

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360251

研究課題名(和文) 地球環境に配慮した鋼と木質材料の複合構造に関する研究

研究課題名(英文) COMPOSITE STEEL-TIMBER STRUCTURE CONSIDERING ENVIRONMENTAL BURDEN

研究代表者

岩田 衛 (Iwata, Mamoru)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：50322532

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円、(間接経費) 4,470,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、環境負荷削減のための建築構造分野における対応として、鋼と炭素固定源となる木質材料の複合による構造部材を開発し、木質材料の適用範囲を拡大することを目的とする。現在、RC造や鉄骨構造が使用されている非住宅分野の中低層ビル、体育施設などを複合構造に代替することで、年間新築着工面積の木造化率の2倍を目指すものである。まず、鋼と木質材料の複合構造に関して調査を行い、構法のタイプを分類し、最適な構法を選定する。次に、鋼と木質材料の複合構造部材のせん断実験、部材曲げ実験などにより部材性能を明らかにする。最終的には、複合構造を中低層ビル構造に適用するにあたっての設計法を提案する。

研究成果の概要(英文)：To reduce environmental burden in the field of building construction, this study aims to develop a composite steel-timber structure fixing a carbon and expand structure using timber. Since building structures and stadiums using reinforced concrete structure and steel structure can be substituted to composite steel-timber structure, it is aims to double the timber rate of year new building construction area. First, a composite steel-timber structure is investigated and classified building structure system which is composed of steel and glued laminated timber. Next, bending test and compressive test of the composite steel-timber members are conducted to grasp basic structural performance. Finally, a design method of the composite steel-timber structure using buckling-restrained knee braces is proposed on the previous experimental tests. A trial design is conducted where applicability of the design method is shown.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学，建築構造・材料

キーワード：環境負荷 複合構造 鋼 木質材料 実験 構法 設計法

1. 研究開始当初の背景

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には、炭素を固定する木質材料の建築物への利用が注目されている。「京都議定書」では森林によるCO₂の吸収を認めており、日本の目標CO₂削減値6%のうち森林による炭素吸収は3.9%(上限値:2001年のボン合意)と大部分を占め、この分野の取り組みが重要である。日本の国土の3分の2にあたる2500万haの森林による木材蓄積量のほとんどがスギ・ヒノキ・カラマツ等の人工造林面積(1000万ha)である。森林の年間成長量は全蓄積の3%強、年間伐採量は1%強であり、木材資源としての蓄積量は増加している。このような状況の中で、木質材料の内装材や構造材などの建築分野へ普及する必要性がますます高まっている。

2. 研究の目的

本研究は、「地球環境に配慮した鋼と木質材料の複合構造に関する研究」と題し、環境負荷削減のための建築構造分野における対応として、鋼と炭素固定源となる木質材料の複合による構造部材を開発し、木質材料の適用範囲を拡大することを目的とする。現在、RC造や鉄骨構造が使用されている非住宅分野の中低層ビルを複合構造により代替することで新築着工面積を現状の約2倍にすることを旨とするものである。木質材料は資材製造時に化石燃料を大量に使用しない材料としてカーボンニュートラル建築に適した材料であり、建築構造部材として積極的に活用することでCO₂の排出量の削減に貢献するものとする。以降、鋼と木質材料の複合構造をCSTS(composite steel-timber structure)という。

3. 研究の方法

本研究は、鋼と木質材料の複合構造に関して、(1)構法の提案、(2)複合部材の構造性能評価、(3)設計法の提案、から構成される。

(1)に関して、複合構造の構法の選定にあたって、調査を行い、安全性、機能性、環境性、意匠性、加工性、施工性、経済性の要求性能を比較する。

(2)に関して構法の選定を受けて、まず、鋼と木質材料の接合法に関して接着接合・ボルト接合の面内せん断実験、部材曲げ実験を行い、接合法や幅厚比の違いにより力学的特性など相違について確認する。さらに、複合構造の部材の圧縮実験により荷重分担などの圧縮耐力について評価する。最終的には、複合構造の加工方法及び施工方法を検討する。(3)に関して、鋼と木質材料の複合構造システムを中低層建物に適用する設計法を提案する。

