

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

国土技術政策総合研究所
住宅研究部

研究期間：平成29～令和3年度

研究費総額：約290百万円（中間評価時点）

要旨

本課題では、**木材の利用推進**、材料の特性をいかした**可変性の拡大**、**施工期間の短縮**、**木材を表面に見せる使用ニーズ**への対応など、**各種目的を実現するため**、CLT(Cross Laminated Timber)等の木質系大型パネルを用いた木造と他構造種別、木質系他構法（集成材構造等）の**混構造建築物の設計・施工技術の整備**に資する技術開発を行う。

研究期間：H29～R3

混構造建築物における
各材料の長所

木質材料	鋼材	RC
省CO ₂ 軽量 可変性	高強度 高靱性	高強度 耐火性能

研究内容

(1) 構造性能

- 1) CLT等+他構造種別による混構造、木質系の他の構法の混用による架構の**構造設計法**の検討
- 2) 混構造建築物の耐震要素、接合部の技術資料・モデル化手法の整備

(2) 防耐火性能

- 1) 木質系準耐火・耐火構造と他構造種別による混構造の**防耐火設計法**の検討
- 2) 混構造における延焼防止要素および異種構造部材、接合部等の防耐火性能と構造方法等に関する技術資料の整備

(3) 耐久性能

中層建築物の**耐久性能向上**に資する設計・施工及び維持管理に関する**技術資料の整備**



内部のイメージ

木造と鉄筋コンクリート(RC)造の混構造の例



適材・適所、自由度の高い設計・施工等

成果

- 木質混構造建築物の **構造設計法、防耐火設計法、構造・防火・耐久性に関する関連技術資料の整備、技術基準解説書等への反映**
- **プロトタイプ建築物の設計例、接合部等推奨仕様の提示**
- 官庁施設等における**木造技術資料類への反映**

1. 背景・課題

- 平成27年6月閣議決定「まち・ひと・しごと創生基本方針」において「**建築物の木造化・木質化を推進するため、CLT等の開発・普及、公共建築物の木造化※等の促進を一層強化する**」と記載（※ 公共建築木材利用促進法）
- CLT等の木材利用拡大のために、中高層建築物への適用の拡大が求められている。
 - **中高層木造建築物に対する要求耐火性能への適合が必要**
 - RC造などの耐火部材との組合せが有効（=**木質混構造**）
- 木質混構造の普及には、**構造設計および耐火設計法の整備**と、誰もが使える接合部などの**標準仕様の整備**が必要
（耐久性確保の観点からも、標準的な設計・施工方法の提示が必用）
- 木のある新しい建築空間の創生・普及

2. 研究開発の目的、必要性・緊急性等

目的

木材の利用推進、材料の特性をいかした可変性の拡大、施工期間の短縮など、各種目的を実現するため、CLT等の木質系大型パネルを用いた木造と他構造種別、他構法（集成材構造・2X4工法）の混構造建築物の設計・施工技術の整備に資する技術開発を行う。

