

繊維シート接着工があと施工アンカーの引抜き耐力に及ぼす影響に関する載荷実験

小泉 悠¹・日下 敦²・巽 義知³

¹ 正会員 国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)
E-mail: koizumi-y573ck@pwri.go.jp

² 正会員 国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)
E-mail: kusaka@pwri.go.jp

³ 正会員 国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)
E-mail: tatsumi-y173bt@pwri.go.jp

道路トンネル内にはジェットファン等の附属物が設置されており, その多くはあと施工アンカー (以降, アンカー) 等の取付部材により覆工コンクリートに固定されている. 著者らはアンカーの打込み状態や母材コンクリートの状態が引抜き耐力に及ぼす影響について調査を進め, コンクリートのひび割れがアンカーの引抜き耐力の低下要因となる等の知見を得てきた. トンネル内の覆工に生じたひび割れ等の変状に対して多用される対策工の一つに繊維シート接着工があることから, 本研究では, コンクリート試験体にひび割れを導入し, 繊維シートを接着して引抜き試験を実施した. その結果, 繊維シートによりひび割れが拘束されてアンカーの引抜き耐力が改善される結果が得られた一方で, 逆に引抜き耐力が低下した結果も得られ, その差異の要因を考察した.

Key Words: tunnel, post-installed anchor, pull-out strength, crack, fiber reinforced sheet

1. はじめに

道路トンネル内にはジェットファン等の附属物が設置されており, それらの多くは図-1に例示するように, 金属系あと施工アンカー (以降, アンカーと称する) 等の取付部材により覆工コンクリートに固定されている. 道路トンネル定期点検要領¹⁾では, 覆工のみならず, これら取付部材にも着目して点検することが記載されている. その一方で, アンカーの取付状態がその耐荷力に及ぼす影響は十分に解明されていない. そこで著者らは, 道路トンネルで多用されるスリーブ打込み式アンカーを対象に, 主に室内での引抜き試験により, アンカーの打込み状態や, アンカーを支持する母材コンクリートの強度, ひび割れ等がアンカーの引抜き耐力に及ぼす影響について調査研究を進めてきた. その結果, 母材コンクリートのひび割れに関しては, ひび割れ幅が大きくなるにつれてアンカーの引抜き耐力が小さくなることや, ひび割れがアンカーから離れた位置に生じた場合でもアンカーの引抜き耐力は低下する等の知見²⁾を得てきた.

維持管理段階にあるトンネル現場では, 覆工コンクリー

トのひび割れ等の変状に対し, 外力性や材料劣化といった発生要因を診断し, それに応じた措置が施されるが, 多用される対策工の一つに繊維シート接着工がある. そこで, 室内引抜き試験により, ひび割れに対して接着した繊維シートがアンカーの引抜き耐力に及ぼす影響を評価したので, その結果について報告する.

2. 引抜き試験の試験ケースおよび試験方法

(1) 引抜き試験ケース

試験ケースを表-1に示す. ひび割れの無いコンクリー

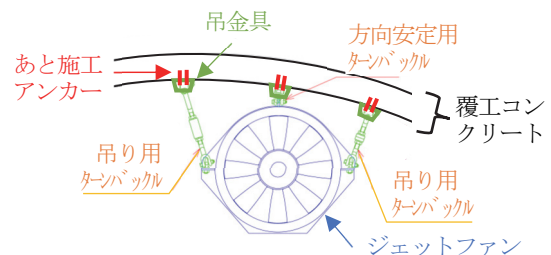


図-1 ジェットファンとその取付部材の例

表-1 引抜き試験ケース

ケース	ひび割れ	繊維シート	π 型変位計の設置	試験数
1	無し	無し	—	—
2	無し	有り	—	3
3	有り	無し	有り	3
			無し	3
4	有り	有り	有り	3
			無し	3

