

載荷方法と施工条件が接着系あと施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響

川上明大・中村英佑・古賀裕久

1. はじめに

接着系あと施工アンカーは既設構造物の補修や補強、付帯設備の取り付けなどに幅広く使用されており、既設構造物と増設する構造部材や付帯設備などを一体化する役割を担っている。接着系あと施工アンカーを使用した構造物を安全に供用していくためには、引張耐力を適切に評価するための載荷試験方法や施工時の不具合による影響を避けるための品質管理手法を確立する必要がある。

本稿では、接着系あと施工アンカーについて、載荷時の支点間隔を変化させた試験体の引張試験を行い、支点間隔の違いが引張耐力に及ぼす影響を検討した結果を報告する。また、母材コンクリートにひび割れがある場合や穿孔作業時の清掃が不十分な場合など、施工時の不具合を模擬した試験体の引張試験を行い、各種の施工条件が引張耐力に及ぼす影響を検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 支点間隔の違いが引張耐力に及ぼす影響

支点間隔の違いが引張耐力に及ぼす影響については、非拘束引張試験を行って検討した(図-1(a))。非拘束引張試験では、反力をとる支点の間隔を一定以上確保して、アンカーボルトの設置箇所近傍の母材コンクリート表面を拘束しない状態で載荷を行う。アンカーボルトと母材コンクリートで引張荷重を負担する部材において、あと施工アンカーの引張耐力を評価する場合に適した試験方法である。しかし、引張試験時の支点間隔については、国内ではアンカーボルトの埋込み長さの2倍以上¹⁾、国外では4倍以上²⁾と異なる推奨値が提案されている。

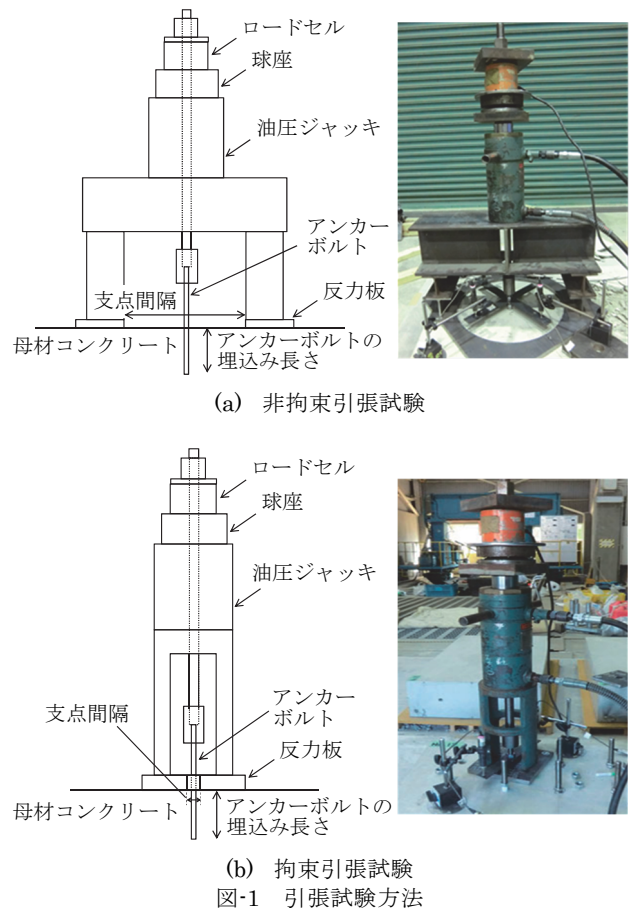
引張試験後の破壊状況は、文献³⁾によれば図-2に示す「アンカーボルトの降伏・破断」、「母材コンクリートのコーン状破壊」、「接着剤の付着破壊」、これらの「複合破壊」に分類されているが、引張耐力

と破壊状況は支点間隔によって変化する可能性がある。そこで、引張耐力を適切に評価するために重要となる載荷時の支点間隔が引張耐力と破壊状況に及ぼす影響について検討した。

