

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：35403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760536

研究課題名(和文) 傾斜型あと施工アンカーのせん断強度と既存コンクリート系構造建物の耐震補強への適用

研究課題名(英文) SHEAR STRENGTH OF POST-INSTALLED DIAGONAL ANCHOR AND APPLICATION TO SEISMIC RETROFIT FOR CONCRETE STRUCTURES

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) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：あと施工アンカーは既存RCおよびSRC造建物の耐震補強で幅広く用いられている。通常、アンカー筋はコンクリート施工面に対して垂直に施工されるが、せん断力を受ける部分についてはアンカー筋を傾斜させるとせん断強度が増大すると考えられる。本研究では、傾斜型あと施工アンカーの構造実験を行なってせん断強度を確認した後、それぞれの破壊形式に応じたせん断強度の評価式を構築し、実験結果と適合することを示した。さらに、傾斜型あと施工アンカーを用いて袖壁増設補強したRC柱の構造実験を行なって、傾斜型あと施工アンカーを用いた場合には、在来型あと施工アンカーを用いた場合と比較して最大強度が大きくなることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Post-installed anchor is widely spread for the seismic retrofit in existing RC and SRC buildings. Usually, anchor bars are vertically installed in a concrete surface. However, we think that post-installed anchor using diagonal anchor bars improves shear strength. In this research, we confirmed the shear strength of post-installed anchor using diagonal anchor bars through the structural test, and we proposed the evaluation method of shear strength for various failure modes. In addition, we carried out the structural test to structural performance of RC columns with extended wing wall strengthened by post-installed diagonal anchor. It was found from the tests result that the maximum strength of RC columns with extended wing wall strengthened by post-installed diagonal anchor was large.

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：耐震補強

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート構造など既存不適格のコンクリート系構造建物の耐震補強として、既存躯体の内側に鉄骨ブレースや耐震壁を設置したり、既存躯体の外側に鉄骨ブレースを取り付けて建物の耐震化を図る設計法が確立されている。これらの補強要素を既存建物に付加する際、補強の効果を最大限に得るためには、既存躯体と補強要素との接合部が剛強であることが要求される。例えば、枠付き鉄骨ブレースを用いて補強する場合には、剛強な接合部の工法として、あと施工アンカーを用いた間接接合部が多用されており、接合部に十分な剛性と耐力を付与するには、既存躯体に数多くのおと施工アンカーを設置することが必要となる。しかしながら、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、施工性に優れた工法が望まれており、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、在来型のおと施工アンカーの代替工法が必要となることもある。

ここで、実用実績の多い在来型のおと施工アンカーに着目してみると、(財)日本建築防災協会の耐震改修設計指針では、あと施工アンカーに引張抵抗を期待する場合のアンカー筋の傾斜角度に関して、接着系アンカーの場合は施工面への垂線に対して30°以内、金属系アンカーの場合は施工面への垂線に対して5°以内とすることが定められている。一方、せん断抵抗を期待する場合に対するアンカー筋の傾斜角度に規定はないが、通常、可能な限り傾斜させないように施工されている。しかしながら、あと施工アンカーにせん断抵抗を期待する場合に対しては、アンカー筋を傾斜させた方が傾斜角度の増大と共にアンカー筋は材軸方向の力を受けるように抵抗機構が変化するため、大きな抵抗力が得られると予測される。

2. 研究の目的

本研究は、コンクリート系構造建物の耐震補強における既存躯体と補強要素の接合工法として考案した「傾斜型接着系あと施工アンカー」のせん断耐力評価式の提案と実験による検証を行なう。さらに、鉄筋コンクリート柱の袖壁増設補強へ傾斜型あと施工アンカーを適用することを想定した部材試験体を製作して載荷実験を行ない、在来型あと施工アンカーを用いて袖壁増設補強した場合との構造性能の違いについて検討する。

