

10階建ての木造集合住宅の 設計例の作成に向けて

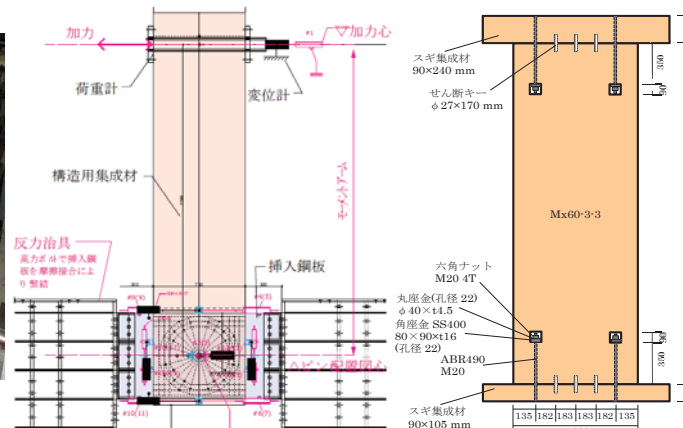
(問い合わせ)

材料研究グループ
主任研究員 樋本 敬大
Tel 029-879-0661
E-mail tutti@kenken.go.jp

概要 建築研究所では、CLT(直交集成板)など木質系材料を構造躯体に使用した中高層建築物等の実現に向けて研究開発を進めています。

関連する様々な技術基準等について順次、試験・研究成果をとりまとめ、懇談会では4つの成果の概要を報告します。(①木質複合材料の性能評価方法の提案、②集成材フレーム構造の構造設計マニュアルの改訂原案、③6階建て枠組壁工法実験棟における各種性能評価、④CLTパネル構造の仕様書の規定素案)

更に、これらの成果も活用し、10階建て木造集合住宅の設計例の作成を目標とする内閣府PRISM(官民研究開発投資拡大プログラム)において、4つの工法(マスティンバー、枠組壁工法、接着パネルを活用した構法など)を対称として検討を開始しました。



中高層木造建築物等の構造設計技術の開発(平成28~30年度)における検討項目

- (1) 木造建築物の中高層化を実現する**複合材料等の性能評価技術**の開発
- (2) **集成材等建築物**の中高層化に要する構造計算基準の適正化・合理化
- (3) **中高層軸組耐力壁構造**の許容応力度等計算に関する設計技術の検討
- (4) **中高層枠組壁工法・CLT構造**の許容応力度等計算に関する設計技術の検討
- (5) **中高層木質併用構造等**の設計技術の検討
- (6) **CLTパネル構造の仕様書**の規定の検討

説明部分

3

(1) 複合材料等の性能評価技術 研究の背景

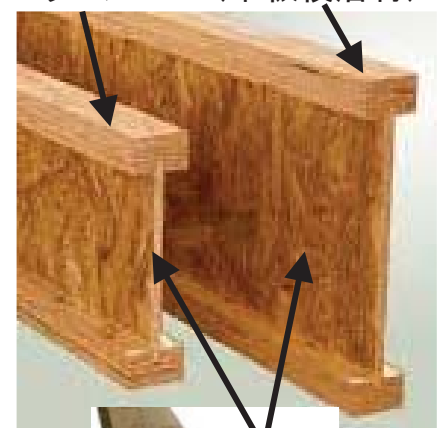
中高層化を実現する部材の例として

- **木質複合軸材料**(指定建築材料): 構成要素の品質から部材の性能を評価する方法が確立されておらず、大臣認定が取得できない。
- **異種材料との複合部材**: **性能評価法は確立されていない。**

→ **達成目標**:

中高層木造建築物に用いる木質複合部材等の性能特性値の予測手法に関する技術資料及び性能評価指針案

フランジ: LVL(単板積層材)



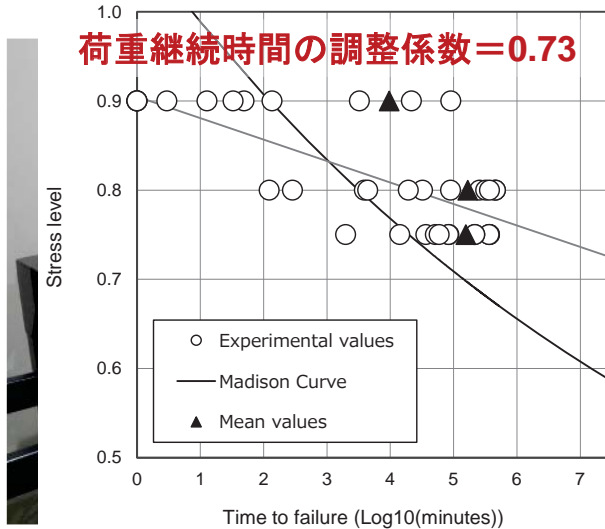
ウェブ: OSB (Oriented Strand Board)

