

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 3月30日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760416

研究課題名（和文）

鉄筋の定着を省略した鋼コンクリート合成構造耐震壁の構造特性に関する研究

研究課題名（英文）

Study on Structural Performance of composite Concrete Encased Steel Shear Wall with a simplified anchoring method

研究代表者

松井 智哉（MATSUI TOMOYA）

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：20402662

研究成果の概要（和文）：

本研究では鉄骨と繊維補強コンクリートのみからなる CES 合成構造における耐震壁の開発を目的として、CES 造周辺架構と壁板の定着を簡略化した CES 造耐震壁の静加力実験を実施した。当該耐震壁の破壊性状、終局強度について明らかにするとともに耐力評価法について検討を行った。その結果、壁横補強筋の周辺架構への定着を省略してもせん断耐力および曲げ耐力に及ぼす影響は小さいことを明らかにした。さらに CES 造耐震壁の耐力は SRC 規準式により評価可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：

The objective of this study is to develop the shear wall in composite Concrete Encased Steel (CES) structures composed of steel and fiber reinforced concrete, and Static loading tests were conducted on the shear walls with a simplified anchoring method for connecting the CES frame to the FRC wall panel. As the result, it was observed that the shear strength was not so influenced by simplifying the anchorage of wall reinforcing bars to CES beam and column. And it was shown that the flexural strength and shear strength of a CES shear wall could be evaluated using a method based on the AIJ design standard for SRC structures.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：鋼コンクリート合成構造、CES 造構造、繊維強コンクリート、プレキャスト壁
定着方法、静的加力実験

1. 研究開始当初の背景

本研究代表者らは、鉄骨と繊維補強コンクリート（以下、FRC）のみから構成される CES (Concrete Encased Steel) 構造システムの実用化に向けて開発的研究を継続的に実施

している。これまでの柱、柱梁接合部、2 層 2 スパンフレームを用いた構造実験から、本構造は優れた復元力特性および安定した履歴特性を示し、高い耐震性能を有することを示してきた。

一方、建築物の主要耐震部材のひとつである耐震壁については、CES 構造においても剛性および強度を確保する上で有効である。しかし、柱および梁に充腹形鉄骨が内蔵されている CES 構造では、SRC 構造と同様に、壁筋の配筋が困難であることは想像に難くない。CES 耐震壁の開発においても、周辺架構と壁板との定着方法も含めた施工性の改善を重要な課題としている。

このような背景から、筆者等は CES 造周辺架構と壁板との定着を簡略化した CES 造耐震壁の構造性能を明らかにするために静的加力実験を実施し、壁縦筋の定着を省略しても定着させたものと同等以上の耐力性能および変形性能を有することを示した。

以上のような背景の下、さらに工事の合理化、省力化という観点から、横補強筋の定着を省略することが可能であるか、プレキャスト（以下、PCa）工法への適用性などが課題として挙げられる。

2. 研究の目的

本研究では CES 造周辺架構と壁板との定着を簡略化した一体打ち CES 造耐震壁および壁板を PCa 化した CES 造耐震壁を用いて静的加力実験を実施することにより、当該耐震壁の耐力と変形性能および破壊メカニズム等の基礎的な耐震性能を検証する。

3. 研究の方法

(1) 試験体概要

試験体の形状、配筋および PCa 壁詳細を図 1、図 2 および図 3 に示す。耐震壁試験体は、中高層壁フレーム建築物における連層耐震壁の下部 2 層を想定した実大の約 1/3 縮尺のもの 4 体であり、試験体 CWDS、CWDF (D シリーズ) が一体打ち耐震壁、試験体 CWPS、CWPF (P シリーズ) が各層の壁板を 2 分割した PCa 耐震壁である。また、実験変数として試験体 CWDS、CWPS (S シリーズ) がせん断破壊型、試験体 CWDF、CWPF (F シリーズ) が曲げ降伏先行型を想定している。

一体打ち試験体は、壁板の縦筋および横筋を周辺フレームに定着せず壁板内でフックを設けている。ただし、施工時に鉄筋を固定する必要があるため、壁横筋は各層の上下 2 本を側柱の内蔵鉄骨ウェブに溶接している。

