

令和 5 年 4 月 19 日現在

機関番号：31303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04775

研究課題名（和文）危険性自己発信機構を有するあと施工アンカーの開発と実建物への適用可能性の検証

研究課題名（英文）Development of Hybrid Post-Installed Anchor Equipped with Self-Detecting Damaged State Function

研究代表者

船木 尚己（Funaki, Naoki）

東北工業大学・建築学部・教授

研究者番号：70347897

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、過酷な条件下においても長期間にわたって安定した性能を保持し、かつ、様々な要因によって起こるアンカーの性能低下をアンカー自らが発信する機構を組み込んだ新しいタイプのアンカーを考案するとともに、アンカーの施工面に生じたひび割れがアンカーの性能におよぼす影響について評価する方法を新たに提案した。

具体的には、拡底式アンカーを対象とした引張載荷試験を行い、本アンカーが安定した性能を有することを確認した。また、アンカーの伸び量を簡易的にモニタリングする機構を構築した。また、ひび割れ幅を精度良く制御できる試験装置を開発し、それによる載荷試験を実施して得られた結果より、本装置の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化ガス排出の抑制につながる“建物の長寿命化”を実現するためには“耐震改修やリノベーション”が効果的である。従って建物に耐震部材や設備機器を取り付けるための“あと施工アンカー”の需要が今後ますます増えていくと予想される。

本研究では、過酷な条件下で長期間にわたって安定した性能を保持し、かつ様々な要因によって起こるアンカーの性能低下をアンカー自らが発信する機構を組み込んだ新しいタイプのアンカーを考案するとともに、アンカーの施工面に生じたひび割れがアンカーの性能におよぼす影響について評価する方法を新たに提案したことから、ここで得られた成果は持続可能な社会の実現に向けて貢献できると考える。

研究成果の概要（英文）：We have been developing a new type of post-installed anchor that incorporates a mechanism to maintain stable performance for a long time even under severe conditions and to transmit the risk of the anchor's performance degradation caused by excessive input or deterioration over time.

Although this is an anchor that fixes to a concrete structure by expanding its tip, it has a mechanism where an adhesive is used in combination to demonstrate stable strength with small amplitude range. Further, by providing a mechanism to detect the slipping of the anchor body and/or the strain of the anchor bar, when an excessive force is applied to the anchor, the state of the performance maintaining ability of the anchor could be easily confirmed.

研究分野：建築構造

キーワード：あと施工アンカー 拡底型 載荷試験 性能低下 自己発信機構 有限要素解析

1. 研究開始当初の背景

あと施工アンカーの実構造物への適用実績は数多く、その歴史も1960年代にまでさかのぼる。その用途も広範囲にわたり、多種多様なアンカーが提案され現在に至っている。また、平成27年度からアンカーの適用範囲の拡大を目的に、建築基準整備促進事業として既存建物へのアンカーの適用条件やアンカーによって結合された部材の構造性能の確認方法の整備が、独立行政法人建築研究所を中心に進められている。図1に示すように、耐震改修やリノベーションを必要とする建物は、現行の耐震基準法により施工された建物と比較して構造躯体のコンクリート強度が低く、これまでに経験した地震等により損傷を受けていることも多いため、躯体に施工されるアンカーは、その性能が十分に発揮されないことも考えられる。また、2012年に笹子トンネルで発生した天井崩落事故では、天井のコンクリート板が約130mにわたって落下し、走行中の車が巻き込まれて死者9名を出す人的被害をもたらした。その主な要因として、天井を支えていたあと施工アンカーの経年劣化や躯体の損傷などがあげられていることから、長期間安定した性能を発揮するアンカーの提案は喫緊の課題である。

アンカーの施工後に行われる品質検査は、安全確保の観点から重要な役割を担っている。検査方法としては、全数を対象とした接触打音検査が一般的であるが、検査精度が検査員の技量に左右され、客観的なデータも残らないなどの欠点がある。図2に示すとおり、建物躯体の一部が損傷した場合、その周辺部材が損傷した部材の応力を負担する「応力の再分配」が起こり、建物全体の崩壊を防ぐ。アンカーの場合、そのような機構になっておらず、一ヶ所の損傷が周辺に影響をおよぼし、笹子トンネルの天井崩落事故のように被害が拡大する可能性が高い。したがって、構造物の安全性を確保するためには、アンカー個々の性能低下を容易かつ確実に発見できる仕組みの構築が必要であると考えられる。加えて、アンカーが施工されたコンクリートにひび割れが生じると、アンカーの性能は著しく低下する。そのため、施工面の損傷がアンカーの性能におよぼす影響について評価する方法が欧州では欧州技術認証機構（以降、EOTAとする。）により定められているのに対して、我が国においては整備されていないことから、これらについての整備も近々の課題であると思われる。

