

## 第四章 Single Differential Surge Tank

### 第七節 Single Differential Surge Tank 概論

25. **Single Differential Surge Tank.** は *Johnson* の發明であつて多くの場合に *Simple surge tank* よりは經濟的に有利である而已ならず、技術的見地から見ても *Synchronous load change* (*Surging wave* と *Load change* との週期が一致したる場合)に對して *Surging* が累加せざること、*Surging* が比較的速かに沈靜すること等の利益がある。又 *Riser* の水位の變化が相當迅速ではあるが夫れが爲めに *Governor* の働きが之れに應じ得ない程のことではない。

*Simple surge tank* に於ては其の水位の昇降が直接水路内に於ける流速に對して *Acceleration head* 又は *Retardation head* となることは云ふ迄もないことであるが負荷に變化が起つた場合此の水位の昇降が緩徐であるから水路に於ける流速の増減が其の終極に達する迄には比較的長い時間を要し従つて *Tank* の大きさは其の時間中 *Penstock* に於ける過不足水量を收容又は補給するに足る丈の充分なる大きさを要するのである。

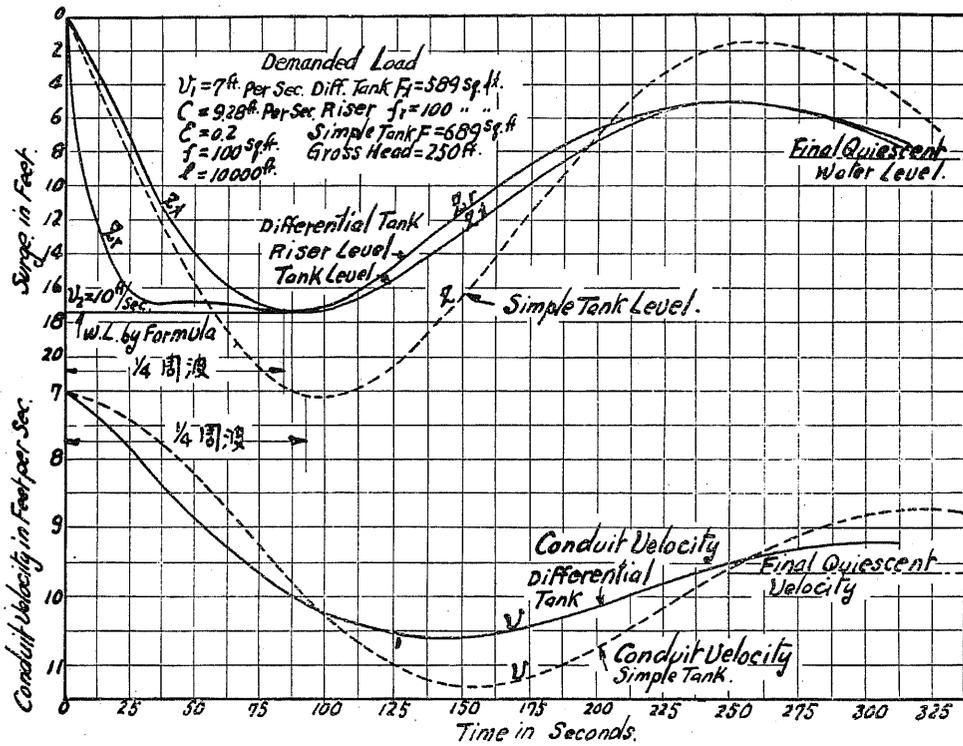
然るに *Differential surge tank* に於ては *Tank* の水位は水路内に於ける流速に對する *Acceleration head* 又は *Retardation head* に何等關係が無く唯 *Riser* の水位のみが直接之れに關係する様な構造である、即ち負荷に變化が起つた場合 *Riser* の水位のみが極めて迅速に昇降して數秒又は十數秒にして其の極點に達する様な構造なのであるから水路内に於ける流速も比較的短時間で其の終極に達し従つて其の間の *Penstock* に於ける過不足水量を收容又は補給する *Tank* の容積は比較的

小さくして事足るのである。

而して過不足水量の收容又は補給は Tank と Penstock とを連絡する Port 即ち Restricted orifice を通じて行ふものであるから此の Port の断面積の決定には Riser と Tank との水位差に基く處の此の Port に於ける Orifice discharge が其の時の Penstock に於ける過不足水量と一致する条件を必要とする、以上が Differential surge tank の原理の大要である。

26. Simple Surge Tank と Differential surge tank との性能比較

第十四圖 Surging wave 及 Conduit velocity の比較圖



第十四圖は同一条件の下に設計された Down surging の場合に於ける兩者の水位波動状態を示すものであつて  $v_1=7.0 \text{ ft/sec}$  を  $v_0=9.28 \text{ ft/sec}$  に、即ち流量を約 33% 程増加した場合であるが Max, surging に於て約 5.0 ft を Max, conduit velocity に於て約  $0.6 \text{ ft/sec}$  の差を生ずることが一目瞭

然である。

Simple surge tank の短所として挙げ得ることは次の如くである。

- 1) 同一条件の下に於て Simple tank は Differential tank よりも不経済である。
- 2) Simple tank は Differential tank に比して餘程多額の工費を拂ふても同等の効果を得ることは困難である。
- 3) Simple tank は Differential tank に比して精確な計算をすることが困難である。
- 4) Simple tank に於ける Surging wave は不安であつて其の性質を豫め算定することは假令不可能でないとしても、少くとも Differential tank の場合よりは餘程困難である。
- 5) Simple tank に於ては次に掲ぐる如き Differential tank の持つ性質と共通点はあるとしても、其の的確なる數値を得ることは困難である。

Differential surge tank に於ては精確なる數學的研究が可能なる結果として多くの興味ある事實が発見せらるる、其中最も價值あるもの二、三を挙げれば、

- 1) Differential tank の容積は與へられたる負荷の變化及與へられたる Stability factor (意義は後に説明する) に對しては水路の長さ無關係である、従つて水路が長ければ高さが増して断面積が減じ其の容積には變化がないものである。
- 2) 負荷を切つた時の最高 Surging は必ずしも最大流速に相當する負荷を切る時に起るとは限らず却て最大ならぬ或る負荷に相當する流速を遮斷したる場合に起ることがある、之れを Critical velocity と名付ける。
- 3) 負荷の變化に因る Tank の水位の昇降に對し其の上下運動を繰返さしめず必然的に起る勾配に相當する點に最初から漸近

的に静止せしむる様設計することが可能であつて時には之れが實行的である、之れを *Dead beat*, 又は *Non-occillatory condition* (無波動状態)の構造と名付ける。

4) 後に示す様な公式の關係に依り一圖表を用ひて簡単に且比較的正確に計算することが可能である。

等である。

或る人は *Differential surge tank* の *Riser* の水位の昇降が急激であることを以て反對論を主張するが、併し實際問題として *Riser* の斷面積を水路の斷面積と同等乃至 3/4, とすれば其の昇降の速さは *Governor* の働きに充分の時間を與へるのである、何故ならば普通の *Governor* は 2 秒、乃至 6 秒にて水車の全開閉を爲す如く設計されて居るが故に、今若し 4 秒にて與へられたる負荷の變化に應ずる *Governor* がありとすれば此の短時間に起る *Riser* 内の水位の變化に因る僅少なる *Head* の變化が起つても完全に其の役目を全ふすることは明瞭であるからである。

尙 *Differential surge tank* は *Surging wave* の計算が確實に行ひ得らるる結果 *Simple surge tank* の實例に於て多く見受くる所の計算上の不安に基く *Over flow* の設備を絶對的に必要としない、之れは建設費を可なりに節約し得る長所である。

### 第八節 Single Differential Surge Tank の設計

#### 27. 微分方程式.

$F_t = \text{Differential tank の斷面積}$

$f_r = \text{Riser の斷面積}$

$z_t = \text{水源池の水位を基準とせる Differential tank の水位にして下を (+), 上を (-), とす}$

$z_r = \text{水源池の水位を基準とせる Riser の水位にして下を (+), 上$

を (-), とす

$Q_t = \text{Port を通じて Differential tank に出入する流量にして, Tank}$

に流入する

方を (+), 流

出する方を

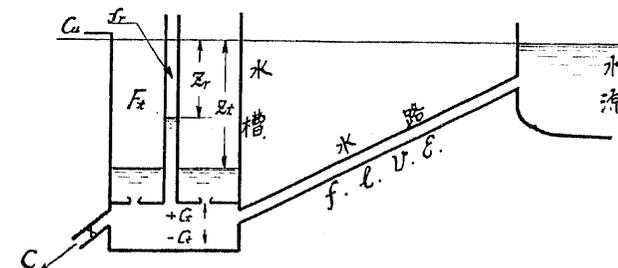
(-), とす

$$C_t = Q_t / f$$

$p = \text{Port の斷面積}$

$m = \text{收縮係數}$

第十五圖 Single Differential Surge Tank



依て Orifice の公式に依り

$$Q_t = mp\sqrt{2g(z_t - z_r)}$$

或は 
$$= -mp\sqrt{2g(z_r - z_t)}$$

今 
$$\gamma = mp\sqrt{2g}$$

と置けば

$$Q_t = \gamma\sqrt{z_t - z_r}$$

或は 
$$= -\gamma\sqrt{z_r - z_t}$$

$$C_t = \frac{\gamma}{f}\sqrt{z_t - z_r} \quad \text{Tank に流入するとき} \quad \dots\dots\dots(17)$$

或は 
$$= \frac{-\gamma}{f}\sqrt{z_r - z_t} \quad \text{Tank より流出するとき}$$

依て *Surging* に關する微分方程式は

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz_r}{dt} &= \frac{C + C_t - v}{f_r / f} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{z_r \cdot F \cdot \epsilon v^n}{l/g} \\ \frac{dz_t}{dt} &= \frac{C_t - C}{F_t / f} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(18)$$

$$C_i = \frac{\gamma}{f} \sqrt{z_i - z_r} \text{ Tank に流入するとき}$$

$$\text{或は } = -\frac{\gamma}{f} \sqrt{z_r - z_i} \text{ Tank より流出するとき}$$

式中  $C_u$  は公式(3) に依て求める。

而して *Riser* から溢水する場合之れを  $C_{ur}$  とすれば  $C_{ur}$  及び前式の  $dz_r/dt, dz_i/dt$  は次の如く成る。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz_r}{dt} &= \frac{C + C_i + C_{ur} - v}{f_r/f} \\ \frac{dz_i}{dt} &= \frac{C_u - C_{ur} - C_i}{F_i/f} \\ C_{ur} &= \frac{\delta}{f} (a - z_r)^{3/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(19)$$

