

# 石灰投入量試験と水位予測システムについて

勝山 翔太

関東地方整備局 品木ダム水質管理所 管理係 (〒377-1711 群馬県吾妻郡草津町大字草津604-1)

当管理所では、酸性河川の中和という世界的に見ても特殊な事業を55年間継続して実施しており、常時中和のために石灰を3河川に投入し続けている。そのような中で近年課題となっているのが「中和生成物の堆積」と「出水時のダム操作」である。中和による副産物の中和生成物によりダム湖堆積の9割を占めている状態であるが、今回行った試験によって石灰投入量の削減により中和生成物の堆積量を減らすことが期待できる。また品木ダムにおいて降雨から放流までの時間が短く出水時の体制確保に苦勞しているが気象情報提供会社からの予想雨量から、今後の貯水池水位を予測し迅速に洪水対応体制準備を可能とする手法について報告する。

キーワード 中和事業, 石灰, 中和生成物, 水位予測

## 1. はじめに

### (1) 事業内容

日本屈指の温泉地である群馬県草津町に位置する当管理所では、同町を流れる「湯川」「大沢川」「谷沢川」の3河川を管理している。これら3河川はいずれもpH1~3程度の強酸性河川である。

この酸性下の河川では生物が生息するには過酷であり、かつて酸性であった吾妻川は酸害によりコンクリートが溶けたり生物が住めなくなったりと「死の川」と地元住民から呼ばれていた。

このような状況を解決するために当管理所では1964年から365日24時間石灰を投入し酸性河川の中和を行い続けている。

### (2) 中和事業の石灰投入量

長年の中和事業の実施により、石灰を投入しても全ての石灰が反応している訳でないことが分かっている。実際に投入口直下の河床に堆積している（河床が石灰で白くなっている）ことが確認されている。

現状の石灰投入量の決定方法については過去からの実績により大沢川、谷沢川では水位によって、湯川はpH4.18になるよう数値設定して投入している。

今回試験を行うことになった背景には、3河川の河川延長にある。投入口からダム湖までの距離は湯川が約3km、大沢川が約6km、谷沢川が約5kmとなっている。湯川は流量が多いため1日50~60tの石灰を投入している

が河川延長が短いため、あまり流下に伴う混合が進まず河床に未反応石灰が堆積しているのが確認されている。反対に大沢川、谷沢川は流量が少ないため1日10t程度の石灰を投入しているが河川延長が長いとよく混合され、未反応石灰は見られない。そのため現状以上に未反応石灰を生じることなく投入を増やすことができると考えられ、これにより湯川の投入量を減らすことも可能であると想定される。また、中和による中和生成物等の堆積についても削減され、より効率的に中和事業が進められることを期待している。

### (3) ダム湖堆積状況

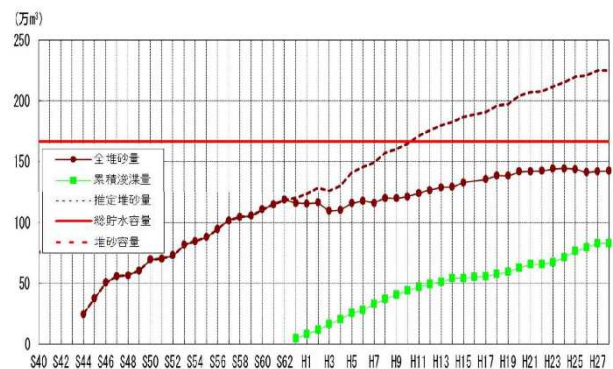


図-1 年度ごとの堆積状況

ダム湖の浚渫作業は1989年から行われており、以来毎年行われている（図-1）。浚渫による成果は出ているがそれでも堆積量が浚渫量を上回っており堆積量は増加傾向

向にある。この原因の主な理由が中和生成物及び未反応石灰である。中和生成物とは中和の過程で発生した硫酸カルシウム（石膏の主成分）等の成分のことでありダム湖堆積物の約90%はこの中和生成物によるものである。このうちの約20%が未反応石灰になっている。

#### (4) 出水時のダム操作と体制の確保

品木ダムは流域が30km<sup>2</sup>と小さく急峻であることから降雨による流出が速く、ダム貯水池の水位が急激に上昇する。また、常にダムの常時満水位から-2mの範囲で、発電用の取水を行っていることから、降雨による早急なダム操作が必要となることがある。そのため、降雨の予測値をもとに夜間休日の的確な体制の準備が求められる。

