

# マスカーブによるダム貯水池の利水運用の試算

Estimation of water utilization operation of dam reservoirs using mass curve

企画部首席研究員 竹下 清  
 企画部調査役 酒井 義尚  
 企画部長 奥 秋 芳 一

多目的ダムの主な役割として洪水調節と河川水補給があるが、年間を通して長期に運用するのは後者である。

河川水補給は、下流水利等に不足を生じた時にダムから不足分を放流し、その際の放流水によって発電も併せて行うことが多く、この河川水補給と発電を如何に効率よく行うかがダムの水運用の要点とも云える。

河川水補給側の立場としては下流水利用者等への対応や流入量予測の不確実性等から、貯水量を出来る限り温存（或いは貯留）して渇水に備えようとするし、発電側もダム貯水位を出来る限り高位に維持して、年平均流入量相当を平均的に発電使用水量として放流することを求めることになる。

しかしその反面、この状況下でもダムに溜められず放流される水量や発電水路を通らずに放流される水量（利水や発電目的としては無効放流）に対しては、これを出来る限り出たくない。

この2つの相反した要求に対して効果的なダム運用を行うには、ダム貯水位をある程度高位に維持しながらも、ダムからの無効放流を最小限に止める運用が求められる。

ここでは、日常のダム貯水位を高い位置に保ちながら無効放流を最小限にするため、維持すべき適当な貯水位（中間水位とする）について、マスカーブ等を使って試算した。

キーワード：ダム貯水池、マスカーブ、用水補給、水力発電

The main roles of multipurpose dams are flood control and water replenishment, but water replenishment is used for the long term, throughout the year. Water replenishment includes water supply and power generation, and carrying out these two functions efficiently is a key aspect of dam water utilization operation. To achieve this, it is necessary to keep the dam water level as high as possible, but if the water level is too high, water cannot be stored in the reservoir during small to medium-sized floods, and ineffective releases will occur. Here, we used mass curves etc. to estimate the appropriate water level (intermediate water level) that should be maintained in order to minimize ineffective releases while keeping the daily dam water level high.

Key words : Dam reservoir, mass curve, water supply, Hydroelectric power

## 1. ダム貯水池の“マスカーブ”

マスカーブはダム貯水池の利水運用の基本であり、それは流量を時間的に累加したものである。図-1において横軸が時間（通常は日単位）、縦軸が容量（日平均流量 \* 86,400sec/日）である。流量の大きさが勾配となり流量が大きいほど勾配は急になる。

図-1（左）について、まずは日々の流入量を累積した線を描く（流入量マスカーブ）。次に、流入量マスカーブを利水容量分下方へスライドした線を描く（利水満水位）。この2本の線の間が貯留量（流入量マスカーブから下方向）と空き容量（利水満水量から上方向）となり、その合うところが貯水量となって、この点を結んだ線の方向が放流量或いは貯留量となる。

放流量が一定であれば直線、必要放流量が変化する時は折れ線となる。

一般的にマスカーブは、流入量の日平均値から年平均値を差し引いて累加する。これは、流入量の平均値方向が水平軸（その時の日平均流入量が年平均流入

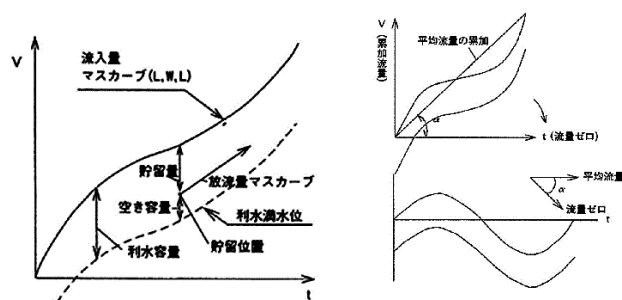
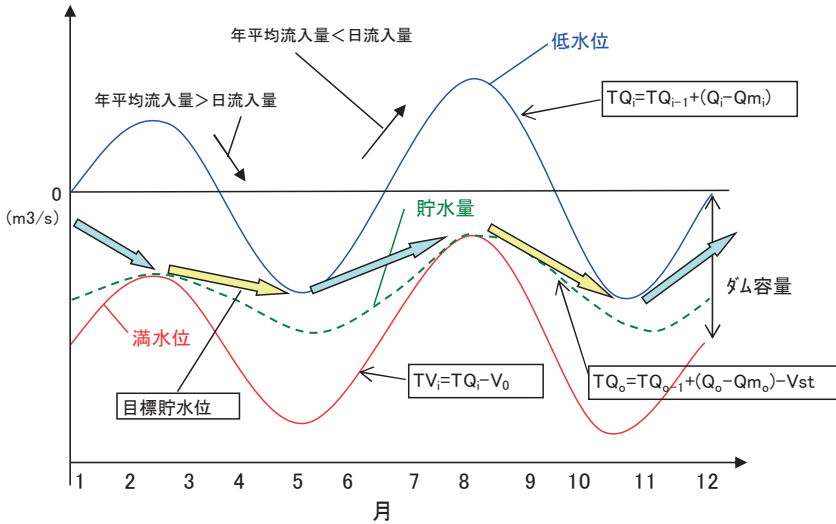


図-1 マスカーブについて

凡例

- $Q_i$  : 当日流入量
- $Q_{m_i}$  : 年平均流入量
- $TQ_{i-1}$  : 前日までの総差分流入量
- $TQ_i$  : 当日までの総差分流入量 = 低水位
- $TV_i$  :  $TQ_i$ に $V_0$ を加えた = 満水位
- $V_0$  : 利水容量/86400sec
- $Q_o$  : 当日放流量
- $Q_{m_o}$  : 年平均放流量
- $TQ_{o-1}$  : 前日までの総差分放流量
- $TQ_o$  : 当日までの総差分放流量 = 低水位
- $TV_0$  :  $TQ_o$ に $V_{st}$ を加えた = 満水位
- $V_{st}$  : 初期貯水量/86400sec



- 貯留期 : ダム放流量が年平均流入量を下回っている(マスクが右上がり)時期には貯留
- 放流期 : ダム放流量が年平均流入量を上回っている(マスクが右下がり)時期には放流

図-2 マスクの基本

量より多いか少ないかが一目で分かる)になるように回転させて用いるためである。

ここでのマスクの基本描き方とそれによる曲線の性格を以下に示す(図-2)。

低水位は、日平均流入量と年平均流入量の差分の積算値を日ごとに図示したものである。

満水位は、上記低水位から利水容量を差し引いた値を日ごとに図示したものである。

貯水量(貯水位)は、日平均放流量と年平均放流量の差分の積算値から初期貯水量を差し引いた値を日ごとに図示したものである。

低水位(満水位も同じ)の曲線が、右下がりの場合は年平均流入量 > 日平均流入量、右上がりの場合は、年平均流入量 < 日平均流入量、水平の場合は、年平均流入量 = 日平均流入量を示す。

