

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04074

研究課題名(和文)非構造部材・設備等取り付け部の耐震安全限界の解明と補強法の開発

研究課題名(英文) Estimation of the Seismic Safety Limits and Developing Reinforcement Method of Non-structural Elements and Attachment Part of Building Equipment

研究代表者

清家 剛 (Seike, Tsuyoshi)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：60236065

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,600,000円

研究成果の概要(和文)：非構造部材・設備等取り付け部の耐震安全限界の解明と補強方法の開発を行うため、被害や構法の分析から、繰り返し複合荷重を受ける埋め込みが浅いアンカーボルトおよび破壊形式に懸念の残るケミカルアンカーについて、実施例が多いが耐力的に問題がある要素として選び、本研究の実験対象とした。実験対象の終局挙動について、設定した実験条件のもとで、取り付け部要素の繰り返し載荷実験を行い、既存の取り付け部に関する安全限界を明らかにした。この成果をもとに、補強法を開発する基礎的な情報がまとめられた。

研究成果の概要(英文)：To estimate the seismic safety limit of non-structural elements and attachment part of building equipment, and to develop a method to reinforce them, embedded anchor bolt and chemical anchor were chosen as subjects of this research. Both of embedded anchor bolt and chemical anchor had not be clarified ultimate behaviors caused by complicated seismic response of non-structural elements and attachment part of building equipment. Under a certain condition, multi-axial cyclic loading tests were conducted on the attachment parts, to clarify the ultimate behaviors and maximum strength. Through the experiments, the seismic safety limits were estimated. Based on the results of the experiments, basic information needed for developing the reinforcement method were obtained.

研究分野：建築学

キーワード：非構造部材 設備 取り付け部 耐震安全限界 アンカーボルト

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災における大規模空間での天井の落下をはじめ、地震時における非構造部材・設備機器の甚大な被害がこれまでも多く発生してきた¹⁾²⁾。在来工法の天井の落下については、設置方法そのものにおける問題点が地震被害に結びついたことから、震災後に耐震化が進められることになったが、既存の天井を補強するには耐震要素をあと施工アンカーなどで構造躯体に取り付ける必要がある。天井材を留めるクリップなどや耐震部材については実験方法が示されており、必要な性能が確保できているかの検証も進められているが、吊り元となる構造躯体との接合部については従来の設計資料に拠らざるを得ないのが現状である。また空調機器などの設備については、増設あるいは更新の際、あと施工アンカーなどで新たに構造躯体へ接続する必要がある。

あと施工アンカーは、建築物のコンクリート部分への設備機器や非構造部材の取り付け、あるいは耐震補強での補強部材の取り付けなどに広く用いられており、引張載荷実験、せん断載荷実験や数値解析が国内外で行われてきた。これらの成果に基づき、建築設備耐震設計・施工指針³⁾や各種合成構造設計指針・同解⁴⁾に耐力算定式が示されているが、あと施工アンカーについてはこれまでも多くの地震被害が発生している。被害事例を見ると、設計における検討が不適切あるいはなされていない場合や施工が不適切な場合も多いが、設計式の裏付けとなる既往の研究の多くがアンカーボルトに単調な引張力もしくはせん断力のみを作用させる条件で行われており、繰り返しの引張力とせん断力が複合的に作用する条件と地震時に取り付け部で想定させる条件と乖離していることも問題である。接着系アンカーボルトに対する地震による繰返し荷重の影響を検討した実験⁵⁾により、接着系アンカーボルトが繰返しせん断力によって引張力に対する抵抗が減少することが示されており、設計指針²⁾にも反映されているが、理想的な条件に限られた実験であることから、より現実的な条件を反映した幅広い実験が必要である。

2. 研究の目的

建物に設置された設備機器を含む非構造材の地震被害は、基本的に取り付け部の破壊を伴う。取り付け部に関する力学的特性の基礎的な検討は行われており設計式などが示されているものの、地震時に作用する繰返し複合外力に対する安全性に関する検討はほとんど手つかずとなっている。建物の使用期間に更新が行われることが多い空調機器など重量のある設備機器や天井を耐震化する際の吊り元など被害が大きな事故に繋がりを非構造材の取り付け部について、実用に供される接合部の中でも補強に使われる一方で地震被害が多く発生しているあと施

工アンカーを主な対象として、地震時における外力条件を検討した上で、使用頻度が高いと考えられる代表的なものについて外力条件を反映した安全性検証実験を行い、安全使用限界を解明するとともに有効な補強方法を提案する。

