

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 15 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420571

研究課題名(和文) 傾斜型あと施工アンカーを用いて袖壁増設補強したRC柱の構造性能と設計法

研究課題名(英文) STRUCTURAL PERFORMANCE AND DESIGN OF RC COLUMNS WITH EXTENDED WING WALL STRENGTHENED BY DIAGONAL POST-INSTALLED ANCHOR WITH VERTICAL JOINT SLIP FAILING

研究代表者

貞末 和史 (SADASUE, KAZUSHI)

広島工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20401573

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：既存のコンクリート系構造物の耐震補強を行なう際、既存躯体と補強要素を剛強に接合するためにあと施工アンカーを用いることが多い。あと施工アンカーは施工面に対して垂直に固着させることが一般的であるが、せん断力が卓越する接合部分に関しては、アンカー筋を傾斜させるとせん断強度を増大できる。本研究では、最初に、複合応力を受ける傾斜型あと施工アンカーのせん断実験を行なった。次に、地震力を受ける傾斜型あと施工アンカーを用いて袖壁補強した鉄筋コンクリート柱の載荷実験を行なった。実験によって、考案した工法を用いた場合は最大強度が増大することを明らかにし、さらに、提案した工法の終局強度の評価式を構築した。

研究成果の概要(英文)：Post-installed anchor is widely-spread for the seismic retrofit in existing reinforced concrete buildings. Usually, anchor bars are vertically installed in a concrete surface. However, when shear resistance is expected in post-installed anchors, installing the anchor bars diagonally changes the resistance mechanism such that the anchor bar is subject to forces along the axial direction, which is predicted to produce great resistance. In this research, first, we confirmed the shear strength of diagonal post-installed anchors under the complex stresses. Next, we confirmed the mechanical behavior of reinforced concrete columns with extended wing wall strengthened by diagonal post-installed anchor subjected to seismic action. From the structural tests, it was shown that the column which used diagonal post-installed anchors clearly improves ultimate shear strength. Moreover, I showed that proposed evaluation method of the ultimate strength the test result well.

研究分野：工学

キーワード：あと施工アンカー 耐震診断 耐震補強 終局強度

## 1. 研究開始当初の背景

既存建物の耐震性の有無を判定する耐震診断が積極的に行われるようになって10数年を越える時間が経過し、耐震性に乏しい既存不適格建物の存在が明らかになっている。また、南海トラフを震源とする巨大地震対策に対する内閣府作業部会の最終報告(2013年5月)が新聞・テレビ等のマスメディアを通じて報道され、事前対策として建物を耐震化することが如何に人的被害を軽減し、長期的展望からみた経済負担を小さくできるか広く知られるようになってきた。さらに、地震災害後に備え、災害弱者の緊急避難場所となる学校等の建物は十分な耐震性を有することがそれぞれの地域社会で求められており、病院・デパートなどの大型施設に関しても耐震診断を義務付ける改正耐震改修促進法が国土交通省より公表(2013年11月施工予定)されるなど、今後、いっそう建物の耐震化率向上に向けての活動が推進される。このような社会状況を背景とし、昨今の財政状況や地球環境への配慮の中で緊急に建物の耐震性を上げるためには、可能な限り既存建物の耐震補強を行って耐震化を図ることがよりよい方法と考えられる。

既存のコンクリート系構造建物の耐震補強としては、既存躯体に新たな耐震補強要素(耐震壁、鉄骨ブレース、制振ダンパーなど)を増設する方法が普及している。ここで、補強の効果を最大限に得るには、既存躯体と耐震補強要素を接合する部分が剛強であることが望まれ、接合部には「あと施工アンカー」を設けることが多い。なお、通常、あと施工アンカーは、接合部に作用する応力に関わらず施工面に対して直角にアンカー筋を固着させる。この在来型のあと施工アンカーに関しては、国内の指針において設計式が整備されており、必要に応じて国外の文献が参照され実設計に用いられている。一方で、昨今の耐震改修には構造安全性だけでなく、美観や環境への配慮、省エネルギー等も含めた機能性・経済性・施工性に優れた工事が望まれており、あと施工アンカーの固着工事は騒音・振動など工事環境に大きな影響を与えるため、在来型のあと施工アンカーの代替工法が必要となることもある。既存躯体と耐震補強要素との接合工法に着目してみても、「エポキシ樹脂を用いた接合部」、「エポキシ樹脂とあと施工アンカーを併用した接合部」、「鋼管をシアコッターとして用いた接合部」、「ディスクと称するシアコッターとあと施工アンカーを併用した接合部」など、工事環境改善・工期短縮等の要求を満たすための工法開発が進められてきた。