プレキャスト壁試験体は、CES 造周辺架構を製作後、PCa 壁を設置する。ここで左右に並ぶ PCa 壁の横筋は溶接し、さらに一体打ち試験体同様、壁横筋の上下 2 本を側柱の内蔵鉄骨ウェブに取り付けた鉄筋に溶接した (図 3 参照)。PCa 壁パネルと CES 造周辺架構の隙間には、敷きモルタルを用いるとともに、鉛直接合部と PCa 壁の上側の水平接合部には無収縮モルタルを充填した。なお、PCa 壁の周辺にはシアコッターを設けている。せん断ス

パン比 ($M/(Q \cdot D)$ 、 D : 壁の全せい) はせん断破壊型試験体を 1.1、曲げ降伏型試験体を 1.65 とした。

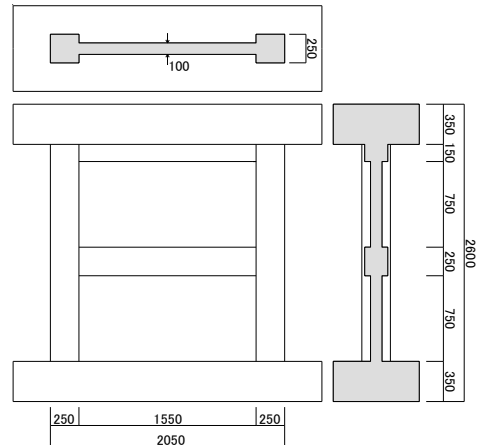


図 1 試験体形状

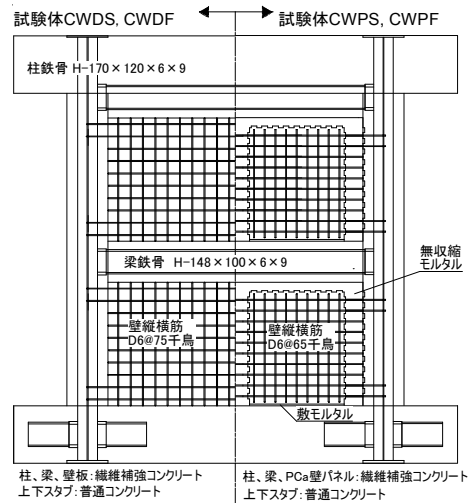


図 2 配筋図

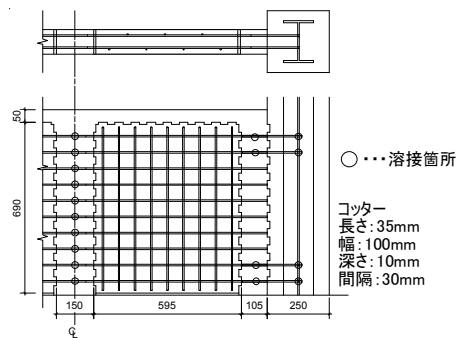


図 3 プレキャスト壁周辺

なお、4 章研究成果で示す実験結果では、試験体 CWDS、CWDF の比較対象として既往の試験体 CWAS、CWAF の結果も併せて示す。A シリーズ試験体は、せん断補強筋の全てを柱鉄骨ウェブに溶接して定着している点が D シリーズ試験体と異なる。

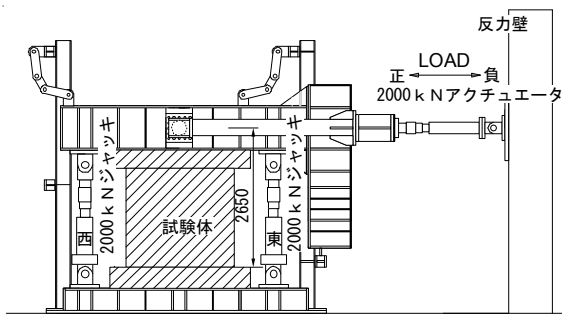


図4 荷装置

FRCに使用した繊維は、直径0.66mm、長さ30mmのビニロンファイバー(RF4000)であり、体積混入量を1.0%とした。

(2) 荷方法

荷装置を図4に示す。加力方法は、水平力の正負繰り返し荷とした。さらに、一定軸力(柱軸力比 $N/N_0=0.2$ 、 N_0 : 鉄骨を含む軸圧縮耐力)を試験体頂部に作用させると同時に、所定のせん断スパン比となるように作用せん断力に対応させて当該鉛直ジャッキを制御することによって試験体頂部に付加モーメントを作用させた。軸力は、Sシリーズ試験体は1086kN、Fシリーズ試験体は1230kNである。実験では試験体頂部の水平変位(δ)を計測位置の高さ($H=2,050\text{mm}$)で除した部材角 $R=\delta/H$ で制御した。

