

北松型第一次すべりの素因となる玄武岩内空洞の観察事例

日本地研(株)

○白川 基典, 藤野 修二, 島内 健

1. はじめに

調査地は、古第三紀層の上部を玄武岩が覆った、いわゆる「北松型地すべり」と称される地形地質の条件がある。令和元年8月の九州北部豪雨では多亀裂の玄武岩が滑動し、典型的な北松型の第一次すべりが発生した。

本報告は、地すべり上方斜面で実施した調査ボーリングの孔内をシースイックカメラで観察し、玄武岩内部にある空洞の分布形態や伸展方向から、地すべりの素因や発生機構を考察した事例である。

2. 北松型地すべりの概要

長崎県北部の北松浦郡から佐世保市一帯および佐賀県西部で認められる地すべりは、「北松型地すべり」と呼称する。地質的な特徴として、玄武岩台地と下位の第三紀層の間に、通常厚さ数mの砂礫層が挟在する。雨水は、玄武岩に著しく発達した亀裂を通じてこの砂礫層に達し、台地末端から泉となって地表に湧き出す。この地下水の通り道である砂礫層が泥濘化してすべり面を形成し、上部の玄武岩が滑動する。これを北松型第一次すべりと呼ぶ(図-1中央)。

その後、第一次すべりによって斜面に堆積した碎屑物が、基底部の粘土化、雨水による飽和で不安定になることで、末端部から滑動、崩壊をする。これを北松型第二次すべりと呼ぶ(図-1右)。

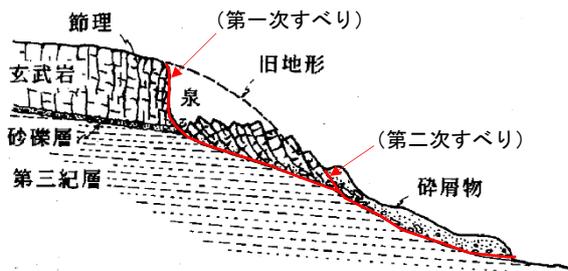


図-1 北松型地すべりの模式図 1)に一部加筆

3. 調査地の地すべりの概要

調査地は両子山(標高366m)の末端斜面に位置し、帽岩状に載った玄武岩が山頂から分布している。令和元年8月の九州北部豪雨(総降雨量537mm:8月26日5時~8月28日16時、調査地から800m離れた井上観測所²⁾)により発生した地すべりは、幅約90m、長さ約40m規模で、頭部は高さ3.0~5.0mの滑落崖、側部は1.4~5.0mの側方崖が形成された。地すべりは基盤の古第三紀層上で滑動し、玄武岩岩塊を含む崩壊土砂は落差50m、長さ200m下流の田畑まで流れた。

