

札内川ダム堤体内排水設備スケール問題について

以後 昭洋

北海道開発局 帯広開発建設部 帯広河川事務所 札内川ダム管理支所

(〒089-1374 北海道河西郡中札内村南札内735-2)

本ダム堤体内の排水設備では、スケール（固形付着物）が近年急速に付着・成長し、排水ポンプの故障や排水管の断面減少が生じ、維持管理に重大な支障が生じている。本研究では、設備改修に有用な知見を得ることを目的に、その発生メカニズムを究明し、清流札内川の水質に影響を与えない水質コントロール対策法を検討した。スケールの主成分は炭酸カルシウムであり高pHで生成しやすいことが判明し、排水の流路変更によりpHを低下させたり、電磁化水発生装置を使用したりといった対策法が有効なことを見いだした。類似の問題は全国のおもなダムでも生じる可能性があり、本成果はその解決に応用できると考えられる。

キーワード 堤体内排水、スケール、pH

1. まえがき

札内川ダムは北海道東部を流れる十勝川水系の支川の一つである清流札内川の上流に位置し、平成11年4月に運用を開始した堤高114 m、堤頂長300 m、流域面積117.7 km²、総貯水容量54,000,000 m³の多目的ダムである（図-1）。本ダム堤体内の排水設備は、近年になってスケール（排水中に溶け込んでいる成分が不溶性となって析出し、沈殿・付着したもの）が急速に付着・成長し、排水ポンプの故障や排水管の断面減少が生じ、維持管理に重大な支障が生じている。

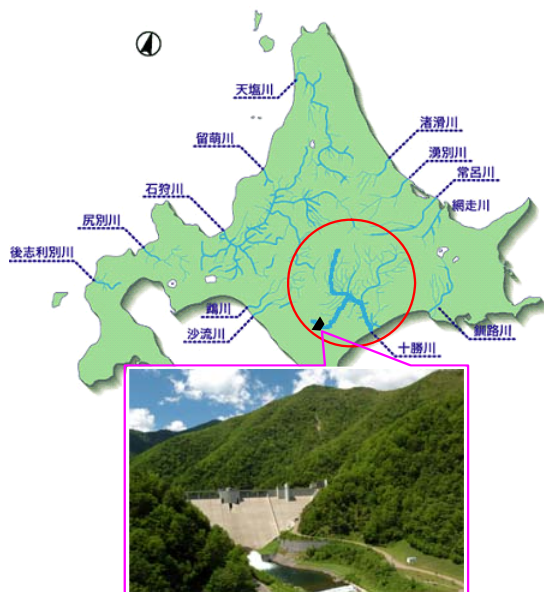


図-1 札内川ダムの位置

本研究では、この問題を抜本的に解決することを目的として、スケール発生と付着の原因とメカニズムを究明した。次いでこの知見を基に、札内川およびダム下流で取水している上水の水質に影響を与えない対策方法を検討し、排水設備改修に向けての有用な知見を得た。本論文では、そのうち水質コントロールによる対策検討の成果について報告する。

2. スケールの付着状況と成分

堤体内下部に位置する排水設備には、左岸部・右岸部・利水部の3系統の排水路があり、ポンプピットに流入混合後、通常は左岸部に2基ある主ポンプで揚水し、排水管を通じて堤体外下流側に排出している（図-2）。

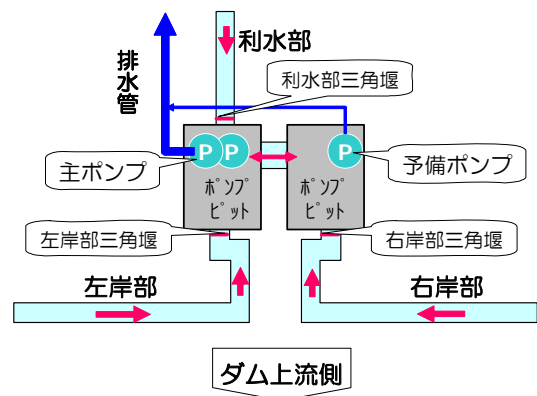


図-2 堤体内排水路の概要

排水ポンプは内部に付着するスケールのため分解清掃が3ヶ月に1回程度必要で、排水管（φ100）も平成18年3月に分解したところ内部に付着成長するスケールにより有効径が細くなる現象が生じていることが判明した（写真-1）。排水管のスケールを分析すると、90%以上が炭酸カルシウムであった。炭酸カルシウム自体は本来白色であるが、分析の結果マンガンが微量混入しているためにスケールは黒色を呈する事が判明した（表-1）。なお、炭酸カルシウムは石灰岩の主成分としても知られているように自然界に広く存在し、化粧品原料、食品添加物として