必要性・緊急性等

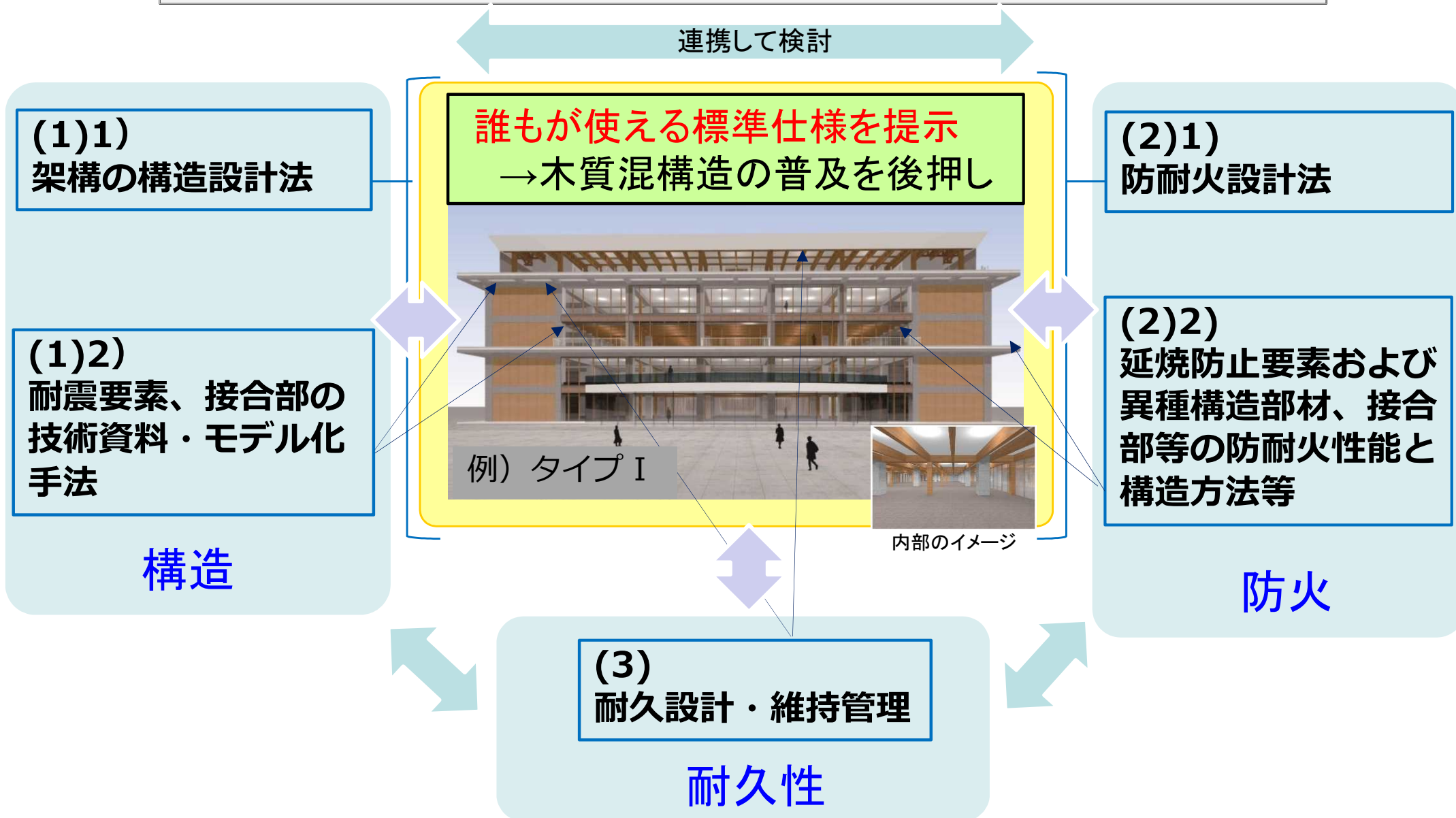
庁舎や病院などにおいて大規模な木造建築物の需要が高いが、4階建以上の木造は耐火建築物とする必要があり、実現のバリアーとなっている。しかも、わが国では木造を建築物にあらわしで用いることに対するニーズは極めて高い。そのため、これらの要求を満たすCLT等の木造と鉄骨(S)造やRC造などの耐火部材との混構造建築物の構造設計法の整備が急務となっている。

一方、CLTの他、LVL、集成材パネル等の新たな木質材料や新たな接合部材が開発されてきており、バリエーションの可能性も高まっている。

このような、CLT等の中層・大規模木造を可能とする木質材料を幅広く建築物に用いるためには、共通のルールである構造設計法などの技術開発を国が実施する必要がある。

3. 研究開発の概要

想定される混構造の主なバリエーション(プロトタイプ)を実現するために必要となる**構造・防火・耐久性**における主要な技術開発項目を検討



3. 研究開発の概要(検討対象の混構造プロトタイプの架構形式)

* 想定される混構造の主なバリエーションを実現するために必要となる主要な技術開発項目を検討【構造、防火、耐久性】

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階建以上で内部木材現わしの実現 ・メガストラクチャの床、コアによる防火区画
<p>タイプⅡ</p> <p>RC造やS造架構で各階の壁や床を木質化</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・可変性 ・内部の木材現わしによる4階建以上の実現 ・防火設計が比較的容易(各層毎の区画)
<p>タイプⅢ</p> <p>木造で大スパン等の自由な空間を実現</p>	 <p>CLT壁+集成材梁併用工法</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・自由な空間構成 ・パーツ減少による施工の合理化

3. 研究開発の概要(検討対象の混構造プロトタイプの架構形式)

