

討

義

土木學會誌 第十八卷第一號 昭和七年一月

改良型 Chamber Surge Tank に就て

(第十七卷第七號所載)

會員 工學士 石井 穎一郎

會員新井工學士の改良型 Chamber Surge Tank に関する論文を讀了して甚だ興味深く感じた。丁度筆者も近く工事に取掛らむとする黒部川第二號發電水路の surge tank 設計に際し、在宇奈月黒部建設所に於て今年春頃數種の模型を以て實驗を行つたが、偶々著者の所謂改良型 chamber surge tank と類似のものに就ても實驗を試みて居たので一層興味深きを感じた次第である。

茲に二三の私見を述べ、此の機會に於てその模型實驗の成績を附記しやうと思ふ。

1. 改良型 chamber surge tank の趣旨には賛成である。

此の型は chamber surge tank に restricted port を設けて、differential surge tank の principle を用ひたものとも言へるし、又 Johnson's differential surge tank の tank を simple な tank とせず、之れを chamber type にしたものとも言へる。つまり differential chamber surge tank と云ふべき混血兒であるから、その作用も兩者の長所を double にし得ることとなり、特に貯水池の利用水深大なるときは一定の水位昇降極限に對して所要容積は大いに節約し得るし、又 differential type の特長として surge wave の damping の早い事も誠に結構である。

此の型は既に古く 1923 年に Fredrik Vogt 氏が此の種書籍中の白眉たる "Berechnung und Konstruktion des Wasserschlößes" に記載してゐる處であるが、同氏は簡単に此の型は Johnson's differential surge tank と同様の計算法を行ふと言つてゐるから、單に differential surge tank の設計上の變更としてあつさり扱つてゐると見える。

2. 著者は又計算法として Johnson 氏公式を紹介せられ又圖式計算法を示された。

此の勞は以て多とするに足る。riser の斷面積を零と見做して負荷變化に應じて riser 内の水位が直ちに極限迄昇降するものとする假定は算式を作る便宜上必要であり、又實際問題としても著者の謂はれる通りであつて仕方がないし、差支ないだらう。此の假定は chamber の volume 計算に對し safe side であるから Vogt 氏も矢張り chamber surge tank の計算に於て "Idealisiertes Kammerbassin" と稱して同様の假定の下に chamber の容積を計算す

る式を提示してゐる。形は見たところ簡単になつてゐるが、全く Johnson 氏公式と同一物で、却つて種々の代値を用ひてゐる爲、一寸見て頭に入りにくいかも知れない。

然し Vogt 氏は shaft 内の水面昇降に伴ふ隧道流速の變化を考慮して實際計算に使用すべき公式をも提示してゐる。又此の外に隧道内流速分布に依る補正も行つてゐる。此の方が多少理論的ではある。

此の Vogt 氏公式による chamber の容積と、實驗の結果の所要容積との比較は後に記することとする。

3. 著者は又新考案として middle chamber を設くる事を提唱されたが、此の事も一應は譲ける。

然し元來 chamber surge tank なり此の改良型なりが simple surge tank なり differential surge tank なりに比して多少施工に面倒を伴ふにも拘らず、尙且つ經濟的に優れてゐる所以のものは、貯水池の利用水深が大きいときその利用水深に相當する部分を水位振動の安定度の許す範圍（大體計算上の値に 20~30% の餘裕をとるが）に縮少し得る場合に特に著しいのであるから、それを今更中位の水位に於て surge tank の水位振動を恐れるならば、chamber type の効用は半分捨てられてしまふのである。又漠然と中位の水位と言つても始まらないから、どうせの事に貯水池利用水深間の水位を全部 cover して chamber を澤山造れば此の心配は全くなくなる。そうすれば又 simple surge tank なり differential surge tank なりに還元してしまふ。

つまり middle chamber をつけやうかと考へ出すことは chamber type の根本趣旨を抛棄して、極端に言へば再び simple type に還元せんとする事を意味するのであつて、此の點に自家撞着の危險性を包含してゐると云へる。

