

# リフトオフ試験結果に基づく過緊張アンカーの維持管理に関する研究

北岡 貴文<sup>1\*</sup>・藤原 優<sup>2</sup>・竹本 将<sup>3</sup>・岡井 直樹<sup>1</sup>・大津宏康<sup>1</sup>

<sup>1</sup>京都大学大学院 工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

<sup>2</sup>高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生一丁目4-1)

<sup>3</sup>西日本高速道路株式会社 技術環境部 (〒530-0003 大阪府大阪市堂島一丁目6-20)

\*E-mail: kitaoka.takafumi.6e@kyoto-u.ac.jp

近年、斜面の補強工法として導入されてきたグラウンドアンカーの経年的な性能劣化が顕在化しつつあり、その維持管理・更新が喫緊の検討課題となってきた。ここで、グラウンドアンカーでの性能劣化の代表事例としては、アンカー工の防食に対する基準が制定される前に打設されたいわゆる旧タイプアンカーでの腐食による劣化と、地山の変形により発生すると解釈される過緊張が挙げられる。この内、過緊張アンカーは、許容荷重を上回った場合には破断して抜出すことで、第三者障害につながる危険性を有している。このような観点から、本研究ではリフトオフ試験結果に基づき、過緊張アンカーの発生機構について検討を加える。さらに、過緊張の発生状況に基づき維持管理・更新の方針についても検討を加える。

**Key Words :** *ground anchor, maintenance, monitoring, lift-off test*

## 1. はじめに

高度経済成長期以降これまでに大量に構築されてきた社会基盤構造物（以下、インフラ構造物と称す）は、様々な要因に起因する経年的な性能劣化により、大規模更新の時期を迎えている。高速道路においては、これまでは橋梁、トンネルおよびそれらの付属設備が主たる検討対象とされてきたが、今では斜面/土工構造物も更新の対象とされている。

斜面安定対策におけるグラウンドアンカー工（以下、アンカーと称す）は、1970年代以降から高速道路に近接する斜面の補強工法として採用されてきたが、現在その経年劣化に伴う性能低下が懸念されている。言うまでもなく、アンカーの性能低下は、斜面の安定性を損なうことにつながる。したがって、再打設を始めとするアンカーの維持管理計画の立案は、喫緊の検討課題である。ただし、これまでに打設されたアンカー数が10万本程度と膨大であることから、アンカーの打設された地盤条件が多様であることから、維持管理計画の立案においては、対策の優先順位付けに関する意思決定が重要となる<sup>1)</sup>。

現在、グラウンドアンカーの劣化要因として考えられることは大きく二つに分けられる。一つは、腐食による性能低下の問題である。これにより、初期緊張力よりも荷重が低下することが懸念される。もう一つは、腐食に

よる性能低下とは反対に、初期緊張力から荷重が増加するといった、過緊張による問題である。この場合には、テンドンの許容応力を超えることによるテンドン破断、あるいはテンドンの抜け出し等の不都合の発生が想定される。さらに、腐食による断面欠損に伴う引張強度の低下が生じた場合には、不都合の発生が加速されることが懸念される。

そこで本研究では、NEXCO西日本管轄の3地区（関西地区・中国地方・九州地方）で実施されたリフトオフ試験結果に基づき、過緊張アンカーの発生機構についての検討を加える。さらに、アンカーのタイプ毎での過緊張の発生状況に基づき維持管理・更新の方針についても検討を加える。

## 2. アンカー緊張力に関する既往の知見

### (1) アンカー緊張力の分類

アンカーの性能低下過程を考慮するには、初期状態を定義することが必要である。しかし、前項で述べたように、本研究で対象とするアンカーにおいては施工時の詳細なデータがほとんど残されていないため、施工時に与えられた初期緊張力が不明であり、健全性が判断できないケースが多い。

