

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06297

研究課題名(和文) CO2排出量削減を目指した鋼木質複合構造システムに適合する木質床構造に関する研究

研究課題名(英文) FLOOR STRUCTURE ADAPTING A COMPOSITE STEEL-TIMBER STRUCTURE SYSTEM AIMING
REDUCTION OF CO2 EMISSION

研究代表者

藤田 正則 (FUJITA, MASANORI)

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：30449368

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：「CO2排出量削減を目指した鋼木質複合構造システムに適合する木質床構造に関する研究」と題し、応募者らが提案し、取り組んできた鋼木質複合構造システムに適合する「木質床構造」の研究開発を行った。木質床構造には、床面剛性と強度を確保しつつ、木質床および柱・梁の鋼のリユースを想定して、大断面集成材のCLTを選定した。さらに、CLT床とCSTS梁の接合部にスタッドまたはボルトを用いた面内せん断実験を行い、接合部の破壊性状およびそれに基づいた降伏せん断耐力、終局耐力、変形性能を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This is a research that focuses on joint between floors using cross laminated timber (CLT) and beams, technically, a composite system of steel and timber. The authors proposed "Research on a composite steel-timber structure (CSTS) according to R&D in structural systems aiming to reduce emissions of dioxide carbon. The CLT with a large cross-section are selected to assure stiffness and strength. Reusable members in either timber or steel of column and beam are taken into account, respectively. In-plane shear test of joints of studs and bolts between CSTS beams and CLT floors are conducted. Based on tests, fracture pattern and yield strength, ultimate strength, and ductility of joint of the CSTS beams and CLT floors beam are obtained.

研究分野：工学

キーワード：ハイブリッド 鋼 木質材料 CLT スギ 床構造

1. 研究開始当初の背景

わが国の二酸化炭素排出量の1/3は建築関連と推計されており、次世代が良好な生活を維持するために、建築界が果たすべき役割は大きい。日本建築学会においては、日本建築士会連合会等の計5団体と共同で地球環境・建築憲章(2000年)、建築関連17団体において、カーボンニュートラル化を目指した「建築関連分野の地球温暖化対策ビジョン2050」を提言(2009年)している。

建築構造のライフサイクルにおける環境負荷を削減するための方策の一つとして、木質材料の建築物への利用が注目されている。炭素循環の中で、森林の成長の段階で二酸化炭素を吸収・固定した樹木が、伐採・加工されて木質材料などに使用されている。この場合、木質材料を使用した建物には炭素が固定されていることになる。わが国に、豊富にある森林資源を有効活用し、木質材料などを構造材や内装材などを建築分野へ適用し、普及させていくことが今後いっそう望まれている。

2. 研究の目的

本研究は、「CO₂排出量削減を目指した鋼木質複合構造システムに適合する木質床構造に関する研究」と題し、鋼木質複合構造システムに適合する「木質床構造」の研究開発を行うことを目的とする。この木質床構造は、大断面集成材を使用することで床面剛性と強度を確保しつつ、木質床および柱・梁の鋼のリユースを想定するもので、主に非住宅分野の建物において、木質材料の利用部位の拡大を目指している。RC造や鉄骨構造の中低層建物の床に適用することで、新築着工面積の木造比率を大幅に上げることが可能となる。将来的には、この技術は壁構造や屋根構造へも応用できると考えられる。

3. 研究の方法

鋼木質複合構造システム(以降、CSTSという)に適合する木質床構造に関して、事例調査と構法選定のための曲げ実験・遮音などの

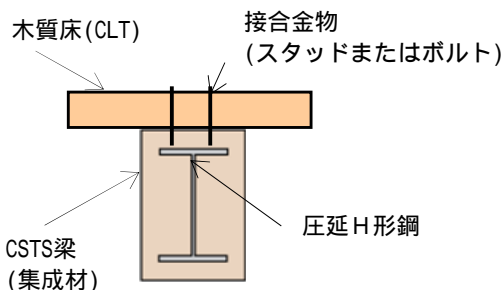


図1 床構法の接合法の模式図

基礎的な検討を行う。得られた知見により要求性能を評価し、木質床構造の構法を選定する。次に、選定された構法に関して、床とCSTS梁の接合部の面内せん断実験を行い、降伏せん断耐力、終局耐力、変形性能を明らかにする。施工実験を通して、提案した木質床構造の施工法を検討する。