3. 研究の方法

重量のある設備機器や天井を耐震化する際の吊り元など被害が大きな事故に繋がりを非構造材の取り付け部について、耐震補強工事でも多用されるあと施工アンカーを中心に実用に供される取り付け部に関する調査を行い、現状を分析する。調査・分析結果を踏まえ、重点的に検討すべき取り付け部を抽出する。併せて、取り付けられる非構造部材・設備だけでなく取り付け先である構造躯体までも含めた数値解析により、取り付け部における地震時の外力条件などを明らかにし、取り付け部の耐震安全性を検証するための実験条件を提案する。調査結果を踏まえて抽出した重点的に検討すべき取り付け部について、提案した実験条件による繰返し載荷実験を行い、安全限界を明らかにする。さらに、既存の取り付け部の実験結果を踏まえ、補強方法および新しい取り付け方法を検討・提案するとともに、補強案および新しい取り付け方法について同様に繰返し載荷実験を行い、安全性を検証する。

4. 研究成果

(1)研究成果概要

研究成果として、近年地震被害が多く見られるようになった非構造部材について、その取り付け部の耐震安全限界の解明と補強方法の開発を行うため、基礎的な実験を実施してきた。非構造部材の取り付け部の構法分析の結果とあわせて、繰返し複合荷重を受ける埋め込みが浅いアンカーボルトについて、実施例が多いが耐力的に問題がある要素として選び、終局挙動について、設定した実験条件のもとで、取り付け部要素の繰返し載荷実験を行い、既存の取り付け部に関する安全限界を明らかにした。

また、繰返し複合応力下における破壊形式に懸念が残るケミカルアンカーを対象とした追加実験を実施し、その結果、非構造部材の取り付け部の評価として信頼性の点で必要とされる実験数が整った。よって、補強方法を検討するための基礎的な情報が整ったといえる。今後はこの成果をもとに、非構造部材の耐震性に関連する各種指針類への反映を目指していく。

(2)実験概要

対象とする埋め込みが浅い頭付き及び接着系アンカーボルトに対して、以下のように実験を実施した。

試験体

試験体は幅および奥行きが 650mm、厚さ

が 159mm のコンクリート床板にアンカーボルトを設置したものであり、コンクリートの設計基準強度は、全試験体共通で 18N/mm² とした。アンカーボルトの配置と設置状況を図 1 および図 2 に示す。

実験は、頭付きアンカーボルトを埋め込んだ試験体と接着系アンカーボルトを打設した試験体の 2 種類で行った。

頭付きアンカーボルトを埋め込んだ試験体では、強度区分が 10.9(規格引張強さが 1000N/mm²、規格降伏強さが 900N/mm²) の M12 高強度六角ボルトをアンカーボルトとして使用した。アンカーボルトの有効埋め込み長は径の 6 倍(72mm)としてコンクリート床板の中央に設置し、引張力に対するコンクリートのコーン状破壊耐力の計算値(27kN)がアンカーボルトの降伏耐力(76kN)を十分に下回る設計とした。

接着系アンカーボルトを打設した試験体については、強度区分が 10.9 の M12 高強度全ネジ棒をアンカー筋として使用し、埋め込み先端部を 45°で片面カットした。接着剤は変性ビニルエステル樹脂とし、樹脂が封入されたカプセルを穿孔したコンクリートの孔内に挿入し、そこにアンカー筋を回転させながら打設した。アンカーボルトの有効埋め込み長は径の 7 倍(84mm)とし、引張力に対する付着破壊耐力の計算値(32kN)がアンカーボルトの降伏耐力(76kN)を十分に下回る設計とした。

