

北海道開発局豊平峡ダム自動監視制御装置

Automatic Dam-Gate Control System Installed at Hoheikyo Dam

Hoheikyo Dam is a multi-purpose dam located in the Shikotsu-Toya National Park. It is planned for such purposes as riparian conservancy, flood control, power generation and contribution to the scenery of the park. The automatic control system installed at this dam is intended for the following purposes, besides fulfilling such basic control functions as constant water level control, scheduled discharging, preceding discharging and flood control.

- 1. Discharging as a sight-seeing attraction.
- 2. Safety management for dam banks.
- 3. Prediction of inflow due to rain.
- 4. Ensuring of operators' priority in the control system operation.

小野寺 傑 * Takeshi Onodera
松本 善信 * Yoshinobu Matsumoto

1 緒 言

近年の著しい産業発展により、水資源の開発としてダムの建設が盛んである。特に治水と利水を目的とする多目的ダムにおいては、ダムからの放流に際していろいろな制約があり、このため計算機を利用したダム自動制御装置が導入されるすう勢にある。

豊平峡ダムは北海道開発局が札幌市の上工水水源、豊平川の洪(こう)水調節用、発電用、観光放流用を目的として、札幌市定山溪の豊平川上流に建設したもので、北海道では初めて自動制御装置を導入した多目的ダムである。

ダム自動制御装置は昭和47年12月に納入され、融雪期の5月から本格的な運用を開始したので、ここにその概要を述べる。

2 ダム諸元

豊平峡ダムは最大確立洪水180m³/s(100年確立洪水820m³/s)の流量を40m³/sカットし、140m³/s以下に放流する洪水調節と日最大683,000m³の上工水を札幌市へ給水するかたわら、50,000kWの発電およびわが国で初めて観光を目的とした放流を行なうきわめてユニークなダムである。表1は、ダムの放流施設、発電所のおもな諸元を示すものである。また図1は、ダム水位容量配分図である。7～9月の台風期には20,200×10³m³の貯水余力を取るよう水位を標高(以下、ELと略す)458.9mに保ち、6月および10月はEL469.2m、それ以外の時期は満水位のEL475.0mを確保水位として運用される。

3 自動制御装置の構成

図2は、豊平峡ダム運用管理システムの概念を示すものである。図中の1点鎖線内が制御用計算機HIDIC100を中心とした自動制御装置(DAMRIC-B形)でダム水位、バルブ、ゲート開度、機側盤および発電所出力など直接ダムの運用に必要な情報がオンラインで入力されるほか、ダム上流地点の水位、雨量が無線テレメータと直結して入力されさらに気象観測装置よりの気象情報、埋設計器よりの信号がいずれもオンライン(埋設計器のカールソン形計器の情報のみはオフライ

ンでテープ入力)で入力され、リアルタイムで演算、制御、データ処理、表示などを行ない、一元的に管理されている。

図3は自動制御装置の一部であるグラフィック盤および操作デスクを示すものである。装置のおもな構成は次のとおりである。

表1 ダム施設諸元 ダムの能力、性格および放流設備の仕様をまとめたもので、これで大略のダム仕様がわかる。

Table 1 Basic Specification of Dam

区 分	摘 要	諸 元
1. ダム諸元	形 式, 寸 法 (m)	アーチ式高さ 102.5×長さ305
	総 貯 水 量 (m ³)	47,100,000
	湛(たん)水面積 (m ²)	満水位(EL 475.00m) 1,490×10 ³
	流 入 量 (m ³ /s)	平 常 10 最大確立洪水 180 100年確立洪水 820
	放 流 量 (m ³ /s)	無害放流量 60 最大放流量 140
2. ゲート、バルブ諸元	(1) クレストゲート(制御対象外) 門 数 最大放流能力(m ³ /s/門)	5 193
	(2) 常用放流バルブ 門 数 最大放流能力(m ³ /s/門)	2 (ホロー ジェット) 80
	(3) 観光放流バルブ 門 数 最大放流能力 (m ³ /s)	1 (ホロー ジェット) 4
3. 発電所元	使 用 水 量 (m ³ /s)	平常 2.63 最大 26.4
	最大発電電力量 (kWH)	5.0×10 ⁴