このような中で、研究代表者はあと施工アンカー1本当りせん断剛性とせん断強度を増大させる新工法として、アンカー筋を傾斜させて用いる接合工法を考案した。施工実績が多く、施工法が確立されている在来型のあと施工アンカーに対して、「アンカー筋を

傾斜させる」という簡単な改良だけで、耐震補強要素の補強効果を無駄なく発揮できる設計法を提示できれば、あと施工アンカーの施工本数の軽減によって省力効率化が図れ、建築・土木工事に関わらず各種の耐震補強における新しい接合工法として広く普及することが期待されるため、緊急を要する既存不適格構造物の耐震改修が促進されると考えている。本課題では、傾斜型あと施工アンカーを適用する耐震補強法の一例として、鉄筋コンクリート造建物の袖壁増設補強を採り上げる。

## 2. 研究の目的

傾斜型あと施工アンカーは、アンカー筋を45度傾斜させることで、接合面に生じるせん断力に対するアンカー筋の抵抗機構をせん断抵抗型から軸方向抵抗型へと変化させ、剛性と強度の増大を図るものである。したがって、アンカー筋を傾斜させることの効果は、接合部の破壊形式がアンカー筋の降伏によって決まるような条件下で最も高い効果が得られる。在来型あと施工アンカーに対して、傾斜型あと施工アンカーが優れた力学特性を有している点に関しては、既に既存躯体と耐震補強要素との接合部を模擬した実験を行なって実証している。また、コンクリートのコーン状破壊、支圧破壊、付着破壊等も含めた各破壊形式に応じた強度評価式を構築することで、傾斜型あと施工アンカーの有利な特性を活かせる接合部の設計法も提案している。なお、既往の実験で明らかにした着目すべき特性として、傾斜型あと施工アンカーを用いた接合部のせん断挙動は、初期剛性と最大強度の増大効果があることに加えて、変形性能を大きく改善できる点があり、傾斜型あと施工アンカーを用いた耐震補強法は接合部の破壊を許容しても構造システムとして優れた耐震性能が得られる可能性がある。

本課題では、鉄筋コンクリート造建物の両側袖壁増設補強を対象として、特に、以下の点に目的を絞って研究に取り組んだ。

- 在来型あと施工アンカーを用いた場合と比較して、傾斜型あと施工アンカーを用いて袖壁補強した柱の場合、構造的に有利な特性が得られることを明らかにする。
- 既存柱と増設袖壁の接合部の破壊の有無を考慮した、袖壁補強柱の終局耐力の評価式を構築する。

## 3. 研究の方法

(1) 複合応力を受ける傾斜型あと施工アンカーのせん断実験

コンクリート施工面への垂線に対してアンカー筋を45°傾斜させた接着系あと施工アンカーが引張りあるいは圧縮力とせん断力の複合応力を受けて、コンクリートの支圧破壊、コーン状破壊および付着破壊に対してアンカー筋の降伏が先行する場合のせん断

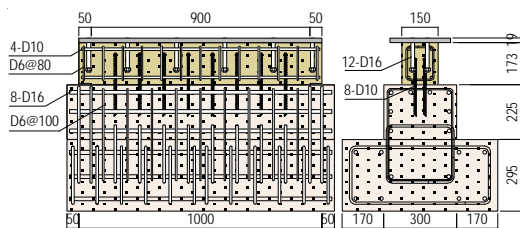
強度について検討することを意図した実験を計画した。試験体計画を表1に示す。実験変数はアンカー筋の傾斜の有無、接合面鉛直力の有無とした。

試験体形状を図1に示す。アンカー筋は8-D10 (SD295A) の異形鉄筋を用いた先付けアンカーとし、既存部側および増設部側への埋込み長さはアンカー筋直径  $d_a$  の12倍とした。アンカー筋は千鳥配置とし、在来型アンカー試験体および傾斜型アンカー試験体をそれぞれ3体ずつ制作した。本試験体は既報で提案した評価式によって、他の破壊形式に対してアンカー筋の降伏が先行することを確認しており、この場合はあと施工アンカーと先付けアンカーの違いが実験結果に与える影響は小さいと考えている。なお、アンカー筋の数量と配置および接合面近傍の配筋は、後述する袖壁補強柱試験体 SN、SD における鉛直接合面と同様の設計詳細としている。

