

## 論 說 報 告

土木學會誌 第十五卷第二號 昭和四年二月

### 田代川第二發電所サージング に関する實驗報告

會員 工學士 新 井 榮 吉  
准員 工學士 野 口 誠  
品 川 善 次 郎

Report on the Experiments on Surging Phenomena at the  
Tashirogawa No. 2 Power Plant

By Eikichi Arai, C. E., Member,  
Makoto Noguchi, C. E., Assoc. Member,  
Zenjiro Shinagawa.

#### 内 容 梗 概

本報告に於ては昭和3年9月9日東京電燈株式會社所屬田代川第二發電所に於て實施したる Surgingに関する實驗の觀測を記述し併せて之に關する Mühlhofer 氏の圖式計算の理論と方法を説明して其の計算實例を示し觀測と計算との結果を比較研究す。而して其の結論として圖式計算の方法が頗る簡單にして、しかも精確なることを實證し、且つ構造複雑なる Surge tank にして他の方法を以つてしては解決不可能なる場合に對しても此の方法に依つて容易に其の解決を與へ得ることを論述す。

#### Synopsis

The present paper covers a report of the results of observations of the surging phenomena in the surging tank at the Tashirogawa No. 2 Power Station of the Tokyo Electric Lighting Company. The results of the actual measurements compared quite favorably with the Mühlhofer's graphical solution.

本報告に於ては昭和3年9月9日東京電燈株式會社所屬田代川第二發電所に於て實施したるサージング試験の觀測を記述し併せて其の結果と Mühlhofer 氏の圖式計算法によるサージング・ウェーブと比較研究を爲す。

#### 1. 構造物の説明

田代川第二發電所は落差 1713 尺、水量 192 個、水壓管 2 條、水車 2 臺、最大出力 21 400

K.W. にして水路互長 2 884.57 間、全部耐壓隧道なり。而して附圖第一に示す如く取入口に於て約 7 000 000 立方尺の貯水池を有し途中取入口より 1 686.2 間の處に補助水槽を有し、更に 1 192 間余を隔て、Surge Tank を有す。

サージングに關係ある構造物の大きさを列記すれば次の如し。

$$\begin{aligned}
 F_0 &= \text{取入口貯水池水面積} = 250\,000 \text{ 平方尺} \\
 F_1 &= \text{保利澤補助水槽水面積} = 5\,515 \sim 8\,090 \text{ 平方尺} \\
 F_2 &= \text{Surge Tank 水面積} = 1\,590 \text{ 平方尺} \\
 f &= \text{隧道斷面積} = 35.48 \text{ 平方尺} \\
 L_1 &= \text{一號隧道の長さ} = 10\,117.0 \text{ 尺} \\
 L_2 &= \text{二號隧道の長さ} = 7\,154.0 \text{ 尺}
 \end{aligned}$$

## 2. 實驗の方法

靜止状態よりスイッチを入れ負荷 20 800 K.W. に達したる後 15 分間運轉して負荷を切りたり、而してニードルの閉鎖時間は一號機は 36 秒、二號機は 36.5 秒なり。

此の際に於ける水車發電機の状態は次の如し。

機械番號	負荷 K.W.	廻轉計			水頭計 (#/ft)				ニードル開度 m.m.	閉鎖時間(秒)	
		負荷時	最大	上昇率 %	負荷時	最大	静止後	上昇率 %		デフレクター	ニードル
No. 1	10 400	495	565	14.1	738	778	760	5.42	88	4.2	36.0
No. 2	10 400	497	545	9.7	737	770	760	4.50	92	4.0	36.5

備考 水頭計には約 18 #/ft の誤差ありし様なり。

負荷を切りし瞬間に於ける各水槽水位の降下は取入口貯水池水面を基準として補助水槽に於て 8.2 尺、Surge Tank に於て 14.8 尺にして取入口貯水池水面は Surge Tank 溢水敷以下 1.9 尺の水位を有し水車中心との高低差は 1 711.1 尺なりし。

附圖第二の實線は負荷を切りし後の補助水槽及 Surge Tank の水位變化を觀測に依つて記入したるものにして最後に取入口貯水池の水位は 0.3 尺降下し各水槽の水位が之に水平となつて靜止したり。

尚ほ負荷運轉の時間短小なりしたため負荷を切りし直前に於て各水槽の水位は未だ安定するに至らず Surge Tank 及補助水槽共に 1 分間 0.21 尺の割合にて降下しつゝありたり。

## 3. 負荷を切りし瞬間に於ける流量の算定

水車に於ける使用水量に付ては直接測定の方法なかりしを以て已むを得ず出力より之を算出したり、従て多少の誤差は免れざるも其の量僅少にして計算の結果を誤る程度には達せざるが如し。先づ有效水頭を算定せんに 20 800 K.W. 負荷時の水頭計指針は 2 機平均 737.5

#/□" にして運轉停止後水頭計が 760 #/□" を示したときの靜水頭は實測に依り、1 710.8 尺なりしを以て 20 800 K.W. 負荷時の有效水頭は

$$h_e = \frac{1710.8 \times 737.5}{760} + \text{velocity head}$$

なり。而して水壓管末に於ける流速は

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{92.7}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{92.7 \times 4}{(1.98)^2 \times \pi} = 30.0 \text{ 尺/秒}$$

但し  $Q$  は水壓管 1 條の流量にして先づ適當なる數字を假定し trial に依つて之を決定す。 $d$  は水壓管の内徑なり。依つて velocity head は

$$h_v = \frac{v^2}{2g} = 14.0 \text{ 尺}$$

故に有效水頭は

$$\begin{aligned} h_e &= \frac{1710.8 \times 737.5}{760} + 14.0 \\ &= 1674.35 \text{ 尺} \end{aligned}$$

