

グラウンドアンカー工の抑止機能の経年変化事例と維持管理における課題について

Issues in maintenance and aging case of deterrence function of the ground anchor

常川善弘*, 高梨俊行**, 田口浩史***, 山下英二****, 酒井俊典****

Yoshihiro TSUNEKAWA, Toshiyuki TAKANASHI, Koji TAGUCHI, Eiji YAMASHITA, Toshinori SAKAI

斜面の安定対策のためにアンカー工が施工されたのり面（以下、アンカーのり面）を安全に維持管理する上で、アンカーの緊張力を適切に管理することは重要である。しかし、アンカーのり面の背面地盤・地質は一様でなく、アンカー緊張力は、供用後、背面地盤・地質の特性により様々に変化している。本編は、様々なアンカーのり面において実施したアンカー緊張力の面的調査およびアンカー荷重計によるモニタリング結果によるアンカーのり面の健全性調査事例を踏まえ、今後の維持管理および更新・補修対策に向けたアンカーのり面の健全性評価と課題について報告する。

キーワード：グラウンドアンカー，残存引張り力，リフトオフ試験，現地計測

Ground anchor, anchor tension force, Lift-off test, Monitoring on site

1. はじめに

近年、維持管理の取り組みが重要度を増しており、アンカー工において、国・地方自治体でのストック点検をはじめとする外観目視点検の実施や、高速道路では今年1月に、旧タイプアンカーの更新・補修の実施についてプレス発表している。

アンカー工の健全性評価において、抑止機能(アンカー緊張力)や背面地盤、定着層等の不可視部の評価は「外観目視点検」では十分対応できず、2012年5月に改定された地盤工学会基準「グラウンドアンカーの設計施工基準、同解説」¹⁾において、リフトオフ試験等のアンカー機能および性能の評価のための「健全性調査」が維持管理フローに明記された。

アンカーの緊張力は、供用後、背面地盤・地質の強度特性等により様々に変化し、アンカーのり面は安定性を維持しているものの、初期緊張力より荷重低下しているアンカーのり面が多く見られる。このため、土木研究所・日本アンカー協会共編「グラウンドアンカーの維持管理マニュアル」²⁾において、残存引張り力によるアンカー健全性の目安が示され、定着荷重の50%低下までは経過観察となっている。

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おいて、アンカー工はアンカー群として面的に抑止機能を発揮しており、再緊張や増し打ち、更新等の補修・補強等の機能の回復を実施する「アンカーのり面全体の許容限界」をどのように判断・評価するかが重要である。

本編は、様々なアンカーのり面において実施したアンカー緊張力の面的調査およびアンカー荷重計によるモニ

タリング結果によるアンカーのり面の健全性調査事例を踏まえ、今後のアンカーのり面の維持管理および更新・補修対策に向けたアンカーのり面の健全性評価とその課題について報告する。

2. アンカー緊張力の分布

平成19年から平成20年にかけて、15箇所のアンカーのり面について、供用後の緊張力分布の状況について調査を実施した(表1)。

表1 調査アンカーのり面緒元(15箇所)

No	施工年	試験/施工(本)	定着層の地質
1	H17	12/33	花崗岩
2	H13	45/243	泥岩
3	H1	73/75	砂岩シルト岩
4	H14・H18	26/48	砂質片岩
5	H18	37/145	泥岩
6	H1	30/30	凝灰角礫岩
7	H21	12/47	結晶片岩
8	H17	42/185	結晶片岩
9	H13	53/53	泥岩
10	H21	47/47	結晶片岩
11	H15	55/158	砂岩頁岩
12	H9	80/242	砂岩泥岩
13	H20	49/408	砂岩泥岩
14	H7	23/61	泥質片岩
15	H6	70/171	泥質片岩

アンカーの残存引張り力の測定は、小型軽量ジャッキを用いたリフトオフ試験(写真1)にて、アンカー施工本数の1/4程度以上の面的調査を実施した。アンカー緊張力の分布調査において、アンカー施工本数全体の1/4程度以上の面的調査にて全数調査と同等の緊張力分布が得られる³⁾。

* 株式会社相愛

** 川崎地質株式会社

*** 日本地研株式会社

**** 北海道土質コンサルタント株式会社

***** 三重大学大学院生物資源学研究所 教授

Co., Ltd. Soai

Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd.

