

論 說 報 告

第 22 卷 第 3 號 昭和 11 年 3 月

調圧水槽の設計条件と漸擴横断面を與へての 改善方法に就て

會 員 榎 本 卓 藏*

On the Element of Water Surge Tank Design, and Improvement
by gradual Enlargement of its Cross Section

By Takuzô Enomoto, Member.

要 旨

本文に於ては一般調圧水槽の設計上必要とする調整池利用水深に關し、新たに算定式を與へ且つ最高上昇水位並に最低下降水位を決定す可き急増減負荷に關する新見解を示し、併せて著者の考案せる漸擴横断面型水槽（或はライザー）が従來より採用せられつゝあつた均等横断面型水槽（或はライザー）に比し優れ居ることを論述したるものである。

目 次

	頁
第 1 章 一般調圧水槽の設計条件に就て	1
第 1 節 平衡状態に於ける調圧水槽内水位の変化（調整池利用水深の決定方法）	2
1. 有效落差の増減に因る水車能率の変化	
2. 導羽根開口の増減に因る水車能率の変化	
3. 調整池利用水深に關する算定式	
第 2 節 振動状態に於ける調圧水槽内最大水位変化の決定条件	7
1. 水量負荷曲線	
2. 最低下降水位の決定条件	
3. 最高上昇水位の決定条件	
第 2 章 漸擴横断面を與へ調圧水槽の改善	12
第 1 節 一般調圧水槽の横断面積に就て	12
第 2 節 著者の考案せる漸擴横断面型調圧水槽	13
第 3 節 漸擴横断面型水槽に對する最大昇降水位の決定方法	14
第 4 節 漸擴横断面型と所要水槽容積との關係	18
第 5 節 漸擴横断面型と水車に對する調速使用との關係	23
第 3 章 結 論	24

第 1 章 一般調圧水槽の設計条件に就て

調圧水槽は貯水池又は調整池と發電用水車との中間に位し、電力負荷に伴ふ發電水量の急増減の際に惹起する導水路内水圧の非常昇降を或程度に吸収或は補足する作用を爲すと同時に貯水池又は調整池内貯水量の貯溜又は引出しに對し補助的作用を司るものであるから、調圧水槽の設計に關しては先づ平衡状態に於ける貯水池又は調整池内水位と調圧水槽内水位との關係を知ることが第一であるが、この平衡状態に於ける貯水池又は調整池の水位も其

* 日本電力株式会社勤務

時々於ける包容貯水量の増減に従ひ或一定水深の間を季節的或は時間的に上下するものであるから、調圧水槽内平衡水位も亦変化することとなる。従つて負荷変動に因る振動状態に於ける調圧水槽の上昇水位、下降水位を決定する上に於ては先づ平衡状態に於ける調圧水槽内水位の変化を定めなければならぬ。

第 1 節 平衡状態に於ける調圧水槽内水位の変化（調整池利用水深の決定方法）

平衡状態に於ける調圧水槽内水位の変化は要するに貯水池又は調整池に於ける利用水深を決定することに依りて明かにせらるゝものである。而して水車が製作者に依り設計せられたる後に於ては、この利用水深の程度も正確なる數字を得ることが出来るのであるが、水路工作物の設計は工事期間の関係上水車設計の以前に完了せしめ、以て着工して居らなければならぬのであるから、この水車設計の結果を待つ譯には行かなく、勢ひ大略の目安を付けなければならぬのが一般状態である。

本節に於てはこの目的を達する上に於て最も合理的に而も實際と大差無き結果を與ふる方法を述べんとするものである。調整池又は貯水池兼用調整池式水力発電所に於ては河川流量と使用水量との關係に依り一定發電力を持續する場合に於てもその貯水量は増減し、水車に働く有効落差の変化を來たすのみならず、水車能率の変化をも招致するものであるが、之等の勢力損失は一般に水車の導羽根開口を増加せしむることに依り補足し得る様設計せらるゝものであるから、調整池又は調整池兼用貯水池の利用水深は之の見地に基き定むるものにして、其の利用し得る最低水位に於ても最大發電力を出し得る様利用水深と使用水車の吞水容量とを綜合的に決定しなければならぬ。

1. 有効落差の増減に因る水車能率の変化

調整池又は貯水池を有せざる場合の水力発電所なるものゝ正規有効落差は、標準發電水量に相當する河川流量の場合に於ける取入水位を基準として算定するものであるが、調整池又は貯水池を有する場合に於ては其の満水位を基準として計算す可きである。而して或有効落差の下に設計せられたる水車がその有効落差を變動せしめたる場合の能率の変化は一般に正規有効落差に於て最大値を示し、其前後に於ては共に其の値低下するものであるが、落差の減少する場合は増加する場合より、落差の同一變動率に對する能率の変化が著しい特性を有して居る。然し調整池又は貯水池式水力発電所に於ける有効落差の変化は正規の値より減少する場合が多いのであるから、その変化を Thoma 氏條件に當嵌る範圍内に納め様とした場合の水車能率の変化は近似的に有効落差の變動率の函數として次式にて表はさるゝ如き拋物線の 1 種に従ふものと見做すことが出来るのである。勿論嚴密なる意味に於ては到底斯かる簡單なる式にては表はし得ないのであるが、水路工作物の計畫設計に對し豫め目安を付ける爲にはこれを以て充分とするものである。

$$\eta_1 = \frac{\eta_m}{1 + \sigma_1 \left(\frac{H_{Ne} - H_e}{H_{Ne}} \right)^2} \dots \dots \dots (1)$$

茲に η_m : 正規有効落差 H_{Ne} に於ける水車能率にして最高値を有するものとする

η_1 : 有効落差が H_e に變化したる場合の水車能率の値

σ_1 : 水車の型式並に導羽根開口の程度に因り異なる一定數にして、或一定の導羽根開口に於て有効落差が總落差 H の $2/3$ 即ち Thoma 氏の與ふる不等式

$$\frac{(\text{損失水頭})}{(\text{總落差})} < \frac{1}{3}$$

を等式としたる場合に相當する有効落差の水車能率を η_0 とすれば

$$\sigma_1 = \frac{\eta_m - \eta_0}{\eta_0 \left[\frac{HN_s - \frac{2}{3}H}{HN_s} \right]^2}$$

より求め得らるゝものである。今正規開口に於て水車の型式種別に依る σ_1 の値を一製作所の試験成績より算出すれば表-1 の如くである。而して

Q: 發電水量

γ_c : 調整池又は貯水池と調圧水槽内水路の摩擦抵抗に因る損失水頭を水流速の自乗に比例するものとした場合の比例定数

γ_p : 水圧鉄管の摩擦抵抗に因る損失水頭を水流速の自乗に比例するものとした場合の比例定数

N : 水圧鉄管の係数

a : 水路の横断面積

a' : 水圧鉄管の平均横断面積

h : 調整池又は貯水池の利用水深

表-1.

水車型式	σ_1 の値	
ペルトン水車	0.51	
フランシス水車	低速型	1.23
	正速型	1.83
	高速型	2.16
プロペラ水車	0.58	

とし、摩擦抵抗に因る以外の損失水頭を無視するものとせば、(1) 式は次の如く表はさる。

$$\eta_1 = \frac{\eta_m}{1 + \sigma_1 \left[\frac{HN_s - \{H - h - (\gamma_c/a^2 + \gamma_p/N'a'^2)Q^2\}}{HN_s} \right]^2} \dots \dots \dots (2)$$

2. 導羽根開口の増減に因る水車能率の変化

導羽根開口の増減に依る水車能率の変化も水車型式即ち其の特有速度の程度に依り著しく異なるものにして、大略 3/4 開口から 15/16 開口の區間に η_m の點は存在するが、特有速度が低い水車程、換言すれば高落差のもの程 3/4 開口の方に接近し、特有速度が大なる水車程、換言すれば低落差のものとなる程 15/16 開口の點に接近したる點に起る。

而して水車は發電機と異なり過負荷は總て導羽根開口の増加に俟たなければならぬのであるから、一般水力發電所の場合に於ても、保證せられたる發電機過負荷に適應するに充分なる水量を呑む全開口を必要とするのであるが、之れは一面水車の最高能率の點が部分負荷の點に起るに反し、發電機の最高能率の點が全負荷の點に起ることから、正規發電出力に於ける綜合能率を最高ならしめ様とするに在ること勿論である。殊に調整池又は貯水池を有する水車に於ては利用水深の変化に因る有效落差の減退並に之れに基因する勢力の損失を導羽根開口を増すことにより補ひ、發電機正規出力を減ぜしめざる様水車の正規馬力を保持せんとする働きを爲す上に於て是非共正規開口以上相當の全開口を必要とするのである。而して水車の最高能率の點附近に正規開口を選ぶことが最も多いのであるから、導羽根が全開の時に於ては、水車能率は η_m より減退するものであつて特有速度の大なる水車程最高能率を示す部分開口と全開口とは接近するもので、今最高能率を示す可き部分開口を全開口の百分率を以て示して見ると一般の場合表-2 の範圍であることが多くの水車製作者の試験成績から看取せらる。

而して正規有效落差に於て水車が格定正味馬力を出すに要する正規開口は多くの場合最高能率を示す點附近に選定するものであるから、以上の水車特性上より見るときは採用せんとする水車の特有速度の程度、換言すれば水車の型式に依り、格定正味馬力の値を落さずして水量を増加し得る限度は自から定まつて來ることになる。

従つて正規有效落差に於て正規馬力を出す水車水量を q_N とすれば、全開口とした場合の最大水量は略表-3の値を目安として宜しきこととなる。

表-2.

水車型式	η_m を示す導羽根開口 (%)
ベルトン水車	75 前後
フランシス水車	低速型 80 "
	正速型 85 "
	高速型 90 "
プロペラ水車	95 "

表-3.

水車型式	全開口水量 ($=\sigma_2 q_N$)
ベルトン水車	$q_N/0.75$
フランシス水車	低速型 $q_N/0.8$
	正速型 $q_N/0.85$
	高速型 $q_N/0.9$
プロペラ水車	$q_N/0.95$

而して導羽根開口の変化に伴ふ水車能率の変化は一般に拋物線状に変化するものにして最高能率を示す場合の水車呑水量を q_0 とし、任意導羽根開口の場合の水車呑水量を q 、その場合の水車能率を η_2 とすれば、一定型式の水車に對し一般に次の如き形にて表はさるゝことが多數水車製作者の試績から看取せらる。

$$(\eta_m - \eta_2) = \xi(q/q_0)^{\pm 2} \dots\dots\dots (3)$$

茲に、 ξ は水車の特有速度に依り異なる定數にして、製作者に依り多少其の値を異にすれ共、前記 σ_2 の値に對しては表-4 の値を取るものである。

尙前述の如く q_N と q_0 とは接近する様定むるのであるから今 $q_N = q_0$ とし、且つ Q_N を發電所の正規有效落差の場合に於ける正規出力に相當する所要水量とすれば、

$$\left. \begin{aligned} (\eta_m - \eta_2) &= \xi(q/q_N)^{\pm 2} \\ \text{或は } (\eta_m - \eta_2) &= \xi(Q/Q_N)^{\pm 2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

にて示さる。上式に於ける \pm の符號は、 $q > (q_0 \text{ 或は } q_N)$ 或は $Q > Q_N$ の時正號を取り、 $q < (q_0 \text{ 或は } q_N)$ 或は $Q < Q_N$ の時負號を取るものとする。

表-4.