而して水車の急開放又は急閉鎖を爲したる後十數秒を經過すれば  $z_i, z_r$  は共に最低又は最高に達し  $z_r$  の變化は  $z_i$  と同様至つて緩慢となり兩者の差が著しく減少して徐々に昇降する、故に若し *Riser* の斷面積が水槽の夫れに比して比較的小なる場合即ち實際的に設計される *Differential surge tank* に於ては近似的に次の式を用ひて簡単に殆んど同様の結果を得られる、故に  $z_r$  が極限に近付いた後は次式を用ひて圖計算の時間の間隔を粗く採ることが出来る。

即ち *Tank* と *Riser* との水位が同様に昇降するものと見做して

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz_i}{dt} &= \frac{C + C_u - v}{(F_i + f_r)/f} \\ C_i &= \frac{F_i(v - C)}{F_i + f_r} \\ z_r &= z_i \mp \left( \frac{f}{\gamma} C_i \right)^2 \\ &\text{(-) Tank に流入するとき} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(20)$$

公式(17)より

$$\left. \begin{aligned} &\text{(+) Tank より流出するとき} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{z_r \mp \epsilon v^n}{l/g} \end{aligned} \right\}$$

又 *Riser* から溢水する場合の微分方程式は近似的に次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz_i}{dt} &= \frac{C + C_u - v}{F_i/f} \\ \text{公式(3)より} \\ z_r &= a - \left( \frac{f}{\delta} C_{ur} \right)^{2/3} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{z_r \mp \epsilon v^n}{l/g} \\ C_{ur} &= v - C - \frac{\gamma}{f} \sqrt{z_i - z_r} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(21)$$

次に *Riser* の斷面積が極めて小なる時は之れを省略して考ふれば次の如く簡單となる。

$$\left. \begin{aligned} C_i &= v - C \\ \frac{dz_i}{dt} &= \frac{C_u - C_i}{F_i/f} \\ z_r &= z_i \mp \left( \frac{f}{\gamma} C_i \right)^2 \\ &\text{(-) Tank に流入するとき} \\ &\text{(+) Tank より流出するとき} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{z_r \mp \epsilon v^n}{l/g} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(22)$$

**28. Restricted Orifice Surge Tank.** 此の形式は *Differential surge tank* の *Riser* の無きものであるから其の微分方程式は前記のものと同全同一である。

併し此の形式は *Pressure* の變化が瞬間的に急激に起る結果 *Water hammer* が大きくなり、且つ *Governor* の働きの之れに伴はない缺點があ



註 茲に「加速」とは *Acceleration* 即ち *Down Surging* の場合にして「減速」とは *Retardation* 即ち *Up surging* の場合である。

$p$  = 収縮係数  $m$  が 1 なる時の *Port* の断面積

$p_0 = l$ , が 0, なるときの同上

$p_1 = l$ , が  $T$ , なるときの同上

$v$  = 水路内の流速にして負荷変化前の流速を  $v_1$ , とし負荷変化後最終の流速を  $v_2$ , とす

$Q$  = *Tank* より水圧管に流下する 1 秒間の水量

$C = Q/f$  負荷変化前の  $C$ , を  $C_1$ , とし負荷変化後の  $C$ , を  $C_2$ , とす, 依て  $C_1$ , は  $v_1$ , と一致し  $C_2$ , は  $v_2$ , と一致す

$Q_u$  = *Riser* より溢水する 1 秒間の水量

$C_u = Q_u/f$

$z$  = 水源池の水位を基準とせる *Riser* 内の水位にして下を (+), 上を (-), とす

$z_1$  = 水源池の水位を基準とせる *Tank* 内の水位にして下を (+), 上を (-), とす

$y$  = 負荷変化前の *Tank* 内の水位と  $t$  時間後の *Tank* 内の水位との差

$y_1 = t$  が  $T$ , なる時の  $y$ , 即ち假定に依り *Riser* 内に瞬間的に惹起さるる水位の變化量と同一である, 而して加速の場合を  $y_{1a}$ , とし減速の場合を  $y_{1r}$ , とす

$\log$  = 自然對數

$e$  = 自然對數の *Base*,

$\alpha$  = 加速の場合に於ける負荷變化率

$$\text{即ち } \alpha = \frac{C_2 - C_1}{C_2}$$

$$r = \frac{C_1}{C_2} = 1 - \alpha$$

**31. Stability Factor.** *Surging wave* の *Stability factor* とは *Riser* 内に瞬間的に起る水位の變化量即ち  $y_1$ , と負荷變化の前後に於ける摩擦水頭の變化量との比にして *Tank* の容積を定むる基準となるべき重要な要素である而して之れを  $K$ , を以て表はし加速の場合を  $K_a$ , とし減速の場合を  $K_r$ , とすれば

$$K_a = \frac{y_{1a}}{\epsilon(C_2^2 - C_1^2)}$$

$$K_r = \frac{y_{1r}}{\epsilon(C_1^2 - C_2^2)}$$

尙ほ公式を簡単に表はす爲めに次の符合を用ひる, 加速の場合

$$\epsilon Z = \sqrt{\epsilon z} \quad z = \epsilon C_1^2 + y_{1a}$$

$$X = \frac{Z}{C_2} = \sqrt{\frac{z}{\epsilon C_2^2}} = \sqrt{K_a(1-r^2) + r^2}$$

減速の場合の  $z$ , が (+) なるとき

$$\epsilon Z_1 = \sqrt{\epsilon z} \quad z = \epsilon C_1^2 - y_{1r}$$

減速の場合の  $z$ , が (-) なるとき

$$\epsilon Z_0 = \sqrt{-\epsilon z} \quad -z = y_{1r} - \epsilon C_1^2$$

**32. Acceleration 即ち Down Surging の場合.** 假定に依り *Surging wave* の基本公式の(1)は 0 となり

$$z = y_{1a} + \epsilon C_1^2 = \text{Constant}$$

又第四の假定に依り  $n=2$ , にして *Surging wave* の最初の 1/4 周波のみを考ふれば基本公式(2)は

$$\frac{dv}{dt} = \frac{z - \epsilon v^2}{l/g}$$

となる依て

$$dt = \frac{l}{g} \frac{dv}{z - \epsilon v^2} \dots \dots \dots (23)$$

茲で  $C_1$  が  $C_1$  から  $C_2$  に増加するものとする、而して上式の  $v$ , は最初  $v_1$  は即ち  $C_1$  であるから此の式を  $C_1$  から  $v$ , まで *Integrate* すれば  $v_1$  が  $v$ , になる迄に要する時間を表はす式を得即ち

$$t_a = \frac{l}{2g\epsilon Z} \log \frac{(Z-C_1)(Z+v)}{(Z+C_1)(Z-v)} \dots\dots\dots(24)$$

次に公式(23)の左右に  $fv$ , を乗じて *Integrate* すれば

$$f \int_0^{t_a} v dt = \frac{fl}{g} \int_{C_1}^v \frac{v dv}{z - \epsilon v^2}$$

となる此の式は  $t_a$ , 時間内に水路を流下する水量を表はすものである、而して一方  $t_a$ , 時間内に水車の方に引く水量は  $fC_2 t_a$  であるからその差は *Tank* から補給することになる之れを數學式で表はせば

$$fC_2 t_a - \frac{fl}{g} \int_{C_1}^v \frac{v dv}{z - \epsilon v^2} = y F_t$$

となる之れを *Integrate* して  $t_a$ , を公式(24)に依て置き換へ簡単にすれば

$$y = \frac{fl}{2g\epsilon F_t} \left\{ \frac{C_2}{Z} \log \frac{(Z-C_1)(Z+v)}{(Z+C_1)(Z-v)} - \log \frac{Z^2 - C_1^2}{Z^2 - v^2} \right\} \dots\dots\dots(25)$$

之れが *Tank* の水位降下と水路内の流速との關係を表はす一般式である而して  $F_t$ , が適當なる大きさを持つならば  $v=v_2=C_2$  となる時  $y=y_{1a}$ , であるから之れに依て  $F_t$ , を求むれば

$$F_t = \frac{fl}{2g\epsilon y_{1a}} \left\{ \frac{C_2}{Z} \log \frac{(Z-C_1)(Z+C_2)}{(Z+C_1)(Z-C_2)} - \log \frac{Z^2 - C_1^2}{Z^2 - C_2^2} \right\} \dots\dots\dots(26)$$

而して

$$T_a = \frac{l}{2g\epsilon Z} \log \frac{(Z-C_1)(Z+C_2)}{(Z+C_1)(Z-C_2)} \dots\dots\dots(27)$$

又公式(26)を *Stability Factor* の項で表はせば

$$F_t = \frac{fl}{2g\epsilon C_2^2 K_a (1-r^2)} \left\{ \frac{1}{X} \log \frac{(X-r)(X+1)}{(X+r)(X-1)} - \log \frac{K_a}{K_a-1} \right\} \dots\dots\dots(28)$$

(28)式は一見無用の様であるが後述の實際計算に當つて非常に便利なる圖表第十九圖を作るとき其他に種々都合の宜い事が多いのである、次に *Port* に働く *Head* を  $h_p$ , とすれば

$$h_p = y_{1a} - y = y_{1a} - \frac{fl}{2g\epsilon F_t} \left\{ \frac{C_2}{Z} \log \frac{(Z-C_1)(Z+v)}{(Z+C_1)(Z-v)} - \log \frac{Z^2 - C_1^2}{Z^2 - v^2} \right\}$$

で此の  $y_{1a}$ , に(26)式に依る  $y_{1a}$ , の値を代入して簡単にすれば

$$h_p = \frac{fl}{2g\epsilon F_t} \left\{ \frac{C_2}{Z} \log \frac{(Z-v)(Z+C_2)}{(Z+v)(Z-C_2)} - \log \frac{Z^2 - v^2}{Z^2 - C_2^2} \right\} \dots\dots\dots(29)$$