既往の資料（地盤工学会，2000）<sup>2)</sup>によれば，設計アンカー力は許容アンカー力の70%～80%とされることが多く，また，初期緊張力に関しては，締め付けタイプアンカーでは設計アンカー力の40%～80%程度，待ち受けタイプアンカーでは設計アンカー力の20%～30%程度が与えられる．すなわち，施工完了時の荷重比（残存引張力 $T_L$ /許容荷重 $T_a$ ）は，締め付けタイプアンカーで28%～64%程度，待ち受けタイプアンカーで14%～24%程度であると解釈される．ここで，既往の資料（地盤工学会，1997）<sup>3)</sup>によれば，待ち受け効果を期待した設計の場合は，本来はアンカーに初期緊張力を与える必要性は認められない．しかし，初期緊張力が小さい状態ですべりが発生すると，各段のアンカーの荷重発生状況が不均一になり，反面，あらかじめ安定を確保するために必要な初期緊張力を導入した場合には，荷重変動の少ないことが示されている．このため，アンカー緊張荷重の均一化のため，待ち受けタイプアンカーでもプレストレス力は設計アンカー力の30%以上とすることが望ましいとされている．

以上の事項を踏まえ，本研究ではリフトオフ試験で得られた残存引張力が許容アンカー力の80%を超えるものを過緊張の可能性が有るアンカーと定義する．

## (2) アンカー緊張力への影響因子

アンカーの導入力の変動に関しては，以下のような事項が考察される．導入力は一般的には，図-1の模式的に示すように，テンドンあるいは定着部のリラクゼーションにより，定着後時間が経過するに連れて低下することが知られている．また，導入力は，PCより線（以下，PCは，Prestressed Concreteを称す．）を用いた長尺アンカーの場合には，摩擦損失により実際にアンカーに作用している緊張力は当初の設定値より小さくなる可能性があることが知られている．例えば，田久ほか<sup>4)</sup>は，原位置でのアンカーの引張試験結果より，引張荷重有効率（ひずみから算定した引張力/ロードセル荷重）は，アンカー自由長が20mを超える場合には，顕著な低下傾向を示す

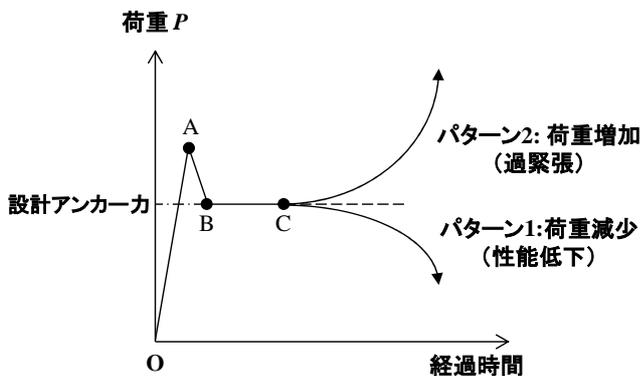


図-1 緊張力の時間変化（模式図）

と指摘している．

その他にも，アンカー自由長の影響に関して，瀬崎ほか<sup>5)</sup>，以下のような知見を示している．すなわち，原位置でのアンカー工の引張試験結果より，PCより線1本のテンドンではほぼ理論通りの変位を示すが，複数より線からテンドンでは理論伸び量を下回り，特に自由長が15mを超えると大きく低下する傾向が有ることを示している．また，このテンドンが1本引きか複数であるかの違いは，自由長部のグラウトの有無よりも大きい傾向にある．この結果より，理論通りの伸び変位がないことは，設計アンカー力が定着部に有効に伝達されない可能性が有ると指摘している．

設計アンカー力が定着部に有効に伝達されない可能性は，いずれも図-2に示す原位置でのアンカーの定着確認時の荷重-変位曲線を用いて説明される．すなわち，摩擦損失による荷重-変位曲線がヒステリシスを描き，載荷過程の勾配が理論的弾性勾配を上回ることにより起因する．したがって，アンカーの維持管理においては，アンカー自由長の影響を考慮することが必要となる．

一方，原位置でのリフトオフ試験では，図-1の模式的に示すように，初期緊張力から増加，すなわち過緊張の状態になるアンカーの発生が確認されている．この緊張力の増加に関しては様々な要因が想定されるが，図-3に

