

ダム監査廊における揚圧力観測孔からの噴砂対応事例

川崎地質（株） 福田 耕太

1. はじめに

既設ダムの監査廊において揚圧力計を新規に設置した際に、観測孔から発生した噴砂への対応を行った事例を報告する。作業内容は、ボーリング21孔、揚圧力計設置21箇所であり、このうちの1箇所で噴砂が発生した。

本論では、このような観測孔から発生した噴砂への対応と噴砂の原因の分析結果について述べる。

2. 発生経緯

本業務における噴砂発生までの経緯を整理する。

- ① ボーリング作業時に噴砂発生孔を含む近辺の孔から有毒ガス（メタン・一酸化炭素・硫化水素）の発生が確認された。特に噴砂発生孔からは非常に高いガス濃度（メタン最大58%LEL）が検出された。
- ② 計器設置完了1ヶ月後、揚圧力計から湧水が排出されていないとの報告を受けた。
- ③ 現地を確認した結果、計器配管内に土砂が詰まっていることが確認されたため、配管内を洗浄し、湧水の排出を確認した。また、観測孔口を開放した際に土砂が噴出したが、すぐに収まった（写真-1）。
- ④ 後日、再度土砂による配管及び観測孔内の閉塞（図-1）と土砂の大量噴出が確認された。土砂は粒子が細かく灰白色を呈しており、カーテングラウト材が流出した可能性が考えられたため、小型カメラによる孔内確認及び噴砂の成分分析を実施した。



写真-1 配管内閉塞状況及び土砂噴出状況

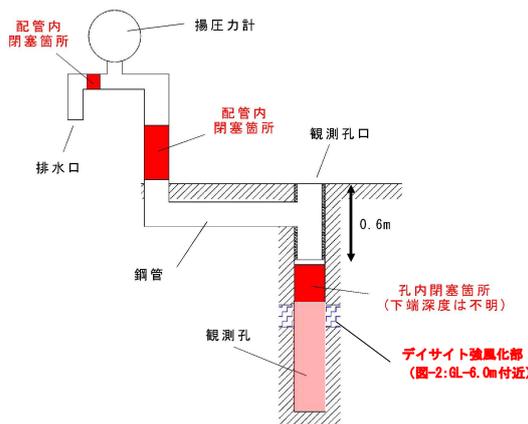


図-1 配管内等閉塞箇所模式図

3. 噴砂への対応及び要因の分析

(1) 土砂による配管内の閉塞時(1回目)

- ・対応：配管内を洗浄し、湧水の排出を確認。湧水に砂は混じっていないことを確認。
- ・要因：孔底付近のスライムが湧水圧に伴う孔底からの水流により巻き上げられ、噴出したと推測。

(2) 土砂による配管内の閉塞時(2回目)

- ・対応：観測孔内にも土砂が詰まっていたため、観測孔口を開放し、土砂受け枡を設置（写真-2）。
- ・要因：強風化部の孔壁が崩壊し、湧水圧に伴う水流により巻き上げられ、噴出したと推測。

(3) 土砂大量噴出時

- ・対応：エアリフトにより観測孔内を洗浄し、孔壁崩壊の有無等を確認するため、小型カメラによる孔内観察を実施。
- ・要因：グラウト材の流出もしくは強風化部からの流入土砂が湧水圧に伴う水流により巻き上げられ、噴出したと推測。



写真-2 土砂受け枡設置状況

4. 対応結果

(1) 配管内土砂洗浄

配管を分解し、配管内閉塞箇所の土砂を取り除き排水を確認したが、後日繰り返し閉塞が発生したため、一時的な効果にとどまった。

(2) 孔口部土砂受け枡の設置

土砂受け枡の設置により、監査廊内排水路及び排水ポンプへ土砂が流入・目詰まりし、排水が滞る事態は避けられた。噴砂の排出量は土砂受け枡（1.0×0.5×0.5m）をほぼ満杯にする量であり、観測孔の容積（φ66mm×8.5m）を大幅に超過しているため（写真-3）、掘削時のスライムが残留していた可能性は低いと考えられた。

