

接着系あと施工アンカーの長期荷重に関する基礎研究

Research for Adhesive-type Post Installed Anchor for Concrete Under Long Term Loading

松下吉男* 香取慶一** 平田昭彦***

1. はじめに

1-1. 緒論

コンクリートの硬化後に打設することでコンクリートと他の物体を固定するアンカーを、一般に「あと施工アンカー」という。建築分野においてあと施工アンカーは、自動販売機や看板類、設備機器の取り付けに用いられていた。しかし、硬化後のコンクリートへの最小限の施工により確実に他の物体を取り付けられることから、最近は上記のような非構造的物体のほか、建築物の耐震改修（耐震補強）の推進の緊急避難的措置として、耐震補強部材の取り付けに限られているものの構造部材の取り付けにも使用されるようになった。

しかしながら、非構造的物体の取り付けや耐震補強部材の取り付けの際には、現状で短期的にあと施工アンカーに作用する外力（引張力およびせん断力）に対する安全性の検討のみがなされており、長期的にあと施工アンカーに作用する外力部材の取り付け長期的外力や繰り返しの作用する外力に対する安全性の検討はほとんどされていない。長期的外力あるいは繰り返しの外力に対するあと施工アンカー本体の力学的性状についての実験研究もほとんどされていないのが、現状である。施工の便利さと確実な取り付けを両立できるあと施工アンカーの使用範囲の拡大は明らかであり、現時点で使用が認められていない建築物の構造部材の取り付けにあと施工アンカーを使いたいとの要望は、すでに数多い。すなわち、長期的外力や繰り返しの外力に対するあと施工アンカーの力学的正常の解明が、強く求められている。

本研究は、以上の目的から、後述する接着系あと施工アンカーに着目し、アンカーに長期的外力を作用さ

れた場合のアンカー本体の力学的性状や、長期外力を受けるコンクリートに生じるひび割れがあと施工アンカーの力学的性状に与える影響を、実験により解明することを目的としている。

1-2. あと施工アンカーの概説と本研究の目的

硬化したコンクリートのドリルで穿孔したのち、孔内にあと施工アンカー本体を挿入して、コンクリートと固着する。その際、アンカー先端部を拡幅することで先端部がコンクリート孔面に食い込み、物理的作用により固着を実現する「金属系あと施工アンカー」と呼ばれるものと、穿孔後の孔内に無機系モルタルや接着剤を充填した後に鉄筋やボルトを挿入し、モルタルや接着剤の化学的作用によりコンクリート孔面と鉄筋・ボルトの固着を実現する「接着系あと施工アンカー」とよばれるものの2種類に大別される。

両方のアンカーはそれぞれ長所短所を有し、建築分野においては両方とも使用されている。このうち、耐震補強部材の取り付けのような比較的大規模な物体の取り付けには、接着系あと施工アンカーが圧倒的に用いられている。よって、本研究では、接着系あと施工アンカーを対象とし、なかでもセメントを主原料としたセメントモルタルにより構成される「無機系の接着系あと施工アンカー」（以下、無機系アンカーと呼ぶ）を研究の主対象とする。

無機系アンカーは、揮発性有機物質（VOC 規制品）を含まず、廃棄時にはセメント系のリサイクル資源として処理することが出来る。一方でセメント系ゆえに化学的な固着を発揮するために必要な硬化時間は長く、引張力に対する規定強度を発揮するために、打設後 24 時間の養生を必要とする。

それに対し、エポキシ系接着剤に代表される有機系

*理工学部 建築学科

理工学部 建築学科 *日油技研工業株式会社

接着剤を主体とする有機系アンカー（有機系の接着系あと施工アンカー）は、硬化時間は早く3時間の養生で規定の強度発揮ができる反面、「廃棄時に産業廃棄物として処理しなければならない」「施工の使用時に、耐火性に劣る（80～90℃で溶解⇒15分ほどで設計強度以下）」などの欠点を有する。

2. アンカー施工時の注意点

あと施工アンカーの良否は、施工時の問題の有無に直接起因する、といっても過言ではない。健全な施工方法については、たとえばアンカーの業界団体により制定された諸基準などにより綿密に規定されているが、それでも表-1に示すような施工時の瑕疵や施工後の状況によっては、アンカーの強度が著しく低下したり、引き抜け量が增大したりすることになる。

