

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：82113

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K21264

研究課題名(和文)高温加熱の影響を受けたコンクリート構造物におけるあと施工アンカーの引抜き耐力

研究課題名(英文) Pull-out properties of post-installed anchor subjected to high temperature heating

研究代表者

松沢 晃一 (Matsuzawa, Koichi)

国立研究開発法人建築研究所・材料研究グループ・主任研究員

研究者番号：20534051

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、高温加熱の影響を受けたコンクリートに埋め込まれたあと施工アンカーの引抜き耐力について検討を行った。
2017年度は、金属拡張アンカー、接着系アンカーの引抜き特性に及ぼす供試体寸法および試験条件について検討を行った。
そして、2018年度はその結果を踏まえて供試体を作製し、それぞれのあと施工アンカーが加熱の影響を受けて耐力が低下する温度帯について明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, the influence of high-temperature heating on the pull-out properties of post-installed anchors was investigated by performing pull-out tests of the anchors from constructed concrete structures heated from room temperature to 800 °C.
In 2017, influence of specimen size and testing condition on pull-out properties of post-installed anchors was investigated.
And in 2018, the temperature zone of drop of pull-out load occurs was studied in detail concerning each post-installed anchor with specimen size and test condition based on the result in 2017.

研究分野：建築材料

キーワード：あと施工アンカー 高温加熱 引抜き荷重

1. 研究開始当初の背景

コンクリートは、熱の影響を受けると性質が変化する。そして、火災などにより高温になるほど、圧縮や引張などの強度特性は著しく低下することが明らかとなっている。高温加熱によりコンクリートの強度が低下するということは、コンクリートの耐久性を検討する上で重要なひび割れ特性も高温加熱により低下する可能性があると考えられる。しかし、高温熱の影響を受けたコンクリートのひび割れに関する検討は国内外を問わず少ないのが現状である。

著者らは、上述の背景により、破壊力学手法を用いて高温加熱の影響を受けたコンクリートのひび割れ特性（破壊特性）に関する検討を行っており、高温加熱の影響を受けたコンクリートのひび割れ特性は変化し、高温になるほどひび割れも発生しやすくなることを明らかにしている。

コンクリート構造物で、火災などにより熱の影響を最も受ける部分は、受熱部である部材の表層部だが、その表層部には設備機器の取付けや耐震補強などの用途のために、あと施工アンカーボルト（以下、アンカー）が用いられている場合が少なくない。前述のとおり、コンクリートは熱の影響を受けると強度特性などの性質が変化するため、表層部に施工されているあと施工アンカーの引抜き特性も変化することが予想される。

あと施工アンカーに関しては、工法、種類が多様であり設計指針も刊行されており、熱に関する検討も若干ではあるがなされている。しかし、あと施工アンカーの引抜き特性と高温加熱の影響に関する知見が不足しており、今後、利用の拡大が想定されるあと施工アンカーの耐熱性評価のためには、知見の蓄積が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、あと施工アンカーが部材表層に施工されたコンクリート構造物が、800 までの高温加熱の影響を受けた際のアンカーの引抜き特性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) あと施工アンカーの引抜き特性に及ぼす供試体寸法および試験条件の影響に関する検討

本検討では、高温加熱の影響を受けたあと施工アンカーの引抜き特性を評価するための試験条件を決定するために、コンクリートの寸法、試験時における載荷側面拘束の有無、載荷面の拘束条件に関する検討を行った。

本検討では、直径 12mm の金属系アンカー、接着系アンカーのアンカー筋に M12 の全ねじボルト（鋼種 SNB7、降伏強度 725N/mm²）を用いた。接着剤は樹脂系接着剤であるエポキシ樹脂、セメント系接着剤である急硬セメントの 2 種類を用いた。

表 1 に供試体一覧、図 1 に供試体形状を示す。アンカーは、金属系アンカーに芯棒打込み式を用いた場合（以下、金属系）、接着系アンカーの接着剤について、エポキシ樹脂系接着剤を用いた場合（以下、有機系）、セメント系接着剤を用いた場合（以下、無機系）とし（接着剤の充填は注入方式）、アンカーの埋込み長さは 60mm、穿孔にはハンマードリルを用いた。母材であるコンクリートは高さ 120mm、直径を呼び径 100、150、200mm の 3 水準とした。そして、試験条件として、載荷側面の拘束（鋼管）の有無で 2 水準、載荷面の拘束条件を 4 水準とし、それらの組み合わせにより試験を行った。埋込み長さは載荷面非拘束径 21mm 試験時に付着破壊させる計画で 60mm とし、母材径は既往の付着強度試験や建築基準整備促進事業で用いられている直径 200mm を基準に、小型化の方向で設定した。そして、コンクリートは、レディーミクスドコンクリート工場で製造された呼び強度 27、目標スランプ 18cm、目標空気量 4.5% のものを用いた。

