

日本工管(株) 技術研究所 正会員 林憲吉

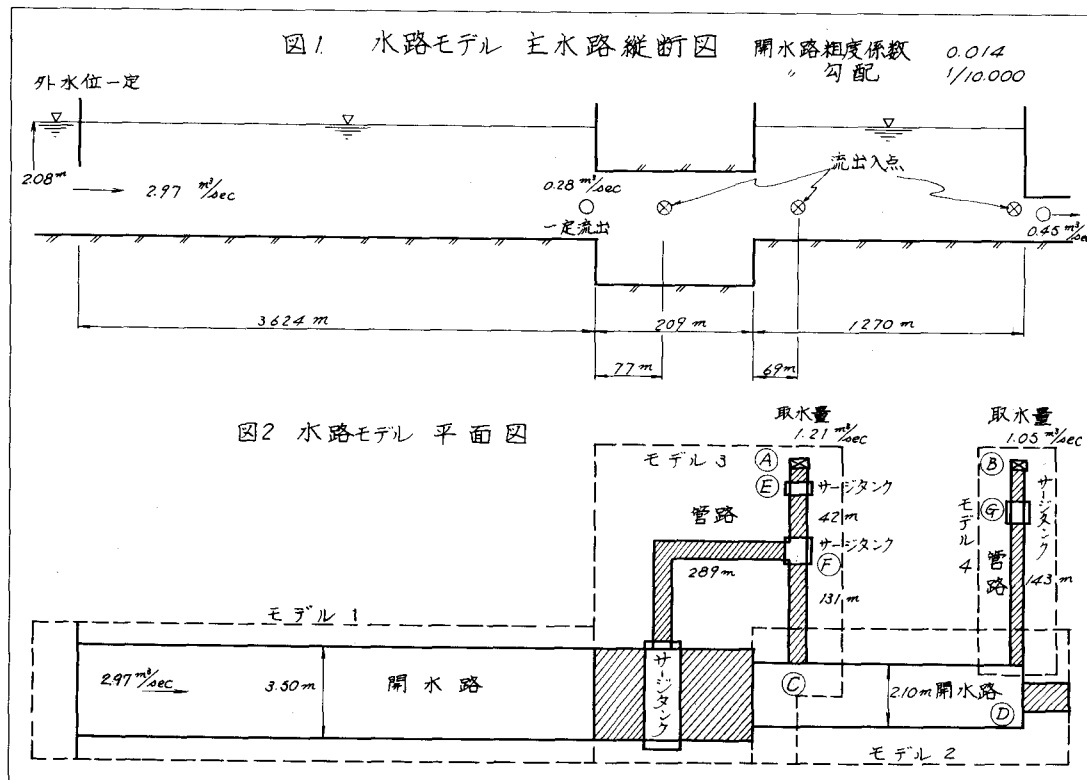
土木部 ○ 広瀬典昭

## 1. 概要

都市内における工業用水の導水路は、開水路と管路とが共存する複雑な水路系であることが多い。又、この場合、主水路となる開水路が暗渠であるような例が増えている。このような水路系においては、主水路の途中から管路によって取水されている使用水量が急変したことによって開水路内に生ずる波の大きさを知ることが必要となる。このような問題を計算で厳密にとくのは困難である。著者らは、このような水路系の一つのモデルを設定して、不定流の特性曲線法にもとづいた方法で解いてみた。この結果と実験によって得た結果とを比較検討してみたのでこれを報告する。

## 2. 水路モデル

計算及び実験に用いられた水路モデルは図1、図2に示されるようである。水路は主水路である開水路と、サージタンクを有する管路からなっている。計算においては図2にみられるように、水路を4つのモデルを組み合わせたものとして考えている。



### 3. 相似律および模型

本実験の対象とする水路系は、開水路と管路とが共存するものである。このような水路系における不定流の力学的相似律を考える場合には、開水路と管路流とのそれぞれの部分における力学的相似条件を満足させ、更に両者について流量、水位変動、時間および結合部分等の関係を一致させなければならない。これらの問題については紙面の都合でこゝでは説明を省略するので次の文献を参照されたい。（林泰造教授「非定常流の相似律」日本学術会議 流体模型実験における相似律セミナー前刷集 昭和41年11月19日）

模型縮尺は相似律を検討した結果、水路中および高さを $1/5$ とし水路長さを $1/60$ とした。従って模型寸法は代表断面で水路中 $0.233\text{m}$ 、高さ $0.133\text{m}$ となり、水路全長は $100\text{m}$ 程度のものである。

### 4. 計算方法

a. 開水路の不定流 横流入量のある開水路の基本式は次のようになる。

$$\text{連続方程式} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(AU)}{\partial x} = \frac{\partial I}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{運動方程式} \quad \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} = g \left( i - \frac{n^2 U^2}{R^3} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに  $A$  : 流積  $U$  : 断面における平均流速  $x$  : 水路に沿った距離  $t$  : 時間