施工時の瑕疵（施工不良）としては、無機系有機系を問わず、①無回転打設による接着剤の攪拌不足、②清掃不良によるコンクリート孔面と鉄筋などの接着力の不足、③穿孔径の異常や穿孔長の異常などに起因する接着剤の量的不足、④冠水などによる接着剤の加水分解、⑤使用する鉄筋などの選定ミス、⑥使用する鉄筋などの状態異常（発錆など）、⑦設計段階における計算ミス、⑧あと施工アンカーを打設するコンクリート躯体のひび割れ、⑨養生中の加力、⑩施工の向き、などが挙げられる。無機系アンカーでは、海水や汚水に

よる吸水、吸水時間の超過や不足も含まれる。対象とする施工時瑕疵も数多いことから、本研究では、「清掃不良」と「接着剤の量的不足」を取り上げ、「清掃なし」および「接着剤を規定量の半分にする」という条件下で実験を行った。

3. 長期持続荷重の影響（クリープ）に関する実験

3-1. クリープについて

クリープは、物体に持続応力が作用すると、時間の経過とともにひずみが増大する現象である。主に高温環境下で顕著に発生するとされているが、常温時でも発生し得る現象である。長期的、継続的に荷重が作用すると、力を受ける材料で微視的な破壊が徐々に進行し、その破壊の蓄積量が一定レベルを超えた時点で破壊するとされている（クリープ破壊という）。クリープ破壊を生じない荷重の限界をクリープ限度と呼ぶ。

クリープの評価は、ACI基準、ETAG（欧州技術認証機構）などで採用されているFindley Approachを基礎とする。一定のクリープ荷重を90日間以上継続荷重し、鉄筋の抜け出し量（自由端変位量、以下“変位量”）を測定する。時間と変位量の関係から、長期のクリープひずみ式の係数を求める。

$$s(t) = s_0 + a \cdot t^b \quad \dots (1) \text{ 式}$$

ここで、 $s(t)$: t 時間後の変形量の予測値

t : 時間 (日) s_0 : 初期変位 (弾性変形量)

a, b : 実験で決定される係数

3-2. 実験

長期間、一定の荷重をアンカーに作用させるため、ばねの復元力を利用した実験装置（写真-1）を製作し、長期間のアンカー引き抜き実験を行った。

試験体は、設計基準強度 $F_c = 24 \text{ N/mm}^2$ の普通コンクリートを使用した、直径 225mm、高さ 150mm の円柱状である。この円柱状試験体の中心部に穿孔し、下記の2種類のあと施工アンカーを使用して D16 の鉄筋をアンカー筋として挿入した。無機系アンカーは、セメントモルタルを成分としたものは外径 16mm、長さ 120mm、容量 24000 mm^3 の紙容器のものをを使用した。有機系アンカーは、不飽和ポリエステル樹脂を成分とし

表-1 あと施工アンカーで考えられる瑕疵と強度などに与える影響

対象	項目	主な内容
初期強度	骨コンクリートの強度	引張力やせん断力を受ける場合、母材コンクリートの強度の影響を受ける。
初期強度	穿孔長に対する埋め込み深さの不足	製品ごとに穿孔深さおよび許容差の基準が定められている。
初期強度	攪拌不足	攪拌不足でも過剰攪拌でも施工不良になるので注意が必要である。
初期強度	ひび割れの影響	ひび割れ幅が 0.3mm 程度の場合、引張力は平均的には約 50% 低下する。
初期強度	施工の向き	基本付着強度は、下向き施工の結果を基にしている。横向き、上向きでは、確実な施工を行う必要がある。
経年劣化	持続荷重の影響	静的荷重に対する耐力の 50% 以上の荷重が作用すると最終的に抜け出してしまふことがわかる。
経年劣化	多数回繰り返し作用する荷重の影響	200万回引張疲労耐力は、静的耐力の約 65% である。

