

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 (Relationship between load of anchor and temperature on the slope confirmed deformation)

酒井俊典¹，常川善弘²，阪口和之³，磯嶋 治康³，矢野真妃⁴

1 三重大学大学院生物資源学研究科・sakai@bio.mie-u.ac.jp

2 (株)相愛・建設事業部 アセットマネジメント課・tsunekawa@soai-net.co.jp

3 アジア航測(株)・西日本コンサルタント部・kaz.sakagu@ajiko.co.jp

4 (株)オサシ・テクノス・yano@osasi.co.jp

概 要

地すべり挙動によってのり面およびアンカーに変状が見られるアンカーのり面を対象に，アンカーの変状の進行状況について調査を行った結果，日 300mm を超える降雨により地すべり挙動が見られ，これに伴ってアンカー荷重が増加するとともに，アンカーの破断等の変状が進行することが確認された。また，アンカーに荷重計および温度計を設置し，アンカー荷重と温度との関係からアンカーのり面の状況について検討を行った結果，アンカー荷重と温度との決定係数 (R^2) はのり面に変状が見られない期間では高い値を示すものの，のり面に変状が見られる大きな降雨時には大きく低下し，アンカーがのり面変状をとらえるセンサーとしての機能を有していることが明らかとなった。また，両者の R^2 の変化に加え，施工されたアンカーの情報をあわせて考察することで，のり面の深度方向を含めた 3 次元的な地すべり変状状況を推定できる可能性があることが示された。

キーワード：グラウンドアンカー，リフトオフ試験，残存引張り力，荷重計，台風

1. はじめに

グラウンドアンカー工（以下，アンカー）は，アンカーに導入された緊張力により，のり面に施工された多数のアンカーによってのり面の安定を面的に保持する機構を有している。このため，個々のアンカーに作用する緊張力は，背面地山の影響を受けて変化し，アンカーは背面の地山状況を反映するいわゆるセンサーとしての機能も有していると考えられる¹⁾。このため，地すべり挙動等により背面地山に変状等が見られるアンカーが施工されたのり面（以下，アンカーのり面）においては，その変状に応じてアンカー緊張力が変化することが考えられる。本報では，地すべり挙動によってのり面およびアンカーに変状が見られるアンカーのり面を対象に，アンカーの変状状況について調査を行うとともに，のり面に施工されたアンカーに荷重計および温度計を設置し，アンカー荷重と温度との関係からアンカーのり面の状況について検討を行った。

2. 現地状況

本調査地点は，上部に比較的大きな地すべりブロック



写真1 現地のアンカー施工状況

が複数存在するその末端ブロックに位置し，アンカーはその活動を防止のため，3 段のコンクリート擁壁に写真 1 のように各段 1 列で施工されている。施工本数は下段が 23 本，中段が 30 本，上段が 33 本の計 88 本で，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，定着時の緊張力は待ち受け効果を期待して設計アンカー力の半分程度の 161kN から 220kN となっている。現地では，平成 23 年 9 月の台風 12

号による豪雨後に写真 2 に示すような U 字水路の変状、かご枠の変形、吹きつけコンクリートの亀裂等の変状が、施工された擁壁の中央から南側の領域において明瞭に確認された。また、平成 24 年 9 月に実施した調査において、下段中央付近の A1-13 アンカーにおいて、アンカーテンドンは 3 本とも存在するものの、写真 3 に示すような頭部キャップの割れ、および支圧板の回転が確認された。本地



