論説報告

第28巻第2號　昭和17年2月

調壓水槽襲波作用の計算に就て

正會員　高　畑　政　信*

要旨　所要の精度を保つ範圍内で時間と勞力の節減を計るため所々に近似式を活用して襲波作用の計算を行つたもので，特に數値積分法に就ては新公式の利用を創めたものである。尙實驗に基く數値は J. Frank und J. Schüller の著書を參考として求めたものである。

目　　次

1. 制水孔に於ける損失水頭

1. 普通制水孔

普通制水孔と言ふのは 圖-1, 2 に示す樣に最も普通に用ひられてゐる形式である。

(i) 水槽へ流入する場合

損失水頭 k 及び k' は (1), (2) 式に依つて求める。(1), (2) 式は屈折，斷面の變化等を考慮して求められたものである。

$$k=\frac{v_a^2}{2g}-\frac{u(v_a-u)}{g}+(\zeta_d-1)\cdot\frac{v^2}{2g}+h_r \quad\cdots\cdots(1)$$

v_a: 制水孔内の流速，　u: 水槽内の流速，　ζ_d: 表-1 から求められる係數，　v: 分流前の水路内の流速，
h_r: 制水孔に於ける摩擦損失水頭

$$k'=\frac{v_a^2-v_d^2}{2g}-\frac{u(v_a-u)}{g}+(\zeta_a-\zeta_d)\cdot\frac{v^2}{2g}+h_r \quad\cdots\cdots(2)$$

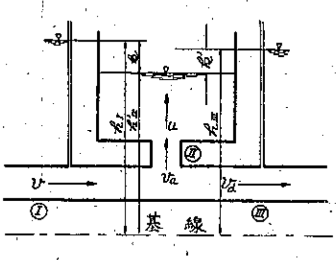


圖-1. 普通制水孔　水槽へ流入する場合

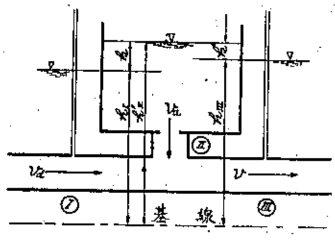


圖-2. 普通制水孔　水槽より流出する場合

* 工學士　電氣廳技師　電氣廳第二部水力課

表-1. 分流係數 $h=\zeta\cdot\frac{v^2}{2g}$

Q_a/Q		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$d_a/d=1.0$	ζ_a	0.95	0.88	0.89	0.95	1.10	1.28
$f_a/f=1.0$	ζ_d	0.04	−0.08	−0.05	0.07	0.21	0.35
$d_a/d=0.582$	ζ_a	1.30	1.50	2.36	4.30	(7.2)	(11)
$f_a/f=0.338$	ζ_d	0.17	−0.15	−0.05	0.06	0.19	0.30
$d_a/d=0.350$	ζ_a	1.00	3.00	8.90	19.5	31.2	(43)
$f_a/f=0.122$	ζ_d	—	—	—	—	—	—

v_d: 分流後の水路內の流速, ζ_d: 表-1 から求められる係數

h: 損失水頭, ζ: 分流係數, v: 分流前の流速, Q_a: 水制孔內の流量, Q: 分流前の流量, d_a: 制水孔の直徑, d: 水路の直徑, f_a: 制水孔の斷面積, f: 水路の斷面積, ( ) 內のものは推測値, — は殆ど 0 と考へられる値

(ii) 水槽から流出する場合

$$k=\frac{v_d^2}{2g}+\xi\cdot\frac{v_a^2}{2g}+(\zeta_a-\zeta_d)\cdot\frac{v^2}{2g}+h_r \quad\cdots\cdots(3)$$

v_d: 合流前の水路內の流速, ξ: 表-2 から求められる係數, v_a: 制水孔內の流速, ζ_a, ζ_d: 表-3 から求められる係數, v: 合流後の水路內の流速, h_r: 制水孔に於ける摩擦損失水頭

$$k'=\xi\cdot\frac{v_a^2}{2g}+(\zeta_a+1)\cdot\frac{v^2}{2g}+h_r \quad\cdots\cdots(4)$$

表-2. 普通急縮係數 $h=\xi\cdot\frac{v_a^2}{2g}$

f_a/F	0.01	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
μ	0.60	0.61	0.62	0.65	0.70	0.77	1.00
ξ	0.49	0.45	0.42	0.33	0.22	0.13	(0.00)

h: 損失水頭, ξ: 急縮係數, v_a: 制水孔內の流速, f_a: 制水孔の斷面積, F: 水槽の斷面積, μ: 縮流係數, μ と ξ との關係は $\xi=\left(\frac{1}{\mu}-1\right)^2+0.04$ で表される

表-3. 合流係數 $h=\zeta\cdot\frac{v^2}{2g}$

Q_a/Q		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$d_a/d=1.0$	ζ_a	−1.2	−0.4	0.08	0.47	0.72	0.91
$f_a/f=1.0$	ζ_d	0.04	0.17	0.30	0.41	0.51	0.60
$d_a/d=0.582$	ζ_a	−0.68	0.19	1.25	2.78	4.75	7.24
$f_a/f=0.338$	ζ_d	0.27	0.52	0.76	1.00	1.25	1.50
$d_a/d=0.350$	ζ_a	−1.0	2.4	11.6	29.2	(52.7)	(82.9)
$f_a/f=0.122$	ζ_d	—	—	—	—	—	—

h: 損失水頭, ζ: 合流係數, v: 合流後の流速, Q_a: 制水孔內の流量, Q: 合流後の流量, d_a: 制

水孔の直徑, d: 水路の直徑, f_a: 制水孔の斷面積, f: 水路の斷面積, ( ) 内のものは推測値, — は殆ど 0 と考へられる値

2. 特殊制水孔

特殊制水孔と言ふのは 圖-3, 4 に示したもので制水孔内部に更に圓環を入れたものである。

圖-3. 特殊制水孔 水槽へ流入する場合

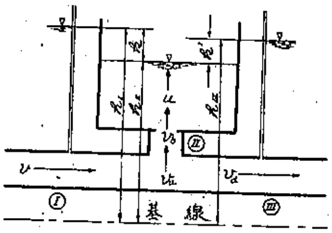
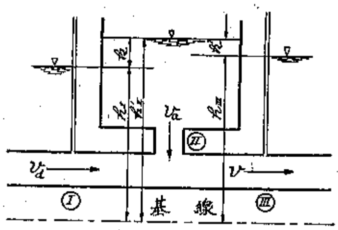


圖-4. 特殊制水孔 水槽より流出する場合



(i) 水槽へ流入する場合

$$k=\frac{v_b^2}{2g}-\frac{2u(v_b-u)}{g}+(\zeta_a-1)\cdot\frac{v^2}{2g}+h_r \quad\cdots\cdots(5)$$

$v_b=Q_a/0.62f_b$: 圓環部の流速, Q_a: 制水孔内の流量, f_b: 圓環の斷面積, u: 水槽内の流速, ζ_a: 表-1 から求められる係數, v: 分流前の水路内の流速, h_r: 制水孔に於ける摩擦損失水頭,

$$k'=\frac{v_b^2-v_d^2}{2g}-\frac{2u(v_b-u)}{g}+(\zeta_a-\zeta_d)\cdot\frac{v^2}{2g}+h_r \quad\cdots\cdots(6)$$

v_d: 分流後の水路内の流速; ζ_d: 表-1 から求められる係數

(ii) 水槽から流出する場合

$$k=\frac{v_d^2}{2g}+\xi_s\cdot\frac{v_a^2}{2g}+(\zeta_a-\zeta_d)\cdot\frac{v^2}{2g}+h_r \quad\cdots\cdots(7)$$

v_d: 合流前の水路内の流速, ξ_s: 表-4, 5 から求められる係數, v_a: 制水孔内の流速, ζ_a, ζ_d: 表-3 から求められる係數, v: 合流後の水路内の流速, h_r: 制水孔に於ける摩擦損失水頭

$$k'=\xi_s\cdot\frac{v_a^2}{2g}+(\zeta_a+1)\cdot\frac{v^2}{2g}+h_r \quad\cdots\cdots(8)$$

表-4. 特殊急縮係數 ($F>f_a$) $h=\xi_s\cdot\dfrac{v_a^2}{2g}$

f_b/f_a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
μ	0.616	0.614	0.612	0.610	0.607	0.605	0.603	0.601	0.598	0.596
ξ_s	231.7	50.99	19.78	9.61	5.26	3.08	1.88	1.17	0.73	0.48

F: 水槽の斷面積, f_a: 制水孔の斷面積, h: 損失水頭, ξ_s: 急縮係數, v_a: 制水孔内の流速, f_b: 圓環の斷面積, μ: 縮流係數, μ と ξ_s との關係は $\xi_s=\left(\dfrac{f_a}{\mu f_b}-1\right)^2$ で表される。

表-5. 特殊急縮係數 ($F=f_a$) $h=\xi_s\cdot\dfrac{v_a^2}{2g}$

f_b/f_a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
μ	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1.000
ξ_s	225.9	47.77	17.51	7.80	3.75	1.80	0.80	0.29	0.06	0.00

襲波作用の實際計算に當つては上述の各種の係數の中で最大使用水量 Q_0 に對して損失水頭 k_0 を算出し其の他の Q_a に對しては $k=k_0(Q_a/Q_0)^2$ と見做すのである。

