

総合技術開発プロジェクト

「循環型社会及び安全な環境の形成のための建築都市基盤整備技術の開発」

中課題 「木材活用型低環境負荷建築構造技術の開発」

国土技術政策総合研究所

1．研究の目的

建築材料としての木材は、建設時の二酸化炭素発生量が少なく、かつ、空気中の二酸化炭素を炭素として固定保存する炭素固定効果を有することから、建築物への木材の利用拡大は環境負荷の低減に効果的であると言われている。本技術開発プロジェクトでは、以下の要素技術、及びその設計法・性能評価法を開発し、従来の木造では困難であった中層の事務所や集合住宅などの建築物を、木材を活用しながら実現するための技術環境整備を行うこととする。

- (1) 木質材料と他の材料とを複合化した木質ハイブリッド部材（図 - 1 参照）
- (2) 木質部材間の異種材料を用いた接合部、及び木材と他材料の間の接合部
- (3) 木造と他の構造を複合化した木質ハイブリッド構造（図 - 2 参照）

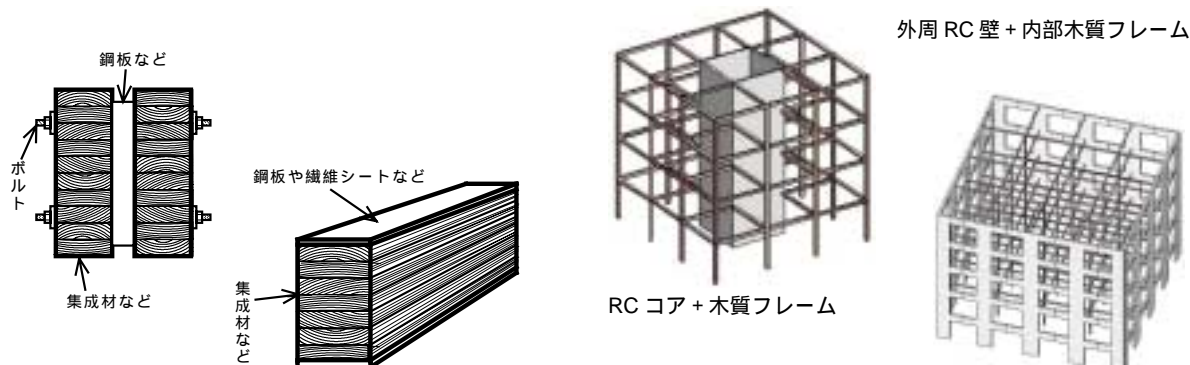


図 - 1 木質ハイブリッド部材の例

図 - 2 木質ハイブリッド構造の例

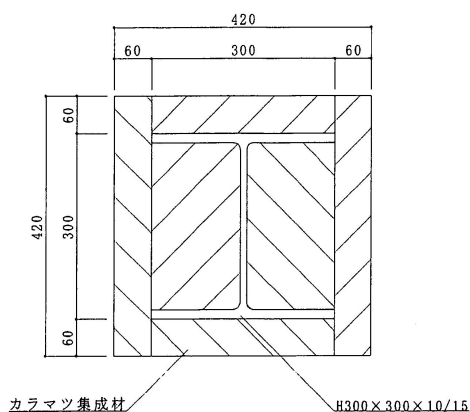
2．研究内容

2.1 耐火部材の開発

5階建て以上の木質ハイブリッド構造を建設する場合、現行法規の下では、その主要構造部を耐火構造とすることが求められる。建築物の部分と建築物の階に対して建築基準法施行令では5階建ての2～5階及び4階建ての各階では1時間、5階建ての1階では2時間の耐火時間が要求される。この要求に対して、部材の耐火構造に関する検討として、平成13年度から平成15年度にかけて、柱、梁、壁、床の各部材について、耐火性能に関する実験的検証が行われた。その結果、床、壁については石膏ボード等の耐火被覆を用いる方法により、また、木材を使用した柱梁部材についても、2種類の部材、すなわち「燃え止まり部材」と「被覆系部材」について1時間耐火の性能が確認された。燃え止まり部材は、図 - 3 (a)のように、内部が鋼材で周囲に集成材等の木材を接着材等により張り付けた部材であり、木材が完全に燃え尽きることなく途中で「燃え止まる」ため、火災後の荷重支持能力を維持するものである。一方、被覆

系部材は図 - 3 (b)のように、修正材等の木材の周囲を強化石膏ボード等で被覆して耐火性能を高めた部材である。どちらも現行の建築基準法に基づく耐火性能試験法において、特定の仕様の場合に耐火1時間または2時間の性能が得られること、すなわち、燃え止まり部材については1時間耐火であれば「1時間の加熱 + 3時間の放置 + 炉から取り出して放置」の過程で炭化が止まること、被覆系部材では木材の炭化が生じないか又は炭化が止まることが確認された。

