

# あと施工アンカーの力学的挙動に関する基礎的考察

日下 敦・小出孝明・砂金伸治

## 1. はじめに

道路トンネル内には、換気用のジェットファン等の附属物を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が覆工に設置されることが多い。ジェットファンの取付金具の設計においては、一般にファン本体の静荷重の15倍以上の強度が確保されている<sup>1)</sup>が、安全率の根拠等について明示されたものがないのが現状である。トンネルの維持管理においては、覆工だけでなく、このような附属物の取付金具類の点検も行うこととされており<sup>2)</sup>、目視や触診等により異常が発見された場合は経験的な知見をもとに金具の取替え等の措置が講じられている。しかしながら、アンカーの詳細な点検手法は限られており、点検によりアンカー周辺の覆工のひび割れやアンカー打込み不足等、取付状態の異常が発見された場合<sup>3)</sup>においても、それらの異常が引抜き耐力に及ぼす影響等<sup>4)</sup>について十分には解明されていない。

このような状況を踏まえ、本研究では、アンカーの合理的な維持管理手法の確立に資する基礎的な力学的挙動に関する知見を得ることを目的に、アンカーの打込み不足や削孔長の過不足といった施工に起因する不具合がアンカーの引抜き耐力に及ぼす影響について、要素実験により検討を行った。

## 2. 実験の概要

### 2.1 実験の概要

アンカー引抜き試験に用いる供試体の形状は、図-1に示すように、長さ1200mm×幅800mm×厚さ300mmの直方体とした。供試体材料は、一般的なトンネル覆工を想定し、設計基準強度18N/mm<sup>2</sup>のプレーンコンクリートとした。なお、実験時の供試体の取り回し等を考慮し、供試体4隅にD16の鉄筋をかぶり30mmで設置した。

アンカー引抜き試験は、実験用に組み立てたアンカー引抜き装置により行った。写真-1および図-2にアンカー引抜き装置の概要を示す。作製した供試体にアンカーボルトを打設した後、H形鋼による台座や油圧ジャッキ、ロードセル等で構成されるアンカー引抜き装置を設置した。アンカー引抜き装置の下部には開口径32cmの支圧板を設置した。この開口径は、アンカー引抜き試験において、引抜き装置の脚部支点間隔を短くすると破壊形状や引抜き耐力に影響が出る懸念があること<sup>5)</sup>を考慮し、母材コンクリートが円錐状に破壊する、いわゆるコーン状破壊を妨げないように配慮して決定したものである。

