

V-27 ダブルサージタンクの水理解析について

電力技術研究所 正員 秋元 保

1. はしがき ダブルサージタンクの安定問題に関して Jaeger, Evangelisti, 等によって研究されている。しかしダブルサージタンクを設計するさいにはサージングの計算や調整用発電の安全性の検討に多くの労力が必要であつた。そこでダブルサージタンクの水理解析を行なつてその結果からある条件のもとでサージングの簡易計算を提案し十分実用になることを確認したのでこゝに説明する。

2. ダブルサージタンクの解析 1 図のような振動系を考えるとその基本式は

$$\left. \begin{aligned} \frac{L_2}{g f} \frac{dQ_2}{dt} &= Z_M - Z_S - P_2 \\ \frac{L_1}{g f} \frac{dQ_1}{dt} &= Z_S - P_1 \\ F_M \frac{dZ_M}{dt} &= g - Q_2 \\ F_S \frac{dZ_S}{dt} &= Q_2 - Q_1 \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

で表される。ただし $P_2 = \pm K_2 Q_2^2$ $P_1 = \pm K_1 Q_1^2$

(1) 式を取扱いに便利にするためカラム・カブンの無次元数を用いて書きかえると

$$\left. \begin{aligned} \frac{\alpha}{2\pi} \frac{dW_2}{dT} &= \beta_M - \beta_S - p_2 \\ \frac{\beta}{2\pi} \frac{dW_1}{dT} &= \beta_S - p_1 \\ \frac{1}{2\pi} \frac{d\beta_M}{dT} &= w_0 - w_2 \\ \frac{C}{2\pi} \frac{d\beta_S}{dT} &= w_2 - w_1 \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

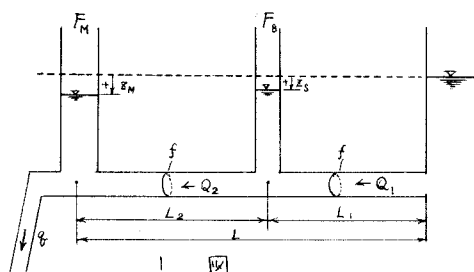
となる。ただし $\beta_M = \frac{Z_M}{Z_*}$ $\beta_S = \frac{Z_S}{Z_*}$

$$w_1 = \frac{Q_1}{Q_0} \quad w_2 = \frac{Q_2}{Q_0} \quad w_0 = \frac{g}{Q_0} \quad T = \frac{t}{T_*}$$

$$\beta_* = Q \sqrt{\frac{L}{g f F_M}} \quad T_* = 2\pi \sqrt{\frac{L F_M}{g f}} \quad p_1 = \frac{P_1}{Z_*} \quad p_2 = \frac{P_2}{Z_*}$$

$$\alpha = \frac{L_2}{L} \quad \beta = \frac{L_1}{L} \quad C = \frac{F_S}{F_M}$$

(2) 式で問題を簡略化するため摩擦損失がない場合と考へ w_1, w_2 を消去すると (2) 式は、



$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 \beta_M}{dT^2} - \frac{4\pi^2}{\alpha} \beta_S - \frac{4\pi^2}{\alpha} \beta_M \\ \frac{d^2 \beta_S}{dT^2} - \frac{4\pi^2}{\alpha C} \beta_M - \frac{4\pi^2}{\alpha C \beta} \beta_S \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

となる。いま β_M, β_S を単弦振動で振動すると

$$\beta_M = A_M e^{i n T}, \quad \beta_S = A_S e^{i n T} \dots (4)$$

と仮定し (3) 式から $A_M/A_S = K$ および n を求め

$$K = \frac{4\pi^2}{4\pi^2 - \alpha n^2}, \quad n^2 = 2\pi \left\{ \left(\alpha + \frac{1}{\alpha \beta C} \right) \pm \sqrt{\left(\alpha + \frac{1}{\alpha \beta C} \right)^2 - \frac{4}{\alpha \beta C}} \right\}$$

が得られる n^2 の根は 2 つの正の実数であるからこれを n_1^2, n_2^2 としこれは $n_1, -n_1, n_2, -n_2$ の

4 つの値を採れるから (4) 式に代入して β_M, β_S を求める。そして β_M, β_S を実数の形に書けば

$$\left. \begin{aligned} \beta_M &= P \cos(n_1 T + \theta_1) + Q \cos(n_2 T + \theta_2) \\ \beta_S &= P/K_1 \cos(n_1 T + \theta_1) + Q/K_2 \cos(n_2 T + \theta_2) \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

となる。ただし K は n_1 に対し K_1, n_2 に対し K_2 とする。 (5) 式の P, Q, θ_1, θ_2 は初期条件によつてきまる値である。負荷遮断による