* 想定される混構造の主なバリエーションを実現するために必要となる主要な技術開発項目を検討【構造、防火、耐久性】

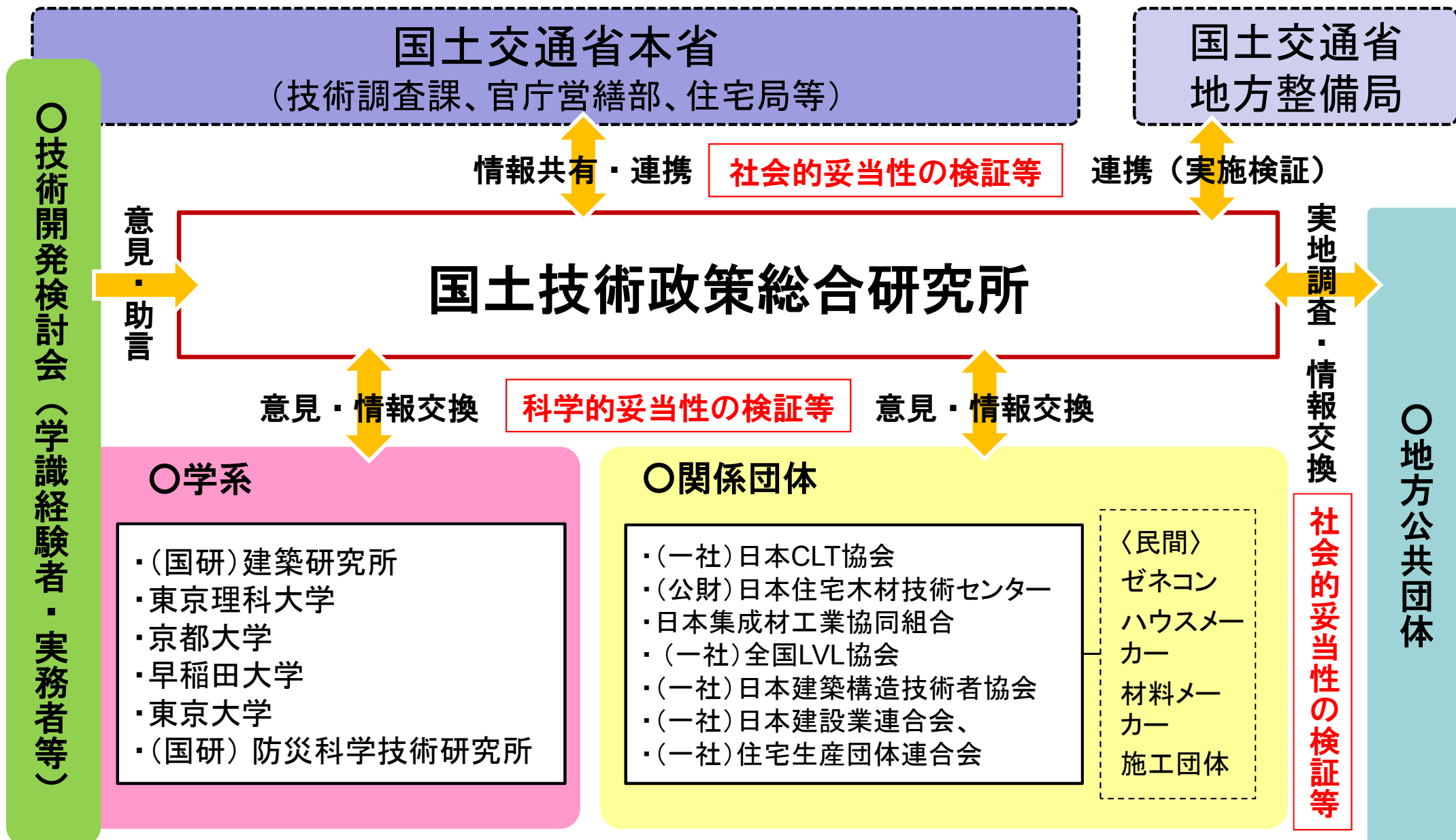
タイプ	架構のイメージ	メリット
<p>タイプⅠ</p> <p>2層分のRC造大架構の中に木造架構を自由に設置</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・可変性 ・4階建以上で内部木材現わしの実現 ・メガストラクチャの床、コアによる防火区画
<p>タイプⅡ</p> <p>RC造やS造架構で各階の壁や床を木質化</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・可変性 ・内部の木材現わしによる4階建以上の実現 ・防火設計が比較的容易(各層毎の区画)
<p>タイプⅢ</p> <p>木造で大スパン等の自由な空間を実現</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・自由な空間構成 ・パーツ減少による施工の合理化

4. スケジュール(当初計画)

検討内容	H29	H30	R1	R2	R3
(1)1) 混構造の地震時挙動再現実験、構造設計法、試設計(試みの設計)	【木-木】 試設計・建設(40)	【木-木】 加力実験(20)	【木-木】 構造設計法(10)	【木-S】 試設計・建設(80)	【木-S】 加力実験(30) 構造設計法(10)
		限界耐力計算・ モデル(10)	【木-RC】試設計・ 建設(80)	【木-RC】加力実験 (30)、構造設計法(10)	
(1)2) 耐震要素・接合部の構造モデル	接合部・部材の 構造実験(40)	架構の実験・解 析(50)			
(2)1) 混構造の防耐火設計法	防耐火設計の 枠組検討 (10)	素案の検討 設計技術の検討 (10)	設計・評価法案の 検討(10)	<div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; padding: 20px; text-align: center;"> <p style="color: red; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">これまで 当初計画通り進捗</p> </div>	
(2)2) 延焼防止要素・異種構造部材、接合部等の防耐火性能と構造方法等	接合部・部材の耐 火試験(20)	部分架構の建設 (30)	部分架構の 火災実験(20)		
(3) 耐久設計・維持管理の検討	耐久性検討 (10)	防水実験の実施 (10)	耐久性等検討 (10)	技術資料類 (10)	
各年度必要額	120(百万円)	130(百万円)	130(百万円)	130(百万円)	40(百万円)

5. 研究開発の体制

当初計画通り、本研究開発課題に関係する全分野に専門家を有する国総研が主体となり、学識経験者や関係団体とも情報交換・連携して取り組むことで、効率的・効果的に課題の検討を進めている。