而して出力と水量との關係は

$$K.W. = C h_e Q \quad C \text{ は係數}$$

依つて

$$\begin{aligned} Q &= \frac{K.W.}{C h_e} \\ &= \frac{20800}{0.85 \times 0.95 \times 0.111 \times 0.746 \times 1674.35} \\ &= 185.4 \text{ 立方尺/秒} \end{aligned}$$

即ち出力 20 800 K.W. に對する水車の使用水量を 185.4 個と算定す。

次に隧道内の流量を算定せんに負荷を切りし直前に於て Surge Tank 及水槽の水位は 1 分間 0.21 尺の割合にて降下しつゝありしを以て此の水量を算出すれば

$$\frac{0.21 F_2}{60} = \frac{0.21 \times 1590}{60} = 5.6 \text{ 個}$$

$$\frac{0.21 F_1}{60} = \frac{0.21 \times 6035}{60} = 21.1 \text{ 個}$$

故に 二號隧道の流量及流速は

$$Q_2 = 185.4 - 5.6 = 179.8 \text{ 個}$$

$$v_2 = \frac{179.8}{35.48} = 5.07 \text{ 尺/秒}$$

一號隧道の流量及流速は

$$Q_1 = 179.8 - 21.1 = 158.7 \text{ 個}$$

$$v_1 = \frac{158.7}{35.48} = 4.48 \text{ 尺/秒}$$

#### 4. 摩擦水頭の決定

流量公式に於ける係數  $C$  が變數なる事は此の場合手數を要し不便に付き茲には Williams and Hazen の公式を用ふ。即ち

$$\begin{aligned} v &= CR^{0.63} S^{0.54} \\ &= CR^{0.63} h^{0.54} \frac{1}{L^{0.54}} \\ h^{0.54} &= \frac{vL^{0.54}}{CR^{0.63}} \end{aligned}$$

にして此の場合、 $L, R$  は定數なるが故に

$$h = \varepsilon v^{1.35}$$

次に此の係數  $\varepsilon$  を求む。

實驗に依り出力 20 000 *K.W.* にて 5 時間連續運轉の結果摩擦水頭は次の如くなりし。

$$\text{一號隧道} \quad h_1 = 9.8 \text{ 尺}$$

$$\text{二號隧道} \quad h_2 = 6.6 \text{ 尺}$$

而して此の場合の流量を算定するに

$$Q = 185.4 \times \frac{20\,000}{20\,800} = 179.0 \text{ 個}$$

$$\text{故に} \quad v = \frac{Q}{f} = \frac{179}{35.48} = 5.05 \text{ 尺/秒}$$

なり、依つて

$$h = \varepsilon v^{1.35}$$

に於て

$$9.8 = \varepsilon_1 5.05^{1.35}, \quad 6.6 = \varepsilon_2 5.05^{1.35}$$

故に

$$\varepsilon_1 = 0.49, \quad \varepsilon_2 = 0.33$$

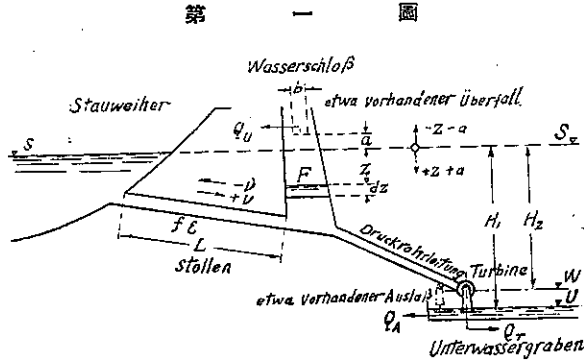
即ち

$$h_1 = 0.49 v_1^{1.55}, \quad h_2 = 0.33 v_2^{1.55}$$

此の式は Kutter 公式の粗度係数  $n = 0.0128$  位に相當す。

## 5. Mühlhofer 氏に依るサージング・ウェーブ圖式計算法

### a) 一つの水槽を有する場合



第一圖に示す如く符號を次の如く定む。

$L$  = 隧道の長さ

$f$  = 隧道の斷面積

$v$  = 隧道内の流速

但し下流に向ふものを (+) 上流に向ふものを (-) とす

$F$  = 水槽の斷面積

$t$  = 負荷を切りし時よりの時間

$g$  = 重力による加速度 = 32.4 尺/秒<sup>2</sup>

$r$  = 水の比重

$z$  = 貯水池の水位を基準とせる水槽の水位

$h$  = 隧道内に於ける摩擦水頭 即ち  $\pm \varepsilon v^{1.55}$

$Q$  = 1 秒間に水槽より流出する水量

$$Q = Q_A + Q_v + Q_r$$

但し

$Q_A$  は bypath より流出するもの

$Q_v$  は overflow するもの

$Q_r$  は nozzle より流出するもの

$$C = \frac{Q}{f} = \frac{Q_A}{f} + \frac{Q_V}{f} + \frac{Q_R}{f} \left. \vphantom{C} \right\}$$

$$= C_A + C_V + C_R$$

とす。  $Q = Cf = C_A f + C_V f + C_R f$

b) 基本公式

今  $dt$  時間内に水槽の水位が  $dz$  だけ昇降するものとすれば水量の關係に依り

$$Fdz = Qdt - fvd t$$

$$= Cfdt - fvd t$$

$$= f(C - v) dt$$

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

而して  $\frac{dz}{dt}$  は水槽の水位昇降の速度を表するものにして降下の方を (+) とし上昇の方を (-) とす。

次に力の平衡 即ち

$$\text{Mass} \times \text{Acceleration} = \text{Force}$$

に依り隧道内の水に  $\frac{dv}{dt}$  なる加速度を與ふる力を考ふるときは

$$\frac{rLf}{g} \frac{dv}{dt} = r(z - h)f$$

なる事明なり。而して  $h = \pm \epsilon v^{1.55}$   
なるにより

$$\frac{L}{g} \frac{dv}{dt} = z - (\pm \epsilon v^{1.55})$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{z - (\pm \epsilon v^{1.55})}{L/g} \dots\dots\dots(2)$$