貯水位の曲線が、満水位に近づく場合はダムへの貯留、低水位に近づく場合はダムからの放流を表す。

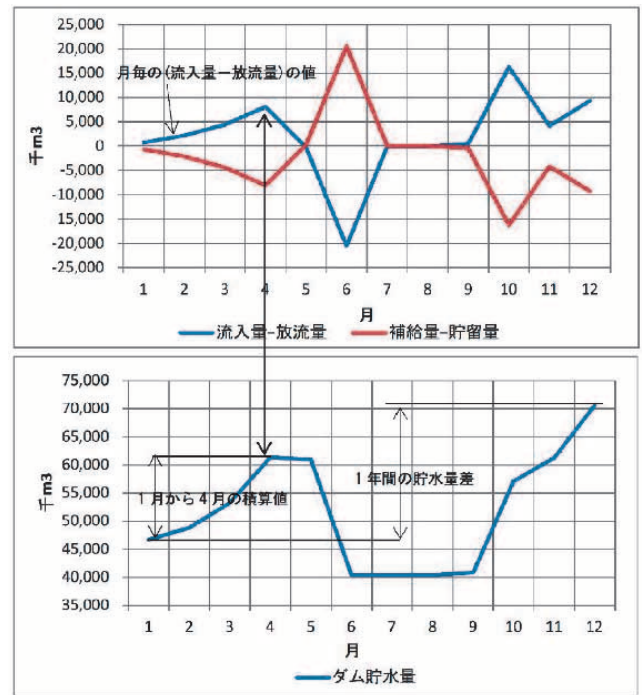


図-3 水利用状況表より

## 2. ダム管理年報の“水利用状況年表”

ダム管理年報は、国土交通省所管の多目的ダムにおいて、毎年の管理状況及び管理によって得られた気象・水象等の実績データを長期にわたって継続的に蓄積することで、より一層の適切で充実したダム管理を行うための基礎資料を得るものである。

元来、ダムは上流から入ってくる流入量の一部を一時的に貯留し、時間差をもって下流に放流する施設であり、年間の流入量以外のダム下流への放出変化量は、年始めの貯水量と年末の貯水量の差分だけである。

しかし、この差分も大きな渇水や出水がなければ毎年大きな差はなく、ダムは入ってくる流入量を時間差をもって、全て下流に放流していると云える。

ダム管理年報で整理するダムの利用状況に関する年表(水利用状況年表)は、ダム貯水池に流入して来る流入量と貯水池から放流される放流量及び貯水池容量から補給される量と貯留される量を月ごとに表にまとめたものである。図-3にその値をグラフにして例示する。

### 3. マスカーブと水利用状況年表によるダム貯水池の利水運用評価

特定の1つのダムだけに着目し試算期間1ヵ年として、マスカーブにより日ごとの補給量、貯水量、無効放流量（満水放流、貯留制限放流）等を算定して、これを月ごとの数値として水利用状況年表に整理することで、ダムの利水運用状況を評価する。

#### 1) マスカーブによる整理

前述したようにマスカーブは、日平均流入量から年平均流入量を差し引いて、これを積算して低水位を描き、これより下方に利水容量を取って満水位としている。

この間をダム貯水位が推移することになるが、この貯水位は同じく日々の流入量と補給或いは貯留との差の積算値として描くことになる。

通常のダムの利水運用は、ダム下流の利水基準点の確保量に対して、基準点の現状の河川流量が不足していれば、この不足量相当分をダム貯水池から放流し、逆に基準点に余剰があればその量のダムサイト相当分を貯水池に貯留することになる。

ここでは、年平均流入量に対する日平均流入量の大小だけをもって、ダムの利水運用を模擬的に再現する。各ダムの利水的性格を考える手立てとして、貯留と放流の率を変えて試算し、ダム毎に望ましい率を決定する。

このマスカーブによる試算では、年平均値より大きい時は貯留、小さい時は放流するので、試算期間の1ヵ年で見ればプラス・マイナス、ゼロとなる。従って貯留と放流を同じ値にして過不足が現れないようにするため、試算に用いる各ケースの放流率と貯留率とは同じ値を執ることとした。

また、異常な渇水時には、ダムは下流水利に対して貯水量を放流していき、貯水残量や下流水利の取水状況を見ながら、予め決められた貯水量に達した時点から節水運用を行うが、ここではあくまでも日平均流入量と年平均流入量との関係から、そのダムの補給必要量、貯留可能量を判断した。

マスカーブの試算結果として、総補給量、総貯水量、無効放流量（満水放流、貯留制限放流）、発電ポテンシャル、凡その年間の満水回数と空回数等について整理する。

- ・総補給量と総貯水量は、1年間にダム貯水池から補給或いはダム貯水池に貯水した総量。
- ・無効放流量（満水放流）は、満水位を維持するため

の放流量。

- ・無効放流量（貯留制限放流）は、制限水位を維持又は制限水位に向けて水位低下するための放流量。洪水時に一時的に貯留される洪水調節量は、洪水調節終了とともに貯水位を制限水位まで下げるために放流することになり、これは制限水位を維持するための無効放流として扱った。
- ・発電ポテンシャルは、日補給必要量\*日平均貯水位〔試算貯水位－低水位〕の積算値とする。
- ・凡その満水回数は、満水位から僅かに下がり再度満水位になった場合を含み、空回数は低水位から僅かに上がり再度低水位になった場合を含むものとする。等

#### 2) 水利用状況年表による整理

水利用状況年表には、マスカーブの試算結果を月ごとの流入量、補給量、放流量、貯水量として整理する。

ここでの流入量（平水等）は、ダムに流れ込む（洪水量以上の流入量を含む）すべての流入量とする。

補給量（流量調節）は、日平均流入量が年平均流入量を下回る分に対して放流率を乗じた水量の内、放流可能な分をダムから放流したもの。ただし、補給必要量に対して貯水量が不足している場合は、補給できる分だけ補給し、残りは不足量とする。

補給量（貯留制限放流量）とは、洪水期制限水位へ移行するために貯水量から放流するもので、補給の必要がない場合の放流として、補給必要量と区別して表記する。

放流量は、発電のための取水や満水位と洪水期制限水位を維持するための放流量とする。

取水量（発電）は、発電のためのダム放流量で、ダム全放流量からダム放流量（満水）を差し引いたものとする。

ダム放流量（満水）とは、洪水期制限水位或いは満水位を維持するために、流入量相当分を放流したもので、貯水位が洪水期制限水位（満水位も同様）の時の洪水流入については、すべてダム放流量（満水）として集計する。

貯水量（流量調節）とは、日平均流入量が年平均流入量を上回る分に対して貯留率を乗じた水量の内、貯水池に貯留可能な分をダムに貯水としたもの。ただし、貯留可能量に対して空き容量が不足している場合は空いている量とする。ただし、洪水調節量は含まない。

#### 4. マスカーブと水利用状況年表の試算（放流率と貯留率）

ダムへの日平均流入量と年平均流入量との差分について、日平均流入量が小さければその小さい分のある割合（放流率）を貯水池から放流する。大きければその大きい分のある割合（貯留率）を貯水池に貯めこむ対象とする。