水車型式	ξ の値
ベルトン水車	0.0169
フランシス水車	低速型 0.0351
	正速型 0.0470
	高速型 0.0566
プロペラ水車	0.0452~0.0541

3. 調整池利用水深に関する算定式

前項に述べたる如く、貯水池又は調整池を有する發電所に於て其の貯水量を補給せんとする尖頭負荷時間に於て發電機が格定最大出力に達したる場合には貯水池又は調整池の水位は降下し、水車の所要水量は q_N より増加するものであつて、この結果、水車能率は有效落差の変化に因り其の保有する最高能率より $(\eta_m - \eta_1)$ 減退すると同時に導羽根開口の変化に因り $(\eta_m - \eta_2)$ 丈更に最高能率より減退することとなるから結局之の場合、水車能率 η は、

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 - \eta_m \dots\dots\dots (5)$$

なる値に低下することとなる。

而して貯水池又は調整池の利用し得る水深に迄、その水位が低下したる場合に於ても、發電所が格定最大出力 P の値を減少せしめざる範圍に導羽根開口に依り補水し得る爲には、次式を満足する h の値以内に利用水深を定めなければならぬこととなる。

$$(\eta_1 + \eta_2 - \eta_m) = P/9.8\gamma g \sigma_2 Q_N \left[H - h - \{ \gamma_2 a^2 + \gamma_N \overline{N a^2} \} \sigma_2 Q_N^2 \right] \dots\dots\dots (6)$$

従つて (5), (6) 兩式より、

$$\eta = P/9.8\eta_0\sigma_2 Q_N [H-h - \{\gamma_0/\alpha^2 + \gamma_0/\overline{N\alpha^2}\} \sigma_2 Q_N^2] \dots\dots\dots(7)$$

が得られ、且つ之の場合、(4) 式は

$$(\eta_m - \eta_2) = \xi(q_m/q_N)^2 \text{ 或は } (\eta_m - \eta_2) = \xi(Q_m/Q_N)^2$$

となるを以て、

$$\eta = \frac{\eta_m}{1 + \sigma_1 \left[1/H_{Ne} \{ H_{Ne} - (H-h - \gamma' \sigma_2 Q_N^2) \} \right]^2} - \xi \sigma_2^2 \dots\dots\dots(8)$$

が得らるゝを以て、

$$\frac{(\eta_m - \xi \sigma_2^2) - \frac{\xi \sigma_1 \sigma_2^2}{H_{Ne}^2} \{ H_{Ne} - (H - \gamma' \sigma_2 Q_N^2) + h \}^2}{1 + \frac{\sigma_1}{H_{Ne}^2} \{ H_{Ne} - (H - \gamma' \sigma_2 Q_N^2) + h \}^2} = \frac{P}{9.8\eta_0\sigma_2 Q_N (H - \gamma' \sigma_2 Q_N^2) - 9.8\eta_0\sigma_2 Q_N h}$$

なる式が成立する。但し、 $(\gamma_0/\alpha^2 + \gamma_0/\overline{N\alpha^2}) = \gamma'$ とする。

$$\begin{aligned} \text{今、} \quad (\eta_m - \xi \sigma_2^2) &= A, & \xi \sigma_1 \sigma_2^2 / H_{Ne}^2 &= B, & H_{Ne} - (H - \gamma' \sigma_2 Q_N^2) &= C, \\ \sigma_1 / H_{Ne}^2 &= D, & 9.8\eta_0\sigma_2 Q_N (H - \gamma' \sigma_2 Q_N^2) &= E, & 9.8\eta_0\sigma_2 Q_N h &= F \end{aligned}$$

とすれば、上式は

$$\frac{A - B(C-h)^2}{1 + D(C+h)^2} = \frac{P}{E - Fh} \dots\dots\dots(9)$$

となり、之を解けば

$$BFh^3 - [B(E - 2CF) + PC]h^2 - [B(2CE - FC^2) + AF + 2DCP]h + [E(A - BC^2) - P(1 + DC^2)] = 0 \dots\dots\dots(10)$$

なる h に就ての 3 次方程式を得るを以て、調整池の利用水深 h の値を求め得ることとなる。即ち (10) 式に於て

$$\begin{aligned} \frac{1}{BF} [B(E - 2CF) + PC] &= \alpha, & \frac{1}{BF} [B(2CE - FC^2) + AF + 2DCP] &= \beta \\ \frac{1}{BF} [E(A - BC^2) - P(1 + DC^2)] &= \gamma \end{aligned}$$

とし、且つ $h = y + 1/3 \cdot \alpha$

とすれば $y^3 - (1/3 \cdot \alpha^2 + \beta)y - \{0.074\alpha^3 + 1/3 \cdot \alpha\beta - \gamma\} = 0$

尙、 $(2/3 \cdot \alpha^2 + \beta)/3 = p, \quad (0.074\alpha^3 + 1/3 \cdot \alpha\beta - \gamma)/2 = q$

とすれば $y^3 - (3p)y - 2q = 0$

なる形となり、而も之の場合常に $p^3 > q^2$ であり、 y の値は負根となることを要するを以て、

$$y = -\sqrt{p} \cos 1/3 \cdot \varphi + \sqrt{3} \sqrt{p} \sin 1/3 \cdot \varphi$$

茲に、 $\cos \varphi = q/p\sqrt{p}$

より、 y の値を求め従つて h を算出し得るのである。

今、 $H = 133.2 \text{ m}, \quad L = 3000 \text{ m}, \quad Q_N = 50 \text{ m}^3/\text{sec}.$
 $a = 20 \text{ m}^2$ (円形), $N = 4$

なる一例に就き上式を使用し、利用水深 h の値を計算して見やう。

發電水量 Q_N なる時の水路内水流速を v_N 、水圧鉄管の平均水流速を v_N' とし、 C を流量係數、 R を動水半径、

n を水路の粗面係數、而して

$$v_N = 3 \text{ m/sec}, \quad n = 0.015$$

とすれば、
$$R = \sqrt{\frac{4a}{\pi}} / 4 = 1.26 \text{ m.}$$

$$c = \frac{100\sqrt{R}}{(100n-1) + \sqrt{R}} = \frac{100\sqrt{1.26}}{(100 \times 0.015 - 1) + \sqrt{1.26}} \approx 69$$

$$\gamma_c = L/c^2 R = \frac{3000}{69^2 \times 1.26} \approx 0.5$$

なる故、水路並に水圧鉄管の摩擦抵抗に因る損失水頭は

$$(\gamma_c v_N^2 + \gamma_D v_N^2) = 0.5 \times 2.5^2 + 0.0067 \times 3^2 \approx 3.2 \text{ m}$$

従つて、水路並に水圧鉄管の損失水頭が摩擦抵抗のみに因るものと假定すれば

$$H_{Nc} = 123.2 - 3.2 = 120 \text{ m}$$

而して、
$$\eta_m = 0.925, \quad \eta_g = 0.97$$

とすれば

$$F = 9.8 \eta_m \eta_g H_{Nc} Q_N = 9.8 \times 0.925 \times 0.97 \times 120 \times 50 = 53758 \text{ KW}$$

なれ共、之の場合摩擦以外の損失水頭等を考慮し、

$$P \approx 51000 \text{ KW とする。}$$

又 $\gamma^2 \approx 0.001274$, $\sigma_1 = 1.83$, $\sigma_2 = 1/0.85 = 1.176$ (フランスス水車正速型)

従つて、
$$A = 0.86, \quad B = 0.0000827, \quad C = 1.2,$$

$$D = 0.000127, \quad E = 66640, \quad F = 561$$

なるに依り
$$\alpha = 1512, \quad \beta = 107625, \quad \gamma = 1357974$$

即ち
$$h^3 - 1512h^2 - 107625h + 1357974 = 0$$

が得られ、
$$h = y + 504$$
 とすることに依り

$$y^3 - 869673y - 308938154 = 0$$

依つて、
$$p = 289891, \quad q = 154466577$$
 とすることに依り、

$$\cos \varphi = 0.9896805, \quad \varphi = 8^\circ 14' 17''$$

即ち
$$y = -492.8$$
 が得られ、求むる h の値は

$$h = -492.8 + 504 = 11.2 \text{ m}$$

となる。

或は (7), (8) 兩式に於て、 h に種々なる値を與へたる時の η の値を示す兩曲線を直坐標軸上にプロットし、其の交點を求めれば、同様調整池の利用し得べき水深 h の値と、調整池最低水位の場合に於ける水車能率の値を見出すことが出来る。即ち前數値例に於ては (7) 式は

$$\eta = \frac{51000}{66640 - 561h}$$

(8) 式は
$$\eta = \frac{0.86 - 0.0000827(1.2+h)^2}{1 + 0.000127(1.2+h)^2}$$

となるを以て、 h に任意の値を入れた場合の η の値は表-5 の如くであり、之の結果を直坐標軸上にプロットしたるものは圖-1 の如くである。

表-5.

h	(7) 式に依る η の値	(8) 式に依る η の値
4	0.7920	0.8568
6	0.8069	0.8539
8	0.8206	0.8502
10	0.8357	0.8455
12	0.8513	0.8400

即ち図-1 より $h \approx 11 \text{ m}$ が求め得らるるものである。

上述の如き方法に依り貯水池又は調整池の利用水深を決定し得れば平衡状態に於ける調圧水槽内水位は貯水池又は調整池と調圧水槽内水路の動水面勾配に依り直ちに求め得らるるものである。即ち其の水位の最大変化は明かに

$$\left(h + \frac{\gamma_c}{\alpha^2} Q_m^2 \right)$$

となるものである。

第 2 節 振動状態に於ける調圧水槽内最大水位変化の決定条件

水力発電所給水量の急増減する場合に惹起する振動状態に於ける水位に就ては實際起り得可き状態を考慮し慎重に之を定むる必要がある。著者は従来諸大家が殆んど同様な假定と大同小異である誘導方法を採る振動水位の算定式に就て繰返し論じ様とするものではなく、之等の人々に依りて求められた式の運用上の注意、換言すれば設計条件とする假定事項の検討を主眼として記述せんとするものである。一般調圧水槽の設計上、平衡状態に於ける水位が基準に置かるゝことは勿論であるが、振動状態に於ける水位は発電所給水量の急増減に基因して変化するものであるから、発電水量の変化する状態即ち水量負荷曲線を求むる必要を生ずる。

1. 水量負荷曲線

調圧水槽設計に関する急増減負荷の条件を考ふる上に於ては先づ時々変化する水量負荷と、それに伴ふ貯水池又は調整池水位との関係を知る必要がある。

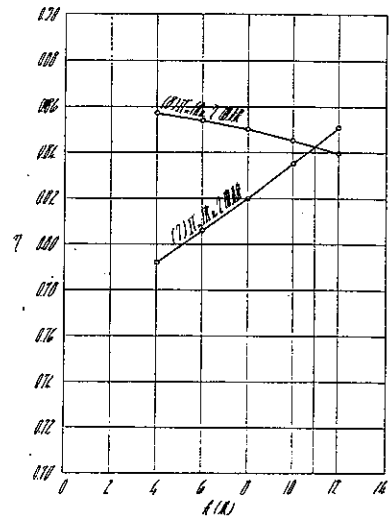
発電所の水量負荷曲線は発電機の負荷が全負荷以下に変化したる場合の能率の変化が水車の場合と同様略次式

$$\left. \begin{aligned} (\eta_g - \eta'_g) &= \varepsilon \left(\frac{p_1}{p} \right)^{-2} \\ \text{或は} \quad (\eta_g - \eta'_g) &= \varepsilon \left(\frac{P_1}{P} \right)^{-2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

- 茲に p : 発電機の格定出力
- p' : 発電機の部分出力
- η_g : p の場合に於ける能率
- η'_g : p' の場合に於ける能率
- ε : 発電機容量並に製作者等に依り異なる一定数

にて表はさるゝを以て、次に述ぶる方法に依り作製する事が出来る。先づ貯水池又は調整池の利用水深内に於ける有効貯水容量と水位との関係曲線を地勢上より定め、次に発電所の分擔電力負荷曲線の代表的のものを選び、尖頭負荷部分の終端時刻 t より dt 時間経過したる時刻に於て需要負荷が平均発電力 P_0 より P_1 に低下し、爲に

図-1.