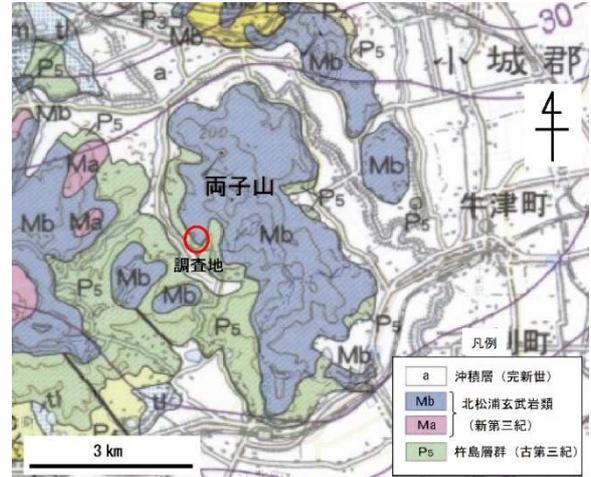


図-2 調査位置周辺の地質図³⁾

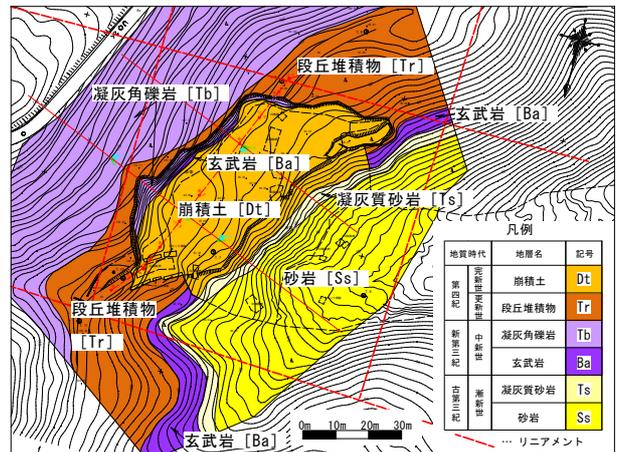


図-3 調査地の地質図

4. 地すべりの発生機構

地すべりの素因としては、表流水が集まりやすい谷地形、玄武岩の発達した亀裂、下位の粘土化した凝灰質砂岩の分布、古第三紀層に発達する緩い流れ盤状の層理面といった地形・地質的な条件が考えられる。地形は崩壊地に向かって緩やかに標高が低くなっており、側方崖付近の道路には、枝木で閉塞した用水路から水があふれた形跡が確認された。基盤岩は谷方向に緩く傾斜し、滑動を助長する流れ盤構造であった。

地すべりの誘因として考えられる豪雨は、3日間に渡って降り続けた。降雨は亀裂の発達した玄武岩に浸透して地下水となるが、粘土化した凝灰質砂岩が不透水層となって、玄武岩の基底部に間隙水圧が高まる構造であった。多量の雨水が地下に浸透し、玄武岩内の地下水位が上昇したことで、玄武岩基底部の間隙水圧も上昇した。また、舗装された市道を通して雨水が崩壊地に流れ込み、下方斜面を浸食し浸透することで不安定化し、ブロックの滑動・崩壊に至ったものと推察される。

切土のり面勾配の検討におけるボアホールカメラの活用事例

株式会社レアックス ○加藤 欣也、佐高 裕之

1. はじめに

一般に、岩盤の切土のり面の安定性は層理面や割れ目などの不連続面の卓越方向によって影響を受ける。そのため、不連続面群が切土のり面上に出現した場合、不連続面の影響を考慮した勾配設計が必要となる。

本稿では上記の問題に対して、ボアホールカメラ調査を実施することにより、不連続面群の走向・傾斜の卓越方向を把握し、切土のり面の方向との関係から、安定となる切土勾配を提案した事例を紹介する。

2. 課題

図-1 に調査地点の計画切土断面図を示す。

当該地では、道路建設に伴う切土の施工(切土高約 20m)が計画されており、切土勾配を検討するために、本線センターにおいて掘進長 31m のボーリング調査が実施された。調査地点の地層は以下の通りである。

- ・深度 0.0m~1.3m: 有機質土層
- ・深度 1.3m~18.6m: 砂礫層
- ・深度 18.6m~31.0m: 砂岩泥岩互層(軟岩)

砂岩泥岩互層では 70° ~80° 程度の高角度の層理面が確認された。高角な層理面から発達した分離面が切土のり面上に出現する場合、トップリングの影響が懸念される(図-2 (c))。

また、同地層では 30° 程度の低角な割れ目が多く確認された。これらの割れ目群が切土のり面中に流れ盤として出現する場合、例えば平面すべりやくさび破壊などの影響が懸念される(図-2 (a) (b))。

しかし、近傍では当該地層の露頭が確認されなかったため、現地踏査によって地質構造や割れ目群の方向性を判断することは困難であった。そこで、砂岩泥岩互層の割れ目群の走向・傾斜を測定し、卓越方向を把握するため、ボアホールカメラ調査を実施した。

3. ボアホールカメラ調査結果

ボアホールカメラの観察区間は砂岩泥岩互層が分布する深度 18.6m~31.0m である。観察の結果、当該区間では 71 本の不連続面が抽出され、そのうちの 14 本が層理面、57 本が割れ目であった。図-3 にコア写真と展開画像の一部を例として示す。