## 2. 石灰投入量試験

石灰投入試験は1月25日より第1段階及び第2段階に分けて実施した。以下が本試験の計画である。

### (1) 試験の目的

石灰投入量削減を目的として効率的な中和事業を実施するため河川延長の長い大沢川、谷沢川の石灰投入量を増やし、未反応石灰が残りやすい湯川の石灰投入量を減らすことで石灰の投入量減量の可能性を検討する。

### (2) 試験内容

#### a) 第1段階

谷沢川及び大沢川の中和飽和量（石灰を更に投入しても中和反応が生じなくなる最大投入量）の量の確認をする。石灰投入量を10kg/hずつ増量を行い谷沢川、大沢川が飽和状態になりpH値が安定したことを確認した後、次の増量を行う。

#### b) 第2段階

谷沢川及び大沢川の中和飽和量を調査後、両河川の飽和量を保ったまま、湯川投入量を減量したときのダムpH値への影響を調査する。

#### c) 試験に当たっての判定方法

この試験では安定等の判定を次のように定めた。

- ・ pH値が安定した場合  
3日程度の日平均pH値がほぼ一定になった状態または、数値変動量が少ない安定した状態を維持する期間が3日程度維持される状態。
- ・ 河川が飽和状態に達した場合  
石灰投入量を増量しても、当該河川pH値が上昇しなくなった期間が3日程度継続した状態。

### (3) 第1段階試験経過

試験は数値計測を伴うため各増量のタイミングは0時から日単位で行うものとした。以下河川ごとに説明する。

表-1 第1段階試験結果(日平均pH)

回数	谷沢川				大沢川				ダム	
	増量前 石灰投入量	増量後 pH	増量前 石灰投入量	増量後 pH	増量前 石灰投入量	増量後 pH	増量前 石灰投入量	増量後 pH	増量前 pH	増量後 pH
1回目	55kg	5.18	65kg	5.57	225kg	5.21	235kg	5.61	5.27	5.53
2回目	65kg	5.56	75kg	6.04	235kg	5.50	245kg	5.89	5.36	5.42
3回目	75kg	6.12	85kg	7.11	245kg	6.12	-	6.78	5.44	5.50
4回目	85kg	7.10	95kg	7.70	-	6.83	-	7.05	5.49	5.58
5回目	95kg	7.10	105kg	7.78	-	6.83	-	7.02	5.49	5.27
6回目	105kg	7.78	115kg	7.78	-	7.02	-	7.28	5.28	5.37

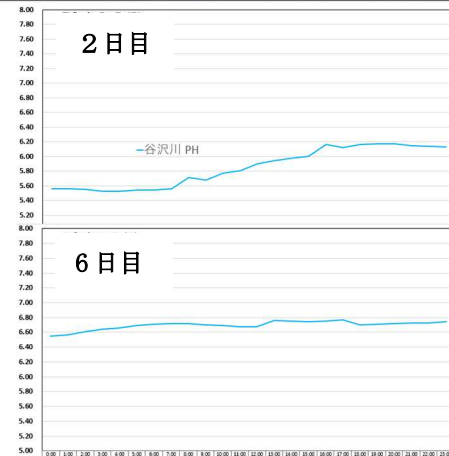


図-2 試験中のPHの変化(谷沢川)

#### a) 谷沢川

まず、谷沢川の1回目の増量でダム湖までのpH変動に7時間かかることが分かった。1回目の増量では中和飽和量には達しなかった。

2回目の増量では8時間程でpH変動が始まり1回目と同じ程度の反応時間だった。徐々に変動が小さくなり6日経過したところでほぼ一定な線になった。pHは6.6~6.7程度であった(図-2)。

