

グラウンドアンカーの緊張力モニタリングの事例と 施工、維持管理への適用可能性

近藤益央・間渕利明・小出央人

1. はじめに

グラウンドアンカー（以下「アンカー」という。）は、斜面安定対策として広く用いられているが、対象が自然地盤であること、またその設計手法は、不均一・不連続という地質・地盤の不確実性の影響を強く受け、施工後も大きな不確実性が残存する。そのため、アンカーによる斜面安定対策等の合理化のためには、設計時の不確実性を施工中・施工後のモニタリングにより把握し、維持管理に引き継ぐ地質・地盤リスクマネジメントを行う必要がある。

残存する不確実性を把握するためには、アンカー施工後のモニタリングにより、設計と施工後のアンカー緊張力の乖離を調べることが重要である。そこで、アンカーのモニタリングを行うにあたっての留意点を把握するため、北海道島牧村狩場地区でアンカーに荷重計と、荷重計の温度を計測するために荷重計に温度計も設置した。また平成30年12月に斜面安定を目的として北海道斜里町ウトロで施工されたアンカーでも、アンカーに荷重計および荷重計に温度計を設置した。

本稿では、アンカーの緊張力モニタリングの事例を紹介し、アンカー緊張力と荷重計の温度に着目したアンカーの健全性評価について報告する。また、設計時の不確実性を、施工中や施工後のモニタリングによって、維持管理につなげる手法について考察する。

2. アンカーの緊張力の変動

アンカー設計の特徴として想定される最大すべり面に対して、必要アンカー力を設定して設計を行う極限つり合いが基本である。しかし、想定が内包する安全余裕に加え、アンカーの打設により地盤の引き締め効果が発生するなど、施工そのものが想定と異なる結果を導き出すことがあり、その影響が非常に大きい場合もある。例えば、ア

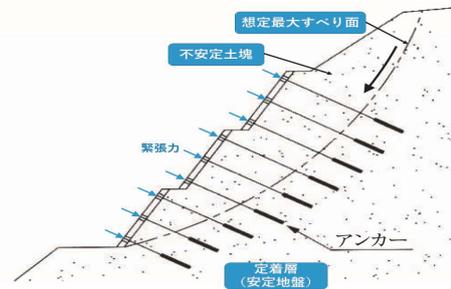


図-1 アンカーの一般概念図

ンカーが施工されて数年が経過したアンカーで、残存緊張力を測定するリフトオフ試験を実施すると、地山が想定よりも圧密性が高いために残存緊張力が設計緊張力(定着緊張力)の50%以下に低下していることが珍しくない。一方で自然地山の性状(地盤・土質構成、圧密特性、変形特性等)の事前把握の困難さから、想定以上のすべりが発生する可能性があることもある。このように事前の調査でどれだけ手を尽くしても、ち密な設計を行っても大きな不確実性が残存する。また、リフトオフ試験は数年に1回と実施間隔が長い場合、緊張力が大きく低下していても、その低下履歴を知ることが出来ない。しかし、施工直後から緊張力のモニタリングを実施することにより、この不確実性の影響を設計緊張力と実緊張力の乖離として把握することが可能となる。そしてモニタリング結果から残存する不確実性事項の絞り込みが可能となり、その要因に対する措置(アンカーの増打ち等)を実施することで、設計・施工の合理化が図れると考えられる。

2.1 アンカー緊張力の変動理由

一般的なアンカーによる斜面安定対策の概念図を図-1に示す。アンカー工は、すべり線上にある不安定土塊をアンカーに作用させた緊張力で安定化させるものである。良質な岩塊の場合にはアンカー緊張力による背面地盤の圧縮変形はほとんどないが、砂礫質土や粘性土系地盤の場合には、アンカー緊張力により圧密沈下が生じる。そのため、背面地盤が沈下してアンカー緊張力は減少する場合がある。アンカー体の定着が不十分な場合にはアンカーが抜け出して、アンカー緊張力が低下す