(3) 計測計画

計測変位は、上部スタブおよび側柱での水平変位、側柱を7分割した軸方向変位、梁と壁板のずれおよび開きである。鉄骨フランジ、鉄骨ウェブおよび壁の補強筋のひずみをひずみゲージにより測定した。

4. 研究成果

(1) 破壊性状と履歴特性

図5にせん断破壊型試験体の最終破壊状況、図6にせん断力-部材角関係を示す。

試験体 CWDS では、 $R=0.5 \times 10^{-2}\text{rad}$ のサイクルで1層梁下と壁板の間においてずれが確認できた。 $R=0.75 \times 10^{-2}\text{rad}$ において最大耐力1,204kNを記録し、1層壁西側上隅角部および2層壁東側下隅角部のせん断ひび割れが大きく拡幅した。最大耐力以降、1層壁上隅角部および2層壁下隅角部のせん断ひび割れの拡幅・コンクリートの圧壊および側柱の損傷が進行していき、耐力が徐々に低下していく。

試験体 CWPS では、 $R=0.25 \times 10^{-2}\text{rad}$ のサイクルで梁とモルタルの境界(以下、水平接合面)および柱とモルタルの境界(以下、鉛直接合面)でずれが生じ始め、 $R=0.5 \times 10^{-2}\text{rad}$ では、2層壁下隅角部および1層壁西側上隅角部においてせん断ひび割れが大きく拡幅した。それ以降、1層壁上隅角部および2層壁下隅角部のせん断ひび割れの拡幅、水平接

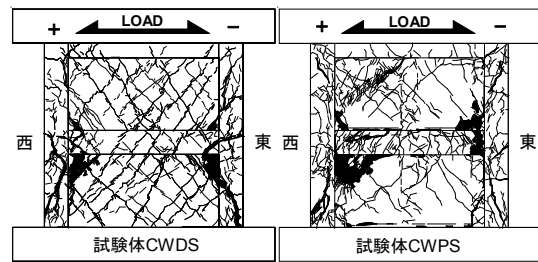


図5 ひび割れ状況

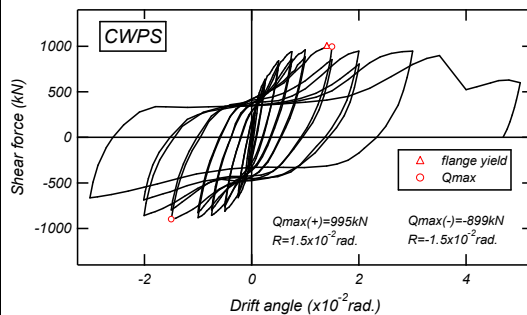
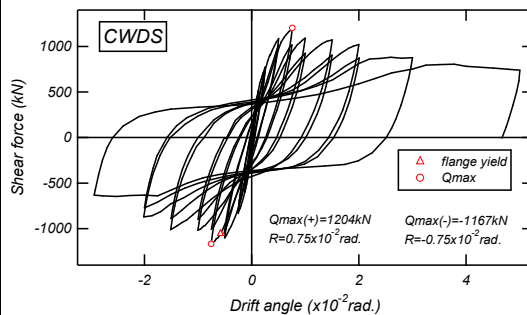


