重ね梁形式のCLT二方向フラットスラブの設計方法に関する実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON KEYED BEAM DESIGN METHOD FOR TWO-WAY FLAT SLAB COMPOSED OF CROSS LAMINATED TIMBER

村上勝英 — * 1 三松あずさ — * 2
江坂佳賢 — * 3 塩崎征男 — * 4
小松賢司 — * 5 村上雅英 — * 6

Katsuhide MURAKAMI — * 1 Azusa MIMATSU — * 2
Yoshisato ESAKA — * 3 Masao SHIOZAKI — * 4
Kenji KOMATSU — * 5 Masahide MURAKAMI — * 6

キーワード：
直交集成板, フラットスラブ, 重ね梁, GIR 接合

Keywords:
Cross laminated timber, Flat slab system, Keyed beam, Glued-in rod joint

Authors have developed a two-way flat slab system that is composed of double layered Cross Laminated Timber (CLT) in order that strong axial directions of CLT can be orthogonally arranged in the slab. Glued-in-rod (GIR) joint system is adopted for joining between the CLTs. Performance of GIR joint systems in several parts of the slab is investigated by using element experiments in tensile, and performance of CLT keyed beam for the CLT flat slab is investigated by using actual slab experiments in bending.

1. はじめに

直交集成板（以後 CLT と略す）は、厚さ 12mm から 36mm 程度の挽き板を幅方向に並べ、これを互いに直交して積層・接着した大型の木質パネルである。2016 年に日本でも CLT の許容応力度および基準強度が国土交通省告示（以後、告示）に追加されると共に、CLT パネル工法による構造方法・構造計算に関する技術基準が新設されて、構造設計に CLT を建築構造材料として容易に使用して設計できるようになった。しかし CLT パネル工法で想定している使われ方は、鉄筋コンクリート壁式構造のように CLT 床板の一方方向に荷重を CLT 壁板に伝達させて、その CLT 壁板で鉛直荷重を支えながら水平力に抵抗するシステムを前提としたものであって、CLT 板の持つ面としての構成を最大限に生かせる建築空間表現ができるフラットスラブ構造に使用することは前提としていない。また CLT 同士の接合方法については、参考文献 1) で既製金物と引きボルトによる接合方法のみが示されているが、接合部金物等が表し状態で CLT 構造そのものの美しさを十分に活かし切れなくなるのが現状である。

筆者らは、CLT を用いた二方向フラットスラブ構造を用いた建物を設計して建設する事を目的として、CLT 二方向フラットスラブ構造形式とその構造の鉛直抵抗システムを開発し、その安全性と接合方法の設計法を検証するために各種の実験を行った。本文ではその内容を報告する。

2. 建物概要と構造設計概要

筆者らが設計および建設する建物は、沖縄県宮古島市に建設する下地島空港における旅客ターミナル施設である。主な建物は、様々な高さによって構成された陸屋根を持つ平屋の建物であって、その内部空間は梁型のないフラットな木質材料による天井面を持つ豊かな空間となっている。図 1 に建物の外観パース、図 2 に建物の内観パースを示す。

図 1 建物の外観パース

図 2 建物の内観パース

構造計画では、最下部の屋根以外は屋根に構造用 CLT を用いており、陸屋根部では強軸方向を二方向に重ねるように CLT を二段に重ねて配置したフラットスラブ形状の構造形式としている。製造および運搬の制約から、CLT の最大寸法は 2 m × 4 m であるため、CLT フラットスラブ部分での CLT の面内方向接合部には、外観上接合金物が見えないように、鉄筋を用いた接着接合（以後 GIR 接合と略す）を用いて長辺と短辺の二方向に接合する。また上下間の CLT の面外方

*1 ㈱日建設計エンジニアリング部門構造設計グループ 技師長・博士（工学）
〒102-8117 東京都千代田区飯田橋 2-18-3

*2 ㈱日建設計エンジニアリング部門構造設計グループ

*3 ㈱日建設計エンジニアリング部門構造設計グループ 構造設計主管

*4 山佐木材㈱ 常務取締役技術本部長

*5 山佐木材㈱

*6 近畿大学建築学部建築学科 教授・工博

*1 Senior Expert, Structural Design Division, Engineering Dept., Nikken Sekkei, Dr. Eng.