る場合もある。また、豪雨等により地下水位が上昇するとアンカーで拘束している背面土塊重量が増加するためアンカー緊張力が増加する場合もある。それ以外にも、地震や豪雨を要因とした背面地盤の地すべりによる変位が発生した場合にも緊張力が増加する場合がある。また、寒冷地においては冬期における凍上により地盤が隆起してアンカー緊張力が増加し、春の気温上昇により凍結地盤が融解する際には凍上により隆起した地盤が緩むことからアンカー緊張力が低下する場合がある。

このように、アンカー緊張力の変動と雨量計等の気象データを組み合わせると、アンカーが設置されているのり面の状況を推定することが可能となる。

2.2 アンカー緊張力と温度の関係

写真-1に示す北海道島牧村狩場地区で3箇所のアンカーを対象に荷重計および温度計を取付けてモニタリングを行った¹⁾。このうちアンカーAは、法枠の欠損により受圧板にめり込みが見られるアンカーである。アンカーBは法枠に問題はないものの残存引張力が大きく低下しており、頭部背面調査および維持性能確認試験を実施し、アンカーの健全性を確認した上で再緊張を行ったアンカーである。アンカーCは残存引張力の低下は見られないものの法枠の一部欠損が見られるアンカーである。計測は1時間毎に平成27年(2015年)8月31日から平成29年(2017年)1月20日の約1年5ヵ月間の計測を行った。

図-2にアンカー緊張力と温度、および96時間を対象とした相関関係を表す決定係数R²の変化を示す。藤原らの研究²⁾で、決定係数の評価期間を96時間とすることで、温度以外の影響を精度良く評価できることがわかっており、評価期間を96時間とした。アンカーAは平成28年(2016年)3月の融雪期に5kN程度の緊張力低下が見られ、その後の夏期に於いても決定係数R²は0.6程度を示すとともに、温度変化に伴う明瞭な緊張力増加は見られない。本アンカーは、写真-1に示すように受圧板が法枠にめり込んでいるため、法枠の欠損に伴う受圧板の沈下がアンカー機能を低下させている可能性が考えられる。このため、補修対策を平成28年10月に実施した。補修対策としては、写真-2に示すように法枠欠損部を覆うように大型鋼製支圧板(1辺が36cm、厚さ3.6cmの四角形)を設



写真-1 アンカー頭部の変状状況

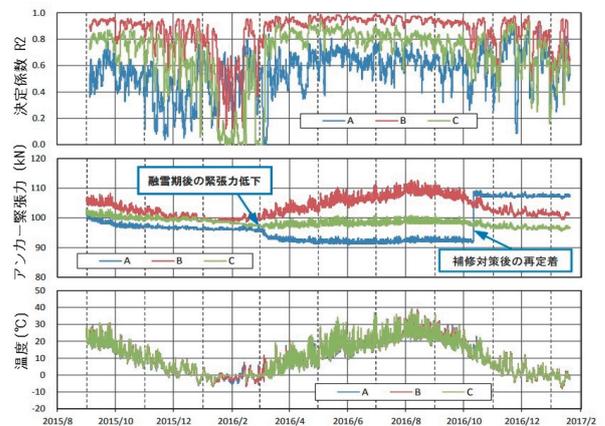


図-2 アンカー緊張力と温度の関係



写真-2 アンカーAの法枠補修状況

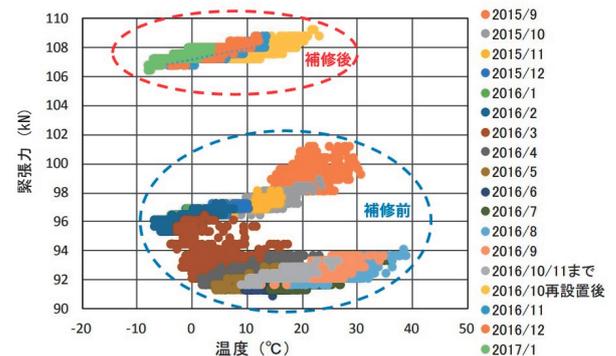


図-3 アンカーAの緊張力と温度の関係

置し、定着緊張力を108kNに上げて再定着をするとともに荷重計、温度計を再設置し補修効果の検証を行った。図-3は補修前後のアンカー緊張力と温度との関係を示したものである。補修前は両者のばらつきが大きく明瞭な相関関係が見られないものの、補修後は両者のばらつきは小さくなり相関関係が見られることから、補修効果が確認できたと評価できる。

