

水^{すい}土^ど の^ち知

水土の知 第75巻第11号 平成19年11月1日発行 (毎月1回1日発行) ISSN 1882-2770

Journal of the Japanese Society of Irrigation,
Drainage and Rural Engineering

2007 11
Vol.75 / No.11

農業農村工学会誌 (旧/農業土木学会誌)

小特集 ● 農業農村分野のGIS (研究事例)



社団法人 農業農村工学会

コンクリートダム排水設備の遊離石灰付着防止工法

Countermeasures to Stain of Isolated Lime on Drainage Facilities of Concrete Dam

植 松 宇 之 助[†]

(UEMATSU Unosuke)

福 田 守 男^{††}

(FUKUDA Morio)

I. はじめに

近年完成するコンクリートダムで合理化施工 (RCD 工法, ELCM 工法などダム堤体をブロックのリフト差を設けずに堤体全体を一様にコンクリート打設する施工法) で施工したものは, コンクリート堤体からの浸透水に含まれる遊離石灰が排水設備内に付着することにより, 排水能力の低下とメンテナンスのため石灰除去作業が必要となるものがある。このような状況を回避するため, ダム下流の水質に影響を及ぼさないよう環境に配慮した付着防止工法を開発した。ここでは, 開発した付着可能性判定方法と付着防止工法を, 新宮川ダムの排水設備において適用した事例を報告する。

II. 新宮川ダムの排水設備の概要

新宮川ダムは, 会津農業水利事業で会津盆地 4,500 ha を灌漑する重力式コンクリートダムで, ダム堤体のコンクリート打設は, 平成 11 年度から平成 13 年 8 月まで実施し RCD 工法で施工した。

ダム堤体内浸透水の排水設備は, ①左右両岸監査廊の排水路, ②排水路合流部の排水水槽 (ピット) で集められ, ③水中ポンプおよび④排水管 (硬質塩化ビニール管 (VP 管)) から放流される。浸透水量は, 最大流量 (H 15 年 4 月) 右岸側 114.2 (ℓ/min), 左岸側 6.4 (ℓ/min) であった。

III. 付着可能性に関する分析

1. 付着の原因

ダム堤体コンクリートおよび基礎地盤改良のためのコンクリートグラウトから, セメントの原料であるカルシウム分を多く含んだ水が継ぎ目から浸出する。排水中のカルシウム分 (遊離石灰) は空気中の炭酸ガスと反応し

炭酸カルシウム他付着物 (カルシウム系スケール) となって排水設備に析出・付着する現象が発生する。

2. 水質分析

(1) 給配水系におけるカルシウム腐食性の指標となるランゲリア指数を用いて, カルシウムの付着可能性を分析した。

ランゲリア指数 = 水の pH 値 - pH_s

pH_s: 水中の炭酸カルシウムが溶解も析出もしない平衡状態にある時の pH 値

$$\text{pH}_s = 8.313 - \log(\text{Ca}^{2+}) - \log(A) + S$$

Ca^{2+} : meq/ℓ --- Ca^{2+} mg/ℓ ÷ (40.1 ÷ 2)

A: 総アルカリ度 meq/ℓ

--- 総アルカリ度 mg/ℓ ÷ (100 ÷ 2)

S: $2\sqrt{\mu}(1 + \sqrt{\mu})$

μ : $2.5 \times 10^{-5} \text{sd}$ sd: 溶解性物質 (mg/ℓ)

(ただし, 上記式は水温 25℃ の値であって, 温度 1℃ 上昇に対しラ指数は 1.5×10^{-2} 増加する。)

ランゲリア指数 (以下「ラ指数」という) がプラスなら炭酸カルシウムが析出しやすく, ラ指数が 1.0 以上で付着進行し, 0.6~1.0 では析出し表面被覆する。マイナスなら析出しないものの腐食性となる。ラ指数を 0~0.6 に制御することにより, 金属製ポンプや VP 排水管をカルシウム系スケールの付着と腐食の両方から守ることができる。

(2) 排水を採水し, ラ指数を算定した結果を表-1 に示す。右岸側排水路排水ピットおよび排水管出口の排水のラ指数は, すべてプラスであった。特に排水ピットおよび右岸側排水路では最小値 0.99 最大値 1.30 であった。

[†](株) 日本水工コンサルタント

^{††}(株) 水建コンサルタント



コンクリートダム, ランゲリア指数, 遊離石灰, カルシウム系スケール, 空気酸化, pH 制御, 帯電化

表-1 ランゲリア指数

測定箇所	1回目	2回目	3回目	4回目
右岸排水路下流端	1.24	1.11	1.04	1.24
左岸排水路下流端	0.47	-0.64	-0.53	0.63
排水ピット	1.22	0.99	1.05	1.30
排水管出口	—	—	—	1.15

