

千葉工業大学 正会員 ○篠田 裕
 千葉工業大学 正会員 高畑 政信

1. まえがき

サージタンクの頂部を密閉し、小さな制気孔を設けて、水槽内の空気をエアークッションとして、積極的に利用する制気型サージタンクの特性を把握するために、数値シミュレーションと模型実験を行なった。今回報告するのは、その解析の基礎となるもので、高畑の厳密解¹⁾を検討するものである。

基本方程式に含まれる諸係数については、模型により予備実験を行なって決定し、数値シミュレーションには、その実験値と実験装置の諸元を代入して数値積分を行ない、本実験の結果と比較した。

2. 基本方程式

図-1のような水理系の導水路制気型サージタンクに、高畑の厳密解を適用し、制気孔流量係数には電力中央研究所の報告²⁾の手法を取り入れると、次に示す運動方程式および連続方程式を得る。

(運動方程式)

$$\frac{dV}{dt} = \frac{g}{l} (z - R - R - R_{a0})$$

$$R = C \cdot v \cdot |v|, \quad R = K_r \frac{Q_p^2}{2g \cdot f_p^2}$$

$$R_{a0} = \frac{R_a}{\rho_a \cdot g} (P_r - 1)$$

(空気噴出時、 $P_r \geq 1$)

$$\frac{dP_r}{dt} = \frac{-\gamma \cdot f_a}{F(z-z_s)} \sqrt{\frac{2\gamma}{\delta-1} \cdot \frac{R_a}{\rho_a}} \cdot P_r^{\frac{\delta-1}{\delta}} \cdot \sqrt{\frac{\delta-1}{P_r^{\delta}-1}} - \frac{\delta F}{V} \cdot P_r \cdot \frac{dz}{dt}$$

(空気吸入時、 $P_r < 1$)

$$\frac{dP_r}{dt} = \frac{-\gamma \cdot f_a}{F(z-z_s)} \sqrt{\frac{2\gamma}{\delta-1} \cdot \frac{R_a}{\rho_a}} \cdot P_r \cdot \sqrt{1 - P_r^{\frac{\delta-1}{\delta}}} - \frac{\gamma}{z-z_s} \cdot P_r \cdot \frac{dz}{dt}$$

(連続方程式)

$$\frac{dz}{dt} = \frac{f}{F} (w - v)$$

3. 実験方法および結果

実験装置の諸元は右に示すとおりで、以下の手順で実験を行なった。

(1) 制気孔型サージタンクの実験：制気孔が無い状態で、導水路損失係数・制気孔の抵抗係数を求めた。制気孔は1cm厚の真鍮製で、孔の大きさが10.0φcm、7.5φcm、5.0φcmの3種類について行なった。抵抗係数は、 Q_p/Q_a の2次式として最小2乗法により係数を求めた。その結果を表-1に示す。

(2) 制気型サージタンクの実験：(1)の装置に1.5φcmと3.0φcmの2種類の制気孔を取り付けて、表-2の

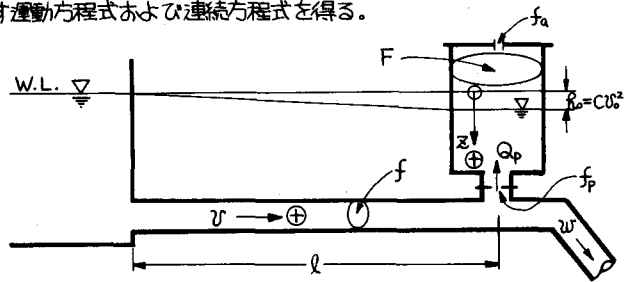


図-1. 導水路制気型サージタンク水理系

- | | |
|-----------------------------------|--|
| C: 導水路損失係数 | R _a : 大気圧 |
| F: サージタンク断面積 | P _r : 気圧係数(P/P _a) |
| f: 導水路断面積 | Q _p : 制気孔通過流量 |
| f _a : 制気孔断面積 | R: 制気孔抵抗 |
| f _p : 制水孔断面積 | ρ _a : 空気の単位容積重量 |
| γ: 空気の断熱係数 | ρ _w : 水の単位容積重量 |
| l _l : 導水路損失水頭 | V: サージタンク内空気容積 |
| R _a : サージタンク内空気圧の水頭換算値 | v: 導水路内の流速 |
| K _r : 制水孔抵抗係数 | w: 水圧管路内の流速 |
| l: 圧力水路の長さ | z: サージタンク水位 |
| | z _s : サージタンク天井位置 |

【実験装置諸元】

- F = 452.39 cm² (24φcm) f = 78.54 cm² (10φcm)
 l = 28.43 m
 f_p: ① 78.54 cm² (10.0φ), ② 44.18 cm² (7.5φ), ③ 19.63 cm² (5.0φ)
 f_a: ① 1.767 cm² (1.5φ), ② 7.079 cm² (3.0φ)