而して  $h_p$  によつて *Port* から出る水量は *Penstock* に對する補給水量であるから

$$p \sqrt{2gh_p} = f(C_2 - v)$$

依て

$$p = \frac{\sqrt{f(C_2 - v)}}{\sqrt{\frac{l}{\epsilon F_t} \left\{ \frac{C_2}{Z} \log \frac{(Z-v)(Z+C_2)}{(Z+v)(Z-C_2)} - \log \frac{Z^2 - v^2}{Z^2 - C_2^2} \right\}}} \dots\dots\dots(30)$$

が *Port* の斷面積に對する一般式である、而して *Surging* の初めに於ては  $v=C_1$  であるから

$$p_0 = \frac{f(C_2 - C_1)}{\sqrt{2gy_{1a}}} \dots\dots\dots(31)$$

にして 1/4 周波の時に於ては  $v=C_2$ ,  $y=y_{1a}$  なる故公式(30)は *Indeterminate* になるから分子と分母とを *Differentiate* して其の値を定むれば

$$p_1 = \left\{ \frac{f F_t y_{1a}}{l} \left( 1 - \frac{1}{K_a} \right) \right\}^{1/2} \dots\dots\dots(32)$$

となり  $p_1$  は常に  $p_0$  よりも小である。

次に  $K_a=1$ , なる時は  $Z=C_2$ , となる、此の場合は所謂 *Dead beat condition* であつて公式(24)は

$$t_a = \frac{l}{2g\epsilon C_2} \log \frac{(C_2 - C_1)(C_2 + v)}{(C_2 + C_1)(C_2 - v)} \dots\dots\dots(33)$$

となり  $v=C_2$  に至れば  $t_a=T_a$  となるのであるが公式(33)に依て  $T_a=\infty$ , 而して公式(25)は

$$y = \frac{fl}{g\epsilon F_t} \log \frac{C_2 + v}{C_2 + C_1} \dots\dots\dots(34)$$

依て

$$y_{1a} = \frac{fl}{g\epsilon F_t} \log \frac{2C_2}{C_2 + C_1} = \epsilon(C_2^2 - C_1^2)$$

之れに依て *Dead beat condition* となる場合の断面積を  $F_d$  とすれば

$$F_d = \frac{fl}{g\epsilon^2(C_2^2 - C_1^2)} \log \frac{2C_2}{C_2 + C_1} \dots\dots\dots(35)$$

又公式(30)は

$$p = \frac{\sqrt{f(C_2 - v)}}{\sqrt{\frac{2l}{F_t \epsilon} \log \frac{2C_2}{C_2 + v}}} \dots\dots\dots(36)$$

而して  $p_0$  は公式(31)の  $y_{1a}$  が  $\epsilon(C_2^2 - C_1^2)$  となる丈けで別に變化なく公式(32)は  $p_1 = 0$ , となる。

以上が *Port* の断面積に関する理論であるが實際問題としては *Port* の断面積を一定として公式(31)の與へる  $p_0$  を採用し *Tank* の断面積を算出されたものよりも少しく大き目にすれば普通の場合差支ないのである。

**33. Retardation 即ち Up Surging の場合.** 前項の場合と同様に基本公式(1)は 0, であつて

$$z = \epsilon C_1^2 - y_{1v} = \text{Constant}$$

而して此の場合  $dv/dt$  は減速度であるから基本公式(2)を變化すると

$$\begin{aligned} dt &= \frac{-\frac{l}{g} dv}{z - \epsilon v^2} \\ &= \frac{\frac{l}{g} dv}{-z + \epsilon v^2} \dots\dots\dots(37) \end{aligned}$$

茲で  $C$  が  $C_1$  から  $C_2$  に減少するものとする而して此の場合は  $y_{1v}$  が水源池の水位以下に止まるときと、以上に昇るときとに依て二つの解法がある。

**34.  $y_{1v}$  が水源地の水位に達せざる場合.** 此の場合は即ち  $z$  が (+) の時である。

$$t_r = \frac{l}{2g\epsilon Z_1} \log \frac{(C_1 - Z_1)(v + Z_1)}{(C_1 + Z_1)(v - Z_1)} \dots\dots\dots(38)$$

$$y = \frac{fl}{2g\epsilon F_t} \left\{ \log \frac{C_1^2 - Z_1^2}{v^2 - Z_1^2} - \frac{C_2}{Z_1} \log \frac{(C_1 - Z_1)(v + Z_1)}{(C_1 + Z_1)(v - Z_1)} \right\} \dots\dots\dots(39)$$

$$F_t = \frac{fl}{2g\epsilon y_{1v}} \left\{ \log \frac{C_1^2 - Z_1^2}{C_2^2 - Z_1^2} - \frac{C_2}{Z_1} \log \frac{(C_1 - Z_1)(C_2 + Z_1)}{(C_1 + Z_1)(C_2 - Z_1)} \right\} \dots\dots\dots(40)$$

**35.  $y_{1v}$  が丁度水源池の水位迄上昇する場合.** 即ち  $z = 0$ , の時にして此の場合は  $y_{1v} = \epsilon C_1^2$ ,  $Z_1 = 0$ , であるから

$$t_r = \frac{l}{g\epsilon} \cdot \frac{C_1 - v}{C_1 v} \dots\dots\dots(41)$$

$$y = \frac{fl}{g\epsilon F_t} \left\{ \log \frac{C_1}{v} - C_2 \frac{C_1 - v}{C_1 v} \right\} \dots\dots\dots(42)$$

$$F_t = \frac{fl}{g\epsilon^2 C_1^2} \left\{ \log \frac{C_1}{C_2} - \frac{C_1 - C_2}{C_1} \right\} \dots\dots\dots(43)$$

*Retardation* に関する此の所迄の研究は只數學的にのみ興味ある丈である、何故ならば實際としては全負荷を一時に切る場合が最大の *Surging* を起すのであるから之れが問題であつて部分負荷即ち *Partial load* を切る場合は考へる必要がないからである、従て *Port* の大きさは *Acceleration* に依て定めらるべき性質のものであつて *Retardation* の研究の方からは唯其の限度が吟味さるれば宜いのである、此の事は更に後に論述することにする。

**36. Dead Beat Condition の場合.** 次に *Dead beat condition* に對しては  $Z_1 = C_2$ , であるから公式(34)(35)と同様に

$$y = \frac{fl}{g\epsilon F_t} \log \frac{C_1 + C_2}{C_2 + v} \dots\dots\dots(44)$$

にして  $v = C_2$  のとき  $y = y_{1v}$  であるから

$$F_t = \frac{fl}{g\epsilon^2(C_1^2 - C_2^2)} \log \frac{C_1 + C_2}{2C_2} \dots\dots\dots(45)$$

又全負荷を切つた場合は  $C_2 = 0$ , 従つて

$$\frac{C_1 + C_2}{2C_2} = \infty$$

となるから  $F_t$  は無限大でない限り *Dead beat condition* にはならない、これを換言すれば全負荷を一時に切つた場合には *Surging* は常に水源池の *Level* 以上に上昇することになる。

37.  $y_{1r}$  が水源地の *Level* 以上に上昇する場合. 此の場合は即ち  $y_{1r} > \epsilon C_1^2$  なる時であつて之れが實際問題として普通に起る場合である 此の場合には最初の微分方程式即ち公式(37)

$$dt = \frac{\frac{l}{g} dv}{-z + \epsilon v^2}$$

の  $z$  が (-) であるから (- $z$ ) は (+) となり此の式の *Integration* は *log* ではなく  $tg^{-1}$  の形を取る。即ち

$$t_r = \frac{l}{g\epsilon Z_0} \left\{ tg^{-1} \frac{C_1}{Z_0} - tg^{-1} \frac{v}{Z_0} \right\} \dots\dots\dots(46)$$

$$y = \frac{fl}{2g\epsilon F_t} \left\{ \log \frac{C_1^2 + Z_0^2}{v^2 + Z_0^2} - \frac{2C_2}{Z_0} \left( tg^{-1} \frac{C_1}{Z_0} - tg^{-1} \frac{v}{Z_0} \right) \right\} \dots\dots\dots(47)$$

$$F_t = \frac{fl}{2g\epsilon y_{1r}} \left\{ \log \frac{C_1^2 + Z_0^2}{C_2^2 + Z_0^2} - \frac{2C_2}{Z_0} \left( tg^{-1} \frac{C_1}{Z_0} - tg^{-1} \frac{C_2}{Z_0} \right) \right\} \dots\dots\dots(48)$$

而して減速に對しては全負荷を一時に切る場合即ち  $C_2=0$ , なる場合が最も實際問題として必要なる場合である。此の場合は

$$y = \frac{fl}{2g\epsilon F_t} \cdot \log \frac{C_1^2 + Z_0^2}{v^2 + Z_0^2} \dots\dots\dots(49)$$

$$F_t = \frac{fl}{2g\epsilon y_{1r}} \cdot \log \frac{C_1^2 + Z_0^2}{Z_0^2} \dots\dots\dots(50)$$

而して  $K_r = y_{1r}/\epsilon C_1^2$ , であるから公式(50)を  $K_r$  の項で表はせば

$$F_t = \frac{fl}{2g\epsilon^2 C_1^2 K_r} \cdot \log \frac{K_r}{K_r - 1} \dots\dots\dots(51)$$

*Down surging* の方から  $F_t$  が定められた場合には  $K_r$ , 即ち  $y_{1r}$  は此の公式(51)から *Trial* で求める, 又逆に *Up surging* の方から  $F_t$  を定める場合には此の式の  $K_r$ , 即ち  $y_{1r}$  に適當の値を與ふれば宜しい。

而して  $t_r = T_r$ , のときの  $p_1$  は公式(32)と同様に

$$p_1 = \left\{ \frac{fF_t y_{1r}}{l} \left( 1 - \frac{1}{K_r} \right) \right\}^{1/2}$$

である, 而して  $y_{1r} = K_r \epsilon C_1^2$  なるが故に

$$p_1 = \left\{ \frac{fF_t K_r \epsilon C_1^2}{l} \left( 1 - \frac{1}{K_r} \right) \right\}^{1/2} \\ = C_1 \left\{ \frac{fF_t \epsilon}{l} (K_r - 1) \right\}^{1/2} \dots\dots\dots(52)$$

