

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 16 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450341

研究課題名(和文)グラウンドアンカー工のセンサー機能を利用したのり面安定評価システムの開発

研究課題名(英文)Evaluation of slope stability based on monitoring of residual load of anchor with sensor function

研究代表者

酒井 俊典 (SAKAI, TOSHINORI)

三重大学・生物資源学研究科・教授

研究者番号：90215591

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：アンカーの維持管理においてアンカーが示す緊張力は、リフトオフ試験あるいは荷重計により評価される。本研究では、リフトオフ試験を容易に行えるSAAMシステムを用い、アンカーのり面の残存引張り力の分布を求めるとともに、アンカーに荷重計を設置し、アンカー荷重と温度との相関について検討を行った。その結果、残存引張り力は背面地山の条件によって変化し、一様な分布を示さないこと。また、アンカー荷重と温度との相関は、安定したのり面では両者の相関が高く、変状の見られるのり面では相関が大きく低下することが明らかとなり、アンカー荷重と温度との相関を基にアンカーのり面の安定性を評価出来ることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The maintenance of ground anchors after construction are generally conducted to a part of total number of anchors on the slope. Anchors are consisting of group on the slope, therefore it is necessary to evaluate a distribution of residual anchor loads on the slope. Checking methods of the tensile load of anchors are a lift-off test and a monitoring using load-cell. In this study, propose new evaluation method of slope stability based on monitoring of residual load by using SAAM system. It enables easy to evaluate the distribution of the residual load on the slope. From the results, tensioning loads of anchor do not converge to a constant level affected by geological features of the ground. The correlation between the measured tensioning load obtained by load-cell and temperature is high in stable ground and low in unstable ground. It is possible to evaluate the slope stability based on monitoring of the correlation between the load-cell vales and temperatures.

研究分野：農業土木

キーワード：グラウンドアンカー工 維持管理 SAAMシステム 残存引張り力 荷重 温度 相関 地すべり

## 1. 研究開始当初の背景

グラウンドアンカー工（以下、アンカー）は、1957年に日本に導入され、現在まで斜面や切土のり面の安定対策工法として道路、地すべり、ダムサイト等の斜面の安定性を保持する目的で数多くの施工が行われて来ている。アンカーは、必要抑止力に見合った緊張力を導入することで定着を行い、この状態を保つことで法面の安定性を保持する抑止構造物であり、維持管理においてアンカーに作用している緊張力を管理することが求められる。アンカーはのり面に多数施工され、これら施工されたアンカーの緊張力がのり面で面的に作用することで安定性を保持する機構である。このため、のり面の健全性を評価する上で緊張力状況を個々のアンカーではなく、施行されたのり面全体で面的に評価することが必要となる。従来アンカーに作用する残存引張り力を求めるリフトオフ試験においては、実施する試験機器が大きく重いこともあり、のり面に施工された全アンカーに対し5%~10%程度のアンカーを対象とした調査を行うことが基準として示されている<sup>1),2)</sup>。しかし、局所的に発生する可能と考えられるのり面の変状箇所を把握するにはこの本数では十分とはいえず、アンカーのり面の緊張力状態を2次元の面として把握することが必要である。アンカーに作用する緊張力を求める試験としては、リフトオフ試験による残存引張り力の試験および、荷重計を用いたアンカー緊張力の経時変化をモニタリングする手法があげられる。このうち、リフトオフ試験においては、従来施工時に使用される大型で重いセンターホール型のジャッキが使用されてきており、調査を実施する場合に足場の仮設や通行規制等が必要となる場合があった。これに対し著者らは、人力での持ち運びが可能な小型・軽量ジャッキ（SAAM ジャッキ）を開発し<sup>3)</sup>、これを用いた新たなアンカーのり面における面的調査手法（SAAM システム）の開発を行った<sup>4)</sup>。これにより、のり面に施工されたアンカーを数多く調査を実施することが可能となり、のり面の緊張力状況を2次元の分布として捉えることを可能とし、現在アンカーのり面状況を把握する新たな調査手法として利用されている。ところで、アンカーはのり面の安定性を保持するため緊張力が導入されているが、アンカーが示す緊張力は施工時から一定値を示すのではなく、背面地山の状態によって変化し、いわゆるセンサーとしての機能を有している<sup>5)</sup>。このアンカーのセンサーとしての機能を利用し、アンカーのり面の健全性