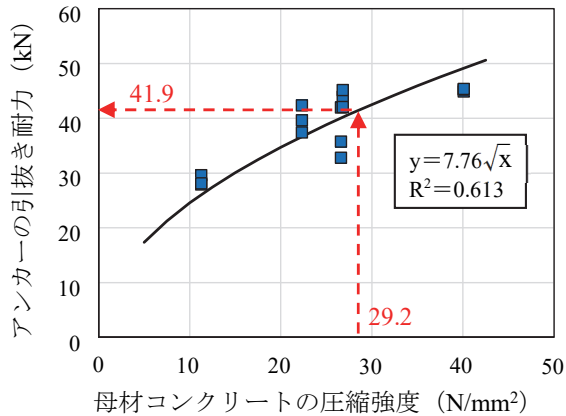


図-2 基準ケースにおけるアンカーの引抜き耐力と母材コンクリートの圧縮強度の関係

トをアンカーの母材とするケース 1（基準ケース）については、既往の研究³⁾等に示されるデータを参照し、y 軸にアンカーの引抜き耐力、x 軸に母材コンクリートの一軸圧縮強度を取り、両者の関係を図-2に整理した。図中には、両者の近似曲線および相関係数 R の二乗値を併記したが、良好な相関関係が認められた。ケース 2 では、ひび割れの無いコンクリートに繊維シートを接着し、引抜き試験を実施した。ケース 3 および 4 では、いずれも母材コンクリートにひび割れを導入し、アンカーを打設した。ケース 4 では、さらに繊維シートを接着した上で、引抜き試験を実施した。表-1 中のケース 3-1 と 3-2、またケース 4-1 と 4-2 では、試験の実施時期のみが異なり、試験体作製および引抜き試験の実施方法は同様とした。

(2) 試験体の作製方法

ケース 1～4 の試験実施手順の概要を図-3 に示す。コンクリート試験体の寸法は、縦 1,000mm×横 1,000mm×高さ 300mm とし、コンクリートの配合は 21-12-20N とした。

アンカーは金属系のあと施工アンカー（スリーブ打込み式、ねじ径 M16、スリーブ長 60mm、ステンレス製）を用いた。一般的なジェットファン（自重 20kN 程度を想定）の取付けにおいては、アンカーの強度がジェット

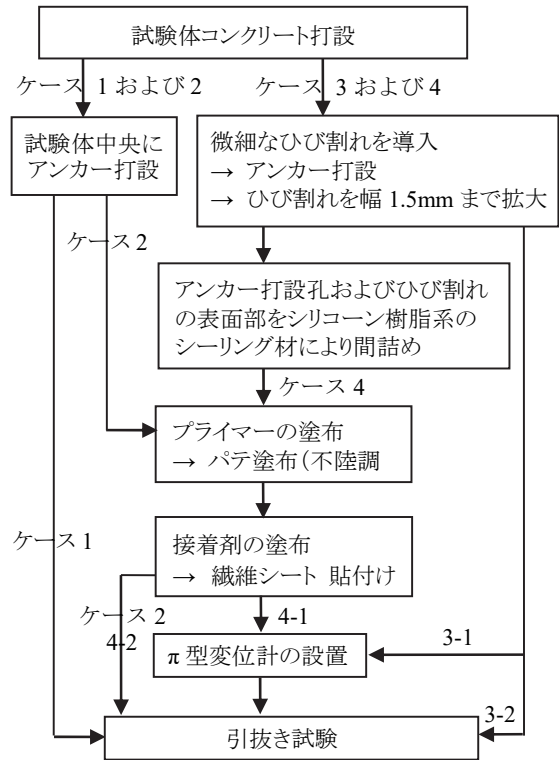


図-3 試験ケースごとの作業フローの概要

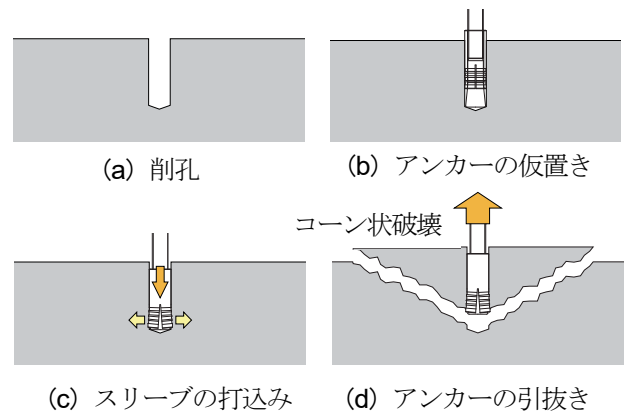


図-4 アンカーの打設および引抜き試験の概要

ファンの静荷重の 15 倍以上⁴⁾となるよう、ねじ径 M24 程度、スリーブ長 140mm 程度のアンカーが使用される場合が多い。しかし、本研究では、実験設備の制約等から、ねじ径 M16 のものを使用した。

