

中小水力発電を行う農業用ダムにおける効率的なダム運用 計画に関する考察

誌名	農業土木試験場技報. HE, 水工
ISSN	02870029
著者	後藤, 眞宏 中, 達雄 吉野, 秀雄
巻/号	8号
掲載ページ	p. 13-28
発行年月	1988年3月

中小水力発電を行う農業用ダムにおける 効率的なダム運用計画に関する考察

後藤真宏*・中 達雄**・吉野秀雄*

A Study of Efficient Reservoir Operating Plan for Irrigation Dams also Utilized in Small-Scale Hydro-Power Generation

by Masahiro GOTOH, Tatsuo NAKA and Hideo YOSHINO

目 次

I 緒言	13	V 算定結果	20
II 対象地区の概要	14	VI 結言	27
III ダム運用の概要	15	参考文献	28
IV 算定ケース	18		

I 緒 言

土地改良事業において、昭和58年度から灌漑排水事業で、59年度からは、農地開発事業で新設改修される農業用排水の一工種として、小水力発電施設を取込み造成できるようになった。

昭和62年8月現在、土地改良事業として小水力発電事業が、完了及び着工した地区、実施設計段階の地区を合わせて12地区ある。

昭和62年6月には、土地改良事業として初めて、大分県宮大野原地区灌漑排水事業大野原発電所が運用を開始した。

同発電所では、師田原ダム(有効貯水量2,912千 m^3 、堤高57m、堤長219m)からの灌漑用水を利用して発電するもので、横軸ペルトン水車を使用し、最大出力260kWである。

他の11地区の発電型式を見ると、ダム式及びダム水路式が5地区、水路式は6地区である。

発電計画を策定する場合、多岐に亘る検討を必要とするが、この検討作業は簡略化して言えば『河川の取水、放水地点を選び取水地点の河川流量から発電に利用する

最大取水量(最大使用水量)を決め、その水量と放水地点までの落差との相乗積からエネルギーを求め、一方、取水・導水・放水並びに水の持つエネルギーを電気エネルギーに変換する各種設備等の築造、据付に要する資金を求め、発生する電力の経済性から開発の可否を判断したり、あるいは開発が可能となるよう種々の検討、工夫を加える一連の作業』¹⁾といえる。

これら作業の中で最大使用水量の決定は、出力や各種設備の規模を決めるとともに、発生する電力量をも規定するものである。最大使用水量は河川流量からおおよその値が決められた後、いくつかの値について発生電力量を試算し決定される。このため多くの時間と労力を要する。

特に完全農業従属型の発電は、今までほとんど行われておらず、最大使用水量の算定は個々の地区で算定されてきた。農業用水を利用した発電形態はそれぞれ異なり、従って算定方法も地区により違うため、計画技術者は1地区ごとに多くのケースについて算定しなければならず多くの労力を要した。

山本ら²⁾により、パーソナルコンピュータを用いて、最大使用水量・水車型式等を変えて、多くのケースについて容易に発生電力量を算定できる汎用プログラムが作成された。これにより短時間で発生電力量の算定が可能と

*水工部流体エネルギー研究室

**水工部施設水理第2研究室

昭和62年9月29日受理

なった。更に前報³⁾では、ダム貯留水の有効利用のための種々の検討を行った。

水路式発電は、期別の使用水量によって発電量が規制されるが、ダム式発電の場合、ダム貯水量に余裕がある時は、下流への放流量を増加させ発電量増加を図ることができる。この場合、農業用ダムで農業必要水量に従って行われていたダム放流操作では発電量の増加は図れない。そこで農業用水を満足させ、かつ発電を効率的に行うことができるダム運用計画が必要となる。本報告ではこれらを満足できる貯水池操作計画をダム運用計画と呼び、この最適なダム運用計画について検討を行うものである。ダム運用計画は、ダム放流操作の判断基準となる期別の確保水位を算定することであり、確保水位の決定には発電及び農業の両面からの検討が必要となる。このためここで言うダム運用計画とは、従来言われてきた洪水時の操作等とは本質的に異なるものである。

これまで農業用ダムを利用した発電計画は個別に策定され、そのうち数地区では個別にダム運用計画が検討されたが、その指標となるべきものがないため数多くの比較検討が行われていた。そこで本報告では、ダム運用計画について述べるとともに、最適なダム運用計画を策定するための指標を得ることを主体に検討を行った。

本報告の一部は、農林水産省構造改善局計画部事業計画課及び資源課の依頼を受けて実施したものである。事業計画課、資源課及び事業所の担当の方々に深く謝意を表す。

II 対象地区の概要

1 T地区の概要

(1) 概要

本事業地区は、I県H市を中心とする4,750ha余りの水田地帯である。主水源はT川のTダムで、有効貯水量は23,257千m³である。このTダムにおける最大有効落差は51.85mで、これを利用してダム式水力発電を行う計画である。

(2) 使用データ

① 流量及び水位データ

1975年～1984年のダム日別放流量及び日別水位データ

② 農業水利権水量

農業水利権は、ダム地点には設定されておらず、ダム下流11km地点のN頭首工に設定されている。

③ ダム水位と貯水量

ダム水位と貯水量の関係から直線近似で求める。

④ 水車効率及び発電機効率

水車及び発電機の効率は、総合効率として事業地区よ

り与えられたものを用いた。

⑤ 最大出力、発生電力量の算定

最大出力は次式から算定する。

$$P = 9.8 \times Q_{\max} \times H_{e\max} \times \eta$$

P : 最大出力 (kW)

Q_{\max} : 最大使用水量 (m³/sec)

$H_{e\max}$: 最大有効落差 (m)

η : 総合効率。

年間発生電力量は次式から算定する。

$$E = \sum_{i=1}^{365} (9.8 \times Q(i) \times H(i) \times \eta(i) \times 24)$$

E : 年間発生電力量 (kWh)

$Q(i)$: 使用水量 (m³/sec),

$H(i)$: 有効落差 (m)

$\eta(i)$: 総合効率。

2 S地区の概要

(1) 概要

本事業地区は、F県灌漑排水事業S地区の土地改良事業の一環として、土地改良施設の管理用電力を供給するため自家用発電所を建設しようとするものである。用水源であるMダム直下で発電を行う計画であり、有効落差は42.21mである。Mダムの有効貯水量は9,200千m³である。

(2) 使用データ

① 流量データ

1967年～1976年のMダム半旬別ダム流入量及びダム放流量データ

② ダム水位と貯水量

ダム水位は、ダム水位—貯水量曲線から直線近似で求める。

③ 機械効率

本地区の場合、機械効率は水車効率、増幅機効率及び発電機効率の3種類である。

3 K地区の概要

(1) 概要

本国営S地域農業開発事業K地区は、13,530haに畑地灌漑を実施している。この水源として有効貯水量7,982千m³のUダムを計画している。Uダムは有効落差29.16mでこれを利用して発電を行う計画である。