3. 研究の方法

(1) 傾斜型あと施工アンカーのせん断強度

各種合成構造設計指針では、アンカー筋の埋込み長さ、間隔、へりあき距離、はしあき距離に関する構造規定のもとで、せん断力を受ける在来型接着系あと施工アンカーの許容せん断力 $q$ は、アンカー筋の降伏で決まる耐力 $q_1$ 、コンクリートの支圧破壊で決まる耐力 $q_2$ およびコンクリートのコーン状破壊で

決まる耐力 $q_3$ の最小値として評価している。

一方、アンカー筋を傾斜させて用いた場合、力の分解によってアンカー筋に材軸方向の力が生じるため、アンカー筋が引張力を受ける載荷方向では、アンカー筋の降伏、コンクリートの支圧破壊およびコーン状破壊に加えて、アンカー筋が引張力を受けることによって生じる付着破壊による破壊形式が考えられる。そこで、傾斜型接着系あと施工アンカーの終局せん断耐力 $Q$ (以後、終局せん断耐力を単にせん断耐力と称す)は、アンカー筋が引張力を受ける載荷方向の場合は(1.a)式、アンカー筋が圧縮力を受ける載荷方向の場合は(1.b)式で評価する。

$$Q = \min(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) \quad (1.a)$$

$$Q = \min(Q_1, Q_2, Q_3) \quad (1.b)$$

ここに、 $Q_1$ はアンカー筋の降伏で決まる耐力、 $Q_2$ はコンクリートの支圧破壊で決まる耐力、 $Q_3$ はコンクリートのコーン状破壊で決まる耐力、 $Q_4$ はアンカー筋の付着力によって決まる耐力である。

$Q_4$ に関しては、既往の研究を参考にして評価することが可能である。したがって、本研究では、 $Q_1, Q_2, Q_3$ に関する実験を行なって、その後、評価式を構築する。

$Q_1$ に関する検討

コンクリート躯体施工面への垂線に対してアンカー筋を $\theta$ 傾斜させた接着系あと施工アンカーが正負繰り返しのせん断力を受けて、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耐力を調べるための実験を計画した。試験体計画を表1に示す。実験変数はアンカー筋の傾斜角度 $\theta$ を3種類、アンカー筋の配列を2種類の計5体とした。

試験体は図1に示すような枠付き鉄骨ブレース補強における間接接合部を想定した形状とした。既存躯体に相当する部分のコンクリート設計基準強度 $F_c$ は $21\text{N/mm}^2$ とし、コンクリート打設後に上端面をコテで均し平滑な表面としている。あと施工アンカーはD13の異形鉄筋を用いた接着系アンカー6本を千鳥状配置(F:手前、B:奥)させた。固着

表1 試験体計画

試験体	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	アンカー筋	$l_e$	$\theta$ (°)	配列
00	21	6-D13 (SD295A)	10 $d_a$	0	-
30P				30	平行
30C				30	交差
45P				45	平行
45C				45	交差

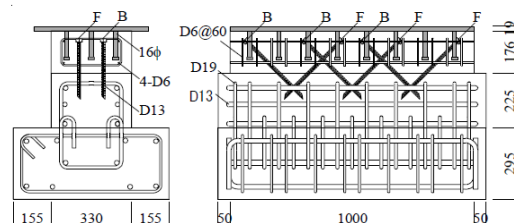


図1 試験体形状(45C)

剤にはエポキシ樹脂を用いて注入型の固着工事を行った。間接接合部には 16φの頭付きスタッドおよび D6 の割裂防止筋と組み立て筋を用いて、無収縮モルタルを充填した。

載荷は既存躯体部と間接接合部のずれ $\delta_c$ を変位制御して、正負繰返しの漸増載荷を行うものとした。

#### Q<sub>2</sub>に関する検討

コンクリート躯体施工面への垂線に対してアンカー筋を $\theta$ 傾斜させた接着系あと施工アンカーが正負繰返しのせん断力を受けて、コンクリートが支圧破壊を生じる場合の耐力を調べるための実験を計画した。試験体計画を表 2 に示す。実験変数はコンクリート設計基準強度  $F_c$  を 2 種類、アンカー筋の種類を 2 種類、アンカー筋の傾斜角度 $\theta$  を 3 種類の計 6 体とした。

