

## ■アンカー緊張力および温度を用いたグラウンドアンカーの維持管理

Maintenance Method of Ground Anchor using Tensile Load and Temperature of Anchor

酒井俊典<sup>\*</sup> Toshinori SAKAI / 三重大学大学院 Mie University

常川善弘 Yoshihiro TSUNEKAWA / (株)相愛 Soai Co., Ltd

田口浩史 Kouzi TAGUCHI / 日本地研(株) Nihonchiken Co., Ltd

阪口和之 Kazuyuki SAKAGUCHI / アジア航測(株) Asia Air Survey Co., Ltd

藤原 優 Yu FUJIWARA / 西日本高速道路(株) West Nippon Expressway Co., Ltd

市橋義治 Yoshiharu ICHIHASHI / (株)相愛 Soai Co., Ltd

キーワード：グラウンドアンカー，アンカー緊張力，維持管理，相関，温度

Key words : Ground anchor, Tensile load of anchor, Maintenance, Correlation, Temperature

### 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地すべり対策工や切土のり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りのり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、のり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、現在目視や打音によって定期的にアンカーの状態を点検することが行われ、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<sup>1)</sup>。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で、一部でテンドン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。アンカーは設計以上の地すべり力の作用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、健全性調査における調査本数の目安として、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<sup>2)</sup>。ところで、アンカーはのり面に複数本施工され、施工時には同じ緊張力で定着が行われるのが一般的である。しかし、施工後背面地山の状況の変化などによって、個々のアンカーが一様な緊張力を示さず、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、のり面の不安定箇所を視覚的に把握し、これを基にアンカーが施工されたのり面（以下、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<sup>3),4)</sup>。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、地山の安定性やアンカーの健全性を評価できるセンサーとしての機能を有している。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が可能であると考えられる<sup>5)</sup>。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について示すとともに、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. リフトオフ試験および荷重計測

SAAMシステム<sup>6)</sup>を用いてアンカーの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とが必要となる。現在アンカーに使用されている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<sup>7)</sup>、防食機能を改善した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る。このうち新タイプアンカーにおいて、ナット定着タイプおよびくさびナ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

<sup>\*</sup> 連絡著者 / corresponding author  
〒514-8507 津市栗良町1577  
1577 Kurimamachita Tsu City

を接続することでリフトオフ試験の実施が可能である。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、頭部へのアタッチメントの装着が不可能なためリフトオフ試験が困難であった。これに対し、写真-1に示す新たに開発を行った再緊張用治具を用い、アンカー頭部の定着具に直接この治具を設置してアタッチメントと接続することで、容易にリフトオフ試験の実施が可能となった<sup>9)</sup>。再緊張用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て、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構造となっている。また、リフトオフ試験後のセッター付きくさびの解除は、荷重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



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) レンチによるトルク作用  
f) くさびの解除

写真-1 余長の短い旧タイプアンカーにおけるリフトオフ試験用再緊張治具

ング機器を設置し、供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、時間の経過による機能の低下や落雷による障害の発生等が考えられ、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、新設する場合には除荷を伴う必要がある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多い。これに対し、現在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<sup>9)</sup>。SAAMシステムにおいては、荷重計だけでなくMリング等の市販のモニタリング機器を緊張力が導入された状態で、緊張力を管理しながら簡便に着脱することが可能な構造となっている<sup>10)</sup>。

### 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に現地の平面図を示す。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地すべり抑止のため設置された。アンカーは当初崩壊が発生した北側領域を含む位置に施工された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、アンカー長は当初崩壊が発生した北側においては最短9mと短いのに対し、



図-1 現地の平面図

南側に行くに従いアンカーの定着までの層が深くなるため長くなり、最長は33.5mとなっている。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-2に示すU字水路の変形、吹き付けコンクリートの割れ、かご枠工の押出し等の変状が見られた。また、下段のA1-13アンカーにおいては、写真-3に示すように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。



a) U字水路の変状と全景



b) 吹き付けコンクリートの亀裂



c) かご枠工の押出し

写真-2 現地の変状状況



写真-3 アンカーの変状状況 (A1-13アンカー)

### 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た。リフトオフ試験を実施した試験箇所は、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-4はリフトオフ試験状況を、表-1および図-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 ( $R_{td}$ ) およびその分布を示したものである<sup>11)</sup>。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



