

第2章 農業水利施設発電設備の計画

2.1 農業水利施設を利用した発電方式の計画概要

2.1.1 発電方式

農業水利施設を利用した発電所と一般の発電所を比較すると、発電設備の目的は共通しているが、本質的に異なるのは、農業水利施設の主目的は高低差の異なる広範囲な田畑へのかんがいであり、且つ末端は必ず圃場につながっている点である。それ故、農業水利施設を利用して発電する場合、施設の規模によって、また、農業用水の運用によって発電が制限される場合が多く、農業用水に従属した発電計画になることが多い。年間の発電用水の変動を少なくし、且つ農業用水以外の用水も可能な限り発電用水に加えることにより、年間発生電力量を増大させることが発電計画の経済性向上のため重要である。このためには、かんがい期、非かんがい期の水利用を十分調査する必要がある。

計画書の作成にあたって最も重要な項目は最大使用水量である。これは

- ・ 水利権流量
- ・ 水利権流量から途中の受益地への農業用水量を差し引いた流量
- ・ 農業用水量に有効雨量を考慮した流量

から経済性を考慮して決められる。

計画書にはその他に、発電所周辺の概要を含む各地区の特徴を記載する。一例として頭首工による取水から放水口までの落差を利用して発電する流れ込み式発電所周辺の概要例を図2.1-1に示す。

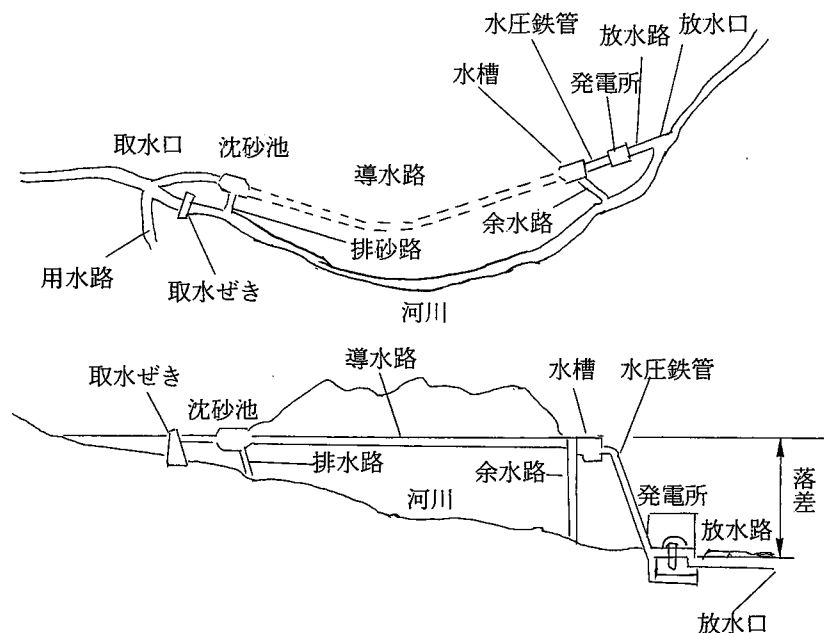


図2.1-1 発電所周辺の概要

2. 1. 2 発電所の流量

発電の対象となる農業用水利施設は、ダム、落差工・急流工、開水路、パイプラインなど種々あり、発電に利用される用水の種類も異なるが、その代表的な例を次に示す。

1) 農業用水のみを利用する場合

図2. 1-2に示すように農業用水のみを発電に利用する場合は、通常かんがい期の流量に比べ非かんがい期の流量が極端に少ないため、あるいは水利権がないため、非かんがい期の発電は不可能になることがある。

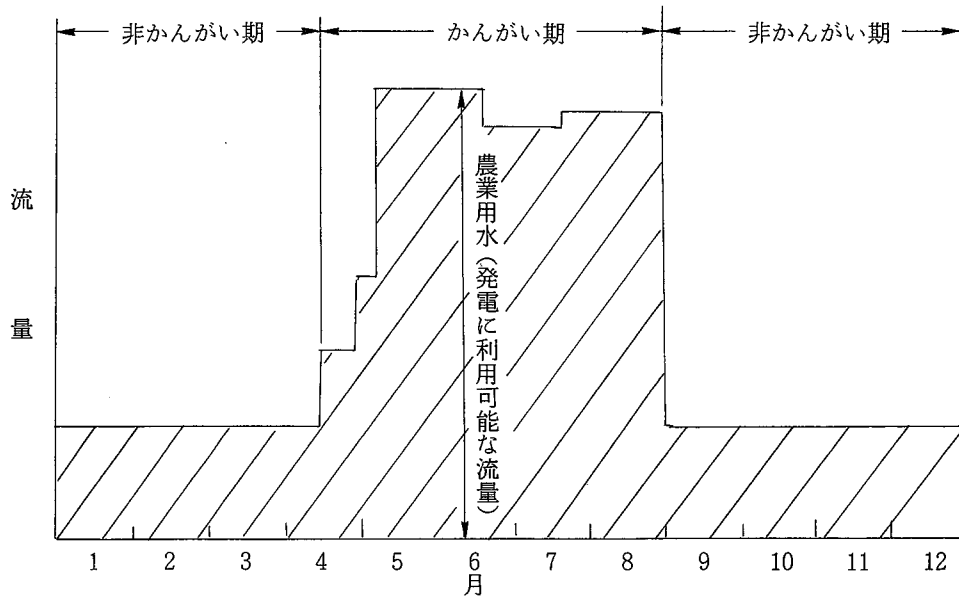


図2. 1-2 農業用水のみを利用する例

2) 農業用水、及び河川維持用水を発電に利用する場合

図2. 1-3及び図2. 1-7及び図2. 1-8に示すように、ダムからの放流水を発電に利用する場合は、農業用水の他に河川維持用水などの責任放流水などを発電のために利用することが可能となる。

3) 農業用水及び余剰水を利用する場合

図2. 1-4、図2. 1-5及び図2. 1-6に示すように、頭首工（取水せき）から取水する場合は、非かんがい期には農業用水に加えて責任放流水を除いた余剰水を発電に利用することができる。

2. 1. 3 発電所の落差

1) 流れ込み式の発電方式

図2. 1-5及び図2. 1-6に示すような農業用水利施設を利用した発電の場合は、水路は田畑への農業用水の供給を主目的として計画されるため、一般の発電所に比べて導水路の長さが長くなり、総落差に対する損失水頭の割合が大きくなる傾向がある。

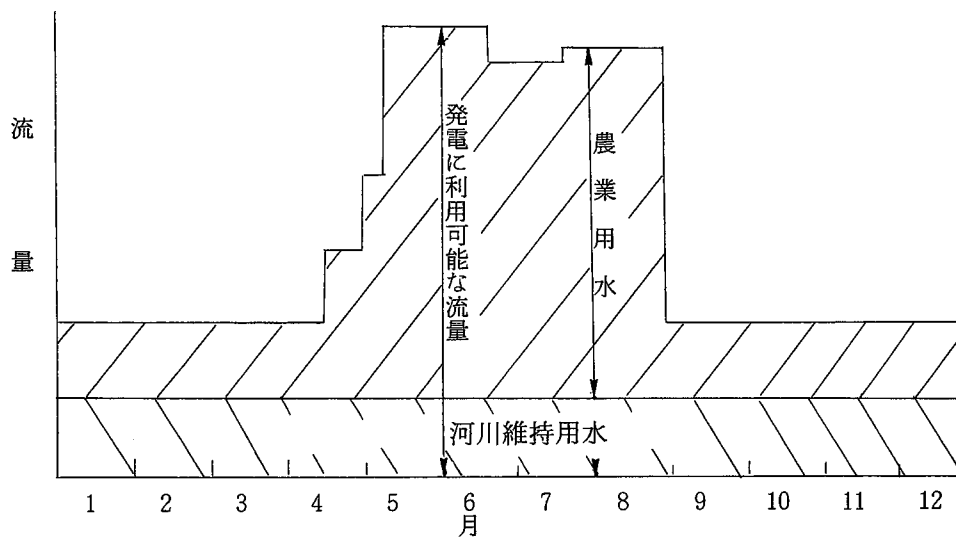


図 2. 1-3 農業用水、及び河川維持用水を利用する例
(ダム式発電所の例)

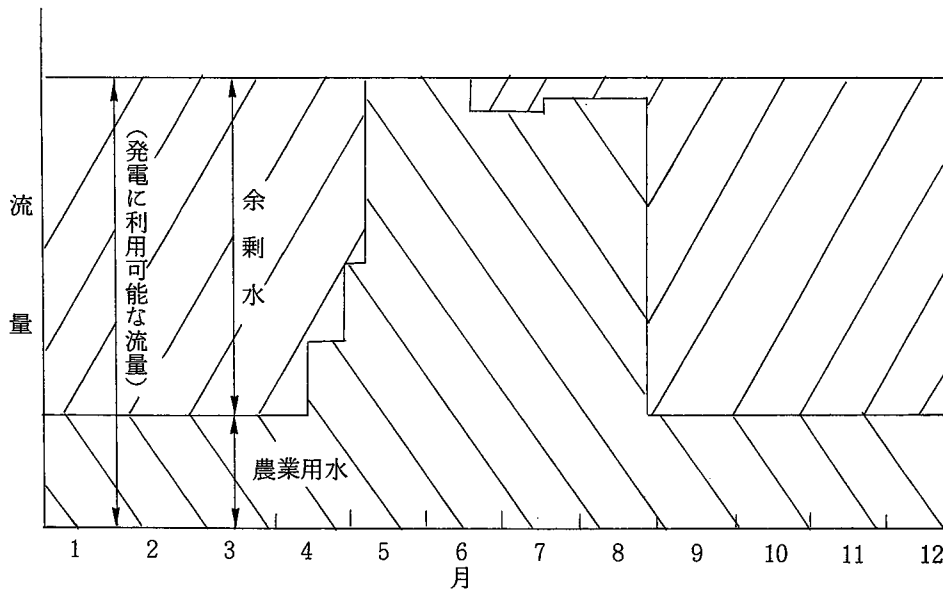


図 2. 1-4 農業用水及び余剰水を利用する例

導水路が開水路の場合は、流量の変化による有効落差の変化は少ないが、長い圧力水路により導水される発電所の場合(図 2. 1-6 参照)は、流量によって損失水頭が大幅に変わるため、小流量時の有効落差が最大出力時の有効落差より大幅に高くなり、水車のキャビテーションの発生、低比速度フランシス水車、クロスフロー水車の無拘束速度の増大などの問題があるので注意を要する。