處で又實際問題として貯水池の利用水深を 20m とか、25m とかする事は極めて高落差の發電水路に限られてゐる。然らば斯様な利用水深の大きい場合即ち著者が middle chamber を必要とせられる様な場合には、利用水深程度の水位變動ならば水車能率の問題は杞憂に過ぎないのではないかと思へる。水位變動は小さいに越した事はあるまいが、山來發電所の従事員達は重力隧道式發電水路の惰性からして surge tank の水位變動を極端に氣にし過ぎるが、之れは未だ此の種の運轉に經驗淺い事に起因すること多いからである。

筆者は differential surge tank と chamber surge tank との折衷には賛成するが、以上の意味に於て再び之れを simple surge tank や Johnson's differential surge tank に還元せんとする様な折衷案には直に賛意を表しかねる。

4. 之れと似た問題であるが、simple surge tank と differential surge tank とを比較すると damping の問題は別として單に最高最低水位を一定にして設計した場合、設計に考へた

負荷變化よりも小なる負荷變化に對しては simple surge tank の水位變動が最も少ない。

つまり平常運轉時に於て始終起り得る負荷の小變化に對しては simple surge tank の水位變動が最も少ないのであるし、又一面から考へると chamber surge tank や differential surge tank は shaft なり riser なりの水位が瞬間に極限迄達するものとして差支ない程水壓發道内の水壓變化が急激（その急激な水壓變化を調整するのが surge tank の目的であるが）である。

要するに chamber surge tank や differential surge tank は設計に際する計算上が實際の作用上よりも遙かに有利と見えて、一寸實力以上の勝負をするものであるとも言へる。〔最高最低水位を一定にした場合の容積や damping の點で非常に不利に見える。simple surge tank も矢張り良い所もあると言はなければならない。〕

それで單に計算の上でゆけば、simple surge tank に比して何%容積を減じ得るなど云ふけれども、實際使用に當つて若し上記の如く、中位の水位の折の水位變動とか、或は平常運轉時に始終起る可成り大きな水位變動とかを心配するとしたら、chamber surge tank でも differential surge tank でも相當大きな餘裕をとる必要があるのであつて、結局 damping を早める丈の効果のみを期待することになりはすまいか。

要するに落差、貯水池の利用水深、地質、發電所の負荷状態、掘鑿及びコンクリートの單價等個々の工事に於ける條件に依り最も適當なる型式を採用すべきものであつて、一概にどの型式が最も良いなど、迂闊な斷定の出來ない處に此の種工事設計の面白味があると云へやう。

5. 著者は計算實例に於て up surging に於ては $n=0.013$ と down surging に於ては $n=0.014$ と採つてゐられる。

之れも施工如何による問題ではあるが、吾人の經驗によると相當良好な施工をしたコンクリート巻水壓發道では、最初の内は何うしても $n=0.013$ 以下らしい。又使用後數年を経たもので巻立面に洗掘など起るとすると、何うしても $n=0.014$ では不足に思へる。筆者は設計に際しては $n=0.012$ 及び $n=0.016$ （之れは或は 0.015 でよいのかも知れない）を採用してゐる。構造物の強度計算と違つて折うした水理學的計算には安全率とも云ふべきものが殆んどないのであるから、總ての計算を出来る丈 safe side にとつた上又充分餘裕を見込む必要があると思ふ。設計に考へた條件以外に吾々の考へもつかなかつた悪い状態が起きないとは斷言出來ないのである。あまり常識論に走り過ぎてゐるかも知れないが筆者は近頃斯く信じてゐる。

6. 之れは筆者の臆斷かも知れないが、simple surge tank から次第に發達して來て differential type とか chamber type とか、又之れ等の改良とか種々生れたが、此の種の型も、

う行詰りではあるまいか。surge tank など大きな構造物だから或る點迄は止むを得まいが、之れを一つの機械と考へたら今少し微妙な作用を持つてゐるものが生れはしないかと思ふ。

