

清水建設（株）土木本部 技術第二部 正会員 ○新宅 正道
 清水建設（株）技術研究所 流体グループ 正会員 孟 岩
 清水建設（株）土木本部 設計第二部 正会員 長谷川 誠

1. はじめに

電力需要の拡大予測、昼夜需要の較差増大に対するピーク対応の逼迫などから揚水発電所は当面の対応策の一つとして有力視されている。近年一つのアイデアとして地下揚水発電が浮上してきた。従来の揚水発電と大きく異なる点は、下部調整池として図-1に示す様な連設大空洞を利用することであり、主要な課題は次の2点と考えられている。1) 各調整池の水位を均等に保てるか、2) 揚水時に必要な流量が追従できるのか。ここでは、検討対象とした現象が地下調整池全体の水のバランスと言ったグローバルなものであること、また、地下調整池全体の底面積は広く地下調整池における上下方向の流速は十分遅いことを勘案し、現象を一次元化して水の挙動の解析を試みたので結果を報告する。

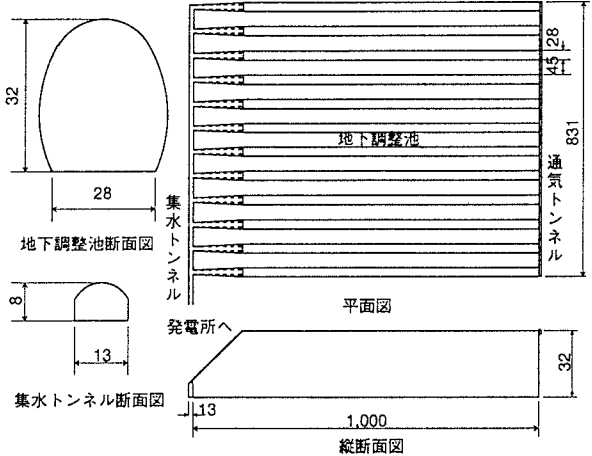


図-1 地下調整池概要図

2. 地下調整池内の水位の解析

各調整池の流入・流出流量に差があれば、各調整池間の水位に差が生じスロッシングが発生したり、水車・発電機への負荷が大きくなるなどの問題が考えられる。そこで、発電時の状態を想定し、各調整池への流入量および水位を解析する。

2.1 解析方法

6本の調整池に130m³/secの水が流入する場合を考える。図-2に集水トンネルから各調整池に流入する流量の計算モデルを示が、集水トンネルは満管であると仮定し、i-1番目の分岐点とi番目の分岐点、および、i番目の分岐点とi番目の調整池にベルヌーイの定理を適用する。

$$H_{i,j,t} = H_{i-1,j,t} - F_i \frac{V_{i,j,t}^2}{2g} = H_{i-1,j,t} - K_i Q_{i,j,t}^2 \quad (1)$$

$$h_{i,j-1,t} = H_{i,j,t} - F_i \frac{V_{i,j,t}^2}{2g} = H_{i,j,t} - k_i q_{i,j,t}^2 \quad (2)$$

また、連続の条件により、

$$Q_{i+1,j,t} = Q_{i,j,t} - q_{i,j,t} \quad (3)$$

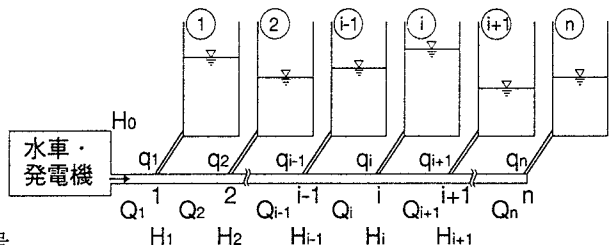


図-2 水位解析計算モデル

ここに、添添 i, j, t はそれぞれ分岐点番号、反復計算回数、発電開始からの時間を示す。

$H_{i,j}$: i 番目の分岐点直前における圧力水頭、 $h_{i,j}$: i 番目の調整池内の圧力水頭、また、 F_i, K_i : 損失係数、 V_i : 平均流速、 Q_i : 流量、 L_i : 延長、 R_i : 径深であり、大文字は集水トンネルの分岐点 i-1 から i までの値、小文字は分岐点 i から調整池 i までの値を示し、 n_i は粗度係数を示す。(1)~(3)式を j 回目の計算における最後の調整池の圧力水頭 $h_{n,j,t}$ と j-1 回目の計算における最後の調整池の圧力水頭 $h_{n,j-1,t}$ が収束条件を満足するまで流入口での圧力水頭 $H_{0,j,t}$ を修正して繰返し計算を行う。これを発電時間繰返す。

2.2 解析結果

図-3, 4に地下調整池へ流入する流量、および、地下調整池内水位の時間的变化を示す。最初は入口に近い調整池に流入する流量が多いが、わずか数秒間で各調整池に流入する流量はほぼ一定となり、各調整池の平均水位にも顕著な差は見られない。

3. 地下調整池内の流れの解析 地下調整池では、水はかなり長い距離の空洞を流れることになるため、揚水時に必要な流量を確保できず、空気連行を生じて水車を損傷するとか、揚水が不可能になる状況が考えられる。そこで、地下調整池内の水の流れを解析し、揚水時に必要な流量の確保に問題がないことを確認する。

