

アンカー残存引張力の低下原因についての考察

(株)藤井基礎設計事務所 ○岡 淳一, 藤井 俊逸

1. はじめに

高速道路の長大切土法面にアンカーが約400基設置されており、その内の20基にアンカー荷重計が設置されている。これらアンカー荷重計のうち、2基はアンカー設置後に残存引張力が著しく減少した。周辺アンカーのリフトオフ試験を行った結果、礫岩内に定着された複数のアンカーで、残存引張力の著しい低下が確認された。リフトオフ試験結果と既往ボーリングデータから、残存引張力の低下範囲、低下原因について考察した。

2. 地形地質概要

現場は日本海に近い標高100~200m程度の低山地であり、地質は新第三系大森層の海成堆積物由来の堆積岩や、安山岩~デイサイト溶岩が広く分布している。堆積岩の層界面は北傾斜であり、道路の南側法面は流れ盤構造となる。既設のり面にはアンカー工等の地すべり対策が多数施工されており、本法面も南側の切土法面である。

3. 調査結果

法面観測は、孔内傾斜計観測、自記水位計観測、アンカー荷重計観測を実施した。

図-1はNo. 17, 18のアンカー荷重計の観測結果で、図-2にNo. 17, 18の位置を示す。設計荷重で定着されたアンカーの残存引張力は、1ヶ月半で設計荷重の85%、10ヶ月目には65~80%に低下した。これら2基の周辺のアンカーも含めリフトオフ試験を行った結果、図-2のオレンジ枠と赤枠に示すように、残存引張力の著しい低下がみられた。これらのアンカーは、R1年7月に設計荷重まで再緊張した。その後、No. 17, 18の残存引張力は設計荷重の93%程度で落ち着いた。

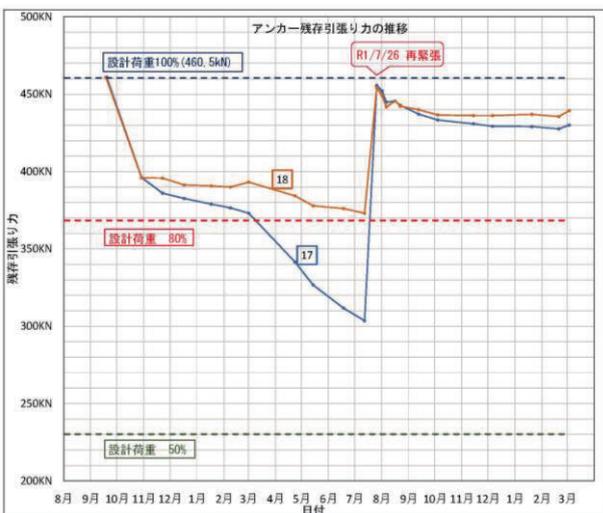


図-1 アンカー荷重計観測結果(No.17, 18抜粋)

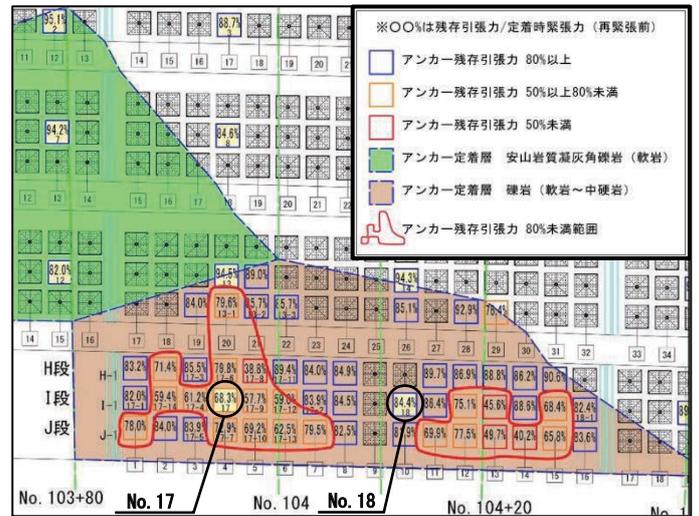


図-2 リフトオフ試験結果

4. 残存引張力の低下原因について

残存引張力が低下している原因として、受圧板の沈下(支持力不足)あるいは定着体の抜け出しが考えられる。

(1) 受圧板の沈下について

再緊張後、図-3の写真のようにNo. 17の受圧板にダイヤルゲージを取り付けて、受圧板の沈下量を経過観測した。図-3の観測結果グラフより、沈下は見られなかったため支持力的には問題ないと判断した(図-3参照)。