4

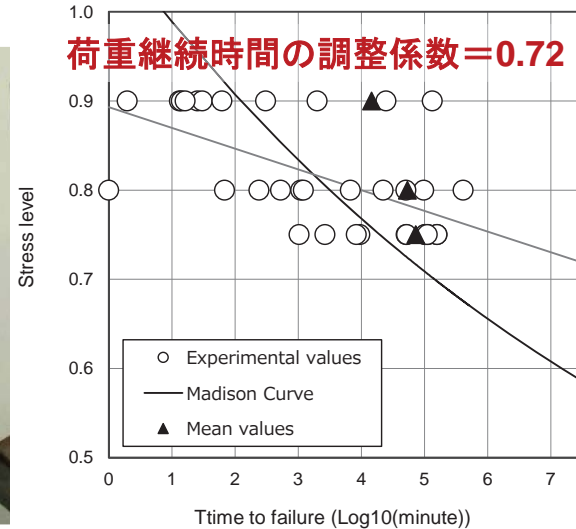
(1) 複合材料等の性能評価技術 (1/2)

1) 各種複合材料の性能評価法の合理化に関する検討

木質複合軸材料の性能評価法の合理化を目的として、構成要素であるLVLと部材自体(I型ジョイスト)の荷重継続時間の調整係数を求め、構成要素の特性値と部材の特性値の関連性を検証した。



構成要素であるLVLのクリープ破壊試験

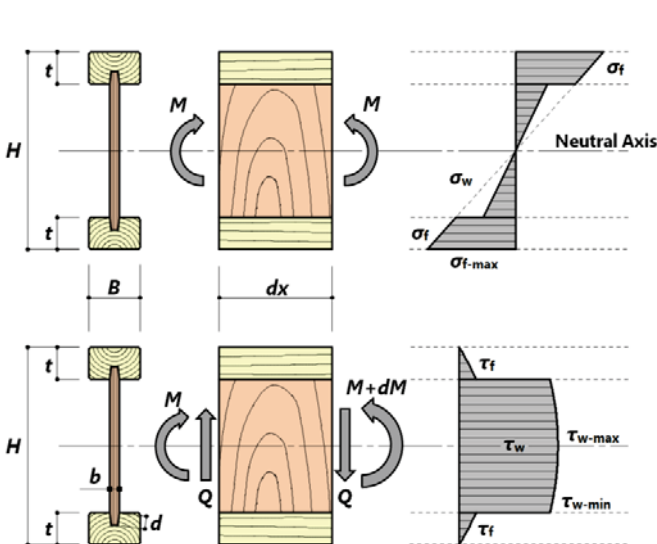


I型ジョイストのクリープ破壊試験

(1) 複合材料等の性能評価技術 (2/2)

2) 各種複合材料の性能評価法に関する指針案の検討

木質 I 型梁を対象に、構成要素の性能、品質に関する特性値から、部材自体の特性値を予測する手法について、性能評価の指針案としてとりまとめた。



略号	破壊部位	破壊モード	頻度	スパン	発生条件
I	フランジ	曲げ(引張)	多い	長い	梁せいが大きくフランジ幅が小さい、倒れ止めが少ない
		曲げ(圧縮)	少ない	長い	
II	ウェブ	面内曲げ	なし	短い	
III	ウェブ	面内せん断	あり	短い	せん断区間にウェブ継ぎ手がないor強固に接合、ウェブが薄い・弱い、差し込み深さが深い
IV	フランジ-ウェブの接合部	せん断(水平方向)	少ない	短い	せん断区間にウェブ継ぎ手がない、ウェブが厚い・強い、差し込み深さが浅い
V	ウェブ-ウェブの継ぎ手	せん断(垂直方向)	多い	短い	せん断区間にウェブ継ぎ手がある、ウェブが厚い・強い、差し込み深さが深い
VI	ウェブ	圧縮座屈	少ない	極めて短い	ウェブが薄い・弱い、梁せい・フランジ幅が大きい
VII	フランジ	めり込み	少ない	極めて短い	ウェブが薄い・弱い、梁せい・フランジ幅が大きい

(2) 集成材等建築物の中高層化 研究の背景

- 集成材建築: 終局状態を考慮した設計法の導入と大断面マニュアル (BCJ, 1988) の改訂が望まれて久しい。
- 集成材厚板パネル: 直交層を含むCLTより高層化へ有利か? 現状は床・屋根への利用に留まっている。

