

ダムゲートの凍結防止について (中間報告)

正員 釜野進道*

1. まえがき

厳寒期においてもダムゲートの凍結防止をはかり、いかなる時でもゲート操作ができる状態にしておくことはダム管理上必須の条件である。

しかし、従来各所でいろいろの対策を構じてはいたが充分の効果と経済性を具備した解決策がなかったので、当社では数年前から自然条件の下で実用開発を主眼とする現場実験を重ねてきた結果、各種の方法の中からエアブロー方式がもっとも有効適切であると判断されたので、その成果について中間報告をするとともに今後の実験計画の概要を述べる。

2. 実験経過と目標

冬期間ダムゲートが凍結することによって

- (1) 余水放流の機能を喪失する。
- (2) 氷圧および水位変動による「氷のきしり圧力」が堤体およびゲートにおよぼす影響。

等その結果はダムの管理上致命的な欠陥となり、そこで過去数次に亘ってその検討を進めてきた。

すなわちゲートに関する凍結防止対策についての考案工夫等の検討ならびに処置については古くから実績の積み重ねがあるが、しかし目的機能が異なるすべてのゲートに共通して実効をあげうる対策設備は不可能である。

そこで特に事故時の波及危害が大きいと考えられる高ダ

ムのクレストゲートに目的をしばって集中的に実験検討をしてきた。

- (1) S42年12月～S43年3月の予備調査期間

経済価値を2次的なものとして、まず実用効果の可能性がある8ケースについて実施した。

- (2) S43年12月～S44年3月は予備調査の中で最も有効な方法について、その不凍要因を調べた。(水中エアブロー方式)

