

1. まえがき 従来の一般サージタンクの構造は、水槽水面が常に自由水面であったが、この頂部を密封して、小さな空気孔を設け、水槽内の空気クッション作用を利用する所謂空気制動式と称せられるサージタンクにより、発電所の負荷変化時に生ずるサージタンク水位の変動を抑圧して、サージタンク容量を極力小さくするとともに、減衰性、安定性を高のようとする空気制動サージタンクについて、その機能および適応性について検討を行った。なお空気制動型式については世界に於てもその実例は乏しく、僅かに小使用水量(12t/s)である富山県小矢部川オズ(発)放水路サージタンク(常時管水路で制水口型式)に見られるのみである。

2. 基礎方程式*1) 図-1の放水路単位空気制動式複式サージタンク(洪水時のみ圧力水路)を有する水理系について、サージング現象を説明する場合の運動方程式および連続方程式は次の通りである。

放水口～補助タンク間

$$\frac{dQ_1}{dt} = \frac{gF_1}{L_1} (H_s - \alpha_1 \cdot V_1 \cdot |V_1|) \quad \text{----- (1)}$$

$$\frac{dH_s}{dt} = \frac{1}{F_s} (Q_2 - Q_1) \quad \text{----- (2)}$$

主タンク～補助タンク間

$$\frac{dQ_2}{dt} = \frac{gF_2}{L_2} (H - H_s + H_a - \alpha_2 \cdot V_2 \cdot |V_2|) \quad \text{----- (3)}$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{F_t} (Q_w - Q_2) \quad \text{----- (4)}$$

$P_r \geq 1$ (空気噴出時)

$$\frac{dP_r}{dt} = \frac{\gamma P_r}{V_0 - F_t H} (Q_t - Q_a P_r^{-\frac{1}{\gamma}}) \quad \text{----- (5)}$$

$P_r < 1$ (空気吸入時)

$$\frac{dP_r}{dt} = \frac{\gamma P_r}{V_0 - F_t H} (Q_t - Q_a) \quad \text{----- (6)}$$

$$V_a = \pm \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{P_0}{P_r}} \cdot \sqrt{|1 - P_r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}|} \quad \text{----- (7)}$$

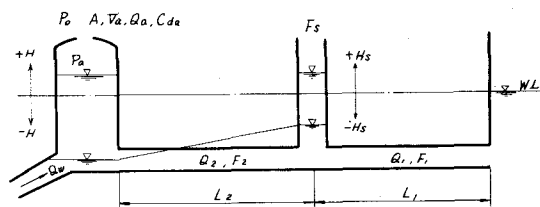
$$Q_t = Q_w - Q_2 \quad \text{----- (8)}$$

$$Q_s = Q_2 - Q_1 \quad \text{----- (9)}$$

$$H_a = \frac{P_0}{W} (P_r - 1) \quad \text{----- (10)}$$

$$Q_a = C_{da} \cdot A \cdot V_a \quad \text{----- (11)}$$

図-1 放水路複式サージタンク水理系



Q_i : 放水路トンネル内流量(出口方向+)

F : 同上 断面積

V_i : 同上 内流速

H : サージタンク水位 V_a : 空気孔からの空気速度

L_i : 放水路トンネル長さ C_{da} : 空気孔の流量係数

α_i : 同上内流量係数

H_a : サージタンク頂部空気圧(水柱換算値)

A : 空気孔断面積

P_0 : 大気圧(重量単位のため g を付す)

P_r : サージタンク頂部空気圧の大気圧に対する比值

w : 水の単位体積重量 γ : 空気の断熱係数

V_0 : 基準深から上部のサージタンク内空気容積

V_i : 初期水位から上部のサージタンク内空気容積

以上の式を連立して数値計算を行えば上記の水理系についてサージング現象を説明出来るが、空気圧の大きさを空気圧力に比例してその大きさをコントロールする、比例-積分調節器付のゲートと設ければ、より効果的に制動出来る。この場合の動作は

$$Y = K_p \left(Z + \frac{1}{T_i} \int Z dt \right) \quad \text{----- (12)}$$

$$A = B Y \quad \text{----- (13)}$$

K_p : 比例常数 Y : 操作量

T_i : 積分時間(リセットタイム)