6. 研究開発の実施状況

1. 構造性能に関する検討

1) CLT等 + 他構造種別による混構造、木質系の他の構法の混用による架構の構造設計法の検討

課題と対応方針

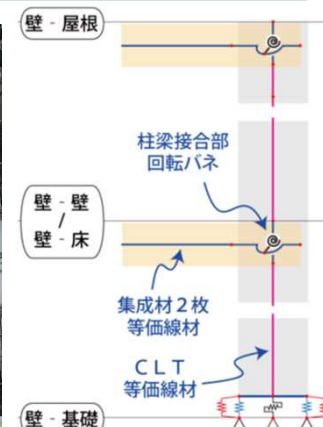
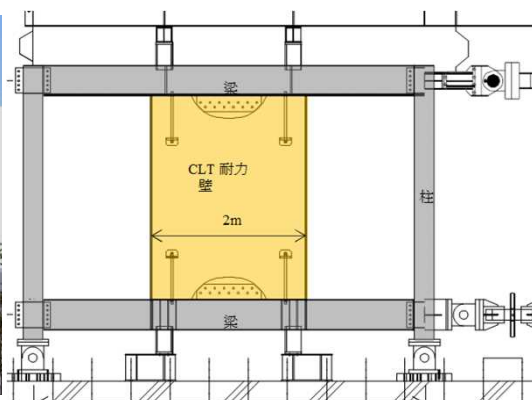
- ・ 水平・鉛直方向の防耐火上の区画を考慮して木材をあらわしや軽微な防耐火被覆で用いる事のできる **木質系混構造プロトタイプ**の作成、および**構造設計法について実験・解析等により技術資料を整備**

これまでの検討状況

- **タイプⅠ** (RC造メガストラクチャー + 木造2層) の**試設計 (庁舎)**
- **タイプⅡ** (S造骨組 + CLT壁) の**試設計 (事務所)**、**部分架構試験体***の**設計および製作**
- **タイプⅢ** (CLT壁 + 集成材梁併用架構) の**3層実大実験を実施**。*柱梁壁等を組合わせた建物を部分的に再現した架構
一般的な構造計算プログラムに組み込むための**実験結果を反映したモデル化手法の検討**



メガストラクチャ



タイプⅠ (RCメガ + 木2層) タイプⅡ (各階S + CLT壁)
事務所建築試設計例

S造骨組 + CLT壁部分
架構実験のイメージ

CLT壁 + 集成材梁実大架構
試験体と解析モデル

今後の取り組み

※タイプⅢに関する検討はR1で終了

- **タイプⅠ** (RCメガストラクチャー + 木架構2層) **部分架構試験体の設計・製作、構造設計法の提案**
- **タイプⅡ** (S造骨組 + CLT壁, RC造骨組 + CLT壁) **部分架構試験体の実験実施、構造設計法の提案**

6. 研究開発の実施状況

1. 構造性能に関する検討

2) 混構造建築物の耐震要素、接合部の技術資料・モデル化手法の整備

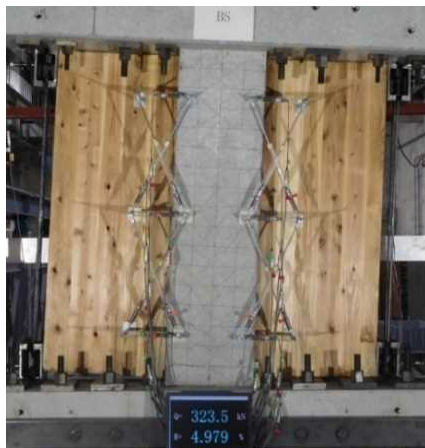
課題と対応方針

- プロトタイプ建築物に用いるためのRC+CLT等の異種構造間の接合部の技術資料の整備
- CLT壁等の新たな耐震要素と集成材等の木質工法の併用構造のモデル化手法に関する技術資料の整備

これまでの検討状況

※タイプⅠについてはR2以降に、1.1) でRC造メガストラクチャーと木造架構間の接合部実験を計画

- タイプⅡ (RC造ラーメン柱+CLT袖壁) 試験体の地震時挙動再現実験の実施
- タイプⅡ (RC造ラーメン骨組+CLT袖壁) 試験体の地震時挙動再現実験の実施
- タイプⅢ (CLT壁+集成材梁) の接合部のモデル化方法の検討および接合部実験の実施