実験の手順は図-3に示す通りであり、供試体に削孔した後、金属系あと施工アンカーを打設し、アンカー引抜き試験を行った。

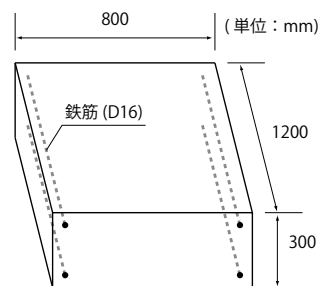


図-1 供試体寸法



写真-1 アンカー引抜き試験の様子

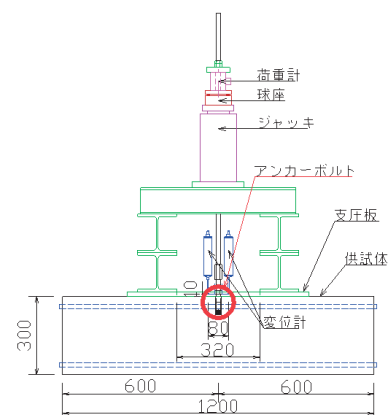


図-2 アンカー引抜き装置の概要

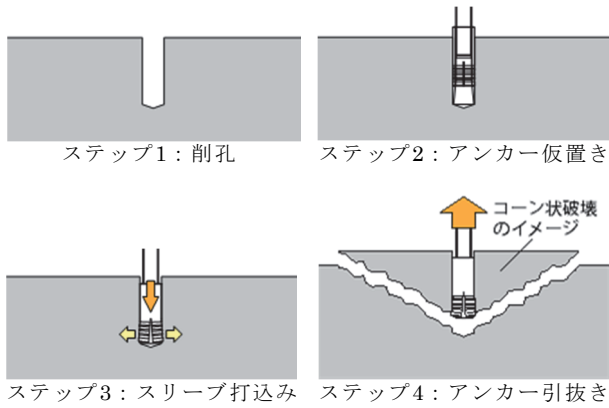


図-3 アンカー引抜き試験の手順

アンカーは、スリーブ打込み式、ねじ径M16、スリーブ長60mm、ステンレス製、削孔径22mm、削孔長68mmのものを使用した。一般的なジェットファンの取り付けにおいては、ねじ径M24程度のアンカーが用いられることが多いが、本研究では、実験施設の制約等からねじ径M16のアンカーを使用した。参考値として、あるメーカーのカタログ記載の数値と比較すると、ジェットファンの取付金具として施工実績を有するねじ径M24、スリーブ長140mmの同種のアンカーは、本研究で用いたアンカーの約4倍の引抜き耐力を有している。

なお、本研究で用いたスリーブ打込み式のアンカーは、先端部が広がったテーパ付きのボルトと、その外側に設置されるスリーブの2つの部品で構成されている。アンカー打設においては、スリーブを打ち込むことによりスリーブ先端が広がり、スリーブが孔壁に食い込むことにより定着するという構造となっている。すなわち、アンカーはスリーブ先端において集中的に定着する。また、ボルトを引き抜くとスリーブはより孔壁に食い込むことになり、アンカー打設後はアンカー自体が抜け出る可能性が低い構造である。これにより、十分な開口径を有する支圧板を用いてアンカー引抜き試験を行うことで、図-3のステップ4に示すようなコーン状破壊を示す可能性が高いと考えられる。

2.2 実験ケース

本研究で実施した実験ケースを表-1および図-4に示す。全てのケースにおいてそれぞれ最低3回ずつの引抜き試験を行うことを基本としたが、供試体数量を確保できたケースについては、4回以

上の試験を行った。

表-1 実験ケース一覧

ケース	アンカーボルトの状態	概要	削孔長 (mm)	試験体数
1	通常	通常のアンカーボルト施工	68	6
2	打込み不足	アンカーボルト施工において、スリーブが供試体表面から約5mm出た状態で打込みを終了	68	3
3	削孔不足	削孔長を通常より20mm短くしてアンカーボルトを施工	48	4
4	削孔過剰	削孔長を通常より20mm長くしてアンカーボルトを施工	88	4

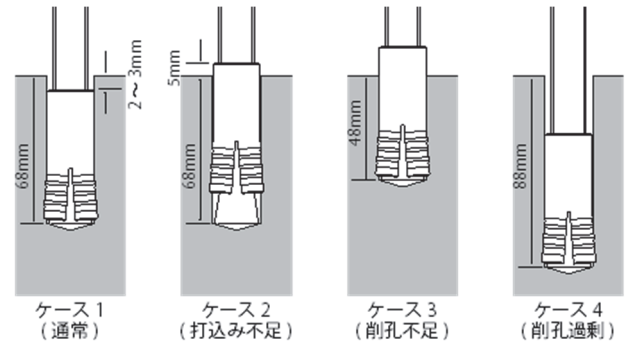


図-4 実験ケースの概要

ケース1は、通常のアンカー施工を行ったものである。アンカーは、図-3のステップ1～3に示したように、供試体に標準的な削孔長68mmの削孔を行った後、スリーブを打ち込むことにより定着させた。本研究のケース1においては、供試体表面から2～3mm程度の深さまでスリーブが打ち込まれた。

ケース2は、通常の削孔を行ったものの、アンカー打設時のスリーブ打込み量が不足した場合を想定したケースである。通常のアンカー施工では、供試体表面よりも深い位置までスリーブが打ち込まれるのに対し、ケース2では供試体表面より5mm程度スリーブが突出した状態で打込みを終了した。