上表の緑色の項目は平成 25 年の当プロジェクトにて実施
 赤色は、本研究の第 3 章で、青色は第 4 章で扱う。黄色は平成 27 年度以降に検討予定。

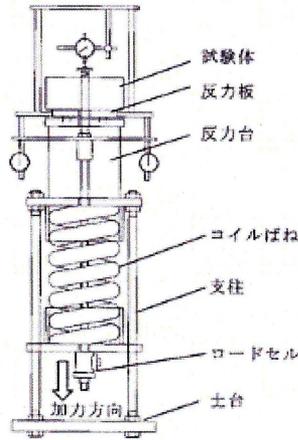


写真-1 長期持続荷重載荷用実験装置

た外径 15mm、長さ 110mm、容量 18000mm³のガラス容器入りのものを使用した。

試験体は合計 5 個製作し、下記のような条件に対し 1 個ずつを割り振る。①無機系アンカーかつ正常施工、②有機系アンカーかつ正常施工、③無機系アンカーかつ孔内清掃不良、④有機系アンカーかつ孔内清掃不良、⑤無機系アンカーかつ接着剤量不足（規定量の半分）。

アンカー打設後、試験体を実験装置に装着し、アンカー筋に長期間引張力を作用させた。なお、実験装置は東洋大学川越キャンパス内の建築学科構造実験室の恒温室に留置し、直射日光の遮断や高温恒湿条件の維持に努めた。実験では、ばねの復元力によりアンカーに作用する引張力をロードセルで、アンカーの抜け出し量を変位計で測定した。

3-3. 実験結果と考察

実験自体は平成 27 年に入ってからもお継続中である。この項では、実験（引張力載荷）開始から 118 日までの結果を述べる。なお、実験期間中の温湿度を測定した結果、平均温度は 24.82℃、平均湿度 84.99%であった。

図-1 に示すとおり、いずれの試験体も、「時間の経過に比例して抜け出し量が増える」といったことはなく、引き抜け量は実験開始から 20 日までの間に大きく発生し、60 日以降はほぼ収束していることが分かる。一部試験体で時間経過によ

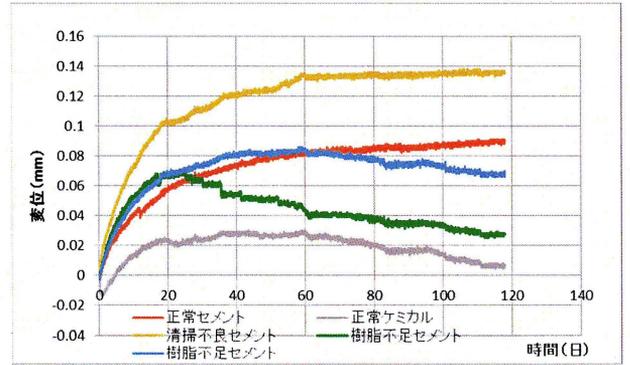


図-1 長期持続荷重載荷結果

り抜け出し量が減少しているものがあるが、試験体の目視観察の結果、異常などは確認されておらず、変位計固定方法の不具合などに起因するものと考えられる。

アンカーの種類による傾向の違いとしては、無機系アンカーのほうが有機系アンカーよりも抜け出し量が大きくなっていることが分かる。抜け出し量には、固化後の接着剤の物性（ヤング係数や微細な損傷など）が影響しているはずであり、これらの差が抜け出し量の大小の違いの原因と考えられる。

「実験開始後 118 日時点での実験結果と (1) 式による抜け出し量の予測値を一致させる」という条件から、(1) 式の未定係数を同定させる。この値を用いて、一例として「無機系アンカーかつ清掃不良」の条件について、実験開始から 100 年間のアンカーの抜け出し量予測値の求めたものを、図-2 に示す。実験開始後 100 年経過時点での予測抜け出し量は 0.225mm となっている。この値は、同じ長さのアンカー筋を単純に引っ張ったときの引張降伏時のひずみ度から求められる伸び量よりも小さいので、100 年実験を継続したとしてもアンカー筋が引張破断することはない。その意味で、「無機系アンカーでは清掃不良状態であっても長期間作用する引張力に対して終局的な安全性は確保される」といえる。しかしながら、今後、実験開始 1 年以降の結果をもとに予測値の再評価を実施する予定である。