(a)燃え止まり部材の例



(b)被覆系部材の例

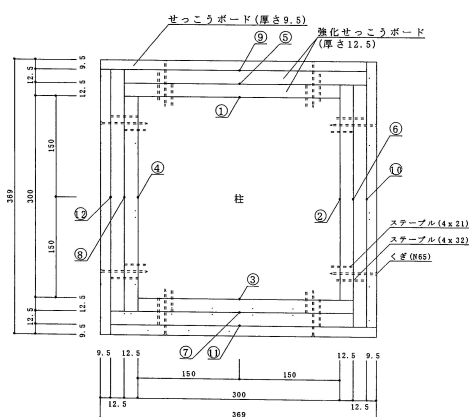


図 - 3 耐火性能が確認された部材の例

2.2 その他の耐火性能確保方策の検討

さらに、現行の基準法の下では実現が困難と考えられるが、木材を構造及び意匠に活用した設計が可能となる以下の2つの耐火性能確保方策について、将来の基準法改正の提案も視野に入れながら検討を進めた。

一つ目は構造レベルのハイブリッド化による耐火性能の実現で、木造部分が燃え尽きて、他の耐火構造の部分が残って構造物としては倒壊せずに形態が維持されるという構造の可能性である。現行基準では木造部分も主要構造部と見なされて耐火性能が要求されるため、木造部分が極めて小規模な場合を除き、この考え方では建設が不可能であると思われる。しかしながら、実際には避難安全性が確保される可能性があり、防火性能の点から見ても安全な設計が実現できる可能性がある。

二つ目はスプリンクラーの積極的な利用である。現在の我が国のスプリンクラーは初期消火を主目的とするが、スプリンクラー等の能動的消火設備を有効に作動させることにより、可燃物の燃焼抑制効果や、木材表面への散水による着火防止及び炭化進行の停止などが期待できる。これらに関する将来の基準改正も視野に入れた検討として、実験や解析による基礎資料の蓄積が行われた。

2.3 各部構造に関する検討

各部構造に関する検討としては、木質ハイブリッド部材、木質ハイブリッド構造に用いる接合部、床システムを主たる対象として、剛性耐力の算定式、理論式と実験との照合、耐力剛性に及ぼす影響因子、構造システムから見た部材・接合部に対する要求、接着耐久性の評価法等の検討を行った。

木質ハイブリッド部材については、応力の種類と抵抗機構による分類整理を行った上で、木質ハイブリッド部材の剛性耐力に関する理論式を提案し、鋼材や FRP で補強した木質ハイブリッド部材、鋼材を内部に挿入した木質ハイブリッド部材について、曲げ、せん断、座屈に対する加力実験を行い理論式との照合を行った。木質ハイブリッド部材相互の接合部については、接合部の分類整理を行った上で、コンクリートと木材との接合において高耐力が期待されるグルードインロッド形式の接合部について、せん断型接合、引張型接合の加力試験を行い、理論式の適用性を検証した。併せて、木質ハイブリッド構造での使用が想定される、木材同士の接合部に対する各種の補強方法を取り上げ、接合部補強の考え方を整理するとともに、補強効果に関する実験的検討を行った。

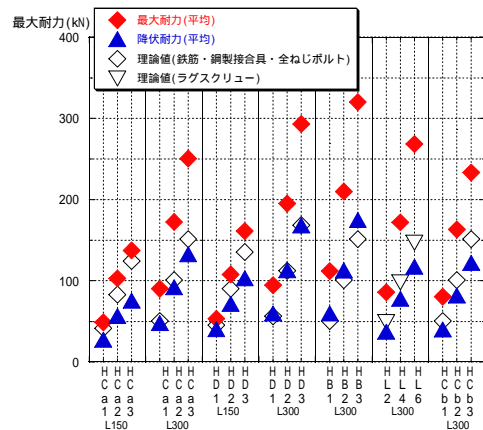
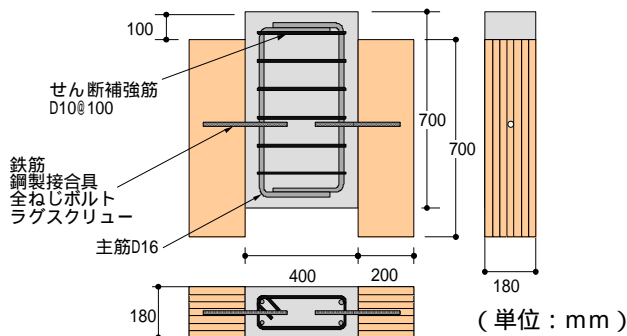