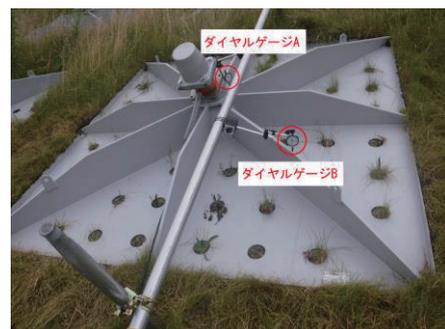
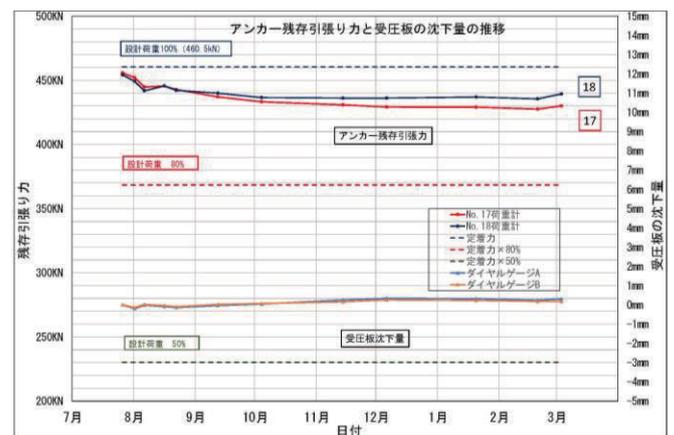
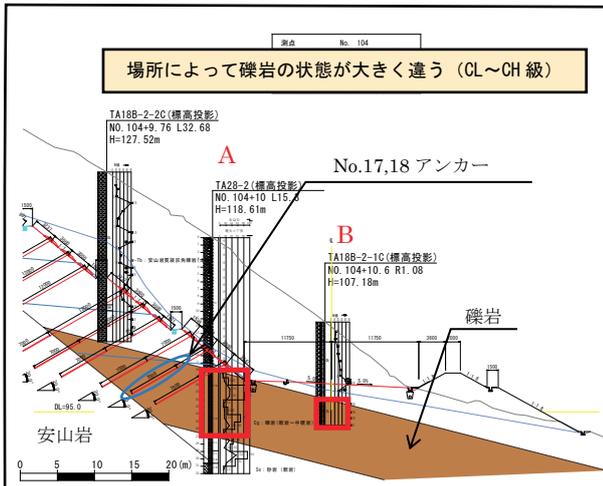


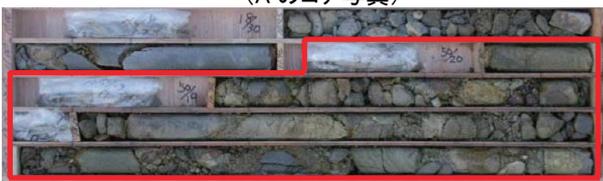
図-3 残存引張力と受圧板の沈下量

(2) 定着体の抜け出しについて

図-2の茶色のハッチング箇所は、アンカー定着地盤が礫岩となっている箇所である。緑色は凝灰角礫岩で、色の無い箇所は安山岩である。残存引張力が低下した範囲は、定着地盤が礫岩であった。礫岩中でも残存引張力には差が見られる。図-4の横断図は、茶色が礫岩で、赤枠部A・Bのコア写真を下に示す。礫部は硬質だが、マトリクスの砂岩は硬さに差が見られる。



(Aのコア写真)



(Bのコア写真)

図-4 横断図とボーリングコア

図-5は、礫岩内のアンカー定着部の模式図である。初期緊張時は、砂岩部にもせん断力が作用し、一般的なせん断力分布(青線)となる(図-5上)。時間経過と共に、砂岩部が風化し、せん断抵抗力が低下した(図-5下)。砂岩のせん断抵抗力が低下すると、礫部のせん断抵抗力が大きくなる(黄線)。この時、定着部のグラウトにクラックが入り、定着長が伸びて残存引張力が低下する。再緊張時は、礫部にせん断抵抗力が集中する。礫部は時間経過によるせん断抵抗力の低下は少ないので、残存引張力が変化しないことになる。

