気を遮断する。 <p>〔結果〕 モルタルねこ土台は結露を生じず ✓ モルタルねこ土台は、結露防止上有効。 〔原因〕 表面温度が床下空気の露点温度よりも高く保たれた。</p> <p>〔結果〕 基礎緊結金物の座彫内湿度が上昇 〔原因〕 床下空気の水蒸気が座彫内に侵入 〔対策〕 床下空気と座堀内空気の繋がりを断つ</p> <ul style="list-style-type: none">➤ 実験ではセンサー配線用の溝より漏気。CLT をねこ土台に密着させて隙間をなくす。

4-3. 水分吸着・吸収防止に有効な仕様……各部の仕様

水分吸着防止 に有効な対策	対策により期待する効果	仕様（案）
① ねこ土台	✓ 基礎天端に水分滞留が生じて も、CLTがその水分に直接接す ることを防ぐ	✓ 鋼製（JIS規格適合品） ✓ モルタル製 （公共木造建築工事仕 様書 6.5.4 基礎天端及び柱底均し モルタルの仕上げ） ✓ その他、これらと同等に期待する 効果を得られるもの
② 防水紙	✓ ねこ土台に結露が生じても、 CLTがその水分に直接接するこ とを防ぐ	✓ アスファルトルーフィング （JIS 規格適合品） ✓ その他、これと同等に期待する効 果を得られるもの
③ 室内から床 下への漏気 の防止	✓ 室内から床下への漏気を断 ち、床下金物の結露の原因と なる水蒸気を流入させない	✓ 防湿フィルム ✓ その他、これと同等に期待する効 果を得られるもの