また、利水運用や発電では貯水位をできる限り高位に維持することが有利であるため、貯水池に中間的な水位（渇水時以外の利水運用では、これ以下には貯水位を下げない限度：中間水位）を設定する。

このようにして、下流に対するダムの利水運用の効果は、マスカーブを使って日ごとのダムの補給量やダムへの貯水量、無効放流量、ダム貯水池への総流入量と総放流量の差（総補給量と総貯水量の差と同じ）、発電ポテンシャル、ダム放流や貯水後の貯水位が低水位と満水位の間を行き来する回数等で評価する。

今、2006年のIダム及びKダムについて、放流率と貯留率をそれぞれ30%、50%、70%及び90%の4ケースとし、以下の項目の年間の値を整理した。なお、2006年は、これを含む10ヵ年（2001年～2010年）の中で比較的流出量の豊富な年である。

IダムとKダムは同じ河川の直近にあって、両ダムの相対的な特徴としては、Iダムは直接流域面積は大きい貯水容量は小さく、Kダムは直接流域面積は小さい貯水容量は大きいことである（この場合の直接流域面積とは、平常時にはダム上流域から他流域に取水されたり、他流域から導水を受けたりする対象流域を除いた流域面積）。なお、この章の試算ケースでは、中間水位は設定しない（中間水位100% [低水位]）としている。また、試算は単年計算（1月～12月）とし、試算の出発水位は両ダムとも低水位からとした。

計算結果を表-1及び表-2に示す。

総補給量と総貯水量は、流域面積が大きく年間流入量が多いIダムが大きく、有効容量に対する回転率も、Iダムが優位である。

各ケースの貯留率と放流率とは同じ値を執っているが、両ダムとも総貯水量が総補給量を上回っている。いずれのケースも中間水位を100%（低水位）にしておき、両ダムとも貯留しやすい状況にある。

これとは逆に無効放流量（満水）と無効放流量（制限）は、Kダムでは出ていない。

2006年は比較的年間流入量が多く、年間貯水量差は総貯水量が総補給量を上回っていて、両ダムとも貯水過多傾向にある。

表-1 Iダムの放流率＝貯留率ケース毎の試算結果

Iダム(2006)	30%(放流率=貯留率)	50%	70%	90%
総補給量(千m <sup>3</sup> )	28,261[0.88]	47,227[1.48]	60,797[1.90]	73,857[2.31]
総貯水量	40,252[1.26]	55,833[1.74]	76,020[2.38]	84,406[2.64]
無効放流量(満水)	0	36,040	42,239	82,975
無効放流量(制限)	0	1,029	2,438	604
年間貯水量差	11,991	7,578	12,785	9,945
発電ポテンシャル(千m <sup>3</sup> /s・m)	29,682	65,470	111,381	152,993
満水回数	0	2	3	4
空回数	2	2	4	4

注：総補給量、総貯水量の[ ]書きは、有効利水容量に対する割合  
 ・無効放流量(制限)は、制限水位に移行するための貯水量からの放流量分(補給量とは区別)  
 ・年間貯水量差は、総流入量－総放流量

表-2 Kダムの放流率＝貯留率ケース毎の試算結果

Kダム(2006)	30%(放流率=貯留率)	50%	70%	90%
総補給量(千m <sup>3</sup> )	7,741[0.10]	13,307[0.18]	19,151[0.25]	24,623[0.32]
総貯水量	17,015[0.22]	28,358[0.37]	39,702[0.52]	51,045[0.67]
無効放流量(満水)	0	0	0	0
無効放流量(制限)	0	0	0	0
年間貯水量差	9,274	15,051	20,550	26,422
発電ポテンシャル(千m <sup>3</sup> /s・m)	4,565	12,688	24,873	41,117
満水回数	0	0	0	0
空回数	9	8	8	8

発電ポテンシャルは、Kダムが水頭では勝っているが、Iダムの放流量が多く優位である。

満水回数と空回数は、Iダムがバランスよく貯水位が動いているように見える一方、Kダムは空になる回数が多い。

貯水率と放流率の値が大きくなるほど総補給量と総貯水量が大きく、下流河川の流量変化の程度は小さく（平滑化が進行）なっているものと考えられる。

以上、両ダムの流域面積や貯水容量の特性（Iダムは流域面積が大きく、貯水容量が小さい、Kダムは流域面積が小さく、貯水容量が大きい）が試算結果に現れている。

両ダム4ケースの放流率＝貯留率の増加に対する総補給量と総貯水量、無効放流量、発電ポテンシャルや満水・空回数の増加の程度から、Iダムは貯留率＝放流率70%、Kダムは貯留率＝放流率90%を貯水池運用面から有効とし、マスカーブとその結果を水利用状況年表に整理する。

2006年のIダムについて、図-4に放流率＝貯留率70%によるマスカーブを示す。

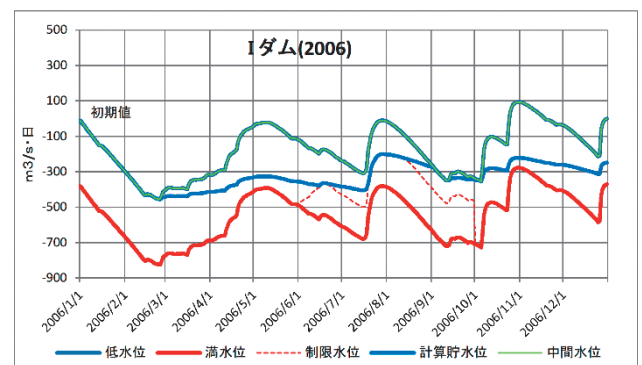


図-4 Iダムの放流率＝貯留率＝70%によるマスカーブ

表-3 Iダムの放流率 = 貯留率 = 70%による水利用状況表

Iダム水使用状況年表

単位:千m<sup>3</sup>

H18.1.1

月	流入量		補給量		放流量										貯水量		
	平水等	洪水	流量調節	洪水調節 (貯留制限放流量)	取水量				ダム放流量						流量調節	洪水調節	
					発電	かんがい	都市用水	その他用水	機能維持	かんがい	都市用水	その他用水	洪水調節	満水			
1	11,809		0	0	11,809											0	0
2	23,239		175	0	20,073											0	3,341
3	44,789		862	0	39,272											0	6,378
4	59,048		189	0	42,717											0	16,520
5	31,006		5,715	0	35,137											0	1,584
6	25,351		8,841	0	28,379											5,761	51
7	56,201		4,613	2,438	25,023											36,478	1,752
8	16,293		14,430	0	30,723											0	0
9	28,604		3,840	0	28,903											0	3,541
10	73,882		3,286	0	47,361											0	29,807
11	24,615		7,857	0	32,387											0	86
12	39,722		10,989	0	37,752											0	12,960
計	A1	A2	B1	B2	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C24	C25	C26	D1	D2	
	434,559	0	60,797	2,438	379,535	0	0	0	0	0	0	0	0	42,239	76,020	0	
	A = Σ Ai		B = Σ Bi		C1 = Σ C1j				C2 = Σ C2j						D = Σ Di		
	434,559		63,235		379,535				42,239						76,020		
A+B				C+D													
497,794				421,774										497,794			