図-6は、図-5を簡易実験で検証したものである(QRコ

ードから実験動画が確認できる)。実験の結果、定着部の一部のせん断抵抗を低下させると、定着部が伸びてせん断抵抗が再配分されることがわかる。

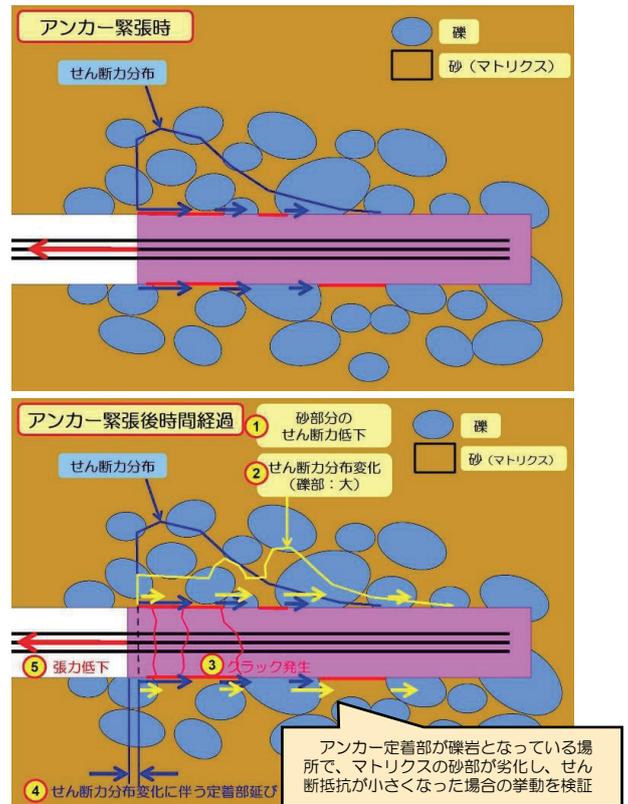


図-5 礫岩内のアンカー定着部の模式図

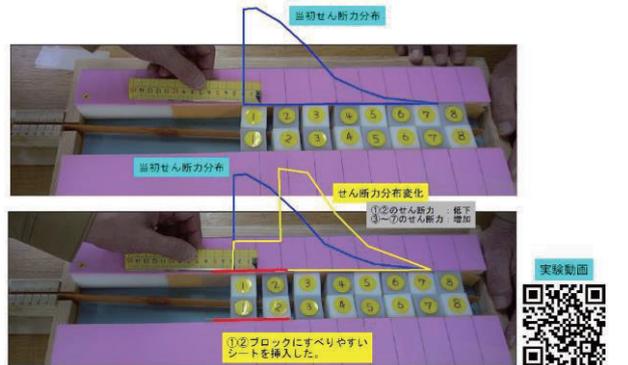


図-6 礫岩内のアンカー定着部の簡易実験

5. まとめ

定着部が礫岩の場合、マトリクスの砂岩が風化しやすいと、時間経過に伴いせん断抵抗分布が変化する。砂岩部が低下し礫部が増加することで、残存引張力が低下していく場合があることがわかった。礫部のせん断抵抗が大きい場合は、今回のように再緊張後に残存引張力が低下しないケースもある。

今までアンカーの残存引張力を長期的に観測し、変化を確認することは経験が無かった。今回、アンカーの設置時から継続的に観測し、データを収集できたことは、残存引張力の低下の推移を知る上で貴重だと思われる。

設置年度の古い孔内傾斜計観測孔の孔内付着物による挿入不能事例

株式会社エイト日本技術開発 室 大作

1. はじめに

本事例は、徳島県西部の地すべり防止区域において、過去に設置された孔内傾斜計の挿入不能原因について考察を行ったものである。対象の地すべりブロックは、斜面上下方向に連なる複合型の地すべりブロックのFブロック群およびGブロック群（図-1）で、ブロック頭部付近に、地すべりに起因する変状が明瞭である。

