

建築研究部における気候変動への取り組み ～木材利用の促進と今後の展開～

令和4年12月8日

国土技術政策総合研究所

建築研究部長

長谷川 洋



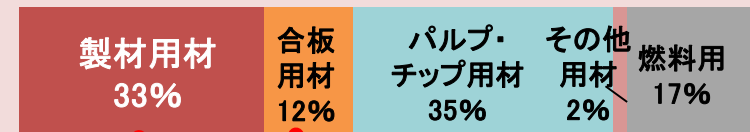
- 2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、建築物分野においては、次のような対策の強化が求められている。
 - ① 建築物の省エネ性能の底上げ・より高い省エネ性能への誘導 [CO₂削減]
 - ② 既存建築物の省エネ改修の促進(長寿命化や有効活用) [CO₂削減]
 - ③ 建築物への木材利用の促進 [CO₂固定]

＜エネルギー消費の割合＞ (2019年度)



建築物分野: 約3割を占める
⇒ 建築物分野での省エネの推進(①、②)

＜木材需要の割合＞ (2020年度)

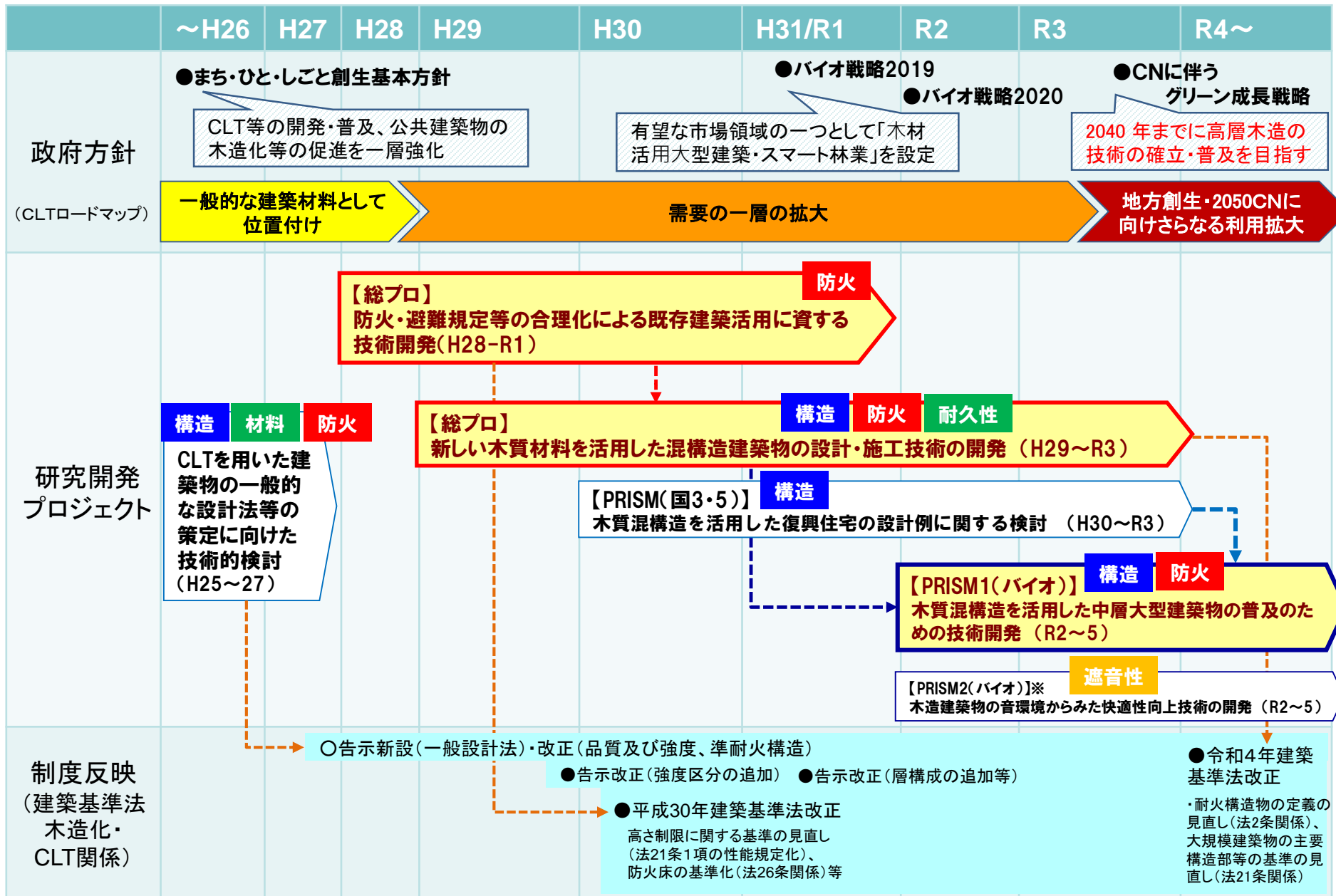


建築物分野: 約45%を占める
⇒ 建築物分野での木材利用の促進(③)

本日の主な講演内容

- 建築研究部では、これまで「建築物への木材利用の促進(拡大)」に関する研究に取り組んできた。

木造化の促進に係る研究ロードマップ

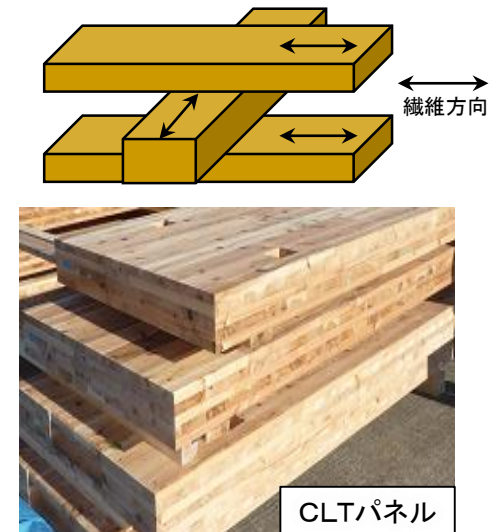




第 I フェーズ

CLTを一般的な建築材料として位置付け

- **CLT (Cross Laminated Timber: 直交集成板)**とは、ひき板(ラミナ)の層を繊維方向が互いに直交するように積層接着したパネル及びそれを用いた構法。
- 1990年代に欧州で開発され、様々な中大規模建築物で普及。
- **高い部材強度、寸法安定性、施工性(短工期)、軽量**等が特徴。



CLTの特徴

- ① **高い部材強度** : 強度が高く、耐震性を確保しやすい
- ② **寸法安定性** : 直交層があることで寸法が安定し、精度よく大型パネルの製造が可能
- ③ **施工性** : 一枚のパネルで現場搬入でき組立・接合が容易 → 工期短縮・
- ④ **軽量** : コンクリートに比べて軽量
例) コンクリート: 約500kg(1m × 3m × 厚さ8.5cm) CLT: 約220kg(1m × 3m × 厚さ18cm)
- ⑤ **防耐火性** : 準耐火性能を有している