*2 Structural Design Division, Engineering Dept., Nikken Sekkei

*3 Associate, Structural Design Division, Engineering Dept., Nikken Sekkei

*4 Managing Director, General Manager of Engineering Dept., Yamasa Mokuzai Co., Ltd.

*5 Engineer, Yamasa Mokuzai Co., Ltd.

*6 Prof., Faculty of Architecture, Kindai Univ., Dr. Eng.

向接合部も鉄筋を用いた GIR 接合によりシアキーを形成して一体化させる。鉛直荷重は、鉄骨支持柱（一部は鉄筋コンクリート柱上部に鉄骨支持金物を取り付ける）に取り付けた鉄板によるキャピタルを介して支持する。図3に CLT フラットスラブ構造の構成概念図を示す。

図3 CLT フラットスラブ構造の構成概念図

本建物では、8m×8mグリッドとなる空間を、厚さ210mmの5層7プライのスギS60A種構成CLTを二枚重ね合わせて二方向CLTフラットスラブにして構成させている。

筆者らはGIR接合に着目し、CLTフラットスラブを構成するCLT同士の接合にGIR接合を用いて設計できるように、各種要素試験や実大試験体による載荷試験を行う事とした。

3. 要素試験によるCLT接合部の設計

3.1 GIR接合による曲げ抵抗部の設計

一般的に製材や集成材の接合部設計に用いられている鉄筋等を用いたGIR接合では、参考文献(2)～(6)に示すように鉄筋コンクリート梁の設計に用いる略算式 $M = a_t \times f_t \times j$ を準用し、フラットスラブを構成する接合部位置により異なるラミナ位置と繊維方向を考慮して

行われた各種引張実験から求まる耐力 ($a_t \times f_t$) を用いて曲げ耐力を算定できる。すなわち、

$$M_{cal} = P_i \times j \quad (1)$$

M_{cal} : CLTの面外接合設計用曲げ耐力（長期・短期・終局時）

P_i : ラミナの繊維方向と鉄筋位置を考慮した要素引張試験から求

まる設計用短期基準耐力 P_y に対し、

$$\text{長期 } P_i = 1.1 \times P_y / 2 \quad (2a)$$

$$\text{短期 } P_i = P_y \quad (2b)$$

$$\text{設計用終局耐力 } P_i = \min(P_u, \text{鉄筋の降伏強度}) \quad (2c)$$

P_u : 木材で決まる設計用終局耐力 = (実験により求まる引張最大耐力 P_{max} の平均値) × ばらつき係数 $(1 - CV \times k)$ (2d)

j : 応力中心間距離 ($= 7/8 \times d$) なお、 d は部材せい

本建物のCLT同士の面内接合部では、CLTの強軸同士の部分およびCLTの弱軸同士の接合鉄筋の配置は、図3に示す断面位置に行う。そこで、以下に示す各方向の接合部の要素引張試験を行った。なお使用するCLTは、全て厚さ30mmのラミナを積層した厚さ210mmの5層7プライのスギS60A種構成CLT、使用する鉄筋はD22 (SD345) とし、各試験体は6体試験する。

(1) KE引張試験体の概要

5層7プライのCLTを引張面から見て積層の構成が強、強、弱、強、弱、強、強の配列となるように木取りしたCLTブロックの材縁に近い2層目強軸層に、D22の鉄筋（以後D22鉄筋）を深さ500mm挿入し、エポキシ樹脂接着剤を注入して定着させた接合試験体とした。この形式の試験体をKE引張試験体とした。Kは強軸使いを意味する。図4にKE引張試験体の概観と試験状況を示す。