Nihonchiken Co., Ltd.

Hokkaido doshitsu Co., Ltd.

Prof., Graduate School of Bioresources, Mie University

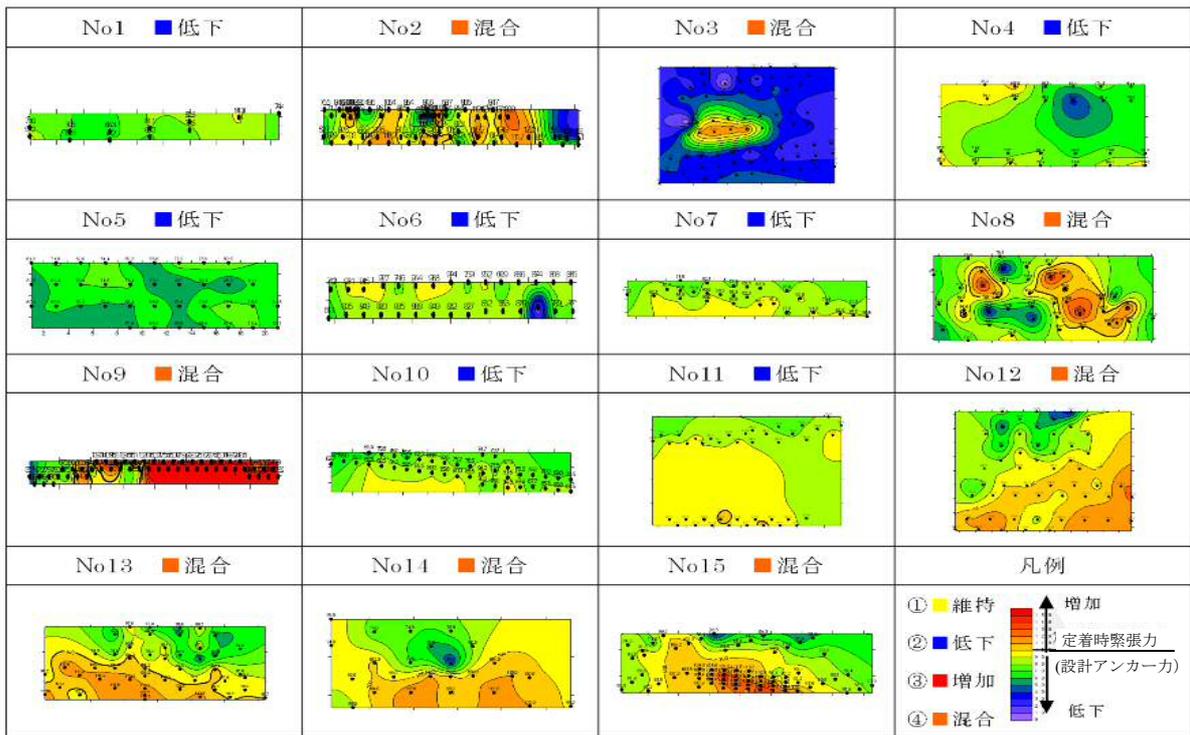


図1 アンカー緊張力分布図

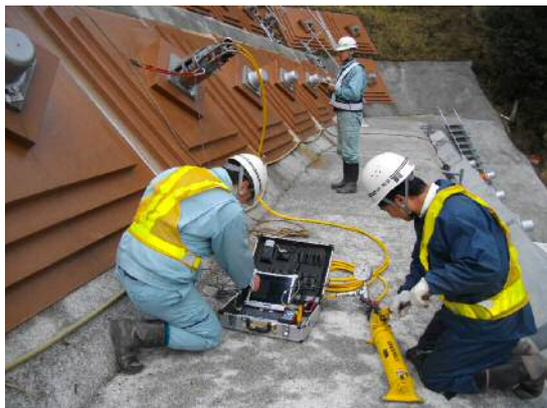


写真1 小型ジャッキを用いたリフトオフ試験状況

図1は面的調査結果による緊張力の分布状況を示したものである。各のり面において、施工時の定着時緊張力または設計アンカー力を全体に維持しているのり面はなく、緊張力が全体的に低下しているのり面が7箇所、部分的に低下と増加が混合しているのり面が8箇所であった。