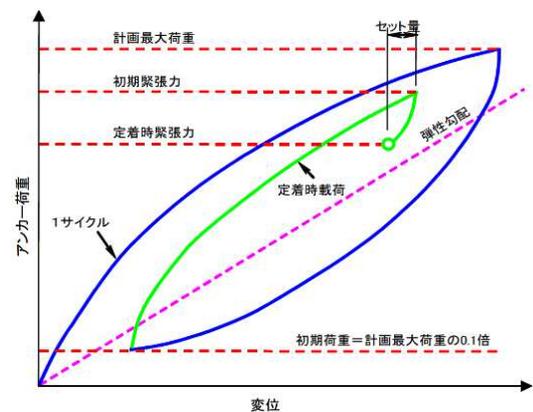


図-2 1サイクル確認試験後定着させる場合の挙動<sup>4)</sup>

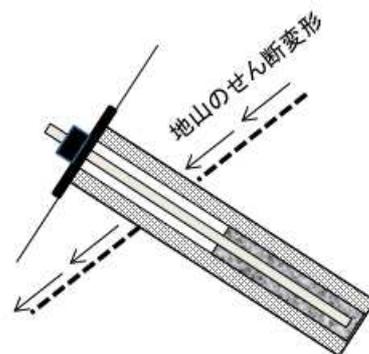


図-3 地山のせん断変形に起因する自由長部の伸び<sup>6)</sup>

示す自由長部での地山のせん断変形による軸力増加が要因の一つとして挙げられるであろう。この場合には、テンドンの許容応力を超えることによるテンドン破断、あるいはテンドンの抜け出し等の不具合の発生が想定される。

### 3. リフトオフ試験結果に基づく考察

#### (1) 概要

リフトオフ試験は、アンカー頭部の引張り材の余長部分に油圧ジャッキを設置し、引張り荷重を載荷して行われる<sup>7)</sup>。また、リフトオフ試験により得られる「リフトオフ荷重(残存引張力)」や「荷重-変位曲線の勾配  $\tan \theta$  (地中部のテンドンの剛性)」, 「勾配比」の導出については、既往の論文を参照されたい<sup>8)9)</sup>。

NEXCO西日本の3管区(関西地区, 中国地区, 九州地区)で実施された旧タイプアンカーのリフトオフ試験結果について、ここでは、過緊張アンカーの数が数は少ないものの顕著であった、中国地方のアンカーの健全性について検討を加える。その具体的な検討方針は、以下のように要約される。リフトオフ試験結果において、異常と区分されたアンカーの損傷状況について検討を加える。ここで、異常と定義したアンカー(以下、異常アンカーと称す)は、リフトオフ試験結果において、以下のように記述されているものである。①リフトオフ不明、②変位増大、③鋼線すべり、④引抜けの四項目である。また、斜緊張と記載されていたものがあるが、これは施工不良によるものと判断されるため、ここでは異常アンカーには含めないものとする。

上記の①~④の内、①のリフトオフ不明は、過緊張によるものと判断される。一方、②~④の項目は、いずれもアンカーが構造的損傷を受けたことに起因するものと判断されるが、その要因についての検討も加える。

次に、リフトオフ試験において、残存引張力および勾配比の両者が得られたアンカーに対して検討を加える。既往の研究においては、主に残存引張力に基づく健全性区分が試みられてきた。しかし、木許<sup>10)</sup>が指摘したように、締め付けタイプアンカーと待ち受けタイプアンカーでは、設計で規定される初期緊張力が異なるため、残存引張力のみを健全性の判断指標とすることは必ずしも適切でないと推察される。

本検討では、過緊張アンカーの発生機構についての検討に焦点をおき、自由長および勾配比からなる平面に計測結果をプロットし、自由長の影響についての検討も加える。さらに、以上の分析結果に基づき、簡易な数値モデルを用いて、過緊張アンカーの発生メカニズムについても考察を加えるものとする。

#### (2) 試験結果

##### a) 鋼棒タイプ

図-4は、鋼棒タイプの荷重比の頻度分布を示す。図-5は、中国地区の鋼棒タイプに対する、自由長-勾配比関係を示す。

図に示されるように、全般的に荷重比が80%前後の範囲に分布しているが、荷重比が80%以上の過緊張のアンカーも認められる。最も荷重比が大きいものは、140%を超える。このことから、ほとんどが締め付けタイプアンカーであると推察される。

勾配比が健全性の下限値0.90を下回るアンカーは、荷重比が80%以上のものも多少は見受けられるが、主として荷重比が60~80%の範囲に分布している。そして、これらのアンカーのほとんどは、自由長が6.0m以下である。荷重比が80%を上回る過緊張のアンカーについては、勾配比はいずれもほぼ正常値(0.90-1.25)の範囲にあり、自由長は、4.0~6.0mの範囲にある。