(2) 使用データ

① 流量データ

1973年～1983年のUダム半旬別ダム地点流入量及びダ

ム依存量データ

② ダム貯水位と貯水量

ダム水位は、ダム水位-貯水量曲線を直線近似して求める。

③ 水車効率及び発電機効率

両効率曲線とも関数に近似して発電力を算定した。

III ダム運用の概要

農業用ダムを利用して発電を行う場合に、ダムの貯留水運用面において、農業用単独ダムや発電用ダムと比較してかなり違いがある。

第一に農業用単独ダムにおいては、期別の水利権に従い貯留水を放流するが、発電を考慮した場合、貯留水を可能な限り有効に発電に使い、発生電力量の増加を図ることである。このため各時期に貯留水にどの程度の余裕があるか把握しておく必要がある。

一方、発電専用ダムと比較した場合、発電専用ダムでは電力消費がピーク時に必要な限りの貯留水を流下させる等の操作が可能であるが、農業用水を含んだ場合、全量放流などは以後の用水確保から考えて不可能になり、貯留水の運用が異なる。

第二に発電を考慮した場合、ダム貯水位をできるだけ高く保つことが必要であるということである。農業用単独ダムには、それ以後水不足を生じなければ、ダム貯水位はいかように設定しても問題はなく、流入が多く期待される場合は、むしろダムを空にした方が無効放流を減らすことができる。一方、発電を行うダムにおいて発生電力量は、流量と落差の積で表されるので、貯水位を高く保つことによって有効落差が増し、発生電力量を増加させることができる。

以上のような点から、農業用ダムにおいて発電を行う場合のダム貯留水運用計画は、農業用ダムとして、かつ発電用ダムとして満足のいくものでなければならない。従って、貯留水の効率的利用を考えた時に、運用計画は新たに策定する必要がある。

1 ダム必要確保水量

ダム貯留水運用計画を策定する場合、最も基本となる事項は、各時期に貯留しておかなければならない必要量、すなわちダム必要確保水量である。

ダム必要確保水量とは、計画対象期間においてある時期にダム必要確保水量以上の貯留水があれば、それ以後、水不足を生じない水量で、ダム貯留水運用計画の目安となるものである。従って、ダム必要確保水量を下回らない範囲で、発生電力量を増力させるようにダム貯留水の

運用を行えばよいことになる。

ダム必要確保水量の算定法は、まず各時期（半月又は日）ごとに水収支計算を行い、各時期に貯留しておく必要量を求める。水年を暦年に設定した場合、12月の最終期から1月にかけて各時期の必要量を累加し、年間のダム必要確保水量を算出する。

以下に算定式を述べる。

$Q(i)$: 河川流量 (ダム流入量)

$N(i)$: 責任放流量, 維持放流量等の下流への放流量

$K(i)$: 農業用水量, 上工水等のダム依存量

$Q_r(i)$: 貯水可能量

$Q_n(i)$: 各時期ごとのダム必要水量

$Q_t(i)$: ダム必要確保水量

として、

$$Q_r(i) = Q(i) - N(i)$$

$$Q_n(i) = Q_r(i) - K(i)$$

以上で期別ごとのダム必要量が求まる。但し、

$Q_n(i) < 0$: この時期内で不足する水量は $Q_n(i) \times (-1)$

$Q_n(i) \geq 0$: この時期内で貯留可能な水量は $Q_n(i)$

これを最終期(半月データは72, 日データは365)より累加し、年間のダム必要確保水量を求める。式で示せば、

$$Q_t(i) = Q_t(i-1) + Q_n(i) \times (-1)$$

となる。但し、 $Q_t(i) < 0$ の場合はダムに確保する必要がないので $Q_t(i) = 0$ とする。

上式は、ごく一般的な水収支計算を行った場合である。今回調査を行ったK地区の場合は、ダム地点での河川流量が $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以上の場合は、 $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以上はカットし貯留する。

一方、 $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下の場合は、そのまま河川流量を放流することになっている。このためK地区におけるダム必要確保水量は、Fig. 1のフローチャートに示したような計算を行う。

このようにして算出したダム必要確保水量を、資料を有する全年について求める (Fig. 2)。

2 期別確保水量

各時期にダム必要確保水量以上の貯留水があれば、それ以後水不足を生じないが、10年前後の水文データから異常渇水を考慮した年間のダム運用計画を策定するのは危険である。