普通制水孔では **表-1** 及び **表-3** の中で $Q_a/Q=1.0$ の係數を用ひればよい事は言ふ迄もないが f_a/f の値は種々であるから算定が困難になる（特殊制水孔では大體 $f_a/f=1.0$ に選ぶから計算は容易である）。$Q_a/Q=1.0$ の場合の ζ_a の値は 3 個，ζ_d の値は 2 個あつて，ζ_d は ζ_a に較べて小さいから直線的變化をなすものと見做し，ζ_a は 3 點を通る曲線上にあるものとして次の (9) 及び (10) 式を作つた。

$$\text{分流係數}\left\{\begin{array}{l}\zeta_a=-3.211+4.332\left(\dfrac{f}{f_a}\right)+0.159\left(\dfrac{f}{f_a}\right)^2\\[2mm] \zeta_d=0.274+0.076\left(\dfrac{f_a}{f}\right)\end{array}\right\}\cdots\cdots(9)$$

$$\text{分流係數}\left\{\begin{array}{l}\zeta_a=2.287-2.935\left(\dfrac{f}{f_a}\right)+1.558\left(\dfrac{f}{f_a}\right)^2\\[2mm] \zeta_d=1.96-1.36\left(\dfrac{f_a}{f}\right)\end{array}\right\}\cdots\cdots(10)$$

［例 1］ 下記の場合に於ける普通制水孔の最大損失水頭 k_0 を求む。

$Q_0=24\ \mathrm{m^3/sec}$: 最大使用水量，$f=8\ \mathrm{m^2}$: 壓力隧道の流積，$f_a=4\ \mathrm{m^2}$: 制水孔斷面積，$F=100\ \mathrm{m^2}$: 水槽の斷面積

(i) 水槽へ流入する場合

(1) 及び (9) 式に於て $v=v_0=24/8=3\ \mathrm{m/sec}$, $v_a=24/4=6\ \mathrm{m/sec}$, $u=24/100=0.24\ \mathrm{m/sec}$, $f/f_a=8/4=2$, $f_a/f=4/8=0.5$, $\zeta_a=-3.211+4.332\times2+0.159\times2^2=6.089$, $h_r=0$ とすると

$$k_0=\frac{6^2}{2\times9.8}-\frac{0.24(6-0.24)}{9.8}+(6.089-1)\times\frac{3^2}{2\times9.8}=4.033\ \mathrm{m}$$

(ii) 水槽より流出する場合

(3), (10) 式及び **表-2** に於て $v_d=0$, $v_a=6\ \mathrm{m/sec}$, $\zeta_a=2.649$, $\zeta_d=1.280$, $v=v_0=3\ \mathrm{m/sec}$, $h_r=0$, $f_a/F=0.04$, $\xi=0.477$ が得られるから

$$k_0=0.477\times\frac{6^2}{2\times9.8}+(2.649-1.280)\times\frac{3^2}{2\times9.8}=1.505\ \mathrm{m}$$

［例 2］ 例 1. と同樣の場合に特殊制水孔とすると如何。但し $f_a=f=8\ \mathrm{m^2}$, $f_b=4\ \mathrm{m^2}$ とする。

(i) 水槽へ流入する場合

(5) 式に依り $k_0=\dfrac{9.677^2}{2\times9.8}-\dfrac{2\times0.24(9.677-0.24)}{9.8}+(1.28-1)\times\dfrac{3^2}{2\times9.8}=4.445\ \mathrm{m}$

(ii) 水槽から流出する場合

(7) 式に依り $k_0=5.26\times\dfrac{3^2}{2\times9.8}+(0.91-0.60)\times\dfrac{3^2}{2\times9.8}=2.558\ \mathrm{m}$

［例 3］ 例 1, 2 の場合の流入，流出係數を求む。

(i) 普通制水孔

例 1. に依ると k_0 は夫々 4.033 m 及び 1.505 m であるから係數 γ を $Q_0=\gamma\sqrt{2gk_0}$ から求めると夫々 2.699 及び 4.419 となり，γ/f_a は夫々 0.675 及び 1.105 になる。

(ii) 特殊制水孔

上と同樣にして γ は 2.571 及び 3.389, γ/f_b は 0.643 及び 0.847 になる。

2. 制水孔調壓水槽

1. 負荷遮斷條件

負荷を遮斷した場合の水位及び壓力の變化は **圖-5** の樣である。制水孔調壓水槽では $k_0 < h_0 + |Z_{max}|$ の範圍內に選ぶのが普通である。

最高襲波を惹起する負荷遮斷の條件は **圖-6** の利用によつて簡單に分る。$\varepsilon > 4$ の範圍では最大負荷を遮斷する時に最高襲波を生ずるが $\varepsilon \leqq 4$ に於ては次の係數を算出して **圖-6** から遮斷すべき部分負荷に對應する使用使量 Q_0' を求める。

η: 制水係數, k_0: 制水孔の最大損失水頭, h_0: 最大使用水量に對する導水路內の損失水頭, ε: 調壓水槽係數, l: 導水路の長さ, f: 導水路の流積, v_0: 最大使用水量に對する流速, F: 水槽斷面積, Z_{max}: 最高襲波高, Q_0: 最大使用水量, Q_0': 部分使用水量

圖-5. 負荷遮斷の際の水位と壓力

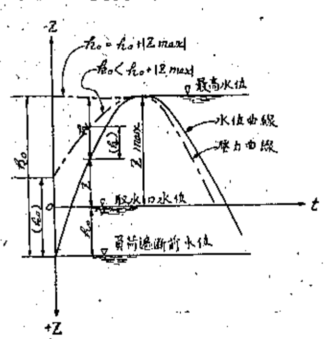
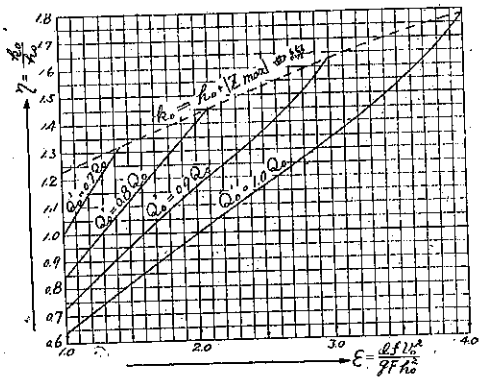


圖-6. 制水孔調壓水槽負荷遮斷條件



卽ち η と ε が分ると **圖-6** から Q_0' が求められるのである。

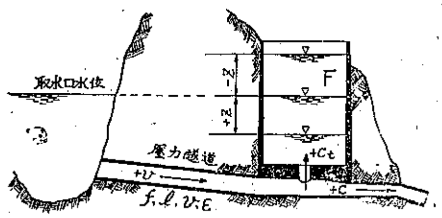
[例 4] $k_0 = 7\,\mathrm{m}$, $h_0 = 5\,\mathrm{m}$, $l = 2\,940\,\mathrm{m}$, $f = 20\,\mathrm{m}$, $v_0 = 2.5\,\mathrm{m/sec}$, $F = 600\,\mathrm{m}^2$ として負荷遮斷條件を求む。$\eta = \dfrac{k_0}{h_0} = 1.4$, $\varepsilon = \dfrac{l f v_0^2}{g F h_0^2} = 2.5$ となるから **圖-6** に依つて $Q_0' \fallingdotseq 0.89\,Q_0$ 卽ち $v_0' = 2.5 \times 0.89 = 2.225\,\mathrm{m/sec}$ を遮斷すると最高襲波を起すことが分る。

2. 負荷を變化する場合の計算式

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{f}{F}(c - v), \quad \frac{dv}{dt} = \frac{g}{l}(Z + k - h),$$

$$k = \pm\frac{k_0}{v_0^2}(c - v)^2, \quad h = \pm\alpha v^2 \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

圖-7. 制水孔調壓水槽



Z: 取水口水位を基準とする水槽水位で下を正の方向とする, f: 導水路の流積, F: 水槽斷面積, c: 水壓管路內流量を f で割つたもの, v: 導水路內の流速, l: 導水路の長さ, k: 制水孔に因る損失水頭で $c - v$ と同符號にする, k_0: 最大流速 v_0 に就て求められる損失水頭, h: 導水路內の損失水頭で負荷增加の場合には粗度係數を $n \fallingdotseq 0.016$, 負荷減少の場合には $n \fallingdotseq 0.013$ とし此の他に取水口等の損失水頭をも見込んで算定し, v と同符號にする, α: 損失係數

扨て數値計算に於ては從來時間間隔を小さくとつた Runge の積分方法が最も多く用ひられてゐる。Runge の

方法では積分値の近似度が悪いから時間間隔は場合に依つては 0.1 sec 位にとらないと滿足出來ないことになる。此の場合に注意せねばならぬのは時間間隔を小さくすると同時に小數以下の有效數字の桁數も増さないと精度をよくすることが出來ないことである。即ち時間間隔を 0.5 sec, 小數以下の有效數字を 5 桁位にとつて計算せねばならぬ場合が相當多くなる。此の計算は非常に大きな勞力と時間を費す結果になるから次善案としては時間間隔を少し大きくして Runge-Kutta の方法を用ひることが考へられる。此の方法は最も精確であり望ましいのではあるが勞力と時間の節約には殆んど役立たない。

