

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

中村英佑・日下 敦・古賀裕久

1. はじめに

道路トンネルでは、換気用のジェットファン等の附属物を覆工コンクリートに設置するための取付金具として、金属系あと施工アンカーを使用することが多い¹⁾。一般に、設計ではアンカーの強度をジェットファン本体の静荷重によって作用する荷重の15倍以上とすることが望ましいとされている²⁾が、安全率の根拠等は明示されていない。また、トンネルの維持管理では、覆工コンクリートに加えて、取付金具類の点検も行い、目視や触診等によって設置状況に異常が発見された場合には取替え等の措置が講じられる。しかし、覆工コンクリートのひび割れや設置状況の異常等がアンカーの耐荷力に与える影響は、十分には明確にされていない。

そこで、土木研究所先端材料資源研究センターとトンネルチームでは、あと施工アンカーの設計、施工、維持管理の標準的な方法や留意点を取りまとめることを目的として共同で検討を行っている^{1),3)}。本稿では、文献1)の検討を踏まえて、金属系あと施工アンカーの耐荷力の低下要因について追加的に実験を行って検討した結果を報告する。

2. アンカーの設置方法と耐荷力の低下要因

本稿で使用したアンカーの設置方法とコーン状破壊の概略を図-1、文献1)と本稿で検討対象とした耐荷力の低下要因を表-1に示す。スリーブ打込み式の金属系あと施工アンカーでは、コンクリートに所定の直径の孔を穿孔した後、アンカーを孔内に仮置きし、スリーブを打ち込んでコンクリートに固着させる。引張荷重作用時の一般的な破壊モードは、アンカー先端を起点とするコーン状破壊である。このため、アンカー周囲のコンクリートにひび割れが発生している場合や、施工方法が不適切でアンカーを設置する孔の状態等が設計時の想定と異なる場合には、耐荷力に影響が生じる可能性が高い。

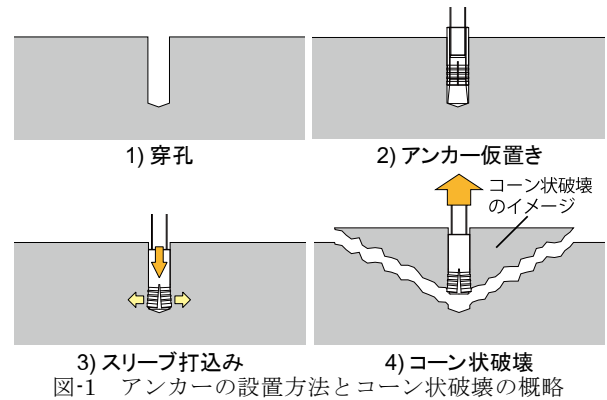


表-1 文献1)と本稿で検討対象とした耐荷力の低下要因
アンカー設置作業や穿孔作業が不適切に行われた場合

1	アンカー設置用の孔の深さを過大に穿孔
2	アンカー設置用の孔の深さを過小に穿孔
3	アンカーの埋込みの不足
アンカー周囲のコンクリートに変状が生じた場合	
4	アンカー設置位置のコンクリートにひび割れ発生
5	アンカー設置位置の周辺のコンクリートにひび割れ発生
アンカー設置作業や穿孔作業が不適切に行われた場合	
6	アンカー設置用の孔の穿孔作業後の清掃不良
7	アンカー設置用の孔の内部の水浸し
8	アンカー設置用の孔の直径を過大に穿孔

No.1～3: 文献1)で検討結果を報告済み

No.4～8: 本稿で検討結果を報告

文献1)では、アンカー設置用の孔の深さやアンカーの埋込み深さが小さい場合に耐荷力が低下することを報告している。本稿では、コンクリートのひび割れや、文献1)の検討対象以外で想定される不適切な施工方法(穿孔作業後に孔内が清掃されなかった場合、孔内が水で浸された場合、孔の直径が過大に穿孔された場合)がアンカーの引張耐力に与える影響について検討した結果を報告する。

3. 実験方法

3.1 使用材料

試験体には、呼び強度 24N/mm² のコンクリートを用いた。床に静置した試験体に下向きにハンマードリルで深さ 68mm の孔を穿孔し、アンカーを設置した。アンカーは、スリーブ打込み式の金属系あと施工アンカー(ねじの呼び M16、外径 21.7mm、埋込み長さ(l_e)60mm、ステンレス製)である。