所要水量が河川流量 Q_a より Q_1 に減少したりとすれば、調整池は空虚より貯水に移り始むることとなるを以て、前節と同様の手續に依り次式が成立することとなる。

$$\frac{\eta_m}{1 + \sigma_1 \left[\frac{H_{N\sigma} - \{H - h - \gamma' Q_1^2\}}{H_{N\sigma}} \right]^2} - \xi \left(\frac{Q_1}{Q_N} \right)^{-2} = \frac{P'}{9.8 \left[\eta_0 - \varepsilon \left(\frac{P'}{p} \right)^{-2} \right] [H - h - \gamma' Q_1^2] Q_1}$$

本式に於て、

$$\sigma_1 / H_{N\sigma}^2 = \alpha_1, \quad \xi Q_N^2 = \beta_1, \quad (H_{N\sigma} - H + h) = \gamma_1, \quad 9.8 \left\{ \eta_0 - \varepsilon \left(\frac{P'}{p} \right)^{-2} \right\} = \delta_1$$

とし、簡単にすれば次の如く Q_1 に就ての 6 次方程式となる。

$$\begin{aligned} & \alpha_1 \beta_1 \delta_1 \gamma_1^2 Q_1^6 - P' \alpha_1 \gamma_1^2 Q_1^5 - [\alpha_1 \beta_1 \delta_1 \gamma_1' H - \alpha_1 \beta_1 \delta_1 \gamma_1 h + \eta_m \delta_1 \gamma_1' - 2 \alpha_1 \beta_1 \gamma_1 \delta_1 \gamma_1^2] Q_1^4 - 3 P' \alpha_1 \gamma_1 \gamma_1' Q_1^3 \\ & + [\eta_m \delta_1 H - 2 \alpha_1 \beta_1 \gamma_1 \delta_1 \gamma_1' H - \eta_m \delta_1 h + 2 \alpha_1 \beta_1 \gamma_1 \delta_1 \gamma_1' h + (\beta_1 + \alpha_1 \beta_1 \gamma_1^2) \delta_1 \gamma_1'] Q_1^2 - \{P' + P' \alpha_1 \gamma_1^2\} Q_1 \\ & - (\beta_1 + \alpha_1 \beta_1 \gamma_1^2) \delta_1 H + (\beta_1 + \alpha_1 \beta_1 \gamma_1^2) \delta_1 h = 0 \end{aligned}$$

これより Q_1 を求むるには非常に煩雜且つ困難であるから寧ろ下記兩式

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\eta_m}{1 + \sigma_1 \left[\frac{H_{N\sigma} - \{H - h - \gamma' Q_1^2\}}{H_{N\sigma}} \right]^2} - \xi \left(\frac{Q_1}{Q_N} \right)^{-2} \\ \eta &= \frac{P_1}{9.8 \left[\eta_0 - \varepsilon \left(\frac{P_1}{p} \right)^{-2} \right] [H - h - \gamma' Q_1^2] Q_1} \end{aligned}$$

に於て Q_1 に種々なる値を與へたる時の η の値を示す兩曲線を直坐標軸上にプロットし、その交點より P_1 に相當する實際の所要水量 Q_1 の値を算定する方法が便利である。

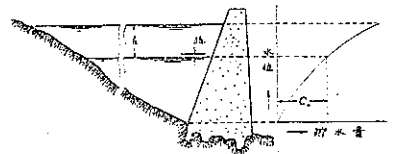
但し、渾水時又は軽負荷時に於て一部の水車を休止して居る場合には、運転基数を N' とし、

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\eta_m}{1 + \sigma_1 \left[\frac{H_{N\sigma} - \{H - h - \gamma' Q_1^2\}}{H_{N\sigma}} \right]^2} - \xi \left(\frac{Q_1}{N' Q_N} \right)^{-2} \\ \eta &= \frac{P_1}{9.8 \left[\eta_0 - \varepsilon \left(\frac{P_1}{N' p} \right)^{-2} \right] [H - h - \gamma' Q_1^2] Q_1} \end{aligned}$$

より求むるものである。

斯くして Q_1 を求め得たならば、図-2 に示す如く總貯水容量 $C_0 + 3600 \, dt (Q_a - Q_1)$ に相當して上昇する調整池内の水位 $(h - dh)$ を貯水量と水位との關係曲線より求め、 $(t + 2dt)$ 時刻に於ける負荷電力 P_2 に對する水量負荷 Q_2 の値を前同様の方法に依り求むるのである。

図-2.



即ち尖頭負荷部分の終端時刻 t より任意の時間 $n \, dt$ 時間経過したる時刻に於ける電力負荷を P_n とすれば、之れに對する Q_n の値は、總貯水容量 $[C_0 + 3600 \, dt \{ (n-1) Q_1 - \sum_1^{(n-1)} Q_i \}]$ に相當する水位 $\{h - \sum_1^{(n-1)} \Delta h\}$ を求め、下記兩式

$$\eta = \frac{\eta_m}{1 + \sigma_1 \left[\frac{H_{N\sigma} - \{H - (h - \sum_1^{(n-1)} \Delta h) - \gamma' Q_n^2\}}{H_{N\sigma}} \right]^2} - \xi \left(\frac{Q_n}{Q_N} \right)^{-2}$$

$$\eta = \frac{P_n}{9.8 \left[\eta_0 - e \left(\frac{p'}{p} \right)^{-2} \right] \left[H - \left(h - \sum_1^{(n-1)} \Delta h \right) - \gamma Q_n^2 \right] Q_n}$$

に依り之れを求め水量負荷曲線を作製し得るものである。

但し、 $\sum_1^{(n-1)} Q$ 及び $\sum_1^{(n-1)} \Delta h$ は貯水の場合を正號とし、補給の場合を負號とする代數的總和を表はすこと勿論である。尤も之の方法に於ては Δt 時間内の貯水量並に補給水量が總て貯水前又は補給前の水位を基準として算出せられた水量の積算となつて居る關係上、實際の負荷水量の値より貯水時には幾分大に、補給時には幾分小となることは免れないことであるが、 Δt を相當細かく取ることにより實際に近き結果を得ることとなるものである。

2. 最低下降水位の決定条件

扱、水量負荷曲線が定まれば電力負荷の増減に依る水量負荷の変化する模様が明かとなるから、之と調整池水位曲線（又は貯水量曲線）より調圧水槽の最低下降水位を決定する場合に於ける水量負荷の急増程度を幾何に爲す可きかと云ふことを判定出來得るのであるが、實際水量負荷曲線を作製するに當つては相當の手續と時間とを要するを以て、電力負荷の時間的變化の緩急が電力負荷率の値に關係すると同様、水量負荷の時間的變化の緩急が水量負荷率の値に關係し、水量負荷率の低率なる程、水量負荷の時間的變化烈しきこととなるを以て、調圧水槽の設計上、最低下降水位を決定する水量負荷の急増に對しては、水量負荷率を考慮して決定することが簡便且つ合理的なる方法なりと信ずるのである。即ち貯水池又は調整池式水力發電所に於ける使用水量の時間的變化は一に其の發電所の分擔し得る固有の電力負荷特性、換言すれば分擔し得る負荷率に關係するものである以上、之の水量變化に基く水量の收容、或は補給を司る調圧水槽の設計の基礎が負荷率の値如何に置かれなければならぬものであることは何人も拒むことは出來得ない。而して水量負荷率を考慮したる場合、水量急増前に於ける水位の基準を、圖-3 に示す如き最低電力負荷の點 0 に取る場合と、平均電力負荷の點 0' に取る場合とが考へらるゝが、最低負荷は多くの場合、深夜間なる故、この點から瞬間的に最大電力負荷に急増するとは、一般電力負荷の特性より考察して到底有り得べからざることである。

縱令、斯うした極端なる負荷急増の場合、即ち輕負荷が零、負荷部分が矩形であるが如き場合を考へても、電力 P は瞬間的に零から最大値に急増はするが、その場合は満水位であり、且つ補給開始直後であるから、調整池水位の低下僅少にして、最大發電力 P に對しても Q_m を必要とせざるを以て、如何なる場合を通じても水量負荷が零より Q_m に瞬間的に急増することは先づ起り得ないことになる。

従つて或値の水量負荷から Q_m に急増する場合が考へらるゝのであるが、前述の如く電力負荷の特性を考慮に入れた唯一の表示法としては水量負荷率に依りて其の急増する程度が變化するものとしなければならぬ。斯く觀ずるときは水量急増前の基準としては平均負荷の點に取るのが最も當を得たものと云ふことが出来る。而して之の場合に於ける調整池水位であるが、平均負荷の點から尖頭負荷部分に移らんとする直前に於ては、調整池は相當高水位にある故、この水位を基準として考ふるときは相當の負荷急増が豫想せらるゝのである。然し最低下降水位として考へ得る最悪状態は調整池の水位が補給水量の一部分を残し、且つ調整池の低水位に最も接近した點即ち補給の終端近くであるか、或は貯水開始直後である。換言すれば使用水量が取入水量より僅か大なるか、或は小なるかと云ふ場合である。即ち補給の終端に相當する點即ち低水位に迄調整池水位が低下してしまつた時は、調圧水槽の下降水位を考ふる場合の調整池水位としては最悪状態ではあるが、利用貯水量が皆無となつて居る關係上、最大水量負荷がかゝり様が無く、調圧水槽最低下降水位を定むる場合の基準とすることは出來ない。

従つて下降水位に關する計算上、調整池内水位の基準は其の低水位より僅か上部に定む可きであると云ふこと

になる。

貯水池兼用調整池の場合に於ては最低水位を示す可き渴水時の終端近くに於て同様な考察が爲し得らるゝのである。而して電力負荷率従つて水量負荷率の最も低下するときは電力需要が大であり、而も河川流量の渴水を來たす冬季にして、負荷変動状態も亦急峻なるものなる故、豊水時に於ける水量負荷率を F 、渴水時に於けるそれを F' とすれば、一般に、 $F > F'$ なる故調圧水槽の最低下降水位を決定す可き水量負荷率は F' をのみ考慮すれば足ることになる。而して渴水量を Q_0 とすれば、

$$F = \frac{Q_N}{Q_m} = \frac{Q_N}{N\sigma_2 q_N} \dots\dots\dots(12)$$

$$F' = \frac{Q_0}{Q_m} = \frac{Q_0}{N\sigma_2 q_N} \dots\dots\dots(13)$$

なるに依り、下降水位に對する水量変化は、水量負荷の急増に對し、 Q_0 より Q_0/F' ($=Q_m$) に急増すると云ふ條件の下に決定するを妥當と認むるものである。