3.1 解析方法 前節の結果より、各地下調整池への流入・流出流量は一樣であることがわかった。そこで、1本の地下調整池を対象として、開水路非定常流の基礎方程式による一次元解析を行う。水路幅Bと流量Qが一定と仮定した場合、(4)式に示す運動方程式で記述することができる。

$$-i_0 + \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\alpha Q^2}{gB^2h^3} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2}{R^{4/3}} \frac{Q^2}{B^2h^2} - \frac{\beta Q}{gBh^2} \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

ここで、 i_0 ；水路勾配、 h ；調整池内の水深、 R ；径深、 Q ；調整池からの流出量、 n ；粗度係数、 α, β ；流速分布による補正係数、 As ；調整池底盤面積を示し、左辺の各項はそれぞれ、水路勾配、水深勾配、速度水頭勾配、摩擦損失勾配と非定常項を表す。図-5に解析モデルの概要を示すが、出口の水位の変化は Q/As で一定、奥の水位は河床に平行であること、また、計算開始時の地下調整池内の水深と、最終時の出口の水深を仮定し、式(4)により次の時間ステップでの各格子点における水深を求め、出口の水深が仮定した水深になるまで繰返し計算を行う。

3.2 解析結果 揚水量を $15 \text{ m}^3/\text{sec}$ とし、地下調整池の床勾配を種々変えた場合の揚水終了時点の水面形と調整池軸方向の流速分布をそれぞれ図-6、7に示す。水面形が確保できるということで一定の流量の流出が可能であることを確認できる。水面形と底盤（ $h=0$ ）で囲む部分をデッドウォーターと考える。今回のケースでは、床勾配が0の 때가最もデッド分が大きく、床勾配が大きくなるにつれてデッド分が少なくなる。一方、流速は床勾配の増加に伴って増大し、床勾配が0.5%になると出口部分より奥の方の流速が速くなる。今回のケースでは地下調整池の床勾配が0.2%の場合が水深、流速とも地下調整池全長に渡って一樣であることがわかる。

4. おわりに 地下調整池部の水の挙動について解析した。その結果、各調整池に流入する流量に大差はなく、水位はほぼ同じであること、また、揚水時にも必要な流量の追従が可能であることが確認できた。今回の検討は基本的な計画段階では実現現象の傾向を十分に把握できる精度のものと考えられる。今後、地下調整池の最適レイアウト決定のために、さらに細かい現象の解明が必要となれば、模型実験や数値解析を行うことを考えている。

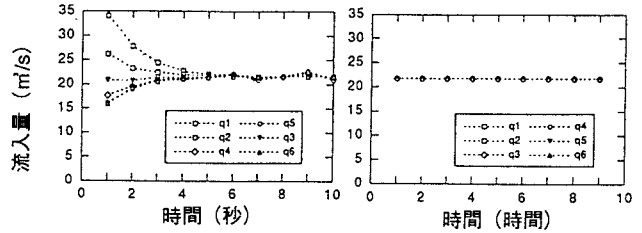


図-3 q1～q6調整池への流入量

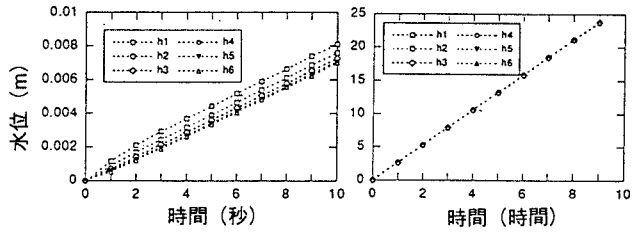


図-4 h1～h6調整池の水位

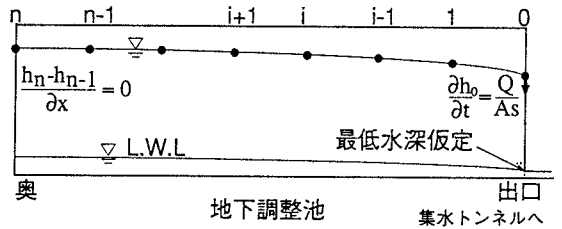


図-5 流れ解析計算モデル

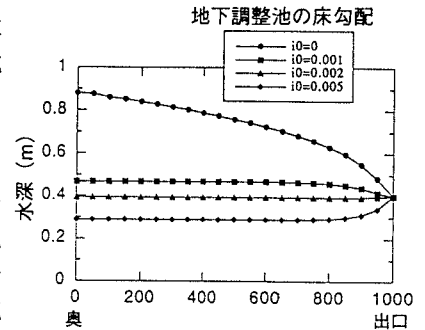


図-6 調整池内の水面形

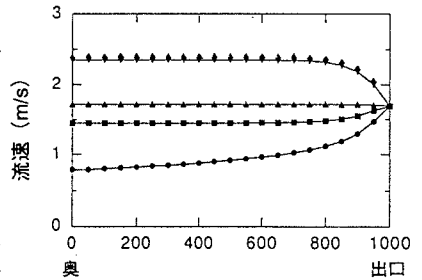


図-7 調整池内の流速分布