3回目、4回目は2日程度で安定し同じ様なグラフの形を描いた。上昇幅が減少していることから飽和が近いと考えられた。

5回目においては安定状態で増量を行ったためしばらくは変動が確認されたが前回よりもpH値が高くなっており尚且つ上昇幅も小さくなった。

6回目の増量では反応による多少の変動はあったものの増量前の数値を保ち続けたため中和飽和量に達したと判断した(表-1 谷沢川)。

#### b) 大沢川

1回目の増量後7時間程度でpH変動が始まり、安定まで3日要した。これは谷沢川と同じ傾向である。

2回目増量後10時間でpH変動を確認した。これ以降安定傾向が確認できず増量操作を行っていないが6.5~7.2の間を上下変動を続けていた。

### (4) 第1段階考察

3回目以降谷沢川のみ増量になったが、ダムpHを引

き上げることが分かった。大沢川の増量は2回目以降行われていないが、2河川の増量によりダム pH を引き上げることが期待でき、湯川の未反応石灰分を効率的に中和できると考えられる。なお、今段階で大沢川で増量をしていないのに関わらず大沢川 pH が上昇し続けた原因の詳細は明らかでないが、気象要因（水温、流量）等が関係していると思われる。

(5) 第2段階試験経過

両河川の飽和量が判明したため次に2河川の飽和量を保ったまま湯川投入量を減量する試験を行った。

ただし試験は中和施設を実運用中であるため湯川投入量の変動によりダム pH5 から6 の規定範囲外にならないようすることと、第一段階で起きた気象要因でダム pH が大きく変動する可能性があるという2点に留意する必要があった。

試験は4月24日から行い、5月8日までの15日間行い、この期間を前年月平均値と比較した。

表-2 3河川合計投入量比較表

	合 計		
	前年平均	日投入量	差 分
4月24日	64.939	67.039	+2.100
4月25日	64.939	69.316	+4.377
4月26日	64.939	51.680	-13.259
4月27日	64.939	69.495	+4.556
4月28日	64.939	64.942	+0.003
4月29日	64.939	63.522	-1.417
4月30日	64.939	63.397	-1.542
5月1日	68.735	63.264	-5.471
5月2日	68.735	65.084	-3.651
5月3日	68.735	64.926	-3.809
5月4日	68.735	63.826	-4.909
5月5日	68.735	63.984	-4.751
5月6日	68.735	64.544	-4.191
5月7日	68.735	63.536	-5.199
5月8日	68.735	67.062	-1.673
合計	1004.453	965.617	-38.836

(6) 第2段階考察

各河川投入量を前年平均値と比較した結果、谷沢川は pH 値を高く保つために平常時よりも増加傾向になっていた。大沢川も pH 値を高く保っていたが過去平均値より減少していた。これは、例年よりも降雪量が少ないことや流量があまり多くなかったためと考える。そして湯川投入量は過去平均値と比べて大きく減少した。

結果として湯川投入量及び大沢川、谷沢川の合計投入量はこの試験期間だけでは前年4月比で4%の削減になっている。年間の平均投入量が約2,5000t であることから4%の削減で概算で1,000t の削減が見込めることになる。

(7) 今後について

今後は第二段階での操作を継続させ、長期間の試験運

用を行い効果を確認していきたいと考えている。

3. 水位予測システム

従来の品木ダム水質管理所における洪水予測はその時点での水位と雨量により行っている。草津雨量観測所、白根雨量観測所で観測された雨量を元に予測を立てているが、2018年1月の本白根山噴火により上流域を観測している白根雨量観測所で雨量を観測出来なくなったため、河川上流域の降雨量が不明のなか水位予測を行う必要が生じた。

(1) 概要

本研究は草津地点で予想される降雨量から品木ダムの予測水位を算出する方法を検討した。

本手法は品木ダム集水域が30 km<sup>2</sup>と狭く、降った雨が直ちに流出することから時間雨量毎の貯水池水位の変化量を統計的に整理し、求めた変化量を予測された雨量に当てはめ水位変化を予測し、放流操作が必要となる時刻の予測を行う。ここで変化量とは1時間ごとのダム水位の差のことである。

放流操作が必要な時刻から遡り、参集の適切な時間、放流通知や体制確立が必要となる時間の予測を行うことを可能とするものである。

(2) 降雨量と貯水位との関係

2018年4月～9月草津地点での雨量と品木ダム水位そして発電取水量のデータを用いて進めた。データは雨の降り始めから降り終わり前後数時間を1降雨として出水期の降雨時1012時間を使用した。

表-3 降雨量・ダム水位・発電放流量集計表 (抜粋)

日	時刻	降雨量mm	貯水量	水位	放流量	発電量	...
10	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
10	31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...
11	31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...

