

あと施工アンカーの信頼性向上に関する研究③

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 26～平 27

担当チーム：道路技術研究グループ（トンネル）

研究担当者：砂金伸治，日下敦

【要旨】

道路トンネル内には種々の附属物等が設置されており，その取付金具として，金属系あと施工アンカーを覆工に打設する場合が多い。今後の維持管理においては，覆工のみならず，このような取付金具類の点検も行うこととされたが，点検時に発見されることがあるアンカー周辺の覆工のひび割れや，取付金具の設置時に実施したナットの締付け力がアンカーの引抜き耐力に及ぼす影響に関して検討された事例はほとんどないのが実情である。本研究では，トンネル内の附属物の設置に使用されているあと施工アンカーに発生した不具合の実態を分析するとともに，トンネルの覆工コンクリートを模擬した供試体に設置した金属系あと施工アンカーに対して引抜き試験を実施し，アンカー周辺のひび割れの存在やナット締付けの影響について検討した。

キーワード：あと施工アンカー，トンネル，覆工，アンカー引抜き試験

1. はじめに

中央自動車道笹子トンネル内の天井板落下事故を受け，トンネル内の道路附属物等（トンネルジェットファン等の重量構造物）に係る一斉点検が実施された。その結果，安全上大きな問題はなかったと報告されているものの，附属物を定着するアンカーボルト等の不具合が確認され，その中にはジェットファン吊金具の定着部のコンクリートのひび割れも含まれていた。

道路トンネル内には種々の附属物等が設置されており，その取付金具として，金属系あと施工アンカーを覆工に打設する場合が多い。今後の維持管理においては，覆工のみならず，このような取付金具類の点検も行うこととされたが，点検時に発見されることがあるアンカー周辺の覆工のひび割れや，取付金具の設置時に実施したナットの締付け力がアンカーの引抜き耐力に及ぼす影響に関して検討された事例はほとんどないのが実情である。本研究では，覆工コンクリートを模擬した供試体に設置した金属系あと施工アンカーに対して引抜き試験を実施し，アンカー周辺のひび割れの存在やナット締付けの影響に対して，限られた条件下において基礎的な力学的挙動について検討した。

2. 実験の概要

アンカー引抜き装置の概要を図-1に示す。供試体は120cm×80cm×30cmの直方体のコンクリート製（設計基準強度18 N/mm²）である。このコンクリート供

試体に，スリーブ打込み式で，ねじ径M16，スリーブ長60mmのステンレス製あと施工アンカーを設置し，その後，アンカー引抜き試験を行った。なお，ケースによっては，後述するように，曲げ載荷により供試体にひび割れを発生させ，あるいはナット締付けを行ったうえで，アンカー引抜き試験を行った。