吾々の計算に於ては嚴密な精度は必要でないから上記の樣な方法に依るよりも次に示す (12) 式の活用に依つて充分目的が達せられる。

$\dfrac{dy}{dx}=f(x, y)$ を積分する場合に x の增分 h に對する y の增分 k を

$$k_1=f(x, y)\cdot h, \qquad k_2=f\left(x+\frac{h}{2},\ y+\frac{k_1}{2}\right)\cdot h,$$

$$k_3=f(x+h,\ y+k_2)\cdot h, \qquad k=\frac{k_1+nk_2+k_3}{n+2}, \qquad n=1\sim4 \cdots\cdots\cdots(12)$$

から求める。調壓水槽の計算では $n=2$ とするのが好い樣であるが (12) 式の一般的な證明は次の樣になる。

$\dfrac{dy}{dy}=f(x, y)$ を積分して $y=F(x)$ が得られたものとし, $F(x+h)$ を展開して h^5 以上の項を省略すると

$$y+k_0=F(x+h)=y+hF'(x)+\frac{h^2}{2}F''(x)+\frac{h^3}{6}F'''(x)+\frac{h^4}{24}F''''(x)$$

となる。今 $D(f)=\dfrac{\partial f}{\partial x}+f\dfrac{\partial f}{\partial y}$, $\quad D^2(f)=\dfrac{\partial^2 f}{\partial x^2}+2f\dfrac{\partial^2 f}{\partial x\partial y}+f^2\dfrac{\partial^2 f}{\partial y^2}$ の樣な記號を用ひると

$F'(x)=f,\ F''(x)=D(f),\ F'''(x)=D^2(f)+f_yD(f),\ F''''(x)=D^3(f)+f_yD^2(f)+f_y^2D(f)+3D(f)D(f_y)$ となるから Runge-Kutta の公式に依る k_0 は上記展開式から

$$k_0=hf+\frac{h^2}{2}D(f)+\frac{h^3}{6}[D^2(f)+f_yD(f)]+\frac{h^4}{24}[D^3(f)+f_yD^2(f)+f_y^2D(f)+3D(f)D(f_y)]$$

の形に書ける。全く同樣にして k_1, k_2 及び k_3 を求めると

$$k_1=hf,\quad k_2=hf+\frac{h^2}{2}D(f)+\frac{h^3}{8}D^2(f)+\frac{h^4}{48}D^3(f),$$

$$k_3=hf+h^2D(f)+\frac{h^3}{2}[D^2(f)+f_yD(f)]+\frac{h^4}{24}[4D^3(f)+3f_yD^2(f)+12D(f)D(f_y)]$$

が得られる。之等の値を (12) 式に代入すると h^2 の項までは完全に合ふが h^3 の項でどうしても差が出來る。故に h^3 の項までを考へて h^4 の項を省けば k_0 と k との差 δ は

$$\delta=k_0-k=k_0-\frac{k_1+nk_2+k_3}{n+2}=\frac{h^3}{24(n+2)}[(n-4)D^2(f)+4(n-1)f_yD(f)]$$

になる。此の δ は Runge-Kutta の方法と (12) 式の方法の差を略示するものと考へられる。$f_y=0$ 即ち $f(x, y)$ が x のみの函數であると $n=4$ とすると $\delta=0$ になり, 尙 h^4 の項まで計算しても全く差異のない事が分る。

$f_y\neq0$ の場合は $(n-4)D^2(f)+4(n-1)f_yD(f)$ の値が最小になる樣に n を定めればよいわけである。函數形が解り, 其の變域も或る範圍内に限られてゐると上記の判定式で n を定めることが出來る。調壓水槽では此の判定は困難であるが Runge-Kutta の方法と比較したり, h を小さくとつたりして種々計算の結果 $n=2$ として計算するのが最もよいと考へられるから以下の計算例では總て $n=2$ とした。

制水孔調壓水槽では水位變化が緩漫であるから時間間隔 dt は 5 sec 又は 10 sec でよいから Z_{max} は一般に中間値として別に算出する必要が生ずる。之には dt を 1 sec 又は 0.5 sec に選んで局部的に求めるのも一方法ではあるが 2 mm や 3 mm の差は顧慮する必要がないから其の附近の曲線を 2 次式と假定して算出した (13) 式を用ひて簡單に求められる。

$$Z_{max}=Z_3+\frac{(Z_3-Z_1)^2}{8(2Z_2-Z_3-Z_1)} \quad\cdots\cdots\cdots(13)$$

Z_1, Z_2, Z_3 は此の順に同一時間間隔に列んでゐる Z の數値で Z_2 と Z_3 の間で Z_{max} が生ずる樣にするのが普通である。

[例 5] $\frac{f}{F}=0.08$, $\frac{g}{l}=0.005$, $\frac{k_0}{v_0^2}=0.8$, $\alpha=0.4$, $v_0=2.4$ として負荷遮斷の場合を計算せよ。

$k_0=0.8\times2.4^2=4.608$, $h_0=0.4\times2.4^2=2.304$, $\eta=\frac{4.608}{2.304}=2$, $\varepsilon\doteqdot\frac{0.08\times2.4^2}{0.005\times2.304^2}=17.4$ となるから 圖-6 から最大流速 $v_0=2.4$ を遮斷すると最高襲波を生ずることが分る。

(i) 瞬間的に遮斷した場合

(11) 式を次の樣に書き直して計算するのが便利である。

$$dt=10\,\mathrm{sec},\quad dZ=0.8(c-v),\quad dv=h_1+h_2-h_3,\quad h_1=0.05\,Z,\quad h_2=\pm0.04\,(c-v)^2,$$

$$h_3=\pm0.02\,v^2,\quad k=\pm0.8\,(c-v)^2$$

便宜上時間間隔 $dt=\Delta t$ に對應する Z 及び v の增分は (12) 式に準じて夫々 dZ 及び dv より ΔZ 及び Δv として算出した (**表-6**)。

$Z_1=-5.830$, $Z_2=-6.050$, $Z_3=-6.026$ であるから

$$Z_{max}=-6.050-\frac{(6.026-5.830)^2}{8(2\times6.050-6.026-5.830)}$$

$$=-6.050-0.020=-6.070$$

が得られる。

(ii) 遮斷時間を 20 sec とした場合

一樣に減速するものと假定して計算した (**表-7**)。

$$Z_{max}=-6.165-\frac{(6.135-5.947)^2}{8(2\times6.165-6.135-5.947)}$$

$$=-6.183$$

[例 6] $\frac{f}{F}=0.08$, $\frac{g}{l}=0.005$, $\frac{k_0}{v_0^2}=0.5$, $\alpha=0.5$, $v_0=2.4$, として負荷增加の場合を計算せよ。

(i) 無負荷より 3/4 負荷に急增した場合

表-6.

t	c	v	$dZ=0.8(c-v)$	ΔZ	Z	$h_1=0.05Z$	$h_2=\pm0.04(c-v)^2$	$h_3=\pm0.02v^2$	$dv=h_1+h_2-h_3$	Δv	$k=\pm0.8(c-v)^2$
0	0.000	2.400	-1.920		2.304	0.115	-0.230	0.115	-0.230		-4.608
	〃	2.285	-1.828		1.344	0.067	-0.209	0.104	-0.246		
10	〃	2.154	-1.723	-1.825	0.476	0.024	-0.186	0.093	-0.255	-0.244	
10	〃	2.156	-1.725		0.479	〃	〃	〃	〃		-3.719
	〃	2.028	-1.622		-0.384	-0.019	-0.165	0.082	-0.266		
20	〃	1.890	-1.522	-1.623	-1.143	-0.057	-0.143	0.071	-0.271	-0.265	
70	〃	0.427	-0.342		-5.830	-0.292	-0.007	0.004	-0.303		-0.146
	〃	0.275	-0.220		-6.001	-0.300	-0.003	0.002	-0.305		
80	〃	0.122	-0.098	-0.220	-6.050	-0.303	-0.001	0.000	-0.304	-0.304	
80	〃	0.123	〃		〃	〃	〃	〃	〃		-0.012
	〃	-0.029	0.023		-6.099	-0.305	0.000	〃	-0.305		
90	〃	-0.182	0.146	0.024	-6.027	-0.301	0.001	-0.001	-0.299	-0.303	
90	〃	-0.180			-6.026						0.026

表-7.

t	c	v	$dZ=0.8(c-v)$	ΔZ	Z	$h_1=0.05Z$	$h_2=\pm0.04(c-v)^2$	$h_3=\pm0.02v^2$	$dv=h_1+h_2-h_3$	Δv	$k=\pm0.8(c-v)^2$
0	2.400	2.400	0.000		2.304	0.115	0.000	0.115	0.000		0.000
	1.800	〃	-0.480		〃	〃	-0.014	〃	-0.014		
10	1.200	2.386	-0.949	-0.477	1.824	0.091	-0.056	0.114	-0.079	-0.027	
10	〃	2.373	-0.938		1.827	〃	-0.055	0.113	-0.077		-1.101
	0.600	2.334	-1.387		1.358	0.068	-0.120	0.109	-0.161		
20	0.000	2.212	-1.770	-1.371	0.440	0.022	-0.196	0.098	-0.272	-0.168	
20	〃	2.205	-1.764		0.456	0.023	-0.194	0.097	-0.268		-3.890
	〃	2.071	-1.657		-0.426	-0.021	-0.172	0.086	-0.279		
30	〃	1.926	-1.541	-1.655	-1.201	-0.060	-0.148	0.074	-0.282	-0.277	
80	〃	0.426	-0.341		-5.947	-0.297	-0.007	0.004	-0.308		-0.145
	〃	0.272	-0.218		-6.118	-0.306	-0.003	0.001	-0.310		
90	〃	0.116	-0.093	-0.218	-6.165	-0.308	-0.001	0.000	-0.309	-0.309	
90	〃	0.117	-0.094		〃	〃	〃	〃	〃		-0.011
	〃	-0.038	0.030		-6.212	-0.311	0.000	〃	-0.311		
100	〃	-0.194	0.155	0.030	-6.135	-0.307	0.002	-0.001	-0.304	-0.309	
100	〃	-0.192			-6.135						0.029