図2は、緊張力分布の増減について、横軸に分布範囲、縦軸を緊張力の増減とし、緊張力の分布を整理したものである。緊張力分布の傾向において、緊張力の増減の位置およびそのピークは、必ずしも主測線と一致せず、様々な分布傾向を示している。

これらの経年変化特性は、図3に示すように、各のり面ごとの背面地質や地形、湧水や降雨による表層の侵食の他、アンカー材料の劣化や斜面変状、アンカーの打設角度や導入緊張力など様々な要因が考えられる。

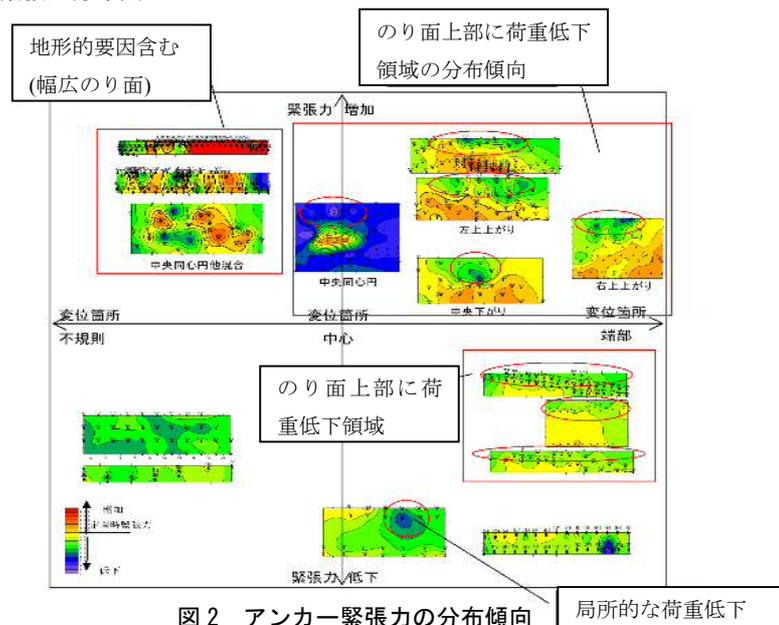


図2 アンカー緊張力の分布傾向

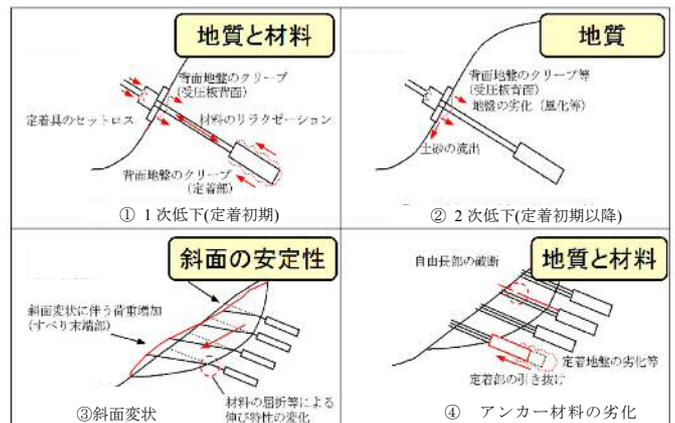


図3 アンカー緊張力変化の要因

グラウンドアンカー工は、縦型伸縮計と同等の構造をしており、抑止機能だけでなくセンサーとして機能を有している。アンカー緊張力のモニタリングにより、図4に示すような背面地盤・地質の劣化や斜面変動、アンカー材料の劣化に伴う様々な緊張力の経年変化パターンにより、アンカーのり面の管理を行うことが可能である。