課題

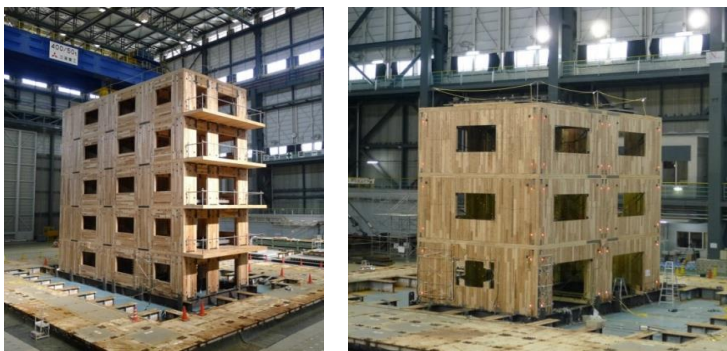
- 建築物本体にCLTを用いる場合には、個々の建築物ごとに実験データ等に基づき精緻な構造計算を行い、国土交通大臣の認定を受けることが必要。



CLTを用いた建築物の一般的な設計法等の策定に向けた技術的検討 (H25~27)

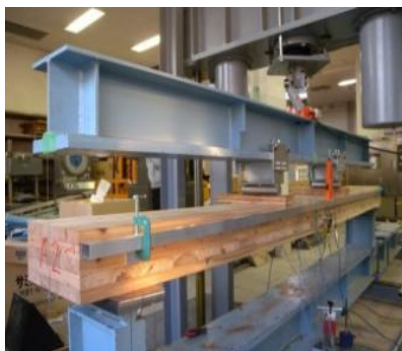
- JAS規格(平成25年12月)に定められたCLTの規格(構成、寸法、接着剤等を規定)に基づき製造されたCLTに関して、構造、材料、防火に係る実験・検討を実施。

構造



設計法案検証のための実大振動台実験
(E-ディフェンス)

材料



基準強度設定のための
実験

防火




燃えしろ寸法設定のための
実験

告示新設・改正

■ 建築基準法に基づくCLTの強度、一般設計法等に関する告示を公布・施行

- ① **CLTを用いた建築物の一般設計法** 【新設】平成28年4月1日 公布・施行
 - ・ 3階建以下:許容応力度(等)計算(ルート1 or 2)、60m以下:保有水平耐力計算(ルート3)
- ② **CLT材料の品質及び強度** 【改正】平成28年3月31日 公布・施行
- ③ **CLTを準耐火構造とする基準** 【改正】平成 28年3月31日 公布・施行

- 
- ・ **従来の一般設計法による構造計算を行うことで、建築確認により建築が可能**
(個別の大臣認定が不要に)
 - ・ **3階建て以下の木造建築物について、防火被覆無しでCLT等を用いることが可能**

3階建て集合住宅



2階建て事務所



2階建て実験住宅



CLTを活用した建築物の事例

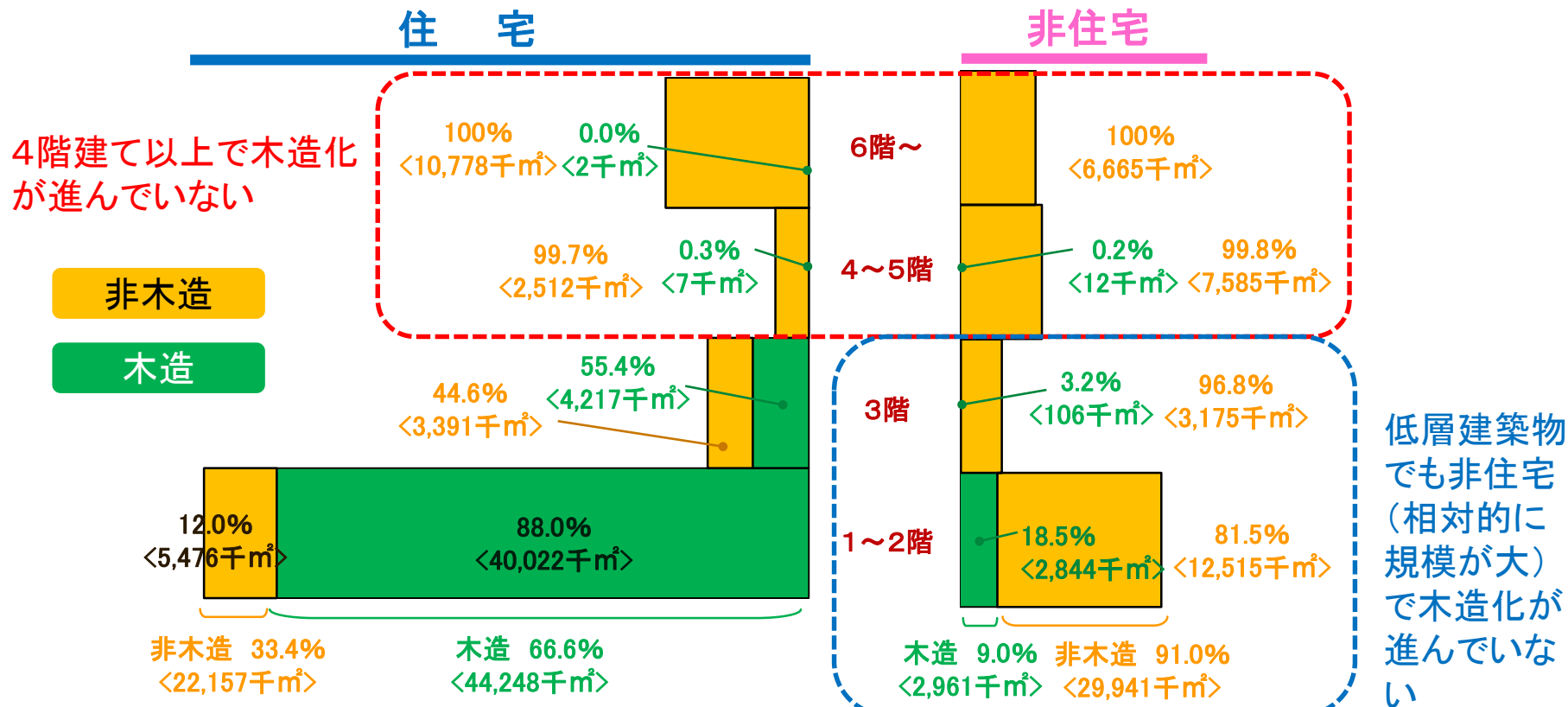
第Ⅱフェーズ

木材利用(CLT等)の需要の拡大
中大規模建築物における木造化の普及へ



- 政府の各種計画等において、「建築物の木造化等の促進」が謳われている。
- 建築分野への木材の利用拡大のためには、**新たな木材需要の創出**が必要。
⇒ **中大規模建築物における木造化の普及拡大が鍵。**

