

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：82113

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13876

研究課題名（和文）あと施工アンカーの引抜き耐力に及ぼす温度条件の影響

研究課題名（英文）Influence of Environmental Temperature on Pull-Out Properties of Post-Installed Anchors

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、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、80程度までの温度環境下にさらされた際の引抜き耐力を明らかにすること、また、温度環境を対象とした試験方法の小型化という観点から検討を行った。その結果、あと施工アンカーの引抜き特性に及ぼす環境温度の影響を実験的に明らかにした。また、クリープ試験の小型化に関しては、課題を抽出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

構造物で熱の影響を最も受ける部分は部材表層部であるが、その表層部には設備機器の取付けなどのためにあと施工アンカーが用いられている場合が少なくなく、あと施工アンカーの引抜き特性が100未満の温度変化においても変化することが示されている。そこで、本研究では、あと施工アンカーの引抜き特性に及ぼす温度条件を明らかにした。また、解析により、あと施工アンカーの引抜き特性に関する予測手法確立のための構成則などを整理した。

本研究における成果は、今後、異なる温度環境下における、あと施工アンカーの引抜き耐力などの予測に資するデータとなり、設備機器の取付けなどにおける安全性の評価に用いることができる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the pull-out resistance of concrete structures with post-installed anchors installed in the surface layer of the member was investigated from the viewpoint of clarifying the pull-out resistance when exposed to a temperature environment of up to about 80 °C and downsizing the test method for the temperature environment. As a result, the effect of environmental temperature on the pull-out characteristics of post-installed anchors was experimentally clarified. As a result, the effect of environmental temperature on the pull-out characteristics of post-installed anchors was clarified experimentally. In addition, some issues were identified regarding the miniaturization of the creep test.

研究分野：建築材料学

キーワード：あと施工アンカー 引抜き特性 環境温度

### 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強度特性など性質が変化し、火災などにより高温になるほど強度が著しく低下するが、近年では、暑中期に外壁や屋根スラブなどが受ける 60~80℃程度であっても強度が低下する場合も示されている。熱の影響によりコンクリート強度が低下するという事は、コンクリート構造物の耐久性を検討する上で重要なひび割れに対する抵抗性も低下する可能性がある。しかし、そのような検討は国内外を問わず少ない。

ひび割れは主に引張破壊によって起こるため、その発生や進展を検討するには、引張変形による破壊進展の評価が必要となる。そのためには破壊力学手法を用い、破壊靱性試験を応用して間接的に引張軟化曲線を求める方法が有効である。また、引張軟化曲線を求めることで破壊力学パラメータが得られ、ひび割れに関して「ひび割れ発生」と「ひび割れ進展」の2つの視点から検討を行うことが可能となる。このような観点から、著者らは、破壊力学手法を用いて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)に関する検討を行い、コンクリートのひび割れ特性は温度の上昇とともに低下するものの、加熱時間により増加する場合があること、「ひび割れ発生」と「ひび割れ進展」では傾向が異なることなどを明らかにしている。

コンクリート構造物で熱の影響を最も受ける部分は受熱部である部材表層部であるが、その表層部には設備機器の取付けなどのためにあと施工アンカーが用いられることも多い。あと施工アンカーに関しては、国土交通省において平成 27~29 年度に建築基準整備促進事業「あと施工アンカーを用いた部材の構造性能確認方法に関する検討」が実施され、接着系あと施工アンカーについて、40℃までの温度環境下における検討が行われ、あと施工アンカーの種類により 40℃程度でも引抜き耐力が低下する場合があること、温度上昇によりクリープ特性が変化するなどの知見が得られた。このように、あと施工アンカーに関しても、熱の影響により引抜き特性が異なることが示された。しかし、100℃未満の温度環境下におけるあと施工アンカーの引抜き特性に関する検討は少ないのが現状である。