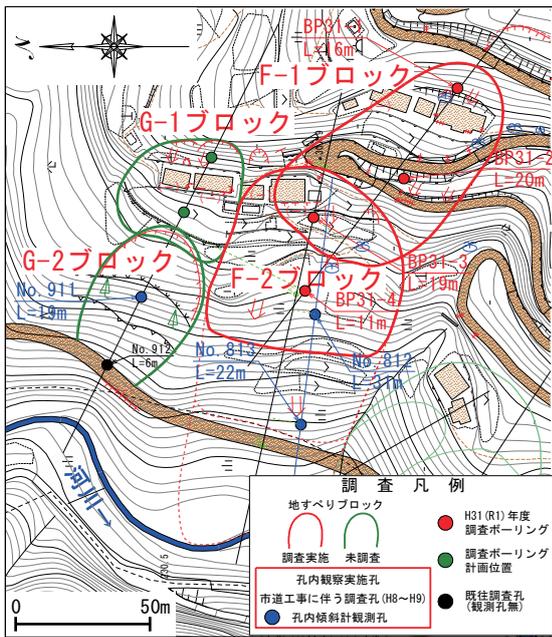


図-1 調査位置平面図

地すべり調査業務では、Fブロック群を対象にした地すべり調査（調査ボーリング、地下水観測、孔内傾斜計観測）と、Gブロック群において、踏査・ブロック設定、近傍の既設観測孔の動態観測を行った。

F、Gブロック群ともに、地すべり調査業務としての詳細調査は未実施であったが、斜面下部の市道新設工事に伴う地質調査でH8～H19年度に調査ボーリングや孔内傾斜計による動態観測が行われており、F、Gブロック下部にH8、H9年度に設置された既設観測孔が残存している。このため、新設孔の動態観測に併せて、①F-2ブロックの末端部より下方斜面での変位の確認（F-1、F-2）を包括するブロックの存在の確認）や、②豪雨を経た後のGブロック群の活動性を把握することを目的として、既設観測孔の動態観測を行った。

観測において傾斜計プローブを挿入したところ、既往調査では地すべり性の変位が確認されていない観測孔や、既往調査で確認された滑動すべり面より深部で挿入不能となったため、挿入不能深度付近の孔内状況の確認を目的として、孔内カメラ（Q スコープ）による孔内観察を実施した。

2. 孔内観察対象孔概要

(1) F-2ブロック

孔内観察対象孔は H8年度に設置された孔内傾斜計観測孔（No. 812（L=31m）、No. 813（L=22m））で、H19年度まで観測が行われていた（図-2）。既往観測時の活動性は低く、斜面中腹部のNo. 812では表層付近のGL-3mで潜在変動程度、斜面下部のNo. 813では変位は認められていない。

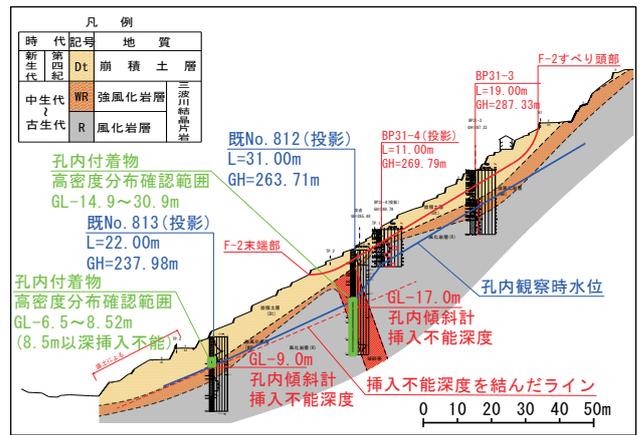


図-2 F-2ブロック断面図

(2) G-2ブロック

孔内観察対象孔は H9年度に設置された孔内傾斜計観測孔（No. 911（L=19m））で、ブロック中腹部に位置し、H18年度まで観測が行われていた（図-3）。既往観測では、すべり面（GL-8.7m）にて潜在変動程度の剪断性変位が確認されているが、以深では変位は認められていない。