若し  $K_r$  を公式(51)から *Trial* で求める場合には其の値を此の式に入れて  $p_1$  を算出することが出来る *Down Surging* の定めた  $p_1$  は公式(52)から算出した  $p_1$  を超えては不可である, 何となれば *Down surging* の方から定めた  $p_1$  が公式(52)から算出したものよりも大なる場合には  $y_{1r}$  が 1/4 周波の内に昇り降りして多少の誤差を生ずる故である, 處が都合のよい事には *Down surging* の方は負荷の變化は *Up surging* の夫れよりも常に小さいから其の方から定めた  $p_1$  は公式(52)式から算出したものよりも常に小さいのが普通である, 此の事は本節30に定めた符號による  $2r$ , が

$$\epsilon C_2 \sqrt{\frac{2gF_t}{fl}} + \frac{1}{10} \dots\dots\dots(53)$$

よりも小ならざる限り常に事實である, 而して他の條件に變化なければ摩擦水頭が少なければ少い程負荷を増す場合の變化率が大きくとも之れに對する *Port area* が負荷を切る場合に相當する *Port area* を超過することは無い。

此の事は又  $\epsilon=0$ , なる場合には全負荷を掛けても切つても *Port area* は同一であると云ふことから見ても明瞭である, 但し公式(53)の 1/10 なる項は單に經驗上から決めたものである。

次に *Tank* の高さを定める  $C_1$  は最大負荷に對する  $C_1$ , よりは少しく大になることが有り得ると云ふ事を忘れてはならない。何故ならば負荷を掛けた場合 *Dead beat condition* で無い限り第二周波に於て水路

内の流速が最大負荷に相当する  $C_1$  を超過するものであるが此の時に負荷を切つた場合にさうなるのであつて此の事は圖計算に依て詳細に知ることが出来る。併し此の問題は水路の摩擦水頭の撰定とか水車の能率推定等の問題に比すれば到つて輕微な問題である。

以上の他に *Critical velocity* と云ふものがあるが此の方は前掲のものよりは寧ろ重要な問題である。

**38. Critical Velocity.** *Critical velocity* とは他の何れの  $v_1$  を遮斷したるときよりも之れを遮斷したるときが最も高き *Surging* を起す *Conduit velocity* のことであつて以下此の事に就て説述する。尤も此の *Critical velocity* が最大負荷に對する  $C_1$  よりも大なる場合は實際問題としては考へる必要が無いのであるが  $\epsilon$ , 又は  $l$ , が大なる場合には往々  $C_1$  よりも小なる流速を遮斷したるとき最高 *Surging* を起すことがある此のことは一見奇異の觀があるが事實は次の理由に基くのである。即ち

流速が最大なる時之れを遮斷すれば其の *Surging* の絶對値は勿論最大であるが同時に *Friction loss* も最大であるから負荷變化前の *Tank* 内の水位が低き標高に在る爲め *Surging* の頂點は比較的高き標高に昇らぬに反し、流速が前者に比し稍小なる時は *Friction loss* も従つて小であると同時に *Tank* 内の水位が高き標高に在るから之れを遮斷したる場合其の *Surging* の絶對値は勿論前者に比して小であるに拘はらず其の *Surging* の頂點は前者に比して高くなることゝ有るといふのである。

今水源池の水位以上の *Tank* の水位高さを  $d$ , とすれば始めの約束に依つて

$$d = \epsilon Z_0^2 \dots\dots\dots (54)$$

であるから  $Z_0$  の最大の時に  $d$  は最大である。依て  $Z_0$  が最大になる様な  $C_1$  を求める

公式(50)に於て

$$y_v = \epsilon(Z_0^2 + C_1^2)$$

と置けば

$$\frac{2g\epsilon^2 F_t}{fl} = \frac{\log(C_1^2 + Z_0^2) - 2 \log Z_0}{Z_0^2 + C_1^2}$$

此の式から  $dZ_0/dC_1 = 0$  なる時の  $C_1$  の値を求めれば此の  $C_1$  が  $d$  を最大にする之れを  $v_c$  とすれば

$$v_c = \frac{1}{\epsilon} \left\{ \frac{fl(e-1)}{2gF_t e} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (55)$$

但し  $e$ , は自然對數の *Base* であつて  $v_c$  は

$$\frac{1}{10\epsilon} \sqrt{\frac{fl}{F_t}} \dots\dots\dots (56)$$

より少しく小なる値である。

此の  $v_c$  が最大負荷に對する  $C_1$  よりも小なる場合には此の  $v_c$  を遮斷した時の *Surging* が  $C_1$  を遮斷した時の *Surging* よりも高くなるのである。

公式(50)に  $C_1 = v_c$ ,  $d = \epsilon Z_0^2$ ,  $y_v = d + \epsilon v_c^2$  を入れて解けば

$$d_{max} = \frac{fl}{2g\epsilon e F_t} \dots\dots\dots (57)$$

之れが  $F_t$  なる斷面積を有する *Tank* の所要最大高さである。而して茲に注意すべき事は  $\epsilon$ , は  $l$ , に正比例であるから此の式全體として  $l$ , に無關係であることである。

又  $v_c$  に對する  $p_1$  は公式 (52), (55), (57) から

$$p_1(\text{for } v_c) = \frac{f}{\sqrt{2g\epsilon e}} \dots\dots\dots (58)$$

又公式(52)より

$$p_1 = \sqrt{\frac{fF_t d}{l}} \dots\dots\dots (59)$$

**39. Surge Tank の大きさの概算用圖表.** 次に *Tank* の大きさに關する公式の相互の關係を表はした *Johnson* の圖表を掲げて應用計算の便に供する。

公式(28)及び(51)を變化すれば

$$\frac{2g\epsilon^2 C_2^2 F_l}{fl} = \frac{1}{K_a(1-r^2)} \left\{ \frac{1}{X} \log \frac{(X-r)(X+1)}{(X+r)(X-1)} - \log \frac{K_a}{K_a-1} \right\}$$

$$\frac{2g\epsilon^2 C_1^2 F_l}{fl} = \frac{1}{K_r} \log \frac{K_r}{K_r-1}$$

となる、此の二式の右邊は  $K_a$  と  $r$ 、又は  $K_r$  の函數であるから之れ等が一定である限り左邊も亦一定である、そこで

$$\left. \begin{aligned} \frac{2g\epsilon^2 C_2^2 F_l}{fl} &= \text{Constant} = N_a^2 \\ \frac{2g\epsilon^2 C_1^2 F_l}{fl} &= \text{Constant} = N_r^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(60)$$

とする。即ち負荷の變化率  $\alpha$ 、と *Stability factor*  $K$  とが一定ならば公式(60)の  $\epsilon$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $F_l$ 、 $f$ 、 $l$  の相互間に變化があつても其の値が  $N_a^2$ 、 $N_r^2$  には影響が無いと云ふことである。而して  $\epsilon$  は略ぼ  $1/f^{3/5}$  に比例するから公式(60)に之れを入れて不變數を省略すれば

$$\frac{C_2^2 l \cdot F_l}{f^{2.2}} = \text{Constant}$$

$$\frac{C_1^2 l \cdot F_l}{f^{2.2}} = \text{Constant}$$

となる。依て例へば  $l$  と  $F_l$  は互に逆比例を以て變化しても  $C_1$ 、 $C_2$  と  $f$  とが變らなければ公式(60)の値  $N_a$ 、 $N_r$  には變りがないのである。

此の關係に依て種々なる  $K_a$ 、及び  $\alpha$ 、即ち  $r$ 、又は  $K_r$  の値に對して  $N_a$ 、 $N_r$  を計算し之れを一つの圖表に作る而して加速の場合に於ける  $N_a$  の最大は  $C_1=0$  のときに *Full load* を掛けて *Dead beat condition* となつた場合であつて其の時の  $N_a$ 、及  $K_a$  は

$$\left. \begin{aligned} N_{a \max} &= \sqrt{\frac{2g\epsilon^2 C_2^2 F_l}{fl}} = \sqrt{2 \log 2} = 1.178 \\ K_a &= 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(61)$$

となり加速即 *Demanded load* に對する  $N_a$  は  $0 \sim 1.178$  及び  $K_a$  は  $\infty \sim 1$  で

ある。依て作圖の便宜上  $N_a$  の 100 倍を  $N_a'$  と名付け之れを縦軸とし  $1/K_a$  の 100 倍を  $K_a'$  と名付け之れを横軸として負荷の變化率  $\alpha$  の各の値に對して數本の曲線圖表を作る。

同様に  $N_r$  の最大は *Critical velocity* の時であつて其の時の  $N_r$ 、及び  $K_r$  は

$$\left. \begin{aligned} N_{r \max} &= \sqrt{\frac{2g\epsilon^2 C_1^2 F_l}{fl}} = \sqrt{\frac{e-1}{e}} = 0.796 \\ K_r &= \frac{e}{e-1} = 1.58 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(62)$$

となり減速に對する  $N_r$  は  $0 \sim 0.796$ 、 $K_r$  は  $\infty \sim 1.58$  である依て作圖の便宜上  $N_r$  の 100 倍  $N_r'$  を縦軸とし  $1/K_r$  の 100 倍  $K_r'$  を横軸として圖表を作る。但し減速の方は負荷の一部を斷つた場合は考慮する必要がないから圖表は全負荷を斷つた場合のみの 1 曲線だけである。