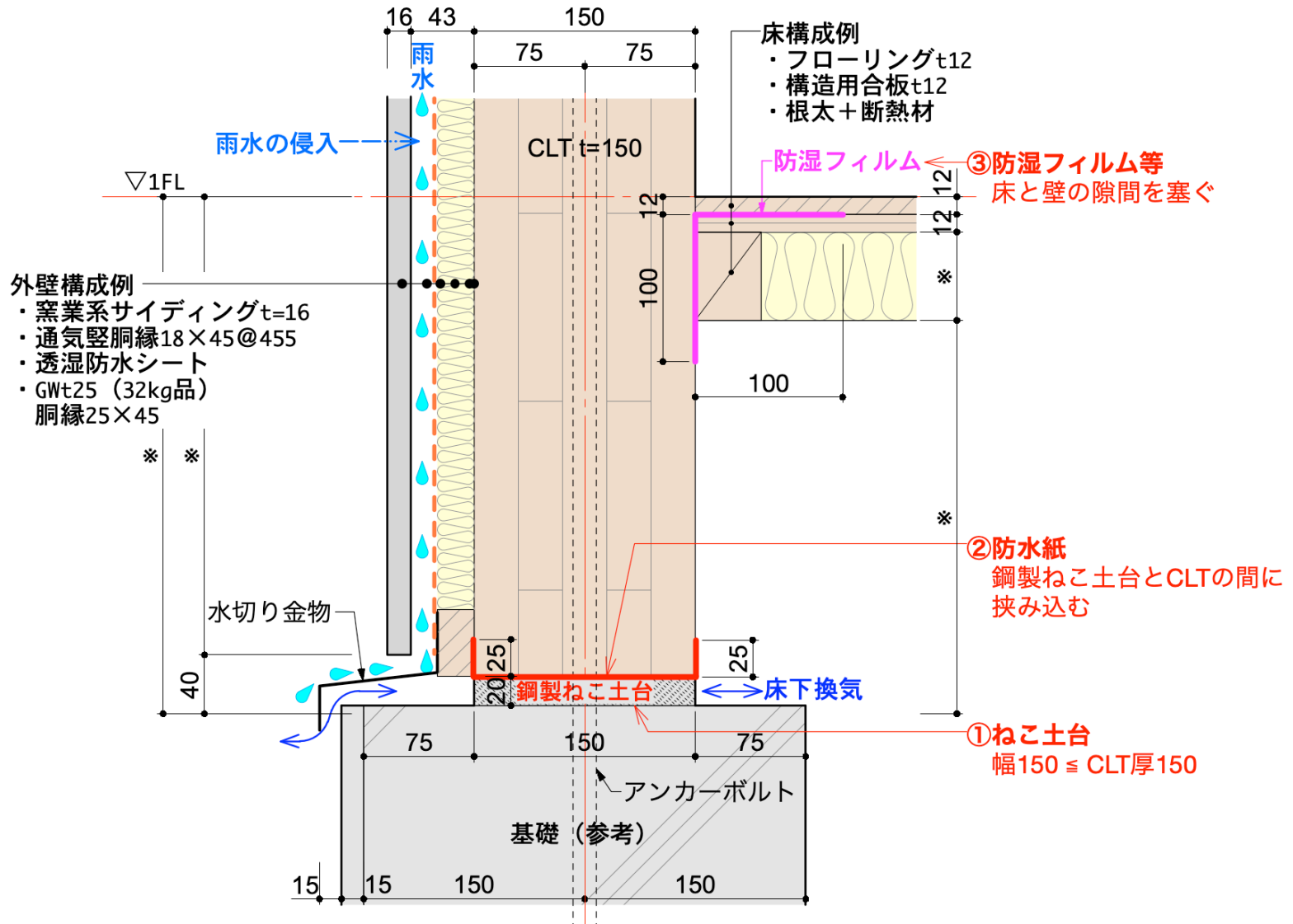
4-4. 水分吸着・吸収防止に有効な仕様……例示図 1

【例示図 1】 仕様：「①モルタルねこ土台 + 金物」 + 「②防水紙」 + 「③防湿フィルム」



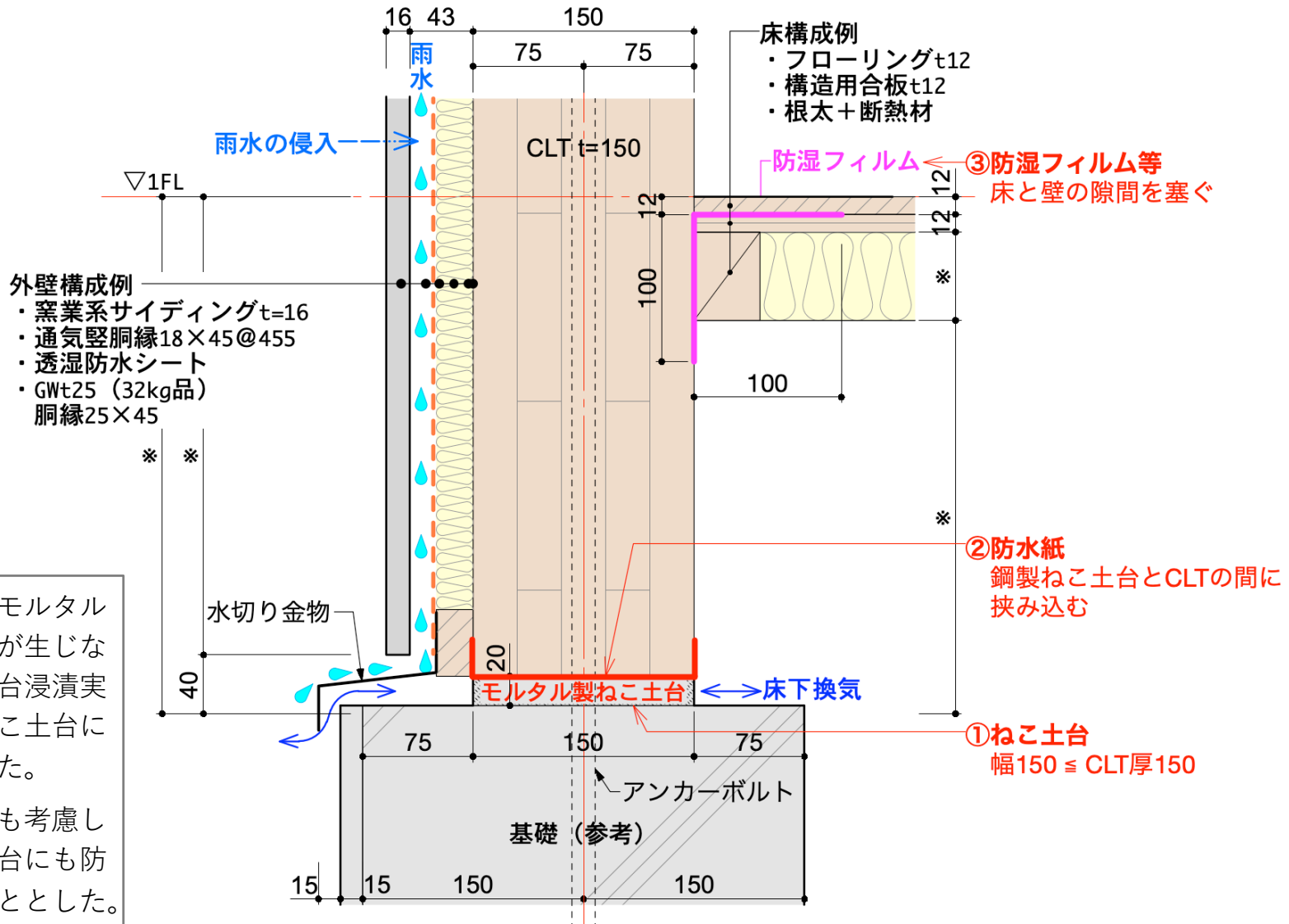
4-5. 水分吸着・吸収防止に有効な仕様……例示図2

【例示図2】 仕様：「①鋼製ねこ土台」 + 「②防水紙」 + 「③防湿フィルム」



4-6. 水分吸着・吸収防止に有効な仕様……例示図3

【例示図3】 仕様：「①モルタルねこ土台」 + 「②防水紙」 + 「③防湿フィルム」

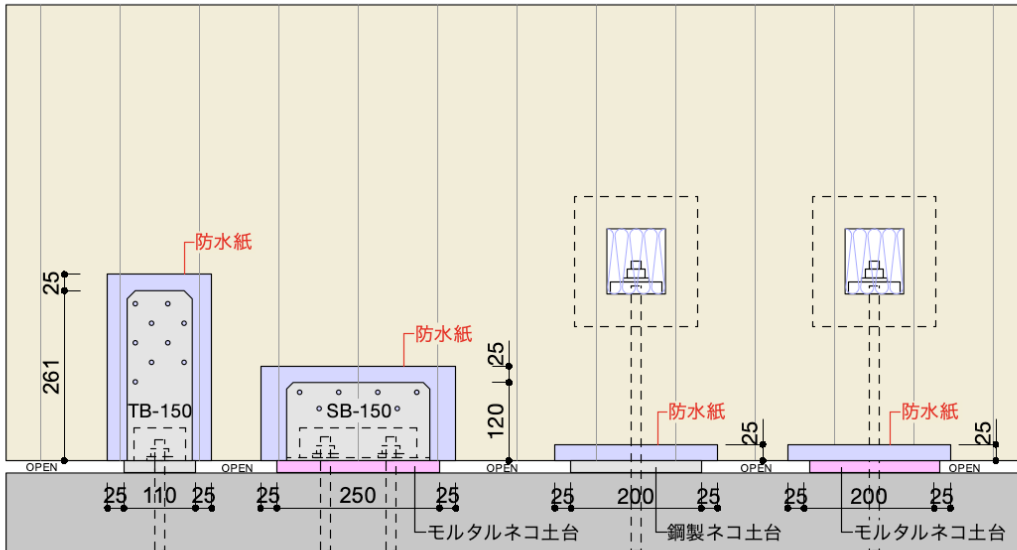


- ・ 床下結露実験ではモルタルねこ土台には結露が生じなかったが、ねこ土台浸漬実験ではモルタルねこ土台にも結露が確認された。
- ・ 想定外の結露条件も考慮してモルタルねこ土台にも防水紙を設置することとした。

