

水質分析によるダム基礎グラウチングの長期的劣化に関する基礎的検討

(独) 土木研究所 正会員 ○佐藤弘行

1. まえがき

ダム基礎グラウチングは、主としてダム基礎岩盤の遮水性の改良又は弱部の補強を目的として行われる¹⁾。2012年12月に発生した笹子トンネル天井板崩落事故以来、インフラの老朽化に対する社会的関心が高まっている。国交省所管のダムにおいては、日常点検、約3年に一度の定期検査などによりダム機能の維持を図っているが、昨年度「ダム総合点検実施要領・同解説」²⁾が策定され、約30年に一度のダム総合点検が開始され、維持管理のPDCAサイクルの充実に図られていくところである。ダム総合点検においては基礎地盤の安定性も対象項目となっており、浸透量や揚圧力の経年変化等から基礎地盤の水理的な安定性を評価している。一方、一般にダムの基礎処理として実施されるグラウトの長期的挙動については知見が少なく、グラウトの長期的安定性に関する指標や調査方法は明確ではなく、ダム基礎グラウチングの長期的安定性を直接的に評価することは難しい状況である。

硫酸イオン等のコンクリートを侵食する可能性がある成分が少ない水中においても、水が流動する条件下に数十年置かれた場合にはコンクリートでも水和物の溶脱現象が顕在化することが指摘されている³⁾。溶脱現象は非常にゆっくりと進むものと認識されているが、既設ダムの超長期的な基礎地盤の安定性を評価するためには、常時地下水の流動の影響を受けるダム基礎のグラウトの長期的安定性を把握する必要がある。なお、ダム貯水池においては、主に生活用水としての安全性を確認するために約60項目の水質検査が月1回程度の頻度で行われているが、グラウトの溶脱に関係すると考えられるカルシウムイオンや硫酸イオン等の調査は行われていない。ダム堤体内に設置されている基礎排水孔においても、浸透量や水温は計測しているものの、水質調査は通常は実施されていない。

そこで本研究では、ダム基礎グラウチングの長期的安定性の基礎的な検討として、ダムの貯水池および基礎排水孔からの浸透水の水質分析を行い、グラウトの溶脱や溶脱に影響を及ぼす環境因子についての検討を行った。

2. 対象ダム

関東地方にある既設3ダムを対象とした。3ダムの主な諸元を表-1に示す。対象ダムの代表的な基礎岩種は、

A ダムから順に、第三紀花崗岩、新第三紀閃緑岩、新第三紀中新世火山礫凝灰岩と、いずれも亀裂性岩盤である。

表-1 対象ダムの諸元

ダム名	型式	堤高(m)	竣工年
A	重力式コンクリートダム	112	1956
B	アーチ式コンクリートダム	140	1983
C	重力式コンクリートダム	119	2012

3. 計測方法

貯水池および基礎排水孔からの採水は、毎月実施している貯水池の水質検査の日に合わせて実施した。貯水池については上層(水面下0.5m)、中層(水面と湖底の間水深)、下層(湖底から1m上)の3層から採水した。基礎排水孔については、河床部付近の比較的浸透流量が多い2ヶ所から採水した。計測項目および分析方法を表-2に示す。2回目の計測項目は、1回目の計測項目とともに溶存酸素量も計測した。基礎排水孔については浸透量の計測も行った。1回目の計測は2014年12月上旬、2回目の計測は2015年2月上旬に行った。

表-2 計測項目と分析方法

調査項目	分析方法	
水素イオン濃度 pH	JIS K0102 12.1	ガラス電極法
DO(溶存酸素濃度)	JIS K 0102 32.1	ウインクラージ化ナトリウム変法
濁度	JIS K0101 9.4	積分球式測定法
導電率	JIS K0102 13	白金黒電極法
炭酸水素イオン	JIS K0102 22.1 準拠	燃焼酸化-赤外線式TOC分析法
硫酸イオン	JIS K0102 43.2	イオンクロマトグラフ法
塩化物イオン	JIS K0102 35.3	イオンクロマトグラフ法
マグネシウムイオン	JIS K0102 51.2	フレイム原子吸光法
カルシウムイオン	JIS K0102 50.2	フレイム原子吸光法
カリウムイオン	JIS K0102 49.2	フレイム原子吸光法
ナトリウムイオン	JIS K0102 48.2	フレイム原子吸光法