又、特に非灌漑期(1月~4月上旬, 9月~12月)におけるダム必要確保水量は Fig. 2を見ると一般に少なく、

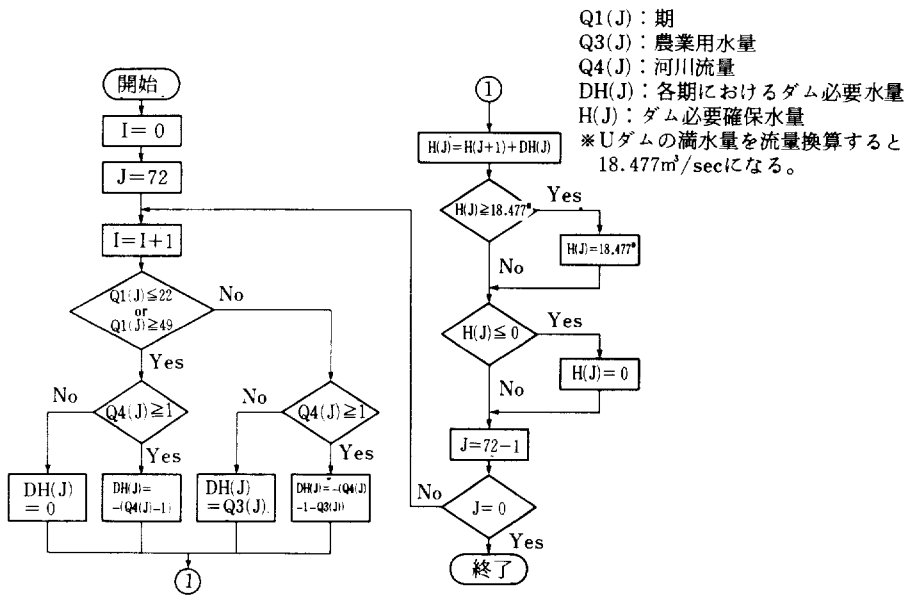


Fig. 1 ダム必要確保水量

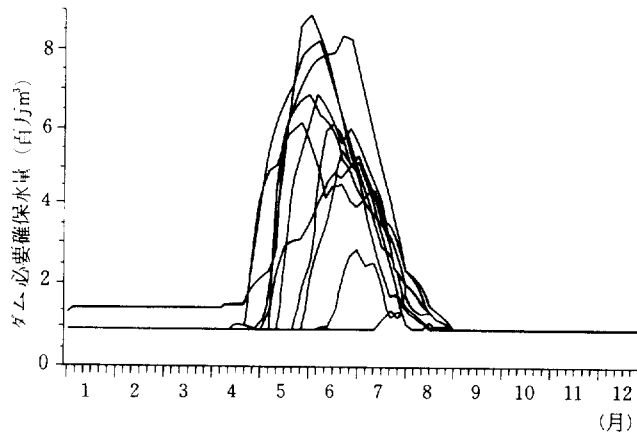


Fig. 2 ダム必要確保水量

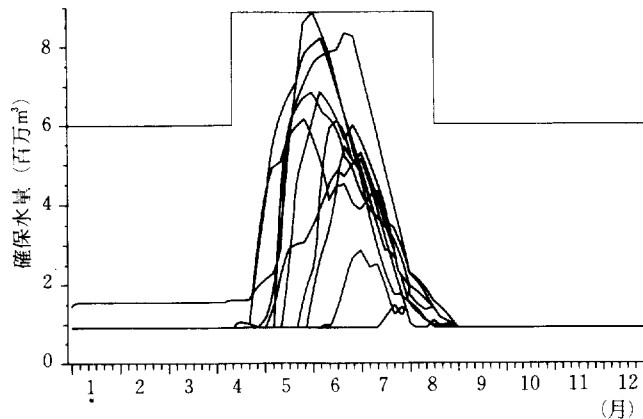


Fig. 3 期別確保水量

ダム水位を低く設定することは有効落差を減少させ、発生電力量を減らす結果になる。

このため異常渇水に備えて余裕を見込むとともに、ダム運用を行う際、どの程度の水位の時に発生電力量が多く発生するのか知る上での目安として、期別確保水量を設定する。従って、期別確保水量は、Fig. 3に示したようにダム必要確保水量を包括する形となる。

3 最低基準水位

ダム必要確保水量以上であれば、期別確保水量は如何様にも設定できる。しかし、どの程度に設定すれば効率的な発電が可能となるか判断しにくい。そこで貯水量の平均増加量（有効貯水量／利用水深）を期別確保水量を求めると、判断基準となる水位として用いることとした。これは、いままで調査を行った地区において、平均増加量となる水位が利用水深の半分程度の水位になっており、この水位以下では有効落差が減少し、発生電力量の増加が図れないと判断したためである。そこで貯水の平均増加量（有効貯水量／利用水深）をもとに、数種類の期別確保水量パターンを設定し、発生電力量の算定を行い、最適な期別確保水量を求めた。具体的には、平均増加量を k 倍した値 ($k > 1$) を各パターンの最低水位とし、これ以下ではダム運用を行わないとした。これを各期別確保水量パターンの最低基準水位と呼ぶことにした。

4 ダム運用を行う場合の発電使用水量の算定

ダム運用を行う場合の発電使用水量の算定において、大きく2つのケースにわかれる。ダム貯水量が期別確保水量を上回る場合と下回る場合である (Fig. 4参照)。

a ダム貯水量が期別確保水量を上回る場合

ダム貯水量が期別確保水量を上回る場合は、期別確保水量以上の貯留水について、積極的に流下させ発電量の増加を図る。このケースには以下の3通りの場合が考えられる。

まず最大使用水量が発電使用可能量を上回り、かつ下流への放流量に十分余裕がある場合である。この場合、発生電力量を増加させるため、最大使用水量と発電使用可能量の流量差だけ発電使用水量を増加させることが可能である。この場合には、発電使用水量は最大使用水量となる (Fig. 4の case a)。

次に最大使用水量が発電使用可能量を上回るが、下流への放流量に余裕が十分でない場合である。このケースのように最大使用水量まで放流量の増加が図れない場合は、期別確保水量までの貯水量を加えることによって発生電力量の増加を図る。このため発電使用水量は、発電使用可能量に期別確保水量以上の貯水量分を加えた水量となる (Fig. 4の case b)。

最後に発電使用可能量が最大使用水量を上回る場合は、最大使用水量以上の流量は発電に用いられないため、下流への放流可能な貯水量が存在しても無効放流となる。このため発電使用水量は最大使用水量と等しくなる (Fig. 4の case c)。

b ダム貯水量が期別確保水量を下回る場合

この場合には、下流への放流量の増加は図れないので、ダム貯留水の運用は行えない。このため発電使用水量は、発電使用可能量と最大使用水量の関係より定まる。従って以下の2通りが考えられる。

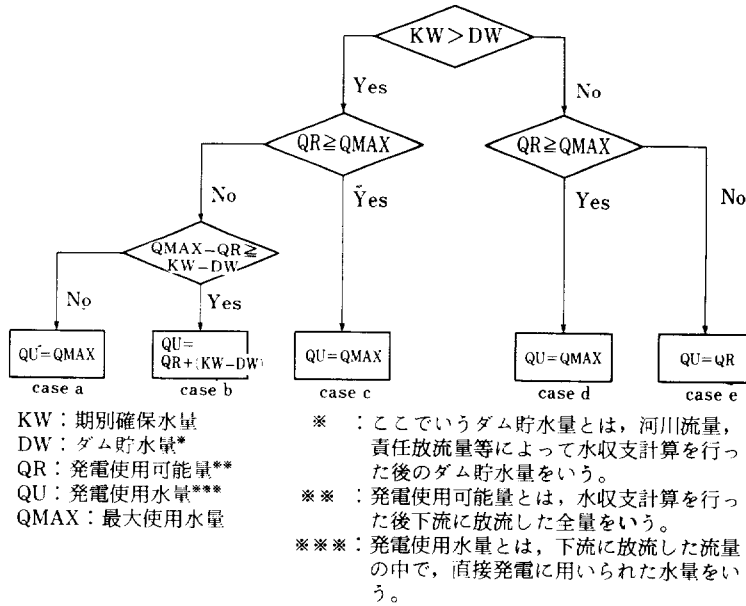


Fig. 4 ダム運用を行った場合の発電使用水量

まず、発電使用可能量が最大使用水量を上回る場合である。このケースでは発電使用水量は最大使用水量となる (Fig. 4の case d)。

一方、最大使用水量が発電使用可能量を上回る場合は、放流量の増加が図れないため、発電使用水量は発電使用可能量となる (Fig. 4の case e)。

発電使用水量の算定は、以上の5ケースに分けられる。

IV 算定ケース

1 T地区における算定ケース

Tダムでは水位1 m当たりのダム平均増加量 (23,356 千 m³/39.5m=589,000m³/m) と水位が1 m上昇した時のダム貯水増加量が概ね等しくなる水位が EL 280m, 貯水量にして4,295.7千 m³となった。このことから期別確保水量パターンは以下の5通りとした。

(1) パターン I

パターン I における最低基準水位は、貯水増加量がダム平均増加量と同じになる水位 EL 280m とした。他は最低期別確保水量と同じとした。

(2) パターン II

パターン II は、貯水増加量がダム平均増加量の1.5倍となった水位 EL 288m を最低基準水位 (貯水量10,262千 m³) とした。他は最低期別確保水量と同じとした。

(3) パターン III

パターン III は、貯水増加量がダム平均増加量の2.0倍となった水位 EL 294m を最低基準水位 (貯水量16,431千 m³) とした。他は最低期別確保水量と同じとした。

(4) パターン IV

パターン IV は、貯水増加量がダム平均増加量の2.16倍となった水位 EL 296m を最低基準水位 (貯水量18,809千 m³) とした。他は最低期別確保水量と同じとした。

(5) パターン V

パターン V は、貯水増加量がダム平均増加量の2.26倍となった水位 EL 298m を最低基準水位 (貯水量21,348千 m³) とした。他は最低期別確保水量と同じとした。