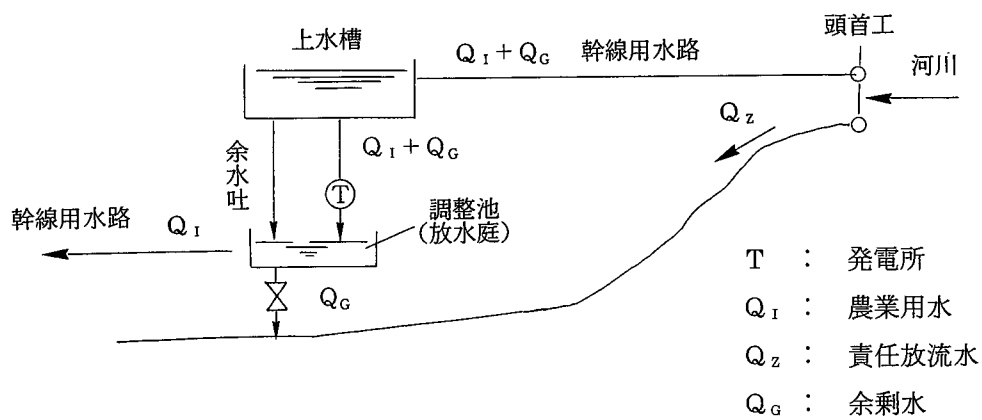


図 2. 1 - 5 落差工、急流工を利用した発電

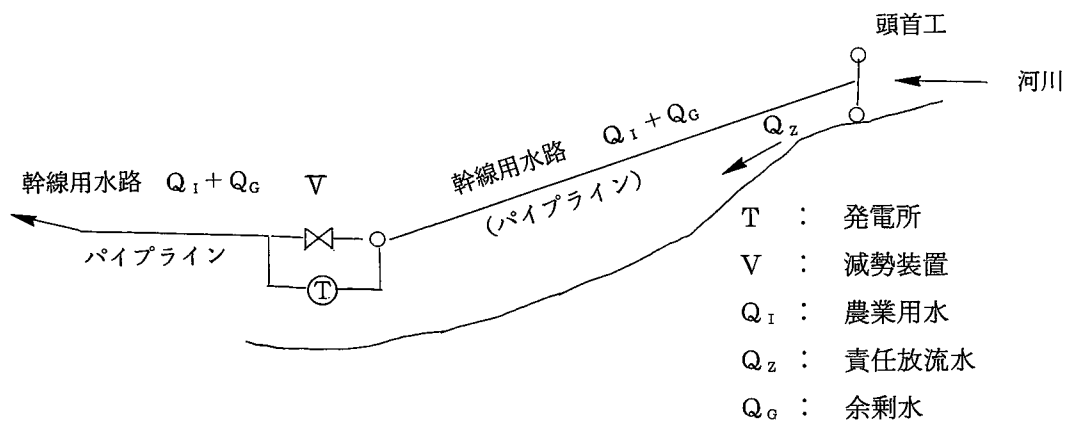


図 2. 1 - 6 圧力水路を利用した発電

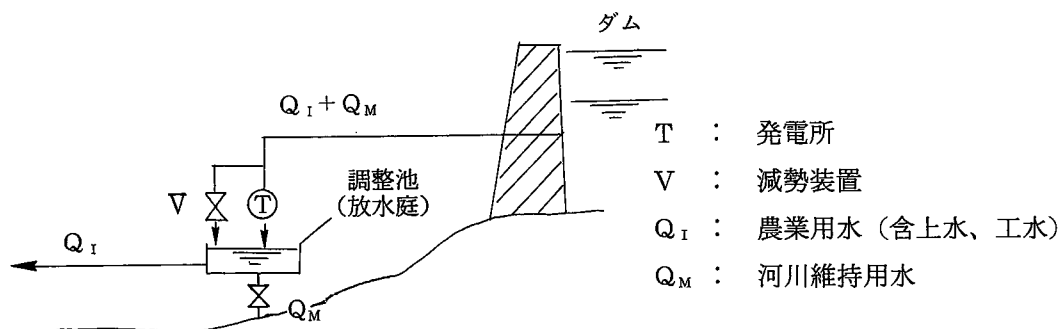


図 2. 1 - 7 ダムを利用した発電(1)

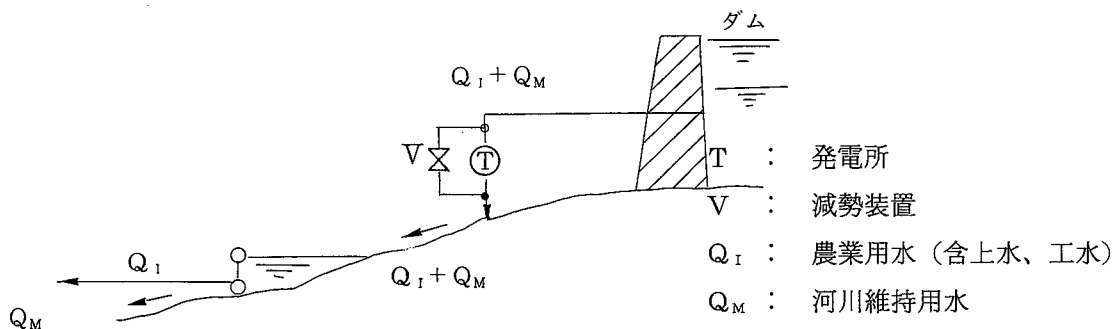


図 2. 1-8 ダムを利用した発電(2)

2) 農業用ダムを利用した発電方式

図 2. 1-7 及び図 2. 1-8 のように、農業用水、河川維持放流水の他に、水位維持放流水を放流するための利水放流管から分岐して発電する場合には、水車で最大使用流量を放流し、残りを減勢装置で放流することがある。この場合、有効落差が減少し、出力が低下するので発生電力量の計算にあたっては注意を要する。

2. 2 発電計画の検討

2. 2. 1 発電規模の決定

最適発電規模は、第 1 章に示される「計画の手順」に従って概定する。まず最大使用水量、水圧管管径、有効落差、水車形式をいろいろ変えたケースを組合せて、数通りの発電施設の比較すなわちケーススタディの対象となる諸元の組合せにまとめ、各ケースについて水車の比速度、水車の性能、発電機の形式と定格事項を概定して発電に利用可能な水運用データに基づいて年間発生可能発電電力量 (kWh) を算出する。これとは別に土木・建築・電気工事に分けて積算を行った建設費 (円) をもとに、kWh 当たり建設単価 (円/kWh) を算出する。

この算出結果を最大使用水量の組合せと各々に対応する kWh 当たり建設単価を図に表示する。(図 2. 2-1)

通常 kWh 当たり建設単価が最小となる最大使用水量の発電規模とするが、売電収入の拡大を図るために採算のとれる限界コスト (売電料金) までの最大使用水量に対応する発電規模とすることがある。最終的にはそれによる建設費の負担の増加分、地域内の需要電力量とのバランスを配慮して決定する必要がある。

具体的手法については、以下詳細に記載する。

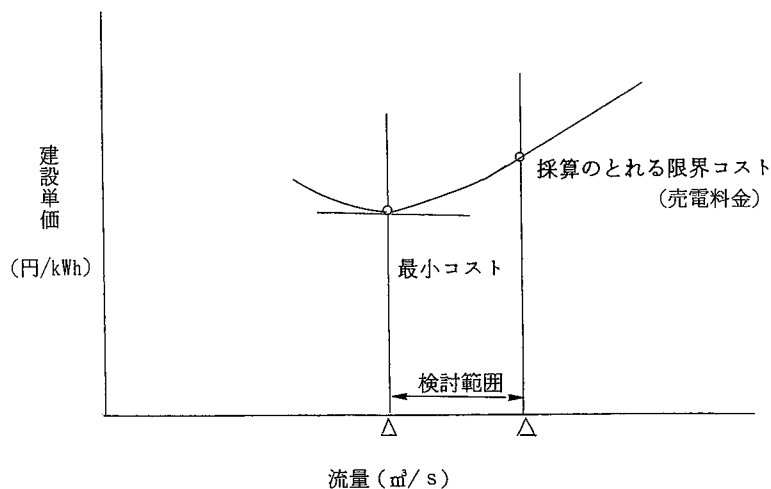


図 2. 2-1 最適発電規模

1) 最大使用水量の設定

- (1) 計画地点における農業用水運用パターンに基づき 3 通り以上の流量 (Q_1 、 Q_2 、 Q_3) を任意に設定する。図 2. 2-2 はその例を示す。

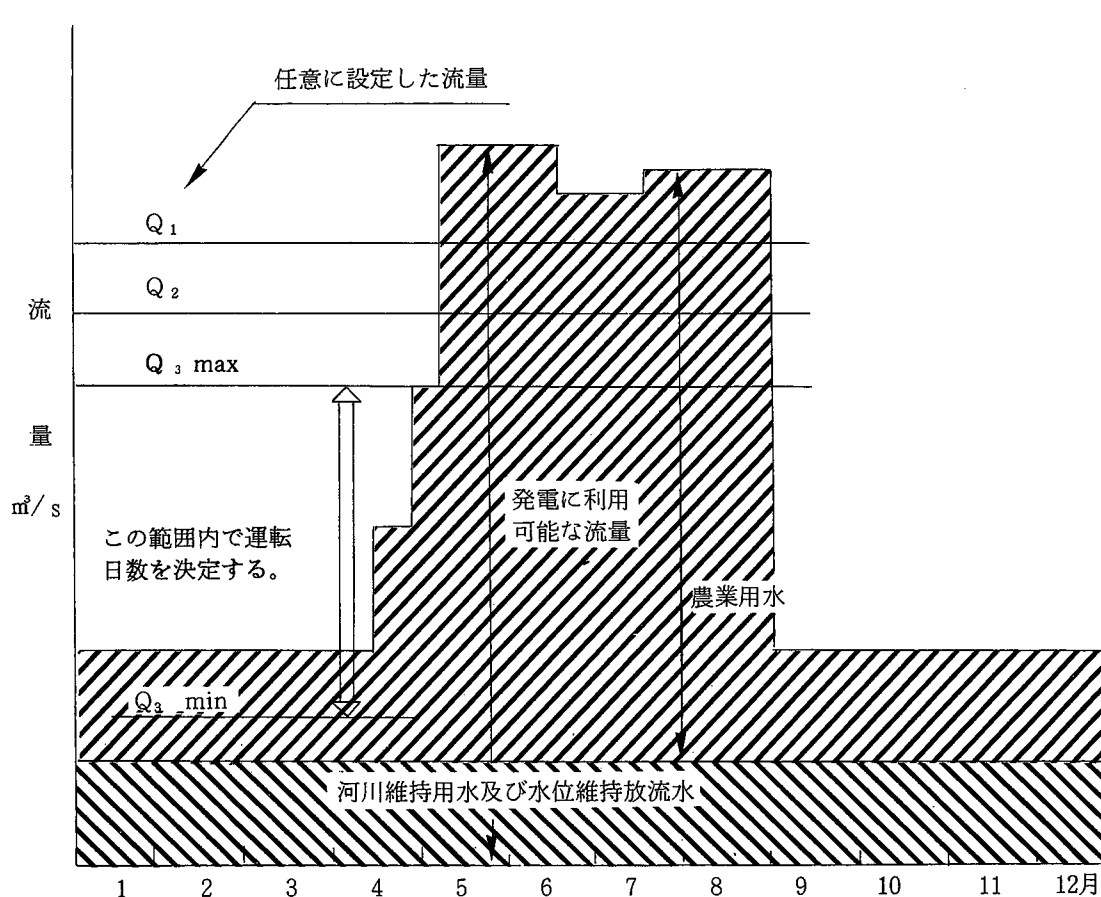


図 2. 2-2 水運用パターン

- (2) 図 2. 2-2 において、発電に利用可能な流量の最大値 Q_{max} を Q_3 にとれば、それに対する最小値 Q_{3min} の割合、即ちかんがい期の流量に対する非かんがい期の流量の割合が比較的大きい場合は、部分流量領域における発電効果が期待される。従って、流量の設定

