

II—33

ダム群の最適容量配分及び操作について

開発土木研究所

及川 正則

〃

正員 許士 達広

石狩川開発建設部

工藤 喬

まえがき

新規の多目的ダムを建設する際に、同じ水系にある近傍のダムの機能の見直しを行い、ダム群として対処することにより、それぞれの単独機能を合わせたものよりも大きな効果を発揮したり、同じ効果に対し費用を減少させることが可能な場合がある。また既設ダムが治水利水機能に問題を抱える場合、近傍のダムとの機能を再配分することにより、これらを解消していくことが考えられる。さらに個々のダムにおいても、各時点毎の治水利水機能を考慮して、より効率的に運用がなされることが望ましい。

今回はこういったダム機能の見直しや、有効利用を含むダム計画及び操作の適用について、豊平川上流の豊平峡及び定山溪ダムを対象に概略の検討を行ったものである。

1. 豊平峡ダムの問題点

豊平峡ダムは昭和49年に石狩川水系豊平川に完成した多目的ダムであり、隣接する豊平川支川小樽内川には同じく定山溪ダムが平成元年度に完成する。ダムの位置を図-1に、諸元を表-1に示す。このうち豊平峡ダムは現在以下のような問題を抱えている。

1) 非洪水期にサーチャージ容量が無く予備放流に対応することになっているが、実際は有効に機能していない。これは最大 $60\text{ m}^3/\text{S}$ を限度として最高水位（常時満水位 $\text{EL}475.0\text{ m}$ ）より 2 m 下にある予備放流水位まで水位低下のための放流を行うものであるが、水位低下に15時間以上を要するため洪水予測による判断は不可能である。また11月18日～12月20日頃迄は利水確保水位が制限水位を上回っているため、さらにダム管理者の判断をむずかしくしている。

昭和63年11月24日の出水においては、水位 $\text{EL}474.24\text{ m}$ に対し約 $10,000\text{ km}^3$ が流入したため、殆ど調節の効果を得ることができずに流下し、豊平川の高水敷が冠水した。また水位のピークは最高水位に近いものであった。この問題に対する抜本的対策として非洪水期にサーチャージ容量を設けることが求められる。

2) 昭和57年3月の工事実施基本計画策定時の計画ハイドロに対し、現ダムの洪水調節方式で一定率一定量放流をした場合の必要容量は約 $29,100\text{ km}^3$ となり、現行容量 $20,200\text{ km}^3$ に対して、 $8,900\text{ km}^3$ の不足となっている。この治水能力の不足をカバーする必要がある。

3) 豊平峡ダムの利水安全度は計画時は13ヶ年中第1位であったが昭和61年末において洪水期（昭和26年）は第4位で、定山溪ダムを合わせると確保できない。また非洪水期（昭和27年）は36ヶ年中第4位である。全体として既往10年第1位をやや下回る状況であり、利水安全度の向上及び異常洪水対策に配慮する必要がある。これらの問題は豊平峡ダム単独