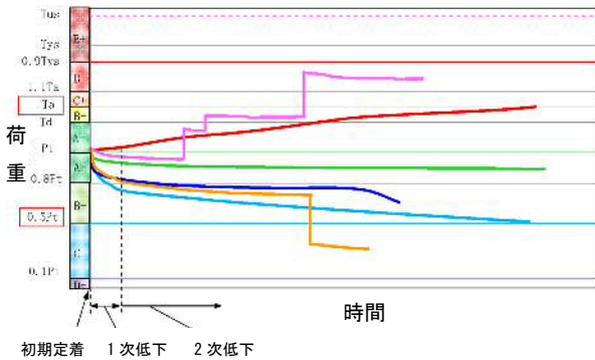


図4 アンカー緊張力の経年変化パターン

したがって、アンカーのり面の緊張力分布の調査結果より、アンカーのり面の斜面・のり面の劣化モデルの構築において、アンカー材料の劣化や設計を上回る地下水上昇や不安定ブロックによる斜面変状に伴う緊張力の変化特性は別途検討とし、ここでは、受圧板背面の表層から定着層までの背面地盤・地質に関する抑止機能（アンカー緊張力）の経年変化特性を対象にデータ収集し検討を行った。

3. 緊張力分布と背面地質

3.1 アンカー緊張力の低下と背面地質

図5は、施工後5年経過したアンカー緊張力分布と施工時のり面スケッチによる背面地盤を比較したものである。

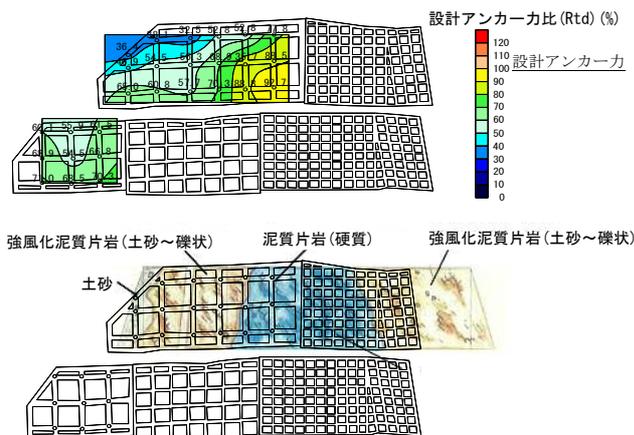


図5 緊張力分布と背面地盤の比較(施工後5年経過)

設計アンカー力比 $Rtd = \frac{\text{残存引張り力 } Pe}{\text{設計アンカー力 } Td} \times 100 (\%)$

法肩部の土砂部分は、残存引張り力が設計アンカー力に対して約30%と定着時緊張力から約70%低下しているのに対し、岩盤部においては、残存引張り力が設計アンカ

一力に対して95%程度と定着時緊張力から約5%程度しか低下していないことが確認でき、同一のり面においても背面地盤・地質により緊張力の分布および経年変化に大きく影響していることが判る。

3.2 アンカーの引き抜けと背面地質

写真2は、供用後アンカー定着部の引き抜けが確認されたアンカーである。



写真2 供用後引き抜けが確認されたアンカー

アンカーのり面の健全性調査として、リフトオフ試験による面的調査を実施した結果、引き抜け箇所周辺のアンカー緊張力が部分的に低下していることを確認した(図6)。図7の施工時のり面スケッチと比較すると崖錐堆積物が局所的に堆積しており、もともと脆弱でスレーキング特性のある地山であることから、削孔による応力開放や地下水等により定着層の劣化が進行し、地山と定着体の付着切れが発生したと推察される。