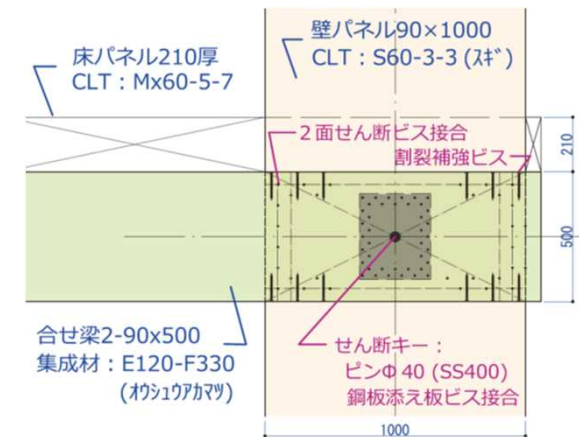
RC造ラーメン柱+
CLT袖壁の部材実験



RC造ラーメン骨組+
CLT袖壁の部分架構実験



CLT壁+集成材梁併用構造の構造実験



成果

※混構造建築物の耐震要素、接合部の技術資料・モデル化手法の整備に関する検討はR1で終了

- 混構造接合部の構造モデルや設計上の留意点に関する技術資料の整備

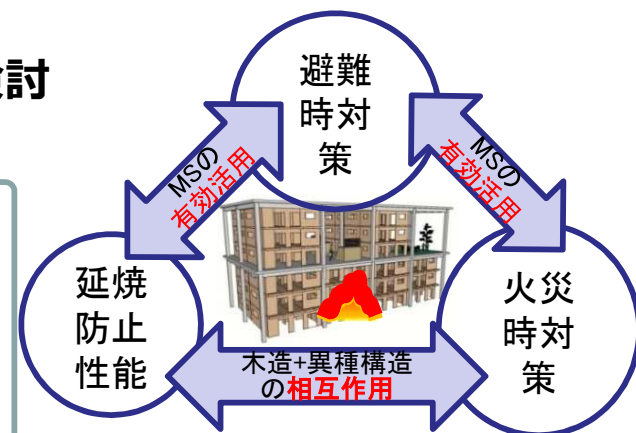
6. 研究開発の実施状況

2. 防耐火性能に関する検討

1) 木質系準耐火・耐火構造と他構造種別による混構造の防耐火設計法の検討

課題と対応方針

- 高い防耐火性能を期待できるRC、S等の構造形式と厚板木質パネル等を組み合わせた混構造中層建築物の防耐火設計法・評価法を構築
- 消火・避難に対する主要構造部(S・RC造、木質部材)の防耐火設計法
- 混構造部材等による他区画への延焼防止設計(防火区画、法第21条2項壁等)
- 建築物の立地を考慮した建築物の評価・設計方法(法第61条)



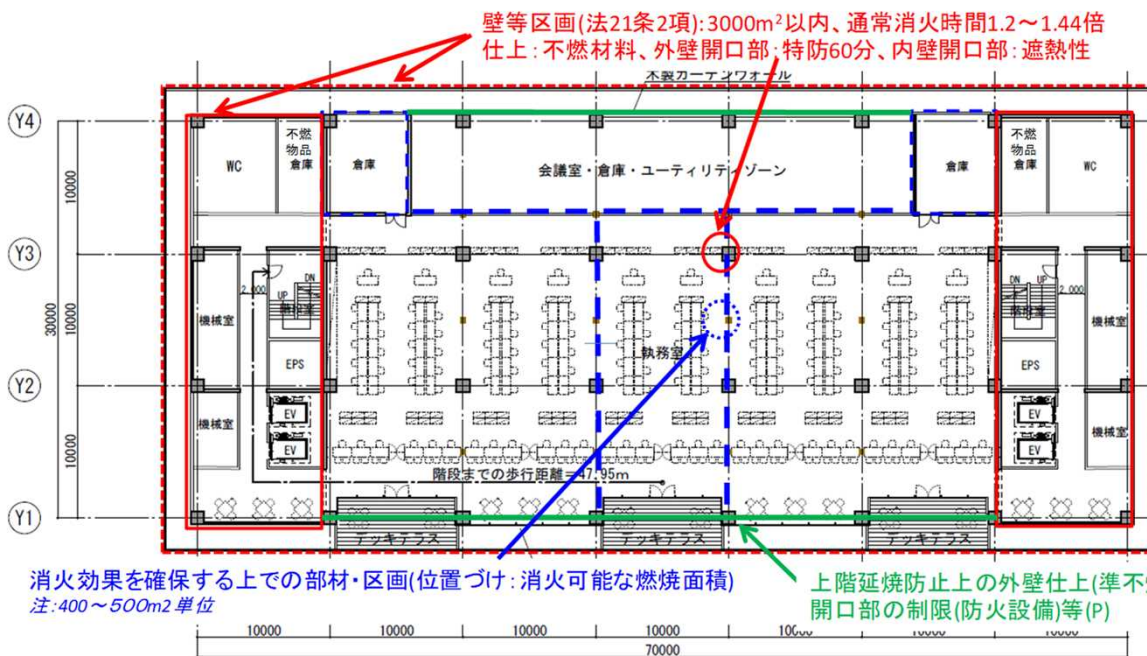
防耐火性能の相互の関係

これまでの検討状況 ※タイプⅢについては既に基準化済み

- **タイプⅠ** 木質化された空間における火災外力の推定技術の改良と防火区画のあり方の明確化
- **タイプⅡ** 事務所、共同住宅試設計の提示。消防活動支援、上階延焼等対策と主要構造部等の必要性能の明確化

今後の取り組み ※タイプⅠ・Ⅱ共通

- 試設計建築物に関して、今後施行予定の検証法に基づく設計・評価法の改良、各種納まりを考慮した防火措置の検討を実施(3000m²以内毎の壁等(法21条2項)による防火区画、防火地域等における延焼遮断性能に関する防耐火設計・評価技術の改良等)