階数別・構造別の着工建築物の床面積



資料：国土交通省「建築着工統計」（令和2年）

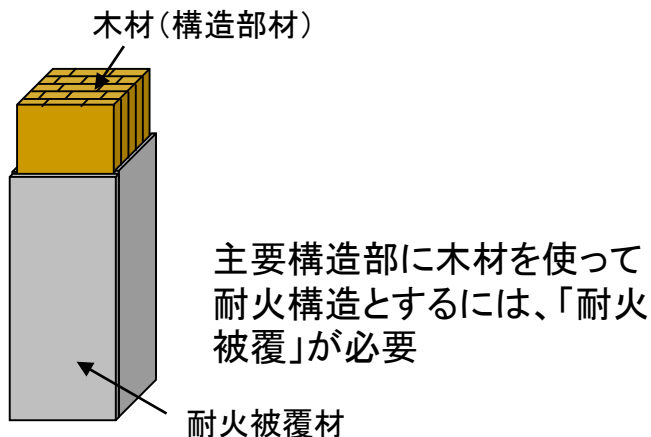
住宅とは居住専用建築物、居住専用準住宅、居住産業併用建築物の合計であり、非住宅とはこれら以外をまとめたものとした。

課題

- **木造の4階建て以上の建築物は、耐火建築物※としなければならない。**

※ 主要構造部が耐火構造であるもの又は耐火性能検証法等により火災が終了するまで耐えられることが確認されたもの

- **主要構造部に木材を使用する場合、耐火被覆が必要で、木材をそのまま見せる方法で活用できない(メリットがなく、現場ニーズに応えられない)**



構造体である木材を防火被覆なしでそのまま見せる“現わし”の事例

方針

現場ニーズに応じた
中大規模建築物の木造化の普及へ

- CLT等の**木造**とRC造や鉄骨造などの**耐火部材**とを組み合わせせた「**木質混構造建築物**」とすることが有効。

新しい木質材料を活用した混構造建築物の設計・施工技術の開発 (国土交通省総合技術開発プロジェクト・H29～R3年)

- 中大規模建築物において今後普及が期待できる典型的な“木質混構造”の**プロトタイプ**を有識者や関係団体の意見を踏まえて設定。
- 各プロトタイプを実現するうえでの**課題を解決するための研究開発**を実施。

論点（検討のポイント）

構造

- 木造、RC造、鉄骨造の各部材は、従来の一般的な設計法をもとに構造計算・解析できるようにする。
- 異種構造間の接合部では破壊させない。
⇒ **一般設計法による構造計算の適用方法、異種構造間の接合部の仕様**

防火

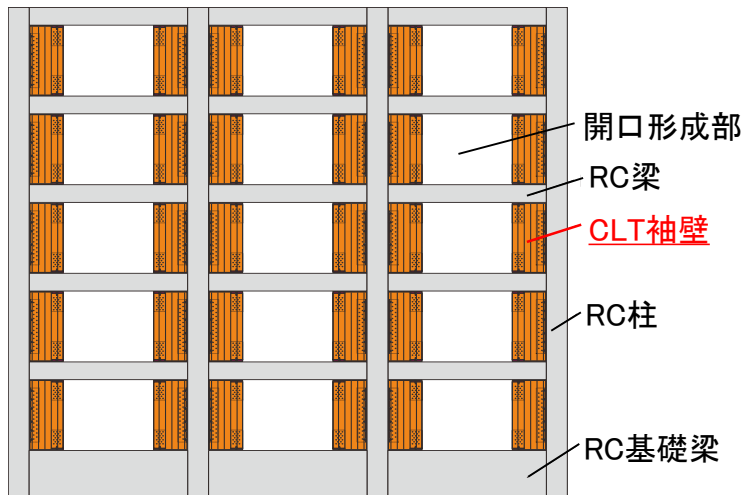
- 不燃材料の架構（壁や床）で囲まれた一定の区画内で木材を利用
⇒ **可燃物の増大に対応した防火区画・延焼防止設計法、接合部の防火被覆設計法**

【木質混構造のプロトタイプ】 ※ 4～6階程度を想定

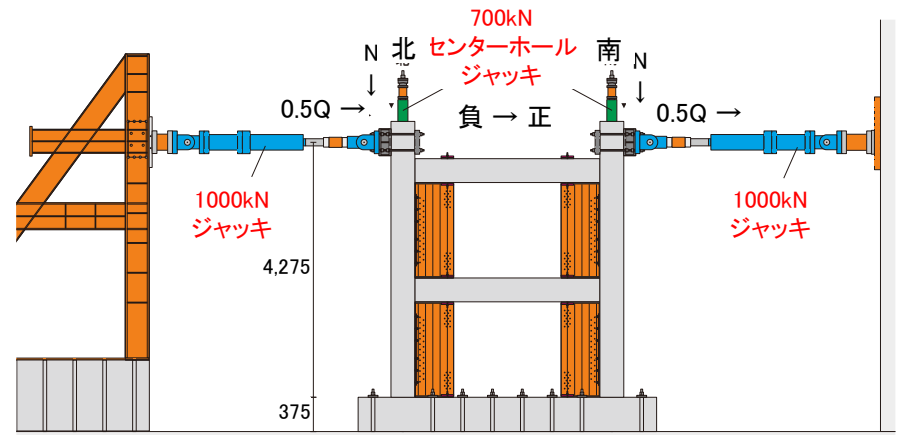
プロトタイプ	架構のイメージ	メリット
<p>タイプⅠ</p> <p>2層分のRC造大架構の中に木造架構を自由に設置</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・可変性 ・4階建以上で木を表面に見せる方法の実現 ・RC造メガストラクチャーの床、コアによる防火区画
<p>タイプⅡ</p> <p>RC造・S造架構で各階の壁・床を木造化</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・4階建以上で木を表面に見せる方法の実現 ・防火設計が比較的容易(各層毎の区画)
<p>タイプⅢ</p> <p>異なる木造構法の併用</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・大スパン等の自由な空間構成 ・パーツの減少による施工の合理化