図-4 に示すようにメーカーが推奨する削孔径 22mm、削孔長 68mm の孔を削孔し、先端部がテーパ状に加工されたアンカー軸部の上からスリーブを打ち込み、スリーブ先端を拡径して孔壁に定着させた。なお、本アンカーは、引抜き時、引抜き荷重の増加に伴ってスリーブの拡径が進行して孔壁との摩擦力が増加するため、アンカー自体の拔出しが抑制される構造となっている。よって、アンカーの破壊形態としては、母材コンクリートが引張破壊するコーン状破壊⁵⁾（図-4 (d)）が生じやすいと考えられる。

ひび割れの導入においては、セリ矢の打込みによって微細なひび割れを発生させた後、微細なひび割れ上に削孔してアンカーを打設した。その後、セリ矢を再度打込み、ひび割れ幅を 1.5mm まで拡大させた。

繊維シートへの接着に際しては、プライマーや接着剤がアンカーと孔壁の隙間や、ひび割れに浸透することを防止するため、事前にアンカー打設孔およびひび割れの表面部をシリコン樹脂系のシーリング材で間詰めした。その後、プライマーの塗布、パテの塗布、接着剤の塗布を行い、炭素繊維シート（繊維目付 200g/m²、引張強度 3,400N/mm²、引張弾性率 2.45×10⁵N/mm²）を接着した。

ケース 3-1 および 4-1 では、引抜き载荷中のひび割れの開口挙動を計測するため、ひび割れを跨ぐようにπ型変位計（標点距離 100mm）を試験体の上面に 8 箇所、2 側面に 3 箇所ずつ設置した。ケース 4-1 では、ひび割れ導入後にトレースしたひび割れ位置を繊維シート上にマーキングし、π型変位計は繊維シート上に設置した。設置後の状況を写真-1 に示す。

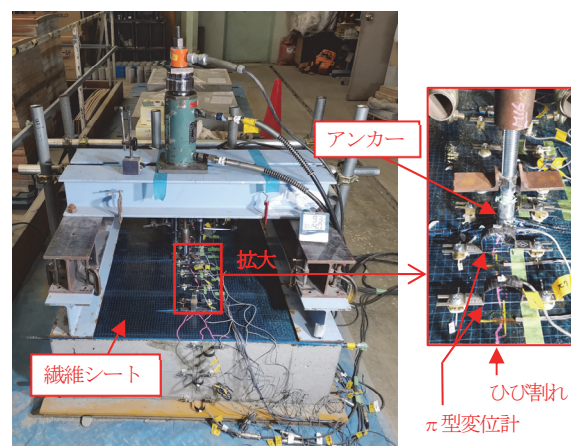


写真-1 試験体の作製完了状況（ケース 4）

(3) 引抜き試験方法および試験時のコンクリート強度

引抜き試験装置の概要図を図-5 に示す。载荷には手動の油圧ジャッキを用い、変位速度がおおよそ 0.5mm/min となるように調整した。

変位測定用のダイヤルゲージをアンカーの左右 2 箇所に設置し、荷重測定用のロードセルと先述したπ型変位計とともにマルチレコーダーにより 0.1 秒間隔で測定記録した。

また、引抜き試験実施時、強度管理用に別途作製した円柱型供試体（径 100mm×高さ 200mm、3 供試体）の一軸圧縮試験を実施した。その結果、コンクリートの一軸圧縮強度は、ケース 2 および 3-1、4-1 の試験時は 29.8N/mm²、ケース 3-2 および 4-2 の試験時は 28.6 N/mm² であった。本報告では、その平均値 29.2 N/mm² を図-2 中の近似曲線に代入して得られる 41.9kN をケース 1 の引抜き耐力とみなすこととする。