をアンカー緊張力変化のモニタリングから評価する場合に使用される荷重計は、アンカー施工時に設置されるのが一般的で、既設のアンカーに新たに荷重計を設置する場合には、アンカー緊張力の除荷を行った後に荷重計を設置し、その上で再緊張を行う大がかりな作業が必要である。また、余長が短いアンカーではテンドンの引込まれ等が発生し設置できない問題もあった。これに対し、著者らはSAAM システムを用いた既設アンカーへの荷重計着脱を容易に行える手法の開発を行った<sup>6)</sup>。本研究では、上記のSAAM システムを利用し、アンカーのセンサーとしての機能を利用した新たなアンカーのり面の維持管理手法を提案するものである。

## 2. 研究の目的

アンカー緊張力をモニタリングするために用いられる荷重計は、温度による影響を小さくし正確な測定値を求めるため温度補償が行われている。しかし、アンカーに設置される荷重計は、屋外で風雨にさらされる過酷な条件下にあり、夏期・冬期、朝・夕での温度差が大きく、測定される荷重値の温度への影響を無視することが出来ないと考えられる。また、アンカーに取付けられた荷重計は背面地山、あるいはアンカーの状況を捉えるセンサーとしての機能を有することが考えられる。上記の点を考慮し、アンカー荷重と温度との相関変化を基にのり面の安定状況を評価することが可能であると考えられる。

本研究は、現地踏査およびSAAM システムを用いた面的調査手法を用いてアンカー残存引張り力の分布を求め、アンカーのり面の安定性を評価したのり面に対し、SAAM システムにより既設アンカーに荷重計を設置し、アンカー荷重と温度との相関値の変化を求め、この相関値を指標とした新たなアンカーのり面の安定性評価手法の提案を行うものである。

## 3. 研究の方法

本研究では、アンカーのり面においてSAAM システムを用いたリフトオフ試験により、アンカーのり面の残存引張り力の面的調査手法を用いた評価を行い、その上でモニタリングに適切な既設アンカーに荷重計および油圧ディスクを設置し、アンカー荷重の計測を行うとともに温度を計測し、アンカー荷重、温度変化、およびアンカー荷重と温度との相関の変化を求め、これらを指標とした新しいアンカーのり

面の安定性評価手法の開発を行うものである。

研究方法は、まずのり面に変状がみられない健全なりの面を対象に、アンカーのり面の健全性を判定する上で利用するアンカー荷重と温度との相関関係の評価において必要となる事項について検討を行う。次に、地すべり挙動により変状が見られるのり面において、のり面変状とアンカー荷重変化との関係性を評価するとともに、のり面変状が見られた場合のアンカー荷重と温度との相関関係について検討を行う。加えて、アンカー荷重と温度との相関関係の評価する場合、一般に利用されている荷重計以外のセンサーの適用性を評価するため、圧力ディスクを用いたアンカー荷重と温度との相関関係の検討も行う。以上の検討事項を考察した上で、アンカー荷重が温度と高い相関関係を持つことを考慮し、モニタリングした結果を適切に評価するため温度の影響を考慮した実測アンカー荷重の温度補正について検討を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) アンカー荷重と温度の関係

図1は、アンカーに設置した荷重計の荷重値と温度計の温度変化を示したものである。荷重計に設置した温度計は1日で最大22°C程度の温度差が見られ、夏期の最高温度は44°C、冬期の最適温度は-2°C程度と年間を通じての温度差は46°Cであった。図2は測定期間全体におけるアンカー荷

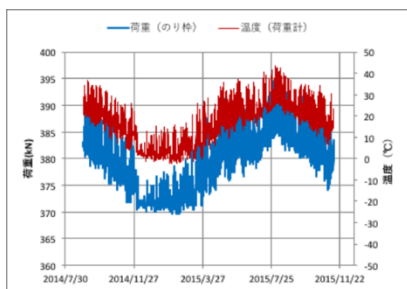


図1 アンカー荷重と温度の変化

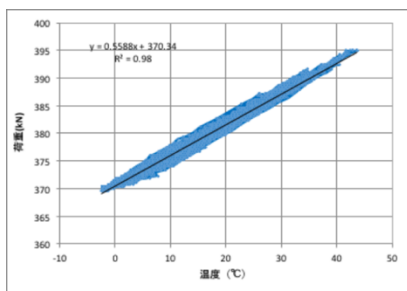
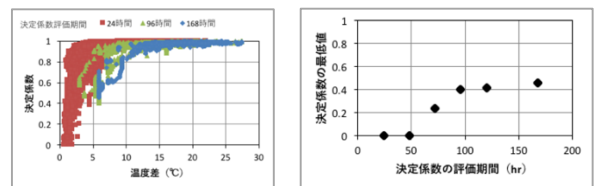