*日立製作所大みか工場

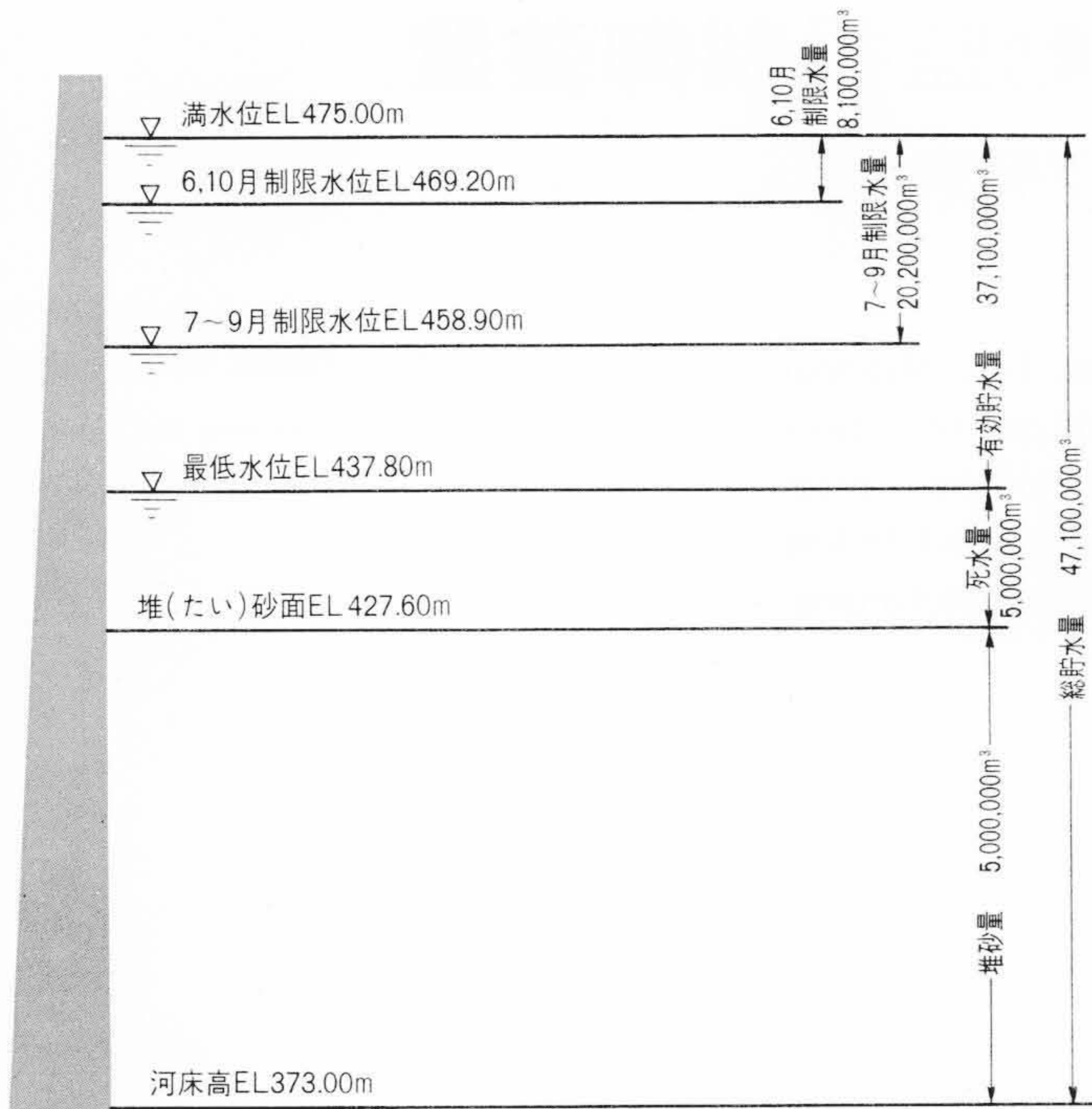


図1 ダム貯水池容量配分図 ダムの季節ごとの制限水位および水位に対応する貯留量の関係を示す。

Fig. 1 Water Level Status

- | | | |
|------------------|-----------|------|
| (1) 中央演算処理装置 | HIDIC 100 | 16k語 |
| (2) 光電式紙テープ読取器 | | 1台 |
| (3) コンソール タイプライタ | | 1台 |
| (4) プロセス入出力装置 | | 一式 |
| (5) 入出力中継盤 | | 一式 |
| (6) 操作デスク | | 2面 |
| (7) グラフィック盤 | | 1面 |
| (8) 出力タイプライタ | | 3台 |
| (9) 静止形無停電電源装置 | | 一式 |

4 機能

4.1 制御

制御モードの優先順位は (i) 機側盤手動, (ii) 遠方手動, (iii) 遠方自動とし厳重なインターロックにより誤操作を防止している。制御の種目としては下記の項目がある。

(1) 自動制御

観光放流制御, 定水位制御, 事前放流制御, 予備放流制御, 比率放流制御および定量放流制御がある。このうち観光放流制御は専用の放流バルブで行なわれ, その他は常用放流バルブ2門が自動制御対象である。自動制御といえども観光放流制御以外は計算機が直接制御することをせず, いったんオペレータに新しい制御要求を計算機から出し, オペレータの総合判断を得たうえで制御指令を発するように, 制御系に人的