以上の5つのパターンを Fig. 5に示した。

2 S地区における算定ケース

(1) パターン I

Mダムの1 m当たりのダム貯水増加量は、383千 m³/mであった。この平均増加量と概ね等しい増加量である水位 EL 396m (貯水量3,014千 m³) をパターン I の最低基準水位とした。他はMダムにおける最低期別確保水量と同じである。

(2) パターン II

パターン II は、貯水増加量がダム平均増加量の1.5倍となった水位 EL 402m を最低基準水位 (貯水量5,938千 m³) とした。他は最低期別確保水量と同じとした。

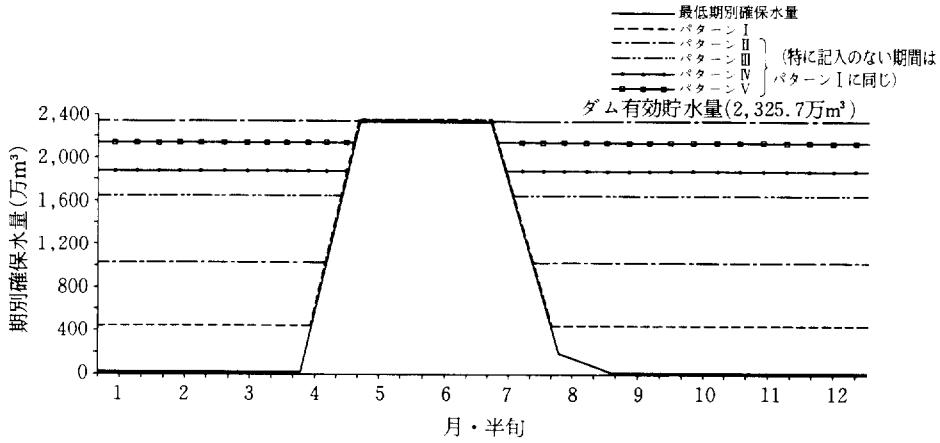


Fig. 5 期別確保水量図 (T地区)

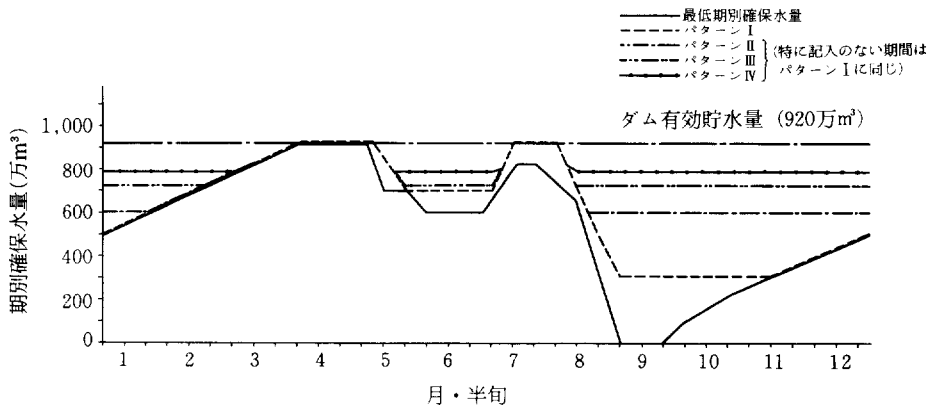


Fig. 6 期別確保水量図 (S地区)

(3) パターンIII

パターンIIIは、貯水増加量がダム平均増加量の1.6倍となった水位 EL 404m を最低基準水位 (貯水量7,157千 m³) とした。他は最低期別確保水量と同じにした。

(4) パターンIV

パターンIVは、貯水増加量がダム平均増加量の1.75倍となった水位 EL 405m を最低基準水位 (貯水量7,827千 m³) とした。この水位は満水位標高から 2 m 低いだけである。他は最低期別確保水量と同じにした。

以上の4つのパターンを Fig. 6 に示した。

3 K地区における算定ケース

Uダムの 1 m 当たりのダム貯水増加量は、343千 m³/

m であった。この平均増加量と概ね等しくなる増加量は、水位 EL249m (貯水量2,719千 m³) の時である。期別確保水量パターンを以下の7通りとした。

(1) パターン I

パターン I では、最低基準水位をダム平均増加量と等しい水位 EL 249m とした。

(2) パターン II

パターン II は、貯水増加量がダム平均増加量の1.1倍となった水位 EL 252m を最低基準水位 (貯水量3,809千 m³) とした。

(3) パターン III

パターン III は、貯水増加量がダム平均増加量の1.15倍となった水位 EL 255m を最低基準水位 (貯水量4,919千

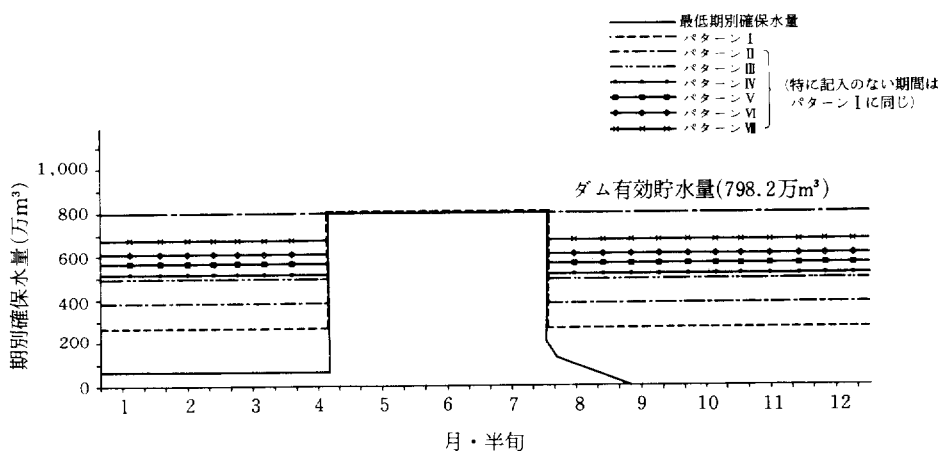


Fig. 7 期別確保水量図 (K地区)

m³)とした。

(4) パターンIV

パターンIVは、貯水増加量がダム平均増加量の1.26倍となった水位 EL 256m を最低基準水位 (貯水量5,294千 m³)とした。

(5) パターンV

パターンVは、貯水増加量がダム平均増加量の1.37倍となった水位 EL 257m を最低基準水位 (貯水量5,734千 m³)とした。

(6) パターンVI

パターンVIは、貯水増加量がダム平均増加量の1.49倍となった水位 EL 258m を最低基準水位 (貯水量6,219千 m³)とした。

(7) パターンVII

パターンVIIは、貯水増加量がダム平均増加量の1.62倍となった水位 EL 259m を最低基準水位 (貯水量6,739千 m³)とした。

以上の7つのパターンを Fig. 7に示した。

4 使用データが発生電力量に与える影響

発生電力量の算定のために用いられたデータとして河川流量、農業用水量、ダム依存量、上工水等が挙げられる。それらは日単位データ、半月単位データ、月単位データに分けられる。

多くの地区では半月単位データが整理されている。これは、土地改良事業の用水計画が半月単位であること、更に日単位データの場合、資料が膨大になること、又その整理、解析に時間がかかるため半月単位データになっていると考えられる。