$v_0' = 2.4\times\frac{3}{4} = 1.8$, $k_0' = 0.5\times1.8^2 = 1.620$,

$h_0' = 0.6\times1.8^2 = 1.944$, $k_0 = 0.5\times2.4^2$

$= 2.880$,

$h_0 = 0.6\times2.4^2 = 3.456$

負荷は瞬間的に變化するものと見做す(表-8)。

$$Z_{max} = 6.534 + \frac{(6.474-6.406)^2}{8(2\times6.534-6.474-6.406)}$$

$$\doteqdot 6.537$$

(ii) 無負荷より 3/4 負荷に漸增した場合

負荷は 10 sec 毎に 3/40 宛 10 段に區切つてかけるものと假定して計算した。區切らないで滑かに增加する場合も略同樣に計算出來ることは自明の事である(表-9)。

$$Z_{max} = 5.979 + \frac{(5.899-5.897)^2}{8(2\times5.979-5.899-5.897)}$$

$$= 5.979$$

(iii) 1/2 負荷より全負荷に急增した場合(表-10)。

$$Z_{max} = 5.811 + \frac{(5.802-5.719)^2}{8(2\times5.811-5.802-5.719)}$$

$$= 5.820$$

以上に示した例 5 及び 6 は同一水槽に就て考へたものであるから之等を一括して圖-8 に示した。之等は何れも Z_{max} までの計算に留めたのであるが次位の Z_{max} まで計算するとしても全く同樣に計算出來て而かも相當に精度がよい。之までは制水孔のある場合ばかりを考へたのであるが單働調壓水槽なら $k=0$ 卽ち $h_2=0$ とすればよいので一層簡單であるし，溢流のある場合には次に述べる差働調壓水槽のライザーからの溢流を參考にすると之亦容易に計算が出來る。

表-8.

t	c	v	$dz=0.8(c-v)$	Δz	z	$h_1=0.05z$	$h_2=\pm0.025(c-v)^2$	$h_3=\pm0.03v^2$	$dv=h_1+h_2-h_3$	Δv	$h=\pm0.5(c-v)^2$
0	1.800	0.000	1.440		0.000	0.000	0.081	0.000	0.081		1.620
	〃	0.041	1.407		0.720	0.036	0.077	〃	0.113		
10	〃	0.113	1.350	1.401	1.407	0.070	0.071	〃	0.141	0.112	
10	〃	0.112	〃		1.401	〃	〃	〃	〃		1.425
	〃	0.183	1.294		2.076	0.104	0.065	0.001	0.168		
20	〃	0.280	1.216	1.289	2.695	0.135	0.058	0.002	0.191	0.167	
70	〃	1.515	0.228		6.406	0.320	0.002	0.069	0.253		0.041
	〃	1.642	0.126		6.520	0.326	0.001	0.081	0.246		
80	〃	1.761	0.031	0.128	6.532	0.327	0.000	0.093	0.234	0.245	
80	〃	1.760	0.032		6.534	〃	〃	〃	〃		0.004
	〃	1.877	−0.062		6.550	0.328	〃	0.106	0.222		
90	〃	1.982	−0.146	−0.060	6.472	0.324	−0.001	0.118	0.205	0.221	
90	〃	1.981			6.474						−0.016

表-9.

t	c	v	$dz=0.8(c-v)$	Δz	z	$h_1=0.05z$	$h_2=\pm0.025(c-v)^2$	$h_3=\pm0.03v^2$	$dv=h_1+h_2-h_3$	Δv	$h=\pm0.5(c-v)^2$
0	0.180	0.000	0.144		0.000	0.000	0.001	0.000	0.001		0.016
	〃	0.001	0.143		0.072	0.004	〃	〃	0.005		
10	〃	0.005	0.140	0.143	0.143	0.007	〃	〃	0.008	0.005	
10	0.360	〃	0.284		〃	〃	0.003	〃	0.010		0.063
	〃	0.010	0.280		0.285	0.014	〃	〃	0.017		
20	〃	0.022	0.270	0.279	0.423	0.021	〃	〃	0.024	0.017	
80	1.620	0.690	0.744		3.907	0.195	0.022	0.014	0.203		0.432
	〃	0.792	0.662		4.279	0.214	0.017	0.019	0.212		
90	〃	0.902	0.574	0.661	4.569	0.228	0.013	0.024	0.217	0.211	
90	1.800	0.901	0.719		4.568	〃	0.020	〃	0.224		0.404
	〃	1.013	0.630		4.928	0.246	0.015	0.031	0.230		
100	〃	1.131	0.535	0.629	5.198	0.260	0.011	0.038	0.233	0.229	
100	〃	1.130	0.536		5.197	〃	〃	〃	〃		0.224
	〃	1.247	0.442		5.465	0.273	0.008	0.047	0.234		
110	〃	1.364	0.349	0.442	5.639	0.282	0.005	0.056	0.231	0.233	
120	〃	1.590	0.168		5.897	0.295	0.001	0.076	0.220		0.220
	〃	1.700	0.080		5.981	0.299	0.000	0.087	0.212		
130	〃	1.802	−0.002	0.087	5.977	〃	〃	0.097	0.202	0.212	
130	〃	〃	〃		5.979	〃	〃	〃	〃		0.000
	〃	1.903	−0.082		5.978	〃	〃	0.109	0.190		
140	〃	1.992	−0.154	−0.080	5.897	0.295	−0.001	0.119	0.175	0.189	
140	〃	1.991			5.899						−0.018

表-10.

t	c	v	$dz=0.8(c-v)$	Δz	z	$h_1=0.05z$	$h_2=\pm0.025(c-v)^2$	$h_3=\pm0.03v^2$	$dv=h_1+h_2-h_3$	Δv	$h=\pm0.5(c-v)^2$
0	2.400	1.200	0.960		0.864	0.043	0.036	0.043	0.036		0.072
	〃	1.218	0.946		1.344	0.067	0.035	0.044	0.058		
10	〃	1.258	0.914	0.942	1.810	0.091	0.033	0.047	0.077	0.057	
10	〃	1.257	〃		1.806	0.090	〃	〃	0.076		0.653
	〃	1.295	0.884		2.263	0.113	0.031	0.050	0.094		
20	〃	1.351	0.839	0.880	2.690	0.135	0.028	0.055	0.108	0.093	
80	〃	2.217	0.146		5.719	0.286	0.001	0.147	0.140		0.017
	〃	2.287	0.090		5.792	0.290	0.000	0.157	0.133		
90	〃	2.350	0.040	0.092	5.809	〃	〃	0.166	0.124	0.133	
90	〃	〃	〃		5.811	0.291	〃	〃	0.125		0.001
	〃	2.413	−0.010		5.831	0.292	〃	0.175	0.117		
100	〃	2.467	−0.054	−0.009	5.801	0.290	〃	0.183	0.107	0.117	
100	〃	2.467			5.802						−0.002

3. 差働調壓水槽

1. 設計上の注意

本書に於ては設計に就て述べるのは主眼ではないが次の事項に就て一般の注意を喚起したいと思ふのである。

(i) 負荷増加の場合にライザー及び水槽の最低水位が略一致する樣に制水孔の大きさを定める。

(ii) 負荷遮斷の場合には少くともライザーの溢流項と水槽の最高水位が一致する樣にライザ1の高さを選び，出來得ればライザー及び水槽の最高水位を略一致せしめる。

(iii) 水槽の大きさを變へて (i) 及び (ii) の計算を行ひ地形，地質，材料等を睨合せて最も經濟的なものを選定する。

圖-9 は概略的な水位關係を示したものである。

2. 負荷増加の場合の計算式

$$\frac{dZ_r}{dt}=\frac{f}{f_r}(c+c_t-v),\quad \frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),$$

$$h=\pm\alpha v^2,\quad \frac{dZ_t}{dt}=-\frac{f}{F}c_t,$$

$$c_t=\pm\sqrt{\frac{v_0^2}{k_0}}\sqrt{Z_r\sim Z_t}\quad\cdots\cdots(14)$$

Z_r: 取水口水位を基準とするライザーの水位で下を正の方向とする，f; 導水路の流積，f_r: ライザーの斷面積，c: 水壓管路内流量を f で割つたもの，c_t: 制水孔流量を f で割つたもので水槽へ流入する場合に正符號とする，v: 導水路内の流速，l: 導水路の長さ，h: 導水路内の損失水頭で粗度係數を $n\fallingdotseq0.016$ とし他に取水口等に於ける損失をも見込んで定め v と同符號にする，α: 損失係數，Z_t: 取水口水位を基準とする水槽水位で下を正の方向とする，k_0: 最大流速 v_0 に就て求められる制水孔の損失水頭