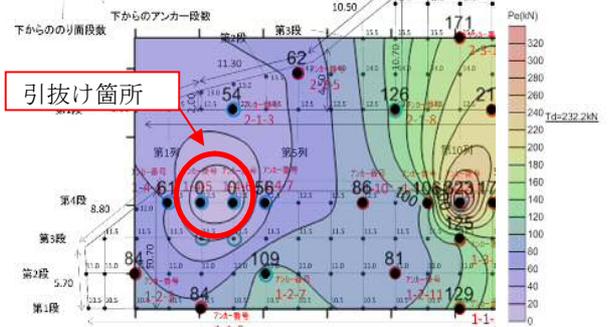


図6 緊張力分布図



図7 のり面スケッチ

以上より、施工時のり面スケッチによる背面地盤・地質、湧水箇所等の記録は、アンカー緊張力の経年変化

特性の評価において重要であり、今後の維持管理に関する台帳やカルテなどで管理しておくことが望ましいと考えられる。

4. アンカー緊張力の経年変化

背面地盤とアンカー緊張力の経年変化特性は、図8に示す初期定着後の1次低下と2次低下領域に分けられる。

背面地盤の影響は、一般に初期定着後の1週間から1ヶ月程度の比較的短期間に1次低下として現れる。

以下に、新規施工アンカーおよび再緊張対策を行ったアンカー緊張力の経時変化のモニタリング事例を紹介する。

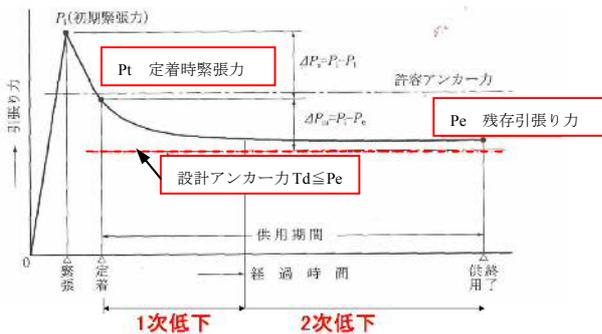


図8 アンカーに作用する荷重の経年変化例(一部加筆)¹⁾

4.1 ダムサイトの新設アンカーのモニタリング事例

本調査地は、地すべり規模が長さ約1/4程度以上5m、幅約90m、すべり面深度約30mのダムサイトのり面で、対策工として水抜きボーリング工、集水井工、アンカー工が施工され、アンカー工は、EHD5-8 N=167本(6段、アンカー長L=11~38m)、設計アンカー力Td=862.1kN、定着荷重Pt=646.6kN(設計アンカー力の75%)である。

当調査地の斜面勾配は20°~40°の急傾斜であり、基礎岩盤は、三波川変成岩類に属する緑色片岩・黒色片岩・石英片岩より構成され、これらの基盤岩類を被覆して、第四系の段丘堆積物・岩屑崩積土・河床堆積物等が分布している。

図9は、ダムサイトの地すべり対策アンカーのり面について、アンカー施工後6ヶ月程度経過した初期の緊張力分布状況である。

図10は施工時のり面スケッチで、黒色の斜線部は試験灌水後に定着荷重からアンカー緊張力が20%以上低下した領域を示したものである。

緊張力の分布とのり面スケッチと比較すると、表層地質が土砂からD級岩盤の一部で、低下傾向にあることが判る。

図11は、6箇所を設置した荷重計による初期定着時からのアンカー緊張力の経時変化グラフを示したものである。アンカー緊張力分布図において定着時緊張力が20%以上低下した表層地質が土砂からD級岩盤に位置するL-4箇所について、逆巻き施工により初期定着時期が異なるが、20%の荷重低下のほとんどは、1次低下の約2週

間程度で発生していることが判る。

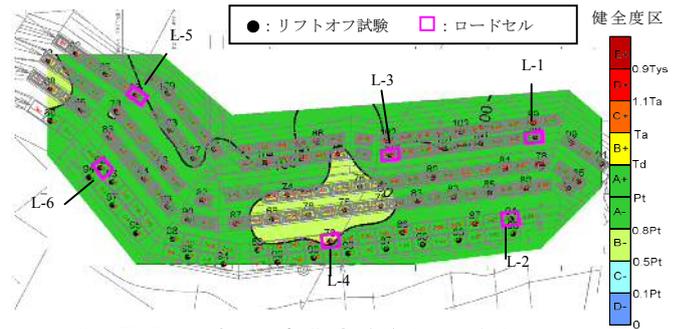


図9 緊張力分布図(初期定着後6ヶ月経過)



図10 施工前のり面スケッチと荷重低下領域(斜線部)