図4 KE引張試験体の概観と試験状況

(2) J75引張試験体の概要

5層7プライのCLTを引張面から見て積層の構成が弱、弱、強、弱、強、弱、弱の配列となるように木取りしたCLTブロックの材縁から3層目の強軸層（材縁から75mm）に、D22鉄筋を深さ500mm挿入し、エポキシ樹脂接着剤を注入して定着させた接合試験体である。この形式の試験体をJ75試験体とした。Jは弱軸使いを、75は縁距離が75mmであることを意味する。図5にJ75試験体の概観を示す。

(3) シアキー引張試験体の概要

後述するシアキー部分の引張能力を確認するために、5層7プライのCLTに面外からD22鉄筋を深さ180mm挿入し、エポキシ樹脂接着剤を注入して定着させた接合試験体である。この形式の試験体をシアキー引張試験体とした。図6にシアキー引張試験体の概要と試験状況を示す。

図5 J75引張試験体の概観

図6 シアキー引張試験体の概観と試験状況

図7 各種引張試験体の荷重変形関係と完全弾塑性近似の結果

(4) 各種引張試験結果

各種引張試験の6体の荷重 (P) - 引き抜け量 (Δu) の関係と、6体の試験体で得られた完全弾塑性近似の結果の平均値のプロットを、図7に示す。なお、以降で述べる各要素試験体の剛性、降伏耐力、終局耐力等を評価は、参考文献7)で示されている完全弾塑性近似によった。なおKE試験体において、降伏時に降に挙動の異なるものであるが、長期荷重によってその応力状態にならないので、破壊モードの異なる影響は配慮していない。

各種引張試験結果から、6体の平均と標準偏差より算出されるばらつき係数を考慮して、強軸方向の接合に対する設計値は、D22鉄筋定着長さ500mmのKE引張要素試験から、設計用短期基準耐力 P_y は78kN/本、 P_u は118kN/本を採用した。弱軸方向の接合に対する設計値は、D22鉄筋定着長さ500mmのJ75引張要素試験から、短期基準耐力 P_y は96kN/本、 P_u は145kN/本を採用した。ちなみに鉄筋の短期許容耐力は133.5kN/本、鉄筋の降伏強度 ($F \times 1.1$) は146.9kN/本である。また

シアキー接合部の引張耐力に対する設計値は、D22の鉄筋定着長さ180mmのシアキー引張要素試験から、短期基準耐力 P_y は22kN/本、 P_u は38kN/本を採用した。

3.2 GIR接合によるCLT実大面外曲げ試験による検証

CLT同士のGIR接合を検証するために、1m幅で厚さ210mmの5層7プライのスギS60A種構成CLTで、8-D22の鉄筋でGIR接合した強軸方向の実大面外曲げ試験を行った。図8に試験体図を、写真1に試験状況と試験体の破壊状況を示す。なお(1)式による試験体の接合部の設計用曲げ耐力は、以下ようになる。

設計用長期許容曲げ耐力：

$$M_a = P_i \times j = 8 \times (1.1 \times 78.0/2) \times (210-45) \times 7/8 \times 10^{-3} = 49.55 \text{ kNm/m} \quad [(3a) \text{ 図 11 中 } \triangle \text{印で示す}]$$

設計用短期許容曲げ耐力：

$$M'_a = P_i \times j = 8 \times 78.0 \times (210-45) \times 7/8 \times 10^{-3} = 90.09 \text{ kNm/m} \quad [(3b) \text{ 図 11 中 } \diamond \text{印で示す}]$$

設計用終局曲げ耐力：

$$M_u = P_i \times j = 8 \times 118.0 \times (210-45) \times 7/8 \times 10^{-3} = 136.29 \text{ kNm/m} \quad [(3c) \text{ 図 11 中 } \square \text{印で示す}]$$

図8 CLT板の強軸実大面外曲げ実験試験体図

写真1 CLT板強軸実大面外曲げ実験状況および破壊状況

図9 CLT板強軸実大面外曲げのM-θ曲線、完全弾塑性モデル

更に図9には、CLT強軸方向の接合部位置での面外曲げモーメントと変形角の関係 (以後M-θ曲線) を示す。図中には上記で計算した各種曲げ耐力も、実験したM-θ曲線上にプロットしている。これより設計で用いた各種基準値はおおむね実大実験値以下であり、CLTの強軸方向の接合に既往のGIR接合に用いられている設計式の準用は、安全側であって可能な範囲と考える。

