

II-219

流れ込み式発電所導水路内で発生する水理現象に関する一考察

京都大学工学部 正 員 細田 尚
 広島大学工学部 正 員 余越正一郎
 京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗

1. はじめに： 本研究では、流れ込み式発電所内の導水路で生ずる水理現象について考察する。まず、導水路内に水がないときスルース・ゲートを上昇させることにより生ずる流れについて検討し、次に、負荷遮断時の下流端水槽部で生ずる段波の遡上とそれに伴う管・開水路境界面の伝播(余水路省略時に生ずる現象である。)について検討する。

2. スルース・ゲート急開時の水理解析¹⁾： 解析の基礎式は次のようになる。(流れの概念図と座標系をFig.1 に示す。)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1) \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uQ)}{\partial x} + gA \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} = gA \left(\sin \theta - \frac{n^2 |u| u}{R^{4/3}} \right) \quad (2)$$

ここに、A：流水断面積、Q：流量、 $u = Q/A$ ：平均流速、 θ ：水路床こう配、R：径深、n：Manningの粗度係数、 β ：運動量係数、h：水深、x：距離、t：時間 である。($\beta \approx 1$ 、 $\cos \theta \approx 1$ とおく。)

解析法は岩佐・井上²⁾ が洪水氾濫の挙動解析に用いている方法と同様である。基礎式(1)、(2)をFig.2の変数の配置を用いて次のように離散化する。

$$\frac{A_{i+1/2}^{n+1/2} - A_{i+1/2}^{n-1/2}}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}^n - Q_i^n}{\Delta x} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{Q_{i+1}^{n+1/2} - Q_i^{n+1/2}}{\Delta t} + \left(\frac{u_i^n + u_{i+1}^n}{2} Q_{i+a}^n - \frac{u_i^n + u_{i-1}^n}{2} Q_{i-b}^n \right) / \Delta x + \frac{g A_{i+1/2}^{n+1/2} - g A_{i+1/2}^{n-1/2}}{2} \frac{h_{i+1/2}^n - h_{i-1/2}^n}{\Delta x} = g A_{i+1/2}^{n+1/2} \left\{ \sin \theta - \frac{n^2 |u_i^n| u_i^n}{\{ (R_{i+1/2}^{n+1/2} + R_{i-1/2}^{n+1/2}) / 2 \}^{4/3}} \right\} \quad (4)$$

上式中、a, bは上流差分のパラメータであり、 $(u_i^n + u_{i+1}^n)/2$ 、 $(u_i^n + u_{i-1}^n)/2$ の正、負に応じて a, b=0, 1 の値をとる。さらに、流量 Q_i^n より流速 u_i^n を求めるとき次式を用いた。¹⁾

$$u_i^n = \frac{Q_i^n}{A_{i-1/2}^{n-1/2+c}} \quad \left(\begin{array}{ll} Q_i^n > 0 & \text{----- } c = 0 \\ Q_i^n < 0 & \text{----- } c = 1 \end{array} \right)$$

2. 1 解析結果の考察：

(1) 水の先端で動く座標系からみた水面形： 水の先端は時間が十分に経過すれば等流流速で伝播する。このとき、高橋³⁾ が土石流にたいして行っているように、基礎式を先端で動く座標系に変換し積分すれば次のようになる。ただし、簡単のため広長方形断面を考える。

$$\int_0^\xi d\xi = -\xi = \int_0^h \frac{h'^{4/3}}{\sin \theta \cdot h'^{4/3} - n^2 c^2} dh' \quad (5)$$

ここに、c：先端の移動速度で等流流速に等しい、 ξ ：水の先端からみた座標。(5)式と以前の計算結果¹⁾を比較したのが

Fig.3 である。計算結果は時間の経過とともに(5)式に漸近して行く。

(2) 先端の到達時間に関する観測結果との比較： 発電所で観測された、ゲートを上げてから水の先端が導水路下流端に

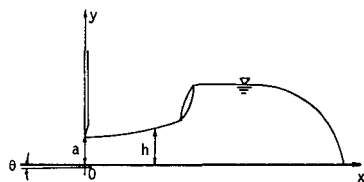


Fig.1 Definition sketch

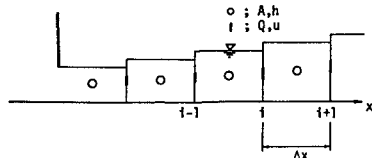


Fig.2 Arrangement of hydraulic variables

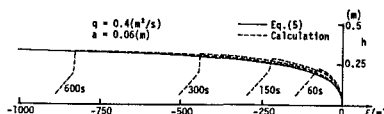


Fig.3 Comparison between Eq.(5) and calculated results

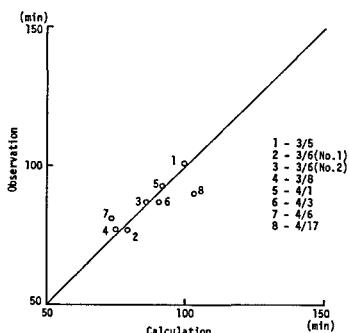


Fig.4 Time required

到達する時間を計算結果と比較する。観測諸量は参考文献 1) に示した通りである。導水路トンネルは延長 6,912m, 水路床こう配 1/1,500, Manning の粗度係数 0.0103 の 3 R 馬蹄形断面(R=2.5m)水路である。Fig.4 に観測値と計算値の比較を示した。両者はほぼ一致している。