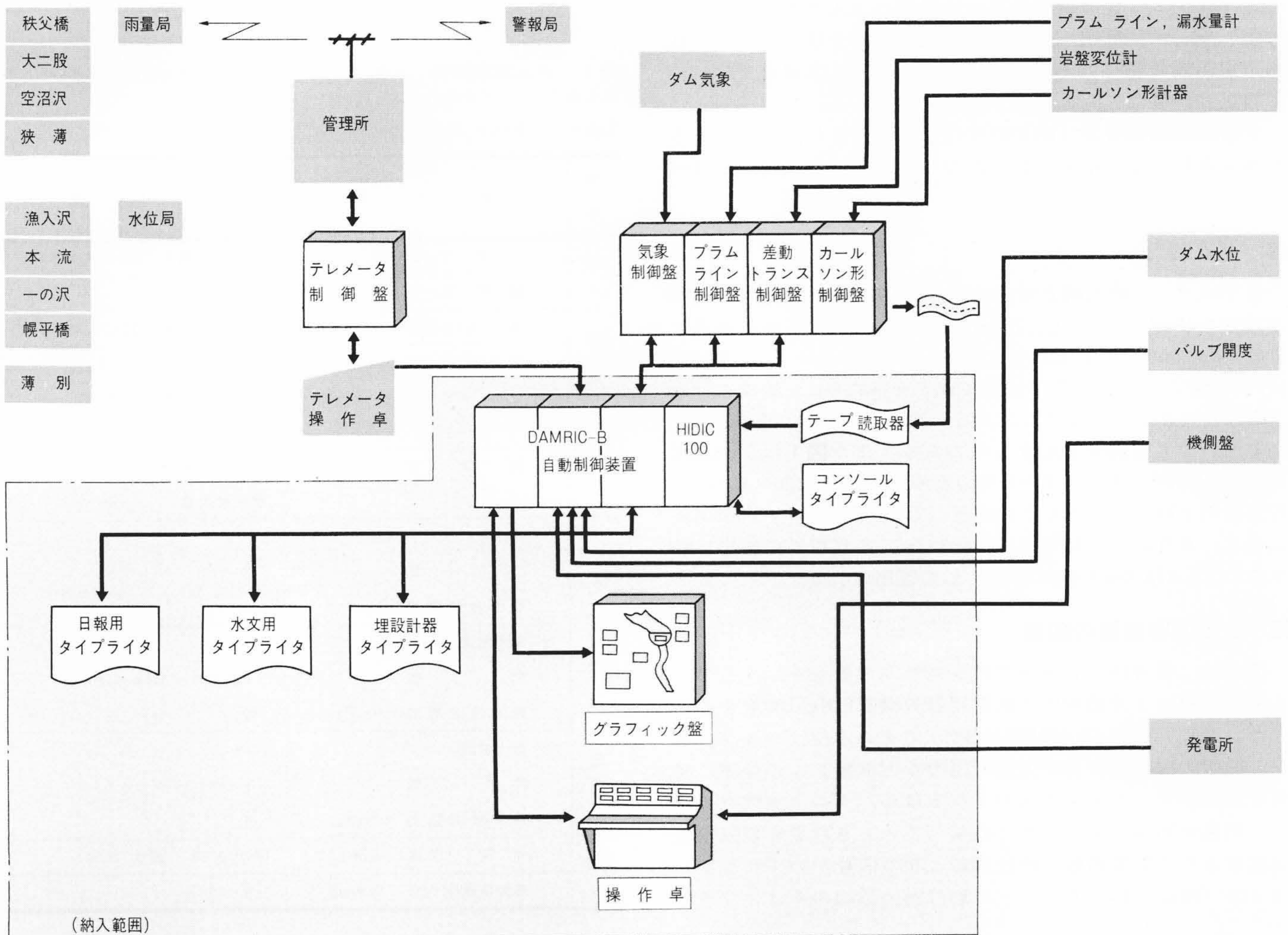


図2 システム概念図 ダム全システムの概要および制御装置の位置づけを示すものである。

Fig. 2 Function Diagram of Dam Control System

判断を介入させて、より安全な制御方法を採用している。

(2) 半自動制御

半自動制御は、オペレータが条件をセットしてスタート指令を与えた場合にのみ自動制御を行なうもので、これには開度設定制御および流量設定制御がある。

(3) 遠方手動制御

オペレータがバルブやゲートを単独に開、閉操作を行なう場合がこれである。

4.2 観光放流制御

豊平峡ダムは支笏洞爺国立公園内にあり、ダム堰堤（えんてい）自体も自然美に調和したアーチ式ダムであるが、さらに観光シーズンには観光客のため、専用のホロー ジェットバルブにより観光放流を行なっている。この放流は観光客が訪れる 6 月から 10 月の期間、平日、休日別および時刻別に最大 2.0m³/s まで放流するもので、放流量とスケジュールが定まっているためダム水位の変動により、定められた放流量を満足するようにバルブ開度を自動調節している。

4.3 定水位制御

多目的ダムでは治水上は貯水位を低く、利水上からは貯水位を高くする必要がある。この相反する要求を解決するため、過去の出水記録から季節ごとの制限水位が定められている。

水位を一定に保つには流入量と等しく放流すればよいわけであるが、流入量を直接計測できないこと、下流の被害、ゲート（バルブ）の動作ひん度などにより一定の水位変動幅を設け、この間で水位が 1 cm 上昇するごとに放流量を増加させるいわゆる水位偏差方式がとられている。豊平峡ダムの場合、表 2 に示すように制限水位との水位偏差 1 cm を 1 ステップとして 20 ステップで無害放流量 60m³/s を放流するもので、水位と放流量の関係は水位偏差が小さい放流開始当初は放流量を

