

土 木 研 究 所 資 料

瀬田川洗堰ゲート操作にともなう遡上波の数値計算

—陰型式差分法の応用—

昭和57年 3 月

建設省土木研究所
河 川 研 究 室

Copyright © 1982 by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor transqated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

は　じ　め　に

土木研究所では、近畿地方建設局の依頼により、昭和55年度より瀬田川洗堰水理模型実験を実施している。調査項目は、洗堰放流能力特性、ゲート操作にともなう遡上波の特性、洪水放流時の河床洗掘、利水用バイパス建設にともなう流況および河床形状の変化、堰とバイパスの分担放流を含めた合理的操作方式、など多岐にわたっている。

このうちゲート操作にともなう遡上波の特性は、洗堰から琵琶湖に到る約5 kmの河道区間の特性から定まるものであるが、模型実験場のスペースの制約から全区間の模型を製作することができず実験的検討は不可能と判断された。そこで本項目については一次元不定流計算により検討することとした。

洗堰ゲート操作にともなう不定流の特徴は、変化率が通常河川の不定流に比べて大きいこと、および下流境界条件が堰の放流能力式として与えられるため通常より複雑であること、の2点である。このため現在よく使用される陽型式差分法や特性曲線法では難しい面が多いと判断された。そこで現在土木研究所河川研究室で検討中の陰型式差分法を用いた不定流計算プログラムを、上記2点を考慮して改良を加え使用することとした。

本資料ではこのプログラムの内容と解説を行っている。なお、本プログラムを用いた現地ゲート操作と遡上波の関係に関する検討結果は「瀬田川洗堰の洪水調節方法に関する調査」(土木研究所資料第1758号)にまとめられている。

昭和57年3月

河川研究室 須賀 堯 三
石 川 忠 晴
葛 西 敏 彦
林 正 男

目 次

第1章 概 要	1
第2章 陰型式差分法の定式化	2
1. 基礎方程式の差分化	2
2. 連立一次方程式の解法	5
第3章 瀬田川（洗堰～琵琶湖）への適用	8
1. 瀬田川河道および不定流の特性	8
2. 境界条件	9
3. 宇治電取水量について	11
4. 初期条件	12
5. 断面形状の与え方	12
6. その他計算上の微調整	13
7. 計算のフロー	14
8. 現地データによる検証	15
9. 水理実験による検証	21
第4章 結 語	29

図 表 一 覧

図 1	空要素を考慮した計算法（6 変数の場合）	5
図 2	6 変数デンスマトリックス	7
図 3	瀬田川河道平面図	8
図 4	瀬田川河道断面図の一例	9
図 5	洗堰操作方式	10
図 6	計算のフロー	14
図 7-1	干町水位の変化 (Run 1-1)	16
図 7-2	橋本水位の変化 (Run 1-1)	17
図 7-3	鳥居川水位の変化 (Run 1-1)	17
図 7-4	遡上波の伝播 (Run 1-1)	18
図 8-1	干町水位の変化 (Run 1-2)	19
図 8-2	橋本水位の変化 (Run 1-2)	19
図 8-3	鳥居川水位の変化 (Run 1-2)	20
図 8-4	遡上波の伝播 (Run 1-2)	20
図 9-1	模型上の遡上波の伝播 (Run 2-1)	23
図 9-2	模型上の遡上波の伝播 (Run 2-2)	25
図 9-3	模型上の遡上波の伝播 (Run 2-3)	27
表 1	現地データによる検証計算条件一覧	15
表 2	水理実験による検証計算条件一覧	21
付録 1	瀬田川河道断面特性値	31
付録 2	計算プログラム	32
付録 3	現地水位観測結果一覧	44

第1章 概 要

河川不定流の基礎方程式は、距離 x と時間 t を独立変数とし流量 Q と水位 H を従属変数とする1階の非線形偏微分方程式である。また境界条件は一般に流量 Q と水位 H を含む代数関係式として与えられる。これをそのまま差分表示すると、或る時間の状態を既知として、次の時間ステップの流量と水位の分布を未知数とする代数方程式系を得る。陰型式差分法はこの代数方程式系をそのまま解こうとするもので、不定流数値計算法のうち最も単純で機械的な方法である。