タイプⅠの防火区画計画等

6. 研究開発の実施状況

2. 防耐火性能に関する検討

2) 混構造における延焼防止要素および異種構造部材、接合部等の防耐火性能と構造方法等に関する技術資料の整備

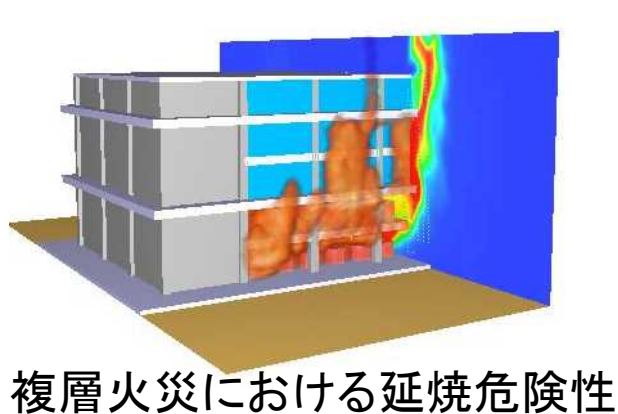
課題と対応方針

- 木質構造とRC、S造から構成される**水平・鉛直部材、接合部等の性能把握**と性能推定技術を整備
- 非木造構造部材、建築物全体の性能を担保できる**高度な構造方法、耐火被覆技術**に関する技術を整備
- 混構造建築物における**防耐火性能と各種性能を確保しうる納まり**に関する技術資料を整備

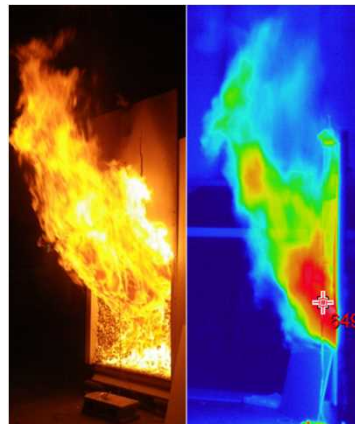
これまでの検討状況

※タイプⅠ～Ⅲ共通

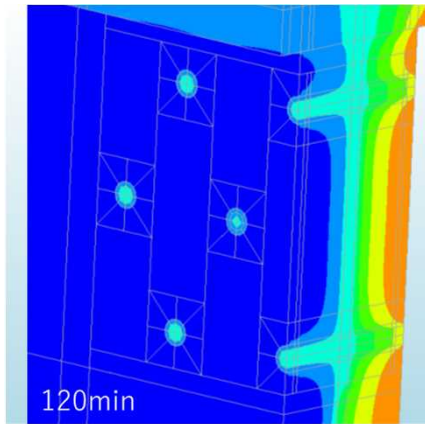
- 上階への入射熱、火炎長さ等**を把握するための実験・解析的検討を実施、**散水設備による上階延焼防止技術**の予備的検討を実施
- 火災加熱を受ける**異種構造(RC造、S造)と木質構造部分との熱的相互作用**に関する実験および数値解析の実施



複層火災における延焼危険性



木質区画の燃焼



ドリフトピンの熱橋の再現



ドリフトピンの燃え抜け

今後の取り組み

※タイプⅠ～Ⅲ共通

- 木質構造部分とメガストラクチャーを組み合わせた各部位等の**延焼防止実験・解析的検討**により、**各種ディテールの性能把握**
- 構造・耐久性・遮音性能を考慮し、各種設計技術を組み合わせた**混構造複合試験体等による検証**を実施

6. 研究開発の実施状況

3. 耐久性能（木造用外壁の防水・防湿性能）に関する検討

課題と対応方針

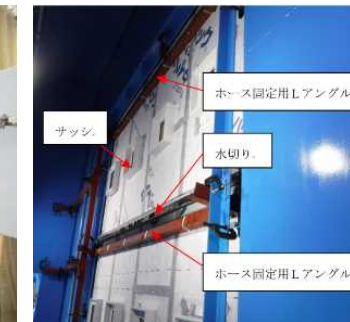
- 新たな木質材料や接合部を用いた木造建築物の、耐久性能確保に関して効果を示す実例や技術資料は殆どない。
- 雨水浸入事例の多い外皮（屋根、外壁、開口部など）を対象に雨水浸入要因や浸入量を調査や試験で検証。**更に雨水浸入等で水分を含んだ外壁内部の環境条件を検証し**推奨仕様等を整理。**
- 長期使用には新築時の配慮同様に維持管理が重要であり、**中層木造建築物の長期維持管理計画のための技術資料を整備。**



中層木造建築物は海外で多く実現されているが、国内で広く建設するにあたって外皮の耐久性について課題がある

これまでの検討状況 ※タイプⅠ～Ⅲ共通

- 通気構法による外壁への雨水浸入について送風散水試験方法を検討し、排気口からの浸入量や防雨型換気部材の低減効果を検討。**各種窓まわり等について**動風圧試験方法や送風散水試験方法を検討し、不具合等に起因する水の浸入の影響を実験により検討。**
- 竣工後10年超の中・大規模木造建築物の**経年変化、維持管理状況等の事例調査**により基礎情報を収集整理。**総プロで検討した設計例の維持管理計画を立案し、外部への木材利用を計画する際に考慮すべき課題について検討。**