→ 達成目標

集成材フレーム構造の設計・施工マニュアルの改訂原案並びに集成材厚板パネルによる構造の構造性能評価方法に関する技術資料及び構造設計例

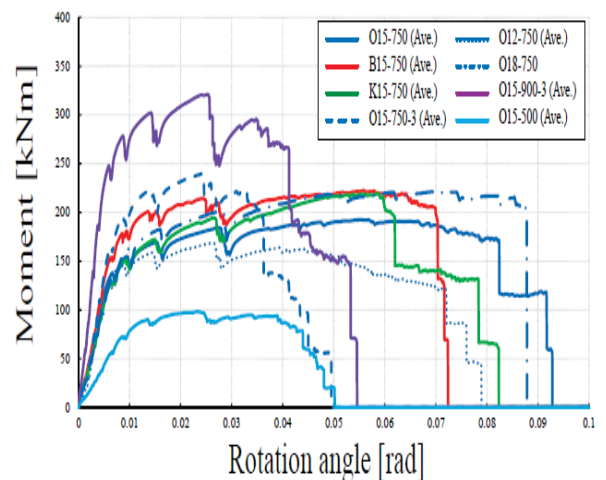
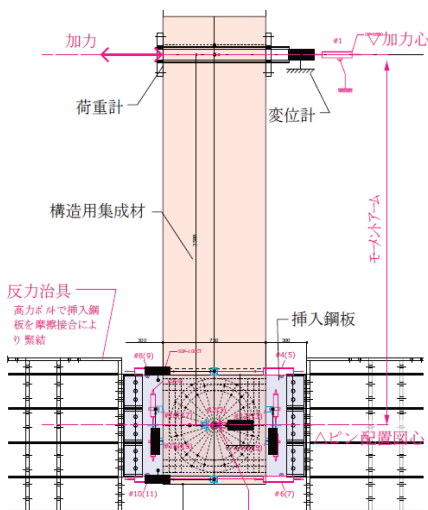


架構形式の分類			
<p>ラーメンフレーム</p>	<p>ブレース構造</p>	<p>耐力壁併用</p>	<p>アーチ構造</p>

(2) 集成材等建築物の中高層化 成果 (1/3)

1) 鋼板挿入ドリフトピン接合の終局耐力評価法の開発

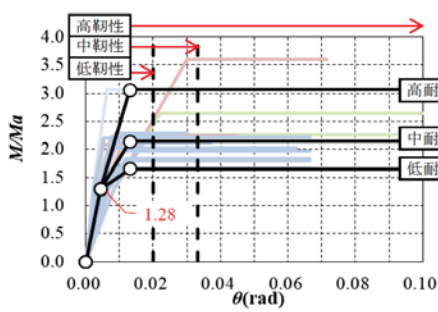
鋼板挿入式ドリフトピン接合の回転抵抗試験を行い、その終局耐力の設計法を検討した。その結果、少なくとも一定のルールに基づいた配置については、設計用終局耐力を設計可能で、1)のマニュアルに反映させる見込みがたった。



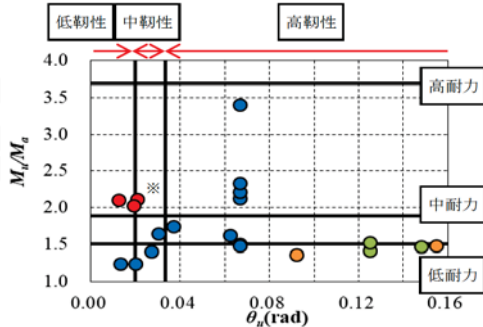
(2) 集成材等建築物の中高層化 成果 (2/3)

2) 接合部の履歴減衰特性を考慮した集成材架構の構造特性の設定方法の検討

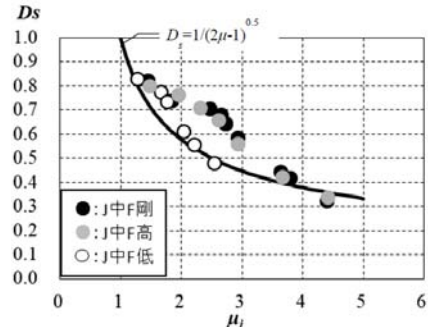
既往の接合部のモーメント-回転角関係に基づいて、耐力・変形能を3段階設定し、この接合部を有する集成材架構の靱性特性を解析的に評価し、構造特性係数(Ds)の設定方法を検討した。その結果、従来から用いられている方法(S55-建告1792号第1を含む)において一部危険側の設定になっていることが分かった。さらに、これらの結果を1)のマニュアルに反映する見込みがたつた。



a) 解析モデルの設定方法



b) $M_u/M_a - \theta_u$ 関係



c) D_s -接合部の塑性率 μ_j 関係

(2) 集成材等建築物の中高層化 成果 (3/3)