4. 計測結果

表-3と表-4に1回目と2回目の計測結果を示す。

表-3と表-4を見ると、グラウトの溶脱に最も直接関係があると考えられるカルシウムイオンについては、3ダムともに貯水池よりも基礎排水孔の濃度の方が高い。この結果から、グラウトあるいは堤体等のコンクリートが溶脱し、カルシウムイオンとして基礎排水孔から流出している可能性が高いものと考えられる。また、Aダム

【キーワード】ダム、グラウト、維持管理、水質分析

【連絡先】〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 Tel.0298-79-6781 Fax.0298-79-6737

とBダムの貯水池よりも基礎排水孔の方が硫酸イオン濃度が低くなっており、グラウトや堤体コンクリートの化学的侵食による影響が考えられる。Bダム基礎排水孔①については、2回目のpHが6.8となっており、カルシウムイオン濃度も高く、浸透流量は少ないものの溶脱が進行している可能性があると考えられる。表-4の2回目の計測結果の溶存酸素(DO)を見ると、2月の冬季に計測したこともあり貯水池の溶存酸素はほぼ飽和に近い値を示しているが、基礎排水孔の溶存酸素は低い値となっている。表-4の溶存酸素の結果から、グラウトの施工箇所は、少なくとも冬季は溶存酸素の多い貯水池から溶存酸素が低くなる基礎排水孔の間にある。溶存酸素は、グラウトの化学的侵食に影響がある侵食性物質を発生させることもある酸化還元反応に大きく影響するとともに、酸化還元反応を促進するバクテリアの活動度にも影響するなど、グラウトの劣化過程のメカニズムの推定の際には、溶存酸素による影響も考慮する必要があると考えられる。

5. まとめ

本論文では、ダム基礎グラウチングの長期的安定性に関する基礎的検討として、3ダムの貯水池および基礎排水孔の水質分析を行った。今回の計測結果からは、ダム基礎のグラウトの溶脱の可能性を確認することができた。本来であれば、左右岸地山内等の周辺の地下水の水質分析結果も踏まえた上で評価すべきものと考えている。また、本論文で対象とした3ダムはコンクリートダムであるため、堤体コンクリートからの溶脱成分が混入している可能性がある。よって、堤体にコンクリートを使用しないロックフィルダムの浸透流観測孔等において、ダム基礎グラウチングの溶脱についての検討を実施することが必要と考えられる。

参考文献

- 1) (財)国土技術研究センター：グラウチング技術指針・同解説、2003。
- 2) 国土交通省：ダム総合点検実施要領・同解説、2013。
- 3) 土木学会：コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状、2003。

表-3 1回目の計測結果(2014年12月)