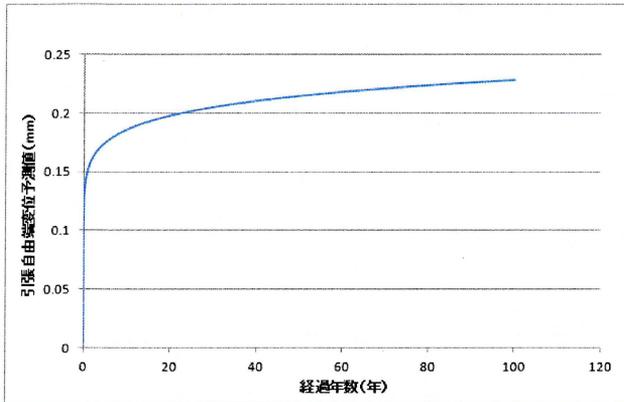


図-2 実験結果を用いた今後 100 年間のアンカー筋
 抜け出し量の予測の一例（無機系アンカーか
 つ清掃不良の状態）

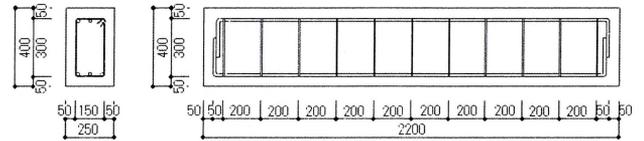


図-3 ひび割れを発生させた鉄筋コンクリート梁
 の配筋図



写真-2 母材コンクリートのひび割れ影響評価
 用試験体（左：アンカー打設状況 右：
 ひび割れ補修状況）

4. 母材コンクリートのひび割れの影響に関する実験

4-1. 母材コンクリートのひび割れ

あと施工アンカーを打設する際には、打設される側のコンクリート（以下、母材コンクリートと呼ぶ）は、ひび割れなどのない健全な状態であることが理想的である。しかしながら、長期間外力を受けるコンクリートでひび割れの全くない完全に健全な状態を設定することが困難であることが多く、ひび割れの補修後にアンカーを打設することも十分に考えられる。そこで、ひび割れをあらかじめ入れておいた鉄筋コンクリートの梁を用意し、ひび割れのない箇所、幅の小さいひび割れ補修上、幅の大きいひび割れの補修上にあと施工アンカーを打設し、その引き抜き実験を行い、ひび割れの存在は幅の大小と引き抜き強度の大小の関係を解明した。

4-2. 実験

試験体は、断面せい 400mm×断面幅 250mm、全長 2200mm、コンクリートは材齢 4 週時点での圧縮強度が $\sigma_B=20\text{N/mm}^2$ 、引張鉄筋比 $p_t=0.68\%$ 、あばら筋比 $p_w=0.14\%$ の普通鉄筋を用いた鉄筋コンクリート梁に 4 点曲げ荷重してせん断ひび割れを生じさせたものである。荷重により生じたせん断ひび割れのうち幅の大きなものを「ひび割れ幅大」とし、幅の小さいものを「ひび割れ幅小」とする。このひび割れにエポキシ樹脂を圧入して一般的なひび割れ補修を施したのちに、補修箇所にあと施工アンカーを打設した。あわせて、

ひび割れのない健全な箇所にも、比較用にあと施工アンカーを打設した。すなわち、以下の 5 条件を設定した。①ひび割れ幅大かつひび割れ補修あり、②ひび割れ幅大かつひび割れ補修なし、③ひび割れ幅小かつひび割れ補修あり、④ひび割れ幅小かつひび割れ補修なし、⑤健全箇所打設。これを無機系アンカー、結城家アンカーそれぞれに設定したため、全体として 10 個の条件設定となった。