そこで使用データの違いが発生電力量にどのように影響を与えているか検討を行う。

V 算定結果

農業用ダムを利用して発電を行う場合に、発電規模決定に最も大きく影響するのは河川流量である。そして如何に河川水を効率よく利用するかは、最大使用水量によって左右される。従って、最大使用水量の決定は慎重に行わなければならない。

1 算定結果

Table 1~3に示したのは、最大使用水量及び期別の確保水量パターンを種々に変え、発生電力量及び各利用率を算定した結果である。

表中の各利用率の定義を以下に示す。

a 流量設備利用率

年間を通して最大使用水量を使用した場合の総量に対

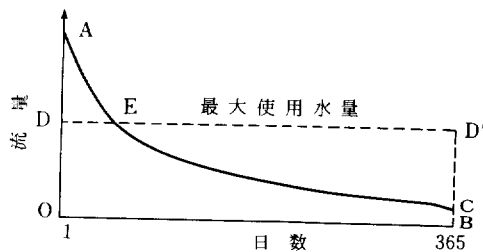


Fig. 8 各種利用率の記号説明図

Table 1 T地区における確保水量パターン別、設備利用率・年間発生電力量(9カ年平均,日別データ)

最大使用 水量	確保水量 パターン		なし	I	II	III	IV	V
	項目							
(m³/sec) 5.0	流量設備利用率 (%)		59.8	75.8	72.3	68.1	66.4	64.1
	流量落差利用率 (%)		58.5	62.1	63.8	63.7	63.3	62.2
	設備利用率 (%)		55.2	60.7	62.1	62.4	62.0	60.8
	河水利用率 (%)		72.2	91.6	87.2	82.0	80.0	77.3
	年間発生電力量(MWh)		9,959	10,953	11,196	11,258	11,185	10,966
5.5	流量設備利用率 (%)		56.6	70.6	67.5	63.8	62.3	60.4
	流量落差利用率 (%)		55.3	57.0	59.2	59.5	59.3	58.5
	設備利用率 (%)		51.6	55.7	57.6	58.2	57.9	57.0
	河水利用率 (%)		75.1	93.6	89.5	84.5	82.5	80.0
	年間発生電力量(MWh)		10,130	10,951	11,306	11,432	11,375	11,191
6.0	流量設備利用率 (%)		53.6	65.9	63.4	60.0	58.7	57.0
	流量落差利用率 (%)		52.4	52.4	55.2	55.9	55.8	55.2
	設備利用率 (%)		47.9	50.6	53.0	54.1	54.0	53.3
	河水利用率 (%)		77.6	95.2	91.6	86.7	84.8	82.3
	年間発生電力量(MWh)		10,156	10,727	11,239	11,470	11,437	11,288
6.5	流量設備利用率 (%)		50.8	61.7	59.6	56.6	55.4	53.9
	流量落差利用率 (%)		49.7	48.4	51.7	52.7	52.7	52.2
	設備利用率 (%)		44.8	46.4	49.3	50.7	50.7	50.1
	河水利用率 (%)		79.6	96.5	93.3	88.6	86.7	84.3
	年間発生電力量(MWh)		10,151	10,521	11,185	11,502	11,486	11,360
7.0	流量設備利用率 (%)		48.2	57.8	56.2	53.6	52.5	51.0
	流量落差利用率 (%)		47.1	44.7	48.5	49.7	49.8	49.4
	設備利用率 (%)		41.8	42.6	46.0	47.6	47.6	47.1
	河水利用率 (%)		81.3	97.4	94.8	90.2	88.3	85.9
	年間発生電力量(MWh)		10,017	10,201	11,019	11,406	11,400	11,294

し、実際に発電に使用した総量の割合を示すものである。Fig. 8より以下の式となる。

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{面積 DOBCE}(\text{m}^3/\text{sec} - \text{day})}{\text{DO} \times 365(\text{m}^3/\text{sec} - \text{day})} \times 100(\%)$$

b 流量落差利用率

本用語は一般的ではないが、年間を通じて、ある最大使用水量が常に最大有効落差で利用可能とした場合に対し、実際に取水可能な流量をある有効落差を利用して発電した割合を示すもので、以下に式を示す。

$$\text{流量落差利用率} = \frac{\sum H(i) \times Q(i)}{\text{最大有効落差} \times \text{最大使用水量} \times 365} \times 100(\%)$$

ここに、 $H(i)$: i 日目の有効落差(m)

$Q(i)$: i 日目の発電使用水量(m^3/sec)。

一般に調整率が小さい貯水池式の比較開発規模は、概

ね65%~50%程度の範囲内で検討がなされている。

c 設備利用率

発電設備が年間を通じて最大出力で運転できたとした場合の発生電力量に対し、実際に発生した電力量の割合を示すもので下式により計算される。

$$\text{設備利用率} = \frac{\text{年間発生電力量}(\text{kWh})}{\text{最大出力}(\text{kW}) \times 8,760(\text{hr})} \times 100(\%)$$

d 河水利用率

発電に使用可能な水量、すなわち実際に下流に放流した水量に対し、発電に用いられた水量の割合を示すものである。Fig. 8を用いて示せば下記の通りである。

$$\text{河水利用率} = \frac{\text{面積 DOBCE}(\text{m}^3/\text{sec} - \text{day})}{\text{面積 AOBCE}(\text{m}^3/\text{sec} - \text{day})} \times 100(\%)$$

Table 2 S地区における確保水量パターン別, 設備利用率・年間発生電力量,
(9カ年平均, 半旬別データ)

最大使用水量	確保水量パターン		なし	I	II	III	IV
	項目						
(m ³ /sec) 0.7	流量設備利用率 (%)		69.9	75.1	75.6	75.2	74.6
	流量落差利用率 (%)		67.7	71.1	71.8	71.8	71.5
	設備利用率 (%)		58.3	62.0	62.7	62.6	62.2
	河水利用率 (%)		57.7	62.0	62.5	62.1	61.6
	年間発生電力量 (MWh)		1,142.6	1,214.6	1,228.9	1,225.9	1,219.6
0.9	流量設備利用率 (%)		62.8	67.5	67.8	67.4	66.8
	流量落差利用率 (%)		60.8	63.0	63.7	63.9	63.8
	設備利用率 (%)		51.0	53.7	54.3	54.5	54.2
	河水利用率 (%)		66.7	71.7	72.0	71.6	71.0
	年間発生電力量 (MWh)		1,285.6	1,352.3	1,368.2	1,372.1	1,364.3
1.1	流量設備利用率 (%)		56.7	61.2	61.3	61.0	60.4
	流量落差利用率 (%)		54.9	56.5	57.1	57.5	57.5
	設備利用率 (%)		44.5	46.5	47.0	47.4	47.2
	河水利用率 (%)		73.6	79.5	79.6	79.2	78.4
	年間発生電力量 (MWh)		1,369.4	1,430.2	1,447.3	1,459.0	1,453.1

Table 3 K地区における確保水量パターン別, 設備利用率・年間発生電力量 (11カ年平均, 半旬別データ)