送風散水試験

動風圧試験

通気構法の外壁や各種窓まわり等への試験により、雨水浸入量や水の浸入による部材への影響等を検討

今後の取り組み ※タイプⅠ～Ⅲ共通

- 通気構法による外壁を対象に**当初計画通りに、試験方法案及び推奨仕様について検討を進めており、今後、**各種仕様の外壁内部の温湿度状況の実験検討**を踏まえて、**設計・施工技術資料を整備。**
- 既存文献等の整理、維持管理ケーススタディ等**を踏まえて、**維持管理に資する技術情報を整備。**

7. スケジュール(見直しの理由)

検討内容	H29	H30	R1	R2	R3
(1)1) 混構造の地震時挙動再現実験、構造設計法、試設計	【木-木】試験体設計・建設(24)	【木-木】加力実験、限界耐力計算モデル(14)	【木-木】構造設計法(2) 【木-S】試験体設計・建設(15)	【木-RC】試験体設計・建設(15) 【木-S】加力実験(3)構造設計法(3)	【木-RC】建設・加力実験(18)・構造設計法(4)
(1)2) 耐震要素・接合部の構造モデル	接合部・部材の試験体製作(34)	接合部・部材の実験、架構の試験体製作(18)	架構実験・解析(3)、構造モデル・設計上留意点(1)	有識者委員会の指摘を踏まえ、【木-RC】の適用範囲拡大のために実験計画を見直し	
(2)1) 混構造の防耐火設計法	防耐火設計法・枠組検討(4)	(2)	評価法案の検討(5)	設計・評価法の改良(8)	設計・評価法の構築(8)
(2)2) 延焼防止要素・異種構造部材、接合部等の防耐火性能と構造方法等	木質区画、接合部等の加熱実験(20)	木質区画、接合部等の中規模複合部材の実験(15)	複合部材の載荷加熱実験(20)	部分架構等による各種ディテールの性能検証(14)	
(3) 耐久設計・維持管理の検討	耐久性検討(9)	防水実験の実施	耐久性等検討 ナリオ検討(1)	外壁内温湿度環境の詳細検討(5) 維持管理に関する技術資料検討(3)	防水試験法、外壁仕様、維持管理に関する技術資料検討(7)
各年度の予算額	91(百万円)	57(百万円)	54(百万円)	51(百万円)	37(百万円) 14

R1後半以降に告示追加される予定の性能検証ルートにより、試設計建築物の評価法を再検討。

各分野の成果を統合した納まりについて追加検証を実施

有識者委員会の指摘を踏まえ、長期耐久性を有する木造用外壁仕様の検討を追加

7. スケジュール(見直し後)

検討内容	H29	H30	R1	R2	R3
(1)1) 混構造の地震時挙動再現実験、構造設計法、試設計	【木-木】試験体設計・建設(24)	【木-木】加力実験、限界耐力計算モデル(14)	【木-木】構造設計法(2) 【木-S】試験体設計・建設(15)	【木-RC】試験体設計・建設(15) 【木-S】加力実験(3)構造設計法(3)	【木-RC】建設・加力実験(18)・構造設計法(4)
(1)2) 耐震要素・接合部の構造モデル	接合部・部材の試験体製作(34)	接合部・部材の実験、架構の試験体製作(18)	架構実験・解析(3)、構造モデル・設計上留意点(1)		
(2)1) 混構造の防耐火設計法	防耐火設計の枠組検討(4)	素案の検討設計技術の検討(2)	設計・評価法案の検討(5)	設計・評価法の改良(8)	設計・評価法の構築(8)
(2)2) 延焼防止要素・異種構造部材、接合部等の防耐火性能と構造方法等	木質区画、接合部等の加熱実験(20)	木質区画、接合部等の中規模複合部材の実験(15)	複合部材の載荷加熱実験(20) 設計技術資料	部分架構等による各種ディテールの性能検証(14)	
(3) 耐久設計・維持管理の検討	耐久性検討(9)	防水実験の実施(4) 維持管理計画立案(4)	耐久性等検討(4) 劣化外力・劣化シナリオ検討(4)	外壁内温湿度環境の詳細検討(5) 維持管理に関する技術資料検討(3)	防水試験法、外壁仕様、維持管理に関する技術資料検討(7)
各年度の予算額	91(百万円)	57(百万円)	54(百万円)	51(百万円)	37(百万円) 15

計画通り実施済み
計画通り実施中

8. 研究開発の進捗状況・目標達成の見通し

事前評価時

- 2年目終了後に、混構造接合部の構造モデルや設計上の留意点に関するガイドラインを出し、限界耐力計算や時刻歴応答解析による大規模混合構造物で構造計算適合性判定や大臣認定の審査を受けるものの設計を可能とする
- 3年目終了後に、木-木混構造の保有水平耐力計算を可能とするガイドライン発出
- 4年目終了後に、木-RC混構造の保有水平耐力計算を可能とするガイドライン発出
- 5年目終了後に、木-S混構造の保有水平耐力計算を可能とするガイドライン発出

