

サーム
SAAMシステムを用いたアンカーの残存引張り力調査と
のり面の健全性評価

Investigation Method of Residual Loads by SAAM-System
for Ground Anchor Maintenance

酒井俊典・藤原優・常川善弘・田口浩史・市橋義治・阪口和之
Toshinori SAKAI, Yu FUJIWARA, Yoshihiko TSYNEKAWA, **Kouzi** TAGUCHI, Yoshiharu ICHIHASHI,
Kazuyuki SAKAGUCHI

Abstract

It is important to investigate a residual load of ground-anchor for maintenance. The residual load is measured by Lift-off tests or by installing axial load meters for continuous monitoring. In this paper, we introduce new investigation method of residual loads by using SAAM-system for ground anchor maintenance. This method is able to investigate residual load distribution of ground anchor installed on the slope. The safety of slope is able to evaluate by correlation of installing axial load of anchor and temperature.

Key words: Ground anchor, Residual Load, Maintenance, Load cell, Lift-off test

和文要旨

グラウンドアンカーの維持管理において緊張力を求めることは重要である。現在アンカーの残存引張り力は、リフトオフ試験あるいは荷重計を用いたモニタリングによって行われている。本報では SAAM システムを用いた、アンカーが施工されたのり面における残存引張り力の面的調査を示すとともに、アンカー荷重と温度との相関に基づく新たな維持管理手法について示す。

キーワード: グラウンドアンカー、残存引張り力、維持管理、荷重計、リフトオフ試験

1. はじめに

グラウンドアンカー工（以下、アンカー）は、1957 年に我が国に導入され現在まで地すべり対策工や切土法面の安定対策工として数多く施工が行われている。アンカーは、引張り材に導入された緊張力によって法面の安定性を維持する抑止構造物であり、アンカーの設計にあたっては、目標安全率を設定して算定された必要抑止力を、法面に施工されたアンカー全体で面的に保持する構造である。アンカーは大きくアンカー頭部、引張り部、アンカー体からなり、種々の部材が用いられる複雑な構造であるとともに、大部分が地盤内に埋設された自然条件下に置かれるため適切な維持管理が求められる。アンカーの維持管理においては、現在目視や打音によって定期的にアンカーの状態を確認することが行われ、必要に応じてアンカーに作用する緊張力を管理することが示されている¹⁾。しかし、現在までアンカーを原因とした大きな問題が顕在化していないこともあり、適切な維持管理が行われていない状況があり、一部でアンカーの飛び出しや破断等の問題が見られるアンカーが存在する。アンカーは想定を超える地山の変状や背面の地質状況により、局所的に緊張力の増加や低下を示すことがあり、適切な維持管理を行う上でアンカーの緊張力を定期的に管理し、アンカーの抑止力の機能を確認することが重要である。現在アンカー緊張力の調査は、リフトオフ試験あるいは荷重計等のモニタリング機器を用いて行われ、点検本数50

の目安としてのり面に施工された全アンカーの 10%かつ 3 本以上が示されている²⁾。ところで、アンカーは法面に複数本施工され、必要抑止力を施工されたアンカー全体で面的に保持する構造であるため、個々のアンカーが異なる緊張力を示さず、従来の一部に限られたアンカーの点検本数だけの確認では、局所的な変化を捉えることが出来ないことが考えられる。このため、アンカーの適切な維持管理を実施する上で、アンカーに作用している緊張力分布を面的に捉え、法面の不安定箇所を視覚的に把握し、これを基にアンカーのり面の健全性を把握する必要があると考える^{3), 4)}。また、アンカーは緊張力が作用した状態で保持される構造のため状況に応じて緊張力が変化し、背面の安定性やアンカーの健全性を評価するセンサーとしての機能を有していると考えられる。このため、アンカー緊張力を適切にモニタリングすることでのり面の状況を把握し、適切な維持管理につなげることも可能であると考えられる⁵⁾。本報は、アンカーのり面の適切な維持管理を目的に、SAAM システムを利用したリフトオフ試験による残存引張り力調査、および既設アンカーへの荷重計の設置方法を示すとともに、アンカー施工後に変状が発生したのり面を対象に行った、アンカー残存引張り力の面的調査結果を基にした健全性評価、および既設アンカーへの荷重計設置により得られる荷重と温度との相関を利用した維持管理手法について示す。