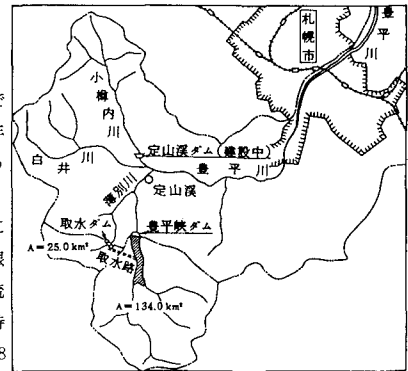


図-1 豊平川ダム位置図

表-1 豊平峡ダム及び定山溪ダム諸元

ダム名	豊平峡ダム	定山溪ダム
河川名	石狩川水系 豊平川	石狩川水系 小樽内川
目的	洪水調節、上水道、発電(最大 26.4 MW)	洪水調節、上水道、発電(最大 10.0 MW)
集水面積	直接 間接 $134.0 + 25.0 = 159.0\text{ km}^2$	104.0 km^2
湛水面積	1.5 km^2	2.3 km^2
総貯水量	$47,100,000\text{ m}^3$	$82,300,000\text{ m}^3$
有効貯水量	$37,100,000\text{ m}^3$	$78,500,000\text{ m}^3$
常時満水位	$\text{EL} 475.00\text{ m}$	$\text{EL} 381.60\text{ m}$
制限水位	6/15～6/3 10/1～10/30 $\text{EL} 469.20\text{ m}$ 治水容量 $8,100\text{ km}^3$	サーチャージ水位 $\text{EL} 390.50\text{ m}$ 治水容量 $19,000\text{ km}^3$
	7/1～9/30 $\text{EL} 458.90\text{ m}$ 治水容量 $20,200\text{ km}^3$	
放	基本高水流量	$820\text{ m}^3/\text{s}$
	調節流量	$680\text{ m}^3/\text{s}$
	最大放流量	$140\text{ m}^3/\text{s}$
	洪水調節式	$Q_s = (Q_t - 60) \times 0.1053 + 60$
型 式	アーチ式コンクリート	重力式コンクリート
規 模	堤高 102.50 m 堤頂長 305.0 m	堤高 117.50 m 堤頂長 410.0 m

ではなく、豊平川総合開発の一環として今後の後発ダムと連携して考えられていくべき内容である。しかし後発ダムに着手して完成するのは少なくとも十数年先の話であり、当面の対策として何らかの運用を考える必要がある。

2. 豊平峡ダム非洪水期サーチャージ容量の設定

前節の3つの問題のうち1)については定山溪ダムとの利水補給量のふりかえで対応することが考えられる。図-2は現在の両ダムの確保容量図であるが、豊平峡ダムが最高水位となる11月後半には定山溪ダムに大きな空容量がある。両ダムの水供給は共に札幌市の上水道であり、どちらからでも供給することが可能である、検討は以下の順で行った。

1) 非洪水期治水必要量の算出

豊平峡ダムサイト及び定山溪ダムの実測雨量から1～6月及び10～12月における確率3日雨量210mmを求め、主要降雨パターン4例についてハイドロを作成した。また融雪出水についても代表的出水パターン4例について流量確率値からハイドロを作成した。これらに対し計画上の洪水調節を行ったところ、20%アップで約13,000千 m^3 が必要となった。

2) 流域を一体化した検討

ダム群の集水域を一体のものとして利水計算を行うと全体の収支のめどをつけることができる。昭和26年～昭和61年までの36年を対象とした水収支を計算し、確保容量図を描くと、S26,35,53,59年が確保されない、しかし問題となる10月以降の非洪水期については13,000千 m^3 以上の空容量が認められる。S35,53,59年は異常年として対象外とし、S26年については豊平峡ダムの洪水期の基準年であり、定山溪ダムとの2ダムの容量の範囲で出来るだけ確保するものとした。

3) 放流量のふりかえ

現在の2ダムの利水容量の範囲内で現行の利水安全度を満足し、かつ非洪水期の治水容量、13,000千 m^3 以上を確保するように2ダムの放流量の配分比をトライアルで求めた。結果は表-2の放流比となり、再配分後の2ダムの確保容量図は図-3のとおりである。

表-2 放流量配分比

	洪水期(7～9月)	その他
豊平峡ダム	0.34	0.255
定山溪ダム	0.66	0.745

この様に隣接のダムとの放流量の調整により治水容量を生み出すことができる。同様に水のたまりにくいダムを解消することも条件により可能である。

4) 実施に向けての問題点

2ダムの放流量が変化することにより現在の利水放流管に改造が必要かどうか概略のチェックを行い、現在のままでも可能と判断されている。大きな問題点として豊平峡ダム及び定山溪ダムに参加している発電があり、年間発生電力量の変化等について検討中である。また水位変化による景観についても調査を行っており、貯水池内の緑化問題と合わせて今後の検討課題と思われる。行政面ではこの方法自体が基本的に利水者の所有する容量を治水にふり向ける内容であるため、利水者の協力が必要である。また制度的に2つのダムの使用権のふりかえとなり、それぞれの現在価値が問題となる。これらについて2ダムの利水者と治水受益者が等しいため、問題が比較的解消されやすい。