写真 2 のり面の変状状況



写真 3 A1-13 アンカーの状況

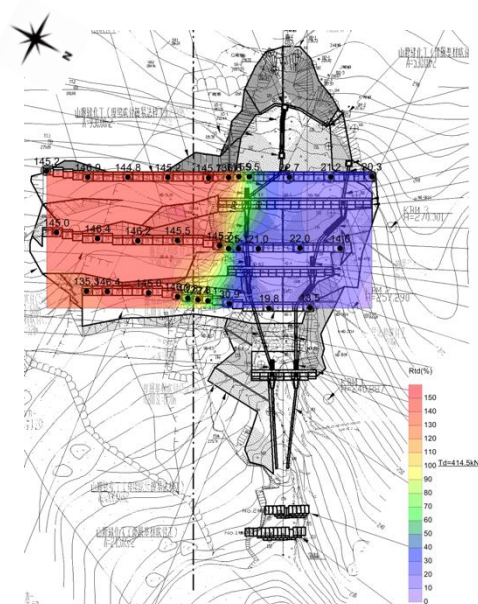


図 1 残存引張り力分布図

点において平成 25 年 2 月に SAAM システムを用いたリフトオフ試験により、アンカー残存引張り力の面的な分布調査を実施した。その結果を図 1 に示す。残存引張り力の分布状況は、のり面に変状の見られる中央から南側領域のアンカーにおいて、アンカーの降伏引張り力(T_{ys})の 90% を載荷してもリフトオフが確認出来ない破断の危険性が高い過緊張状態となっていることが確認された²⁾。また変状が見られた A1-13 においては、169kN 程度の残存引張り力でリフトオフが確認された。

本地点において、のり面の変状とアンカー荷重変化との関係を調べるため、図 2 に示す各段中央付近に位置する A1-11、A2-12、A3-14、および下段南側端部の A1-23 の 4 箇所のアンカーに荷重計および温度計を設置し、1 時間毎の測定を行った。なお、温度計の設置にあたっては、アンカー荷重と温度との相関において、高い相関が認められる荷重計に設置を行った。また、現地では上段中央付近に雨量計を設置し、1 時間毎の雨量観測も行っている。

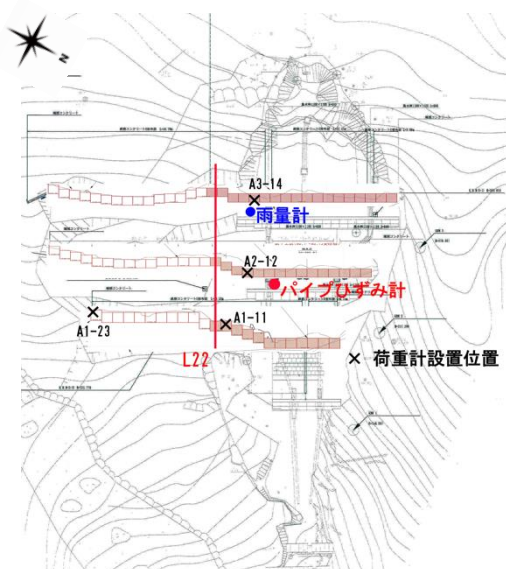


図 2 調査地点付近の平面図

3. アンカーの変状進行状況

現地では、施工された擁壁の中央から南側の過緊張領域のアンカーにおいて、写真 4 に示すように頭部キャップの割れ・落下、テンドンの飛出し等の変状が進行し、一部のアンカーにおいてはテンドンが数十 m 以上飛翔していることが確認される。表 1 は、調査当初の 2012 年 9 月から 2015 年 11 月まで実施した 7 回の現地確認において、変状が確認されたアンカーの増加状況を示したものである。図 3 は 2012 年 9 月からの近隣アメダスにおける日降水量と現地調査日を示したものである。また、図 4 に変状が確認されたアンカーの位置を示す。2013 年 12 月 3 日まで変状の見られるアンカーは、当初確認された A1-13 アンカー 1 本のみであったが、日降水量 300mm を超える降水量が見られた後の 2014 年 9 月 30 日には、変状の見られるア