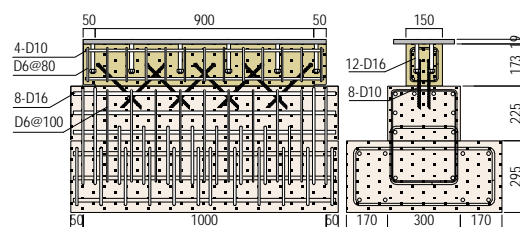
試験体の製作は、既存躯体に相当する部分のコンクリートを打込み後、上端面をコテで均して平滑にし、コンクリート硬化後、上端面にグリースを塗り、増設部に相当する部分のコンクリートを打込んだ。既存部と増設部の接合面の固着力は初期剛性に大きな影響を与えるが、微小な変形で固着力が喪失した直後、急激に耐力低下する。固着力が大きな接合部ではアンカー筋の効果が不明瞭になるため、本実験では接合面におけるコンクリート打継ぎ部の固着力を取り除いた。

表1 試験体計画 (接合部)

試験体	アンカー筋		接合面鉛直力
	種別	傾斜角度	
TN	8-D10 (SD295A)	0°	-40kN
NN			0kN
CN			80kN
TD		45°	-40kN
ND			0kN
CD			80kN



在来型 (TN, NN, CN)



傾斜型 (TD, ND, CD)

図1 試験体形状 (接合部)

接合面鉛直力  $jN$  は圧縮力を正とし、 $jN = -40\text{kN}$ 、 $0\text{kN}$ 、 $80\text{kN}$  の3種類とした。 $jN = -40\text{kN}$  は  $0.2_a N_y$  (ここに、 $a N_y$  はアンカー筋の引張降伏強度) として設定した。一方、 $jN$  が圧縮の場合はアンカー筋が負担する圧縮力が小さくなると考えられるため、 $jN = 80\text{kN}$  として引張力を受ける場合よりも大きな値に設定した。

接合部試験体の荷重は図2に示す荷重装置を使用した。所定の  $jN$  の下で、既存部コンクリートと増設部コンクリートの相対ズレ変位  $j_u$  を制御して、正負繰返しのせん断力  $jQ$  を漸増荷重するものとした。加力サイクルは  $j_u = \pm 0.2\text{mm}$ 、 $\pm 0.5\text{mm}$ 、 $\pm 1.0\text{mm}$ 、 $\pm 1.5\text{mm}$ 、 $\pm 2.0\text{mm}$ 、 $\pm 4.0\text{mm}$  の各振幅を2サイクルずつ行なった。

変位の計測は、埋込んだボルトに変位計を取り付け  $j_u$  を計測すると共に、既存部と増設部の接合面鉛直方向の目開き幅  $j_v$  を計測した。また、試験体中央に位置するアンカー筋2本にひずみゲージを貼り付けひずみ度を計測した。

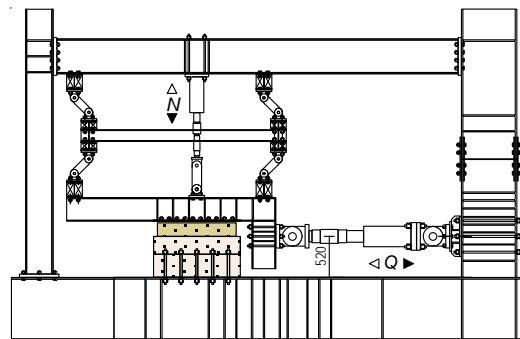


図2 荷重装置 (接合部)

(2) 傾斜型あと施工アンカーを適用した袖壁補強 RC 柱の荷重実験

試験体は在来型あと施工アンカーを用いて両側袖壁増設補強することを想定した RC 柱2体 (SN, MN)、傾斜型あと施工アンカーを用いて両側袖壁増設補強することを想定した RC 柱2体 (SD, MD) の合計4体とした。試験体計画を表2に示す。実験変数はアンカー筋の傾斜の有無および既存 RC 柱の破壊形式とした。