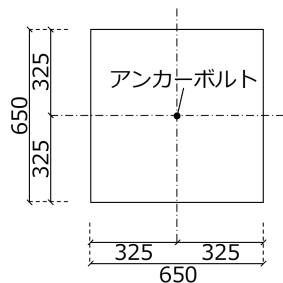


図 1 アンカーの配置

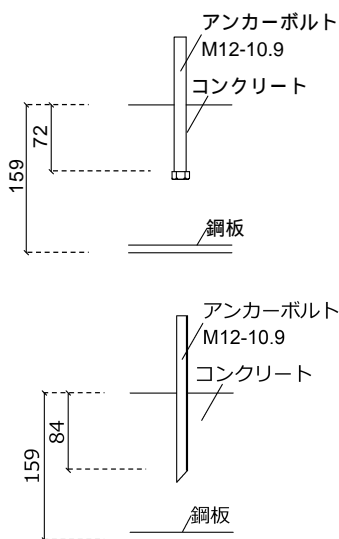


図 2 アンカーの設置状況

セットアップ

セットアップを図 3 に示す。試験体と加力治具は、コンクリート表面から突出したアンカーボルトと加力治具を、ナットで手締めすることにより固定した。加力治具と載荷フレームに設置したセンターホール型油圧ジャッキは PC 鋼棒により接合し、鉛直方向と水平方向の油圧ジャッキで試験体へ同時に加力することで、引張力と水平力の組み合わせ荷重を試験体に作用させた。

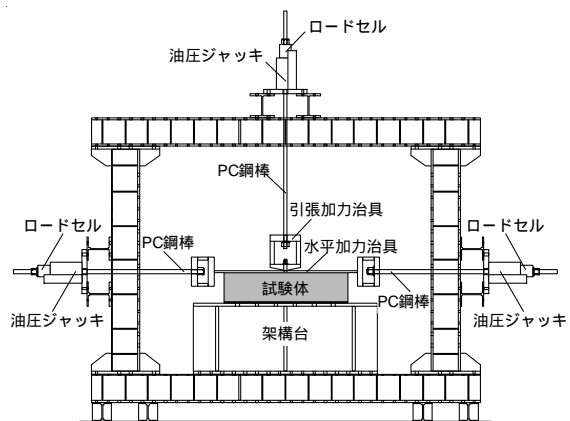


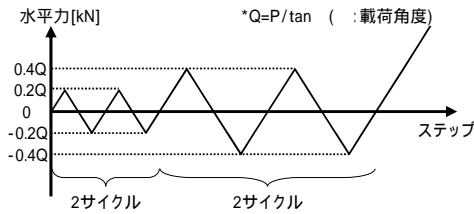
図 3 セットアップ

載荷方法

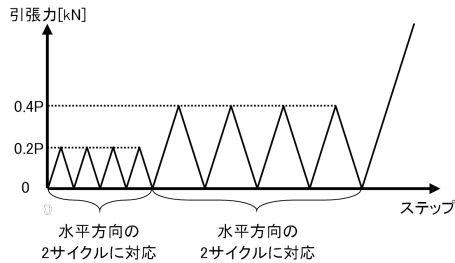
載荷計画を表 1 および図 4、図 5 に示す。接着系アンカーについては、コンクリートのバッチを変え、二期(2016 年度および 2017 年度)に分けて実験を行った。繰り返し載荷では、荷重振幅の増分を引張力のみを受けた場合の試験体の計算耐力(以下、P)の 20%程度(0.2P)となるようにし、各荷重振幅で 2 サイクルずつ載荷した。P は、コンクリートの材料試験の結果を用いて算出した頭付きアンカーボルトのコーン状破壊耐力、もしくは、接着系アンカーボルトの付着破壊耐力とした。繰り返し載荷は、試験体が破壊するまで載荷角度を固定して続けた。

表 1 載荷計画(数字は試験体数)

	載荷角度	単調載荷	繰り返し載荷	
			パターン 1	パターン 2
頭付きアンカーボルト	90°	1		
	60°	1	1	
	45°	1	1	
	30°	1	1	
接着系アンカーボルト	90°	2		
	60°	2	3	2
	45°	2	3	
	30°	2	3	