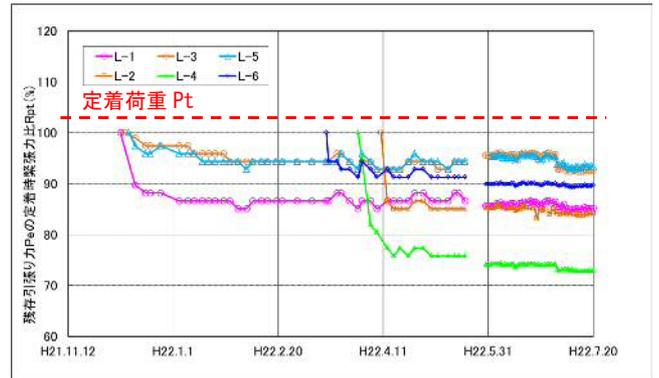


図11 アンカー緊張力の経年変化

4.2 道路のり面の新設アンカーのモニタリング事例

本調査地は、のり面勾配1:1.0、のり面高約9.5mの道路のり面(写真3)で、当調査地の地質区分は御荷鈍帯に位置し、緑色岩類が分布する。のり面上部に表土層(Dt)が薄く残るが、その下位は岩盤区分DL~CM級の岩盤を呈する。施工アンカー工は、施工本数N=43本、KTB K6-3Hタイプで、設計アンカー力Td=398.7kN、周面摩擦係数 $\tau=0.7\text{N}/\text{mm}^2$ 、定着長5.5m、自由長5.0m~12.0m、受圧板は現場打ちコンクリート受圧板である。

本調査において、アンカー施工時における緊張力管理を目的とし、小型軽量ジャッキにて簡易に取り付け取り外しが可能な後付け荷重計(写真3)を用いて初期定着後の緊張力の1次低下および2次低下のモニタリングを実施した。

後付け荷重計によるモニタリングは、逆巻き施工による次の段のアンカーの緊張定着までの約3週間~1ヶ月間隔で観測を行い、工事の進捗に合わせて、初期定着を行うアンカーに荷重計の移設を繰り返し、完了検査までの

約3ヶ月間で、合計11箇所の荷重計測を行った(図12)。

また、施工後の約6ヶ月後に、小型軽量ジャッキを用いて面的調査(全数)を実施し、図13に示すアンカー緊張力分布状況を確認した。



写真3 後付け荷重計(ナットゲージ)と設置状況

図12に示す背面地質と図13に示す緊張力の分布を比較すると概ね背面地盤の硬軟に相関をもつ荷重分布が確認できる。

地層区分	地層名	記号 (岩盤区分)	記 事	色 調
表土	表土	Dt	軟質な砂状土。凹状地では水高。	黄茶
	崩壊土	D ₂	強質土。細~中粒多く含み。	茶褐
岩盤	風化土	WR ₁ (D ₁)	風化が進み土砂状~軟質片状。	茶
	速風化岩	WR ₂ (D ₁)	風化硬状主体で岩片はやや軟質。	黄灰
玄武岩質凝灰岩	弱風化岩	Ro1(C ₁)	キレツ多く硬質。岩片やや硬。	緑灰(淡緑灰)
	岩盤	Ro2(C ₂)	片径キレツ~5cmの硬質な板状岩。やや新緑	淡緑灰(潮灰)