発電取水規模毎に降雨量と貯水池水位上昇量の関係を整理した。

その結果取水量0m<sup>3</sup>/sと0.5m<sup>3</sup>/sでは水位変化量が+値になり、3.2m<sup>3</sup>/sと4.3m<sup>3</sup>/sでは一値になった。その後各降雨量での水位変量の比較を行った結果以下のことが分かった。

- ・降雨量が多いほど、水位変量値は大きくなる。
- ・降雨量7mm/hで取水量3.2, 4.3 m<sup>3</sup>/sの水位変量



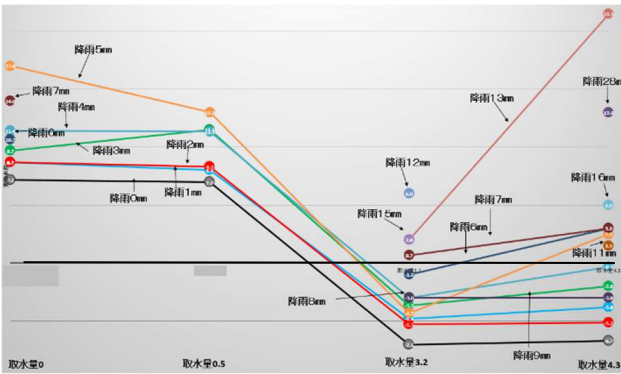


図-3 降雨量と取水量の関係のグラフ

は+になる。(図-3)

このことから、降雨量が7mm/hを超えた時点で発電取水を行ってもダム水位が上昇するということが分かり、ゲート操作が必要となる要因となることが分かった。また変化量値も比例するように大きくなる。

### (3) 降雨量から貯水位の予測の検討1

次に、取水量別(0m<sup>3</sup>/s, 0.5 m<sup>3</sup>/s, 3.2 m<sup>3</sup>/s, 4.3 m<sup>3</sup>/s)に降雨量ごとの水位変化量から降雨量1mm/hあたりの水位変量係数 $\alpha$ を算出した(図-4)。

降雨量を7mmで切り7mm以下を $\alpha_1$ 、8mm以上を $\alpha_2$ として算出した。



図-4 降雨量毎の水位変化量と水位変量係数(4.3 m<sup>3</sup>/s)

ここで、各取水時の水位変化量の平均をYとした。このYは、各取水量による水位変化量のため、どの降雨量であっても不変で降雨量に影響されない水位変化量であると考えられ、水位予測計算において、固定の数値と考えた。

表-4 取水時の水位変量(Y)

発電取水量	水位変化量
0.0m <sup>3</sup> /s	0.07m
0.5 m <sup>3</sup> /s	0.07 m
3.2 m <sup>3</sup> /s	-0.07 m
4.3 m <sup>3</sup> /s	-0.07 m