図2 アンカー荷重と温度の関係

重と温度との関係性を示したものである。両者の相関を決定係数 ( $R^2$ ) で評価すると、 $R^2$ が0.98と高い相関を示し、測定期間においてアンカー荷重と温度との関係における  $R^2$  は高く両者に相関が認められる。そこで、両者の相関を評価する期間が  $R^2$  に及ぼす影響について検討を行ってみる。図3(a)は1時間毎のアンカー荷重と温度の測定結果を基に、両者の相関を評価する期間を24時間、96時間、168時間とした場合の  $R^2$ 、および評価期間内の最高温度と最低温度の温度差との関係性を示したものである。アンカー荷重と温度との相関を評価する場合、評価期間が長くなるに従い最高気温と最低気温の温度差が大きくなるため  $R^2$  は高くなる。また、いずれの評価期間においても、評価期間内の温度差が10°Cを下回ると  $R^2$  が低下する傾向が認められ、特に温度差が5°Cを下回るといずれも  $R^2$  は大きく低下する。評価期間が24時間の場合には、1日のデータでは雨期や冬期など温度変化が少ない期間では、最高気温と最低気温の温度差が5°Cを下回る場合が多く、高い  $R^2$  を得られないと考えられる。図3(b)は1時間毎のアンカー荷重と温度との結果から、評価期間を24時間、48時間、72時間、98時間、120時間、168時間とした場合の  $R^2$  の最低値を評価期間毎に示したものである。 $R^2$  の最低値は、評価期間が48時間までは0の無相関が存在するものの、96時間以上では  $R^2$  は0.4程度以上を示す。この結果、アンカー荷重と温度との相関を評価する場合、評価期間を96時間以上とする必要があると考えられ



(a) 評価期間の決定係数 ( $R^2$ ) (b) 決定係数の最低値と温度差 評価期間

図3 評価期間の決定係数 ( $R^2$ ) と温度差



図4 評価期間96時間の温度差と決定係数 ( $R^2$ ) の変化

る。図4は $R^2$ の評価期間を96時間とした場合の1時間毎のアンカー荷重と温度との $R^2$ 、並びに最高温度と最低温度の温度差の変化を示したものである。本調査地点では12月初旬に積雪があり、荷重計が雪に埋まったことで温度差が $5^{\circ}\text{C}$ を下回り、アンカー荷重と温度との $R^2$ が大きく低下しているものの、この期間を除く $R^2$ は0.9以上の高い値で推移する。

以上の結果、アンカー荷重と温度との相関を評価する場合には、評価期間を96時間以上とし、その評価期間内の温度差が $5^{\circ}$ 以上において安定した $R^2$ の変化を捉えることが可能である。

### (2) のり面変状が見られる場合のアンカー荷重と温度との相関

図5は豪雨時に変状が見られたのり面におけるアンカー荷重と、地すべりブロック内に設置されたパイプひずみ計に変化が見られた深度におけるひずみ値を示したものである。パイプひずみ計のひずみ値の変化と同時にアンカー荷重が増加しており、アンカーは地盤変状を捉えるセンサーとしての機能を有していると考えられる。図6は、この地点の2014年10月からの1ヶ月毎のアンカー荷重と温度との関係を見たものである。2015年7月にのり面の変状によりアンカー荷重が増加し、この期間においてアンカー荷重と温度との相関が見られなくなっている。

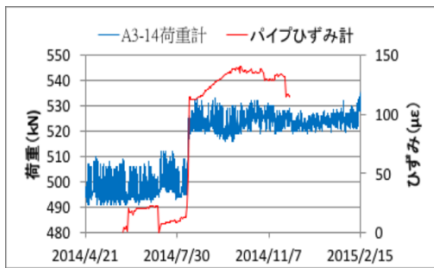


図5 アンカー荷重とパイプひずみ計のひずみ値

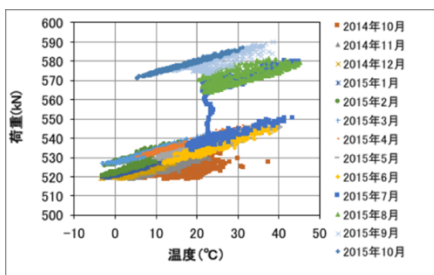


図6 アンカー荷重と温度との関係

以上のように、アンカー荷重はのり面の変状を捉えるセンサーとしての機能を有しており、のり面変状が発生した場合にはアンカー荷重が変化することで温度との相関が大きく低下する。このことより、アンカーのり面の健全性をアンカー荷重変化、あるいはアンカー荷重と温度との相関変化により評価することが可能である。