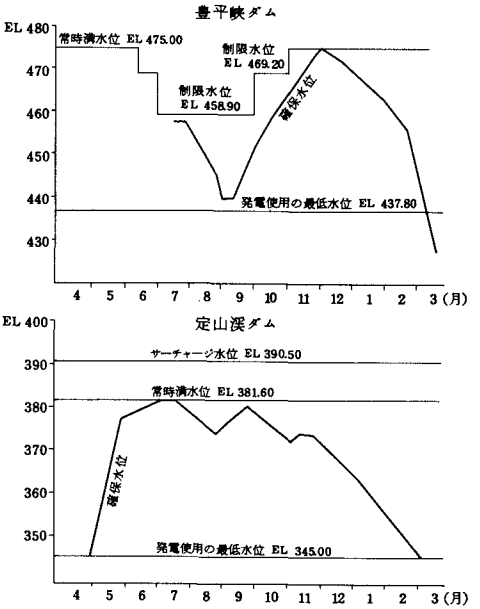


図-2 豊平峡及び定山溪ダム現行確保容量図

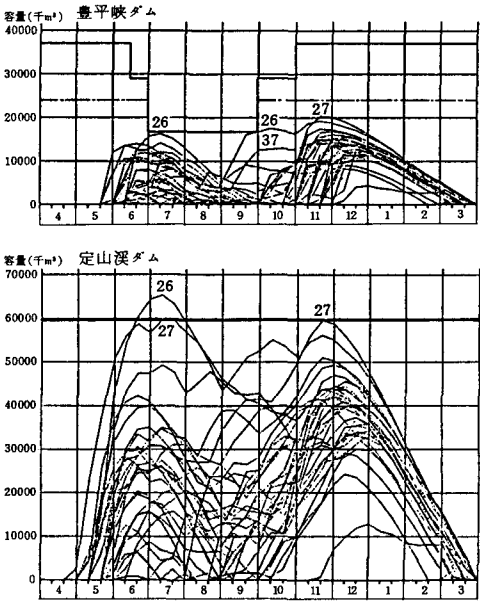


図-3 再配分後確保容量図

3. ダム運用の効率化

1節で述べた問題点のうち2)と3)については、洪水期における2ダムの利水確保容量のピーク時期が等しいため解消されない。これらに対処するためにダム管理者自身が、それぞれの時点における治水利水安全度を知って適確に運用し、安全性を高めていくことが求められる。すなわち期別(旬別または半旬別)の治水利水安全度を求めておき、両者ができるだけ所定の安全度、またはそれに近くなるような水位のゾーンを運用することが考えられる。実際にこのような考え方をもちて操作しているダムもあると思われるが、細部は発電に任せているケースもあり、データを整理して対処することが求められる。

図-4はその概念図を示したものである。下に凸な曲線(一点鎖線)は等治水利水安全度曲線であり、旬程度の期間別に容量または水位毎の治水利水安全度を計算して描くものである。一方、上に凸な曲線(実線)は等利水利水安全度曲線であり、半旬程度毎に容量または水位毎の利水利水安全度を示すものである。

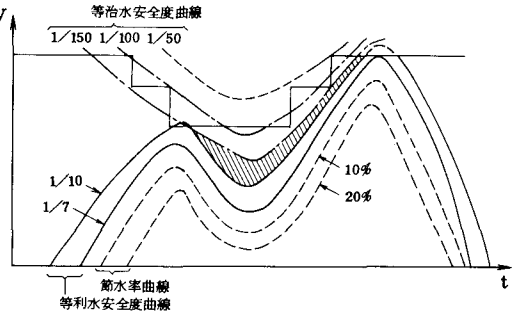


図-4 ダム運用安全度曲線概念図

等利水利水安全度曲線のうちダムの管理上最適となる安全度をもつものを基準安全度曲線とよぶことにする。これは従来のダム操作規則上の確保水位のような意味あいをもつものであり、通常制限水位または常時満水位に接する付近の位置をとる。ダム運用上でこの線を下回った時には節水がかかることになる。基準利水利水安全度を上回る安全度の曲線をその外側に描き、基準安全度曲線の流況に対し節水をかけた時の曲線を内側に描く(節水曲線 図-4中破線)