構造

- 開口形成面にも使用できる「RC造架構+木造(CLT)袖壁」型を提案。
- 載荷実験の結果、剛性や耐力を増大しつつ靱性にも富む挙動を確認。



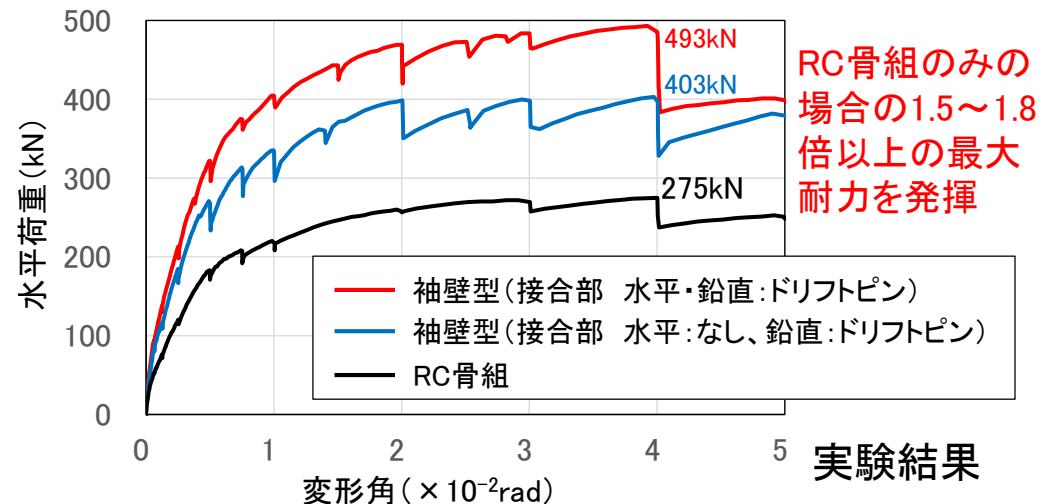
RC造架構+CLT袖壁



載荷試験方法



試験体



実験結果

○ RC造+木造 集合住宅のイメージ



外観
(構造体の一部
に木を使用)



内観 (壁・床等の表面に木を見せる)

① 規模

- ・ 階数: 地上6階
- ・ 建築面積: 670m²
- ・ 延べ面積: 2,700m²

② 構造

- ・ RCラーメン+CLT袖壁
- ・ 床: CLTパネル+RCスラブ

③ 寸法等

- ・ 最高: 18,830mm
- ・ 階高: 約3,000mm
- ・ 天井高: 約2600mm
- ・ 住戸の規模: 55~63m²



基準階平面図

CLT袖壁
 CLT壁

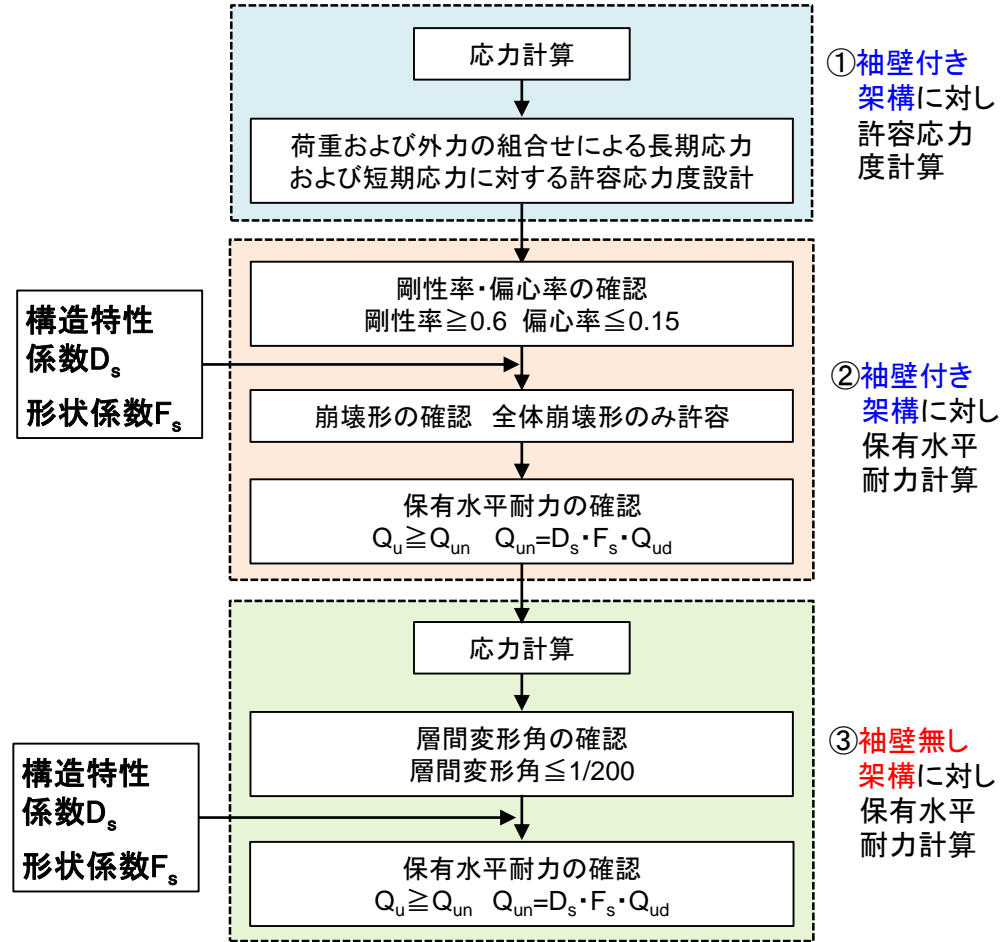
構造

■ **RC造架構+CLT袖壁**について、架構実験を踏まえて試設計を行い、構造設計のためのモデル化の方法や**構造計算方法**を提示。

○ 構造計算の手順

- RC造架構にCLT袖壁を用いた構造体の構造計算をする際、RC構造に関する規定を読み替えて実施。
- この際、安全側の設計として、次の手順で実施。
 - ①袖壁付き架構に対して 許容応力度計算
 - ②袖壁付き架構に対して 保有水平耐力計算
 - ③袖壁無し架構に対して 保有水平耐力計算※

※ RC架構が主たる構造要素で、耐震安全性や大地震時の損傷低減性の確保が必要。少なくとも $D_s=0.3$ (全部材がFAの場合)の保有水平耐力を有していることを確認。



「RC+CLT袖壁」タイプの構造計算フロー

構造

※ 変形性能のグレード(A~D)

- 袖壁付き架構に対し保有水平耐力計算を行う際の**CLT袖壁の部材種別※**の判定方法として、① CLT袖壁付きRC柱の一部とみなして判定する方法、② CLT袖壁を耐力壁としてみなして判定する方法、の二つを提案。

① CLT袖壁付きRC柱の一部とみなして部材種別の判定を行う方法

- RC造の袖壁付き柱、垂れ壁・腰壁付きはりにおける考え方をもとに検討・提案
- RC造の袖壁付き柱と同様に、**塑性ヒンジが形成されるRCはりの部材種別を、CLT袖壁付きRC柱に読み替え可能とする。**
- RC柱のみで必要な性能(軸力比、せん断応力度比)は確保する。