即ち調圧水槽の降水位に對しては、その發電所の分擔する電力負荷特性が重大なる影響を齎らすものであつて、之の電力負荷特性を考慮せず總ての場合只漠然と、 $1/2 \cdot Q_m$ より Q_m に、或は $3/4 \cdot Q_m$ より Q_m にと云ふが如き條件とするは其の結果に於て、必要以上の安全性を得る、即ち不經濟なる施設となるか、或は思はざる水位の降下を招致し水路に危険を及ぼさしむることゝなる。即ち調圧水槽の設計条件に對しては須く發電所獨自の性能を考慮して決定することの肝要なることを力説する所以である。今参考の爲、調整池又は貯水池兼用調整池を有する本邦各電力會社の既設水力發電所の内、發電所最大出力に迄調製する場合に就き、電力負荷率の値が各發電所に依り如何に相違せるかを示して見ると、表-6の如くである。

而して水量負荷率は電力負荷率に比例すること勿論なるも、前述する如く調整池又は貯水池兼用調整池を有する場合にはそれ等の水位の如何に依り同一發電力に於ても單位發電力に對する所要水量の値に差異を生ずることゝなる結果、一般に水量負荷率は電力負荷率より其の値低率となるものである。以上は調整池の利用に依り豊水時は勿論、渴水時に於ても其の尖頭發電力を發電所格定出力に迄調整せんとする場合

表-6.

I. 豊水時、渴水時を通じ調整池を利用するもの

會社名	發電所名	豊水時電力負荷率 (%)	渴水時電力負荷率 (%)
東電	八ツ澤	56.6	56.6
"	鹿留	84.3	84.3
"	猪苗代第1	60	60
"	"第2	"	"
"	上久屋	81	54.3
"	猪苗代第3	60.7	60.7
"	"第4	59	59
"	田代川第1	68.6	47.8
"	"第2	59.5	46
長野電燈	平穩第1	73.5	23.5
東信	小諸	90.4	50

II. 渴水時のみ調整池を利用するもの

會社名	發電所名	豊水時電力負荷率 (%)	渴水時電力負荷率 (%)
大同	大井	100	28.5
"	落合	"	31.1
東信	高瀬川第3	"	48.3
"	鹿瀬	"	50
京濱	奈川渡	"	48.7
中央電氣	鳥坂	"	55

であるが、時としては湧水時の最大調整電力を豊水時の最大調整電力以下に制限する場合がある。斯かる場合に於ては必ずしも湧水時に於ける。調整が調圧水槽の下降水位に最悪条件を與ふるものとは限らない。即ち、若し

$$Q_N(1/F-1) \geq Q_0(1/F-1)$$

なる場合ならば、調整水槽の下降水位は Q_N から $Q_N/F (=Q_m)$ に急増する条件の下に決定せざるべからざることとなる。

要するに調圧水槽内に於ける最低下降水位への起動線は調整池内水位を其の低水位とし、 Q_0 或は Q_N を水路内に流下せしめた場合の動水面勾配に相當する調圧水槽内水位となさば、一般負荷電力状態である図 3 より明かなる如く、實際に起り得る最悪状態より急増負荷の程度並に水位に於て充分餘裕を存することとなるのである。即ち図 4 は調圧水槽内水位と急増負荷の値との關係を示したるものであつて、急増負荷 ($Q_m - Q$) の値が最大となる調圧水槽内水位は、 $Q=0$ の時即ち ($H-h$)

に相當するものであり、急増し得る負荷 ($Q_m - Q$) の値が減少するに伴ひ拋物線的に之れに對する調圧水槽内水位も減少する。而して調圧水槽内水位が最低となつた時は急増し得る負荷は零となるものである。

3. 最高上昇水位の決定条件

貯水池又は調整池が満水位のまま最大発電力を持続してゐる場合、即ち豊水時に於て発電所が格定出力を發電し居る場合の調圧水槽内水位が上昇水位決定上、考へ得る最も最悪状態である。従つて上昇水位を決定するには貯水池又は調整池の満水位を基準とし、水路内を流下する水量が Q_N である場合の動水面勾配に相當する調圧水槽内水位を起動線とし、急減負荷が Q_N から零になる条件の下に求む可きである。尤も發電機の過負荷状態から無負荷に遮断せらるゝことも考へ得るゝが、貯水池又は調整池が満水位を保持しつゝある出水時期は一般に春から秋にかけての季節であつて、電力負荷の比較的低下してゐる關係上、一般的には有り得ざるものと見るのが妥當であらう。

第 2 章 漸擴横断面を與へ調圧水槽の改善

水車调速機に於ける调速作用の點のみから調圧水槽の性能上に要求するものは、

i. 水面の變化が緩慢なること、 ii. 水面振幅が大ならざること、 iii. 水面振動の減衰が速かなること等であるが、一方水路内の加速水頭並に減速水頭の發生を調圧水槽 (又はライザー) 内の水位變動に因りて迅速ならしめ様とする現在の調圧水槽の構造から云ふと、i. の目的を達する上に於ては全く根本的に相反して居ることになる。そこに調圧水槽設計上大なる悩みが存するのである。然しこれは相互の理論上當然斯くなる可きもので

図-3.

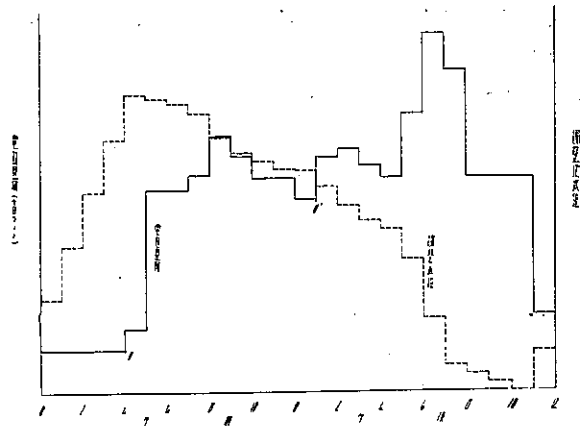
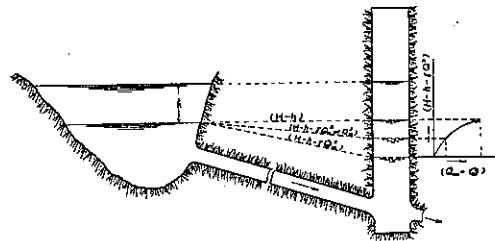


図-4.



あるから、何れか一方を他の原理に基く新方法に據る外解決の途は無く甚だ困難な問題となるが、現在に於ける原理は変へざるものとし、構造上の改良のみにてよい。以上様な相反する要求を或程度迄同時に満し得る様な方法を吾人は渴望してゐるのである。従來、ii. 及び iii. に對する要求を同時に達する爲、所謂水室附單働式と、差働式とを折衷した型式のものが時々採用せられてゐるが、(新井榮吉氏の改良型なるものも之れに類する) 上記の問題は依然残された儘になつてゐる。元來、i. を要求する所以のものは云ふ迄も無く電力負荷の変動に際し其の直前と直後に於ける水位の変化、従つて有效落差の変化とそれに伴ふ水車能率の変化とに因り同一發電力に對する所要水量に差異を生ずることに在るもので、殊に負荷急増の場合に於ては要求せらるゝ水量の頗る急なるものがあり、その結果水車の速度調整の點から云へば水車にかゝる實際の負荷変化以上の変動が起つたことに相當し、調速機の動作を困難ならしむることになる。即ち i. の目的を達する上に於ては無水室單働式水槽が理想的であつて、差働式又は水室附單働式は不適當であるが、加速、減速水頭の迅速發生と云ふ要求を達する上から云へば差働式又は水室附單働式が合理的であつて、無水室單働式は不適當である。而して之の相反する 2 要求を或程度迄同時に満足せしむる爲には水槽(又はライザー)内の水位変化の速さを、変化直前に於ける水面の常規有效落差に對する關係的位置に依り緩急あらしむる如き構造となす外方法は無いのである。勿論従來の型式のものにありても、水位の変化から或一定時間後に於て其の水位昇降速度は漸次減速せられて行くのであるが、其の減速度を変化直前に於ける水面の常規有效落差に對する關係的位置に依り緩急あらしむる如き性能は有しないのである。

第 1 節 一般調圧水槽の横断面積に就て

調圧水槽の横断面積は茲に述ぶる迄も無く、Thoma 氏の與へた水面振動の安定條件を満たす値より大なるものとさねばならぬから、其の横断面を円形としたる場合の許容半径 r は、一定電力負荷の平衡状態に於て水路内一定水流速を v 、貯水池又は調整池に於ける任意の水位低下を h' とすれば

$$\pi r^2 > \frac{aL}{2g\gamma_c(H-h'-\gamma cv^2)}$$

に依り與へらる。今 Φ を調圧水槽の型式に依りて異なる餘裕率とせば

$$\left. \begin{aligned} \pi r^2 &= \frac{\Phi aL}{2g\gamma_c(H-h'-\gamma cv^2)} \\ \text{或は} \quad (H-h'-\gamma cv^2) &= \frac{\Phi aL}{2g\gamma_c\pi} r^{-2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

となる。而して一定の發電水路に對しては、 a 、 L 、 γ_c 、 Φ は一定値を取るを以て一定電力負荷に於ける振動減衰に必要な水槽(又はライザー)半径は、其の時々と與へらるゝ貯水池或は調整池水位に依りて異なる値を取る。即ち水槽内水位に依りて與へらるゝ利用落差の変化に對する振動減衰に必要な水槽半径の値は双曲線狀変化を辿ることを示すものである。従つて貯水池又は調整池の利用水深が相當大なる場合に於ける振動減衰に必要な水槽の断面積は水槽の上部より下部に向ひ漸次擴大せしむることが合理的であつて、従來の如き均等断面の場合には必要以上の餘裕を存する部分多く其の結果不經濟となるものである。

即ち水槽水位の振動減衰に必要な最小許容横断面積に對する半径は平衡状態に於ける水槽内利用落差の最低値を基準としなければならぬから、均等横断面の場合に於ける水槽の横断面積に對する半径は

$$r = \sqrt{\frac{\Phi aL}{2g\gamma_c\pi(H-h-\gamma cv^2)}}$$

に依りて定めなければならぬこととなり、満水位の場合に必要なとする横断面半径を r' とすれば

$$r' = \sqrt{\frac{Q_2 L}{2g\gamma c v_N (H - \gamma c v_N^2)}}$$

となり、従つて

$$r' = r \sqrt{\frac{(H - h - \gamma c v m^2)}{(H - \gamma c v_N^2)}}$$

即ち満水位の場合に必要なとする横断面半径は調整池最低水位の場合に必要なとする横断面半径の

$$\sqrt{\frac{(H - h - \gamma c v m^2)}{(H - \gamma c v_N^2)}} \text{ に縮少し得ることとなる。}$$