- (3) S44年12月～S45年3月

不凍要因を基礎として実用効果に仕上がる経済限界を実験研究する。

3. 水中エアブロー方式の不凍要因

ダムによる調整池内の水温を構成する支配的な要素は、

- (1) 大気冷却、(2) 地熱、(3) 調整池の流入流出による水温の交換、であり大気冷却は池内表層の結氷発達を支配し、地熱は池内水の加熱源である。

中小規模の調整池において水温構成を最も支配するものは3要素のうち流入による水温の交換と考える。

そこで各要素の相互作用の結果(縦断方向温度分布)をUダム調整池で測定し図-2の結果を得た。

測定の方法はカールソン型温度計を1m間隔に10個を専用コードで切替スイッチボックスに接続してCM-100H指示計で測定した。

なお受感部の応答には充分なインターバル(金属材料で

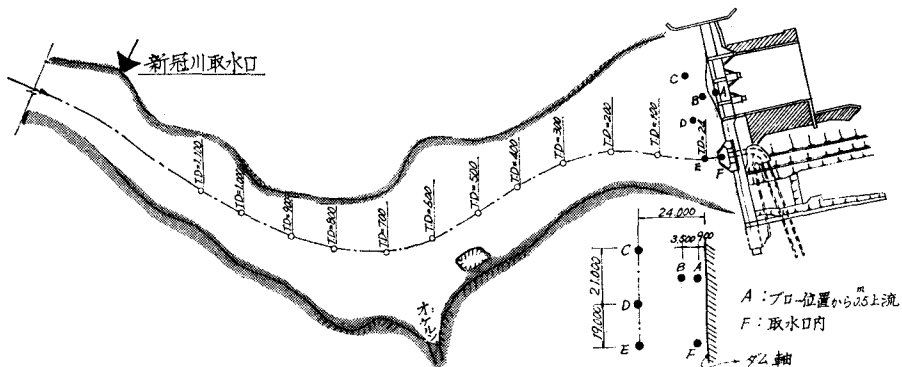


図-1 測定位置概略図

* 北海道電力(株)土木部 水路課

11 ダム内水温等温線図

取水口内水温垂直分布図

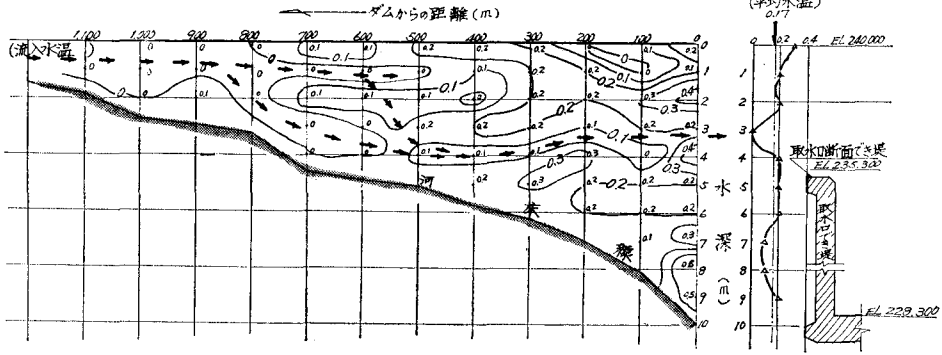


図-2 Uダム内水温等温線図

あるため温度慣性が大きく応答に安全を見込み5分程度を要す)をとった。

この測定点は不足であるが池内温度機構の概要として測定した。

この池内等温線図の結果から流出入水温の交換機構を推定して。

- (1) 流入水温は0度である。
- (2) 流出水温は池内を通過して0.2°C程度上昇する。
- (3) ダムから900 m 付近は表層をとおり 900 m~500 m 区間熱交換があり軌跡のみだれがある、また 500 m 以下は中層をとる軌跡が明らかである。
- (4) ダム近傍の垂直温度分布のみだれが大きい。
- (5) 取水の影響を受けるための水温分布のみだれではな

かるうか。

(6) 取水口内垂直温度分布は平均化され、直上流の水深3 m 付近の水塊取水が推測できる。

(7) ダムから 800 m 付近までは上, 中, 下層に無関係に流入水温に支配される。

(8) また 800 m 付近以下の区間は中層を支配的にしている。これは図-2の取水口敷高によって決定されると考える。

以上が、小規模調整池における池内温度機構の概要である。

次にダムクレストゲート前面に取り付けた水中エアーブロー効果について実測検討した。図-3はブローをしていない時の図-1 A 定点における垂直温度分布であるまた図-4

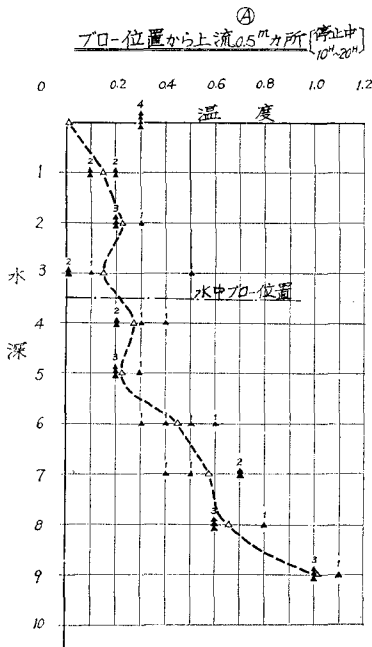


図-3

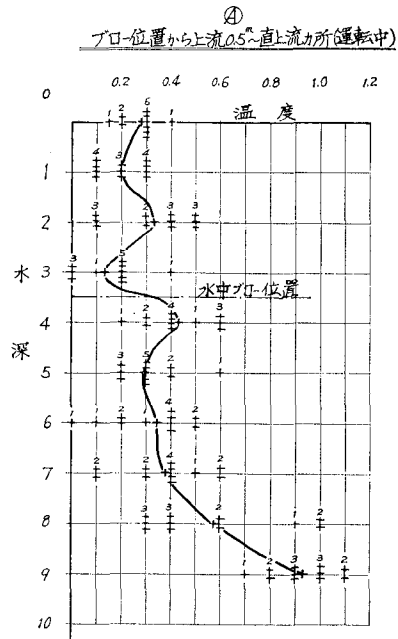


図-4

は同じ測定点におけるブロー中でしかも温度の分布が平衡したと考えられる時点の垂直温度分布図である。

この図-3および図-4の比較から

- (1) 一定点におけるブロー中および停止後の間には垂直温度分布に大きな変化はない。
- (2) しかし表面ではブロー後確実に $+0.3^{\circ}\text{C}$ 弱の水温上昇が起る。このことは不凍領域を得ようとする本実用開発の目的がかなう。

