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

IN-PLAIN SHEAR TEST OF JOINT OF CLT FLOOR ADAPTING CSTS SYSTEM

藤田正則 — * 1 大瀧麻世 — * 2
大越友樹 — * 3 菊池剛和 — * 4
小谷野一尚 — * 5 岩田 衛 — * 6

Masanori FUJITA — * 1 Mayo OTAKI — * 2
Yuki OKOSHI — * 3 Takamasa KIKUCHI — * 4
Kazuhisa KOYANO — * 5 Mamoru IWATA — * 6

キーワード：

鋼木複合構造, スタッド, ボルト, CLT 床, 面内せん断実験, 降伏せん断耐力

Keywords:

Composite steel-timber structure, Stud, Bolt, Cross laminated timber floor, In-plane shear test, Yield shear strength

In light of the global environment, the authors proposed a building system comprising steel and timber (Hereafter referred to as CSTS), which consist of rolled section steels and timbers. A design method of the CSTS uses the concept of a damage controlled structure and its mechanical model is established based on the previous tests. In this study, we propose floor structure adapting for the CSTS using cross laminated timber. In-plane shear test of the joint which are consisted of unheaded studs or bolts for joint of the CSTS beam and floor structure is conducted. Structural performances of joint of the CSTS beam and floor structure are evaluated. The findings obtained from tests indicate that the joint of the CSTS beam and the floor structure has a high stiffness and strength.

1. 序論

環境負荷削減のための対応として建築構造分野では、木質材料が可能な限り多く使用することで森林再生に貢献しようとする試みが模索されている^{1)~5)}。その一つとして鋼木質複合構造の研究が進められている^{6)~10)}。著者らも、主に非住宅分野の中低層建物に木質材料を有効活用するため、機能性と安全性を損なうことのない、鋼木質複合構造システム(以降、この構法をComposite steel-timber structureからCSTSという)を開発している^{11)~13)}。ここでは、CSTSに適合する床構法を提案することで、木質材料の利用部位の拡大を目指すものである。

中低層建物の床には、耐火性や遮音性などからデッキプレートにコンクリートを打設することが一般的である。これに対して、耐火性等の課題はあるものの、大スパンが可能で軽量化が可能な直交集成板(以降、Cross laminated timber から、CLTという)等が開発されている^{14)~16)}。CLTはひき板を繊維方向が層ごとに直交するように重ねて接着した大判のパネルで、床や耐震壁として利用した研究が報告されている^{17)~20)}。

本報告では、CSTSに適合する床構法として、CSTS梁とCLT床の接合にスタッドあるいはボルトを用いた接合部の基本的な力学的性状を面内せん断実験により検討する。

2. CSTSに適合する床構造

2.1 CSTSの概要

鋼木質複合構造システム(CSTS)は、制振部材として座屈拘束ブレースを方柱状に配置した損傷制御構造としている²¹⁾。これにより、柱梁接合部や部材継手を含む部位は、剛接合ではなく、半剛接合とすることで座屈拘束ブレースのエネルギー吸収効率を向上させ、主架構の損傷を抑えることができる。すなわち、大地震に遭遇しても

図1 鋼木質複合構造システム (CSTS)

¹⁾ 山口大学大学院創成科学研究科 教授・博士 (工学)
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-1)

²⁾ 山口大学大学院創成科学研究科 大学院生

³⁾ ナイス(株) 修士 (工学)

⁴⁾ 神奈川大学大学院工学研究科 大学院生

⁵⁾ 神奈川大学工学部建築学科 助手・修士 (工学)

⁶⁾ 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博

¹⁾ Prof., Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ., Dr. Eng.

²⁾ Graduate Student, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ.

³⁾ Nice Corporation, M. Eng.

⁴⁾ Graduate Student, Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ.

⁵⁾ Research Assoc., Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ., M. Eng.

⁶⁾ Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ., Dr. Eng.