一方、 Z = 貯水池又は調整池水面と水槽(又はライザー)水面との高さの差を表はすものとし、後者が前者より低き場合を正とする。

とすれば水槽(又はライザー)内水位の振動に関する基礎的の微分方程式は電力負荷変化後の所要水量を Q_2 、水路内に於ける任意時刻の水流速を v とすれば、

$$\frac{L}{g} \frac{dv}{dt} = Z - \gamma c v^2, \quad A \frac{dZ}{dt} = Q_2 - av$$

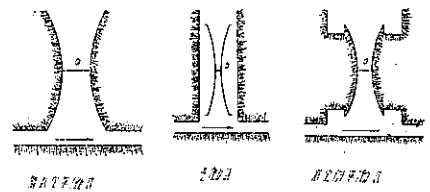
にて表はさるゝことは周知の事である。即ち一定負荷の増減に因る水面振動は水槽(又はライザー)横断面積の大なる程小となるを以て、水面振動の起動の際は水路内水流に可及的迅速に加速或は減速水頭を興へる意味に於て水槽(又はライザー)横断面積は許し得る限り小なることが好ましきも、一般に地勢上、水槽の高さなるものが制限せらるゝ場合多く、振動に依る最高上昇、最低下降は極力減少せしめなければならぬ關係上、其の横断面積は大なるものとしたいのである。而も其の横断面積の変化をして振動安定の條件を合理的に保持せしむる(14)式にて示す双曲線關係を考慮に入れたものとせば、期せずして前記目的を達し得る上に於て好都合となる理である。

第2節 著者の考案せる漸擴横断面型調圧水槽

上記の目的を達する爲、著者は従来よりの均等横断面を有する水槽(又はライザー)を改良し、図-5に示す如く正規有效落差を興ふる水槽(又はライザー)内水位の横断面積を水面振動減衰上の許容最小限度とし、其の中心を O とすれば、 O を原點とする直坐標軸上に於て、水槽(又はライザー)縦断面が拋物線狀となり、横断面積が漸次擴大する様な構造となさしめたものである。斯くの如き構造となすと

きは振動減衰に必要な横断面積が合理的となるのみならず、電力負荷の増減に基因する調圧水槽内單位水量の補給又は收容に對し水槽(又はライザー)に於ける昇降水面起動速度は O 點を過る線に相當する位置に於て最大であり、 O 點を過る線より上下に距つた位置になる程漸小となる。即ち水車能率も最高である可き正規有效落差附近に於ては水位変化に因り調速機動作上に及ぼす影響は比較的小なるものであるから、水路内水流に對する加速水頭、減速水頭の發生を可及的迅速ならしむることに重點を置き、水車能率も低下する正規有效落差以外の有效落差に相當する位置に於ては水位変化に因る調速機動作上に及ぼす影響の漸次大となつてくることから、水位変化の急変を避くることに重點を置いたことは勿論であるが、上昇水位、下降水位に於て、水位の單位時間に変化する速さの割合が正規有效落差に相當する水位に近づく程大に、遠ざかる程小となる處に本装置の特長がある、或程度迄前記目的を達し得ることになる。而して漸擴横断面型に於ける最小横断面に對する半径を r_0 とすれば、

図-5.



この場合振動安定に必要な横断面積に對する餘裕率は均等断面の場合より小に取り得るを以て漸擴横断面の場合の Φ の値を Φ' とすれば、實際に於ては漸擴横断面とするときの r_0 は

$$r_0 = r \sqrt{\frac{\Phi'(H-h-\gamma cv^2)}{\Phi(H-\gamma cv^2)}}$$

にして、 r の $\sqrt{\frac{\Phi'(H-h-\gamma cv^2)}{\Phi(H-\gamma cv^2)}}$ に縮少し得ることとなる。而して水室附單働式又は差働式の時のライザーの断面積は Φ の値を可及的小に取る關係上、 Φ と Φ' との關係は $\Phi = \Phi'$ にして、この場合の Φ/Φ' の値は無水室單働式の場合に於ける Φ/Φ' の値より遙かに小となり殆んど 1 に接近せしめ得るのである。

第 3 節 漸擴横断面型水槽に對する最大昇降水位の決定方法

漸擴横断面型水槽 (又はライザー) に於ける許容最小横断面位置より任意距離 y だけ距つたる位置の横断面積を A_0 としたる場合

$$A = A_0 \frac{\{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2)y^2\}^2}{r_0^2} \dots \dots \dots (15)$$

茲に K_1 は最小横断面より上方に於ける場合の比例定數、
 K_2 は下方に於ける場合の比例定數

なる關係あるものとし、

- Q_1 : 電力負荷変化前即ち平衡状態に於ける所要水量
- v_1 : Q_1 に對する水流速
- Q_2 : 電力負荷変化後即ち Q_2 に對する水流速
- F : 差働式の場合に於ける孔口の断面積
- A' : 差働式に於てライザーを含む水槽の横断面積
- Z_r : 差働式の場合に於けるライザー内の Z の値を示す
- Z_c : 差働式の場合に於ける外槽内の Z の値を示す

とすれば、漸擴横断面型水槽 (又はライザー) 内水面振動に關する基礎微分方程式は

i. 單働式の場合

$$\frac{L}{g} \frac{dv}{dt} = Z - \gamma cv^2 \dots \dots \dots (16)$$

$$\frac{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2)y^2\}^2}{r_0^2} \frac{dZ}{dt} = \frac{(H-h-\gamma v_1^2)Q_2}{H-h-Z} - av \dots \dots \dots (17)$$

ii. 差働式の場合

$$\frac{L}{g} \frac{dv}{dt} = Z_r - \gamma cv^2 \dots \dots \dots (18)$$

$$\left[A' - \frac{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2)y^2\}^2}{r_0^2} \right] \frac{dZ_c}{dt} + \frac{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2)y^2\}^2}{r_0^2} \frac{dZ_r}{dt} = \frac{(H-h-\gamma cv_1^2)Q_2}{H-h-Z_r} - av \dots \dots \dots (19)$$

にて表はさるゝこととなれ共、之等を積分することは水槽 (又はライザー) 横断面が均等の場合に於てすら容易で無く、況んや可變横断面である本論の場合に於ては一層困難である。従つて之の場合振動に因る最高上昇水位並に最低下降水位を決定するには數値積分法が、図式解法に據らねばならぬこととなる。即ち數値積分法に據るも

のとなれば無水室單働式の場合に於ては (16), (17) 式に於て $h' = h$ としたる後之を finite difference に直したるもの、即ち

$$dv = \frac{g}{L} (Z - \gamma cv^2) dt \dots\dots\dots (16)'$$

$$\Delta Z = \frac{r_0^2}{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2)y^2\}^2} \left[\frac{(H-h-\gamma cv_1^2)Q_2}{H-h-Z} - av \right] dt \dots\dots\dots (17)'$$

より計算すれば宜しく、又水室附の場合に於てはライザー内に對し、(16)', (17)' 式を適用し、水室に溢流が始つてからは次の式に據るものである。即ち上昇水位の爲、溢流堰を越へて水室に流込む水量を毎秒 q とすれば

$$dv = \frac{g}{L} (Z - \gamma cv^2) dt$$

$$\Delta Z = \frac{r_0^2}{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2)y^2\}^2} \left[\frac{(H-h-\gamma cv_1^2)Q_2}{H-h-Z} - av - q \right] dt$$

より計算すればよいことになる。

但し q は次の方法により求むるのである。即ちライザーの上端円周より溢流するものとし、且つ最小横断面位置より上又は下に測りたるライザーの高さをそれぞれ Y_1 又は Y_2 、同じく水室底部迄の高さをそれぞれ Y_1' 又は Y_2' 、貯水池又は調整池水面より上に測りたるライザーの高さを X_0 、同じく水室迄の高さを X 、水室への溢流深さ（上昇水位の時）、又は水室より流出することに依る減水深さ（下降水位の時）を ξ とすれば、

上昇水位の時

$$\Sigma q dt \leq \pi \left[R^2(Y_1 - Y_1') - \int_{y=Y_1'}^{y=Y_1} (r_0 + K_1 y^2)^2 dy \right]$$

$$\leq \pi \left[R^2(Y_1 - Y_1') - \{r_0^2(Y_1 - Y_1') + 2/3 \cdot r_0 K_1 (Y_1^3 - Y_1'^3) + K_1^2/5 \cdot (Y_1^5 - Y_1'^5)\} \right]$$

下降水位の時

$$\Sigma q dt = \pi \left[R^2(Y_2 - Y_2') - \int_{y=Y_2'}^{y=Y_2} (r_0 + K_2 y^2)^2 dy \right]$$

$$= \pi \left[R^2(Y_2 - Y_2') - \{r_0^2(Y_2 - Y_2') + 2/3 \cdot r_0 K_2 (Y_2^3 - Y_2'^3) + K_2^2/5 \cdot (Y_2^5 - Y_2'^5)\} \right]$$

なる式を満足する迄は

上昇水位の時

$$q = 4/3 \cdot c \sqrt{2g} \pi (r_0 + K_1 Y_1^2) \{-Z + X_0\}^{1.5}$$

下降水位の時

$$q = c \sqrt{2g} 2\pi (r_0 + K_2 Y_2^2) \{Z - (X + \xi)\}^{0.5}$$

なる式より求め

$$\Sigma q dt > \pi \left[R^2(Y_1 - Y_2') - \{r_0^2(Y_1 - Y_1') + \frac{2}{3} r_0 K_1 (Y_1^3 - Y_1'^3) + \frac{K_1^2}{5} (Y_1^5 - Y_1'^5)\} \right]$$

となる區間に對しては

$$q = \frac{4}{3} c \sqrt{2g} \pi (r_0 + K_1 Y_1^2) \sqrt{-Z + X + \xi} \left[-Z + X_0 - 0.88 \{X + \xi - X_0\} \right]$$

より求むることとなる。茲に c は流量係數とする。

而して各時刻の ξ の値は

$$\Delta \xi = \frac{q dt}{\pi [R^2 - (r_0 + K_1 Y_1^2)^2]}$$

或は
$$d\xi = \frac{q dt}{\pi [R^2 - (r_0 + K_2 Y_1)^2]}$$

より定むるのであつて、 ξ にて示されたる水室内上昇水位が Z にて示すライザー内上昇水位と全く一致したる以後に於ては均等断面の場合と同様、

$$dv = \frac{q}{L} (Z - \gamma cv^2) dt$$

$$dZ = \frac{1}{\pi R^2} \left\{ \frac{(H-h-\gamma cv_1^2) Q_2}{H-h-Z} - av \right\} dt$$

に依るものであること勿論である。

之等の數値積分式に依り均等横断面の時の數値積分法と同様の順序に依り最高上昇、最低下降水位を決定することが出来る。差動式の場合に於ける數値積分法としては、Johnson 氏の爲せる如くライザー横断面積を零に等しきものとして求むる方法もあれ共、本論の場合に於ては、ライザー横断面積の変化が重要なファクターとなるものであるから、之の方法以外の方法に依り數値積分式を求めなければならぬ。今下部孔口の抵抗に依る損失水頭を、 γ_p (水流速)² とすれば

$$Z_r - Z_c = \pm \gamma_p \left[\frac{1}{F} \left[A' - \frac{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2) y^2\}^2}{r_0^2} \right] \frac{dZ_c}{dt} \right]^2 \dots \dots \dots (20)$$