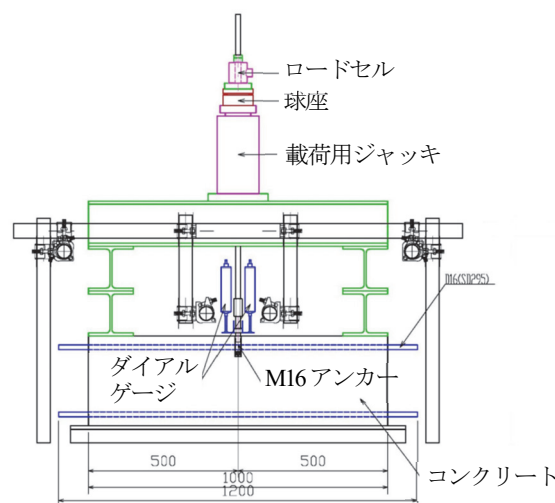


図-5 引抜き試験装置の概要図

3. 引抜き試験の結果およびその考察

(1) 引抜き耐力の評価

各ケースの引抜き耐力（最大荷重）を図-6 に、試験を実施したケース 2～4 の荷重－変位曲線を図-7 に示す。図-6 では、基準となるケース 1 の引抜き耐力（41.9kN）を 100%としたときの各ケースの引抜き耐力（3 試験の平均値）の比率を併記した。

ケース 2 の引抜き耐力は、ケース 1 の約 1 割増であった。本試験で生じ得る結果のバラつきを考慮すると、繊維シートへの接着により引抜き耐力は大きく変化しないこ

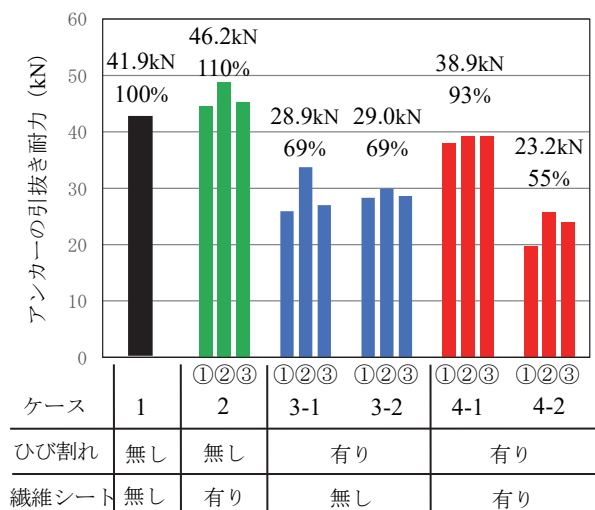
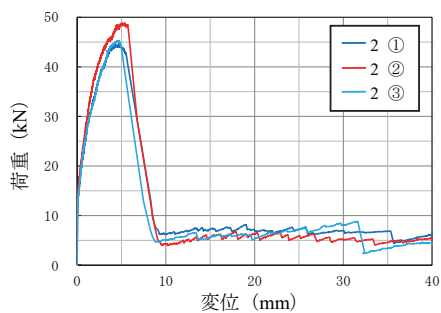
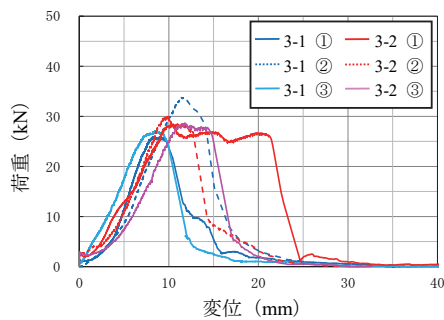


図-6 アンカーの引抜き耐力

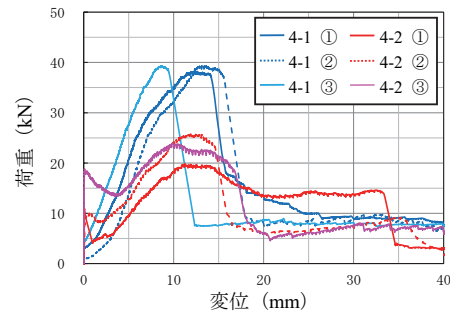
ケース	1	2	3-1	3-2	4-1	4-2
ひび割れ	無し	無し	有り	有り	有り	有り
繊維シート	無し	有り	無し	有り	有り	有り