図6 せん断力-部材角関係

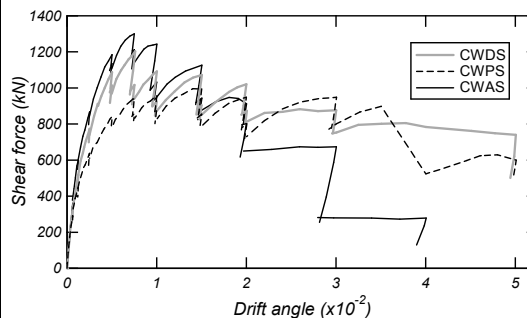


図7 試験体の包絡線の比較

合面および鉛直接合面に沿ったずれおよび開きが進行した。 $R=1.5 \times 10^{-2}\text{rad}$ で最大耐力995kNを記録した後、変形角の進行とともに壁板隅角部、側柱、梁のコンクリートの損傷が顕著となる。また、鉛直接合面の開きが著しかった。最大耐力は、試験体 CWDS と比べると2割ほど小さい。 $R=3.5 \times 10^{-2}\text{rad}$ では、1層梁鉄骨接合部の破断により耐力が急激に低下しており、試験体 CWDS とは異なる挙動を示した。

図7にSシリーズ試験体の包絡線の比較を示す。試験体 CWDS の最大耐力は試験体 CWAS と比べて若干小さいが、コンクリート強度

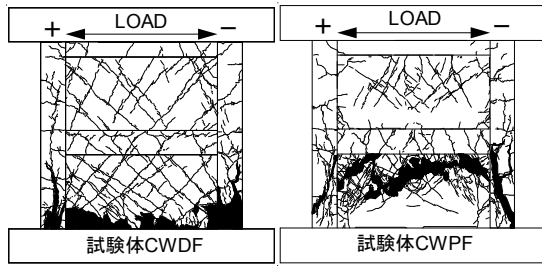


図8 ひび割れ状況

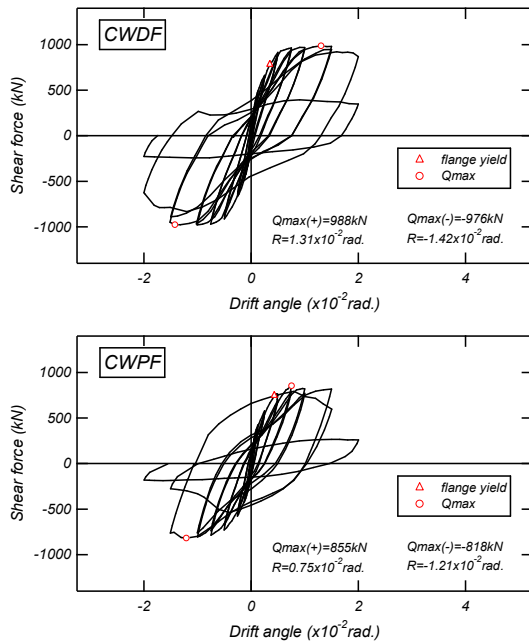


図9 せん断力一部材角関係

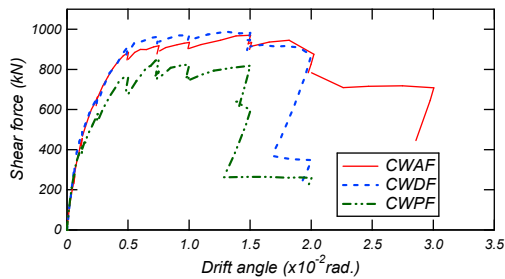


図10 試験体の包絡線の比較

(CWAS : 38.6MPa, CWDS : 30.3MPa) の影響と考えられ、壁横筋の定着を省略しても同程度の耐力を発揮したと考えられる。しかし、最大耐力以降に着目すると、試験体 CWAS の方が試験体 CWDS に比べて耐力低下の勾配が大きい。これは、水平接合面のずれ量が、試験体 CWAS の方が小さいことに起因すると考えられ、それによって、壁板のコンクリートの損傷領域が試験体 CWDS よりも大きくなったためと言える。

図8に曲げ降伏型試験体の最終破壊状況、図9にせん断力一部材角関係を示す。

試験体 CWDF では、 $R=1.5 \times 10^{-2}$ rad. のサイクルにおいて最大耐力 982kN を記録した。最大耐力以降、柱脚部および1層壁下隅角部の