(1) 不連続面の卓越方向

ステレオネット(シュミットネット下半球)を用いて不連続面の走向・傾斜を解析し、走向・傾斜の分布が集中している箇所をコンターピークとした。また、同図には切土のり面の走向・傾斜を描画した。

解析の結果、層理面のコンターピークは N38° W 84°

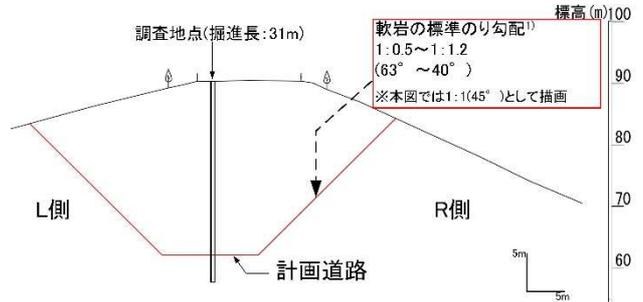


図-1 計画切土断面図

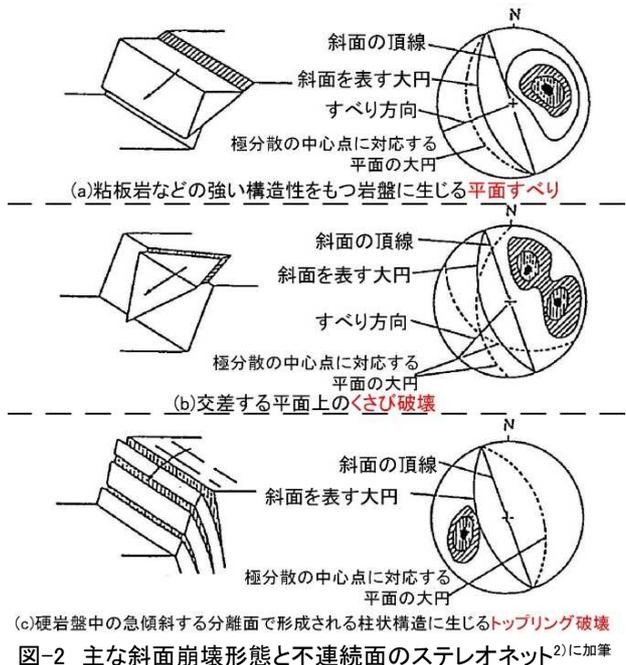


図-2 主な斜面崩壊形態と不連続面のステレオネット²⁾に加筆

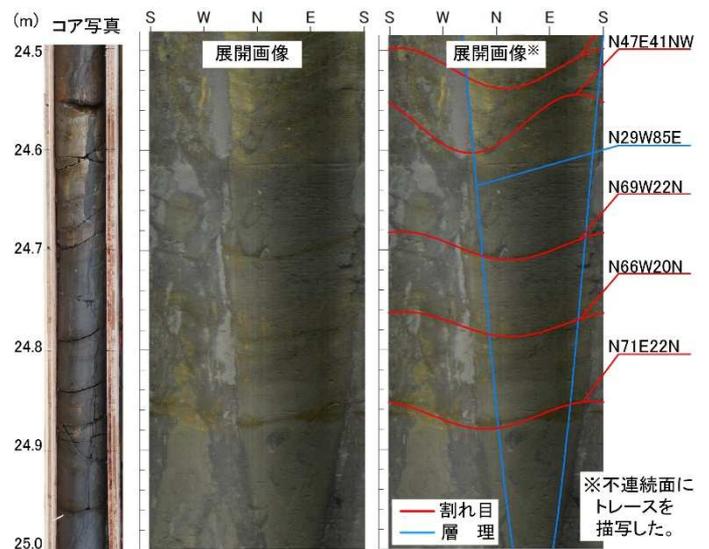


図-3 砂岩泥岩互層のコア写真と孔壁展開画像

NE であり、割れ目のコンターピークは N89° W 31° N であった(図-4A, 4B)。

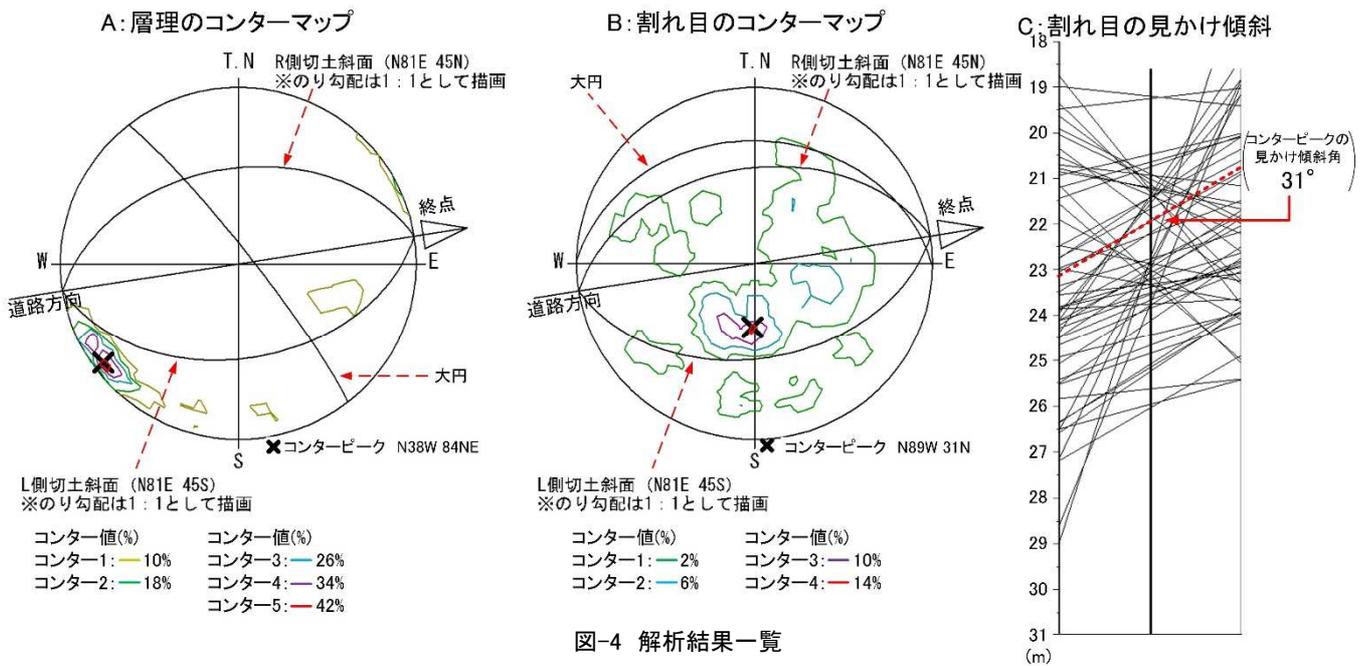


図-4 解析結果一覧

(2) 見かけ傾斜

割れ目群を計画道路に対して横断方向の断面に投影すると、割れ目群は切土のり面に対して低角度に多く出現することが確認された。また、割れ目のカウンターピークの見かけ傾斜角は31°であった(図-4C)。

4. 考察

(1) すべり形態についての考察

解析図面を用いて、岩盤構造が切土のり面に与える影響について考察した。

層理面について、カウンターピークの傾斜角は切土の傾斜角よりも高角である。また、層理面と切土の走向差は47°であった。既往文献²⁾によると、不連続面と斜面の走向差が30°以上ある場合、トップリングは発生しないとされるため切土への影響はないと判断した。

割れ目群について、カウンターピークは1点であるため、当該岩盤の割れ目構造は1面のみと考えられる。したがって、くさび型すべりの影響はないと判断した。

一方、割れ目群は切土R側に対して流れ盤であり、割れ目群の見かけ傾斜角は、軟岩の標準のり勾配よりも緩い傾斜を示した。また、割れ目群と切土の走向差は10°であった。既往文献³⁾によると、平面すべりが発生する条件として、走向差がおおよそ20°以内とされている。以上のことから、切土R側では、割れ目群によって岩盤に平面すべりが生じるおそれがある。