(a) ケース 2

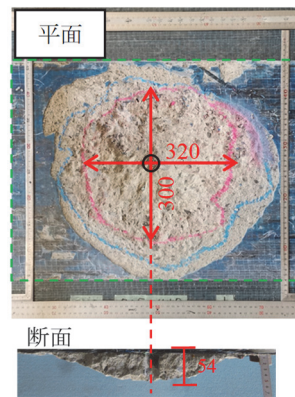


(b) ケース 3

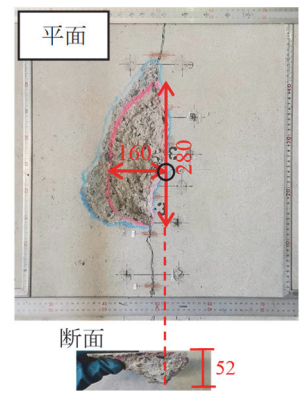


(c) ケース 4

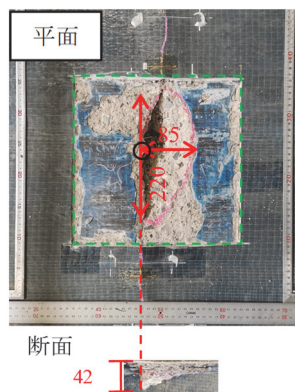
図-7 荷重－変位曲線



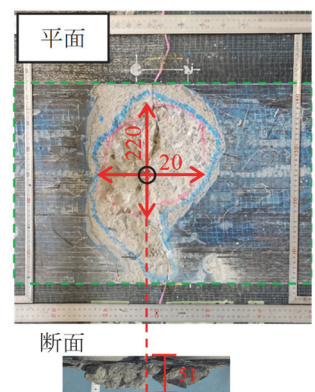
(a) ケース 2 ③



(b) ケース 3-1 ③



(c) ケース 4-1 ①



(d) ケース 4-1 ③

凡例 ○：アンカー打設位置

□：試験後に繊維シートを
切り取った範囲

写真-2 母材コンクリートの破壊状況
(代表ケース抜粋，寸法単位：mm)

とが示されたと言える。ひび割れを導入したケース 3 (3-1 および 3-2) の引抜き耐力は，ケース 1 の 3～4 割減で，これは既往の試験結果²⁾とも整合した。ひび割れ導入後に繊維シートを接着したケース 4-1 の 3 試験の引抜き耐力は，ケース 1 の 9 割程度となった。一方で，ケース 4-2 は，ケース 4-1 と同様の作業手順で試験を実施したにも関わらず，引抜き耐力が最も小さかった。

(2) 母材コンクリートの破壊形状に関する考察

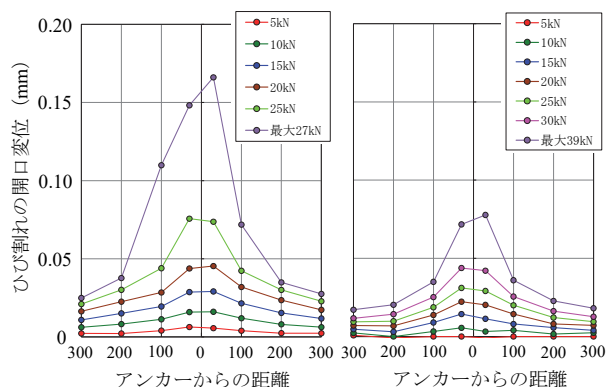
ケース 2 では，最大荷重に達した後，繊維シート下で，2. (2) で想定した母材コンクリートのコーン状破壊が生じた (写真-2 (a))。その後は，そのコンクリート片の剥離を繊維シートが抑制するモードへと移行した。ケース 1 と 2 では同様のコーン状破壊が生じており，これより両ケースで引抜き耐力もほぼ同等となったと考えられた。