白紙に立還つて simple surge tank の變型などから飛躍して新形式の更に微妙な作用をもつものが生れてよい時機である。好學の士の御研究を待望する。

7. 以上甚だ僭越乍ら私見を述べたが、勿論甚だ考の足りない處が多いから、著者並に大方の御叱正を乞ふ次第である。

次に當方でやつた模型實驗の成績を簡単に報告する。

(1) 實驗設備 (附圖第一參照)

a. 調整池

長さ 6 尺、幅 5 尺、深さ 4.5 尺の水槽を調整池とし、之れに流入する水量を調整するために 2 個の堰 A 及び負荷變動に伴ふ餘水を流出させるために堰 B を設け、又調整池水位の波動等の影響を防ぐためにバッフル C を設けた。而して實驗中水位標 D に依つて堰 A 及び B を調節して調整池水位を一定にした。

b. 水壓隧道

内徑 $4\frac{9}{16}$ 吋の鐵管を以て水壓隧道 E とし、之れを水平に 31.37 m 導いて水槽 F に連絡した。即ち隧道の直徑は 0.106m、斷面積は 0.008824m^2 とした。

c. 水槽

水槽模型は亜鉛引鐵板で製作し、上空は其の長さを、シャフトは其の高さを調節出来る様にした。第一模型では物指を水槽内に挿入して水槽水位の觀測をし、第一以外の模型では水槽側壁に細長い硝子片を挿入して置いて外部から直接の水槽水位觀測に便した。

d. 水壓鐵管

内徑 $3\frac{9}{16}$ 吋、即ち 8.1cm の鐵管を以て水壓鐵管 G とし、落差約 5 尺を持たせ、其の終端にコック・バルブ H を設けた。

e. 使用水量の測定

コック・バルブ H の下に深さ 1 尺、縦横 1.5 尺の枡 I を設けて使用水量を測定した。

(2) 損失水頭の測定 (附圖第二參照)

種々の流量に對して隧道入口から水槽に至る損失水頭を測定した處、損失落差 h は流速の自乗に比例するよりも次式に示す様に

$$h = 0.3904 v^{1.65}$$

となり、William & Hazen の公式に近似した結果を得た。

(3) 實 驗

先づ Vogt 氏の計算方法を第一及び第二模型に就て照査した。そのためにシャフトの最高

水位と上室の最高水位とを一致させる事とした。水位は調整池水位を原点として上方を負號、下方を正號で示した。

第一模型 (附圖第三参照)

型 式 chamber surge tank

寸 法

隧道 延長	=	31.37 m
シャフト直徑	=	0.16 "
上室 長さ	=	2 × 0.43 "
上室 幅員	=	0.115 "
上室 數高	=	-0.103 "
上室溢流堤頂長さ	=	2 × 0.115 "
溢流堤頂高	=	-0.156 "
下室 長さ	=	0.86 "
下室 幅員	=	0.11 "
下室上端の取水位からの深さ	=	0.153 "

實驗成績

(i) Full load → No load 即ち使用水量を $0.0042 \text{ m}^3/\text{sec}$ から 0 に急減した場合

流量 $0.0042 \text{ m}^3/\text{sec}$ の時隧道入口から水槽に

至る損失水頭 = 0.10 m

水位の最大上昇高 = -0.105 "

實驗による上室所要容量 V_0 = 0.00921 m^3

Vogt 式にて算出した上室の所要容量 V = 0.01045 "

$$V/V_0 = 1.135$$

(ii) Half Load → Full Load 即ち使用水量を $0.00221 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $0.0042 \text{ m}^3/\text{sec}$ に急増した場合

$0.00221 \text{ m}^3/\text{sec}$ の際の損失水頭 = 0.03 m

水位最大下降 = 0.186 "

實驗による下室所要容量 V_0 = 0.0081218 m^3

Vogt 式にて算出した下室所要容量 V = 0.004818 "

$$V/V_0 = 1.54$$

Surging wave の狀況は附圖第三に示してある。

第二模型 (附圖第四参照)