また、なぜこの現象が起ったかを究明することが本方式の不凍要因を決定することになる。一方この表面の不凍化を計れる水温上昇をいつでもどんな条件下にも、人為的に再現できるなら、求極の目的を達することになる、そこでこの表面水温上昇の機構を明らかにするため図-5に実測結果を整理して（ここで図-5は図-5A 定点のブロー中および停止後と図-1B 定点ブロー中における垂直温度分布の複合図である）。

- (1) ブロー中と停止の間で上層はブロー開始と同時に上昇し、下層は下降し始めやがて図-4の分布に平衡する、U調整池についてはその反曲点が5.5m付近に存在する。
- (2) U調整池についてこの反反曲点より上層の平衡の平均温度上昇は 0.1°C 、また同じく下層の平均下降温度は $+0.05^{\circ}\text{C}$ であった。これらは微少な変化ではあるが不凍化の立場から充分実用価値と評価できる。
- (3) また反曲点を境とする上昇下降の各領域の面積比は $0.86:1$ である、すなわちエアブローによる入熱はない。
- (4) 水深3m付近の温度分布のみだれは前述の池内流入水温機構に関連して取水の影響によるものと考える。

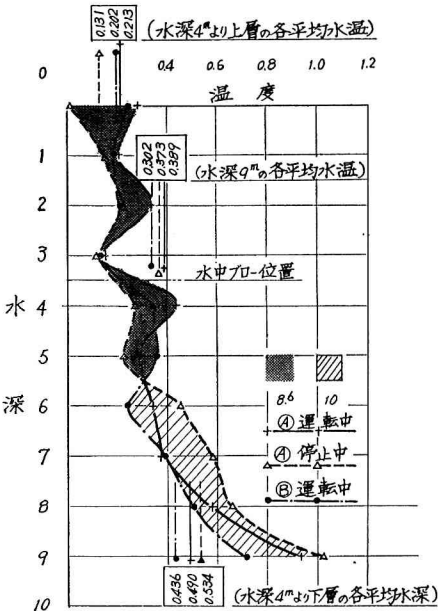


図-5

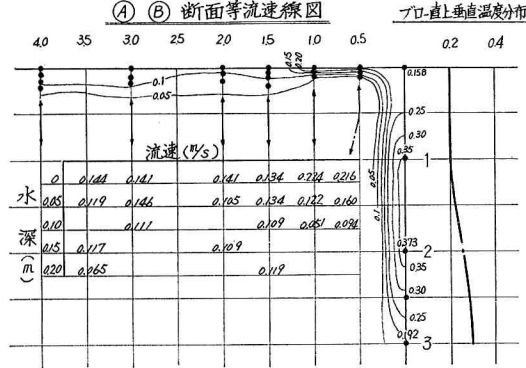


図-6

以上非常に小さな現象の変化ではあるがなぜブローによってこの変化を生ずるのかを考察するため、「水中エアブローによって誘発される強制対流による熱交換効果」と要因を仮定して次の検討をした。

- (1) ブロー直上の平均流速は 0.268 m/s である。またブロー位置から 0.5 m は急に減少する。
- (2) ブロー直上の垂直温度分布は図-3および図-4のようならばつきがなくなる。
- (3) 表面の水平方向流速は、 1.5 m の距離まで平均 0.2 m/s の流速がありこの流速は減速しながらも、開水面の末端まで続く、また表面下の水深 0.2 m 以下では急に微流速となる。

以上不凍要因と考える強制対流の検討を行なったが、実験の規模が小さくこの結果を、結論とすることはできないがエアバブルの浮上によって起る水の運動がさらに密度流を助長し、対流を誘起するであろうことは想像にむづかしくない。

