

水力発電所における水槽、余水路、減勢工の形式選定基準

STANDARD FORM SELECTION OF HEADTANK, SPILLWAY,  
AND ENERGY KILLER IN WATER POWER PLANT.

北電産業㈱ 取締役 土木部長 正員 ○ 稲松 敏夫(技術士)  
北電産業㈱ 土木部主任 正員 有賀 明  
北電産業㈱ 土木部主任 宮本 富夫

1 まえがき

水力発電所に於て発電所停止の場合、水槽より余水を溢流させ、余水路を通水して発電所下流へ導水する場合、発電所出力と同じいエネルギーを減勢して下流に静水状態にして済す為余水路末端に減勢池を設けるが、この減勢工設計の場合、模型実験等で形式を決定するのに、約6ヶ月、500万円程度の費用を要するので、発電所設計の場合に、他の構造物(ダム、トンネル、発電所等)は2ヶ月程度で決定するのに比較して全体の取りまとめのネックになっている。今回の提案は、使用水量、発電所出力等により小型(衝撃型)中型(立孔型)、大型(跳水型)、に形式を選定するための基準をつくり、2ヶ月程度で、模型実験を省略して減勢工の設計が可能になる様に提案した(土木学会全国大会研究発表会54年度、55年度)のについて、更にその内容について継続検討した結果と、更に小型(衝撃型)、中型(立孔型)、大型(跳水型)の夫々の使用水量、発電所出力等により、設計基準(構造物の標準設計図、設計流速等)を提案する。(図-1参照)

2 従前の余水路と最近の状況変化

これまでに数多くの余水路が建設されているが単独発電所の場合は、余水路の末端は河川に放流する場合が多かったので、その場合は、空中に放水して、自然落下により河川内で減勢するか、或は下流発電所水路と直結する場合も同様であるが、殆んど跳水型減勢池を築造して減勢した例が大半である。ところが近年環境問題等で、単独発電所の場合でも、河川に自然放水する事には問題があり、特に下流発電所水路及び用水路等に直結する場合は、跳水型減勢池は、大型になるので、用地問題、更に工事費、工事期間の見地から最近に至り、減勢工の再検討が必要となってきた。

小型(衝撃型)については10年位、中型(立孔型)については7年位、大型(跳水型)については30年位の実績はあるが、夫々水理模型実験、設計、施工、減勢効果の測定等、数多く行なってきたが最近の状況変化、特に環境問題と工事費節減、工期短縮の為には、形式選定基準を作製し、提案する基準に基づいて形式を決定した結果をここ数年減勢効果及び工事費、工事期間等の効果を確認し、更に、各型式の設計基準(構造物の標準設計図、設計流速等)を作製して活用すれば、多大の効果があると確信する。(図-2参照)