2. SAAM システム⁶⁾

- 写真-1 に SAAM ジャッキを用いたリフト試験状況を示す。SAAM ジャッキは、ジャッキ本体、ラムチェアー、アタッチメント、止めナットで構成される。アンカーへの²⁰
- 5 設置にあたっては、アタッチメントをテンドン余長あるいはアンカー定着具に取付けた後、ラムチェアー、ジャッキ本体の順に設置し、最後に止めナットで固定する手順で行う。リフトオフ試験を実施する場合、アタッチメントを取付けるアンカー頭部の定着タイプを考慮するこ²⁵
- 10 とが必要となる。現在アンカー頭部の定着タイプとして、ナット定着タイプ、くさびナット併用定着タイプ、くさび定着タイプが存在する。アンカーは、1988 年に基準が改定され、防食機能を改善したいいわゆる新タイプアンカーとそうでない旧タイプアンカーに分かれ、このうち新³⁰
- 15 タイプアンカーへのアタッチメント装着にあたっては、写真-2 に示すようにナット定着タイプおよびくさびナ



写真-1 SAAM ジャッキによるリフトオフ試験



a) ナット定着タイプ



b) くさびナット併用定着タイプ



c) くさび定着タイプ



a) インナーカップラーの設置



b) くさびの設置



c) アウターカップラーの設置



d) SAAM ジャッキの設置



e) トルクの作用



f) くさびの解除

写真-2 SAAM システムの新タイプアンカーへの対応

ット併用定着タイプでは、直接アンカー頭部のねじ切り部にアタッチメントを接続することで、またアンカー頭部の余長が長いくさび定着タイプでは、テンドン余長部に設置するプーリングヘッドを介してアタッチメントを接続することで行う。これに対し、1988 年以前の旧タイプアンカー等に見られるテンドン余長が短いくさび定着タイプ、あるいは PC 鋼棒等のナット定着タイプでは、写真-3 に示すアンカー頭部の定着具に再緊張用治具を設置し、これとアタッチメントを接続することで行う⁷⁾。再緊張治具の設置にあたっては、アンカー頭部に設置したインナーカップラーにセッター付きくさびを挿入し、その後アウターカップラーおよびテンションバーを設置後、ラムチェアー、ジャッキ本体の順に装着し、止めナットで固定する手順で行う。試験載荷時のアンカー頭部との接続は、セッター付きくさびによりアンカー頭部を直接引上げることで行う。また、リフトオフ試験後のセッター付きくさびの解除は、除荷後にジャッキ本体、テンションバーを取外し、その後テンションバー設置穴にくさび取外し用ボルトを挿入し、インナーカップラーとボルトを螺合させ、レンチ等によりトルクをかけることで容易に行うことが可能である。

荷重計等を用いてアンカー緊張力のモニタリングを行う場合、施工段階でアンカー頭部に荷重計等のモニタリング機器を設置し、共用後この機器を用いて計測を継続するのが一般的である。アンカーに設置されるモニタリング機器は屋外に設置されていることもあり、時間の経過とともに機能が低下することが考えられ、場合によっては交換あるいは新設が必要となる。しかし、既設アンカーに対してモニタリング機器を交換、新設することは

写真-3 SAAM システムの旧タイプアンカーへの対応



a) 荷重計の設置



b) 緊張力の導入



c) 上部止めナットによる定着



d) 設置完了

写真-4 SAAM システムの荷重計の設置状況

除荷を伴うため時間と手間を要するとともに、現地条件によっては不可能な場合もある。これに対し、既設アンカーに対して着脱が可能なアンカー荷重計が開発されている⁸⁾。SAAM システムにおいては、荷重計だけでなく M45 リング等の市販のモニタリング機器を簡便に着脱することが可能な構造で⁹⁾、既設アンカーへのモニタリング機器の設置にあたっては写真-4 に示す手順で行う。まず SAAM ジャッキによるリフトオフ試験を実施し、アンカーの残存引張り力の計測を行う。その上でアンカー頭部に 50 テンションバーを設置し、ラムチェアー、モニタリング機器、上部支圧板、新設ナットの順に設置する。その後、SAAM ジャッキにより前もって求めた残存引張り力を参考に、所定の緊張力が得られるまでアンカーに作用させる緊張力の管理を行いながら載荷を行い、アンカー頭部 55 が浮き上がることでモニタリング機器に荷重が伝達されたことを確認後、上部の新設止めナットで定着した後に、SAAM ジャッキの除荷を行い、SAAM ジャッキを撤去後、頭部キャップの設置を行う。