	破壊の形式	h_0/D の 数値	σ_0/F_c の 数値	ρ_t の 数値	τ_u/F_c の 数値	種別 F:フレーム
条件	せん断破壊、付着割裂破壊及び圧縮破壊その他の構造耐力上支障のある急激な耐力の低下のおそれのある破壊を生じないこと。	2.5以上	0.35以下	0.8以下	0.1以下	FA
		2.0以上	0.45以下	1.0以下	0.125以下	FB
		—	0.55以下	—	0.15以下	FC
	FA、FB又はFCのいずれにも該当しない場合					FD

変形性能高い
(靱性的)



変形性能低い
(脆性的)

h_0 : 柱の内のり高さ、 D : 圧縮側のCLT袖壁の全せいとRC柱のせいの和
 σ_0 : D_s 算定時の軸力(RC柱単独が負担する軸力とCLT袖壁付きRC柱が負担する軸力の大きい方)を柱の断面積で除した値
 F_c : コンクリートの設計基準強度 ρ_t : 柱部分の引張主筋断面積を柱の断面積で除した値
 τ_u : D_s 算定時のせん断力を柱の断面積で除して計算した数値である。

構造

※ 梁に曲げヒンジが発生(梁崩壊)し、地震エネルギーを吸収する壊れ方

- 構造特性係数 D_s の値を確定した際の崩壊形(全体崩壊形※のみ許容)の確認のため、**保証設計を行うこととし、その方法を提示。**

○ 保証設計の考え方

- **各部位に作用するせん断耐力が下記に示す設計用せん断力を上回ることを確認。**

RC梁の場合

$${}_b Q_D = Q_0 + n \cdot Q_{M0}$$

${}_b Q_D$: 梁の設計用せん断力

Q_0 : 単純支持とした時の常時荷重によるせん断力

Q_{M0} : D_s 算定時のせん断力

n : 割増係数。部材の両端にヒンジが生ずる状態では「1.1」、それ以外は「1.2」

RC柱の場合

$${}_c Q_D = n \cdot Q_{M0}$$

${}_c Q_D$: 柱の設計用せん断力

n : 割増係数。部材の両端にヒンジが生ずる状態では「1.1」、それ以外は「1.25」

CLT袖壁の場合

$${}_w Q_D = n \cdot Q_{M0}$$

${}_w Q_D$: 袖壁(耐力壁)の設計用せん断力

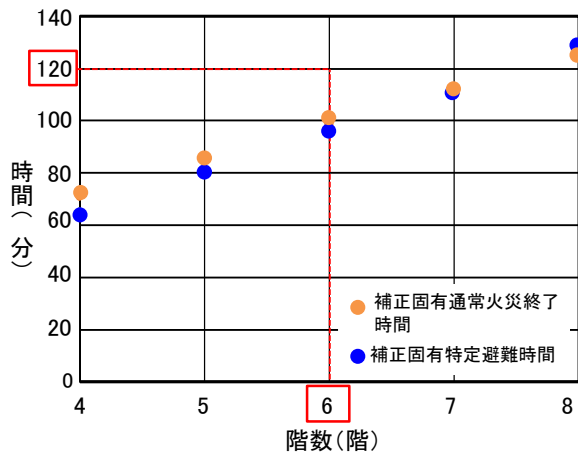
n : 割増係数。RC柱が曲げ降伏しない場合に準じて「1.25」

- (留意点)
- RC柱やRC梁では、材端と中央で作用するせん断力の大きさが異なるため、別途確認が必要(材端ではパンチングシア破壊の検討等)。
 - RCはり-CLT袖壁間の水平接合部やRC柱-CLT袖壁間の鉛直接合部の設計用せん断力の割増しは、隣接する部材(CLT袖壁)に準じる。
 - CLT袖壁に作用するせん断の検定は、通常は水平断面を対象とするが、軸力負担が大きい場合には、鉛直断面の検定も必要となる。

防耐火

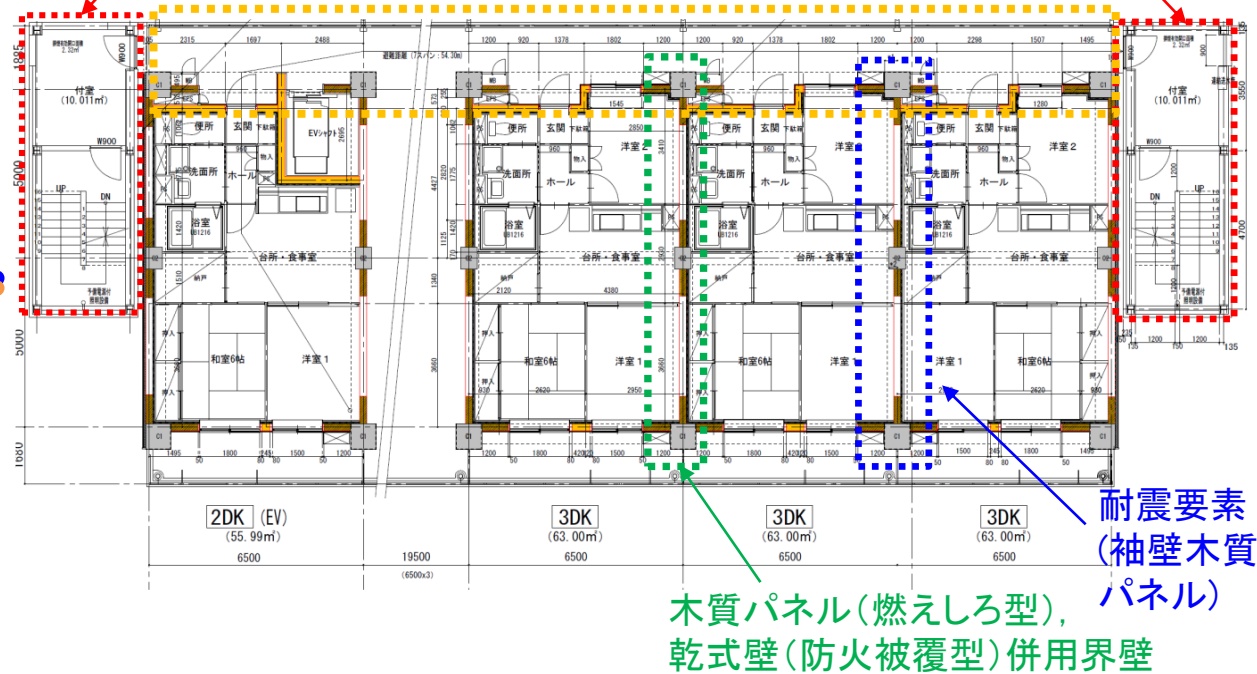
- プロトタイプIIの地上6階建て・集合住宅における目標耐火性能を「120分間準耐火構造」と設定し、平面上の防火計画(防火対策)を作成。