##### b) 旧タイプ複合PCより線・引張タイプ

複合PCより線圧縮型タイプについては、取得データ数が多いVタイプのみを取り上げる。

図-6は、Vタイプの荷重比の頻度分布を示す。図-7は、中国地区のVタイプに対する、残存引張力-勾配比関係および自由長-勾配比関係を示す。

荷重比が20~80%と広範囲に分布していることから、

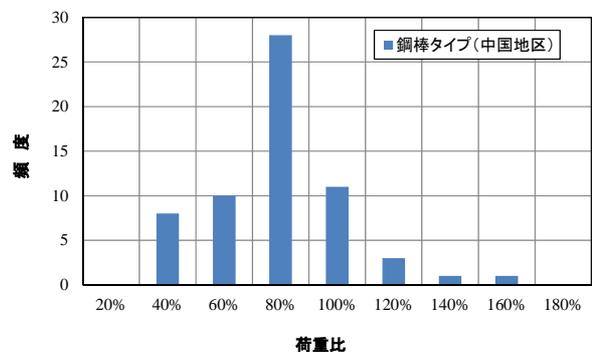


図-4 荷重比の頻度分布

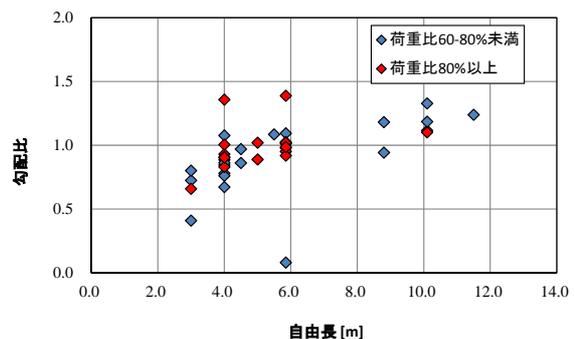


図-5 自由長と勾配比の分布

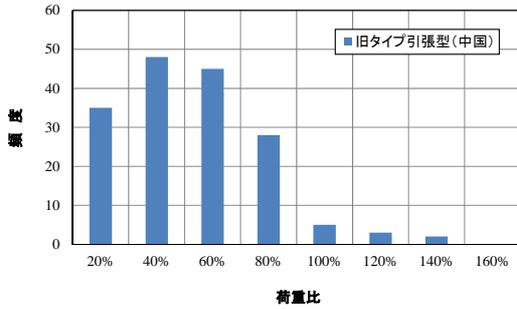


図-6 荷重比の頻度分布

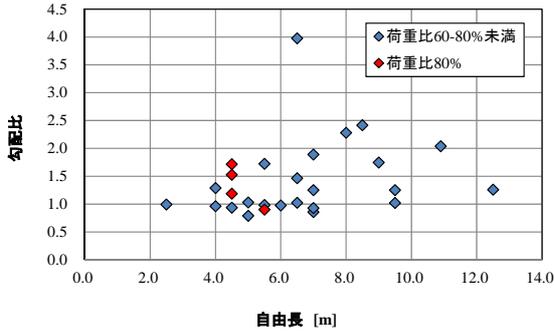


図-7 自由長と勾配比の分布

締め付けタイプアンカーと待ち受けタイプアンカーが混在していると推察される。旧Vタイプでは、荷重比120%を超える過緊張アンカーも1例発生していた。その他については、荷重比が比較的大きいこと、および自由長が長いことが指摘される。このことから、以下の要因が想定される。すなわち、複合PCより線の場合には、緊張力の増加に伴いより線が緊密化し、見かけの剛性が高まること、および田久ほか<sup>4)</sup>が指摘するように自由長が長くなるにつれて摩擦損失により、見かけの剛性が高まることと考えられる。勾配比が健全性の上限值1.25を上回るアンカーが数多く認められるが、他のタイプと比較して自由長の影響は明確でない。

### (3) 簡易モデルを用いた過緊張の発生状況の考察

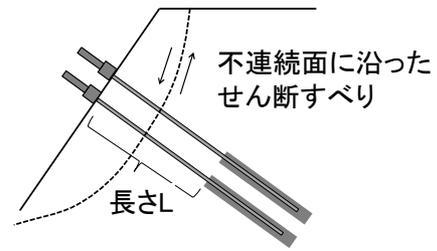
アンカー緊張力の増加に関しては様々な要因が想定されるが、図-3に示す自由長部での地山のせん断変形による軸力増加が一つの要因として挙げられる。このメカニズムについて、図-8に示すアンカーを鉛直集中荷重を受けるケーブルとするモデルを用いて検討を加える。