(注) ランゲリア指数の値は、現地水温を室内試験時水温へ補正して算定した。

表-2 EPMA 法による付着物分析

元素検出	半定量値			
	排水ポンプ (付着物, 堆積物)		排水管入口 (付着物)	
	wt%	atomic%	wt%	atomic%
O	45.6	58.5	50.1	64.8
Si	27.2	19.9	21.5	15.8
Ca	9.8	5.0	10.2	5.3
C	5.5	9.4	2.6	4.4
Al	5.1	3.9	6.7	5.2
Fe	4.3	1.6	5.2	1.9
Na	0.7	0.6	1.0	0.9
K	0.7	0.4	1.3	0.7
Mg	0.5	0.4	0.8	0.7
Ti	0.3	0.1	0.1	0.1
Mn	0.3	0.1	0.5	0.2
計 (%)	100.0	100.0	100.0	100.0

3. 付着物分析

(1) EPMA 法 (元素半定量分析法) により付着物・堆積物を採取して元素分析した結果を表-2 に示す。水中ポンプ、排水ピットの付着物と排水ピット底の堆積物からセメント成分である Ca (カルシウム), Al (アルミニウム), Si (ケイ素), Fe (鉄), Mg (マグネシウム) を検出した。Ca は重量比で 10% 程度含まれていた。これらの元素が酸化反応するための O (酸素) および分子結合するための空気中の C (炭素) が検出された。この結果、付着物・堆積物はセメントを成分とする化合物または溶出物であり、炭酸カルシウムが存在すると推定された。

(2) カルシウム付着状況を把握するため、排水中に VP 管を 80 日間吊り下げ観察した。その結果、排水ピットに吊り下げた VP 管にわずかの粉状付着物が確認できた。このことから付着が進行していることが確認できた。

(3) 表-2 の付着物の元素分析によると、Mn (マンガン), K (カリウム) などセメント溶出分とは異なる元素が検出された。これは、排水がダム基礎からの揚圧水とコンクリート継目を通った浸出水であるため、基礎地盤の元素とダム湖水に含まれる元素が浸出したものと考えられる。

4. 付着可能性の判定

表-1 の水質分析結果より、右岸側排水はラ指数がプラス 1 前後で炭酸カルシウムが析出しやすい。また、3. (1) により付着物には、炭酸カルシウムの存在が推定され、3. (2) より VP 管に付着物発生が確認された。以上によりカルシウムが付着していると判断した。

IV. 付着防止工法

1. 付着防止工法の考え方

(1) 従来の付着防止工法 従来の付着防止工法には、カルシウムを設備直前で沈殿させるか、カルシウムを溶解させるなどの工法がある。施設直前で沈殿させる工法は、重炭酸添加や薬剤を使用するが、水質等環境へ悪影響がある。また、カルシウムを溶解させる工法として、炭酸ガス圧入は、扱いが危険である。

(2) 付着防止工法の開発 ダム下流の水質に影響を及ぼさないよう薬剤を使用することなく、カルシウムを析出させないでそのまま通過させる工法開発を目的として、小規模な室内装置により次の工法を実験した。

1) カルシウムを析出させないよう排水の pH を低下させる工法：ラ指数を 0.6 以下へ下げるため、排水を空気酸化し pH を低下させる。排水にブローワーをかけ空気注入し、また、位置エネルギーを利用し排水を網に落下させ空気混入した。

① 排水にブローワーをかけ pH を低下

試験方法：バケツに格子型竹籠を 3 回通過させた 2.5 ℓ 排水を入れ、その中で小型ポンプ (2.0 (ℓ/min)) により空気注入しその pH 低下効果を表-3 に示す。

② 排水を網に落下させ pH を低下

試験方法：格子型竹籠に排水を複数回通過させ空気混

表-3 排水にブローワーをかけ pH を低下

	pH	水温 (°C)	Ca (mg/ℓ)	ラ指数
原水	9.83	21.2	30.0	1.01
格子型竹籠 3 回通過	9.74	21.2	—	—
格子型竹籠 3 回通過および 30 分間ブローワー 2.0 (ℓ/min)	8.99	21.4	28.8	-0.20
60 分間ブローワー	8.25	21.4	—	—

表-4 排水を網に落下させ pH を低下

	pH	水温 (°C)	Ca (mg/ℓ)	ラ指数
原水	9.45	21.4	31.5	1.30
格子型竹籠 1 回通過	9.43	21.3	30.6	1.23
格子型竹籠 2 回通過	9.35	21.3	30.9	1.16
格子型竹籠 3 回通過	9.21	21.3	30.7	1.04