茲に \pm は水面降下の時正號を取り、水面上昇の時負號を取るものとする。

にて表はさる Δ を以て (19) 式を finite difference に直し、

$$\left[A' - \frac{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2) y^2\}^2}{r_0^2} \right] \frac{\Delta Z_c}{\Delta t} + \frac{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2) y^2\}^2}{r_0^2} \frac{\Delta Z_r}{\Delta t} = \frac{(H-h-\gamma cv_1^2) Q_2}{H-h-Z_r} - av \dots \dots \dots (21)$$

且つ (20) 式より近似的に

$$\Delta Z_r - \Delta Z_c = \pm \gamma_p \left[\frac{1}{F} \left[A' - \frac{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2) y^2\}^2}{r_0^2} \right] \frac{\Delta Z_c}{\Delta t} \right]^2 \dots \dots \dots (22)$$

なる式が成立するものとすれば、(21) 式は

$$\pm \gamma_p \frac{1}{F^2 \Delta t^2} \left[\frac{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2) y^2\}^2}{r_0^2} \right] \left[A' - \frac{A_0 \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2) y^2\}^2}{r_0^2} \right]^2 \Delta Z_c^2 + A' \Delta Z_c - \left\{ \frac{(H-h-\gamma cv_1^2) Q_2}{H-h-Z_r} - av \right\} \Delta t = 0 \dots \dots \dots (23)$$

となり、 Δt に對する ΔZ_c を求め得られ、その ΔZ_c を (23) 式に置換することに依り ΔZ_r が求め得らる Δ に依り (18) 式を finite difference に直したる

$$dv = \frac{q}{L} (Z_r - \gamma cv^2) \Delta t$$

式を併用することに依り數値積分を爲すことを得るものである。又他の方法は水室附單働式の場合と同様なる手續を取ることとせるもので、今水位の変動に依り最初孔口より流出する水量を q_2 とすれば

$$q_2 = cF \sqrt{2g(Z_r - Z_c)}$$

である。而して q_2 の流入出に依り外槽水位が ΔZ_c だけ増減したりとすれば、
 上昇水位に對し、

$$q_2 dt = \pi \left[\Delta Z_c R^2 - \int_{y=Z_c - \Delta Z_c}^{y=Z_c} \{r_0 + K_2 y^2\}^2 dy \right]$$

頁	行	誤	正
60	15	(S)	(s)
(第3欄) 63	2	w	IV
66	表-8, 末行第3欄	6.12	6.12
"	表-9, 第1行8欄	$\frac{(l+2x')^2+(4R-f)f}{\sqrt{(l+2x')^2+(4R+f)f}}$	$\frac{\sqrt{(l+2x')^2+(4R-f)f}}{\sqrt{(l+2x')^2+(4R-f)f}}$
67	図-23, θ° の算式の分子	$\sqrt{(l+2x')^2+(4R+f)f}$	$\sqrt{(l+2x')^2+(4R-f)f}$
69	表-10, 第7欄1行目の数字	4-54-0	4°-54'-0''
"	" , 第17欄2行目の数字	64.091	64.071
70	表-12, 第3欄2行目の数字	35.393/3.337	36.393/3.337
"	" , " 5 " "	44.07/5.098	44.007/5.098
"	" , " 6 " "	46.179/5.673	46.177/5.673
"	" , 第7欄2 " "	47.799/1.407	47.797/1.407
72	表-16, 第2欄2行目の数字	798.65	798.665
73	表-17, 第5欄末行目の数字	11331.92	11331.932
"	表-18, 第8欄4行目の数字	4-58-87	4-58-8.7
"	" , 末欄下より2行目	4-48-37.5	3-48-37.5
74	図-30及び31, θ° の算式の分子	$\sqrt{(l+2y')^2+(4R+f)f}$	$\sqrt{(l+2x')^2+(4R-f)f}$
"	8	前掲図-11 及び 12	表-13 及び 14
76	下より 3	$e=14500R$ (mm)	$\epsilon=14500/R$ (mm)
79	14	排ふ	拂ふ
81	下より 2	に限定	は限定
84	2	(1)	I (1)
86	9	3% 以上の	(3% 以上の
"	14	勾配率と	勾配率とも
"	17	独自の	獨特の
"	22 及び 23	{ 東京高速線 巴里南北線 全曲線	東京高速線 巴里南北線 全曲線
87	I (2) 表, 第2欄末行		
90	下より 11 行	4316	4316
91	中央部の表第1欄見出し2行目	10%	1.0%
97	IV(1), (i) 表, 右より2欄上より6行目	=500(mm)	=50 mm)
98	IV(1), (ii) 表, 第6欄4行	$1500+E_1-\frac{s}{2}$	$1500+E_1-\frac{s}{2}$
"	" , " 7 行	$1500+E_4-\frac{s}{2}$	$1500+E_4+\frac{s}{2}$
"	" , 右より3欄5行	(7+3650 mm)	(7 ₀ =3650 mm)
99	IV(1), (iii) 表, 第6欄5行	$1500+E_1-\frac{s}{2s}$	$1500+E_1-\frac{s}{2}$
100	IV(2), (ii) 表, 第5欄6行	49.007/4.507	47.007/4.507

東洋工業會議の感想
(第22巻第1號所載)

頁	行	誤	正
16	下より 6	紡織機	紡織品

正 誤 表

地下鉄道線路に於ける線路の間隔及び隧道の大きさに關する調整々備に就て

(第 21 卷第 12 號, 第 22 卷第 1 號及び第 2 號所載)

頁	行	誤	正
第 1 編) 1	標題英文 1	Troper	Proper
"	" 2	Punnel	Tunnel
6	5	1 942	1.942
"	22	88 %	8.8 %
7	24	曲線抵抗及び勾配抵抗の和	(曲線抵抗及び勾配抵抗の和)
8	11	341 %	34.1 %
"	21	4 316 kg/t	4.316 kg/t
"	26	81.77 km	81.77 km
13	下より 2	(70 mm)	(70 mm)
14	8	無駄足	蛇足
"	19	擴大スベキ	重複せるを以て 1 つ消すこと
15	4	S	s
"	5	S	s
"	9	S/2	s/2
16	19 行公式の分母	182 R ³	128 R ³
18	5	V ₃	V ₁
22	9	使	便
"	下より 1	對の	1 對の
23	下より 2	$L_2 = D \cos \alpha - \sqrt{R_0^2 - D^2 \sin^2 \alpha} + R_0$	$L_1 = D \cos \alpha - \sqrt{R_0^2 - D^2 \sin^2 \alpha} + R$
27	下より 5	及び k	V 及び k
"	下より 2	T.C	P.T.C
28	10	$+\frac{1320}{\phi^{0.8}}$	$+\frac{\phi^5}{1320}$
"	11	$\frac{15\ 324 \times 10^{12}}{\phi^{0.8}}$	$\frac{153\ 245 \times 10^{12}}{\phi^{0.8}}$
"	13	$\frac{dx}{dl} \cos \phi$	$\frac{dx}{dl} = \cos \phi$
29	13	方程式の右邊末項の次に	+...を記上すること
"	下より 3	(15) 式	(39) 式
第 2 編) 37	4	精密に測定せる	精密に製図せる
38	14	46 mm も	46 mm をも
41	20	$133 \times \frac{100}{15}$	$133 \times \frac{100}{14}$
47	下より 9	以て	を以て
"	下より 5	車輪	車輛
49	12	如く,	如き
50	4	r ₀ '	r ₀ '
51	下より 1	{(l+n) ² - μl ² }	{(l+n) ² - μl ² }
58	26	論じ	講じ
60	3	V ₁ or V ₂ , V ₃	v ₁ or v ₂ , v ₃
"	5	Z = G + 2(V ₁ or V ₂)	Z = G + 2(v ₁ or v ₂)
"	"	Y = H + V ₃	Y = H + v ₃

$$= \pi \left[(R^2 - r_0^2) \Delta Z_c - \frac{2}{3} r_0 K_1 \{ Z_c^3 - (Z_c - \Delta Z)^3 \} - \frac{K_1^2}{5} \{ Z_c^5 (Z_c - \Delta Z)^3 \} \right]$$

下降水位に對し、

$$q_2 dt = \pi \left[\Delta Z_c R^2 - \int_{y=Z_c}^{y=Z_c+\Delta Z_2} \{ r_0 + K_2 y^2 \}^2 dy \right]$$

$$= \pi \left[(R^2 - r_0^2) \Delta Z_c - \frac{2}{3} r_0 K_2 \{ (Z_c + \Delta Z_c)^3 - Y_c^3 \} - \frac{K_2^2}{5} \{ (Z_c + \Delta Z_c)^5 - Z_c^5 \} \right]$$

となり、之れより ΔZ_c を求むるには ΔZ_c に就ての高次方程式を解かねばならぬこととなるを以て、寧ろ図式解法に依るを便とする。即ち豫め ΔZ_c の種々なる値に對する $q_2 dt$ の曲線を作り置かば負荷変動の瞬間から任意の時刻に於ける $\sum q_2 dt$ に對する $\sum \Delta Z_c$ の値を知ることが出来る。

勿論之の $\sum q_2 dt$ と $\sum \Delta Z_c$ との以上の關係はライザーの正規有效落差に相當する水位より以上又は以下の範圍に限らるゝを以て、若し之の兩區劃に跨る場合には K_1, K_2 の各部分に就き計算し、その合計を取らなければならぬ。

而して上昇水位がライザー上部から溢流する水量を q_1 とすれば、 $q_1 = q - q_2$ にして、 q は水室附の場合に示したる式に依り求め得らるゝに依り、 q_1 を算出し得らるゝものである。上部よりの溢流が始つてからは Z_c の上りは、 $(\sum q_2 dt + \sum q_1 dt)$ に相當するものであること勿論である。

従つてライザー内の水の運動並に水流連続性に關する微分方程式を finite difference に直したる兩式

$$\Delta v = \frac{g}{L} (Z_r - \gamma v^2) \Delta t$$

$$\Delta Z_r = \frac{r_0^2}{A_0 \{ r_0 + (K_1 \text{ or } K_2) y^2 \}^2} \left[\frac{(H - h - \gamma v_1^2) Q_2}{H - h - Z_r} - av - q_2 \right] \Delta t$$

を併用することに依り數値積分を爲すことを得るものである。而して K_1, K_2 を決定するには次の範圍内に選ぶことを必要とする。前述せる如く水槽の高さは一般に地勢上制限せらるゝ關係上、 K_1, K_2 の値は高さを同一としたる均等横断面積の容積より小なることを要し、上下兩端面に於ける横断面積が、高さを同一としたる均等横断面積より大なることを必要とする。即ち高さを同一としたる均等横断面型の水槽横断面積の半径を r_s とすれば、 K_1 或は K_2 は

$$\int_{y=0}^{y=Y_1} (r_0 + K_1 y^2)^2 dy < r_s^2 Y_1, \text{ 且つ } \{ r_0 + K_1 Y_1^2 \} > r_s$$

或は

$$\int_{y=0}^{y=Y_2} (r_0 + K_2 y^2)^2 dy < r_s^2 Y_2, \text{ 且つ } \{ r_0 + K_2 Y_2^2 \} > r_s$$