も使用が認められている低毒性な物質である。

3. 排水の水質

各排水路内と、排水量が多い継目排水（J-12等）および基礎排水地点の水質を調査した（図-3）。その結果、全般的に左岸部は右岸部よりもpH、カルシウムイオンおよび炭酸イオン濃度が高いことが判明した。この理由は、左岸部の方が、継目排水量が多く、コンクリート内を通過した排水の影響によるものと考えられる。また左岸部ポンプピットの水は、ポンプ運転時（約3分間）には低pHの右岸部ピットの水が流入混合するため一時的にpHが11を下回るものの、常時（ポンプ停止時約19分間）はpH11以上の強アルカリ性であることが判明した。

左右岸のピットではスケールの付着状況が明らかに異なることから、スケールの生成挙動は水質を反映していると判断される（写真-2）。



写真-1 排水管と排水ポンプのスケール付着状況

表-1 付着スケールの成分分析結果

項目	試料名	黒色スケール				白色スケール
		左岸三角堰	右岸三角堰	左岸ポンプピット	排水管(内側*)	排水管(外側*)
カルシウム(Ca)	(wt%)	25	36	37	37	37
マンガン(Mn)	(wt%)	2.9	0.30	0.34	0.51	0.010
鉄(Fe)	(wt%)	3.5	0.090	0.13	0.046	0.080
アルミニウム(Al)	(wt%)	1.2	0.60	0.18	0.0092	0.12
マグネシウム(Mg)	(wt%)	0.19	0.36	0.11	0.033	0.28
二酸化ケイ素(SiO ₂)	(wt%)	0.22	0.077	0.082	0.039	0.66
無機態炭素	(wt%)	8.5	4.8	5.5	5.3	12

* 内側：水に接している側の新しく付着したスケール、外側：排水管に接している側の古いスケール

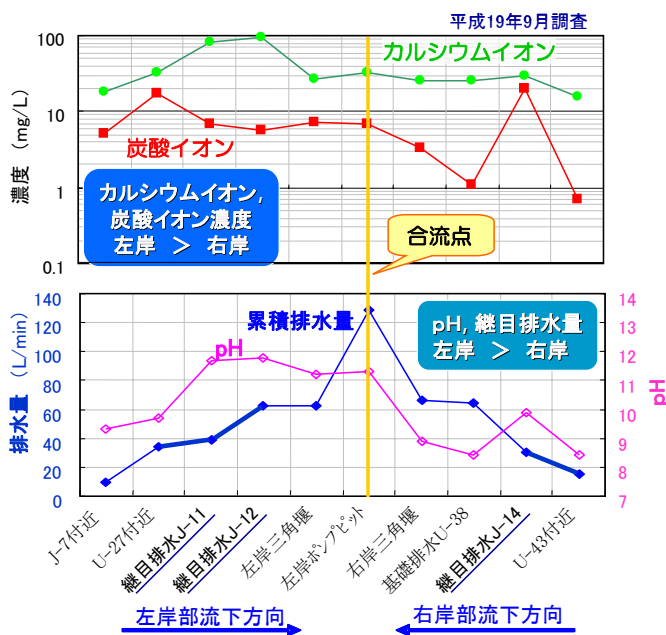


図-3 排水路及び排水孔地点の流量・水質

項目	左岸部	右岸部
pH	約11.5 (ポンプ運転時最小約11)	約9.5 (ポンプ運転時最大約11)
三角堰状況		
ピット内状況		

写真-2 左右岸ポンプピット状況

4. スケール急増の原因

排水管のスケール付着進行は、平成18年3月に初めて内部調査を行った時点で確認された(写真-1)。このような急速成長は、以下の理由から平成15年9月26日の十勝沖地震(帯広市内で震度5強、十勝支庁南部で震度6弱、本ダム基礎部で震度4(68.9ガル))により、排水の水質が変化したことが主な原因と推定される。