を行う際には、設定流量の30%の流量を発電運転可能最小流量と仮定し^(注1)、これを考慮することも必要である。

注1) 変流量特性は水車形式によって異なるが、ここでは便宜的に、フランシス水車を例に30%とする。ペルトン水車、クロスフロー水車、チューブラ水車については、この値と異なるので第4章水車を参照のこと。

(3) 後の手順によって2種類以上の水車形式が選定された場合は、それぞれの水車形式で3通り以上の流量を設定する。

また、添付の参考資料に準じた最適規模の検討において、さらに流量の設定数を増す必要がある場合は、これを補足する。

2) 水圧管管径の概定

- (1) 最適規模の検討には、水圧管管径を比較要素の1つとして加える必要がある。このため、1) 項で設定した各流量に対し、表2. 2-1を目安に、3通り以上の水圧管管径を設定する。

表2. 2-1 水圧管内平均流速の目安

総落差 (m)	管内平均流速 (m/s)
2以上～7未満	1以下
7以上～15未満	1.5以下
15以上～30未満	2以下
30以上～100未満	3以下
100以上～200未満	4以下

- (2) 水圧管管径は、後の手順から選定されている水車形式に対して、おのおの3通り以上設定する。また、最適規模の検討において、水圧管管径の設定をさらに増す必要がある場合には、これを補足する。

3) 有効落差の概定

- (1) かんがい排水事業の計画業務で概定・策定されている水位条件、導水路・水圧管路・放水路布設計画等と、1) 及び2) 項で設定した流量と水圧管管径の組合せを条件に本項(3)に示す各水車形式の有効落差算出式より有効落差を算出する^(注2)。

注2) 有効落差を計算する段階では、ケーススタディの対象となる水車形式が選定されていない。

従って、有効落差は原則としてすべての水車形式について算出する。但し、総落差が、図2. 2-8又は9に示す各水車形式のいずれかの有効落差の範囲から外れかつ水車枠番から外れる場合は、その水車形式は、ケーススタディの対象外となり各水車形式の有効落差算定作業から除外される。

- (2) 総落差が上水位、放水水位等の変化により20%以上変動する場合は、図2. 2-3に示すように、上水位、放水水位ともに変動幅の上位1/3の水位をもって有効落差を計算する。

また、変動幅が20%以内の場合には、最高落差をもって有効落差を計算する^(注3)。

注3) 変落差特性を考慮した水車性能、発電電力量の検討は複雑である。概略設計の趣旨から、ここでは代

表する1つの総落差を定め、作業の単純化を図る。水車形式毎の変落差作成の概要は第4章を参照のこと。

(3) 各水車形式の有効落差算出式

a. 横軸ペルトン水車

総落差、損失水頭、有効落差などの関係は図2. 2-4に示すとおりである。

$$H = H_G - hl_1 - hl_2 - h_1 \quad \dots\dots\dots (2. 2-1)$$

ここで、H : 有効落差 (m)

H_G : 総落差 (m)

hl_1 : 取水口と水槽間の損失水頭 (m)、本項(4)aによる。

hl_2 : 上水槽と水車入口間の損失水頭 (m)、本項(4)bによる。

h_1 : ジェット中心線とランナピッチサークルの交点と、放水口水位との高低差 (m)。但し、二射式の場合は、それぞれのジェット中心線がランナピッチサークルに接する点の平均高さ、放水口水位との高さとの高低差 (m) とする。ここでは2mと仮定する。

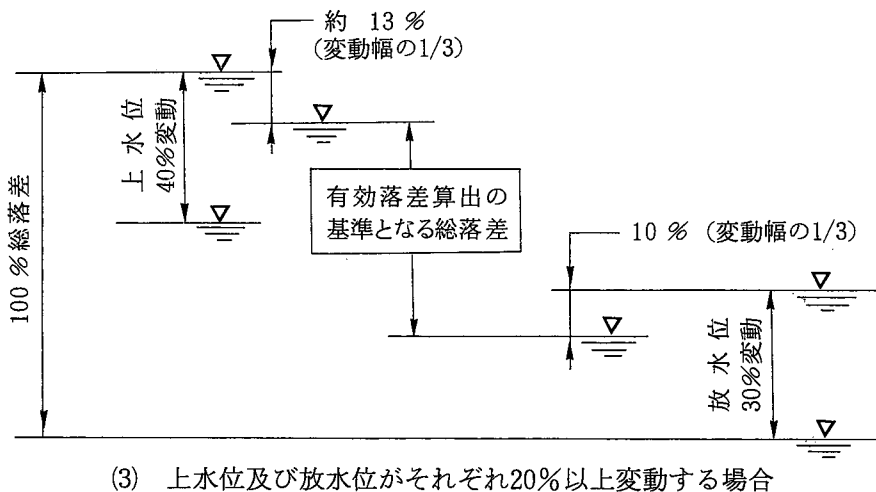
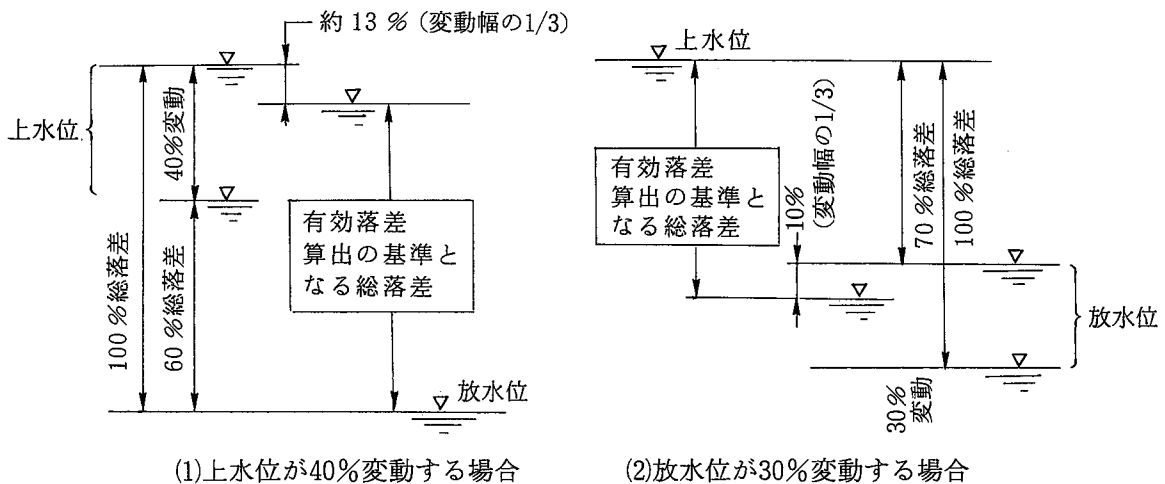


図2. 2-3 水位変動により総落差が20%以上変動する場合の有効落差算定上の基準となる総落差

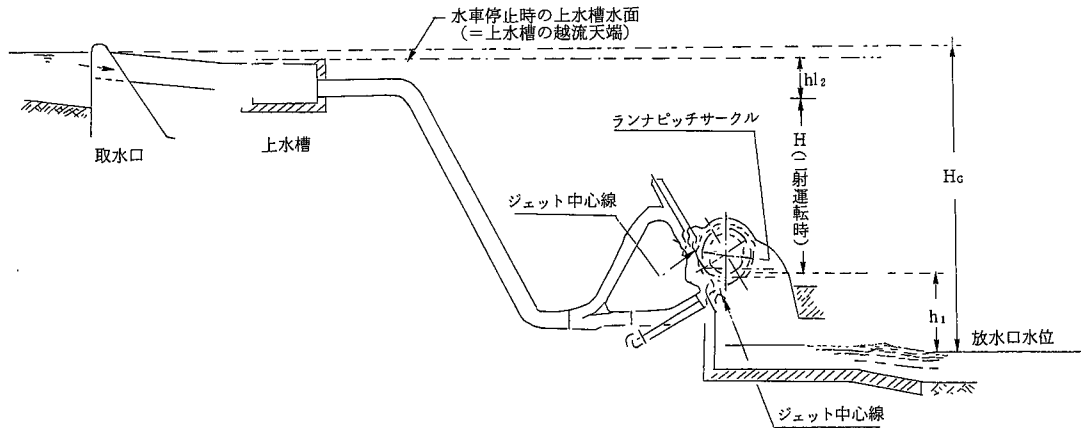


図 2. 2-4 総落差、有効落差の関係 (横軸ペルトン水車)

b. 横軸フランシス水車

総落差、損失水頭、有効落差などの関係は、図 2. 2-5 に示すとおりである。

$$H = H_G - h_{l1} - h_{l2} - v_2^2 / 2g - h_3 \quad \dots \dots \dots (2. 2-2)$$

ここで、H : 有効落差 (m)

H_G : 総落差 (m)

h_{l1} : 取水口と水槽間の損失水頭 (m)、本項(4)aによる。

h_{l2} : 上水槽と水車入口間の損失水頭 (m)、本項(4)bによる。

v_2 : 吸出し管出口における流速 (m/s)、ここでの計算では、考慮しないものとする。

h_3 : 吸出し管出口水位と放水口水位との高低差 (m)

g : 重力の加速度 $9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$

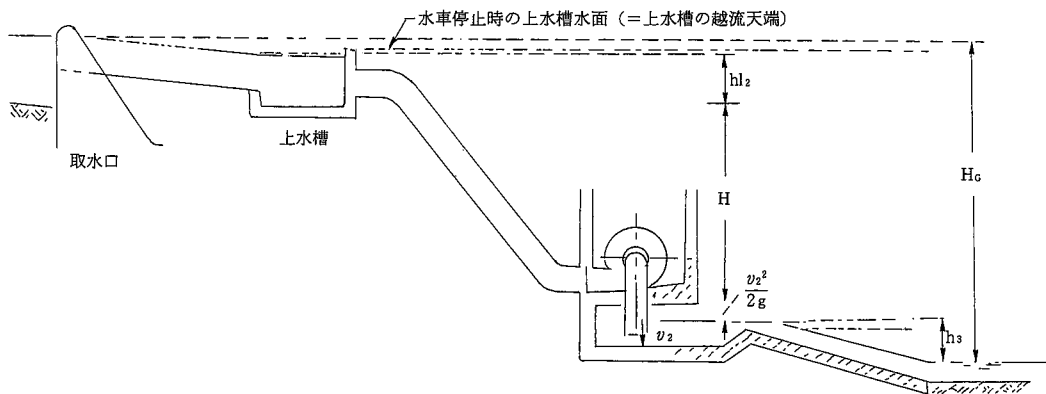


図 2. 2-5 総落差、有効落差の関係 (横軸フランシス水車)

c. クロスフロー水車

総落差、損失水頭、有効落差などの関係は図2. 2-6に示す通りである。

$$H = H_G - hl_2 - h_2 + h_d \quad \dots\dots\dots (2. 2-3)$$

ここで、H : 有効落差 (m)