ンカーが6本に増加し、その後も日降水量が300mmを超える降雨後に変状の見られるアンカーが増加し、2015年8月24日の調査時には、過緊張領域において変状の見られるアンカー数が20本と大きく増加している。近隣アメダスの日降水量と変状アンカーの発現状況を比べると、2014年8月9日の406.5mm、10日の214mmと累積600mmを超える日降水量が見られた後の2014年9月30日に変状の見られるアンカー数が6本に増加し、また2015年7月16日の381.5mm、17日の171.5mmと累積550mmを超える日降水量が見られた後の2015年8月24日には変状が見られるアンカーが20本に大きく増加している。この結果、日降水量が300mmを超えるような大きな降雨を経験することで変状の見られるアンカーが増加することが考えられる。



a) アンカーの状況



b) アンカーの飛翔状況

写真4 アンカーの変状状況

表1 変状アンカーの発現状況

アンカーNo.	確認年月日						
	2012/9/14	2013/2/19	2013/12/3	2014/9/30	2014/12/15	2015/8/24	2015/11/7
A1-13	○	→	→	→	→	→	→
A1-14						○	○
A1-16						○	○
A1-17						○	○
A1-18						○	○
A1-19						○	○
A1-22						○	○
A2-17				○	○	○	○
A2-18				○	○	○	○
A2-21				○	○	○	○
A2-22				○	○	○	○
A2-29				○	○	○	○
A2-30				○	○	○	○
A3-17						○	○
A3-20						○	○
A3-21						○	○
A3-23						○	○
A3-24						○	○
A3-26						○	○
A3-27				○	○	○	○
A3-28				○	○	○	○
A3-29				○	○	○	○
A3-30				○	○	○	○
計	1	1	1	6	6	20	23

○: 問題アンカー確認

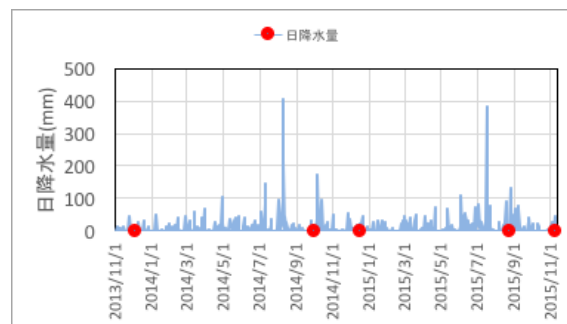


図3 日降水量と現地確認日
(日降水量は近隣アメダスデータ)

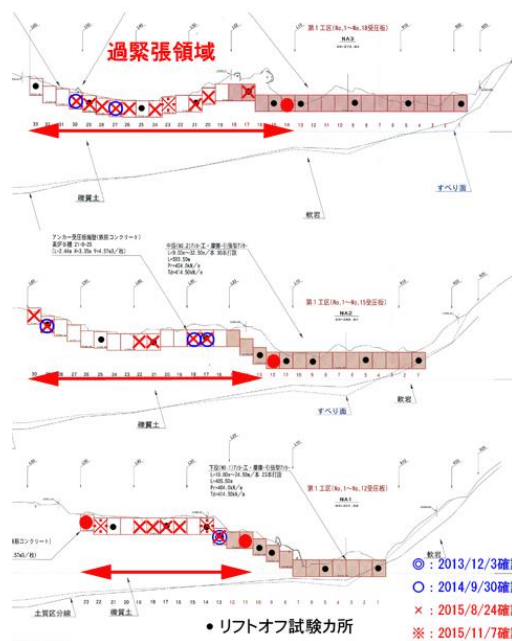


図4 変状アンカー箇所

4. アンカー荷重と地中変位

現地では、図1に示す位置にパイプひずみ計が設置されている。図5はこのパイプひずみ計においてひずみ変化が確認されている深度GL-8.5mにおけるひずみ値と日降水量をあわせて示したものである。過緊張領域において変状が確認されたアンカーが6本に大きく増加した2014年8月8日から10日にかけて累積降水量が600mmを超え、その降雨後の8月11日から8月12日にかけてパイプ

