

電力中央研究所 正員 千秋信一

全

正員 秋元 保

近年わが国においては電力需要の急増に伴い大容量新鋭火力発電所の建設が著々進められているが、一方では尖頭負荷に対処すべき揚水式発電所の建設計画が漸次治済となりつつあり、火力発電ないしは原子力発電との組合せによる経済運営の利便は将来益々顯著となる模様である。このような重要な使命をになう揚水式発電所の設計に当つては、そのレイアウト、ポンプタービン、水圧管、サージタンク等さまざまな面に特別な問題が提起されるが、とりわけ導水路サージタンクの水利設計は現在のところ不問に附されている実情であつて研究すべき幾つかの課題が残されている。揚水式発電所のサージタンクの設計は、通常の発電時における負荷変動に対する条件の他に、揚水中のポンプトリップに伴う現象についても吟味を加えなければならぬ。揚水中ポンプモーターへの動力が遮断されると、ポンプの回転速度は急激に低下し水圧管内に負の水衝圧が生じ同時に揚水量が急減して遂には水圧管内をポンプへ向つて逆流がはじまり、サージタンクの水位は降下する。この下降サージは、発電時に負荷急増した場合の下降サージよりも常に危険水位を与え大きな水槽容量を必要とすることが、实例についての設計計算の経験から知られた。従つてポンプトリップ時のサージングの計算は揚水式発電所のサージタンクの水利設計に當つてオーに実施すべき重要性をもっている。

ポンプトリップに伴い揚水管路内に発生する水衝作用については、従来 Angus, Parmakian, Peabody などの研究によつてその計算法が提示されているが、サージタンクの水位変動に着目した研究は行われていない。サージタンクの水位変動は明かにポンプ通過流量の時間的経過と密接に關係しているが、このポンプ流量の変化はトリップ時に水圧管内に生ずる水衝圧の支配を受け、これはまたポンプの全般特性とも關聯し、さらに水衝圧反射水面（サージタンク水位）の時間的変化の影響を受ける。オー近似計算法としては、サージタンク水位の変動を無視し反射水面一定の條件で固定点計算法を行いその結果得られるポンプ流量の経過曲線を境界條件にしてサージング計算を行う方法が考えられるが、後述の計算例で比較するように大きな誤差を伴う。一方、サージングの数値積分と水衝圧の固定点計算法とを時々刻々についで交互に繰返えし、水槽水位の変化による補正を水衝圧計算に折込んでゆく方法は、サージング計算の時間を水衝圧伝播時間のオーダーでとるため必要以上の労力を要し、しかも水位変化の補正を固定点計算法に適用することは理論上嚴密には正しくない。

こゝに提案する計算法は、シュナイダー・ベルジェロンの特性直線法にもとづき、ポンプの全般特性を満たし同時にサージタンク水位の変化を考慮して水衝圧の図式計算を行い、その結果から、ポンプトリップ後閉塞弁が作動しない場合のポンプ通過流量の時間的経過を求めるものである。こうして得られたポンプの流量変化を境界條件として従来のサージング数値計算を單獨に実施し、サージタンクの設計を吟味することが出来る。この計算法の妥

当性を証明するために、口径 295 mm、全長 200 m の実験用管路に模型ポンプ（1 HP、揚程 2 m）を接続し、貯水位一定の場合および貯水位を直線的に低下せしめた場合について、ポンプトリップ試験を行ったところ、実験結果は、この模型量について下記計算法で行った計算結果と良好な一致を示した。

サージタンクをもつた揚水発電所のポンプトリップ時のポンプ流量経過の計算法
 水衝圧計算のための特性直線法の基本式は、

$$H_{xt} - H_{xt_1} = +2f(q'_{xt} - q'_{xt_1}), \quad H_{xt} - H_{xt_2} = -2f(q'_{xt} - q'_{xt_2}) \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 $H = H/H_0$, $q' = q/q_0 = v/v_0$, $f = q_0/2gH_0A_0$ で、 H_0 , q_0 はポンプの定格揚程、流量をとり、 A_0 は水圧管の断面積である。