なお、クリープ試験について建築基準整備促進事業では、コンクリート母材径が 200mm、裁荷装置も高さが 1.5~2m のものを用いている。そのため、温度や湿度が任意に制御可能な恒温槽を備えた施設でないとならず試験を行えず、国内のコンクリートに関する評価機関であっても、あと施工アンカーに関する温度の影響について検討を行うことが可能な機関がほとんどないため、試験を汎用的に行えるようにするためには、供試体や裁荷装置を小型化した場合の評価方法の確立も必要である。

### 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、80℃程度までの温度環境下にさらされた際の引抜き耐力を明らかにすること、また、温度環境を対象とした試験方法の小型化という観点から、以下に示す2項目に関する検討を行った。

- (1)あと施工アンカーの引抜き特性に及ぼす環境温度および試験方法に関する検討
- (2)あと施工アンカーのクリープ試験方法の小型化に関する検討

### 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環境温度および試験方法に関する検討

本検討では、80℃までの温度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。また、本検討では、供試体の小型化や試験方法の違いによる検討も同時に実施した。図1に供試体形状、表1に供試体一覧を示す。本検討では、直径 12mm の金属系アンカーの芯棒打込み式(以下、金属系)、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)を用いた。接着剤はエポキシ樹脂(以下、有機系)、急硬セメント(以下、無機系)の2種類を用いた。アンカーの埋込み長さは 60mm とし、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呼び強度 18, 21, 27, 母材高さは 120mm, 母材直径は呼び径 100, 150, 200mm, 試験条件として載荷側面、載荷面の拘束条件を変えた。そして、環境温度は 35, 50, 65, 80℃, 試験は加熱直後(以下、熱間試験)と加熱後 7 日間、室温にて徐冷した後(以下、冷間試験)とした。また、比較として加熱なしの試験(20℃)も実施した。

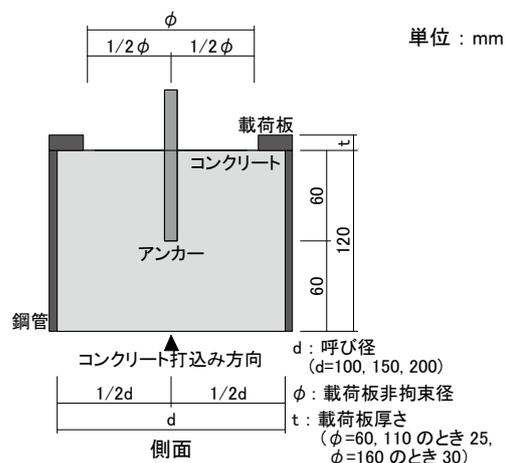


図1 供試体形状

表 1 供試体一覧

母材 呼び強度	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)	環境温度 (°C)	試験
18	金属系	12.7	100	あり	60	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
			150	あり	110	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
				なし	110	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
			200	あり	160	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
					160	(20), 35, 50, 65, 80	冷間
				なし	160	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
21	有機系	14.0	150	あり	21	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
				あり	110	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
			200	あり	21	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
	無機系	16.0	150	あり	21	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
				あり	110	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
			200	あり	21	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
27	有機系	14.0	200	あり	21	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
					21	(20), 35, 50, 65, 80	冷間
	無機系	16.0	200	あり	21	(20), 35, 50, 65, 80	熱間
					21	(20), 35, 50, 65, 80	冷間

(2)あと施工アンカーのクリープ試験方法の小型化に関する検討

本検討では、あと施工アンカーのクリープ試験方法の小型化について検討を行った。図2に供試体概要、表2に供試体一覧を示す。アンカー筋はM12全ねじボルト(鋼種SNB7)およびD13異形棒鋼(MK785)、接着剤はエポキシ系、ラジカル系、セメント系の3種類を用いた。アンカーの埋込み長さはアンカー筋径の5倍とし(60mm, 65mm)、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呼び強度21、アンカーの施工は材齢8週、クリープ試験は材齢10週から開始した。

図3にクリープ試験装置概要を示す。建築基準整備促進事業ではコイルばね式が提案されたが、本検討では小型化検討のために皿ばね式で行うこととした。クリープ試験は、付着応力度3.3N/mm<sup>2</sup>で約200日間、その後、付着応力度15N/mm<sup>2</sup>として再度、約100日間の試験を実施した。なお、クリープ試験は、温度20°C、湿度60%R.H.の恒温恒湿室で行った。