型 式 chamber surge tank

寸 法

隧道 延長	=	31.37 m
シャフト直徑	=	0.155 "
上室 長さ	=	2 × 0.43 "

上室幅員	=	0.120 m
上室溢流堤頂長さ	=	2×0.12 "
溢流堤頂高	=	- 0.158 "
上室敷高	=	- 0.100 "
下室長さ	=	0.510 "
下室幅員	=	0.120 "
下室上端の取水位からの深さ	=	0.1075 "

実験成績

(i) Full Load→No Load 即ち使用水量を 0.0041 m³/sec から 0 に急減した場合

流量 0.0041 m ³ /sec の時の隧道入口 から水槽に至る損失水頭	=	0.097 m
水位最大上昇高	=	- 0.188 "
実験による上室所要容量 V_e	=	0.009288 m ³
Vogt 氏式にて算出した上室の所要 容量 V	=	0.01058 "
$V/V_e = 1.14$		

(ii) Half Load→Full Load 即ち使用水量を 0.0021 m³/sec から 0.0041 m³/sec に急増した場合

流量 0.0021 m ³ /sec の時の取入口か ら水槽に至る損失水頭	=	0.028 m
水位の最大下降	=	0.1875 "
実験による下室所要容量 V_e	=	0.04896 m ³
Vogt 氏式にて算出した下室の所要 容量 V	=	0.006904 "
$V/V_e = 1.41$		

Surging wave の状況は附圖第四に示してある。

第一模型及び第二模型に就ての実験から知る様に水槽水位の振動は静止する迄に相當時間を要するのである。依つて比較的早く水槽水位の振動を damp させるために第三模型に就て実験した。

第三模型 (附圖第五参照)

型式

水槽と隧道との間に圓盤形の水室を設けて抵抗室とし、隧道は其の抵抗室の中心に水槽は其の抵抗室に tangential に連絡あるものである。

今, surge up した水が次に surge down する際に水槽からの流水は抵抗室の居邊に沿ふて廻轉し、一方隧道への逆流は抵抗室の中心に向つて流動する。即ち抵抗室の水の廻轉の遠

心力が隧道への逆流に抵抗するから, surge wave の damping に効果あるであらうと期待したのである。

寸法

隧道延長	= 31.64 m
水槽シャフト直徑	= 0.175 "
上室長さ	= 0.358 "
上室幅員	= 0.12 "
抵抗室直徑	= 0.40 "
抵抗室の深さ	= 0.10 "

但し抵抗室の排氣のために上部を高さ 7 cm の圓錐形とした。

實驗成績

Full Load→No Load 即ち使用水量を $0.00328 \text{ m}^3/\text{sec}$ から 0 に急減した場合

但し流量 $0.00328 \text{ m}^3/\text{sec}$ なる時の取入口から水槽に至る損失水頭 = 0.075 m

水槽シャフトに銅屑等を投入して抵抗室の水流を観測した處, 期待した様な渦流を生じたけれ共水槽水位の振動の damping に對しては特別の効果は無い様であつた。次に水槽を二つの部分に分けて兩者の間に抵抗を設け, 以て早く水槽水位の振動を damp しやうと第四及び第五模型に就て實驗した。

第四模型 (附圖第六參照)

型式

Chamber surge tank のシャフトの間に隔壁を設けてシャフトを 2 分し, 一方をば隧道終端に近く, 徑 2.2 cm の孔を上向きに設けて抵抗室 F_2 とし, 他の一方をば riser F_1 としたものである。即ち differential chamber surge tank とも稱す可きものであらう。

寸法

隧道延長	= 31.37 m
シャフト断面積	= $0.14 \times 0.14 = 0.0196 \text{ m}^2$
上室長さ	= 0.902 m
上室幅員	= 0.14 "