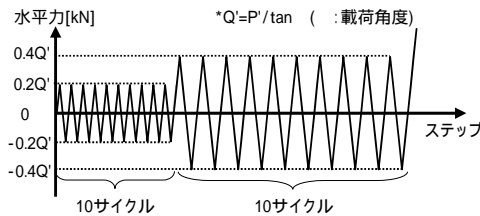


A) 水平方向

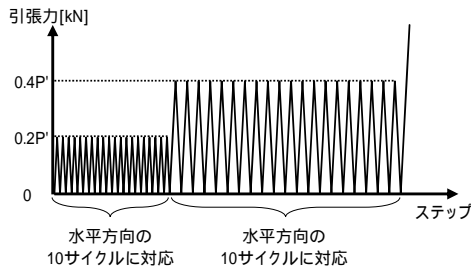


B) 鉛直方向

図4 パターン1の荷履歴



A) 水平方向



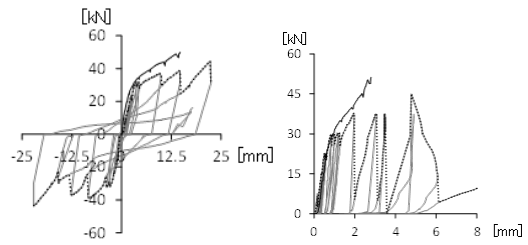
B) 鉛直方向

図5 パターン2の荷履歴

(3) 頭付きアンカーボルトの実験結果
履歴挙動の比較

図6と図7に、荷角度が45°および30°の履歴曲線を包絡線と併せて示す。荷角度が45°および30°のいずれにおいても、水平方向では荷重が大きくなると繰り返し荷に伴い剛性が著しく低下し、変形が大きい領域で包絡線と単調荷の履歴曲線との対応が悪くなった。

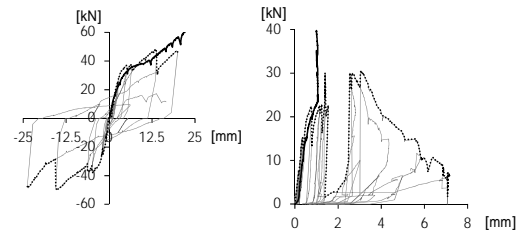
鉛直方向では、荷重が大きくなるとアンカーボルトの降伏に伴いスリップ挙動がみられるようになった。水平変形が大きい領域では鉛直方向の変形が戻され、包絡線は単調荷の履歴曲線と大きく乖離した。



A) 水平方向

B) 鉛直方向

図6 45°の履歴曲線と包絡線



A) 水平方向

B) 鉛直方向

図7 30°の履歴曲線と包絡線

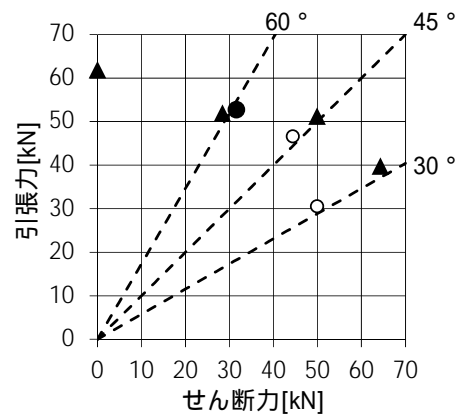


図8 頭付きアンカーの最大耐力

最大耐力

頭付きアンカーボルトの最大耐力を図8に示す。単調荷では、いずれの荷角度においてもコンクリートのコーン状破壊が生じた。

繰り返し荷において、荷角度が60°の場合ではコンクリートのコーン状破壊が生じたが、最大耐力は単調荷とほぼ同じであった。

た．載荷角度が 45°と 30°の場合では，繰り返し載荷でアンカーボルトが破断した．載荷角度が 45°の最大耐力は単調載荷より 10%程度，載荷角度が 30°の最大耐力は単調載荷より 20%程度，それぞれ小さくなった．以上，頭付きアンカーボルトでは繰り返し載荷によってボルトの破断耐力が低下したが，コンクリートの破壊耐力への影響は確認できなかった．

(4) 接着系アンカーボルトの実験結果

履歴挙動の比較

図 9 と図 10 に，載荷角度が 60°および 45°の接着系アンカーボルトの履歴曲線（パターン 1）を包絡線と併せて示す．載荷角度が 60°の場合，載荷初期の包絡線の剛性は単調載荷の履歴曲線より高くなったが，荷重が大きくなると変形の進展に伴い耐力の上昇が低下し，包絡線と単調載荷の履歴曲線における荷重-変形関係の対応が悪くなった．鉛直方向では，荷重が大きくなりスリップ挙動が現れ始めると，変形の進展が大きくなる一方で耐力の上昇が低下し，包絡線と単調載荷における荷重-変形関係の対応が悪くなった．