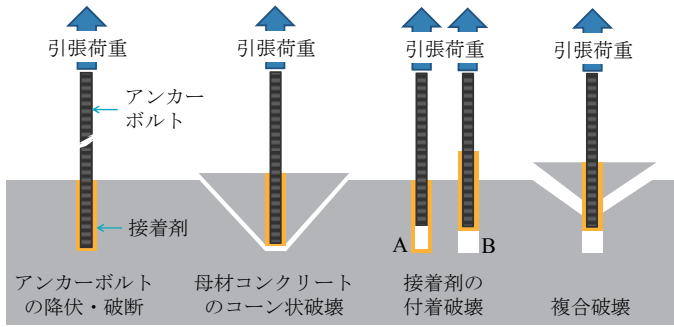
2.2 施工時の不具合が引張耐力に及ぼす影響

施工時の不具合が引張耐力に及ぼす影響については、拘束引張試験を行って検討した(図-1(b))。拘束引張試験では反力をとる支点の間隔を穿孔径の約1.5~2倍とし、アンカーボルトの設置箇所近傍の母材コンクリート表面を拘束した状態で載荷を行う。引張試験後の破壊状況は図-2の「アンカーボルトの降伏・破断」または「接着剤の付着破壊」となるため、母材コンクリートと接着剤の付着力を評価する場合に適した試験方法である。

接着系あと施工アンカーに関しては、母材コンクリートに生じたひび割れや穿孔作業時の清掃不良など実施工で想定される不具合が、母材コンクリー



Effects of Loading Methods and Construction Conditions on Tensile Strength of Post-Installed Adhesive Anchors



A : 接着剤/アンカーボルト界面 B : 母材コンクリート/接着剤界面
図-2 引張荷重による破壊状況

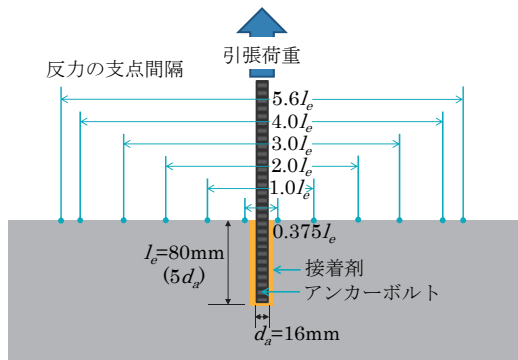


図-3 反力の支点間隔のイメージ

表-1 実験パラメータ

実験パラメータ	引張試験方法	埋込み長さ l_e (mm)	支点間隔		実験本数
			($\times l_e$)	(mm)	
標準施工 支点間隔の影響	拘束(比較) 非拘束	80 ($5d_a$)	0.375	30	4
			1	80	4
			2	160	4
			3	240	4
			4	320	2
5.6	448	2			
標準施工	拘束	80 ($5d_a$)	0.375	30	4
ひび割れ箇所への施工					8
清掃不良での施工					4
水浸し状態での施工					4

d_a : アンカーボルトの直径(16mm)

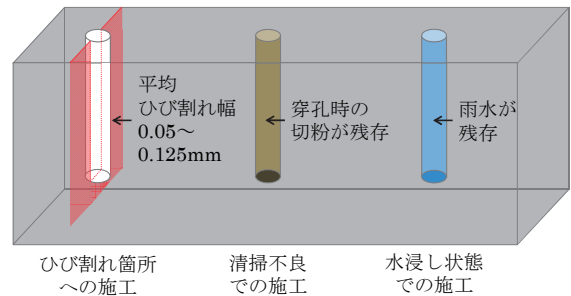


図-4 施工時の不具合のイメージ
(アンカー施工前の状態)

トと接着剤の付着力を低下させ、引張耐力に影響を及ぼす可能性があり、施工時の品質管理手法を確立するためにも、その検証が不可欠である。そこで、各種の施工条件が接着系あと施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響について検討した。