H_G : 総落差 (m)

hl_2 : ダムと水車入口間の損失水頭 (m)、本項(4)bによる。

h_2 : ランナ中心と放水口水位の高低差 (m)、1.5~2 m程度とする。

h_d : ドラフトチューブ効果 (考慮しない場合もある。)

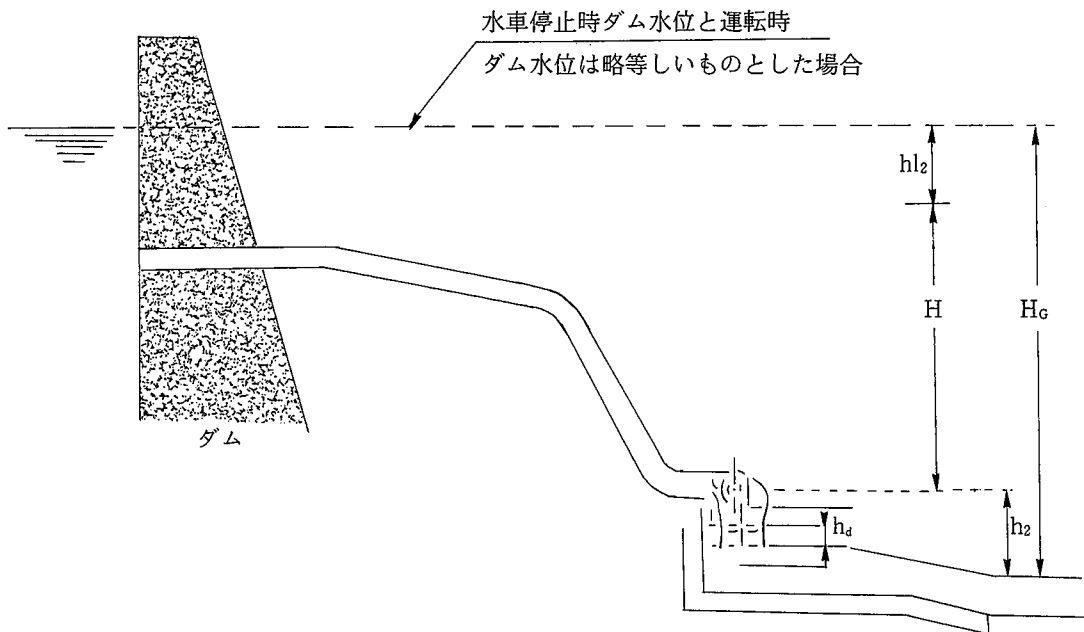


図2. 2-6 総落差、有効落差の関係 (クロスフロー水車)

d. S形チューブラ水車

総落差、損失水頭、有効落差などの関係は、図2. 2-7に示す通りである。

流れ込み式の場合

$$H = H_G - hl_1 - hl_2 - v_2^2 / 2g - h_3 \quad \dots\dots\dots (2. 2-4)$$

ダム式の場合

$$H = H_G - hl_1 - v_2^2 / 2g - h_3 \quad \dots\dots\dots (2. 2-5)$$

ここで、H : 有効落差 (m)

H_G : 総落差 (m)

hl_1 : 取水口と上水槽間の損失水頭 (m)、本項(4)aによる。

hl_2 : 上水槽と水車入口間の損失水頭 (m)、本項(4)bによる。

v_2 : 吸出し管出口における流速 (m/s)、ここでの計算では、考慮しないものとする。

h_3 : 吸出し管出口水位と放水口水位との高低差 (m)

g : 重力の加速度9.8 (m/s²)

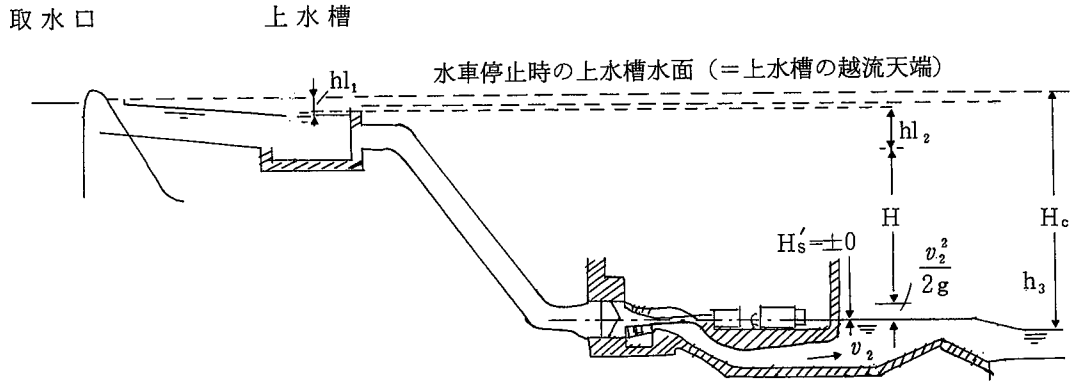


図 2. 2-7 総落差、有効落差の関係 (S形チューブラ水車)

(4) 損失水頭

a. 取水口と水槽間の損失水頭

導水路の損失水頭は、次式によって求められる。

ここに $h\ell$: 導水路の損失水頭 (m)

$$h\ell = L_c \cdot i$$

L_c : 導水路延長 (m)

i : 水路勾配、流れ込み式では $i = L/1000$

また、取水口、沈砂池、水路流入口、流出口等の合計損失は、0.5mと見込む。

従って、取水口と水槽間の損失水頭 ($h\ell_1$) は

$$h\ell_1 = 0.5 + L/1000 \quad \dots\dots\dots (2. 2-6)$$

b. ダム又は上水槽と水車間の損失水頭

損失水頭は、摩擦損失水頭、曲がり損失水頭、漸縮損失水頭、入口弁損失水頭等があるが、ここでは摩擦損失水頭をそれらの代表として扱い、全損失水頭を次式で求める。

$$h\ell_2 = k \frac{f}{D} \cdot L_p \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2. 2-7)$$

ここに $h\ell_2$: ダム又は上水槽と水車間の損失水頭 (m)

f : 円形断面管路流れの摩擦損失係数

D : 水圧管の内直径 (m)

L_p : 水圧管長さ (m)

v : 水圧管管内平均流速 (m/s)

k : 摩擦損失水頭以外の損失水頭を考慮した補正係数 ($k=1.3$)

$$f = \frac{133.7}{C^{1.85} \cdot D^{0.167} \cdot V^{0.148}} \quad (\text{ヘーゼン・ウィリアムス公式})$$

C : 流速係数 (表 2. 2 - 2 参照)

あるいは

$$f = \frac{124.5 n^2}{D^{1/3}} \quad (\text{マニング公式})$$

n : 管の粗度係数

(鋼管、強化プラスチック (複合) 管 : n=0.012、ダクタイル鋳鉄管 :

n = 0.013)

の何れか大きい方を用いる。

詳細な損失水頭の計算は第12章12. 1 資料 1 例題参照のこと。

表 2. 2 - 2 流速係数 C の値

管の (内面の状態)	流 速 係 数 (C)		
	最 大 値	最 小 値	標 準 値
鋳鉄鋼 (塗装なし)	150	80	100
鋼管 (塗装なし)	150	90	100
コールタール塗装管 (鋳鉄)	145	80	100
タールエポキシ塗装管 (鋼) ⁽¹⁾			
φ 800以上	—	—	130
φ 700~600	—	—	120
φ 500~350	—	—	110
φ 300以下	—	—	100
モルタルライニング管 (鋼、鋳鉄)	150	120	130
遠心力鉄筋コンクリート管	140	120	130
プレストレスコンクリート管	140	120	130
硬質塩化ビニル管 ⁽²⁾	160	140	150
硬質ポリエチレン管 ⁽²⁾	170	130	150
強化プラスチック複合管 ⁽²⁾	160	—	150

(注) (1) 塗装方法はJWWA-115-1974に準拠するものとし、塗装厚は0.5mm以上が望ましい。

また、呼び径800未満のタールエポキシ塗装鋼管については、現場溶接部の内面塗装を行わない場合には本表の値を適応する。ただし、現場溶接部の内面塗装を十分な管理の下で行う場合 C = 130 を適応することができる。

(2) 呼び径150以下の管路では C = 140 を標準とする。

4) 水車形式の選定と定格事項の概定

- (1) 1) 項で設定した流量及び3) 項で算出した有効落差の組合せを図2. 2-8を参考に
 してまず水車の形式を選定し、4. 3「各種水車の標準化」の中の選定図にしたがって
 ケーススタディの対象となる水車枠番を選定する。同時に、水車出力の概略値を読み取る。
 選ばれた水車枠番から水車回転速度、水車ランナの代表寸法が決まる。選定された水車形
 式及び2) 項で設定した水圧管管径を含めて、ケーススタディを構成する個々のケースを
 表2. 2-3のような各組合せ(流量、水圧管管径、有効落差及び水車形式の一連の組合
 せ一以下、「おのおののケース」という一)に分類・整理する。
- (2) 水車形式は、流量と有効落差の組合せによって1つの形式が選定される場合と、2つ以
 上の形式が選定される場合がある。
 何れの場合も、選択された水車形式に対して3通り以上の流量それぞれについて3通り
 以上の水圧管管径を設定する。
- (3) 上の作業で選定された諸元の中、有効落差、流量、水車出力、回転速度が各ケースの水
 車定格として概定される^(注1)。

注1) ただし、ここでの水車定格出力は仮の値で、後の手順で概定される値に置き換えられる。

表2. 2-3 ケーススタディの対象となる諸元の組合せ

流 量 (m ³ /s)	水圧管管径 (mm)	有 効 落 差 (m)					
		ペルトン 水 車	フランシス 水 車	クロスフロー 水 車	チューブラ 水 車	100kW 未満	
						クロスフロー水車	チューブラ水車

