

# 論 說 報 告

土木學會誌 第十七卷第七號 昭和六年七月

## 改良型 Chamber Surge Tank に就て

會員 工學士 新 井 榮 吉

### The Improved Chamber Surge Tank

By Eikichi Arai, C.E., Member.

#### 内 容 梗 概

本論文は従來の chamber surge tank の構造に改良を加へたるものに就て其の特徴並に計算方法を説明し、併せて其の經濟的價值に就て比較研究を試みたるものである。

#### 目 次

1. 序説.....	1
2. 假定.....	4
3. 算式に用ふる符號.....	4
4. Lower Chamber の容積算定.....	5
5. Upper Chamber の容積算定.....	8
6. Middle Chamber.....	9
7. Chamber の容積計算に用ふる圖表.....	9
8. 圖表の用ひ方.....	10
9. Riser の斷面積.....	11
10. 圖計算.....	11
11. 各種 Surge Tank の經濟的價值比較.....	13
12. 計算實例（解析的解法）.....	13
13. 計算實例（圖計算）.....	15

#### 1. 序 説

Chamber surge tank は米國に於ける Johnson の differential surge tank に對抗して歐洲に於て考案されたるものである。

其の principle は堅槽の斷面を incipient stability の許す限度に縮少して之れを riser とし、其の上下部及び必要あらば其の中間に chamber を附して負荷の變化に依る penstock に於ける過不足水量を收容し、又は補給せしむるものであつて、

- (1) 水源池の利用水深が大なる場合
- (2) up surging に因る水路内の水壓を出来る丈け小ならしめ度き場合

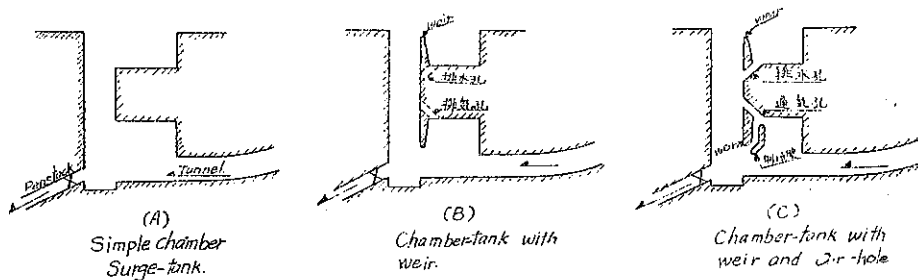
等に適當する形式である。其の理由は

(1) 凡そ surge tank の設計は up surging に對しては水源池の H.W.L. を基準とし、down surging に對しては其の L.W.L. を基準として爲されるものであるが、水源池の水位が一定又は一定に近き場合は up surging の下部と down surging の上部とが重なり合ふから、均等断面を有する tank ならば其の之れに相等する部分が上下兩方の surging に利用されるから其れだけ利益であるが、之れに反し水源池の利用水深が大なる場合には上下兩 surging に對して別々の容積を必要とする他に tank の中間に上下何れの surging に對しても利用されない部分が出る。此の部分は單に incipient stability の許す限度の斷面積を有すれば足るのである。然るに simple tank 又は differential tank に於ては斯の如き形状を探ることは構造上殆んど不可能であるのに反し、chamber tank は元々其の條件に適合した形状を有するものであるから、斯かる場合には此の形式が經濟的構造となるのである。

(2) Simple tank 及び differential tank に於ては多くの場合 down surging の條件に依つて tank の断面を定めるのであるが、acceleration に於ける load change は普通 full load の 50% を探るに對し retardation の夫れは 100% を探る必要がある。其の結果 up surging は可なり高く上昇するものである、之れに反して chamber tank に於ては down surging と無關係に upper chamber の容積を定め得らるゝにより top surging を比較的小ならしむることが可能である、斯の如き要求は水路が著しく長き場合に多く起るものである。

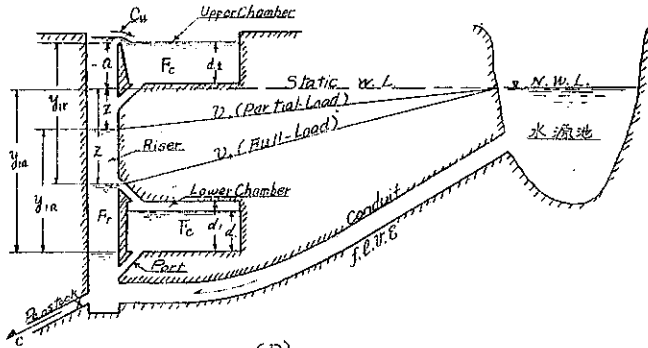
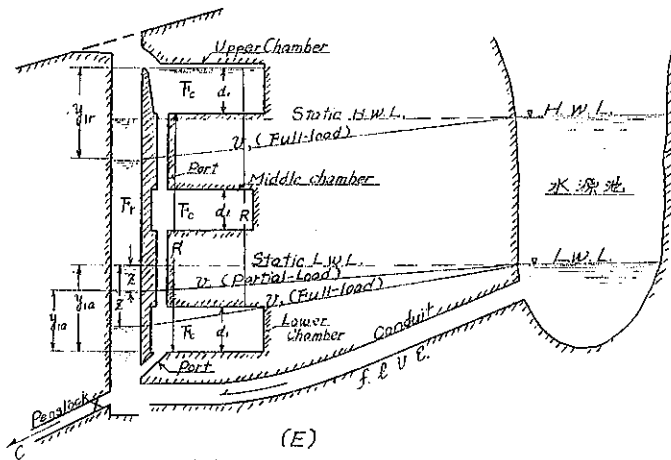
従來の chamber surge tank は第一圖 (A), (B), (C) の階段を経て今日に及んだものであるが、其の最も進歩したものと目すべき (C) に於ては通氣孔の斷面を適當に定め、其の通氣量に依つて chamber から補給する水量を調節し、之れを penstock に於ける不足水量に一致せしむる装置である。併し此の空氣を設計上の一要素とすることは種々なる點に於て不

第一圖



確實であることは言ふまでもない事實である。依つて之れに代ふるに restricted orifice を以てしたものが即ち第二圖 (D), (E) に示すものである。

第二圖

(D)  
改良型 Chamber Surge Tank(E)  
改良型 Chamber Surge Tank,  
with Middle Chamber.

此の改良型は restricted orifice の長所と chamber tank の長所とを併有するものであつて、lower chamber から補給する水量の調節を計算不確實なる空氣に依らずして、之れに代ふるに制限通路即ち port を以てしたことが其の特徴である。尙 upper chamber に對しても weir と共に此の port を併用し之れを通じて過剰水の一部を最初に chamber 内に入らしむるものである。斯くすれば weir から溢水が落下するに先立ち chamber 内には相當の水深を得られ、之れが落下水に對し water cushion となる利益がある。

此の形式に於ては simple chamber tank に比し

て chamber の容積を 3~4 割節約することが可能である。

又最近電力の load factor が漸次低下して貯水池又は調整池に依る季節的若くは日々の尖頭負荷に應ずる所謂 peak load station の需用が倍々増加すると共に貯水池又は調整池の利用水深も之れに伴ふて増大する傾向顯著なるものがあるが、斯様な水源池の水位變移に對應する surge tank に於て在來型の chamber tank では水源池水位が上下 chamber の中位に在る際に於ての load change に因る tank 内の水位の變動が比較的大であつて、此の現象は incipient stability の條件如何とは別に水車の能率の點から一種の不安を感じるものであるが、改良型に於ては之れに對して中間に middle chamber を附設して其の不安を除去し得るのである。