写真-4 SAAMジャッキによるリフトオフ試験状況

表-1 リフトオフ試験結果一覧

下段		中段		上段	
アンカーNo.	$R_{td}$	アンカーNo.	$R_{td}$	アンカーNo.	$R_{td}$
A1-1	13.5	A2-1	14.0	A3-1	20.3
A1-5	19.8	A2-5	22.0	A3-5	21.2
A1-9	30.9	A2-9	21.0	A3-9	22.7
A1-10	74.1	A2-11	25.1	A3-13	55.5
A1-11	122.8	A2-12	73.1	A3-14	111.9
A1-13	40.8	A2-13	※	A3-15	136.6
A1-14	※	A2-17	※	A3-17	※
A1-17	※	A2-21	※	A3-21	※
A1-21	※	A2-25	※	A3-25	※
A1-23	135.3	A2-29	※	A3-29	※
				A3-33	※

※  $0.9T_{ys}$ を載荷してもリフトが確認できないアンカー

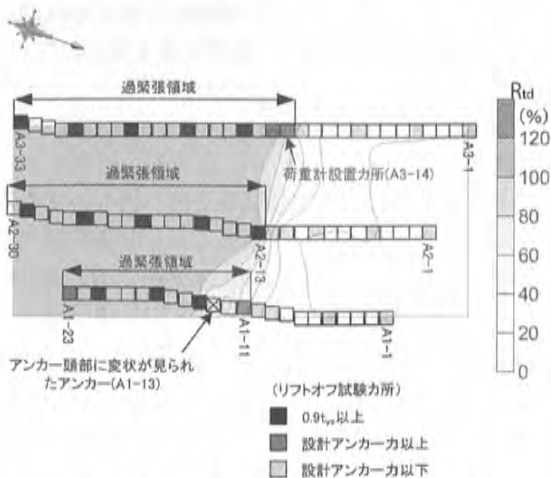


図-2 リフトオフ試験による $R_{td}$ の分布



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。現地を確認された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付近に位置している。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(161kN~220kN)であるため, 過緊張が確認されたアンカーは定着時に対し著しく緊張力が増加した状態となっている。これに対し, 北側の当初崩壊が発生した領域については, 定着時に対し30%以下の緊張力を示すアンカーも存在し, 緊張力の低下が認められる。アンカーの緊張力の低下には, 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ことに加え, 地盤やアンカー体のクリープ, 鋼材のリラクゼーション, あるいは背面地質の影響などによりアンカー施工後に緊張力が低下することが考えられる。著者ら<sup>14)</sup>は安定したのり面でアンカー材料に問題ない場合, 背面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, 面的調査により得られた北側領域の緊張力低下の原因として, 当初崩壊が発生したことによる背面地山の緩みが影響している可能性が考えられる。

#### 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<sup>2)</sup>。

$$\text{設計}\tan\theta = EA/L_t$$

E: テンドンの弾性係数, A: テンドンの有効断面積,  $L_t$ : テンドンの引張り長

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<sup>2)</sup>において, リフトオフ試験から求まる試験 $\tan\theta$ が,  $EA/1.1L_t$ から $EA/0.8L_t$ 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。

図-3は, 緊張力低下が見られるA3-13アンカーと過緊張を示すA3-15アンカーにおける, リフトオフ試験により求まった荷重-変位関係を示したものである。リフトオフ後の直線の傾きを比べると, 緊張力低下が見られるA3-13アンカーでは試験 $\tan\theta$ が6.73と設計 $\tan\theta$ の6.8にほぼ等しい値を示すのに対し, 過緊張を示すA3-15アンカーにおいては, 試験 $\tan\theta$ が23.37と設計 $\tan\theta$ の5.2に対し5倍程度を示し, 過緊張を示すアンカーにおいて試験 $\tan\theta$ が大きくなる。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,  $\tan\theta$ 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<sup>14)</sup>。ところで, アンカーのり面の健全性の評価を $\tan\theta$ 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各アンカーの $R_{\tan\theta}$ を示したものである。緊張力低下領域における $R_{\tan\theta}$ はいずれも1前後と設計 $\tan\theta$ 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 $R_{\tan\theta}$ の値は大きく, 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 $L_t$ が短くなっている可能性が考えられる。図-5は現在まで調査を実施した