目標達成の見通し

			技術資料（公表予定年度・概要）	
構造分科会 (1) 1)	架構の構造設計法	木-木	R2年度(2020)	木-木混構造の許容応力度計算、許容応力度等計算を可能とする設計マニュアルおよび設計例の整備
		S-木	R3年度(2021)	木-S混構造の保有水平耐力計算を可能とする技術資料、設計例及び推奨仕様の整備
		RC-木	R4年度(2022)	木-RC混構造の保有水平耐力計算を可能とする技術資料、設計例及び推奨仕様の整備
(1) 2)	耐震要素、接合部の技術資料・モデル化手法		R1年度(2019)	混構造接合部の構造モデルや設計上の留意点に関する技術資料の整備
防火分科会 (2) 1)	防耐火設計法		R4年度(2022)	木質系準耐火・耐火構造と他構造種別による混構造の防耐火設計法に関する技術資料（R1施行の法改正に適合する推奨仕様の提示等）の整備
(2) 2)	延焼防止要素および異種構造部材、接合部等の防耐火性能と構造方法等		R1年度(2019)	混構造における延焼防止要素及び異種構造部材、接合部等の防耐火性能と構造方法等に関する技術資料の整備
耐久性分科会 (3)	耐久設計・維持管理		R4年度(2022)	耐久性に係る防水性評価試験法、木造外壁の推奨仕様及び維持管理技術資料の提示

9. 研究開発の成果・施策への反映と効果（当初計画）

成果（アウトプット）

- 木造と他構造種別、他構法による混構造建築物の構造設計法の提案、防耐火上の技術資料の整備
- 官庁施設における木造技術資料類への反映
- 混構造建築物における防水性能上の設計外力の標準化
- 中層混構造建築物の耐久性に係る防水性評価試験法及び維持管理技術資料の提示

社会に与える効果（アウトカム）

- 木材の新たな需要拡大・利用促進
- 林業県等地域の林業復興・雇用拡大、木材産業・建設産業活性化
- 都市部における木のある空間・まちの拡大（都市における炭素蓄積量の増加＝省CO₂）

9. 研究開発の成果・施策への反映と効果（見直し後）

成果（アウトプット）

- 木造と他構造種別、他構法による混構造建築物の構造設計法の提案、防耐火上の技術資料の整備
- 混構造建築物の設計例を各部仕様とともに提示
- 官庁施設等における木造技術資料類への反映
- ~~○混構造建築物における防水性能上の設計外力の標準化~~
- 中層混構造建築物の耐久性に係る防水性評価試験法、木造用外壁の推奨仕様及び維持管理技術資料の提示

事前評価の指摘を受け追加

有識者委員会の指摘により、防水上の設計外力の検討を踏まえた「木造用外壁の推奨仕様」を提示することとし、次の項目と統合

- これら成果の公表により、このたびの建築基準法改正（防火・避難規定）によってどのような木質混構造建築物が実現可能となり、そのための設計・施工における留意事項は何かなどが、利用者や事業者に周知される。

社会に与える効果（アウトカム）

- 木材の新たな需要拡大・利用促進
- 林業県等地域の林業復興・雇用拡大、木材産業・建設産業活性化
- 都市部における木のある空間・まちの拡大（都市における炭素蓄積量の増加＝省CO₂）

10. 事前評価時の指摘事項に対する対応状況

事前評価時の指摘事項	対応
<p>本格的な技術開発の着手前に、想定する<u>プロトタイプを設計し社会的ニーズとの整合を確認</u>すべきある。</p>	<p>木質混構造の特徴を踏まえた事前検討により、<u>社会ニーズの実現可能性が高い構造として3つのタイプを抽出し</u>、外部有識者・実務者との協議の上、<u>設計例を作成</u>している。</p>
<p>そのうえで、材料の長期耐久性の確認や各種構造の接合部における検証、自重軽減によるメリットの考慮など、<u>検討すべき項目について整理</u>すべきである。</p>	<p>上記の<u>事前検討において</u>、構造・防火・耐久性の観点から各部の検討を行い、<u>メリット・デメリット、検討すべき課題の抽出等を行った</u>。また、耐火性能については、中層木造建築の防火規制の緩和の法令改正（令和元年6月施行）の観点から検討項目の抽出を行った。</p>
<p>木造の中層建築や耐火性能に関しては、客観的データに基づく説得力のある説明を行うことで<u>社会の理解を深める</u>こととし、本研究開発により国産材の利用促進や地方経済の活性化、将来マーケットの拡大にまでどのように繋がるのか、<u>目標を明確にして実施すべき</u>である。</p>	<p><u>開発目標を明確化し、具体化した複数のプロトタイプ建築物について、その実現に向けた実験や解析検討を主体として検討を行っている</u>。</p>