座屈拘束ブレースで地震エネルギーを吸収するために、柱梁への損傷を抑えることができる。また、損傷した座屈拘束ブレースのみを交換、修復して建物の持続性を図ることができる²²⁾。CSTS部材は、鋼の周囲に木質材料を取り付けた複合部材で構成される¹⁰⁾ (図1)。鋼は部材リユースを想定し、事務所や工場・倉庫に多く使用されている圧延H形鋼を梁に、角形鋼管を柱に用いることを想定している。CSTSは、鋼材の周囲をスギ集成材で覆うもので、鋼と木質材料を接触接合としているため、鋼と木質材料の施工・解体が容易になる。

2.2 CSTS梁と床の接合法

ここで、CSTS 梁に適合する床に、軽量化と大スパンを可能としたCLTを用いてみる。この接合法は、CLT 床と鋼材の周囲をスギ集成材で覆う CSTS 梁をスタッドまたはボルトで接合することを特徴としている。CSTS 梁はスタッドまたはボルトなどの接合具を介して CLT 床と緊結する。CSTS 梁の集成材および CLT 床にはあらかじめスタッドまたはボルト用の孔を座彫しておく。スタッド接合の場合、接着剤を充填することで、CSTS 梁と床材を一体化する。なお、接着剤は耐火性や耐久性の課題があるものの、ここでは取り上げない。CSTS 梁と CLT 床がボルト接合の場合、解体・分離が容易であり、床の上下階の部分的な増改築にも対応でき、建築計画上の自由度が高いといえる。

3. 面内せん断実験

3.1 試験体の選定

試験体は大きく3つのシリーズに分けており、シリーズ1においてスタッド長さ、シリーズ2においてスタッドの間隔、シリーズ3においてCLTの厚さ(ボルト接合)をパラメータとする²³⁾。面内せん断実験に用いる試験体一覧、試験体の形状を表1、図2に各々示す。スタッド接合の試験体は、スタッド長さL(100mm, 130mm, 160mm)を共通とし、シリーズ1においてスタッド間隔100mm、シリーズ2においてスタッド間隔200mmとした各3種類の試験体(計12体)である。ボルト接合の試験体(シリーズ3)は、CLT厚さT(90mm, 150mm, 210mm)

図2 試験体形状図

の3種類の試験体(計6体)とする。

シリーズ1, 2において、スタッドは1列配置(スタッド本数: 4本), シリーズ3において、ボルトは2列配置(ボルトの間隔は200mm, ボルト本数: 8本)とする。CSTS梁に用いる鋼材はSS400材の圧延H形鋼(H-200x200x8x12)とする。スタッドあるいはボルトには丸鋼(φ12: SS400)を使用する。スタッドは頭無しスタッドとし、圧延H形鋼のフランジ面両側に各々配置し、予め溶接する。ボルトは丸鋼端部のねじ部を加工する。鋼材を覆うスギ集成材は被り厚さ50mmとし、ウェブ面およびフランジ面それぞれに対応して4分割し、フランジ面をスタッドやボルトで接合する(図3)。スタッドあるいはボルトと接合する木質材料には、接合用の孔(径16mm)を設ける。ス

図3 CSTS 梁と CLT 床の接合の模式図

図5 測定箇所

表2 材料の機械的性質

シリーズ	材料	材質	圧縮強度*1 N/mm ²	支圧強度*2 N/mm ²	降伏強度 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %
シリーズ1	集成材	E65-F225	43	47	--	--	--
シリーズ2	CLT	Mx60-3層3プライ	14	20	--	--	--
シリーズ3	集成材	E65-F225	44	47	--	--	--
	CLT	Mx60-3層3プライ	12	18	--	--	--
シリーズ1 ~3	スタッド, ボルト	SS400	--	--	339	450	33

注*1 集成材(繊維方向), CLT(3層3プライで繊維と直角方向)

