

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2015

課題番号：25712018

研究課題名(和文)木質材料のフロンティア「CLT」を用いた高耐力・高靱性な構面の開発とその評価法

研究課題名(英文)Development of high performance earthquake-resistant CLT plane structure

研究代表者

北守 顕久(Kitamori, Akihisa)

京都大学・生存圏研究所・助教

研究者番号：10551400

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、木質材料のフロンティアとも言えるクロスラミティドティンバー(CLT)を利用した耐震性の高い新たな木造建築構法の技術開発を行い、L型に加工されたCLT部材を用い、これをドリフトピン接合具で結合して門型フレームを構成する構法の評価を行った。各種の接合部や材料・部材の実験から得られた知見とその特性値を用いた数値解析により、高耐力・高靱性な性能を有することを検証し、構面の耐力評価法を提案した。

研究成果の概要(英文)：In this study, a technical development of a new high earthquake resistance wooden building construction method was carried out by using "Cross Laminated Timber (CLT)" which is considered as one of the high promising wood-based material which contributes to the sustainable society. A plane structure with window opening composed by L-shaped CLT member was made by connecting each member by drift-pin fastener in order to correspond the circumstance situation of Japan such as transportation problem, and its structural performance was investigated. Then experiments of various types of joint, materials and components of CLT was performed to obtain characteristic values after analytical evaluation in terms of lamina arrangement of CLT. Then a numerical analysis was carried out by using characteristic values obtained by test and verified that proposed structures has a high strength and ductile deformation performance. And also a strength evaluation method of the plane was proposed.

研究分野：木質構造学

キーワード：CLT 耐震 木造建築 建築構造 接合部

1. 研究開始当初の背景

本研究では木質材料のフロンティアとも言えるクロスラミティドティンバー(CLT)を用いた木造建築物を構築するため、耐震性に注目した技術開発と評価を行う事を目的とした。

木質構造は鉄骨や RC 等他形式工法と比べ材料の製造エネルギー・再生産可能性の面から低環境負荷であり、また国産材利用は国土保全・地域経済活性化のために資することから、重要性が高まっている。さらに我が国では「公共建築物等における木材の利用の促進」法公布などを受け、複層階の中規模建築物の木造化を目指す機運が高まっている。一方中規模建築物では大スパンが想定されることや下層部において大きな地震力が作用することなどから、耐震性能に関してこれまで以上に高性能な鉛直構面耐力要素が求められた。近年、欧州で盛んになりつつある木造建築構法に、クロス・ラミネイティド・ティンバー (以下 CLT) による構法がある。CLT とは小幅の長板 (ラミナ) を水平に多数並べたものを各層とし、層ごとにラミナの軸方向を直交させて複数層接着積層することで製造される大断面木質面材で、環境負荷が小さく、木材特有の異方性を押さえることができることが特徴である。CLT は建築物の中では面内剛性が高いことから壁体や床板を構成し、これまでに無かった新しい木質構造の形式として大量のカーボンを都市で実現できる構法として注目されている。

2. 研究の目的

CLT による木造建築構法は、地震国でかつ山がちな地形の我が国においては、靱性の確保や輸送性の点から、小幅パネルを組み合わせる構法が開発され、実用化が進められている。変形性能を確保するための接合形式には、引きボルト形式が主として選択されている。一方で、小幅パネル構法に対してさらに面内剛性性能を高める必要があると同時に、現場施工性の良い接合形式を併せ持つ、合理的な構法の必要性が指摘された。同時に耐震性能面で建物の安全性を担保する粘り強さの問題解決が必要である。そこで本研究では直交積層効果という CLT 独特の材質性能を活かした接合法とそれを用いた CLT 構法を提案することを試みた。すなわち、L 型に加工された CLT 部材を用い、これをドリフトピン接合具で結合することで門型フレームを構成する方法である。本構法の実現に向けて、以下の課題を解決することを目的とした。(1) 単位接合部の開発と性能評価、(2) 鉛直構面部材としての CLT 材料の耐力性能評価、(3) L 型部材としての CLT の強度発現メカニズムの解明、(4) 構造要素を構成した構面性能の検証