以下之れ等に對する計算方法並に圖計算の方法を説述する。

## 2. 假 定

Johnson の differential surge tank に關する假定と同様に次の如く假定する。

**第一** Riser の斷面積を零と見做し、負荷の變化に應じて riser 内の水位は直ちに其の極點に達するものとす。

此の假定は一見無謀の様であるが、元來 chamber tank を採用するのは多くは落差が著しく大きい場合であつて、之れに對する incipient stability の許す riser の最小斷面積は極めて小さく、丁度 differential tank の riser に匹敵する程度のものであるから、實際上差支ないのである。此のことは圖計算の結果に依つて明かである。

**第二** Port の斷面積は riser の水位を一定不變に保つ様に水路の流速及び chamber の水位に應じて増減すること。此の假定は理論上必要なる事柄であるが、其の増減すべき面積は僅小であるから實際問題として之れを一定のものとしても大差が無いのである。此のことも圖計算の結果に依つて明かである。

**第三** 負荷に變化が起つた場合瞬時的に占めた riser の水位と chamber の水位の移動の終極とが丁度一致する様に chamber の大きさと標高とを定める。

**第四** 水路の摩擦水頭は流速の自乗に比例する。

**第五** Riser 及び chamber 内の水の inertia 及び摩擦抵抗を無視する。

## 3. 算式に用ふる符號

$l$  = 水路の長さ

$f$  = 水路の斷面積

$F_r$  = riser の斷面積

$F_c$  = chamber の水平斷面積

$V$  = chamber の容積

$g$  = 重力の加速度 =  $32.17 \text{ ft/sec}^2$

$z$  = 水源池の水位を基準とせる riser 内の水位にして、下を(+)とし上を(-)とす

$z_c$  = 水源池の水位を基準とせる chamber 内の水位にして、下を(+)とし上を(-)とす

$h$  = 水路に於ける摩擦水頭 =  $\pm kv^3$        $v$  = 水路内の流速

$Q$  = tank より水壓管に流下する 1 秒間の水量

$C = Q/f$  負荷變化前の  $C$  を  $C_1$  とし、負荷變化後の  $C$  を  $C_2$  とす、依つて  $C_1$  は最初の  $v$  と同一にして、 $C_2$  は 1/4 周波の時の  $v$  又は最後の  $v$  と同一である

$Q_t$  = port を通じて chamber に入出する水量にして、流入する方を(+), 流出する方を(-)とす

$$C_t = \frac{Q_t}{f}$$

$Q_u$  = riser より溢水する 1 秒間の水量

$$C_u = \frac{Q_u}{f}$$

$\alpha$  = 水源池の水位を基準とせる溢水口敷の高きにして、其の上にある場合を(-)とし下にある場合

- を(+)とす
- $b$  = 溢水口の幅  $\delta = 3.33 b$
- $t$  = 一般的时间  $t_a$  = 負荷を増加してからの経過時間
- $t_r$  = 負荷を減じてからの経過時間
- $T$  = surging wave が 1/4 周波に達する迄に要する時間にして、加速の場合を  $T_a$  とし減速の場合を  $T_r$  とす
- $p$  = 収縮係数  $m$  が 1 なるときの port の断面
- $p_0 = t$  が 0 なるときの port の断面
- $p_1 = t$  が  $T$  なるときの " "
- $d$  = 負荷変化前の chamber 内の水位より  $t$  時間後の chamber 内の水位迄の距離
- $d_1$  = chamber の深さ
- $y_1$  = 負荷の變化により瞬間的に惹起さるゝ riser 内の水位の變化量にして加速の場合を  $y_{1a}$  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即ち  $\alpha = \frac{C_2 - C_1}{C_2}$
- $r = C_1/C_2 = 1 - \alpha$   $K$  = surging wave の stability factor
- $K_a = \frac{y_{1a}}{e(C_2^2 - C_1^2)}$  or  $K_r = \frac{y_{1r}}{e(C_1^2 - C_2^2)}$

此の surging wave の stability factor とは前式に示す如く  $y_1$ , 即ち riser 内に瞬間的に惹起さるゝ水位の變化量と負荷變化前の水路内摩擦水頭と變化後の負荷に相當する流速に基づく摩擦水頭との差との比にして, chamber tank の容積を定むる基準となるべき最も重要な factor である。

尙公式を簡単に表はす爲に

$$\begin{aligned}
 eZ &= \sqrt{\epsilon z}, & z &= \epsilon C_1^2 + y_{1a}^2 \\
 \epsilon Z_0 &= \sqrt{-\epsilon z}, & -z &= y_{1r}^2 - \epsilon C_1^2 \\
 X &= \frac{Z}{C_2} = \sqrt{\frac{z}{\epsilon C_2^2}} = \sqrt{K(1-r^2) + r^2}
 \end{aligned}$$

と置く。

#### 4. Lower Chamber の容積算定

Surging wave の基本式

$$\frac{dz}{dt} = \frac{C-v}{T/f} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{z \mp \epsilon v^n}{l/g} \dots\dots\dots (2)$$

に於て第一, 第二の假定に依り chamber から  $C_1$  なる流出量があつて, 之れが  $-C = C-v$  であるから (1) 式は

$$\frac{dz}{dt} = \frac{C-v+C_1}{Ff} = 0$$

となり,

$$z = \text{constant} = y_{1a} + \varepsilon C_1^2$$

又第四假定に依り  $n=2$  にして, surging wave の最初の 1/4 周波のみを考ふれば, 基本式 (2) は

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

となる, 依つて

$$dt = \frac{l/g}{z - \varepsilon v^2} \dots \dots \dots (3)$$

茲では  $C$  が  $C_1$  から  $C_2$  に増加した場合を考へる。そこで公式 (3) を  $C_1$  から  $v$  まで integrate すれば,  $C_1$  が  $v$  になるまでに要する時間を表はす式を得。

即ち

$$t_1 = \frac{l}{2g\varepsilon Z} \log \frac{(Z - C_1)(Z + v)}{(Z + C_1)(Z - v)} \dots \dots \dots (4)$$

次に公式 (3) の左右に  $f, v$  を乗じて integrate すれば,

$$f \int_0^{t_1} v dt = \frac{fl}{g} \int_{C_1}^v \frac{v dv}{z - \varepsilon v^2}$$

となる。此の式は  $t_1$  時間内に水路を流下する水量を表はすものであつて, 一方  $t_1$  時間内に水車の方に引く水量は  $f C_2 t_1$  であるから, 其の差は chamber から補給することになる。之れを算式にて表はせば,

$$f C_2 t_1 - \frac{fl}{g} \int_{C_1}^v \frac{v dv}{z - \varepsilon v^2} = Fed$$

となる。之れを integrate して  $t_1$  を公式 (4) に依つて置き換へ簡単にすれば,

$$Fed = \frac{fl}{2g\varepsilon} \left\{ \frac{C_2}{Z} \log \frac{(Z - C_1)(Z + v)}{(Z + C_1)(Z - v)} - \log \frac{Z^2 - C_1^2}{Z^2 - v^2} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

之れが頭初の  $v$ , 即ち  $C_1$  が  $t_1$  時間を経過して  $v$  になる迄に要する補給水量である。而して  $v$  が  $C_2$  に達すれば

$$T_a = \frac{l}{2g\varepsilon Z} \log \frac{(Z - C_1)(Z + C_2)}{(Z + C_1)(Z - C_2)} \dots \dots \dots (6)$$

であつて, 其の時迄の補給水量が即ち chamber の所要容積であるから,

$$Fed_1 = V = \frac{fl}{2g\varepsilon} \left\{ \frac{C_2}{Z} \log \frac{(Z - C_1)(Z + C_2)}{(Z + C_1)(Z - C_2)} - \log \frac{Z^2 - C_1^2}{Z^2 - C_2^2} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