4. 研究成果

(1) 木質床構造の構法提案

鋼木質複合構造システムに適合する木質床構造に関する調査を行い、環境に配慮した床として、乾式工法で大スパンが可能なCLTを選定した。CLTは告示などにより仕様が表示されている。CSTS梁の床にCLTを適用する場合、主に構造性能と遮音性を確保するために、必要厚さとして200~250mm程度が必要である。

中層建物を想定して、CSTSの鉄骨部分と接合するCLTの接合法を検討した結果、スタッド接合(頭無しスタッド)、またはボルト接合)とすることでCSTS梁とCLT床を接合するディテールとした(図1)。通常スタッドはヘッドがあると床との接合に適さないが、頭無しスタッドの場合、外側からエポキシ樹脂で充填することができるため、施工が容易となる。

CSTS梁の集成材およびCLTの基本特性の把握のため、支圧試験および圧縮試験を実施した。CSTS梁のスギ集成材は異等級構成集成材(E65-F225)とする。床材には、スギのCLT(異



(a)強軸(繊維方向) (b)弱軸(繊維と直角方向)

図2 CLT床の圧縮試験



図3 集成材の支圧試験(繊維方向)

等級構成 Mx60 : 3 層 3 プライ・5 層 5 プライ・7 層 7 プライ)を用いる。材料(CLT・スギ集成材)の圧縮試験, 支圧試験の破壊状況を図 2, 図 3 に示す。なお, 支圧試験に用いたボルトは面内せん断実験に用いる M12(SS400)である。圧縮強度は CLT および CLT において各々 12~14 N/mm², 43~44 N/mm², 支圧強度は各々 18~20 N/mm², 47 N/mm² となった, 各試験体の機械的性質は, 各シリーズの材料に対して 3 体の平均をとったものである。ここで, 木質材料は集成材の試験片(繊維方向: 100mmx100mmx200mm), CLT の試験片(3 層 3 プライで繊維と直角方向: 90mmx90mmx180mm)を使用した。

(2) CSTS 梁と木質床構造の接合部の構造的機能

CSTS 梁と木質床構造の接合部の力学的特性を把握するために, 頭無しスタッドおよびボルトの長さ(100~290mm)とピッチ(100mm, 200mm)をパラメータとした CSTS 梁とスタッドで接合された CLT 床の面内せん断実験を行った(表 1, 図 4, 図 5)。なお, シリーズ 3 は施工性を考慮してボルトを使用している。

表 1 試験体一覧表

シリーズ ^{*1}	試験体名	スタッド・ボルト			CLT床の厚さ(T) mm
		配列	間隔(P) mm	長さ(L) mm	
シリーズ 1 (スタッド)	L100P100	1	100	100	150
	L130P100	1	100	130	
	L160P100	1	100	160	
シリーズ 2 (スタッド)	L100P200	1	200	100	150
	L130P200	1	200	130	
	L160P200	1	200	160	
シリーズ 3 (ボルト)	L170T90	2	200	170	90
	L230T150	2	200	230	150
	L290T210	2	200	290	210

注*1 CSTS 梁の木質材料(集成材)の被覆厚さ: 50mm

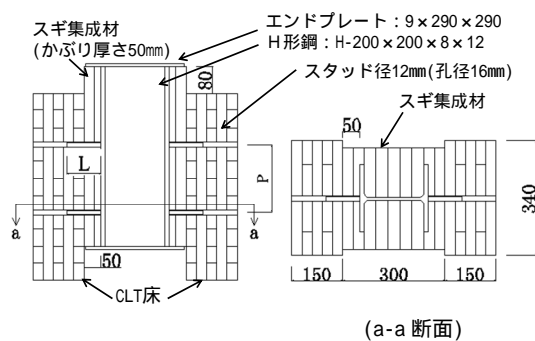


図 4 試験体形状図(シリーズ 1, 2)