最大使用水量	確保水量パターン		なし	I	II	III	IV	V	VI	VII
	項目									
(m ³ /sec) 1.880	流量設備利用率 (%)		60.0	70.0	67.8	65.8	65.0	64.1	63.3	62.3
	流量落差利用率 (%)		63.4	62.1	64.1	65.1	62.3	65.3	65.1	64.8
	設備利用率 (%)		50.2	49.8	51.3	51.9	52.0	52.0	51.8	51.4
	河水利用率 (%)		64.1	74.2	72.1	70.0	69.2	68.3	67.4	66.4
	年間発生電力量 (MWh)		1,731	1,719	1,770	1,793	1,796	1,795	1,788	1,775
2.040	流量設備利用率 (%)		57.2	66.5	64.5	62.5	61.7	61.0	60.1	59.1
	流量落差利用率 (%)		60.4	58.6	60.6	61.7	61.9	61.7	61.8	61.5
	設備利用率 (%)		47.9	47.1	48.6	49.4	49.5	49.5	49.3	49.0
	河水利用率 (%)		66.3	76.4	74.3	72.1	71.3	70.4	69.5	68.4
	年間発生電力量 (MWh)		1,787	1,757	1,814	1,843	1,847	1,847	1,839	1,827
2.345	流量設備利用率 (%)		52.5	60.6	58.8	57.1	56.6	55.8	55.1	54.2
	流量落差利用率 (%)		55.4	52.8	55.0	56.1	56.4	56.6	56.5	56.2
	設備利用率 (%)		44.3	42.8	44.5	45.3	45.5	45.5	45.4	42.3
	河水利用率 (%)		70.0	80.0	77.9	75.7	75.0	74.1	73.2	72.1
	年間発生電力量 (MWh)		1,880	1,818	1,889	1,924	1,932	1,934	1,927	1,914

各地区とも最大使用水量を増加させることによって、流量設備利用率、流量落差利用率、設備利用率は減少しているが、河水利用率は増加している。最大使用水量を増加させることは、河川水を可能な限り利用する点からは有利である。しかし、最大使用水量を増加させること、すなわち設備を大型化することは、大流量まで発電できる反面、低流量での発電が不可能となり、設備の効率的利用及び経済性を考えると、必ずしも有利とはいえない。

又、発生電力量は最大使用水量を増加させることによって増加している。しかし、最大使用水量を大きく設定し過ぎると、水車の適用範囲が上がり低流量が発電不可能となり、発生電力量は減少する。

期別確保水量パターンの違いによる各利用率の変化を見ると、流量設備利用率及び河水利用率は、確保水量を上昇させる（パターンIからVIIへと変化させる）と減少していく。これはダムに期別確保水量以上の貯留水がある場合、最大使用水量を上限として流下量を増加させるが、確保水量が高いとダム貯水を利用できないため、発電に使用可能な流下量が減少し利用率が低下していく。

流量落差利用率、設備利用率及び年間発生電力量は、確保水量を上昇させるとともに増加する。しかし、ある最低基準水位を境にして減少する。これは、最低基準水位を上昇させること（貯水位を高く保つこと）によって有効落差は増加するが、一方無効放流量が増加したためである。すなわち発電量は流量と落差の積で表されているので、ある最低基準水位までは落差が発生電力量を左右する主因子になりそれ以上では流量が主因子となっているためである。

Table 4, 5, 6に示したように各地区とも確保水量パターンを設定しない場合（この場合、確保水量＝満水量と考えられる）に比較して設定した方が発生電力量は増加している。T地区の増加量が著しく、最大14%近く増加している。S地区では7%、K地区では4%程度である。

又、これまでに解析されたN用水地区では、確保水量パターンを設定することにより、17%の増加が見込まれている。

従って、確保水量パターンの設定によっても異なるが5%～10%程度の増加が期待できるものといえる。

Table 4 T地区における確保水量パターンの相違による発生電力量の相違(9カ年平均, 日別データ)

パターン	7.0m ³ /sec		6.5m ³ /sec		6.0m ³ /sec		5.5m ³ /sec		5.0m ³ /sec	
	実数	比率	実数	比率	実数	比率	実数	比率	実数	比率
確保水量なし	10,017	100.0	10,151	100.0	10,156	100.0	10,130	100.0	9,959	100.0
I	10,201	101.8	10,521	103.6	10,727	105.6	10,951	108.1	10,953	110.0
II	11,019	110.0	11,185	110.2	11,239	110.7	11,306	111.6	11,196	112.4
III	11,406	113.9	11,502	113.3	11,470	112.9	11,432	112.9	11,258	113.0
IV	11,400	113.8	11,486	113.2	11,437	112.6	11,375	112.3	11,185	112.3
V	11,294	112.7	11,360	111.9	11,288	111.1	11,191	110.5	10,966	110.1

比率は確保水量なしを100とした時の比率

Table 5 S地区における確保水量パターンの相違による発生電力量の相違(9カ年平均, 半旬別データ)

パターン	1.1m ³ /sec		0.9m ³ /sec		0.7m ³ /sec	
	実数	比率	実数	比率	実数	比率
確保水量なし	1,369.4	100.0	1,285.6	100.0	1,142.6	100.0
I	1,430.2	104.4	1,352.3	105.2	1,214.6	106.3
II	1,447.3	105.7	1,368.2	106.4	1,228.9	107.6
III	1,459.0	106.5	1,372.1	106.7	1,225.9	107.3
IV	1,453.1	106.1	1,364.3	106.1	1,219.6	106.7

比率は確保水量なしを100とした時の比率

Table 6 K地区における確保水量パターンの相違による発生電力量の相違(11カ年平均, 半旬別データ)

パターン	2.345m ³ /sec		2.040m ³ /sec		1.880m ³ /sec	
	実数	比率	実数	比率	実数	比率
確保水量なし	1,880	100.0	1,787	100.0	1,731	100.0
I	1,818	96.7	1,757	98.3	1,719	99.3
II	1,889	100.5	1,814	101.5	1,770	102.3
III	1,924	102.3	1,843	103.1	1,793	103.6
IV	1,932	102.8	1,847	103.4	1,796	103.8
V	1,934	102.9	1,847	103.4	1,795	103.7
VI	1,927	102.5	1,839	102.9	1,788	103.3
VII	1,914	101.8	1,827	102.2	1,775	102.5

比率は確保水量なしを100とした時の比率

Table 7 最適な確保水量パターンにおける各種の指標

指 標		T 地区	S 地区	K 地区
貯水池 の一般 的指標	1. 有効貯水量(A) (千 m^3)	23,257	9,200	7,982
	2. 利用水深 (B) (m)	39.5	24.0	23.3
	3. 平均増加量(C) (m^3/m)	589,000	383,000	343,347
	4. 満水位での増加量(D) (千 m^3/m)	1,378	704	530
	5. 年間平均流量(E) (千 m^3)	131,343	26,721	54,675
	6. 死水面標高(F) (m)	EL 260	EL 383	EL 237.9
	7. 調整率(A/E) (%)	17.7	34.4	14.6
最 適 パター ン時の 指 標	8. 最適最低基準水位(G) (m)	EL 294 (296)	EL 404 (402)	EL 256 (257)
	9. 最適最低貯水量(H) (千 m^3)	16,431 (18,809)	7,157 (5,938)	5,294 (5,734)
	10. G時の水深(I) (m)	34 (36)	21 (19)	18.1 (19.1)
	11. G時の増加量(J) (千 m^3/m)	1,189 (1,270)	625 (569)	420 (456)
	12. H時の空き容量(K) (千 m^3)	6,826 (4,448)	2,043 (3,262)	2,688 (2,248)
	13. K/E (%)	5.2(3.4)	7.6(12.2)	4.9(4.1)
	14. K/A (%)	29.4(19.1)	22.2(35.4)	33.7(28.1)
	15. J/C	2.02(2.16)	1.63(1.49)	1.22(1.33)
	16. J/D	0.86(0.92)	0.89(0.81)	0.79(0.86)
	17. I/B	0.86(0.91)	0.88(0.79)	0.78(0.82)