實驗成績

(i) 隧道と抵抗室と連絡した場合であつて, Full Load→No Load 即ち使用水量 $0.00543 \text{ m}^3/\text{sec}$ から 0 に急減した場合, 但し流量 $0.00543 \text{ m}^3/\text{sec}$ の時の取入口から水槽に至る損失水頭 = 0.16 m

(ii) 隧道の上向きの孔を塞ぎ隧道と抵抗室との連絡を遮斷した場合であつて, 實驗の初めに當つて抵抗室の水位を流量 $0.00543 \text{ m}^3/\text{sec}$ の時の riser の水位と殆んど一致させた。

Full Load→No Load 即ち使用水量 $0.00543 \text{ m}^3/\text{sec}$ から 0 に急減した場合

(i) 及び (ii) の surging wave は附圖第六に示す様に此の型式では割合に早く damp する。

第五模型 (附圖第七参照)

型 式

Chamber surge tank のシャフトを F_1, F_2 の 2 本とし、之れ等二つのシャフトは底部に於ては径 2.87 cm の pipe にて連絡し、上部に於ては上室にて連絡したものである。

第四模型と同様、differential chamber surge tank と稱す可きものであらう。

寸 法

隧 道	延 長	= 31.37 m
上 室	長 さ	= 0.457 "
上 室	幅 員	= 0.114 "
下 室	長 さ	= 0.863 "
下 室	幅 員	= 0.120 "

實驗成績

(i) 二つのシャフトを内径 2.87 cm の pipe にて連絡した場合

Full Load → No Load 即ち使用水量 $0.00398 \text{ m}^3/\text{sec}$ を 0 に急減した場合

(ii) シャフトを連絡する pipe を塞いで其の連絡を遮断した場合であつて實驗の初に當つて隧道に直接連絡しないシャフト F_2 の水位を直接連絡したシャフト F_1 の使用水量 $0.00398 \text{ m}^3/\text{sec}$ の時の水位と殆んど一致させた。

Full Load → No Load 即ち使用水量 $0.00398 \text{ m}^3/\text{sec}$ から急減した場合

(i) 及び (ii) の surging wave は附圖第七に示す様に此の型式に於ては大體早く damp する。

(4) 結 論

使用水量全遮断の場合は發電系統は連続しないから本實驗の結果は比較的信頼し得る。

部分負荷から全負荷に急増する場合には水位振動を助長しやうとする水車調速機的作用を無視したのみならず、之れと反對に水壓鐵管の水が free flow だから水槽水位の降下に伴つて流量が減り即ち水位振動を抑制する作用を示すので、その結果は信頼すべきでない。

使用水量全遮断の時、上室容積は Vogt 氏公式に依る値は實際所要のものより約 15% 大きかつた。之れは觀測の誤差、模型寸法の誤差、損失水頭が流速の自乗に比例せぬ事、其の他公式成立の假定が實際と一致せぬことに起因してゐるものであらう。然し實際問題として safe side だから Vogt 氏の式でも Johnson 氏の式でも使用には差支ない。

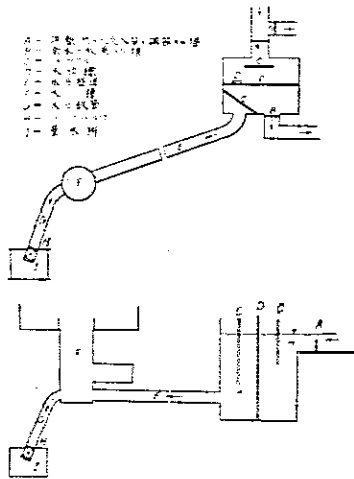
増負荷の場合のは前言の通り實驗が不備の爲 50% に及ぶ違ひを示したのは仕方がないが、

實際は減負荷の場合と同様差支ない筈である。又 chamber surge tank の水位振動の damping をよくする爲第四、第五模型を作つた。之れは要するに differential chamber surge tank であるから damping に對しては極めて良好であつた、附圖の通りである。