2.3 使用材料と実験パラメータ

母材コンクリートには呼び強度 21 の普通コンクリート、接着剤には市販の超速硬セメント系注入式の接着剤を使用した。アンカーボルトには、引張試験時に降伏・破断による破壊を避けるため、寸切り全ねじボルト SNB7 M16 (降伏点 788N/mm^2 、引張強さ 928N/mm^2) を使用した。

実験パラメータの一覧を表-1に示す。なお、表-1において、「標準施工」は、使用した接着剤の施工マニュアルの推奨する方法で穿孔と清掃を行い、あと施工アンカーを設置したものである。

支点間隔の影響を実験パラメータとした試験では、図-3に示すように反力の支点間隔をアンカーボルトの埋込み長さの1、2、3、4、5.6倍とし、非拘束引張試験(図-1(a))を実施した。また、比較用として、後述の支点間隔を埋込み長さの0.375倍とした拘束引張試験も同時に実施した。

施工時の不具合を模擬した試験では、図-4に示す3種類の不具合を想定した施工条件で、拘束引張試験(図-1(b))を実施した。

「ひび割れ箇所への施工」は、穿孔作業の前に母材コンクリートに曲げひび割れを導入し、ひび割れ上にアンカー施工を行ったケースである。

「清掃不良での施工」は、穿孔作業時に発生した切粉が孔内に完全に残った状態で、アンカー施工を行ったケースである。

「水浸し状態での施工」は、雨水等が孔内に残った状態でのアンカー施工を模擬し、清掃後、孔内を水で充填してアンカー施工を行ったケースである。

2.4 アンカー施工

アンカーボルトを設置する孔の直径は、市販の接着剤の施工マニュアルに基づき、直径16mmのアンカーボルトを使用する際の推奨値(20mm)とした。穿孔にはハンマードリルを使用した。「清掃不良での施工」以外では、穿孔作業時にブラシと集塵機で孔内の切粉を除去した。埋込み長さは、前述のとおり、アンカーボルトの降伏・破断による破壊を避けるため、全パラメータでアンカーボルト直径(16mm)の5倍とした。

2.5 破壊状況の目視観察

引張試験後に破壊状況を目視で観察した。支点間隔の影響を実験パラメータとした試験では、破壊面の計測が困難であったため、図-5のように「付着破壊部の長さ」と「コーン状破壊部の長さ」の割合を求めた。また、施工時の不具合を模擬した試験で

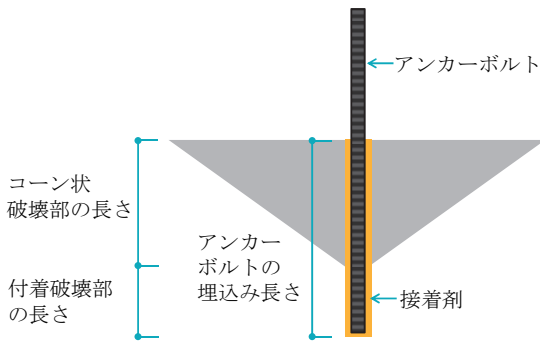


図-5 破壊状況の目視観察の項目の例(支点間隔の影響)

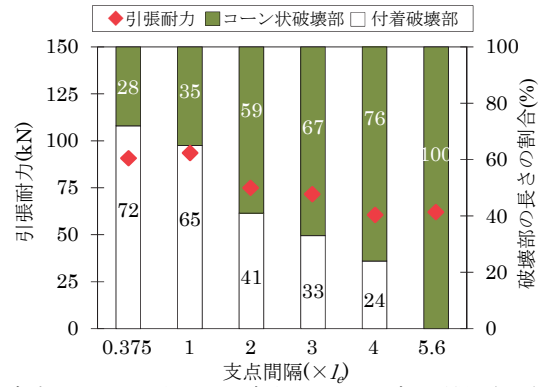


図-6 支点間隔が引張耐力、破壊状況に及ぼす影響 (平均値)