サージングを考へると $P = \frac{2\pi}{n_1(1-K_1)}$,

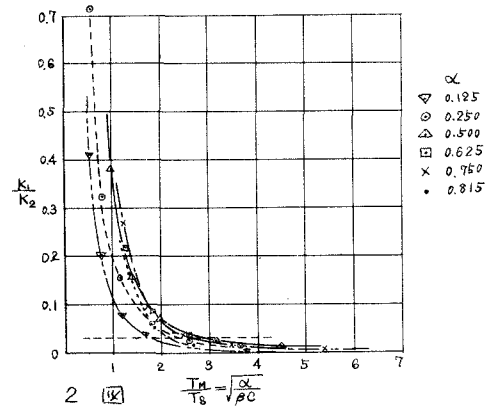
$$Q = \frac{2\pi}{n_2(1-K_2)}, \quad \theta_1 = 2\pi, \quad \theta_2 = 2\pi$$

となり (5) 式に代入すると

$$\left. \begin{aligned} \beta_M &= \frac{2\pi}{n_1(1-K_1)} \sin n_1 T + \frac{2\pi}{n_2(1-K_2)} \sin n_2 T \\ \beta_S &= \frac{2\pi}{n_1(K_1-K_2)} \sin n_1 T + \frac{2\pi}{n_2(K_2-K_1)} \sin n_2 T \end{aligned} \right\} (6)$$

となる。 (6) 式によると β_M, β_S の振動はそれぞれ 2 つの単弦振動の和として表はすことと

出来る。またこれらの単弦振動は β_M と β_S と
 といずれも共通の周期で振動しており振動
 の比は一定している。 $\alpha, \beta, \gamma, K_1, K_2$ は α, β, γ, C 等
 きまる値でいま α, β, γ を仮定して β_M, β_S の振
 動を求めると β_M の振動は K_1/K_2 が小さくなる
 と2つの単弦振動のうち1つの単弦振動は
 1に近くなり他の振動は0に近づく。この
 ことは副水槽があつても主水槽のサージ
 ングに影響しなくなると考へる。いま貯水池
 から副水槽までの固有周期を $T_S = 2\pi\sqrt{L_1 F_s / g}$ と
 し副水槽から主水槽までの固有周期を
 $T_M = 2\pi\sqrt{L_2 F_M / g}$ としたとき K_1/K_2 と F_M/F_s の関係
 は2図のようになる。そして(6)式で $P=0$
 $Q=1$ となると考へられる K_1/K_2 は0.03以下
 であるとして2図の結果から



位と隧道流量である。(Z_M は副水槽型の場合
 は水槽水位にポート抵抗を加へた値とし差
 動型の場合はライガー水位とする) (8) 式を計
 算する場合に Bouvard - Molbert の図計算を
 応用すると容易に計算することが出来る。3.
 図は計算の方法を示す。図の左側に Z_S の計
 算結果と破線で模型実験の結果と真線と示
 した。よく一致している。この計算法は副
 水槽に連絡隧道が長くある場合や副水槽に
 制水口がある場合の計算と簡単に折入んで
 計算することが出来る。また副水槽が二本
 以上ある場合にも副水槽1つ1つについて
 (8) 式の計算を行なえばおのゝかりのサージ
 ングを求めることが出来る。

$$\frac{T_M}{T_S} \geq (5\alpha - 5\alpha^2 + 1.75) \text{ なる条件を定めた。}$$

$$\frac{T_M}{T_S} = \sqrt{\frac{L_2 F_M}{L_1 F_s}} = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta\gamma}} \text{ であるから}$$

$$C \leq \frac{\alpha}{(5\alpha - 5\alpha^2 + 1.75)\beta} \quad \dots (7)$$

となる。(7)式を満足するダブルサージタン
 クでは主水槽のサージングは副水槽を考へな
 いで主水槽だけで計算を行なつても大差な
 い。これは摩擦損失のない場合について考
 へたが摩擦損失を考慮した場合について検
 討した結果も(7)式は適用出来ることがわか
 った。

3 副水槽のサージング計算法

(7)式を満足するダブルサージタン
 クで主水槽のサージングが求
 まつたならば副水槽のサージ
 ングは(1)式から次のように誘導さ
 れる

$$\frac{d(Q_2 - Q_1)}{dt} = \frac{g f L}{L_2 L_1} \left\{ \frac{L_1}{L} Z_M - Z_S + \frac{2 L_1 L_2 K_2 Q}{L^2} (Q_2 - Q_1) \right\}$$

$$\frac{dZ_S}{dt} = \frac{Q_2 - Q_1}{F} \quad \dots (8)$$

ただし Z_M および Q は主水槽の水