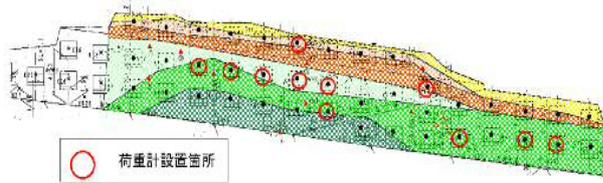


図12 のり面スケッチによる背面地質図

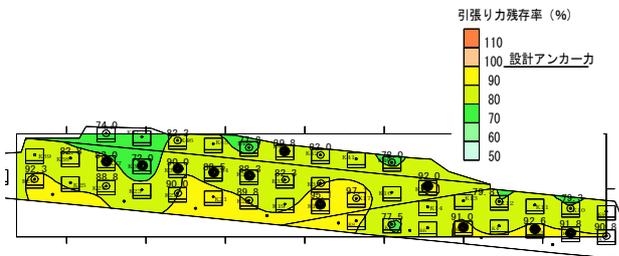


図13 アンカー緊張力分布図

図14に荷重計計測結果の一例として、k15地点の計測結果を示す。温度の日変化の影響により荷重計測値の振幅が見られるが、1次低下期間は約8日間で、定着時緊張力 Pt=378kN から残存引張り力 Pe=362kN (-16kN) まで低下し、定着時緊張力に対する変化割合は約-4%であった。一方、2次低下からの変化量は、約45日間で-3kN (Pe=359kN) と変化割合は約-1%程度と落ち着いている。

図15は、当調査地の観測結果について、背面地質と緊張力変化割合を示したものである。

当調査地において、緊張力の変化は、DL級の軟岩で8%の低下が見られたが、DH級およびCL級では5%以内の低下であり、おおむね岩盤が硬質になるほど、緊張力の低下が小さくなる傾向が確認できる。

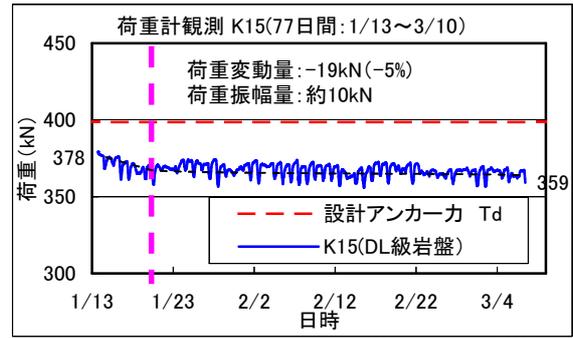


図14 k15地点荷重計観測結果(DL級岩盤)

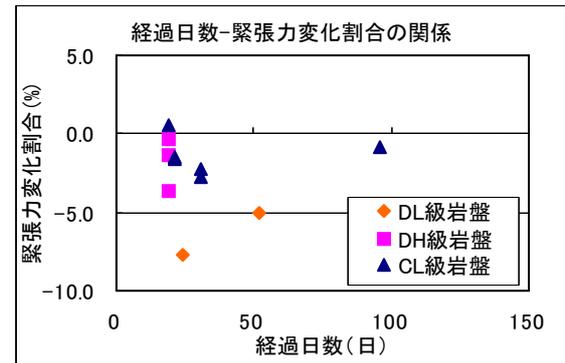


図15 岩盤区分による経過日数と緊張力変化割合

4.3. 道路のり面の再緊張アンカーのモニタリング事例

調査地は、軽量盛土工法にて道路拡幅工事を行った斜面で、道路のり面末端部のアンカー周辺の吹付けコンクリートに顕著なクラックの拡大が確認されたため(写真4)、アンカーのり面の健全性調査およびクラック幅観測、移動杭観測の動態観測を実施した。



写真4 調査アンカーのり面

尚、道路改良前に当初斜面对策として施工されたアンカー工(KTBアンカーK5-3H)のN=14本のうち10本は道路改良時に埋設され、のり面末端部に4本のみが露出した状態となっている(図16)。

アンカーの健全性調査において、リフトオフ試験を4本実施し、アンカーの残存引張り力が設計アンカー力の20%近くまで低下していることを確認した。このため、設計アンカー力まで再緊張を実施し、その後、のり面変状と緊張力保持の関係について効果判定を行った(図17)。