差働調壓水槽ではライザーの水位が一定極限に達すると一般に $dZ_r\fallingdotseq0$ になる。式 (14) で $dZ_r=0$ とす

圖-8. 制水孔調壓水槽水位流速曲線

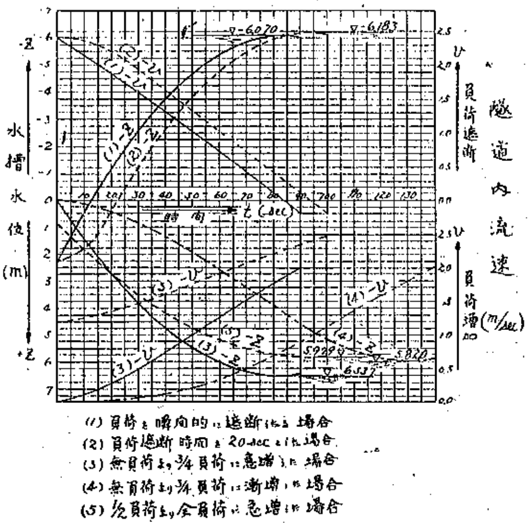
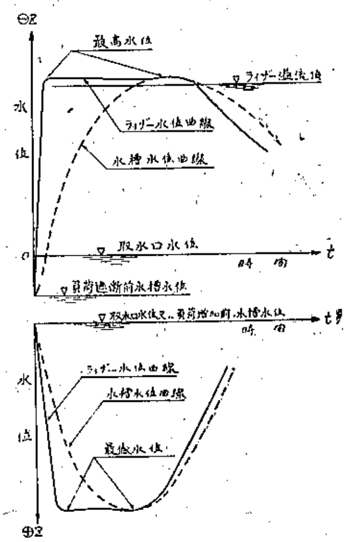
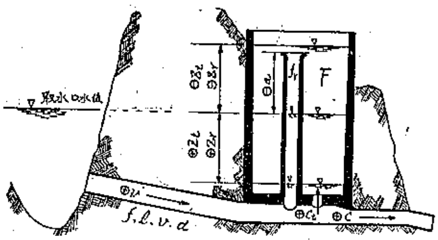


圖-9. 差働調壓水槽標準水位曲線



ると (15) 式が得られる。(15) 式では dt を大きく取ることが出來るので相當に勞力節減になる。(14) 式と (15) 式の變換は z_r の同時刻に於ける差が 0.010 m 以内で治まる樣にする。

圖-10. 差働調壓水槽



$$\frac{dZ_t}{dt}=\frac{f}{F}(c-v),\quad Z_r=Z_t+k,\quad k=\pm\frac{k_0}{v_0^2}(c-v)^2,$$

$$\frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),\quad h=\pm\alpha v^2 \cdots\cdots\cdots(15)$$

次に Z_t が Z_r に接近してくると $dZ_r\fallingdotseq dZ_t$ と考へられる樣になるから $dZ_r=dZ_t$ として (14) 式から求めた (16) 式を利用する。此の場合も前と同樣に Z_r の同時刻に於ける差が 0.010 m 以内になる樣にする。

$$\frac{dZ_t}{dt}=\frac{f}{F+f_r}(c-v),\quad Z_r=Z_t+k.\quad k=\pm\frac{k_0}{v_0^2}\left[\frac{F}{F+f_r}(c-v)\right]^2,$$

$$\frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),\quad h=\pm\alpha v^2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(16).$$

負荷の變化があつてから一度 $Z_r=Z_t$ になると其の後は $dZ_r\fallingdotseq dZ_t$ の關係が持續するものと見做しても大差がないから (16) 式で最後まで計算するのが普通である。

差働調壓水槽ではライザーの水位變化が鋭敏であるから dt は初めに 2 sec 以下，次いで 5 sec, 10 sec とせねばならぬ。

〔例 7〕 $\frac{f}{f_r}=1.25$, $\frac{g}{l}=0.005$, $\alpha=0.6$, $\frac{f}{F}=0.1$, $\sqrt{\frac{v_0^2}{k_0}}=\sqrt{0.5}=0.7071$, $v_0=2.4$, $\frac{f}{F+f_r}=0.0925\,9$, $\frac{F}{F+f_r}=0.9259$, $\frac{k_0}{v_0^2}=2$ として負荷増加の場合を計算せよ。

(i) 無負荷より 3/4 負荷に急増した場合

$$v_0'=2.4\times\frac{3}{4}=1.8,$$

$$k_0'=2\times 1.8^2=6.48,$$

$$h_0'=0.6\times 1.8^2=1.944,$$

$$k_0=2\times 2.4^2=11.52,$$

$$h_0=0.6\times 2.4^2=3.456$$

dt は場合に應じて 2, 5, 10 sec に選んで計算した (**表-11**, **表-12**)。

表-11.

t	C	$C_1=\pm 0.7071\times\sqrt{Z_r-Z_t}$	v	$dZ_r=7.5(C-C_1-v)$	ΔZ_r	Z_r	$h_1=0.01Z_r$	$h_2=\pm 0.006\times v^2$	$dv=h_1-h_2$	Δv	$dZ_t=-0.2C_1$	ΔZ_t	Z_t
0	1.800	0.000	0.000	4.500		0.000	0.000	0.000	0.000		0.000		0.000
	〃	−1.061	〃	1.848		2.250	0.023	〃	0.023		0.212		〃
2	〃	−0.904	0.023	2.183	2.595	1.848	0.018	〃	0.018	0.016	0.181	0.151	0.212
2	〃	−1.105	0.016	1.698		2.595	0.026	〃	0.026		0.221		0.151
	〃	−1.261	0.029	1.275		3.444	0.034	〃	0.034		0.252		0.262
4	〃	−1.317	0.050	1.063	1.333	3.870	0.039	〃	0.039	0.033	0.263	0.247	0.403
18	〃	−1.360	0.438	0.005		6.119	0.061	0.001	0.060		0.272		2.418
	〃	−1.336	0.468	−0.010		6.122	〃	〃	〃		0.267		2.554
20	〃	−1.308	0.498	−0.015	−0.008	6.109	〃	〃	〃	0.060	0.262	0.267	2.685
t	C	$C_1=\pm 0.7071\times\sqrt{Z_r-Z_t}$	v	$dZ_r=6.25(C-C_1-v)$	ΔZ_r	Z_r	$h_1=0.025Z_r$	$h_2=\pm 0.015\times v^2$	$dv=h_1-h_2$	Δv	$dZ_t=-0.5C_1$	ΔZ_t	Z_t
20	1.800	−1.309	0.498	−0.044		6.111	0.153	0.004	0.149		0.655		2.685
	〃	−1.240	0.573	−0.081		6.089	0.152	0.005	0.147		0.620		3.013
25	〃	−1.167	0.645	−0.075	−0.007	6.030	0.151	0.006	0.145	0.147	0.584	0.620	3.305
45	〃	−0.617	1.183	0.000		5.842	0.146	0.021	0.125		0.309		5.080
	〃	−0.551	1.246	0.019		〃	〃	0.023	0.123		0.276		5.235
50	〃	−0.502	1.306	−0.050	−0.003	5.861	0.147	0.026	0.121	0.123	0.251	0.278	5.356
50	〃		1.306			5.859							5.350

$t=16$ sec に對する Z_r は 6.099 であるから，

$$Z_{r\cdot\max}=6.119+\frac{(6.111-6.099)^2}{8(2\times 6.119-6.111-6.099)}=6.120$$

$$Z_{t\cdot\max}=5.886+\frac{(5.836-5.733)^2}{8(2\times 5.886-5.836-5.733)}=5.893$$

$t=50\,\text{sec}$ 以後は (15) 式を用ひた。$t=80\,\text{sec}$ 以後を計算するには $t=80\,\text{sec}$ 附近で (16) 式に變更して計算を進める。

(ii) 無負荷より 3/4 負荷に漸增した場合

例 6 の時と同樣に 10 段に區切つて急增するものと假定した。此の場合の樣に負荷の變化率が割合に小さいと初めから (16) 式に依つて計算を續ける。之は dt を相當に小さくしても不規則になつて (14) 式に依る計算は困難になるからである (表-13)。

$$Z_{t\cdot\max}=5.655+\frac{(5.624-5.508)^2}{8(2\times5.655-5.624-5.508)}$$

$$=5.664$$

(ii) 1/2 負荷より全負荷に急增した場合 (表-14, 表-15)。

$$Z_{t\cdot\max}=5.557$$

$$+\frac{(5.478-5.556)^2}{8(2\times5.557-5.478-5.556)}=5.567$$

以上の結果 圖-11 が出來た。負荷のかゝり方と水位の狀況が分つたのであるが負荷のかけ方は色々あつて中には無負荷から全負荷に急增するものと考へる場合もあるが概して 圖-11 の樣になるのが理想に近いものと思はれる。

(ii) の中では dt が 2 sec, 5 sec, 2 sec 及び 10 sec となつて甚だ奇妙に見えるが之は ΔZ_r の不規則になるのを避けたからであつて, dt は ΔZ_r が規則的に圓滑に增減する樣に選ばねばならぬのである。

3. 負荷遮斷の場合の計算式

負荷遮斷の場合は少し複雜であるから 圖-12 に示した 6 つの狀況に分けて考へる。$|Z_{t\cdot\max}|\leqq|a|$ の場合には 圖-12 の (3), (4) 及び (5) が省略出來るから計算は非常に簡單になるが不

表-12.