## 第十節 概算用圖表を用ひて Surge Tank の設計

### 40. Acceleration 即ち Down Surging の場合.

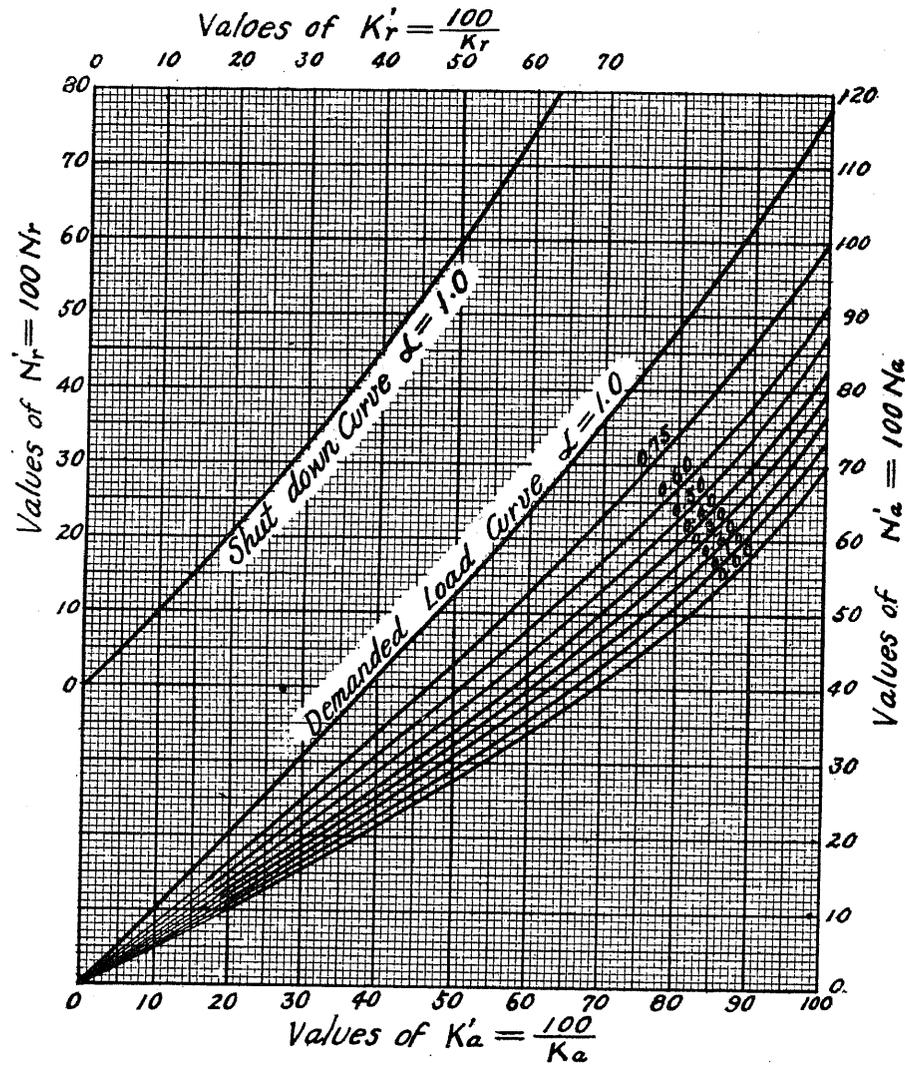
- (1) 先づ最小有效落差の時最大出力に對する水量  $Q$ 、及び之れに相當する水路内流速  $v$ 、即ち  $C_2$  を算出する。
  - (2) 次に  $v_2$  に對する水路内の摩擦水頭  $h_a$  を安全の爲め大きい摩擦係數を用ひて算出する。
- 以上二段の計算は相關連して居るから *Trial* で定める必要がある。
- (3) 次の式に依て  $\epsilon$  を算出する、

$$\epsilon = \frac{h_a}{v_2^2}$$

- (4) 分式(60)に依て  $F_l$  を  $N_a'$ 、即  $100N_a$  の *Term* にて表はす、

第十九圖

Differential Surge tank Diagram.



$$F_r = \left( \frac{N_a'}{100\epsilon C_2 \sqrt{\frac{2g}{fl}}} \right)^2 \dots\dots\dots (63)$$

(5)  $v_1$  を推定して負荷の變化率  $\alpha$ , を算出する,

$$\alpha = \frac{C_2 - C_1}{C_2} \dots\dots\dots (64)$$

(6)  $y_{1a}$  を與へられたるときは

$$K_a' = \frac{100}{K_a} = \frac{100\epsilon(C_2^2 - C_1^2)}{y_{1a}} \dots\dots\dots (65)$$

なる式に依て  $K_a'$  を算出する。

(7) 此の  $K_a'$  及  $\alpha$ , に相當する  $N_a'$  を第十九圖の圖表に依て求め之れを分式(63)に入れて  $F_r$  を算出する。

(8) 水源池の最低水位を基準とする Tank の最低水位は

$$z = \epsilon C_1^2 + y_{1a} \dots\dots\dots (66)$$

である。

(9) Tank の直徑は

$$D = \sqrt{\frac{F_r + f_r}{0.785}} \dots\dots\dots (67)$$

である。但し  $f_r$  は Riser の斷面積。

(10) 又  $F_r$  が與へられた場合には公式(63)より

$$N_a' = 100\epsilon C_2 \sqrt{\frac{2gF_r}{fl}}$$

なる式に依て  $N_a'$  を算出し之れに相當する  $K_a'$  を圖表に依て求め之れを

$$y_{1a} = \frac{100\epsilon(C_2^2 - C_1^2)}{K_a'}$$

なる式に入れて  $y_{1a}$  を算出する。

41. Retardation 即ち Up Surging の場合.

(1) 先づ最大有効落差の時の最大出力に對する水量  $Q$ , 及び之れに相當する水路内の流速  $v_1$ , 即ち  $C_1$ , を算出する。

(2) 次に  $v_1$  に對する水路内の摩擦水頭  $h_r$ , を安全の爲め小さい摩擦係數を用ひて算出する。

(3) 次の式に依て  $\epsilon$ , を算出する

$$\epsilon = \frac{h_r}{v_1^2}$$

(4)  $F_t$  が與へられたる時は次の式に依て  $N_r'$ , 即ち  $100N_r$ , を算出する.

$$N_r' = 100\epsilon C_1 \sqrt{\frac{2gF_t}{fl}} \dots\dots\dots(68)$$

(5) 圖表に依り上記の  $N_r'$  に相當する  $K_r'$ , 即  $100/K_r$  を求め

$$y_{1v} = \frac{100\epsilon C_1^2}{K_r'} \dots\dots\dots(69)$$

なる式に依て  $y_{1v}$  を算出する.

(6) 水源池の最高水位を標準とする Tank の最高水位は

$$z = \epsilon C_1^2 - y_{1v} \dots\dots\dots(70)$$

である.

(7) 又  $y_{1v}$  が與へられたるときは

$$K_r' = \frac{100\epsilon C_1^2}{y_{1v}}$$

なる式に依て  $K_r'$  を算出し之れに相當する  $N_r'$  を圖表に依て求め之れを

$$F_t = \left( \frac{N_r'}{100\epsilon C_1 \sqrt{\frac{2g}{fl}}} \right)^2$$

なる式に入れて  $F_t$  を算出する.

**42. 始動安定の條件.** 微小なる負荷の變化に對する始動安定の條件を *Incipient stability* と云ふ. 此の條件を満足する爲めには *D. T. Thoma*, の研究に依れば Tank の斷面積は次の式に示すものよりも小ならざることが必要である.

$$F_{t \min} = \frac{fl}{2g\epsilon H} \dots\dots\dots(71)$$

之れを Tank の直徑の Term で表はせば

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{f_r = \frac{fl}{2g\epsilon H}}{0.785}} \dots\dots\dots(72)$$

但し  $f_r$  は *Riser* の斷面積

$\epsilon$  は *Retardation* 即ち *Up surging* に用ひたるもの即ち

$$\epsilon = h_r/v_i^2$$

$H$  は *Full load* のときの最小有効落差.

公式 (71), (72) は水車の能率を *Constant* としての理論的公式であつて *R. D. Johnson* に依れば水車の能率曲線が下り坂のときには前式は今少しく大きい事が必要である. 併し水車の能率曲線は始めに於ては不明であるから大體に於て *Differential tank* の場合には 25%, 又 *Simple tank* の場合には 40%, を公式 (72), に加へたるものを Tank の最小直徑とすれば安全である.

**43. Critical Velocity に関する驗算.** *Critical velocity* は公式(56)に依て

$$v_c = \frac{1}{10\epsilon} \sqrt{\frac{fl}{F_t}}$$

之れを Tank の直徑の Term で表はせば

$$v_c = \frac{1}{10\epsilon} \sqrt{\frac{fl}{0.785D^2 - f_r}} \dots\dots\dots(73)$$

但し  $\epsilon$  は *Retardation* の計算に用ひたるもの

*Critical velocity* は *Full load velocity*  $v_1$ , より大なる場合と小なる場合とがある. 大なる場合は之れを考慮する必要のないこと勿論であるが唯小なる場合又は極めて僅かに大なる場合は *Critical velocity*  $v_c$ , を用ひて *Up surging* の最高値を定める必要がある.

### 第十一節 計算實例

前節に述べた方法に依る *Differential surge tank* の設計に關する計算實例を次に記載する.

**44. Acceleration 即ち Down surging の場合.**

(1)  $Q = 292 \text{ sec-ft.}$

$$v_2 = C_2 = 6.60 \text{ ft/sec.}$$

$$(2) h_a = 18.4 \text{ ft.}$$

$$(3) \epsilon = 18.4 / \sqrt{6.6^2} = 0.422.$$

$$(4) f = 44.18 \text{ ft}^2$$

$$l = 12,800 \text{ ft}$$

公式(63)により

$$F_l = \left( \frac{N_a'}{100 \times 0.422 \times 6.6 \sqrt{\frac{2 \times 32.2}{44.18 \times 12,800}}} \right)^2$$

$$= \left( \frac{N_a'}{2.98} \right)^2$$

(5) 負荷の變化は 219 sec-ft. ~ 292 sec-ft. とす依て

$$C_1 = 4.95 \text{ ft/sec.} \quad C_2 = 6.6 \text{ ft/sec.}$$

公式(64)に依り

$$\alpha = \frac{6.6 - 4.95}{6.6} = \frac{1.65}{6.6}$$

$$= 0.25$$

(6) 公式(65)により

$$K_a' = \frac{100 \times 0.422 (6.6^2 - 4.95^2)}{y_{1a}}$$

$$= \frac{810}{y_{1a}}$$

(7)  $y_{1a}$  を 8.1, 10.0, 15.0, 20.0 等と假定す.

(8) 公式(66)に依り

$$z = \epsilon C_1^2 + y_{1a} = 0.422 \times 4.95^2 + y_{1a}$$

$$= 10.34 + y_{1a}$$

(9) 公式(67)に依り

$$D = \sqrt{\frac{F_l + f_r}{0.785}} = \sqrt{\frac{F_l + 44.18}{0.785}}$$

但し  $f_r = f = 44.18 \text{ ft}^2$  とす.