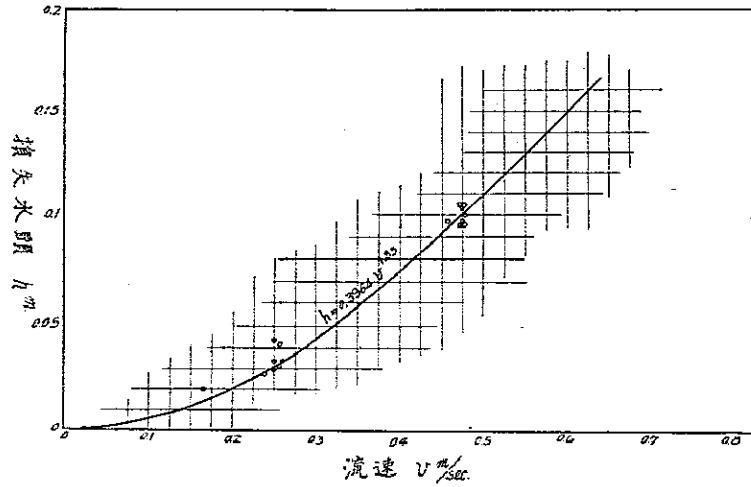
此の外に第三模型と稱するものは水の廻轉運動の損失により surge wave を抑制しやうと試みたものであるが未だ満足な結果を得るに至らない。目下いろいろ工夫中のものである。現在の處では計算上の容積と damping からは矢張り chamber surge tank と differential surge tank との折衷案が一番いい様である。

(終)