3 形式と適用例

減勢工の形式を次の三種類に大別し、その形式の基

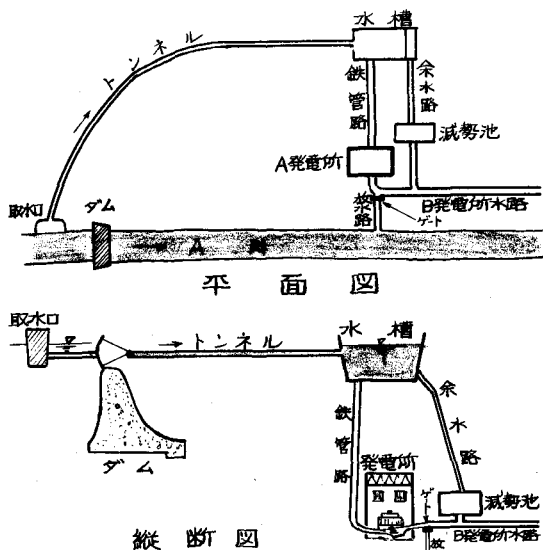


図-1 減勢池の位置

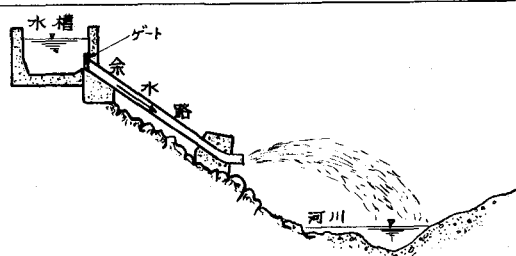


図-2 自然落下式

準については次の通りとする。

#### (1) A型（小型、衝撃型）

減勢室に流入した高速射流が、垂直にたれ下った衝撃板に突当って、流れの方向を変え、大きな衝撃とともに渦を激しく起こし、それによって、エネルギーが減勢される。衝撃板には、大きな衝撃力が作用するので、ある程度以上流量が大きいと、振動、騒音、強度の面で不都合を生ずるが、他の形式に比べ、構造物の規模が小さくてすみ、比較的小流量で流速が大きい場合、特に減勢効果を発揮する。（図-3 参照）

先頃、筆者らが手がけた早月発電所（表-1 参照）は、その設計に際し従来流量の適用範囲が  $10 \frac{m^3}{s}$  までとされていた衝撃型減勢工を立地条件と経済性重視の結果、水理模型実験によって適合性を確認した上で採用した。発電所は55年3月末に完成し、現在運転中であるが、騒音、流況、エア混入等、すぐ民家に近接しているが、特に問題なく、成功した事例である。

#### (2) B型（中型、立孔型）

余水管からの高速射流が立孔に沿って直下の減勢室に落下し、そこで激しいローリングを起こすことによって、エネルギーが減勢される。この方式は規模に応じた最適減勢工容量を設定することにより、広い範囲の流量にわたって安定した減勢効果が得られ、また水平方向に対して比較的場所を取らず用地の面で有利である。（図-4 参照）

#### (3) C型（大型、跳水型）

水槽からオーバーフローした余水が射流の状態で減勢池に流入し、そこで跳水を起こすことによって、エネルギーが減勢される。構造物の規模が大きくなり、他の形式に比べて広い用地を要するが、構造がシンプルで耐久性、安全性に優れ大流量でも確実な減勢効果を示す。この形式は、古くから適用され、施工例も多く、減勢効果に関する研究が十分なされている。