試験体形状を図3に示す。全試験体とも、柱断面  $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 、内法  $900\text{mm}$  でせん断スパン比を1.5とし、主筋と帯筋の数量を変えることで、補強前の柱の破壊形式がせん断破壊先行型 (SN, SD) および曲げ破壊先行型 (MN, MD) となるように設計した。増設袖壁断面は  $150\text{mm} \times 450\text{mm}$  で全試験体とも同一配筋とした。

柱と袖壁を接合するアンカー筋は接合部試験体と同様に異形鉄筋を用いた先付けアンカーとし、鉛直接合部の各面には8-D10 (SD295A) を千鳥配置し、水平接合部の各面には8-D13 (SD345) を用いた。鉛直接合部のせん断強度は、既報の評価式を用いてアンカー筋の降伏が先行するように設計してお

り、柱側、袖壁側共に埋込み長さは  $12d_a$  とした。水平接合面アンカー筋の埋込み長さは、梁（スタブ）側へは  $12d_a$ 、袖壁側へは  $10d_a$  とした。

試験体製作は柱梁の鉄筋とアンカー筋を配した後、コンクリートを打込み、コンクリート硬化後脱型し、鉛直接合面にグリースを塗って接合部試験体と同様にコンクリート打継ぎ部の固着力を絶縁した。一方で、水平接合面には  $2\sim 3\text{mm}$  の凹凸を有する目粗しを施して、壁筋を配した後、袖壁コンクリートを打込んだ。なお、柱、袖壁共にコンクリートは試験体を横に倒して打込んでいる。

軸力  $N$  は柱断面の圧縮耐力  $N_u$  に対する作用圧縮軸力の比  $n$  を  $0.2$  として設定した。

袖壁補強柱試験体の荷重は図4に示す荷重装置を使用した。所定の一定圧縮軸力  $N$  ( $=450\text{kN}$ ) を導入後、正負繰返しの逆対称モーメントを漸増荷重するものとした。加力サイクルは部材角  $R$  (上下スタブ間の相対水平変位 / 柱内のり) を変位制御し、 $R=\pm 0.125\%$  rad. を1サイクル行なった後、次に  $R=\pm 0.25\%$  rad. および  $\pm 0.5\%$  rad. を2サイクルずつ行い、それ以後は直前の振幅に対して  $R$  を  $\pm 0.5\%$  rad. 漸増させる正負繰返し載

荷を2サイクルずつ行い、 $R=\pm 3.0\%$  rad. で実験を終了した。

変位の計測は、を計測すると共に、埋込んだボルトに変位計を取り付け、柱と袖壁の相対ズレ変位  $j_u$  を計測した。また、柱の主筋と帯筋、袖壁の縦筋と横筋、鉛直接合面と水平接合面のアンカー筋にひずみゲージを貼り付けひずみ度を計測した。

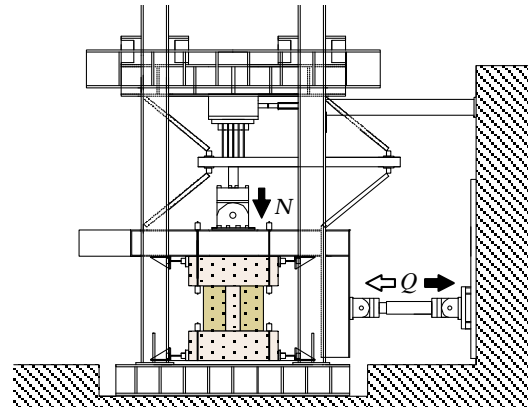


図4 荷重装置（袖壁補強柱）

#### 4. 研究成果

(1) 複合応力を受ける傾斜型あと施工アンカーのせん断実験

$j_u$ - $Q$ - $j_u$  関係を図5に示す。いずれの試験体とも既存部と増設部の接合面に固着力を有する場合に見られる荷重初期時の耐力上昇および微小変形時の固着力喪失による急激な耐力低下はないことから、接合面の固着力は絶縁されていると思われる。また、いずれの試験体とも実験終了まで試験体表面に大きなひび割れや損傷はなく、最大耐力に達する前にアンカー筋は降伏している。