- ① 十勝沖地震により、排水量は一時的であるが約100 L/minから約150 L/minに増大。
- ② ポンプの故障が平成16年から発生している。
- ③ 既設排水管(SUS管)内のスケールは、外側つまり古い付着物は白色でマンガンの含量が少なく、内側のスケールは黒色でマンガンをより多く含有する2層構造となっている(写真-1左)。一方、仮排水管を約6ヶ月間供用した後に管内のスケール厚さを計測し、スケールの付着速度を算出した結果、約0.5 mm/月であった。黒色スケールは、厚さが約20 mmであるため、付着開始したのは約40ヶ月前すなわち約3.5年前と推定され、その時期は平成15年9月末の十勝沖地震とほぼ一致する。

5. スケール発生メカニズムの検討

スケールの主成分である炭酸カルシウムに含まれる炭酸イオンは、水中溶存時にpHによって化学形態が変化することが知られている¹⁾(図4)。そのうちカルシウムイオンと結合して、難溶性の炭酸カルシウムを生成する炭酸イオン(CO₃²⁻)の濃度は、pHが大きくなるに従い急激に増加し、その結果式Iの反応によりスケールを生成すると考えられる。

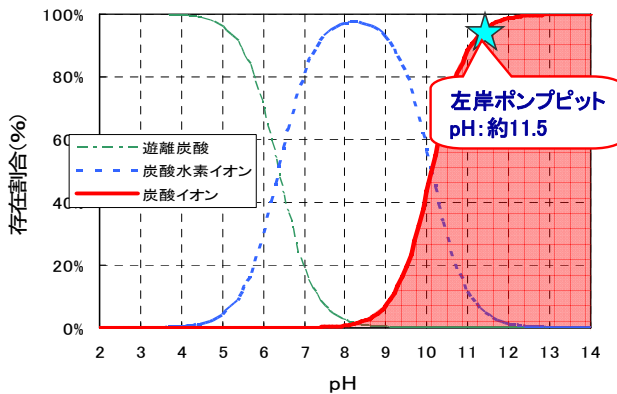
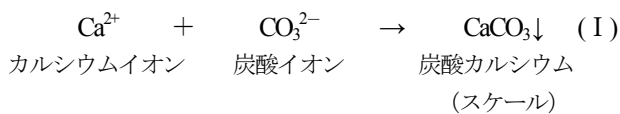


図-4 炭酸化合物の存在形態の pH 依存性

3系統の排水路のうち左岸部および利水部の三角堰(ポンプピット流入部)ではpH 11~12の強アルカリ性であり、この影響を受けて左岸ポンプピットのpHも11.0~11.5程度の強アルカリ性となっている。pH 11.5では90%以上の炭酸化合物は炭酸イオンとして存在しており、カルシウムイオンと結合して難溶性の炭酸カルシウムを生成しやすい環境にあることが、スケール生成を支配する大きな要因と考えられる。

6. スケール対策予備検討

pHを低下させて排水中の炭酸イオンを炭酸水素イオンに変化させれば、水溶性の炭酸水素カルシウムとなりスケール発生が抑制できると考えられる。この仮説を検証する目的で、以下の室内実験を行った。

実験概要:

現場から取り出したスケール付着排水管(L=10.5cmに切断)を用いて、ポンプピットの水(無処理、塩酸や二酸化炭素でpHを低下させた水)を約16日間通水させて、排水管内のスケール増減傾向を調べた。

実験結果:

無処理のケースでは、pHが11~10と高い9日目まではスケール重量が増大したが、大気中の二酸化炭素を吸収してpHが約10以下になると逆に減少した(図5)。通水実験中の平均的なpHとスケール減少率の関係は、正の相関を示した(図6)。