載荷角度が 45°の場合，水平方向では荷重が大きくなると繰り返し載荷に伴い剛性が著しく低下し，変形が大きい領域で包絡線と単調載荷の履歴曲線との対応が悪くなった．

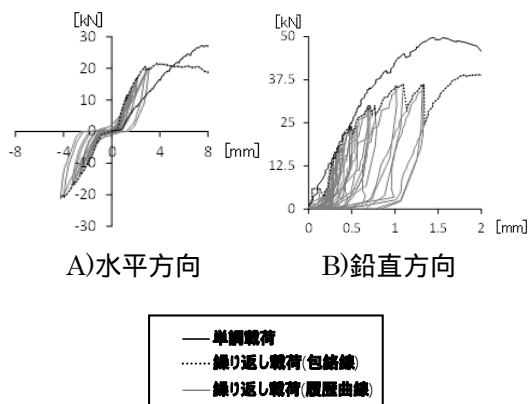


図 9 60°の履歴曲線と包絡線

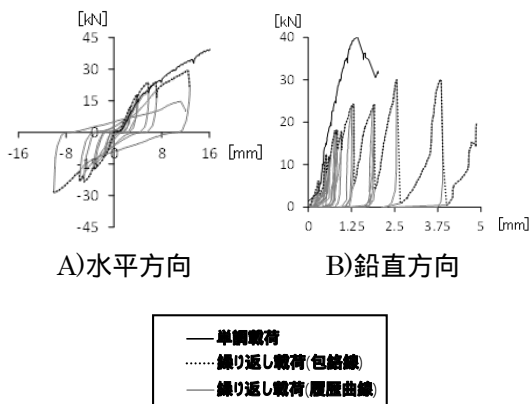


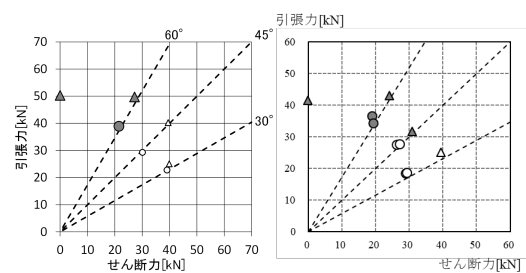
図 10 45°の履歴曲線と包絡線

鉛直方向では，荷重が大きくなりスリップ挙動が現れ始めると，変形の進展が大きくなる一方で耐力の上昇が低下し，包絡線と単調載荷における荷重-変形関係の対応が悪くなった．

最大耐力

接着系アンカーボルトの最大耐力を図 11 に示す．単調載荷において，載荷角度が 90°の場合ではアンカー筋の埋め込み先端部からコンクリート表面下 40mm 程度の区間で，硬化した樹脂とコンクリートとの間で付着破壊が生じたが，コンクリート表面側約 40mm の区間では，コンクリートがコーン状に破壊した．載荷角度が 60°の場合では，全区間でアンカー筋と硬化した樹脂との間で付着破壊が生じ，載荷角度が 45°と 30°の場合では，アンカーボルトが破断した．

繰り返し載荷において，載荷角度が 60°の場合では全区間でアンカー筋と硬化した樹脂との間で付着破壊が生じ，最大耐力は単調載荷の場合より 20%程度低くなった．載荷角度が 45°と 30°の場合では，繰り返し載荷でアンカーボルトが破断した．載荷角度が 45°の場合では，繰り返し載荷での最大耐力は単調載荷の場合より 25%程度低くなったが，載荷角度が 30°の場合では，繰り返し載荷での最大耐力は単調載荷とほぼ同じであった．これは，繰り返し載荷の荷重振幅の増分を載荷角度によらず 90°方向で付着破壊耐力の 20%程度となるように設定したことにより，繰り返し載荷の振幅が相対的に大きくなったことによる．



A) 2016 年度実施分 B) 2017 年度実施分

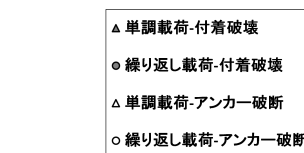


図 11 接着系アンカーの最大耐力

(5) 実験のまとめ

埋め込みが浅い頭付きアンカーボルトと接着系アンカーボルトを対象に，引張力とせん断力の組み合わせ荷重で繰り返し載荷実験を行い，繰り返し荷重がアンカーボルトの終局挙動に及ぼす影響について検討した．本研究で得られた結果を，以下にまとめる．

頭付きアンカーボルトにおいて、水平から 60°以上の組み合わせ荷重が作用した場合は、コンクリートのコーン状破壊が生じた。繰り返し載荷でのコーン状破壊耐力は、単調載荷でのコーン状破壊耐力とほぼ同じとなり、繰り返し載荷がコンクリートの破壊耐力に及ぼす影響がみられなかった。水平から 45°以下の組み合わせ荷重が作用した場合は、単調載荷においてコンクリートのコーン状破壊が生じ、繰り返し載荷においてアンカーボルトが破断した。繰り返し載荷の荷重が大きくなると、水平方向のアンカーボルトの剛性の低下に伴い耐力の上昇も低下し、繰り返し載荷での最大耐力は単調載荷での最大耐力よりも低くなった。