試験体形状の一例を図 2 に示す。アンカー筋の配置は、3 本のアンカー筋を直列に並べており、太径のアンカー筋を用いて有効埋込み深さを大きくし、さらに、付着破壊を生じにくくするために先付けアンカーとして、せん断耐力がコンクリートの支圧破壊で決まりやすくなるように配慮した。また、既存躯体部と間接接合部の接合面に生じる摩擦抵抗力の影響を軽減させるために、既存躯体部のコンクリートを打設後、接合面に 0.5mm のテフロンシートを 2 枚重ねて敷き、その後無収縮モルタルをグラウトした。

載荷方法は と同様の方法とした。

表 2 試験体計画

試験体	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	アンカー筋	$l_e$	$\theta$ (°)	配列
00F09D25	9	3-D25 (SD345)	15 $d_a$	0	平行
30F09D25				30	
45F09D25				45	
45F09D19	18	3-D19 (SD345)	15 $d_a$	0	平行
45F18D19				30	
45F18D25				45	

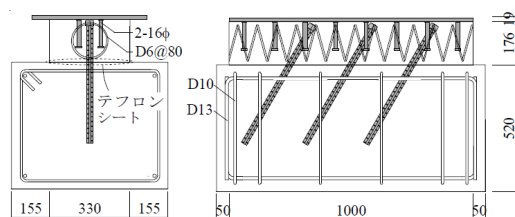


図 2 試験体形状(30F09D25)

#### Q<sub>3</sub>に関する検討

コンクリート躯体施工面への垂線に対してアンカー筋を $\theta$ 傾斜させた接着系あと施工アンカーが引張力を受けて、コンクリートがコーン状破壊を生じる場合の耐力を調べるための実験を計画した。試験体計画を表 3 に示す。実験は 2 期に渡り行なった。実験変数はコンクリート設計基準強度  $F_c$  を 3 種類、アンカー筋の種類を 2 種類、アンカー筋の有効埋込み深さ $l_e$  を 4 種類、アンカー筋の端あき距離  $c$  を 3 種類、アンカー筋の傾斜角度 $\theta$  を 3 種類の計 30 体とした。

図 3 に試験体形状を示す。いずれの試験体

とも、試験体 1 体につき同一条件下のアンカー筋を 3 本固着させた。固着材にはガラス管式カプセル型のエポキシアクリレート樹脂を用いており、回転・打撃による固着工事を行った。なお、試験体を移動させる際のひび割れ発生防止のため D13 の用心筋を配しているが、実験結果に影響を与えない位置に配筋している。

載荷は球面軸受を介して載荷フレームの上部に設置したセンターホール型油圧ジャッキを用いて、コンクリート母材が破壊あるいはアンカー筋が破断するまで単調引抜き試験を行うものとした。

表 3 試験体計画

試験体	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	アンカー筋	$l_e/d_a$	$c/d_a$	$\theta$ (°)	実験期
00F13D13L05C10	13	D13 (SD345)	5	10以上	0	1期
45F13D13L05C03				3	45	
45F13D13L05C10				10		
45F13D13L05C05			7	5		
45F13D13L07C05				10	5	
45F13D13L10C05					5	
00F13D19L05C10		D19 (SD345)	5	10以上	0	
45F13D19L05C03				3	45	
45F13D19L05C10				10		
45F13D19L05C05			7	5		
45F13D19L07C05				10	5	
45F13D19L10C05					5	
00F18D13L05C10	18	D13 (SD345)	5	10以上	0	1期
45F18D13L05C03				3	45	
45F18D13L05C10				10		
45F18D13L05C05			7	5		
45F18D13L07C05				10	5	
45F18D13L10C05					5	
00F18D19L05C10		D19 (SD345)	5	10以上	0	
45F18D19L05C03				3	45	
45F18D19L05C10				10		
45F18D19L05C05			7	5		
45F18D19L07C05				10	5	
45F18D19L10C05					5	
45F24D13L05C03	24	D13 (SD345)	5	3	45	2期
45F24D13L05C10				10		
30F24D13L03C03				3		
30F24D13L03C10			10			
30F24D13L05C03			3			
30F24D13L05C10			10			