3.2 実験パラメータ

実験パラメータと試験体の概要を表-2に示す。

表-2 実験パラメータと試験体の概要

実験パラメータ	試験体名	試験体寸法 (mm)			コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	アンカー 埋込み長さ l _e (mm)	ひび割れ幅 目標値 (mm)	ひび割れから アンカーまでの距離 (mm)	施工方法	アンカー設置用孔 直径 (mm)	アンカー 実験数
		縦	横	高さ							
基準	A	830	1520	300	33.8	60	—	—	適切	22	4
ひび割れ 幅	B	830	1690	300	33.8	60	0.2 mm以下	0	適切	22	6
							0.5 mm前後				6
							1.0 mm前後				6
ひび割れ 位置	C	830	1690	300	33.8	60	1.5 mm前後	0	適切	22	6
								30 (0.5l _e)			6
								60 (1.0l _e)			6
不適切な 施工方法	D	830	1520	300	33.8	60	—	—	清掃不良	22	4
									水浸し	22	4
									孔径過大	24	4

※試験体1体あたりのアンカー設置数:「A試験体」2カ所、「B試験体」3カ所、「C試験体」3カ所、「D試験体」2カ所

※ひび割れ幅の実測値:「0.2 mm以下」0.1~0.2 mm、「0.5 mm前後」0.3~0.7 mm、「1.0 mm前後」0.9~1.1 mm、「1.5 mm前後」1.3~1.5 mm

基準とするアンカーの引張耐力を把握するために、A 試験体では、適切な施工方法でアンカーを設置し、ひび割れを導入せずに引張試験を行った。

ひび割れの影響を検討した B、C 試験体では、図-2 に示すように、アンカー設置後に試験体の貫通孔にくさびを挿入してひび割れを導入した⁴⁾。ひび割れ幅の影響に着目した B 試験体では、ひび割れ幅の目標値を 1)0.2mm 以下、2)0.5mm 前後、3)1.0mm 前後の 3 種類として、アンカー設置位置とひび割れを同じ位置とした。ひび割れ位置の影響に着目した C 試験体では、ひび割れ幅の目標値を B 試験体よりも大きい 1.5mm 前後として、アンカー設置位置からひび割れまでの距離を 1)0mm(アンカー設置位置とひび割れを同じ位置に設定)、2)30mm(0.5l_e)、3)60mm(1.0l_e)の 3 種類とした。

不適切な施工方法の影響を検討した D 試験体では、1)穿孔作業時および穿孔作業後に孔内の清掃を全く行わなかった場合 (以下「清掃不良」という。)、2)穿孔作業後に孔内を水で完全に浸した場合 (以下「水浸し」という。)、3)アンカー設置用の孔の直径を過大とするために直径 24mm のドリルで穿孔を行った場合(以下「孔径過大」という。))の 3 種類でアンカーを設置した。このアンカーの標準的な孔の直径は 22mm である。

3.3 引張試験

引張試験の実施状況を図-3 に示す。引張試験時の载荷速度を約 3kN/s⁵⁾とし、アンカーに作用する引張荷重をロードセル、試験体表面から約 10mm の位置でのアンカーの変位を変位計で測定した。

4. 実験結果と考察

4.1 ひび割れ幅の影響

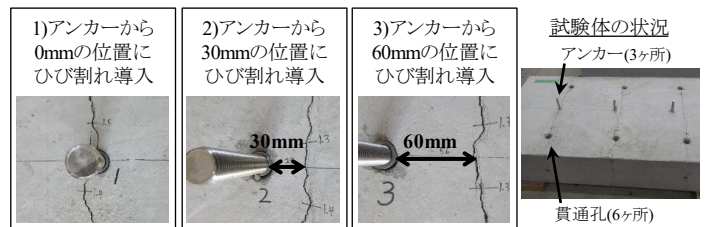


図-2 ひび割れの導入状況

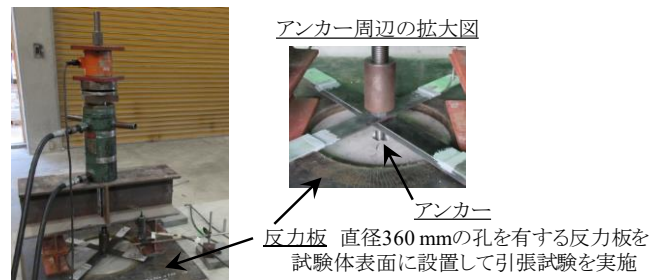


図-3 引張試験の実施状況

コンクリートのひび割れ幅を変化させた試験体での実験結果を図-4 に示す。図-4(1)では、ひび割れ幅 0mm に示した結果はひび割れのない試験体での結果であり、これらの平均値も併記した。

