

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：27101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18158

研究課題名(和文) SFRCCを用いたあと施工アンカーの高強度接合法

研究課題名(英文) The high-strength composite structural connection with Post-installed Anchors in SFRCC slab

研究代表者

保木 和明 (hoki, kazuaki)

北九州市立大学・国際環境工学部・准教授

研究者番号：70599026

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「SFRCCを用いたあと施工アンカーの高強度接合法」の開発をめざし、その端緒として、密実に配置したあと施工アンカーのせん断性状について検討した。その結果、1)あと施工アンカーの設計において、既存の算定方法で密実に配置した(一般的に使用されているよりもピッチを小さく配置)あと施工アンカーのせん断耐力を評価することが十分可能であること、2)ピッチが小さくなるとあと施工アンカー1本当たりのせん断耐力は低下するものの、あと施工アンカーを多く配置することが可能となるぶん、あと施工アンカー群としての最大せん断耐力は大きくなることなどがわかった。

研究成果の概要(英文)：At first this study examine of shear property of densely-placed post-installed anchors for the purpose of developing the high-strength composite structural connection with post-installed anchors in steel fiber reinforced cement composite (SFRCC) slab. The tests are conducted with pitch length and loading history as the major test parameters. It is found that (1) it is possible enough evaluate of shear strength of densely-placed post-installed anchors; and (2) when anchors are closely arranged in area with the minimum anchor spacing (3 times the anchor diameter) stipulated in current design codes, the per anchor decreases as the anchors spacing especially that in the pitch direction decrease, but the total maximum shear resistance of the connection is still significantly larger than that with normal anchor spacing.

研究分野：建築構造

キーワード：あと施工アンカー せん断実験 アンカー筋ピッチ 高強度接合

1. 研究開始当初の背景

(1) 巨大地震に備える既存建物の耐震改修の必要性

2011年3月11日に発生した「平成23年東北地方太平洋沖地震」により、多くの構造物が大破・倒壊し、また津波によって、死者は1万5千人を超え、行方不明者を含めると1万9千人を超すという未曾有の大被害を受けた。このような状況のなか、近い将来起こるであろう南海トラフの巨大地震（東海、東南海、南海地震）に代表される大地震に備えて、建築構造としてなすべき研究課題として、町や都市の基盤を構成する既存建物に対する「耐震改修」の必要性が挙げられる。

古い鉄筋コンクリート（RC）造建物、1981以前の基準（特に1971年以前の基準）で設計されたRC造建物（以下、旧基準RC造建物）は、現在も数多く残されており早急な耐震改修が求められている。「平成23年東北地方太平洋沖地震」でも、その数は多くはないが、大破・倒壊などの大きな被害を受けたRC造建物は、主として、1981年以前の基準で設計されたものであった。

(2) 求められる「生活の保全」への要求と想定外巨大地震への対応

近年、人々の生活が豊かになり、「人命の安全」のみならず「生活の保全」への要求も強く望まれるようになりつつある。先に述べた「平成23年東北地方太平洋沖地震」では、主要構造部材に大きな被害（人命の安全が直接脅かされる被害）がなくとも、非構造部材の損傷（人命の安全が直接脅かされない被害）が大きく、継続使用が困難となった建物が見られた。大震災が起きたとき、その後復興するまでの長い時間、避難所や仮設住宅などでの生活を考えると、「生活の保全」を無視することはできず、「人命の安全」のみを考えれば良いという耐震改修から、大地震においても建物の損傷をなくす、もしくは最小限に留める耐震改修法の充実が期待される。

建築構造としてなすべきもう1つの重要な研究課題として、想定外の巨大地震を受けたあとの既存建物に対する早期復旧への取り組みが挙げられる。これには、被災した建物は取り壊すのではなく、できるだけ補修して継続使用することが、早期復旧とそれに続く復興に有用であり、今まで以上に簡易的な方法で建物の耐震性能を元の状態、または、それ以上に耐震補修技術が必要である。

(3) 巨大地震による既存建物の損傷低減化対策

旧基準RC造建物の耐震改修における建物損傷の低減は、耐震改修で設定する耐力（補強後の耐力）を、現行基準を超えて設定しなければならない。RC造建物の耐震補強に用いられる主要な建築材料に鋼があり、鋼とRC部材を併用した構造・部位は、耐力の増強に極めて有効である。また高強度な鋼を用

いるとその効果は更に増すことが知られているが、その成否は鋼とRCが確実に接合されているかどうかによって支配される。ここにおいて、合成構造における高強度接合は重要な課題である。