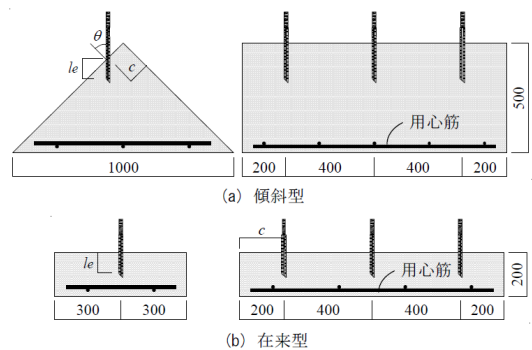


図 3 試験体形状

#### (2) 両側袖壁増設補強 RC 柱の構造特性検証

試験体計画を表 4、試験体形状を図 4 に示す。試験体 CL は柱断面が 300mm x 300mm の無補強柱であり、帯筋比を 0.21% とし、曲げ破壊に対してせん断破壊が先行する試験体として計画した。他の試験体は CL と同形状の柱を 120mm x 250mm の袖壁で補強したものであり、CLW00 は鉛直接合筋、水平接合筋共にアンカー筋を傾斜させていない在来型の試験体である。CLW45A および CLW45B は鉛直接合筋を 45° 傾斜させた試験体であり、アンカー筋を傾斜させる方向が異なっている。な



お、実構造物におけるアンカー筋は接着系あと施工アンカーを用いることを想定しているが、本実験ではアンカー筋の傾斜方向の影響を確認するための基礎的研究と位置付け、試験体製作の容易さからアンカー筋は全て先付アンカーとした。先付アンカーと接着系あと施工アンカーでは引張力を受けた際の付着強度に差異を生じるが、一般的に付着強度の大小は、回転・打撃型の接着系アンカー > 先付けアンカー > 注入型の接着系アンカーとなることから、回転・打撃型の接着系アンカーを用いる場合よりは安全側の実験を行なうことになる。ただし、本実験では確実にアンカー筋の付着破壊が生じないように埋め込み深さは十分長くした。

載荷は所定の一定圧縮軸力  $N$  ( $=555\text{kN}$ ) を導入後、正負繰返しの逆対称モーメントを漸増載荷するものとした。 $N$  は柱断面の圧縮耐力  $N_u$  に対する比  $n$  が  $0.2$  となるように設定した。反曲点までの高さは  $450\text{mm}$  であり、柱のせん断スパン比は  $1.5$  となっている。加力サイクルは部材角  $R$  を変位制御し、無補強柱に関しては、 $R=\pm 0.25\%$ rad. を 1 サイクル行なった後、次に  $R=\pm 0.5\%$ rad. を 2 サイクル行い、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、著しく耐力低下を生じたら実験を終了した。袖壁増設補強柱に関しては  $R=\pm 0.125\%$ 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、それ以後は無補強柱と同様の載荷履歴を与えた。

表 4 試験体計画

試験体	軸力 $N$ (軸力比 $n$ )	接合法
CL	555kN ( $n=0.2$ )	無補強
CLW00		在来型
CLW45A		傾斜型
CLW45B		

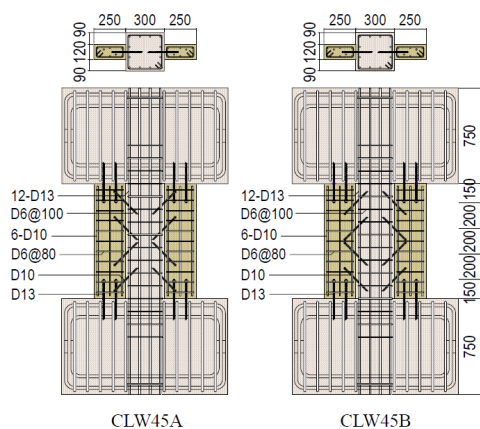


図 4 試験体形状

#### 4. 研究成果

##### (1) 傾斜型あと施工アンカーのせん断強度

$Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  のそれぞれに対して、せん断強度の評価式を提案した。提案式を用いた計算