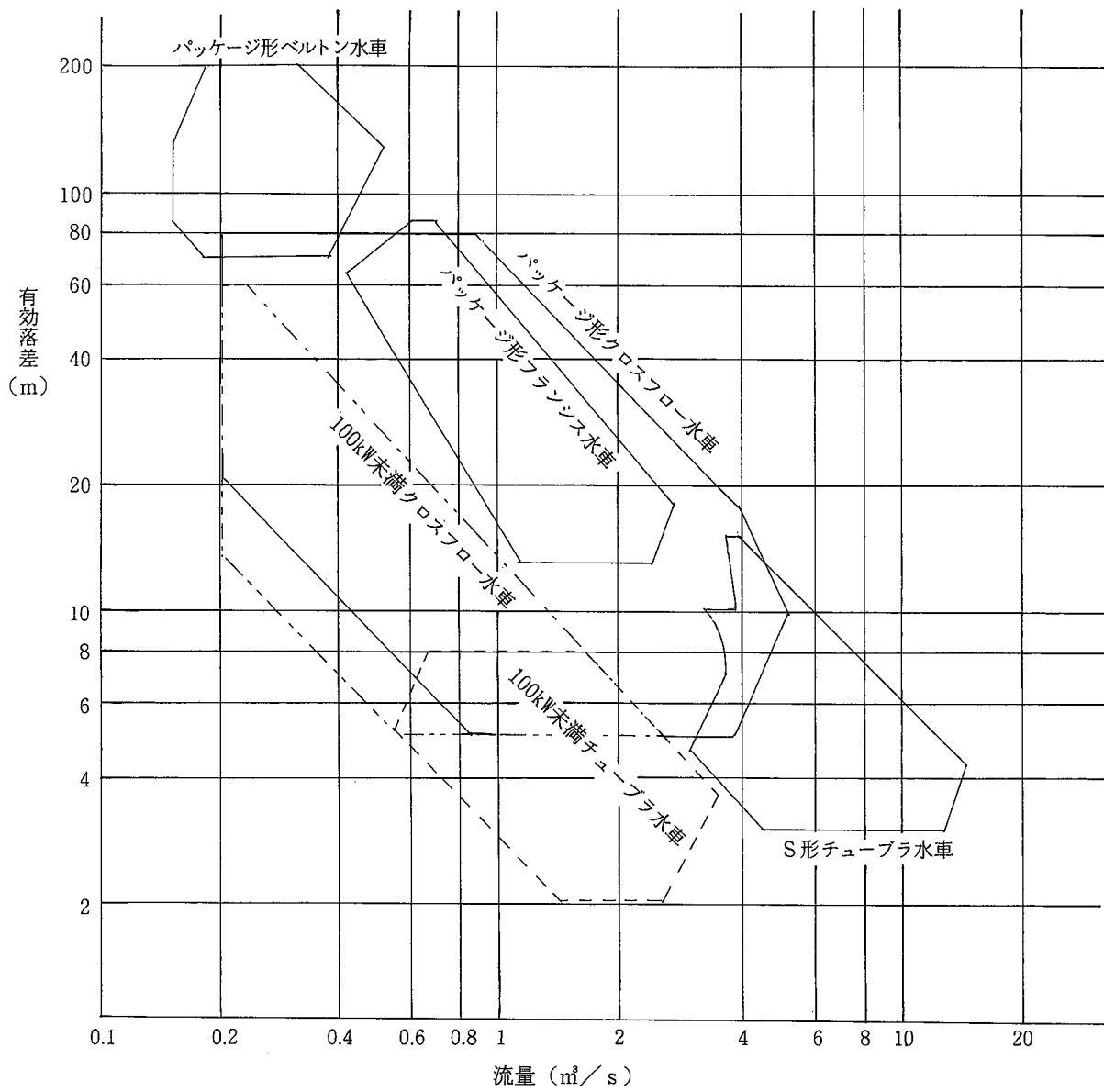


図 2. 2 - 8 水車選定図

5) 比速度の概定

比速度を概定する目的は、6) 項で行う水車性能の算定のための基準として第4章でいくつかの比速度をパラメータとして定めているためである。

各ケースの比速度は、次式により求める。

$$n_s = n \cdot P_T^{0.5} / H^{1.25} \dots\dots\dots (2. 2-8)$$

ここに、 n_s : 比速度 (m-kW)

n : 水車回転速度 (r/min)

P_T : 水車出力 (kW) (ペルトン水車の場合1ノズル当たりの出力)

H : 有効落差 (m)

表2. 2-4 水車性能曲線作成に関連する諸元表

流量比 %	100%	80%	60%	40%	最高効率時
流量 m ³ /s					
水車相対効率 %					100
水車効率 %					
有効落差 m					
水車出力 kW					
水車出力比 %					

6) 水車性能の概定

- (1) 第4章に掲載してある各水車形式別の水車特性曲線の中から各ケースで概定した比速度に近似した比速度をパラメータとする曲線を選ぶ。
- (2) 特性曲線は、流量比に対する水車相対効率が示されている。相対効率はその最高効率を100%とし、これに対する絶対値が水車定格出力毎に表示されている。各ケースの水車効率(絶対値)は、選んだ線図に掲載されている水車定格出力毎の最高効率(相対効率100%)に対する絶対効率値(表)から、各ケースの定格出力を包含する前後2つの出力における効率を抽出し、比例按分して各ケースの最高効率の絶対値を定め、次に上記水車特性曲線から読み取った流量比毎の相対効率を絶対効率に比例換算して求める。

$$\eta_T = (\eta_T - 100) / 100 \cdot \eta_{TL} \dots\dots\dots (2. 2-9)$$

ここに、 η_T : 任意の流量比における水車効率 (%)

η_{T-100} : 相対効率100%に対応する水車効率 (%)

η_{TL} : 任意の流量比における水車相対効率 (%)

なお、水車の各形式についての詳細な効率の求め方は第4章4.2を参照のこと。

(3) 年間発電電力量の計算に用いる水車性能曲線の作成(本項(5)に記載)を考慮し、関連する諸元を各ケースについて表2.2-4を参考にしてまとめる。

a. 流量比は、定格値(100%)と相対効率が100%における値(比)を含め4~5通りの比を設定する。最少比は、第4章に記載されている各水車形式の変流量特性を考慮して決める。ガイドベーン切替え機構を持ったクロスフロー水車の場合は、本項(1)で選んだ水車特性曲線の相対効率を参考に、7~8通りの比を設定して性能曲線を作成する。

b. 前の2.2.1.3)項で算定した有効落差は、上表の流量比100%における値である。流量比が減るにつれて有効落差は増えるが、ここでは次のように扱う。

a) 定格流量における有効落差に対して、流量比約50%における有効落差の増大分が20%未満の場合には、定格流量における有効落差をもって、すべての流量における有効落差とする。即ち、一定有効落差として扱う。(図2.2-9参照)

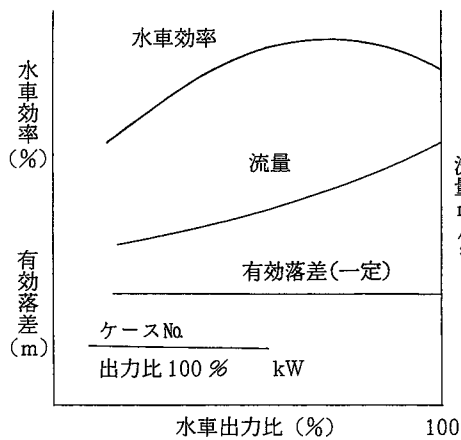


図2.2-9 水車性能曲線の例-1

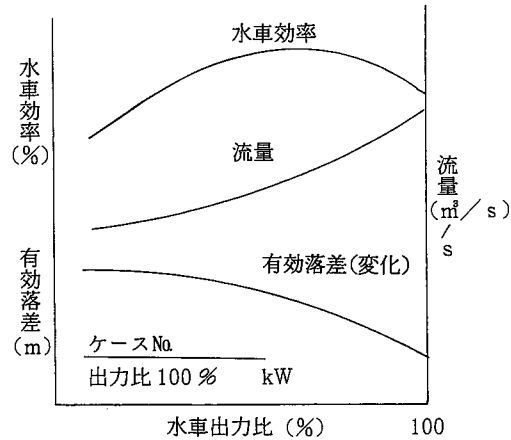


図2.2-10 水車性能曲線の例-2

b) a)に記載の増大分が20%を超える場合は2.2.3項の式に準じ、それぞれの流量における損失水頭を求め有効落差を定める。即ち、流量に対応した変落差として取り扱う。(図2.2-10参照)

(4) 表2.2-4の流量、水車効率及び有効落差より、次式で水車出力を計算する。

$$P_T = 9.8QH\eta_T \dots\dots\dots (2.2-10)$$

ここで、 P_T : 水車出力 (kW)

Q : 流量 (m^3/s)

H : 有効落差 (m)

η_T : 水車効率 (%)

また、流量比100%における水車出力を100%とし、算出された各出力の比率を求め、それぞれの値を表2.2-4に記入する^(註1)。

注1) 4)項、(3)注1)に記したように、各ケースの水車定格出力は、表2.2-4の出力比100%にお

ける値で、概定される。

- (5) 表 2. 2-4 の流量、水車出力比、水車効率を用い、水車性能曲線を各ケースについて作成する。この場合、後の手順で行う年間発電電力量の計算を考慮し、横軸に水車出力比をとる。

図 2. 2-9 及び図 2. 2-10 は水車性能曲線の例を示す。

7) 発電機形式の選定と定格事項の概定

- (1) 4) 項で選定、概定した各ケースの水車形式、水車枠番その他の諸元と、第 6 章に掲載されている各水車形式に組み合わされる発電機選定図より、該当する型番を選ぶ。発電機には、同期発電機と誘導発電機があるが、ここでは、適用例が多いことから同期発電機を対象にする。(発電機形式の選定については第 6 章発電機参照)

- (2) (1) の作業から、発電機の極数(回転速度)が決まり、これと水車回転速度との対比によって増速機の要否、増速比が判る^(注1)。

注1) パッケージ形ペルトン水車発電機及びフランス水車発電機の場合はすべての枠番について増速機は設けない。また、第 6 章表 6. 1-1 より、発電機の仕様概要が決まる。

- (3) 発電機定格出力は次式で概定する。

$$P_G = P_T \cdot \eta_G \cdot \eta_S \dots\dots\dots (2. 2-11)$$

ここに、 P_G ： 発電機定格出力 (kW)

P_T ： 水車定格出力 (kW)

η_G ： 発電機定格出力時の発電機効率 (%)

第 6 章図 6. 2-1 ~ 3 の発電機効率線図を用い、水車定格出力を発電機出力と仮定して発電機効率を読み取る。

η_S ： 増速機効率 (%)、第 6 章図 6. 2-4 に掲載されている増速機効率線図より定める。但し、増速機を用いていない場合、この項は削除する。

本項(2)で定めた諸元と、ここで算定した発電機定格出力をもって発電機の定格事項が概定される。

8) 年間可能発電電力量の概定

(1) 表 2. 2-5 は各ケースの年間可能発電電力量の概定表で、それぞれの諸元を次のように設定し計算する。

表 2. 2-5 年間可能発電電力量算定表

流量 m ³ /s	有効落差 m	運転日数 日	水車効率 %	水車出力 kW	水出力比 %	増速機効率 %	発電機効率 %	発電電力量 kWh
								年間可能発電電力量 kWh

a. 流量：1) 項で記した計画地点の発電水運用パターンと対比しながら、定格流量から部分流量（最小値は、そのケースの水車形式によって概定される。第 4 章参照）に至る間を適宜に分割し、それぞれの値を表に記入する。（図 2. 2-11 参照）^(注1)

注 1) 発電電力量算定精度を高めるためには分割数を増やせばよいが、作業の省力化を図るため、運用パターン（変化の状況）を考慮し分割数は極力小さくする。

b. 有効落差：有効落差一定の場合は、a. で定めたすべての流量に対し、定格の有効落差が適用される。また、有効落差が流量によって変化する場合は、6) 項で作成した水車性能曲線を用い、a. で定めた流量に対する有効落差を読み取る。