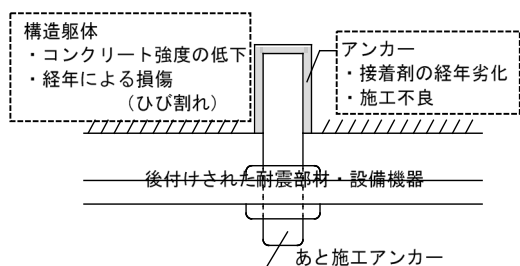


図1 アンカー性能に影響を与えるリスク要因

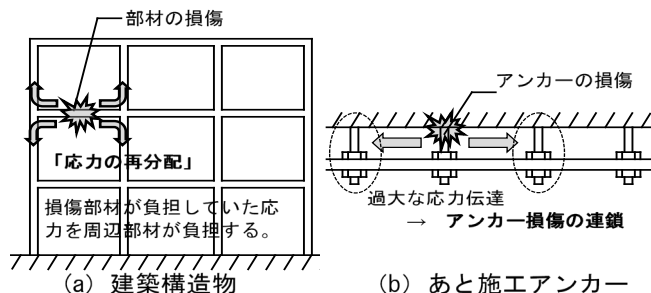


図2 全体系を考慮した設計

2. 研究の目的

本研究は、過酷な条件下においても長期間安定した性能を保持し、かつ、アンカーの性能低下をアンカー自らが発信する機構を組み込んだ新しいタイプのアンカーを考案するとともに、アンカーの施工面に生じたひび割れがアンカーの性能に与える影響を評価する試験方法について提案し、実建物への適用の可能性について検証するものである。具体的な目的を以下に示す。

- ① 長期間安定した耐力性能を発揮する拡底式あと施工アンカーの提案
- ② 性能低下の危険性をアンカー自らが発信する機構の提案
- ③ 施工面に生じたひび割れがアンカーの性能におよぼす影響に関する評価法の構築

3. 研究の方法

(1) 長期間安定した耐力性能を発揮する拡底式ハイブリッド型アンカーの提案について

図3に示すような接着剤と拡底部分で躯体に固定し、2段階で安全を担保するタイプのアンカーを考案した。常時作用する長期荷重に対しては接着剤による固着部分で保持し、地震などの突発的に作用する短期荷重に対しては、アンカー先端の拡張部で機械的固着により抵抗する機構となっている。さらに、アンカーを埋め込む穿孔の形状を拡底型として、コンクリートへの固着度を高めていることが大きな特徴である。結果的に、経年による耐力低下の影響を受けにくい、安定した性能を発揮するものになると期待できる。ここでは、試作したアンカー試験体による引張載荷試験を実施し、得られた変位 - 抵抗力関係から、本アンカーの耐力特性を明らかにする。

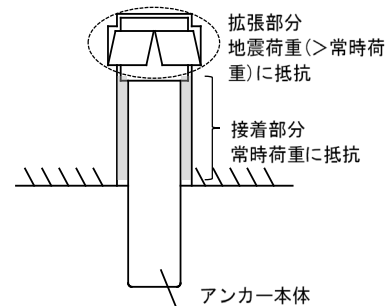


図3 アンカーの概要

(2) 性能低下の危険性をアンカー自らが発信する機構の構築

より確実にアンカーの不具合を発見することを目的に、施工後のアンカーの品質検査として一般化された接触打音検査に代わるものとして、性能低下をアンカー自らが発信できる仕組みを考案する。コストや製造行程の簡略化を考慮し、現時点では、アンカー筋の伸びを目視または簡易な電子部品により確認できるような仕組みとして、精密なセンサー等に頼らない簡便な機構を構築する。