3) 集成材建築の設計・施工マニュアルの改訂案の検討

目次

章	節	項
第1章	集成材等建築物の範囲	
1.1	法令上の位置づけ	
1.1.1	建築基準法施行令第46条第2項	
1.1.2	適用可能な材料	
1.1.3	構造性能の法令上の要求	
1.2	集成材等建築物の沿革	
1.2.1	集成材による建築の歴史	
1.2.2	集成材等建築物の変遷	
1.3	集成材等建築物の特徴	
1.3.1	架構形式と接合方法	
1.3.2	本書で扱う架構形式と接合部	
1.3.3	集成材構造の長所	
1.3	構造計画	
1.3.1	鉛直荷重に対する計画	
1.3.2	水平荷重に対する構造計画	
第2章	集成材等建築物に使用する材料の特性	
2.1	構造用集成材	
2.1.1	構造用集成材の種類と特徴	
2.1.2	構造用集成材の日本農林規格	
2.1.3	構造用集成材の強度特性値	
2.2	構造用単板積層材	
2.2.1	構造用単板積層材の種類と特徴	
2.2.2	構造用単板積層材の日本農林規格	
2.2.3	構造用単板積層材の強度特性値	
2.3	構造用製材	
2.3.1	構造用製材の種類と特徴	
2.3.2	構造用製材の日本農林規格	
2.3.3	構造用製材の含水率と構造方法	
2.3.4	構造用製材の強度特性値	
2.4	木質接着成形軸材料	
2.4.1	木質接着成形軸材料の種類と特徴	
2.4.2	木質接着成形軸材料の基準	
2.4.3	木質接着成形軸材料の強度特性値	
2.4	木質複合軸材料	
2.4.1	木質複合軸材料の種類と特徴	
2.4.2	木質複合軸材料の基準	
2.4.3	木質複合軸材料の強度特性値	
2.6	構造用面材料	
2.7	直交集成材 (CLT)	
第3章	半剛節ラーメン骨組の架構形式と接合部の設計	
3.1	半剛節ラーメン骨組の構造的特徴と接合方法	
3.2	半剛節ラーメン骨組の構造計算モデル	
3.3	引きボルト接合 (秋山)	
3.3.1	柱脚接合部の設計	
3.3.2	柱梁接合部の設計	
3.4	接着接合 (グレードインロッド) (腰原)	
3.4.1	接着接合の最大耐力	
3.4.2	接着接合の許容耐力の設定方法	

章	節	項
3.5	ラグスクリーボルト接合 (小谷)	
3.5.1	ラグスクリーボルト単体の引抜性能	
3.5.1	ラグスクリーボルトを用いた柱脚接合部	
3.5.2	ラグスクリーボルトを用いた柱梁接合部	
3.6	鋼板挿入接合 (秋山)	
3.6.1	初期剛性の算出	
3.6.2	降伏モーメント	
3.6.3	終局モーメント	
3.6.4	保力耐力接合の条件	
3.6.5	ルート1・2における靱性能による低減	
3.6.6	柱側の設計	
3.7	含わせ梁式モーメント抵抗接合 (稲山)	
3.7.1	含わせ梁式モーメント抵抗接合の許容耐力	
3.7.2	含わせ梁式モーメント抵抗接合の終局耐力	
第4章	ブレース・方づえ・アーチ構造の架構形式と接合部の設計	
4.1	面材耐力壁構造	
4.2.1	面材耐力壁の種類と構造的特徴	
4.2.2	面材耐力壁の耐力と接合部の設計	
4.2.3	面材耐力壁構造の構造計算モデル	
4.2	ブレース構造 (五十田)	
4.2.1	ブレース構造の構造的特徴	
4.2.2	ブレース構造の接合方法と設計法	
4.2.3	ブレース構造の構造計算モデル	
4.3	ボルト接合による方づえ構造 (五十田)	
4.3.1	方づえ構造の種類と構造的特徴	
4.3.2	方づえのボルト接合部の設計方法	
4.3.3	方づえ構造の構造計算モデル	
4.4	アーチ構造	
4.4.1	アーチ構造の種類と構造的特徴	
4.4.2	高曲率アーチ肩部の接合方法	
4.4.3	アーチ構造の構造計算モデル	
第5章	構造設計方法	
5.1	構造計算ルート (楢本)	
5.1.1	建築物の規模と構造計算ルート	
5.1.2	構造計算の項目と適用関係	
5.1.3	仕様規定の適用関係と適用除外	
5.1.4	方向別構造計算ルートの混用	
5.2	荷重・外力	
5.2.1	自重と積載荷重	
5.2.2	地震力	
5.2.3	風圧力	
5.2.4	積雪荷重	
5.3	設計のクライテリア	
5.3.1	損傷限界と許容耐力	
5.3.2	安全限界と終局耐力	
5.3.3	偏心率とFe割増し	
5.3.4	塔状比と全体転倒	
5.3.5	燃えしろ計算適用時の変形制限	
5.3.6	長期荷重に対するクライテリア	