図-4(1)のひび割れ幅と引張耐力の関係に着目すると、ひび割れ幅が大きい試験体ほど引張耐力が小さくなる傾向にあった。ひび割れ幅が 1.5mm 程度の試験体の引張耐力は、ひび割れのない試験体の平均値の約 60%に低下することがあった。

次に、図-4(2)の荷重-変位曲線の形状に着目すると、ひび割れ幅が大きい試験体ほど引張荷重作用時のアンカーの拔出し量が大きくなり、荷重-変位曲線の傾きが小さくなった。アンカーの設置位置の検討やアンカーの定期点検を行う際には、アンカー設置位置のひび割れの有無を入念に確認することが重要と考えられる。

図-4(3)の破壊状況に着目すると、「ひび割れ幅

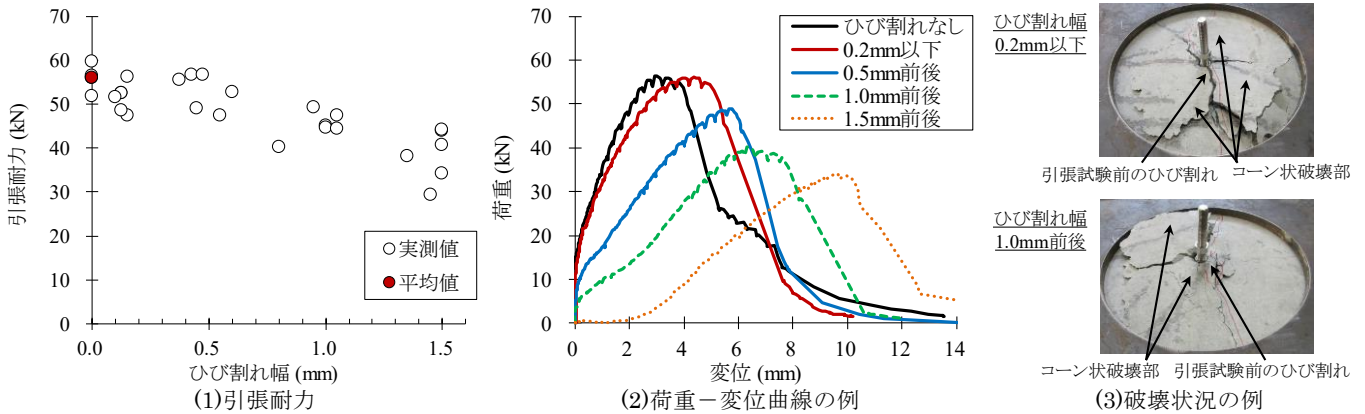


図-4 ひび割れ幅が異なる場合の実験結果

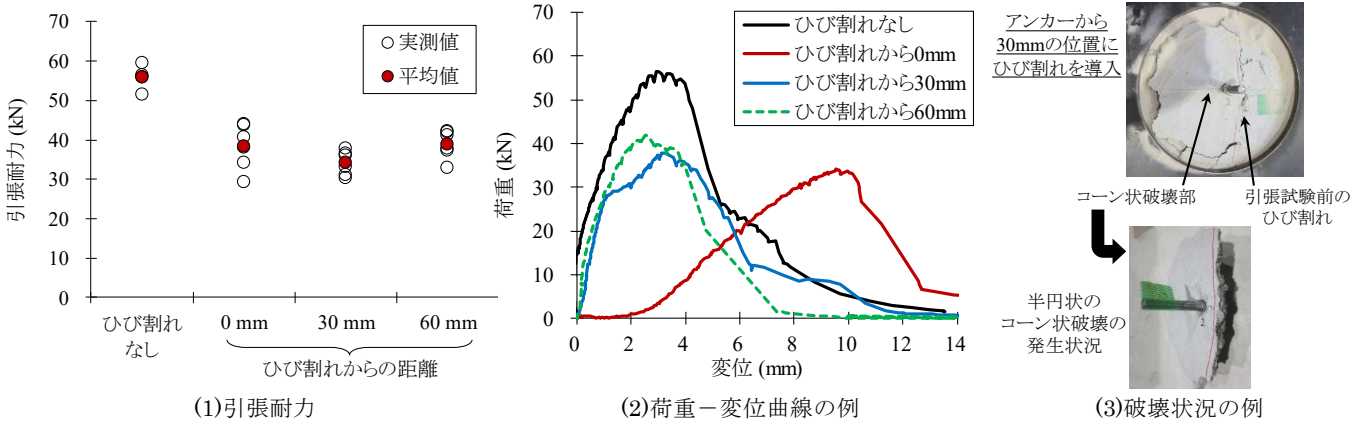


図-5 ひび割れ位置が異なる場合の実験結果 (ひび割れ幅1.5mm前後)

0.2mm 以下」でひび割れ幅が小さい試験体ではひび割れの両側でコーン状破壊が生じたが、「ひび割れ幅 1.0mm 前後」のようにひび割れ幅が大きい試験体ではひび割れの片側のみでコーン状破壊が生じることが多くあった。ひび割れ幅が大きい試験体では、アンカー先端のスリーブがコンクリートの孔壁に十分に固着されなかったために、コーン状破壊がひび割れの片側のみで生じ、引張耐力の低下やアンカーの抜出し量の増加が生じたと考えられる。

4.2 ひび割れ位置の影響