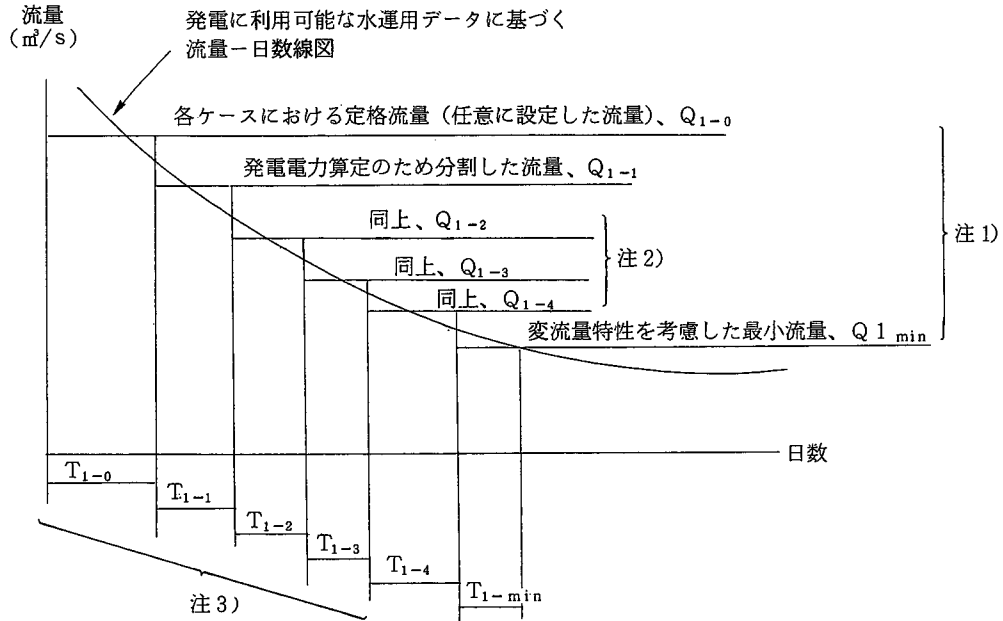
c. 運転日数：a. の流量の分割及び設定と同時の作業で、水運用パターンからそれぞれの流量に対し等価面積となる日数を読み取り、記入する。

d. 水車効率：6) 項(5)で作成した水車性能曲線より求める。

e. 水車出力：表に記入されているそれぞれの流量－有効落差－水車効率を用いて、式（2. 2-10）で算出する。

f. 水車出力比：定格流量（出力）を100%とし、e. で算出した各出力の比率を記入する。

g. 発電機効率：第 6 章図 6. 2-1～3 より、発電機効率を求める。



- 注1) $Q_{1-0} \sim Q_{1-min}$ の各流量の値が、表 2.2-5 の流量欄に記入される。
- 注2) 定格流量の 50% 以下の流量では、水車効率の変化を考慮し、定格流量の 10% 以内の間隔で分割する。
- 注3) $T_{1-0} \sim T_{1-min}$ の各日数が、表 2.2-5 の日数欄に、それぞれの流量値と対応して記入される。

図 2. 2-11 年間可能発電電力量算定のための流量分割例

- h. 増速機効率：増速機を用いている場合は、水車出力比即ち、増速機負荷比に対応する増速機効率を第 6 章図 6. 2-4 より読み取る。
- i. 発電電力量：h. までの作業で概定・算定された一連の諸元、すなわち運転日数、水車出力、増速機効率、発電機効率を用い次式により、発電電力量を算出し、記する。

$$\text{発電電力量} = \text{日数} \times 24 \text{時間} \times \text{水車出力} \times \text{増速機効率} \times \text{発電機効率}$$
- j. 年間可能発電電力量：i. で算出された発電電力量の和をもって年間可能発電電力量が得られる。
- k. ダムを利用した発電方式の場合、半旬毎の使用流量と総落差の資料から、各流量に対応する損失水頭を計算して有効落差を求め前項の手順にしたがって発電電力量を算出する。この計算を年間分行うと、年間可能発電電力量が求まる。この方法はぼう大な計算となるので、電算機を用いて処理することが多い。

2. 2. 2 機器配置

機器配置は水力発電設備の機器構成により一律に決まるものではなく、地形、水圧管路、建屋条件、搬入条件等の外的要因の影響を強く受けるので、これ等諸条件を事前に充分把握しておく必要がある。

農業用水に従属した発電所計画の場合は、水利施設による制約条件を受けるので、この点を明確にしておくことが大切である。

1) 発電所機器構成

表 2. 2 - 6 は発電所機器の構成を示す。

表 2. 2 - 6 発電所機器構成表

機能 機器	ペルトン水車	フランシス水車	クロスフロー水車	チューブラ水車	100kW未満	
					クロスフロー水車	チューブラ水車
水車	横軸 2 射 ペルトン水車	横軸 渦 巻 フランシス水車	クロスフロー水車	S 形チューブラ 水車	クロスフロー水車	横軸及び立軸 チューブラ水車
入口弁	電動弁	→	→	電動弁	手動式 止水装置	手動式 止水装置
ガイドベーン又は ニードル駆動装置	電動式	→	→	電動式	手動式	横軸機：手動式 立軸機：固定式
ライナベーン 駆動装置				電動式 但し 停止時のみ可動		無 (固定式)
調速機	Z 級スピーダ ガバナ	→	→	→	ダミーロードガバナ	ダミーロードガバナ
発電機	同期又は誘導	→	→	→	→	→
主変圧器	油入式	→	→	→		
配電盤及び 開閉装置	6面構成	→	→	→	2面構成	2面構成
ホイスト				電動ホイスト又は チェーンロック		

2) 小水力発電所の設置条件

(1) 水車形式による設備条件

500kW以下のフランシス水車発電機、クロスフロー水車発電機及びペルトン水車発電機はパッケージ形を標準としているので建屋は不要である。そのため据付が簡単で工期が短縮できる等の特徴がある。但し配電盤及び開閉装置のみは屋内に設置する。

その設置条件は表 2. 2 - 7 の通りである。

表 2. 2 - 7 水車形式別設置条件

	主 機		配電盤及び開閉装置		主変圧器	
	屋 内	屋 外	屋 内	屋 外	屋 内	屋 外
ペルトン水車		○	○			○
フランシス水車		○	○			○
クロスフロー水車		○	○			○
チューブラ水車	○		○			○
クロスフロー水車(100kW未満)	○		○		—	—
チューブラ水車(100kW未満)	○		○		—	—

(2) 配置検討時の設置条件

a. 計画の基本的事項

- a) 全体地形と水圧管路及び放水路の位置、寸法等を念頭に置き掘削量が少なくなるよう全体配置を決める。未定の場合であっても仮設定を行い計画の進捗に合わせ見直しを行う。水圧管路の中心線で水車中心が決まる。また放水路上に発電機を設置することは避ける。
- b) 常時無人の発電設備であり操作室事務室等の操作員のための部屋は特に設けない。
- c) 主機は空冷としており、給水装置及び排水装置は設けない。但しチューブラ水車の場合で自然排水ができない場合は排水装置を設ける。(5.4 排水装置参照)
- d) 100kW未満の発電設備は単独運転を主体とする。
- e) 主機が屋外設置の場合、発電所建屋としては配電盤・開閉装置を主体として収納する。
- f) パッケージ形の場合、主機の周囲には安全確保のための柵を設けるものとする。
これは発電所の敷地の境界柵とは別とする。
- g) 主機及び建屋の据付レベルは洪水位の水位より高く計画する。
- h) 保守・点検のためのスペース(分解等)を設けておく。
- i) 搬入路を確保する。

b. 配置検討時の周囲条件

a) 気象条件

パッケージ形は屋外に据付けられる。そのため洪水、積雪等従来建築構造物で対策が採られてきた事項もその対策が限定されてくるが、積雪、凍結に対してはカバー等を設け、必要に応じて凍結防止ヒータ等を入れる等の対策を行う。

冬期の保守管理が不可能となる地域へのパッケージ形の適用は避け、従来通り建屋を設ける必要がある。

b) 騒音規制

パッケージ形は約95ホーン程度の騒音の発生が予想されるので、騒音規制がある場合は騒音予測計算を行い対策を検討する必要がある。

屋内据付となるS形チューブラ水車発電機の場合でも、騒音の規制値によっては建屋建築物に対する防音処置が必要になることがある。

c) 輸送・搬入路条件

パッケージ形は比較的寸法・重量が大きいため、輸送・搬入路条件と対比し問題のないことを予め確認する必要がある。

d) 水利施設による制約条件

水利施設の運用が主体となる水車発電設備での水利用は農業用水に従属した運用となる。即ち、水車設備の利用は、バイパスとして考えることが必要な場合がある。

3) 機器の配置計画

フランス水車発電機及びクロスフロー水車発電機の参考例を図2.2-12及び図2.2-13に示す。

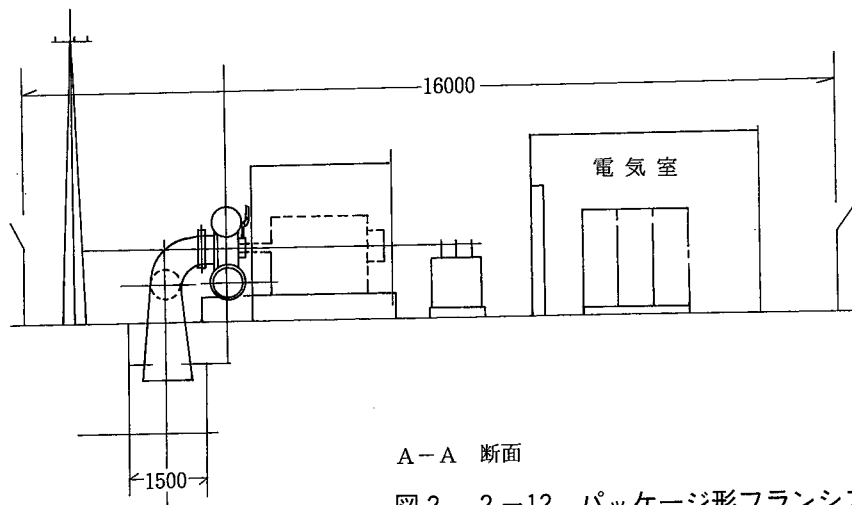
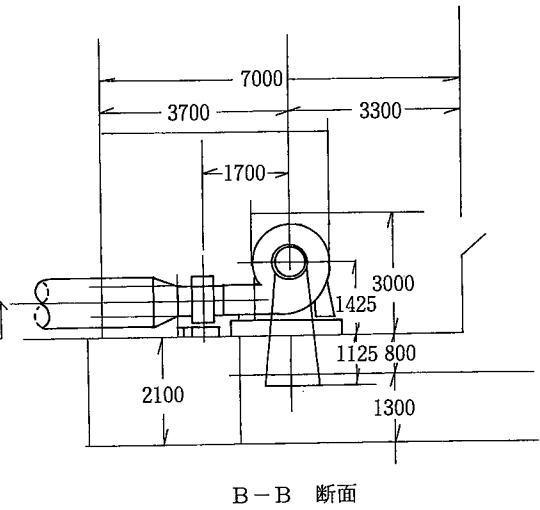
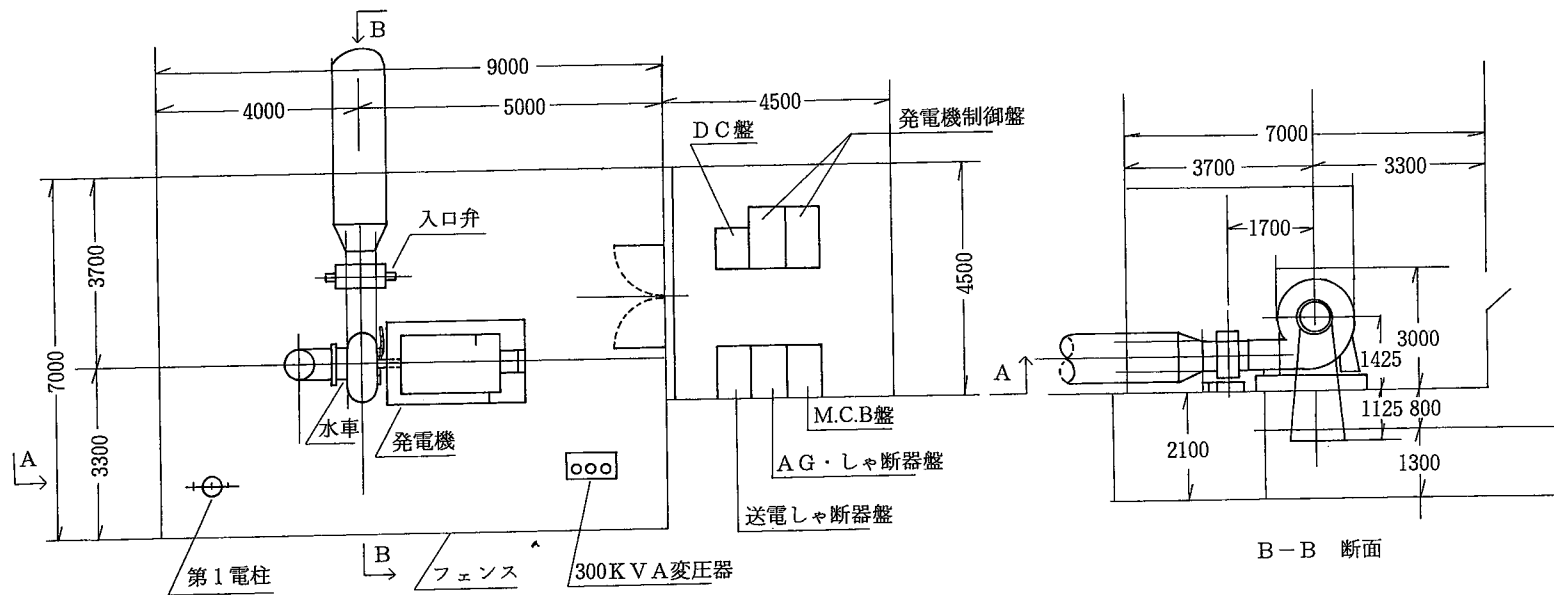
2. 2. 3 作業結果のまとめ

