

I-23 揚水発電所サージタンクの設計について

九州電力 土木部 村瀬次男

1. まえがき 揚水発電所サージタンクの設計負荷変化型については、現在のところ纏った提案が何も見られない。著者は、諸塚の経験とその後の考察から一つの提案を行う。

2. 設計負荷変化型のパターン 著者は、普通発電所のサージタンクを設計する場合、設計に考える程の振巾をもつサージングでは、最も不利な重ね合いが2回以上起る確率は極めて小さい^{1),2)}として、負荷変化型を普通起動、定常時遮断、遮断後再起動および起動時遮断の4種に分類した。しかし、揚水発電所の負荷変化型には更に複雑なものを考えねばならぬので、普通発電所と同じ思想ではサージタンクの所要容量が著しく大きくなる。従つて、著者は揚水発電所のサージタンクを設計する場合には、サージングの位相ずれを積極的に利用すべきである^{1),2)}と考える。以下、この思想に基いて設計負荷変化型のパターンを選定する。

(1) 揚水特有のパターン 著者は、揚水特有の負荷変化型のうちサージタンクの設計に考慮すべきパターンとして、一応次表の10種を選ぶ。この他に、揚水特有の負荷変化型としては揚水停止、揚水停止後再起動、揚水起動後停止、揚水運転中トリップ後再起動等がある。³⁾表中、---は適当に調節できて安全な所要時間を定める部分であり、・は2つのサージングが最も不利な重ね合いを生じる負荷変化の時点を示す。

(2) 普通発電所のパターン 普通発電所サージタンクの設計負荷変化型については、以前^{1),2)}或る程度の考察をした。しかし、こゝで再検討すると次頁の上表のパターンをうる。

3. 基本的パターン 著者は、発電所(揚水でも、普通でも)の負荷変化型は、すべて単純な2、3の基本的パターンから構成さ

揚水特有のパターン	別置式	タンデム式	ポンプ水車式
a 揚水起動			
b 予開起動			
c 発電→揚水切			
d 揚水→発電切			
e 揚水運転中トリップ			
f 揚水起動時トリップ			
g 発電→揚水切替時トリップ			
h 揚水→発電切替時トリップ			
i 揚水運転中トリップ後発電切替			
j 発電運転中トリップ後揚水切替			

れると考える。水理系の基礎式を、変分をとつてラプラス変換し $\mathcal{L}[\Delta Z]$ について解くと、

$$\mathcal{L}[\Delta Z] = \frac{S + 2E}{(S + E)^2 + \beta^2} \cdot \frac{1}{F_t} \cdot \mathcal{L}[\Delta \theta] \quad \text{----- (1)}$$

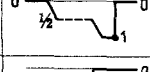
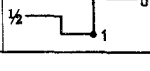
である。こゝで、 $E = \frac{Lg}{2L}$, $\beta^2 = n^2 - E^2$, $n^2 = \frac{gf}{LF_t}$, L = 水路長, f = 水路断面積, α = 水路損失係数($=h/v$)

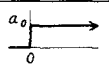
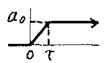
h = 水路損失、 v = 水路流速、 F_t = 水槽断面積、 g = 重力加速度、 Z = 水槽水位(池水位から下向きを正)、 q = 水車流量。(1)式は単働型サージタンクの場合で、もし制水口型であれば、

$$\mathcal{L}[\Delta Z] = \frac{5 + 2\varepsilon}{(5 + \varepsilon + \varepsilon')^2 + \beta'^2} \cdot \frac{1}{F_t} \cdot \mathcal{L}\{\Delta q\} \text{-----}(2)$$

である。ここで、 $\varepsilon' \equiv \frac{\alpha' g}{2L}$ 、 $\beta'^2 \equiv n^2 - (\varepsilon + \varepsilon')^2$ 、 α' = 制水口損失係数($\equiv k/(\frac{q}{f} - v)$)、 k = 制水口損失。さて著者は基本的パターンとして一応次表の2種を選ぶ。この他にも、1, 2のパターンを付け加えると共に便利であるが。(例えば、 の型等) また、表中には ΔZ の理論解を示してあるが、実用的には $\frac{T}{10}$ ($T = \frac{2\pi}{\beta}$)、或いは $\frac{T}{20}$ 毎に $\Delta Z'$ (比值) の値を求め計算表の形にしておくといよい。

4. 実際の設計に当つて 実際にサージタンクを設計する場合には、次のような手順に従えばよいであろうか。

普通発電所のパターン		
A	起動 (負荷増加)	
B	多段起動	
C	サイクル低下	
D	運転中遮断	
E	起動時遮断	
F	多段起動時遮断	
G	サイクル低下時遮断	

基本的パターン	$\mathcal{L}\{\Delta q\}$	ΔZ (単働型の場合)
I 	$\frac{a_0}{s}$	$h(a_0) - \frac{n}{\beta} \cdot Z_* \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \cos(\beta t - \theta)$
II 	$\frac{a_0}{\tau s^2} (1 - e^{-\tau s})$	$h(a_0) - \frac{1}{\beta \tau} \cdot Z_* \cdot e^{-\varepsilon t} [\cos(\beta t - \theta') - e^{\varepsilon \tau} \cos\{\beta(t - \tau) - \theta'\}]$

$$h(a_0) \equiv \frac{\alpha a_0}{f}, \quad Z_* \equiv \frac{a_0}{f} \sqrt{\frac{L f}{g F_t}}, \quad \theta \equiv \tan^{-1} \frac{\varepsilon^2 - \beta^2}{2\varepsilon\beta}, \quad \theta' \equiv \tan^{-1} \frac{\varepsilon(3\beta^2 - \varepsilon^2)}{\beta(\beta^2 - 3\varepsilon^2)}$$

- 1) 担当課から発電所運転の自動シーケンス表、吐出弁の開度-流量曲線等をもらう。
 - 2) で提案した設計負荷変化型のパターンを、 q の変化として具体的に作成する。
 - 3) 1) の各パターンを基本的パターンから構成し、サージングの最高値および最低値を求める。このためには、サージングの波形をすべて求める必要がある。
 - 4) 最後に水槽容量を求めて構造を定め、工事費を概算する。
 - 5) 4) の結果その他によつては 1) に戻り、自動シーケンスを調節する。
- 差働型および水室型は何れも潮型の取扱いが困難であるので、2 次的に考えるとよい。しかし、各種設計負荷変化型に対して、 Z'_{max} および Z'_{min} を求める「ノモグラフ」を用意すれば、すべての型の水槽容量を速やかに求めうる。(著者は、前出の $\Delta Z'$ の表と共に作表する積りである)

5. あとがき 以上、サージタンクの設計負荷変化型について著者の考えの一端を述べたが、これを機会に水力関係者から、さらに有効なる提案がなされることを望む。

(参考文献) 1) 村瀬・辻・田中、サージタンクの設計基準について(1)、(2) 研究期報、第18巻(昭和36年下期) 九電総合研究所、昭37.12.P.95~111。

2) 村瀬・辻、サージタンクの設計基準(1)と一ツ瀬サージタンクの設計とについて、第18回年次学術講演会講演抄録集(第Ⅱ・Ⅲ部)土木学会、昭38.5.P.135~137。(次講)

3) 村瀬、揚水発電所サージタンクの設計基準について、社内技術講習会資料(第2回)昭38.7.P.86~87。

(付記) 諸塚の揚水起動の場合のアナコム計算結果を会場で説明する。