注*2 支圧強度は、製造ロットの異なる試験片の支圧強度と圧縮強度の比率より求めた。

表1 試験体一覧表

シリーズ*	試験体名	スタッド・ボルト				CLT床の 厚さ(T) mm	試験 体数	含水率	
		配列	間隔(P) mm	長さ(L) mm	本数			集成材 %	CLT %
シリーズ1 (スタッド)	L100P100	1	100	100	4	150	2	13.5	12.4
	L130P100	1	100	130	4		2	13.5	12.6
	L160P100	1	100	160	4		2	12.8	13.0
シリーズ2 (スタッド)	L100P200	1	200	100	4		2	13.0	10.6
	L130P200	1	200	130	4		2	13.4	11.9
	L160P200	1	200	160	4		2	13.1	13.2
シリーズ3 (ボルト)	L170T90	2	200	170	8	90	2	9.7	9.0
	L230T150	2	200	230	8	150	2	9.3	8.9
	L290T210	2	200	290	8	210	2	9.5	10.1

注*1 CSTS 梁の木質材料(集成材)の被覆厚さ: 50mm

(a) 載荷装置の模式図

(b) 載荷状況

図4 載荷装置

タッド接合の試験体においてはスタッドの施工後、エポキシ樹脂系接着剤を充填する。

CSTS梁には、スギ集成材(異等級構成：E65-F225)を使用し、床材には、スギCLT(異等級構成Mx60：3層3プライ・5層5プライ・7層7プライ)を使用する。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。載荷の際に均一な面で加力を行うために圧延H形鋼の端部にエンドプレートを設置する。試験体の載荷方向は、CSTS梁のスギ集成材において繊維方向、CLT床において弱軸方向とする。材料の機械的性質を表2に示す。各試験体の機械的性質は、各シリーズの材料に対して3体の平均である。集成材には、試験片(繊維方向:100mmx100mmx200mm)、CLTには、試験片(3層3プライで繊維と直角方向:90mmx90mmx180mm)を使用する。

3.2 載荷・計測方法

面内せん断実験にあたっては万能試験機を用いる。載荷中に試験体の構面外の倒れを防ぐために両側に治具を設置する(図4)。加力は一方向単調載荷とする。試験は最大荷重に達した後、最大荷重の70%または変位が約80mm程度(試験体が試験装置に干渉しない限界)に達するまで載荷する。計測は、図5に示すように各試験体に取り

付けた変位計及び歪ゲージ(CSTS梁、CLT床、スタッドあるいはボルトの脚部近傍に貼付)によって行う。

3.3 実験結果

1)破壊性状

シリーズ1、2およびシリーズ3の試験体の破壊性状を図6、図7に各々示す。各試験体の破壊性状は主にスタッドあるいはボルトの曲げ変形とそれらと木質材料の接触部分での支圧破壊である。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。

スタッドを用いた試験体(シリーズ1、2)では、スタッド長さによる変形性状の差異が見られた。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がっていたが、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。これらの破壊形式は後述する破壊モードIIIb、IVに各々該当する。スタッドによる木質材料の支圧破壊の位置は、CSTS梁においてスタッドの直上部、CLT床においてスタッドの直下部である。一方、スタッドの間隔の異なるシリーズ1とシリーズ2において同じスタッド長さ

図6 破壊状況(シリーズ1、シリーズ2)

図7 破壊状況(シリーズ3)

図8 荷重変位曲線

のもとでの破壊性状の差異は見られなかった。

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床でボルトの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。これらの破壊形式は後述する破壊モードⅣに該当する。さらに、ボルトの座金裏面がCLT側へめり込んでいた。

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) 接合部耐力

シリーズ1、2およびシリーズ3の試験体の実験結果一覧表、各シリーズの代表的な荷重変位曲線を表3、図8に各々示す。各試験体の接合部の降伏せん断耐力は、接合部の標準試験法^{24), 25)}によっているが、最大荷重が得られなかった試験体においては、荷重変位曲線の第一折れ点を採用している。ただし、シリーズ3はシリーズ1、2と比較のため、ボルト4本あたりの荷重である。接合具(スタッドあるいはボルト)の降伏時の荷重は0.2%オフセット法によって算定している。

シリーズ1、2の降伏せん断耐力は、スタッドの降伏時の荷重の1.3~1.8倍である。シリーズ1において、スタッド長さ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、ス