しかしわれわれは、実用開発を主眼とするのでこの結論のための追実験は別の期会に実施しようと考えている。

4. 中間報告のまとめ

過去の経験と実験をとおして

- (1) 水中エアブロー方式は最も経済的である。
- (2) 水中エアブローを行なうことによって、ダムゲ

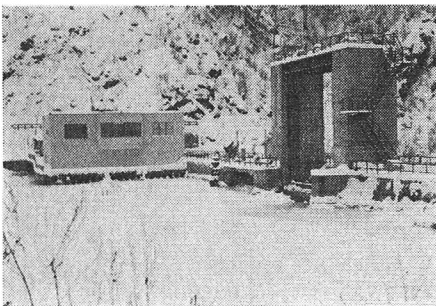


写真-1

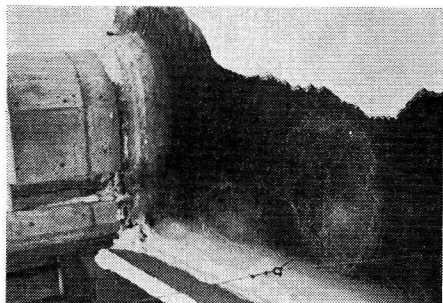


写真-2

ト前面調整池の表層水温を、確実に不凍水温まで上昇させることができる。

(3) この不凍要因は強制対流効果と推定される。

(4) その効果は充分実用価置として評価し得る。

(5) これまでのブロー実験は、ゲートの単位面積当りの出力が $90 \text{ W/m}^2 \sim 70 \text{ W/m}^2$ の過大設備による実験結果である。従って今後の課題として実用効果に「仕上げる」に要する最少出力の決定をしなければならない。