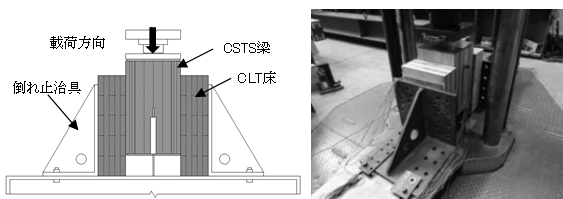


図 5 載荷状況

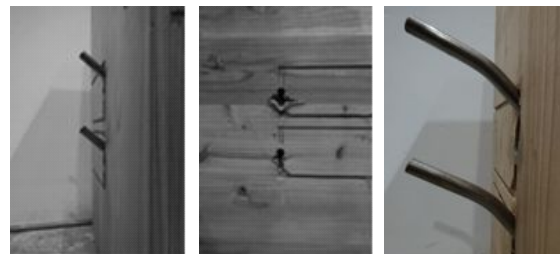
CLT 床の厚さはシリーズ 1, 2 において 150mm, シリーズ 3 において 90mm, 150mm, 210mm である。載荷に対する繊維方向は, CSTS 梁のスギ集成材において繊維平行方向, CLT 床において弱軸方向とする。

その結果, 下記のことが明らかとなった。

1) CSTS 梁と CLT 床の接合部は, スタッドあるいはボルトの曲げ降伏に伴い, CSTS 梁と CLT 床の木質材料の接触部や座金裏面の支圧破壊となる。

全ての試験体において, 試験体中央の CSTS 梁材が載荷方向に沈み込むように変形したものの, CSTS 梁と CLT 床の木質材料には割裂破壊やせん断破壊は生じていない。L100P100, L130P100 のスタッドは主に CSTS 梁側の集成材の内部で大きく曲げ変形が生じていたが, L160P100 においては CSTS 梁材の内部と CLT 床で大きな曲げ変形が確認された(図 6, 図 7)。ボルトを用いた試験体(シリーズ 3)では, 全ての試験体において CSTS 梁の集成材の内部と CLT 床のボルトによる曲げ変形が確認された。CSTS 梁と CLT 床と接触面のボルトによる木質材料の支圧破壊がシリーズ 1 とシリーズ 2 と同様に生じている。ボルトによる木質材料の支圧破壊の位置は, シリーズ 1, 2 と同様に CSTS 梁の集成材においてボルトの直上部, CLT 床においてボルトの直下部である。

2) CSTS 梁と CLT 床の接合部の耐力は, スタッド間隔が 100mm と 200mm の場合, 概ね同じである。



(a)L100P100 (CSTS 梁側) (b)L100P100 (CLT 床側) (c)L160P100 (CSTS 梁)

図 6 破壊状況(シリーズ 1, シリーズ 2)



(a)L230T150 (CSTS 梁側) (b)L230T150 (CLT 床側) (c)L230T150 (ボルト)

図 7 破壊状況(シリーズ 3)

スタッド接合としたシリーズ1, シリーズ2において, 接合具長さ 100mm および 130mm の試験体は最大荷重に到達以降, 荷重の低下が見られるが, 接合具長さ 160mm の試験体は最大荷重後も荷重が低下せず変位が進む(図8)。

3) CSTS 梁と CLT 床の接合部の降伏せん断耐力は, スタッド接合の場合, 接合具長さが長くなるに連れて増加する。

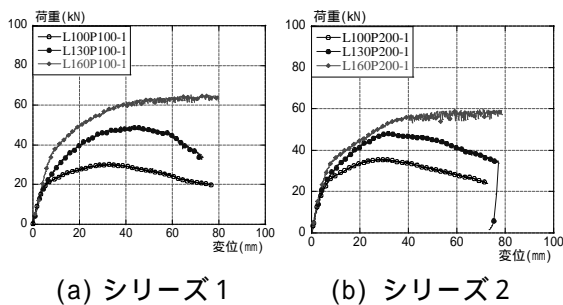
接合具の降伏時の荷重は接合具長さにかかわらず, 変動は少ない。これらの傾向は接合具の間隔の異なるシリーズ1とシリーズ2において概ね同様の傾向を示す(図9)。