$I$  : 横流入量  $i$  : 水面勾配  $n$  : 粗度係数  $R$  : 径深

一様な矩型断面水路において上式から特性曲線式をみると、

$$\frac{dx}{dt} = U \pm \sqrt{gH} \quad \dots\dots\dots (3)$$

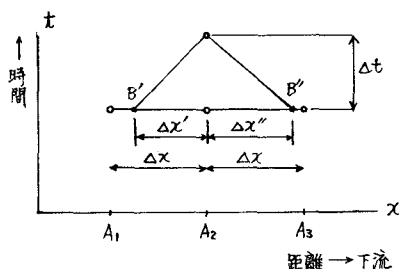
$$d \left( U \pm 2\sqrt{gH} \right) = g \left( i - \frac{n^2 U^2}{R^3} \pm \frac{g}{\sqrt{gH} B} \right) dt \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに  $H$  : 水深  $B$  : 水路巾  $i$  : 水路勾配  $g$  : 単位長さあたりの横流入量

本モデルでは 上下端の境界条件及び横流出入量が時間とともに変化するので、各時間ごとの全水路における水面形及び、水路途中の特定な点における流れの状態もわかっていなければならない。

したがって時間と距離とを軸にとった座標系において、その各格子点における水深、流速を知る必要がある。このため著者は次のような近似解法を考えた。

右図において、等間隔にある地点 $A_1, A_2, A_3$ の流速 $U$ 、波速 $V$ がわかっていると $\Delta t$ 時間後の $A_2$ 地点の液 $U, V$ を求めることを考える。 $A_1$ と $A_2$ の中間の $B'$ 点から出た波と、 $A_2$ と $A_3$ の中間から出た波が $\Delta t$ 秒後に $A_2$ 点で衝突するものとする。



と、 $A_2$ と $A_3$ の中間から出た波が $\Delta t$ 秒後に $A_2$ 点で衝突するものとする。 $A_1, A_2, A_3$ 地点の $(U, V)$ をそれぞれ $(U_1, V_1), (U_2, V_2), (U_3, V_3)$ とする。又、 $B', B''$ 地点における $(U, V)$

を $(U', V'), (U'', V'')$ とし、 $A_1 A_2$ 間、 $A_2 A_3$ 間の距離を $\Delta x$ 、 $B' A_2$ 間、 $A_2 B''$ 間の距離をそれぞれ、 $\Delta x', \Delta x''$ とする。ここで、 $A_1 A_2$ 間及び $A_2 A_3$ 間では、 $U, V$ とも直線変化するものと仮定すると、 $(U', V')$ 及び $(U'', V'')$ はそれぞれ次のようにあらわされる。

$$U' = \frac{\Delta x'}{\Delta x} (U_1 - U_2) + U_2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$U'' = \frac{\Delta x''}{\Delta x} (U_3 - U_2) + U_2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

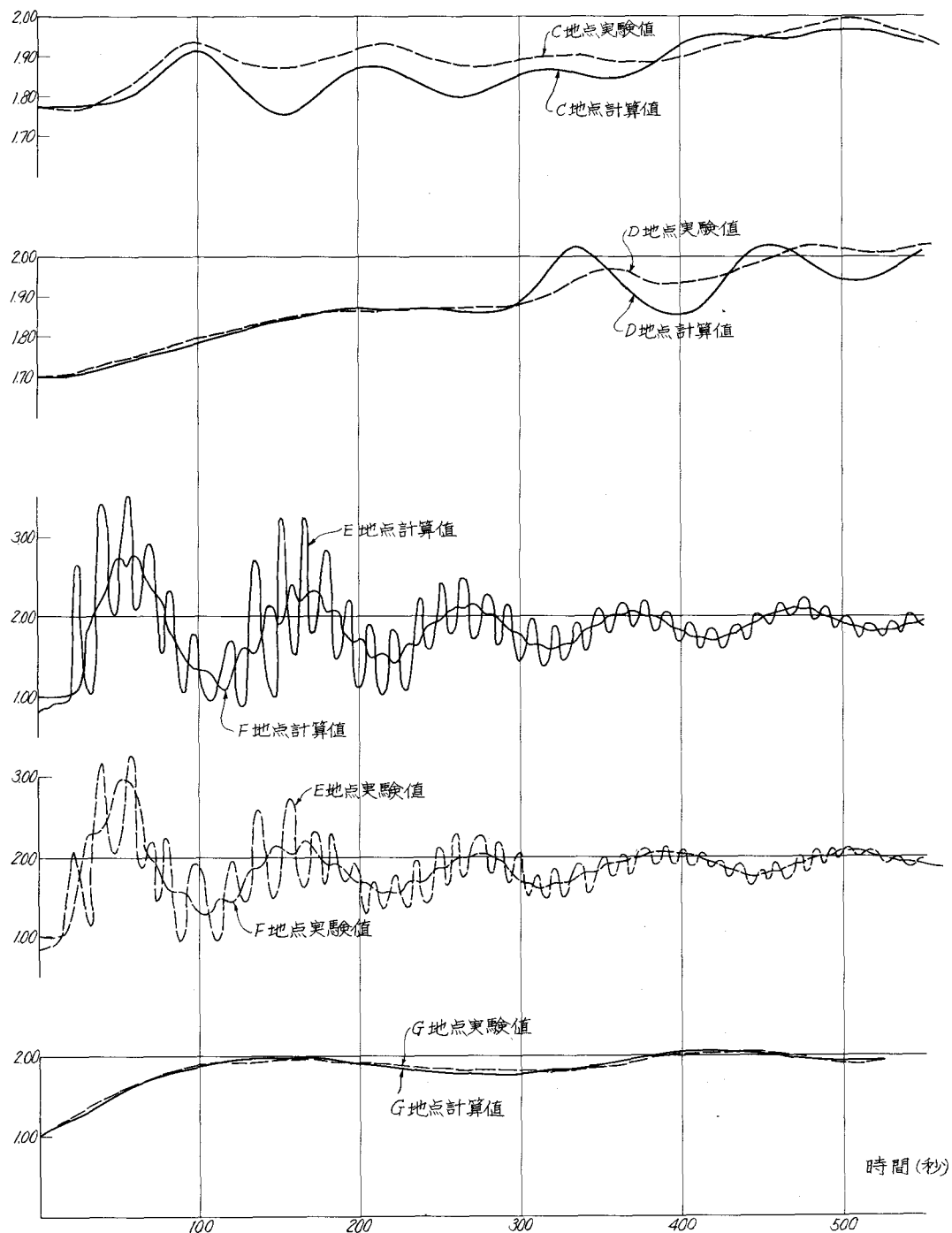
$$V' = \frac{\Delta x'}{\Delta x} (V_1 - V_2) + V_2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$V'' = \frac{\Delta x''}{\Delta x} (V_3 - V_2) + V_2 \quad \dots\dots\dots (8)$$