(6) 恒久設備としての実用化に関する機構の検討。

(7) 設備としての効率を向上させるための細部検討（ブローの適正な位置の決定、ブローホールの径および間隔寸法の決定）

(8) 他最も有効な運転方法の検討（連続運転と間欠運転の優劣）

この8項目を中間報告の要点としてあげられ、この装置を恒久設備として実用化するまでには、少なくとも(5)項以下の4項目について解決、または検討を要する。

5. 実用化のための実験計画

5.1 実験の目的

目的-① シーズンを通してゲートの開閉が可能な状態を確保できる、コンプレッサーの最小出力を決定すること。

目的-② 連続運転と間欠運転の優劣を決定すること。

目的-③ 最適施設の決定（ブローの方法、ブローの位置、ブローホールの径と間隔他）

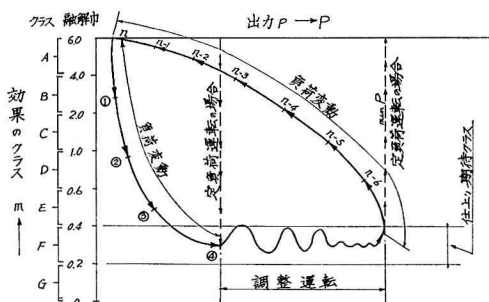


図-7

5.2 M ダムゲートの実験モデル

分類した各クラスをY軸にとり、出力PをX軸にとって次の運転を行なえば図-7のモデルが想定できる。

(1) 全門一定出力 (or 風量) の運転を開始する。

(2) 外気の平均気温が低下していくと、その効果も $A \rightarrow B \rightarrow C$ と各クラスに逡減していくであろう。

(3) ところが予定の実用効果を超過する場合は出力増によってレベルアップする（設置出力を上廻る時は故意に何門かのブローを中止して出力増とその効果を上げる）

(4) また実用効果と考える F クラスに対して過じよう設備であるために到達しない時は条件-(2) のバルブから大気放出して出力減を計る。

(5) F クラスに効果を維持するよう、調整運転（出力の増減）を続ける。

(6) シーズンを通して最も過酷な気象条件をFクラスで通過した出力を決定出力とする。

(7) 融解時も凍結と同じ出力の増減を行ない、Aクラスに到達させるものとする。

(8) またクラスに到達したインターバルも実測記入し履歴を明確にすること。

(9) 外気、風量の経時効果を判断する資料とする。

補助実験

外気温1点、水温の垂直分布点を連続多点記録計で記録しバックアップの資料を収しゅうする。

5.3 T ダムゲートの実験モデル

冒頭の目的-(2) および (3) を実験するものである。

すなわちコンプレッサーを間欠運転する。

自動起動停止を水温又は氷厚とし現象による自動運転とする。

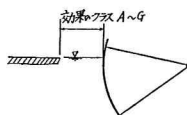
このことによって

① 連続運転と間欠運転の優劣。

② 間欠運転休止時間を $t=0$ となるよう、風量調整を行ない $\min P$ を求める。

③ 他の1門は風量一定運転とし、②とのデーター比較によって目的-(2)の優劣を決定する。

④ ブロー方法改良案の実験。



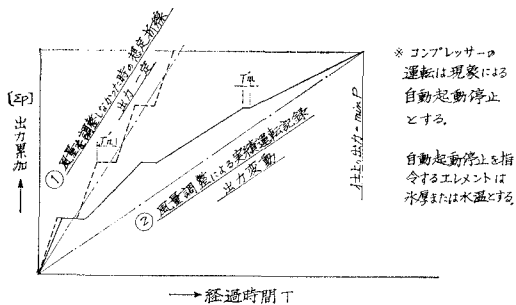


図-8

実験設備の条件

条件-(1) No. 1 ゲート→現象による自動起動停止ができる装置とし間欠運転休止時間を $t=0$ となるよう風量調整が行なえること。

(主管から分岐する枝管に風量調整バルブと風量計をつける)

条件-(2) No. 3 ゲート→現象による自動起動停止とし風量一定運転とする。

条件-(3) No. 2 ゲート→ブローパイプは垂直 1 本とし、1 つのブローホールから排出する風量と融解するダイアとの相関を調べる。(風量測定可)

実験の方法

* (1) 運転休止時には、次の起動との間で「ある氷厚」の結氷発達を許容すること。(3 cm 程度)

* (2) 風量と出力の間に 1:1 の対応があるものとする。

図-8 について

Y 軸を出力の累加 ΣP , X 軸を実験後の経過時間 T とすると次の運転をすることによって、図-8 のモデルが想定できる。

(1) No. 1, No. 2, No. 3 の各ゲート共現象による自動運転を開始する。

(2) No. 3 ゲートはシーズンを通して風量一定の自動運転を行なう。

(3) No. 1 ゲートはコンプレッサーの休止時間 $T_m=0$ となるように風量調整を行なう。

(4) 次に最も過酷な条件を $T_m=0$ で通過した出力はシーズンを通し連続運転を実施した場合の期待効果を仕上げ得る最小出力である。

(5) No. 3 ゲートの運転記録からシーズン中の積算電力を算定 or 測定する。

(6) No. 1 ゲートは風量調整分を出力に換算し、(5) 項の積算から控除する。

(7) 自動運転の妥当性 (実験中いつでもゲートを開け得るか) を視覚判断する。

(8) その記録を残すため写真を撮ること。

(9) (5)~(8) 項の総合判断で、連続と間欠の優劣を決定する。

(10) ブローホールの適正な間隔を調べるために 1 個の独立なブローホールの仕上りを測定する。

(11) 空気量:融解池のダイア:バランスした時の平均外気温。

(12) また、ブローホールの位置を変えて、(11) との相関を調べる (これは他のカ所でも可)。

予備実験-(1) 自動起動停止の検出装置を開発すること。動作のたしかさを低温室実験する。

予備実験-(2) 間欠運転をレコーダーに打点させる、変換装置の開発。

予備実験-(3) 過去の実験から、ブローによって融解池ができることはエアーの噴出による強制対流と密度流の助長によると考えられる。従ってこの追実験を行なうため垂直温度分布を測定する、この適正な測定カ所を求めるため事前に温度分布を実測する。

補助実験-(1) 12 点多点自動記録計で次の要素をレコーダーする。(1) 外気温, (2) 間欠運転, (3) 水温。

以上が M ダムおよび T ダムに於ける実験計画の骨子である、ところが、この実験の中で

検 定-(1) 厳寒期のピークと考えられる時点でこの装置が予定の目的を達成したかを検定しておく必要がある。すなわち、その時点で放流テストをしたい。

問題点-(1) T ダムに於ては、融解池に「ある氷厚」の結氷発達を許すことによって、対 M ダムで得る最小出力との間に差を生ずるはずである。その差が出力減にどれだけ貢献したか、また実用価値として認められるかを確認しなければならない。

問題点-(2) またこの実験を通して、平均外気温:仕上り効果:出力の相関をできるだけ明確にできないか。

また、この外、この実験に全く無関係に保守運用の点から最も使い易い設備の位置、方法等を検討しておく必要がある。

6. あとがき

ダムの安全管理の一貫として欠陥となる可能性を持っている結氷対策について、解決のための実験経過を未完であるが中間報告し、あわせて今後の目標と手段について述べました。

ご批判をいただけるなら幸いに思います。