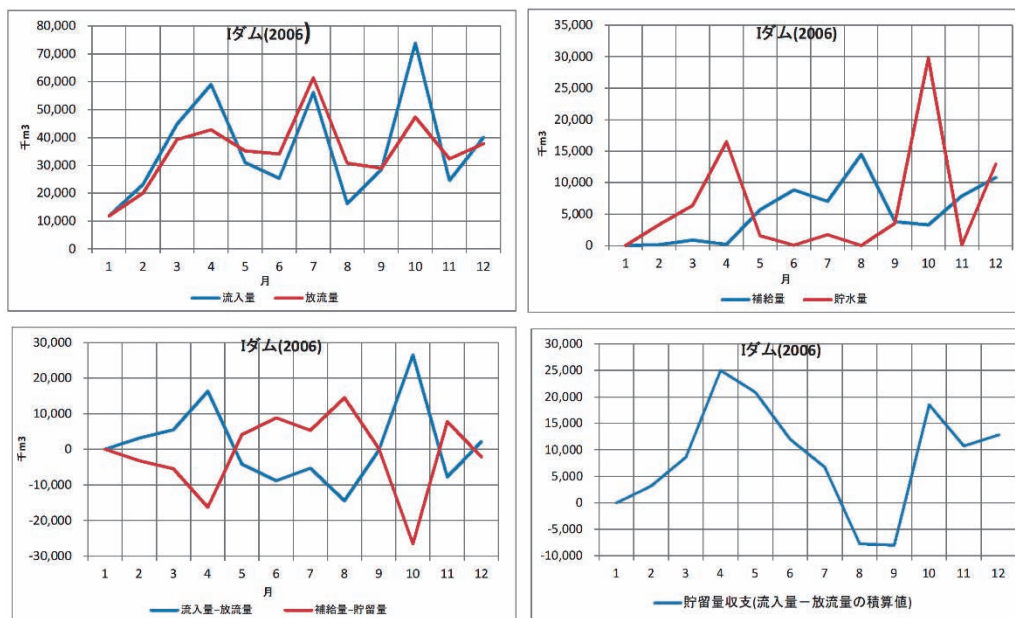


図-5 Iダムの放流率 = 貯留率 = 70%による水利用状況表の図示

日平流入量が年平均流入量を上回る分の70% (貯留率) をダムへの貯留可能量とし、日平均流入量が年平均流入量を下回る分の70% (放流率) をダムからの補給必要量 (これを下流基準地点の過不足に応じた補給量と貯留量とした) としている。計算初期水位を低水位からとしているが、洪水期には洪水期制限水位まで計算貯水位が到達している。

また、この運用を水利用状況年表として整理した結果を表-3と図-5に示す。

試算結果の年間の補給量は、6,324万m<sup>3</sup> (実績6,331万m<sup>3</sup>)、貯水量は7,602万m<sup>3</sup> (実績8,623万m<sup>3</sup>)、総流入量は43,456万m<sup>3</sup> (実績43,455万m<sup>3</sup>)、総放流量は

42,177万m<sup>3</sup> (実績41,164万m<sup>3</sup>)であった。

なお、試算補給量6,324万m<sup>3</sup>には、無効放流量 (制限) 244万m<sup>3</sup>を含む (表-1参照)。

実績が試算値に対して、補給量は+7万m<sup>3</sup>、貯水量は+1,021万m<sup>3</sup>、総流入量は-0.6万m<sup>3</sup>、総放流量-1,013万m<sup>3</sup>である。

従って、実績が試算値に対して、総流入量と補給量は+6万m<sup>3</sup>、総放流量と貯水量は+8万m<sup>3</sup>となり、実績のダム運用量が試算値に対して、約7万m<sup>3</sup>ほど多くなっているが、年間の貯水池の水量の動きが49,779万m<sup>3</sup> (表-3の流入量+補給量=放流量+貯水量) であることを見れば、この差は0.01%程度である。

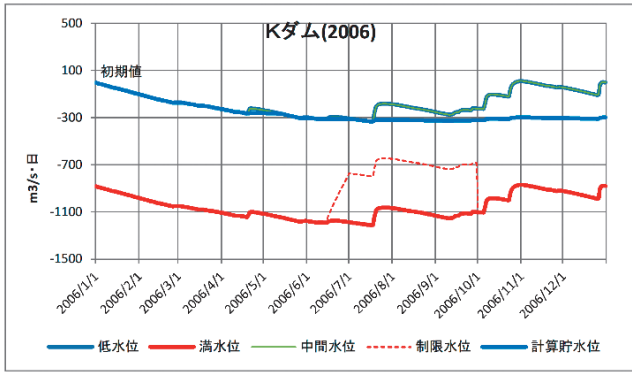


図-6 Kダムの放流率=貯留率=90%によるマスカーブ

次に、2006年のKダムについて、貯留率=放流率90%によるマスカーブを図-6に示す。Kダムは流入量が多く見込めず、計算初期水位を低水位に置いているため、上半期ではほとんど貯水位が上がらない状況になっている。

この運用を水利用状況年表として整理した結果を表-4と図-7に示す。

試算結果の年間の補給量は、2,462万 $m^3$ （実績2,922万 $m^3$ ）、貯水量は5,105万 $m^3$ （実績5,379万 $m^3$ ）、総流入量は12,334万 $m^3$ （実績12,334万 $m^3$ ）と総放流量は9,691万 $m^3$ （実績9,876万 $m^3$ ）であった。

表-4 Kダムの放流率=貯留率=90%による水利用状況表

Kダム水使用状況年表

単位: 千 $m^3$   
H18.1.1

月	流入量		補給量		放流量											貯水量		
	平水等	洪水	流量調節	洪水調節 (貯留制限放流量)	取水量				ダム放流量						流量調節	洪水調節		
					発電	かんがい	都市用水	その他用水	機能維持	かんがい	都市用水	その他用水	洪水調節	満水				
1	1,948		0	0	1,948												0	
2	3,287		97	0	3,133												0	251
3	5,660		154	0	5,641												0	173
4	9,330		1,059	0	6,946												0	3,443
5	5,122		2,267	0	6,799												0	589
6	9,321		1,685	0	9,269												0	1,737
7	20,928		672	0	9,873												0	11,727
8	4,838		5,074	0	9,911												0	0
9	12,560		2,353	0	10,379												0	4,533
10	30,710		1,626	0	12,499												0	19,838
11	5,538		4,378	0	9,677												0	239
12	14,094		5,258	0	10,837												0	8,514
計	A1	A2	B1	B2	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C24	C25	C26	D1	D2		
	123,335	0	24,623	0	96,913	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51,045	0		
	A = $\sum A_i$		B = $\sum B_i$		C = $\sum C_i$				C2 = $\sum C_{2j}$						D = $\sum D_i$			
	123,335		24,623		96,913				96,913						51,045			
A+B				C+D				147,958				147,958						
記事																		