陰型式差分法の最大の欠点は計算量が膨大なことである。すなわち、計算区間内断面数を N とすると、 $2N$ 個の未知数を同時に(すなわち $2N$ 元のマトリックスを)解かねばならない。加えて原方程式が非線形であるために収束計算を行わねばならない。ひと昔前にはこれは非常に困難な作業であったので、その他の方法、例えばマスキング法等の簡易法、陽型式蛙飛び計算法、特性曲線法などが考案され実用に供されてきた。

しかし近年のエレクトロニクスの進歩により、計算機容量の増大と演算の高速化がもたらされ、陰型式差分法の実用化が可能となってきた。計算量が膨大になるという点を除けば陰型式差分法が他の計算法に劣る点は何も無いと言える。例えば陽型式差分法に表われるような差分 (Δx , Δt) に関する計算安定化のための制約条件は必要とされない。また特性曲線法で必要とされる格子点の値の補完もいらぬ。さらに大きな特長として、陰型式差分法では相当複雑な境界条件でも機械的に扱うことができるのである。このような特長の生じる理由は、他の計算法が計算量を減らすための工夫や近似を行っているのに対して、陰型式差分法では原方程式をほとんどそのまま解くからである。すなわち、simple なものほど tough と言えよう。

将来は陰型式差分法が不定流計算法の主流になると考えられ、河川研究室ではそのための検討を進めてきている。須賀・葛西⁽¹⁾は時間変化率が小さい場合の不定流について陰型式差分のプログラムを作成し、緩流河川(利根川)における実測例と計算例とを比較して良好な結果を得た。本報では時間変化率が比較的大きい場合の陰型式差分の定式化を行うとともに、瀬田川における適用例を述べる。

第2章 陰型式差分の定式化

1. 基礎方程式の差分化

一次元不定流の運動方程式は次のように書かれる。

$$A \frac{\partial Q}{\partial t} - 2Q \frac{\partial A}{\partial t} - \frac{Q^2}{A} \frac{\partial A}{\partial x} + gA^2 \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{gn^2|Q|Q}{R^{4/3}} = 0 \quad (1)$$

連続条件式は次のようである。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

ここに、 A =断面積、 Q =流量、 H =水位、 R =径深、 g =重力加速度、 n =マンニングの粗度、 t =時間、 x =距離（下流向き）である。このうち t と x は独立変数、 g 、 n は定数、 A 、 R は H のみの関数であり、従属未知変数は Q と H である。

次に(1)、(2)式を差分化するのだが、その際(1)式为非線型性が問題となる。時間変化率の小さい不定流の場合には、須賀・葛西が行ったように、非線形項の一部に前の時間ステップの値を代入して線型化できる。しかし本報では時間変化率の大きい不定流を扱うのでそのような近似は許されない。そこで非線形項を次のようにそのまま差分化して、後に逐次近似解を求めることとする。

$$\begin{aligned} A \frac{\partial Q}{\partial t} &\rightarrow \frac{A_a}{2\Delta t} (\Delta Q_1 + \Delta Q_2) \\ -2Q \frac{\partial A}{\partial t} &\rightarrow -\frac{Q_a}{\Delta t} (\Delta A_1 + \Delta A_2) = -\frac{Q_a}{\Delta t} (A_{c1}\Delta H_1 + A_{c2}\Delta H_2) \\ -\frac{Q^2}{A} \frac{\partial A}{\partial x} &\rightarrow -\frac{Q_a^2}{A_a} \frac{A_{b1} - A_{b2}}{\Delta x} \\ gA^2 \frac{\partial H}{\partial x} &\rightarrow gA_a^2 \frac{2(H_1 - H_2) + (\Delta H_1 - \Delta H_2)}{2\Delta x} \\ \frac{gn^2|Q|Q}{R^{4/3}} &\rightarrow gn^2 \frac{|Q_a|Q_a}{R_r^{4/3}} \\ \frac{\partial A}{\partial t} &\rightarrow \frac{\Delta A_1 + \Delta A_2}{2\Delta t} = \frac{1}{2\Delta t} (A_{c1}\Delta H_1 + A_{c2}\Delta H_2) \\ \frac{\partial Q}{\partial x} &\rightarrow \frac{2(Q_1 - Q_2) + (\Delta Q_1 - \Delta Q_2)}{2\Delta x} \end{aligned}$$