第二表 各種の  $y_{1a}$  に對する主要數値

Max. surging	$y_{1a}$	8.1	10.0	15.0	20.0
公式(65)に依て	$K_a'$	100.0	81.0	54.0	40.5
公式(64)に依り	$\alpha$	0.25	〃	〃	〃
圖表に依り	$N_a'$	78.0	56.0	34.5	25.0
公式(63)に依り	$F_l$	685.0	353.0	134.0	70.4
公式(66)に依り	$z$	18.44	20.34	25.34	30.34
公式(67)に依り	$D$	30.5	22.5	15.1	12.1

#### 45. Retardation 即ち Up Surging の場合.

$$(1) Q = 304 \text{ sec-ft.}$$

$$v_1 = C_1 = 6.87 \text{ ft/sec.}$$

$$(2) h_r = 14.0 \text{ ft.}$$

$$(3) \epsilon = 14.0 / \sqrt{6.87^2} = 0.296$$

$$(4) f = 44.18 \text{ ft}^2$$

$$l = 12,800 \text{ ft.}$$

公式(68)に依り

$$N_r' = \left( 100 \times 0.296 \times 6.87 \sqrt{\frac{2 \times 32.2}{44.18 \times 12,800}} \right) \sqrt{F_l}$$

$$= 2.17 \sqrt{F_l}$$

(5) 公式(69)に依り

$$y_{1r} = \frac{100 \times 0.296 \times 6.87^2}{K_r'}$$

$$= \frac{14.00}{K_r'}$$

(6)  $F_l$  を 1,360, 900, 700, 300, 160 等と假定する.

(7) 公式(70)に依り

$$z = \epsilon C_1^2 - y_{1r}$$

$$= 0.296 \times 6.87^2 - y_{1r}$$

$$= 14.0 - y_{1r}$$

(8) 公式(67)に依り

$$D = \sqrt{\frac{F_t + 44.18}{0.785}}$$

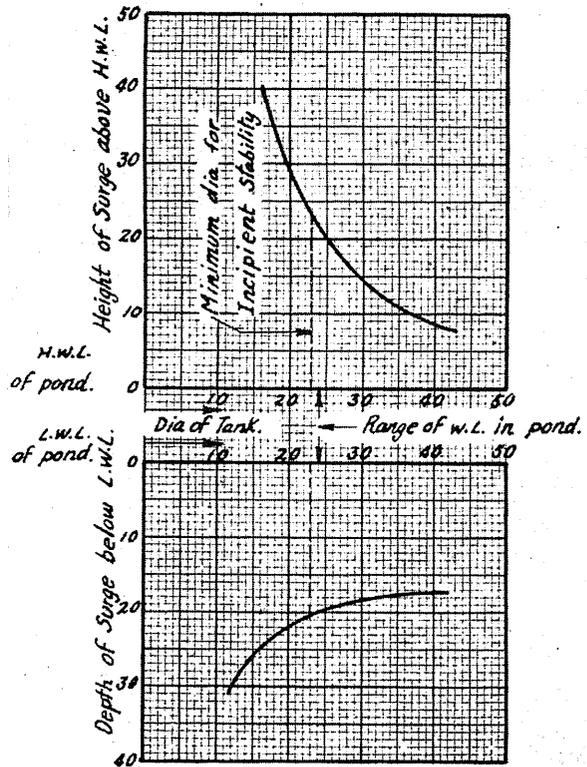
但し  $f_t = f$  とす。

第三表 各種の  $F_t$  に対する主要数値

Tank の断面積	$F_t$	1,360.0	900.0	700.0	300.0	160.0
公式(68)に依て	$N_r'$	80.0	65.1	57.3	37.5	27.5
圖表に "	$K_r'$	63.5	55.0	48.5	34.0	25.5
公式(69) "	$y_{1r}$	22.0	25.5	28.9	41.2	54.8
公式(70) "	$z$	-8.0	-11.5	-14.9	-27.2	-40.8
公式(67) "	$D$	42.9	34.7	30.8	21.0	16.1

以上の結果を Diagram にすれば第二十圖となる。

第二十圖



46. 始動安定の條件.

$$f = f_s = 44.18 \text{ } \square \text{ } ^2$$

$$l = 12.800 \text{ } ^2$$

$$H = 150 \text{ } ^2$$

$$\epsilon = 0.296$$

とすれば公式(72)に依て

$$D_{min} = \sqrt{\frac{44.18 + \frac{44.18 \times 12,800}{2 \times 32.2 \times 0.296 \times 150}}{0.785}} = 17.6 \text{ } ^2$$

而して此の場合は *Differential tank* であるから之れに 25% を加へたるもの即ち

$$D = 17.6 \times 1.25 = 22.0 \text{ } ^2$$

が Tank の許され得る最小直径である。

47. Critical Velocity に関する驗算. 公式(27)に依て

$$v_c = \frac{1}{10 \times 0.296} \sqrt{\frac{44.18 \times 12,800}{0.785 D^2 - 44.18}}$$

$$= \sqrt{\frac{82,300}{D^2 - 56.3}}$$

第四表 各種の  $D$  に対する  $v_c$  の値

$D$	25.0'	35.0'	42.4'	45.0'
$v_c$	12'.03	8'.40	6'.87	6'.47

本計算に使用したる  $v_c$  は 6.87 ft/sec, であるから直径  $D$ , が 42.4 ft. 以下の Tank を採用するならば以上の計算は訂正を要しないが若し夫れ以上の大なる Tank を採用するならば *Up-surging* の計算に對しては *Critical velocity* を使用せなければならぬ。例へば直径 45.0 ft の Tank を採用する場合には *Up-surging* の計算に於ては  $v_c = 6.87$  の代りに  $v_c = 6.47$  を用ひた時が最大の *Surging* を示すのである。

今假に直径 30.0 ft. の Tank を採用したとすれば其の高さは水源池の

最高水位上 15.5ft, を要し其の最低水面下 18.5ft, を要すること第二十圖に知らるる通りである。而して水源池水位の最高最低差を 19.5ft とすれば

$$\begin{aligned} \text{Tank の高さ} &= 15.5 + 18.5 + 19.5 \\ &= 53.5 \text{ft,} \end{aligned}$$

を要することになる。

但し實際の設計に於ては以上算出された高さの上下に構造上相當の餘裕を附すべきは勿論である。

### 第十二節 圖計算

48. 圖計算と解析的解法との異なる點. 圖計算の方法と Johnson の解析的解法との異なる點は二點である。

- (1) Riser の斷面積は解析的解法に於ては 0, として取扱ふけれども圖計算に於ては  $f_r = f \sim 3/4f$ , なる實値を用ひる。
- (2) Riser の水位は解析的解法に於ては瞬間的に上昇し又は降下すべき Riser の水位を Quarter cycle の間一定に保つ様 Port の斷面積が, 自由に變化するといふ假定を設くるのであるが圖計算に於ては實際問題に合する様 Port の斷面積を一定とす。従つて Riser の水位は多少變移するものとする。

之等は何れも圖計算の方が實際の設計に一致することは勿論であつて夫れだけ精密なる結果を得られることは云ふ迄もない。

49. 圖計算の適用公式. 圖計算に用ゆる計算式は公式 (18), (19), (20), (21) である。又略算ならば公式 (22), を用ひて差支ないのである。對照上の便宜の爲め之等適用公式を再録する。

$$\frac{dz_r}{dt} = \frac{C + C_t - v}{f_r f}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= \frac{z_r \mp \epsilon v^n}{l/g} \\ \frac{dz_t}{dt} &= \frac{C_u - C_t}{F_t/f} \\ C_t &= \frac{\gamma}{f} \sqrt{z_t - z_r} \dots \text{Tank に流入する時} \\ \text{或は} &= \frac{-\gamma}{f} \sqrt{z_r - z_t} \dots \text{Tank より流出する時} \end{aligned} \right\} \dots (18)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz_r}{dt} &= \frac{C + C_t + C_{ur} - v}{f_r f} \\ \frac{dz_t}{dt} &= \frac{C_u - C_{ur} - C_t}{F_t/f} \\ C_{ur} &= \frac{\delta}{f} (a - z_r)^{3/2} \end{aligned} \right\} \dots (19)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz_t}{dt} &= \frac{C + C_u - v}{(F_t + f_r)/f} \\ C_t &= \frac{F_t(v - C)}{F_t + f_r} \\ z_r &= z_t \mp \left( \frac{f}{\gamma} C_t \right)^2 \\ &(-) \text{ Tank に流入するとき} \\ &(+) \text{ Tank より流出するとき} \end{aligned} \right\} \dots (20)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz_t}{dt} &= \frac{C + C_u - v}{F_t/f} \\ z_r &= a - \left( \frac{f}{\delta} C_{ur} \right)^{2/3} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{z_r \mp \epsilon v^n}{l/g} \\ C_{ur} &= v - C - \frac{\gamma}{f} \sqrt{z_t - z_r} \end{aligned} \right\} \dots (21)$$

50. 構造に関する数値. 圖計算の實例には前節に掲げたものを其儘採用する.

