

東北電力 K.K.

○ 柴田一成

荒川高市

1. まえがき

第二豊実発電所(最大出力 57,100 KW)は、豊かな水量を誇る阿賀野川下流部に位置する既設豊実発電所(最大出力 56,400 KW)の過設備を解消し、出力の尖頭化と河川の有効利用を計るため建設されたもので、昭和48年3月に着工し、50年8月に運用した調整池式発電所である。

導水路は、取水口から水圧管路各口まで、延長約145 mの台形断面用水路で、ヘッドタンクを持たない水路である。従って負荷の変動により、流量が急激に変動し、導水路にサージングが発生して、発電所の運転に支障を及ぼす危険性がある。左岸にある既設豊実発電所は、同じような導水路で、サージングに対しては、サイフォン式排水吐を設置している。第二豊実発電所では、今回の解析によってサージングに対する安全性を確認して、現在の設計とした。

2のサージングの現象は、用水路内に生じる不定流で、数多くの解析法があるが、ここは電力中央研究所、秋元保氏の提案した特性曲線法を修正した図式計算法により解析を行い、また負荷遮断時について、実際にサージングを測定したので報告する。

2. 計算方法と計算値

用水路における不定流の基礎方程式は、

$$\frac{\partial H}{\partial t} + U \frac{\partial H}{\partial x} + H \frac{\partial U}{\partial x} = 0 \quad \text{---- (1)}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} + g \left(\frac{n^2 U^2}{R^{4/3}} - i \right) = 0 \quad \text{---- (2)}$$

となる。H: 水深, U: 流速, t: 時間,

x: 水路長, n: Manningの粗度係数, i: 水路勾配

R: 径深

(1), (2)式より特性曲線方程式は、 $\frac{dH}{dU} = U \pm V$ の曲線上で、

$$\begin{aligned} d(U \pm 2V) \\ = g \left(i - \frac{n^2 U^2}{R^{4/3}} \right) dt \end{aligned} \quad \text{---- (3)}$$

となる。ただし、 $V = \sqrt{gH}$

段波の基礎方程式は、

$$4U \mp 2AV = 0 \quad \text{---- (4)}$$

ただし、上流からの段波に対して負符号、下流からの段波に対して正符号

$$W = U_1 \pm \frac{4U}{2} + V_1 \pm \frac{4V}{2}$$

(上流からの段波)

---- (5)

ただし、正段波は正符号、

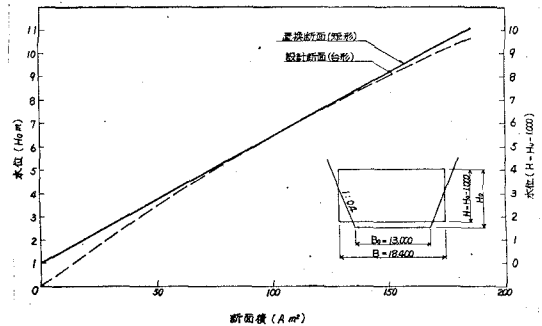


図-1. 導水路横断面の置換

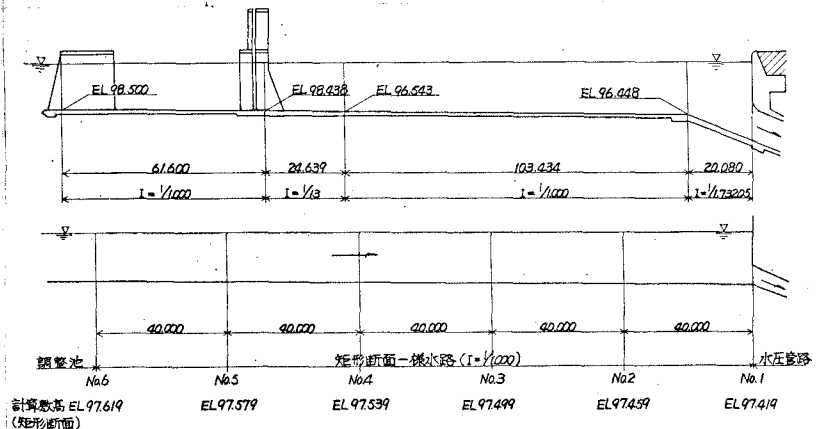


図-2. 導水路縦断面の置換

負校波は負符号

$$W = U_i \pm \frac{\Delta U}{2} + V_i \mp \frac{\Delta V}{2} \quad (\text{下流からの校波}) \quad \dots (6)$$

