

1) - 9 中高層木造建築物の構造設計技術の開発【持続可能】

Development of the structural design method of mid- and high- rise timber structures

(研究開発期間 平成 28~30 年度)

構造研究グループ
Dept. of Structural Engineering

中島 昌一
NAKASHIMA Shoichi
向井智久
MUKAI Tomohisa
野口裕矢
NOGUCHI Yuya
中島史郎
NAKAJIMA Shiro

奥田泰雄
OKUDA Yasuo
岩田善裕
IWATA Yoshihiro
河合直人
KAWAI Naohito
中川貴文
NAKAGAEA Takafumi

長谷川隆
HASEGAWA Takashi
早川翔
HAYAKAWA Sho
五十田博
ISODA Hiroshi

材料研究グループ
Dept. of Building Materials and Componets

槌本 敬大
TSUCHIMOTO Takehiro

山口 修由
YAMAGUCHI Nobuyoshi

秋山 信彦
AKIYAMA Nobuhiko

To develop the structural design method of mid- and high- rise timber structures, the research to get useful data about allowable stress design method according to the building standard law of Japan were performed. The target building types were as follows; (1) conventional post and beam timber structure (2) two by four and CLT structure, (3) CLT panel wall with steel and reinforced concrete structure. A lot of analysis and experiments were performed and technical issues were published.

【研究開発の目的及び経過】

本研究開発課題は、平成 26~27 年度研究課題「CLT 等を構造材とする木造建築物の普及促進に資する設計法の開発」の研究成果を活用し、中高層木造建築物等に使用する複合部材の性能評価法、合理的な構造計算に資する技術的な知見、および木造と異種構造の併用構造等の合理的な構造計算に資する技術的な知見の収集等を行い、設計側あるいは審査側に活用される技術資料として取りまとめることを目的としている。安全かつ合理的な中高層・大規模木造建築物を普及一般化するための技術基準の明確化に関する検討を行う。

【研究開発の内容及び結果】

平成 30 年度に検討した 3 テーマの成果を以下に示す。

(1) 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

従来の低層木造軸組工法では考慮されていなかった、接合部の靱性確保・保有耐力接合部の考え方について、接合部の剛性や固定度をパラメータとした解析的検討を実施し整理した。耐力壁をラーメンモデルで置換することで、腰壁及び垂れ壁による曲げ戻し効果、1F 柱に生じる軸力を求め、柱軸力の低減方法を整理した。これらを取りまとめ、中高層軸組耐力壁構造の許容応力度等計算に関する構造設計ガイドライン(案)を作成した。ガイドライン案をもとに、4 層軸組耐力壁構造の許容応力度等計算に関する構造設計ガイドラインに基づく設計事例を作成した。

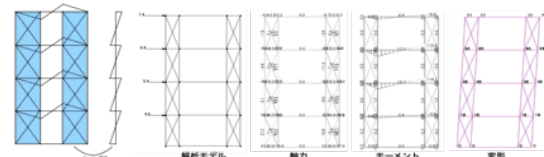


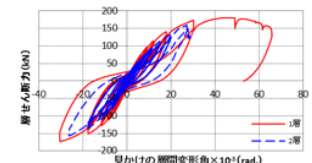
図 1 4 層在来軸組構造のモデル化と試設計例

(2) 中高層枠組壁工法・CLT 構造建築物の許容応力度等計算に関する設計技術の検討

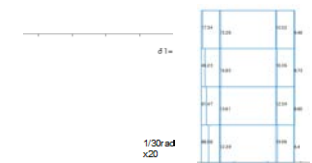
中高層枠組壁工法について、基準整備促進補助事業の事業主体と共同で許容応力度等計算¹⁾における耐力壁及び部材・接合部の応力割り増し係数を検討し、技術資料²⁾として取りまとめた。高強度の耐力壁(壁倍率換算 18 倍相当)を有する 4 層の枠組壁工法試験体の構造実験(写真 1、図 1)および、高強度耐力壁実験、釘接合部実験、枠材のめり込み実験を実施した。とりまとめた応力割り増し係数の妥当性を検証した。