附圖第一 試驗設備



附圖第二 損失水頭曲線



附圖第三 第一線圖

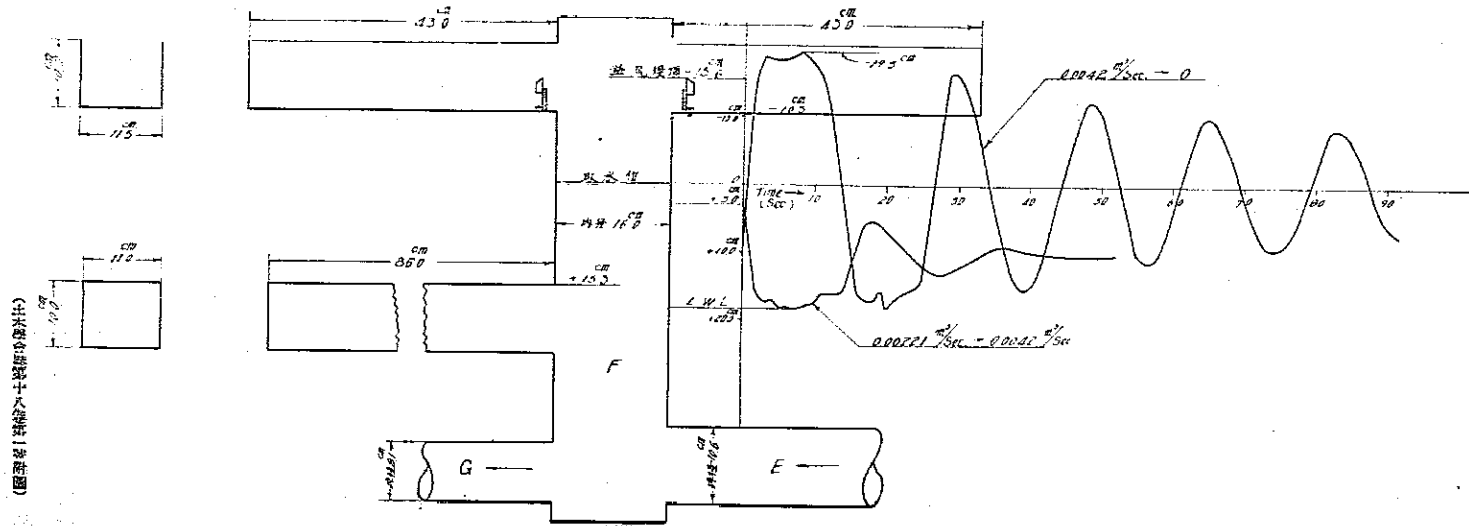
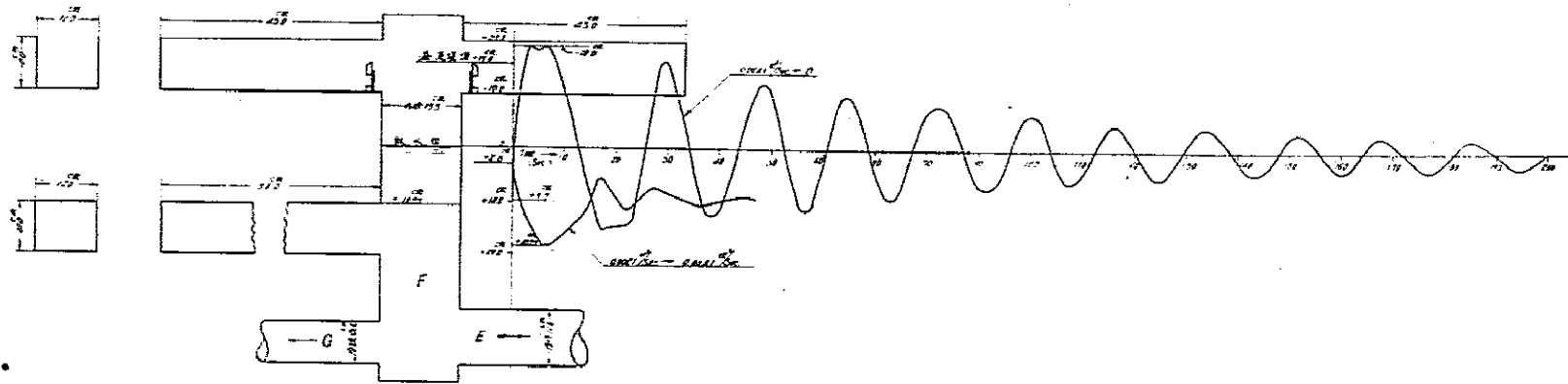
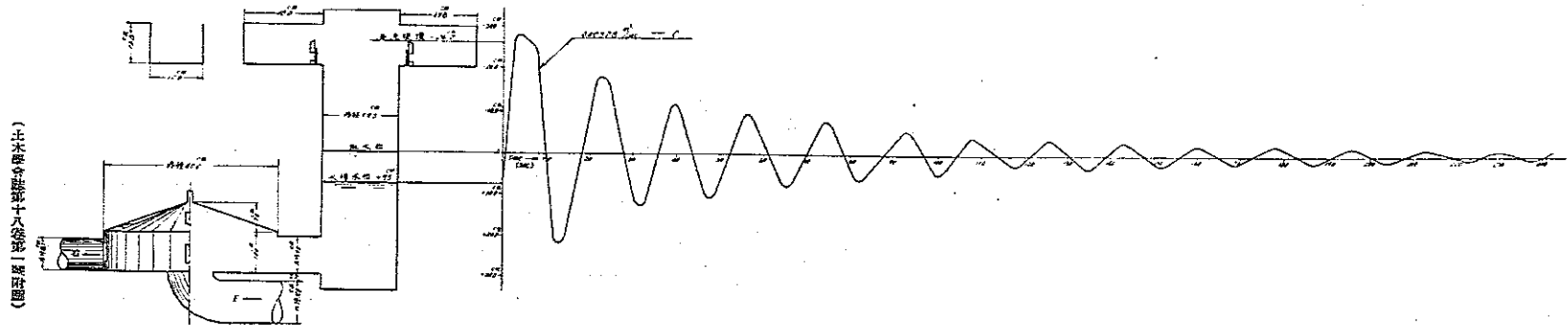