次に之れを stability factor の項にて表はせば,

$$y_{1a} = \varepsilon C_2^2 K_a (1 - r^2)$$

$$\varepsilon Z = \sqrt{\varepsilon z}$$

$$z = \varepsilon C_1^2 + y_{1a}$$

である

であるから

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

と置けば,

$$V = \frac{fl}{2g\epsilon} \left\{ \frac{1}{X} \log \frac{(X-r)(X+1)}{(X+r)(X-1)} - \log \frac{K_a}{K_a-1} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

此の公式(8)は實際計算に用ふる圖表の基になるのであつて、 $y_{1a}$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ , 即ち  $K_a$  が與へらるれば其の圖表を用ひて  $V$  が求められるのである。従つて chamber の深さ  $d_1$  を決すれば直ちに  $F_c$  を算出することが出来る。

次に port の計算に移る。chamber の敷を負荷變化後の riser の水位と一致するものとすれば, port に働く head= $h_p$  は

$$h_p = d_1 - d \\ = d_1 - \frac{fl}{2g\epsilon R_c} \left\{ \frac{C_2}{Z} \log \frac{(Z-C_1)(Z+v)}{(Z+C_1)(Z-v)} - \log \frac{Z^2-C_1^2}{Z^2-v^2} \right\}$$

であつて, 此の  $d_1$  に公式(7)に依る  $d_1$  を代入して簡単にすれば,

$$h_p = \frac{fl}{2g\epsilon R_c} \left\{ \frac{C_2}{Z} \log \frac{(Z-v)(Z+C_2)}{(Z+v)(Z-C_2)} - \log \frac{Z^2-v^2}{Z^2-C_2^2} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

而して  $h_p$  に依つて port から出る水量は penstock に對する補給水量であるから

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

であつて,

$$p = \frac{\sqrt{f(C_2-v)}}{\sqrt{\frac{l}{\epsilon R_c} \left\{ \frac{C_2}{Z} \log \frac{(Z-v)(Z+C_2)}{(Z+v)(Z-C_2)} - \log \frac{Z^2-v^2}{Z^2-C_2^2} \right\}}} \dots\dots\dots(10)$$

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

$v=C_1$  なるときは

$$h_p = d_1$$

であるから

$$p_0 = \frac{f(C_2-C_1)}{\sqrt{2gd_1}} \dots\dots\dots(11)$$

にして, 1/4 周波の時に於ては  $v=C_2$ ,  $d=d_1$  であるから, 公式(10)は indeterminate になるが, 分子分母を differentiate して其の値を求めれば,

$$p_1 = \left\{ \frac{fR_c d_1}{l} \left( 1 - \frac{1}{K_a} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(12)$$

となり,  $p_1$  は常に  $p_0$  よりも小である。

以上は計算の結果であるが, 實際問題としては  $p_0$  又は  $p_0$  に近き一定の斷面積を有する

port を採用して差支ないのである。

### 5. Upper Chamber の容積算定

Upper chamber に対しては全負荷を切つた場合、即ち  $C$  が  $C_1$  から零に減少した場合を考へる。

此の場合には減速度であるから、公式 (3) は

$$dt = \frac{-\frac{l}{g} dv}{z - \epsilon v^2} = \frac{\frac{l}{g} dv}{-z + \epsilon v^2} \dots\dots\dots (13)$$

となり、 $z$  が (-) であるから (- $z$ ) は (+) となる。依つて之れを integrate すれば、

$$t_r = \frac{l}{g\epsilon Z_0} \left\{ \tan^{-1} \frac{C_1}{Z_0} - \tan^{-1} \frac{v}{Z_0} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

而して lower chamber の場合と同様に

$$F_{cd} = \frac{fl}{2g\epsilon} \left\{ \log \frac{C_1^2 + Z_0^2}{v^2 + Z_0^2} - \frac{2C_2}{Z_0} \left( \tan^{-1} \frac{C_1}{Z_0} - \tan^{-1} \frac{V}{Z_0} \right) \right\} \dots\dots\dots (15)$$

$$F_{cd_1} = V = \frac{fl}{2g\epsilon} \left\{ \log \frac{C_1^2 + Z_0^2}{C_2^2 + Z_0^2} - \frac{2C_2}{Z_0} \left( \tan^{-1} \frac{C_1}{Z_0} - \tan^{-1} \frac{C_2}{Z_0} \right) \right\} \dots\dots\dots (16)$$

であるが、此の場合  $C_2 = 0$  であるから、公式 (15) は

$$F_{cd} = \frac{fl}{2g\epsilon} \log \frac{C_1^2 + Z_0^2}{v^2 + Z_0^2} \dots\dots\dots (17)$$

となり、公式 (16) は

$$V = \frac{fl}{2g\epsilon} \log \frac{C_1^2 + Z_0^2}{Z_0^2} \dots\dots\dots (18)$$

となる。次に之れを stability factor の項で表はすと、

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

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

であるから、

$$V = \frac{fl}{2g\epsilon} \log \frac{K_r}{K_r - 1} \dots\dots\dots (19)$$

此の公式 (19) は實際計算に用ふる圖表の基となるのであつて、 $y_{1r}$ 、 $C_1$  即ち  $K_r$  が與へらるれば其の圖表を用ひて  $V$  が求めらるゝのである。従つて chamber の深さ  $d_1$  を決めれば直ちに  $F_0$  を算出し得るのである。

次に port の計算に移る。chamber の満水面を負荷變化後の riser の水位と一致するものとすれば、surging の初めに於ては



$$p_0 = \frac{f C_1}{\sqrt{2gd_1}} \dots\dots\dots(20)$$

である。又過剰水の一部を riser の頂端から chamber 内に溢水せしむるとすれば、此の  $p_0$  を適當に小さくすればよろしい。

## 6. Middle Chamber

Middle chamber は昇降兩態の surging に對して利用されるものであるが、第二圖(E)に示した  $R$  若くは  $R'$  が其の發電所の最少有效落差  $H$  の 10% 以内即ち  $R \approx \frac{H}{10}$  ならば middle chamber は必ずしも置く必要がなく、上式の制限を越えた場合には上下の中央部に適當なる大きさの chamber を附設することが安全である。而して middle chamber に於ては surging の top 又は bottom と chamber の top 又は bottom とが必ずしも一致しない場合が多く、之れは假定第三と合致しない事であるが、元來此の middle chamber は中間補助の目的であつて、其の上下に堅槽が連続して存在するから事實上支障が無いことは勿論である。但し精密なる水位の移動を知らんとすれば圖計算に據る他は無いのである。

## 7. Chamber の容積計算に用ふる圖表

次に實用計算に用ひて頗る便宜なる圖表の性質及び其の作り方を説明する。

公式 (8) 及び (19) を變化すれば

$$\frac{2geV}{fl} = \frac{1}{X} \log \frac{(X-r)(X+1)}{(X+r)(X-1)} - \log \frac{K_a}{K_a-1}$$

$$\frac{2geV}{fl} = \log \frac{K_r}{K_r-1}$$

となる。此の 2 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

$$\left. \begin{aligned} \frac{2geV}{fl} &= \text{constant} = N_a^2 \\ \frac{2geV}{fl} &= \text{constant} = N_r^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(21)$$

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 (21) の  $\varepsilon, f, l, V$  の相互間に變化があつても其の値  $N^2$  には變化が無いと云ふことである。依つて加速の場合に對しては  $\alpha=0.1, 0.2, \dots\dots 1.0$  等なる値に對し種々なる  $K$  の値を用ひて  $N_a$  を計算し、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  $K'_a$  と名付けて之れを横軸とし、負荷の變化率  $\alpha$  の各の値に對して數本の曲線を作る。