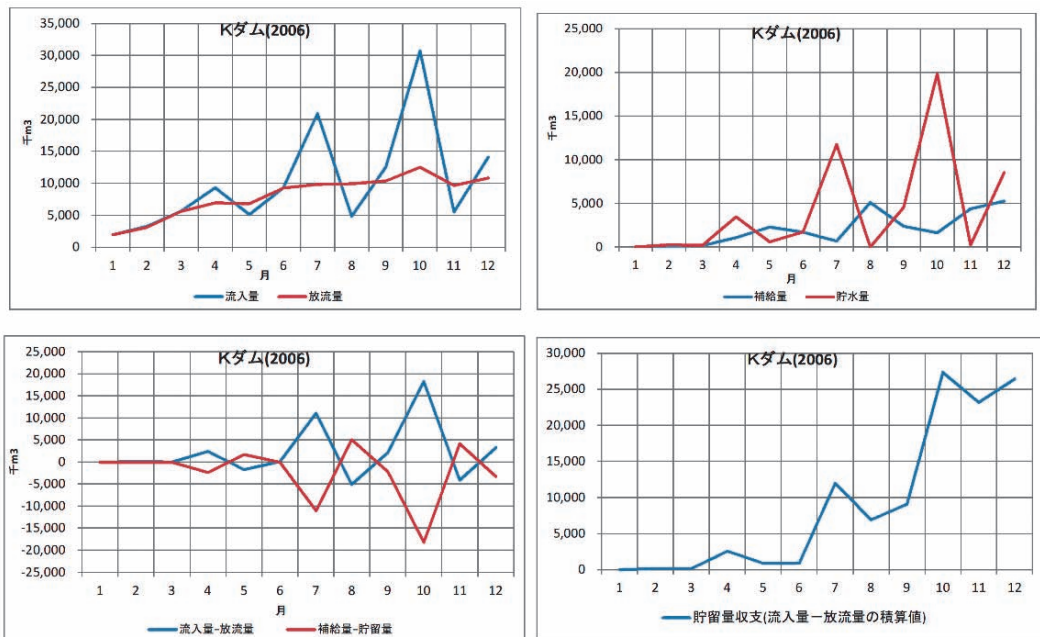


図-7 Kダムの放流率=貯留率=90%による水利用状況表の図示

実績が試算値に対して、補給量は+460万 $\text{m}^3$ 、貯水量は+274万 $\text{m}^3$ 、総流入量は差なし、総放流量は+185万 $\text{m}^3$ である。

従って、実績が試算値に対して総流入量と補給量は+460万 $\text{m}^3$ 、総放流量と貯水量は+459万 $\text{m}^3$ となり、実績のダム運用量が試算値に対して、約460万 $\text{m}^3$ ほど余分に貯水池を使っていたことになるが、年間の貯水池の水量の動きが14,796万 $\text{m}^3$ （表-4の流入量+補給量=放流量+貯水量）であることを見れば、この差は3%程度である。

以上のように、両ダムともに年間の水運用の試算結果と実績は、補給量ではIダムが試算結果6,324万 $\text{m}^3$ に対し実績が6,331万 $\text{m}^3$ （試算結果/実績=0.999）、Kダムが2,462万 $\text{m}^3$ に対し2,922万 $\text{m}^3$ （同0.843）。貯水量ではIダムが試算結果7,602万 $\text{m}^3$ に対し実績が8,623万 $\text{m}^3$ （試算結果/実績=0.882）、Kダムが5,105万 $\text{m}^3$ に対し5,379万 $\text{m}^3$ （同0.949）とほぼ一致している。

これより両ダムとも実運用を年間で見れば、日平均流入量と年平均流入量との差分の70%～90%を補給や貯留の対象として運用しているものと考えて良い。

## 5. マスカーブと水利用状況年表の試算（中間水位）

Iダムのように比較的無効放流が出やすいダムやKダムのように貯水容量が大きく流入量が少ないダムもある。このような特性を持つダムを利水面から効果的に使う方法として、貯水池に中間的な水位を設けた運用を想定する。

貯水位が推移する満水位から低水位の間に、平常時（渇水時以外）は、貯水位をこれ以下に下げないような中間水位を設定する。

下流利水者に対する貯水容量の確保や発電のための水頭の確保には、この中間水位を出来る限り高位にすることが望ましい。しかし、あまり高位に取りすぎると中小出水を溜め込めず、無効放流を多く出す結果となるため、中間水位を出来る限り下方にとっておきたい。

この両方の要求に対して、IダムやKダムのような特性を持つダムに応じた中間水位を設定できれば、効果的な利水運用に繋がるものと考えられる。

2006年のIダムとKダムについて、満水位から10%、30%、50%、70%、90%下げる5ケースの中間水位を設定し、Iダムは放流率=貯留率を70%、Kダムは放流率=貯留率を90%として、年間の利水運用を試算し、結果を表-5と表-6に整理した。なお、試算は単年計

表-5 Iダムの放流率=貯留率=70%による中間水位ケース毎の試算結果

Iダム(2006)	10%(中間水位)	30%	50%	70%	90%
総補給量(千 $\text{m}^3$ )	22,879[0.71]	39,250[1.23]	51,031[1.59]	56,750[1.77]	58,916[1.84]
総貯水量	3,399[0.11]	18,557[0.58]	39,249[1.23]	52,005[1.63]	73,438[2.29]
無効放流量(満水)	247,308	195,328	144,710	117,229	52,913
無効放流量(制限)	1,107	4,083	2,914	2,994	2,438
年間貯水量差	-20,586	-24,775	-14,696	-7,739	12,084
発電ポテンシャル(千 $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ )	290,301	245,909	209,410	177,059	139,048
満水回数	12	8	5	5	3
空回数	10	6	6	4	4

表-6 Kダムの放流率=貯留率=70%による中間水位ケース毎の試算結果

Kダム(2006)	10%(中間水位)	30%	50%	70%	90%
総補給量(千 $\text{m}^3$ )	20,881[0.27]	25,937[0.34]	25,973[0.34]	26,270[0.35]	26,270[0.35]
総貯水量	13,484[0.18]	38,958[0.51]	39,554[0.52]	51,045[0.67]	51,045[0.67]
無効放流量(満水)	52,606	17,131	15,471	0	0
無効放流量(制限)	6,837	0	0	0	0
年間貯水量差	-14,235	12,985	13,581	24,775	24,775
発電ポテンシャル(千 $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ )	430,931	362,050	277,842	191,013	88,326
満水回数	6	2	1	0	0
空回数	10	8	8	7	7