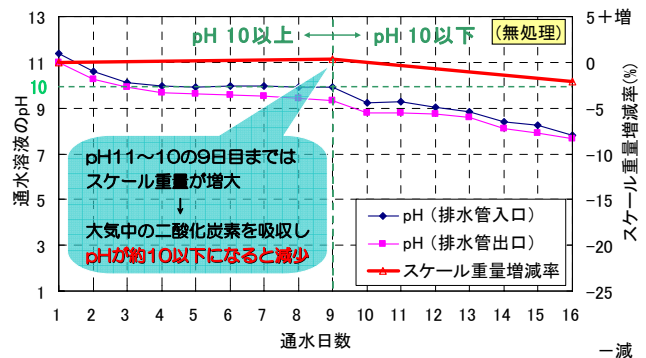


図-5 通水実験中の pH およびスケール増減率の変化



図-6 通水溶液の pH とスケール増減率の関係

このように本実験により、pHがスケール生成挙動を左右する重要な因子であることが検証できた。

7. スケール対策案の検討

スケール対策は、水質調査から得られた知見に基づき、他ダムでの対策実績を参考とし下流河川の水質へ影響を与えない対策を検討した。

なお、他ダムでは札内川ダムと同様に強制排水ポンプ設備にスケールが付着して問題となり表-2に示す対策を施している^{2,3)}が、札内川ダムは何れのダムよりも高pHかつ高カルシウム濃度であり、よりスケールが生成しやすい条件下にある。

スケールの抑制対策は、既往実績から以下に大区分される。

- A. 水質コントロールによるスケール付着防止
- B. 維持管理によるスケール除去
- C. 排水量の抑制

本論文で報告する水質コントロールによるスケール付着防止工法は、①化学的コントロール、②物理化学的コントロールに区分される。

7-1 化学的コントロール

室内実験の知見から、機械で排水ピットに微量の酸や炭酸ガスを連続投入しpHを約10以下に低下させる案が挙げられるが、河川水質への影響に配慮し不採用とした。そこで、排水ポンプピットの水質（特にpH）およびスケール付着状況が左右岸で異なることに着目して、常時稼働する主ポンプピットのpHを低下させることでスケール付着を抑制することができないかと考え、以下2つの案による現場実験を行った。

1案 主ポンプを、pHが相対的に低い右岸部に変更することで、主ポンプピット以降のpHを低下させる案（主ポンプと予備ポンプの入替え）

実験概要：

ポンプを入れ替えた後を想定して、右岸部の予備ポンプを約1時間運転した場合の右岸部ポンプピットのpH変化を調べた（図-7左）。

実験結果：

ポンプ運転時は左岸部ポンプピットの高pH排水が流入混合するため一時的にpH 11.0程度まで上昇するが、ポンプ停止時のpHは約10.5に低下できることを確認した。

2案 左岸部の高pH継ぎ目排水を、右岸部の低pH水路に導水することで、主ポンプを配する左岸部ピット以降のpHを低下させる案

表-2 他ダムの排水水質およびスケール対策実績

項目	札内川ダム	浦山ダム	日吉ダム
事業主体/所在地	北海道開発局/北海道	水資源機構/埼玉県	水資源機構/京都府
ダム高	114.0m	156.0m	35.5m
pH	11.3	10.2	10.2
カルシウム (mg/L)	33	14	10.6
スケール対策	—	排水管に電磁界発生装置を設置	排水管内部を適宜清掃（高圧水洗浄、配管内研磨）