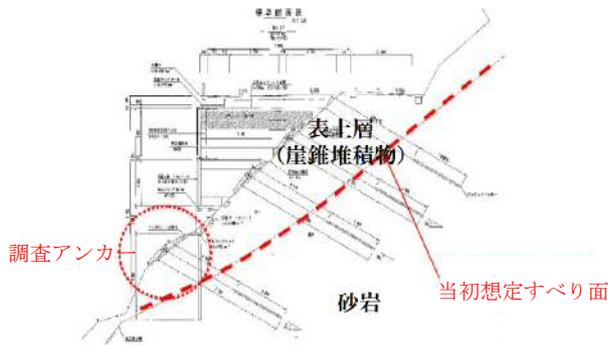


図 16 調査地断面図

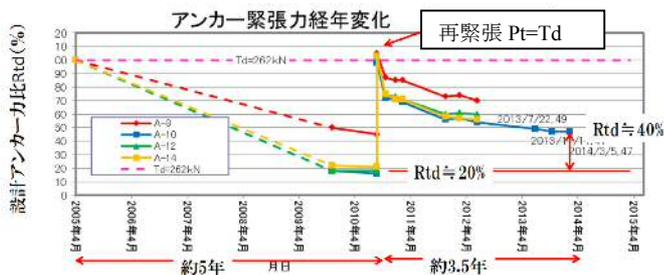


図 17 再緊張後のアンカー緊張力の経年変化



図 18 吹付工のクラック幅の経年変化

吹付け工のクラック変状は現在も進行（図18）しているのに対し、再緊張後の荷重低下は収束傾向（図17）にある。アンカーの再緊張時及び観測時のリフトオフ試験において、アンカー緊張後の残留変位はなくアンカー定着部の引抜け・劣化は認められない。以上のことから、当変状は、アンカーに関係のない部分での吹付け工のみでの表層劣化による変状の可能性が高いと判断される。なお、再緊張について、アンカー背面の地盤の強度増加が認められるものの、当初低下荷重から20%程度の荷重回復に留まっている。今後、補修対策等の再緊張の提案に当たり、地盤・地質特性による再緊張後の緊張力保持を含めた事前の再緊張効果に関する確認試験が重要と考える。

A ground anchor is useful structure for a stability of cutting slope. In order to maintain the stability of cutting slope, it is important to evaluate a tensile load of anchor.

In this study, Back ground anchors and geology of the slope is not uniform, anchor tension force is changing in various ways by the aging of the back ground and geology.

This study, from the monitoring results of the anchor load meter and surface survey of the anchor tension force was carried out in a variety of anchor slope, we discuss the challenges and maintain effective method of anchor slope.

6. まとめ

アンカーのり面の背面地盤・地質とアンカー緊張力の分布及び経年変化の調査を実施し、アンカーのり面の劣化モデルと LCC 評価による斜面防災対策に向け、下記のような結果を得た。

①アンカー緊張力の分布および緊張力は背面地盤・地質の影響を受け、経年変化している。アンカーのり面の背面地盤・地質の経年変化特性の把握において、アンカーのセンサー的機能を用いたアンカー緊張力のモニタリングは有効である。

②背面地盤・地質の劣化モデルにおいて、アンカー施工時のり面スケッチは非常に重要であり、維持管理台帳やカルテにおいて記録・保管することが重要である。

③アンカー緊張力の経年変化において、背面地盤・地質の影響を受け、緊張定着時初期のアンカー緊張力の1次低下・2次低下の変化傾向の把握が重要である。緊張力導入初期の経年変化特性の把握は、施工管理や効果判定、維持管理計画においても有効である。モニタリングには、取付け取り外しが簡易な後付け荷重計により短期的なモニタリングも効率的に対応可能である。

④補修対策等による再緊張を実施する場合は、背面地盤・地質の影響を考慮し、事前に試験的な再緊張を行い緊張力保持などの効果判定を行うことが重要。

⑤背面地盤および地質とアンカー緊張力の分布及び経年変化の調査事例は少なく、維持管理や更新工事は、アンカーのり面の劣化モデルと LCC 評価による斜面防災対策に向け、データ収集の貴重な機会である。今後の維持管理における効果的な追加対策の立案や対策工の施工効果判定等にフィードバック出来るよう、引き続き、データの蓄積を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) グラウンドアンカー設計・施工基準同解説, 地盤工学会, JGS4101-2012
- 2) グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 鹿島出版会, 2008
- 3) 酒井俊典著編, 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 (案), 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, 2010. 3
- 4) 安田賢哉, 佐久間智, 高梨俊行, 菊池慎司, 永井宏 高速道路切土のり面における変状グラウンドアンカーの調査検討事例, 第 47 回地盤工学会