アンカー打設後、所定の養生期間を経過した後に、写真-3 の装置でアンカーの引抜実験を行った。

4-3. 実験結果と考察

実験結果を図-4 および図-5 に示す。

以下の傾向が明らかになった。
 <無機系アンカー
 に対して>

1. エポキシ補修行っていないひび割れ大は、アンカーの応力度が最



写真-3 アンカー引抜装置

大値に達するまでの変位の増加が大きい。

2. エポキシ補修を行っていないアンカーは、エポキシ補修を行ったアンカーと比べて、アンカーの応力度が最大値に達するまでの変位の増加が多少大きかった。
3. 正常施工、ひび割れ大小エポキシ補修の有無を問わず、耐力の違いに差がなかった。
4. 正常施工、ひび割れ大小エポキシ補修の有無を問わず、500N/mm²程度で応力度が最大となった。
5. ひび割れ大はエポキシ補修の有無を問わず、500N/mm²を越すと付着破壊を起こし、アンカーが引き抜けた。

<有機系アンカーに対して>

1. 正常施工とエポキシ補修を行ったひび割れ幅大とひび割れ幅小は同等の耐力がみられる。
2. エポキシ補修行っていないひび割れ幅小は、アンカーの応力度が最大値に達するまでの変位の増加が大きい。
3. エポキシ補修行っていないひび割れ幅小は、500N/mm²を越すと付着破壊を起こしアンカーが抜けた。
4. エポキシ補修行っていないひび割れ幅大は、320 N/mm²を越すと付着破壊を起こしアンカーが引き抜けた。

以上により、ひび割れ幅があと施工アンカーの引抜強度に与える影響と、ひび割れ補修の有効性が確認できた。

5. まとめ

平成 26 年度は、あと施工アンカーに対する長期載荷の影響と、母材コンクリートのひび割れ幅の影響を、実験により上記のとおり明らかにした。

長期持続荷重については、今後も継続して載荷を続け、より長期間の実験結果の蓄積を予定している。

さらに、長期間の繰り返しの外力を受けるあと施工アンカーの力学的性状の解明も、今後別途行う予定である。

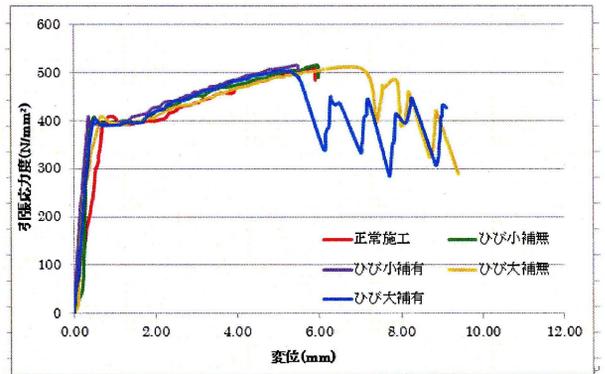


図-4 無機系アンカーに与えるひび割れの影響

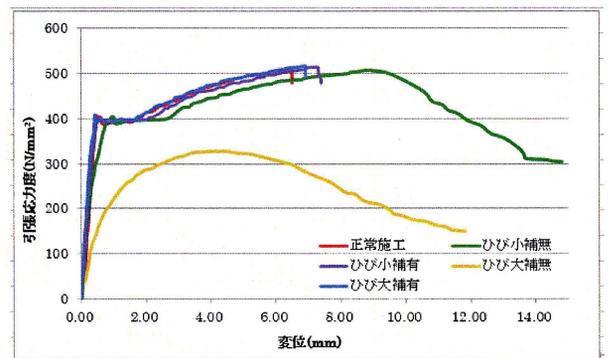


図-5 有機系アンカーに与えるひび割れの影響

付記：本研究担当の松下吉男教授におかれましては、本研究遂行中に体調を崩され、平成 27 年 8 月 15 日に逝去されました。ここにご冥福をお祈り申し上げます。

参考文献：

1. あと施工アンカー設計指針（案）・同解説、日本建築あと施工アンカー協会、2005. 5
2. コンクリートライブラリー141、コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針（案）、土木学会、2014. 4
3. 各種合成構造設計指針・同解説、日本建築学会、2010. 11
4. 松崎育弘他：樹脂アンカーの引張り疲労体力に関する実験研究、昭和 56 年度日本建築学会関東支部研究報告集

註：本稿の(1)式は、国立研究開発法人（旧独立行政法人）建築研究所主催「平成 25 年度建築研究所講演会」で、濱崎仁氏（現 芝浦工業大学教授）が講演資料として提示したもので、以下の URL にて公表されています。

http://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/h25/pdf/K2_S.pdf