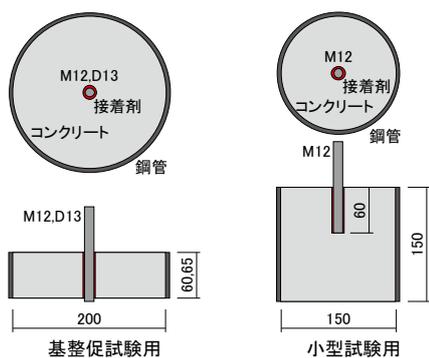


図2 供試体概要

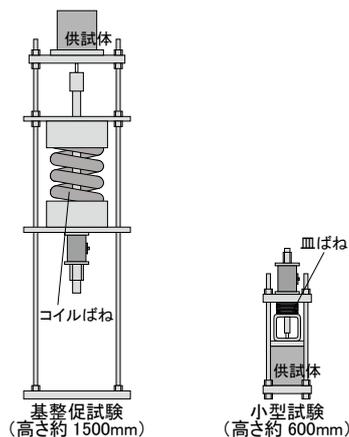


図3 クリープ試験装置概要

表 2 供試体一覧

クリープ 試験方法	接着剤	アンカー筋	穿孔径 (mm)	埋込み長さ (mm)	母材高さ (mm)	母材径 (mm)
基整促	エポキシ系	M12	14	60	150	150
		M12	14	60	60	200
		D13	15	65	65	200
小型	エポキシ系	M12	14	60	150	150
	ラジカル系	M12	14	60	150	150
	セメント系	M12	16	60	150	150

#### 4. 研究成果

##### (1) あと施工アンカーの引抜き特性に及ぼす環境温度および試験方法に関する検討

図4に金属系あと施工アンカー引抜き時の最大荷重と温度の関係を示す。最大荷重は、母材径や側面拘束の有無に関係なく、同じような値となった。また、温度の影響に関しては、温度が高くなると最大荷重が低下し、その低下はほぼ線形である。熱間試験と冷間試験の比較では、冷間試験の温度上昇に伴う最大荷重の低下が緩やかとなっている。

図5に熱間試験における接着系あと施工アンカー引抜き時の最大荷重と温度の関係を示す。有機系の最大荷重は、温度が高くなると低下し、その低下はほぼ線形である。母材径の違いは、母材径200mmの方が若干小さくなる傾向にある。また、載荷面の非拘束径の違いでは、載荷面の非拘束径が大きい方の最大荷重が小さい。これは、破壊形式が非拘束径21mmは付着破壊、非拘束径160mmはコーン状破壊となるためである。無機系の最大荷重も、有機系と同様に温度が高くなると低下する傾向にあるが、有機系のように大きな差はなく、ばらつきも大きい。これは、接着剤の構成がセメントであるため、加熱により接着剤の未硬化セメントが硬化して付着性状が変わったためにばらつきがでていいると考えられる。なお、載荷面の非拘束径では、有機系同様に載荷面の非拘束径が大きい方の最大荷重が小さくなる傾向にある。

図6に熱間試験、冷間試験における接着系アンカー引抜き時の最大荷重と温度の関係を示す。有機系は、冷間試験については温度の影響はほとんどなく、80℃で若干低下する程度である。熱間試験については、図5と同様に温度が高くなると最大荷重が小さくなっている。有機系接着剤は、今回の試験温度範囲では、加熱により性状はほとんど変わらないために、冷間試験においては最大荷重がほとんど変化しないと考えられる。しかし、加熱中は接着剤の剛性が低下するために引抜き時に変形しやすく、その結果、最大荷重が小さくなっていると推察される。無機系は、熱間試験、冷間試験ともに温度が高くなると最大荷重が小さくなり、熱間試験の低下が大きい。