(2) 切土勾配の検討

既往文献⁴⁾によると、割れ目群が流れ盤となる場合、切土勾配は、割れ目の見かけ傾斜角が25°～45°の間の場合は、見かけ傾斜角と同じかそれより緩い勾配とすることが望ましいとされている。この点から、R側の切土のり面において、標準のり勾配では十分な安定性が確保

できない可能性があったため、同地層におけるのり面勾配は見かけ傾斜角と同程度の1:1.5(約34°)以下が望ましい。

図-5に切土勾配の提案値を反映させた断面図を示す。本調査地点の切土勾配は、上記の検討結果から1:1.5とすることを提案した。

5. おわりに

本事例のように、ボアホールカメラ調査は近傍に露頭が存在せず、地質構造の把握や割れ目の走向・傾斜の測定が困難な場合において、原位置からそれらの情報を得ることができるため、今後も積極的に活用していきたい。

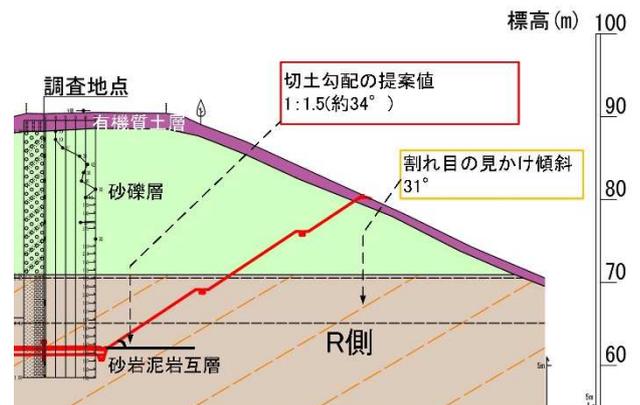


図-5 切土断面図(提案値)

《引用・参考文献》

- 1) 北海道開発局:道路設計要領 第1集 道路, p. 1-3-18 表6-18, 2010
- 2) (社)土木学会:岩盤斜面の安定解析と計測, pp. 123-126, 1994
- 3) (社)土木学会:岩盤斜面の安定解析と計測, pp. 56-57, 1994
- 4) 東日本高速道路(株)他:設計要領 第1集 土工, pp. 参2-21~参2-22, 2016

【61】

ボアホールカメラを用いてボーリング孔内を観察する際の孔内水の濁度に関する実験

サンコーコンサルタント株式会社 ○平木 伸明

アース・スキャンニング研究会 安富 宏和、大塚 康範、田島 克洋

1. はじめに

ボアホールカメラによる孔壁観察において、孔内水が濁っていると孔壁の詳細な情報が得られない。濁りを除去するために、送水による孔内水の置き換えが行われている。しかし、現場サイドにおいて、どの程度の濁りであれば、ボアホールカメラ撮影に影響がないか判断に困る場合がある。その判断基準の一助とするため、濁度計を用いた室内実験を実施して、ボアホールカメラによる孔壁観察が可能な濁度の数値化を試みた実験結果を報告する。

2. 実験方法

実験に使用した濁り水は、実際に清水堀で行ったボーリング掘削水を用いた。採取した基となる掘削水に精製水を加えて、濁り程度が異なる試液を作成した。濁りの程度は、目視により透明度の高い順にA、B、C、D、Eの5段階とした。これら試液を濁度計で濁度を計測するとともに、それぞれの試液を孔内水と仮定して、人工的に作成した孔壁をボアホールカメラで撮影した。

濁度とは、JIS K0101「工業用水試験方法」に示される値であり、単位はNTUである。今回使用した濁度計は株式会社佐藤商事社製 TU-2016である。最大で1,000NTUまで測定できる。

表-1 TU-2016 の諸元

測定範囲	0.00～ 50.00NTU 50 ～ 1,000NTU
測定原理	透過散乱光比較測定方式
精度	±5%F.S.又は±0.5NTU の大きい値
サンプリング時間	約1秒
反応速度	10秒以下
校正点	0 NTU / 100 NTU
電源	単4電池 6本
使用環境	0° C ～ 50° C 85%RH 以下
本体寸法 重量	L155 W75 H62mm 320g (電池含む)