此の 2 式が水槽内の水位の變化並に隧道内の流速の變化を表はす基本公式なり。此の微分方程式は近似的假定を入れて式を簡単にせざる限り其の解決困難なり。殊に水槽が二つ以上ある場合は之を解拆的に解決する事は全然不可能なりとす。然るに圖式計算法に依つて之が解決の方法を與へたるものを Mühlhofer's Method とす。

c) 圖式計算法の數學的根據

基本公式 (1), (2) に於て  $\frac{dz}{dt}$  は  $t, v, z$  の函数にして  $\frac{dv}{dt}$  は  $v, z$  の函数なるが

故に

$$\frac{dz}{dt} = \frac{C-v}{F|f} = \varphi(t, v, z) \dots\dots\dots(1')$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{z - (\pm \varepsilon v^{1.55})}{L|g} = \psi(v, z) \dots\dots\dots(2')$$

なる形式にて表はさる。而して  $t=t_i$  なるときの  $z, v$  を  $z_i, v_i$  とすれば  $t=t_{i+1}=t_i + \Delta t_i$  なるときの  $z, v$  の値は C. Runge 氏によつて次の如く表はさる。

$$\left. \begin{aligned} z_{i+1} &= z_i + \varphi \left[ t_i + \frac{1}{2} \Delta t_i, \quad v_i + \frac{1}{2} \psi(v_i, z_i) \Delta t_i, \right. \\ &\quad \left. z_i + \frac{1}{2} \varphi(t_i, v_i, z_i) \Delta t_i \right] \Delta t_i \\ v_{i+1} &= v_i + \psi \left[ v_i + \frac{1}{2} \psi(v_i, z_i) \Delta t_i, \quad z_i + \frac{1}{2} \varphi(t_i, v_i, z_i) \Delta t_i \right] \Delta t_i \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

此の  $z_{i+1}, v_{i+1}$  の値は numerical integration の方法に依つて求むる事を得れども其の手續甚しきを以て茲には之を圖式に依つて求むる方法を説明せん。

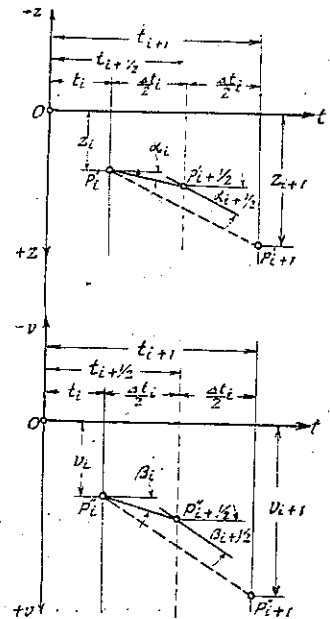
依つて今  $t$  を横軸とし  $z$  及  $v$  を縦軸とする二つの直角座標を考ふれば (1)', (2)' は各  $z$  及  $v$  の曲線の切線を示す事明なり。依つて  $\alpha, \beta$  を以て各其の角度を表はすものとすれば

$$\left. \begin{aligned} \text{tg } \alpha &= \frac{dz}{dt} = \frac{C-v}{F|f} = \varphi(t, v, z) \\ \text{tg } \beta &= \frac{dv}{dt} = \frac{z - (\pm \varepsilon v^{1.55})}{L|g} = \psi(v, z) \end{aligned} \right\} \dots(4)$$

なり。今  $z$  及  $v$  曲線上の點  $p_i', p_i''$  が  $t_i, z_i$  及  $t_i, v_i$  なる座標を有するものとし、此の點より

$$\text{tg } \alpha_i = \frac{C-v_i}{F|f} = \varphi(t_i, v_i, z_i)$$

第二圖



$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{z_i - (\pm \varepsilon v_i^{1.55})}{L/g} = \psi(v_i, z_i)$$

なる方向の切線を引き之と  $t_{i+1/2} = t_i + \frac{1}{2} \Delta t_i$  と取りたる線との交点を  $p_{i+1/2}'$ ,  $p_{i+1/2}''$

とすれば  $p_{i+1/2}'$ ,  $p_{i+1/2}''$  は各

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{i+1/2} = t_i + \frac{1}{2} \Delta t_i \\ z_{i+1/2} = z_i + \frac{1}{2} \varphi(t_i, v_i, z_i) \Delta t_i \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{i+1/2} = t_i + \frac{1}{2} \Delta t_i \\ v_{i+1/2} = v_i + \frac{1}{2} \psi(v_i, z_i) \Delta t_i \end{array} \right.$$

なる座標を有する事明なり。次にこの 2 點を補助點とし、この點に於て

$$\operatorname{tg} \alpha_{i+1/2} = \varphi \left[ t_i + \frac{1}{2} \Delta t_i, v_i + \frac{1}{2} \psi(v_i, z_i) \Delta t_i, z_i + \frac{1}{2} \varphi(t_i, v_i, z_i) \Delta t_i \right]$$

$$\operatorname{tg} \beta_{i+1/2} = \psi \left[ v_i + \frac{1}{2} \psi(v_i, z_i) \Delta t_i, z_i + \frac{1}{2} \varphi(t_i, v_i, z_i) \Delta t_i \right]$$