小さく、水位偏差が大きくなるに従い放流量も大きくなるような二次曲線としている。このようにすることにより下流へ突発的に放流することが避けられるわけである。

水位変化率が大きい場合でも下流へ被害を与えないように確実に 1 ステップずつ放流を行なってから次のステップに移ること、定常偏差によるハンチングを防止するために水位上昇時と下降時のステップにヒステリシスを持たせるなど安全かつ安定な制御方法を採用している。

実際の計算では、水位偏差より表 2 に示す放流量を二次式で求めた後、目標開度を(1)式により計算している。

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= a_1 + b_1 X + c_1 X^2 \\ X &= \sqrt{\frac{Q^2}{2gH \cdot A^2 - Q^2 K}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

- ここに、 P_0 ：目標開度（cm）
 a_1, b_1, c_1 ：係 数
 X ：流出係数
 g ：重力加速度
 H ：バルブ中心よりの水頭（cm）
 Q ：目標放流量（m³/s）
 K ：定 数

4.4 予備放流制御

予備放流制御は強制的に水位を下げる制御で図 1 のように月ごとに制限水位が定められているため、5→6 月および 6→7 月の月の変わりめに水位を下げねばならない。水位を下げるということは、そのときの流入量以上に放流しなければならないため、下流に洪水被害を及ぼさないよう放流量増加率を一定値以上大きくしないように放流してやることである。具体的には定水位制御と同じやり方であるが、放流量増加率を押えるために 1 ステップの動作時間間隔を定水位制御のそ

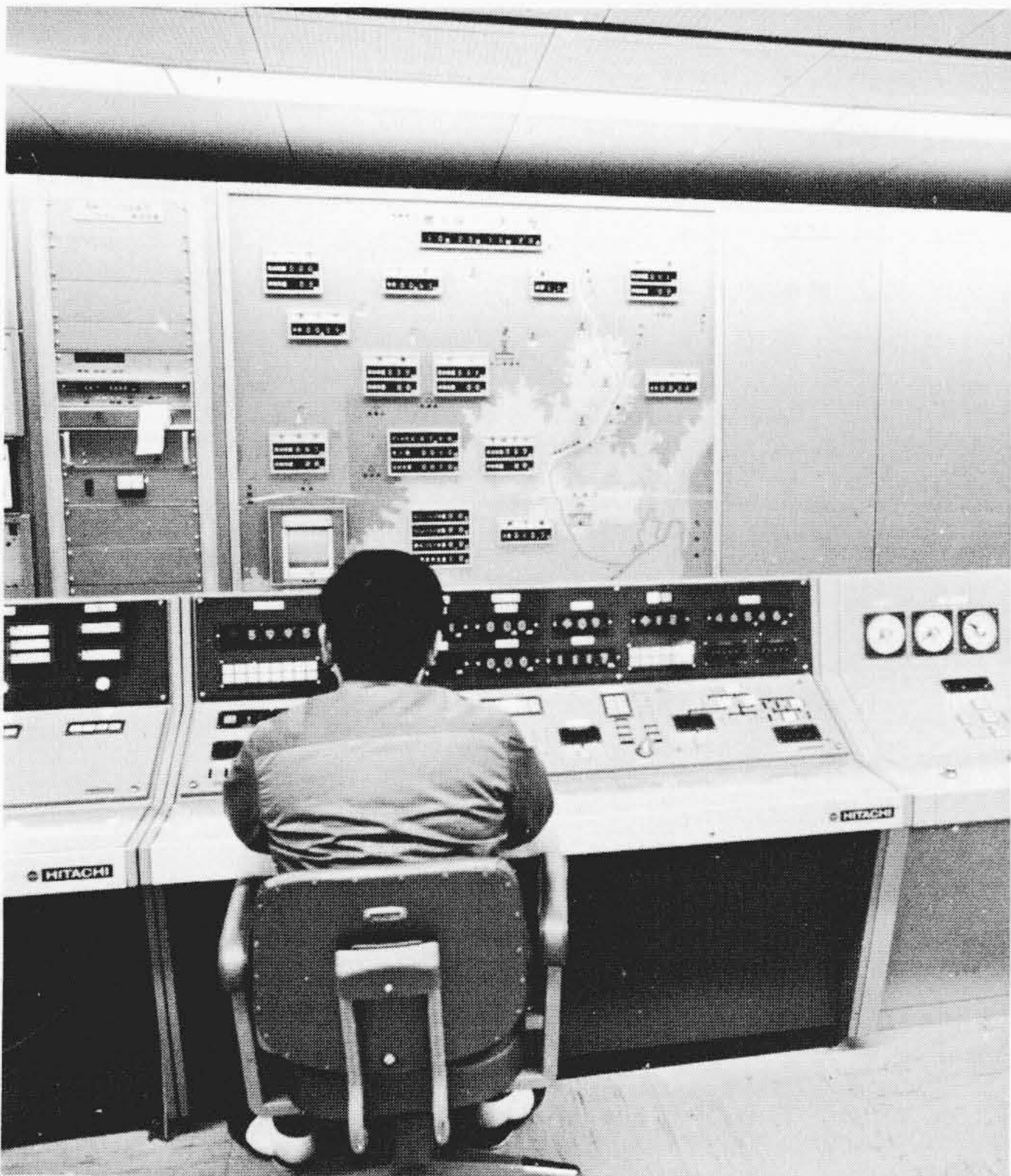


図 3 外観図 グラフィック盤と制御デスクを示す現地写真である。
Fig. 3 Photograph of Graphic Panel and Control Desk