既存建物をこれまで以上に強い建物とすることが地震による建物の損傷を最小限に抑え、そして、生活の保全、早期復旧へと繋がる。以上のような背景から、1) 高強度な補強用構造材料を用いてより高耐力となるような耐震改修、2) 早期復旧のために被災建物の継続使用を目的とした補修をめざし、「鋼・コンクリート合成構造における高強度接合法とその利用法」の開発を実施してきた^{たとえば参考文献①}。これらは、鋼とコンクリートの間に高強度・高じん性を有する鋼繊維モルタル（SFRCC）を用いて、鋼側では「鋼製スタッド」を溶接し、コンクリート側では「あと施工アンカー」を設置する方法のうち、主として鋼側（鋼製スタッドとSFRCC）の接合方法について検討してきたものである。一方、コンクリート側の接合方法については、いまだ残された検討課題であった。

2. 研究の目的

本研究では、「鋼・コンクリート合成構造における高強度接合法とその利用法」の実現をめざし、残された検討課題である「SFRCCを用いたあと施工アンカーの高強度接合法」の開発を行う。本研究がめざす高強度接合法の特徴は以下の点である。

- ・実用化を念頭において、合成構造の結合要素として一般的によく用いられている「鋼製スタッド」および「あと施工アンカー」の利用を基盤とする。

- ・「鋼製スタッド」および「あと施工アンカー」を用いた接合形式の最大耐力や破壊モードは、スタッドおよびアンカー自身の材料特性のほか、それら周りのモルタルの材料特性にも影響を受けるが、普通モルタルの代わりに、近年、建築構造材料として利用されることが模索されはじめた高強度、高靱性を有するSFRCCを用いる。

- ・普通モルタルを用いた従来のスタッド、アンカー接合よりも密にスタッドやアンカーを配置することができる。

上記を実現することから、1) 合成構造の接合部の高強度化により、これまで以上の強度を有する補強材料、たとえば、超高強度鋼を利用した耐震改修を行うことができるため、耐震補強工法の高強度化に貢献できる、2) 高強度、高じん性を有するSFRCCを用いて一般的に（普通モルタルを用いて）使用する間隔より密にスタッドを配置することから、スタッド接合の寸法をより小さくして所要の耐力を満たすことができるため、接合寸法の縮小化に貢献できる、3) 合成構造の結合要素として一般的によくもちいられている「鋼製スタッド」および「あと施工アンカー」の利用を基盤としているため、汎用性が高い

接合法が可能となる。

これらを実現するためには、残された検討課題であるコンクリート側の接合、とくに、あと施工アンカーをこれまで使用されてきたよりも密実に配置して利用することの検討が必要となる。そこで、本研究が提案する高強度接合の実現をめざし、その端緒として、密実に配置されたあと施工アンカーのせん断性状について検討した。

3. 研究の方法

(1) 研究概要

本研究は、所定の成果を挙げることを目標に、要素試験体を用いた実験的研究と汎用解析コードを利用した解析的研究を実施した。以下に、本研究の中心となる実験的研究の概要を簡単に述べる。

(2) 試験体

一例として、本実験で使用した試験体の概要を図1に示す。本実験における主な実験変数は、アンカー筋のピッチ (D_p) および載荷履歴とした。試験体は、既存建物部分を想定した $1200 \times 1200 \times 300$ の無筋コンクリート盤にあと施工アンカーを1本のみ配置、 $D_p=100\text{mm}$ の2本配置、 $D_p=50\text{mm}$ の3本配置、 $D_p=30\text{mm}$ の4本配置として、それぞれ3カ所に作製した。埋め込み深さは、 70mm とした。これらは、一般的に施工されている D_p の最小値 $7.5d_a$ (d_a : アンカー筋の公称径) より小さい範囲が含まれており、かつ、有効埋め込み深さの最小値 $7d_a$ である。このように設定したのは、本研究がめざす高強度接合では、より縮小化した接合部の開発を目的の一つとしているためである。

既存建物部分を想定したコンクリート盤の設計基準強度は $18 \sim 27\text{N/mm}^2$ を想定した。なお、材料試験の結果、コンクリート盤の圧縮強度は $22.5 \sim 29.3\text{N/mm}^2$ であった。アンカー筋は D10 (SD295A) を使用し、降伏強度が 345N/mm^2 、引張強度が 479N/mm^2 であった。アンカー筋の埋め込み部分の先端は寸切りとし、露出部分は後述する載荷治具の浮き防止のため、ネジ加工を施した。アンカー筋の施工手順は、主として、1) コンクリート盤をハンマードリルで穿孔、2) 孔内をブラシ清掃、3) エポキシ樹脂を注入、4) アンカー筋を挿入、とした。