札内川ダムの水質は平成19年9月調査時、他ダムは参考文献 2, 3)による

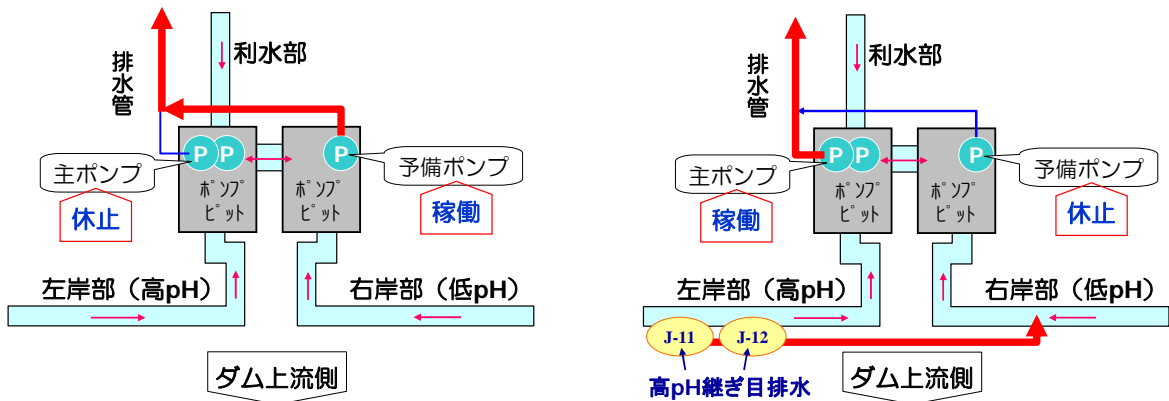


図-7 化学的コントロールによるスケール抑制

左：1案（主ポンプと予備ポンプの入替え），右：2案（左岸部の高pH継ぎ目排水を右岸部に導水）

実験概要：

左岸部でpHが高く排水量も多いJ-11とJ-12の排水を、右岸部のポンプピット上流地点に導水し、ポンプピットのpH変化を調べた（図-7右）。

実験結果：

左右岸ポンプピットともにpH 10.6～10.7となり、現状の11.0～11.5程度（左岸部）から全般的にpHが低下することを確認した。

7-2 物理化学的コントロール

物理化学的コントロールは、比較的多くの装置・機械が開発されて、各現場の適性に応じて使用されているが、検討の結果、排水の水質に応じて固有の電磁波を設定可能な「電磁化水発生装置」を試験的に導入した（写真-3）。当装置では、電磁波により活性化した流水中の物質がスケールに衝突した際に、電子を奪い取ることでスケールを可溶化し、下流に排出するとのメカニズムが提案されている（図-8）。スケール対策の1案として電磁化水発生装置を試験導入し、排水管内のスケール付着進行状況を調べる現地実験を行った。

行状況を調べる現地実験を行った。

実験概要：

電磁化水発生装置を、平成19年10月末に現場排水管中流部の下流約4.5 mの位置に設置し、約2ヶ月間排水管内のスケール付着進行状況を調べた。排水管内状況のモニタリングは、上流・中流・下流の3地点とし、1回/月程度の頻度で排水管を取外してスケール厚さを計測した（図-9）。

実験結果：

以下のことが判明した。

- ・ 本装置の上流約37m地点（上流部）は、装置設置後も微増傾向にあった。
- ・ 本装置の上流約4.5m地点（中流部）は、変動があるものの明瞭な増加傾向を示さなかった。
- ・ 本装置の下流約20m地点（下流部）ではスケール付着の増加傾向が抑制される傾向にあった。