アンカーBおよびCについては、図-2に示すとおり、平成28年(1916年)1～3月の冬期に決定係数R2の低下がみられるものの、全体的には高いアンカー緊張力の健全性を維持していることがわかる。



写真-3 調査地点

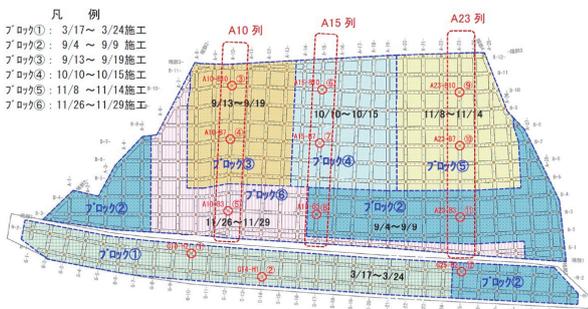


図-4 アンカー施工順序と荷重計設置位置

※定着日の下段に荷重計設置日を()書きで示した。

| A-9 | A-10 | A-11 | A-14 | A-15 | A-16 | A-22 | A-23 | A-24 | |
|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|------|
| | | | 10/10 | 10/10 | 11/28 | 11/8 | 11/9 | 11/8 | B-12 |
| 9/13 | 9/13 | 9/13 | 10/11 | 10/11 | 10/11 | 11/9 | 11/9 | 11/9 | B-11 |
| 9/14 | 9/14 (9/21) | 9/14 | 10/11 | 10/11 (10/13) | 10/11 | 11/10 | 11/10 (11/10) | 11/10 | B-10 |
| 9/14 | 9/14 | 9/14 | 10/11 | 10/11 | 10/11 | 11/12 | 11/12 | 11/12 | B-9 |
| 9/17 | 9/17 | 9/17 | 10/12 | 10/12 | 10/12 | 11/13 | 11/13 | 11/13 | B-8 |
| 9/17 | 9/17 (9/21) | 9/17 | 10/13 | 10/13 (10/13) | 10/13 | 11/13 | 11/13 (11/13) | 11/13 | B-7 |
| 9/18 | 9/18 | 9/18 | 10/13 | 10/13 | 10/13 | 11/14 | 11/14 | 11/14 | B-6 |
| 9/18 | 9/19 | 9/19 | 10/15 | 10/15 | 10/15 | 11/14 | 11/14 | 11/14 | B-5 |
| 11/29 | 11/29 | 11/29 | 11/29 | 9/8 | 9/8 | 9/4 | 9/4 | 9/6 | B-4 |
| 11/29 | 11/29 (11/28) | 11/29 | 11/29 | 9/8 (9/20) | 9/8 | 9/4 | 9/4 (9/22) | 9/6 | B-3 |
| 11/27 | 11/27 | 11/27 | 11/27 | 9/8 | 9/8 | 9/4 | 9/4 | 9/6 | B-2 |
| | | | 11/26 | 11/26 | 11/26 | 11/26 | 11/26 | 11/26 | B-1 |
| A-9 | A-10 | A-11 | A-14 | A-15 | A-16 | A-22 | A-23 | A-24 | 端-1 |

図-5 アンカー定着日一覧

2.3 アンカー緊張力のモニタリング

2.3.1 施工中のアンカー緊張力の変化

のり面におけるアンカーの施工を考えると、のり面には大きな緊張力を与えた状態で多数のアンカーが順次施工されるため、アンカーの緊張力はクリープやリラクセーションに加え、施工される周辺アンカーの定着による影響を受けて変化する可能性があり、当初想定した定着時緊張力と異なることが考えられる。アンカー施工が行われているのり面を対象に、アンカーの施工時において周辺アンカーにどのような影響が見られるかを調べるため、施工直後のアンカーに荷重計を設置し、周辺アンカーの施工に伴うアンカー緊張力の変化について検討を行った³⁾。