3. SAAM システムを用いたアンカー緊張力調査

3.1 現地状況

アンカー施工後に変状がみられるのり面を対象に、SAAM システムを利用したアンカー緊張力の面的調査および既設アンカーへの荷重計の設置を実施した。図-1 に現場の平面図を示す。本地点は上部に比較的大きな地すべりブロックが複数存在し、アンカーはその末端ブロックの活動防止のため設置された。アンカーは 3 段のコンクリート擁壁の下段に 23 本、中段に 30 本、上段に 33 本の計 86 本の施工が行われ、使用されているアンカーはスーパーフローテックアンカー (SFL-3)、設計アンカー力は 414.5kN、定着時緊張力は待受け効果を期待し 161kN から 220kN であった。また、アンカー長は崩壊が発生した北側においては最短 9m であるのに対し、南側に行くに従いアンカーの定着層が深くなるため最長 33.5m と長くなる。なお、アンカー体長はいずれも 4.5m である。現地では、主に中央から南側において写真-5 に示す U 字水路の変形、擁壁のクラック、吹き付けコンクリートの割れ等の変状が見られ、下段の A1-13 アンカーにおいては、アンカー頭部キャップの割れ、支圧板のズレが確認された。

3.2 残存引張り力の面的調査

SAAM ジャッキを用いたリフトオフ試験により残存引張り力の面的分布を求めるにあたり、リフトオフを実施した試験力所は、図-1 中の●印で示す下段、中段がそれぞれ 10 本、上段が 11 本の計 31 本である。写真-6 はリフトオフ試験状況を、図-2 は面的調査を実施して得られた設計アンカー力に対する残存引張り力の比 (R_{td}) の分布を示したものである¹⁰⁾。本地点では、アンカーテンドンの降伏引張り力 (T_{ys}) の 90% を載荷してもリフトオフが確認できない過緊張アンカーが、下段においては A1-14 より南側、中段においては A2-13 より南側、上段においては A3-17 より南側の領域に存在し、それより北側の領域では緊張力の低下が見られる。現地で確認された U 字水路の変形、吹き付けコンクリートの割れ等の変状、および下段の A1-13 アンカーにおけるアンカー頭部キャップの割れは、いずれも過緊張領域と緊張力低下領域の境界に位置している。本地点の各アンカーの定着時緊張力は、待受け効果を期待し設計アンカー力の 50% 程度となっており、過緊張が確認されたアンカーは定着時 60 に対し著しく緊張力が増加した状態となっていることが考えられる。これに対し、北側の当初崩壊が発生した領



図-1 現地の平面図



写真-5 のり面の変状状況



写真-6 リフトオフ試験状況

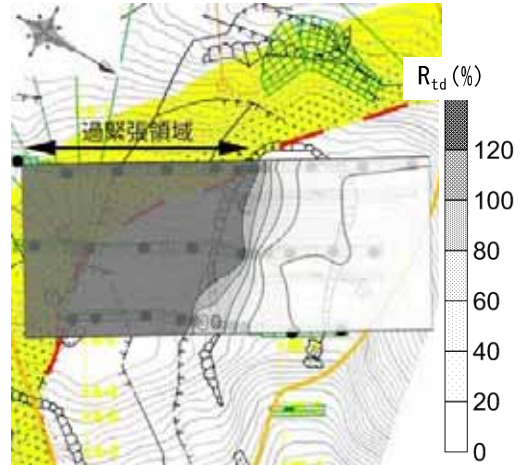


図-2 SAAM システムによる残存引張り力の面的分布結果

域については、定着時に対し 30%程度の緊張力を示すア20
ンカーも存在し、緊張力の低下が認められる。図-3 は著
者らが調査を実施した新タイプアンカー727 本、旧タイ
プアンカー203 本のアンカーにおける R_{td} の分布を示し
たものである。アンカー維持管理マニュアルにおいて機
能低下が考えられるとされる R_{td} が 50%以下の割合を見25
ると、旧タイプアンカーでは 51%、新タイプアンカーで
は 22%と、緊張力低下が見られるアンカーが多数存在す
ることがわかる。アンカーは、施工時に待ち受け効果を
期待し設計アンカー力より低い荷重で定着されている場
合があるものの、アンカー施工後に緊張力が低下する原30
因として、材料のクリープやリラクゼーションによる影
響、あるいは背面地質の影響などが考えられる。著者ら
は安定したのり面でアンカー材料に問題ない場合、背面
15 の風化程度が顕著なほど残存引張り力が低下する傾向が
あることを示しており¹¹⁾、北側領域の緊張力低下の原因35
としては、当初崩壊が発生したことによる背面地山の緩
みによる可能性が考えられる。