3.3 GIR接合によるCLT重ね部のせん断抵抗部の設計

本建物のCLTフラットスラブは、CLT同士を重ね合わせて重ね梁のように用いている。CLT同士の面外接合部では、参考文献7)に示されている重ね梁の設計法を参考にして、GIR接合部に挿入したD22鉄筋のダボ効果により、上面CLTと下面CLTのずれ止めを形成させて、重ねたスラブの剛性が、それらを一体化と仮定したスラブの面外曲げ剛性の7割以上が確保できるように、CLTの面内に約400mmピッチごとに配置している。その際にGIR接合部のせん断抵抗能力を確認するために、以下に示す接合部の要素せん断試験を行った。なお使用するCLTは、全て厚さ210mmの5層7プライのスギS60A 種構成CLT、使用する鉄筋は、D22 (SD345) である。

(1) JKKJ せん断試験体

厚さ210mmの5層7プライのCLTの2枚を、内側を強軸方向 (K と記す) に、外側を弱軸方向 (J と記す) に配して、長さ380mm (定着長さは180mmと210mm) のD22鉄筋を貫通させてエポキシ樹脂接着剤を注入して、木材と鉄筋の間を固着させた接合試験体である。試験では二組のJK-CLTを背中合わせにして、M16 ボルトの開き止め治具を用いて一体化してせん断試験体とした。この形式の試験体をJKKJ 試験体と称す。図10にJKKJ 試験体の寸法と鉄筋の配置を示す。試験では、摩擦を除去してD22鉄筋のダボ抵抗のみを評価するため、テフロンシートを接合面に挟んだ。このほかにもCLT同士の面内接合部において、3.1の(1)と(2)で示した鉄筋配置の接合部に対して生じる面外方向のせん断力および面内方向のせん断力に対してもせん断試験を行って設計に反映させているが、本論文では省略する。

(2) シアキーせん断試験結果

シアキーせん断試験の6体の荷重 (P/2) -相対せん断変位 (u) の関係と、6体の試験体で得られた完全弾塑性近似の結果の平均値のプロットを図11に示す。

D22鉄筋定着長さ180mmの6体のせん断試験結果から平均と標準偏差より算出されるばらつき係数を考慮して、CLT同士を重ね合わせた

図10 JKKJせん断試験体の概観とせん断試験状況

図11 せん断試験体の荷重変形関係と完全弾塑性近似の結果

場合に用いるシアキー接合部の面内せん断耐力は、接合鉄筋一か所あたり設計用短期基準耐力 Q_y は29kN/本、 Q_u は63kN/本を採用した。

4. CLT フラットスラブの設計手法とその検証

二方向フラットスラブは、合理的に設計するにはFEM解析による手法が一般的である。しかしFEM解析を設計で扱うには煩雑であるため、日本建築学会編鉄筋コンクリート造構造計算規準・同解説に示すフラットスラブの設計の従い柱列帯と柱間帯とに便宜上に分けてスラブとして検討する方法や、柱-柱間をフラットビームの骨組構造として設計する方法がある。ここでは、図12に示すフラットスラブの検討方法として、柱-柱間をフラットビームとしてCLT重ね梁に置換した骨組構造として検討する。

4.1 CLT 重ね梁をトラス置換による設計方法

柱-柱間をCLT重ね梁として置換し、一方向に支持する上面のCLTスラブを、直交するCLT重ね梁が受けてそれを柱まで伝達させると考える設計方法⁹⁾である。平成28年国土交通省告示第561号～564号では、全てのCLTの種類と方向に対して面外曲げ基準強度を与えていないので、CLT重ね梁の断面検討方法としては、各節点をピン接合とし、上面CLTおよび下面CLTを弦材とし、シアキー接合部特性を斜材でモデル化したトラスに置き換えて検討することで、各CLTは面外方向の曲げ基準強度を考慮しないで検討できる。しかし設計としては、変形の適合性がなく合理性に欠けている。