ような条件で行なった。今回の測定項目は、水位とサージタンク基部の圧力の2項目とした。

表-1. 抵抗係数 K_r の実験式

制水孔直径	負荷変化条件	抵抗係数 K_r
10.0 ϕ (I) (78.54 cm^2)	負荷遮断	$K_r = \frac{Q_p}{ Q_i } \cdot (2.287 \left \frac{Q_p}{Q_i} \right - 0.168) + 0.855$
	負荷全増加	$K_r = \frac{Q_p}{ Q_i } \cdot (-0.931 \left \frac{Q_p}{Q_i} \right + 0.277) - 0.516$
	負荷半増加	$K_r = \frac{Q_p}{ Q_i } \cdot (-1.617 \left \frac{Q_p}{Q_i} \right + 0.454) - 0.599$
7.5 ϕ (II) (44.18 cm^2)	負荷遮断	$K_r = \frac{Q_p}{ Q_i } \cdot (9.444 \left \frac{Q_p}{Q_i} \right - 8.077) + 2.980$
	負荷全増加	$K_r = \frac{Q_p}{ Q_i } \cdot (-6.570 \left \frac{Q_p}{Q_i} \right + 3.884) - 1.424$
	負荷半増加	$K_r = \frac{Q_p}{ Q_i } \cdot (-5.890 \left \frac{Q_p}{Q_i} \right + 0.537) - 0.628$
5.0 ϕ (III) (19.63 cm^2)	負荷遮断	$K_r = \frac{Q_p}{ Q_i } \cdot (15.918 \left \frac{Q_p}{Q_i} \right - 18.113) + 6.831$
	負荷全増加	$K_r = \frac{Q_p}{ Q_i } \cdot (-17.949 \left \frac{Q_p}{Q_i} \right - 3.566) - 0.923$
	負荷半増加	$K_r = \frac{Q_p}{ Q_i } \cdot (-30.887 \left \frac{Q_p}{Q_i} \right - 2.959) - 0.714$

基本式に先の係数を代入、表-2の条件でRunge-Kutta-Gill法で数値積分した結果と、実験結果を比較する。図-2は、実験結果と計算値の1例である。

4. 考察

図-2からも判るように、制気孔が3.0 ϕ cmの時は比較的良く一致しているのに対し、1.5 ϕ cmの時は大きく外れている。これは、基本方程式中で制気孔の流量係数を1としたためと考えられ、式中に制気孔流量係数を含め、実験により係数を求めて、さらに検討する必要があると思われる。

5. あとがき

今後は、制気孔流量係数の測定法を始めとして、負荷増加の時のゲート開放時間を調節可能にするなど、実験装置の改良を行ない、計算結果と実験結果の一致を計りたいと考えている。これらが十分に満足の行く状態になったのち、最適制水孔・最適制気孔の大きさの検討、サージタンク基部圧力の増加量の算出等、制気型サージタンクの特性について、実験・解析を続けて行きたいと考えている。

表-2. 負荷変化条件

項目 負荷変化	高架水槽水位 (cm)	導水路損失係数C $f_L = C \cdot V \cdot V $	流量変化
負荷遮断	D.L.+28.6	0.00514 ~	2425(cm^3/s) 3S $Q(\text{cm}^3/\text{s})$
負荷全増加	D.L.+62.2	~0.00417	4532(cm^3/s) 0.3S $Q(\text{cm}^3/\text{s})$
負荷半増加	D.L.+62.2	0.00504 ~ 0.00417	2286(cm^3/s) 0.2S 4532(cm^3/s) $Q(\text{cm}^3/\text{s})$

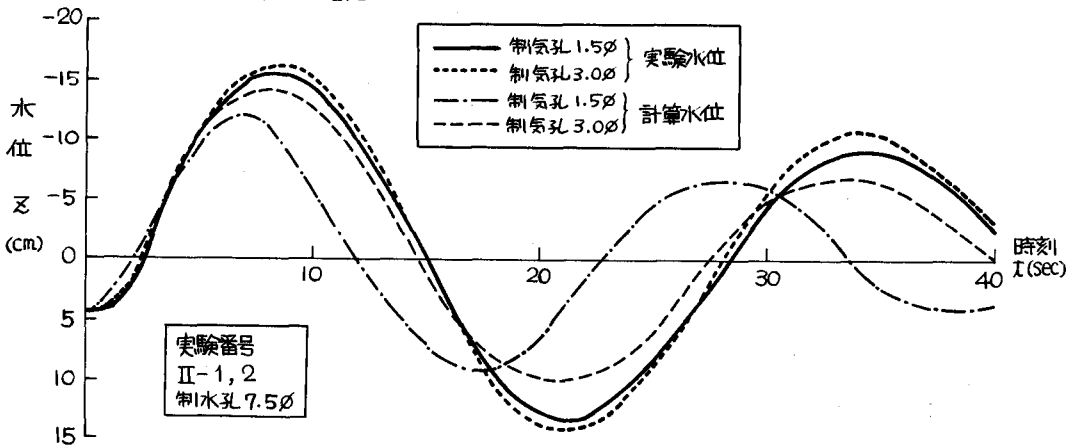


図-2. 計算水位と実験水位の比較(負荷遮断)

〔参考文献〕1) 高田政信：空気衝動サージタンクの厳密解，発電水力 No. 73, pp.22~40, 1964.
2) 藤本健・是枝忍：南原揚水発電所サージタンクの水利設計に関する検討，電力中央研究所報告375534, 1976.