表 1 供試体一覧

アンカー種類	穿孔径 (mm)	母材径 (呼び径) (mm)	側面拘束	載荷板非拘束径 (mm)
金属系	12.7	100	あり	21
			あり	60
		なし	21	
		なし	60	
		150	あり	21
			あり	110
	なし	21		
	なし	110		
	200	あり	21	
			110	
		なし	160	
			21	
なし	110			
なし	160			
有機系	14.0	100	あり	21
			あり	60
		なし	21	
		なし	60	
		150	あり	21
			あり	110
	なし	21		
	なし	110		
	200	あり	21	
			110	
		なし	160	
			21	
なし	110			
なし	160			
無機系	16.0	200	あり	21
			あり	160
		なし	21	
			なし	160

試験から除外

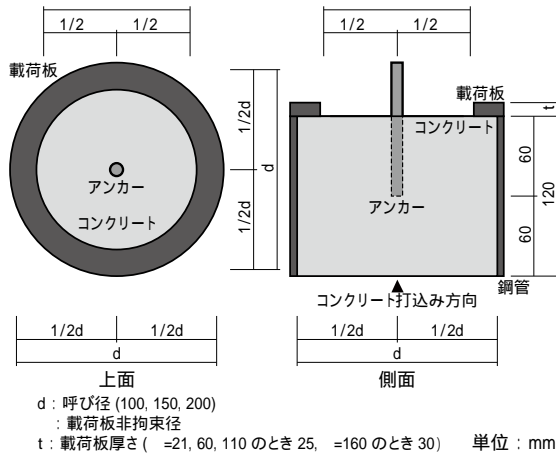


図1 供試体形状

(2) あと施工アンカーの引抜き特性に及ぼす高温加熱の影響に関する検討

本検討では、800 までの高温加熱の影響を受けたあと施工アンカーの引抜き特性に関する検討を行った。

本検討では、接着系アンカーを対象とし、アンカー筋に D13 の異形鉄筋（降伏強度 785N/mm²）を用いた。接着剤は樹脂系接着剤であるエポキシ樹脂、セメント系接着剤である急硬セメントの2種類を用いた。また、比較用として、異形鉄筋を予め型枠内に設置してコンクリートを施工した場合についても試験を行った。

表2に供試体一覧、図2に供試体形状を示す。アンカーは、異形鉄筋を予め型枠内に設置してコンクリートを施工した場合（以下、先付）、接着系アンカーの接着剤について、エポキシ樹脂系接着剤を用いた場合（以下、有機系）、セメント系接着剤を用いた場合（以下、無機系）とし（接着剤の充填は注入方式）、アンカーの埋込み長さは65mm、穿孔にはハンマドリルを用いた。母材であるコンクリートは高さ65mm、直径を呼び径150mmとした。そして、試験条件は、載荷側面の拘束（鋼管）し、載荷面も拘束した。なお、本検討では、アンカー筋の埋込み部先端が、コンクリートを貫通するように施工し、引抜き時に載荷側（以下、載荷側）および載荷面と反対側（以下、自由端側）の2箇所の変位を測定することとした。コンクリートは、レディーミクストコンクリート工場で製造された呼び強度27、目標スランプ18cm、目標空気量4.5%のものを用いた。

図3に加熱履歴を示す。供試体加熱時の炉内最高温度は800 までとし、比較用として加熱なし（常温）の供試体についても試験を行った。加熱時の炉内昇温速度は温度上昇速度がコンクリート強度に影響を与えないように3 /min以下とし、炉内温度と供試体内部の温度が定常となった後に、所定の温度を120分間保持、その後は炉内で自然放冷、そして、供試体温度が常温となったことを確認した後に試験を行った。

表2 供試体一覧

アンカー種類	穿孔径 (mm)	加熱温度 ()
先付	-	常温
		200
		300
		500
		800
有機系	16.0	常温
		175
		200
		215
		230
		250
		300
		500
		800
無機系	18.0	常温
		100
		150
		200
		300
		500
		800