（図-5 参照）

図-3 A型（衝撃型減勢工）

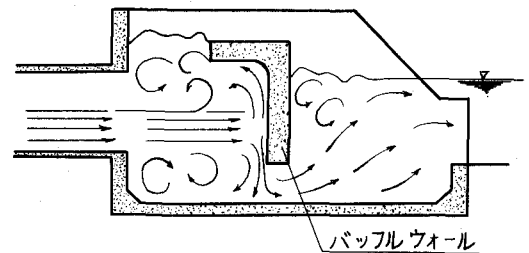


図-4 B型（立孔型減勢工）

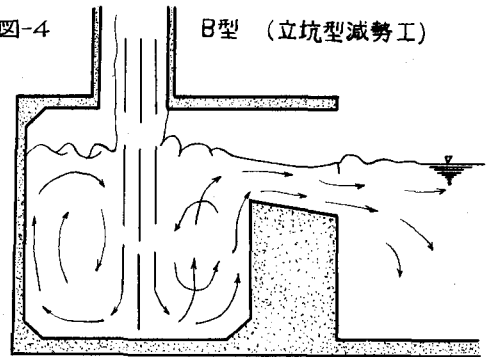


図-5

C型（跳水型減勢工）

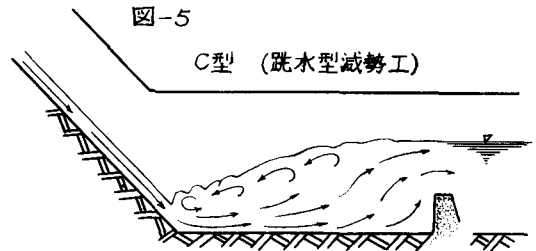


表-1 減勢工形式別の代表的適用例

| 形 式            | 発電所名(所属)          | 最大流量     | 最大出力   | 落差      |
|----------------|-------------------|----------|--------|---------|
| (A型) 衝撃型減勢工    | ◎ 大長谷第三 (富山県営)    | 4.0 m³/s | 8.0 MW | 244.5 m |
|                | ◎ 笠 倉 (京都電力新線)    | 7.5      | 10.2   | 176.0   |
|                | ◎ 柚ノ木 (山梨県営)      | 8.5      | 17.8   | 246.6   |
|                | ◎ 早 月 (早月電力山梨県)   | 15.2     | 6.0    | 47.5    |
| (B型) 立孔型減勢工    | ◎ 大日川第二 (石川県営)    | 13.0     | 14.8   | 138.1   |
|                | ◎ 小 平 (群馬県営)      | 24.0     | 35.7   | 171.8   |
|                | ◎ 北 小 谷 (京都電力長野県) | 35.0     | 10.5   | 35.5    |
|                | ◎ 読 書 (新潟電力長野県)   | 45.9     | 42.1   | 112.2   |
| (C型) 跳水型従来型減勢工 | ◎ 久々野 (宇都宮電力長野県)  | 34.6     | 38.4   | 127.5   |
|                | ◎ 富 田 (北陸電力福井県)   | 80.0     | 19.2   | 28.2    |
|                | ◎ 神通川第三 (北陸電力富山県) | 110.0    | 9.4    | 10.2    |

注：◎は筆者らが設計した

#### 4. 形式選定基準

前掲の適用例を基に最近の設計傾向を考慮して図化した選定基準を図-6に示す。

A型の適用範囲の上限における流量 $Q$ と出力 $P$ との関係は

$$Q + P = 25 \quad (\text{ただし, } Q: \frac{m^3}{s}, P: MW)$$

を満足しなおかつ各々の上限を $15 \frac{m^3}{s}$ ,  $20 MW$ とする。

B型の適用範囲は流量 $46 \frac{m^3}{s}$ を上限とするA型を除いた範囲。

C型は流量 $46 \frac{m^3}{s}$ 以上を目安とする。

この基準を基に立地条件を考慮に入れば、適用すべき形式は容易に求められる。

#### 5. 実施例及び模型実験の結果の改良

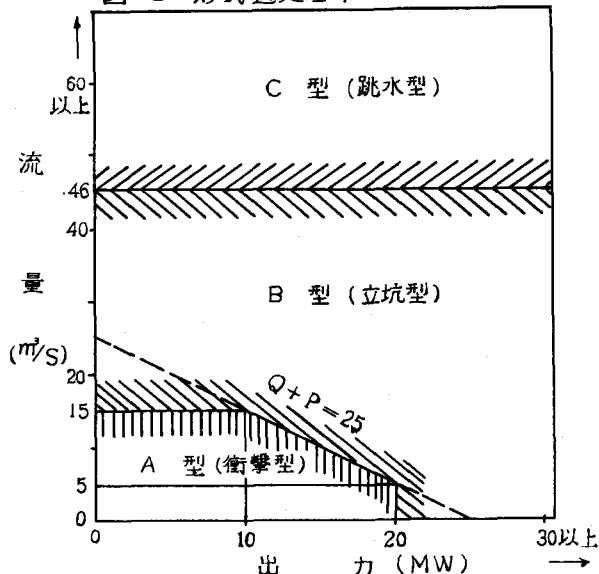
筆者らは、過去に多くの余水路減勢工を設計、施工してきたが水理模型実験を行った数件のうち、代表的な3つの例について、当初の問題点と対策ならびに結果、さらに適用範囲の検討結果及び施工運転の結果の問題点について以下に述べる。

(1) A型(衝撃型) 早月発電所 ( $P = 6 MW$ ,  $Q = 15.2 \frac{m^3}{s}$ )

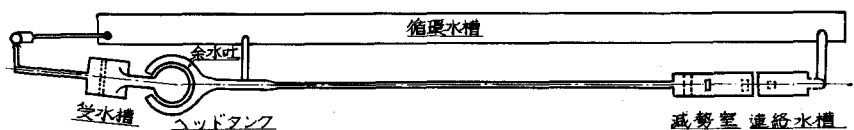
当初流量と落差の規模による過去の実績から見て、減勢工の形式としては、立孔型が適当と思われた。しかし現地の地形的条件から経済性を重視して、2次案として衝撃型減勢工を提案し流量過大による問題点を探り、さらに対策を検討することを目的として水理実験を行なった。縮尺は実験設備を最大限に活かし $1/15$ とした。