算（1月～12月）とし、試算の出発水位は両ダムとも中間水位からとした（以下同じ）。

評価項目は前章と同様とする。

Iダムでは、中間水位を下げるほど総補給量と総貯水量が増加するとともに無効放流は減少して、年間貯水量差は貯留に転じている。一方、発電ポテンシャルは平均的な水位差が減少するため小さくなっている。

これに対してKダムでは、中間水位を上げて総補給量と総貯水量の減少する割合は少なく、無効放流の増加も僅かである。また、年間貯水量差はほとんどのケースで貯留になっている。反面、発電ポテンシャルは大きくなっていて、ダム高が大きく発電に対する潜在能力を持っているので、絶対量もIダムに比べると大きい。

ここでも両ダムの利水面での特性が現れており、Iダムは、水位変動が大きく中間水位により貯水位の動きが制限されることが想定され、中間水位を設けるメリットはあまりない。しかし、Kダムでは水位変動が少ないため、中間水位を多少高く設定しても貯水位の動きが制限されることもなく、これをできる限り上げることが、利水運用と発電の両面から効果的である。

しかし、中間水位を設定するデメリットとして、総補給量について見ると、Iダムは中間水位100%（低水位）の場合6,080万 $\text{m}^3$ （表-1）に対し、中間水位70%では5,675万 $\text{m}^3$ （対比93%）、Kダムは中間水位100%の場合2,462万 $\text{m}^3$ （表-2）に対し、中間水位30%では2,594万 $\text{m}^3$ （同105%）。総貯水量では、Iダムは中間水位100%の場合7,602万 $\text{m}^3$ に対し、中間水位70%では5,201万 $\text{m}^3$ （対比68%）、Kダムは中間水位100%の場合5,105万 $\text{m}^3$ に対し、中間水位30%では3,896万 $\text{m}^3$ （同76%）となり、中間水位を設けることによって総じて貯水池の動きが制限される傾向にある。

次に、2001～2010年の10年の中で豊水年、渇水年及び比較的大きな洪水の有った年を抽出し、無効放流量（満水、制限）と発電ポテンシャルを指標として、IダムとKダムの妥当な中間水位を確認する。

豊水年と渇水年は年間の総流入量の大小によって、洪水の有無は、洪水期の出水の大きさによって選定する。なお、両ダムは直近にあるため、豊水、渇水、洪水の有った年のいずれも、同じ年を選定する。

これより、豊水年は2006年、渇水年は2003年、洪水年は2001年とした。

○対象年：2006年（豊水年）

<Iダム>

放流率 = 貯留率を70%とし、中間水位は10%～90%までを20%刻みで5ケースについて、無効放流量（満水）、（制限）及び発電ポテンシャルを算定する。

表-7 Iダム豊水年の中間水位ケース毎の無効、発電ポテンシャル

中間水位	10%	30%	50%	70%	90%
無効（満水）(千m <sup>3</sup> )	247,308	195,328	144,710	117,229	52,913
無効（制限）	1,107	4,083	2,914	2,994	2,438
無効（合計）	248,415	199,411	147,624	120,223	55,351
発電ポテンシャル(千m <sup>3</sup> /s・m)	290,301	245,909	209,410	177,059	139,048

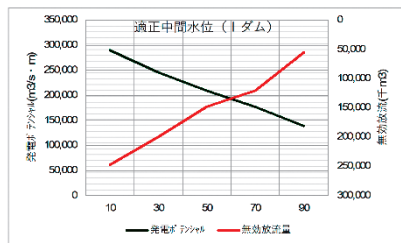


図-8 無効放流と発電ポテンシャルの関係

無効放流量と発電ポテンシャルとは、中間水位との関連において図-8に示すように相反する関係にあり、このことと表-7の無効放流量と発電ポテンシャルの値から2006年を対象にIダムの妥当な中間水位としては、概ね50～70%程度とする。

<Kダム>

放流率 = 貯留率を90%とし、中間水位は10%～90%までを20%刻みで5ケースについて、無効放流量（満水）、（制限）及び発電ポテンシャルを算定する。

KダムもIダムと同様に、2006年を対象に無効放流量と発電ポテンシャルを指標として、妥当な中間水位としては、概ね10～30%程度とする。

IダムとKダムの発電ポテンシャルは、同程度のオーダーの値を示している。

表-8 Kダム豊水年の中間水位ケース毎の無効、発電ポテンシャル

中間水位	10%	30%	50%	70%	90%
無効（満水）(千m <sup>3</sup> )	52,606	17,131	15,471	0	0
無効（制限）	6,837	0	0	0	0
無効（合計）	59,443	17,131	15,471	0	0
発電ポテンシャル(千m <sup>3</sup> /s・m)	430,931	362,050	277,842	191,013	88,326

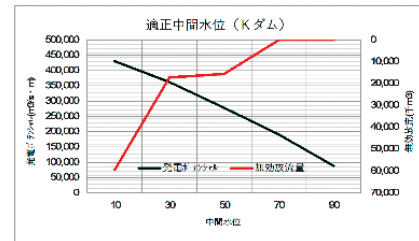


図-9 無効放流と発電ポテンシャルの関係

これは、前者は放流量が多く、後者は貯水位が高いことが影響しているものと考えられる。

無効放流量には、洪水時の洪水期制限水位（満水位も含む）を維持するための放流を含んでおり、これに対する割引（図-8と図-9の無効放流量の線分を押し上げて中間水位を上げる方向）を考えても良い。

一方、両ダムの無効放流を比べればIダムが圧倒的に多く、これからもIダムに中間水位を設定するメリットは少ないと考えられる。

○対象年：2003年（渇水年）

<Iダム>

表-9 Iダム渇水年の中間水位ケース毎の無効、発電ポテンシャル

中間水位	10%	30%	50%	70%	90%
無効（満水）(千m <sup>3</sup> )	156,383	109,549	86,303	66,753	66,753
無効（制限）	39,268	38,980	34,973	33,238	28,373
無効（合計）	195,651	148,529	121,276	99,991	95,126
発電ポテンシャル(千m <sup>3</sup> /s・m)	236,736	196,487	157,885	117,356	64,868

Iダムの妥当な中間水位は、豊水年（2006年）とほぼ同程度の値を示す。

<Kダム>

表-10 Kダム渇水年の中間水位ケース毎の無効、発電ポテンシャル

中間水位	10%	30%	50%	70%	90%
無効（満水）(千m <sup>3</sup> )	31,116	30,855	30,855	6,230	0
無効（制限）	1,034	0	1089	0	0
無効（合計）	32,150	30,855	31,944	6,230	0
発電ポテンシャル(千m <sup>3</sup> /s・m)	254,233	201,526	145,637	98,245	44,877

Kダムは、8月の出水による無効放流が中間水位を50%まで下げても解消しない。このケースでは発電ポテンシャルに重きを置いて、妥当な中間水位は10～30%程度とする。