(a) 緊張力計測システム機器



(b) 荷重計設置状況



(c) 後付け荷重計

写真-4 緊張力計測システム

調査地点は、写真-3に示す北海道斜里町ウトロにおいて、平成30年11月までに道路切土の崩壊対策として施工された332本のアンカーのうち12本に荷重計と温度計を設置し、緊張力をモニタリングしたのり面である。施工範囲の勾配は1:0.3~0.8となっており、背面地盤は岩塊混じり砂礫でN値は地表面付近の一部では20程度以下が存在する。アンカーの規格はKTB K6-2Hで、設計アンカー力および定着時緊張力は230kNである。荷重計を設置した周辺アンカーの施工は、図-4にアンカー施工順序と荷重計設置位置を、図-5に各アンカーの緊張定着日ならびに荷重計設置日を、写真-4に荷重計の設置状況を示す。図-4および図-5に示すように平成30年9月4日から11月26日にかけてブロック②~⑥の5つのブロックに分けて定着が行われた。このうちブロック②は9月4日~9日、ブロック③は9月13日~19日、ブロック④は10月10日~15日、ブロック⑤は11月8日~14日、ブロック⑥は11月26日~29日の施工となっている。図-4および図-5に示したA23列では荷重計を測線上のNo.9、No.10、No.11の3カ所のアンカーに設置した。荷重計下部には荷重計の温度を測定するため温度計の設置を行った。各荷重計の測定開始時期は、No.9は11月10日の17:00から、No.10は11月13日の17:00からと、ほぼ施工直後からであるのに対し、No.11は9月22日の14:00からと、アンカーが施工された9月4日から18日程度経過してからとなっている。計測はデータロガーを用いて1時間毎に行った。なお、施工時に荷重計を設置しているが、観測終了後の荷重計撤去を考慮して、後付けタイプとした。

モニタリング結果の代表例としてA23列のNo.9、No.10、No.11について記述する。図-6に各荷重計の緊張力変化を示す。図中には、荷重計周辺の各ブロックにおいて、アンカー施工が始まった月日の正午を破線で示した。施工後18日程度経過して計測を開始したNo.11アンカーは、9月22日の荷重計設置前にリフトオフ試験を実施した結果、残存引張り力は174kNまで低下が見られた。このアンカーに対し、設計アンカー力を目標に236kNまで緊張力を増加させて荷重計の設置を行ったところ、9月末頃まで若干の緊張力低下が見られるが、その後はおおむね安定した値を示し、

ブロック④の施工が始まった10月11日以降も大きな緊張力変化は見られないものの、隣接するブロック⑤の施工が始まった11月9日以降から緊張

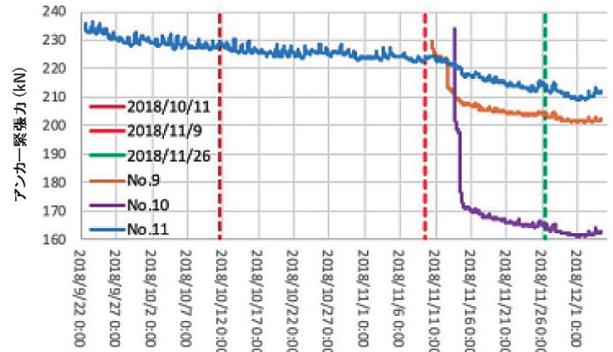


図-6 アンカー緊張力の変化

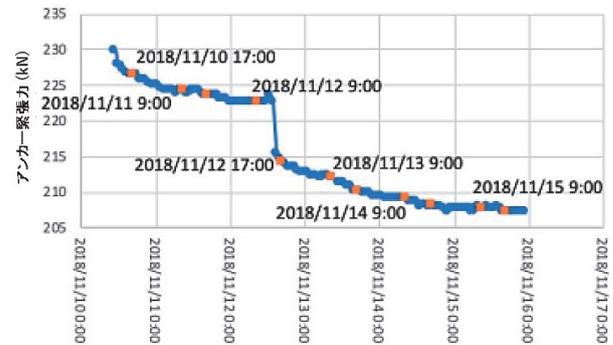


図-7 1時間毎の緊張力変化(No.9)