コンクリートのひび割れ位置を変化させた試験体での実験結果を図-5 に示す。図-5(1)のひび割れ位置と引張耐力の関係に着目すると、ひび割れのある試験体では、ひび割れのない試験体と比較して、ひび割れからアンカーまでの距離の違いにかかわらず、引張耐力が小さくなった。アンカー設置位置の周囲にひび割れのある試験体では、ひび割れによってコーン状破壊部にあらかじめ損傷が生じていたために、図-5(3)に例示したような半円状のコーン状破壊が生じ、引張耐力が低下したと考えられる。アンカーの設置位置の検討や定期点検を行う際には、アンカー設置位置だけでなく、アンカー周囲のひび割れの有無も確認することが重要と考えられる。

次に、図-5(2)の荷重-変位曲線の形状に着目すると、ひび割れのない試験体と比較して、アンカー設置位置にひび割れがある試験体では荷重-変位曲線の傾きが小さくなったが、ひび割れからアンカー設置位置までの距離が 30、60mm の試験体では荷重-変位曲線の傾きは同程度であった。アンカー設置位置とひび割れが離れている場合には、アンカー先端のスリーブとコンクリートの孔壁との固着が阻害されることがなかったためと考えられる。

4.3 不適切な施工作業の影響

不適切な施工作業を行った試験体の実験結果を図-6 に示す。図-6(1)によると、引張耐力は、適切な施工方法でアンカーを設置した場合と比較して、水浸しの場合には同程度であったが、清掃不良と孔径過大の場合に小さくなった。引張耐力の平均値を比較すると、引張耐力は、適切な施工方法でアンカーを設置した場合と比較して、清掃不良の場合に約 80%、孔径過大の場合に約 50%に低下した。

次に、図-6(2)の荷重-変位曲線の形状に着目すると、適切な施工方法でアンカーを設置した場合と比較して、清掃不良の場合と水浸しの場合には荷重-変位曲線の傾きは同様であったが、孔径過大の場合にはアンカーの抜出し量が大きく、荷重-変位曲