(1) 試液の作製

試液は、掘削水に精製水を加えて異なる濁度の試液を作成し、小瓶(幅20mm 高さ80mm 厚さ約2mm)の中に入れ、目視確認を行った。この小瓶の外側にはラベルとその内側にカラーチャートを貼り付けて、目視で濁りの程度を把握できるようにした。



図-1 デジタル濁度計



図-2 濁水 NTU 10.57



図-3 濁水 NTU 151.40

(2) 目視による濁り程度の評価

瓶詰めした濁水は、目視で濁り程度を評価した。評価は、貼り付けたカラーチャートの0.1mm のラインおよび1.0mm のラインが明確に認識できるかを基準とした。また、カラーチャートの全体が確認できるかも評価した。目視による評価基準は表-2 に示す。

表-2 目視による濁り程度の評価基準

評価	基準
A	透明度はかなり高い。 0.1mm ラインがはっきり確認できる
B	多少濁りは確認できるが透明度が高い 0.1mm 以下のラインは確認できる
C	透明度は低い。1.0mm 以下のラインは判別しにくい
D	透明度はかなり低い。カラーチャートがぼやけて見える 1.0mm のラインは確認できない
E	濁りがひどくカラーチャートはほとんど確認できない

(3) 濁度と目視評価の関係

作成した試液を濁度計で、それぞれ5回測定した。試液の NTU 値(濁度)と目視による評価基準の対比を表-3 に示す。

表-3 試液の NTU 値(濁度)と目視による評価の対比表

No	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均	評価
1	11.14	10.44	11.79	10.34	9.14	10.57	A
2	25.56	25.10	25.61	26.37	25.00	25.53	B
3	51.00	53.00	50.00	50.00	50.00	50.80	B
4	98.00	99.00	102.00	99.00	97.00	99.00	C
5	151.00	152.00	153.00	150.00	151.00	151.40	C
6	201.00	198.00	201.00	198.00	194.00	198.40	D
7	251.00	252.00	248.00	249.00	250.00	250.00	D
8	294.00	304.00	300.00	304.00	297.00	299.80	D
9	401.00	406.00	398.00	401.00	408.00	402.80	E
10	493.00	495.00	502.00	516.00	504.00	502.00	E

3 ボアホールカメラによる観察結果

孔径φ86mm のアクリルパイプの外周に観察対象となる亀裂を模した画像(=孔壁画像)を張り付け、パイプ内に試液を入れて、ボアホールカメラによる観察を行った。観察を行った展開画像を図-3-1および図-3-2に示す。

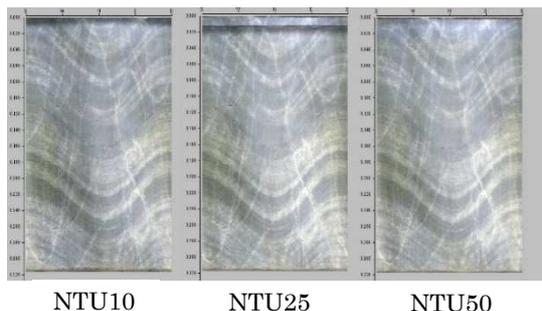
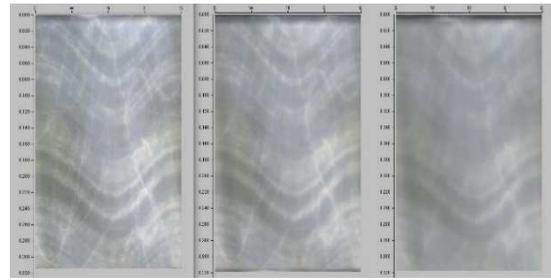


図-4 展開画像 その1



NTU150 NTU250 NTU500

図-5 展開画像 その2

実験によるボアホールカメラによる観察では、50NTU 以下であれば0.5mm 以下の亀裂まで確認できるが、150~200NTU では0.5mm 以下の亀裂の確認は困難となり、200NTU 以上の場合は、1.0mm 程度の亀裂でも確認ができない。