$j_u$ - $Q$ - $j_u$  関係に関して、在来型は接合面鉛直力の有無に関わらず、 $j_u=\pm 1.0\text{mm}$  程度で耐力上昇が穏やかになるが  $j_u$  の漸増と共に耐力が上昇し続けている。一方、傾斜型は純せん断および圧縮力下では  $j_u=\pm 1.0\text{mm}$  で最大耐力に達した後耐力低下を生じ、引張力下では  $j_u=\pm 0.5\text{mm}$  で最大耐力に達した後耐力低下を生じた。在来型と傾斜型の最大耐力を比較すると、引張力下では最大耐力の増大効果は小さいものの、純せん断および圧縮力下では最大耐力が1.5倍程度増大することが確認された。

表2 試験体計画（袖壁補強柱）

試験体	軸力 $N$ 軸力比 $n$	柱主筋 (引張鉄筋比)	帯筋 (帯筋比)	袖壁縦筋 (縦筋比)	袖壁横筋 (横筋比)	接合法	既存柱の 破壊形式
SN	450kN ( $n=0.2$ )	12-D16	D6@100	10-D10	D6@80	在来型	せん断
SD		(0.88%)	(0.21%)	(1.06%)	(0.53%)	傾斜型	
MN		8-D13	D13@100			在来型	曲げ
MD		(0.56%)	(0.84%)			傾斜型	

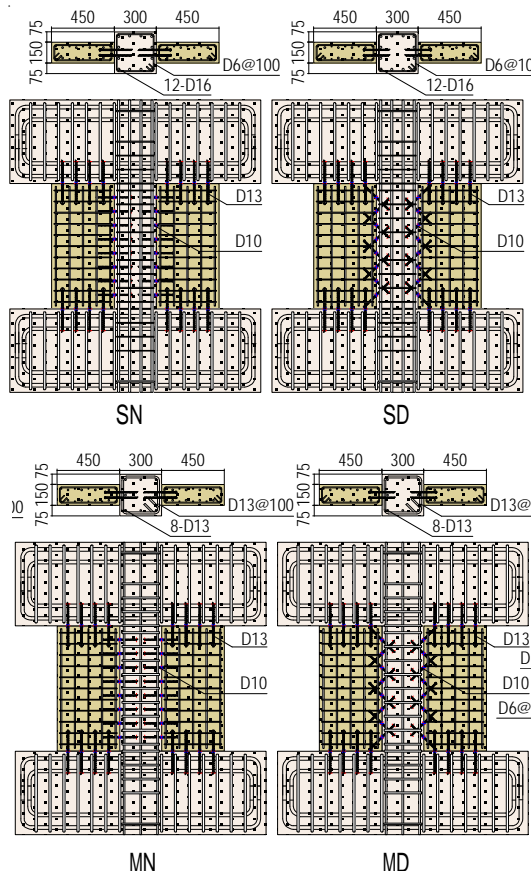


図3 試験体形状（袖壁補強柱）

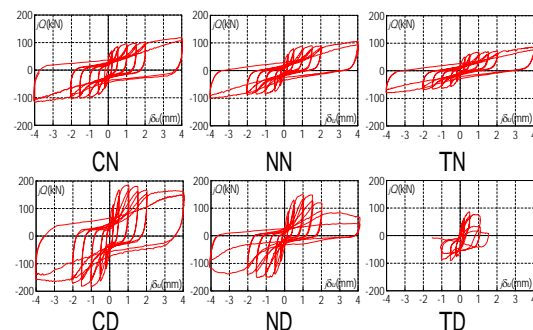


図5 履歴曲線（接合部）

(2) 傾斜型あと施工アンカーを適用した袖壁補強 RC 柱の載荷実験

各試験体について Q-R 関係の履歴曲線を図 6 に示す。図中に示される実線(直線)は耐震改修設計指針に示される袖壁増設補強柱のせん断終局強度の計算値である。また、点線(直線)は耐震診断指針に示される柱のせん断終局強度(SN、SD)あるいは曲げ終局強度(MN、MD)の計算値である。いずれの試験体に関しても、最大耐力の実験値は計算値  $Q_u$  を上回っていることが確認された。

在来型と傾斜型を比較すると、最大耐力に関しては、純せん断および圧縮力下の接合部試験体ほどの顕著な差異はないが、傾斜型を用いた袖壁増設補強柱の方が最大耐力が増大することが確認された。一方で、破壊の進展状況、Q-R 関係における初期剛性や最大耐力以降の耐力低下状況に顕著な差異は見られない。