(3) アンカー施工面に生じたひび割れがアンカーの性能におよぼす影響に関する評価法の構築

EOTAで定められている評価方法は、1,800mm×1,800mm×250mmの大型のコンクリート板に12から16本のアンカーを施工し、そこにくさびを打ち込んで人為的にひび割れを発生させる方法としている。この方法は、非常に大がかりとなるのに加え、穿孔後のひび割れがアンカーの孔底まで達していない場合は実験できないなどの制約があること、また、ひび割れ幅の制御ができないことから、効率や実験精度の面で課題が残されている。本研究においては、小型でひび割れ幅を精度良く調整できる試験機（以降、ひび割れ試験機とする。）を考案し、それを用いた載荷試験を行って得られた結果に基づき、本手法の妥当性とアンカーの施工個所に生じたひび割れがアンカーの性能におよぼす影響を評価する方法を確立する。

4. 研究成果

(1) 拡底式ハイブリッド型アンカーの引張載荷試験

常時荷重が作用した状況下や地震等の水平力が作用した際に、アンカーの耐力性能を安定的に保持するためには、コンクリート構造物とアンカーを固着する拡底部の形状や機構を検証することが重要であると考え、図4に示すような、本体と拡張コマ、アンカー筋で構成されるアンカーを提案した。これは、底の部分が拡張された孔内にアンカーを挿入した後、本体を打ち込むことにより拡張コマが上向きに広がり、それによってコンクリート躯体に固着される仕組みである。本アンカーについて、まずはアンカー本体部分には接着剤を充填しない状態で、形状の異なる3つの試験体の引張載荷試験を行った。

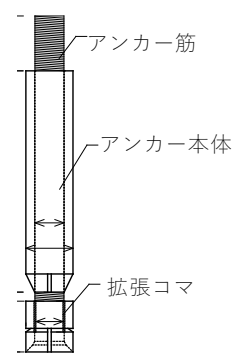


図4 アンカー詳細

アンカー筋径の異なる3種類について、引張載荷試験を行って得られた荷重 - 変位曲線を図5に示す。これらの結果より、全て試験体において最終的な破壊形式はアンカー筋破断となること、安定した荷重 - 変位関係を示すことが確認できた。

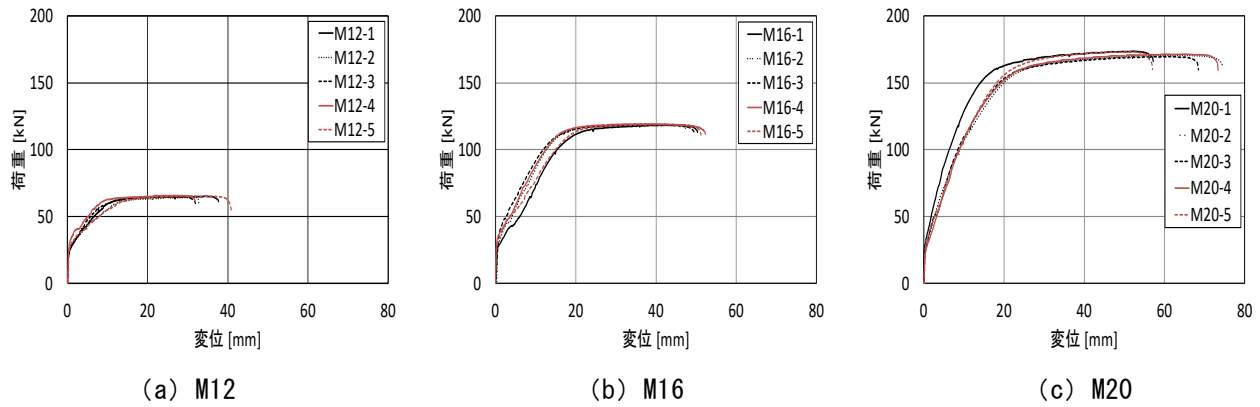


図5 引張載荷試験結果（変位 - 荷重関係）

(2) 性能低下の危険性をアンカー自らが発信する機構の構築

前述のとおり、アンカー筋破断が先行し、かつ安定した耐力特性を有するあと施工アンカーが実現できたことから、アンカーの性能低下をアンカー筋の伸び量で判断する機構を提案した。具体的には、写真1に示すような、ひずみゲージとシングルボードコンピュータをベースとしたひずみ計測ユニット、汎用性無線出力ボードで構成される簡易な仕組みを構築した。アンカー筋の伸びの変化に応じて、ひずみゲージ（KFEM-10-120-C1）から発信される電気信号をひずみゲージアンプ（SGI-100A）で検出し、その信号がArduino基盤に組み込まれた無線通信モジュール（Espressif Systems社：ESP32-DevKitC-32E）によって外部のパソコンで可視化される仕組みである。ブリッジ回路からの信号は、増幅回路をとおしてAD変換され、MCU回路により基板に取り付けた簡易の液晶モニターに電圧が表示されるとともに、無線通信モジュールを介して外部パソコンに記録が発信されるようなプログラムとした。