項目	Aダム					Bダム					Cダム				
	貯水池			基礎排水孔		貯水池			基礎排水孔		貯水池			基礎排水孔	
	上層	中層	下層	①	②	上層	中層	下層	①	②	上層	中層	下層	①	②
水温℃	9.4	9.0	7.7	11.0	10.5	9.9	9.9	6.3	8.0	8.5	10.7	4.5	4.9	10.0	10.5
pH－	7.3	7.2	7.1	11.4	8.8	7.5	7.4	6.9	7.6	8.0	7.4	7.1	6.9	9.4	9.1
導電率mS/m	7.5	6.9	7.3	54.3	17.2	7.8	7.9	8.0	29.1	12.9	6.8	7.5	8.1	13.0	13.2
濁度度	1.4	1.7	2.5	0.5	0.3	2.1	2.8	8.3	1.9	<0.2	2.0	2.1	3.6	0.2	0.6
ナトリウムイオンmg/L	3.279	3.308	3.270	16.63	7.180	3.462	3.524	3.661	7.184	4.872	2.800	3.117	3.216	8.793	6.839
カリウムイオンmg/L	0.520	0.491	0.481	6.851	1.320	0.689	0.707	0.751	1.140	0.246	0.507	0.568	0.633	0.475	0.501
カルシウムイオンmg/L	7.110	6.948	8.358	34.01	27.72	9.551	9.768	9.768	50.23	20.83	8.955	9.768	11.12	19.53	21.10
マグネシウムイオンmg/L	0.945	0.926	1.014	0.015	1.574	0.847	0.906	0.928	4.527	1.166	0.710	0.823	0.930	0.527	0.698
塩化物イオンmg/L	1.4	1.5	1.5	2.4	1.8	1.6	1.6	2.0	2.1	2.1	1.2	1.6	1.6	2.0	1.7
硫酸イオンmg/L	7.0	7.1	7.3	1.0	1.0	7.7	7.9	7.1	0.38	4.1	5.1	5.8	5.3	6.3	5.2
炭酸水素イオンmg/L	21	21	20	1	86	26	26	26	150	62	25	26	38	46	55
浸透流量L/min	－	－	－	0.11	2.65	－	－	－	0.37	3.27	－	－	－	1.44	4.55

表-4 2回目の計測結果(2015年2月)

項目	Aダム						Bダム					Cダム				
	貯水池			基礎排水孔			貯水池			基礎排水孔		貯水池			基礎排水孔	
	上層	中層	下層	①	②	上層	中層	下層	①	②	上層	中層	下層	①	②	
水温	℃	2.5	3.1	3.2	9.5	10.5	4.8	4.9	4.8	7.5	8.5	4.8	4.3	4.6	10.5	10.0
pH	—	7.3	7.2	7.2	11.5	8.8	7.4	7.4	7.4	6.8	8.0	7.3	7.2	6.8	9.4	9.4
導電率	mS/m	6.4	6.6	6.6	54.8	17.8	7.8	8.1	8.0	30.4	13.4	7.5	7.5	8.2	13.2	13.3
濁度	度	0.9	1.0	1.4	<0.2	0.2	2.1	2.2	2.3	0.7	<0.2	0.6	0.6	2.0	<0.2	<0.2
DO	mg/L	12.3	12.3	11.9	1.7	1.2	11.0	11.1	11.1	1.6	1.2	9.8	9.4	3.3	4.0	2.5
ナトリウムイオン	mg/L	3.252	3.310	3.230	15.96	7.102	3.505	3.487	3.518	6.973	4.789	3.000	2.969	3.177	8.586	6.734
カリウムイオン	mg/L	0.470	0.458	0.466	6.658	1.326	0.682	0.688	0.685	1.054	0.247	0.537	0.538	0.635	0.469	0.515
カルシウムイオン	mg/L	7.083	6.863	7.303	14.07	29.10	10.60	10.27	10.22	50.96	21.39	9.781	9.891	11.26	20.35	21.17
マグネシウムイオン	mg/L	1.137	1.112	1.165	0.137	1.948	1.151	1.063	0.957	4.818	1.261	0.822	0.989	1.087	0.558	0.720
塩化物イオン	mg/L	1.6	1.6	1.6	3.8	1.8	1.7	1.6	1.6	2.6	2.2	1.4	1.4	1.5	1.9	1.7
硫酸イオン	mg/L	8.1	8.2	8.1	1.4	0.93	8.1	8.0	8.0	0.48	4.1	5.6	5.7	5.5	6.1	5.5
炭酸水素イオン	mg/L	19	20	18	3	94	25	27	27	150	77	26	27	27	55	54
浸透流量	L/min	—	—	—	0.11	3.08	—	—	—	0.46	3.08	—	—	—	1.53	4.29