なる方向の切線を書き之に平行に始めの點  $p_i'$ ,  $p_i''$  より直線を引き此の直線と  $t_{i+1} = t_i + \Delta t_i$  と取りたる線との交点を各  $p_{i+1}'$ ,  $p_{i+1}''$  とす。然るときは  $p_{i+1}'$ ,  $p_{i+1}''$  點の座標は各

$$\left\{ \begin{array}{l} t_i + \Delta t_i \\ z_i + \varphi \left[ t_i + \frac{1}{2} \Delta t_i, v_i + \frac{1}{2} \psi(v_i, z_i) \Delta t_i, z_i + \frac{1}{2} \varphi(t_i, v_i, z_i) \Delta t_i \right] \Delta t_i \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_i + \Delta t_i \\ v_i + \psi \left[ v_i + \frac{1}{2} \psi(v_i, z_i) \Delta t_i, z_i + \frac{1}{2} \varphi(t_i, v_i, z_i) \Delta t_i \right] \Delta t_i \end{array} \right.$$

なる事明なり、而して此の値を (3) 式の右項と比較すれば全然同一なることを見るべし。

依つて  $p_{i+1}'$ ,  $p_{i+1}''$  點は各

$$\left. \begin{array}{l} t_{i+1} \\ z_{i+1} \end{array} \right\} \quad \text{及} \quad \left. \begin{array}{l} t_{i+1} \\ v_{i+1} \end{array} \right\} \quad \text{に相當する } z \text{ 及 } v \text{ 曲線上の點なる事を知る。}$$

依つて更に此の點を基として同様の方法を繰返し順次  $z_{i+2}$ ,  $z_{i+3}$  ... 及  $v_{i+2}$ ,  $v_{i+3}$  ...



を求めて完全に  $z$  及  $v$  曲線を作製する事を得。

d) 二つの水槽を有する場合

此の場合に於ても基本公式には何等の差異あるなし。即ち第三圖の符號を用ひて第一水槽及第一隧道に對しては

$$\frac{dz_1}{dt} = \frac{C_1 - v_1}{F_1/f_1} \dots (5)$$

$$\frac{dv_1}{dt} = \frac{z_1 - (\pm \varepsilon_1 v_1^{1.85})}{L_1/g} \dots (6)$$

又第二水槽及第二隧道に對しては

$$\frac{dz_2}{dt} = \frac{C_2 - v_2}{F_2/f_2} \dots (7)$$

$$\frac{dv_2}{dt} = \frac{(z_2 - z_1) - (\pm \varepsilon_2 v_2^{1.85})}{L_2/g} \dots (8)$$

なり。而して  $C_2$  は (1) 式の  $C$  と同一なり。又  $C_1$  は

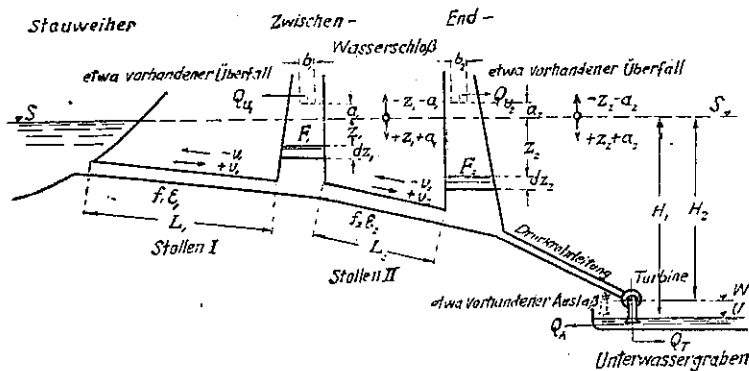
$$C_1 = \frac{f_2}{f_1} v_2 + \frac{Q_{T1}}{f_1} = C_{T1} + C_{G1}$$

なり。若し第一水槽に溢水なく且つ  $f_1 = f_2$  ならば

$$C_1 = C_{T1} = v_2$$

なり。

第 三 圖



6. 今回の実験に對する圖式計算實例

a) 圖式計算の材料

$$F_0/f = \frac{250\,000}{35.48} = 7\,000.0$$

$$F_1/f = \frac{5\,515}{35.48} \dots\dots \frac{8\,090}{35.48} = 155 \dots\dots 228$$

但し附圖第三の(1)に依り與へられたる  $z_1$  に対する  $F_1/f$  の値を求むる事を得。

$$F_2/f = \frac{1\,590}{35.48} = 44.8$$

$$L_1/g = \frac{10\,117}{32.4} = 312.3$$

$$L_2/g = \frac{7\,154}{32.4} = 220.8$$

$z_0 = 0$  取入口貯水池の水位

$z_1 = 8.2$

$z_2 = 14.8$

$v_1 = 4.48$

$v_2 = 5.07$

$$C_r = \frac{Q}{f} = \frac{185.4}{35.48} = 5.23$$

にして其の變化は閉鎖時間 36 秒なるにより次の如し。

Time (秒)	$C_r$
0	5.23
10	4.25
20	2.52
30	0.98
40	0

溢水に付ては Francis の公式により

$$C_{v2} = \frac{Q_{v2}}{f} = \frac{3.38 b_2 (a_2 - z_2)^{3/2}}{f}$$

但し  $a_2$  は貯水池水面と溢水敷との高低差.  $b_2$  は溢水中にして

$$a_2 = -1.9$$

$$b_2 = 30.0$$

$$\therefore C_{v2} = 2.816 (a_2 - z_2)^{3/2}$$

$z_2$	$(a_2 - z_2)^{3/2}$	$C_{v2}$	$z_2$	$(a_2 - z_2)^{3/2}$	$C_{v2}$
-1.95	0.011	0.05	-2.05	0.058	0.15
-2.00	0.032	0.10	-2.10	0.098	0.25