これにより、ひずみゲージで検出されたアンカー筋の伸びが図6に示すように、遠隔地にあるパソコンでモニターできたことから、本機構が、ひずみゲージが張り付けられたアンカー筋が外的要因によって生じた伸びをリアルタイムで検出できることを確認した。使用した機器においても、シングルボードコンピュータや簡便な無線キットを中心とした汎用の部品で構築することができ、研究で使用するような高精度で高額な機材を使うことなく実現できたことから、実用化の際に課題となるコスト面についても解決できるものと考えている。しかしながら、本機構は、一つの機構に対して1本のアンカーしかモニタリングできないことから、今後の課題として、一つの機構で複数本のアンカーをモニターするような仕組みを構築することが必要であると考えている。

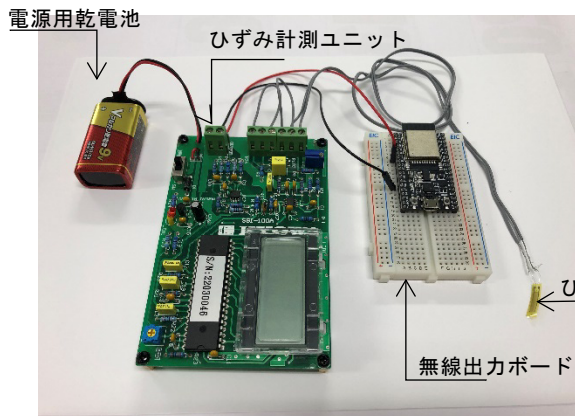


写真1 自己発信機構全景

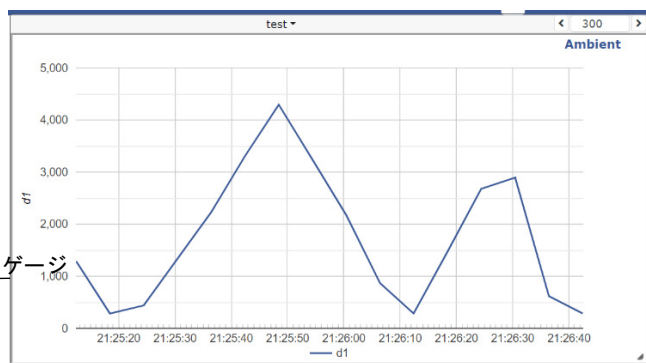


図6 検出されたデータの検出（外部コンピュータ）

(3) アンカー施工面に生じたひび割れがアンカーの性能におよぼす影響に関する評価法の構築

図7に示したひび割れ試験機を考案し、コンクリートの施工面に生じたひび割れがあと施工アンカーの耐力性能に及ぼす影響を確認するとともに、本試験機の有効性について検証した。

ひび割れ試験を行って得られた結果の代表的な例を図8に、載荷後のアンカーの様子を写真2に示す。図は、長期許容引張荷重相当の力を与えながらひび割れ幅を徐々に大きくして得られた、ひび割れ幅に対するアンカーの抜け出し量および引張荷重の関係を表したものである。

これらの結果、アンカー本体が完全に抜け出した時のひび割れ幅は、M12試験体で4.7mm、M16試験体では7.1mmであった。既往の研究より、一般的な接着系アンカー（アンカーボルト M16，埋込深さ 8d）の場合、ひび割れがない時の最大荷重は 72.4kN であったのに対して、施工面に 0.2mm のひび割れがある状態では 31.7kN にまで低減することが実験的に確認されている。このことから、単純な比較はできないものの、本アンカーは、ひび割れ幅が大きくなった場合においても引張荷重の低下は見られなかったことから、ひび割れに対する優位性が示されたと思われる。また、本試験機が、目標とするひび割れ幅に対して十分な精度で制御できることを確認した。