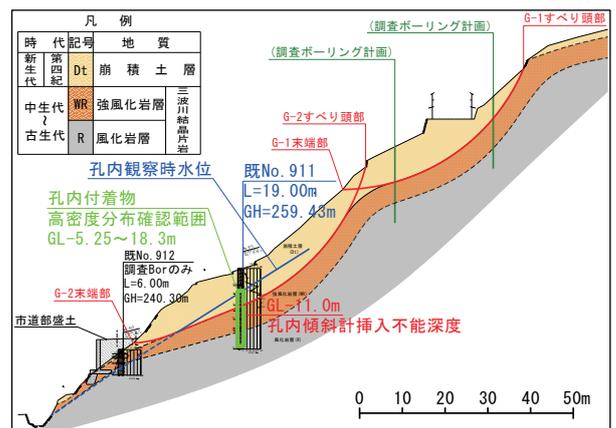


図-3 G-1,G-2ブロック断面図

3. 孔内観察結果

孔内観察の結果、傾斜計挿入不能深度付近に地すべり変位による孔曲がりや肥大による孔壁の狭窄やガイド溝の閉塞によるものと考えられる（図-4）。傾斜計

挿入不能深度付近では付着物の肥大が著しく、孔内カメラ挿入時にやや引っ掛かりはあったが、孔内カメラが小径で短いため、付着物の顕著な F-2ブロック下方の No. 813を除いて、孔底付近まで挿入可能であった。

孔内付着物は、水位付近や、地下水の流入するガイド管の継目・有孔部等で肥大化する傾向がある。形状は鱗状、かさぶた状、瘤状等様々であり、主として白色(他、帯褐色・黒色)を呈する。また、固化した外観のものと同程度程度の弱いものが混在し、脆いものは孔内カメラに接触した程度の衝撃で細かく砕けて水中に分散・沈降する。

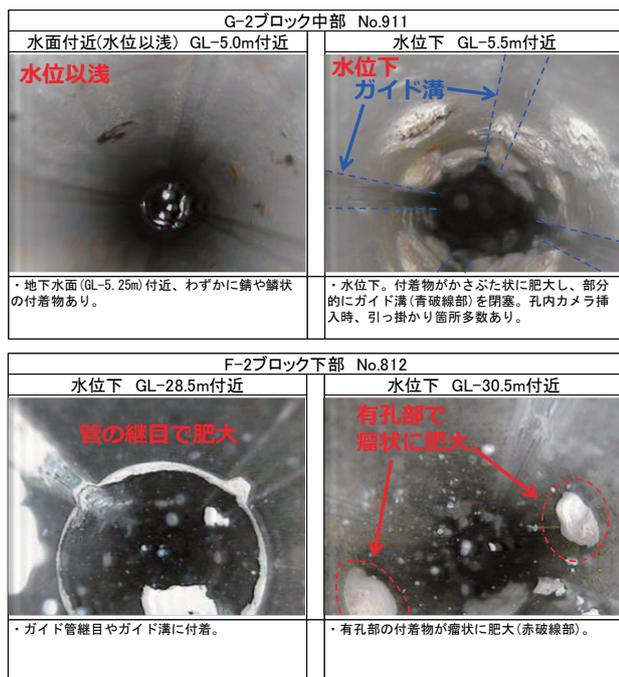


図-4 孔内観察画像(上:No.911、下:No.812)

4. 孔内傾斜計観測結果

最新の観測では、No. 812は既往観測時に変位の確認された浅部 (GL-3m) のすべり面で、新設孔の地すべり変位に連動する様な潜在変動程度の変位が確認されたが、ブロック下方の No. 813では変位は認められなかった。

G-2ブロック中腹部の No. 911では、既往観測時に潜在変動程度の変位が確認されたすべり面 (GL-8.7m) において、最新の観測では地すべり性変位は認められなかった。

孔内観察、孔内傾斜計観測等の地すべり調査結果より、変位状況は下記の様に判断される。

①F-2ブロック

- ・浅部の滑動すべり面において潜在変動程度の変位。H8年以降、孔曲がりを生じる様な著しい変位はない。
- ・ブロック末端部より下方斜面において、H8年以降の観測で活動性を示す様な崩積土すべりは存在しない。

②G-2ブロック

- ・H9年以降、孔曲がりを生じる様な著しい変位はない。

5. 孔内付着物についての考察

孔内付着物は、水位変動に伴う乾湿繰り返しが多い孔内水位付近や有孔部等の地下水流入部付近に多く分布することから、空気中の酸素・二酸化炭素等と地下水中の

溶存成分、または管材・充填材等との化学反応により生成されたものが沈殿・析出した可能性が高いと考えられる。また、固結したものと固結程度の弱いものがあり、形状は様々であるが、これらの差異は成分の違いや生成後の経過年数の違い等に起因するものと考えられる。