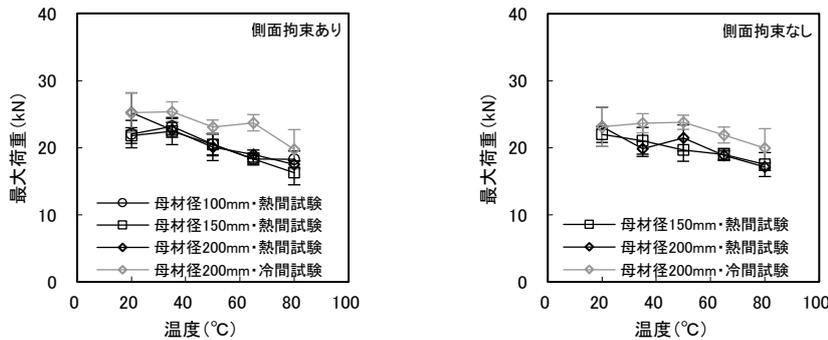


図4 金属系あと施工アンカーの最大荷重と温度の関係（呼び強度 18）

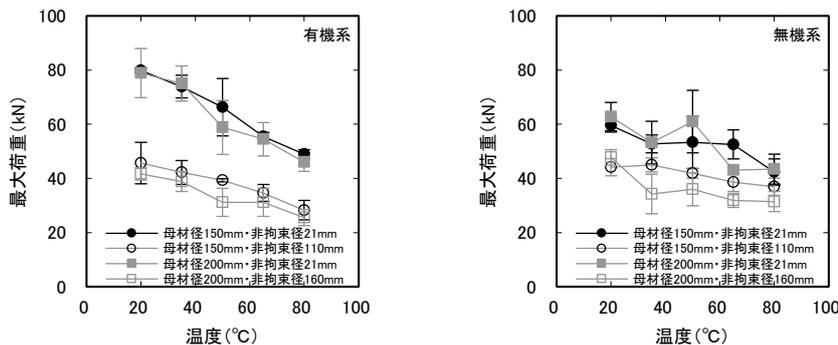


図5 有機系および無機系あと施工アンカーの最大荷重と温度の関係（呼び強度 21）

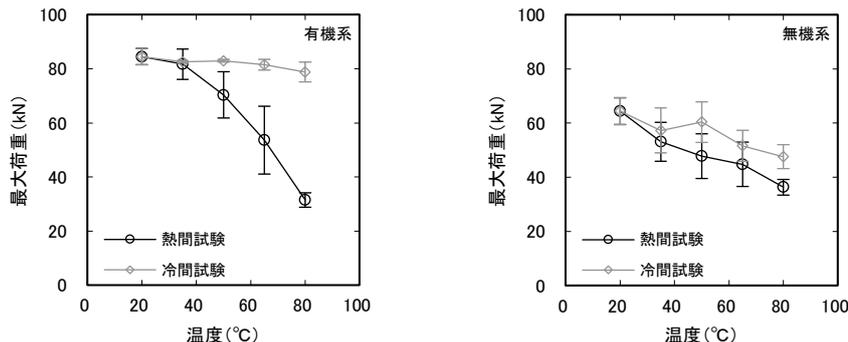


図6 有機系および無機系あと施工アンカーの最大荷重と温度の関係（呼び強度 27）

(2)あと施工アンカーのクリープ試験方法の小型化に関する検討

図7に付着応力度 $3.3\text{N/mm}^2$  載荷時のクリープ試験結果を示す。基整促試験に関しては、アンカー筋および供試体寸法の違いによる差はみられない。小型化試験に関しては、接着剤種類の違いによる差はみられるが、基整促試験と比較した際に、試験方法による違いは確認されなかった。

図8に $15\text{N/mm}^2$ でクリープ試験を行った結果を示す。基整促試験では、アンカー筋の違いによる差がみられるが、供試体寸法の違いによる差はみられない。また、小型化試験では、ラジカル系が早期に引き抜けているが、これは、ラジカル系の付着強度の60%以上となる荷重で載荷されたために、クリープ限界を超えたためである。また、接着剤種類の違いによる差が大きいことが確認された。なお、付着応力度 $15\text{N/mm}^2$  載荷時では、基整促試験よりも小型化試験のクリープが大きい。これは、本試験では、不陸調整にゴム板を使用した影響が考えられる。そのため、本試験については、検討の余地があること、また、異なる温度環境下における試験などの検討も今後、行う必要がある。