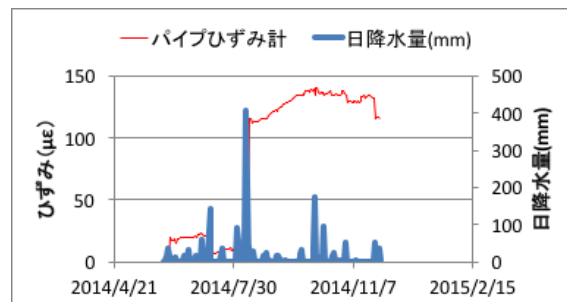


図5 日降水量とパイプひずみ計(GL-8.5m)

ひずみ計のひずみ値に明瞭な変化が見られ、地すべりの動きがあったものと考えられる。図 6 は、パイプひずみ計に変化が見られた深度 GL-8.5m におけるひずみ値と、パイプひずみ計が設置されている近隣の A3-14 アンカーのアンカー荷重変化を示したものである。パイプひずみ計が変化すると同時にアンカー荷重は増加しており、アンカーが地盤の変状を示すセンサーとしての機能を有していることが伺える。

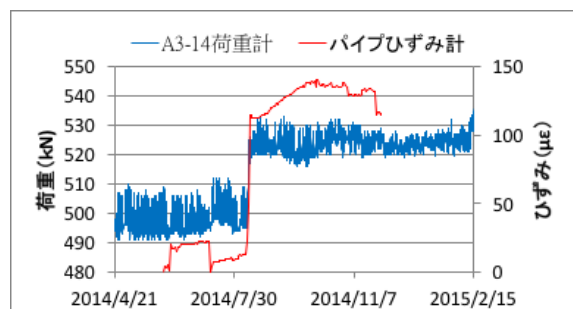


図 6 アンカー荷重とパイプひずみ計(GL-8.5m)

5. アンカー荷重と温度

図 7 は A1-23, A1-11, A2-12, A3-14 の各アンカーに設置した荷重計の荷重値と、調査地点に設置した雨量計の時間降水量を示したものである。問題の見られるアンカーが 6 本から 20 本に大きく増加した 2015 年 8 月 24 日の調査前の 7 月 16 日から 7 月 17 日にかけては、最大時間雨量 39.5mm を含む累積 667mm の降水量が観測され、この降雨の影響により各アンカーの荷重は大きく増加している。ところで、アンカーに作用する荷重を荷重計により計測する場合、変状のない安定したのり面ではアンカー荷重と温度とに高い相関が認められるものの、アンカーあるいはのり面に変状が見られる場合には、温度以外の要因によってアンカー荷重が変化するため両者の相関は大きく低下することが示されている³⁾。図 8 は、各アンカーにおける 2014 年 10 月から 2015 年 10 月までの 1 年間を対象に 1 ヶ月毎のアンカー荷重と温度との関係を示したものである。のり面中央付近の A1-11, A2-13, A3-14 においては、上記の降

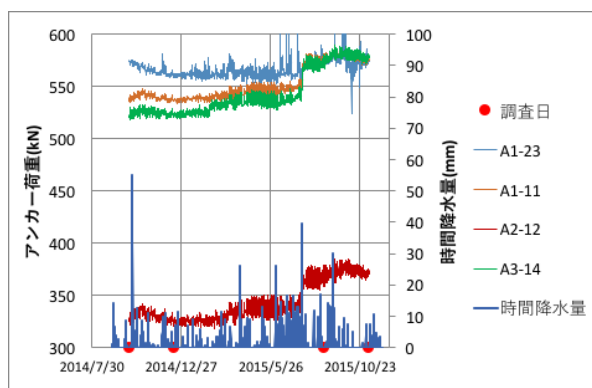
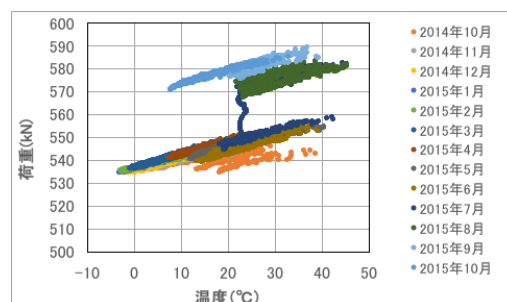
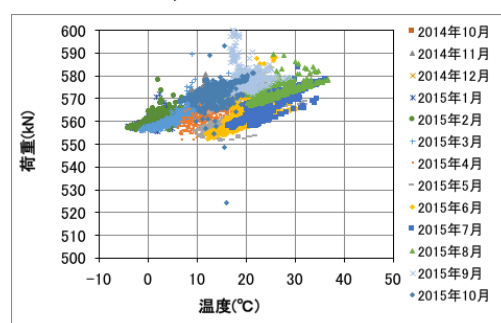