圖 (附圖第三) 第一線圖

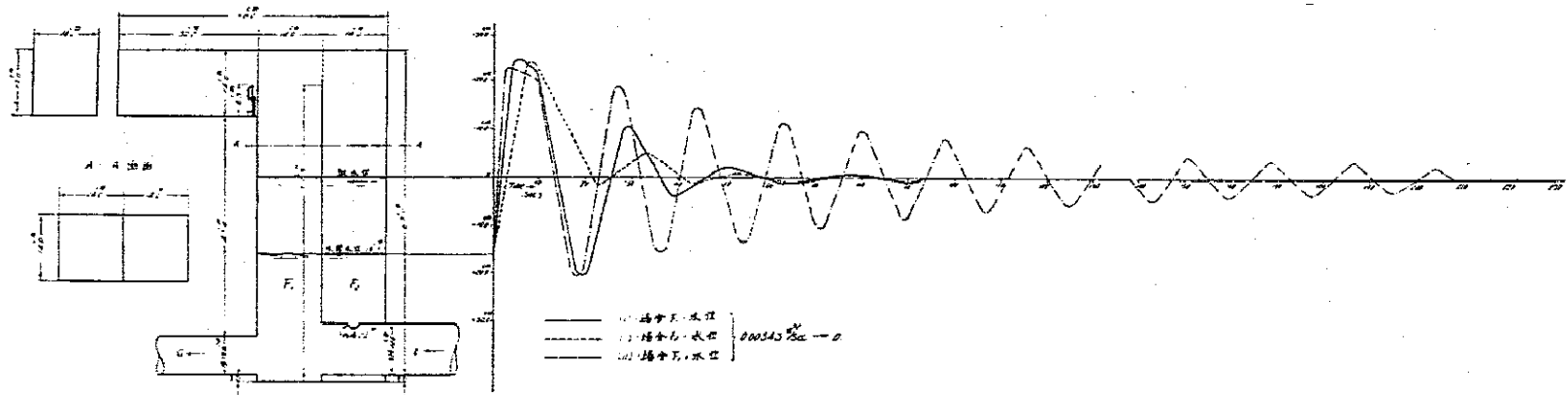
附圖第四 第二模型



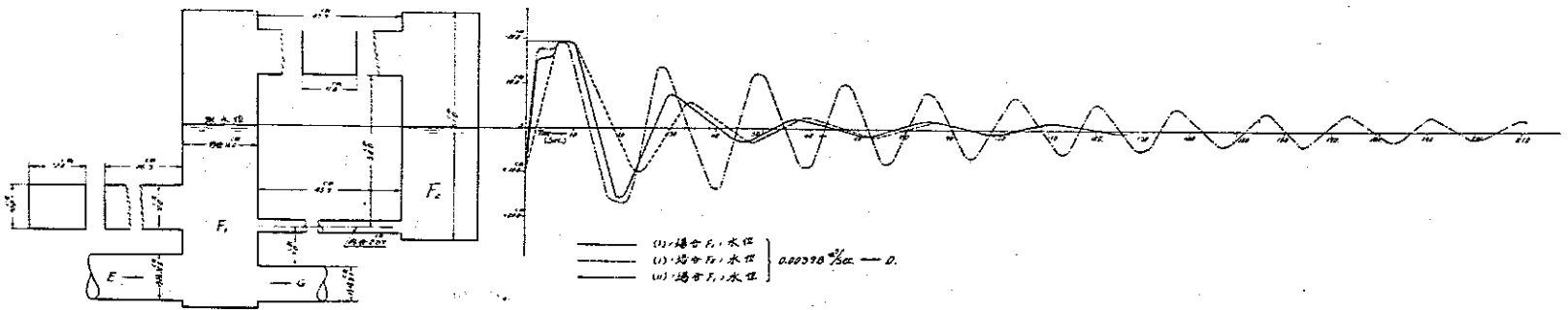
附圖第五 第三模型



附圖第六 第四模型



附圖第七 第五模型



(土木學會誌第十八卷第一號附圖)