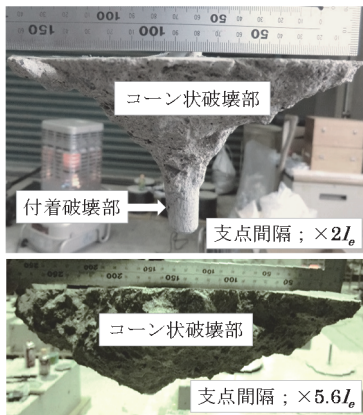


写真-1 引張試験後の破壊状況

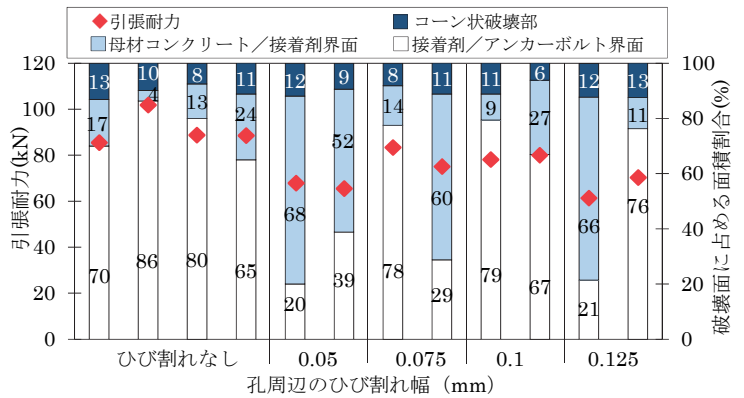


図-7 ひび割れ幅が引張耐力、破壊状況に及ぼす影響

は、破壊面を「コーン状破壊部」、「母材コンクリートと接着剤界面の付着破壊部」、「接着剤とアンカーボルト界面の付着破壊部」の3種類に分類し、アンカーボルト周囲全長の破壊面に対する面積割合を算出した。

3. 実験結果

3.1 支点間隔の影響

支点間隔が引張耐力、破壊状況に及ぼす影響を図-6に示す。支点間隔をアンカーボルトの埋込み長さの0.375~1倍とした場合では引張耐力は同程度であったが、1~4倍とした場合では引張耐力は支点間隔を大きくするほど低下した。しかし、4~5.6倍とした場合では、引張耐力の低下はほとんど生じなかった。

破壊状況は、支点間隔を埋込み長さの0.375~1倍とした場合では、付着破壊部が大きくなった。2~4倍とした場合では、支点間隔を広くするほどコーン破壊部が大きくなり写真-1の上のようなコーン状破壊と付着破壊の複合破壊が多く生じた。5.6倍とした場合では、写真-1の下部のような純粋なコーン状破壊が生じた。

これらのことから、非拘束引張試験では、載荷

時の支点間隔の設定が重要であることが確認された。本実験の検討範囲内では、支点間隔が引張耐力に及ぼす影響を小さくするためには、支点間隔をアンカーボルトの埋込み長さの4倍以上確保することが望ましいと考えられる。

3.2 ひび割れの影響

ひび割れ幅が引張耐力、破壊状況に及ぼす影響を図-7に示す。一般に補修の必要性を判定する際の目安とされる幅0.2mm以下のひび割れであっても、ひび割れがない場合に比べて引張耐力の平均値は約20%低下した。

破壊状況は、母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部の割合が多くなり、この傾向は引張耐力の低下量が大きい場合に明確に現れた。これは、ひび割れにより母材コンクリートと接着剤の付着力が低下したことを示すものと推測できる。

3.3 清掃不良の影響

清掃の有無が引張耐力、破壊状況に及ぼす影響を図-8、破壊状況を写真-2に示す。穿孔作業時に清掃を行わなかった場合、清掃を適切に行った場合に比べて引張耐力の平均値は約40%低下した。