表-4 濁度と孔壁観察の結果

濁度(NTU)	観察結果
50以下	0.5mm 程度の亀裂まで確認できる
150	0.5mm 以下の亀裂の確認は困難
200以上	1.0mm 程度の亀裂の確認ができない

4 まとめと今後の課題

濁度計を用いた室内実験から、ボーリングカメラによる孔壁観察に支障のない指標は、濁度50NTU 以下が挙げられる。この値は瓶詰めした濁水の目視評価では、A~B 評価であり、ボアホールカメラによる観察では0.5mm 以下の亀裂が確認できる濁り程度に該当する。

ただし、今回の実験は砂泥互層のボーリング掘削水を用いた結果のみであること、および濃度の程度は10種類程度である。

今後、砂泥互層以外の地層のボーリング掘削水を用いた実験および濁度の変化を細かく採った実験により、濁度値はボアホールカメラの観察における1つの指標になる可能性があると思われる。

《引用・参考文献》

- 1) JIS K0101 「工業用水試験方法」 2017.10.20
- 2) 横河電機 濁度の定義と単位について
<https://www.yokogawa.co.jp/library/resources/faqs/an-tb-01-definitions-units/>

【62】

ボアホールカメラ観察における地下水中の溶存ガスによる影響とその対策

株式会社レアックス ○白 祥志, 狩野 正也

1. はじめに

地下水中のボアホールカメラ観察において、溶存ガスによる気泡が多数発生する条件下では、気泡が CCD カメラ部の保護アクリル（以下、アクリルケースと称す）の表面に付着して孔壁面の視認性を著しく低下させることがある。しかし、現時点では気泡の付着を防止する対策はなく、観察中の孔内で気泡を除去することも困難である。

そこで、気泡付着防止に効果が期待されるコーティング剤を複数選び、それらを塗布したアクリルケースの気泡付着実験を行った。さらに効果が確認されたアクリルケースを用いたボアホールカメラで炭酸水中を観察し、得られる展開画像を検証した。

2. 課題と方針

(1) 気泡がボアホールカメラ観察画像に与える影響

気泡が付着したアクリルケース越しに取得された展開画像は、深度方向に縦筋として映り込みが生じる(図-1)。気泡が多数の場合は、展開画像がバーコード状となり、孔壁面が不明瞭となってしまふ。



多数の気泡が付着したアクリルケース

※側方視カメラによる



気泡越しに撮影された展開画像

※気泡の輪郭が縦筋状に映り込む

図-1 気泡が付着した水中カメラ画像

(2) コーティング剤の塗布(方針)

気泡付着防止に向けた対策には、安価で簡易的に塗布ができるコーティング剤を塗布する方法を選んだ。

一般に市販されるコーティング剤は、親水性と撥水性に大別される。

親水性・撥水性とは、気中での固体表面に対する水の濡れ性のことであり、固体表面に水がくっつきやすい場合、その固体表面は親水性であり、反対に水をはじく場合は撥水性である。(図-2)

この特性が、水中では気泡に対して下記の作用を示すことを期待し、検証実験を実施した。

親水性: 表面を水が覆うことにより気泡の付着を防止する。

撥水性: 水をはじくのと同様の効果により気泡の付着を防止する。

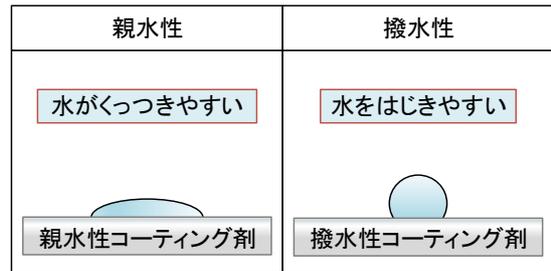


図-2 親水性と撥水性の違い

3. 実験

(1) 実験方法

試験に供するコーティング剤は、市販品の A) 親水性コーティング剤と B) 撥水性コーティング剤とした。(表-1)