-2.15	0.125	0.35	-2.30	0.253	0.70
-2.20	0.164	0.45	-2.35	0.302	0.85
-2.25	0.207	0.60	-2.40	0.354	1.00

摩擦水頭に付ては

$$\text{一號隧道に對しては} \quad h_1 = 0.49 v_1^{1.55}$$

$$\text{二號隧道に對しては} \quad h_2 = 0.33 v_2^{1.55}$$

なるに依り、

$v$	$h_1 = \epsilon_1 v_1^{1.55}$	$h_2 = \epsilon_2 v_2^{1.55}$
1	0.49	0.33
2	1.8	1.2
3	3.7	2.5
4	6.4	4.3
5	9.6	6.5
6	13.5	9.1

此の關係を圖に表はせば附圖第三の (2), (3) となる。此の圖に依り與へられたる流速に對する摩擦水頭を求むる事を得。

#### 6) 圖式計算の仕方

先づ附表に示す如き表を作り、其の第一行各欄には上記の與へられたる材料及附圖第三の (1), (2), (3) に依つて相當の數字を記入す。次に之等の數字に依つて附圖第三の (8), (9), (10), (11) に於て  $z_1, v_1, z_2, v_2$  各曲線の  $p_0$  點を定め別に其の各點の切線の方即ち附圖第三の (4), (5), (6), (7) を作り、之に平行に (8), (9), (10), (11) 圖の  $p_0$  點より各夫に相當する切線を引き  $t=10''$  の線との交點  $p_{1/2}$  を定め圖上にて夫等の座標即ち  $z_1, v_1, z_2, v_2$  を計り、同時に (1), (2), (3) 圖に依つて之等に相當する其の他の欄の數字を求め、之等の總てを第二行各欄に記入す。茲に於て再び (4), (5), (6), (7) 圖に戻り第二行各欄の數字を用ひて  $p_{1/2}$  點の各の切線の方を作り、之に平行に (8), (9), (10), (11) 圖の  $p_0$  點より各夫に相當する切線を引き  $t=20''$  の線との交點  $p_1$  を定め圖上にて夫等の點の座標即ち  $z_1, v_1, z_2, v_2$  を計り同時に (1), (2), (3) 圖に依つて之等に相當する其の他の欄の數字を求め之等の總てを第三行各欄に記入す。

次に  $p_1$  點を基とし、第三行各欄の數字を用ひて同様の方法を繰返し順次  $p_{1\frac{1}{2}}, p_{2\frac{1}{2}}, p_{3\frac{1}{2}} \dots$  及  $p_2, p_3, p_4 \dots$  を求む。斯くして得たる諸點  $p_{1/2}, p_{1\frac{1}{2}}, p_{2\frac{1}{2}} \dots$  は所謂補助點にして  $p_0, p_1, p_2, p_3 \dots$  を連結したるものは即ち各  $z_1, v_1, z_2, v_2$  を表はす曲線なり。

附圖第二點線にて示したるものが即ち此の圖式計算法に依つて得たる  $z_1, v_1, z_2, v_2$  曲線なり。

### ㉑) 縮尺に関する注意

圖式計算に用ふる縮尺に付ては

	單位	縮尺
$F/f$	1	$E$
$ev^{1.55}, z$	尺	$D$
$t$	秒	$T$
$C, v$	尺/秒	$G$

とすれば

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{C-v}{F/f}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dz}{dt}$$

なるに依り、此の2式の  $\alpha$  を一致せしむるためには  $(C-v)$  の縮尺を  $\frac{ED}{T}$  と定むる事を

要す。同様に

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{z - (\pm ev^{1.55})}{L/g}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{dv}{dt}$$

なるに依り、此の2式の  $\beta$  を一致せしむるためには  $L/g$  の縮尺を  $\frac{DT}{G}$  と定むる事を要す。

## 7. 結 論

今回の實驗の結果は附圖第二に示す如く Mühlhofer 氏の圖式計算に依る曲線とその性質に於て殆んど相一致す。而して補助水槽を有する場合のサージング・ウェーブは補助水槽の水位上昇の影響を受けて漸次上昇するが故に其の峯の最大は第一回に非ずして第二回又は第三回目にあり。従つて溢水は第一回目に起らずして第二回目又は第三回目に起る事となる。又其の谷も漸次上昇するが故に遇々第一回目又は第二回目の谷の瞬間に於て再びスウェッチを入れたりとして其の結果水槽の水位が二重に降下する事あるも其の程度は極端に達する虞れ無し。

尙ほ實驗と計算とが局部的に些少の相違あるは二號隧道の中間にある内徑 6 尺の Shaft を考に入れざりし事の外に實驗の側に於ては觀測に用ひたる各所の時計が精確に一致せざりし事、又計算の側に於ては水量の算定に多少の誤差ある事及摩擦水頭の公式が幾分實際と符合せざる點ある事等に原因するものなるべし。

夫は兎に角として此の圖式計算法に於ては  $z, v$  等を圖上に求むるため多少の誤差は免かれずと雖も其の値は僅少にして他の方法と異り解法的手段として近似法を代用する事、又は簡略法を採用する事無きを以て其の結果は他の方法に比し寧ろ精確なり。殊に摩擦水頭に付ては之を流速の二乗に比例するとするも尙係數が變數なる丈の誤差は免れず。然るに Prásil に於ては之を流速の一乗に比例するものとするため其の結果に於て著しき誤差を生ず。併し之を實際に適合すべく係數の變化ある Kutter の公式又は係數の變化せざる指數公式を採用するに於ては之が解拆的解法は不可能なり。然るに此の圖式計算法に於ては摩擦水頭に對して單に、附圖第三の (2), (3) を作れば充分なるを以て如何なる流量公式にても望む所のものを採用して出來得る限り實際と一致せしむる事を得。又途中に補助水槽を有する場合の如きは他の方法を以ては全く解決の手段に窮するも此の圖式計算法に於ては一つの水槽の場合と同様簡單に之を解決する事を得。