本件では、孔内観察で確認された付着物の採取・成分分析や孔内水の水質分析は行っていないため、文献調査により同様の事例がないか確認を行った。文献事例としては、グラウト充填型の観測孔において、観測孔周辺のコンクリートの亀裂を通り pH の高くなった地下水がガイド管のアルミニウムを溶出させ、乾燥による中性化(二酸化炭素との炭酸化反応による pH 低下)で水酸化アルミニウムが析出して閉塞した事例¹⁾がある。文献事例はグラウト充填型であり、設置翌年に閉塞が発生している点等が本件とは異なるが、流入している地下水の pH が元来高い場合は、経年的に水酸化アルミニウムが析出し、徐々に肥大していった可能性も考えられる。また、文献事例では高圧洗浄による付着物の除去が試行され、その後の再測定が可能となっている。

その他、地下水中に Ca、Mg 等が多く含まれる場合、二酸化炭素等と結合して炭酸カルシウム、硫酸カルシウム、シリカ (SiO₂) 等が析出している可能性がある。これらは非常に硬く難溶性であり、人力での切削除去は難しく、除去薬剤は毒性が高いこと等から、管材や環境面への影響を考慮すると除去は困難であると考えられる。

6. 今後の課題

孔内傾斜計プローブが挿入不能となった場合、孔内カメラによる視認観察を行うことは、変状要因を特定するうえで有用であり、地すべり性の変位か否かを判断する際の重要な判断材料となる。特に、設置年度の古い既設観測孔では、本事例と同様の症状により孔内水位付近で挿入不能となる可能性があり、水位下にすべり面が存在する場合、変位状況の確認が不能となる点が問題となる。

今後の課題として、第一に、同様の事例に関する文献調査や付着物の採取・分析等による孔内付着物の種類の特定、発生要因の推定が挙げられる。除去方法については、環境面や管材への影響に配慮し、付着物の種類に応じた除去方法を検討する必要がある。第二に、付着物の発生した観測孔で除去方法を試行し、除去作業の前後で孔内カメラと孔内傾斜計による観測を行い、測定の有効性を確認する必要がある。今後の地すべり調査業務等に際して試行的に孔内洗浄等を行い、効果判定の結果、測定の有効性が確認されれば、付着物による閉塞への対処法として活用していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 鳴瀬川総合開発工事事務所 調査設計課 沢田 健, 中正 裕史, 澤 駿人:「地すべり調査で実施される孔内傾斜計の観測について」,平成30年度 国土交通省 東北地方整備局 管内業務発表会, 発表論文 2018.6.25

全天球カメラと VR ゴーグルを用いた集水井点検事例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 星元 誠斗

1. はじめに

地すべり対策工は施設機能が健全であることを前提として安全性が担保されているため、施設の維持管理が重要である。

集水井の点検は、従来は重要度に応じて地表からの目視もしくは点検者が集水井内に入り目視にて観察する手法が用いられてきた。しかし地表からの目視では確認できない部分が多く、集水井内に入る場合は酸欠や有毒ガスの充満、階段からの滑落等、多くの危険が存在している。

本稿では、安全かつ効率的に点検することを目的として、地表より集水井内部に全天球カメラを挿入し、撮影した動画及び画像をもとに PC や VR ゴーグルを用いて目視点検を実施した事例を紹介する。

2. 点検方法

点検方法については「地表からの効率的な集水井内点検手法共同研究報告書」¹⁾を参考とした。

(1) 使用機器

使用機器を表-1、全天球カメラの性能を表-2に示す。

表-1 使用機材一覧

名称	型式・性能
全天球カメラ	① RICOH 製 THETA V
	② KANDAO 製 QooCam8K
タブレット端末	③ Apple 製 iPad Air
巻尺	④ 50m
ランタン	⑤ GENTOS 製 EX-000R
リボンロッド	⑥ 20m×2 本
ポール	⑦ 2m(フック付)



写真-1 使用機材一覧

表-2 使用カメラの性能

	THETA V	QooCam8K
外形寸法	130.6×48×29.7 (mm)	145×57×33 (mm)
重量	121g	245g
静止画解像度	5K (5376×2688 ピクセル)	8K (7680×3840 ピクセル)
動画解像度	4K (3840×1920 ピクセル)	8K (7680×3840 ピクセル)
内蔵ストレージ	19GB	64GB
外部メモリ	対応なし	microSDカード (256GB迄)
防水性	無し (防水ケース有)	無し (防水ケース有)