図 7 アンカー荷重変化と時間降水量

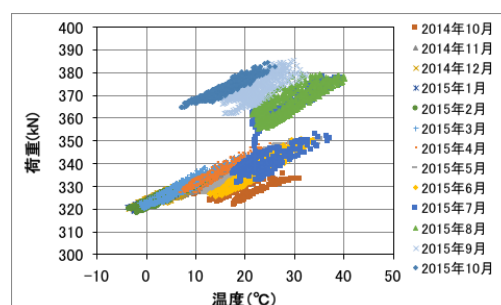
雨が見られた 2015 年 7 月において、両者の相関が明瞭に低下する期間が存在し、この期間にのり面変状が見られたことが推測される。一方、下段南側端部の A1-23 アンカーにおいては、全期間を通じての両者の相関は明瞭に認められない。



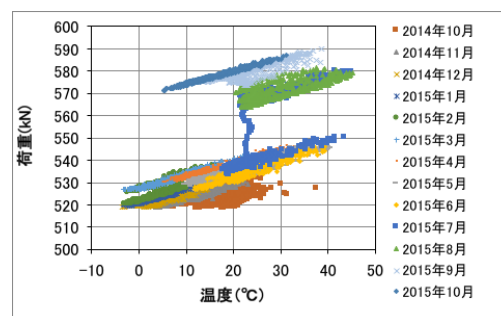
a)A1-11 アンカー



b)A1-23 アンカー



c)A2-12 アンカー



d)A3-14 アンカー

図 8 アンカー荷重と温度との関係

6. アンカー荷重と温度の相関

安定したのり面にはアンカー荷重と温度とに高い相関が見られるのに対して、のり面に変状等が発生しこれ

によりアンカー荷重が変化した場合、両者の相関は大きく低下する。このため、アンカーにおいて両者の相関変化を評価することで、孔内傾斜計やパイプひずみ計と同様、のり面の状況を判断できると考えられる。そこで、本地点において、荷重計を設置した各アンカーを対象にアンカー荷重と温度との相関関係を評価できるシステムの導入を行った。