例えばダムの容量の範囲内では7年確率(1/7)しか利水利水安全度をもつことができないが1/10の安全度が求められ、一方治水利水安全度は1/60しかないが1/150を確保したい時には、図中のハッチの部分の運用すればよいことになり、それからはずれている場合はその安全度に応じた体制をとることになる。

ダム群への適用を図る場合は、これらの治水利水安全度曲線や利水利水安全度曲線が各ダム間でバランスのとれたものになっていけばよい。この運用も利水者の権利を治水側にふり向けている点が問題となるが、洪水の頻発する地域では確保容量ぎりぎりの操作をしているダムもあり、そのダムに合った治水利水のバランスをとってダム運用がなされることが望まれる。

4. 治水安全度曲線

上記のうち治水安全度曲線は、空容量を含めた洪水調節可能容量(降雨換算)と旬別確率雨量の考え方を組み合わせたものである。

1) 洪水調節可能容量

各時期において利水空容量を含み何mmの降雨に治水面に対応できるかを算出する。すなわち基本降雨パターンのハイドロに対し操作規則と同じ放流方式で一定の利水容量から操作した時に、何mmの確率降雨に相当するハイドロに対応可能かをトライアルで求めるものである。豊平峡ダム及び定山溪ダムの操作規則と同じ放流であるので、操作開始は制限水位の1m下からとなるが、設計洪水流量に対応するただし書き操作は考慮しない。

豊平峡ダムの場合これを洪水期、2期洪水期、非洪水期毎に求め、非洪水期については予備放流水位を制限水位と同じ扱いとしている。

2) 旬別降雨確率値

旬別の降雨確率はダム計画時点でも用いられるものであるが、問題点として大きな降雨が少ない関係上、外挿部分のうち大きなもの(例えば1/500など)は過大に算定される傾向があることがあげられる。このため次のようなチェックを行う。

降雨量Rまたはそれに対応する超過確率 P_y に対して、各旬でこれと同じ規模の降雨が発生する超過確率(旬別確率)を $P_i(i=1\sim36)$ とし、1年間のうち少

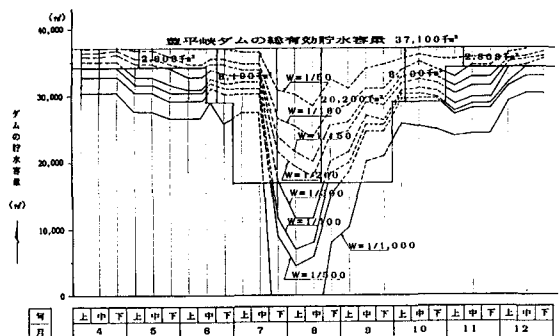


図-5 等治水利水安全度曲線

なくとも1句がRを超える確率を P_y とすると、以下のような式が成立する。

$$p_{y,n} = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2) \cdots (1 - p_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \equiv p_y \quad (n = 36)$$

但し $p_i < p_y$

このチェックを4ヶ所の確率値(1/5, 1/20, 1/100, 1/150)において行い、句別確率曲線に修正を加えた。この結果句別最大の確率値が年間最大の確率値を上回るといったことはなくなった。

3) 治水安全度曲線と問題点

1)で求めた洪水調節可能容量が、2)の句別確率値の何分の1に相当するかを対比して等治水安全度曲線を描く。しかし図-5に示すようにその句別確率値は非常に小さいものとなる。これは10日間に生起する確率を求めているためであり、一方我々の対処せねばならないのは年間最大の洪水である。それがいつごろ生起するかを問題にするため、図-5のままでは安全性を過大にとられ誤解を生ずることになる。洪水期毎の最大値から安全度を計算すると、豊平峡ダムの場合現在の1期洪水期の治水容量は1/60、2期洪水期は1/91、非洪水期は予備放流水位で1/12.5となっている。洪水期別の値も期間の長短の影響をうけるため、さらに検討を要するが、便宜的な修正として各洪水期毎の句別確率値の最大値が、洪水期別の確率値に対応させるといったことが考えられる。