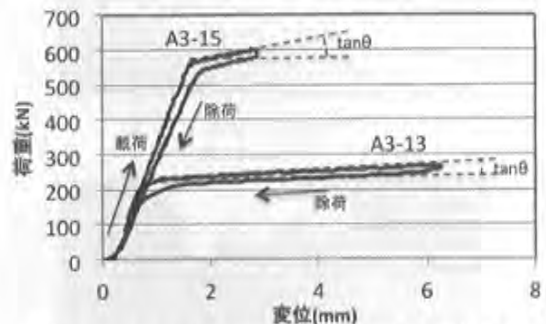


図-3 リフトオフ試験における荷重-変位関係

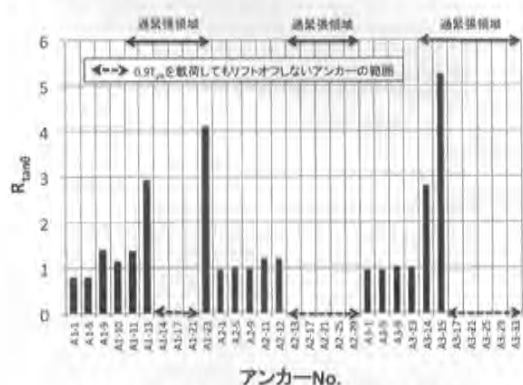


図-4 各アンカーの $R_{\tan\theta}$

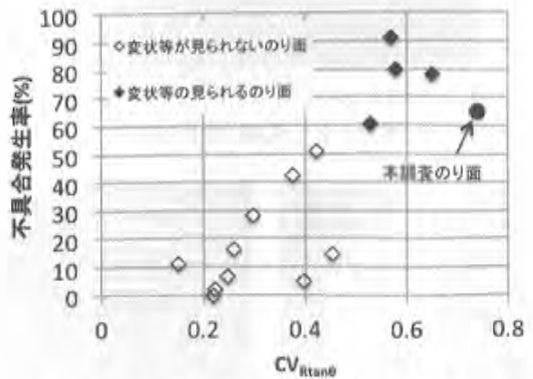


図-5 不具合発生率と $CV_{R_{\tan\theta}}$ の関係

のり面において<sup>13)</sup>, 破断や過緊張を示すアンカーの割合(不具合発生率)と $CV_{R_{lim}}$ との関係を示した結果に, 本のり面の調査結果を加えたものである。アンカーの破断や過緊張を示す割合が多いのり面では $CV_{R_{lim}}$ の値は大きくなり, 特に $CV_{R_{lim}}$ が0.5を超えるのり面では, 実際のに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。のり面に変状が見られる本のり面においても,  $CV_{R_{lim}}$ は0.74と0.5を超えており, 健全性に問題が見られるのり面と判断することができる。

#### 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アンカーを対象にSAAMシステムを用いて荷重計を設置し<sup>10)</sup>, アンカー緊張力のモニタリングを行った。写真-5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-1 MNA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ラボラトリーズ製温度データロガーサーモクロンGタイプを設置し温度の測定も行った。本地点では, 図-1に示す位置にパイプひずみ計が設置され1日毎に測定が行われている。図-6はパイプひずみ計においてひずみ増加が観測されたGL-8.5mの位置におけるひずみ値と, 近隣アメダスで観測された日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, その後の9月17日にパイプひずみ計のひずみ値の増加が確認出来る。パイプひずみ計の計測が1日毎であることから, ひずみ値の増



写真-5 アンカー荷重計設置状況(A3-14アンカー)