$$l = 12,800 \text{ ft}$$

$$f = 44.18 \text{ ft}$$

$$F_t = 674.0 \text{ ft}$$

$$f_r = 33.18 \text{ ft}$$

$$\frac{F_t}{f} = \frac{674.0}{44.18} = 15.25$$

$$\frac{f_r}{f} = \frac{33.18}{44.18} = 0.75$$

$$\frac{F_t + f_r}{f} = \frac{707.18}{44.18} = 16.0$$

$$\frac{l}{g} = \frac{12,800}{32.2} = 398.0$$

$$\gamma = \frac{f(v_2 - v_1)}{\sqrt{y_{1a}}} = \frac{44.18(6.6 - 4.95)}{\sqrt{8.1}} = 25.5$$

$$\frac{\gamma}{f} = 0.587$$

$$\frac{f}{\gamma} = 1.73$$

Dia. of Conduit = 7.5 ft

,, ,, Tank = 30.0 ft

,, ,, Riser = 6.5 ft

51. Down Surging に関する数値.

負荷の變化に要する時間 = 1.0 秒

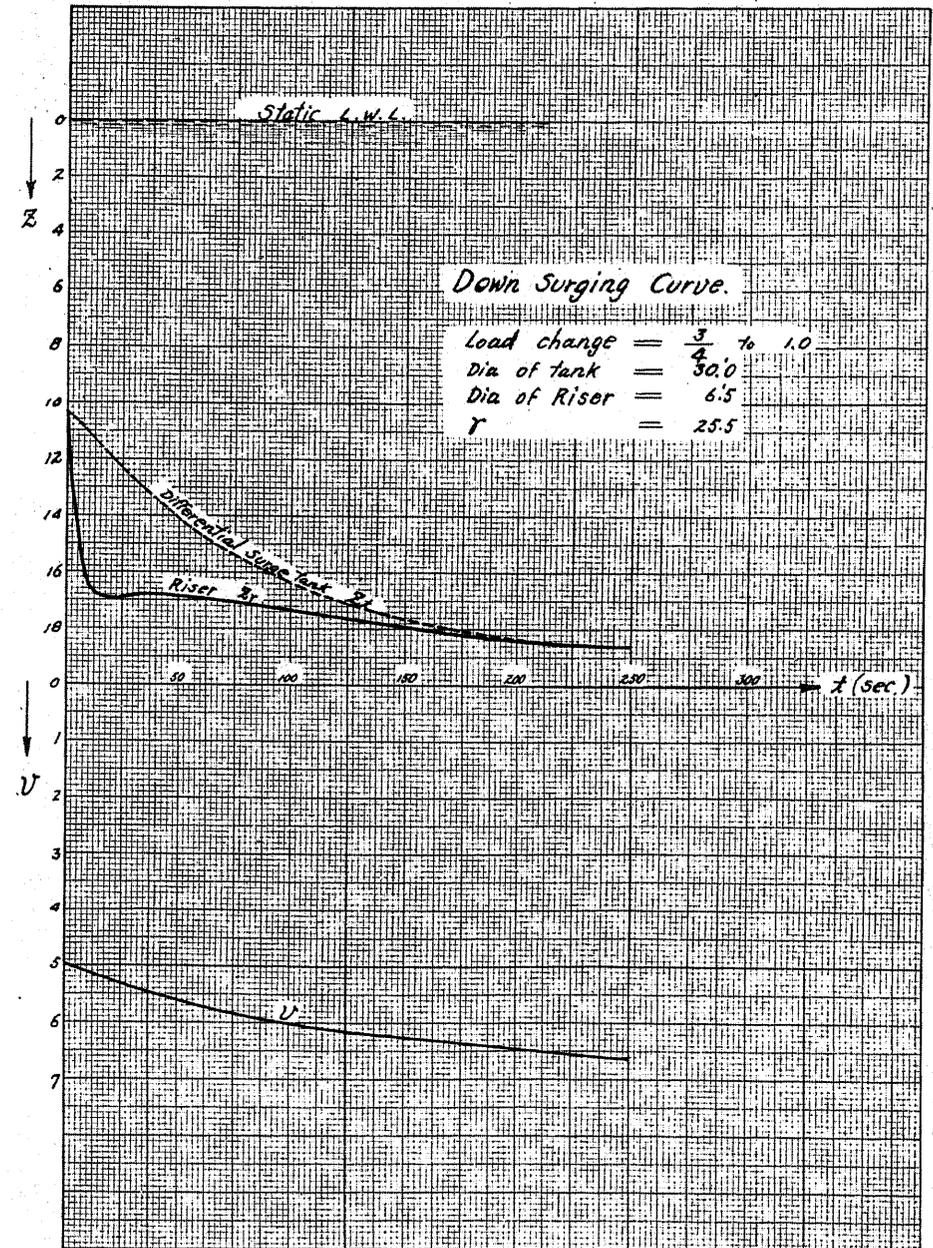
$$\text{Primary} \begin{cases} v = 4.95 \text{ ft/sec} \\ C = 4.95 \text{ to } 6.60 \text{ ft/sec} \\ C_t = 0 \\ z_r = z_t = 10.34 \text{ ft} \end{cases}$$

$$\text{Final} \begin{cases} v = 6.60 \text{ ft/sec} \\ z_r = z_t = 18.44 \text{ ft} \end{cases}$$

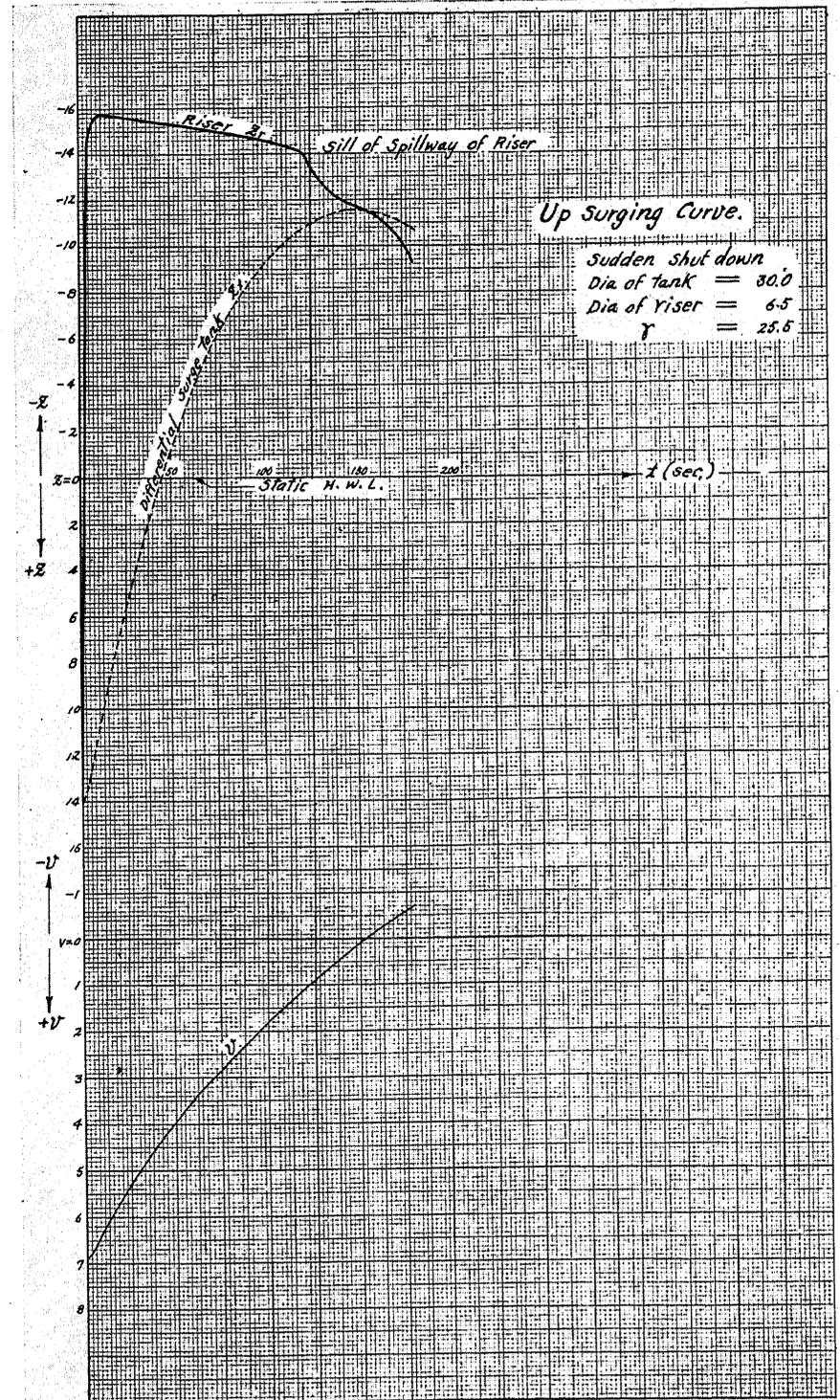
$$\epsilon = 0.422$$

$$C_{it} = 0$$

第二十一圖



第二十二圖



第 五 表

(I) Point	(II) Time	(III)					(IV)		
		$\frac{dz_r}{dt} = \frac{C+C_u-v}{f_r lf}$					$\frac{dv}{dt} = \frac{z_r \mp \epsilon v^2}{l/g}$		
		C	C <sub>t</sub>	v	C+C <sub>u</sub> -v	f <sub>r</sub> lf	z <sub>r</sub>	εv <sup>2</sup>	z <sub>r</sub> ∓εv <sup>2</sup>
0	0	4.95	0	4.95	0	0.75	10.34	10.34	0
	1.25	6.60	0	∥	1.65		13.04	∥	2.7
1	2.50	∥	-0.94	4.97	0.69		12.64	∥	2.3
	3.75	∥	-0.84	4.98	0.78		13.94	10.50	3.44
2	5.00	∥	-1.06	4.99	0.55		14.49	∥	3.99
	6.25	∥	-1.12	5.01	0.47		15.24	10.60	4.64
3	7.50	∥	-1.22	5.02	0.36		15.69	∥	5.09
	8.75	∥	-1.28	5.04	0.28		16.16	10.70	5.46
4	10.00	∥	-1.32	5.05	0.23		16.46	10.80	5.66

(I')	(II')	(V')				(VI')		(VII')		(IV')			
Point	Time	$\frac{dz_t}{dt} = \frac{C-v}{(F_t+f_r)lf}$				$C_t = \frac{F_t(v-C)}{F_t+f_r}$		$z_r = z_t \mp \left(\frac{f}{\gamma} C_t\right)^2$		$\frac{dv}{dt} = \frac{z_r \mp \epsilon v^2}{l/g}$			
		C	v	C-v	$\frac{F_t+f_r}{f}$	v-C	C <sub>t</sub>	z <sub>t</sub>	$\left(\frac{f}{\gamma} C_t\right)^2$	z <sub>r</sub>	εv <sup>2</sup>	z <sub>r</sub> ∓εv <sup>2</sup>	l/g
4	10	6.60	5.06	1.55	16.0	-1.55	-1.32	11.03	5.38	16.46	10.80	5.66	398.0
	15	∥	5.13	1.47		-1.47	-1.40	11.50	5.80	17.30	11.10	6.20	
5	20	∥	5.25	1.35		-1.35	-1.30	11.90	5.00	16.90	11.15	5.75	
	25	∥	5.30	1.30		-1.30	-1.25	12.35	4.65	17.00	11.80	5.20	
6	30	∥	5.37	1.23		-1.23	-1.17	12.70	4.10	16.80	12.10	4.70	
	35	∥	5.45	1.15		-1.15	-1.10	13.05	3.60	16.65	12.50	4.15	
7	40	∥	5.50	1.10		-1.10	-1.05	13.40	3.30	16.70	12.70	4.00	
	45	∥	5.55	1.05		-1.05	-1.00	13.75	3.00	16.75	13.00	3.75	
8	50	∥	5.60	1.00		-1.00	-0.95	14.10	2.75	16.85	13.20	3.65	