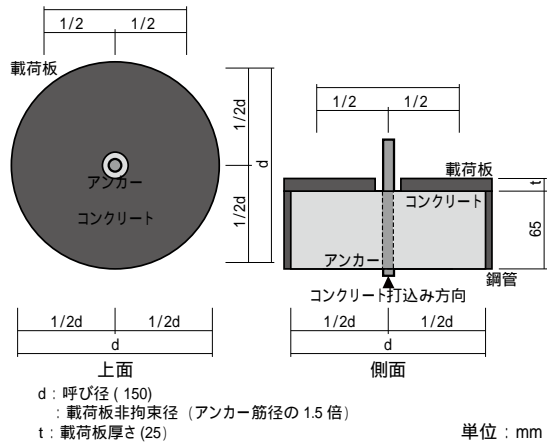


図2 供試体形状

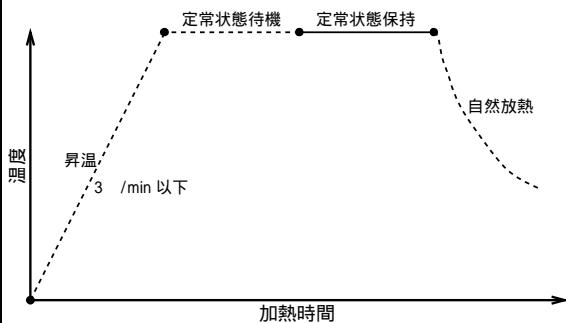


図3 加熱履歴

4. 研究成果

(1) あと施工アンカーの引抜き特性に及ぼす供試体寸法および試験条件の影響に関する検討

引抜き時の破壊形式

金属系の破壊形式は、母材径に関係なく、載荷面非拘束径が小さいとアンカーの滑り破壊となり、載荷面非拘束径が大きいと割裂破壊もしくはコーン状破壊になった。割裂破壊になるかコーン状破壊になるかは、側面拘束の有無が影響していた。

有機系の破壊形式は、側面拘束があり載荷面非拘束径が小さいとアンカー筋降伏もしくは附着破壊となった。母材径が小さいとアンカー筋降伏になる傾向にあることから、側面拘束があり、かつ、母材径が小さくなると附着強度が大きくなることが示唆される。そして、載荷面非拘束径が大きくなるとコーン状破壊との混合になった。また、側面拘束なしは母材径 200mm で載荷面非拘束径 21mm を除き、割裂破壊もしくはコーン状破壊となった。なお、無機系も有機系と同様に、載荷面非拘束径が大きいと附着破壊に、載荷面非拘束径が大きいと割裂破壊もしくはコーン状破壊となった。

荷重 - 変位曲線

図 4~6 に母材径 200mm の各あと施工アンカーの荷重 - 変位曲線を示す。金属系の荷重 - 変位関係は、母材径、側面拘束の有無に関係なく、載荷面非拘束径が大きくなると荷重低下開始時および引抜け時（荷重 0kN 時）の変位が小さくなった。

有機系の荷重 - 変位関係は、側面拘束があることで、ひび割れの影響と思われる変位の増大や荷重の一時的低下後も、再び荷重が増加した。側面拘束がないと、ひび割れ発生時が最大荷重となった後は、ほぼ線形に荷重が低下した。