t	C	V	$dZ_t=C-V$	ΔZ_t	Z_t	$h=\pm2(C-V)^2$	$Z_r=Z_t+h$	$h_1=0.05Z_r$	$h_2=\pm0.03V^2$	$dV=h_1-h_2$	ΔV
50	1.800	1.306	0.494		5.358	0.488	5.846	0.292	0.051	0.241	
	〃	1.427	0.373		5.605	0.278	5.883	0.294	0.061	0.233	
60	〃	1.539	0.261	0.375	5.731	0.136	5.867	0.293	0.071	0.222	0.232
60	〃	1.538	0.262		5.733	0.137	5.870	0.294	〃	0.223	
	〃	1.650	0.150		5.864	0.045	5.909	0.295	0.082	0.212	
70	〃	1.751	0.049	0.153	5.883	0.005	5.888	0.294	0.092	0.202	0.21[illegible]
70	〃	〃	〃		5.886	〃	5.891	0.295	〃	0.203	
	〃	1.853	−0.053		5.911	−0.006	5.905	〃	0.103	0.192	
80	〃	1.943	−0.143	−0.050	5.833	−0.041	5.792	0.290	0.113	0.177	0.1[illegible]
80	〃	1.942	−0.142		5.836	−0.040	5.796				

表-13.

t	C	V	$dZ_t=0.9259(C-V)$	ΔZ_t	Z_t	$h=\pm1.7146\times(C-V)^2$	$Z_r=Z_t+h$	$h_1=0.05Z_r$	$h_2=\pm0.03V^2$	$dV=h_1-h_2$	ΔV
0	0.180	0.000	0.167		0.000	0.056	0.056	0.003	0.000	0.003	
	〃	0.002	0.165		0.084	0.054	0.138	0.007	〃	0.007	
10	〃	0.007	0.160	0.164	0.165	0.051	0.216	0.011	〃	0.011	0.007
10	0.360	〃	0.323		0.164	0.214	0.378	0.019	〃	0.019	
	〃	0.017	0.318		0.326	0.202	0.528	0.026	〃	0.026	
20	〃	0.033	0.303	0.316	0.482	0.183	0.665	0.033	〃	0.033	0.026
90	1.800	1.085	0.662		4.613	0.877	5.490	0.275	0.035	0.240	
	〃	1.205	0.551		4.944	0.607	5.551	0.278	0.044	0.234	
100	〃	1.319	0.445	0.552	5.164	0.397	5.561	〃	0.052	0.226	0.234
100	〃	〃	〃		5.165	〃	5.562	〃	〃	〃	
	〃	1.432	0.341		5.388	0.232	5.620	0.281	0.062	0.219	
110	〃	1.538	0.243	0.343	5.506	0.118	5.624	〃	0.071	0.210	0.219
110	〃	〃	〃		5.508	〃	5.626	〃	〃	〃	
	〃	1.643	0.145		5.630	0.042	5.672	0.284	0.081	0.203	
120	〃	1.741	0.055	0.147	5.653	0.006	5.659	0.283	0.091	0.192	0.202
120	〃	1.740	0.056		5.655	〃	5.661	〃	〃	〃	
	〃	1.836	−0.033		5.683	−0.002	5.681	0.284	0.101	0.183	
130	〃	1.923	−0.114	−0.031	5.622	−0.026	5.596	0.280	0.111	0.169	0.182
130	〃	1.922			5.624	〃	5.598				

表-14.

t	C	$G=\pm0.7071\times\sqrt{Z_r-Z_t}$	V	$dZ_r=2.5(C+G-V)$	ΔZ_r	Z_r	$h_1=0.01Z_r$	$h_2=\pm0.006V^2$	$dV=h_1-h_2$	ΔV	$dZ_t=-0.2C_t$	ΔZ_t	Z_t
0	2.400	0.000	1.200	3.000		0.864	0.009	0.009	0.000		0.000		0.864
	〃	−0.850	〃	0.875		2.364	0.024	〃	0.015		0.170		〃
2	〃	−0.594	1.215	1.478	1.557	1.739	0.017	〃	0.008	0.010	0.119	0.115	1.034
8	〃	−1.034	1.279	0.218		3.711	0.037	0.010	0.027		0.207		1.571
	〃	−1.036	1.293	0.178		3.820	0.038	〃	0.028		〃		1.675
10	〃	−1.027	1.307	0.165	0.185	3.809	0.039	〃	0.029	0.028	0.205	0.207	1.778
t	C	$G=\pm0.7071\times\sqrt{Z_r-Z_t}$	V	$dZ_r=6.25(C+G-V)$	ΔZ_r	Z_r	$h_1=0.025Z_r$	$h_2=\pm0.015V^2$	$dV=h_1-h_2$	ΔV	$dZ_t=-0.5C_t$	ΔZ_t	Z_t
10	2.400	−1.029	1.307	0.400		3.896	0.097	0.026	0.071		0.515		1.778
	〃	−1.015	1.343	0.263		4.096	0.102	0.027	0.075		0.508		2.036
15	〃	−0.988	1.382	0.313	0.310	4.159	0.104	0.029	〃	0.074	0.484	0.504	2.286
45	〃	−0.528	1.854	0.113		5.117	0.128	0.052	0.076		0.264		4.359
	〃	−0.491	1.892	0.106		5.174	0.129	0.054	0.075		0.246		4.691
50	〃	−0.457	1.929	0.088	0.103	5.223	0.131	0.056	〃	0.075	0.229	0.246	4.805
t	C	$G=\pm0.7071\times\sqrt{Z_r-Z_t}$	V	$dZ_r=2.5(C+G-V)$	ΔZ_r	Z_r	$h_1=0.01Z_r$	$h_2=\pm0.006V^2$	$dV=h_1-h_2$	ΔV	$dZ_t=-0.2C_t$	ΔZ_t	Z_t
50	2.400	−0.456	1.929	0.038		5.220	0.052	0.022	0.030		0.091		4.805
	〃	−0.440	1.944	0.040		5.239	〃	0.023	0.029		0.088		4.851
52	〃	−0.428	1.958	0.035	0.038	5.260	0.053	〃	0.030	0.030	0.085	0.088	4.893
60	〃	−0.314	2.075	0.028		5.386	0.054	0.026	0.028		0.063		5.189
	〃	−0.299	2.089	0.030		5.400	〃	〃	〃		0.060		5.221
62	〃	−0.296	2.103	0.003	0.023	5.416	〃	0.027	0.027	0.028	0.059	0.061	5.249
68	〃	−0.211	2.184	0.013		5.487	0.055	0.029	0.026		0.042		5.398
	〃	−0.194	2.197	0.023		5.494	〃	〃	〃		0.039		5.419
70	〃	−0.191	2.210	−0.003	0.014	5.510	〃	〃	〃	0.026	0.038	0.040	5.437
70	〃		2.210			5.501							5.438

表-15.

t	c	v	$dZ_t=0.9259(c-v)$	ΔZ_t	Z_t	$h_0=\pm1.7406(c-v)^2$	$Z_r=Z_t+h$	$h_1=0.05Z_r$	$h_2=\pm0.03v^2$	$dv=h_1-h_2$	Δv
70	2.400	2.210	0.176		5.438	0.062	5.500	0.275	0.147	0.128	
	·	2.274	0.117		5.526	0.027	5.553	0.278	0.155	0.123	
80	·	2.333	0.062	0.118	5.555	0.008	5.563	·	0.163	0.115	0.122
80	·	2.332	0.063		5.556	·	5.564	·	·	·	
	·	2.414	−0.013		5.588	0.000	5.588	0.279	0.175	0.104	
90	·	2.436	−0.033	0.001	5.543	−0.002	5.541	0.277	0.178	0.099	0.106
90	·	2.438	−0.035		5.557	·	5.555	0.278	·	0.100	
	·	2.488	−0.081		5.539	−0.013	5.526	0.276	0.186	0.090	
100	·	2.528	−0.119	−0.079	5.476	−0.028	5.448	0.272	0.192	0.080	0.090
100	·	2.528			5.478	·	5.450				

經濟な設計と考へられる。

(1) 圖-12 (1) の場合

(14) 式と全く同一のものでよいが，(14) 式は次の (17) 式の特別の場合であるから (17) 式を初めから用ひる。

(2) 圖-12 (2) の場合

$$\frac{dZ_r}{dt}=\frac{f}{f_r}(c+c_t+c_u-v),\quad \frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),$$
$$h=\alpha v^2,$$
$$\frac{dZ_t}{dt}=-\frac{f}{F}(c_t+c_u),\quad c_t=\sqrt{\frac{v_0^2}{k_0}}\sqrt{Z_t-Z_r},$$
$$c_u=\frac{2b}{f}(a-Z_r)^{3/2}\quad\cdots\cdots(17)$$

c_u: ライザーからの溢流水量を f で割つたもの，b: 溢流頂の長さ，a: 取水口水位を基準とした溢流頂の高さを示すもので負符號になる。

ライザーの水位が極値を過ぎると $dZ_r=0$ から導いた (18) 式を用ひる。

$$\frac{dZ_t}{dt}=-\frac{f}{F}(v-c),\quad c_t=\sqrt{\frac{v_0^2}{k_0}}\sqrt{Z_t-Z_r},\quad c_u=v-c-c_t,$$
$$Z_r=a-\left(\frac{f}{2b}c_u\right)^{2/3},\quad \frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),\quad h=\alpha v^2\quad\cdots\cdots(18)$$