(図-7 参照)

図-6 形式選定基準



平面図



縦断図

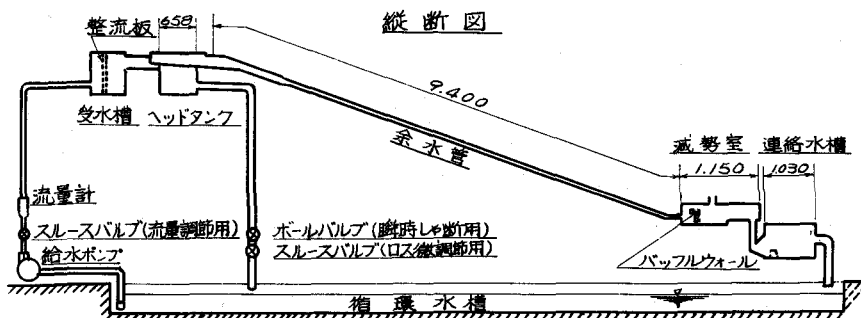


図-7 衝撃型減勢工模型実験例(早月発電所)

a. 設計原案における問題点 本発電所は既設構造物を利用、改造して設置するため、設計にはいくつかの制約がある。そこで予想される問題点を把握するために、設計原案の形状で予備試験を行なった。その結果 ① ヘッドタンクの水面動揺が激しい。 ② ヘッドタンクで渦が発生し、圧力鉄管へ空気を連行する。 ③ 減勢工内で騒音が発生する。 ④ 減勢室から連絡水槽へ空気が連行される。等の問題点が見い出された。

b. 実験内容と結果 ①ヘッドタンクの水面動揺と渦発生について、激しい水面動揺は発電所の水位調整機による運転に支障をきたし、渦による空気の連行は水車に衝撃を與えるため、その対策として、デフレクターを設けて水面の静穏化を計った。その結果、渦の発生は見られなくなり、水面動揺は、水位調整機の感

度を下げることなく、その不感帯以内に抑えられた。また、デフレクターによる背水の影響はほとんどなく、トリップ時における導水路末端のクリアランスは十分であった。

② 減勢工の騒音について 騒音に関する相似率は、現在の段階では明確でないので、ここでは既設構造物の現状を模型上で再現し騒音計によって計画案との比較を行なった。その結果、計画案が既設現状模型の騒音を明らかに下まわったので減勢工の形状における騒音対策は必要ないと判断した。

③ 連絡水槽への空気混入について 減勢工で発生した多量の気泡は、連絡水槽へ流入しそのまま放水路へ混入する。放水路は途中に逆サイホン有するので、空気塊による振動、衝撃が構造物に及

ぼす影響は多大である。その対策として、衝撃板の取付位置を下方へ移動し衝撃板をくぐる通水面積を減少させて流れを上下両方にふり分け、気泡発生を減少を計った。また連絡水槽内にバフを設置して気泡の浮上を促した。その結果、減勢効果が向上して静穏度と流況が改善され、空気の混入量が大幅に減少した。

c. 適用範囲 衝撃型減勢工は従来、流量  $10 \frac{m^3}{s}$  程度で流速が  $10 m/sec$  以上の場合に有効である。(土木学会編、水理公式集、P310参照)とされていたが、今回流量  $15.2 \frac{m^3}{s}$ 、落差  $4.7 m$  の早月発電所に適用し、水理実験によってその適合性が確認されたので、流量による適用範囲の上限は  $15 \frac{m^3}{s}$  にまで拡大した。また発電所出力による適用範囲は過去の適用例からみて(表-1参照)  $20 MW$  を上限とする。しかし立地地点の特殊事情などによって、適用範囲内の発電規模であっても、立孔型などの形式を適用することが考えられる。

d. 実施設計及び施工結果 実施設計は模型実験の成果をふまえて決定し、53年8月より着工し55年3月運転を開始した。全流量  $15.2 \frac{m^3}{s}$  を全水路から減勢池への放流実験をした結果は、附近に住宅が近接して