○ 準耐火性能検証法に基づき、目標耐火性能を検討。6階建て・集合住宅の一般部は、100分間程度の準耐火構造で成立するが、安全側をみて、目標耐火性能を120分間準耐火構造と設定。



標準火災時の一般部の耐火要求性能

高い準耐火性能(要求準耐火時間の1.2倍以上の性能)の壁で囲われた消防活動拠点(階段室・付室)
上階延焼対策(庇、バルコニー、防火設備(窓・扉))



RC+CLT壁・集合住宅の平面上の防火対策
(地上6階・延べ床面積2,700m²)



防耐火

- CLTパネルとRC部材との接合部の防耐火設計手法を確立するため、加熱試験・解析的検討を実施。ドリフトピン接合部に30mm以上の木栓を用いることで、150mm厚CLTパネルとRC造の混構造で120分間準耐火性能の確保が可能であることを確認。



加熱側状況※

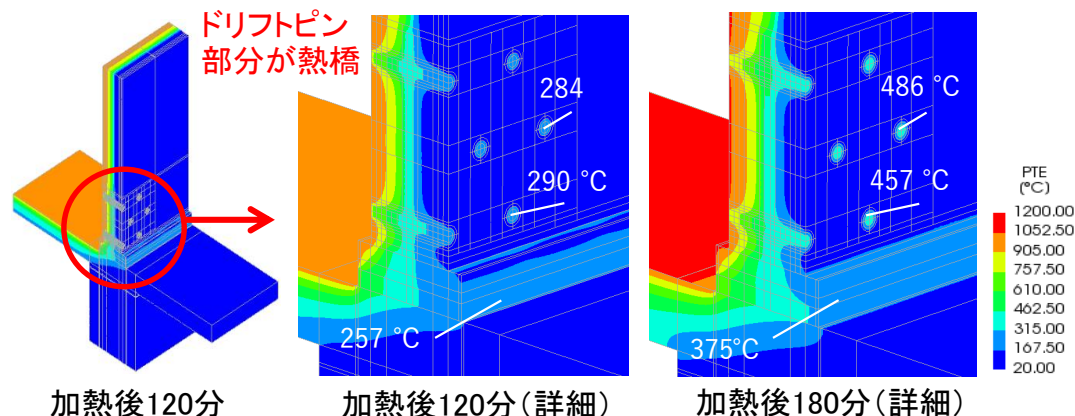


非加熱側状況※

※ CLT厚は150mm



ドリフトピン周囲の炭化や燃え抜けの状況

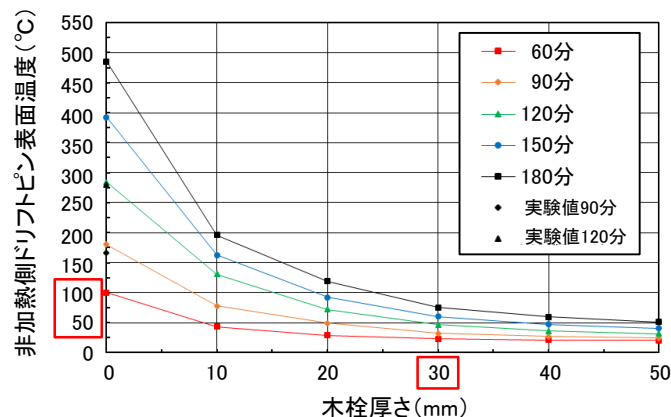


加熱後120分

加熱後120分(詳細)

加熱後180分(詳細)

接合部の熱伝導解析による等温図(木栓無し)

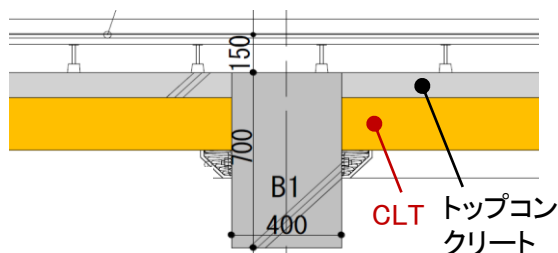


○ 30mm以上の厚さの木栓で被覆することで、ドリフトピン部分の表面温度を180分加熱でも100度以下に低減できる。

ドリフトピンの木栓による被覆効果

防耐火

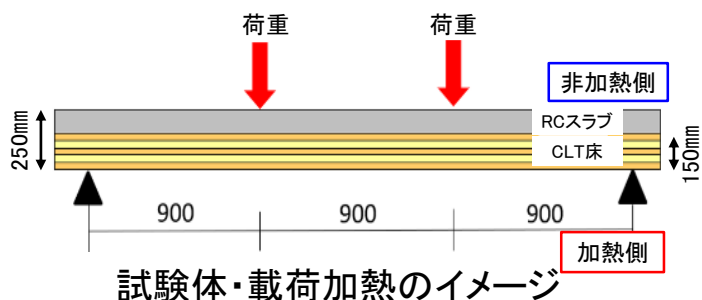
- CLTとRCスラブの合成床の準耐火性能と火災時挙動を把握するため荷重加熱実験を実施。**150mm厚CLTとRCの合成床板は、常温時の曲げ耐力の1/6以下の荷重であれば、120分間準耐火性能を確保していることを確認。**



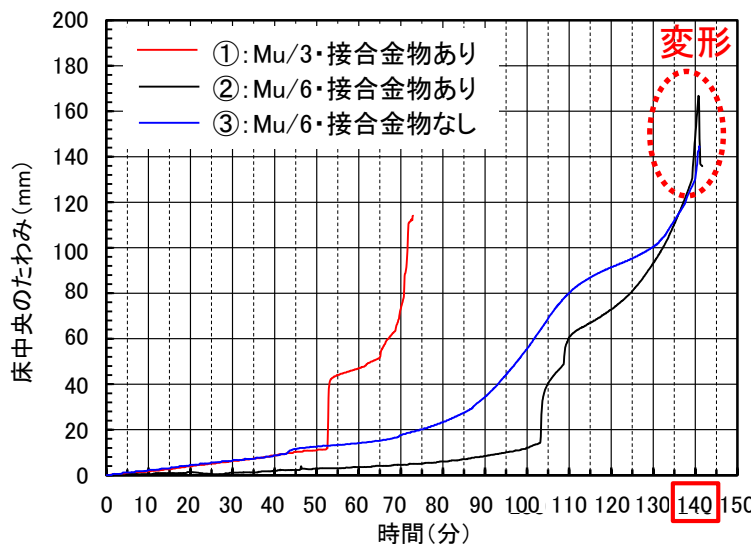
集合住宅では、遮音性能の確保の観点から、トップコンクリートが必要。



加熱終了後の変形の状況(試験体②: Mu/6・接合金物あり)