同様に減速の場合に對しては種々なる  $K_r$  の値を以て  $N_r$  を計算し、作圖の便宜上  $N_r$

の 100 倍を  $N'$  と名付け之れを縦軸とし、 $1/K_r$  の 100 倍を  $K_r'$  と名付け之れを横軸として曲線を作る。但し減速の方は負荷の一部を切つた場合を考慮する必要が無いから圖表は全負荷を全部切つた場合のみの一曲線だけである。

第三圖は以上の理論に依つて著者の作製した圖表である。

8. 圖表の用ひ方

Lower chamber に対しては負荷の變化率  $\alpha$  と  $y_{1a}$  及び  $C_1, C_2$  が與へられたるとき

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

$$K_a' = \frac{100\epsilon(C_2^2 - C_1^2)}{y_{1a}} \dots\dots(22)$$

であるから、與へられたる  $C_1, C_2, y_{1a}$  に対して  $K_a'$  を算出し、第三圖に依り  $N_a'$  を求める。然るときは

$$V = \left(\frac{N_a'}{100}\right)^2 \frac{fl}{2g\epsilon} \dots\dots(23)$$

而して chamber の水平斷面積は

$$F_c = \frac{V}{d_1}$$

又 upper chamber に対しては負荷の變化率  $\alpha=1$  と  $y_{1r}, C_1$  が與へられたるとき

$$K_r = \frac{y_{1r}}{\epsilon C_1^2}$$

$$K_r' = \frac{100\epsilon C_1^2}{y_{1r}} \dots\dots(24)$$

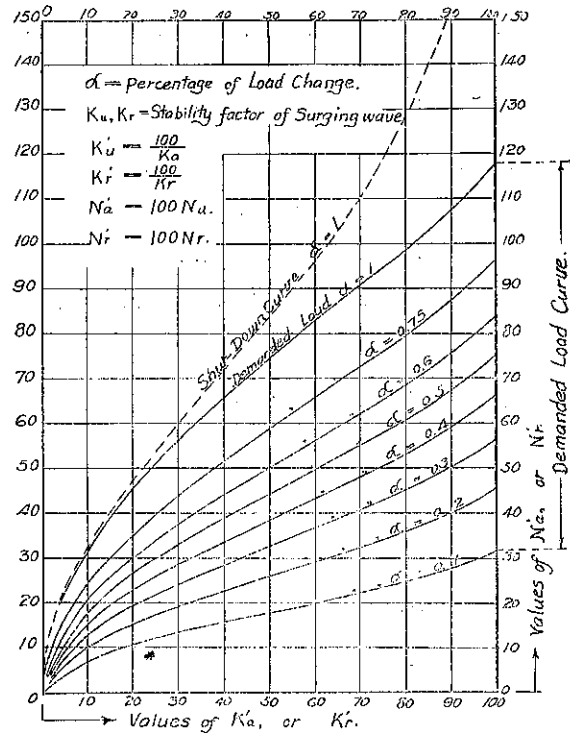
であるから、與へられたる  $C_1, y_{1r}$  に對し  $K_r'$  を算出し、第三圖に依り  $N_r'$  を求める。然るときは

$$V = \left(\frac{N_r'}{100}\right)^2 \frac{fl}{2g\epsilon} \dots\dots(25)$$

而して chamber の水平斷面積は

$$F_c = \frac{V}{d_1}$$

第三圖



以上の公式は riser の容積を無視し  $\eta_1$  を一定不変として取扱ふため無論精密なものではなく、其の結果は常に安全に過ぎるのである。殊に水路短き場合又は落差小なる場合には之れに依つて大體の標準を求め、然る後圖計算に依つて適當なる修正を爲すことが必要である。

### 9. Riser の斷面積

Riser の斷面積又は直徑の最小限度は Thoma の incipient stability の制限に従へば次の式に依つて求められる。

$$\left. \begin{aligned} F_r \text{ min} &= \frac{fl}{2g\epsilon H} \\ D_r \text{ min} &= \sqrt{\frac{fl(2g\epsilon H)}{0.785}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (26)$$

上式に於て  $\epsilon$  の値は up surging 即ち減速の場合のもの、 $H$  は full load condition のときの最小有效落差である。

尙上式は水車の能率が一定と見做しての理論的結果であるから、Johnson は能率曲線の下り勾配の場合を考へ上式の與ふる直徑の 4 割増を採用すべしと云ふて居る。

### 10. 圖 計 算

改良型 chamber tank の圖計算の微分方程式は differential tank の場合と略同様である。即ち一般に

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz}{dt} &= \frac{C + C_t - v}{F_r/f} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{z - \epsilon v^n}{l/g} \\ \frac{dz_t}{dt} &= \frac{-C_t}{F_c/f} \\ C_t &= -\frac{\gamma}{f} \sqrt{z - z_t} \quad (\text{chamber より流出するとき}) \\ \text{或は} \quad &= \frac{\gamma}{f} \sqrt{z_t - z} \quad (\text{chamber に流入するとき}) \\ \text{但し} \quad \gamma &= m p_0 \sqrt{2g} \\ m &= \text{收縮系数} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (27)$$

而して riser から chamber へ溢水する場合には之れを  $C_u$  とすれば、前式の  $\frac{dz}{dt}$ ,  $\frac{dz_t}{dt}$  は次

の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz}{dt} &= \frac{C + C_t + C_u - v}{F_r / f} \\ \frac{dz_t}{dt} &= \frac{-C_u - C_t}{F_c / f} \\ C_u &= \frac{\delta}{f} (a - z)^{\frac{3}{2}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (28)$$

又  $z$  が極限に近付いた後は近似的に

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz_t}{dt} &= \frac{C - v}{(F_c + F_r) / f} \\ C_t &= \frac{F_c(v - C)}{F_c + F_r} \\ z &= z_t \mp \left(\frac{f}{\gamma} C_t\right)^{\frac{2}{3}} \quad \left( \begin{array}{l} \text{chamber に流入するとき (-)} \\ \text{chamber より流出するとき (+)} \end{array} \right) \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{z \mp \epsilon v^2}{l/g} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (29)$$

而して riser から chamber へ溢水する場合は

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz_t}{dt} &= \frac{C - v}{F_c / f} \\ z &= a - \left(\frac{f}{\delta} C_u\right)^{\frac{2}{3}} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{z \mp \epsilon v^2}{l/g} \\ C_u &= v - c - \frac{\gamma}{f} \sqrt{z_t - z} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (30)$$

次に upper chamber と riser とを連絡する port を單に chamber の drain とし flap valve 等を附して riser より chamber への流入を阻止する如き構造とした場合 upper chamber に対しては riser の水位が極限に達する迄は

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz}{dt} &= \frac{C + C_u - v}{F_r / f} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{z \mp \epsilon v^2}{l/g} \\ C_u &= \frac{\delta}{f} (a - z)^{\frac{3}{2}} \\ \frac{dz_t}{dt} &= \frac{-C_u}{F_c / f} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (31)$$

であつて、riser の水位が極限に近付いた後は近似的に

$$\begin{aligned}
 C_u &= v \\
 z &= a - \left( \frac{f}{8} C_u \right)^2 \\
 \frac{dv}{dt} &= \frac{z - \varepsilon v^2}{l/g} \\
 \frac{dz_t}{dt} &= \frac{-C_u}{F_c l f}
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} C_u &= v \\ z &= a - \left( \frac{f}{8} C_u \right)^2 \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{z - \varepsilon v^2}{l/g} \\ \frac{dz_t}{dt} &= \frac{-C_u}{F_c l f} \right\} \dots\dots\dots (32)$$

を用ひる。

尙圖計算の方法に就ては本誌第十五卷第二號拙著“田代川第二發電所 Surging に関する實驗報告”並に第十六卷第七號の拙著“C. Runge's Theorem に依る積分曲線を用ひて種々なる Surge Tank の研究”及び Muhlhofer 氏著“Zechnerische Bestimmung der Spiegelbewegungen in Wasserschlossern”を参照せられたい。