ケース 3 および 4 の計 12 試験では，最大荷重に達した

後，基本的にひび割れの左または右のいずれか片側のコンクリートが引張破壊により剥離した (写真-2 (b) (c))。ただし，ケース 4-1 ③でのみ，ひび割れの左右両側のコンクリートが剥離した (写真-2 (d))。ケース 3 および 4 の引抜き耐力がケース 1 以下となった要因は，ひび割れの開口に伴ってスリーブの拡張部とコンクリートの摩擦力が低下し，さらに摩擦力の反力であるコンクリートの引張抵抗がひび割れの左右両側から均等に得られなくなったためと考えられた。そしてその結果，ひび割れが無ければコーン状破壊となるどころ，上述の“半コーン状破壊”が生じたものと考えられた。

(3) ひび割れの開口変位に関する考察

ケース 3 と 4-1 ①②では，いずれも“半コーン状破壊”が示されたものの，引抜き耐力に顕著な差異が認められた。ケース 4-1 ①②の引抜き耐力の平均値は 38.7kN であり，ケース 3 の平均値 28.9kN の 1.34 倍であった。そこで



(a) ケース 3-1 ③ (b) ケース 4-1 ②
(繊維シート無し) (繊維シート有り)

図-8 ひび割れの開口変位の分布

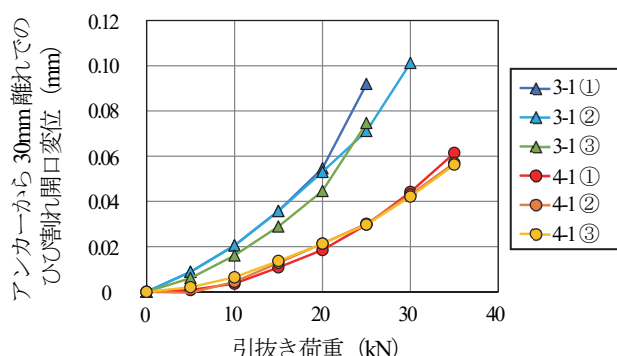


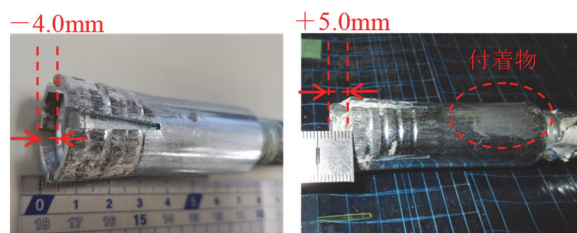
図-9 ひび割れの開口変位と荷重の関係

π 型変位計によるひび割れの開口変位について、ケース 3 および 4 のそれぞれ代表的な計測結果を図-8 に示す。開口変位は、各荷重段階でアンカー打設位置の近傍を最大として、ほぼ左右対称に分布し、繊維シートを接着したケースで開口変位が抑制される傾向が示された。

計測を実施したケース 3-1 と 4-1 の全 6 ケースを対象に、アンカーの最近傍である左右 30mm の位置での開口変位の平均値を算出した。荷重との関係を図-9 に示す。同図より、ケース 4-1 では各荷重段階での開口変位がケース 3-1 の 40%程度に抑制されていたことが分かった。これより、ケース 4-1 では、ケース 3 に対してスリーブとコンクリート孔壁間の摩擦力がより高く保持され、その結果、引抜き耐力の顕著な低下が抑制されたと考えられた。

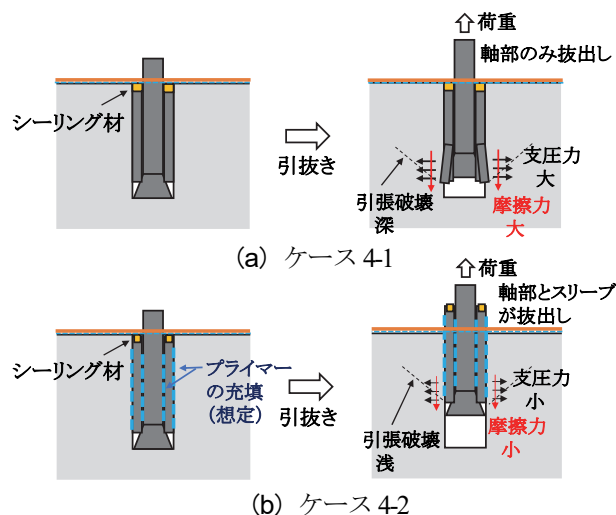
(4) 繊維シート接着ケースでの引抜き耐力の差異に関する考察

ケース 4-1 と 4-2 は、同様の作業手順で試験を実施したにも関わらず、両者の荷重－変位曲線に顕著な差異が認められ、ケース 4-2 の引抜き耐力はケース 3 よりも小さかった。引抜き試験後のアンカーの状態を確認したと