(3) 孔内カメラ観察

エアリフトによる孔内洗浄後に小型カメラ観察を実施した結果、孔内全体の亀裂からのガス噴出及び孔内水の濁りにより明瞭な画像は得られなかった。また、GL-5.0m付近で孔壁が崩れていることが確認できたが、極一部であり、噴砂の排出量から供給源である可能性は低いと考

えられた。GL-5.5m 付近で噴砂が沸き上がるような状況が確認でき、これより下位では濁りにより観察不可能であった（写真-4）。なお、隣接する他2孔（図-2）では同様に孔内全体の亀裂からガスが噴出していたが、孔底まで確認でき、噴砂や孔内の堆砂等は確認できなかった。



写真-3 土砂受け柵堆積状況

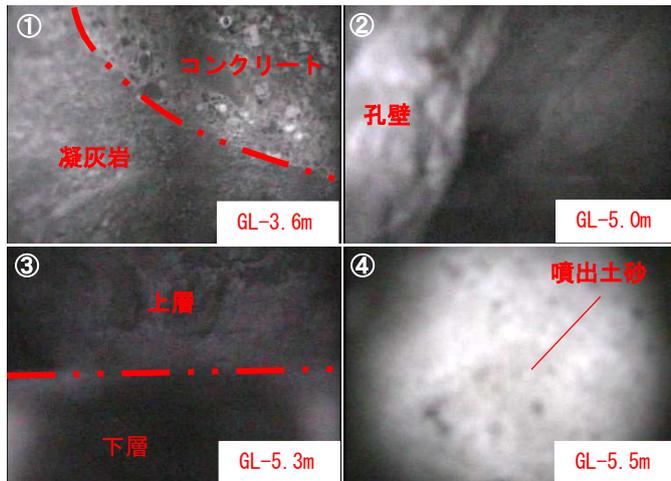


写真-4 小型カメラによる孔内観察結果（動画より抜粋）

- ①側方画像：堤体と基盤岩は密着している
- ②側方画像：孔壁の一部が崩壊している
- ③側方画像：地下水の境界。上層は透明、下層は濁る
- ④鉛直下方画像：土砂が沸き上がる

5. 噴砂成分分析結果

土砂大量噴出の原因としてカーテングラウト材の流出が懸念されたことから、噴砂の供給源を特定するため、噴砂及び比較対象として観測孔掘削時に得られたボーリングコア（凝灰岩・デイサイト）（図-2）に対しFP法蛍光X線分析（XRF）及びX線粉末解析（XRD）を実施した（表-1）。分析の結果、噴砂の構成元素のうちCaOが非常に少ないため、グラウト材の流出である可能性は考えにくい。また、凝灰岩及びデイサイトと比較すると、Al₂O₃等に差異が認められた。構成鉱物ではQz及びKfが減少し、PyやSm及びRecの粘土鉱物がやや多く含まれる。

以上の結果と、調査地のダム基礎岩盤は新第三紀凝灰岩及びこれに貫入するデイサイトからなることから、貫入に伴う熱水変質による軟質部が亀裂等を伝わって流出した可能性が高いと考えられる。なお、噴砂発生孔では貫入境界面（図-2：5.6m）は密着していると判断されるため、貫入境界面と連続する開口亀裂から、湧水に伴って軟質化した土砂が流出したと考えられる。