## 11. 各種 Surge Tank の經濟的價值比較

附表第一は水源池の利用水深大にして、落差高き實例に就て改良型 chamber surge tank 附表第一(1)と同一條件の下に設計したる他の型の surge tank 附表第一(2), (3), (4)の各型との比較を試みたものであるが、(1)型が全體の容積に於て少量なるのみならず、(2), (3)の各型に比しては堅槽の徑が小なるため、掘鑿單價及び壁厚を低減し得ることにより經濟的に著しく優秀なることが首肯される。

負荷増減の條件は up surging に對しては各型同一であるが、down surging に對しては(1), (4)と(2), (3)とは條件を異にした。之れは half load を2回に掛ける場合、頭初の負荷に依り隧道内流速が最小となつた瞬間に次の half load を掛ける如き特殊状態を顧慮したためであるが、其の結果(1), (4)の方が少しく餘裕が多いのである。

## 12. 計算實例 (解析的解法)

### A. 加速即ち down surging の場合

1.  $Q=825^{\text{m}^3}$  (full load に於て)

負荷の變化を 1/2 load より full load 迄とす

$$v = C_1 = 3.365$$

$$v = C_2 = 6.730$$

2.  $h = \text{slope} \times l = 0.000965 \times 88\,000^{\text{R}}$

$$= 84.9^{\text{R}} \text{ (粗度係数 } n=0.014 \text{ とし, Manning's Formula に依る)}$$

3.  $\varepsilon = \frac{h}{v^2} = \frac{84.9}{6.73^2} = 1.874$

4.  $f = \pi r^2 = \pi \times 6.25^2 = 122.6^{\text{R}^2}$

$$l = 88\,000^{\text{R}}$$

$$F_r = \pi r^2 = \pi \times 7.5^2 = 176.6^{\text{R}^2}$$

備考: incipient stability の限度は本値よりも小であるが構造上斯く定める

$$d_1 = 15 \text{ 尺 (chamber の深さ)}$$

$$b = 15 \text{ 尺 (chamber の幅)}$$

5.  $y_{1a} = 78.7 \text{ 尺}$

6.  $\alpha = \frac{C_2 - C_1}{C_2} = 0.5$

7. 公式 (22) に依り

$$K_a' = \frac{100 \epsilon (C_2^2 - C_1^2)}{y_{1a}} = \frac{100 \times 1.874 (6.73^2 - 3.365^2)}{78.7} = 81.8$$

8. 圖表に依り

$$N_a' = 62.0$$

9. 公式 (23) に依り

$$V = \left( \frac{N_a'}{100} \right)^2 \frac{fL}{2ge} = \left( \frac{62}{100} \right)^2 \frac{122.6 \times 88000}{2 \times 32.4 \times 1.875} = 34200 \text{ 尺}^3$$

$$F_c = \frac{V}{d_1} = 2280 \text{ 尺}^2$$

10. Port area, 公式 (11) に依り  $m=1$  として

$$p_0 = \frac{f(C_2 - C_1)}{\sqrt{2gd_1}} = \frac{122.6 \times 3.365}{\sqrt{2 \times 32.4 \times 15}} = 13.2 \text{ 尺}^2$$

$$\text{dia. of port} = 4.12 \text{ 尺}$$

## B. 減速即ち up surging の場合

1.  $Q = 825 \text{ 鋼} \quad v = C = 6.73$

$$v = C_2 = 0$$

2.  $h = \text{slope} \times l = 0.00636 \times 88000 \text{ 尺}$   
 $= 73.6 \text{ 尺 (粗度係数 } n=0.013 \text{ とし Manning's Formula に依る)}$

3.  $\epsilon = \frac{h}{v^2} = \frac{73.6}{6.73^2} = 1.626$

4.  $f = 122.6 \text{ 尺}^2 \quad l = 88000 \text{ 尺}$

$$d_1 = 38.0 \text{ 尺} \quad b = 15.0 \text{ 尺}$$

5.  $\alpha = \frac{C_1 - C_2}{C_1} = 1.0$

6. 構造上

$$y_{1r} = \epsilon C_1^2 - (-a) + \text{溢水平均深} = 73.6 + 28.0 + 4 = 105.6 \text{ 尺}$$

7. 公式 (24) より

$$K_r' = \frac{100 \epsilon C_1^2}{y_{1r}} = \frac{100 \times 73.6}{105.6} = 70$$

8. 圖表に依り

$$N_r' = 110$$

9. 公式 (25) に依り

$$V = \left( \frac{N_r'}{100} \right)^2 \frac{fL}{2ge} = \left( \frac{110}{100} \right)^2 \frac{122.6 \times 88000}{2 \times 32.4 \times 1.626} = 123500 \text{ 尺}^3$$

$$F_c = \frac{V}{d_1} = \frac{123\,500}{38} = 3\,250 \text{ 尺}^2$$

### 13. 計算實例 (圖計算)

Lower chamber には restricted orifice を附し, upper chamber には weir のみを附し port を使用せざる場合

圖計算の適用公式は前掲 (27) 乃至 (32) でよろしい。圖計算の實例には前項の計算實例のものを其の儘採用する。

#### A. 構造に関する數値

$l = 88\,000 \text{ 尺}$	
$f = 122.6 \text{ 尺}^2$	dia. of conduit = 12.5 尺
$b = 15.0 \text{ 尺}$	width of top weir
$d_1 = 15.0 \text{ 尺}$	depth of lower chamber.
$d_1 = 38.0 \text{ 尺}$	depth of upper chamber.
$F_r = 176.6 \text{ 尺}^2$	dia. of riser = 15.0 尺
$F_c = 15 \times 150 = 2\,250 \text{ 尺}^2$	lower chamber section
$F_o = 15 \times 215 = 3\,225 \text{ 尺}^2$	upper chamber section
$\gamma = \frac{f(C_2 - C_1)}{\sqrt{d_1}} = \frac{122.6(6.73 - 3.365)}{\sqrt{15}} = 106.5$	orifice coefficient
$\delta = 3.33b = 3.33 \times 15 = 49.95$	
$\frac{F_r}{f} = \frac{176.6}{122.6} = 1.44$	}
$\frac{F_c}{f} = \frac{2\,250}{122.6} = 18.36$	
$\frac{F_c + F_r}{f} = \frac{2\,250 + 176.6}{122.6} = 19.8$	
$\frac{F_c}{F_c + F_r} = \frac{2\,250}{2\,250 + 176.6} = 0.928$	
$\frac{F_c}{f} = \frac{3\,225}{122.6} = 26.4$	upper chamber
$\frac{l}{g} = \frac{88\,000}{32.4} = 2\,716.0$	
$\frac{\gamma}{f} = \frac{106.5}{122.6} = 0.869$	
$\frac{\delta}{f} = \frac{49.95}{122.6} = 0.408$	

上記の數値に依り附圖第一乃至附圖第四を作る。

### B. Down Surging に関する数値

負荷の條件

水源池の L.W.L. に於て 1/2 load を掛け, steady flow となりたる 後更に 1/2 load を加増して full load とする。

$$\begin{array}{ll}
 \text{負荷の變化に要する時間} & = 2.5 \text{秒} \\
 \text{粗度係數} & n = 0.014 \\
 & v = 3.365 \\
 & C = 3.365 \text{ to } 6.73 \\
 \text{primary} & \left\{ \begin{array}{l} C_t = 0 \\ z_t = 85 \text{尺} \\ z = \epsilon v^2 = 21.2 \text{尺} \\ Q = 412.5 \text{岡} \end{array} \right. \\
 & v = 6.73 \\
 \text{final} & \left\{ \begin{array}{l} z = h = \epsilon v^2 = 84.9 \text{尺} \\ Q = 325.0 \text{岡} \end{array} \right. \\
 & \epsilon = \frac{h}{v^2} = \frac{84.9}{6.73^2} = 1.875
 \end{array}$$