3. 研究の方法

(1) 単位接合部の開発と性能評価に関して、CLT 部材に対する鋼板挿入ドリフトピン接合

部の 1 面せん断試験と LSB 接合部の引き抜き試験を実施し、荷重-変形角関係に及ぼす縁端距離の影響や接合具の長さ、強度等との比率の関係を調査した。また合わせてドリフトピンのめり込む面圧性能や、引きボルト接合部における座金のめり込み特性等、周辺の CLT 部材の材質特性値について実験的に評価し、直交積層部材の耐力特性値の重ね合わせによる評価を行った。

(2) 鉛直構面部材としての CLT 材料の耐力性能評価に関して、CLT の材質特性のうち、特に壁体として重要な面内曲げ・せん断特性の評価を行った。せん断スパンの小さい条件での面内曲げ試験や、面内せん断試験、面内加力を受ける部分横圧縮試験等の各種材料試験を実施し、特性値を得るとともに異なる条件の結果を相互比較することで CLT ラミナ構成が荷重伝達性能、変形挙動に及ぼす影響を調査した。さらに単体の壁パネルからなる鉛直構面の水平載荷試験を行った。

(3) L 型部材としての CLT の強度発現メカニズムの解明に関して、L 型 T 型の CLT 部材の面内せん断試験を行い(図 1)、その剛性発現挙動と破壊性状について検討を行った。特に隅角部における応力集中の影響とそれに伴う耐力低減について解析的評価を行った。剛性に関して、部材の曲げせん断変形やパネルゾーンの変形を考慮に入れた力学モデルにより説明を試みた。このため、有限要素法解析やひずみゲージ測定や画像相関法によって計測した表面ひずみと比較し、面内応力分布やラミナ間応力分布を明らかとした。同時にパネルゾーンにおけるローリングシアを考慮に入れた解析を行い、実験による値と比較検証した。

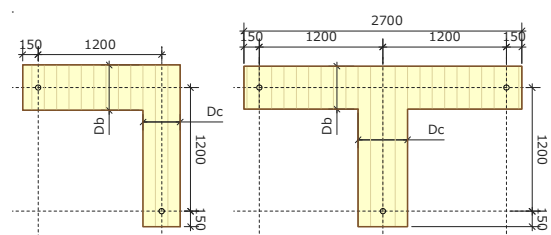


図 1 L 形 T 形 CLT 面内せん断試験

(4) 構造要素を構成した構面性能の検証に関して、本研究の対象とする CLT 鉛直構面構法とは、CLT の構成・寸法に応じたせん断モデルによってバネ定数の推定が可能なドリフトピンを接合具とし、これを柱脚・柱頭の接合部に任意の個数配置し、モーメント伝達の有利な位置で部材を繋ぐ L 型の CLT 部材および中間部材を用いて構成された門型構面である(図 2)。隅角部における脆性的な CLT 部材の破壊が生じる前に、各所の接合部において靱性的な先行破壊が生じる事を前提として、粘り強い性能を発揮しうる。

耐力構面を線材でモデル化し、非線形有限

要素解析を行い、耐力と靱性の安全性の担保に必要な条件を検討した。CLT 部材や接合部スプリングには要素試験で得た曲げせん断剛性や接合部挙動特性値を入力し、任意の部材の形状や接合具の配置、構面のスパン・高さの寸法バランス等をパラメータとした解析を実施した。