2. 2. 1～2. 2. 2項までの作業で得られた各ケースの諸元等は、表2. 2-8のように整理しておく。これらの諸元等は、第1章1. 6項に記載されているように、最適発電規模・水圧管径や水車形式の概定を含めた発電機施設全体に係る概略設計等に用いられる。

表2. 2-8 各ケースの諸元一覧表

諸元等	ケースNo.				
流量	m ³ /s				
有効落差	m				
水車形式					
水圧管管径	m				
周波数	Hz				
水車枠番	No.				
水車回転速度	r/min				
水車定格出力	kW				
比速度	m-kW				
発電機型番	No.				
発電機回転速度	r/min				
発電機定格出力	kW				
電圧	V				
増速比 ^(注1)					
年間可能発電電力量	kWh				
発電所機器構成					
機器配置					

注1) 増速機が不要の場合には、記載欄に「不要」と記入。

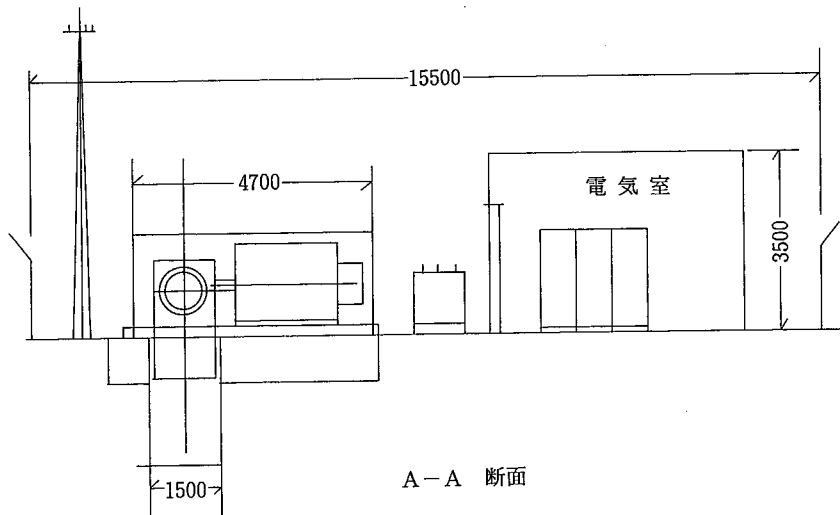
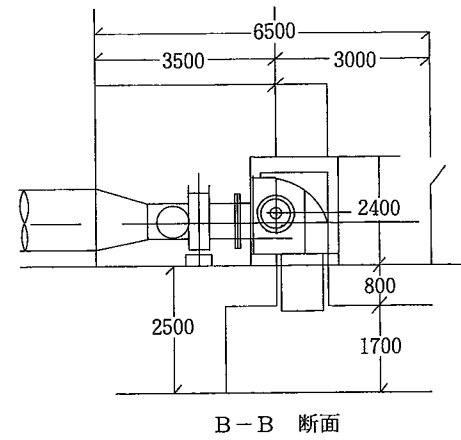
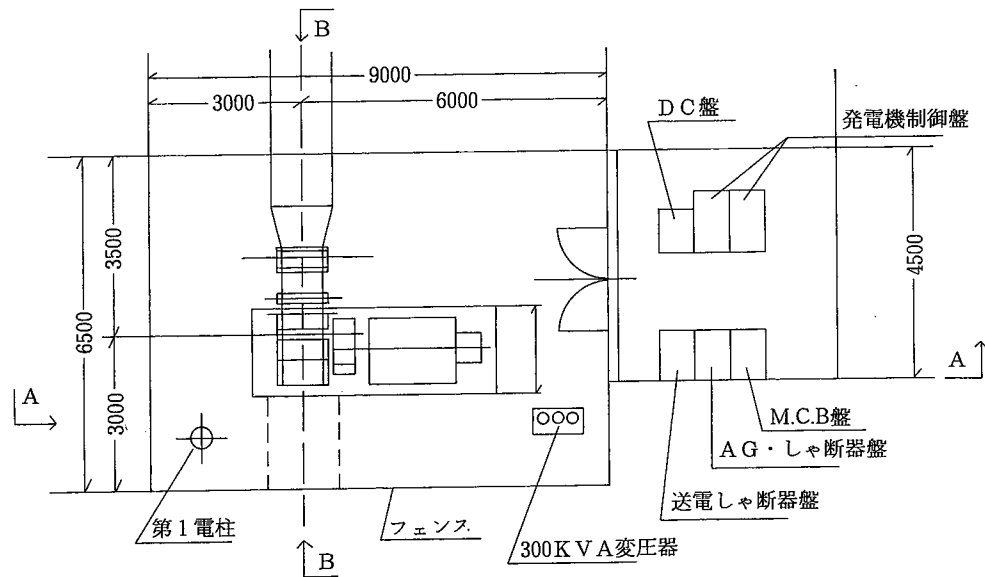


仕様書

水車形式	積軸フランシス水車	発電機形式	積軸三相交流周期発電機
枠番	G 375	容量	282kVA
有効落差	27.09m	電圧	440V
仕様水量	1.32m ³ /s	電流	370A
出力	292kW	周波数	60Hz
回転速度	900r/min	力率	95%
		回転速度	900r/min

A-A 断面

図 2. 2-12 パッケージ形フランシス水車発電機配置図



仕様書

水車形式	クロスフロー水車	発電機形式	積軸三相交流周期発電機
枠番	605 G	容量	235kVA
有効落差	25.10m	電圧	440V
仕様水量	1.32m ³ /s	電流	308A
出力	252kW	周波数	60Hz
回転速度	429r/min	力率	95%
		回転速度	1200r/min

図 2. 2-13 パッケージ形クロスフロー水車発電機配置図

2.3 経済性の検討

第12章12.1例題を参考にし、下記の項目について検討する。

2.3.1 建設費

一般に水力発電所の建設工事は土木工事、建築工事、電気工事に分かれ、土木工事にはダム、取水設備、水路、水槽、水圧鉄管、発電所基礎、放水路及び仮設備などの工事がある。建設費にはこれら工事費と、用地関係費、建設所運営関係費、工事資金の金利、事務経費が含まれることになる。

しかし、農業用水利施設利用の小水力発電所の建設費は、ダム、取水設備、水路などが公共施設となることから建設費をそのまま発電所の負担として計上されることにならない。これらの費用については全体の土地改良事業費から妥当な額を算定し、配分されることになる。概略工事費積算例を表2.3-1に示す。

表2.3-1 概略計画工事費積算基準例

項	目	内	容	工事費(千円)
(1)	建築関係		発電所(本館、付属建物等)	
(2)	土木関係	①水圧管路		
		②その他	ヘッドタンク、放水庭、放水路等	
(3)	電気関係	①発電機器	水車、発電機、主変圧器、配開装置、クレーン等	
		②送電施設	送電線等	
(4)	(小計) =純工事費		(1)+(2)+(3)	
(5)	測量及び 試験費		基本設計、実施設計等	
(6)	用地買収 補償費		用地買収、補償一式	
(7)	工事雑費		建設所運営関係 建設中利子 予備費	
(8)	(計)		(4)+(5)+(6)+(7)	