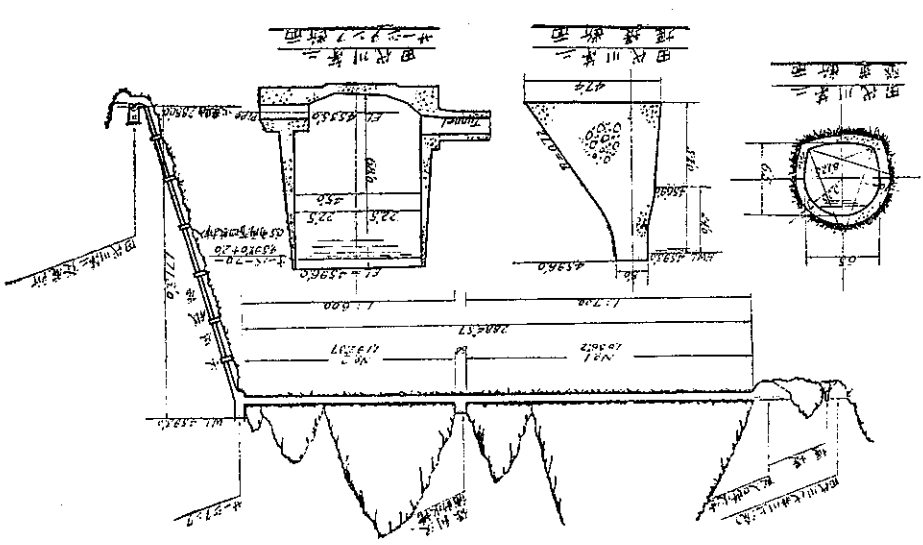
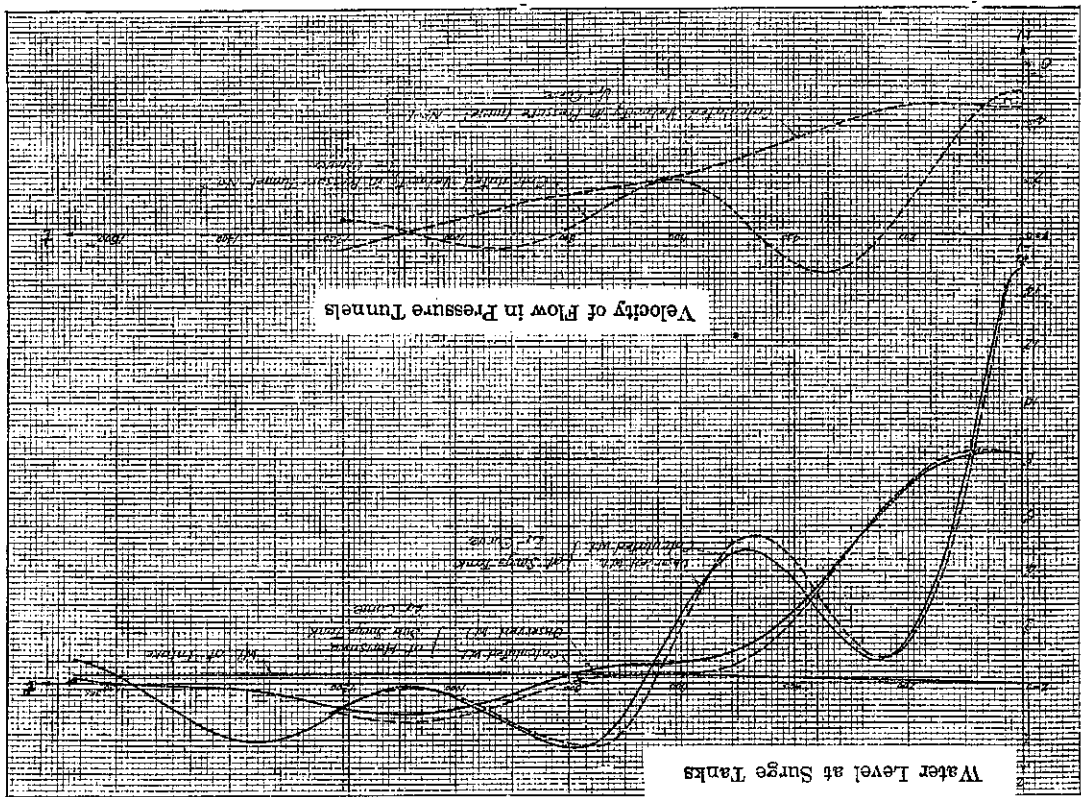
之を要するに圖式計算法に依る結果が事實に符合すると否とは一に水量及摩擦水頭算定の適否如何に依るものと斷定する事を得べく、今回の實驗に於ては其の摩擦水頭を實驗に基いて算出し之を圖式計算法に應用したるに因り比較的好結果を得たるものと考へらる。故にサージング・ウェーブに関する計算を爲すに當つては其の水量の決定と摩擦水頭の推定とは最も考慮を要する點にして而も隧道内面の粗度に付ては其の仕上げの巧拙を斟酌して  $n=0.012$  乃至  $n=0.014$  の範圍に於て實際に符合する様適當に選定するを要す。