52. Down Surging に関する Surging Wave の圖計算實演の結果. 第二十一圖及第五表が圖計算實演の成果であつて作圖の徑路は一目瞭然であるが尙計算表に就て説明を加へることにする.

- 欄 (I) (II) 及 (I') (II') は第十一圖を参照せられたい
- ∥ (III) は公式(18)の第1式に依る
- ∥ (IV) は ∥ ∥ の第2式に於て n=2
- ∥ (V) は ∥ ∥ の第3式に依る
- ∥ (VI) は ∥ ∥ の第4,第5式を合したのである
- ∥ (V') は ∥ (20)の第1式に於て C<sub>uv</sub>=0

表

l/g	(V)				(VI)			
	$\frac{dz_t}{dt} = \frac{C_u-C_t}{F_t lf}$				$C_t = \pm \frac{\gamma}{f} \sqrt{z_t - z_r}$			
	C <sub>u</sub>	C <sub>t</sub>	C <sub>u</sub> -C <sub>t</sub>	F <sub>t</sub> lf	z <sub>t</sub>	z <sub>r</sub>	z <sub>t</sub> -z <sub>r</sub>	γlf
398.0	0	0	0	15.25	10.34	10.34	0	0.58
	0	0	0		∥	13.04	2.70	
	0	-0.94	0.94		10.49	12.64	2.15	
	0	-0.84	0.84		10.56	13.94	3.38	
	0	-1.06	1.06		10.66	14.49	3.83	
	0	-1.12	1.12		10.75	15.24	4.49	
	0	-1.22	1.22		10.86	15.69	4.83	
	0	-1.28	1.28		10.96	16.16	5.20	
	0	-1.32	1.32		11.08	16.46	5.38	

欄 (VI) は公式(20)の第2式に依る  
 ∥ (VII) は ∥ ∥ の第3式に ∥  
 ∥ (IV) は ∥ ∥ の第4式に於て n=2

53. Up Surging に関する數値.

負荷を切るに要する時間=2.0 sec

$$\text{Primary} \left\{ \begin{array}{l} v=6.87 \text{ ft-sec} \\ C=6.87 \text{ ft-sec to } 0 \\ C_t=0 \text{ to } 6.87 \text{ ft-sec} \\ z_t=z_r=14.0 \text{ ft} \end{array} \right.$$
  

$$\text{Final} \left\{ \begin{array}{l} v=0 \\ C=0 \\ z_t=z_r=0 \end{array} \right.$$

ε=0.296

C<sub>u</sub>=0

54. Up Surging に関する Surging wave の圖計算實演の結果. 第二十二圖及第六表が圖計算實演の成果である之れに對し前同様説明を加へる.

欄 (III) は公式(19)の第1式に依る

第六

(I)		(II)		(III)					(IV)			
Point	Time	$\frac{dz_r}{dt} = \frac{C + C_{ur} + C_l - v}{f_r l f}$					$\frac{dv}{dt} = \frac{z_r \mp \epsilon v^2}{l/g}$					
		C	C <sub>ur</sub>	C <sub>l</sub>	v	$\frac{C + C_{ur}}{C_l - v}$	f <sub>r</sub> l f	z <sub>r</sub>	ε v <sup>2</sup>	z <sub>r</sub> ∓ ε v <sup>2</sup>	l/g	
0	0	6.87	0	0	6.87	0	0.75	14.00	14.00	0	398.0	
	1.25	0	0	0	∥	-6.87		2.55	∥	-11.45		
1	2.50	0	0	1.96	6.80	-4.84		-2.10	13.70	-15.80		
	3.75	0	0	2.30	6.70	-4.40		-9.45	13.30	-22.75		
2	5.00	0	0	2.98	6.65	-3.67		-14.00	13.10	-27.10		
	5.25	0	0	3.04	6.63	-3.57		-15.20	∥	-28.54		
3	5.50	0	2.05	3.09	6.61	-1.47		-14.97	13.00	-27.97		
6	7.00	0	3.28	3.09	6.49	-0.12		-15.29	12.50	-27.79		
	7.25	0	2.26	3.05	6.47	-1.16		-15.66	12.35	-28.01		
7	7.50	0	3.25	3.07	6.45	-0.13		-15.37	12.30	-27.67		

(I)'	(II)'	(V)'	(III)'	(VII)'				(IV)'						
Point	Time	$\frac{dz_l}{dt} = \frac{-v}{F_l l f}$		$z_r = a_r - \left(\frac{f}{\delta} C_{ur}\right)^{\frac{2}{3}}$		$C_{ur} = v - \frac{\gamma}{f} \sqrt{z_l - z_r}$				$\frac{dv}{dt} = \frac{z_r \mp \epsilon v^2}{l/g}$				
		-v	F <sub>l</sub> l f	a <sub>r</sub>	$\left(\frac{f}{\delta} C_{ur}\right)^{\frac{2}{3}}$	v	z <sub>l</sub>	z <sub>r</sub>	$\frac{\gamma}{f} \sqrt{z_l - z_r}$	C <sub>ur</sub>	z <sub>r</sub>	ε v <sup>2</sup>	z <sub>r</sub> ∓ ε v <sup>2</sup>	l/g
7	7.50	-6.45	15.25	-14.00	1.37	6.45	12.20	-15.37	3.04	3.41	-15.37	12.30	-27.67	398
	8.75	-6.36		∥	1.69	6.36	11.70	-15.69	3.03	3.33	-15.69	12.00	-27.69	
8	10.00	-6.28		∥	1.67	6.28	11.20	-15.67	3.00	3.28	-15.67	11.60	-27.27	
	15.00	-5.90		∥	1.66	5.90	9.30	-15.66	2.90	3.00	-15.66	10.30	-25.96	
9	20.00	-5.60		∥	1.56	5.60	7.60	-15.56	2.80	2.80	-15.56	9.30	-24.86	
18	115.0	-1.24		-14.00	0.22	1.24	-10.54	-14.22	1.10	0.14	-14.22	0.45	-14.67	
	117.5	-1.15		∥	0.16	1.15	-10.72	-14.16	1.08	0.07	-14.16	0.40	-14.56	
19	120.0	-1.06		∥	0.08	1.06	-10.90	-14.08	1.06	0	-14.08	0.35	-14.43	

(I)''	(II)''	(V)''	(VI)''	(III)''	(IV)''						
Point	Time	$\frac{dz_l}{dt} = \frac{-v}{(F_l + F_r) l f}$		$C_l = \frac{F_l v}{F_l + F_r}$		$z_r = z_l \mp \left(\frac{f}{\gamma} C_l\right)^2$		$\frac{dv}{dt} = \frac{z_r \mp \epsilon v^2}{l/g}$			
		-v	$\frac{F_l + F_r}{f}$	v	C <sub>l</sub>	z <sub>l</sub>	$\left(\frac{f}{\gamma} C_l\right)^2$	z <sub>r</sub>	ε v <sup>2</sup>	z <sub>r</sub> ∓ ε v <sup>2</sup>	l/g
19	120	-1.06	16.0	1.06	1.00	-10.90	3.10	-14.00	0.35	-14.35	398.0
	125	-0.85		0.85	0.80	-11.10	2.00	-13.10	0.20	-13.30	
20	130	-0.70		0.70	0.68	-11.25	1.35	-12.60	0.15	-12.75	
	135	-0.55		0.55	0.55	-11.40	0.90	-12.30	0.10	-12.40	
21	140	-0.40		0.40	0.40	-11.50	0.50	-12.00	0.05	-12.05	

欄 (IV) は公式 (20) の第 4 式に於て n=2

∥ (V) は ∥ (19) の第 2 式に ∥

∥ (VI) は ∥ (18) の第 4, 第 5 式を合したものである

表

(V)				(VI)				(VII)		
$\frac{dz_l}{dt} = \frac{C_u - C_{ur} - C_l}{F_l l f}$				$C_l = \pm \frac{\gamma}{f} \sqrt{z_l - z_r}$				$C_{ur} = \frac{\delta}{f} (a - z_r)^{\frac{3}{2}}$		
C <sub>ur</sub>	C <sub>l</sub>	-C <sub>ur</sub> - C <sub>l</sub>	F <sub>l</sub> l f	z <sub>l</sub>	z <sub>r</sub>	z <sub>l</sub> - z <sub>r</sub>	γ/f	a	a - z <sub>r</sub>	δ/f
0	0	0	15.25	14.00	14.00	0	0.58	-14.00	∥	1.54
0	0	0		∥	2.55	11.45		∥	∥	
0	1.96	-1.96		13.68	-2.10	15.78		∥	∥	
0	2.30	-2.30		13.50	-9.45	22.95		∥	∥	
0	2.98	-2.98		13.19	-14.00	27.19		∥	∥	
0	3.04	-3.04		13.16	-15.20	28.36		∥	-1.20	
2.05	3.09	-5.14		13.02	-14.97	27.99		∥	0.97	
3.28	3.09	-6.37		12.41	-15.29	27.70		∥	-1.29	
2.26	3.05	-5.31		12.32	-15.66	27.98		∥	-1.66	
3.25	3.07	-6.32		12.20	-15.37	27.56		∥	-1.37	

欄 (VII) は公式 (19) の第 3 式に依る

∥ (V)' は ∥ (21) の第 1 式に於て C=0, C<sub>u</sub>=0

∥ (III)' は ∥ ∥ の第 2 式に依る

∥ (VII)' は ∥ ∥ の第 4 式に於て C=0

∥ (IV)' は ∥ ∥ の第 3 式 ∥ n=2

∥ (V)'' は ∥ (20) の第 1 式 ∥ C<sub>u</sub>=0, C<sub>ur</sub>=0

∥ (VI)'' は ∥ ∥ の第 2 式 ∥ C=0

∥ (III)'' は ∥ ∥ の第 3 式に依る

∥ (IV)'' は ∥ ∥ の第 4 式に於て n=2