○対象年：2001年（洪水年）

<Iダム>

表-11 Iダム洪水年の中間水位ケース毎の無効、発電ポテンシャル

中間水位	10%	30%	50%	70%	90%
無効（満水）（千m <sup>3</sup> ）	260,845	213,725	172,522	170,021	170,021
無効（制限）	1,533	923	155	155	155
無効（合計）	262,376	214,646	172,677	170,176	170,176
発電ポテンシャル（千m <sup>3</sup> /s・m）	419,410	340,875	250,970	159,047	75,623

Iダムの妥当な中間水位は、豊水年（2006年）、渇水年（2003年）とほぼ同程度の値を示す。

<Kダム>

表-12 Kダム洪水年の中間水位ケース毎の無効、発電ポテンシャル

中間水位	10%	30%	50%	70%	90%
無効（満水）（千m <sup>3</sup> ）	165,398	155,150	155,150	145,963	135,108
無効（制限）	0	0	0	0	0
無効（合計）	165,398	155,150	155,150	145,963	135,108
発電ポテンシャル（千m <sup>3</sup> /s・m）	1,204,286	957,023	695,594	444,333	233,611

Kダムは出水による無効放流が中間水位を下げてても解消せず、このケースでは発電ポテンシャルに着目して中間水位を上げる方向を有効とする。

これにより以降の試算では、Iダムの中間水位は70%、Kダムの中間水位は30%とする。

## 6. マスカーブと水利用状況年表の試算（貯水量図）

ここでは経年的な補給量、貯水量、無効放流量、発電ポテンシャルの推移を確認（表-13、表-14及び図-10、図-11）するとともに、マスカーブでは日平均

流量の積算値として図示してきたが、これを貯水量に換算（\*86,400sec/日）して、試算貯水量と実績貯水量の動きの違いを見る（図-12、図-13）。

なお、試算は、10カ年の連続計算（2001年～2010年）とし、2001年の出発水位は中間水位とした。また、実績貯水量は貯水池関連の工事等で水位の変動を制御している場合があるが、これについての詳細は定かではない。

Iダムは放流率＝貯留率を70%とし、中間水位は70%とした試算結果を表-13に示す。

IダムとKダムのある河川の2001年～2010年の10カ年は、大きな渇水もない比較的穏やかな期間であり、各年の補給量、貯水量と発電ポテンシャルには大きな変化はない。また、放流率と貯留率及び中間水位の試算で用いてきた2006年も、他の年と比べて特異な年ではない。

次に、Kダムは放流率＝貯留率を90%とし、中間水位は30%とした試算結果を表-14に示す。

Kダムでも2001年～2010年の10カ年の中で、補給量と貯水量には大きな変化はない。無効は大きな出水があった年は多く、発電ポテンシャルは10カ年を通して高い。2006年もIダムと同様に、他の年と比べ特異な年ではない。

また、10カ年平均でみると、補給量と貯水量はIダムが3,747万m<sup>3</sup>と3,524万m<sup>3</sup>に対し、Kダムが2,316万m<sup>3</sup>と2,355万m<sup>3</sup>で、Iダムの約6割程度になっている。無効はIダムが11,315万m<sup>3</sup>に対し、Kダムが5,234万m<sup>3</sup>と半分以下、発電ポテンシャルはIダムが12,666万m<sup>3</sup>/s・mに対し、Kダムが約43,103万m<sup>3</sup>/s・mと3倍以上になっており、ここでも両ダムの特性が表れている。

表-13 Iダムの放流率＝貯留率＝70%、中間水位＝70%の試算結果

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	10カ年平均
補給量(千m <sup>3</sup> )	31,974	57,765	33,689	57,243	25,382	56,750	31,526	18,246	36,027	26,075	37,468
貯水量	32,403	45,807	36,196	45,377	25,591	52,005	15,229	26,443	33,635	39,724	35,241
無効（満水）	170,021	83,292	66,759	101,476	157,019	117,229	120,695	121,289	36,838	71,302	104,592
無効（制限）	155	1,958	33,238	168	12,281	2,994	6,033	12,055	15,697	950	8,553
無効計	170,176	85,250	99,997	101,644	169,300	120,223	126,728	133,344	52,535	72,252	113,145
発電ポテンシャル（千m <sup>3</sup> /s・m）	159,047	139,384	117,356	149,722	138,515	176,955	116,795	103,103	76,299	89,381	126,656

表-14 Kダムの放流率＝貯留率＝90%、中間水位＝30%の試算結果

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	10カ年平均
補給量(千m <sup>3</sup> )	28,776	11,663	7,469	26,748	26,982	25,973	32,363	13,126	12,507	45,938	23,155
貯水量	11,843	16,296	6,676	44,231	5,893	38,958	5,470	25,138	33,180	47,774	23,546
無効（満）	155,150	47,314	30,855	49,505	58,072	17,131	85,318	31,320	32,897	13,927	52,149
無効（制）	0	0	0	0	0	0	0	2,159	0	0	216
無効計	155,150	47,314	30,855	49,505	58,072	17,131	85,318	33,479	32,897	13,927	52,365
発電ポテンシャル（千m <sup>3</sup> /s・m）	957,023	376,131	201,526	475,185	351,821	362,050	540,125	327,182	319,766	399,480	431,029