図-8に示すモデルにおいて、以下に示すケーブルの両端に作用する力に対する、力のつり合い、およびモーメントのつり合い関係を導出する。

#### a) 力のつり合い式

$$V_1 + V_2 = P \quad (1)$$

$$H_1 = H_2 \quad (2)$$



アンカーを鉛直集中荷重を受けるケーブルを用いてモデル化

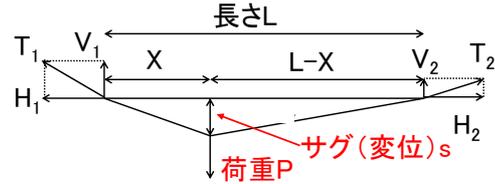


図-8 過緊張に関するケーブルモデル

#### b) 荷重支持点より左側と右側のモーメントのつり合い式

$$V_1 \cdot x = H_1 \cdot s \quad (3)$$

$$V_2 \cdot (L - x) = H_2 \cdot s \quad (4)$$

以上より、以下の関係が誘導される。

$$V_1 = \frac{(L - x)P}{L} \quad (5)$$

$$V_2 = P \cdot \frac{x}{L} \quad (6)$$

$$H_1 = H_2 = \frac{P}{s} \cdot (L - x) \cdot \frac{x}{L} \quad (7)$$

次に、せん断すべりが発生する前の単位引張力  $F$  は、 $H_1$ 、 $H_2$  に等しいとすると、以下の関係式が得られる。

$$P = \frac{s \cdot F \cdot L}{(L - x) \cdot x} \quad (8)$$

$$\frac{P}{s} = \frac{F \cdot L}{(L - x) \cdot x} \quad (9)$$

ここに、 $x$ は地表面からすべり面までの距離、 $s$ はサグ、 $L$ は自由長を表す。

図-9は、単位引張力 $F$ に対する $p$ と $s$ の関係を示している。また、図-10は、図-9のグラフより、 $x=1m$ の深さの地点の $p$ と $s$ の関係を示している。図に示されるように、地表面から浅い箇所においては、自由長の影響が顕れていることが分かる。すなわち自由長が短いアンカーは、軸力の影響が大きく顕れると言える。また、図-10に示

されるように、自由長が10m以上のアンカーでは、 $p$ と $s$ のは差が小さくなるのが分かる。また、サグを2.0mと大きくした場合でも、同様の傾向が得られることが分かる。

図-11は、アンカーの位置とせん断応力の関係を、模式図として示す。図に示されるように、一般的に斜面長が長い場合は、法尻においてすべり面が浅くなることから、アンカー長が短く設置されている。また、斜面変状が生じた際、降雨による水収支の影響を考慮しない場合は、重力の作用により、斜面の土塊は法尻に向けて滑る。すなわち、斜面変状に伴い、法尻に設置されているアンカーに荷重が増加し<sup>9)</sup>、法尻の位置における影響が、法肩や中腹に比べて大きくなることも推察される。しかしながら、上記の内容は、斜面長が長い場合に限定されており、斜面長が短い斜面では、法肩、中腹、法尻でのグラウンドアンカー長は同じ長さで設置されていることから、斜面崩壊時において、必ずしも法尻が危険であるというわけではない。

以上の結果より、すべり面が浅く、かつサグ（変位）が大きいほど、ケーブルに作用する荷重の増加が大きいという関係が得られる。したがって、過緊張アンカーは、斜面浅層部にせん断変形が生じた場合、および地すべり斜面のように明確なすべりに伴う変位が発生している場合に認められると解釈される。また、斜面長が長い場合の法尻においては、アンカー長が短いことに加えてすべり面におけるせん断応力が大きくなる。すなわち、アンカーに作用する荷重は、法尻が一番大きくなることから、法尻におけるアンカーにおいて過緊張アンカーになる可能性が高くなると推察される。