5. 利水安全度曲線

半句別の利水安全度曲線を描くために渇水持続曲線(DDCルールカーブ)を用いる。これは一口に言って流量の順序統計確率値による確保容量曲線であり、今後 N_s 時間間隔内に貯水池が涸渇しないために τ 地点で確保しておかなければならない貯水量を、時点を移動させながら結んだものである。以下に式を示す。

$$f_k(m|\tau) = k - t \cdot h \cdot \min_{j=1,2,\dots,n} \left\{ \min_{(j, \tau - S/2) \leq t_i \leq (j, \tau + S/2)} \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m-1} q_i \right) \right\} \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$f_k(m|\tau)$: 順序統計量の小さいほうから k 番目の資料による季節別DDC
 季節別DDCとは過去の流量観測資料の移動平均をとって求めた流量標準値を意味する
 (j, τ) : j 年目、 τ 時点 m : 時間間隔(移動平均をとる範囲)

s : 季節早遅の考慮期間($s=0$)とする q_i : 流量 n : 流量資料のある年数

$$\tilde{q}(m|\tau) = f_k(m|\tau) \cdot m - f_k(m-1|\tau) \cdot (m-1) \cdots \cdots \textcircled{2}$$

$\tilde{q}(m|\tau)$: τ 時点から始まる m 時間目の想定流入量

$$p_k = k / (n - N_s) + 1 \cdots \cdots \textcircled{3}$$

p_k : 危険率(渇水確率年の逆数) k : 順序統計量の小さい方からの順位

n : 流量年数 N_s : 渇水を考慮する時間間隔

$$V_k(\tau, \alpha) = \max_{1 \leq n \leq N_s} \left[\sum_{i=1}^n \{ (1-\alpha) W(m|\tau) - \tilde{q}(m|\tau) \} \right] \cdots \cdots \textcircled{4}$$

$V_k(\tau, \alpha)$: τ 時点で確保すべき貯留量 α : 節水率

任意の危険率 P_k に対して α をパラメータとして各時点 τ における $V_k(\tau, \alpha)$ を結んだものがDDCルールカーブである。DDCルールカーブには以下のような問題点がある。

1) ダムの容量による制限

ダム管理のための操作を考える時点で既にダム容量は決まっている。ダム容量が1/10の確率で決まっている時は最適のDDCルールカーブ(第3節の基準利水安全度曲線)も順序確率で10年第1位に近いものとなると思われるが、計画時点と管理時点の資料年数の違いや渇水被害関数のとり方によって最適カーブが制限水位と交わることがある。また大きな確率値のカーブを描き、操作の参考とすることも必要であり、この場合もカーブは水位と交わる。

図-6において1/10確率の線はB点より右側で所定の安全度をもつがB～C間は意味を持たず、C点より左側も1/10の確率を持つわけではない。ある利水安全度曲線が制限水位に接する点をA点とすると、C点より左側でどんなに貯留していても、運用期間中A点の以下の安全度まで必ず下がってしまう。制限水位上ではA～B間で安全度は1/5～1/10に上昇する。

このようにA点より左側は渇水しないための安全度としてはあまり意味を持たないため、利水安全度曲線はむしろ水がA点まで貯留確保される安全度を表示した方が良いと考えられる。これらはA～Dのような線で描かれる。これを描くためまず制限水位に接する曲線を定める必要がありトライアルによって制限水位と接する1/6.6

の曲線が得られる。(図-7)

2) 計画の確保容量との整合性

DDCルールカーブは流量の確率値をとっているが、ダム計画に用いられる確保容量は既往の流量データから直接求めた各年の曲線を抱絡したものであり、求める確率値以上のものは除外して考えている。従ってDDCルールカーブと計画上の確保容量曲線の形は当然少し異なっており、実際のダム運用にDDCルールカーブを用いる場合には、計画の確保容量とのすりつけ方を工夫する必要がある。今回流量から各節水率をかけた取水量を差し引いて、節水後の確保容量の抱絡線を出した擬似DDCルールカーブ(図-8)を計算してある。