ここに、添字 1 はその区間の下流側の断面に関する値、添字 2 は上流側の断面に関する値、 ΔH 、 ΔQ は Δt の間の変化量である。またその他の記号は次の意味を持つ。

$$A_a = \frac{2(A_1 + A_2) + \Delta A_1 + \Delta A_2}{4}$$

$$Q_q = \frac{2(Q_1 + Q_2) + \Delta Q_1 + \Delta Q_2}{4}$$

$$R_r = \frac{2(R_1 + R_2) + \Delta R_1 + \Delta R_2}{4}$$

$$A_{c1} = \frac{\partial A_1}{\partial H_1}, \quad A_{c2} = \frac{\partial A_2}{\partial H_2}$$

$$A_{b1} = A_1 + \frac{\Delta A_1}{2}, \quad A_{b2} = A_2 + \frac{\Delta A_2}{2}$$

以上から(1), (2)式は次のように差分表示される。

$$\begin{aligned} & \frac{C_v}{2} A_a (\Delta Q_1 + \Delta Q_2) - C_v Q_q (A_{c1} \Delta H_1 + A_{c2} \Delta H_2) - \frac{Q_q^2}{A_a} (A_{b1} - A_{b2}) \\ & + \frac{g A_a^2}{2} (\Delta H_1 - \Delta H_2) + g A_a^2 (H_1 - H_2) + g n^2 \frac{|Q_q| Q_q}{R_r^{4/3}} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{C_v}{2} (A_{c1} \Delta H_1 + A_{c2} \Delta H_2) + \frac{1}{2} (\Delta Q_1 - \Delta Q_2) + Q_1 - Q_2 = 0 \quad (4)$$

ここに $C_v = \Delta x / \Delta t$ である。

前の時間ステップの値を既知とすれば、未知数は ΔH_1 , ΔH_2 , ΔQ_1 , ΔQ_2 である。(3)式では A_a , Q_q などの項が未知数を含むので依然として高次の非線形性を持っている。そこで A_a , Q_q , R_r については逐次近似を行うこととし、陽に表われている ΔH_1 , ΔH_2 , ΔQ_1 , ΔQ_2 のみを未知数とみなすと次の線形方程式を得る。

$$\begin{aligned} & \left[\frac{C_v}{2} A_a \right] \Delta Q_1 + \left[\frac{C_v}{2} A_a \right] \Delta Q_2 + \left[-C_v Q_q A_{c1} + \frac{g A_a^2}{2} \right] \Delta H_1 + \left[-C_v Q_q A_{c2} - \frac{g A_a^2}{2} \right] \Delta H_2 \\ & = \left[\frac{Q_q^2}{A_a} (A_{b1} - A_{b2}) - g A_a^2 (H_1 - H_2) - g n^2 \frac{|Q_q| Q_q}{R_r^{4/3}} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\Delta Q_1 - \Delta Q_2 + [C_v A_{c1}] \Delta H_1 + [C_v A_{c2}] \Delta H_2 = -2(Q_1 - Q_2) \quad (6)$$