図 - 4 グルードインロッド接合部のせん断試験体

図 - 5 耐力の理論値と実験値の比較

木質ハイブリッド構造に使用される床システムについては、層構成等による分類を行った上で、代表的な床システム 4 種類について、既往データの少ない面内せん断性能に関する実験を行い、剛性耐力の計算式を提案して、その照合を行った。

以上の他、剛性耐力に及ぼす各種の影響因子について考え方を整理し、特に長期荷重に対する性能評価及び長期的な性能劣化に関する検討として、木質ハイブリッド部材のクリープ変形の実験的検討、ハイブリッド部材の耐力に及ぼす荷重継続時間の影響に関する考察、接着耐久性の評価法に関する実験的検討を行った。

木質ハイブリッド部材、接合部等については、様々な種類の部材・接合部が無数に考えられ、木質ハイブリッド構造の構造性能評価、構造設計においては、これらの部材、接合部等に対する各種の試験データをもとに各部の構造特性を把握し、構造性能評価、構造設計に繋げていくことが想定される。そのような場合を想定して、既往の試験規格や本プロジェクトで実施された試験法を参考にしながら、木質ハイブリッド部材、接合部等の標準試験法の提案を行った。

2.4 構造システムに関する検討

構造システムに関する検討としては、木質ハイブリッド構造の構造物全体の構造設計法及び構造性能評価法の作成に必要であり、かつ現在不足しているデータの蓄積を目的として、以下の研究課題を抽出して検討を重ねた。

内部他構造 + 周辺木造、周辺他構造 + 内部木造などの平面的な複合システム、及び 1 階 RC 造 + 2 ~ 5 階木質構造のような立面的複合システムを対象とし、立面的な複合システムにおけ

る地震力の高さ方向の分布、平面的ハイブリッドにおける等価線形化法の適用範囲等について解析的な検討を行った。1階RC造、2～5階木造を想定した立面的複合システムについては、現行の地震層断力分布係数 A_i が妥当であり、現行基準で要求される剛性率による割増しは必要がないことが確認された。

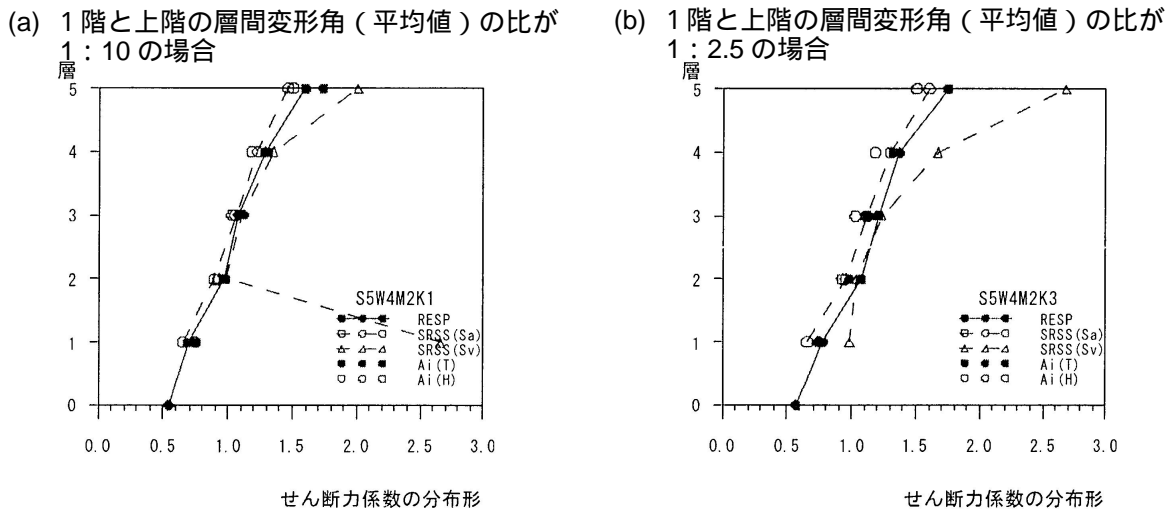


図 - 6 1階RC造、2～5階木造の場合のせん断力係数の分布形の比較
(RESP：弾性応答計算結果、SRSS：固有値解析に基づく結果、 A_i ：現行基準)