- 試験体: CLT床150mm、RCスラブ100mm。
- 荷重: 1体は常温時の曲げ耐力 (Mu: 約136kNm) の1/3 (長期許容応力度)、2体はその半分の1/6。
- 加熱: 試験体が荷重支持能力を失うまで。



○常温時の曲げ耐力の1/6の荷重の場合、140分程度で変形。

⇒ 150mm厚CLTとRCの合成床板で120分間準耐火性能は確保

床中央のたわみの推移



構造

- 木-RC混構造の一設計法による構造計算のためのガイドライン
- 木-RC混構造間の接合部の設計ガイドライン
- 木-S混構造の一般設計法による構造計算のためのガイドライン
- 木質工法間混構造の一般設計法による構造計算のためのガイドライン
- 木質工法間の接合部の設計ガイドライン

防耐火

- 中大規模木質混構造建築物の防耐火性能評価・設計法に関するガイドライン
- プロトタイプに対する試設計により建築物の一般的な防耐火仕様の提示

耐久性

- バルコニー手すり壁内部等への雨水浸入量評価試験に関するガイドライン
- 75分準耐火仕様の外壁に適用可能な通気層の仕様に関するガイドライン
- 木質混構造建築物の維持管理計画立案に関するガイドライン



構造

- 特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件の一部を改正する件
(平成30年国土交通省告示第1324号)【平成30年12月12日公布、平成31年3月12日施行】

〈構造計算に用いるCLTパネルの基準強度の拡充(強度区分の追加)〉

(前)CLTパネルの基準強度について、低い強度の樹種を基に設定

⇒(改正)実験結果等を踏まえ性能が確認された材について、新たな強度区分を設定

- CLTパネル工法を用いた建築物又は建築物の構造部分の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める等の件の一部改正
(令和4年国土交通省告示第1115号)【令和4年11月8日公布・施行】

〈2以上の階にわたって連続して設置される耐力壁を使用可能とする基準の合理化)〉

- 2以上の階にわたって連続して設置されるCLT壁パネルを使用する耐力壁をルート1計算又はルート2計算により構造計算を行う場合も使用可能とする。

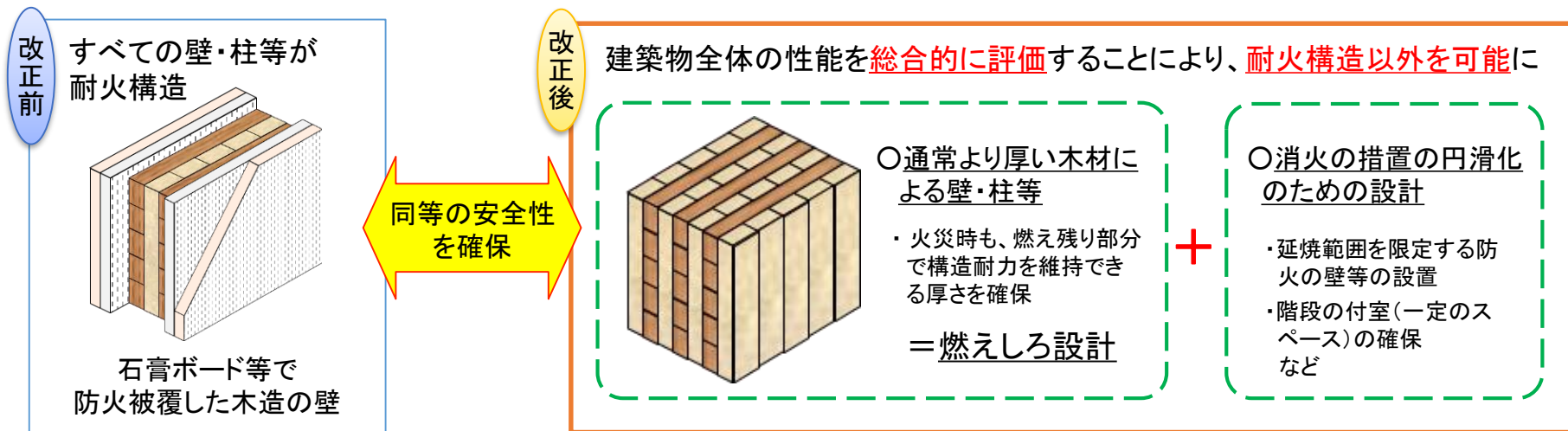


防火

○ 平成30年建築基準法改正

【平成30年6月27日公布・令和元年6月25日施行】

(1) 中層建築物において**構造部材である木材をそのまま見せる「現わし」の実現**



(2) **耐火構造等としなくてよい木造建築物の範囲の拡大**

(前) 高さ13m以下かつ軒高9m以下

⇒ (改正) **高さ16m以下かつ3階以下、**
延焼防止上有効な空地の確保

(3) 防火上有効な構造の**防火床による区画**を可能



中層建築物において構造部材である木材をそのまま見せる設計

防火

○ 令和4年建築基準法改正 【令和4年6月17日公布】

⇒ 大規模建築物等における部分的な木造化を可能とする防火面での改正

(1) **耐火構造の定義** (法第2条9の2)

(前) **主要構造部**(壁、柱、床等)の**全ての部位**に**所要の耐火性能を要求**

⇒(改正) 主要構造部のうち**特定主要構造部**※1に**所要の耐火性能を要求**

※1 防火上及び避難上支障がないものとして政令で定める部分以外の部分

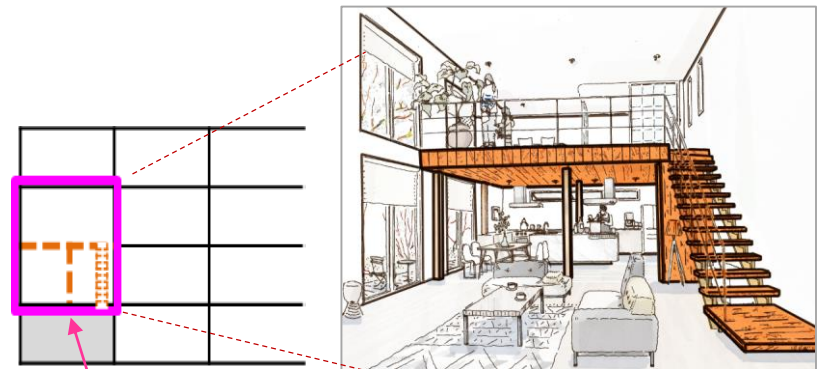
(2) **大規模の建築物の主要構造部等**(法第21条)