以上から次の連立一次方程式を得る。

$$\begin{array}{|c|} \hline C_{1,1} \quad C_{1,2} \\ \hline C_{2,1} \quad C_{2,2} \quad C_{2,3} \quad C_{2,4} \\ \hline C_{3,1} \quad C_{3,2} \quad C_{3,3} \quad C_{3,4} \\ \hline \\ \hline C_{K,K-1} \quad C_{K,K} \quad C_{K,K+1} \quad C_{K,K+2} \\ \hline C_{K+1,K-1} \quad C_{K+1,K} \quad C_{K+1,K+1} \quad C_{K+1,K+2} \\ \hline (K=21) \\ \hline \\ \hline C_{2N-2,2N-3} \quad C_{2N-2,2N-2} \quad C_{2N-2,2N-1} \quad C_{2N-2,2N} \\ \hline C_{2N-1,2N-3} \quad C_{2N-1,2N-2} \quad C_{2N-1,2N-1} \quad C_{2N-1,2N} \\ \hline C_{2N,2N-1} \quad C_{2N,2N} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \Delta Q_1 \\ \hline \Delta H_1 \\ \hline \\ \hline \Delta Q_1 \\ \hline \Delta H_1 \\ \hline \\ \hline \Delta Q_N \\ \hline \Delta H_N \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline B_1 \\ \hline B_2 \\ \hline \\ \hline B_{K-1} \\ \hline B_K \\ \hline \\ \hline B_{2N-1} \\ \hline B_{2N} \\ \hline \end{array} \quad (7)$$

第 I 区間の運動方程式(5)式を $K(21)$ 行に、連続式(6)式を $K+1$ 行に入れてある。また第 1 行には下流端の境界条件式が、最終行 (第 $2N$ 行) には上流端の境界条件式が入る。各要素の内容は次のとおりである。

$$C_{K,K-1} = \frac{C_v}{2} A_a$$

$$C_{K,K} = -C_v Q_a A_{c1} + \frac{g A_a^2}{2}$$

$$C_{K,K+1} = \frac{C_v}{2} A_a$$

$$C_{K,K+2} = -C_v Q_a A_{c2} - \frac{g A_a^2}{2}$$

$$B_K = \frac{Q_q^2}{A_a} (A_{b1} - A_{b2}) - g A_a^2 (H_1 - H_2) - g n^2 \frac{|Q_q| Q_q}{R^{4/3}}$$

$$C_{K+1,K-1} = 1$$

$$C_{K+1,K} = C_v A_{c1}$$

$$C_{K+1,K+1} = -1$$

$$C_{K+1,K+2} = C_v A_{c2}$$

$$B_{K+1} = -2(Q_1 - Q_2)$$

2. 連立一次方程式の解法

(7)式の行列のほとんどの要素はゼロであるから、この部分の計算を省略することにより計算エリアの節約と計算速度の向上がはかれる。6変数（すなわち3断面2区間河道）の場合を例にとろう。（図1参照）

まず④、⑤、⑥式から変数⑤、⑥を消去すると、変数③、④の関係式ができる。これを④式の変わりに入れると(●)②、③、④式が前の④、⑤、⑥式と同型の組み合わせとなる。再び変数③、④を消去すると、最終的に変数①、②についての2元1次方程式となる。(◎)これを解いて順次下に戻ってくれば正解を得る。

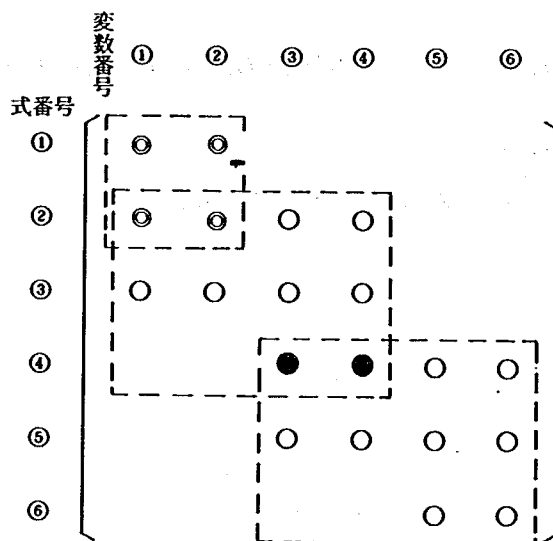


図1 空要素を考慮した計算法（6変数の場合）

2変数を消去する過程を具体的に記せば次のようである。

$$C_{21}x_1 + C_{22}x_2 + C_{23}x_3 + C_{24}x_4 = B_2$$

Ⓐ

$$C_{31}x_1 + C_{32}x_2 + C_{33}x_3 + C_{34}x_4 = B_3$$

Ⓑ

$$D_{43}x_3 + D_{44}x_4 = E_4$$

Ⓒ

$$\textcircled{A} \times D_{44} - \textcircled{C} \times C_{24}$$

$$C_{21}D_{44}x_1 + C_{22}D_{44}x_2 + (C_{23}D_{44} - C_{24}D_{43})x_3 = B_2D_{44} - E_4C_{24}$$