上掲の数値を基として down surging に関する圖計算實演の結果は附圖第五及び附表第二である。

### C. Up Surging に関する数値

負荷變化の條件

Full load を 2.5 秒に切つた場合

$$\begin{array}{ll}
 \text{粗度係數} & n = 0.013 \\
 & Q = 325 \text{岡 to } 0 \\
 & v = 6.73 \\
 \text{primary} & \left\{ \begin{array}{l} C = 6.73 \text{ to } 0 \\ z = h = \epsilon v^2 = 73.6 \\ z_t = 5.0 \text{尺} \end{array} \right. \\
 & v = 0 \\
 \text{final} & \left\{ \begin{array}{l} C = 0 \\ z = 0 \end{array} \right. \\
 & \epsilon = \frac{h}{v^2} = \frac{73.6}{6.73^2} = 1.626 \\
 & C_u = \frac{\delta}{f} (\alpha - z)^{\frac{3}{2}} = 0.408 (-28 - z)^{\frac{3}{2}}
 \end{array}$$

上記の数値を基として up surging に関する圖計算實演の結果は附圖第六及び附表第三である。



附表第一 各種 Surge Tank に関する比較圖表

名稱	(1) 改良型 Chamber Surge Tank.	(2) Simple Surge Tank.	(3) Differential Surge Tank	(4) Simple Chamber Surge Tank.
Skeleton				
最大下降 Surging	水源池 L.W.L. = 436 <sup>尺</sup> 0	同 左	同 左	同 左
最大上昇	H.W.L. = 430 <sup>尺</sup> 0	同 左	同 左	同 左
Upper Chamber 容積	63,300 <sup>立方尺</sup>	—	—	90,150 <sup>立方尺</sup>
Middle	15,620 <sup>立方尺</sup>	—	—	20,830 <sup>立方尺</sup>
Lower	75,200 <sup>立方尺</sup>	—	—	112,000 <sup>立方尺</sup>
Riser	51,530 <sup>立方尺</sup>	—	(Tank内含) 20,000 <sup>立方尺</sup>	50,270 <sup>立方尺</sup>
Port	4,000 <sup>立方尺</sup>	—	—	—
Tank 主体	—	560,800 <sup>立方尺</sup>	266,200 <sup>立方尺</sup>	—
總容積	209,650 <sup>立方尺</sup>	560,800 <sup>立方尺</sup>	266,200 <sup>立方尺</sup>	273,250 <sup>立方尺</sup>
容積比	1	2.68	1.27	1.31

設計條件

有效落差  $H = 10.10$  尺  
 水壓隧道長  $L = 10,000$  尺  
 隧道內最大流速  $Q/f = 10.48$  尺/秒  
 水壓隧道內最大操作水頭  $h_f = 16.6$  (Manning's Formula =  $0.14 \pi = 0.013$  於  $r$ )  
 $h_f = 19.3$  ( " " "  $\pi = 0.014$  於  $r$ )

最大使用水量  $Q = 1,500$  立方尺/秒  
 水壓隧道斷面積  $f = 143.7$  平方尺 (內至 135)  
 水源池利用水深 = 70 尺

負荷加增條件 { Chamber Tank (1) (4). = 於  $r$  水源池 L.W.L. 於 Full Load 瞬間 = 變  $r$  寸  
 Simple Tank (2) 及 Differential Surge Tank (3) = 於  $r$  水源池 L.W.L. 於先  $r$  1/2 Load 變  $r$  寸, Steady Flow 於  $r$  寸後次, 1/2 Load 變  $r$  寸

負荷減殺條件 ..... 各種共 水源池滿水 = 於  $r$  Full Load, 瞬間 = 斷  $r$  寸

附表第二

Point	Time	$\frac{dz}{dt} = \frac{C+Cu-U}{F/f}$					$\frac{dv}{dt} = \frac{Z+EV^2}{g}$				$\frac{dz}{dt} = \frac{-C_0}{F_0/f}$	$C_0 = \frac{-\dot{z}}{f} \sqrt{Z-Z_t}$			
		C	Cu	U	GGV	F/f	Z	EV <sup>2</sup>	ZEV <sup>3</sup>	g/g	C <sub>0</sub>	F <sub>0</sub> /f	Z	Z <sub>t</sub>	Z-Z <sub>t</sub>
0	0	3365	0	3365	0	1.44	21.2	21.2	0	2716	18.36				0.869
	2.5	673	0	3365			26.95		5.75						
1	5.0	0	0	338	3.35		32.75	21.8	109.5						
	7.5	0	0	3.40	3.33		38.50		16.70						
2	10.0	0	0	3.42	3.31		44.20	22.0	22.20						
	28.75	6.73	0	3.71	3.02		85.00	25.8	59.20						
	29.375	0	0	3.73	3.00		86.29	26.00	60.29	0	86.29	85.0	1.29		
8	30.0	0	-1.01	3.74	1.98		86.70	26.20	60.50	-1.01	86.70	85.20	1.50		
	12	60	6.73	-2.23	4.42	0.08	94.58	36.40	58.18	-2.23	94.58	88.90	5.68		
	6.5	0	-2.07	4.52	0.12		94.99	38.40	56.59	-2.07	94.99	89.5	5.49		
13	70	0	-2.04	4.64	0.05		94.94	40.40	54.54	-2.04	94.94	90.00	4.94		

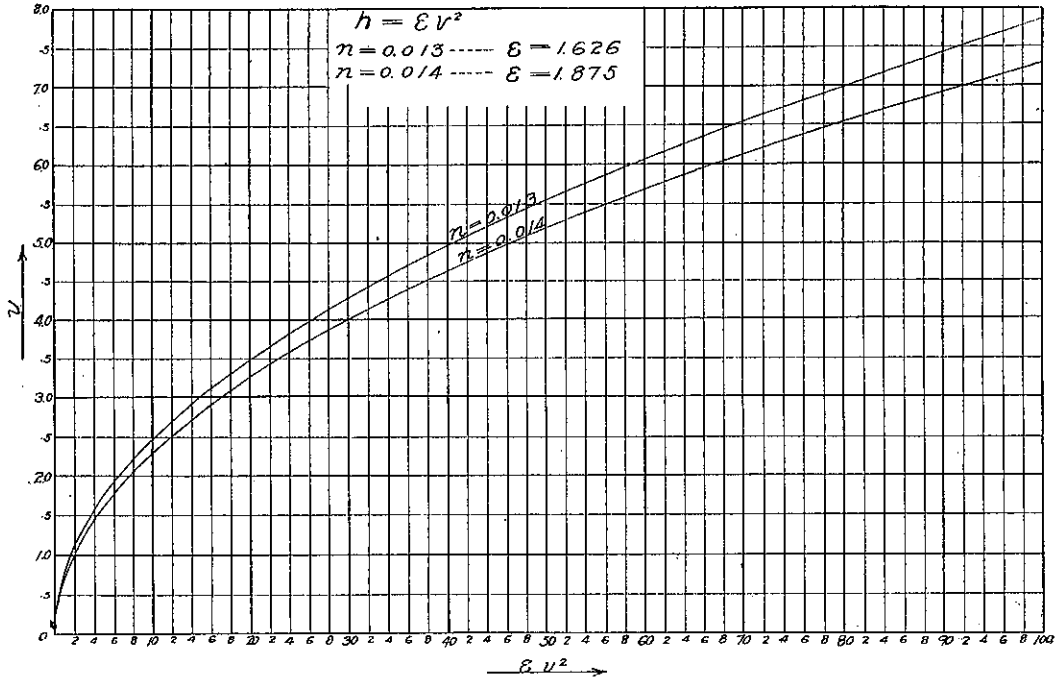
Point	Time	$\frac{dz_t}{dt} = \frac{C-U}{(F+Fc)/f}$				$C_0 = \frac{F_c - (U-C)}{F_c + F_c}$	$Z = Z_0 \pi \left(\frac{f}{g}\right)^2$	$\frac{dv}{dt} = \frac{Z+EV^2}{g}$					
		C	U	(C-U)	$\frac{F_c+F_c}{f}$	$\frac{F_c}{F_c+F_c}$	C <sub>t</sub>	Z <sub>t</sub>	$\left(\frac{f}{g}\right)^3$	Z	EV <sup>2</sup>	ZEV <sup>3</sup>	g/g
13	70	6.73	4.64	-2.09	19.8	0.928	2.04	90.00	4.94	94.94	40.4	54.54	2716
	75	0	4.75	1.98			1.63	90.5	3.50	93.55	42.2	51.35	
14	80	0	4.83	1.90			1.55	91.0	3.20	94.20	43.6	50.60	
	85	0	4.92	1.81			1.50	91.5	3.00	94.50	45.2	49.30	
15	90	0	5.00	1.73			1.42	91.9	2.70	94.60	46.8	47.80	
	95	0	5.10	1.63			1.35	92.3	2.50	94.80	48.8	46.00	
16	100	0	5.17	1.56			1.28	92.7	2.20	94.90	50.0	44.90	