注) () 内は発生電力量が第2位のパターンの値

2 最適最低基準水位

T地区及びS地区ではパターンIIIを、K地区ではパターンIVを最適な確保水量パターンとした。又、確保水量は最低基準水位をもとに設定しているの、最適な確保水量パターンの最低基準水位を最適最低基準水位とした。

各地区の最適最低基準水位は、ダム水位-貯水量曲線、ダム流入量、ダムの調整率等の各種の要因によって左右されると思われるが、考えられる要因とその値を Table 7にまとめた。

Table 7から、各地区で比較的類似の傾向を示す指標が見つかった。これらの指標の中で類似性の高いものとして、指標No13, 14, 16, 17の4項目が挙げられる。

指標No13：年間河川流量に占める空き容量の割合(5.2%, 7.6%, 4.9%), 指標No14：有効貯水量に対する空き容量の割合(29.4%, 22.2%, 33.7%), 指標No16：満水位における貯水増加量に対する最低基準水位時における貯水増加量の割合(0.86, 0.89, 0.79), 指標No17：利用水深に対する水深の割合(0.86, 0.88, 0.78)。

又、T地区では最大の発生電力量が期待できるパターンIIIと第2位の発生電力量が期待できるパターンIVを比較すると最大使用水量によって若干異なるものの、最大で0.7%の差($Q_{max}=5.0m^3/sec$ 時)しかなく大差ないと言える。又、S地区ではパターンIIIとパターンIVで、K地区でもパターンIII, IV及びVで大差ないと言える。

このことは、最適最低基準水位(又は最適最低確保水量)があると仮定した場合、これから実際定めた最低基準水位が、ややずれていても発生電力量に大きな相違がでないものと考えられる。

第1位及び第2位の発生電力量が期待できる設定パターンから、先に述べた指標をみると、『利用水深に対する水深』及び『満水時の増加量に対する増加量』は0.8~0.9程度、『有効貯水量に対する空き容量』は20%~30%程度、『年間河川流量に占める空き容量の割合』は4%~10%程度を目安にすれば、最適に近い確保水量パターンが得られるものと期待できる。

これらのことは、今後、事例対象地区を増加させ、更に検討を行う必要があると考えられる。

Table 8 日別、半旬別、月別データによる発生電力量の相違

最大使用 水 量 (m ³ /sec)	ダム確保水量 パ タ ー ン	日別データ		半旬別データ		月別データ	
		実 数	比 率	実 数	比 率	実 数	比 率
7.0	なし	10,017	100.0	10,496	104.8	11,315	113.0
	I	10,201	100.0	10,272	100.7	10,828	106.1
	II	11,019	100.0	11,125	101.0	11,607	105.3
	III	11,406	100.0	11,534	101.1	12,061	105.7
6.5	なし	10,151	100.0	10,605	104.5	11,515	113.4
	I	10,521	100.0	10,587	100.6	11,157	106.0
	II	11,185	100.0	11,307	101.1	11,842	105.9
	III	11,502	100.0	11,633	101.1	12,239	106.4
6.0	なし	10,156	100.0	10,624	104.6	11,620	114.4
	I	10,727	100.0	10,811	100.8	11,325	105.6
	II	11,239	100.0	11,337	100.9	11,912	106.0
	III	11,470	100.0	11,595	101.1	12,218	106.5

3 使用データの違による発生電力量の変化

本項目については、日単位のデータが存在するT地区について検討を行うこととする。

まず、日別の河川流量、放流量、農業水利権水量を半旬ごと、又は、月別ごとに平均して半旬別データ、月別データとした。そして、計算単位をそれぞれ半旬又は月単位として、年間発生電力量を計算した。計算方法は、日別データを扱う場合と同様である。

これらの9カ年平均発生電力量をまとめたものが、Table 8である。

表からわかる通り、日別データを基準にすると半旬別データによるもの、及び月別データによるもの、いずれも、ダム確保水量パターンを設定した場合と設定しない場合とでは著しく異なる。

すなわち、半旬データについて言えば、ダム確保水量パターンを設定しない場合では、日別データに比較して5%程度発生電力量が増加するのに対し、設定した場合はいずれのパターンでも1%程度の増加である。

これは、空き容量が流入量の変動の緩衝帯の役割を任せているため、確保水量パターンを設定することによって日単位の流入量の変動を放流量へ直接伝えないためである。換言すれば最大使用水量を超える流量があっても、一時的にダムに貯留し平滑して放流することが可能であるからである。すなわち、放流を計画的に行えるためであり、結果として変動が平均化された半旬別流入量を使用した場合でも大きな差が出ない理由である。

これに対して、確保水量パターンを設定しない場合はダムが満水位の状態が長く続き、この時最大使用水量を超える流入量があると、この最大使用水量以上の流量はダムに貯留することができず、直接無効放流されることになる。

半旬別を使用すると総流入量は日別データと同じであっても平均化されるため、最大使用水量を超える頻度が小さくなり、河水利用率が増加し日別データと半旬別データとによる発生電力量の相違が大きくなる。

Table 9は、M地区で行った計算結果²⁾である。本地区もT地区同様、農業用ダムを利用したダム式発電が計画されているが、確保水量パターンは設定されていない。

これをみると、日別データを基準として半旬別データでは発生電力量が5.7%増加しており、T地区の4.5%~4.8%に近い値を示している。これに対して、月別データを使用した場合にM地区では、約38%も増加しているのに対し、T地区では15%程度の増加であり大きな差が

Table 9 M地区における発生電力量の相違

使用データ	年間発生 電 力 量	日別データを100 とした時の割合
	千kWh	
日 別	4,732	100
半 旬 別	5,002	105.7
月 別	6,510	137.6

ある。この差が何に起因しているのか明確ではないが、日別データを使用した場合に比較して大きな差を生じている。従って、半旬程度の平均化であれば確保水量パターンを設定しない場合でも5%程度の誤差で発生電力量を推定することが可能であると言える。

又、確保水量パターンを設定している場合には最低基準水位にもよると考えられるが、半旬別データを使用してもかなりの精度で発生電力量を推定することが可能であると考えられる。

4 最適計画と諸数値との関係について

最大使用水量と建設単価との関係をそれぞれまとめたものが、Table 10, 11, 12である。なお、確保水量パターンについては最大の発生電力量が得られるもののみを選定した。