(3) 実験方法

あと施工アンカーせん断実験の様子を図2に示す。載荷は、水平ジャッキにより、アンカー筋載荷治具を介してあと施工アンカーにせん断力を作用させた。アンカー筋載荷治具には、アンカー筋を設置するための孔 (アンカー筋設置孔) があり、その孔にあと施工アンカーを通した。その後、座金とナットを用いてアンカー筋に張力が入らないように固定して、載荷治具の浮きを防止した。なお、アンカー筋と孔の隙間はグラウトを注入し

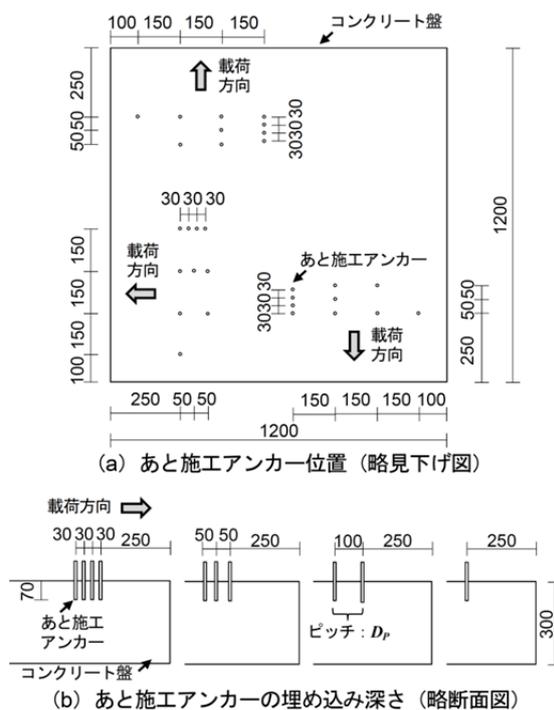


図1 試験体概要

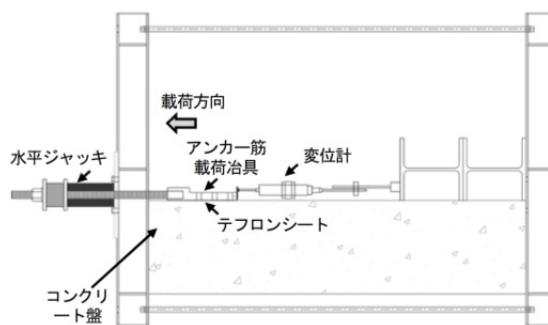


図2 実験概要

た。アンカー筋載荷治具とコンクリート盤の間にはテフロンシート (厚さ 1mm) を挟んだ。

(4) 計測・載荷方法

水平ジャッキに取り付けたロードセルの値をアンカー筋が負担するせん断力として計測した。載荷治具のずれを2本の変位計で計測し、その平均値をあと施工アンカーのずれ変位 (せん断変位) とした。実験は、あと施工アンカーが破断もしくはコンクリート盤が大きく損傷したら実験を終了することとした。

載荷方法は、「単調載荷」と「繰返し載荷」である。「単調載荷」は、あと施工アンカーとコンクリートによる接合の基礎性状を把握することを目的として実施した。一方、「繰返し載荷」は、近年問題とされている長周期地震動による大振幅多数回繰返しに対する検討や、さらに2016年4月に発生した熊本地震のように極めて大きい地震が続いて発生する状況などを鑑みて繰返し数などを設定した (当初の予定よりも繰返し数を増やしている)。

「繰返し載荷」の載荷履歴は、各アンカー

筋ピッチにおける単調載荷（以下、「単調」と呼ぶ）の最大せん断耐力の 1/3、または、2/3 となる荷重まで載荷し、その後除荷して荷重がゼロとなるまでを 1 回として、これを 100 回繰り返した（以下、前者が「1/3 繰返し」、後者が「2/3 繰返し」と呼ぶ）。なお、100 回繰り返したあとは、前述の実験終了条件となるまで単調載荷した。

4. 研究成果

(1) あと施工アンカー 1 本当たりの最大せん断耐力 (P_{anchor}) 評価

一例として、コンクリート盤の圧縮強度が 29.3N/mm^2 における $P_{anchor}-D_p/d_a$ 関係を図 3 に示す。 P_{anchor} は、水平ジャッキに取り付けたロードセルから得られた最大値（これ以降、「あと施工アンカー群最大せん断耐力」と呼ぶ）をアンカー本数（ピッチ方向に配置された本数）で除した値である。なお、アンカー筋を 1 本のみ配置した実験結果も参考として示している。 P_{anchor} は、 $D_p/d_a=5$ の「2/3 繰返し」以外、 D_p/d_a が小さくなると、小さくなる傾向にある。これは、過去に実施してきた鋼側の接合方法の結果^{参考文献①}、すなわち、密実に配置した頭付きスタッドと同様の傾向である。