実施ケースの一覧は表-1のとおりである。

ケース1においては，コンクリート供試体にアンカーを設置した後，そのままアンカー引抜き試験を行った。

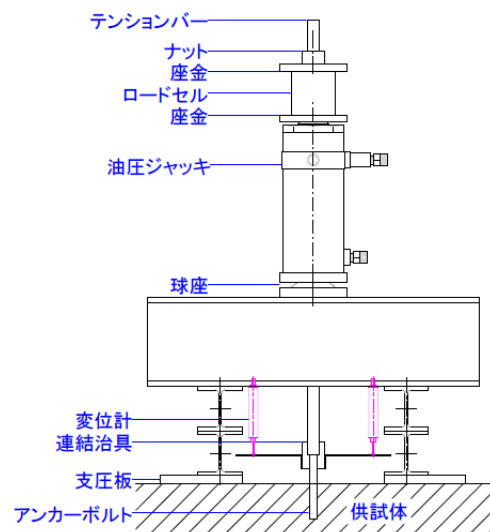


図-1 アンカー引抜き装置の概要

表-1 実験ケース

ケース	概要	試験回数
1	基本ケース	3
2	ひび割れ発生	1
3	ナット締付け	4

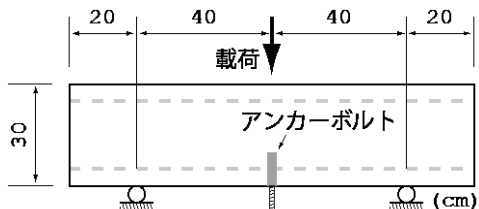


図-2 ひび割れ導入曲げ載荷の概要



写真-1 アンカー周辺のひび割れ発生状況

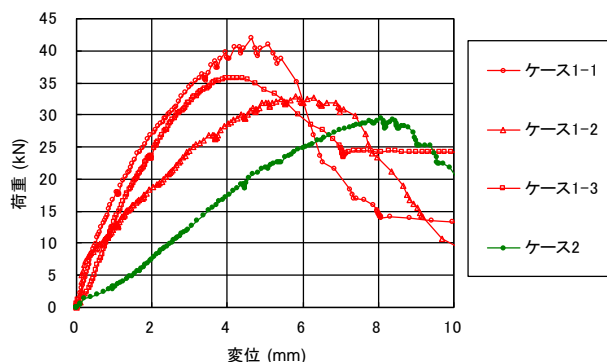


図-3 アンカー引抜き試験における荷重-変位曲線（ケース 1 とケース 2 の比較）



写真-2 コーン破壊の例（試行ケースにおける例）

ケース 2 においては、コンクリート供試体の中央付近にアンカーを設置した後、図-2 に示すように供試体に曲げ載荷を行い、アンカーのスリーブをまたぐように幅 0.3 mm のひび割れを発生させた(写真-1)。なお、曲げ載荷におけるコンクリート供試体の脆性的な破壊防止を目的として、D16 の鉄筋を供試体の 4 隅にかぶり 3 cm で設置した。

ケース 3 においては、M16 普通ボルトの標準締付けトルクである 106 Nm（実験で用いたアンカーボルトの標準締め付けトルクの約 1.6 倍）で締付けを行った。標準的なナット等の場合は、この締付けにより 33 kN の標準軸力がボルトに発生することになるが、本研究で用いたナットには緩み止め機構が備えられており締付け時の摩擦が大きいため、実際に発生した初期軸力はこれよりも小さいものと考えられる。

3. 覆エコンクリートのひび割れの影響

図-3 に、アンカー引抜き試験における荷重-変位関係において、ケース 1 とケース 2 を比較したものを示す。図中のケース番号に付した枝番 (-n) は、複数回行ったケースの n 回目を示す。ただし、ケース 2 において

は、複数の供試体を作成したものの、ひび割れ導入曲げ載荷において意図したひび割れが発生した供試体が 1 体のみであったため、1 回の結果のみを示す。なお、いずれのケースにおいても、写真-2 に例示するようなコーン状の破壊形態を示した。

図中に赤色で示したケース 1（基本ケース）においては、引抜き耐力は 3 回の平均で 37 kN であった。一方、緑色で示した、ひび割れを導入したケース 2 においては、引抜き耐力は 29 kN となり、基本ケースと比べて約 2 割低減した。また、載荷初期における荷重-変位曲線の傾きも小さくなった。これは、ひび割れの存在によりアンカーの定着力の低下に影響を及ぼしている可能性があることを示していると考えられる。

以上の結果から、アンカー周辺にひび割れが存在する場合は、アンカー引抜き試験における荷重-変位曲線の傾きが緩やかになるとともに、健全なアンカーに比べて引抜き耐力が低下する可能性があることが分かった。ただし、ケース 2 は実験が 1 回しか実施されていないこと、支圧板によりアンカー引抜き試験時にひび割れ幅の増大が抑制されている可能性があることに留意する必要がある。

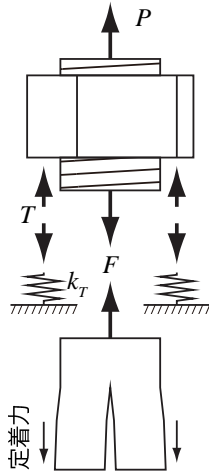


図-4 力のつり合い

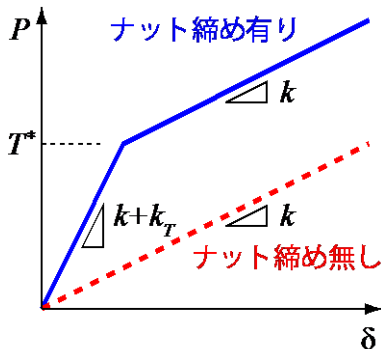


図-5 初期の荷重-変位曲線 (概念図)

4. ナット締め付けの影響

ナット締め付けを行った場合のアンカー引抜き試験における上下方向の力のつり合いを模式的に図-4に示す。ジャッキからの引抜き荷重 P 、アンカー定着部に作用する引抜き荷重 F 、トルク締め付けによる軸力 T (= 供試体からの反力) の関係は、

$$F = P + T \quad (1)$$

となる。簡単のため、アンカー引抜き試験における引抜き変位 δ はアンカー全長にわたって一定 (すなわちアンカーボルトは剛体) とし、 T はばね定数 k_T を介して δ と一次の関係にあると仮定すると、

$$T = T^* - k_T \delta \quad (2)$$

となる。ここで T^* はナット締め付けによる初期軸力であり、 k_T は供試体からの反力ばねに相当する値 (ただし $T \leq 0$ では $k_T = 0$ となるノーテンションばね) である。また、ナット締め付けがない場合のアンカー引抜き試験時の荷重-変位曲線の傾きを k とすると、初期軸力 T^* を考慮する場合のアンカー定着部の引抜き荷重 F は以