値と実験値との比較を図 5 に示す。危険側の評価となる場合も含まれるが、提案式によって概ね妥当に評価できることが確認できる。

アンカー筋の降伏が先行する場合の試験体のせん断力 - ずれ関係を図 6 に示す。アンカー筋の降伏が先行する条件下では、在来型と比較して、傾斜型あと施工アンカーのせん断強度が増大して、変形特性も優れていることがわかる。

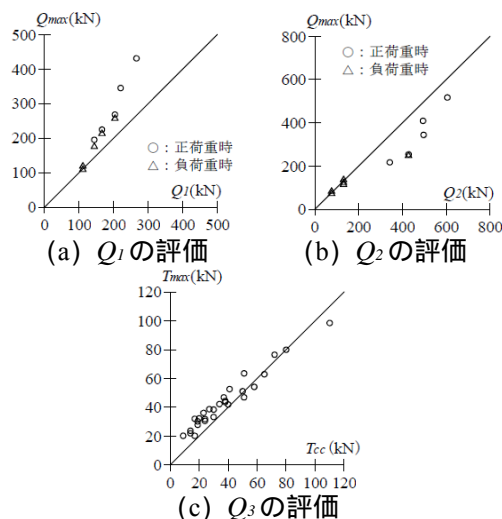


図 5 実験値と計算値の比較

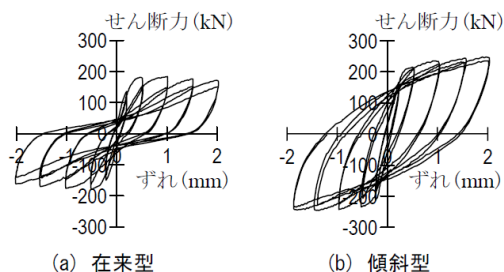


図 6 荷重 - 変形関係

##### (2) 傾斜型あと施工アンカーを用いた両側袖壁増設補強 RC 柱の構造特性

各試験体についてせん断力  $Q$  - 部材角  $R$  関係を図 7 に示す。

袖壁補強柱 CLW00 は  $R=\pm 0.125\%$ rad. の振幅で柱の材端部に斜めひび割れが発生して徐々に剛性低下し、 $R=\pm 0.25\%$ rad. の振幅の際に袖壁に斜めひび割れを生じ、鉛直接合筋が降伏すると共に鉛直接合部のズレが大きくなり、剛性が大きく低下した。その後、 $R=0.5\%$ rad. で最大耐力に達した際には柱と袖壁の鉄筋および水平接合筋は降伏してなく、 $R=0.66\%$ rad. で帯筋が降伏、 $R=0.71\%$ rad. で柱主筋が降伏した後、斜めひび割れや鉛直接合部のズレの増大と共に徐々に耐力が低下した。無補強柱と比較して耐力低下が穏やかなのは、袖壁が軸力を負担して柱の負担軸力が低減されていることが影響していると考えられる。

袖壁補強柱 CLW45A は、 $R=\pm 0.125\%$ rad.