章	節	項
5.4	各部の設計	
5.4.1	水平構面の検定	
5.4.2	基礎の設計と検定	
5.4.3	接合部 (主架構以外) の検定	
5.4.4	部材の検定* (長期・短期)	
5.5	ルート1の構造計算	
5.5.1	一般事項	
5.5.2	大地震動下での安全確保	
5.6	ルート2の構造計算	
5.6.1	一般事項	
5.6.2	B割増	
5.6.2	大地震動下での安全確保	
5.7	ルート3の構造計算	
5.7.1	一般事項	
5.7.2	Dsの設定方法	
5.8	燃えしろ計算	
5.8.1	法令の規定と要求性能	
5.8.2	柱、はり、梁の継手及び仕口の構造	
5.8.3	燃えしろ計算	
第6章	混構造の構造計算 (平面混構造を加える)	
6.1	構造計算ルート	
6.1.1	混構造の組合せと構造計算ルート	
6.1.2	ルート1を適用できる混構造	
6.2	鉄筋コンクリート造の設計	
6.3	鉄骨造の設計	
6.4	木造部分の設計	
6.4.1	RC造部分の重量に関する特例	
6.4.2	ルート1の構造計算と水平構面の検定	
第7章	試験法・評価法	
7.1	接合部の試験方法と性能評価法	
7.2	架構の水平せん断試験方法と性能評価法	
7.3	半剛架構の靱性率と層のDs	
第8章	構造計算例	
8.1	鋼板挿入ドリフトピン接合による集成材半剛節ラーメン構造	
8.2	ブレース構造	
8.3	アーチ構造	
8.4	方づえ構造	
8.5	混構造	
付録	付-1 集成材の日本農林規格 (構造用集成材) 付-2 単板積層材の日本農林規格 (構造用単板積層材) 付-3 製材の日本農林規格 (構造用製材) 付-4 建築基準法第27条 付-5 木質接着成形軸材料の高質基準 付-6 木質複合軸材料の高質基準 付-7 建築基準法施行令第3条第3項 付-8 建築基準法施行令第2条、同条の2、同条の3、同条の4、同条の6 付-8 昭和62年建設省告示第1898号 付-9 昭和62年建設省告示第1899号 付-10 昭和65年建設省告示第791号第1項 付-11 昭和55年建設省告示第1792号第2項 付-12 平成19年国土交通省告示第503号 付-13 平成19年国土交通省告示第504号 付-14 技術的助言	

「(4) 枠組壁工法の中高層化」のうち、 6階建て枠組壁工法実験棟における 各種性能評価(1/4)

平成26年度木造建築技術先導事業(追加分)、H27:建築、H28~計測、性能評価



11

検証項目

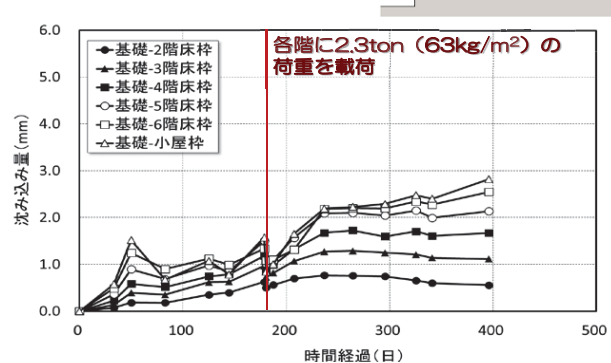
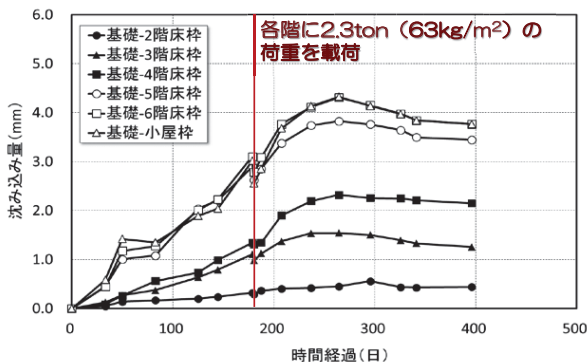
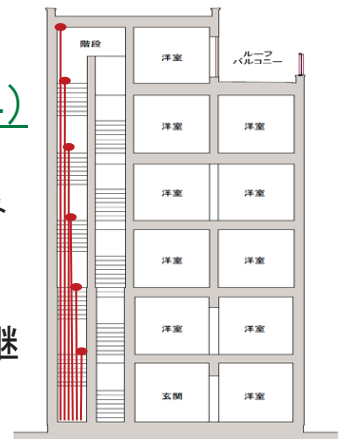
- ① 6階建て以上の建築物の試設計
- ② 構造計算の実施
- ③ 実施設計・建築
- ④ 鉛直荷重に対する性能検証
- ⑤ 水平力に対する性能検証
- ⑥ 建具の性能検証
- ⑦ 遮音性能の検証
- ⑧ 耐久性の検証