図-8 1時間毎の緊張力変化(No.10)

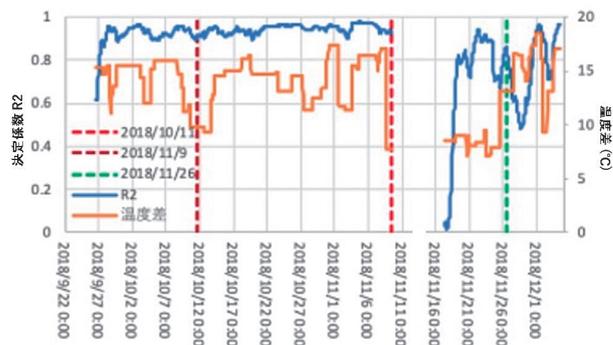


図-9 決定係数R2と温度差の変化(No.11)

表-1 各アンカーの冬期緊張力

| | No.3 | | | No.6 | | | No.9 | | |
|----------------|--------------|-------|-----------------|--------------|-------|-----------------|--------------|-------|-------------------|
| | 最大緊張力との差(kN) | 発生日時 | | 最大緊張力との差(kN) | 発生日時 | | 最大緊張力との差(kN) | 発生日時 | |
| 冬期の最大緊張力(kN) | 206.5 | 0 | 2019/2/3 13:00 | 202.0 | 0 | 2019/2/19 13:00 | 203.5 | 0 | 2019/2/15 15:00 |
| 0°C発現時の緊張力(kN) | 203.5 | 3.0 | 2018/12/1 0:00 | 195.0 | 7.0 | 2018/12/6 8:00 | 199.4 | 10.0 | 2018/12/9 2:00 |
| 0°C終了時の緊張力(kN) | 185.6 | -20.9 | 2019/4/23 14:00 | 186.9 | -15.1 | 2019/4/14 15:00 | 185.0 | -24.4 | 2019/4/21 13:00 |
| | No.4 | | | No.7 | | | No.10 | | |
| | 最大緊張力との差(kN) | 発生日時 | | 最大緊張力との差(kN) | 発生日時 | | 最大緊張力との差(kN) | 発生日時 | |
| 冬期の最大緊張力(kN) | 198.4 | 0 | 2019/2/11 15:00 | 168.2 | 0 | 2019/2/21 14:00 | 165.8 | 0 | 2019/2/21 14:00 |
| 0°C発現時の緊張力(kN) | 196.5 | 1.9 | 2018/12/8 15:00 | 165.6 | 2.6 | 2018/12/8 6:00 | 158.1 | 7.7 | 2018/12/9 3:00 |
| 0°C終了時の緊張力(kN) | 182.2 | -16.2 | 2019/4/15 10:00 | 150.1 | -18.1 | 2019/4/15 17:00 | 146.0 | -19.8 | 2019/4/10 7:00 |
| | No.5 | | | No.8 | | | No.11 | | |
| | 最大緊張力との差(kN) | 発生日時 | | 最大緊張力との差(kN) | 発生日時 | | 最大緊張力との差(kN) | 発生日時 | |
| 冬期の最大緊張力(kN) | 183.3 | 0 | 2018/12/5 14:00 | 198.5 | 0 | 2019/2/21 15:00 | 213.1 | 0 | 2019/2/21 15:00 |
| 0°C発現時の緊張力(kN) | 176.6 | 6.7 | 2018/12/1 23:00 | 184.5 | 14.0 | 2018/12/9 19:00 | 207.6 | 5.5 | 2018/12/1 9:23:00 |
| 0°C終了時の緊張力(kN) | 157.1 | -26.2 | 2019/4/5 8:00 | 170.8 | -27.2 | 2019/4/3 6:00 | 199.5 | -13.6 | 2019/4/10 7:00 |