4.2 等価曲げ剛性と等価曲げ耐力に置換して設計する方法

平成28年国土交通省告示第561号～564号によるCLTの告示では、繊維直交方向のラミナを無視して等価剛性を求めてその値をもとにCLTフラットビームの等価曲げ耐力を算出する方法⁸⁾が採用されている。CLT重ね梁においても図13に示すように同様の考えとして、等価曲げ耐力を(4)式の曲げ基準強度で算出して比較する方法である。

$$F_b = \sigma_{b,oml} \times (I_A/I_0) \times 0.4875 \quad (4)$$

ここでは、実験に用いた厚さ (h/2) を210mmとした5層7プライのスギS60A 種構成CLT の平均曲げ剛性として、強軸面外曲げ剛性を6.89 kN/mm²、弱軸面外曲げ剛性を0.75 kN/mm²とすると、中立軸は、弱軸側よりxが251.2mmとなる。また本試験体に用いたスギラミナの曲げ基準強度 $\sigma_{b,oml}$ に27N/mm²と採用すると、 F_b は9.58N/mm²となる。

図12 CLT スラブの荷重伝達の考え方

図13 CLT重ね梁の考え方の概念図

この考えから厚さ (h/2) を210mmとした5層7プライのスギS60A種構成CLTを2枚重ね合わせた梁せい420mmのCLT重ね梁を検討すると、1m当りの部材の設計用終局曲げ耐力は、 M_u が281.6kNm/mとなる。(図16および図17中○印で示す。)

4.3 重ね梁の GIR 接合部の既往の計算式による断面検討

CLTフラットスラブにおいては、柱-柱間をCLT重ね梁によるフラットビームとすると、下面がCLTの強軸側で上面がCLTの弱軸側となる

重ね梁（重ね梁①とする）と、下面がCLTの弱軸側で上面がCLTの強軸側となる重ね梁（重ね梁②とする）が存在する。その時の部材の接合部分は図14に示すようなGIR接合とする。この場合の接合部耐力を(1)式による検討によって評価する。なお、耐力の計算において(1)式を採用することについては、別途行った50%縮小の試験体を用いた長期荷重試験において、同じ仕様のシアキーを用いた重ねたスラブの剛性が、一体となった試験体の剛性の70～71%であったこと、および後述する実大重ね梁試験体による曲げ試験で0.4Mmax時に一体と仮定して計算される剛性の76～92%の剛性が確保でき、最終破壊においてシアキーの破壊が確認されなかったことから、妥当な判断と考えている。

図14 CLT重ね梁における1m幅あたりの断面図

- (1) S605層7プライ CLT の2段重ね梁①（下段が強軸方向，下段強軸方向 CLT に対して各 8-D22 鉄筋を表層から 2 層目と 6 層目のラミナに配置。）

設計用長期許容曲げ耐力：

$$M_a = P_i \times j = 8 \times (1.1 \times 78.0/2) \times (420-45) \times 7/8 \times 10^{-3} = 112.61 \text{ kNm/m} \quad [(5a) \text{ 図 16 中 } \triangle \text{印で示す}]$$

設計用短期許容曲げ耐力：

$$M'_a = P_i \times j = 8 \times 78.0 \times (420-45) \times 7/8 \times 10^{-3} = 204.75 \text{ kNm/m} \quad [(5b) \text{ 図 16 中 } \diamond \text{印で示す}]$$

設計用終局曲げ耐力：

$$M_u = P_i \times j = 8 \times 118.0 \times (420-45) \times 7/8 \times 10^{-3} = 309.75 \text{ kNm/m} \quad [(5c) \text{ 図 16 中 } \square \text{印で示す}]$$

なお(1)式による重ね梁①の接合部の計算式では，4.2 で示す CLT 重ね梁の母材基準強度を超えているので，設計としては母材強度で性能が決まることになる。

- (2) S605層7プライ CLT の2段重ね梁②（下段が弱軸方向，下段弱軸方向 CLT に対して各 2-D22 鉄筋を表層から 3 層目と 5 層目のラミナに配置，なお設計では，これらの引張鉄筋に対して平均鉄筋重心として計算する。）