表-5 排水の帯電化と管壁の電位

	排水の帯電化 (mV)	VP管壁 (mV)
磁石設置前	0	-200
磁石(5,100 Gauss)設置後	-260	

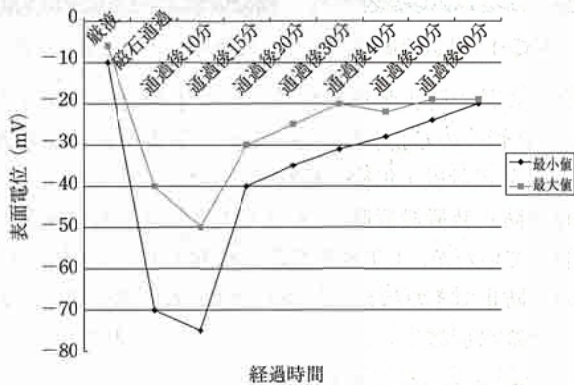


図-1 排水の帯電持続時間

入し、通過回数による pH の変化を測定した。その pH 低下効果を表-4 に示す。

格子型竹籠を通過させることによって、1 回ごとに、pH が低下し、3 回で 0.22 低下した。ラ指数も同時に低下した。

2) カルシウムが管壁に付着しにくくする工法：排水を磁石によりマイナスに帯電させ電氣的に排水管壁（マイナス）と反撥させた。また、排水の帯電効果を保持するため、水路部材料は木質系素材を使用した。

① 排水の帯電化

試験方法：現地で排水を、永久磁石装着した竹筒の中を通過させて帯電させた。排水はマイナスに帯電し VP 管壁（マイナス）に反発した。排水と VP 管壁の表面電位を表-5 に示す。帯電化した排水を排水ピットに流下・貯留した。その帯電状況は図-1 に示すように約 1 時間持続した。

② 木質系素材使用：磁石装着部や帯電化した排水の水路の素材は帯電しにくい木竹を使用した。

2. 付着防止装置

上記 1. (2) の各工法室内実験結果を踏まえて排水設備上流側から下流に向けて表-6 に示すように付着防止装置を設置した。装置配置の考え方は次のとおりである。右岸排水路は浸透水量と pH で左岸側と大差がある。右岸側浸透水は年間をとおして相当量あり、pH は 10 程度と高い値を示し、カルシウムが付着する可能性がある。一方左岸側浸透水は少量で季節により流れず、しかも pH が 9 以下と低く、付着可能性はないと考えられる。このため装置配置は、右岸と左右両岸浸透水を集め

表-6 付着防止装置の配置

箇所	工法	内容
右岸排水路下流端と横断鋼間の段差部	2)-①	排水を磁場通過させ帯電化
排水溝と排水ピット間の段差部	1)-②	排水を網に落下させ pH 低下
排水ピット	1)-①	排水にブロワーを掛け pH 低下
竹筒水路/竹網/ブロワー散気管周りの囲い	2)-②	木質系素材による帯電化持続

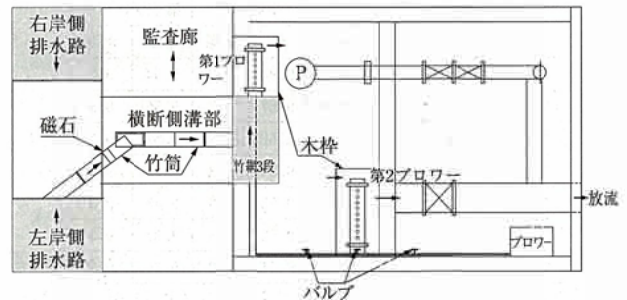


図-2 装置配置図 (平面図)

る排水ピットに計画するが、左岸側には計画しない。この時に対象とする排水量は右岸側の最大流量 114.2 (ℓ/min) から、排水ピットに滞留する時間を 30 分以上とした。装置の配置図を図-2 に示す。

3. 現地検証

(1) 排水の pH 低下効果 排水ポンプと排水管をカルシウム系スケールが付着しないようラ指数を 0~0.6 に制御するため、現地での pH 管理目標を図-3 ラ指数と pH の相関から求め、pH 9.3~9.4 とした。