### (3) 油圧ディスクを用いた計測

アンカー荷重をモニタリングするにあたってひずみゲージ式の荷重計を合わせて、油圧変化を利用する油圧ディスクを用いた方法も利用されている。そこで、アンカー荷重測定において油圧ディスクを用いた場合のアンカー荷重と温度との関係について検討を行ってみる。図7に油圧ディスクにより求めたアンカー荷重と温度との関係を示す。油圧ディスクに設置した温度計は1日で最大 $14.7^{\circ}\text{C}$ 程度の温度差が見られ、測定期間中の最高温度は $36.7^{\circ}\text{C}$ 、最低温度は $0.5^{\circ}\text{C}$ 程度と温度差は $36.2^{\circ}\text{C}$ であった。また、油圧ディスクにより求められるアンカー荷重は温度によって変化し、1日で最大 $37.1\text{kN}$ 、測定期間中の最大値が $390.7\text{kN}$ 、最小値が $331.2\text{kN}$ と $59.5\text{kN}$ の差が見られた。

図8に油圧ディスクより求めたアンカー荷重と温度との関係を示す。アンカー荷重と温度との相関を測定期間全体で見ると $R^2$ は0.82と高い値を示す。図9に油圧ディスクにおける96時間を対象とした1時間毎のアンカー荷重と温度

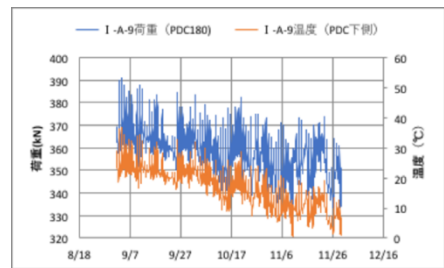


図7 油圧ディスクによるアンカー荷重と温度の変化

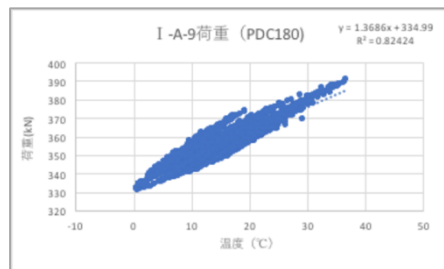


図8 油圧ディスクによるアンカー荷重と温度の関係



図9 評価期間96時間の変化油圧ディスクにおける温度差と決定係数(R<sup>2</sup>)の変化

とのR<sup>2</sup>の変化および、対象期間96時間の温度差を示す。全期間を通じR<sup>2</sup>は0.9以上の高い相関で推移する。

以上の結果、アンカー荷重の測定にあたり、温度の影響があり精度が落ちるとされる油圧ディスクを用いても荷重計の場合と同様の結果を得ることが可能である。

#### (4) 実測アンカー荷重の温度補正

アンカー荷重と温度とに高い相関が見られ、朝・夕、夏期・冬期など温度の影響を受けてアンカー荷重は大きく変化する。アンカー荷重を用いてアンカーおよびアンカーのり面の維持管理を行う場合、アンカー荷重が温度により変化することを考慮し、モニタリングした結果を適切に評価するため温度の影響を評価する必要がある。そこで、両者の高い相関関係を利用し、実測アンカー荷重の温度補正について検討を行ってみる。

温度補正にあたっては、図10に示すように1時間毎に計測を行った計測期間全体の場合には、アンカー荷重と温度との関係から求める1次回帰式の直線の傾きを求め、これを基に下記の式を用いて行う。

$$L_i = L_0 - \{a(T_i - T_0)\} \quad (1)$$

ここで、

i 時間の温度補正荷重 :  $L_i$

測定開始時の荷重 (初期荷重) :  $L_0$

i 時間に測定される温度 :  $T_i$

測定開始時の温度 :  $T_0$

アンカー荷重と温度との1次回帰式から求まる直線の傾き ;  $a$

アンカー荷重と温度との相関関係を用いて実測アンカー荷重の1時間毎の温度補正を行う場合には、評価期間の温度差の影響が小さくなる96時間を対象に、1時間毎に測定

される96データを対象とし、上記の式(1)を基に下記の手順で行う。

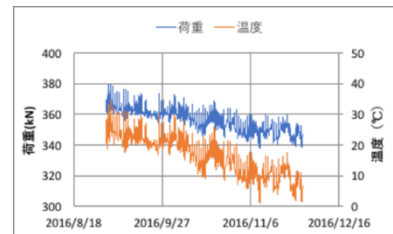
①評価期間96時間の1時間毎の96個のデータに対して、アンカー荷重と温度とのR<sup>2</sup>と求めるとともに1次回帰直線の傾きを求める。