設計用長期許容曲げ耐力：

$$M_a = P_i \times j = 4 \times (1.1 \times 96.0/2) \times (420-105) \times 7/8 \times 10^{-3} = 58.21 \text{ kNm/m} \quad [(6a) \text{ 図 17 中 } \triangle \text{印で示す}]$$

設計用短期許容曲げ耐力：

$$M'_a = P_i \times j = 4 \times 96.0 \times (420-105) \times 7/8 \times 10^{-3} = 105.84 \text{ kNm/m} \quad [(6b) \text{ 図 17 中 } \diamond \text{印で示す}]$$

設計用終局曲げ耐力：

$$M_u = P_i \times j = 4 \times 145.0 \times (420-105) \times 7/8 \times 10^{-3} = 159.86 \text{ kNm/m} \quad [(6c) \text{ 図 17 中 } \square \text{印で示す}]$$

4.4 CLT 重ね梁試験による検証

CLT重ね梁は，計算式だけでは十分に安全性を検証することができない。そこで幅 1 m の実大 CLT 重ね梁の単調 4 点荷重試験により，曲

図15 CLT重ね梁試験の試験体図

げ耐力を算出して検証する。重ね梁試験体を図15に，実験状況および破壊状況を写真2に示す。なお試験体部材の中央部の変形角 θ は，部材中央部より左右に750mmずつ離れた1500mmの区間の上面と下面の水平方向の変形をもとに算出している。さらに図16～17には，CLT 重ね梁①および②のM- θ 曲線結果を示す。図中には4.2および4.3で計算した各種曲げ耐力も，実験したM- θ 曲線の上にプロットしている。

これによると，設計で用いた各種基準値はいずれも実大試験の値以下であり，CLT重ね梁（下段強軸方向）の接合設計レベルでは，既往のGIR接合に用いられている設計式の準用は安全側であって可能な範囲と考える。さらに詳細に破壊モードを検討すると，重ね梁①においては，下端の引張方向接合部で，接合部付近の曲げ変形に対して接合鉄筋の曲げ剛性が高く，CLTに二次応力が生じたことが原

表 1 CLT重ね梁試験の結果一覧

試験体記号	最大荷重時			最大モーメント		曲げ強さ F_b (N/mm ²)	曲げヤング係数 E_b (kN/mm ²)
	荷重 (kN)	変位 δ (mm)	試験体の状況	M (kN・m)	θ ($\times 10^{-3}$ rad.)		
重ね梁①	248.6	215.3	スパン中央1のCLT材の割裂	379.7	11.5	12.9	3.5
重ね梁②	210.0	※	上層の割裂を伴う鉄筋の引き抜	320.8	5.44	10.9	2.8

- (注) 1. 表中の変位 δ ，モーメント M，変形角 (θ) は以下により算出した。
 δ : 部材中央部の鉛直変形 (mm)
 $M = P/2 \times 3.055$ (kN・m)
 θ : 部材中央部の変形角 (rad.)
 2. 表中の※は，変位計が試験中にゲージアウトし，変位 δ の算出が行えなかった試験体を示す。

写真2 CLT 重ね梁試験状況および破壊状況

因による割裂破壊が生じている。しかし長期荷重に対する設計で考慮すべき耐力は十分確保できている。また重ね梁②では、試験結果の値が、はるかに本設計法による値を上回っているおり、設計式は安全側過ぎている。