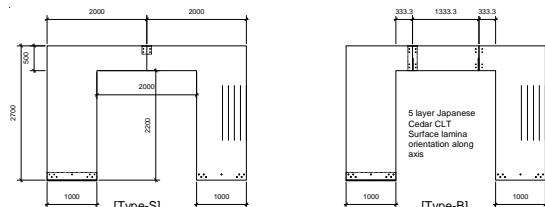


図2 CLT鉛直構面の仕様例

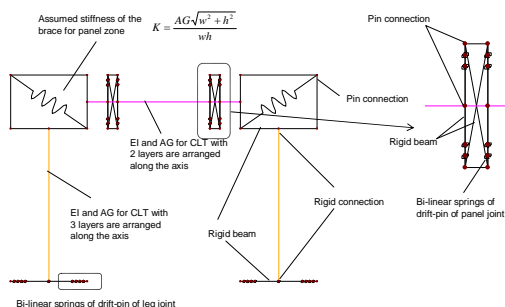


図3 CLT鉛直構面の線材モデル化

4. 研究成果

(1)CLT-ドリフトピン接合部について粘り強さを生み出すメカニズムを力学モデルの構築とCLT特有の材料特性の評価の両面から検討し、特に材料特性について、ドリフトピンの面圧と、部材のせん断強度を予測する算定式を構築した。CLTとCLTの木口同士のめり込み試験においては、繊維直交層で受ける圧縮応力が繊維平行層へと速やかに伝達され、剛性と耐力が向上する、CLTの積層構造ナラではの特性を観察・評価した。

(2)実大曲げせん断試験から有効層ラミナを考慮した曲げヤング係数と全断面ラミナを考慮したせん断特性値を算定した。特にせん断試験においては、逆対称4点曲げせん断(大野式)試験によって、剛性と耐力の特性値を同時に評価しうる手法を開発した。単体の壁パネルからなる鉛直構面の水平載荷試験では、CLTの曲げせん断材料特性値と柱脚接合部圧縮挙動等を考慮した力学モデルから耐力壁全体の挙動を推定する算定式を導き、試験値の挙動を精度良く推定することに成功した。

(3)L型T型のCLT部材の面内せん断試験において、特に圧縮・引張・繰り返しの加力方向の違いによって耐力性能の差異が大きいことを明らかとした。破壊性状に関して、引き・繰り返し加力時には入り隅部の応力集中が破壊性能に影響し、また押し加力時にはラ

ミナ層間で生じるローリングシアによる破壊モードを生じる事を見出した。入り隅部への応力集中に関し、平面要素FEM解析によって得られた断面内応力分布形状から逆算することで入り隅部の応力集中係数を評価する事ができた(図4)。またこの影響は弾性床上の梁理論を応用した力学モデルによって解明する見通しを得た。入り隅部の応力集中は、せん断スパンに対してパネルゾーンが大きくなるほど顕著になることがわかった(図5)。また耐力低減係数として、0.5程度を見込めば安全側に評価しうる見通しを得た。押し加力時の層間ローリングシア破壊について、クロスラップジョイントの推定式を応用した力学モデルに基づいた算定式を導いた。L形部材の剛性について、梁部柱部の曲げせん断変形、パネルゾーンの面内せん断変形以外に、パネルゾーンにおいて直交するラミナ間での応力伝達に伴うラミナの層内ねじれ変形が生じている様子を理論的に明らかとし、精度良い推定が可能となった。