Ⓓ

$$\textcircled{B} \times D_{44} - \textcircled{C} \times C_{34}$$

$$C_{31}D_{44}x_1 + C_{32}D_{44}x_2 + (C_{33}D_{44} - C_{34}D_{43})x_3 = B_3D_{44} - E_4C_{34} \quad \textcircled{E}$$

$$\textcircled{D} \times (C_{33}D_{44} - C_{34}D_{43}) - \textcircled{E} \times (C_{23}D_{44} - C_{24}D_{43})$$

$$D_{21}x_1 + D_{22}x_2 = E_2 \quad \textcircled{F}$$

ただし,

$$D_{21} = C_{21}D_{44}(C_{33}D_{44} - C_{34}D_{43}) - C_{31}D_{44}(C_{23}D_{44} - C_{24}D_{43}) \quad \textcircled{G}$$

$$D_{22} = C_{22}D_{44}(C_{33}D_{44} - C_{34}D_{43}) - C_{32}D_{44}(C_{23}D_{44} - C_{24}D_{43}) \quad \textcircled{H}$$

$$E_2 = (B_2D_{44} - E_4C_{24})(C_{33}D_{44} - C_{34}D_{43}) - (B_3D_{44} - E_4C_{34})(C_{23}D_{44} - C_{24}D_{43}) \quad \textcircled{I}$$

⑥式がさらに上位の式と組み合わせられる。

さて、この操作を重ねれば最終的に次の2元1次方程式を得る。

$$C_{11}x_1 + C_{12}x_2 = B_1 \quad \textcircled{J}$$

$$D_{21}x_1 + D_{22}x_2 = E_2 \quad \textcircled{K}$$

これから,

$$x_1 = \frac{B_1D_{22} - E_2C_{12}}{C_{11}D_{22} - D_{21}C_{12}} \quad \textcircled{L}$$

$$x_2 = \frac{B_1D_{21} - E_2C_{11}}{C_{12}D_{21} - D_{22}C_{11}} \quad \textcircled{M}$$

第3項以下は、⑩、⑥式からそれぞれ,

$$x_3 = \frac{B_2D_{44} - E_4C_{24} - C_{21}D_{44}x_1 - C_{22}D_{44}x_2}{C_{23}D_{44} - C_{24}D_{43}} \quad \textcircled{N}$$

$$x_4 = \frac{E_4 - D_{43}x_3}{D_{44}} \quad \textcircled{O}$$

ただし、上流端境界条件式で、 $C_{2N,2N} = 0$ の場合は上述の展開ではゼロ割が生じるので、消去手順を変えた次式を用いる。

$$D_{21} = C_{21}D_{43}(C_{34}D_{43} - C_{33}D_{44}) - C_{31}D_{43}(C_{24}D_{43} - C_{23}D_{44}) \quad \textcircled{G'}$$

$$D_{22} = C_{22}D_{43}(C_{34}D_{43} - C_{33}D_{44}) - C_{32}D_{43}(C_{24}D_{43} - C_{23}D_{44}) \quad \textcircled{H}'$$

$$E_2 = (B_2D_{43} - E_4C_{23})(C_{34}D_{43} - C_{33}D_{44}) - (B_3D_{43} - E_4C_{33})(C_{24}D_{43} - C_{23}D_{44}) \quad \textcircled{I}'$$

$$x_4 = \frac{B_2D_{43} - E_4C_{23} - C_{21}D_{43}x_1 - C_{22}D_{43}x_2}{C_{24}D_{43} - C_{23}D_{44}} \quad \textcircled{N}'$$

$$x_3 = \frac{E_4 - D_{44}x_4}{D_{43}} \quad \textcircled{O}'$$

以上の演算はすべて係数マトリックス内の要素について行うものであるから、計算機内の配列を図1のよう
 にとる必要は無い。すなわち図2に示す(2N×4)のデンス・マトリックスで良い。

$$\begin{pmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & 0 & 0 \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & C_{2,4} \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & C_{3,4} \\ C_{4,3} & C_{4,4} & C_{4,5} & C_{4,6} \\ C_{5,3} & C_{5,4} & C_{5,5} & C_{5,6} \\ 0 & 0 & C_{6,5} & C_{6,6} \end{pmatrix}$$