表-1 コーティング剤の概要

No	種類	用途
A	親水性コーティング剤	ガラス用水滴防止・防曇
B	撥水性コーティング剤	車用水垢防止等

実験では、各コーティング剤を全面に塗布したアクリルケースを炭酸水で満たした水槽に浸し、気泡の付着状況を観察することとした。

評価ポイントは、気泡の付着の有無の確認(①付着防止)および長時間浸水させることでの水への溶解による効果減衰の有無の確認(②持続性)の2点とした。

図-3に実験手順のフロー図を示す。

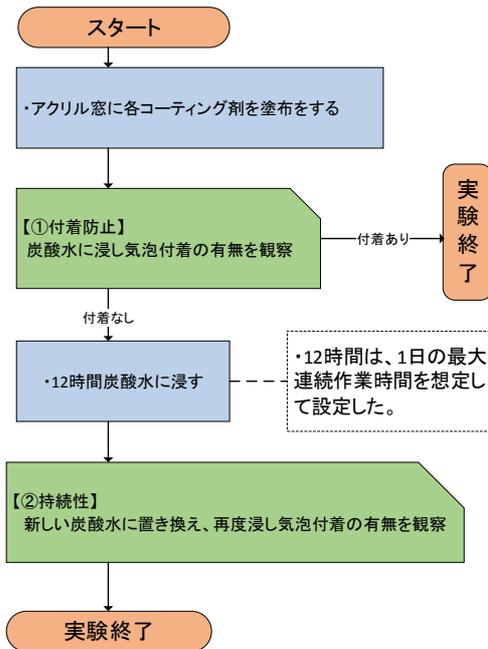


図-3 実験操作フロー

(2) 実験結果

実験結果を表-2に、①～②の詳細を以下に示す。

表-2 実験結果

No	種類	①付着防止	②持続性
A	親水性コーティング剤	付着なし	持続性あり
B	撥水性コーティング剤	付着あり	-

①付着防止

撥水性コーティング剤には多量の気泡が付着する様子が確認された。

一方、親水性コーティング剤には気泡が付着せず、アクリルケースの周囲をそのまま上昇の様子が見受けられた。(図-4)

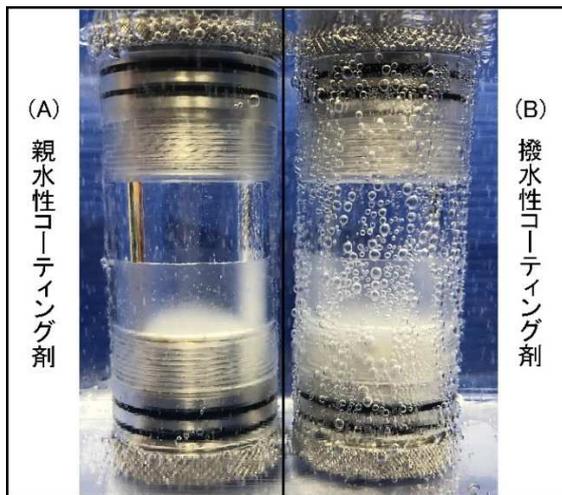


図-4 気泡付着確認時の状況

②持続性

12時間浸水後の親水性コーティング剤は、①付着防止確認時と同様の結果となり、気泡の付着が確認されなかった。

4. コーティング剤塗布による取得展開画像の検証

本実験の結果を受け、親水性コーティング剤が気泡付着防止に対し有効であることが認められた。

また、長時間浸水での効果減衰が認められなかったことで、持続性についても優れていることが確認できた。

そこで、実際の計測作業における適用性を検証するため、親水性コーティング剤を用いて、炭酸水を充填した模擬孔で親水性コーティング剤塗布前後の展開画像を取得した。

その結果、塗布前の展開画像には、気泡の付着により縦筋が確認され、亀裂面に縦筋が重なっている。一方、塗布後の展開画像には気泡の付着は確認されなかった。(図-5)

以上のことから、親水性コーティング剤の塗布が、気泡が多数発生する条件下の観察において有効であることが検証できた。



図-5 親水性コーティング剤塗布前後の展開画像

5. まとめ

本実験では親水性コーティング剤が気泡付着防止に有効的で、水に溶解されないことから持続性もあり、現場への実用性を示すことができた。

本報告が、気泡発生孔における良質なボアホールカメラ画像の取得に貢献できれば幸いである。