#### 4. 過緊張アンカーの維持管理・更新への提言

過緊張アンカーの発生機構について検討した結果をふまえて、過緊張アンカーの維持管理および更新への懸念事項の提言を行う。

過緊張の発生状況は、鋼棒タイプとPCより線では異なることに留意する必要がある。八木ほか<sup>10)</sup>、大断面トンネルおよび地下空洞で支保工として用いられるロックボルトとケーブルアンカーに関する計測結果において、岩盤の変位に対してロックボルトは作用点に過大な軸力が発生するが、ケーブルボルトはケーブル全体に軸力が分配されることが指摘されている。これは、ロックボルトとケーブルアンカーでの曲げ剛性の違いに起因する挙動である。したがって、鋼棒タイプでは部分的には縁応力として、リフトオフ荷重を上回る力が作用している可能性がある。このため、リフトオフ試験において過緊張と判断される鋼棒タイプアンカーでは、破断あるいは抜

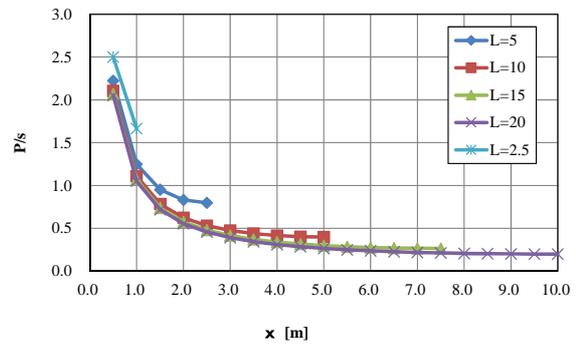


図-9 単位引張力  $F$  に対する  $P$  と  $s$  の関係

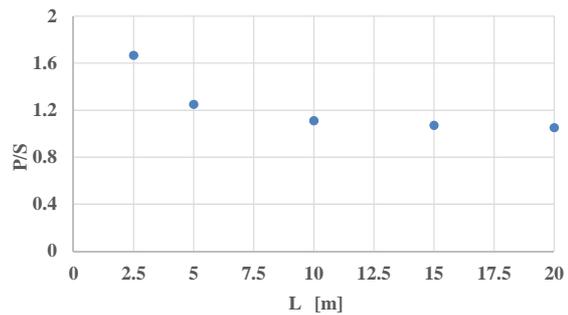


図-10 サグ1.0mを固定した場合の  $P$  と  $s$  の関係

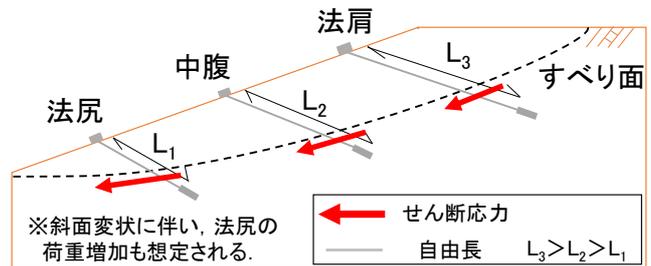


図-11 アンカーの位置とせん断応力（模式図）

け出しの危険性があることが憂慮される。

一方、PCより線タイプでは、鋼棒に比較して剛性が低いために全体に軸力が分配されるため、リフトオフ荷重を上回る力がアンカーに作用する危険性は低いと推察される。しかし、PCより線タイプでは、以下の要因により、リフトオフ試験では実施に作用している力を過大評価している可能性が指摘される。田久ほか<sup>4)</sup>が指摘しているように、アンカーに有効に作用する力は、穴曲りに起因する角度変化に対するまさつ、およびテンドン長に起因するまさつの影響を受ける。このため、施工上穴曲りの生じやすい長尺アンカーにおいては、作用荷重に対して実際にアンカーに作用している有効率が低下する。したがって、自由長が長いアンカーで荷重比が比較的大きく、かつ勾配比も過大なアンカーでは、実際に作用している力は、リフトオフ荷重より低い可能性があることに留意する必要があると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、NEXCO西日本管轄の3地区（関西地区・中国地方・九州地方）で実施されたリフトオフ試験結果に基づき、中国地方の例を挙げながら、過緊張アンカーの発生機構についての検討を加えた。さらに、アンカーのタイプ毎での過緊張の発生状況に基づき維持管理・更新の方針についても検討を加えた。下記に本研究で得られた知見を示す。