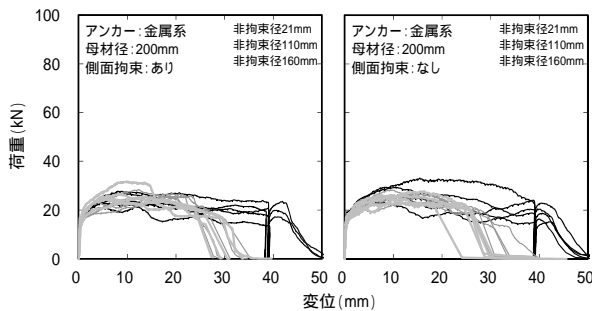


図 4 荷重 - 変位曲線（金属系）

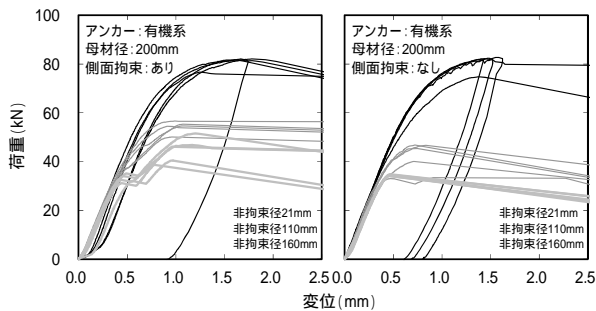


図 5 荷重 - 変位曲線（有機系）

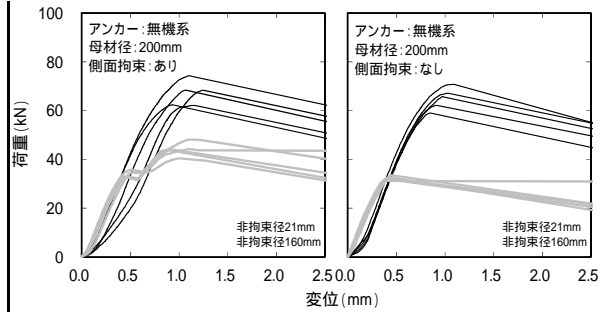


図 6 荷重 - 変位曲線（無機系）

最大荷重

図 7~9 に各アンカー引抜き時の最大荷重を示す。金属系の最大荷重に母材径、側面拘束、載荷面非拘束径の影響は小さかった。

有機系は、側面拘束があると母材径に関係なく載荷面非拘束径が大きくなると最大荷重が低下した。また、側面拘束がないと、母材径 200mm で側面拘束がある場合と同等の最大荷重となるが、母材径が小さくなると低下した。なお、無機系も有機系と同様の傾向となった。

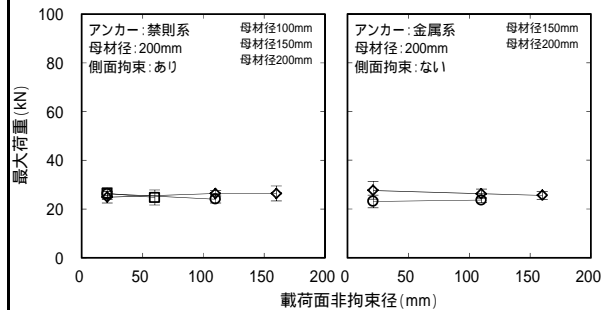


図 7 引抜き時の最大荷重（金属系）

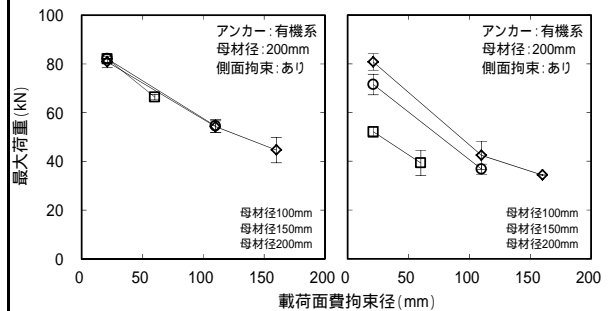


図 8 引抜き時の最大荷重（有機系）

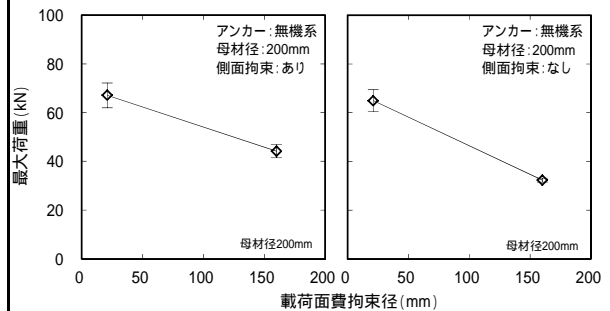


図 9 引抜き時の最大荷重（無機系）

(2) あと施工アンカーの引抜き特性に及ぼす高温加熱の影響に関する検討

引抜き時の破壊形式

破壊形式は、裁荷面および側面が拘束された状態での試験となっているため、アンカー種類に関係なく、いずれも付着破壊となった。

荷重 - 変位曲線

図 10~12 に各アンカーの自由端側の荷重 - 変位曲線を示す。先付は、加熱温度の上昇とともに最大荷重が低下し、荷重上昇時の荷重 - 変位曲線における傾きが小さくなった。また、その低下は、加熱温度の上とともにほぼ線形であった。そして、最大荷重以降の荷重低下は、加熱温度に関わらず、ほぼ同じであった。なお、アンカー筋の埋込み先端部である自由端変位とアンカー筋の引張り側である載荷端変位を比較すると、加熱温度に関係なく自由端変位と比較して、載荷端変位が 1.5 倍程度大きかった。

有機系は、加熱温度 215 から最大荷重が低下し、250 における低下が大きかった。加熱温度 500 以降は、加熱後にアンカー筋が引き抜けたため、引抜き試験は実施しなかった。荷重上昇時の荷重 - 変位曲線における傾きは、加熱温度 175 で大きく低下した。