ここで、あと施工アンカー 1 本当たりのせん断耐力予測値と実験結果の比較を行う。「式 1」はアンカー筋の耐力で決まる場合、「式 2」はコンクリートの支圧強度で決まる場合のあと施工アンカー 1 本当たりのせん断耐力予測値である^{参考文献②}。

$$Q_{a1} = 0.7\sigma_y \cdot s_a a_e \quad \text{式 1}$$

$$Q_{a2} = 0.4\sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \cdot s_a a_e \quad \text{式 2}$$

なお、 σ_y ：アンカー筋の規格降伏点強度、 $s_a a_e$ ：アンカー筋の断面積、 E_c ：コンクリートのヤング係数、 σ_B ：コンクリートの圧縮強度である。本研究では、 σ_B 、 E_c は材料試験の結果を用いた。さらに、 σ_y は、規格降伏点強度ではなく、材料試験結果より引張強度を用いて算定した。本実験での破壊モードは、「式 1」の Q_{a1} で決まる「アンカーせん断」と予想され、実験の結果も「アンカーせん断」となった。算定式から推定される破壊モードと実験結果による破壊モードは、同じであった。

「式 1」にアンカー筋の引張強度を用いたあと施工アンカー 1 本当たりのせん断耐力予測値を図中に示す。すべてのアンカー筋において、予測値は、実験値に比べて、小さい。すなわち、予測値は、密実に配置したあと施工アンカーにおいても安全側の評価となる。これは、あと施工アンカーの設計において、密実に配置したあと施工アンカーのせん断耐力を既存の算定方法により評価することが十分可能であることを示している。

(2) あと施工アンカーを密実に配置したことによる耐力低下率

アンカー群効率- D_p/d_a 関係を図 4 に示す。ここで、アンカー群効率は、あと施工アンカーを 1 本のみ配置した P_{anchor} に対するあと施

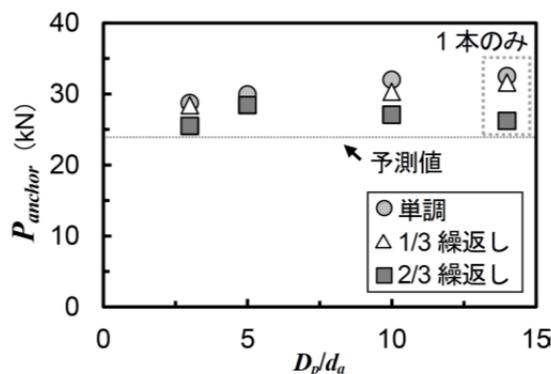


図 3 $P_{anchor}-D_p/d_a$ 関係

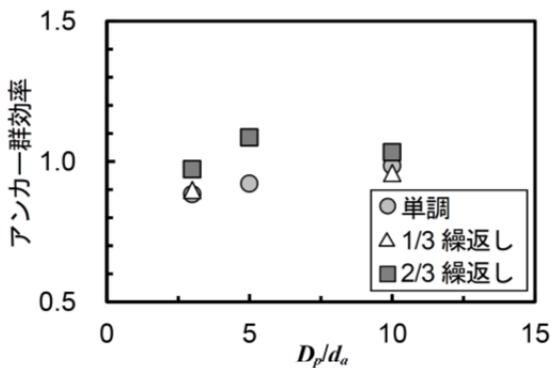


図 4 アンカー群効率- D_p/d_a 関係

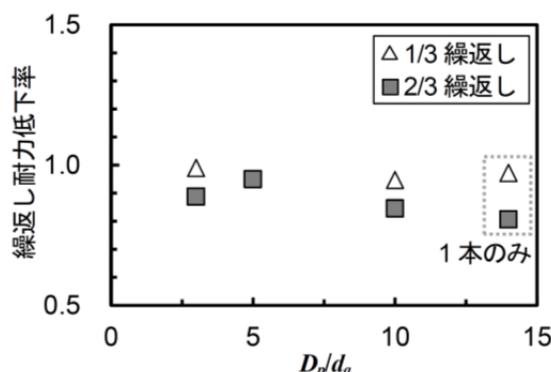


図 5 繰返し耐力低下率- D_p/d_a 関係

工アンカーを複数配置した P_{anchor} の比と定義している。

「単調」の場合、あと施工アンカー群効率は、 $D_p/d_a=10$ が 0.98、同=5 が 0.92、同=3 が 0.88 である。あと施工アンカーを密実に配置するとアンカー筋 1 本当たりの最大せん断耐力は低下するものの、 $D_p/d_a=3$ までは、あと施工アンカーを密に配置した P_{anchor} は、1 本のみ配置したあと施工アンカーに対して、約 88% のせん断耐力を有している。「1/3 繰返し」および「2/3 繰返し」もほぼ同様な傾向である。