写真 1 4 層試験体



(a) 1・2 層の 荷重変位関係



(b) 1/30 変形図とロッド軸力図

図 2 4 層試験体結果例

CLT 構造建築物について、許容応力度等計算における耐力壁及び接合部に乗じる応力割増し係数について検討し、技術資料として取りまとめた。CLT 構造の材料強度について、既往の CLT の幅方向のせん断強度の評価式の適用範囲を拡大するため、樹種（カラマツ、トドマツ、スギ）と層構成（3 層 3 プライ、3 層 4 プライ、5 層 5 プライ）をパラメータとした実大水平せん断実験を実施した。合わせて接着層のねじり実験、ローリングシア実験を実施した。これらについてせん断応力度に関する技術資料を取りまとめて報告³⁾した。得られた成果は投稿論文に取りまとめられ、平成 30 年の CLT の材料強度に関する告示改正⁴⁾の際に参照された。

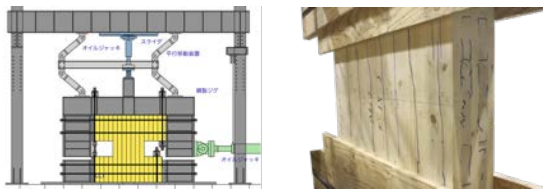


図 3 CLT 面内せん断試験装置と CLT のせん断破壊

(3) 中高層木質併用構造等の設計技術の検討

29 年度に実施した実験に基づき、CLT 耐震壁と鉄骨梁を併用した構造物の力学モデルを提案した。さらに S 造フレームに CLT を耐震壁として併用した構造物について、実大の 1/2 モデルの構造実験を実施した（写真 2）。CLT 接合部には標準仕様案として、鋼板挿入ドリフトピン接合部を採用し、CLT の配置（S 造フレームの中央、端部）や CLT の強度等級（S60-5-5、S90-5-5）、パネル枚数（1 枚、2 枚）とした。



写真 2 S+CKT の構面実験

上記のような異種構造接合部等（RC 造-CLT 造間、S 造-CLT 造間）の標準仕様としての鋼板挿入ドリフトピン接合部（図 2）を採用し、CLT の寸法の条件として（3-3、3-4、5-5、7-7、9-9）を想定した降伏耐力の評価式³⁾を式 1 および表 1 の様に取りまとめた。