3. 負荷遮断時の管・開水路境界面の伝播解析

3.1 流れの概要： 対象としている流れの概要をFig.5に示す。事故などにより負荷を急遮断すると段波が発生し遡上する。経費節減のため余水路を省略したとき、水槽部の水位は上昇を続け、やがて導水路天端に達し、管・開水路境界面が遡上する。この管・開水路境界面の取り扱いについて検討する。

3.2 解析法： Fig.6 に座標系と記号の説明を示す。開水路部での基礎式は(1),(2)式である。管路の部分すなわち $l(t)$ の区間では次式が用いられる。

$$\frac{l(t)}{g} \frac{du}{dt} - \{D + l(t) \sin \theta\} + H + l(t) \frac{n^2 |u| u}{R^{4/3}} = 0 \quad (6)$$

ここに、 $l(t)$ ：時刻 t での管路部の長さ、 u ：流速、 D ：導水路の高さ、 H ：導水路出口の水深、 A_0 ：導水路の断面積。

管・開水路境界面では次のような解析法を用いる。Fig.6 において、 $i=N$ を $t=n \cdot \Delta t$ の境界面とする。

① $t=n \cdot \Delta t$ での Q_i^n 、 $t=(n+1/2) \cdot \Delta t$ での $A_{i+1/2}^{n+1/2}$ が既知とする。

② $i \leq N-1$ までの Q_i^{n+1} を開水路流れの基礎式で求める。

③ $i = N$ の Q_N^{n+1} もまず開水路流れの基礎式で求める。

④ Q_{N+1}^{n+1} を管路部の式(5)より求める。

⑤ (a) $Q_{N+1}^{n+1} > Q_N^{n+1}$ の時： 境界が N から $N+1$ に移動する。このとき、 $A_{i+1/2}^{n+3/2}$ を開水路流れの連続式より求め①に戻る。

(b) $Q_{N+1}^{n+1} < Q_N^{n+1}$ の時： 管路部の連続式が満たされず現実には起り得ない。 Q_N^{n+1} を開水路流れの基礎式より求めたことが妥当でなかったため、 $Q_N^{n+1} = Q_{N+1}^{n+1}$ と置き直す。このとき

$A_{i+1/2}^{n+3/2}$ を開水路流れの連続式より求め、

$A_{N-1/2}^{n+3/2} \leq A_0$ ならば①に戻り、

$A_{N-1/2}^{n+3/2} > A_0$ ならば境界面を N から $N-1$ に移動させ ($A_{N-1/2}^{n+3/2} = A_0$ とおく) ①に戻る。

この手順を繰り返すことにより管・開水路境界面の伝播を再現できる。

3.3 解析結果の考察： Fig.6を参照して、計算に用いた水理諸量を Table 1 に示した。ただし、断面は辺の長さが 1m の正方形とした。定常状態から負荷遮断後の水面形を Fig.7,8 に示す。流れは、段波の波高が導水路天端より低く、徐々に水槽の水位が上昇し着水する場合と、段波の波高が導水路天端より高い場合がある。どちらも、本解析法で管・開水路境界面の伝播を表すことができる。

参考文献：(1)細田・余越；土木学会第41回年次講演会概要集、

1986 (2)岩佐・井上・水鳥；京大防災年報第23号B2,1980 (3)芦田・高橋・道上；河川の土砂災害と対策、森北出版、1983

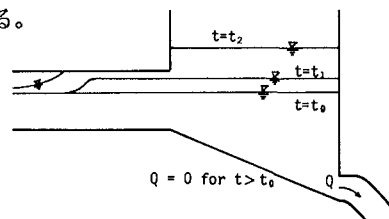


Fig.5 Definition sketch

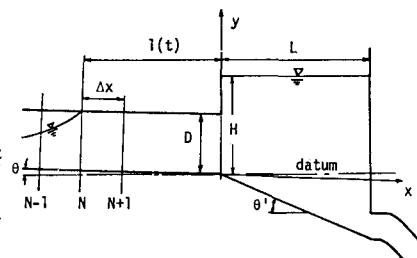


Fig.6 Coordinate system

Table 1 Hydraulic Variables

$\sin \theta$	$\tan \theta$	L(m)	D(m)	n
1/1000	1/10	30	1	0.013

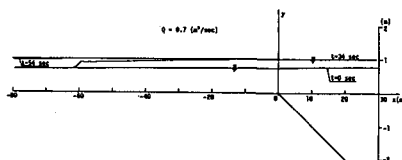
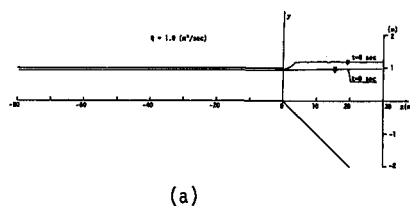
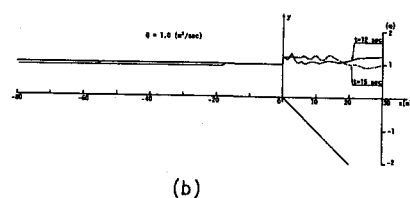


Fig.7 Water surface profile



(a)



(b)

Fig.8 Water surface profile