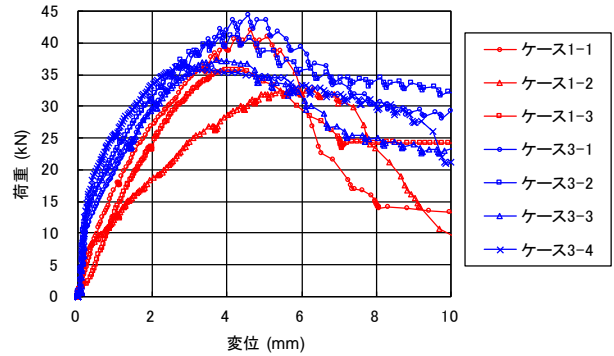


図-6 アンカー引抜き試験における荷重-変位曲線 (ケース1とケース3の比較)

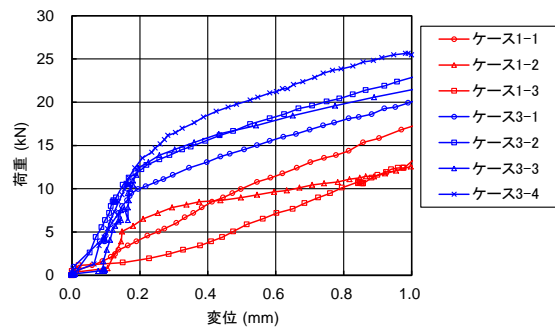


図-7 アンカー引抜き試験における荷重-変位曲線 (ケース1とケース3の比較) (原点付近の拡大図)

下の式で表される。

$$F = T^* + k\delta \quad (3)$$

式(2)(3)を式(1)に代入することにより、ジャッキによる引抜き荷重 P と変位 δ の関係が次式により求まる。

$$P = (k + k_T)\delta \quad (4)$$

すなわち、ナット締め付けにより、アンカー引抜き試験における荷重-変位曲線の傾きは、締め付けが無い場合に比べて k_T の分だけ大きくなる。ただし、ナットが母材から離れて $T=0$ となった時点で $k_T=0$ となり、従来の傾きになる。これを図化すると図-5のようになる。

図-6に、アンカー引抜き試験における荷重-変位関係において、ケース1とケース3を比較したものが示す。ケース3の最大荷重は平均で40 kNであり、ケース1とほぼ同等のものであった。図-7は、図-6から載荷初期段階の部分を拡大して示したものである。実験結果からも、上述の通り載荷初期段階ではケース3の荷重-変位曲線の傾きが大きくなっているが、ナット締め付けによる初期軸力を超過する引抜き荷重 (10~15 kN程度) が作用した時点以降は、ケース1と同等の傾きとなっていることが分かる。これは、ナットで締め付けられたアンカーの引抜き試験を現場で行う場合は、初期

の荷重-変位曲線ナット締付けの影響 (k_T に相当) を受け、傾きが大きくなることに留意する必要があることを示唆している。

5. おわりに

上記の実験結果から得られた主な維持管理上の留意点を以下に示す。ただし、限られた条件において限られた数量のアンカー引抜き試験から得られたものであることに留意する必要がある。

- a) アンカー周辺の覆工にひび割れが存在する場合は、アンカー引抜き試験における荷重-変位曲線の傾きが緩やかになるとともに、健全なものに比べて引抜き耐力が低下する可能性がある。
- b) アンカー引抜き試験における荷重-変位曲線の傾きは、ナット締付けにより大きくなるが、最

大荷重はナット締付けを行わない場合とほぼ同等である。すなわち、原位置でアンカー引抜き試験を行った場合に、初期の荷重-変位曲線の傾きが大きいが、必ずしも引抜き耐力が大きいかを示すとは限らないことに留意する必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省：トンネル内の道路附属物等（重量構造物）の一斉点検結果について，報道発表資料，http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000316.html，2013年5月参照。
- 2) 国土交通省道路局：道路トンネル定期点検要領 平成26年6月，2014。

RESEARCH ON RELIABILITY IMPROVEMENT OF POST INSTALLATION ANCHOR (3)

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2014-2015

Research Team : Road Technology Research
Group (Tunnel)

Authors : ISAGO Nobuharu
KUSAKA Atsushi

Abstract: Post installation anchors are widely used for concrete structures and regularly used also for road tunnel linings. The reliability of the anchors is becoming more important not only in the construction stage but also in the maintenance stage, in addition to the reliability of fixing strength of anchor.

In this study, actual defects related to anchor bolts for tunnel facilities are analyzed. In addition, pull-out tests for mechanical post installation anchors on a specimen of tunnel lining were conducted to examine the influence of cracks around the anchor and fastening torque of the anchor. Major conclusions include:

- 1) Cracks around the anchor possibly decrease the load-bearing capacity and stiffness on the load-displacement curve.
- 2) Initial gradient of the load-displacement curve are increased by fastening the anchor with a nut.

Keywords: post installation anchor, tunnel, lining, pull-out test