3) ダム群に対する適用

DDCルールカーブをダム群に適用する時には、各ダムへの流入量の合計に対し一体化して運用する方法が従来よりとられている。しかしながらこの方法ではダム群全体の節水率が算出できない。各ダムの状況に応じた節水を行うためには、ダム毎にルールカーブをダム群全体の効率が最良となるように設定する必要がある。ダム群の最適操作はいろいろな考え方があるが、ここでは各々が同時に満水し同時に渇水するように各ダムの期別の最大利水容量の比に応じて各時点の容量を決定する。但し洪水期と非洪水期の境界等、期別最大利水容量が急変するところでは、過大な無効放流が生じないように緩和区間を設けて容量比を漸変させている。2ダム放流量比はこれに伴い各時点で変化する。こうして得られた豊平峡ダム及び定山溪ダムのDDCルールカーブを図-9及び図-10に示す。なお、各年毎の操作もDDCルールカーブと同様の比を用いればよい。

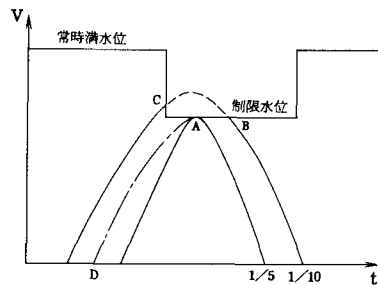


図-6 制限水位を超える場合の取扱い

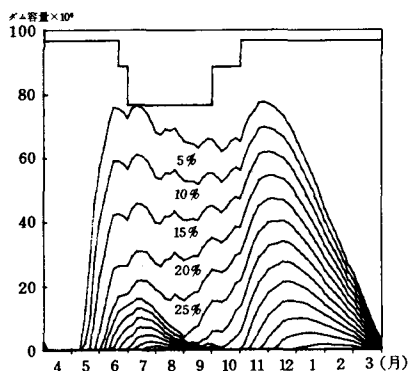


図-7 6.6年確率全体DDCカーブ

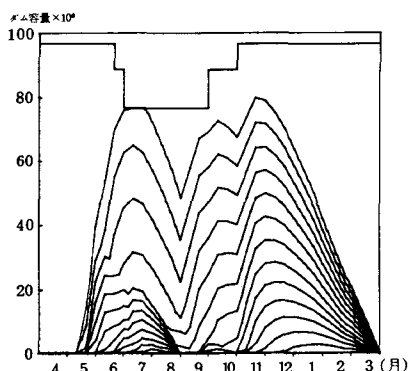


図-8 擬似全体DDCカーブ

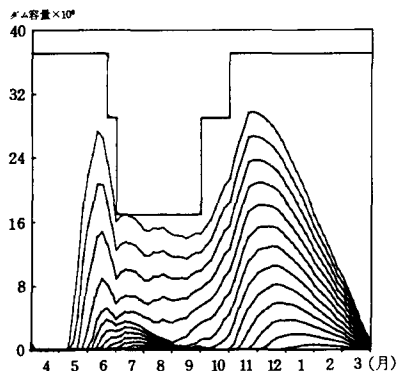


図-9 6.6年確率豊平峡DDCカーブ

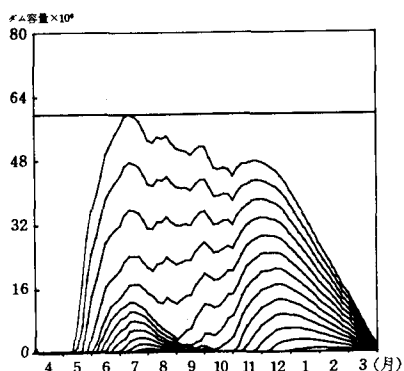


図-10 6.6年確率定山溪DDCカーブ

6. 渇水指標による評価

渇水指標のとり方は最適ルール決定上重要であるが、現在までのところ絶対的なものはない。このためいくつかの渇水指標についてS26年～61年の36年間を計算し、各年の合計を求めたうえで総合的に判断する。渇水被害