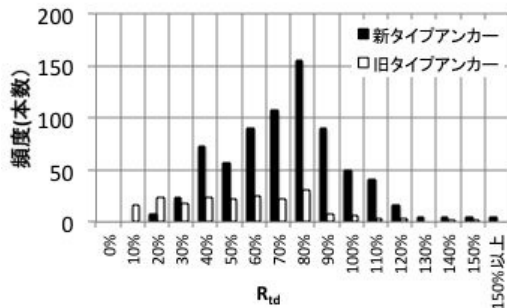


図-3 既設アンカーの R_{td} の分布

4. SAAM システムによる健全性評価

4.1 リフトオフ後の $\tan \theta$ を用いた評価

アンカーの維持管理において、アンカー機能の健全度
を評価する基準として次式で示される設計 $\tan \theta$ が用い
られる。

$$\text{設計 } \tan \theta = EA/L_f$$

E: テンダンの弾性係数, A: テンダンの有効断面積,
 L_f : テンダンの引張り長

ここでの設計 $\tan \theta$ は、アンカー引張り材の理論伸び
率に相当するもので、この結果とリフトオフ試験におけ
る荷重-変位関係より求まるリフトオフ後の直線の傾き
(試験 $\tan \theta$) を比較することで、アンカー材料の健全
性の評価が行われる。グラウンドアンカー設計・施工基
準、同解析²⁾において、リフトオフ試験から求まる試験
 $\tan \theta$ が、 $EA/1.1L_f$ から $EA/0.8L_f$ の範囲にある場合、ア
ンカー機能が正常な状態であると規定されている。地す
べり活動等により変状がみられるアンカーのり面におい
ては、変状の状況に応じて個々のアンカーに対する負担
が異なるため $\tan \theta$ の値がばらつくことが考えられ、こ
の標準偏差を用いたアンカーのり面の健全性評価手法が
提案されている¹²⁾。ところで、アンカーのり面の健全性
の評価を $\tan \theta$ のみで行う場合、施工された各アンカー
のアンカー長等の材料条件を考慮することができない。
このため、調査アンカー毎の設計 $\tan \theta$ とリフトオフ試
験により得られる試験 $\tan \theta$ の比 ($R_{\tan \theta}$) を基に、調査
45 のり面毎の $R_{\tan \theta}$ のばらつきを変動係数 ($CV_{R_{\tan \theta}}$) とし
てとらえた検討を行ってみる。図-4 は、本調査のり面
において調査を行ったアンカーの $R_{\tan \theta}$ を示したものであ
る。緊張力低下領域での $R_{\tan \theta}$ はいずれも 1 前後と試験
 $\tan \theta$ は設計値に近い値を示す。これに対し、過緊張領
域においてリフトオフが確認出来たアンカーの中には
50

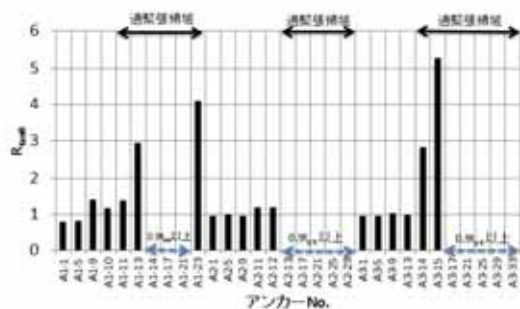


図-4 調査アンカーの $R_{tan\theta}$

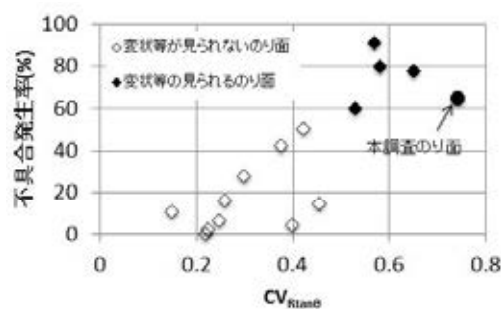


図-5 不具合率と $CV_{Rtan\theta}$ の関係

$R_{tan\theta}$ が 5 を超えるものも存在し、過緊張領域ではアンカーの引張り材が地盤内で拘束され L_f が短くなっている可能性が考えられる。図-5 は本調査のり面と現在まで調査を実施したのり面¹³⁾において、破断や過緊張を示すアンカーの割合(不具合発生率)と $CV_{Rtan\theta}$ との関係を示したものである。アンカーの破断や過緊張を示す割合が多いのり面では $CV_{Rtan\theta}$ の値は大きくなり、特に $CV_{Rtan\theta}$ が 0.5 を超えるのり面では、実際にのり面およびアンカーに変状が見られる不健全性のり面であった。のり面に
5
10
15
20
25