即ち

$$K_1 < \frac{-\frac{2}{3} r_0 Y_1^2 + \sqrt{\left(\frac{2}{3} r_0 Y_1^2\right)^2 + \frac{4}{5} Y_1^4 (r_s^2 - r_0^2)}}{\frac{2}{5} Y_1^4}$$

或は

$$K_2 < \frac{-\frac{2}{3} r_0 Y_2^2 + \sqrt{\left(\frac{2}{3} r_0 Y_2^2\right)^2 + \frac{4}{5} Y_2^4 (r_s^2 - r_0^2)}}{\frac{2}{5} Y_2^4} \quad \dots \dots \dots (24)$$

なる式を満足せねばならぬと同時に

$$\left. \begin{array}{l} K_1 > (r_s - r_0) / Y_1^2 \\ \text{或は} \\ K_2 > (r_s - r_0) / Y_2^2 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (25)$$

なる式を満足せねばならぬ範圍内に在ることを必要とする。

而して K₁ 或は K₂ の値は Y₁ 或は Y₂ の値に逆比例するを以て K₁, K₂ の値を實際に決定するには, K₁ と Y₁, K₂ と Y₂ との関係曲線より図式上求むるのである。即ち與へられたる負荷増減の條件の下に K₁ 或は K₂ を種々なる値とした場合の必要なる Y₁ 或は Y₂ の値を求むる曲線を作らば逆に許し得べき Y₁ 或は Y₂ に対する K₁, K₂ の値を見出すことを得るものである。而して水室單節式又は差節式のライザーに漸擴横断面を與ふる目的は落差の急変を緩和し, 水車の調速上に及ぼす影響を良性ならしめんとするものであるから, 水槽全体の容積が増大せざる範圍内に於て K₁ 或は K₂ は成可く大にし度いのであるから, ライザー部分に於て均等横断面の場合も漸擴横断面の場合も其の容積を相等しからしむる様に K₁ 及び K₂ を選定するのである。即ち

$$K_1 \text{ or } K_2 = \frac{-\frac{2}{3}r_0(Y_1 \text{ or } Y_2)^2 + \sqrt{\left[\frac{2}{3}r_0(Y_1 \text{ or } Y_2)^2\right]^2 + \frac{4}{5}(Y_1 \text{ or } Y_2)^4(r_0^2 - r_0^2)}}{\frac{2}{5}(Y_1^4 \text{ or } Y_2^4)}$$

より求むるものとする。その結果は水槽全体の容積に於て漸擴横断面とする場合が却つて幾分減少することとなり, 充分其の目的を達し得るものである。

表-7.

第4節 漸擴横断面型と所要水槽容積との關係

水槽(又はライザー)の漸擴横断面型が従来の均等横断面型に比し, 其の所要容積の上に如何なる結果を與へるかを前計算例に於ける上昇水位の場合に就き觀察して見やう。

先づ無水室單節式の場合に就て述べんに, 均等横断面型とする場合の水槽横断面積 A_s は

$$A_s = \pi r^2 = \Psi a L / 2g \gamma v (H - h - \gamma cvm^2) \text{ に於て}$$

$$vm = \sigma_a Q_N / a = 58.8 / 20 = 2.94 \text{ m/sec.}$$

$$\gamma cvm^2 = 0.5 \times 2.94^2 = 4.3218 \text{ m, } h = 11 \text{ m}$$

なるを以て, $\Psi = 1.53$ とすれば,

$$A_s = \frac{1.53 \times 20 \times 3000}{2 \times 9.8 \times 0.5 \times (123.2 - 11 - 4.3218)} \approx 89.9 \text{ m}^2$$

となる。而して上昇水位決定の場合は

$$Q_a = Q_N = 0 \text{ となるを以て, 之の場合の前記數値積分式は}$$

$$\Delta Z = 1/A_s \cdot (-av) \Delta t = -0.222 v \Delta t$$

$$\Delta v = g/L \cdot (Z - \gamma cv^2) \Delta t = (0.00327 Z - 0.001635 v^2) \Delta t$$

となる。即ち本式に於て負荷変化の起りし時刻を零とし, 各1秒毎の $\Delta v, \Delta Z$ から v, Z の値を順次に求めて行けば表-7の如くなる。即ち Y₁ = 21.6261 m, Z = -18.4961 m の時に $v=0$ となる。

尤も之の場合は均等断面であるから $\Delta t=10 \text{ sec}$ 位とするも其の結果に於ては大なる誤差を生じないけれ共, 漸擴横断面とする場合に於ては, Δt を可及的細小に取ら

t	v	Z	t	v	Z
0	0.0000	123.2000	21	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	22	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	23	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	24	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	25	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	26	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	27	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	28	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	29	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	30	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	31	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	32	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	33	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	34	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	35	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	36	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	37	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	38	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	39	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	40	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	41	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	42	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	43	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	44	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	45	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	46	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	47	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	48	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	49	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	50	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	51	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	52	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	53	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	54	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	55	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	56	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	57	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	58	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	59	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	60	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	61	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	62	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	63	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	64	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	65	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	66	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	67	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	68	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	69	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	70	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	71	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	72	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	73	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	74	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	75	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	76	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	77	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	78	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	79	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	80	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	81	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	82	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	83	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	84	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	85	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	86	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	87	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	88	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	89	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	90	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	91	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	92	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	93	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	94	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	95	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	96	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	97	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	98	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	99	0.0000	-18.4961
0	0.0000	123.2000	100	0.0000	-18.4961

ざれば其の結果に相當の差異を生ずるを以て、dt は均等横断面の部分に限り 1 秒或は 10 秒とし、漸擴横断面の部分は總て dt=1 sec とする。之に對し漸擴横断面型の上昇水位の場合に於ては、Φ'=1.2 とした時の最小横断面積 A₀ が

$$A_0 = \pi r_0^2 = \Phi' a I / (2g\gamma \cdot (H - \gamma v v_N^2)) = \frac{1.2 \times 20 \times 3000}{2 \times 9.8 \times 0.5 \times 120} = 60.8 \text{ m}^2$$

即ち r₀ ≈ 4.4 m となる故 K₁ は (4) 式に於て、Y₁ = 21.6261 m とした時の値 K₁ < 0.0057 と、(25) 式より求めたる K₁ > 0.002 との範圍内に在ることを知る。従つて今 K₁ の値を、K₁ = 0.003, 0.004, 0.006, 0.01 としたる場合の上昇水位 Z、従つて Y₁ の値を數値積分式

$$-dZ = \frac{r_0^2}{(r_0 + K_1 y^2) A_0} (av) dt = \frac{4.4^2}{(4.4 + K_1 y^2)^2 \times 60.8} (20 v) dt \approx \frac{-6.368 v}{(4.4 + K_1 y^2)^2} dt$$

$$dv \approx (0.00327 Z - 0.001635 v^2) dt$$

表-8.

Y	Z	V	A	A ₀	A ₁
1	21.6261	0.0000	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0001	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0002	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0003	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0004	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0005	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0006	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0007	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0008	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0009	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0010	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0011	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0012	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0013	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0014	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0015	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0016	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0017	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0018	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0019	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0020	60.8000	60.8000	60.8000

表-9.

Y	Z	V	A	A ₀	A ₁
1	21.6261	0.0000	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0001	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0002	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0003	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0004	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0005	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0006	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0007	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0008	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0009	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0010	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0011	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0012	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0013	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0014	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0015	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0016	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0017	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0018	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0019	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0020	60.8000	60.8000	60.8000

表-10.

Y	Z	V	A	A ₀	A ₁
1	21.6261	0.0000	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0001	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0002	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0003	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0004	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0005	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0006	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0007	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0008	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0009	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0010	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0011	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0012	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0013	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0014	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0015	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0016	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0017	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0018	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0019	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0020	60.8000	60.8000	60.8000

表-11.

Y	Z	V	A	A ₀	A ₁
1	21.6261	0.0000	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0001	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0002	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0003	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0004	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0005	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0006	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0007	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0008	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0009	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0010	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0011	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0012	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0013	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0014	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0015	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0016	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0017	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0018	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0019	60.8000	60.8000	60.8000
1	21.6261	0.0020	60.8000	60.8000	60.8000

にて求むれば、

$K_1=0.003$ の場合	(表-8)	$K_1=0.004$ の場合	(表-9)
$K_1=0.006$ "	(表-10)	$K_1=0.01$ "	(表-11)

に示す如く、即ち

$K_1=0.003$ の場合	$Y_1=22.3308$ m,	$K_1=0.004$ の場合	$Y_1=21.5734$ m
$K_1=0.006$ "	$Y_1=20.4205$ m,	$K_1=0.01$ "	$Y_1=18.7338$ m

となる。この結果を直坐標軸上にプロットすれば

$Y_1=21.6261$ の時の K_1 の値は図-6 より $K_1 \approx 0.00399$ として見出し得るのである。従つて均等横断面型と漸擴横断面型との場合に於て其の所要容積は

均等横断面型の場合

$$V_1 = A_s Y_1 = 89.9 \times 21.6261 \approx 1944.1 \text{ m}^3$$

漸擴横断面型の場合

$$\begin{aligned} V_1 &= \pi [r_0^2 Y_1 + 2/3 \cdot K_1 r_0 Y_1^3 + K_1^2 / 5 \cdot Y_1^5] \\ &= 3.1416 [4.4^2 \times 21.6261 + 2/3 \times 0.00399 \times 4.4 \times 21.6261^3 \\ &\quad + 0.00399^2 / 5 \times 21.6261^5] \approx 1735.1 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

即ち漸擴横断面型の場合は均等横断面型の場合に比し其の所要容積に於て、

$$(1944.1 - 1735.1) / 1944.1 \approx 10.75\%$$

の節約となる。

斯くの如く無水室單働式水槽を均等横断面型とせず、漸擴横断面型とせば、其の容積に於て、僅に10%以上の節約を招致することとなるものにして、其の水理作用の齎らす効果偉大なるものである。尙漸擴横断面型に於ては dt の程度如何に依り結果に及ぼす影響相當大なるものなる故、實際に於ては dt を1秒としたる數値積分の結果より以上の節約率となることは明かである。又調圧水槽全部が漸擴横断面と爲し得らるゝ無水室單働式の場合が、水槽の一部たるライザーのみ漸擴横断面型と爲し得らるゝ他の水室附單働式又は差働式に比し、其の所要容積に及ぼす影響の最大であることも明瞭なることにして、今溢流壓を有する水室附單働式の上昇水位即ち $Q_2=0$ の場合に就き其の節約率を求めて見やう。均等横断面の場合に於けるライザーの横断面積を A_r 、その半径を r_r とすれば

$$A_r = \pi r_r^2 = \Phi a L / 2g\gamma_v (H - h - \gamma_c v_m^2)$$

に於て、

$$v_m = Q_m / a = 58.8 / 20 \approx 2.94 \text{ m/sec.}, \quad \gamma_c v_m^2 = 0.5 \times 2.94^2 \approx 4.33 \text{ m}$$

なる故、最小横断面水位に於ける Thoma 氏安定条件に對する餘裕率 Φ の値を $\Phi = 1.21$ とすれば

$$A_r = \pi r_r^2 = \frac{1.21 \times 20 \times 3000}{2 \times 9.8 \times 0.5 \times (123.2 - 11 - 4.3218)} \approx 68.5 \text{ m}^2$$

即ち $r_r \approx 4.67$ m となる。

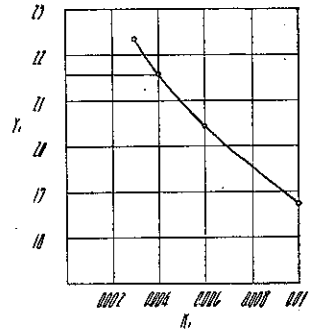
而して均等横断面型の場合も、漸擴横断面型の場合も

$$Y_1' = Y_2' = 14 \text{ m} \quad \text{とせば、ライザーの容積を互に等しからしむる見地より漸擴横断面型の } K_1$$

を求むれば

$$14^4 / 5 \cdot K_1^2 + \frac{1}{3} \times 2 \times 4.4 \times 14^2 K_1 - (4.67^2 - 4.4^2) = 0$$

図-6.