附表第三

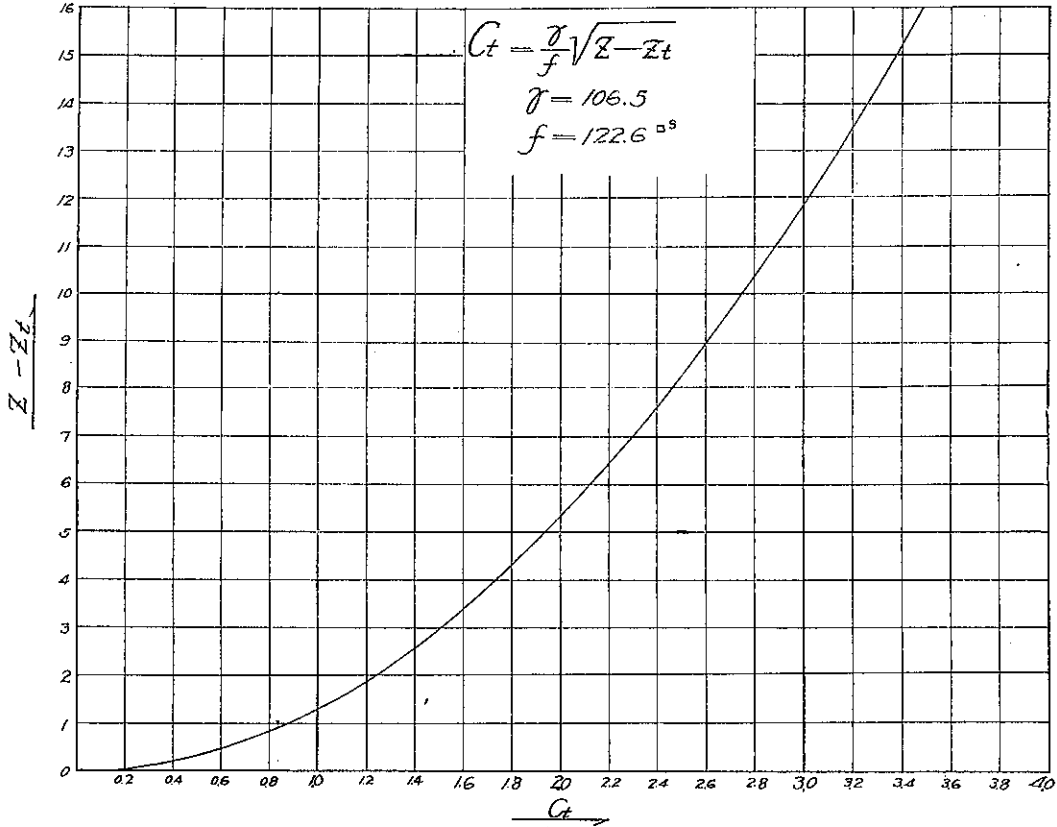
Point	Time	$\frac{dz}{dt} = \frac{C+Cu-U}{F/f}$					$\frac{dv}{dt} = \frac{Z+EV^2}{g}$				$C_0 = \frac{\dot{z}}{f} \sqrt{a-Z}$	$\frac{dz_0}{dt} = \frac{-C_0}{F_0/f}$		
		C	Cu	U	GGV	F/f	Z	EV <sup>2</sup>	ZEV <sup>3</sup>	g/g	a-Z	$\frac{a}{f}$	C <sub>0</sub>	F <sub>0</sub> /f
0	0	673	0	673	0	1.44	73.6	73.6	0	2716		0.408		26.4
	2.5	0	0	0	-6.73		62.0	73.6	-11.6					
1	5.0	0	0	6.71	-6.71		50.5	73.2	-22.7					
	7.5	0	0	6.68	-6.68		39.0	71.6	-32.6					
2	10.0	0	0	6.65	-6.65		27.6	71.6	-44.0					
	12.5	0	0	6.61	-6.61		16.2	71.0	-54.8					
3	15.0	0	0	6.53	-6.53		5.00	69.8	-64.8					
	17.5	0	0	6.50	-6.50		-6.20	68.7	-74.9					
4	20.0	0	0	6.24	-6.24		-17.10	66.8	-83.9					
	21.25	0	0	6.38	-6.38		-22.57	65.2	-87.77					
5	22.5	0	0	6.35	-6.35		-28.00	65.0	-93.00	0	0			5.00
	23.25	0	0	6.32	-6.32		-30.75	64.4	-95.12	2.75	0			
6	23.75	0	1.90	6.30	-4.40		-31.50	64.2	-95.70	3.70	1.90			4.80
	10	28.75	0	5.98	6.10	-0.12	-33.90	60.4	-94.30	5.90	5.98			
	29.375	0	5.86	6.08	-0.22		-34.00	60.1	-94.10	6.00	5.86			3.80
11	30.0	0	6.00	6.06	-0.06		-33.95	59.8	-93.75	5.95	6.00			3.50

Point	Time	$C_u = U$		$Z = a - \left(\frac{f}{g} C_u\right)^2$	$\frac{dv}{dt} = \frac{Z+EV^2}{g}$				$\frac{dz_0}{dt} = \frac{-C_u}{F_0/f}$			
		C <sub>u</sub>	U	a	$\left(\frac{f}{g} C_u\right)^2$	Z	EV <sup>2</sup>	ZEV <sup>3</sup>	g/g	C <sub>u</sub>	F <sub>0</sub> /f	Z <sub>t</sub>
11	30	6.00	6.00	-28.0	5.95	-33.95	59.8	-93.75		6.00	26.4	3.50
	40	5.72	5.72	0	5.85	-33.85	52.8	-86.65		5.72		
12	50	5.45	5.42	0	5.68	-33.68	48.0	-81.68		5.45		-0.6
	60	5.14	5.14	0	5.42	-33.42	42.6	-76.02		5.14		
13	70	4.88	4.88	0	5.24	-33.24	38.4	-71.64		4.88		-4.4
	80	4.63	4.63	0	5.05	-33.05	34.8	-67.85		4.63		
14	90	4.40	4.40	0	4.88	-32.88	31.4	-64.28		4.40		-7.6