概略検討段階の算定については、かんがい排水事業ですでに設置した11ヶ所の小水力電設備の総建設費（図2.3-1参照）を参考にして建設費を積算する。

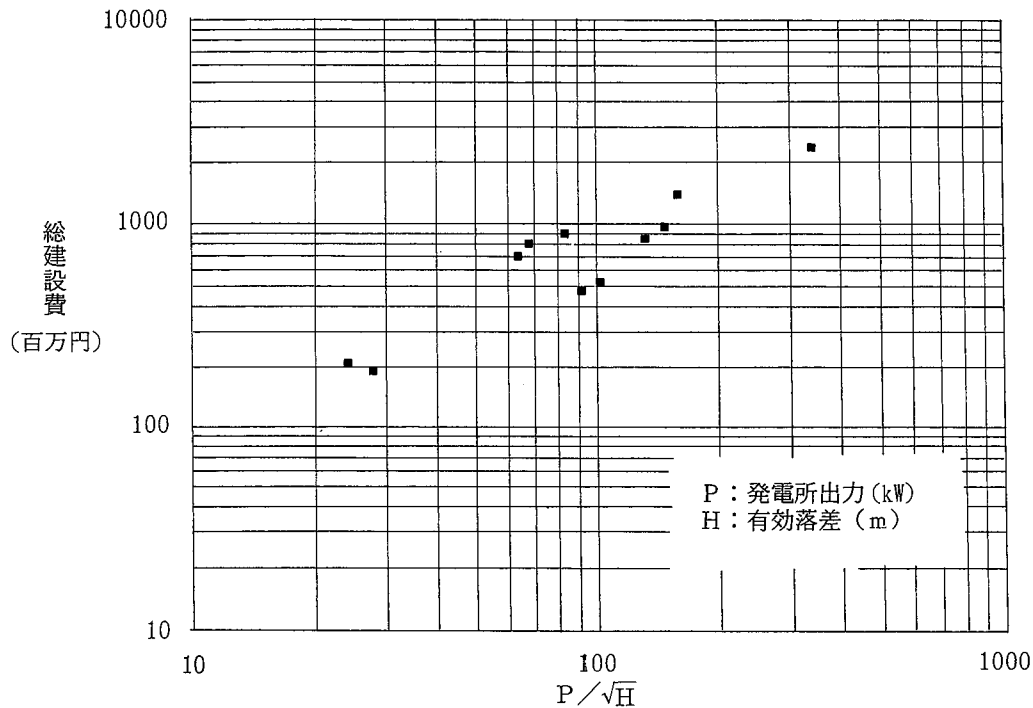


図2.3-1 総建設費の事例

このうち電気工事費は、11ヶ所の実績では総建設費の40～70%程度を占めている。

さらに詳細に建設費を検討するためには、それぞれ関係先より各項目につき、具体的な数値を入手の上検討を行うことが必要である。

2.3.2 建設単価法による経済性の評価

一般に水力発電の経済性の評価を行う場合、発電原価を最低とする原則を基本とする個別経済性評価法が用いられる。

この評価方法には、建設単価法、費用便益法（C/V法）、限界単価法等があるが、手法が比較的簡便なことから、建設単価法が一般的に用いられる。建設単価法は、kW当たり建設単価またはkWh当たり建設単価をそれぞれ次式により求めて、経済性の評価をするものである。

$$\text{kW当たり建設単価 (円/kW)} = \frac{\text{発電所の総建設費 (円)}}{\text{発電所の最大出力 (kW)}} \quad \dots\dots\dots (2.3-1)$$

$$\text{kWh当たり建設単価 (円/kWh)} = \frac{\text{発電所の総建設費 (円)}}{\text{年間可能発電電力量}^{(\#1)} \text{ (kWh)}} \quad \dots\dots\dots (2.3-2)$$

注1) 年間可能発電電力量は、発電所が年間を通じて事故停止もせず、点検維持補修停止もしないものと仮定した場合、1ヶ年間に発電可能な電力量で、過去10ヶ年の日流量について毎日の発電力計算を行い、可能発電電力量を求めらる。

また、kW当たり建設単価とkWh当たり建設単価は設備利用率^(注1)を介して次の式で表される関係がある。

$$\text{kW当たり建設単価 (円/kW)} = 8760 \times \frac{\text{設備利用率}^{(注1)} (\%)}{100} \times \text{kWh当たり建設単価 (円/kWh)} \dots\dots\dots (2.3-3)$$

一般に流れ込み式の小水力発電では発電所出力は小さいが、設備利用率が比較的高く、年間可能発電電力量を大きく取りうることにメリットがあるので、kW当たり建設費で経済性を評価するよりは、kWh当たり建設単価がその指標として使用されている。

一方、農業用水利施設を利用する小水力発電では、余剰電力を電力会社に売電することになり、この場合、電力会社の購入単価はそれぞれの電力会社と交渉してきまるが、一般的には昼夜間毎の火力焚き減し燃料費等の水準を発電原価の目安とする場合が多い。

注1) 設備利用率とは、発電設備が年間を通じてフル(100%)運転できたとした場合の年間可能発電電力量(最大出力kW×24hr×365日)に対する実際の発電電力量の割合を示すもので、次の式で計算する。

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

(2.3-3)式を用いて既に設置した11ヶ所の小水力発電設備のkW当たり建設単価、当たり建設単価の関係を設備利用率をパラメータにしてプロットすれば図2.3-2のようになる。設備利用率が高くとれる場合には、kW当たり建設単価が比較的高い例でも発電の経済性を確保することが可能である。

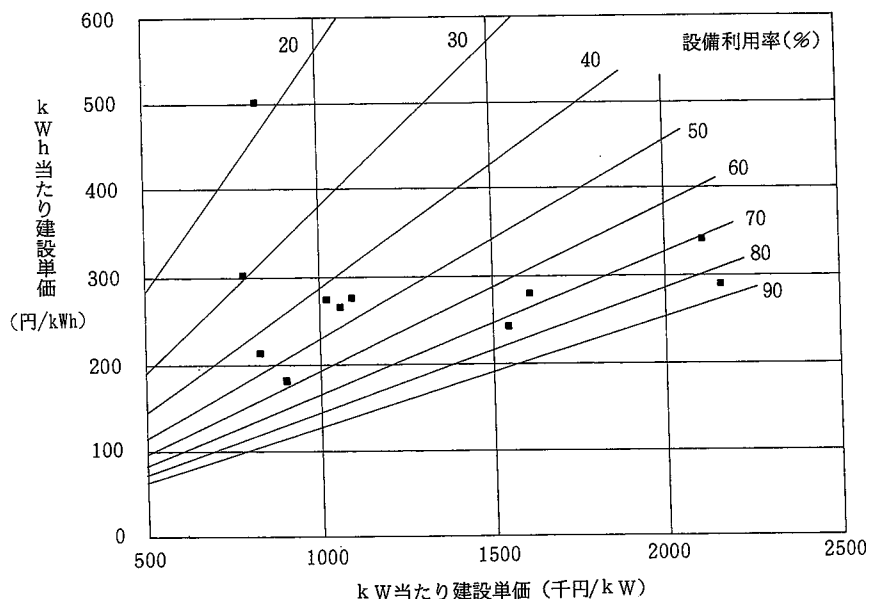


図 2.3-2 建設単価参考例

一般的に農業用水利施設発電設備のkWh当たりの建設単価は、かんがい排水事業との費用負担を調整した後で上限が350円程度である。

2. 3. 3 発電原価

発電原価は、発電に係る年間費用を減価償却費、人件費、修繕費、支払利息、その他費用を費目毎に積算し、これと年間発電電力量^(注1)に基づいて発電量の1kWh当たりの原価として算定される。

注1) 年間発電電力量：事故、点検、維持補修等による発電停止を考慮して算定する年間の発電電力量＝
 年間可能発電電力量×利用率
 利用率としては一般に下記が採用される。
 流れ込み発電： 0.97
 貯水池式発電： 0.97～0.98

これは小水力発電の余剰電力を電力会社に売却する場合の売電単価の決定基礎となるもので、小水力発電計画を評価する上に重要なものである。

$$\text{発電原価 (円/kWh)} = \frac{\text{年発電経費 (円)}}{\text{年間可能発電電力量 (kWh)} \times \text{利用率}} \quad \dots\dots\dots (2. 3 - 4)$$

ここに、年発電経費は、次の構成からなる。

$$\text{年発電経費} = \text{直接費 (人件費、修繕費、諸費等)} + \text{資本費 (減価償却費、借入金利息等)} \\ + \text{管理部門費 (共用施設維持管理費、発電所維持管理費)}$$

各項目毎の積み上げ方針は次によるものとする。

1) 減価償却費

農業用水利施設利用の小水力発電については、かんがい排水事業や農地開発事業などの土地改良事業の一工種としてのほか、中山間地域農村活性化総合整備事業その他の農村総合整備事業にある地域資源を有効活用するための施設整備でも発電所の建設ができる。2つの事業を組み合わせることによるエネルギーの有効活用も考えられる。これらは基本となる親事業と同率の国の負担率、補助率が適用されるので一般の水力発電に比べ大変有利な条件で開発することができる。平成6年度における国庫補助率を表2. 3 - 2に示す。

表2. 3 - 2 土地改良事業の国の負担率・補助率と地元負担率

事業名	国 %	都道府県、地元
国営かんがい排水事業	70～2/3	左の負担残
都道府県営かんがい排水事業	50	
団体営かんがい排水事業	45	
国営農地再編開発事業	70～2/3	
中山間地域農村活性化総合整備事業	55	
その他の農村総合整備事業	50	
その他農業生産基盤整備事業	各事業の負担率による	

注：北海道・離島・沖縄・奄美などについては、それぞれ別に定められた率による。

減価償却費は、小水力発電事業に係る事業費のうち、事業者負担分について、残存価格率10%とし、定額法により算出した額とする。

なお、総合耐用年数は、農業水利施設を利用した小水力発電の場合、約27～30年である。

2) 人件費

原則として計上しない。ただし委託運転費を要する場合は、協議の上計上する。

3) 修繕費

公営電気事業者の電気料金算定に使用されている標準修繕費により計上する。

その際、2,000kW未満については、2,000kW単価 1,182円/kWを用いて次式により計上する。

$$\text{標準修繕費 (1,182円/kW)} \times \text{最大出力kW} \times \text{係数 (2.7)}$$

4) 水利使用料

各都道府県の区域内で河川の流水を占有する場合は、水利使用料が必要である。

正確には「水利使用料は流水占用料」ともいい、河川法により建設大臣が限度額を定めているが、公益性の高い事業に係る流水の占用については免除または軽減することができるようになっているので、確認の上法令等による所定額を計上する。

5) 支払利息

小水力発電事業費の事業者負担分のうち、農林漁業金融公庫資金等、利息を伴うことが明らかなものについて、当該償還計画に基づき算定した均等化利率により計上する。

6) その他の費用

その他小水力発電の運営に必要とする費用として必要額を計上する。

(1) 共用施設維持管理費

水路等の共用施設に係る維持管理費として1人分の人件費相当額(600万円)等を目安に協議の上所要額を計上する。

(2) 一般管理費対応費として減価償却費の50%を上限として、各事業ごとの所要額を計上する。

(3) 諸費

当該発電施設を運転するために必要な光熱費、消耗品等の費用で、次式により算定された経費を計上する。

$$1,000\text{円/kW} \times \text{最大出力kW}$$

発電原価計算のフォーマットを表2.3-3に示す。

表 2. 3 - 4 発電原価計算表

項 目		数 値	計 算 式
建 設 費 千円			
売 電 可 能 電 力 量 kWh			
直 接 費	人 件 費 千円		
	修 繕 費 千円	"	1.182 (千円/kW) × 最大出力 (kW) × 2.7
	水 利 使 用 料 千円	"	注1)
	諸 費 千円	"	1.0 (千円/kW) × 最大出力 (kW)
	小 計 千円	"	
資 本 費	減 価 償 却 費 千円	"	建設費 (千円) × 0.9 × (事業負担率) ÷ (総合耐用年度)
	借 入 金 利 息 千円	"	建設費 (千円) × (事業負担率) × (年金利の均等化利率)
	一 般 管 理 対 応 費 千円	"	減価償却費 (千円) × 1/2
	固 定 資 産 税 千円	"	
小 計 千円	"		
管 部 理 門 費	共用施設維持管理費 千円	"	年間1人当たりの人件費 (600万円) × 人数
	そ の 他 千円	"	
	小 計 千円	"	
合 計 千円		"	
発電原価 円/kWh			

注 1) 「河川法施行令第十八条第一項第三号の建設大臣が定める額の件」として平成元年
3月20日建設省告示第671号を参照。