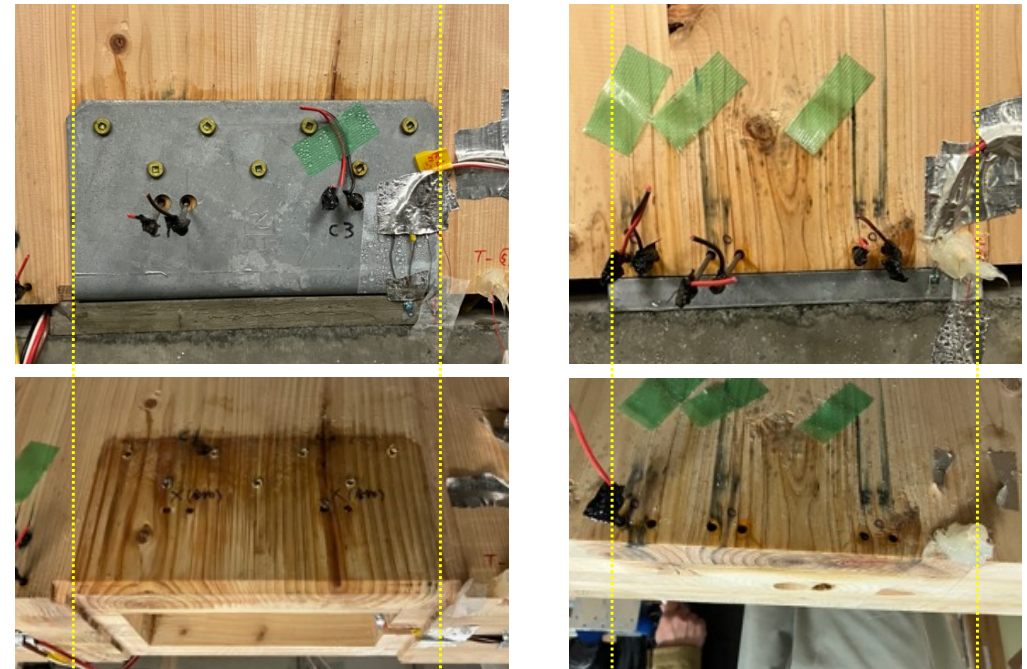
4-7. 水分吸着・吸収防止に有効な仕様……防水紙の施工範囲

【例示図4】 「②防水紙」の施工範囲……金物端部から25mm

■ 防水紙の施工範囲



■ 金物廻りの結露の状況



せん断金物ST-150廻りの結露水吸着状況

鋼製ねこ土台廻りの結露水吸着状況

■ 水分吸着防止に有効なアスファルトルーフィングは透湿性がないので、木材の自然な調湿性能の妨げとならないよう施工範囲を抑えることも考慮し、金物周りに観察された結露水の吸着状況から金物端部より25mmの範囲に防水紙を施工することとした。

■ 結露水の吸着は金物に接する部分で生じている。
■ 繊維と直交方向（写真の左右方向）には水分吸着が金物端部より外にはほとんど広がっておらず、繊維方向（写真の上方向）への広がりには金物部分で吸着した結露水が繊維に沿って吸収されて広がったもので、金物との間に防水紙等を挟んで水分の吸着を防止すれば生じないものと考えられる。

END