而して此の二者の撰定を誤る事なく且つ時間を微細に分つに於ては彼の繁雜なる numerical integration の方法に依らざるも此の圖式計算法を以て容易に充分精確なる結果を求むる事を得。

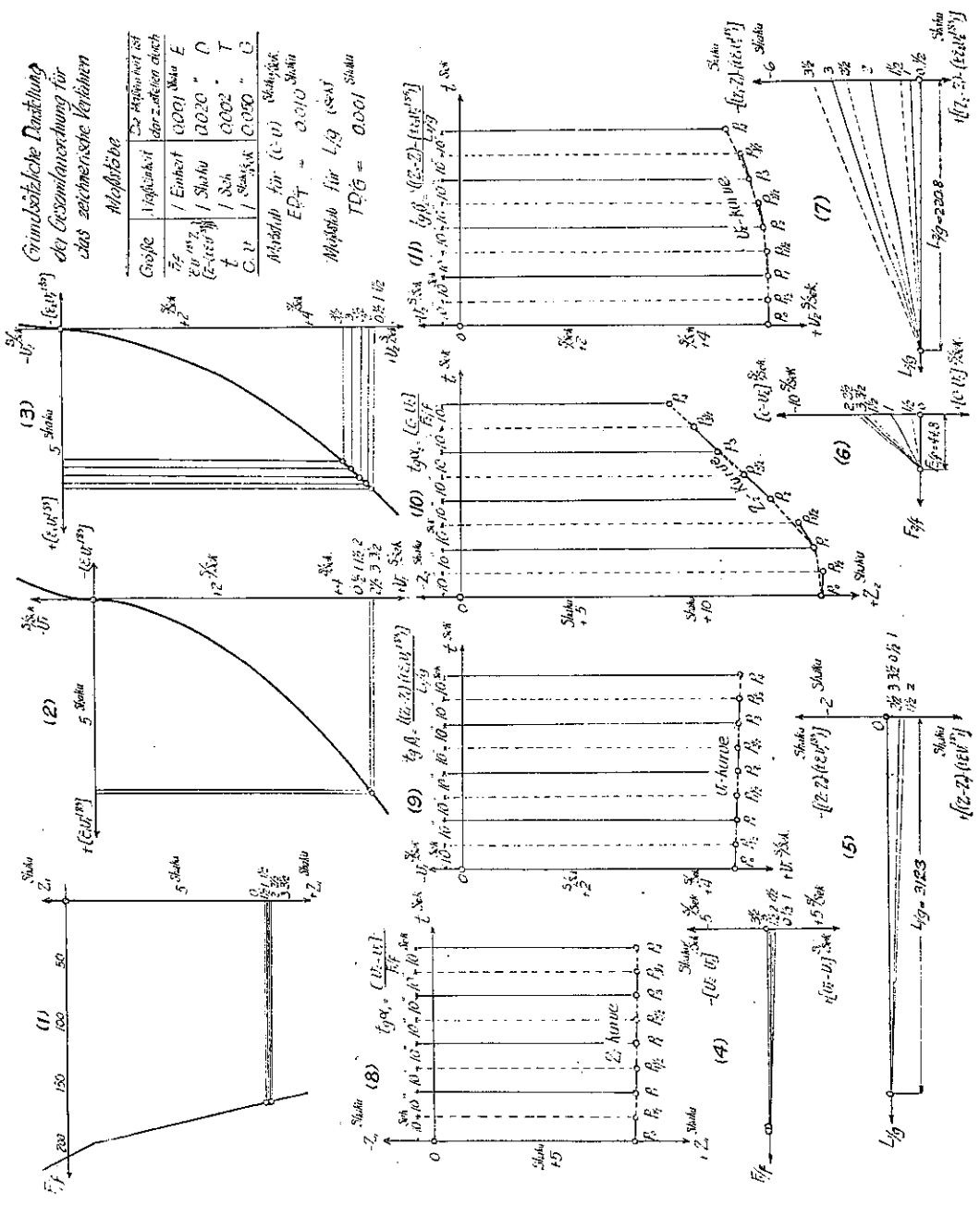
附表 Table for Graphical Calculation.