「(4) 枠組壁工法の中高層化」のうち、 6階建て枠組壁工法実験棟における各種性能評価(2/4)

①設計、②構造計算、③施工…2016年懇談会で紹介済み

④鉛直荷重に対する性能検証

2~6階に鉛直荷重を付与して各層の沈み込みの経時測定を継続した。鉛直荷重の付与によって収束すべき沈み込みは漸増。



鉛直荷重を付与する前後の沈み込み量(左:階段室、右:西壁北)

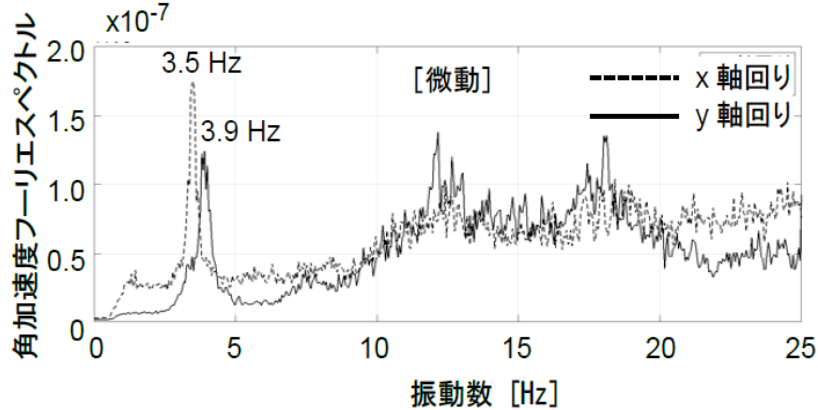
⑥ 建具の性能検証

開口隅角部下の漏水検知を継続したが、2018年1月23日時点で漏水を示すデータは計測されていない。

「(4) 枠組壁工法の中高層化」のうち、
6階建て枠組壁工法実験棟における各種性能評価(3/4)

⑤水平力に対する性能検証・・・強震観測を継続した。紹介済み。
 周囲振動・外部加振による振動特性の検討

常時微動(約10m離れた国道の交通振動を含む)、及び車両を用いた強制加振を行い、各部の微動、速度を計測して解析した結果、当実大験棟のように搭状比が大きいと、建物応答は上部構造の固有振動数による共振ではなく、地盤-上部構造相互作用に伴う基礎構造のロッキングが支配的なること(下図)などが明らかになった。

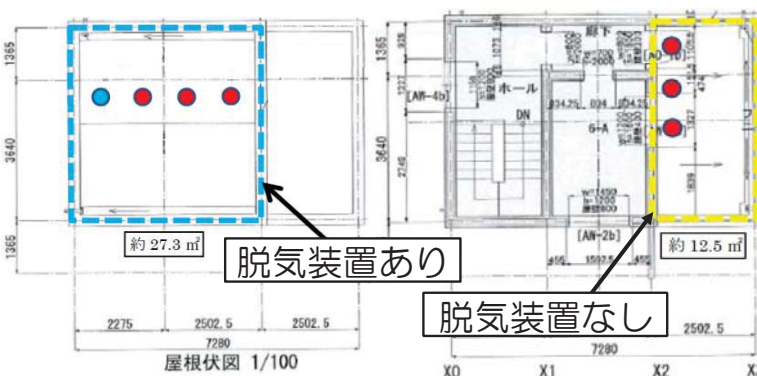


1階床の角加速度フーリエスペクトル(縦軸単位:rad/s²・s) 13

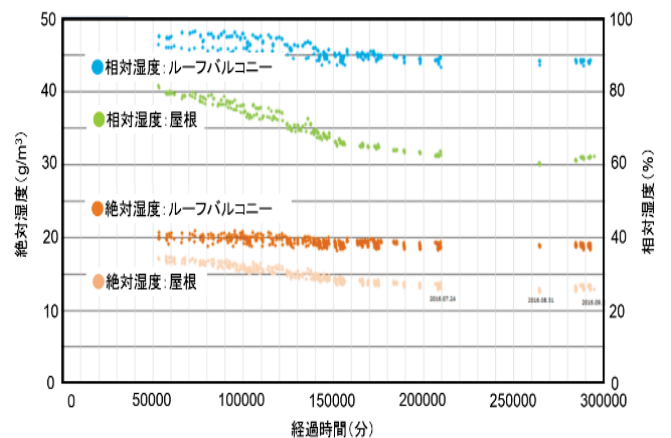
「(4) 枠組壁工法の中高層化」のうち、
6階建て枠組壁工法実験棟における各種性能評価(4/4)

⑧屋上及びルーフバルコニーの防湿脱気性能の検証

防水施工時の降雨を想定し、脱気装置の有効性を検証するために、屋上及びルーフバルコニーに予め散水し、防水層の下の空間の温湿度を測定した。その結果、脱気装置の有効性が確認された。