したがって (3), (4), (5), (6) 式を連立してとけば、 $B'$ から出て、水路の勾配と摩擦とによって、又もしあれば横流出入によって、変化して $A_2$ 点に到達した波 $(U_e, V_e)$ を求めることができる。

水位 (m)

図3 各地点の水位変動図



同様に  $B_2$  から出て変化して  $A_2$  に到達した波 ( $U_0, V_0$ ) も求めることができる。  $A_2$  点に生ずる新しい波

$$(U, V) \text{ は } U + 2V = U_2 + 2V_2 \dots\dots\dots (9)$$

$$U - 2V = U_0 - 2V_0 \dots\dots\dots (10)$$

によって求められる。

6) 管路のサージング モデル3とモデル4における管路のサージングの問題は、管路が開水路と連結している地点での開水路の水位を一定と考えれば、普通のサージタンクの計算と同じである。

### c) 計算手順

i) 不定流計算では、50mごとに断面をとり、時間間隔は10秒とする。

ii) サージタンクの計算は時間間隔を1秒にとる。

iii) 不定流計算とサージタンクの計算は次のようにして組合わせろ。

④最初の10秒間は、初期条件の水面高を用いてサージタンクの計算をする。この10秒間には開水路の水面変化はないものとする。10秒目の開水路への流入量を  $q_1, q_2, q_3, q_4$  とする。

⑤このときはまだ開水路水面にはサージングは起こっていないものとして、次の10秒間のサージタンクの計算にも初期条件の水深を用いる。

⑥開水路不定流は④で求められた  $q_1, q_2, q_3, q_4$  を用いて20秒目の水路水面形をもとめる。

⑦20～30秒では、サージタンクの計算は水路水面高として (C) で求められたものを用いる。

不定流の計算の境界条件としては、④で求められた水路への流入量を用いる。

⑧以下同様にして、所定の時間まで計算をくり返す。

## 5. 実験と計算との比較

上述の不定流計算と管路のサージングを組み合わせた方法で、computer によって各地点の水位流量変化を計算してみた。計算に用いられた数値は図1、図2にみられるようであり、A、B点における取水量を10秒間で直線的に遮断したものとした。この計算結果を検証するために、前述の実験設備を作成し、各地点の水位、流量変化を測定した。

C～G地点の水位変動の実験値と計算値を図示すると図3のようになる。これによれば、サージタンクの水位変動は周期に多少のずれがあるが、比較的良好な結果を示している。開水路部では、水位変動が小さいので比較にくい。横流出入口ではよく傾向をあらわしているようである。

## 6. 考察

上述のような複雑な水路系におけるサージングの現象を計算によって表現できることが確かめられた。特に問題となる横流出入口での水位変動もよく傾向をあらわしているようである。サージタンク部の計算では、開水路の水位変動がゆるやかであるので、計算仮定(不定流計算の1間隔10秒の間は開水路水位は変らない)による誤差が小さく実験値とかなりよい相関を示している。しかし、不定流の計算仮定からあきらかなように、波の伝播速度に若干の誤差があらわれるので、全体に変動周期に多少のずれがあらわれている。これは断面間隙と時間間隙とを調整することによって、ある程度は改善しうるものである。