- 1) 過緊張の発生メカニズムは、自由長部での地山のせん断変形による軸力増加が一つの要因と仮定した場合、アンカーを鉛直集中荷重を受けるケーブルとするモデルを用いた検討を実施した。この結果より、すべり面が浅く、かつサグ変位が大きいほど、ケーブルに作用する荷重の増加が大きいという関係が得られた。したがって、過緊張アンカーは、斜面浅層部にせん断変形が生じた場合、および地すべり斜面のように明確なすべりに伴う変位が発生している場合に認められると解釈される。
- 2) 過緊張の発生状況は、鋼棒タイプとPCより線では異なることに留意する必要がある。岩盤の変位に対してロックボルトは作用点に過大な軸力が発生するが、ケーブルボルトはケーブル全体に軸力が分配される。これは、ロックボルトとケーブルアンカーでの曲げ剛性の違いに起因する挙動である。したがって、鋼棒タイプでは部分的には縁応力として、リフトオフ荷重を上回る力が作用している可能性がある。このため、リフトオフ試験において過緊張と判断される鋼棒タイプアンカーでは、破断あるいは抜け出しの危険性があることが憂慮される。一方、PCより線タイプでは、鋼棒に比較して剛性が低いために全体に軸力が分配されるため、リフトオフ荷重を上回る力がアンカーに作用する危険性は低いと推察される。しかし、PCより線タ

イプでは、リフトオフ試験では実際に作用している力を過大評価している可能性が指摘される。

## 参考文献

- 1) 大津宏康, Suksawat T., 木許 翔, 上出定幸: 目視点検結果およびリフトオフ試験結果に基づくグラウンドアンカー工の劣化予測, 土木学会論文集 F4, Vol.68, No.4, pp.179-188, 2012.
- 2) 地盤工学会: グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説, 2000.
- 3) 地盤工学会: グラウンドアンカー工法の調査・設計から施工まで, 1997.
- 4) 田久 勉, 下田 薫, 川崎廣貴, 田村 武: グラウンドアンカー自由長部における摩擦損失, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, pp.281-291, 2010.
- 5) 瀬崎 茂, 小滝辰人, 池田靖彦, 浜野浩幹: 限界塑性変異量を用いた既設グラウンドアンカー工の評価基準の提案, 地すべり, Vol.47, No.4, pp.197-204, 2010.
- 6) 常川善弘, 弘田智志, 東豊一, 酒井俊典: グラウンドアンカーの維持管理調査事例について, 全地連「技術フォーラム2012」新潟, 2012.
- 7) 藤原優, 酒井俊典: グラウンドアンカーのリフトオフ試験方法に関する検討, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.67, No.4, pp.558-568, 2011.
- 8) 藤原 優, 酒井 俊典: グラウンドアンカーの残存引張り力学分布特性に着目したアンカーの法面の維持管理, 土木学会論文集 C (地圏工学) Vol.68, No.2, pp.260-273, 2012.
- 9) 北岡貴文, 藤原優, 大津宏康, 岡井直樹: リフトオフ試験結果における荷重-変位曲線に基づくグラウンドアンカーの性能低下に関する研究, 地盤工学会 斜面・のり面の劣化モデルとLCC評価による斜面防災対策に関するシンポジウム発表論文集, pp.43-48, 2014.
- 10) 木許翔: グラウンドアンカー工の経年劣化および斜面の安定性を考慮した維持補修計画に関する研究, 京都大学大学院修士論文, 2013.
- 11) 八木弘, 浅野剛, 安井義則, 土門剛, 西村和夫: 大断面トンネルにおける事前補強ケーブルボルトの作用効果に関する検証, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), Vol.69, No.1, pp.10-28, 2013.

## A STUDY ON MAINTENANCE OF GROUND ANCHORS WITH EXCESSIVE TENSILE FORCE BASED ON RESULTS OF LIFT-OFF TESTING METHOD

Takafumi KITAOKA, Yuu FUJIWARA, Masaru TAKEMOTO, Naoki OKAI and Hiroyasu OHTSU

In the recent years, maintenance, repair and renewal have been the pressing subjects of investigation because the performance deterioration of the ground anchors that was introduced as a reinforcement work in a slope is appearing. Here, there are two representative performance deterioration problems in the ground anchors. First is the ground anchors's deterioration by corrosion. Second is the tensed anchors due to occurring slope transformation. From such point of view, the purpose of this study is to discuss the generation mechanism of a tensed anchors based on Lift-off test. Moreover, this study propose a policy of maintenance and repair and renewal based on generation status of tensed anchors.