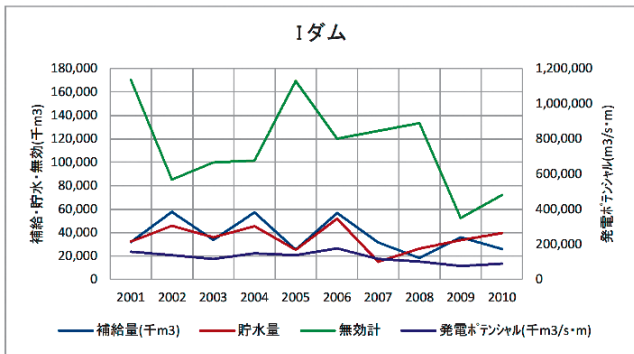


図-10 Iダムの放流率 = 貯留率 = 70%、中間水位 = 70%の経年傾向

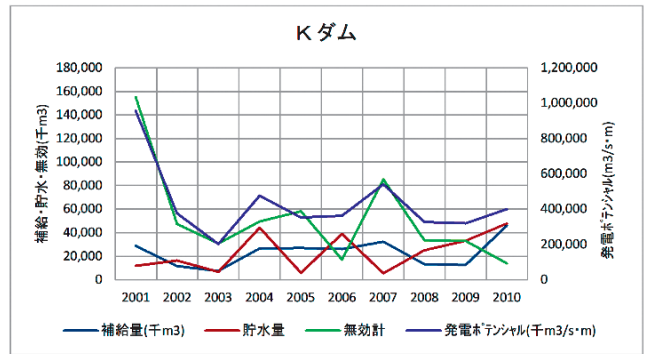


図-11 Kダムの放流率 = 貯留率 = 90%、中間水位 = 30%の経年傾向

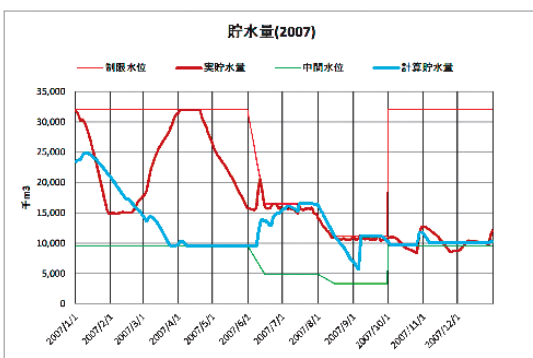
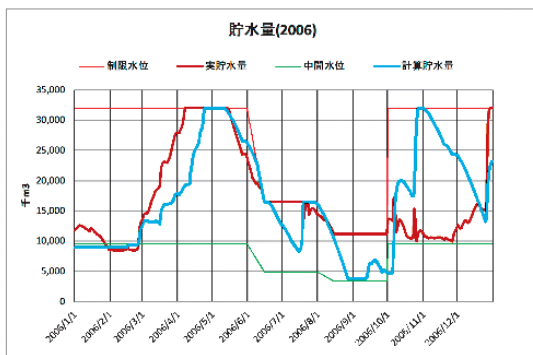
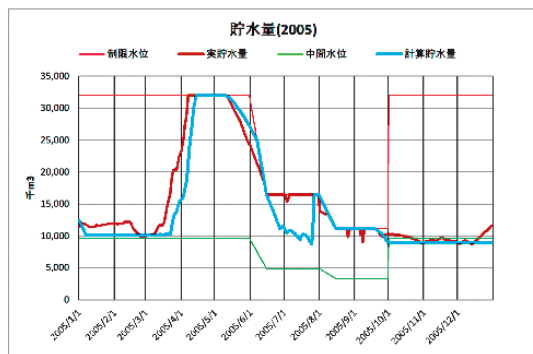


図-12 Iダムの貯水量曲線図

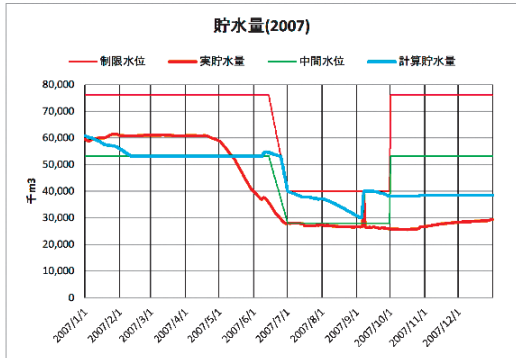
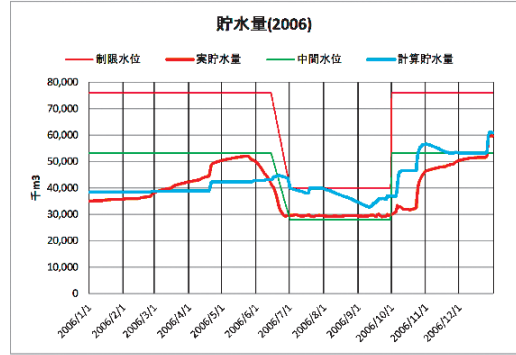
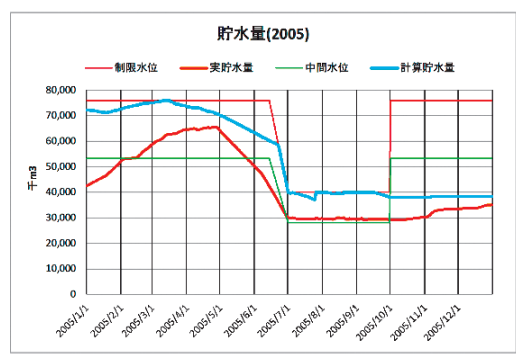


図-13 Kダムの貯水量曲線図

図-12に、Iダムの2005年～2007年の試算結果による試算貯水量を実績貯水量とともに示す。

Iダムの実績貯水量の年間推移は、4月の融雪期に貯水位を満水に持っていき、その後主に農業用水のための補給を行いながら洪水期制限水位に向けて貯水位を低下させ、秋から冬に掛けては、翌年の融雪期に向けて貯水位を維持又は徐々に上げていっている。

試算ではIダムは放流率 = 貯留率を70%とし、日平均流入量と年平均流入量の差分の70%を対象に補給、貯留を行い、維持する中間水位は70%としている。

試算貯水量の年間推移は、中間水位 (70%) から始まり実績よりやや遅く満水位に達し、これを維持して洪水期制限水位に向けて貯水位を低下させ、補給、貯留を何回か繰り返して、秋から冬は中間水位を維持し

ている。

中間水位を満水位の下方70%に設定していることもあり、春先から夏季にかけて試算貯水量は実績貯水量より低めに推移している。

2006年の秋季の試算貯水量は小出水の連続により上昇しており、2007年の冬春季に試算貯水量と実績貯水量の動きが大きく違うのは、春先の日平均流入量が年平均値流入量を下回る日が続き、試算では継続して補給が必要になったためである。

図-13に、Kダムの2005年～2007年の試算結果による試算貯水量を実績貯水量とともに示す。

Kダムの実績貯水量の年間推移は、4月の融雪水が多くは期待できないため春先は貯水位を中位で維持し、その後洪水期制限水位に向けて貯水位を低下させ、秋から冬に掛けて概ねこれを維持している。

試算ではKダムは放流率＝貯留率を90%とし、日平均流入量と年平均流入量の差分の90%を対象に補給、貯留を行い、維持する中間水位は30%としている。

試算貯水量の年間推移は、3ヵ年とも実績貯水量とほぼ同様な動きを見せているが、洪水期制限水位の影響と流入量が少ないこともあり、秋から冬に中間水位まで回復できない年がある。

## おわりに

ダムの水運用として河川水補給や発電があつて、その中でダムごとに貯水池の規模やダムへの流入量の多寡等が異なっている。この異なる条件の基で如何に効果的に水運用を行うかは、ダムの有効活用が叫ばれる中で重要な課題である。

ハイブリッドダムは、ダムの働きである洪水調節、発電並に地域活性化への貢献に対して更に高度な使い方をしようとする取り組みであるが、洪水対応を優先することを前提として、ダムの日常の運用で河川水補給や発電に対し、利水安全度の向上や発電ポテンシャルの増加を意識した使い方を模索して行くことも重要である。

今回のマスカーブと水利用状況年表による試算は、ダムの流入量だけを使って簡易な水運用を再現し、平常時にはこれより貯水位を下げない中間水位を設定して無効放流と発電ポテンシャル等を指標に、この中間水位の有効性を確認した。

これはダム貯水池の規模や流入量の多寡といったダムの特性に応じた効果的な水運用を模索する上の1つの材料になるものと考えている。

## 参考文献

- ・ダムの最適利水運用 許士 達広（開発土木研究所環境水工部長）
- ・ダムの管理例規集 令和3年度版 一般財団法人 水源地環境センター