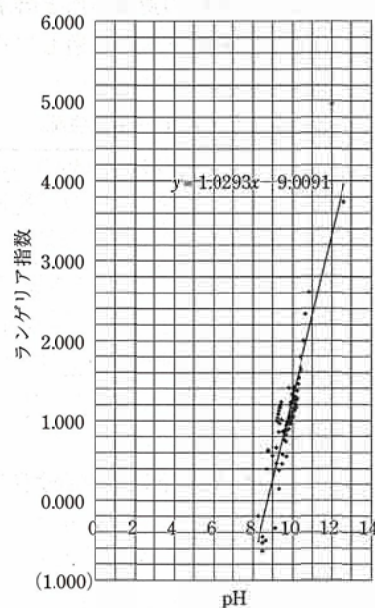


図-3 ランゲリア指数と pH の相関

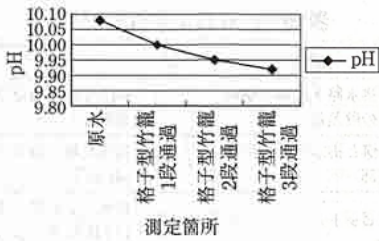


図-4 格子型竹籠通過後の pH (現地検証)

表-7 排水の pH 低下 (現地検証)

	第1ブローワー		中間水槽		第2ブローワー	
	pH	水温	pH	水温	pH	水温
右岸下流端	9.94	9.2	9.94	9.2	9.94	9.2
ブローワー 10分	9.63	9.3	9.67	9.3	9.56	9.3
ブローワー 20分	9.58	9.2	9.62	9.2	9.52	9.3
ブローワー 30分	9.54	9.2	9.54	9.3	9.46	9.3
ブローワー 40分	9.57	9.2	9.53	9.3	9.43	9.3
ブローワー 50分	9.56	9.2	9.52	9.3	9.37	9.3
ブローワー 60分	9.50	9.3	9.51	9.2	9.36	9.3

右岸下流端で pH 10.08 の排水は図-4 で示すとおり、竹籠通過後その pH は pH 9.92 にまで下がった。

その後第1ブローワー→中間水槽→第2ブローワー通過して排水された pH を表-7 に示す。30分後第1ブローワーでは pH 9.94 から 9.54 にまで下がり、中間水槽では pH 9.54 を維持し第2ブローワーでは 9.46 にまで下がった。60分後、第2ブローワーでは 9.36 にまで下がった。

(2) 排水の帯電化 永久磁石を使って排水の帯電化を計り、排水設備 (VP 300 および排水ポンプ) に流下させた。表-8 のとおり帯電後の磁化された水の表面電位は、すべてマイナス側に反応した。排水が静電位を帯びマイナスに帯電し、排水中の遊離石灰と排水設備とが互いに電氣的に反撥して遊離石灰が付着しにくい水質となった。

表-8 排水の帯電化 (現地検証)

測定位置	測定対象	表面電位 (mV)
磁石通過後	排水	-700
竹籠通過後	排水	-950
排水ビット VP 下	排水	-300
ポンプケーシング	ポンプ	-200
VP 管上	管壁	-200
VP 管石	管壁	-200

4. 付着防止効果

12 カ月間排水ビットに吊り下げて Ca 付着した VP 管

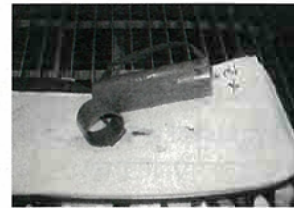


写真-1 装置設置時



写真-2 装置設置1年後

に対し、付着防止装置を作用させ1年後効果を検証した。VP 管への Ca 付着状況について装置設置時を写真-1 に、装置設置1年後を写真-2 に示す。

付着防止装置設置時、Ca は VP 管表面全面に泥状に被覆していたが、1年後被覆状に変化した。VP 管に Ca 付着を防止できたほか、付着した Ca の一部が減少したことを確認した

V. まとめ

コンクリートダム排水設備に付着する遊離石灰の問題を薬剤を使用することなく、排水の pH 低下と帯電化を組み合わせるカルシウムを付着させない工法を開発した。この工法は維持管理軽減と環境への配慮に優れている。今後は、適用対象施設の拡大や技術の改良に努めたい。この開発に際して、学識経験者、試験関係者および現地でご高配をいただいた皆様に謝意を表します。

引用文献

- 1) 日本水道協会「上水試験方法 2001」p.132(2001)
- 2) 市田化学「水処理の専門用語集」p.12(2005)
[2006.11.22, 受稿]

植松宇之助

略歴



1945年 鳥取県に生まれる
1969年 京都大学農学部農業工学科卒業
1969年 農林水産省
1998年 財団法人日本グランドワーク協会
2002年 ㈱日本水工コンサルタント常務取締役
現在に至る

福田 守男



1952年 滋賀県に生まれる
1977年 京都大学農学部農業工学科卒業
1977年 世紀東急工業㈱
1999年 ㈱日本水工コンサルタント業務管理室長
2005年 ㈱水建コンサルタント技術部長
現在に至る