(2) 点検手順

点検手順を以下に示す。

- ①全天球カメラとタブレット端末を Wi-Fi 接続する。
- ②天蓋中心付近から吊紐(巻尺)を垂らし、撮影装置(ランタンと全天球カメラを固定)を吊紐先端に繋ぐ。
- ③フック付きポールを使い、点検口から撮影装置を集水井内の中央付近に垂らす。
- ④作業員 A が撮影装置を下ろしながら、作業員 B がタブレット端末を操作し静止画を1~2m 毎に撮影する。
- ⑤集水井の底部水面付近まで着いた所で動画撮影に切り替えゆっくり引き上げる。
- ⑥PC や VR ゴーグルを用いて撮影した動画や画像を目視観察する。



写真-2 点検状況(手順②) 写真-3 点検状況(手順③)



写真-4 点検状況(手順④)

(3) 点検方法の比較

従来の集水井内に人が立ち入る目視点検と全天球カメラ撮影画像による目視点検の比較を行った。(表-3)

全天球カメラ撮影画像による点検は初期投資が必要のため、点検対象の集水井が1基のみの場合は、従来の点検方法が安価となるが、2基以上では全天球カメラ撮影画像による点検の方が安価となり、点検効率・安全性でも優れている。

表-3 従来の点検手法との比較表

	全天球カメラ撮影画像による点検	集水井内に人が立ち入る目視点検
経済性	初期費用+人件費	費用：約10万/基(仮設費含む)
必要人員	2名程度	3名程度
点検効率	4~6基/日程度	2~3基/日程度
安全性	資材の落下等の危険はあるものの、人命にかかわる危険性はない。	酸欠、有毒ガス充満及び転落等、人命にかかわる危険性がある。

(4) VRゴーグルでの点検

本点検における動画や画像での目視点検は、PCでの確認作業のほかに、VRゴーグルを用いた目視点検も実施した。(写真-5)

全天球カメラで撮影した360度のパノラマ画像・動画をVRゴーグルに表示して観察することで、自分がその映像内にいる感覚(没入感)で見回せるため、実際に集水井内にいるような感覚で点検を行うことが可能となる。



写真-5 使用したVRゴーグル(Oculus製 Oculus Go)

3. 点検結果

全天球カメラ撮影画像による集水井点検を実施した結果、ライナープレートの変形(写真-6)や、今後集水管や排水管の閉塞が懸念される箇所(写真-7)を確認することができた。



写真-6 ライナープレートの変状(せり出し)



写真-7 集水管の閉塞(植生)

4. 点検実施上の留意点

今回点検を実施した結果、以下の課題・留意点が確認された。

- ・静止画の撮影可能深度は、使用するカメラのWi-Fi通信可能距離に依存する。一般的な全天球カメラのWi-Fi通信距離が10m前後であるため、それ以上でカメラ操作を行う場合は、通信距離を延ばす機器(Wi-Fiエクステンダー)が必要となる。
- ・集水量が多く、水滴を浴びる状況で撮影する際には、水滴がレンズやケースに付着して画像に写りこむ場合があり、視認性が低下する。(写真-8)
- ・集水ボーリングの受け口にコルゲート管や植生等があると、孔の詰まり具合を画像で確認することが困難な場合がある。(写真-9)
- ・防水ケースを通して撮影すると、ケースによっては画像に歪みが見られる場合がある。(写真-10)



写真-8 水滴の付着



写真-9 集水孔口確認不可



写真-10 画像の歪み(防水ケース使用時)

5. まとめ

地すべり等防止法が施行されてから、集水井を含む多くの地すべり対策施設が施工されてきたが、長期間の運用により老朽化が進んでおり、今後施設の維持管理が重要となってくる。今回紹介した点検方法を活用していくことで、安全かつ効率的に点検を実施することが可能と考える。

ただし、全天球カメラ撮影画像による点検結果から施設機能に大きな影響を及ぼす変状を確認した場合や、カメラ撮影画像での点検が困難な場合は、必要に応じて集水井内での目視点検を含む詳細点検を実施されることが望ましい。

《引用・参考文献》

- 1) 国立研究開発法人土木研究所他：地表からの効率的な集水井内点検手法共同研究報告書,P15,2019.6.