コンクリートの圧壊が進行していき、最終的に柱および壁脚部の損傷が大きくなった。

試験体 CWPF では、 $R=0.125 \times 10^{-2}$ rad. のサイクルにおいて柱に曲げひび割れ、壁にせん断ひび割れ、無収縮モルタルにひび割れが発生した。 $R=0.5 \times 10^{-2}$ rad. のサイクルで圧縮側柱にせん断ひび割れが発生した。 $R=0.75 \times 10^{-2}$ rad. で最大耐力 855kN に達した。試験体 CWDF と比べると最大耐力到達は早く、耐力自体も1割ほど小さい。最終的には1層壁板の上部の損傷が大きくなった。

図10にFシリーズ試験体の包絡線の比較を示す。試験体 CWAF と CWDF の最大耐力はほぼ同じであり、壁横筋の定着の有無が曲げ耐力に及ぼす影響は小さいことが確認できる。ただし、変形性能に違いが見られる。

(2) 周辺架構と壁板のずれ

図11にSシリーズ試験体の壁板と1層梁下のずれ、試験体 CWDS と CWPS の西側鉛直接合面のずれおよび試験体 CWPS の西側鉛直接合面の開きを示す。

まず、水平接合面のずれを見ると、モルタル充填による接合面、一体打ち+横補強筋の定着なし、一体打ち+横補強筋の定着ありの順番で、ずれが生じやすくなっていることがわかる。

さらに試験体 CWPS の鉛直接合面では、水平接合面と同じ $R=0.25 \times 10^{-2}$ rad. から開きが生じ始めており、小さい変形レベルから周辺架構と壁板の分離が生じ始めている。その結果、さらに変形が増大していくと図12に示すような変形挙動および破壊が現れてくる。つまり、壁板隅角部に生じるせん断ひび割れの拡幅あるいは接合面の開き(図13)と1層梁の水平接合面のずれが著しく生じることによって、1層の圧縮側柱と2層の引張側柱が壁板と分離した状態になり独立した変形挙動を示すようになる。

(3) 耐力評価法の検討

各試験体の耐力算定結果を表1に示す。曲げ強度はSRC規準に準じて累加強度理論により算定し、せん断強度はトラス・アーチ式、広沢式により算定した。なお、耐力算定において、せん断補強筋の項には、1層梁鉄骨下フランジ分を加える。

試験体 CWDS および CWAS の計算値に対する実験値の比率(以下、耐力比)は、0.99~1.05 となっており、CES造耐震壁のせん断終局耐力は、壁横筋の定着を省略した場合でも、広沢式およびトラス・アーチ式により概ね評価可能である。また、PCa工法の試験体 CWPS においては耐力比が0.83~0.89と若干過大評価となっている。これは、試験体 CWPS が他の試験体とは異なる破壊メカニズムを形成していると考えられるため別の算出式の検討が必要である。

Fシリーズ試験体の結果から、曲げ耐力計

算値は実験値を概ね評価可能である。また、せん断耐力が曲げ耐力より大きい値を示しているため、破壊形式に対応している。

しかし、試験体 CWPF は試験体 CWDF と比べて最大耐力が小さいこと、試験体 CWPS と同様に CES 周辺架構と壁板の境界のすべり量が大きいことや、最終破壊性状がせん断破壊型であることなどから、PCa 壁のせん断耐力算定式である耐震改修設計指針式、PCa 壁評価式を用いた検討も行った。