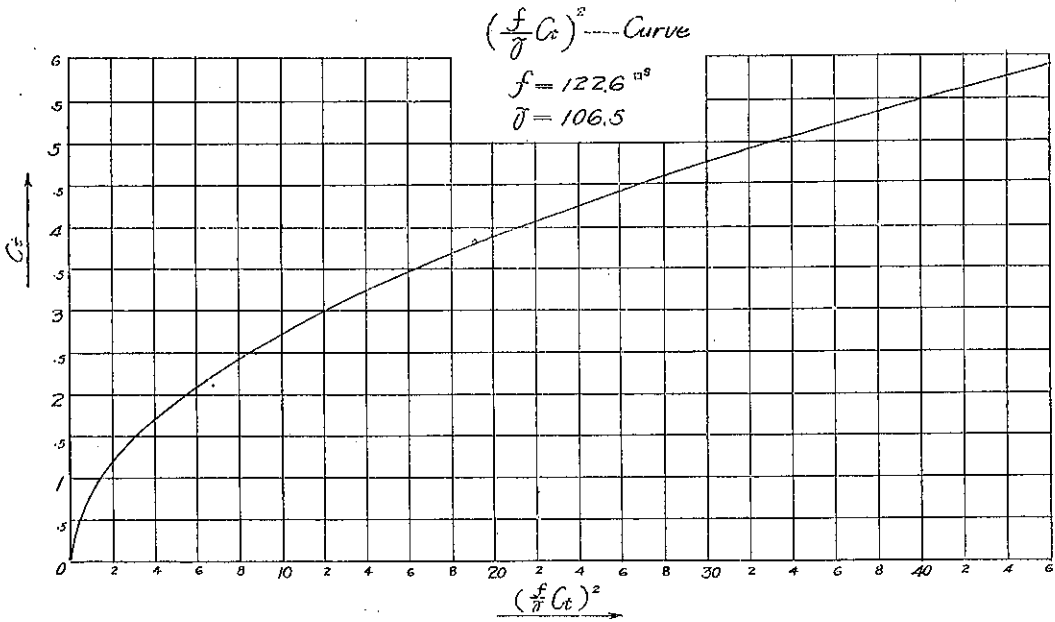
附圖第一



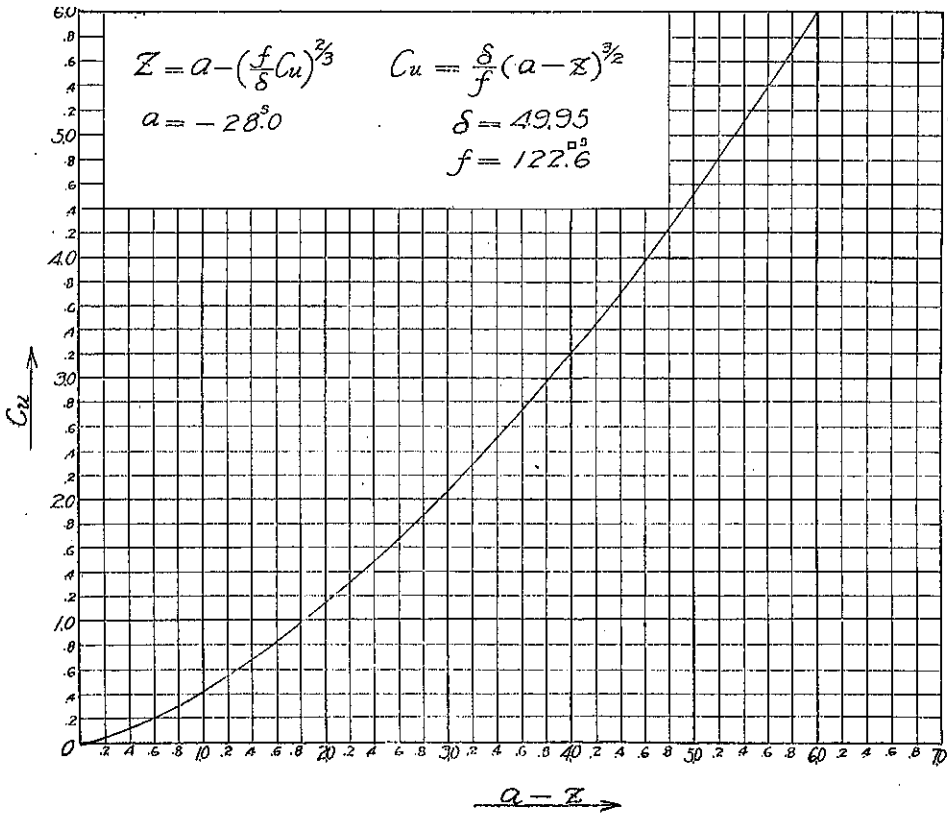
附圖第二



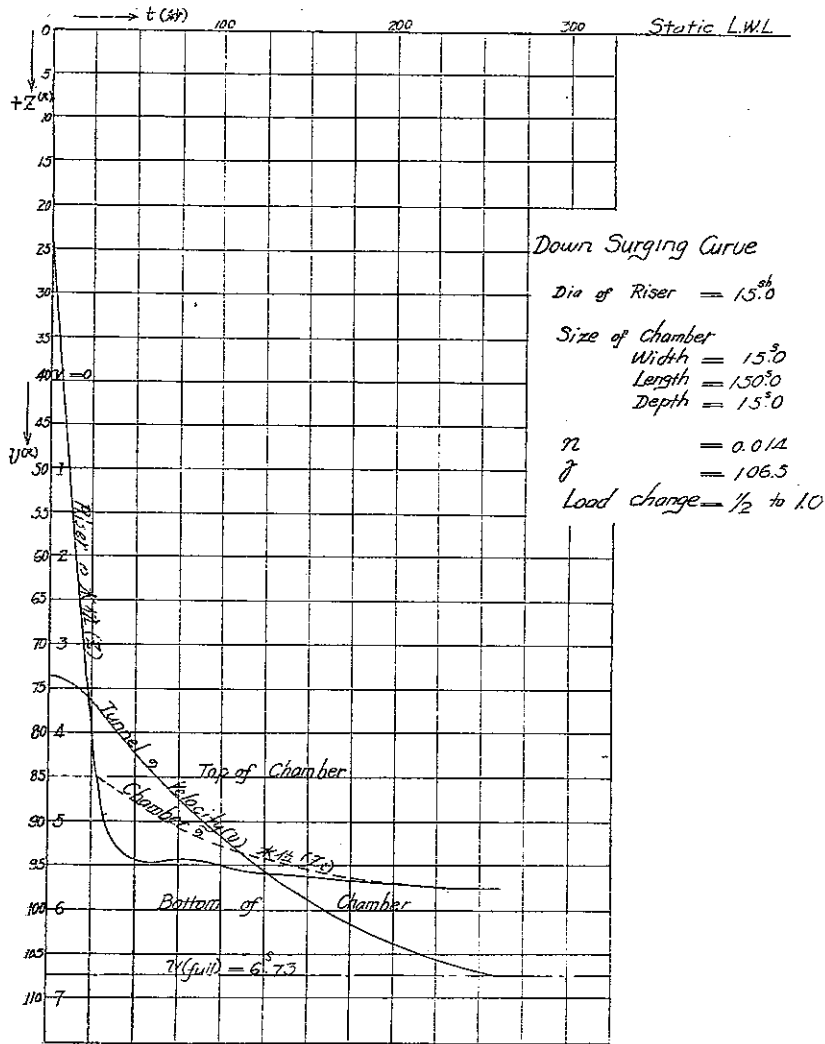
附圖第三



附圖第四



附圖第五



(此圖係根據1952年12月12日資料)

附圖第六