破壊状況は、清掃を行った場合に比べて母材コンクリートと接着剤界面の付着破壊部の割合が増加す

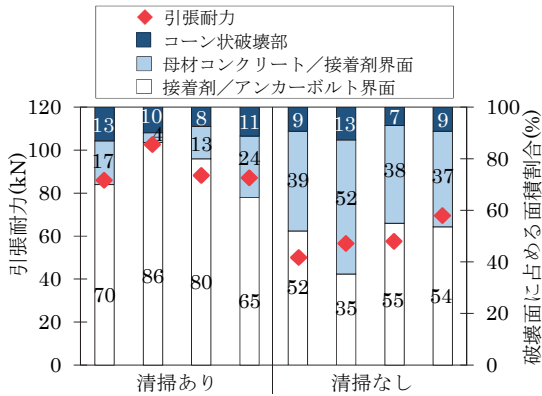


図-8 清掃の有無が引張耐力、破壊状況に及ぼす影響

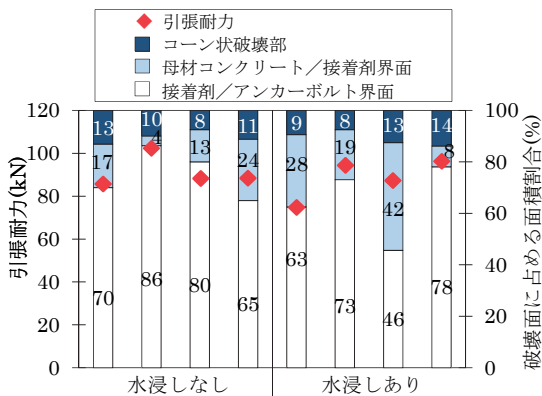


図-9 水浸し有無が引張耐力、破壊状況に及ぼす影響

る傾向にあった。穿孔時の清掃が適切に行われなかった場合、孔内に残存した切粉によって母材コンクリートと接着剤界面の付着が阻害され、引張荷重が適切に伝達されず、引張耐力が大幅に低下したと考えられる。接着系あと施工アンカーでは孔内の清掃が極めて重要といえる。

3.4 水浸しの影響

水浸しの有無が引張耐力、破壊状況に及ぼす影響を図-9に示す。孔内を水で浸した状態で施工した場合、引張耐力の平均値は若干低下し、母材コンクリートと接着剤界面の付着破壊部の割合が増加することがあった。施工時には水を押しつけて接着剤を注入することができたが、孔内に残存した水によって接着剤に脆弱層が生じ、付着力が低下

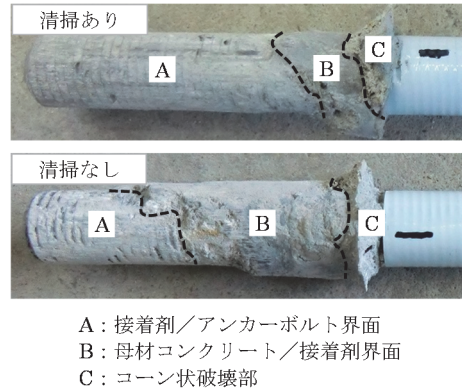


写真-2 破壊状況（清掃の有無）

した可能性がある。しかし、ひび割れ箇所アンカー施工した場合や清掃不良の場合に比べて引張耐力の低下の程度は小さくなった。

4. おわりに

本稿では、接着系あと施工アンカーの引張耐力に着目し、試験方法や施工条件が引張耐力に及ぼす影響について実験結果を加えて報告した。なお、接着剤の種類や性能、アンカーボルトの種類、埋込み長さや母材コンクリートの強度によっては本稿の内容とは異なる傾向の結果が得られる可能性がある点には留意が必要である。

あと施工アンカーを使用した構造物を安全に利用していくためには、本稿で報告した引張荷重の他にも、せん断荷重に対する耐荷性能、持続荷重や繰返し荷重が作用する場合の耐荷性能などを把握することが重要である。今後はこれらの課題についても検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 社団法人日本建築あと施工アンカー協会：あと施工アンカー標準試験法・同解説、pp.18～23、1987
- 2) ASTM E488/E488M-10：Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete Elements、2010
- 3) 一般社団法人日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説、pp.256～257、2012

川上明大



研究当時 土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 交流研究員、現 住友大阪セメント(株)
Akihiro KAWAKAMI

中村英佑



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 主任研究員
Eisuke NAKAMURA

古賀裕久



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員(汎用材料担当)、博士(工学)
Dr.Hirohisa KOGA