(3) 多数回繰返し載荷を受けるあと施工アンカーの耐力低下率

繰返し耐力低下率- D_p/d_a 関係を図 5 に示す。ここで、繰返し耐力低下率は、「単調」の P_{anchor} に対する「1/3 繰返し」、または、「2/3 繰返し」の P_{anchor} の比と定義している。なお、アンカー筋を 1 本のみ配置した実験結果も参考として示している。繰返し耐力低下率は、

「1/3 繰返し」の場合、 $D_p/d_a=10$ が 0.95, 同=3 が 0.99 である。繰返し耐力低下率は、アンカー筋のピッチによる影響がみられない。

「2/3 繰返し」もほぼ同様な傾向である。

ところで、ピッチごとではなく、載荷方法ごとに着目すると、繰返し載荷による P_{anchor} は、「単調」の P_{anchor} に比べて、「1/3 繰返し」が約 97% (平均値)、「2/3 繰返し」が約 87% (平均値) のせん断耐力を有している。「単調」による P_{anchor} の 1/3 のせん断力で 100 回程度の繰返し載荷なら、密実にアンカーを配置したとしても最大耐力の低下はあまり大きくないと考えられる。一方、「単調」による P_{anchor} の 2/3 のせん断力による繰返し載荷 (100 回繰返し) では、約 10% 程度の最大耐力の低下がみられた。

(4) 密実に配置されたあと施工アンカー群最大せん断耐力の評価

「単調」におけるあと施工アンカー群最大せん断耐力は、1 本配置のとき 32.5kN, 2 本配置 ($D_p/d_a=10$) のとき 64.0kN, 3 本配置 ($D_p/d_a=5$) のとき 89.8kN, 4 本配置 ($D_p/d_a=3$) のとき 114.8kN であった。あと施工アンカーが増えるとあと施工アンカー群最大せん断耐力も確実に増えている。あと施工アンカー本数が増えても、 D_p が小さくなると P_{anchor} は低下するものの、あと施工アンカーを多く配置することが可能となるぶん、あと施工アンカー群としての最大せん断耐力は大きくなる。これは、「1/3 繰返し」および「2/3 繰返し」の場合でも同様の傾向であった。これらのことは、本研究が提案する高強度接合方にきわめて有用な知見である。

<参考文献>

①保木和明, 羅雲標, 中島正愛: SFRCC と密に配置した鋼製スタッドによる接合の耐力評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 676 号, pp. 975-984, 2012. 6.

②日本建築防災協会: 2001 改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針同解説, 2001.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 5 件)

①保木和明, 田島祐之: 複数の接着系あと施工アンカーを同時に加力したコンクリート性状 (その 1: 最大耐力), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2018. 9. 5, 東北大学 (宮城県) (発表決定)

②田島祐之, 保木和明: 複数の接着系あと施工アンカーを同時に加力したコンクリート性状 (その 2: へりあきによるコンクリート剥離破壊), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2018. 9. 5, 東北大学 (宮城県) (発表決定)

③保木和明, 田島祐之: 密に配置したあと施工アンカーの耐力評価 その 1 あと施工アンカー 1 本当たりの最大せん断耐力と正側繰返し載荷の検討, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 57 号, pp. 565-568, 2018. 3. 4, 鹿児島大学 (鹿児島県)

④田島祐之, 保木和明: 繰返し力を与えた複数の接着系あと施工アンカーによるせん断性状, 日本建築学会東海支部研究報告書, 第 56 号, pp. 207-208, 2018. 2. 20, 名古屋大学 (愛知県)

⑤田島祐之, 保木和明: 繰返しせん断力を受ける接着系あと施工アンカーのコンクリートへ与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp. 375-376, 2017. 8. 31, 広島工業大学 (広島県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

保木 和明 (HOKI, Kazuaki)

北九州市立大学・国際環境工学部・

建築デザイン学科・准教授

研究者番号: 70599026