(a) ケース 4-1 ① (b) ケース 4-2 ②

写真-3 アンカー軸部のコーン先端とスリーブとの位置関係



(b) ケース 4-2

図-10 引抜き時のアンカー軸部とスリーブの挙動 (想定)

ころ、ケース 4-1 では軸部のコーンの先端がスリーブの内側まで潜り込んでスリーブが拡張されていた(写真-3 (a))。これに対し、ケース 4-2 ではコーンの先端はスリーブの外側に留まっており、2. (2) で記した引抜き荷重に伴うスリーブの拡張の進行が認められなかった(写真-3 (b))。それに加え、スリーブに付着物が認められ、これは固化したプライマーであった可能性が考えられた。また、図-7 (c) に示した通り、ケース 4-2 の 3 試験では、荷重開始時、ほとんど変位が生じず、荷重が 10～20kN となった際、アンカーが急に抜け出す挙動が認められた。ここで、当初スリーブはプライマーを介してコンクリートの孔壁に付着した状態にあり、一定の荷重に達した際にその付着が切れたものと推定された。

以上より、繊維シートを接着する際、アンカー打設孔の表面部をシーリング材により間詰めしたが、ケース 4-1 に比較してケース 4-2 ではその処置が十分でなく、アンカーの内部(軸部とスリーブの隙間)および周辺部(スリーブと孔壁の隙間)がプライマーで充填された可能性が考えられた。2. (2) でも記した通り、アンカーは、本来、引き抜かれることでスリーブの拡張が進み、スリーブとコンクリートの孔壁間の摩擦力が高まると想定さ

れる(図-10(a))。これに対してケース4-2では、はじめにスリーブとコンクリートの孔壁間でプライマーの付着切れが生じ、その後は軸部とスリーブが一体となって引き抜かれたことが、引抜き耐力の低下要因となった可能性が考えられた(図-10(b))。そして、コンクリートが引張抵抗を発揮する面積が比較的小さな状況で破壊に至ったものと考えられた。

以上より、実際の現場において繊維シート接着工を施工す際も、プライマーや接着剤がアンカーの内部および周辺部に充填されることのないよう留意が必要であると考えられる。また、本試験では、アンカーを下向きに打設しており、プライマー等が流下する厳しい条件であったと考えられる。実際の現場では、アンカーは上向きに打設され、繊維シートも天端や肩部に多く接着されるものと想定される。ただし、毛細管現象によりプライマーが重力に逆らってアンカー周辺部に含浸する可能性が考えられるため、留意が必要と考えられる。

(5) 最大荷重以降での繊維シートの挙動

アンカーの内部および周辺部がプライマーで充填されなかったと考えられるケース2およびケース4-1では、最大荷重以降、繊維シートはコーン状破壊したコンクリート片の剥離を抑制する挙動を示した。その間、図-7(a)の変位約9mm以降で示される通り、繊維シートとコンクリートとの接着が切れて剥離したり、シートの繊維自体が破断するたびに荷重が急減した。しかし、その都度、繊維シートの押抜きせん断試験で観察される挙動と同様に、剥離周長が増加し、本試験では5~10kN程度の荷重が残存した。そして、引抜き変位が50mm程度となるとアンカーが抜け出し、荷重がほぼ0となった。

繊維シートが5~10kNという一定の荷重に抵抗したことから、維持管理段階にあるトンネルにおいて、万一、アンカーでコーン状破壊が生じた場合も、繊維シートによって、覆工からの吊金具の脱落が一時的に阻止される可能性があると言える。しかし、トンネル安全対策工法研究会⁹⁾がコンクリート塊の剥落現象を対象に指摘したように、繊維シートに作用する荷重は、押抜きせん断試験では静的な変位制御型であるのに対し、実際の落下現象では動的な荷重制御型となる。そして、このときシートの剥離が安定的に進展し、耐荷力が発揮されるかは未解明である。これらのことから、この繊維シートによる残存荷重を、万一、アンカーでコーン状破壊が発生した際のバックアップとして考慮できるかについては、更なる検討が必要であると考えられる。