タッド長さ160mmの試験体は最大荷重後も荷重が低下せず変位が進む結果となった。また、スタッド間隔の異なるシリーズ1とシリーズ2において、同じスタッド長さの場合、スタッド間隔の違いによる降伏せん断耐力や終局耐力の差異は見られなかった。

シリーズ3のボルト接合とした試験体では、降伏後に最大荷重に到達したものはL170T90のみで、他の試験体に関しては耐力の向上が見られた。荷重変位曲線においては、シリーズ1とシリーズ2と異なり、第一折れ点が見られた。また、CSTS梁とCLT床の接合部の初期剛性はCLT床の厚さに伴い僅かに上昇する傾向となった。

4. 考察

4.1 降伏せん断耐力と接合具長さ

シリーズ1とシリーズ2のCSTS梁とCLT床の接合部の降伏せん断耐力および接合具(スタッド、ボルト)の降伏時の荷重と接合具長さの関係を図9に示す。ここで、接合具長さはスタッドあるいはボルトの長さ、降伏せん断耐力は試験体2体の平均である。接合部の降伏せん断耐力は接合具長さが大きい程、増大する傾向にある。また、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。

シリーズ3の接合部の降伏せん断耐力は、接合具の降伏時の荷重と概ね同じ程度になっている。これは、ボルト接合の試験体においては、スタッド接合に比べ、ボルトの頭部および座金裏面の抵抗が生じたためと考えられる。

4.2 ヨーロッパ型降伏理論による降伏せん断耐力

CSTS梁とCLT床の接合部の降伏せん断耐力をヨーロッパ型降伏理論(EYT)^{24)~27)}により検討してみる。これは曲げ降伏型接合具を用いた接合部の降伏せん断耐力を推定したもので、複数の降伏モードを用いてもたらずせん断力の最小値をその接合部の降伏せん断耐力としている。このうち、CSTS梁とCLT床の接合部の一面せん断実験による降伏モードを図10に示す。接合形式と降伏モードによって定める係数Cは接合具(スタッド、ボルト)がCSTS梁側で降伏するモードⅢb、あるいはCSTS梁側とCLT側の両方が降伏するⅣに該当する。CSTS梁とCLT床の接合部の降伏せん断耐力は(1)式を用いる。

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot \ell \tag{1}$$

ここで、 P_y : 接合部の降伏せん断耐力(N)

F_e, F_e' : 主材(CSTS梁)、側材(CL T床)の基準支圧強度(N/mm²)

F : 接合具の基準材料強度(N/mm²)

表3 実験結果一覧表

シリーズ	試験体名	接合具		CSTS梁とCLTの接合部				接合具の降伏時の荷重 ^{*2}
		間隔 mm	長さ mm	初期剛性 kN/mm	降伏せん断耐力 kN	最大荷重 kN	終局耐力 kN	
シリーズ1 (スタッド)	L100P100-1	100	100	3.3	19.1	30.2	27.5	--
	L100P100-2			4.5	20.2	31.9	29.5	15.5
	L130P100-1		130	2.5	25.9	49.3	44.8	--
	L130P100-2			4.7	26.7	53.5	48.1	18.3
	L160P100-1		160	4.3	35.3	65.0	58.7	--
	L160P100-2			4.8	31.9	55.0	51.3	17.8
シリーズ2 (スタッド)	L100P200-1	200	100	3.5	21.6	35.5	32.3	--
	L100P200-2			3.3	20.4	31.5	28.8	17.2
	L130P200-1		130	4.6	25.5	48.2	43.1	--
	L130P200-2			4.7	25.8	49.6	45.5	20.5
	L160P200-1		160	3.7	31.6	59.7	53.2	--
	L160P200-2			4.4	30.7	53.5	50.0	18.0
シリーズ3 ^{*1} (ボルト)	L170T90-1	200	170	2.9	24.1	79.1	60.4	--
	L170T90-2			2.6	31.1	76.7	58.6	26.1
	L230T150-1		230	2.8	29.0	--	--	--
	L230T150-2			2.8	35.0	--	--	32.2
	L290T210-1		290	3.4	34.7	--	--	--
	L290T210-2			4.0	28.9	--	--	34.2