以上の結果から、排水の水質及び排水量はモニタリング期間内で若干変動しているものの、対策装置の上流側



写真-3 電磁化水発生装置設置状況

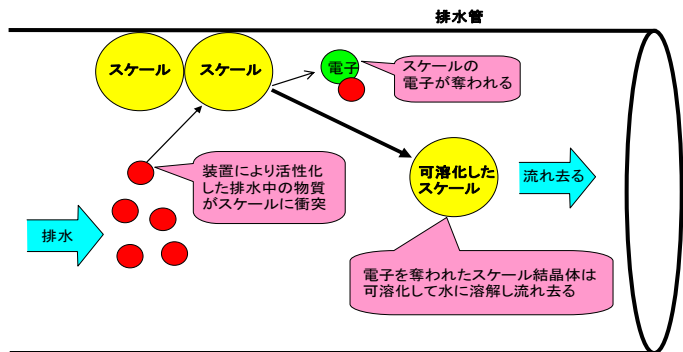


図-8 電磁化水発生装置による水質コントロールの概念（装置メーカーにより提案されているメカニズム）

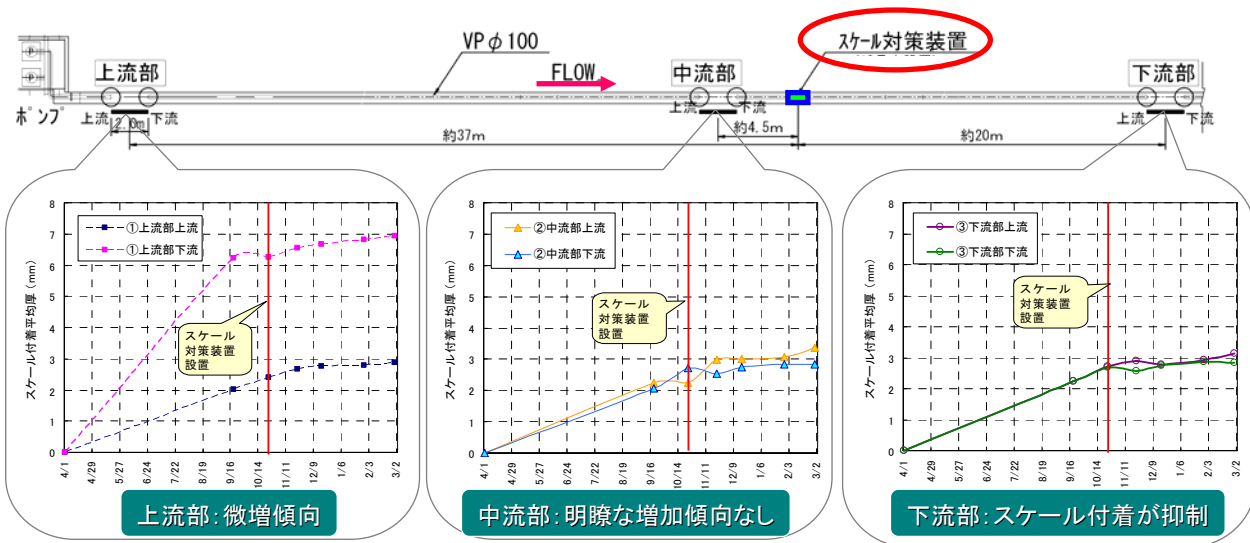


図-9 スケール対策装置（電磁化水発生装置）設置前後の排水管内スケール付着状況

と下流側とでスケール付着傾向が異なることから、電磁化水発生装置によるスケール付着抑制効果はあると考えられる。

8. まとめ

- スケールの主成分は炭酸カルシウムであり、カルシウム濃度が高いことに加え、pHが高い点で他ダムとは異なり、このために付着成長速度が大きいことが分かった。
- 高カルシウムかつ高pH負荷源は左岸部で、特に継目排水部（J-12）と判明した。
- 排水配管内のスケール堆積状況と成分分析結果等から、平成15年の十勝沖地震をきっかけに排水の水質がスケールを生成しやすい水質に変化したことが示唆された。
- スケールの発生は、pHをおおよそ10以下にすれば抑制できることが分かった。
- 下流河川の水質に悪影響を与えない対策について鋭意検討し、ポンプピットのpHを低減させるような排水・集水方法や、電磁波によりスケールを溶解させる手法が有望案として考えられた。

9. あとがき

以上のように本研究によって、一般的なダムとは異なり極めてスケールが発生しやすい漏水水質に起因する札内川ダムのスケール問題を詳細に検討し、その発生・付着の原因とメカニズムを究明することができた。次いでこの知見を基に水質コントロールによる対策を検討し、ダム下流で取水している上水や清流札内川の水質に配慮し、一般に有効な手法とされる薬剤を用いる手法によることなく、スケール対策の有効な手法を検討し、一定の成果を見いだすことが出来た。

今後は対策の有効性を検証すべく、継続した監視調査を行うと共に、本報では触れなかったが調査・検討で得られた知見から発案された設備の運用・改良対策案についても適性を検証・評価し、多面的なスケール対策を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 改訂地下水ハンドブック編集委員会編：改訂地下水ハンドブック、平成10年株式会社建設産業調査会
- 2) 岡崎亮太、杉尾俊治、梶並康章：排水設備排水管内の遊離石灰除去について、平成13年度水資源開発公団技術研究発表会資料集
- 3) 藤田亭、後藤浩一、小林大輔：堤内排水設備における付着物発生とその対策について、平成11年度水資源開発公団（関西管内）技術研究発表会資料集