より $K_1 \approx 0.004$ が求められる。

従つて之の場合の數値積分式は水室に水量が溢流する迄は、

均等横断面ライザ-の場合

$$-dZ = 1/A_r \cdot (av) dt = 1/68.5 \cdot (-20v) dt \approx 0.292 v dt, \quad dv = (0.00327 Z - 0.001635 v^2) dt.$$

漸擴横断面ライザ-の場合

$$-dZ = \frac{r_0^2}{(r_0 + K_1 y^2) A_0} (av) dt = \frac{4.4^2}{(4.4 + 0.004 y^2) \times 60.8} (20v) dt \approx \frac{6.368 v}{(4.4 + 0.004 y^2)^2} dt$$

$$dv = (0.00327 Z - 0.001635 v^2) dt$$

となれ共、水室に溢流始めてよりは、 $Y_1 = 14$ m なる故

均等横断面ライザ-の場合

$$-dZ = 1/A_r \cdot (av - q) = 1/68.5 \cdot (20v - q) dt \approx 0.0146(20v - q) dt$$

$$dv = (0.00327 Z - 0.001635 v^2) dt.$$

漸擴横断面ライザ-の場合

$$-dZ = \frac{1}{\pi(r_0 + K_1 Y_1^2)^2} (av - q) dt = \frac{1}{3.1416(4.4 + 0.004 \times 14^2)^2} (20v - q) dt \approx 0.0119(20v - q) dt$$

である。而して q は溢流堰の高さを 0.6 m. 即ち

$Y_1 - Y_1' = 0.6$ とするを以て、水室横断面を半径 R なるライザ-と同心円の形状とし、

$R \approx 12.61$ m. とせば

$$\Sigma q dt \leq \pi [R^2(Y_1 - Y_1') - \{r_0^2(Y_1 - Y_1') + 2/3 r_0 K_1(Y_1^3 - Y_1'^3) + K_1^2/5 \cdot (Y_1^5 - Y_1'^5)\}] \approx 251 \text{ m}^2$$

$$q = 11.62(r_0 + K_1 Y_1^2) \{-Z + X_0\}^{1.5}$$

$$= 11.62(4.4 + 0.004 \times 14^2) \{-Z + 10.87\}^{1.5} \approx 60.2(-Z + 10.87)^{1.5} \text{ m}^2$$

となる。又 $\Sigma q dt > 251$ となる時刻からは

$$q = 11.62(r_0 + K_1 Y_1^2) \sqrt{-Z + X + \zeta} [-Z + X_0 - 0.38 \{X + \zeta - X_0\}]$$

$$= 11.62 \times (4.4 + 0.004 \times 14^2) \sqrt{-Z + 10.27 + \zeta} [-Z + 10.87 - 0.38 \{10.27 + \zeta - 10.87\}]$$

$$\approx 60.2 \sqrt{-Z + 10.87 + \zeta} [-Z + 10.87 - 0.38 \{10.27 + \zeta - 10.27\}]$$

$$\approx 60.2 \sqrt{-Z + 10.27 - \zeta} [-Z - 0.38 \zeta + 11.1]$$

である。尚ゞは

漸擴横断面型の場合

$$d\zeta = \frac{q dt}{\pi [R^2 - (r_0 + K_1 Y_1^2)^2]} = \frac{q dt}{3.1416 [12.61^2 - (4.4 + 0.004 \times 14^2)^2]} \approx 0.0024 q dt.$$

均等横断面型の場合

$$d\zeta = \frac{q dt}{A_c - A_r} = \frac{q dt}{500 - 68.5} \approx 0.00295 q dt.$$

茲に A_c は水室の横断面積

より求め得らる。而して $|Z| < |\zeta + 10.27|$ 以上の Z と v との関係は、

$$dZ = 1/A_c \cdot (av) dt = 1/500 \cdot (20v) dt \approx 0.04 v dt, \quad dv = 0.00327 Z - 0.001635 v^2 dt$$

より求むるものとする。

以上の数値積分式を使い、Zとvとの変化を求めれば、均等断面面型の場合は表-12の如く漸横断面面型の場合は表-13の如くである。即ち最高上昇水位Zの値は

均等断面面型の場合 Z=-12.4151 m, 漸横断面面型の場合 Z=-12.3558 m

表-12.

Table with 10 columns and 100 rows of numerical data for the uniform cross-section type.

表-13.

Table with 10 columns and 100 rows of numerical data for the tapered cross-section type.

となるを以て、溢流堰以下の水室の容積に於て、漸横断面面型は均等断面面型に比し、

(50.0 m^2 - 68.5 m^2) x 0.6 m = 251 m^3 = 7.9 m^3

だけの節約を示し、溢流堰以上の水室の容積に於て、

(12.4151 m - 12.3558 m) x 500 m^2 = 29.65 m^3

だけの節約となる。即ち之の節約容積 37.55 m^3 は均等断面面型水室容積、

$$(500 \text{ m}^2 - 68.5 \text{ m}^2) \times 0.6 \text{ m} + (12.4151 \text{ m} - 10.27 \text{ m} - 0.6 \text{ m}) \times 560 \text{ m}^2 = 1,031.45 \text{ m}^3$$

に比し、約 3.64% の節約率に當るのであつて、其の程度は到底無水室單働式の場合に及ばないが、水槽容積の節約となることは争はれない。

第 5 節 漸擴横断面型と水車に対する調速作用との關係

前述したる如く水車の設計に當つては正規有效落差にて格定出力を出す場合の能率を最高として居るのであつて、(1) 式、(3) 式に示す如く、有效落差の変化又は水車出力即ち水車開口の変化に依る能率の変化する模様は拋物線的で、正規有效落差又は正常開口前後附近に於ては其の程度少きも、正規有效落差、正常開口より増減するに従ひ其の程度著しきこととなるものであるから、或一定の電力負荷変化に際しても、負荷変化前に於ける水槽平衡水面の位置如何に依り水車に要求せんとする水量の程度、換言すれば水車導水羽根の開閉程度と異なることとなる。即ち或一定の電力負荷の変化に對し水車に新規要求せんとする開口の増減程度は正規有效落差に相當する水槽水位の前後附近に於て最小にして、之より水槽水位が高く或は低くなる程、増大するものである。従つて正規有效落差附近に於ける水槽水位の変化は假令急峻なりとするも水車の調速作用は比較的容易であるが、正規有效落差に相當する水位を過ぎかりたる位置になればなる程、水槽水位の変化の急峻なることは水車の調速作用を困難ならしむる結果となる。

従つて著者の考案せる漸擴横断面型は其の所要容積を節約せしむる作用を爲すのみならず、一面水車の調速作用上從來の均等横断面型に比し好影響を與へることとなり、殊に水室附單働式又は差働式の缺點たる水車調速機への悪影響を緩和する上に於て効果を與へるものである。

即ち無水室單働式の水槽に漸擴横断面を與へることに依り其の所要容積は著しき節約となり、水室附單働式又は差働式に於けるライザーに漸擴横断面を與へることに依り水車調速作用上への悪影響を甚だしく緩和せしめ得るものである。以上の關係は前數値例に於ける Z, ψ の変化を直坐標軸上にプロットしたる圖-7、圖-8 に於て明

圖-7.

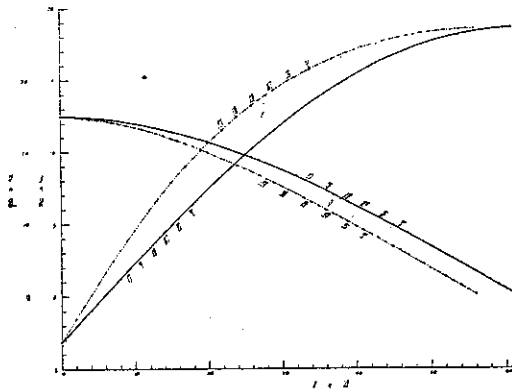
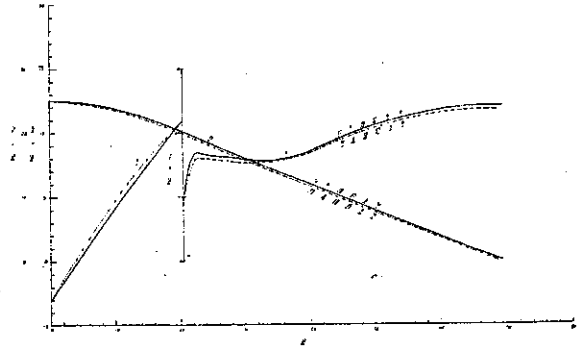


圖-8.



かに示されてゐるのである。即ち正規有效落差に相當する水槽（又はライザー）水位より

無水室單働式の場合

$$\Delta Z = \pi \{ r_0 + (K_1 \text{ or } K_2) \psi^2 \}^2$$

水室附又は差働式の場合

$$\Delta r = \pi \{ r_0 + (K_1 \text{ or } K_2) \psi^2 \}^2$$

迄は、水面の昇降する速さは漸擴横断面型の方迅きも、

$$A_s \text{ or } A_r < \pi \{r_0 + (K_1 \text{ or } K_2)y\}^2$$

に於ては、漸擴横断面型の方却つて其の速さ遅くなることを示してゐる。

第 3 章 結 論

調圧水槽の設計上、調整池の利用し得る水深と、負荷急増減の程度とを幾何に採る可きかと云ふことが重要な先決問題となるのであるが、従來之等に関して合理的な一定指針を與へてゐるものは無かつた。然るに本論に依り有效落差と水車導羽根開口の變化に因る水車能率の變動が簡單なる拋物線式にて表はされ、其の結果調整池の利用し得る水深に關する算定式が求め得られた。又電力負荷の特性が水力發電所負荷率の程度に依りて表はされ得るものであり、一面調圧水槽の設計上採る可き急増減負荷の程度が發電所負荷の特性に關係して決定せられなければならぬことから、之の急増減負荷の程度を總て發電所負荷率を基礎とした合理的なる算定方法たらしむことを得た。

尙從來より採用せられつゝあつた均等横断面型調圧水槽の水槽又はライザーを著者考案の漸擴横断面型に改むることに依り、無水室單働式のものにありては著しく其の所要容積を縮少せしめ、水室附單働式又は差働式のものにありては水車調速機の働作上に及ぼす悪影響を著しく緩和せしむると同時に所要容積に於ても若干の節約を爲し得ることとなつたのである。