(前) 大規模建築物の**主要構造部**に**所要の火災による倒壊・延焼防止性能を要求**

⇒(改正) // の**特定主要構造部**に**所要の火災による倒壊・延焼防止性能を要求**



耐火建築物
で火災時損傷等の影響
の小さい部
分の木造化

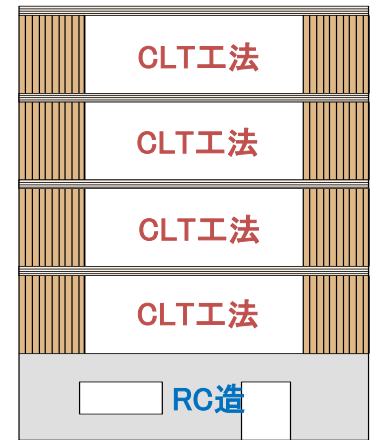


高い耐火性能の壁・床で区画された空間内の
中間床、柱・壁等を木造化

建築基準法改正(研究成果の反映)により普及が期待できる木材利用のイメージ

① コスト低減等に資する立面混構造の合理的な構造設計法の開発

- 中層大型木質系建築物において、**構造耐力やコスト面でメリットのある「立面木質混構造」**の設計例に基づく解析を行い、**合理的な構造設計法の提示。**



「立面木質混構造」の検討例



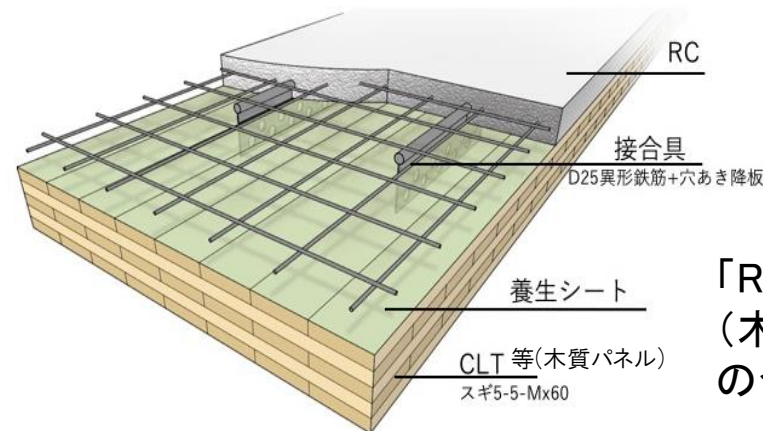
5階建ての高齢者施設

1階がRC造、2～5階が木造（CLT）

「立面木質混構造」の実現事例

② コスト低減に資するCLT等合成床構造の仕様例の提示

- 中層大型木質混構造建築物の床工法は、**耐火被覆や遮音対策の点でコストが高くなりやすい**ため、**構造・耐火試験等を通じて、コスト低減に資するCLT等合成床構造の仕様例を提示。**



「RC」+「CLT等（木質パネル）」の合成床の例

第Ⅲフェーズ

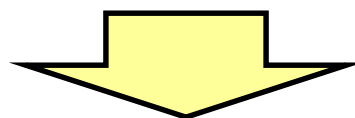
より一層の木材利用の拡大
高層建築物における木造化の普及に向けて

「2050年CNに伴うグリーン成長戦略(令和2年12月25日)」における目標

2030年まで : 高層建築等の木材利用のための材料規格の検討

2040年まで : 高層木造建築物等の試作・実証 → 技術の確立

⇒ 2040年以降、高層木造建築物等の普及



より高層の建築物の木造化の普及へ

今後の研究ニーズ

構造

- 10階建程度の木造建築物の長期性能(部材・接合部の乾燥・収縮現象等)の把握、高層化による外力(地震力、風荷重等)の増加に対応した部材間接合部の推奨仕様等の整備

防耐火

- 90分準耐火構造の例示仕様の整備、長時間(120分・150分、180分)耐火構造の防耐火被覆の告示仕様、上階への延焼防止のための長時間防火設備の告示仕様等の整備

耐久性

- 木造陸屋根の推奨仕様(層構成・層内の通気構法・脱気方法等)、高層部分の外装材や開口部周りの防水・耐風性能の把握と推奨仕様等の整備

新たな研究展開

建築分野で用いられる
セメント・コンクリートのCO₂排出量の削減へ

- CO₂発生源対策として、木材と並んで建築分野の主要材料であるセメント・コンクリートにおけるCO₂排出量の削減が必要。
- 開発が進められている「省CO₂に資するとされるコンクリート系新材料」の建築物の構造耐力上主要な部分(柱、梁、壁等)への利用促進が必要。

【通常のコンクリート(JIS A 5308)】

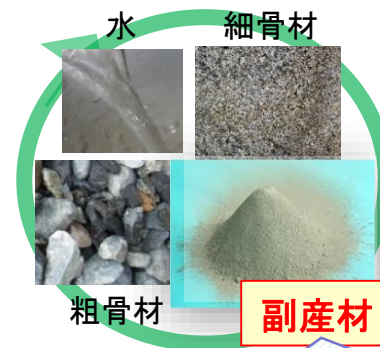


製造時※におけるCO₂排出量が多い。

※石灰石(CaCO₃)他の原料を1450°Cで高温焼成し、CO₂を放出して酸化カルシウム(CaO)を含む化合物(C₃S, C₂S等)を生成

【CO₂排出量の例】: 約300 kg/m³

【コンクリート系新材料のイメージ】



製造時にCO₂排出量が多いセメントに代えて、銑鉄製造や火力発電において生成される副産材(高炉スラグ微粉末、フライアッシュ等)、CO₂を吸収させた材料等を使用。また、新たな結合材等も使用

マイナス(CO₂吸収)～約100kg/m³ ※

※ 民間各社のHP等プレスリリース情報を参照

コンクリート系新材料の建築物への適用に向けた大臣認定基準の検討

現状（問題点）

- **コンクリート系新材料は、JIS適合材料ではない ⇒ 個別に大臣認定の取得**
- ✓ 大臣認定に係るコンクリートの告示基準では、コンクリート系新材料は想定外。
- ✓ 大臣認定を適切・効率的に行うための性能・品質の評価項目・評価基準が不明。



研究内容

- ① コンクリートに求められる基本的な材料物性等の整理
- ② コンクリート系新材料の基本性能の評価・検証



施工性試験



強度・力学特性試験



耐火性試験



耐久性・ばくろ試験



- ③ **鉄筋コンクリート用の建築材料とするための評価項目・基準の検討**

⇒ **民間での技術開発を促進し、建築物の構造耐力上主要な部分への適用を普及**

**建築分野の気候変動対策の推進に向けて
引き続き、社会実装に向けた研究を
産学と連携して実施**

ご清聴ありがとうございました