の振幅で柱の材端部に斜めひび割れが発生して徐々に剛性低下し、 $R = \pm 0.25\%$ rad.の振幅の際に袖壁に斜めひび割れを生じると共に鉛直接合筋が降伏して最大耐力に達した。その後、 $R = \pm 0.5\%$ rad.の振幅では鉛直接合部のズレが大きくなり、やや耐力低下した。それ以後は $R = 0.55\%$ rad.で帯筋が降伏、 $R = 0.98\%$ rad.で柱主筋が降伏した後、斜めひび割れや鉛直接合部のズレの増大と共に徐々に耐力低下が進行していった。

袖壁補強柱 CLW45B は、CLW45A と同様に  $R = \pm 0.125\%$ rad.の振幅で柱の材端部に斜めひび割れが発生して徐々に剛性低下し、 $R = \pm 0.25\%$ rad.の振幅の際に袖壁に斜めひび割れを生じた。その後、 $R = \pm 0.5\%$ rad.の振幅で鉛直接合筋が降伏すると共に最大耐力に達し鉛直接合部のズレが大きくなり始めたが他の試験体と比較してズレの量は小さい。それ以後は  $R = 0.66\%$ rad.で柱主筋が降伏、 $R = \pm 1.00\%$ rad.の振幅で帯筋と水平接合筋が降伏した後、斜めひび割れや鉛直接合部のズレの増大と共に徐々に耐力低下が進行していった。

一般的に既存鉄筋コンクリート柱の袖壁増設補強は、柱と袖壁の接合に十分な量の鉛直接合筋を配して一体性を確保し、柱と袖壁が一体となって挙動することで十分な補強効果が得られるが、鉛直接合筋を傾斜させて接合することで袖壁増設補強柱が最大耐力に達するまでの接合部のズレを抑制することができ、その結果、最大耐力を増大させることが可能であることが確認された。

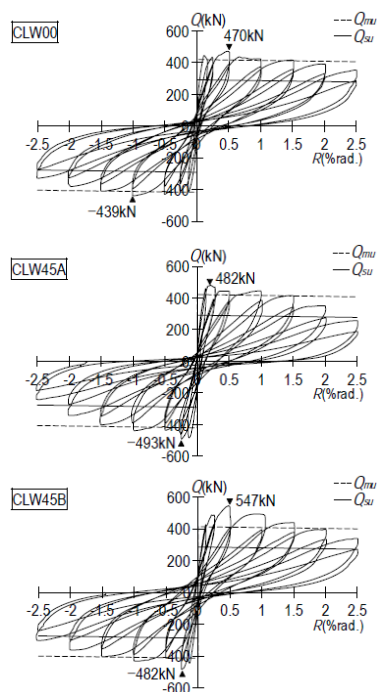


図7 Q-R 関係

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

貞末和史、津吉真人、石村光由、南宏一、

傾斜させた接着系あと施工アンカーのせん断耐力、日本建築学会構造系論文集、査読有、第78巻 第683号、2013、173 - 182

津吉真人、永井大介、貞末和史、南宏一、傾斜あと施工アンカーのコーン状破壊強度に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、査読有、Vol.34 No.2、2012、955 - 960

永井大介、津吉真人、貞末和史、南宏一、傾斜あと施工アンカーを用いた間接接合部のせん断強度に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、査読有、Vol.34、No.2、2012、973 - 978

(学会発表)(計7件)

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

貞末和史、石村光由、南宏一、傾斜あと施工アンカーを用いたRC袖壁補強柱の構造性能に関する実験的研究 その1 傾斜させた効果の確認、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、2013、345 - 346

津吉真人、永井大介、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4 コーン状破壊強度の評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、2012、181 - 182

石村光由、永井大介、津吉真人、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5 支圧破壊の実験計画および破壊状況、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、2012、183 - 184

永井大介、津吉真人、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6 支圧破壊強度の評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、2012、185 - 186

津吉真人、永井大介、貞末和史、南宏一、傾斜させたあと施工アンカーのコーン状破壊強度評価に関する研究、日本建築学会中国支部研究報告集、第35巻、2012、213 - 216

永井大介、津吉真人、藤井稔己、貞末和史、南宏一、傾斜させたあと施工アンカーの支圧破壊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35巻、2012、217 - 220

## 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