本プロジェクトでは中層の事務所建築物、集合住宅等を開発の対象に想定しており、床の面外変形や振動に対しても戸建て住宅のレベルを超える高い性能が要求される。そのため、面外方向の構造性能が比較的高い層構成3種類を取り上げて、面外曲げ及び振動性状に関する実験及び解析的検討を行い、解析の有効性を確認した。また、木質構造と他構造との接合部分においては、構造物の長期的挙動の問題が予見されるため、クリープ変形や膨潤収縮等による変形量の差に起因する段差等の障害及び2次応力の発生について検討を加えた。そのための基礎データとして、既往データの乏しい大断面集成材の繊維方向のクリープ特性に関する実験を行い、実大材のクリープ特性の把握を行った。さらに、木質ハイブリッド構造を現行基準に従って設計する場合には、限界耐力計算の適用が最も妥当と考えられたため、その耐震性能検証法について、適用可能性の検討と課題の抽出を行った。平面的な複合システムについては、限界耐力計算の適用に際して、ねじれモードが卓越しないこと、水平構面での先行破壊が生じないことなどが条件として必要であることが示された。

以上の検討結果を踏まえ、木質ハイブリッド構造を対象とした構造性能評価の原則を整理し、とりまとめた。

2.5 具体的な設計法に関する検討

木造とRC造又は木造とS造のように異種構造を平面的に複合した「複合システム」、及び木質ハイブリッド部材で構成される構造システムや木質構造同士の複合システムなどの「木質システム」といった実現性の高い構造システムについて、具体的な構造設計法の開発を目標として、高性能の接合部や耐力壁の開発とその性能評価、複合システムの実大振動実験による地震時挙動の把握、木質系耐火構造の試設計等の検討を行い、構造設計指針としてとりまとめた。



図 - 7 複合システムの実大振動実験（左：2層の試験体、右：接合部の破壊状態）

2.6 共同住宅の試設計

燃え止まり部材、又は被覆系部材を用いた木質ハイブリッド構造の試設計を、共同住宅を対象として実施し、1階をS造、2～5階を燃え止まり部材の柱梁を用いたラーメン構造又は壁式構造とした場合の構造設計を行った。構造、防火以外の諸基準にも適合するよう、細部の検討を行っている。燃え止まり部材の耐火構造に関する大臣認定を必要とするが、ほぼ現行の基準法の枠内で実現可能な設計例となっている。このほか、木材を主体とした被覆型の部材を用いた場合の4階建て共同住宅の試設計も同様に行っている。

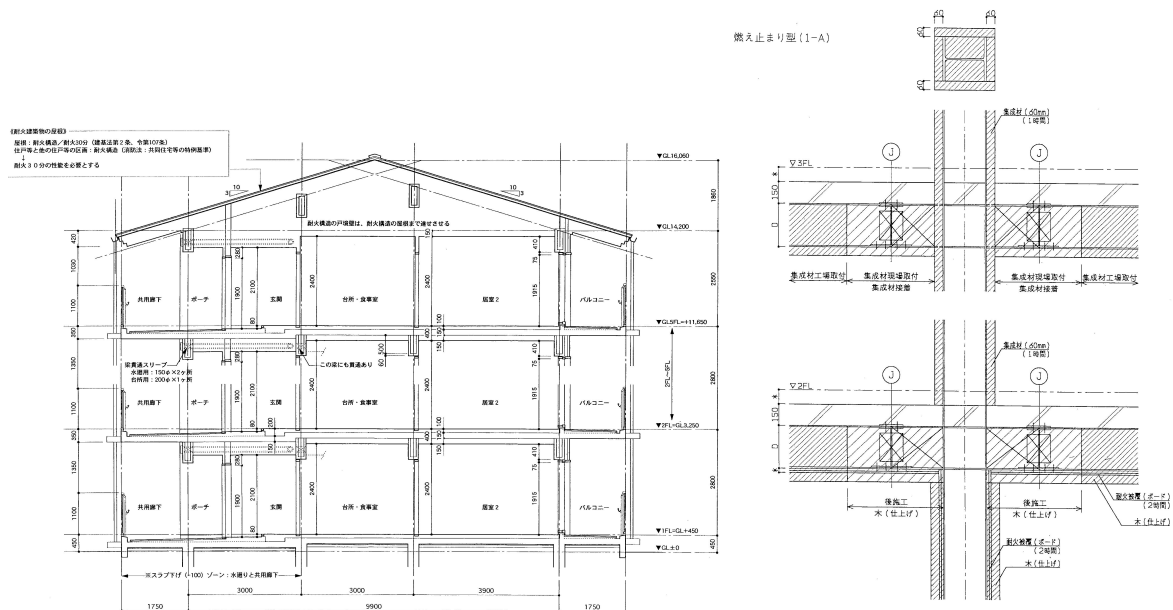


図 - 8 共同住宅試設計の例（断面図・断面詳細図）

3. まとめ

本プロジェクトにより、木材を活用した4階建て以上の耐火建築物が、ほぼ現行基準における性能評価法の枠内で可能となることが明らかになった。研究成果のうち、性能評価に際しての基本的な考え方を木質複合建築構造の性能評価の原則として、また、実際の設計で必要となる情報を木質複合建築構造の設計指針としてとりまとめた。