注*1 各耐力はボルト4本あたりに換算している。
*2 スタッドまたはボルトの0.2%時の荷重(歪ゲージ)

図9 降伏せん断耐力と接合具長さ

図10 面内せん断実験による降伏モード

表4 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		P_y / cP_y	破壊形式 ^{*2}
		実験値 P_y^{*1} (kN)	算定値 cP_y (kN)		
シリーズ1	100	19.7	26.3	0.7	Ⅲb
	130	26.3	34.1	0.8	Ⅲb
	160	33.6	32.4	1.0	Ⅳ
シリーズ2	100	21.0	26.3	0.8	Ⅲb
	130	25.7	34.1	0.8	Ⅲb
	160	31.2	32.4	1.0	Ⅳ
シリーズ3	100	27.6	31.3	0.9	Ⅳ
	130	32.0	31.3	1.0	Ⅳ
	160	31.8	31.3	1.0	Ⅳ

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

C: 接合形式と降伏モードによって定める係数

d: 接合具径(mm), ℓ , ℓ' : 主材厚(mm), 側材厚(mm)

$$\alpha = \frac{\ell'}{\ell}, \quad \beta = \frac{F_e'}{F_e}, \quad \gamma = \frac{F}{F_e}$$

$$\text{降伏モードIIIb: } c = \sqrt{\frac{2\alpha^2\beta^2(1+\beta)}{(2\beta+1)^2} + \frac{2\beta\gamma(\frac{d}{\ell})^2}{3(2\beta+1)}} - \frac{\alpha\beta}{2\beta+1}$$

$$\text{降伏モードIV: } c = \frac{d}{l} \sqrt{\frac{2\beta\gamma}{3(1+\beta)}}$$

CSTS梁とCLT床の接合部の降伏せん断耐力の実験値と算定値の比較を表4に示す。ここで、各シリーズの試験体において、主材厚($\ell=50\text{mm}$), 側材厚($\ell'=70\text{mm}, 130\text{mm}, 190\text{mm}$)は、接合具がCSTS梁の木質材料、CLT床と接触している部分を有効長さとする。木質材料の基準支圧強度は、製造ロットの異なる試験片の圧縮強度と支圧強度の比より求めた。なお、ここでは、スタッドまたはボルトに生じる塑性ヒンジの位置に着目してヨーロッパ型降伏理論の算定式を用いたが、スタッドまたはボルトの長さや境界条件の相違が接合部の降伏せん断耐力に与える影響の検討は今後の課題とする。

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IIIb, スタッド長さ160mmの試験体(L160P100, L160P200)は降伏モードIVに該当する。シリーズ3の場合、全て降伏モードIVに該当する。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IVにおいて、算定値と概ね一致するものの、破壊モードIIIbにおいて、低めの評価となる。

5. 結論

本報告では、CSTS梁とスタッドあるいはボルトで接合されたCLT床の面内せん断実験を行った結果、下記のことが明らかになった。

- 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。
- 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。
- 4) 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IVにおいて、算定値と概ね一致するものの、破壊モードIIIbにおいて、低めの評価となる。

謝辞

本研究は、平成27～29年度の文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C))の助成を受けました。本研究にあたり、神奈川大学工学部学生(当時)小太刀常滋氏、片瀬浩彰氏の協力を得ました。記して深く感謝致します。

参考文献

- 1) 木質材料復興: 日経アーキテクチュア, pp.28-37, 2010.4
- 2) 日本建築学会地球環境委員会: 地球環境時代における木材の活用推進のシナリオ, 2011年度日本建築学会大会(関東), 地球環境部門研究協議会資料, 2011.8
- 3) 一般社団法人 木を活かす建築推進協議会: 木造建築のすすめ, 2009.11