4. 研究成果

(1) 複合構造の構法提案

鋼と木質材料の複合部材の構法のタイプを分類し、構法成立のために必要な要求性能に関して検討した。図1に示す接合法の種類のうち、環境性に着目して接触接合に着目し、構法のタイプを下記に分類している。ここで、鋼と木質材料の複合構造の柱と梁の接合部を剛接合とすることが難しいため、架構には制振部材(座屈拘束部材)を用いた損傷制御構造とすることで、柱梁接合部の半剛接合とする(図2)。

タイプ1は、鋼に角形鋼管を使用し、その周囲を木質材料で覆うタイプである。角形鋼管の内部には木質材料は充填されていない。

タイプ2は、圧延H形鋼などを十字に組み合わせたもので、その周囲を木質材料で覆うタイプである。十字H形鋼のウェブ部分には木質材料は充填されていない。

タイプ3は、十字形の鋼の周囲を木質材料で挟み込んだタイプであり、鋼の周囲は全て木質材料により覆われている。

タイプ4は、鋼に圧延H形鋼を使用し、その周囲を木質材料で覆うタイプである。圧延H形鋼のフランジ、ウェブの周囲は全て木質材料により覆われている。

タイプ5は、タイプ4の鋼のウェブ部分が無いものである。鋼のフランジ部分は2枚の平鋼を並列配置とし、その周囲は全て木質材料で覆われている。

タイプ6は、タイプ4のウェブに相当する箇所に平鋼の両側を木質材料で挟み込んだタイプであり、その周囲は全て木質材料により覆われている。

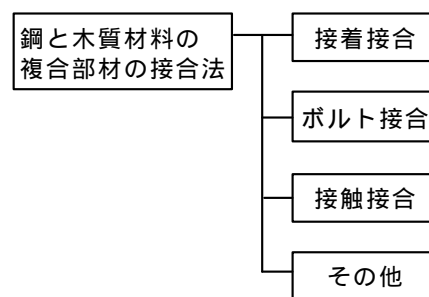


図1 接合法の種類

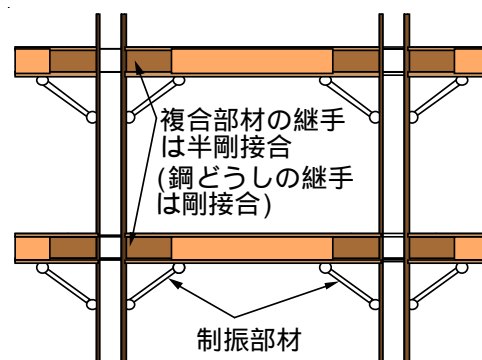


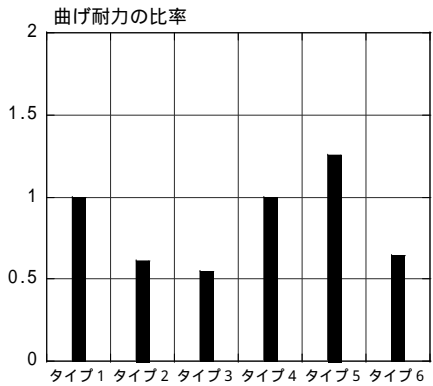
図2 CSTSの模式図

得られた結果は下記の通りである。

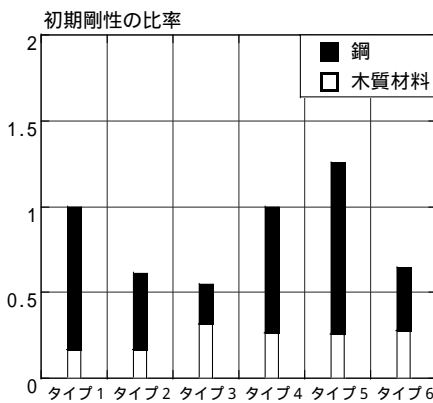
鋼と木質材料の複合部材の構法のタイプを分類し、安全性・機能性・環境性・意匠性・加工性・施工性に関する要求性能を総合評価することで、複合構造システムの構法成立の可能性を示した。耐荷性能の比較として、各タイプの曲げ耐力および初期剛性の比較を図3に示す。

