

III—41 放水路に設けるサージタンクの水利計算について

電力中央研究所 正員 ○千秋 信一
全 正員 秋元 保

近時地下式発電所の開発に伴い放水路の水利設計に關するさまざまな問題が提起されるに至り、電研においても電力各社の依頼を受けて、1955年以來、放水路に設けるサージタンクの設計計算法、余水路の合流する放水路内の過渡現象、放水路内の段波現象、サージチャンバーをもたない有圧放水路の問題等、数多くの放水路水利現象を考究してきた。とりわけ長大な有圧放水路の始末に設けるサージチャンバーの水利設計に關しては、いくつかの實際例について、負荷変化に伴うサージングの簡易計算法の展開と、綿密な相似律の適用による模型実験的検証とを実施する機会をもった。ここでは、放水路サージタンク設計上の要件である負荷遮断時の極限水位を計算する簡便法を説明しよう。

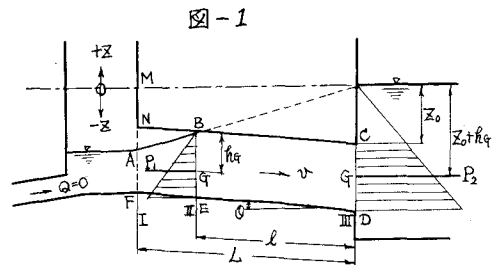
放水水位が高く定常状態時に放水路隧道が加圧状態にある場合に負荷の遮断が行われると、放水路始末サージチャンバーの水位が降下するが、放水路入口天端以下に下ると放水路内に空気層の進入が起り、次いで逆流によってチャンバー内を上昇するサージが平衡水位をこえてゆれもとし最上昇水位を記録する。この水位が負荷増加時の上昇サージと同程度の重要さでサージタンクの設計に當って検討されなければならぬことは周知の通りである。このような現象の理論的解明は中央大学林泰造教授によって近年発表されているが、筆者の提案する計算法は立式の仮定の上でこれと若干の相異がある。

サージチャンバーの水位が放水路隧道の入口天端以上にあるときのサージングの計算は、通常の取水路サージタンクについての計算式と全く同じく、全負荷瞬間遮断時の放水路内の水の運動方程式および連續式は次のようになる。

$$\frac{L}{g} \frac{dv}{dt} = Z \mp \alpha v^2, \quad f v + F_z \frac{dz}{dt} = 0 \quad (1)$$

この式により負荷遮断後チャンバー水位が下降して放水路隧道入口天端に達するまで、およびゆれもとし水位が放水路隧道入口天端を越えて上昇し最高水位に達するまでのサージング状況を計算することができる。

次に水位が隧道入口天端以下に下り、空気層が放水路内に進入し、ある点まで行って段波の進行がやみ、逆流を生じて水面が徐々に上昇し、水位が再び隧道入口天端に達するまでの水の運動に対しては、図-1のような仮定に基づいて計算法をたてる。運動方程式は断面Ⅱ-Ⅲ間の部分に適用し、Ⅰ-Ⅱ間の流体部分は放水庭部分と一体となって水面の昇降を行い、断面Ⅱ-Ⅲ間の管路流とは別個の運動をするものとする。この仮定は模型放水路についての実験観測に基づいて定めたものであって、林教授の所論と



相異なる点である。このように仮定すると運動方程式は、

$$\frac{l}{g} \frac{dv}{dt} = -z_0 + l\theta = \frac{l}{L} \alpha v^2 \quad (2)$$

となる。しかして幾何学的な関係により $z_0 = \frac{l}{L} (L\theta - z)$ 、従って次の結果が得られる。

$$\frac{l}{g} \frac{dv}{dt} = z = \alpha v^2, \quad f v + F \frac{dz}{dt} = 0 \quad (3)$$

$$\text{ただし } F = F_x + f' \frac{L}{L\theta - z} \quad (4)$$

この(3)式は(1)式と全く同一の形であり、空気層の進入した場合にも通常のU字管振動の式と同一の式について解けはよい。ただし水面積は(4)式に従い、 z に応じて刻々変化する。

以上のべた(1)および(3)式を数値計算してサージングカーブを追跡することができ、この方法によって極限水位を求めることは非常に時間と労力を要するので、各種条件について数値計算を繰返すことは煩雑きわまりない。そこで極限水位を求めるための簡便法として以下の方法を提案する。通常のサージタンク計算式の無次元表示を用いて、

$$x = \frac{z}{h_0} : \text{サージング水位}, \quad x_{\max} = \frac{z_{\max}}{h_0} : \text{極限上昇水位}, \quad y = \frac{Q}{Q_0} = \frac{v}{v_0} : \text{放水路内流量(流速)}, \quad \varepsilon = \frac{g h_0^2}{L f v_0^2} : \text{水槽面積}$$

(1)式の運動および連続の2式より時間 t を消去して積分し境界条件を与えれば次式が得られる。

$$y_1^2 = x_1 + \frac{1}{2\varepsilon} \left\{ 1 - e^{2\varepsilon(x_1-1)} \right\}, \quad \text{ここに } \varepsilon = \frac{g h_0^2 F_x}{L f v_0^2} \quad (5)$$

この式により、全負荷瞬間遮断後サージタンパー水面が放水路隧道入口天端($x=x_1$)に達したときの隧道内流速 y_1 を求めることができる。次に(3)の2式から同様に時間 t を消去すれば、

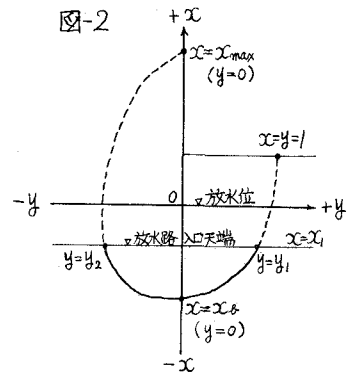
$$-y \frac{dy}{dx} = \varepsilon (x + y^2), \quad \text{ここに } \varepsilon = \frac{g h_0^2 F}{L f v_0^2} = F(x) \quad (6)$$

$$\text{あるいは } dY/dx = -2\varepsilon (x + Y^2) \quad (y^2 = Y) \quad (6')$$

この(6)式は(3)式にくらべ数値計算はきわめて容易であり、簡単に x と y との関係を追跡することができる。こうして、最下降水位 x_2 を経て再びゆれもとどし水位が入口天端に達したときの y_2 の値が求まれば、ゆれもどしによる最上昇水位は次式から算定することができる。

$$x_{\max} = \frac{1}{2\varepsilon} + \left(y_2^2 + x_2 - \frac{1}{2\varepsilon} \right) e^{2\varepsilon(x_2 - x_{\max})}, \quad \text{ここに } \varepsilon = \frac{g h_0^2 F_x}{L f v_0^2} \quad (7)$$

以上の簡易計算法によって、与えられた設計条件に対する全負荷瞬間遮断時の極限水位の算定をはじめ、極限水位と放水水位との関係、水槽面積の効果、水路粗度の影響、サージングの減衰状況等さまざまな水理検討を迅速に処理することができる。その計算例、模型実験との比較については講演時に述べる。



- (1) 千秋・秋元 “放水路サージタンクに関する理論的・実験的研究”，電研報告(土木56060)，1956年11月
- (2) 千秋・白水 “長大なサージタンパーをもつ放水路に関する研究”，電研報告(土木58006)，1958年7月
- (3) 林泰造 “放水路サージタンパーにおける負荷遮断時のサージング計算式”，土木学会論文集 第56号，1958年5月