$$P_y = \min(P_{y,I}, P_{y,III}, P_{y,IV}) \quad (8)$$

ここで、 $P_{y,I}$ 、 $P_{y,III}$ 、 $P_{y,IV}$ は各モードの降伏耐力である。

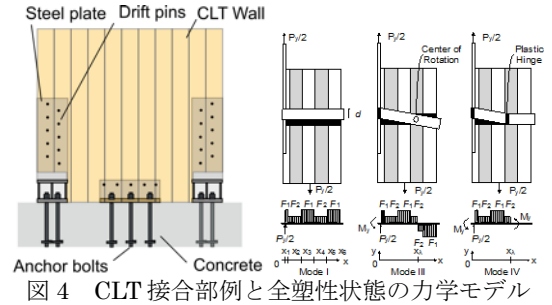


図 4 CLT 接合部例と全塑性状態の力学モデル

表 1 CLT ドリフトピン接合部の降伏耐力設計式

mode	層	降伏耐力 $P_{y,I}$, $P_{y,III}$, $P_{y,IV}$
I	9-9	$2(F_{11} + 2F_{12} + 2F_{22})$
	7-7	$2(F_{11} + F_{12} + 2F_{22})$
	5-7	$2(F_{11} + 2F_{12} + F_{22})$
	5-5	$2(F_{11} + F_{12} + F_{22})$
	3-4, 3-3	$2(F_{11} + F_{22})$
II	9-9	$2\left(2\sqrt{-\frac{1}{2}F_{11}F_{21} + 2F_{12}F_{22} + F_{21}^2 + 4F_{21}F_{22} + 6F_{22}^2 + f_2dM_y + F_{11} - 2F_{21} - 4F_{22}}\right)$
	7-7	$2\left(2\sqrt{-\frac{1}{2}F_{11}F_{21} - F_{12}F_{21} - \frac{3}{2}F_{12}F_{22} + F_{21}^2 + 4F_{21}F_{22} + 6F_{22}^2 + f_2dM_y + F_{11} + F_{12} - 2F_{21} - 4F_{22}}\right)$
	5-7	$2\left(2\sqrt{\frac{1}{2}F_{11}^2 + 4F_{11}F_{12} - F_{11}F_{22} + 5F_{12}^2 - \frac{1}{2}F_{12}F_{22} + f_1dM_y - F_{11} - 4F_{12} + F_{22}}\right)$
	5-5	$2\left(2\sqrt{\frac{1}{2}F_{11}^2 + 3F_{11}F_{12} - F_{11}F_{22} + \frac{5}{2}F_{12}^2 - \frac{1}{2}F_{12}F_{22} + f_1dM_y - F_{11} - 3F_{12} + F_{22}}\right)$
	3-4, 3-3	$2\left(\sqrt{-2F_{11}F_{21} + 4F_{21}^2 + 4F_{21}F_{22} + 2F_{22}^2 + 4f_2dM_y + F_{11} - 2F_{21} - F_{22}}\right)$
IV	9-9	$4\sqrt{f_1dM_y}$ ただし、 $d \leq t_1\sqrt{\frac{3}{2}\frac{f_1}{F}}$
	7-7	$2\left(\sqrt{-F_{11}F_{21} + F_{21}^2 + 4f_2dM_y + 2F_{11} - F_{21}}\right)$
	5-7	ただし、 $t_1\sqrt{\frac{3}{2}\frac{f_1}{F}} \leq d \leq \sqrt{\frac{3}{2}\frac{f_1}{F}\left(t_1^2 + 2\frac{f_2}{f_1}t_1t_2 + \frac{f_2}{f_1}t_2^2\right)}$
	5-5	ただし、 $t_1\sqrt{\frac{3}{2}\frac{f_1}{F}} \leq d \leq \sqrt{\frac{3}{2}\frac{f_1}{F}\left(t_1^2 + 2\frac{f_2}{f_1}t_1t_2 + \frac{f_2}{f_1}t_2^2\right)}$
	3-4, 3-3	$2\left(\sqrt{2F_{11}F_{12} - 2F_{11}F_{22} + F_{12}^2 - F_{12}F_{22} + 4f_1dM_y - F_{12} + F_{22}}\right)$ ただし、 $\sqrt{\frac{3}{2}\frac{f_1}{F}\left(t_1^2 + 2\frac{f_2}{f_1}t_1t_2 + \frac{f_2}{f_1}t_2^2\right)} \leq d$
ここで、 $\begin{bmatrix} F_{11} & F_{21} \\ F_{12} & F_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1t_1d & f_2t_1d \\ f_1t_2d & f_2t_2d \end{bmatrix}$ $M_y = \frac{Fd^3}{6}$		
		t_1 : スリット厚さを引いた中央層の厚さの半分 (mm) t_2 : ラミナの厚さ (mm) d : ドリフトピン径 (mm) f_1 : 中央層の支圧強度 (N/mm ²) f_2 : 中央層に隣接する層の支圧強度 (N/mm ²) F : 接合具の基準強度 (N/mm ²)

【参考文献】

- 1) (一社) 日本ツバーイフォー建築協会：2018 年枠組壁工法建築物構造計算指針
- 2) 三井ホーム株式会社、(一社) 日本ツバーイフォー建築協会：平成 29 年度・30 年度建築基準整備促進事業「枠組壁工法中層建築物の構造設計法の合理化に関する検討」（調査番号 S24）報告書
- 3) Shoichi Nakashima, Yasuhiro Araki, Yoshinori Ohashi, Shiro Nakajima, Atsushi Miyatake : Evaluation of In-plane Shear Strength of CLT Panel with Horizontal Loading Test, Proceedings of World Conference on Timber Engineering, MAT-P-21, 2018. 8
- 4) 特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件（平成十三年国土交通省告示第千二十四号）