T地区では、最大使用水量が5.5m³/secの時、kWh当たり建設単価が最小であり、その単価は確保水量パターンなしの場合が102.6円/kWh、パターンIIIの場合が90.9円/kWhである。この時の流量設備利用率は、確保パターンなし、IIIでそれぞれ57%、64%となっている。又、この時の流量は78日流量に相当している。

又、S地区では1.1m³/secの時kWh当たり建設単価が最小であり確保水量パターンなしの時が243円/kWh、パターンIIIが228円/kWhである。

この時の流量設備利用率は確保パターンなしで57%、IIIで61%となっており、又、幾日流量は75日流量に相当している。

K地区では、1.88m³/secの時のkWh当たり建設単価が最小であり、確保水量パターンなしの時が181円/kWh、パターンIVが187.8円/kWhである。この時の流量

Table 10 最大使用水量と建設単価との関係 (T地区)

最大使用水量 (m ³ /sec)	7.0		6.5		6.0		5.5		5.0	
幾日流量 (日流量)	56		62		70		78		88	
建設費 (千円)	1,109,100		1,082,900		1,064,500		1,039,700		1,026,200	
確保水量パターン	なし	III	なし	III	なし	III	なし	III	なし	III
年間発生電力量 (千kWh)	10,017	11,406	10,151	11,502	10,156	11,470	10,130	11,432	9,959	11,258
設備利用率 (%)	41.8	47.6	44.8	50.7	47.9	54.1	51.6	58.2	55.2	62.4
流量落差利用率 (%)	47.1	49.7	49.7	52.7	52.4	55.9	55.3	59.5	58.5	63.7
流量設備利用率 (%)	48.2	53.6	50.8	56.6	53.6	60.0	56.6	63.8	59.8	68.1
河水利利用率 (%)	81.3	90.2	79.6	88.6	77.6	86.7	75.1	84.5	72.2	82.0
kWh当たり建設単価 (円)	110.7	97.2	106.7	94.1	104.8	99.8	102.6	90.9	103.0	91.2

Table 11 最大使用水量と建設単価との関係 (S地区)

最大使用水量 (m ³ /sec)	1.1		0.9		0.7	
幾日流量 (日流量)	75		105		145	
建設費 (千円)	332,800		314,300		299,500	
確保水量パターン	なし	III	なし	III	なし	II
年間発生電力量 (千kWh)	1,369.4	1,459.0	1,285.6	1,372.1	1,142.6	1,228.9
設備利用率 (%)	44.5	47.4	51.0	54.5	58.3	62.7
流量落差利用率 (%)	54.9	57.5	60.8	63.9	67.7	71.8
流量設備利用率 (%)	56.7	61.0	62.8	67.4	69.9	75.6
河水利利用率 (%)	73.6	79.2	66.7	71.6	57.7	62.5
kWh当たり建設単価 (円)	243.0	228.1	244.5	229.1	262.1	243.7

Table 12 最大使用水量と建設単価との関係 (K地区)

最大使用水量 (m ³ /sec)	2.345		2.040		1.880	
幾日流量 (日流量)	75		86		95	
建設費 (千円)	358,000		336,000		325,000	
確保水量パターン	なし	V	なし	IV	なし	V
年間発生電力量 (千kWh)	1,880	1,934	1,787	1,847	1,731	1,796
設備利用率 (%)	44.3	45.5	47.9	49.5	50.2	52.0
流量落差利用率 (%)	55.4	56.5	60.4	61.9	63.4	62.3
流量設備利用率 (%)	52.5	55.8	57.2	61.7	60.0	65.0
河水利用率 (%)	70.0	74.1	66.3	71.3	64.1	69.2
kWh当り建設単価 (円)	190.4	185.1	188.0	181.9	187.8	181.0

設備利用率は確保パターンなしで60%、IVで65%となっており、この時の最大使用水量1.88m³/secは95日流量に相当している。

一般に水路式発電では、最適規模の検討に当たって、流量設備利用率が40～60%の範囲でなされている。

今回検討を行った3地区はいずれもダム式発電ではあるが、ピーク発電でなく、農業用水従属発電を行うためこの値を参考にすると、3地区とも確保パターンなしで、上限である60%以下でこれに近い値を示しており、確保パターンIII、IV (K地区)で60%を超えている。

VI 結 言

前報²⁾を含めると5地区を対象に解析を行ってきた訳であるが、農業用ダムを利用して中小水力発電を行う場合、期別確保水量を設定し、貯留水に余裕があると判断された時には、積極的に下流放流量を増加させ、貯留水の有効利用を図ること、すなわち、ダム運用を行うことは、極めて有利であることがわかった。

現段階で計画中のものも含めて、農業用水を利用し発電を行った場合、発生した電力は農村地域で直接利用されることは少なく、電力会社に売電され、土地改良区等の運営に用いられる。又、農業用水を用いた発電では、発生電力量が一定せず、電力会社に売電する場合、売電単価が安くなりがちである。このため、建設単価は可能な限り安くすることが重要となる。

従って、ダム運用を行い発生電力量を増加させることは、経済的面から、効率的水資源利用面からも重要な事である。

本報告では河川流量、農業用水量、貯水量、貯水位、有効落差等のデータから農業用水を満足させ、かつ発電

を効率的に行うことができるダム運用計画について種々の検討を行った。その結果、ダム運用計画策定に関して、以下のような事が判明した。

- (1) 年間の河川流量に占める最適最低基準水位時の空き容量の割合は4～10%程度である。
- (2) 有効貯水量に対する最適最低基準水位時の空き容量は20～30%程度である。
- (3) 利用水深に対する最適最低基準水位時の水深及び満水時の貯水増加量に対する最適最低基準水位時の増加量は、ともに0.8～0.9程度である。
- (4) 最適最低基準水位前後であれば、多少基準水位がずれていても発生電力量に大差がない。
- (5) 日、半月、月別データを比較した場合、日別データと半月データは大差なく、発生電力量の推定が可能であるが、月別データは日別データとかなり掛離れるため、月別データによる推定は不可能といえる。

(6) 建設単価が最低となる最大使用水量は、河川流量で表すと、75日流量から95日流量に存在するといえる。

以上、ダム運用計画策定に必要とされる種々の事項について述べてきた。今回の報告は3地区の算定結果をもとに行ったわけであるが、幾つか共通する指標が得られた。ダム運用計画策定時の参考になるものとする。

農業用ダムを利用した中小水力発電は、今後各地で実施される予定であるが、発電を考慮したダム運用は、発生電力量を増加させ貯留水の有効利用を図れる点から大いに意義のあることと言える。

今回は渇水に対し安全である条件のもとでダム運用計画について報告した。当然、洪水時のダム操作等も必要と考えられるが、当面多くの地区を対象に、又、多角的な視野にたつて解析を進めていくつもりである。

参 考 文 献

- 1) 新エネルギー財団水力本部 (1983) : 中小水力に関するガイドブック, (財)新エネルギー財団
- 2) 山本徳司・吉野秀雄・岩崎和巳 (1984) : 汎用プログラムによる農業用水系の水力エネルギー賦存量把握, 農土試技報, 162(HE-3), 53-68
- 3) 後藤真宏・中達雄・吉野秀雄 (1987) : 灌漑用貯水池を利用した水力発電の算定方式, 農土試技報, 177(HE-7), 13-25