表 2 ステップ対放流量 定水位制御、予備放流制御および事前放流制御の放流ルールの基本となるものである。

Table 2 Step vs Discharging Volume

ステップ	水位偏差 (cm)	放 流 量 (m³/s)	対象バルブ		事前放流貯留量 (m³/s)
			No. 1	No. 2	
1	1	1.0	○		5
2	2	2.4		○	6
3	3	4.1	○		7
4	4	5.9		○	8
5	5	8.1	○		9
6	6	10.0		○	10
7	7	13.0	○		11
8	8	15.6		○	12
9	9	18.5	○		13
10	10	21.6		○	14
11	11	24.9	○	○	15
12	12	27.3	○	○	16
13	13	31.9	○	○	17
14	14	35.6	○	○	18
15	15	39.5	○	○	19
16	16	43.5	○	○	20
17	17	47.5	○	○	21
18	18	51.7	○	○	22
19	19	56.0	○	○	23
20	20	60.4	○	○	24

れより大きくとっている。
水位が下降して定水位制御の領域にはいると、以後自動的に定水位制御に移行し、バルブの逆操作、水位のアンダーシュートを防ぐよう考慮されている。

4.5 事前放流制御

ダム水位が制限水位以下で(定水位制御ではこのとき全閉)水位上昇率が大きいとき、制限水位以上になってから定水位制御により放流したのでは1ステップずつ放流するとはいえ下流に急激な出水を与えることになる。事前放流制御ではたとえ定水位制御以下の水位のときでも、流入量が増加しつつあるときには、水位上昇を許容しながら徐々に放流(定水位制御の事前に放流)し下流に被害を与えないようにするものである。

豊平峡ダムの場合は、水位2cm上昇ごとにダム貯留量(水位変化率と湛水面積の積)を求め、表2の事前放流貯留量と比較して多ければステップを上げ、少なければステップを下げて、結局平均的には表2の貯留量を貯留しつつ放流している。事前放流制御中、定水位制御時に持つべきステップ以上になれば自動的に定水位制御に移行し、スムーズな制御を図っている。

4.6 洪水制御

流入量が無害放流量(60m³/s)を越え、かつ定水位ステップが20ステップに達した条件で洪水制御に移る。洪水制御には流入量が増加過程で行なう比率放流制御と、流入量が増加から減少に移る過程で行なう定量放流制御とがある。図4は洪水制御における流入量と放流量の関係を示したもので、(2)式により目標放流量を計算してこれより目標開度を求める。

$$q_0 = (Q_i - Q_B) K + Q_B \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 q_0 : 目標放流量 (m³/s)
 Q_i : 流入量ピーク値 (m³/s)
 Q_B : 無害放流量 (m³/s)
 K : 放流比率 (%)