構法に対する要求性能として、安全性、機能性、環境性、意匠性、加工性、施工性、経済性を総合評価した結果、柱においては角形鋼管の周囲を木質材料で覆うタイプ1、梁においては圧延H形鋼の周囲を木質材料で覆うタイプ4が最も優れている(表1)。

角形鋼管の周囲を木質材料で覆うタイプ1、圧延H形鋼の周囲を木質材料で覆うタイプ4を各々柱、梁に使用した鋼と木質材料の複合構造システムの構法例を示した(図4)。ここで、圧延H形鋼と木質材料は接触接合、木質材料どうしは接着接合である。



(a) 曲げ耐力



(b) 初期剛性

図3 耐荷性能の比較

表1 要求性能評価

要求性能	タイプ	重み 係数*	柱			梁		
			タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ5	タイプ6
安全性	部材	2	4	2	0	2	4	0
	仕口・継手	2	2	2	0	4	0	2
機能性	部材サイズ	1	2	2	2	2	2	2
経済性	コスト	2	4	2	0	2	0	4
環境性	リユース等	1	2	1	1	2	1	1
加工性	加工の容易性	1	2	1	1	1	1	2
施工性	施工の容易性	1	1	2	1	2	1	1
意匠性	外観	1	2	2	2	2	2	2
総合評価(評点の計)			19	14	7	17	11	14

注*1 安全性と経済性の重み係数を2とする。

(2) 部材及び接合部の構造性能評価

鋼と木質材料の複合構造の梁部材を想定した曲げ実験を行い、接合法や幅厚比の違いにより力学的特性など相違について確認した。鋼材のみの試験体を2体(普通幅をA1, 薄幅をC1), 木質材料のみの試験体を3体(木質材料に溝をつけた普通幅をA2, A3, 薄幅をC2), 鋼材と木質材料を複合させたものを8体(普通幅をB1~B5, 薄幅をD1~D3)の計13体を製作した。得られた結果は下記のとおりである。

複合部材の最大耐力及び初期剛性は一体化の程度が高い(接着接合とボルト接合の組み合わせ)場合、鋼と木質材料を足し合わせることで概ね評価できる。すなわち、CSTS部材の初期剛性 Kc は、曲げ剛性とせん断剛性により表すことができる。

鋼と木質材料の接触接合の複合部材の最大耐力は、鋼と木質材料を接着接合とボルト接合で組み合わせた複合部材よりやや低下するが、最大耐力以降の変形性能は概ね同じである。曲げ実験によると、木質材料に引張破壊が生じた後、亀裂が入るごとに荷重が少し低下し、その後また荷重が上がり始めるという挙動を繰り返している。これは一料の応力再配分が生じるためである(図5, 図6)。

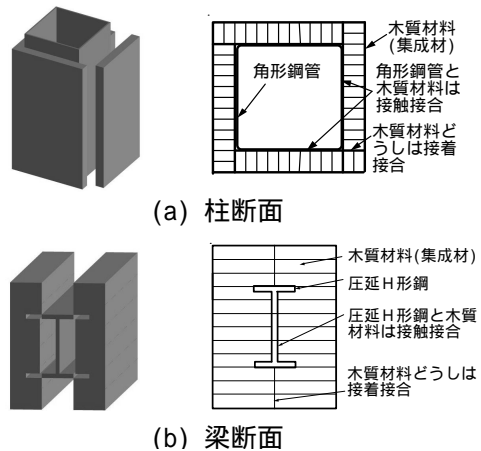


図4 CSTSの部材



(a)接着接合 (b)接触接合

図5 破壊状況

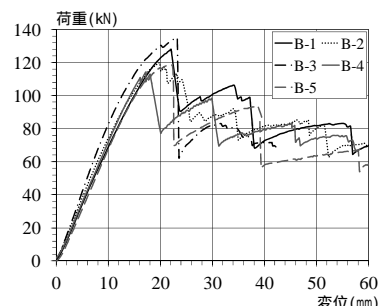


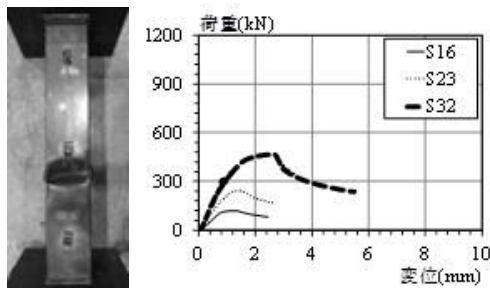
図6 荷重変位関係(曲げ実験)