- 4) 日経 BP 社: 既存の技術を組み合わせて木の構造を見せる, 日経アーキテクチュア, pp.58-63, 2008.9
- 5) 建築技術: 金沢エムビル(特集新しい木造耐火建築物の潮流と可能性 最新の木造耐火建築物の事例)建築技術, pp.152-155, 2005.7
- 6) 長村寛行, 桐野康則, 腰原幹雄: 5階建木質複合構造建築の実現に関する研究 その1 建物概要・防火計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造III, pp.199-200, 2005.9
- 7) 桐野康則, 長村寛行, 腰原幹雄: 5階建木質複合構造建築の実現に関する研究 その2 構造概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造III, pp.201-202, 2005.9
- 8) 腰原幹雄, 五十田博, 長村寛行, 桐野康則: 5階建木質複合構造建築の実現に関する研究 その3 構造要素の性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造III, pp.203-204, 2005.9
- 9) 堀井健史, 坂田弘安, 竹内徹, 鈴木達人, 中村博志: シアリング接合を用いた杉集成材と鋼板によるハイブリッド部材の力学的挙動に関する実験研究, 日本建築学会構造系論文集, 第584号, pp.125-132, 2004.10
- 10) 小林研治, 安村基, 成田敏基, 李元羽: 単板積層材の直交層が接合部の支圧強度及び割裂破壊定数に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造III, pp.119-120, 2015.9
- 11) 藤田正則, 宿輪桃花, 大越友樹, 村井正敏, 岩田衛: 鋼と木質材料の複合構造システムの構法成立の可能性, 日本建築学会環境系論文集, 第78巻, 第691号, pp.725-731, 2013.9
- 12) 大越友樹, 藤田正則, 村井正敏, 岩田衛: 鋼木質複合梁部材の曲げ実験, 日本建築学会技術報告集, 第19巻, 第43号, pp.967-970, 2013.10
- 13) 藤田正則, 大越友樹, 村井正敏, 岩田衛: 鋼と木質材料の複合構造に関する研究 その1 接触接合梁の曲げ実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造III, pp.929-930, 2013.8
- 14) 武川明子: 第1部 情報集: CLTの最前線 3. 欧州におけるCLTの普及と使用例, 木材工業, 68(11), pp.474-475, 2013
- 15) 直交集成板の日本農林規格, 平成25年12月20日, 農林水産省告示大3079号
- 16) 国土交通省: CLTを用いた木造建築基準の高度化推進事業報告書, 平成26年度
- 17) 倉富洋, 森宗二郎, 工藤僚泰, 山形達乃, 上川大輔, 矢埤和彦, 藤井秀行, 稲田達夫: 柱梁S造一床木質構造システムの開発 その1 開発の趣旨について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III, pp.515-516, 2015.9
- 18) 森宗二郎, 倉富洋, 藤井秀行, 稲田達夫: 柱梁S造一床木質構造システムの開発 その2 鉄骨梁と木床の接合方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造III, pp.517-518, 2015.9
- 19) 山形達乃, 倉富洋, 稲田達夫: 柱梁S造一床木質構造システムの開発 その4 施工性確認実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造III, pp.521-522, 2015.9
- 20) 弥浦壮太, 五十田博, 槌本敬大, 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, vol.81, 第721号, pp.585-593, 2016.3
- 21) Mamoru IWATA, Masanori FUJITA: A Damage-Controlled Structure Using Buckling-Restrained Knee Braces, Structural Engineering International, Vol.21, No.3, pp.462-470, 2011.11
- 22) 大越友樹, 藤田正則, 小田大貴, 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設計法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第79巻, 第700号, pp.847-855, 2014.6
- 23) 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造III, pp.1075-1076, 2016.8
- 24) 日本建築学会編: 木質構造設計基準・同解説 -許容応力度・許容耐力設計法-, 2011.3
- 25) 日本住宅・木材技術センター: 構造用木材の強度試験マニュアル, 2011.3
- 26) 日本建築学会: 木質構造基礎理論, 2010.12
- 27) 日本建築学会: 木質構造接合部設計マニュアル, 2012.4

[2017年6月5日原稿受理 2017年8月15日採用決定]