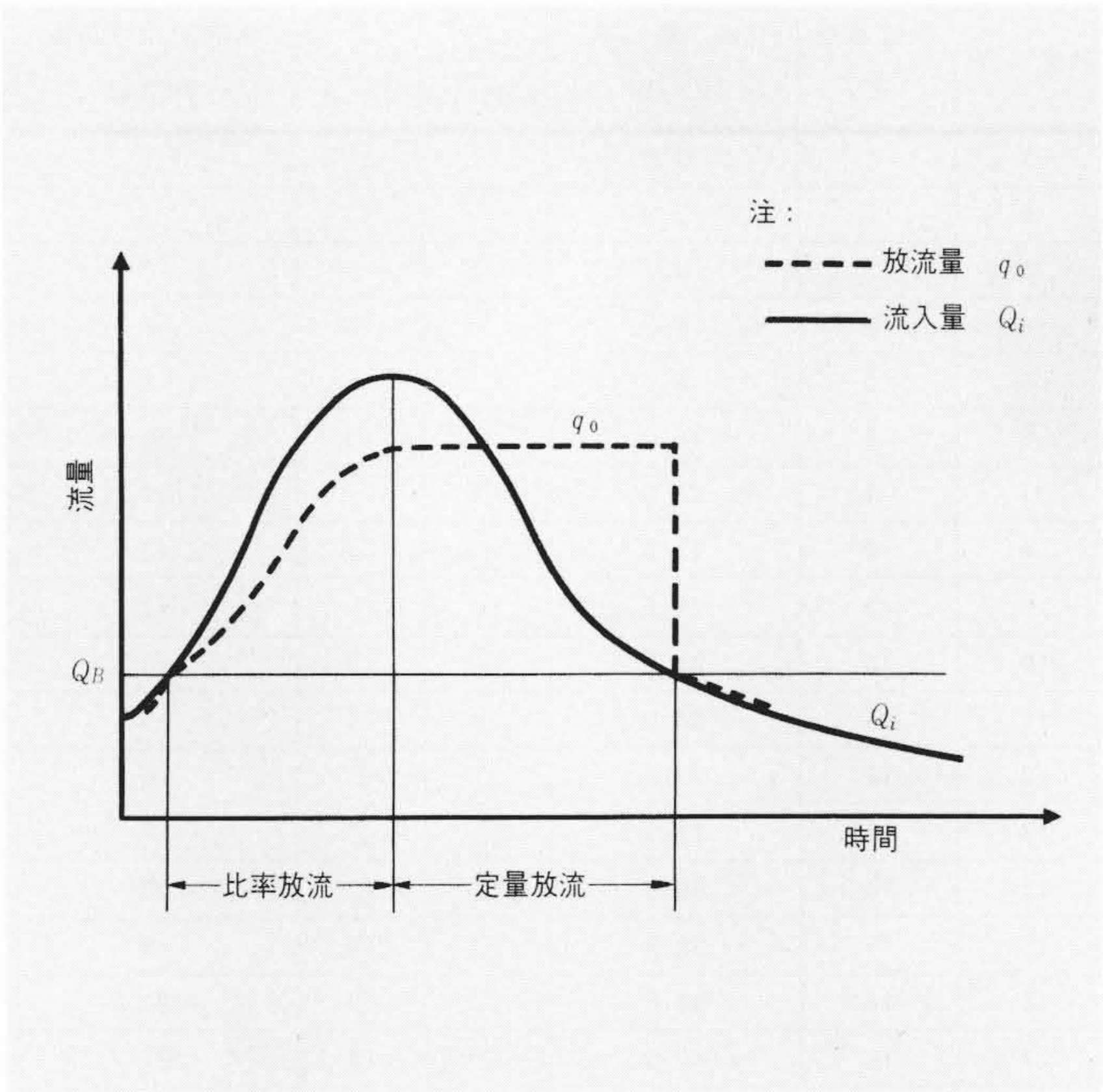


図4 洪水制御計算による放流例 洪水時のダムへの流入量およびダムからの放流量のハイドロを示す。

Fig. 4 Discharging Example Calculated by Flood Prediction Model

表3 埋設計器処理項目表 ダム堤体内の埋設計器の内訳ならびにその実数および処理内容を示すものである。

Table 3 Acquisition Data List

項 目	点数	検出器種別	演 算 処 理	記 録	計算機との接続	
					オンライン	テープ入力 オフライン
岩盤変位計	9	差動トランス	—	○	○	—
たわみ計	9	ペンジュラム	—	○	○	—
漏水計	3	三角堰	○	○	○	—
温度計	86	カールソン	○	○	—	○
継目計	3	"	○	○	—	○
ひずみ計	30	"	○	○	—	○
間げき水圧計	19	"	○	○	—	○
応力計	13	"	○	○	—	○
無応力計	6	"	○	○	—	○
鉄筋計	5	"	○	○	—	○

定量放流制御により水位が下降し、定水位制御範囲に復すれば自動的に定水位制御に移行する。

4.7 保護機能および試験機能

ダムの運用を誤ると人工的な洪水を起こす危険があるために、放流ルールおよび制御装置には細心の保護機能および試験機能を備えている。特に制御装置の故障に対しては、ハードウェアおよびソフトウェアの特質を使い分けハードウェアがソフトウェアを、ソフトウェアがハードウェアを相互に監視する方式とし、さらに実際の水利条件がそろわなくても閉ループを構成した模擬テストが実施できるようになっている。

4.8 埋設計器データ処理

ダム堰堤内部に埋設されている多数の検出器からのデータを埋設計器制御盤から収集し、応力、ひずみ、漏水などを演算処理しタイプライタに結果を記録するもので、自動制御装置とオンライン化されたのは初めてである。これらの処理データはダム堰堤の状態把(は)握、安全管理およびダム建設時の土木設計解析用として貴重なものである。

表3は埋設計器データ処理項目、点数および種別の内訳を示すものである。以下に埋設計器のデータ処理内容の一部を記述する。

4.8.1 漏水計

堰堤内部の漏水状態を知るため三角堰の越流水深をオンライン入力し、(3)式により漏水量を求める。

$$Qr = K \cdot C \cdot h^{5/2} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 Qr : 漏水流量 (l/min)
 h : 三角堰溢流水深 (m)
 C : 流出係数
 K : 定数

4.8.2 カールソン形計器

計器番号、抵抗値、抵抗比をカールソン計器制御装置でパンチした紙テープより入力し、図5のフローチャートに従って、応力やひずみなどを算出し、タイプアウトするものである。

4.9 流出予測計算

降雨量から貯留関数法によりダムへの流出予測計算を行な

い、結果をタイプアウトして、下流流域への警報および洪水時におけるダム運用の参考値として貴重なデータを提供するものである。

従来、流出予測の手法および理論は多数発表されているが、数式モデルが複雑大規模であったり、地理的および水理的要因が解明困難であったりして、オンラインでかつミニコンピュータで簡単に解を得られる実用的なモデルは少なかった。