複合部材は、木質材料が鋼の横座屈を補剛するため、幅厚比の制限を緩和できる。この場合、鋼材のみの試験体(普通幅:A1)。(薄幅:C1)では1/200を過ぎたところで横座屈し、載荷点付近からねじれも起こしているが、複合部材の試験体の鋼材では横座屈しておらず、載荷点付近のねじれも起こしていないことから推定される。さらに、普通幅の場合、複合部材の試験体の面外変位は、鋼材のみの試験体の20%以下となっており、木質材料が鋼材全体に対して補剛材の役割を果たしている。

短柱圧縮試験により、得られた結果は下記の通りである。

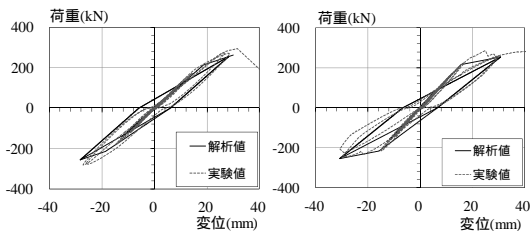
短柱圧縮試験によると、等価細長比 e が100より小さい場合、実験値と適合する座屈低減係数 η の最小値は概ね0.75である。複合試験体は鋼材のみの試験体よりも最大荷重が大きく、木質材料が圧縮力を負担していた。また、鋼材のみの試験体では軸方向変位が5mm以下のときに荷重が30%以上低下したが、複合試験体では軸方向変位が5mmのとき、最大荷重からの荷重の低下は10%以内となった(図7)。

圧縮力はCSTS部材を構成する鋼と木質材料が剛性に応じて各々負担するものとして、CSTS部材の圧縮耐力の算定式を提案した。安全側を考慮し、等価細長比 e が100より小さい場合、座屈低減係数 $\eta = 0.30$ を用いる。等価細長比 e が100以上の場合はオイラー座屈が生じるものとする。



(a) 鋼の局部座屈 (b) 荷重変位曲線

図7 短柱圧縮試験



(a) CSTS 梁部材 (b) CSTS 柱部材

図8 CSTS部材の復元力特性

(3) 設計法の提案

座屈拘束方杖プレースを有する鋼木質複合構造に関して中低層建物に適用する設計法について検討した。設計にあたっては、前述した実験結果をもとにモデル化する。柱に座屈は生じないものとして解析を行うため、軸力は加えないものとする(図8, 図9, 図10)。

得られた結果は下記の通りである。

既往の研究から得られた知見を統合し、座屈拘束方杖プレースを有する中低層建物に適用するCSTSの設計法を提案した。設計法フローは、損傷制御構造の設計概念を基本的な枠組みとし、CSTSの主架構の設計と座屈拘束プレースの設計を追加したものである(図11)。CSTSを想定した中低層建物の柱梁接合部および部材継手の納まり図の例を図12に示す。

CSTS部材では、木質材料の最外縁のラミナの破断よりも先に鋼が降伏するものとしており、横座屈細長比および鋼の降伏先行の条件を満たす曲げ部材の設計式を提示した。この場合、集成材の最外縁のラミナが曲げ強度に達した場合に最大曲げ耐力となるため、木質材料の最外縁のラミナの破断よりも先に鋼が降伏する条件のもとでは、安全性を考慮して実験結果の下限値を満たすものとし、低減係数 η を0.75としている。