4) スタッド接合としたシリーズ1, シリーズ2の場合, 接合具長さ 100mm, 130mm の試験体は降伏ヒンジが CSTS 梁側のみで生じる降伏モード b, 接合具長さ 160mm の試験体は降伏ヒンジが CSTS 梁側と CLT 側の2箇所降伏する降伏モード c に該当する。ボルト接合としたシリーズ3の場合, 全て降伏モード c に該当する(図10, 表2)。

5) CSTS 梁と CLT 床の接合部の降伏せん断耐力の実験値は破壊モードにおいて, 算定値と概ね一致するものの, 破壊モード bにおいて, 低めの評価となる(図10, 表2)。

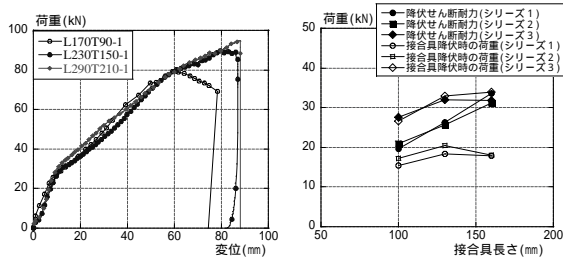
シリーズ1, シリーズ2の場合, 接合具長さ 100mm, 130mm の試験体(L100P100, L160P100, L100P200, L160P200)は降伏モード b, スタッド長さ 160mm の試験体(L160P100, L160P200)は降伏モード c に該当する。シリーズ3の場合, 全て降伏モード c に該当する。

6) CSTS 梁と CLT 床の接合部の FEM 解析の結果, 接合部の変形性状は, 面内せん断実験で見られた性状と概ね一致している。



(a) シリーズ1

(b) シリーズ2



(c) シリーズ3

図9 降伏せん断耐力と接合具長さ

図8 荷重変位曲線

CSTS 梁と CLT 床の接合部の面せん断実験の載荷時(26kN 時)の CSTS 梁のスタッドおよび集成材, CLT 床の接合部の応力分布を図11に示す。スタッドは面内せん断実験と同様に CSTS 内部の曲げ変形が支配的である。CSTS 梁の集成材においてボルトの直上部, CLT 床においてボルトの直下部がめり込んでいる。

L100P100 のスタッドは, 集成材の接触面での応力が大きくなっている。特に, 集成材および集成材と CLT 床の境界部近傍が局所的に

表2 接合部の降伏せん断耐力の比較

シリーズ	接合具の長さ (mm)	接合部の降伏せん断耐力		eP_y/cP_y	破壊形式 ^{*2}
		実験値 eP_y^{*1} (kN)	算定値 cP_y (kN)		
シリーズ1	100	19.7	26.3	0.7	b
	130	26.3	34.1	0.8	b
	160	33.6	32.4	1.0	
シリーズ2	100	21.0	26.3	0.8	b
	130	25.7	34.1	0.8	b
	160	31.2	32.4	1.0	
シリーズ3	100	27.6	31.3	0.9	
	130	32.0	31.3	1.0	
	160	31.8	31.3	1.0	