脱気装置(へっぺ)設置位置 ; ●
 センサー設置位置 ; ● (1m 間隔で設置)



各測定点の相対湿度と絶対湿度の変化

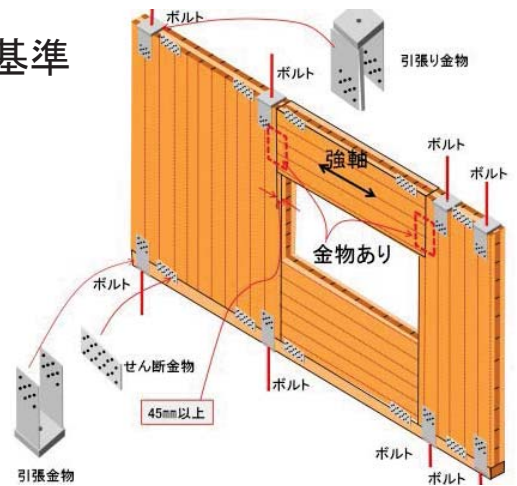
屋上及びルーフバルコニーの温湿度測定箇所と測定結果

(6) CLTパネル工法の仕様書的规定 研究の背景

- H28始めにCLTパネル工法の構造計算基準、基準強度、材料品質基準等の告示が公布・施行
→告示解説書、設計施工マニュアル
- 低層でも構造計算が必須
→構造計算によらない設計法が必要
→業界の要望

→達成目標:

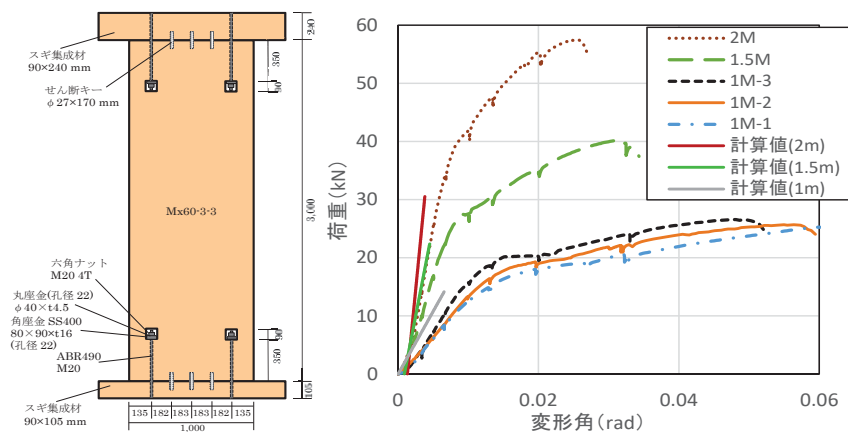
CLTパネルによる構造の仕様書的规定の技術基準の素案及び構造設計例



(6) CLTパネル工法の仕様書的规定 成果

CLTパネルによる構造の仕様書的规定に関する素案の検討

1、1.5、2mの壁パネルと接合仕様の組合せに対して、水平せん断試験を行って、その荷重変形関係について解析モデルで推定した結果、良い結果を得た。耐力壁の評価法に基づいて評価し、ABR490を用いた耐力壁の基準耐力は10.32 kN/mと設定できることが可能性が示唆された。低層CLTパネル構造の仕様書的规定の素案を(3月末までに)とりまとめる予定である。また、仕様書的规定の設計例を作成した結果、平屋の整形プランの外周に充分開口を設けるプランが成立することが判明したが、2階建ての1階には内部耐力壁も必要である可能性が示唆された。



ABR490を用いた耐力壁の基準耐力(kN)

試験体名・評価指標	ABR490 (M16)を用いた場合の評価			
	降伏耐力 Py	終局耐力	2/3 Pmax	1/120 rad 変形時の耐力
1M-1	15.37	9.95	16.85	10.67
1M-2	16.53	10.66	17.12	11.18
1M-3	17.85	11.29	17.72	13.50
1M-4	—	—	—	—
平均値	16.58	10.63	17.23	11.78
標準偏差	1.24	0.67	0.44	1.51
変動係数%	7.46	6.30	2.57	12.81
50%下限値	16.00	10.32	17.02	11.07
1.5M	24.76	16.43	26.79	26.37
2M	35.10	21.09	38.33	39.61

耐力壁試験体、及びせん断変形挙動とその解析結果

内閣府官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)「革新的建設・インフラ維持管理技術／革新的防災・減災技術」における「国-03-05 仮設・復興住宅の早期整備による
応急対応促進」のうち、