写真 4 パケット通信機

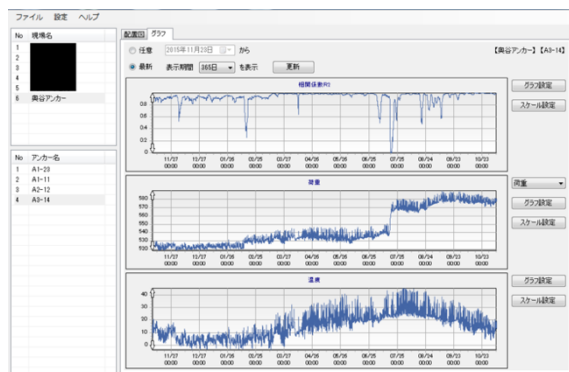
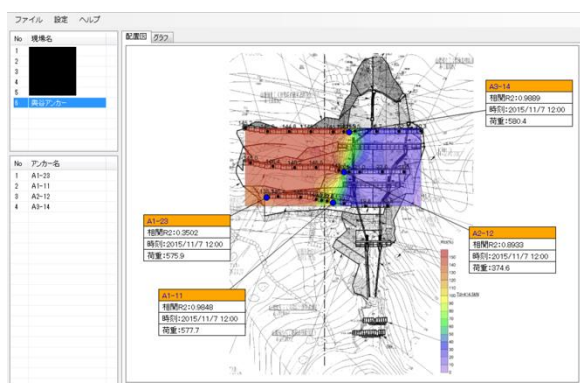
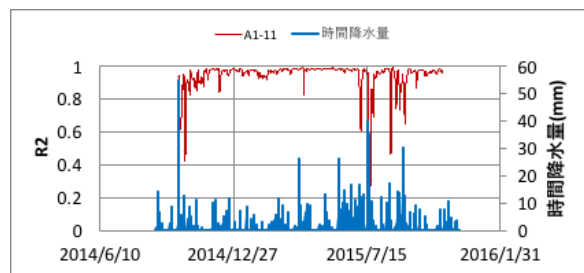


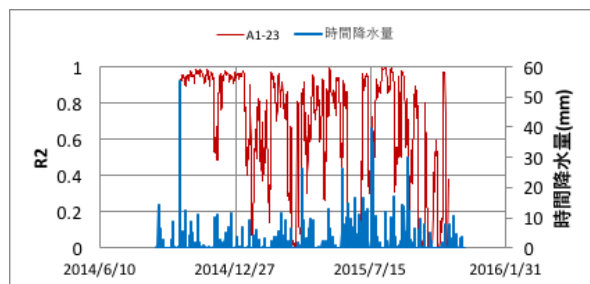
図 9 アンカー荷重と温度の相関評価システム画面

このシステムは、アンカー荷重および温度、並びに降水量の計測結果を、写真 4 に示すパケット通信機を介して 1 時間毎にデータ転送を行い、この転送されたデータを基に、96 時間を対象にアンカー荷重と温度との決定係数 (R^2) を求め、その変化を評価することでのり面状況を判断できるシステムとなっている。図 9 に本システムの出力画面の一例を示す。図 10 は、下段中央 A1-11 アンカーおよび南側端部 A1-23 アンカーにおいて、96 時間を対象にアン

カ



a)A1-11 アンカー



b)A1-23 アンカー

図 10 アンカー荷重と温度との R^2 と時間降水量

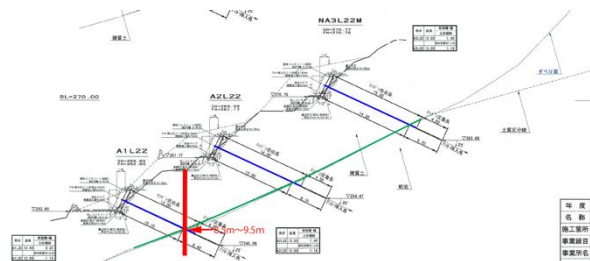


図 11 L22 測線の断面図



図 12 地すべりブロックの状況

一荷重と温度との R^2 の変化を 1 時間毎に求めた結果、および時間降水量を示したものである。A1-11 アンカーにお

ける R^2 は、最大時間降水量 55mm を含む累積 184.5mm が観測された 2014 年 10 月 6 日、および最大時間降水量 39.5mm を含む累積 667mm の降雨が観測された 2015 年 7 月 16 日から 17 日にかけて大きく低下しており、この期間に荷重変化が見られた可能性が考えられる。これに対し端部に位置する A1-23 アンカーにおける R^2 は、2014 年 10 月以降大きく低下するとともに安定した値を示していない。