(18) 式では Z_r を試算で求めねばならぬが dt を大きくすることが出來るから勞力が省ける。(18) 式が使へるのは $dZ_r\fallingdotseq0$ なのであるから上段の數値を參考にして割合簡單に Z_r が求められる。

(3) 圖-12 (3) の場合

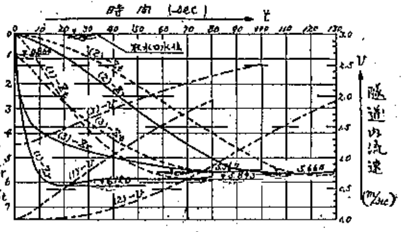
$dZ_r=0$ とし不完全溢流の公式を用ひて (19) 式を得る。

$$\frac{dZ_t}{dt}=-\frac{f}{F}(v-c),\quad \frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),\quad h=\alpha v^2,$$
$$\sqrt{Z_t-Z_r}\left[\sqrt{\frac{v_0^2}{k_0}}+\frac{3b}{f}(a-Z_t)+\frac{2b}{f}(Z_t-Z_r)\right]-(v-c)=0\quad\cdots\cdots(19)$$

(19) 式でも Z_r は試算で求めねばならぬ。一般に試算を行ふ場合に最も有效な方法としては次の (20) 式が擧げ

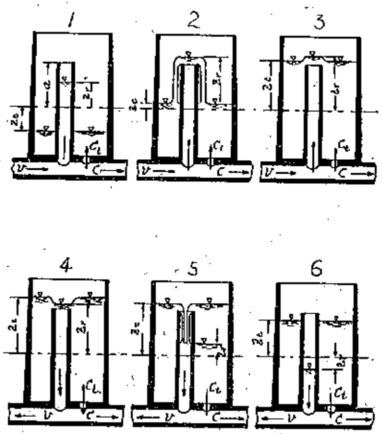
圖-11. 差働調壓及水槽水位流速曲線

其の 1 負荷を增加した場合



(1) 無負荷より2/3負荷に急増した場合
(2) 無負荷より2/3負荷に漸増した場合
(3) 2/3負荷より全負荷に急増した場合

圖-12. 差働調壓水槽負荷遮斷の際の水位



られる。之は $\Phi(Z)=0$ の根を求めるには先づ初めに Z_1, Z_2 なる近似根を想定して其の剩餘 $a_1=\Phi(Z_1)$, $a_2=\Phi(Z_2)$ を計算すると一層近似度の高い根 Z_3 は

$$Z_3=\frac{a_1Z_2-a_2Z_1}{a_1-a_2},\quad a_1=\Phi(Z_1),\quad a_2=\Phi(Z_2)\cdots\cdots(20)$$

で求められる。此の場合 a_1, a_2 は Z 等の値よりも二桁位有效數字を多くしておく方がよいし，a_1 と a_2 が異符號である方が一層有效である。

(19) 式の使用範圍は一般に少なく $dZ_r\fallingdotseq dZ_t$ と考へる方がよくなるから $dZ_r=dZ_t$ として求めた (21) 式を用ひる。

$$\frac{dZ_t}{dt}=-\frac{f}{F+f_r}(v-c),\quad \frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),\quad h=\alpha v^2,$$

$$\sqrt{Z_t-Z_r}\left[\sqrt{\frac{v_0^2}{k_0}}+\frac{3b}{f}(a-Z_t)+\frac{2b}{f}(Z_t-Z_r)\right]-\frac{F}{F+f_r}(v-c)=0\cdots\cdots(21)$$

(4) **圖-12 (4)** の場合

(21) 式は $|Z_r|\geqq|Z_t|$ の場合の式であるから $|Z_r|\leqq|Z_t|$ になると (22) 式を用ひる。

$$\frac{dZ_t}{dt}=\frac{f}{F+f_r}(c-v),\quad \frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),\quad h=-\alpha v^2,$$

$$\sqrt{Z_r-Z_t}\left[\sqrt{\frac{v_0^2}{k_0}}+\frac{3b}{f}(a-Z_r)+\frac{2b}{f}(Z_r-Z_t)\right]+\frac{F}{F+f_r}(v-c)=0\cdots\cdots(22)$$

(5) **圖-12 (5)** の場合

ライザーの水位が溢流頂よりも下降すると (23) 式を用ひる。

$$\frac{dZ_t}{dt}=\frac{f}{F+f_r}(c-v),\quad \frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),\quad h=-\alpha v^2,$$

$$Z_r=Z_t+\frac{k_0}{v_0^2}\left[\frac{2b}{f}(a-Z_t)^{3/2}+\frac{F}{F+f_r}(v-c)\right]^2\cdots\cdots(23)$$

(6) **圖-12 (6)** の場合

水槽水位も溢流頂より下降すると (24) 式を用ひる。

$$\frac{dZ_t}{dt}=\frac{f}{F+f_r}(c-v),\quad Z_r=Z_t\pm\frac{k_0}{v_0^2}\left[\frac{F}{F+f_r}(c-v)\right]^2,$$

$$\frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),\quad h=\mp\alpha v^2\cdots\cdots(24)$$

(24) 式で正負の符號を附けたのは水位上昇の場合も加へたのであつて，$Z_{t\cdot\max}$ さへ分れば後は多少誤差が殖えても構はないので (24) 式を最後まで用ひるからである。

以上で一通り終つたのであるが倘遮斷に時間を要する場合も考へねばならぬ。負荷の變化が少ないと (17) 式は使へないので初めから (24) 式を用ひねばならぬ。ライザーから溢流を始めると (25) 式を用ひる。

$$\frac{dZ_t}{dt}=-\frac{f}{F+f_r}(v-c),\quad \frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),\quad h=\alpha v^2,$$

$$\sqrt{\frac{v_0^2}{k_0}}\sqrt{Z_t-Z_r}+\frac{2b}{f}(a-Z_r)^{3/2}-\frac{F}{F+f_r}(v-c)=0\cdots\cdots(25)$$

Z_r が極限を越せば $dZ_r=0$ となるから (25) 式で $f_r=0$ とした (26) 式を用ひる。

$$\frac{dZ_t}{dt}=-(v-c),\quad \frac{dv}{dt}=\frac{g}{l}(Z_r-h),\quad h\doteqdot\alpha v^2,$$

$$\sqrt{\frac{v_0^2}{k_0}}\sqrt{Z_t-Z_r}+\frac{2b}{f}(a-Z_r)^{3/2}-(v-c)=0 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(26)$$

水槽水位が溢流頂よりも上昇すると既述の (21) 式を用ひることになり，之以下は急遮斷の場合と同様になる。

〔例 8〕 $\frac{f}{fr}=1.25$,　$\frac{g}{l}=0.005$,　$\alpha=0.4$,　$\frac{f}{F}=0.1$,　$\sqrt{\frac{v_0^2}{k_0}}=\sqrt{\frac{1}{3}}=0.5774$,　$v_0=2.4$,　$\frac{f}{F+fr}=0.0925\,9$,　$\frac{F}{F+fr}=0.9259$,　$\frac{k_0}{v_0^2}=3$,　$a=-5.5$,　として負荷遮斷の場合を計算せよ。

(i)　瞬間的に遮斷した場合

dt は狀況に應じ 1, 0.5, 3, 10 sec に選んだ。此の中で 3 sec は t を 10 sec 毎に調整するためである (**表-16**)。

表-16.