ケース3は、削孔長が不足した場合を想定したケースであり、本研究で用いたアンカーの標準的な削孔長68mmに対し、20mm短い48mm程度の削孔長とした。

ケース4は、削孔を過剰に行った場合を想定したケースであり、標準的な削孔長より20mm長い88mm程度の削孔長とした。

なお、アンカー引抜き試験実施日における供試体のコンクリートの一軸圧縮強さ（別途用意した管理用円柱形供試体の一軸圧縮試験による）はい

ずれのケースにおいても約27N/mm<sup>2</sup>であった。

### 3. 実験結果と考察

図-5に、ケース1～4における荷重-変位曲線を示す。また、図-6に引抜き耐力（最大荷重）を示す。

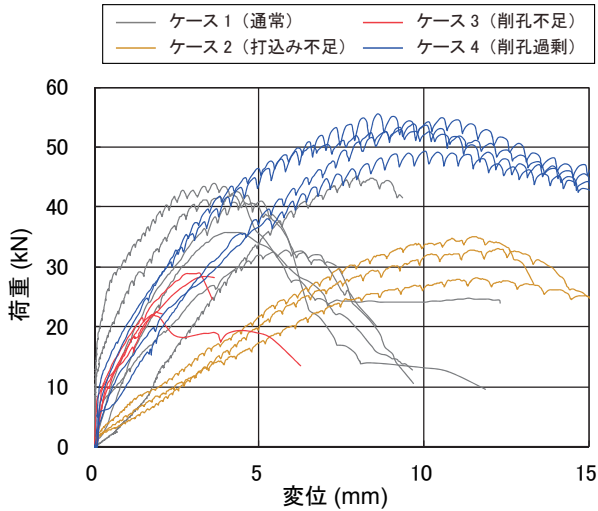


図-5 ケース1～4の荷重-変位曲線

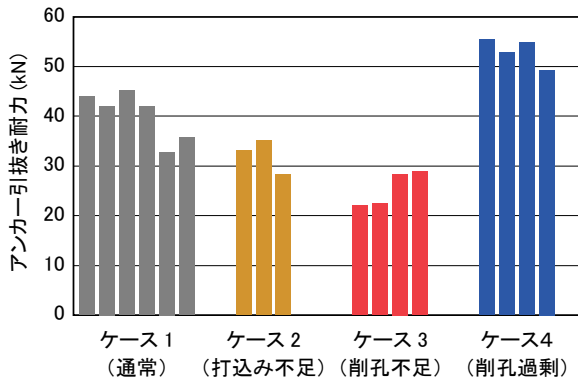


図-6 各ケースにおける引抜き耐力(最大荷重)

#### 3.1 通常の施工を行ったケースの結果

通常の施工を行ったケース1においては、同一の引抜き試験を6回行った。

荷重-変位曲線の傾きは、ある程度の荷重が作用した後は概ね同程度であるが、荷重の小さい20kN程度以下の領域では大きな個体差（バラツキ）を有する結果となった。現場においてあと施工アンカーの引抜き試験を行う場合は、最大荷重まで荷重をかけず、破壊荷重の2/3程度にとどめた載荷<sup>6)</sup>を行う場合もあると想定されることから、得られた結果の評価にあたっては、荷重-変位曲線の傾きのバラツキにも留意する必要がある。

また、引抜き耐力は平均で40kNとなったが、6回の試験における引抜き耐力の最大値は45kN、

最小値は33kNであり、平均値と比較して1～2割程度のバラツキがある結果となった。本研究において実施したようなアンカー引抜き試験により引抜き耐力を評価する際にも、このようなバラツキを生じる傾向があることを考慮する必要があると考えられる。ただし、本研究で得られたバラツキの程度は、本研究における実験条件に固有のものか否かについては十分に検証できていないため、実構造物におけるバラツキの程度については今後の検討課題と言える。

なお、破壊形態は、写真-2に示すように、コーン状破壊となった。これは以降に示すケースでも同様であり、引抜き試験実施後に行った目視観察では、破壊形態に明確な差異は確認されなかった。