ポンプの横性方程式は、無次元表示で近似的に、

$$\alpha_{n+1} - \alpha_n = K_1(\beta_{n+1} + \beta_n) \Delta t \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 $\alpha = N/N_0$, $\beta = M/M_0$, $K_1 = 450 g w H_0 Q_0 / \pi^2 W R^2 \eta_0 N_0^2$, $\Delta t = t_n - t_{n-1}$ で、 N_0 , M_0 , η_0 はポンプの毎分回転数、トルク、効率の定格値、また WR/g は回転部分の慣性モーメントである。別に、ポンプの全般特性図（揚水、制動、逆流の各領域に対するもの）を準備する必要がある。

サージタンクの水位変動に関する基本式は、通常の運動、連続の両式を無次元化し、水位を放水位基準にあらためて、

$$Q'_n = -K_2 + K_3 H'_{n+1} + K_4 Q'_{n-1} \quad \text{----- (3)}$$

$$H'_n = K_5 q'_n - K_5 Q'_n + H'_{n-1} \quad \text{----- (4)}$$

ただし、 $Q' = Q/Q_0$, $Q_0 = q_0$, Q は導水路内流量、 $K_2 = gfH_0 \Delta t / Q_0 L$, $K_3 = gfH_0 \Delta t / Q_0 L$, $K_4 = 1 - (gfH_0 \Delta t / Q_0 L)$, $K_5 = Q_0 \Delta t / FH_0$, H および H_0 は放水位を基準とした水槽および貯水池の水位、 f , L は導水路の断面積と長さ、 F は水槽断面積、 h_0 は定格流量に対する損失水頭である。以上の

4 式とポンプの特性図に基づいて 図-1 の如く図式計算が進められる。計算方法の詳細は講義時に述べる。図-1 の計算結果が得られたポンプの流量経過は 図-2 に実線で示す。

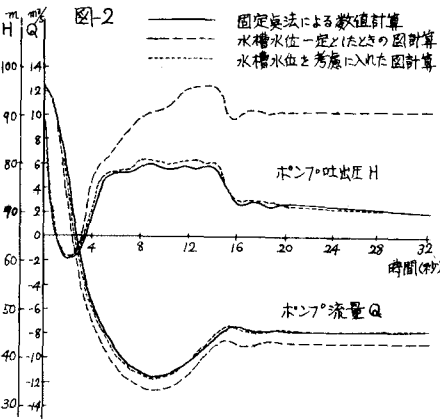
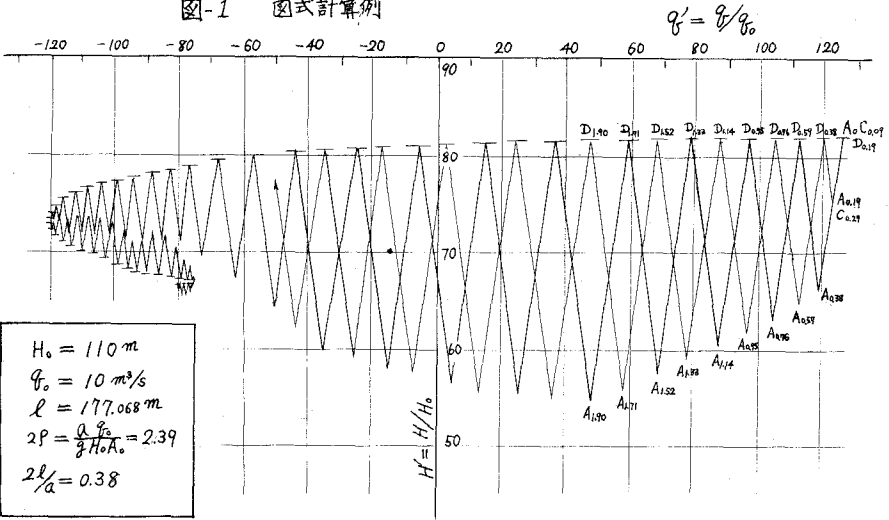


図-1 図式計算例



$H_0 = 110 \text{ m}$
 $q_0 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$
 $L = 177.068 \text{ m}$
 $2f = \frac{q_0}{gH_0A_0} = 2.39$
 $2L/q_0 = 0.38$