接着系アンカーボルトにおいて、水平から 60°以上の組み合わせ荷重が作用した場合は、付着破壊が生じた。繰り返し載荷の荷重が大きくなると、水平方向と鉛直方向のいずれにおいても変形の進展に伴い耐力の上昇が低下し、繰り返し載荷での付着破壊耐力は単調載荷での付着破壊耐力よりも低くなる傾向がみられた。水平から 45°以下の組み合わせ荷重が作用した場合は、アンカーボルトが破断した。繰り返し載荷の荷重が大きくなると、水平方向のアンカーボルトの剛性の低下に伴い耐力の上昇も低下し、繰り返し載荷でのボルトの破断耐力は単調載荷でのボルトの破断耐力よりも低くなった。

(6)今後の展開

今回の成果に基づき、補強方法を検討するとともに、今後は非構造部材の耐震性に関連する各種指針類への反映を目指していく。

<引用文献>

- 1) 清家剛, 江口亨, 熊谷亮平, 佐藤考一, 名取発, 脇山善夫, 井上朝雄, 山田哲, 島田侑子: 東北地方太平洋沖地震および余震による学校施設の校舎と体育館の非構造部材の震動被害, 日本建築学会技術報告集第 44 号, pp.405-410, 2014.2
- 2) 山田哲, 江口亨, 松本由香, 清家剛, 伊山潤, 熊谷亮平, 島田侑子: 東北地方太平洋沖地震および余震による学校体育館の構造特性と非構造部材の震動被害, 日本建築学会技術報告集第 46 号, pp.981-986, 2014.10
- 3) 日本建築センター: 建築設備耐震設計・施工指針, 2005
- 4) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 2010
- 5) 本間博行, 村山水浜, 福本晃治, 中野克彦, 松崎育弘: 接着系あと施工アンカーの構造性能に関する実験研究: 繰り返しせん断力による付着強度への影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, No23274, pp.547-578, 1999.9

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)

[学会発表](計 4 件)

五艘知明、山田哲、石田孝徳、吉敷祥一、清家剛、元結正次郎、繰り返し複合荷重を受ける埋め込みが浅いアンカーボルトの終局挙動 その1 実験概要および頭付きアンカーボルトの実験結果、日本建築学会関東支部研究報告集、査読無、87 巻、2017、pp.657-660

五艘知明、山田哲、石田孝徳、吉敷祥一、清家剛、元結正次郎、繰り返し複合荷重を受ける埋め込みが浅いアンカーボルトの終局挙動 その2 接着系アンカーボルトの実験結果、日本建築学会関東支部研究報告集、査読無、87 巻、2017、pp.653-656

五艘知明、楊曉雨、山田哲、石田孝徳、吉敷祥一、清家剛、元結正次郎、Ultimate strength of shallowly embedded anchor bolts under cyclic loading Part.1 Experimental procedure and test results of headed anchors、日本建築学会学術講演梗概集、査読無、構造 III、2017、pp.689-690
楊曉雨、五艘知明、山田哲、石田孝徳、吉敷祥一、清家剛、元結正次郎、Ultimate strength of shallowly embedded anchor bolts under cyclic loading Part.2 Test results of bonded anchors and estimation of ultimate strength、日本建築学会学術講演梗概集、査読無、構造 III、2017、pp.691-692

6. 研究組織

(1)研究代表者

清家 剛 (SEIKE, Tsuyoshi)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授
研究者番号: 6 0 2 3 6 0 6 5

(2)研究分担者

山田 哲 (YAMADA, Satoshi)
東京工業大学・科学技術創成研究院・教授
研究者番号: 6 0 2 3 0 4 5 5

元結 正次郎 (MOTOYUI, Shojiro)
東京工業大学・環境・社会理工学院・教授
研究者番号: 6 0 2 7 2 7 0 4

江口 亨 (EGUCHI, Toru)
横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・准教授
研究者番号: 6 0 5 9 9 2 2 3

松本 由香 (MATSUMOTO, Yuka)
横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・准教授
研究者番号: 7 0 3 1 3 4 7 6