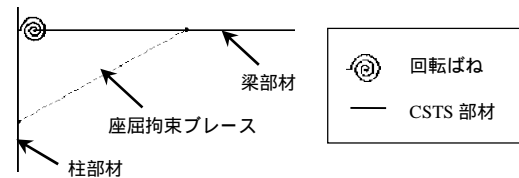


図9 柱梁接合部・部材継手のモデル化

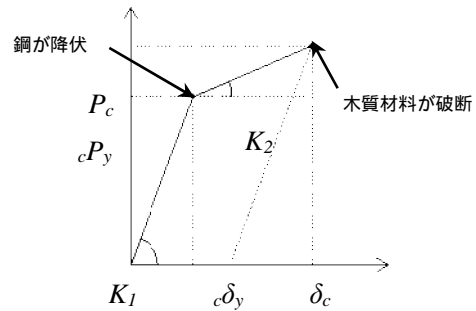


図10 二次剛性

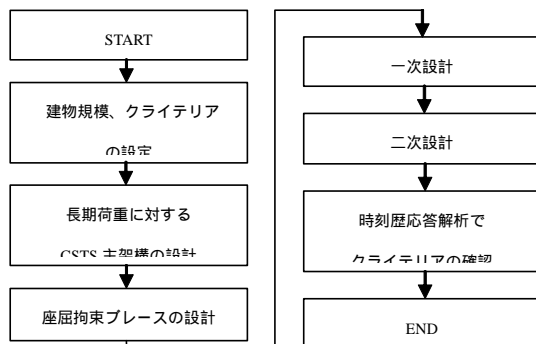


図11 設計フロー

提案した条件を満たす座屈拘束方杖プレースを有する 10 層 5 スパンの建物の試設計を行い、半剛接合の柱梁接合部のもとで、主架構は弾性域に抑え、座屈拘束プレースのみが塑性化することを時刻歴応答解析により確認した。この場合、主架構と座屈拘束プレースの剛性比が 1:4 の場合、各層の必要保有水平耐力は層間変形角 1/100rad 以内に分布しており、各層の保有水平耐力は必要保有水平耐力よりも上回っている(図 13)。主架構は保有水平耐力時でも弾性域であり、設計クライテリアを満足している。レベル 2 地震動時の主架構において、梁端部の μ が一番大きい。しかし、座屈拘束プレースが地震エネルギーを吸収しているため、座屈拘束プレースの μ のみが大きくなり、梁端部の μ は 1 以下となっている(表 2)。

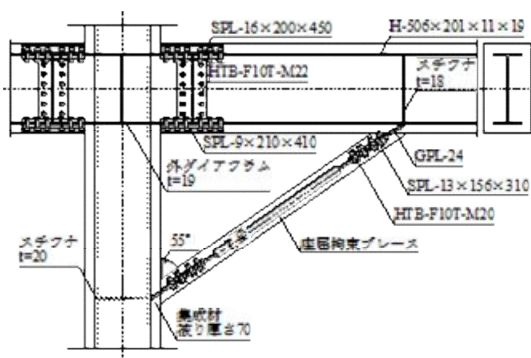


図 12 デテール

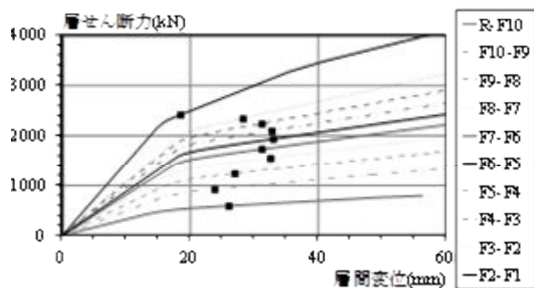


図 13 層せん断力-層間変位の関係

表 2 主架構および座屈拘束プレースの塑性状況

地震波	レベル1				レベル2					
	主架構		座屈拘束プレース		主架構		座屈拘束プレース			
	層	箇所	μ	μ	層	箇所	μ	μ		
半剛接合	2	梁端部	El centro NS	0.16	0.339	0.96	0.34	0.476	2.85	66.8
			八戸 EW	0.15	0.318	0.91	0.32	0.445	2.68	60.8
			Taft EW	0.16	0.326	0.92	0.31	0.434	2.67	59.3
			BCJ	0.17	0.347	0.93	0.33	0.492	3.01	107.6
剛接合	1	梁端部	El centro NS	0.37	0.088	0.78	0.89	0.102	1.95	40.8
			八戸 EW	0.36	0.081	0.76	0.76	0.089	1.65	33.8
			Taft EW	0.35	0.085	0.79	0.86	0.105	1.87	40.0
			BCJ	0.39	0.099	0.85	1.07	0.192	2.05	43.6

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 13 件)