Point	time	Horisawa Subsurge Tank										Surge Tank								Remarks
		Intake		$\text{tg } \alpha_1 = \frac{v_2 - v_1}{F_1/f}$				$\text{tg } \beta_1 = \frac{[(z_1 - z_0) - (\pm \epsilon_1 v_1^{1.85})]}{L_1/g}$				$\text{tg } \alpha_2 = \frac{C - v_2}{F_2/f}$		$\text{tg } \beta_2 = \frac{[(z_2 - z_1) - (\pm \epsilon_2 v_2^{1.85})]}{L_2/g}$						
		$v_1$	$F_0/f$	$v_2$	$v_1$	$v_2 - v_1$	$F_1/f$	$z_1$	$z_0$	$\pm \epsilon_1 v_1^{1.85}$	$\frac{[(z_1 - z_0) - (\pm \epsilon_1 v_1^{1.85})]}{L_1/g}$	$C$	$v_2$	$C - v_2$	$F_2/f$	$z_2$	$z_1$	$\pm \epsilon_2 v_2^{1.85}$	$\frac{[(z_2 - z_1) - (\pm \epsilon_2 v_2^{1.85})]}{L_2/g}$	
		$\text{tg } \alpha_0 = \frac{v_1}{F_0/f}$																		
$p_0$	0	4.48	5.07	4.48	+0.59	167	8.20	0	7.90	+0.30	5.23	5.07	+0.16	14.80	8.20	+6.60	0			
$p_{1\frac{1}{2}}$	10"	4.50	5.07	4.50	+0.57	"	8.25	0	7.90	+0.35	4.25	5.07	-0.82	14.85	8.25	+6.60	0	Closing time 85'		
$p_1$	20"	4.50	5.07	4.50	+0.57	"	8.25	0	7.90	+0.35	2.52	5.07	-2.55	14.50	8.25	+6.60	-0.35			
$p_{1\frac{1}{2}}$	30"	4.50	5.05	4.50	+0.55	166	8.30	0	7.90	+0.40	0.98	5.05	-4.07	14.00	8.30	+6.60	-0.90			
$p_2$	40"	4.50	5.00	4.50	+0.50	"	8.35	0	7.90	+0.45	0	5.00	-5.00	12.70	8.35	+6.40	-2.05			
$p_{2\frac{1}{2}}$	50"	4.55	4.90	4.55	+0.35	"	8.35	0	8.10	+0.25	0	4.90	-4.90	11.60	8.35	+6.20	-2.95			
$p_3$	60"	4.55	4.75	4.55	+0.20	"	8.40	0	8.10	+0.30	0	4.75	-4.75	10.60	8.40	+5.80	-3.60			
$p_{3\frac{1}{2}}$	70"	4.55	4.60	4.55	+0.05	"	8.40	0	8.10	+0.30	0	4.60	-4.60	9.60	8.40	+5.50	-4.30			
$p_4$	80"	4.60	4.35	4.60	-0.25	"	8.40	0	8.25	+0.15	0	4.35	-4.35	8.50	8.40	+5.00	-4.90			
$p_{35}$	700"	1.65	1.30	1.65	-0.35	207	0.35	0.20	1.10	-0.95	0	+1.30	-1.30	-1.70	+0.35	+0.50	-2.55	Over flow period $\frac{\Delta t}{2} = 10'$ $\frac{\Delta t}{2} = 5'$ $\frac{\Delta t}{2} = 10'$		
	710"	1.60	1.20	1.60	-0.40	"	0.30	0.20	1.00	-0.90	0.05	+1.30	-1.15	-1.95	+0.30	+0.50	-2.75			
$p_{36}$	720"	1.60	1.05	1.60	-0.55	"	0.30	0.20	1.00	-0.90	0.45	+1.05	-0.60	-2.20	+0.30	+0.40	-2.90			
	725"	1.60	1.00	1.60	-0.60	"	0.30	0.20	1.00	-0.90	0.70	+1.00	-0.30	-2.30	+0.30	+0.30	-2.90			
$p_{37}$	730"	1.55	0.95	1.55	-0.60	"	0.30	0.20	1.00	-0.90	0.70	+0.95	-0.25	-2.30	+0.30	+0.30	-2.90			
	735"	1.55	0.85	1.55	-0.70	208	0.25	0.20	1.00	-0.95	0.70	+0.85	-0.15	-2.30	+0.25	+0.30	-2.85			
$p_{38}$	740"	1.55	0.80	1.55	-0.75	"	0.25	0.20	1.00	-0.95	0.70	+0.80	-0.10	-2.30	+0.25	+0.20	-2.75			
	745"	1.55	0.75	1.55	-0.80	"	0.25	0.20	1.00	-0.95	0.70	+0.75	-0.05	-2.30	+0.25	+0.20	-2.75			
$p_{39}$	750"	1.50	0.70	1.50	-0.80	"	0.20	0.20	0.90	-0.90	0.70	+0.70	0	-2.30	+0.20	+0.20	-2.70			
$p_{42}$	780"	1.45	+0.35	1.45	-1.10	210	+0.10	0.20	0.85	-0.95	0.45	+0.35	+0.10	-2.20	+0.10	0	-2.30			
	785"	1.40	+0.30	1.40	-1.10	"	+0.05	0.20	0.80	-0.95	0.45	+0.30	+0.15	-2.20	+0.05	0	-2.25			
$p_{43}$	790"	1.40	+0.25	1.40	-1.15	211	0	0.20	0.80	-1.00	0.45	+0.25	+0.20	-2.15	0	0	-2.15			
	795"	1.40	+0.20	1.40	-1.20	"	0	0.20	0.80	-1.00	0.35	+0.20	+0.15	-2.15	0	0	-2.15			
$p_{44}$	800"	1.40	+0.15	1.40	-1.25	"	0	0.20	0.80	-1.00	0.25	+0.15	+0.10	-2.10	0	0	-2.10			
	810"	1.35	+0.05	1.35	-1.30	"	-0.05	0.20	0.75	-1.00	0.15	+0.05	+0.10	-2.05	-0.05	0	-2.00			
$p_{45}$	820"	1.30	-0.05	1.30	-1.35	"	-0.10	0.20	0.70	-1.00	0.10	-0.05	+0.15	-2.00	-0.10	0	-1.90			
	830"	1.30	-0.10	1.30	-1.40	"	-0.15	0.20	0.70	-1.05	0.05	-0.10	+0.15	-1.95	-0.15	0	-1.80			
$p_{46}$	840"	1.25	-0.20	1.25	-1.45	212	-0.25	0.20	0.65	-1.10	0.05	-0.20	+0.25	-1.95	-0.25	0	-1.70			
	850"	1.20	-0.25	1.20	-1.45	213	-0.35	0.25	0.60	-1.20	0	-0.25	+0.25	-1.90	-0.35	0	-1.55			
$p_{47}$	860"	1.20	-0.35	1.20	-1.55	214	-0.40	0.25	0.60	-1.25	0	-0.35	+0.35	-1.80	-0.40	0	-1.40			

(注) 流量係由上游斷面算起



附圖 第三



(本圖會集第十卷第三圖附圖)