②1次回帰直線の傾きに実測温度を乗じ、測定初期の温度による荷重(初期温度荷重)を求める。

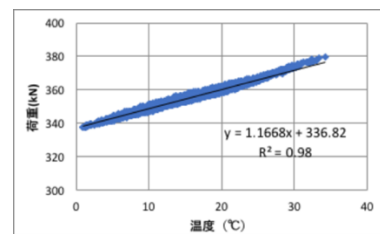
③96時間のデータを1時間ずつ移動させ、各時間のR<sup>2</sup>、1次回帰直線の傾きおよび、実測温度に直線の傾きを乗じた温度荷重を求める。

④②で求めた初期温度荷重と1時間ずつ移動させた各時間の温度荷重の差(温度荷重差)を求める。

⑤測定開始時の初期荷重に④で求めた各時間の温度荷重差を加え、各時間における温度補正荷重を求める。



(a) アンカー荷重と温度



(b) 1次回帰式

図10 アンカーの温度補正荷重の求め方

図11は安定したのり面において、1時間毎に実測されたアンカー荷重と温度、温度補正荷重を示したものである。実測されたアンカー荷重は、朝・夕、夏期・冬期の温度差によ

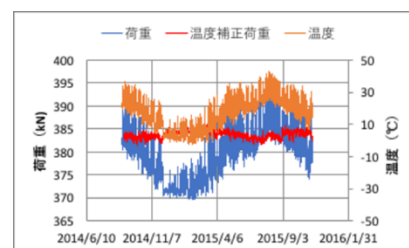


図11 温度補正荷重とアンカー荷重、温度の変化

り、1日で13kN程度、測定期間全体で25kN程度の変化が見られるのに対し、温度補正を行ったアンカー荷重は、1日で3kN程度、測定期間全体で5kN程度と変化は小さく安定した結果を示す。

以上の結果、アンカー荷重と温度との1次回帰直線から求まる傾きを基に、実測されたアンカー荷重に対して温度による補正を行った温度補正荷重によるアンカー荷重を求め、温度の影響を受けない安定したアンカー荷重変化として評価することが可能である。

#### <引用文献>

- 1) グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説、地盤工学会、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) 酒井俊典編：グラウンドアンカー工保全のためのSAAMジャッキを用いたリフトオフ試験マニュアル(案)、(社)全国地質調査業協会連合会、2008
- 4) 酒井俊典編著：SAAMジャッキを用いた既設アンカー法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法面の保全手法開発委員会、2010
- 5) 酒井俊典・藤原優：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、41(11)、45-48、2013
- 6) 酒井俊典・藤原優・常川善弘：既設グラウンドアンカーへの荷重計設置技術の開発、三重大学社会連携センター研究報告、20号、105-110、2012

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① 川嶋直人、櫻井友彰、酒井俊典、SAAMシステムを用いたグラウンドアンカーのり面の健全性評価手法の開発、電力土木、査読無、386巻、2016、41-45
- ② 酒井俊典、常川善弘、阪口和之、磯嶋治康、矢野真紀、変状が見られるのり面におけるアンカー緊張力と温度との関係について、第28回中部地盤工学シンポジウム論文集、査読無、2016、23-28
- ③ 酒井俊典、常川善弘、田口浩史、阪口和之、藤原優、市橋義治、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、日本地すべり学会誌、査読有、51巻、2014、19-24

[学会発表] (計10件)

- ① 酒井俊典、川嶋直人、温度計設置位置がアンカー荷重と温度との相関に与える影響、第51回地盤工学研究発表会、岡山市(岡山大学)、2016年9月13日
- ② 酒井俊典・近藤益央・藤田智弘・横山一輝・常川善弘・山下英二・田口浩史・高梨俊行、再緊張を行ったアンカーにおけるアンカー荷重と温度のモニタリング、土木学会第71回年次学術講演会、仙台市(東北大学)、2016年9月9日
- ③ 酒井俊典、常川善弘、阪口和之、アンカー荷重と温度との相関を用いたグラウンドアンカー施工後の初期荷重低下の評価、土木学会第70回年次学術講演会、岡山市(岡山大学)、2015年9月18日
- ④ 酒井俊典、阪口和之、磯嶋治康、常川善弘、温度補正を考慮したグラウンドアンカー緊張力の評価について、第54回日本地すべり学会研究発表会、山形市(山形テルサ)、2015年8月27日
- ⑤ 酒井俊典、川嶋直人、グラウンドアンカー工の緊張力管理における温度の影響、土木学会中部支部研究発表会、豊橋市(豊橋技術科学大学)、2015年3月6日

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

酒井 俊典 (SAKAI Toshinori)  
三重大学・生物資源学研究科・教授  
研究者番号：90215591