無機系は、加熱温度 150 で最大荷重が急激に低下し、荷重上昇時の荷重 - 変位曲線における傾きも小さくなった。そして、加熱温度 150 以降は、最大荷重、荷重上昇時の荷重 - 変位曲線における傾きともに緩やかに低下した。

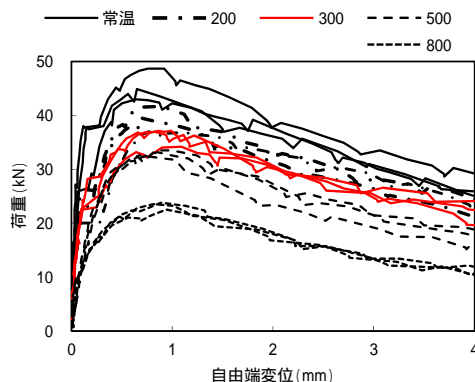


図 10 荷重 - 変位曲線 (先付)

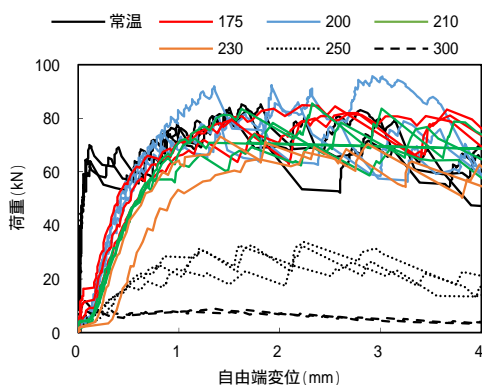


図 11 荷重 - 変位曲線 (有機系)

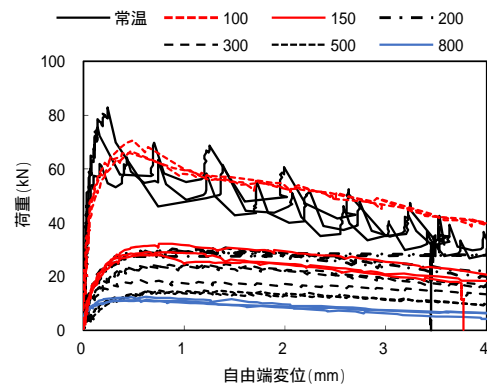


図 12 荷重 - 変位曲線 (無機系)

最大荷重

図 13 に各アンカー引抜き時の最大荷重を示す。最大荷重は、加熱温度 100 までは有機系が最も大きく、無機系、先付となり、150 ~ 230 まで有機系、先付、無機系となり、250 まで先付、有機系、無機系の順となった。そして、300 以降は先付、無機系、有機系と、加熱温度によって、最大荷重の大小関係が異なった。なお、本検討では、有機系が 250、無機系が 150 で最大荷重が大きく低下した。

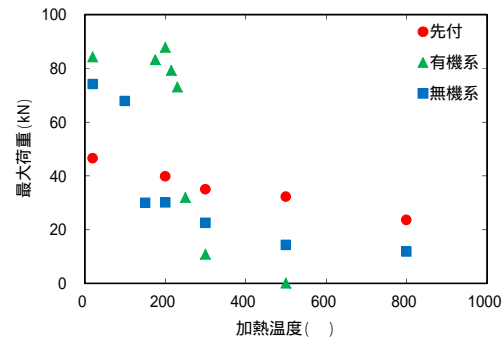


図 13 引抜き時の最大荷重

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

松沢晃一, 田沼毅彦, 棚野博之, 橘高義典, あと施工アンカーの引抜き特性に及ぼす供試体寸法および試験条件の影響に関する基礎的研究, 査読有, 日本建築学会技術報告集, 第 57 号, pp.541-546, 2018.6, 掲載決定

〔学会発表〕(計 2 件)

鈴木淳一, 向井智久, 田沼毅彦, 中村聡宏, 松沢晃一, 成瀬友宏, 高温加熱を被った鉄筋等の付着特性 その 1 加熱実験, 試験体等の概要, 日本建築学会北海道支部研究報告集, 2018.6, 掲載決定

向井智久, 田沼毅彦, 中村聡宏, 鈴木淳一, 松沢晃一, 成瀬友宏, 高温加熱を被った鉄筋等の付着特性 その 2 材料試験および付着試験結果, 日本建築学会北海道支部研究報告集, 2018.6, 掲載決定

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松沢 晃一 (MATSUZAWA Koichi)

建築研究所・材料研究グループ・主任研究員

研究者番号：20534051