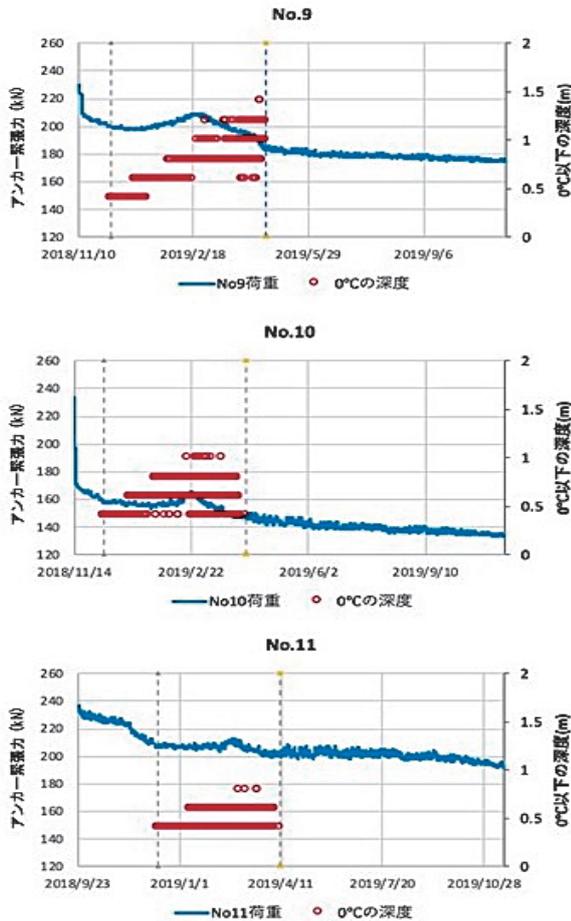


図-10 アンカー緊張力の変化と地盤内0°C以下の深度

力低下が確認出来る。施工直後から計測を行っているNo.9、No.10のアンカーでは、設置時にそれぞれ230kN、234kNであった緊張力が、周辺アンカーが施工された11月9日以降のブロック⑤の施工によって大きく低下している。図-7および8は、周辺アンカーの施工によって緊張力に大きな低下が確認された、No.9、No.10アンカーの緊張力変化を1時間毎に示したものである。No.9アンカーでは、隣接アンカーが施工された11月12日の昼間に8.5kN程度の低下が見られる。また、No.10では測定開始直後の11月13日の昼間に低下

した後、夜間は比較的安定した値を示すものの、翌日11月14日の工事が実施された昼間に隣接アンカーの施工により23kN程度の低下が見られ、その後は比較的安定した値を示している。このように、アンカーの緊張力は隣接したアンカーの施工に伴って低下が見られると考えられる。荷重計により求まるアン

カー緊張力は、のり面が安定した状態では荷重計に設置された温度計の温度と高い相関が見られるのに対し、温度以外の要因がアンカーに作用する場合には、緊張力と荷重計温度の相関が低下することが示されている。図-9は、No.11のアンカーにおける96時間毎の両者の決定係数R2、および最大と最小の温度差を1時間毎に示したものである。アンカー緊張力と温度との相関を評価する場合、温度差が5°Cを下回ると相関が低くなるとされている³⁾が、本観測結果において5°Cは下回っていない。No.11のアンカーでは測定開始後9月下旬まで、クリープあるいはリラクセーションと考えられる緊張力低下の影響により決定係数R2が低い値を示すものの、11月以降ブロック⑤の施工が始まる11月9日までは決定係数R2は0.9程度の高い値で推移している。これに対し、ブロック⑤の施工が始まる11月8日以降の決定係数R2は大きく低下するとともに安定した値を示さない。図-6に示したように同様に大きく緊張力低下が確認されたNo.9、No.10のアンカーについては、図を示していないが測定開始直後から決定係数R2は低い値を示すとともに安定した値を示していなかった。この結果は、当該アンカーについて、周辺アンカー施工の影響といった、施工の不確実性の影響が大きいことがモニタリングにより把握できた事例ともいうことができる。

2.3.2 冬期におけるアンカー緊張力の変化

冬期間におけるアンカー緊張力の変化について、No.9～No.11におけるアンカー荷重測定初期からのアンカー荷重と、地盤内の温度が0°C以下を示す深度を図-10に示す。いずれのアンカーも冬期間において、地盤内の温度がマイナスを示す期間で荷重変化が認められる。表-1は、各アンカーの地盤内で0°Cを示し始める時のアンカー荷重、冬