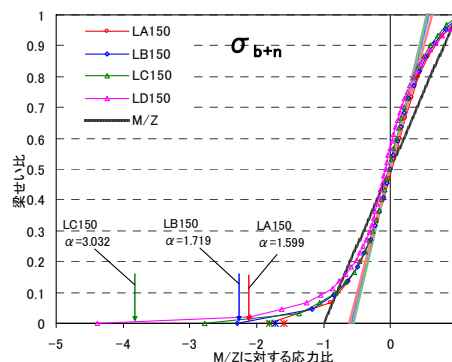


図4 FEM解析での入り隅断面応力分布と応力集中係数

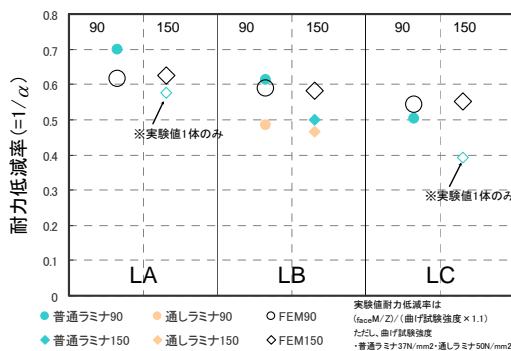


図5 耐力低減率：予測と試験値の比較

(4)耐力構面の、非線形有限要素解析において、柱脚・部材間のドリフトピン接合具の個数や配列が適切である場合、L形部材のモーメントアーム効果によって、面内水平力に対して高い初期剛性を示すとともに、L形部材の曲げ破壊が生じる以前にドリフトピン接合部が降伏することで、粘り強い荷重-変形角関係を示す事が明らかとなった。梁材を中間部材で継ぐ方式の構面ではより大変形が期待できるが、やや剛性が低いことが課題である。L形部材を繋ぐ構法を採用することで、

引きボルトのような接合具に頼ること無く、ドリフトピンのようなやや低強度の接合具を複数配置すれば構面として十分な性能を発揮できる事が明らかとなった。

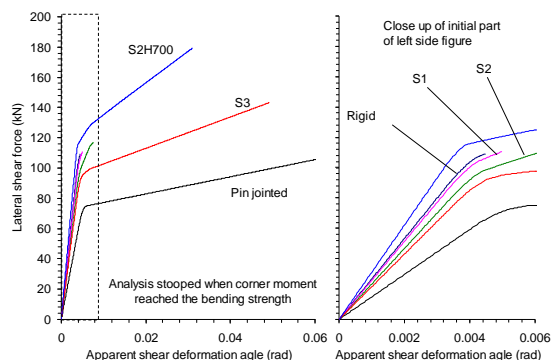


図6 提案する門型架構の面内荷重-変形関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

弥浦 壮太, 五十田 博, 樋本 敬大, 中川 貴文, 北守 顕久, 鈴木 圭, 津田 千尋, 小幅パネルを引きボルト接合した CLT 壁の水平力に対する挙動, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 81(721), pp. 585-593 2016

中島昌一, 北守顕久, 小松幸平, 直交集成板の面圧および端部せん断挙動と繊維角度依存性, 木材学会誌, 査読有, 60(4), pp. 216-226, 2014

[学会発表] (計 10 件)

北守顕久, 和田真美, 森 拓郎, 五十田博, 荒木康宏, 中川貴文, 中島昌一, 有開口 CLT 面内せん断耐力性能評価のための L 形 T 形部材要素実験, 第 66 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 2016

大島弘也, 和田真美, 北守顕久, 五十田博, CLT による構造の設計法検討のための実大震動台実験 その 4 1P パネルの水平力に対する抵抗性能に関する実験, 2015 年度日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集 (構造 III), 2015, 9 月 4-6, 357-358

Akihisa Kitamori, Shoichi Nakashima, Mami Wada and Hiroshi Isoda, "FE analysis on in-plane shear performance of frame structure composed of L-shape CLT members", International Symposium on Wood Science and Technology 2015, March15-16, , Tower Hall Funabori, Tokyo, Japan

Shoichi Nakashima, Akihisa Kitamori, Kohei Komatsu, Zeli Que, Hiroshi Isoda, DEVELOPMENT AND EVALUATION OF CLT SHEAR

WALL USING DRIFT PINNED JOINT, Proceedings of the WCTE2014, 2014, Aug. 10-14, Quebec City, Canada

Akihisa Kitamori, Shoichi Nakashima, Hiroshi Isoda, Development of CLT Shear Frame Using Metal Plate Insert Connections, Proceedings of the WCTE2014, 2014, Aug. 10-14, Quebec City, Canada

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者
北守 顕久 (KITAMORI, Akihisa)
京都大学・生存圏研究所・助教
研究者番号 : 10551400

(2) 研究分担者 ()

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ()

研究者番号 :