t	$C_t=0.5774\times\sqrt{Z_t-Z_r}$	$C_u=2.5\times(-5.5-Z_r)^{3/2}$	v	$dZ_r=1.25(C_t+C_u-v)$	ΔZ_r	Z_r	$h_1=0.005Z_r$	$h_2=0.002v^2$	$dv=h_1-h_2$	Δv	$dZ_t=-0.1(C_t+C_u)$	ΔZ_t	Z_t
0	0.000	0.000	2.400	-3.000		2.304	0.012	0.012	0.000		0.000		2.304
	0.707	〃	〃	-2.116		0.804	0.004	〃	-0.008		-0.071		〃
1	0.826	〃	2.392	-1.958	-2.298	0.188	0.001	0.011	-0.010	-0.007	-0.083	-0.056	2.233
4	1.440	〃	2.324	-1.105		-4.334	-0.022	〃	-0.033		-0.144		1.805
	1.495	〃	2.307	-1.015		-4.897	-0.024	〃	-0.035		-0.150		1.813
5	1.537	〃	2.289	-0.940	-1.019	-5.349	-0.027	0.010	-0.037	-0.035	-0.154	-0.150	1.735
t	$C_t=0.5774\times\sqrt{Z_t-Z_r}$	$C_u=2.5\times(-5.5-Z_r)^{3/2}$	v	$dZ_r=0.625\times(C_t+C_u-v)$	ΔZ_r	Z_r	$h_1=0.0025Z_r$	$h_2=0.001v^2$	$dv=h_1-h_2$	Δv	$dZ_t=-0.05(C_t+C_u)$	ΔZ_t	Z_t
5.0	1.537	0.000	2.289	-0.470		-5.353	-0.013	0.005	-0.018		-0.077		1.735
	1.558	0.065	2.280	-0.411		-5.588	-0.014	〃	-0.019		-0.081		1.696
5.5	1.573	0.339	2.270	-0.224	-0.379	-5.764	〃	〃	〃	-0.019	-0.096	-0.084	1.654
6.0	1.574	0.579	2.250	-0.061		-5.877	-0.015	〃	-0.020		-0.108		1.550
	1.571	0.652	2.240	-0.011		-5.908	〃	〃	〃		-0.111		1.496
6.5	1.563	0.604	2.230	-0.039	-0.031	-5.888	〃	〃	〃	-0.020	-0.108	-0.110	1.439
6.5	1.565	0.652	〃	-0.008		-5.908	〃	〃	〃		-0.111		1.440
	1.560	0.661	2.220	0.001		-5.912	〃	〃	〃		〃		1.384
7.0	1.553	0.649	2.210	-0.005	-0.003	-5.907	〃	〃	〃	-0.020	-0.110	-0.111	1.329
t	v	$dZ_t=-0.3v$	ΔZ_t	Z_t	$C_t=0.5774\times\sqrt{Z_t-Z_r}$	$C_u=v-C_t$	$h_3=(0.4C_u)^{2/3}$	$Z_r=-5.5-h_3$	$h_1=0.015Z_r$	$h_2=0.006v^2$	$dv=h_1-h_2$	Δv	
7	2.210	-0.663		1.329	1.554	0.656	0.410	-5.910	-0.089	0.029	-0.118		
	2.151	-0.645		0.997	1.516	0.635	0.401	-5.901	〃	0.028	-0.117		
10	2.093	-0.628	-0.645	0.684	1.481	0.612	0.391	-5.891	-0.088	0.026	-0.114	-0.117	
t	v	$dZ_t=-v$	ΔZ_t	Z_t	$C_t=0.5774\times\sqrt{Z_t-Z_r}$	$C_u=v-C_t$	$h_3=(0.4C_u)^{2/3}$	$Z_r=-5.5-h_3$	$h_1=0.05Z_r$	$h_2=0.02v^2$	$dv=h_1-h_2$	Δv	
10	2.093	-2.093		0.684	1.481	0.612	0.391	-5.891	-0.295	0.088	-0.383		
	1.901	-1.901		-0.363	1.354	0.547	0.363	-5.863	-0.293	0.072	-0.365		
20	1.728	-1.728	-1.906	-1.217	1.241	0.487	0.336	-5.836	-0.292	0.060	-0.352	-0.366	
50	0.765	-0.765		-4.918	0.515	0.250	0.218	-5.715	-0.286	0.012	-0.298		
	0.616	-0.616		-5.301	0.371	0.245	0.213	-5.713	〃	0.008	-0.294		
60	0.471	-0.471	-0.617	-5.534	―(19)式使用―			-5.706	-0.285	0.004	-0.289	-0.294	
60	〃	〃		-5.535	―	〃	―	〃	〃	〃	〃		
	0.326	-0.326		-5.771	―	〃	―	-5.863	-0.290	0.002	-0.292		
70	0.179	-0.179	-0.326	-5.861	―	〃	―	-5.867	-0.293	0.001	-0.294	-0.292	
70	〃	〃		〃	―	〃	―	〃	〃	〃	〃		
	0.052	-0.030		-5.951	―(21)式使用―			-5.951	-0.298	0.000	-0.298		
80	-0.119	0.110	-0.032	-5.891	―(22)式使用―			-5.888	-0.294	〃	-0.294	-0.296	
80	-0.117	0.108		-5.893	―	〃	―	-5.890	-0.295	〃	-0.295		
	-0.265	0.245		-5.839	―	〃	―	-5.818	-0.291	-0.001	-0.290		
90	-0.407	0.377	0.244	-5.648	―(23)式使用―			-5.482	-0.274	-0.003	-0.271	-0.287	
t	v	$dZ_t=-0.9259v$	ΔZ_t	Z_t	$C_t=0.9259v$	$h=\pm3C_t^2$	$Z_r=Z_t+h$	$h_1=0.05Z_r$	$h_2=\mp0.02v^2$	$dv=h_1-h_2$	Δv		
90	-0.404	0.374		-5.649	(23)式使用		-5.490	-0.275	-0.003	-0.272			
	-0.540	0.500		-5.462	-0.500	0.750	-4.712	-0.236	-0.006	-0.230			
100	-0.634	0.587	0.490	-5.149	-0.587	1.034	-4.115	-0.206	-0.008	-0.198	-0.233		
110	-0.800	0.741		-4.486	-0.741	1.647	-2.839	-0.142	-0.013	-0.129			
	-0.865	0.801		-4.115	-0.801	1.925	-2.190	-0.110	-0.015	-0.095			
120	-0.895	0.829	0.793	-3.685	-0.829	2.062	-1.623	-0.081	-0.016	-0.065	-0.096		
120	-0.896	0.830		-3.693	-0.830	2.067	-1.626						

$$Z_{r\cdot\max}=-5.908=\frac{(5.910-5.877)^2}{8(2\times5.908-5.910-5.877)}=-5.913$$

$$Z_{t\cdot\max}=-5.861-\frac{(5.893-5.535)^2}{8(2\times5.861-5.893-5.535)}=-5.915$$

以上の結果は **圖-13** に示した樣に殆んど理想的なものになつた。

(ii)　遮斷時間を 20 sec とした場合(**表-17**)。

Z_r は $t=20$ sec の時に -5.811 であるから

$$Z_{r\cdot\max}=-5.845-\frac{(5.818-5.811)^2}{8(2\times5.845-5.818-5.811)}=-5.845$$

$$Z_{t\cdot\max}=-5.783-\frac{(5.761-5.528)^2}{8(2\times5.783-5.761-5.528)}=-5.807$$

之を圖示すると **圖-14** になる。**圖-13** 及び **圖-14** の比較に依つても分る樣に遮斷時間が多少あつても，其の遮斷時間の半分だけ Z_{max} が遅れるのみで Z_{max} の量には大した影響を與へないものである。之に反し負荷增加の例では增加時間を 90 sec にもすると Z_{max} は相當に減少することを示してゐる。

表-17.

t	c	v	$dZ_t=0.1683\times(c-v)$	ΔZ_t	Z_t	$C_t=-0.9259\times(c-v)$	$h_c=73C_t^2$	$Z_r=Z_t+h_c$	$h_1=0.025Z_r$	$h_2=\pm0.01v^2$	$dv=h_1-h_2$	Δv
0	2.400	2.400	0.000		2.304	0.000	0.000	2.304	0.058	0.058	0.000	
	2.100	〃	-0.139		〃	0.278	-0.232	2.072	0.052	〃	-0.006	
5	1.800	2.394	-0.275	-0.138	2.165	0.550	-0.908	1.257	0.031	0.057	-0.026	-0.010
15	0.600	2.194	-0.738		1.126	1.476	-6.536	-5.410	-0.135	0.048	-0.183	
	0.300	2.102	-0.834		0.757	(25)式使用		-5.687	-0.142	0.044	-0.186	
20	0.000	2.008	-0.930	-0.834	0.292	〃	〃	-5.811	-0.145	0.040	-0.185	-0.185
25	〃	1.827	-0.914		-0.613	(26)式使用		-5.845	-0.146	0.033	-0.179	
	〃	1.737	-0.869		-1.070	〃	〃	-5.831	〃	0.030	-0.176	
30	〃	1.651	-0.826	-0.870	-1.482	〃	〃	-5.818	-0.145	0.027	-0.172	-0.176
t	c	v	$dZ=c-v$	ΔZ_t	Z_t	C_t	h_c	Z_r	$h_1=0.05Z_r$	$h_2=\pm0.02v^2$	$dv=h_1-h_2$	Δv
30	0.000	1.651	-1.651		-1.483	(26)式使用		-5.818	-0.291	0.055	-0.346	
	〃	1.478	-1.478		-2.309	〃	〃	-5.795	-0.290	0.044	-0.334	
40	〃	1.317	-1.317	-1.481	-2.961	〃	〃	-5.769	-0.288	0.035	-0.323	-0.334
60	〃	0.702	-0.702		-4.972	〃	〃	-5.693	-0.285	0.010	-0.295	
	〃	0.554	-0.554		-5.323	〃	〃	-5.689	-0.284	0.006	-0.290	
70	〃	0.412	-0.412	-0.556	-5.526	(19)式使用		-5.678	〃	0.003	-0.287	-0.291
70	〃	0.411	-0.411		-5.528	〃	〃	-5.679	〃	〃	〃	
	〃	0.267	-0.247		-5.734	(21)式使用		-5.760	-0.288	0.001	-0.289	
80	〃	0.122	-0.113	-0.255	-5.775	〃	〃	-5.780	-0.289	0.000	〃	-0.289
80	〃	〃	〃		-5.783	〃	〃	-5.788	〃	〃	〃	
	〃	-0.023	0.021		-5.840	(22)式使用		-5.840	-0.292	〃	-0.292	
90	〃	-0.170	0.157	-0.022	-5.762	〃	〃	-5.752	-0.288	-0.001	-0.287	-0.290
90	〃	-0.168	0.156		-5.761	〃	〃	-5.751				-

圖-13.　差働調壓水槽 水位流速曲線

其の2.　負荷を瞬間的に遮斷した場合

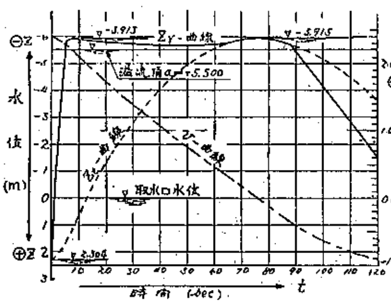


圖-14.　差働調壓水槽 水位流速曲線

其の3.　負荷を 20 sec 間に遮斷した場合