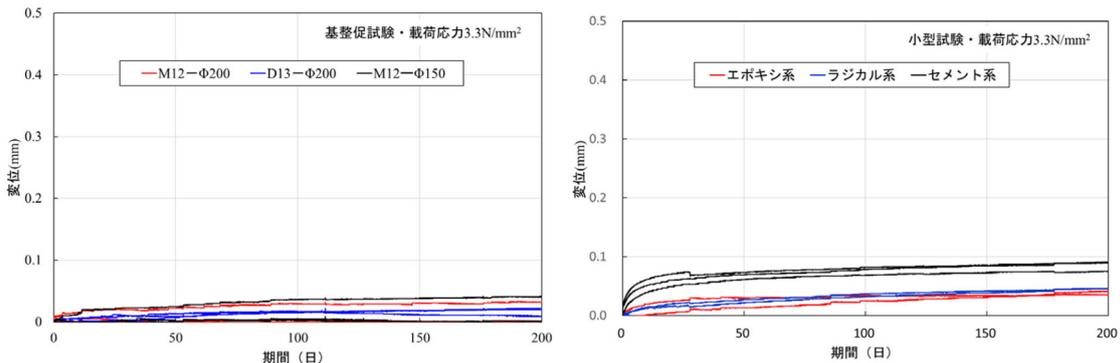


図7 クリープ試験結果 ( $3.3\text{N/mm}^2$ )

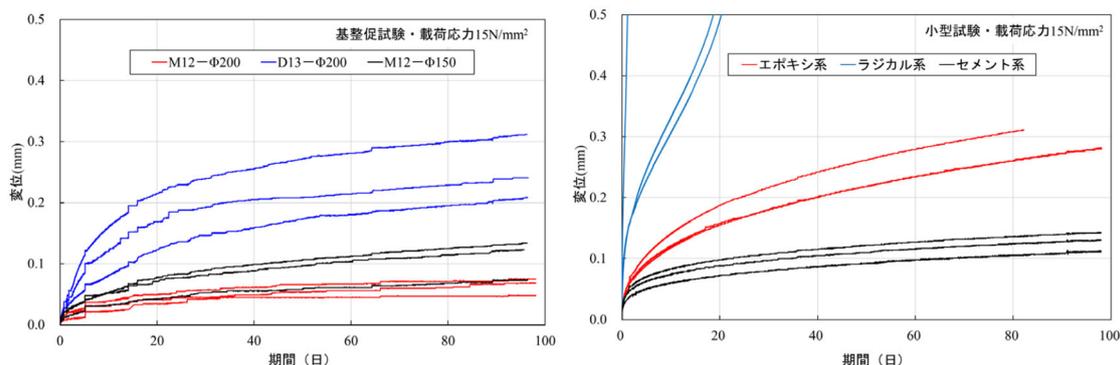


図8 クリープ試験結果 ( $15\text{N/mm}^2$ )

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 松沢晃一, 鹿毛忠継, 橘高義典	4. 巻 27
2. 論文標題 金属系あと施工アンカーの引抜き特性に及ぼす環境温度の影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 104, 107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.27.104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 松沢晃一, 中田清史, 南部禎士, 大垣正之, 高橋宗臣, 宋昌錫, 安藤重裕, 兼吉孝征, 寺崎慎一, 小林学, 鎌田晃輔, 濱崎仁, 中野克彦
2. 発表標題 接着系あと施工アンカーのクリーブ試験装置の小型化に関する実験的検討
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋宗臣, 松沢晃一, 中田清史, 大垣正之, 安藤重裕, 寺崎慎一, 小林学, 鎌田晃輔, 宋昌錫, 濱崎仁, 中野克彦, 佐藤滉起
2. 発表標題 接着系あと施工アンカーのクリーブ試験装置の小型化に関する実験的検討 その2
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------