③-2「土地の有効利用に資する木造建築物の高層化技術の開発」

研究の背景

- 巨大地震等の災害発生時に復興住宅の整備に長期間を要し、避難所や仮設住宅での生活の長期化が問題。
- 仮設住宅の供給にも相当の時間を要しており、避難所→仮設→復興住宅の住み替えも被災者の負担となっている。
- 被災地においては復興住宅の用地が十分に確保できないことの方が多い。
→高層化が必要である。
- 公共投資として復興住宅を調達する場合には、公共建築物等木材利用推進法の観点からすると、中層以上も木造とすることが望ましい。 17

建築研究開発コンソーシアム

「中高層木造建築物の可能性検討研究会」

(2016～2019.10) → 2019.11～木造建築物の中高層化技術研究会

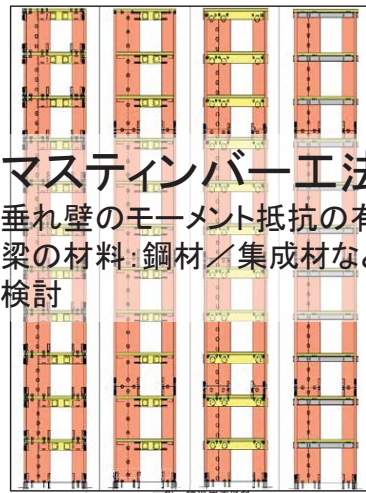
(国研) 森林総合研究所, JSCA, 吉野石膏, 三井住友建設, ミサワホーム総合研究所, 日本システム設計, 建材試験センター, 福山大学, 日本防火技術者協会, 熊谷組, 住友林業, ALC協会, (株)安藤・間, 浅沼組, 日本住宅・木材技術センター, 三井ホーム, 大成建設, 構造計画研究所, フジタ, 清水建設
アドバイザー: 工学院大学(河合教授), 京都大学(五十田教授), 東京大学(腰原教授)、明治大学(梶川准教授)
事務局: 建築研究開発コンソーシアム

中層: 4～9F、高層: 10F以上と定義

技術開発担当者(民間研究開発投資)を募ったところ、以下の4つの構工法について技術開発を実施。

- ・日本システム設計・日本CLT協会: マスティンバー工法
- ・三井ホーム: 枠組壁工法
- ・ミサワホーム総合研究所: 接着パネルを用いた工法
- ・住友林業・熊谷組: 軸組構法によるメガストラクチャー

技術開発対象



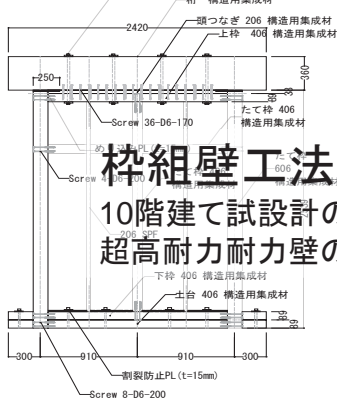
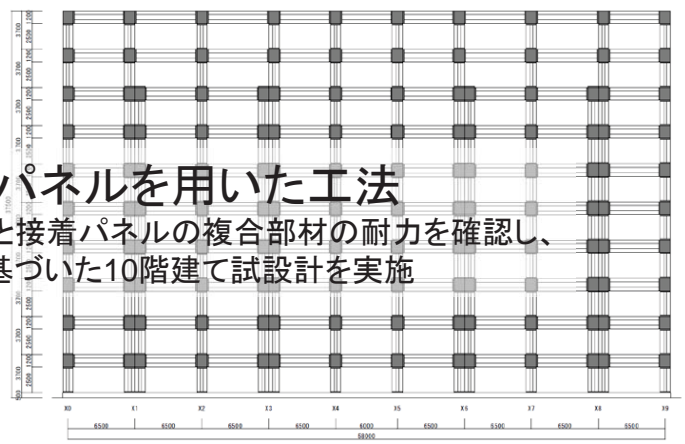
マスティンバー工法

垂れ壁のモーメント抵抗の有無、
梁の材料：鋼材／集成材などを
検討



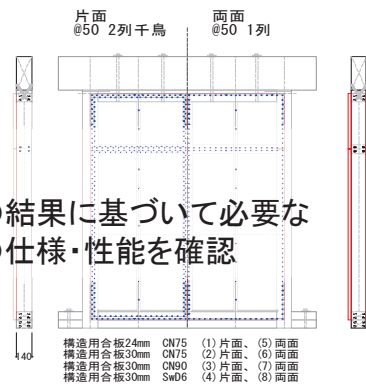
接着パネルを用いた工法

集成材と接着パネルの複合部材の耐力を確認し、
これに基づいた10階建て試設計を実施



枠組壁工法

10階建て試設計の結果に基づいて必要な
超高耐力耐力壁の仕様・性能を確認



軸組構法

基本架構の周期特性と変形予測から、
メガストラクチャーの優位性を確認