図16 CLT重ね梁①のM-θ曲線、包絡線および完全弾塑性モデル

図17 CLT重ね梁②のM-θ曲線、包絡線および完全弾塑性モデル

5. 要素試験によるCLTフラットスラブと鉛直支持柱接合部の設計

二方向CLTフラットスラブを鉄骨柱で鉛直支持する機構を考えた場合、鉄骨柱の柱頭に鉄板を付けてCLTフラットスラブを支持する形式とする。しかしその支持機構については、単純なCLTへのめり込み機構なのか鉄筋コンクリート造の独立基礎等で考えるパンチングシア現象の考慮が必要かどうかを検討する必要がある。そこで1/2縮小試験体を作成して、柱頭にフラットプレートを取り付けた鉛直支持柱のCLTフラットスラブへの接合を想定したパンチングシア試験を行った。試験体の概観と試験状況を図18に示す。なおフラットプレートの大きさは、告示で規定するCLTのめり込み強度から算出されるフラットプレートの必要面積の約1.33倍とし、2枚のCLTを重ねた時のずれ止め用のシアキーは、前述の配置に対して1/2縮小に相当するように配置した。図19に最終破壊状況を示す。

図19に、パンチングシア試験の荷重変形曲線と最終破壊状況の一例を示す。1/2縮小試験体によるパンチングシア試験より、試験の最終段階では試験体下部で割裂破壊が一部生じているものの、主な破壊性状は明らかにCLTの面外方向のめり込み強度に依存していて、鉄筋コンクリート造のようなパンチングシアによる広がった破壊状況は発生していない。したがって設計では、(7)式を採用することが妥当と判断できる。すなわち、

$$P_u = \min(P_{u1}, P_{u2}) \quad (7)$$

ここに、 P_u ：柱支持部耐力、 P_1 ：CLTの面外方向めり込み耐力

P_2 ：支持鉄板面外曲げ耐力

なお、スギCLTの柱支持部のめり込み耐力は、告示で示される基準強度 F_{ev} (6.0N/mm²)を元に算出できる。

6. まとめ

- CLTを用いた二方向フラットスラブ構造を用いた建物を設計して建設する事を目的として、CLT二方向フラットスラブ構造システムを開発した。
- CLT二方向フラットスラブの柱一柱間をフラットビームとしてCLT

図18 パンチングシア試験体の概観

図19 パンチングシア試験による荷重変形曲線と最終破壊状況

重ね梁に置換した骨組構造とした設計の場合、引張側の最外層のラミナが繊維方向となる強軸方向のCLTおよびCLT重ね梁に対して、面外曲げに対して既往のGIR接合時に用いられる設計式で接合部設計をすることは、安全側であって可能な範囲と考える。

- 引張側の最外層のラミナが繊維直交方向となるCLT重ね梁に対しては、単位幅のCLT重ね梁の面外曲げ試験の実験値は、はるかに本設計法による値を上回っているおり、設計式は安全側過ぎている。したがって、今後より精度の高い設計式を確立する際には更なる検討事項と考えられる。
- スギCLT二方向フラットスラブと鉛直支持柱の接合部分のCLT側の設計では、めり込み強度のみを考慮すればよいことが実験で確認された。

なお本プロジェクトは、三菱地所株式会社によって企画及び実施されたものである。最後に、開発に際し多大な御協力を頂いた関係各位に、心から謝意を表します。

参考文献

- (公財)日本住宅・木材技術センター、2016年版CLT1を用いた建築物の設計施工マニュアル、2016
- 田中、井上、後藤：GIR(Glued-in Rod)接合法を用いた木質構造接合部の曲げ耐力算定法、日本建築学会九州支部研究報告 第41号、2002.3
- 竹内、藤川、田中、後藤、井上：GIR(Glued-in Rod)接合法を用いた木質構造接合部の回転剛性に関する研究(その1)推定方法の検討及び継手接合部実験による検証、日本建築学会九州支部研究報告 第44号、2005.3
- 石谷、竹内、田中、後藤、井上：接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度発現機構に関する研究(その1)引抜試験の概要及び実験結果、日本建築学会九州支部研究報告 第45号、2006.3
- 竹内、石谷、田中、後藤、井上：接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度発現機構に関する研究(その2)引抜試験結果の考察及び検討、日本建築学会九州支部研究報告 第45号、2006.3
- 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010
- (財)日本住宅・木材技術センター、木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年度版)、pp.586、2008
- 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説2006年版、2006
- 日本建築学会：木質構造基礎理論、pp.107~111、2010

[2017年10月2日原稿受理 2017年12月12日採用決定]