大越友樹, 藤田正則, 小田大貴, 岩田 衛: 座屈拘束方杖プ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, 査読有, 第 79 巻, 第 700 号, pp.847-855, 2014.6

Masanori FUJITA, Micha KUBOTA, Yuki OKOSHI, Mamoru IWATA, CO₂ fixation using a composite steel timber structure, Advanced Materials Research, 査読有, Vols.838-841, pp 381-387, 2014

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, 査読有, 第 19 巻, 第 43 号, pp.967-970, 2013.10

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, 査読有, 第 78 巻, 第 691 号, pp.725-731, 2013.9

Masanori FUJITA, Mamoru IWATA: Bending test of the composite steel-timber beam, Mechanics and Materials, 査読有, Vols.351-352, pp 415-421, 2013

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, 査読無, C-1, 構造, pp.929-930, 2013.8

大越友樹, 藤田正則, 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 2 接触接合柱の曲げ実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, C-1, 構造, pp.931-932, 2013.8

宿輪桃花, 藤田正則, 岩田 衛: 鋼と木質材料の複合構造に関する研究 その 3 方杖を有する構造物のモデル設計, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, C-1, 構造, pp.933-934, 2013.8

藤田正則, 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 構法提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, C-1, 構造, pp.1009-1010, 2012.9

窪田美佳, 藤田正則, 岩田 衛: 鋼と木質材料の複合構造に関する研究 その 2 木材の材積調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, C-1, 構造, pp.1010-1011, 2012.9

小田大貴, 藤田正則, 村井正敏, 山本正幸, 岩田 衛: 鋼と木質材料の複合構造に関する研究 その 3 面内せん断実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, C-1, 構造, pp.1012-1013, 2012.9

大越友樹,藤田正則,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3その4 梁部材の曲げ実験,日本建築
学会大会学術講演梗概集,査読無,C-1,
構造, pp.1014-1015, 2012.9
宿輪 桃花,藤田正則,岩田 衛:鋼と木
質材料の複合構造に関する研究 その
5 ビル構造物のモデル設計,日本建築学
会大会学術講演梗概集,査読無,C-1,構
造, pp.1016-1017, 2012.9

〔学会発表〕(計9件)

藤田正則: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,北海道大学,札
幌市,2013.8.30

大越友樹:鋼と木質材料の複合構造に関
する研究 その2 接触接合柱の曲げ実
験,日本建築学会大会,北海道大学,札
幌市,2013.8.30

宿輪桃花:鋼と木質材料の複合構造に関
する研究 その3 方杖を有する構造物
のモデル設計,日本建築学会大会,北海
道大学,札幌市,2013.8.30

藤田正則:鋼と木質材料の複合構造に関
する研究 その1 構法提案,日本建築学
会大会(東海),名古屋大学,名古屋市,
2012.9.13

窪田美佳:鋼と木質材料の複合構造に関
する研究 その2 木材の材積調査,日本
建築学会大会(東海),名古屋大学,名古
屋市,2012.9.13

小田大貴:鋼と木質材料の複合構造に関
する研究 その3 面内せん断実験,日本
建築学会大会(東海),名古屋大学,名古
屋市,2012.9.13

大越友樹:鋼と木質材料の複合構造に関
する研究 その4 梁部材の曲げ実験,日
本建築学会大会(東海),名古屋大学,名
古屋市,2012.9.13

宿輪桃花:鋼と木質材料の複合構造に関
する研究 その5 ビル構造物のモデル設
計,日本建築学会大会(東海),名古屋大
学,名古屋市,2012.9.13

酒井淳平:鋼と木質材料の複合構造に関
する基礎研究,日本建築学会大会(関東),
早稲田大学,東京都,2011.8.23

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称:鋼と木質材料の複合構造物
発明者:岩田衛,藤田正則
権利者:神奈川大学,山口大学
種類:特許
番号:特開2013-130021
出願年月日:2011.12.22
国内外の別:国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩田 衛(IWATA MAMORU)
神奈川大学・工学部・教授
研究者番号:50322532

(2)研究分担者

藤田 正則(FUJITA MASANORI)
山口大学・理工学研究科・教授
研究者番号:30449368

(3)研究協力者

村井 正敏(MURAI MASATOSHI)
元・神奈川大学・工学部・教務技術職員