期におけるアンカーの最大荷重、および0℃を示さなくなる時のアンカー荷重を、それぞれが発現する日時と併せて示したものである。No.5を除き最大荷重は平成31年(2019年)2月中に見られる。各アンカーで0℃を示し始める荷重から最大荷重までの荷重増加は、No.8が14kNと大きく、No.4が1.9kNと小さい。また、最大荷重を示した後にはアンカー荷重の低下が見られ、この低下量はNo.8が27.2kNと大きく、No.11が13.6kNと小さくなる。このように冬期間のアンカー荷重変化は、アンカー位置によって異なっていることがわかる。この調査地点においては、深度0.4mの地中温度がマイナスを示す期間において、最低温度を示した後しばらくしてアンカー荷重の最大値が見られ、その後地中温度はマイナスであるものの、温度上昇に伴いアンカー荷重は低下する。また、0.4m深の地中温度がマイナスを示さなくなる時期以降のアンカー荷重の低下傾向と、冬期間に見られる低下傾向とは傾きが異なっている⁴⁾。これも凍上や融解といった不確実性の影響がアンカー緊張力のモニタリングにより把握できたものと考えられる。

3. まとめ

本報告では、アンカーのモニタリング事例を紹介するとともに、モニタリング結果を活用して措置を実施した事例を紹介した。アンカー緊張力のモニタリングは、多くの場合にはのり面のアンカー施工が完了した後に荷重計の設置・計測が開始されることが多く、アンカー定着時点から緊張力のモニタリングが行われた事例は非常に少ない。

今回の事例では、アンカー工が施工されるのり面の地盤の不確実性から、アンカー工の施工時から設計時には想定していない背面地盤の圧縮変形が発生し、作用させたアンカー緊張力が低下する

事例があり、のり面全体でのアンカー施工が完了した時には、設計緊張力(定着緊張力)に対して30%以上低下している事例もあった。また、本調査地点では冬期に地盤内水分の凍結による地盤隆起である凍上が発生し、その地盤の変形のためアンカー緊張力が増加することが確認できた。

アンカー緊張力のモニタリングにおいては荷重計の温度も観測することが重要で、アンカー緊張力と荷重計温度の相関関係が低下し始めると、何らかの外力によりアンカー緊張力に変動が発生していることを感知できることを確認した。このように、アンカー緊張力と荷重計の温度を組み合わせることでモニタリングすることにより、地山の不確実性に起因する想定以上のすべりが発生する可能性等による変状の発生に対処することができると考える。さらには、最大すべりを想定した設計緊張力に対して実際のアンカー緊張力が大きく乖離した場合でも、アンカー緊張力のモニタリングを行うことにより維持管理が効率的に行えると考えられる。

今後は、アンカー施工後のモニタリング結果をもとに、段階的に措置を行う方法を検討する予定である。

参考文献

- 1) 平松良太、酒井俊典、宮武裕昭、近藤益央他：グラウンドアンカー荷重計測の考察、第52回地盤工学研究発表会、pp.1317~1318、2017
- 2) 藤原優、酒井俊典：温度の影響を考慮したグラウンドアンカーの緊張力変化の評価、土木学会論文集C、Vol.75 No.4、pp.369~385、2019
- 3) 平松良太、酒井俊典、宮武裕昭、近藤益央他：アンカー施工に伴うアンカー荷重変化と健全性調査結果、第55回地盤工学研究発表会、2020
- 4) 酒井俊典、宮武裕昭、近藤益央他：冬期間におけるグラウンドアンカーの緊張力変化、第55回地盤工学研究発表会、2020

近藤益央



土木研究所地質・地盤研究
グループ施工技術チーム
特任研究員
KONDOH Masuo

間瀬利明



土木研究所地質・地盤研究
グループ施工技術チーム
上席研究員
MABUCHI Toshiaki

小出央人



土木研究所地質・地盤研究
グループ施工技術チーム
研究員
KOIDE Hiroto