写真2 載荷後のアンカーの様子 (M16 試験体)

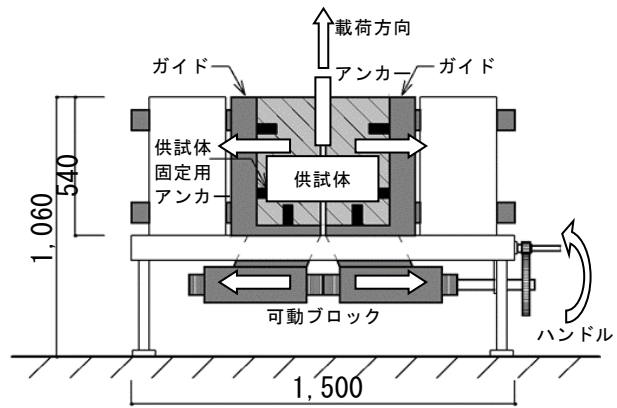


図7 ひび割れ試験機の概要

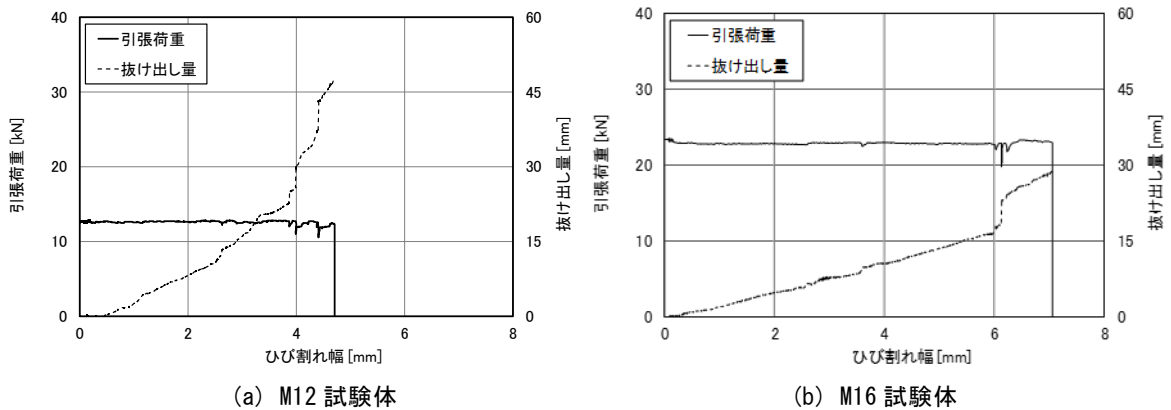


図8 引張載荷試験結果

参考文献

- 1) 川口潤, 国枝稔, 牧田通: コンクリート強度及びひび割れがあと施工アンカーの耐荷性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.511-516, 2015年7月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomoyuki HATANAKA, Naoki FUNAKI, Reiji TANAKA, Shogo FUJITA	4. 巻 CD ROM
2. 論文標題 Tensile Behavior of Newly Developed Undercut Anchor in Cracked and Uncracked Concrete	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 fib International Conference on Concrete Sustainability	6. 最初と最後の頁 Paper ID: 1237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomoyuki HATANAKA , Naoki FUNAKI, Reiji TANAKA, Shogo FUJITA	4. 巻 1
2. 論文標題 MECHANICAL BEHAVIOR OF NEWLY DEVELOPED UNDERCUT ANCHOR IN CRACKED CONCRETE	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the fib symposium 2020	6. 最初と最後の頁 2300-2307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 船木尚己、畑中友、澁谷陽、藤田正吾、姜明煥、田中礼治
2. 発表標題 拡底式あと施工アンカーに関する研究（その6）上向き拡張型アンカーの引張耐力特性
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 船木尚己、藤田正吾、田中礼治
2. 発表標題 危険性自己発信型あと施工アンカーに関する研究（その1）アンカーの概要
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020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
研究 分担者	藤田 智己 (Fujita Tomomi) (10552458)	仙台高等専門学校・総合工学科・准教授 (51303)	
研究 分担者	畑中 友 (Hatanaka Tomoyuki) (30805239)	米子工業高等専門学校・その他部局等・講師 (55101)	

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
---------	---------