以上の結果品木ダムの水位予測式は以下のとお

りとなる。

$$A' = A + X + Y \quad (1)$$

$A'$  : 予測水位

$A$  : 現在の品木ダム水位

$X$  :  $\alpha_1 \times \beta$

$\alpha_1$  : 1mm/h当たりのダム水位変量係数

$\beta$  : 時間降雨量

ただし  $7 \leq \beta$

$Y$  : 発電取水量の水位変化量値

$$A' = A + 7 \times \alpha_1 + (\beta - 7) \times \alpha_2 + Y \quad (2)$$

ただし  $\beta > 7$

$\alpha_1$  : 1mm/h当たりのダム水位変量係数 0.0139

$\alpha_2$  : 取水量4.3m<sup>3</sup>/sのダム水位変量係数 0.0308

この式は予想時間降雨量が7mmを超える場合に使用することとするので、したがって $\beta$ には8以上の数字が入ることになる。

実際に昨年発生した台風24号を(2)式を用いて検証してみた(図-5)。

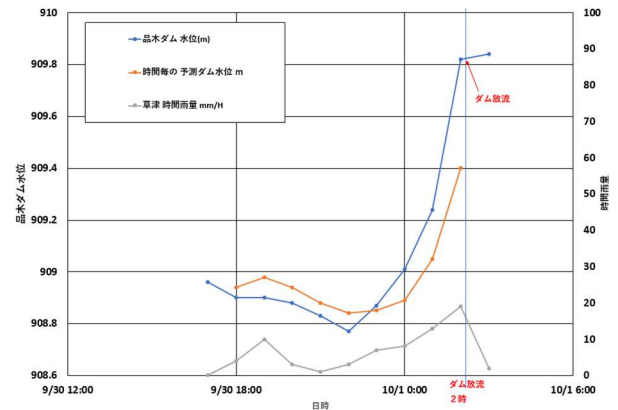


図-5 (2)式による予測値と実測値のグラフ

今回行った結果では、放流の3時間前から予測水位が危険側に生じてしまい、実際の放流時には42cm実水位より低くなってしまいう結果となった。終盤の降雨量がうまく式に反映されないものであった。

### (4) 降雨量から貯水位の予測の検討2

降雨量5mm以上のデータが少ないということもあり過去20年間のデータを用いて(3)と同様の整理を行い $\alpha$ を再び求めた。

水位変化量に水位増加量を加算する方法で行った。取水量4.3 m<sup>3</sup>/sのときの降雨量5mmの水位変化量は8.3cmになり以下同じ様に各降雨量の水位変化量を求めた。そこで算出した水位変化量のうち安全側になるよう傾きが最大になる点を結び、この傾きからの上昇量を求めた。この水位変量係数は4.4cmとなりこれを新たに $\alpha$ として算出し(図-6)、(2)式の $\alpha_2$ に入れた。

そして再度台風24号の計算を行った. その結果水位予測がある程度実水位に似た予測になり危険側に傾くようなことも見られなかった. また、放流時では最大で2cm、1時間前で8cmの誤差となり精度の向上が図れた(図-7).

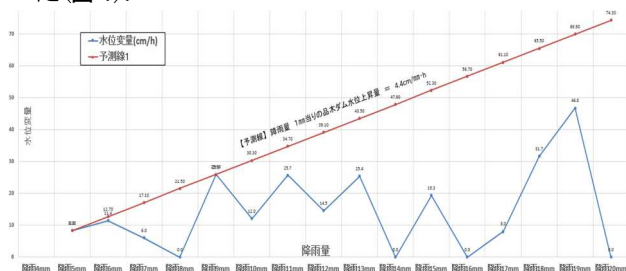


図-6 新たに算出した上昇量(α)

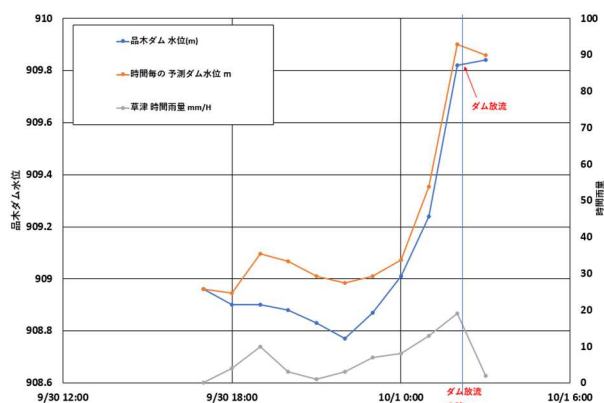


図-7 再設定後の予測値と実測値のグラフ

## (5) 課題

水位予測全体の課題として、検証での初期の降雨では精度が高い結果が得られていたが、時間経過ごとに予測計算回数が増えることから大きな誤差が生じてしまう。

この点については、予測雨量データの更新に合わせ、水位予測を頻繁に行うことが必要である。

## 4. まとめ

### (1) 石灰投入量試験

今回の試験により石灰の投入量の削減に期待が持てるものとなった. 年間を通しての総削減量は今のところ明確に言える段階ではないが第2段階試験期間で前年4月比で4%削減できていることから、前年同月比で同等程度の削減の可能性がある. また大沢川、谷沢川の未反応石灰の有無はダム湖合流部付近で確認されていないことから効率的に中和が行われていると考えられ、ダム湖に未反応石灰の堆積が減少することも期待でき、今後引き続き試験を実施し、効果量を把握していきたい。

### (2) 水位予測システム

水位予測式の導出により放流開始までのおおよその時間が分かるようになったことで職員の参集や放流対応をより適切に行うことができると考えられる. 今後は(1)式(2)式を活用しつつ、水位予測システムの精度向上につとめていきたい。