関数は、 $\Sigma((\text{不足}\%)^2 \cdot \text{日} \cdot \text{不足量})$ と

して表わせるものを用い、節水回数は半旬単位である。表-3は6.6年確率全体カーブと擬似全体カーブを比較したものである。

表-3 渇水被害指標比較表

利水安全度曲線	不足%・day	(不足%) ² ・day	渇水被害回数	30%以上節水回数	50%以上節水回数
6.6年全体DDC	45,200	906,582	3,551	84	1
擬似全体DDC	43,965	912,331	3,656	93	1

この結果をみると6.6年確率全体DDCルールカーブと擬似全体DDCルールカーブとの間で被害指標に大きな差は生じていないが、擬似カーブの方に大きな節水率の日が少し多くなっている。これは冬期間に擬似カーブの方が確保容量の無い期間が少し長いことなどが原因と思われる。

7. 総合的運用

図-11は豊平峡ダムの運用のために、治水安全度曲線と利水安全度曲線を合わせて描いたものであり、現在の確保容量曲線も合わせて記入している。治水安全度曲線は、4節に書いたように各洪水期の旬別確率値の最大値と、各洪水期別の期別確率値を便宜的に一致させたものを用いている。

この図からみると、豊平峡ダムにおいて利水1/10、治水1/150を満たして全期間を運用することは、不可能である。仮にDDCルールカーブの1/6.6を最低限満たし、治水上問題のない場合は1/9以上という運用であれば、水位は7月中旬から9月までは1/6.6のDDCと制限水位の間を通り、特に9月は制限水位に近い位置を維持することになる。

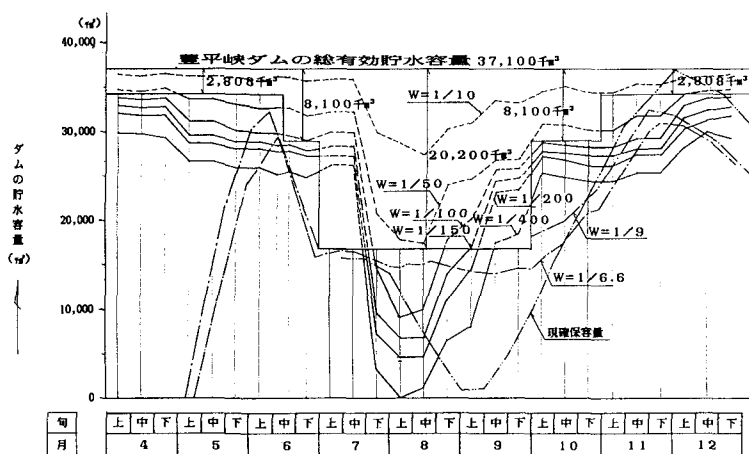


図-11 豊平峡ダム総合運用図

あとがき

ダムの最適運用について、現場にも理解しやすい手法を用いる方向で検討した。DDCルールカーブについては、さらに改良すべき点があり検討中である。ダムの管理者は洪水によりダムが溢れることと、漏水によりダムが涸渇することの2つの相反する危険性の中で貯水池を運用しており、ダム及びダム群としていかに実質的に両者の安全性のバランスをとるかの判断を迫られる。もちろん両者の安全度向上のためには、再開発を含む新規のダム建設が主体となろうが、その困難性や長時間を要することを考えると、漸定的に利水者の理解を得たうえで、今回のような施策が必要となると思われる。また最適水管理は最適水計画があって可能となるのであり、新規のダムを計画する際には周辺のダム機能の見直しと合わせて、ダム群として考えていくことが求められつつある。最後にこの研究に御協力をいただいた本局、定山溪ダム、開発土木研究所の各位に厚く謝意を表わす。

参考文献

- 1) 竹内、富田、伊藤；給水用貯水池のためのDDCルールカーブ、第28回水理講演会論文集、1984年2月
- 2) 渡辺、星；DDCルールカーブの改良、土木試験所月報1989年9月
- 3) 七澤、渡辺、星；地域特性を考慮したダム運用ルールに関する一考察、土木試験所月報、1987年8月
- 4) 鎌田、宇佐美、山下；DDCルールカーブによる渇水貯水池運用、第30回北海道開発局技術研究発表会、1986年2月