4. まとめ

トンネル内の附属物の取付部材の一つであるあと施工アンカーを対象に、その打込み状態や母材コンクリートの状態が引抜き耐力に及ぼす影響について調査研究を進めてきた。コンクリートのひび割れが引抜き耐力の低下要因となること等を既に知見として得ており、また、ひび割れ等の変状対策工の一つに繊維シート接着工があることを踏まえ、本研究では、母材コンクリートにひび割れを導入したり、ひび割れが繊維シートにより補修・補強された状況を模擬した試験体を作製し、スリーブ打込み式アンカーの引抜き耐力を評価した。得られた知見を以下に示す。

- ・ ひび割れの無いコンクリートに繊維シートを接着したケース(ケース2)の引抜き耐力は、基準ケースの引抜き耐力とほぼ同等であった。また、母材コンクリートのコーン状破壊が生じた後、繊維シートではそのコンクリート片の剥離を抑制する挙動が示された。
- ・ 母材コンクリートのアンカー打設位置に幅1.5mmのひび割れを導入したケース(ケース3)の引抜き耐力は、既往の研究²⁾での結果と同様に、基準ケースの引抜き耐力から3~4割低減した。
- ・ ひび割れを導入したコンクリートに対して繊維シートを接着したケース(ケース4)の引抜き耐力は、ケース4-1では基準ケースの引抜き耐力に比較して1割程度の低減となったのに対し、ケース4-2では4~5割の低減となった。ケース4-1では、繊維シートによりひび割れの開口が抑制され、このことが基準ケースに近い引抜き耐力が確保された要因であったと考えられた。一方、同様の作業手順で試験を実施したケース4-2であったが、アンカーの内部および周辺部がプライマーで充填された可能性が考えられた。その結果、引抜き載荷時、軸部とスリーブは一体となり、スリーブが拡張されないまま引き抜かれて十分な定着が取れなかったことが、引抜き耐力の低下要因となった可能性が考えられた。

今後更なる検討を進め、これらアンカーに関連する設計・施工・維持管理上の留意点等を各種ガイドラインにまとめていく所存である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路トンネル定期点検要領 平成31年2月，pp.21-32，2019。
- 2) 中村英佑，日下敦，古賀裕久：あと施工アンカーの耐荷力の低下要因に関する基礎的考察，土木技術資

- 料, Vol.60, No.8, pp.24-27, 2018.
- 3) 日下敦, 小出孝明, 砂金伸治: トンネル内の金属系
あと施工アンカーの引抜き耐力に関する基礎的実験,
トンネル工学報告集, Vol.27, I -46, pp.1-5, 2017.
 - 4) 日本道路協会 編: 道路トンネル技術基準 (換気
編) ・同解説 平成 20 年改訂版, pp.136, 2003.
 - 5) 土木学会 編: 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), pp.43, 2014.
 - 6) トンネル安全対策工法研究会 編: FRP によるトンネ
ル覆工剥落対策マニュアル, 山海堂, pp.45-55,
2003.

(2021. 8. 6 受付)

INFLUENCE OF CRACK OF LINING CONCRETE AND FIBER REINFORCED SHEETING ON PULL-OUT STRENGTH OF POST-INSTALLED ANCHOR

Yu KOIZUMI, Atsushi KUSAKA and Yoshitomo TATSUMI

In road tunnels, tunnel facilities such as jet fans are fixed to lining concrete by post-installed metal anchors. The conditions of the anchors and the concrete need to be carefully inspected to prevent the tunnel facilities from falling. The purposes of this research are to investigate the influences of cracks in the concrete and fiber reinforced sheeting on the pull-out strength of the anchors. We conducted a set of pull-out tests in the laboratory using concrete specimens in the conditions such as where a crack was introduced to and was reinforced by fiber sheet. As a result, it was found that fiber reinforced sheeting could improve the pull-out strength of the anchors to a certain degree in some cases, comparing the cases in which the anchors were installed in the concrete with a crack; however, fiber reinforced sheeting could also deteriorate the pull-out strength of the anchors, depending on the methods of sheeting.