今回行なった流出予測計算は、総雨量、降雨継続時間および雨量パターンを与えて流出量の時間変化を求めるオフライン計算と、時々刻々無線テレメータから送られる雨量より一

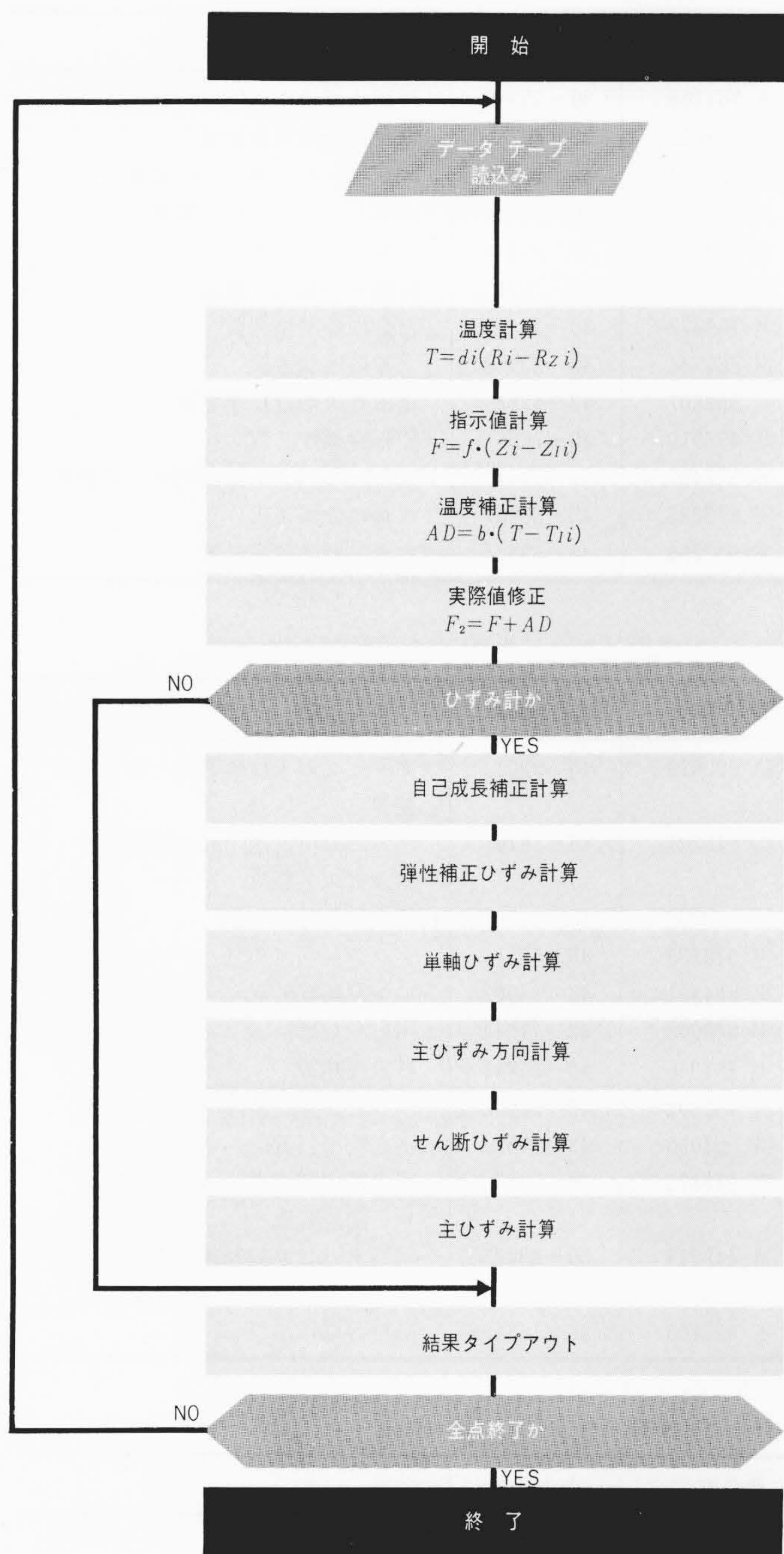


図5 カールソン形埋設計器データ処理フローチャート カールソン形埋設計器よりのデータテープ入力から温度および各種ひずみ計算を行なってタイプアウトするまでのフローチャートである。