表-1 噴砂成分分析結果一覧表（左：XRF 右：XRD）

試料番号	噴砂		凝灰岩		デイサイト	
	重量%	モル%	重量%	モル%	重量%	モル%
採取深度 (GL-m)			5.35~5.40		6.35~6.40	
試料写真 (ディスク)						
SiO ₂	52.51	60.05	69.25	76.21	68.64	75.70
TiO ₂	0.69	0.59	0.21	0.17	0.30	0.25
Al ₂ O ₃	25.92	17.47	14.74	9.56	15.38	10.00
Fe ₂ O ₃	3.78	1.62	2.49	1.03	2.62	1.09
MnO	0.08	0.08	0.01	0.01	-	-
MgO	6.98	11.91	4.05	6.64	4.17	6.86
CaO	1.35	1.65	0.20	0.24	0.27	0.32
SrO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	1.58	1.75	0.32	0.34	0.43	0.46
K ₂ O	5.80	4.23	7.29	5.12	6.38	4.48
P ₂ O ₅	1.23	0.59	1.40	0.65	1.75	0.82
SO ₂	-	-	-	-	-	-
ZnO	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Y ₂ O ₃	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
ZrO ₂	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01

試料番号	噴砂	凝灰岩	デイサイト
採取深度	-	5.35~5.40	6.35~6.40
Qz	△	◎	◎
Kf	△	○	○
Py	○	×	×
Mc	-	-	-
Chl	-	-	-
Sm	+	-	-
Rec	+	×	×

凡例
 ◎：極多量 ○：多量
 △：中量 +：少量
 -：微量 ×：未検出
 Qz：石英 Kf：カリ長石
 Py：黄鉄鉱 Mc：雲母
 Chl：緑泥石
 Sm：スメクタイト
 Rec：レクトライト

赤字：微量成分（検出限界）のため、参考値として確認（%と%の単位は軽元素のため、誤差が大きい）。
 分析方法：粉末試料をプレス（脱粉）し、真空状態で測定。100%ノーマライズ。

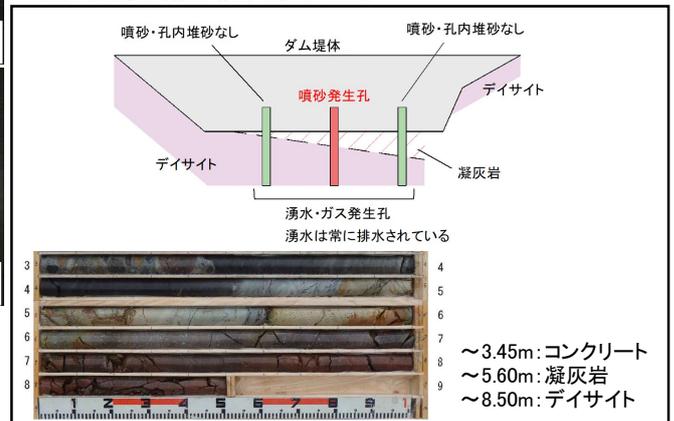


図-2 地質断面模式図及び噴砂発生孔コア写真（3~8.5m）

6. まとめ

本業務では当初想定されていなかった観測孔からの噴砂への対応及び要因・供給源の特定を行った。その結果、噴砂発生メカニズムは、地下水中で気化したガスの上昇や湧水圧に伴う孔口に向かう水流によって、貫入境界部の熱水変質に伴う軟質化した土砂が観測孔内に流入し、噴砂したと考えられる。また、噴砂の供給源は周辺の熱水変質帯の一部と推測されたことから、土砂供給量が不明なため噴砂を防ぎながらの揚圧力計観測は困難であるとの結果となった。さらに、噴砂発生孔の孔口部を塞いだ場合、亀裂等を伝わった噴砂により隣接する2孔が閉塞する可能性があり、業務完了後一定期間の経過観測が必要だったことから、業務完了後も引き続き観測孔口を開放・土砂受け柵を設置し、定期的に柵の清掃・配管の点検が必要である旨を発注者へ提案した。なお、懸念されていたグラウト材の流出の可能性は否定でき、また、排水路・排水ポンプの土砂の流入による目詰まりといった直接的な被害も軽減できたため、一定の対応効果は上げられたと考えられる。