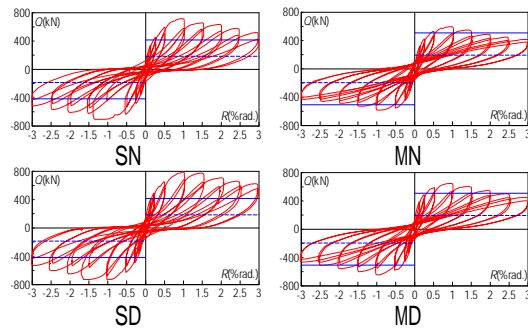


図 6 履歴曲線 (袖壁補強柱)

(3) 傾斜型袖壁補強 RC 柱の終局強度の評価

柱と袖壁の鉛直接合部がすべりを生じた後に最大耐力に達する袖壁補強柱を対象として、図 7、図 8 に示される抵抗機構を仮定し、柱の終局強度  $cQ_u$ 、袖壁の終局強度  $wQ_u$ 、鉛直接合部がせん断強度に達した時に柱と袖壁で形成されているトラス機構による終局強度  $c_wQ_u$  の累加による下式を用いて終局強度  $Q_u$  を評価する。

$$Q_u = cQ_u + 2wQ_u + 2c_wQ_u$$

既往の研究も含めて、提案式を用いて得られた計算値と実験値の比較を図 9 に示す。実験値と計算値を比較すると、実験値/計算値 = 1.07 ~ 1.39 (平均値 1.21) となった。RC 造耐震改修設計指針式を用いて評価した場合よりも評価精度が向上すると共に、実験の下限値を評価できることが確認された。

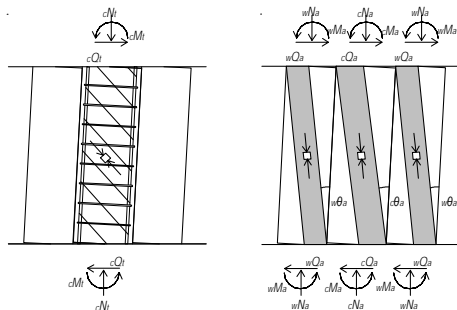


図 7 柱および袖壁の抵抗機構

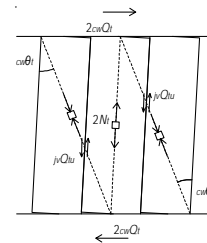


図 8 柱と袖壁で形成される機構

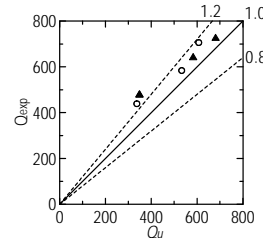


図 9 実験値と計算値 (袖壁補強柱)

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 3 件)

貞末和史、鉛直接合部がすべりを生じる傾斜型あと施工アンカーを適用した袖壁補強 RC 柱の終局強度、日本建築学会構造系論文集、査読有、第 81 巻、第 728 号、2016、1713 - 1722、DOI: <http://doi.org/10.3130/aijs.81.1713>

貞末和史、藤井稔己、石村光由、南宏一、傾斜型あと施工アンカーを用いた袖壁補強した RC 柱の構造性能に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.37、No.2、2015、883 - 888、<http://www.jci-net.or.jp/>

Mitsuyoshi Ishimura、Kazushi Sadasue、Koichi Minami、SHEAR STRENGTH OF POST-INSTALLED DIAGONAL ANCHOR、37th IABSE Symposium Madrid、査読無、2014、2603 - 2609

(学会発表)(計 3 件)

貞末和史、石村光由、藤井稔己、南宏一、傾斜させたあと施工アンカーを用いた袖壁補強 RC 柱の力学特性に関する実験的研究、日本建築学会中国支部研究報告集、第 38 巻、2015、217 - 220

石村光由、貞末和史、藤井稔己、南宏一、傾斜型あと施工アンカーに関する実験的研究 その 7 複合応力下のせん断実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、2014、667 - 668

石村光由、貞末和史、藤井稔己、南宏一、複合応力下における傾斜型あと施工アンカーのせん断強度に関する実験的研究、日本建築学会中国支部研究報告集、第 37 巻、2014、141 - 144

6. 研究組織

(1) 研究代表者

貞末 和史 (SADASUE Kazushi)

広島工業大学・工学部建築工学科・准教授  
研究者番号：20401573