4.2 アンカー荷重と気温との相関による評価

アンカー残存引張り力の面的調査結果を基に、過緊張領域と緊張力低下領域の境界に位置する A3-14 アンカーを
15
20
25

対象に SAAM システムにより荷重計を設置し、アンカー緊張力のモニタリングを行った。写真-7 に荷重計の設置状況を示す。設置した荷重計は東京測器社製 KCK-1MNA で、東京測器社製データロガー TC-32K により 1 時間毎の荷重計測を行うとともに、アンカー頭部に KN ラボラトリー
30
35
40
45
50



写真-7 荷重計設置状況 (A3-14 アンカー)

降水量との関係を示したものである。本地点では、2013 年 9 月 15 日から 9 月 16 日にかけて 212mm の降雨があり、その後 9 月 17 日にパイプひずみ計のひずみ増加が確認出来る。図-7 は A3-14 アンカーに設置した荷重計による荷重と GL-8.5m の位置でのパイプひずみ計のひずみの結果を示したものである。パイプひずみ計のひずみ増加が見られる 9 月 17 日に荷重の増加も確認でき、アンカーが背面地山の変状に応じて緊張力が変化するセンサーとしての機能を有していることが伺える。図-8 は荷重とアンカー頭部に設置した温度計の温度との関係を示したものである。アンカーに設置した荷重計が示す荷重は一定ではなく周辺の温度によって敏感に変化し、アンカーの荷重を評価する場合、周辺温度の影響を考慮に入れる必要があると考えられる。著者ら¹⁴⁾は、荷重計により求まるアンカー荷重は、法面に変状がない場合には温度との相関が高くなるのに対し、法面に変状が見られる場合にはセンサー的機能を有するアンカーの荷重が変化し、相関が低下することを示している。表-1 は各日の午前 1:00 から翌日 0:00 までの 24 時間を対象に、荷重と温度との R^2 値をパイプひずみ計のひずみ増加が見られた 9 月 17 日を含む 9 月 15 日～9 月 19 日の 5 日間について示したものである。 R^2 は 9 月 15 日、9 月 16 日は 0.8 以上と高い値を示すものの、ひずみ増加が見られた 9 月 17 日には 0.12 と大きく低下し、9 月 18 日以降は 0.8 以上の高い相関に戻る。図-9 は 9 月 15 日～9 月 19 日の 5 日間の荷重と温度との関係を示したものである。パイプひずみ計のひずみが増加した 9 月 17 日において、荷重と温度との間に相関が見られない明瞭な期間が存在し、この期間にのり面変状が発生した可能性が考えられる。以上の結果より、 R^2 が大きく低下した時期と法面変状が発生した可能性が考えられるパイプひずみ計のひずみ増加が見られた時期とは一致し、アンカーに設置した荷重計の荷重と温度との相関を経時的に調べることで、センサー的機能を有するアンカーを利用したのり面の健全性評価を行うことが可能であると考えられる。
55
60

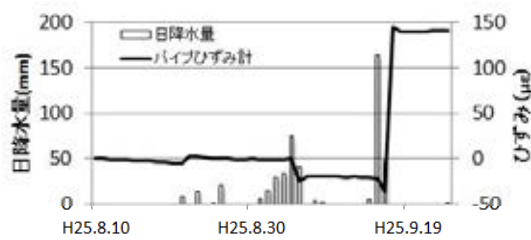


図-6 日雨量とパイプひずみ計のひずみ

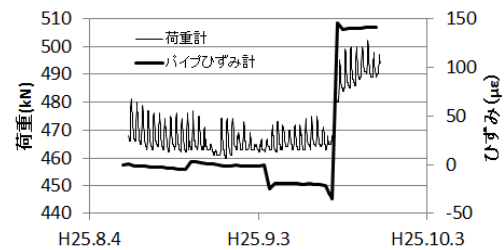


図-7 荷重計の荷重とパイプひずみ計のひずみ

表-1 荷重と温度との R^2 (9/15-9/19)