Z : 制御量

B : 空気孔中

であらわれ空気孔断面積は Z (空気圧) と時間の関数となる。

3. 計算条件 放水路単気制動サージタンクのサージング現象を、空気制動しない通常の単気サージタンクおよび制水ロサージタンク（負荷急増のみ）との比較、なうがに空気制動の場合の空気容積、空気孔断面積の変化による制動効果の影響を比較するため各種の計算を行った。

この場合の対象水理系諸元は下記の通りである。なお本対象放水路は常時は開水路であるたのサージング現象はないが、放水口出口河川が洪水時に管路となる水理系である。

放水路延長 5352.5m トンネル断面積 32.57m² サージタンク断面積 176.7m²

放水位 237.7m（5年洪水位） 補助タンクおよび水槽ポートなし。

エアーポート断面積 0.0707m²（0.3φ）～0.7854m²（1.0φ）まで変化

急増時 56.5% $\xrightarrow{10秒}$ 113.0% トンネル損失係数 急増時 0.658（ $\eta=0.015$ ）

遮断時 113.0% $\xrightarrow{7秒}$ 0.5% 遮断時 0.420（ $\eta=0.012$ ）

空気容積変化 サージタンク天端標高 262.385～254.386まで変化

4. 検討結果

(1) サージタンク容積の節減について

サージタンク内の上昇水位は、空気制動作用によって押えられ、サージタンク天端を下げること、可能であるが、タンク内の空気圧の上昇と水位上昇とのピーク時期が多少ずれる程度であるため、トンネルに加わるサージタンク基部圧力の最大値は、空気圧または水位の最高時に限らず、空気制動の強さによってずれる。従ってトンネルに加わる圧力を通常のサージタンクを用いたと同様の値に納めるためには、サージタンク容量、空気孔の大きさなどによって複雑に変化するため、空気制動を余りきかすことが出来ず、水位の上昇軽減も僅少であり、この実が制水ロあるいは差込などのサージタンクと比較して、効果の薄い最大の難点である。

(2) サージタンクの構造について

計算条件の長大放水路の場合、水位の下降によって、トンネル内に空気くさびが進入するため、空気の吸入量が不足して、タンク内空気圧は大気圧に比して、-5～-8mmとなる。従ってサージタンクの構造は、水位上昇時の内圧は勿論、外圧に対しても検討する必要がある。（空気部について）

(3) 減衰性および周期について

サージングの減衰性に対しては、可成り効果が期待出来た。特に負荷遮断時の減衰性は通常の放水路単気サージタンクに比較して、変動周期が約半分となり、減衰性もよいため、再起動の条件緩和に役立つ。

(4) 空気孔調節の効果について

空気孔の調節によって、空気圧と水位の変動周期を変化させて、その効果を更に発揮出来るよう検討したが、サージタンク基部圧力を考慮した場合、その効果は僅少であり、反って調節に要する諸設備の費用および安全性から考えると一となる可能性が多い

5. 結論 以上の結果を総合判断すれば、トンネルに加わる圧力が増大してもサージタン水位の上昇を押える必要がある場合、あるいは放水路サージタンクに於てその減衰性を利用して再起動条件を緩和することが必要である場合などの特殊な条件がある場合は、有効な方法である。しかし乍らサージタンク基部圧力をも考慮する場合は、構造の複雑性、空気孔ポートの流量係数の把握などの問題を解決する必要があり、安全性、経済性の検討を慎重に行うことが必要である。

なお、本研究に際し、御指導頂いた電力中央研究所の水路水理研究室 秋元 保主査研究員に厚く御礼申し上げます。

*1) 高畑政信, 空気制動サージタンクの徹底解 発電水力 No.73 1964