注*1 降伏せん断耐力は2体の平均値を示す。

*2 ヨーロッパ型降伏理論による降伏モード

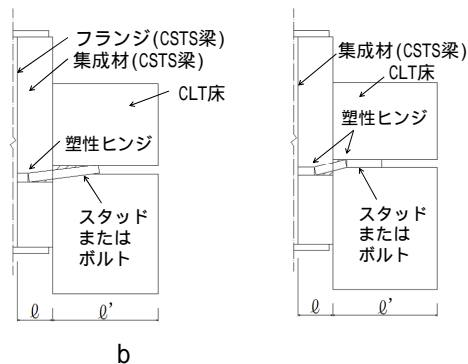
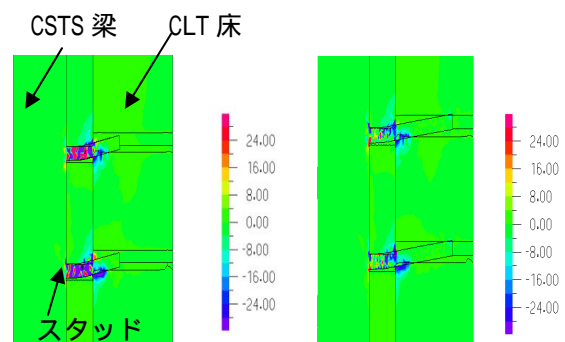


図10 面内せん断実験による降伏モード



(a) L100P100(N/mm²) (b) L160P100(N/mm²)

図11 CSTS 梁と CLT 床の接合部の応力分布 (スタッド接合: 26kN 時)

大きくなっている。L160P100 のスタッドは、集成材と CLT 床の境界部の応力が大きいですが、境界部から離れるに従って小さくなっている。

(3) 木質床構造の施工法の検討

スタッド接合の場合、CLT の厚さが大きい
ため、施工上難があると考え、ボルト接合と
した。ボルト孔(ボルト径 + 4mm)を集成材お
よび CLT 床にあらかじめ座彫しておくこと
で、試験体の組立は容易にできた。しかし、実
大サイズの施工実験は実施していないため、
CLT 床を上面と下面から施工するには足場が
必要となる。ボルト孔の精度の確保や CLT 床
の片側施工などの改良が必要である。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

藤田正則, 大瀧麻世, 大越 友樹, 菊池剛
和, 小谷野一尚, 岩田 衛: 鋼木質複合構
造システムに適合する CLT 床接合部の面
内せん断実験, 日本建築学会技術報告集,
査読有, 第 24 巻, 第 56 号, pp.189-193,
2018.2

Masanori FUJITA, Mayo OHTAKI, Yuki
OKOSHI, Mamoru IWATA: In-plane Shear
Test of Floor Structure Adapting for the
CSTS Using a Cross Laminated Timber,
19th International Association for Bridge and
Structural Engineering, 査読有, CD6p,
Stockholm, 2016.9

Masanori FUJITA, Tomomichi HAYASHI,
Yuki OKOSHI, Mamoru IWATA: Behavior of
the Composite Steel-Timber Structure with
Semi-rigid Joint, 8th International Conference
on Behavior of Steel Structures in Seismic
Areas, 査読有, CD8p, 2015.7

[学会発表](計4件)

大瀧麻世, 藤田正則, 小谷野一尚, 岩田
衛: CSTS 梁とボルト接合された CLT 床
の一面せん断実験, 日本建築学会大会(中
国), 査読無, pp.1325-1326, 2017.9

菊池剛和, 藤田正則, 小谷野一尚, 岩田
衛: 鋼と木質材料の複合構造の柱梁接合
部実験, 日本建築学会大会(九州), 査読
無, pp.1267-1268, 2016.8

大瀧麻世, 藤田正則, 小谷野一尚, 岩田
衛: CSTS 梁とスタッドで接合された CLT
床の一面せん断実験, 日本建築学会大会
(九州), 査読無, pp.1075-1076, 2016.8

藤田正則, 林 伴導, 大越友樹, 岩田 衛:
座屈拘束方杖ブレースを有する鋼木質複
合構造の挙動, 日本建築学会大会(関東),
査読無, pp.1011-1012, 2015.9

[図書](計0件)無し

[産業財産権]

出願状況(計0件)無し

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)無し

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]無し
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

藤田 正則(FUJITA MASANORI)
山口大学・大学院創成科学研究科・教授
研究者番号: 30449368