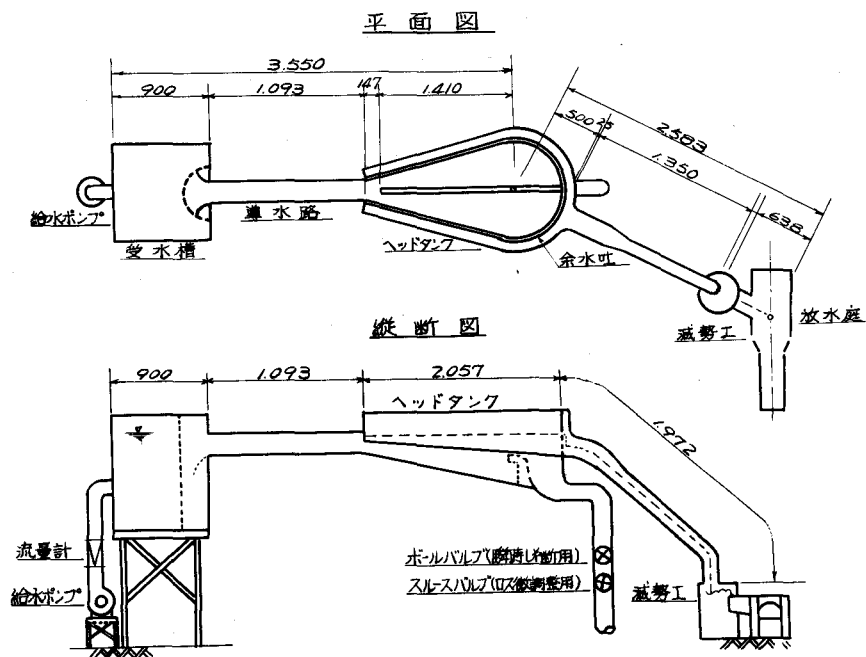


図-8 立坑型減勢工模型実験例(北小谷発電所)

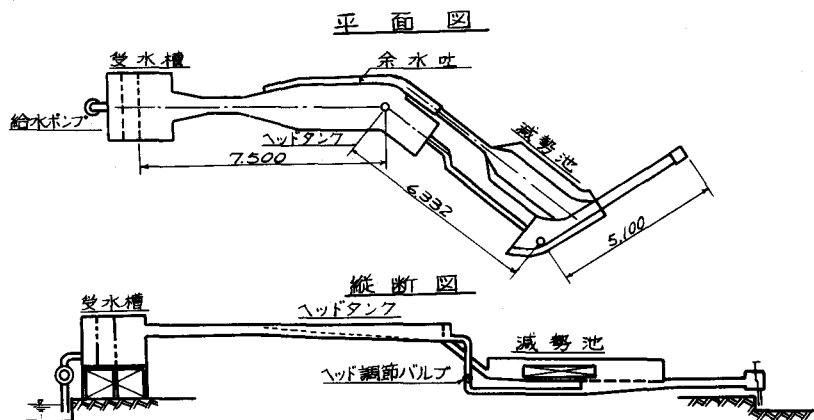


図-9 跳水等従来型減勢工模型実験例(富田発電所)

いたが、騒音、振動、構造強度等に問題なく、充分に成果が確認された。その後約8ヶ月運転を続け、月に1回程度トリップがあり発電の全水量を余水路、減勢池を通して流した回数は試験時を合せて50回程度あるが、特に問題は出ていない。尚、騒音防止の為、念の為消音塔を設置した。

(図-10～図12参照)

(2) B型(立孔型)北小谷発電所( $P=1.05\text{MW}$   
 $Q=35\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ )

本発電所地点は狭小な地形を利用するため、水槽からの余水が減勢工を経て円滑に放水されるには多くの問題点をかかえている。そこで、諸々の問題を究明し、最適設計を行なうため水理実験を行なった。縮尺は1/20を採用した。(図-8参照)

a. 設計原案における問題点 設計原案で予備実験を行ない、その水理的問題点を探った結果、

次のような問題点が見出された。①余水がヘッドタンクから溢流する際、潜り越流となり、余水路の流況が好ましくない。②余水管出口から落下する高速射流が立孔に沿って直下に向わず、減勢室における十分な減勢効果を得られない。③放水庭の水面動揺が激しい。

b. 実験内容と結果

①水槽からの潜り越流について 余水路の通水断面積不足によるものと判断し、余水路巾1.5mを2.0mに広げ、さらに余水路敷を0.2m下げた結果、水槽からの溢水は完全溢流で流れ、余水路の流況が大幅に改善された。