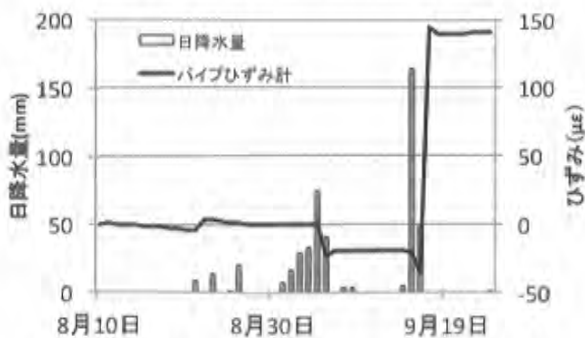


図-6 日降水量とパイプひずみ計のひずみ値の変化

加は降雨直後の9月16日に発生したと考えられる。図-7はA3-14アンカーに設置した荷重計による荷重と, パイプひずみ計にひずみ増加が見られたGL-8.5mの位置でのひずみ値の結果を示したものである。降雨直後の9月16日に荷重の増加が確認でき, 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判る。図-8は荷重と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する。このため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。また, 荷重計により求まるアンカー荷重は, のり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, のり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変化により相関が低下する<sup>14)</sup>。表-2は各日の午前0:00から23:00までの24時間を対象に, 荷重と温度との $R^2$ 値を9月14日~9月18日の5日間について示したものである。 $R^2$ は9月14日, 9月15日では0.8以上の高い値を示すものの, パイプひずみ計のひずみ増加が発生したと考えられる9月16日には0.09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14日~9月18日の5日間の荷重と温度との関係を示したものである。ひずみが増加したと考えられる9月16日において, 荷重と温

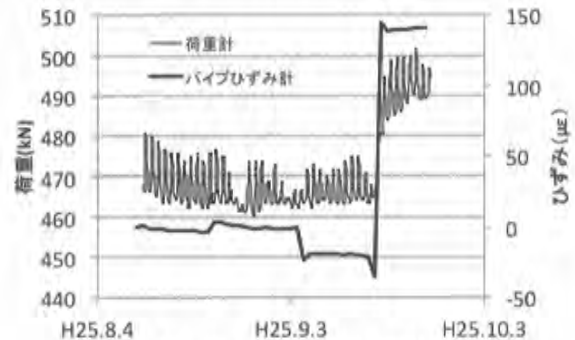


図-7 アンカー荷重値とパイプひずみ計のひずみ値の変化

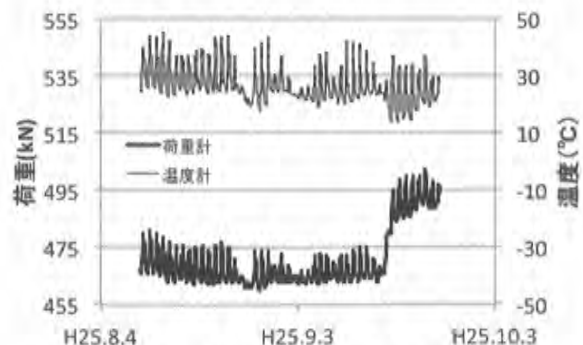


図-8 アンカー荷重値と温度の変化

表-2 アンカー荷重値と温度との $R^2$ (9/14-9/18)

月日	9月14日	9月15日	9月16日	9月17日	9月18日
$R^2$	0.84	0.84	0.09	0.89	0.96

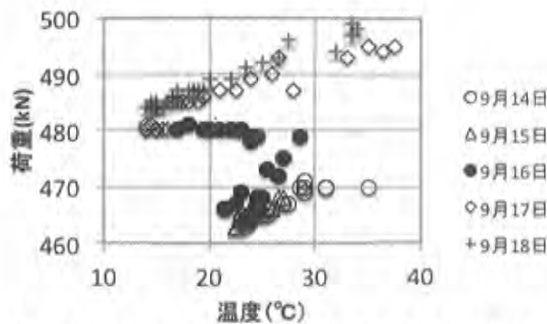


図-9 アンカー荷重値と温度との関係(9/14-9/18)

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のり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値の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、センサ的機能を有するアンカーを利用したのり面の安定性評価を行うことが可能であると考えられる。

### 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健全性評価について検討を行った結果、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、 $CV_{R_{\tan\theta}}$  は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、アンカー荷重のモニタリングを実施して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値の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、のり面の安定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。また、本研究の一部は科学研究費助成事業（課題番号：26450341）の支援を受けて行われました。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 (地盤工学), 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) 土質工学会 (1988) : グラウンドアンカー設計・施工基準 (JSF: D1-88), 土質工学会.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 酒井俊典・藤原優・常川善弘 (2012) : 既設グラウ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.
- 11) 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.
- 12) 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 (地盤工学), Vol. 68, No. 2, pp. 260-273.
- 13) 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.
- 14) 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. (原稿受付2014年3月27日, 原稿受理2014年10月7日)