月日	9月15日	9月16日	9月17日	9月18日	9月19日
R^2	0.84	0.84	0.12	0.88	0.96

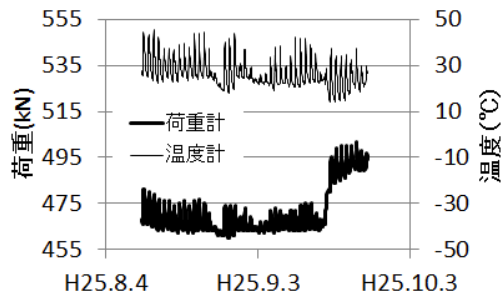


図-8 荷重計の荷重と温度

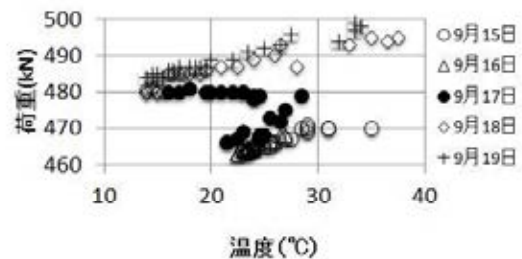


図-9 荷重計の荷重と温度との関係 (9/15-9/19)

5. おわりに

アンカーが施工され変状がみられるのり面を対象に、SAAMシステムを利用したのり面の健全性評価について検討を行った。その結果、SAAMシステムを利用した残存引張り力の面的調査結果において過緊張領域が確認された。過緊張領域が確認された本のにり面の健全性を、リフトオフ試験により求まる試験 $\tan \theta$ と設計 $\tan \theta$ の比 ($R_{\tan \theta}$) のばらつきを変動係数 ($CV_{R_{\tan \theta}}$) により評価を行った結果、 $CV_{R_{\tan \theta}}$ が0.74と0.5を超え不健全なのり面と判断された。また、過緊張領域と緊張力低下領域の境界に位置するアンカーに荷重計を設置し、アンカー荷重の40モニタリングを実施し荷重と温度との相関を求めた結果、パイプひずみ計のひずみ増加と両者の相関が大きく低下する時期は一致し、アンカー荷重と温度との相関を利用することでのり面の健全性を評価できるものと考えられた。本研究を実施するにあたり、和歌山県東牟婁振興局およびアンカーアセットマネジメント研究会にご協力いただきました。関係各位に深謝いたします。

引用文献

- 1) (独) 土木研究所・(社) 日本アンカー協会(2008) : グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 鹿島出版会.
- 2) 地盤工学会(2012) : グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説, 地盤工学会.
- 3) 酒井俊典・常川善弘・福田雄治・永野正展(2008) : SAAM ジャッキを用いたアンカー残存引張り力の調査方法, 地盤工学55会誌, Vol. 56, No. 12, pp. 42-45.

- 4) 酒井俊典・横田聖哉・竹本将・藤原優・常川善弘(2010) : 小型・軽量メンテナンスジャッキの開発とアンカー緊張力の面的調査, 基礎工, Vol. 38, No. 9, pp. 79-82.
- 5) 藤原優・酒井俊典(2012) : グラウンドアンカーの残存引張り力のモニタリング手法に関する検討, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol. 68, No. 3, pp. 547-563.
- 6) 酒井俊典(2010) : SAAM ジャッキを用いた既設アンカーのり面の面的調査マニュアル, SAAM ジャッキを用いた効果的なアンカーのり面の保全手法の開発委員会.
- 7) 酒井俊典・常川善弘・福田雄治・田口浩史(2014) : 余長の短いグラウンドアンカー工の再緊張用治具の開発, 三重大学社会連携研究センター研究報告, 第 21 号, pp.107-111.
- 8) 土木研究所(2009) : 既設アンカー緊張力モニタリングシステム運用マニュアル, 土木研究所資料, 第 4171 号.
- 9) 酒井俊典・藤原優・常川善弘(2012) : 既設グラインドアンカーへの荷重計設置技術の開発, 三重大学社会連携研究センター研究報告, 第 20 号, pp.105-110.
- 10) 酒井俊典・藤原優・阪口和之・磯嶋治康(2013) : SAAM ジャッキを用いたアンカー法面の面的調査, 第 52 回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.116-117.
- 11) 藤原優・酒井俊典(2012) : グラウンドアンカーの残存引張り力分布特性に着目したアンカー法面の維持管理, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.68, No.2, pp.260-273.
- 12) 藤原優・酒井俊典(2013) : グラウンドアンカーが施工された法面の健全性評価に関する検討, 第 52 回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.114-115.
- 13) 酒井俊典・藤原優(2013) : SAAM システムを用いたグラウンドアンカーの維持管理, 基礎工, Vol.41, No.11, pp.45-48.