耐震改修設計指針式(1-1)式は、壁横筋とコンクリートのせん断強度と、両側柱の強度の和で得られ、同式(1-2)式は、壁板と梁の

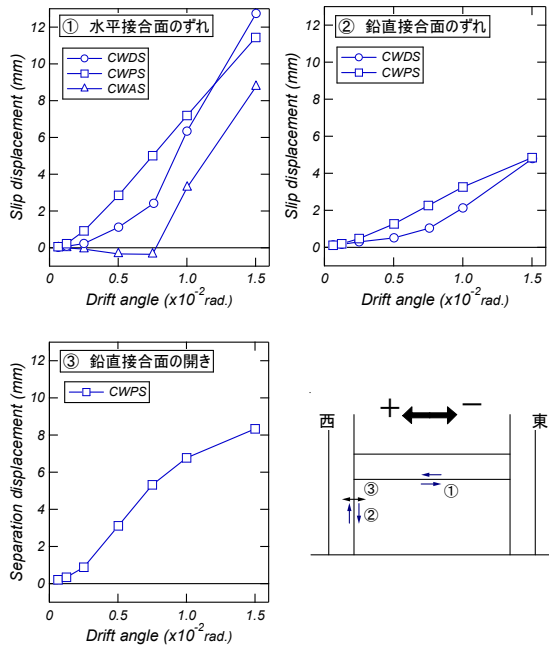


図 11 周辺架構と壁板のずれおよび開き

境界での摩擦力と引張側柱のパンチングシア強度および圧縮側柱の強度の和で得られる。なお、本試験体において圧縮側柱は、曲げ強度で決まる。PCa 壁評価式(2)式は、軸力による水平接合面の摩擦力と引張側柱のせん断強度と各階アーチ機構が負担するせん断力と圧縮側柱のせん断強度の和で得られる。なお、摩擦係数は 0.7 とした。耐力算定結果を表 2 に示す。

(1-1)式は、どちらの試験体においても耐力を過小評価しているといえる。(1-2)式および(2)式は、せん断破壊型試験体 CWPS の実験結果とほぼ一致している。曲げ降伏先行型試験体 CWPF に対しては、(1-2)式および(2)式による計算値は、実験値に達していない。

PCa 試験体 CWPF の変形挙動(境界面のずれや開き)が、一体打ち試験体と大きく異なることから、ずれが生じる場合のせん断強度であった可能性も否めない。そのため、PCa 壁のせん断強度式についてさらに検討し、適切な評価式を提案していくことが今後の課題である。

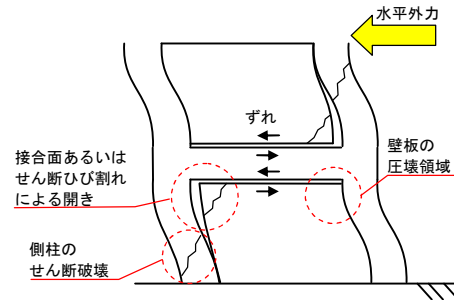


図 12 試験体 CWPS の変形挙動



図 13 試験体 CWPS の損傷状況 (R=-0.03rad. 時)

表 2 プレキャスト壁のせん断耐力算定結果

		CWPS	CWPF
実験値		995	855
耐震改修設計指針式	(1-1)式	587 (1.69)	679 (1.26)
	(1-2)式	973 (1.02)	1173 (0.73)
PCa 壁評価式	(2)式	889 (1.12)	930 (0.92)

* () の数字は計算値に対する実験値の比 (単位: kN)

表 1 耐力算定結果と実験値

		CWAS	CWDS	CWPS	CWAF	CWDF	CWPF
実験値 Q _{exp}		1300	1204	995	970	982	855
曲げ終局強度		1178	1164	1164	784 (1.23)	881 (1.11)	881 (0.97)
せん断終局強度	広沢式	1269 (1.02)	1142 (1.05)	1123 (0.89)	1160	1109	1109
	トラス・アーチ式	1319 (0.99)	1222 (0.99)	1222 (0.83)	1201	1241	1241

* () の数字は計算値に対する実験値の比

(単位: kN)

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 4 件)

- ①岐津幸大、鈴木 卓、松井智哉、倉本 洋、プレキャスト化したCES造耐震壁の構造性能に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol. 33、No. 2、2011. 7、pp. 415-420
- ②Tomoya Matsui, Yukihiro Kidu, Suguru Suzuki, Hiroshi Kuramoto: Static Loading Test of Precast CES Shear Walls, Proceedings of The 13th Taiwan-Korea-Japan Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures (SEEBUS 2011), 査読無, Seoul, Korea, 2011. 11, pp. 269-276
- ③岐津幸大、鈴木卓、松井智哉、倉本 洋、CES 耐震壁の構造性能に関する研究 (その5) プレキャストCES造耐震壁の静的加力実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、2011. 8、pp. 603-604
- ④岐津幸大、鈴木 卓、松井智哉、倉本 洋、プレキャストCES造耐震壁の構造性能、第9回複合構造の活用に関するシンポジウム、Paper No. (25)、2011. 11、pp. 203-210

[学会発表] (計 0 件)

[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
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松井 智哉 (MATSUI TOMOYA)

豊橋技術科学大学大学院工学研究科・助教

研究者番号：20402662

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：