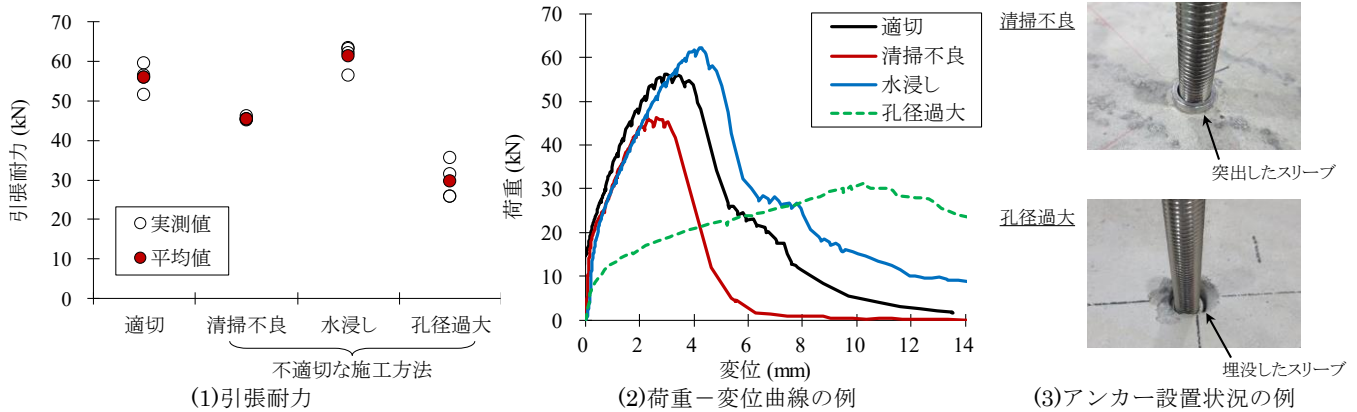


図-6 不適切な施工作業を行った場合の実験結果

線の傾きが小さくなった。

図-6(3)に例示したように、清掃不良の場合には、穿孔作業時に生じた切粉が孔内の底に蓄積したために、アンカー先端のスリーブが孔内に適切に挿入されず、試験体表面に突出した状態であった。この結果、アンカー先端のスリーブの埋込み深さが小さくなり、引張耐力が低下したと考えられる。一方、孔径過大の場合には、孔の直径が大きいために、アンカー先端のスリーブが孔の底まで挿入され、孔内に埋没した状態であった。この結果、アンカー先端のスリーブがコンクリートの孔壁に十分に固着されず、引張耐力の低下やアンカーの拔出し量の増加の程度が大きくなったと考えられる。アンカーを設置する際には、穿孔作業後の清掃を十分に行うこと、アンカー設置用の孔の直径が過大にならないように穿孔作業を適切に行うことが重要と考えられる。

5. おわりに

本稿では、金属系あと施工アンカーの耐荷力の低下要因について検討した結果を報告した。アンカー設置位置のひび割れ幅が大きいほど耐荷力が低下すること、アンカー周囲にひび割れが生じている場合にも耐荷力が低下することから、アンカーの設置位置の検討や定期点検では、アンカー設置位置に加え

て、アンカー周囲のひび割れの有無を入念に確認することが重要である。また、アンカー設置用の孔の直径が大きいと耐荷力が大幅に低下することから、設置作業では孔の直径が過大にならないように穿孔作業を行うことが重要である。

なお、本稿で示した知見は理想化された要素実験から得られたものであるため、実際のトンネルでのアンカーの設置や点検については、個別の条件も十分に考慮して行うことが重要である。

参考文献

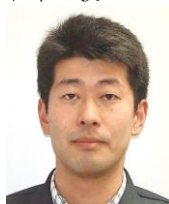
- 1) 日下敦、小出孝明、砂金伸治：あと施工アンカーの力学的挙動に関する基礎的考察、土木技術資料、第59巻、第11号、pp.16～19、2017
- 2) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準(換気編)・同解説、平成20年改定版、pp.136～137、2008
- 3) 川上明大、中村英佑、古賀裕久：荷重方法と施工条件が接着系あと施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響、土木技術資料、第58巻、第5号、pp.12～15、2016
- 4) 中村英佑、栗原勇樹、古賀裕久：金属系あと施工アンカーの引張耐力に関する基礎的研究、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、Vol.17、pp.69～72、2017
- 5) 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

中村英佑



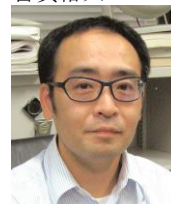
土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ主任研究員、博士(工学)
Dr. Eisuke Nakamura

日下 敦



土木研究所道路技術研究グループトンネルチーム 上席研究員
Atsushi KUSAKA

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、博士(工学)
Dr. Hirohisa KOGA