写真-2 引抜き試験後の状態の一例（ケース1の例）

#### 3.2 アンカー打設時の施工の不具合の影響

スリーブの打込み不足を想定したケース2においては、3回の試験を行った。荷重-変位曲線の傾きは、ケース2の3回の試験では同程度であったが、他のケースと比較して小さいものとなった。これは、スリーブの打込み不足によりスリーブが十分に開いておらず、ボルトの引抜きにともなうスリーブが開くことによりボルトの変位が大きくなったためと考えられる。また、引抜き耐力は平均で32kNとなり、ケース1と比較して2割程度低下する結果となった。これはスリーブの先端部の位置がケース1と比較して浅く、コーン破壊面の面積が小さくなることにより、引抜き耐力の低下につながったものと考えられる。なお、ケース2において引抜き試験を実施する前にボルトを手で揺らすと、ぐらつきがあったことから、このようなケースは触診により異常を確認できる可能性があると考えられる。

削孔長の不足を想定したケース3においては、4回の試験を行った。荷重-変位曲線の傾きはケース1や4と比較して大きく変わらないが、引抜き

耐力の平均は25kNとなり、ケース1と比較して4割程度低下する結果となった。ケース3は、ケース2と比較してもスリーブの位置が浅く、コーン破壊面の面積が小さくなることにより、引抜き耐力のさらなる低下につながったものと考えられる。

削孔長が標準よりも長くなった場合を想定したケース4においては、4回の試験を行った。荷重-変位曲線の傾きはケース1や3と比較して大きく変わらず、引抜き耐力の平均も53kNでケース1よりも大きな結果となった。これはスリーブの先端部の位置がケース1と比較して深く、コーン破壊面の面積が十分確保されることにより、通常の施工を行ったケース1同等以上の耐力が得られていたものと考えられる。ただし、このような場合はスリーブの打込みに困難が生じることにより定着が十分に取れないなどの不具合が生じる可能性もあり得ると考えられることから、定着状況等を十分に確認する必要があると考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、スリーブ打込み式の金属系あと施工アンカーを対象に、アンカーの打込み不足や削孔長の過不足といった施工に起因する不具合がアンカーの引抜き耐力に及ぼす影響について、アンカー引抜き実験により検討を行った。実験結果から得られた主な結論および維持管理上の留意点は以下の通りである。

- ・アンカー引抜き試験により得られる荷重-変位曲線の傾きや引抜き耐力には個体差（バラツキ）がある。
- ・スリーブ打込み不足や、削孔不足がある場合は、アンカー引抜き耐力が低い傾向がある。
- ・削孔長がやや過剰である場合は、引抜き耐力に及ぼす影響は大きくはなかったものの、このような場合はスリーブの打込みに困難が生じ

スリーブが十分に開かず定着が十分に取れないなどの不具合が生じる可能性もあり得ると考えられることから、定着状況等を十分に確認する必要があると考えられる。

以上の事項は、経験的にも想像し得るが、実験結果からも裏付けされたものと言える。

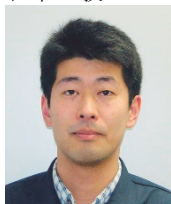
なお、上記の結論は、限定的で、かつ理想化された条件における要素実験から得られたものである。また、引抜き試験においてはある程度のバラツキを有する傾向となった。実際のトンネルの維持管理においては、個別の条件を十分に考慮したうえで慎重に判断する必要がある。

また、本稿で述べたケースとは別に、削孔径の誤差や、覆工コンクリートのひび割れおよび材質的な劣化、アンカーの打設方向による施工性等も引抜き耐力に影響を及ぼす可能性のある要因と考えられるため、今後検討が必要であると言える。

#### 参考文献

- 1) (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年改訂版、pp.136～137、2008
- 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
- 3) 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、平成24年12月、2012
- 4) 日下敦、淡路動太、河田皓介、砂金伸治：トンネル内あと施工アンカーの引抜き試験に関する基礎的実験、土木学会年次学術講演会概要集、第70回、第6部門、No.VI-331、pp.661～662、2015
- 5) 川上明大、中村英佑、古賀裕久：載荷方法と施工条件が接着系あと施工アンカーの引張り耐力に及ぼす影響、土木技術資料、第58巻、第5号、pp.12～15、2016
- 6) 土木学会：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）、コンクリートライブラリー、No.141、pp.71～73、2014

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 主任研究員  
Atsushi KUSAKA

小出孝明



土木研究所道路技術研究グループ  
トンネルチーム 主任研究員  
Takaaki KOIDE

砂金伸治



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、  
工博  
Dr. Nobuharu ISAGO