②余水管からの高速射流の偏流について 余水管からの高速射流

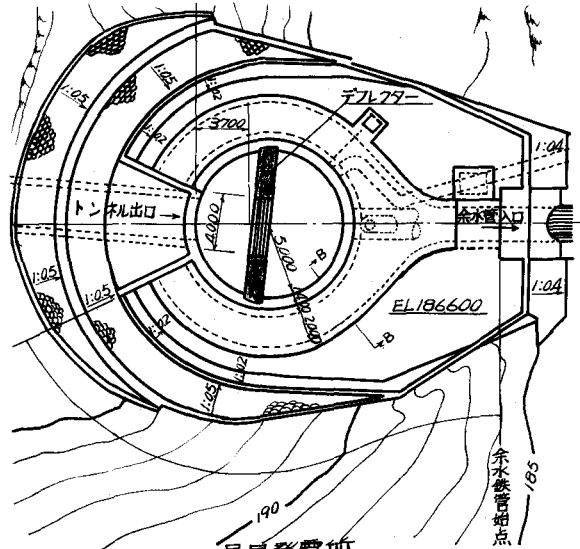


図-10 ヘッドタンク平面図

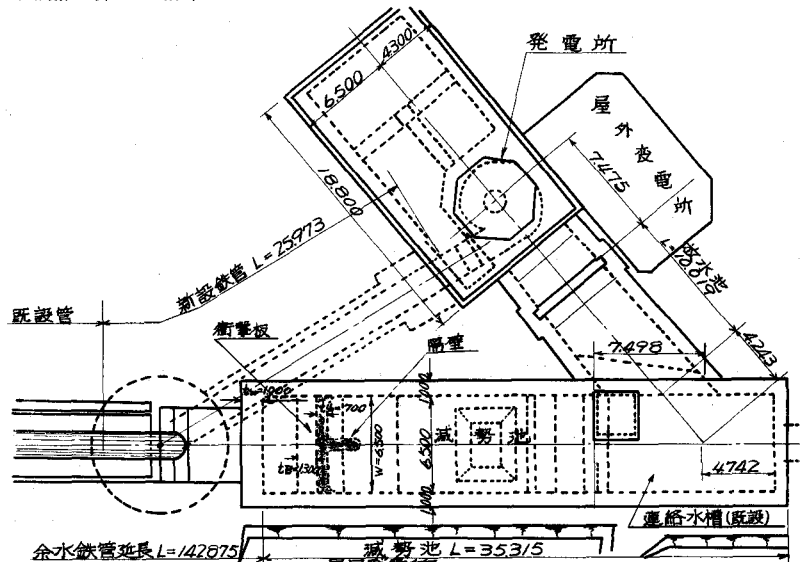


図-11 発電所減勢池平面図

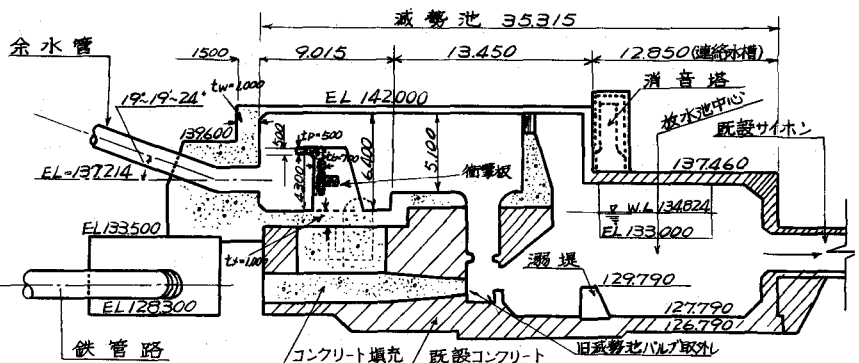


図-12 減勢池縦断面図(早月発電所)

—608—