ただし、正校波は負符号、負校波は正符号

ここは、 U_i 、 H_i ：校波が到達する前の流速および水深、 H_2 ：到達校波の水深、 $V_1 = \sqrt{gH_1}$ 、 $V_2 = \sqrt{gH_2}$ 、 $V_2 = V_1 + \Delta V$

この解析法は、水路を一樣な長方形断面に置換し、

いくつかの計算区間に分割して、その区間内の流れの変化を特性曲線方程式(3)式で計算し、区間の両端の境界における波高および伝播速度を校波の式(4)、(5)式で計算して、(3)式と(4)、(5)式を交互に計算して図式で解析を行う方法である。

当水路における解析では、水路断面を図-1、図-2のように置換して、表-1の条件のもとに計算を行った。

図式計算法によつて求めた水圧管路各口における水位-時間曲線は、図-3、図-4のとおりで、サーージングの最高上昇水位は、WL 106.984、最低下降水位は WL 100.378 となる。

最高上昇水位は、水路天端以下であり、また最低下降水位は、最大使用水量 ($Q = 270 \text{ m}^3/\text{s}$) 取水時の限界水深 $h_0 = 3.796 \text{ m}$ (WL 100.215) 以上なので、導水路のサーージングによつて、発電所の運転は支障が生じないことが判明した。

3. 実測値との比較

50年8月の試運転時にサーージングを実測した。最高上昇水位は、計算値と実測値とよく一致しているが、計算では上流側境界条件を無限水域としてサーージングが収束するものとしているが、実際は有限の広さを持つ調整池なので、サーージングによる水位変動が生ずるので、計算値と実測値とではある程度のズレが生じている。

図-5 において、取水口ゲート背面における水位のうが、逆い大まくな、この理由は、水路の湾曲の影響で、湾曲の外側の水位を測定したためである。

今日の報告が、実際の設計の参考になれば幸いである。

表-1. 導水路不定流計算条件

	全負荷急増	半負荷急増	全負荷遮断
粗度係数 n	0.016	0.016	0.012
初期条件	流量 0 m ³ /s 調整池水位 MWL(WL104.165)	0 m ³ /s LWL(WL102.875)	0 m ³ /s HWL(WL105.455)
運転状態	流量 0 m ³ /s → 270 m ³ /s 変換時間 0 Sec	135 m ³ /s → 270 m ³ /s 0 Sec	270 m ³ /s → 0 m ³ /s 0 Sec

$$(MWL = \frac{HWL + LWL}{2})$$

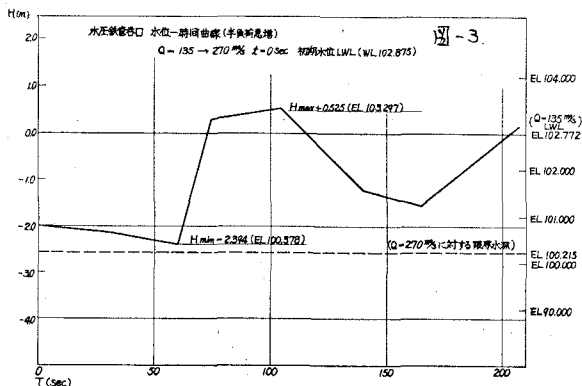


図-3.

図-4.

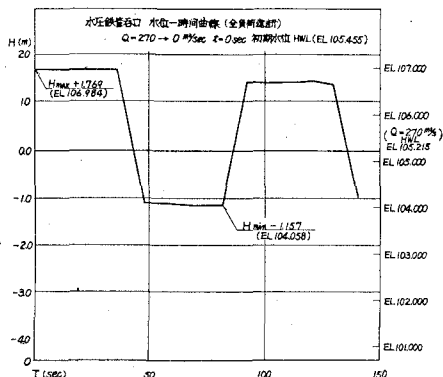
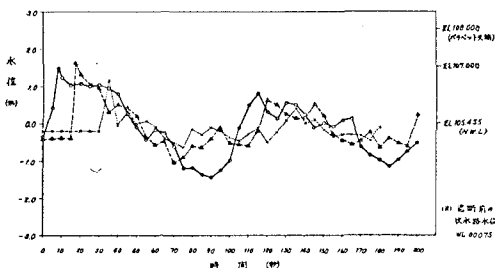


図-5.

全負荷遮断時

水位-時間曲線

水圧調整池口
取水口ゲート背面
取水口スクリュー背面



水圧調整池口 水位-時間曲線 (全負荷遮断)