Fig. 5 Data Processing Flow Chart of Kahrson Type Instrumentation System

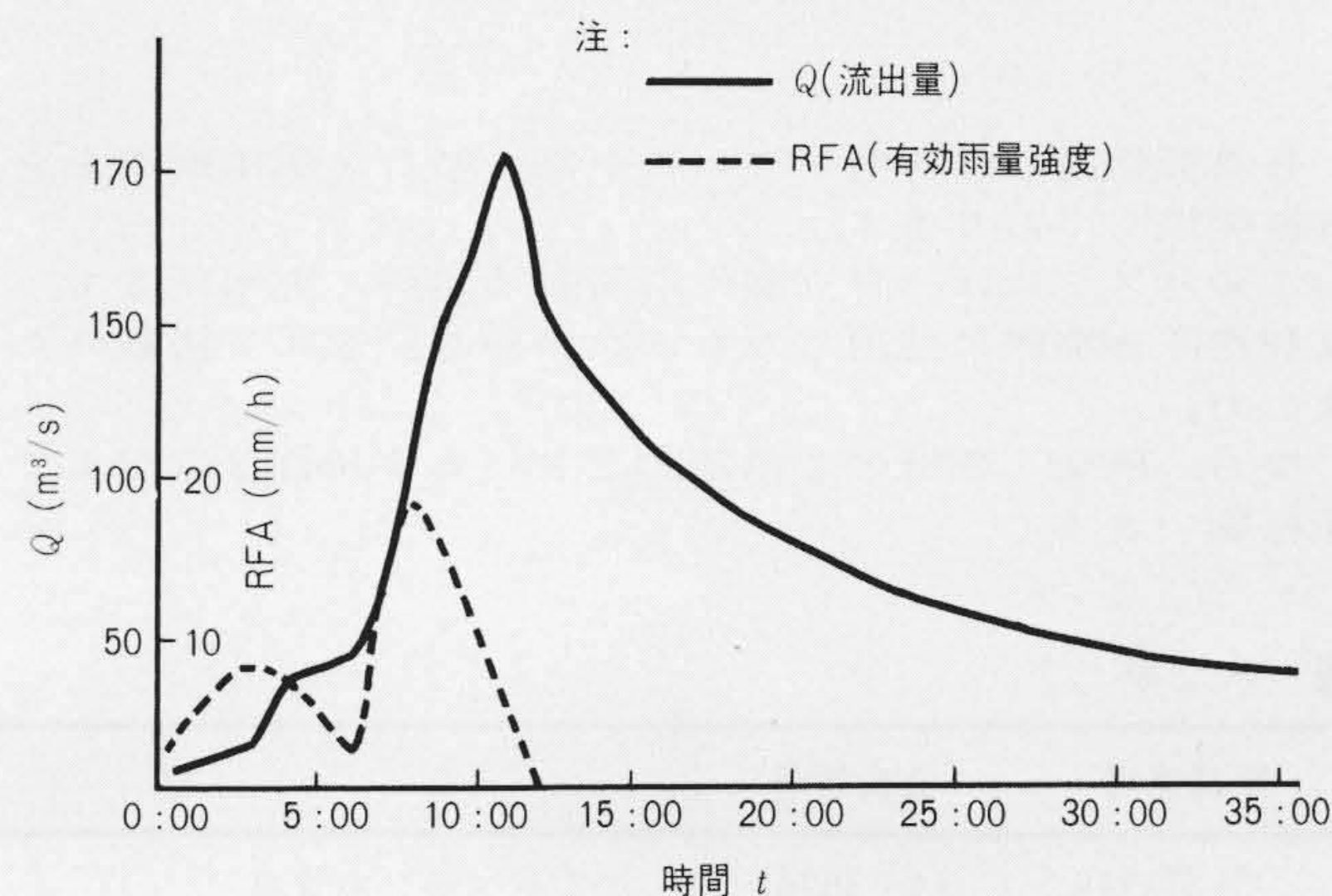


図6 貯留関数法による流出予測例 オンラインまたはオフラインで降雨量をインプットしたとき、有効雨量強度と流入量の時間変化が予測計算で求められる。

Fig. 6 Prediction Example of Discharging Volume

定時間後の流出予測を行なうオンライン計算の2方式を行っている。いずれも過去の類似実績値と比較してきわめて良好かつ実用的な解を得ることができた。図6は計算結果の一例である。

4.10 データロギング

データロギング用タイプライタは用途別に3台設置され、1台は日報用、1台は水文データ用、あと1台は埋設計器関係のデータが印字される（流出予測計算は計算ひん度が少ないため、コンソールタイプライタにタイプアウトする方式としてある）。

日報用タイプライタでは定刻ごと、バルブ動作時、水位1cm変化時および手動任意時に作動し、ダムの水位、バルブ開度、流入量および放流量を印字するものである。

水文データ用タイプライタは、無線テレメータが各子局を呼び出し観測終了時にテレメータ観測値（水位、雨量気象）を演算しタイプアウトしている。

埋設計器データロギングタイプライタは、埋設計器観測装置とデータ受授制御を行ない、必要時に演算データをタイプアウトしている。

5 結 言

国立公園内のダムの運用、制御系への操作員の介入、埋設計器のデータ処理ならびにシンプルで実用的な流出予測計算など、豊平峡ダムは従来にない新規性に富んだダムであって、今後のダム制御システムに新局面を切り開いたものとして、注目に値するものである。

本装置の稼動後、豊平峡ダムはまだ本格的な洪水に見舞われていないが、本装置により当初の目的どおり、安全かつ迅速な洪水調節機能を果たし、百万人口都市札幌を水害から救ってくれるものと期待されている。

最後に本システムの計画にあたり、流出予測および埋設計器に関して特別のご指導いただいた豊平峡ダム辻内所長ならびに中部地方建設局（前豊平峡ダム建設事務所）原田係長に深謝する次第である。