図 11 は図 1 に示す過緊張領域と緊張力低下領域の境界付近における L22 測線の断面図である。パイプひずみ計で観測されたすべり面位置は、ブロック中央付近においては、GL-8.5m でおおむね当初想定されたすべり面付近の位置にあると考えられる。ところで、本地点では当初想定された地すべりブロックより南側に広がる大きな地すべり挙動が現在確認されている。図 12 は、現在想定されている地すべりブロック周辺の平面図と、アンカー施行位置におけるアンカー残存引張り力の面的調査の結果をあわせて示したものである。当初想定された地すべりブロックより南側に広がる大きな地すべりブロックの北側端は、U 字側溝の変状、かご枠の変形、吹き付けコンクリートの割れ等の変状が確認された過緊張領域と緊張力低下領域の境界にあたる図中の破線の位置にあると考えられる。ところで、アンカー荷重と温度との相関が低い A1-23 アンカーにおいては、図 13 のアンカー展開図に示すように当初の想定すべり面位置とアンカー定着位置までの距離が 1m 程度しかなく、この付近では地すべりブロックの南側への拡大により、アンカー長が不足している可能性が考えられ、アンカー荷重と温度との R^2 が安定せず低い値を示すものと推定される。

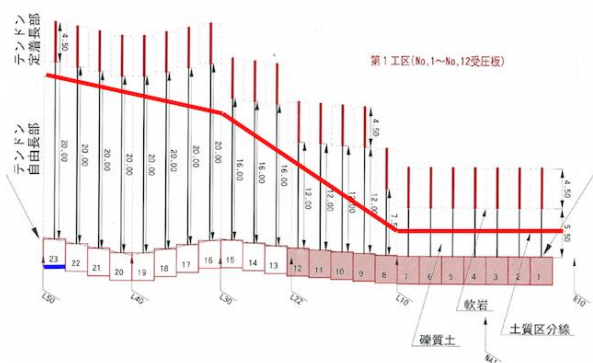


図 14 アンカー施工状況

7. おわりに

地すべり挙動によって変状が見られたアンカーのり面を対象に、アンカーに荷重計および温度計を設置し、アンカー荷重と温度との相関からのり面状況の検討を行った。その結果、本地点では日 300mm を超える大きな降雨を受けることで地山の動きが見られ、これに伴ってアンカー荷重が増加することが明らかとなった。また、本地点では、アンカーの降伏荷重を超えた過緊張状態のアンカーが存在し、これらのアンカーは地すべり挙動によるアンカー荷重の増加に伴い、テンドンの飛出し、頭部キャップの割れ・落下等の変状が発生し、特に日 300mm を超える大きな降雨後には変状の見られるアンカーが増加することが確認された。さらに、アンカー荷重と温度との R^2 の評価においては、日 300mm を超える大きな降雨時に R^2 は大きく低下し、アンカーがセンサーとしての機能を有し、 R^2 の変化によってのり面状況を評価できることが確認された。また、当初想定されたすべり面の南端に位置する A1-23 アンカーにおいては、想定より南側に広がる大きな地すべり挙動によりアンカー長さが不足している可能性が考えられ、これによってアンカー荷重と温度との R^2 が安定せず低い値を示すものと推定された。

以上の結果、アンカー荷重と温度との R^2 の変化を基にのり面状況を評価できることに加え、アンカー荷重と温度との R^2 とあわせ、現地踏査結果、各種計測データ、およびアンカー長等のアンカー施工時の情報を総合的に考察すると、深度方向を含めた 3 次元的な地すべり挙動を判断できる可能性が考えられる。

最後に、本研究を進めるにあたり三重大学大学院生物資源学研究科土資源工学研究室の学生にご協力をいただきました。また、本研究の一部は JSPS 科研費 26450341、高知県ものづくり産業強化事業費補助金の補助を受けたものです。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 藤原優・酒井俊典：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, 547-563, 2012.
- 2) 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，第51巻，6号，19-24，2014.
- 3) 酒井俊典・阪口和之・磯嶋治康・常川善弘：アンカー荷重と温度との相関関係を利用したのり面安定性評価，第53回日本地すべり学会研究発表会講演集，110-111，2014.