図2 6変数デンスマトリックス

第3章 瀬田川（洗堰～琵琶湖）への適用

1. 瀬田川河道および不定流の特性

琵琶湖から瀬田川への放流は瀬田川70.0Kの洗堰により制御されている。この間の河道は平均幅約150m、延長約5 kmの単断面河道であり、74K付近の中洲と70.5Kの宇治電取水口の他はこれといった変化の無い水路的河道である。（図3、図4参照）

琵琶湖を控えているため流況は安定しており、大きな不定流を生じる自然要因は全く無い。瀬田川の場合不定流は洗堰ゲート操作によって人為的に起こされる。しかもゲート操作に要する時間は30分～1時間程度であるため、変化率の非常に大きな不定流と成り得、場合によっては洗堰・琵琶湖間に定在波が残る。すなわち圧力管路のサージングに似た性質を持つ不定流である。

対象河道区間の境界条件は通常河道のそれと著しく異っている。すなわち上流端は琵琶湖につながるため、水位一定、若しくはエネルギー一定の条件が荷せられる。一方下流端は洗堰であるから、堰の各操作状態における越流水位と放流量に関する関係が条件として荷せられる。

以上の様にここで対象とする河道及び不定流の特性は通常のそれとはかなり異っている。しかしこのことは以下の議論が瀬田川という特殊な川にしか通用しないということを意味するものではない。陰型式差分法の適否を判断するうえで瀬田川はむしろ格好の対象なのである。すなわち、河道形が比較的単純であって、数値計算以外の不確実な要素（例えば高水敷の粗度など）が結果を左右する余地があまり無いこと。また、下流端境界条件が水位と流量の複雑な関係式で与えられるので陰型式差分法以外での取り扱いが難しいこと。さらに水位及び流量の変化速度が極めて大きく陰型式差分法以外では時間ステップをかなり細かく取る必要があり、陰型式差分法のメリットが明らかになること、などがその理由である。

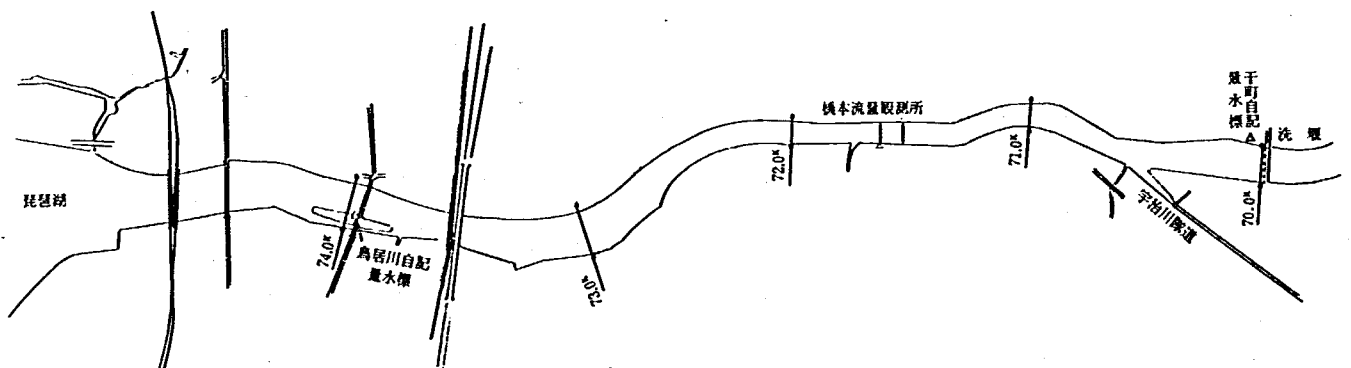


図3 瀬田川河道平面図

73.4k

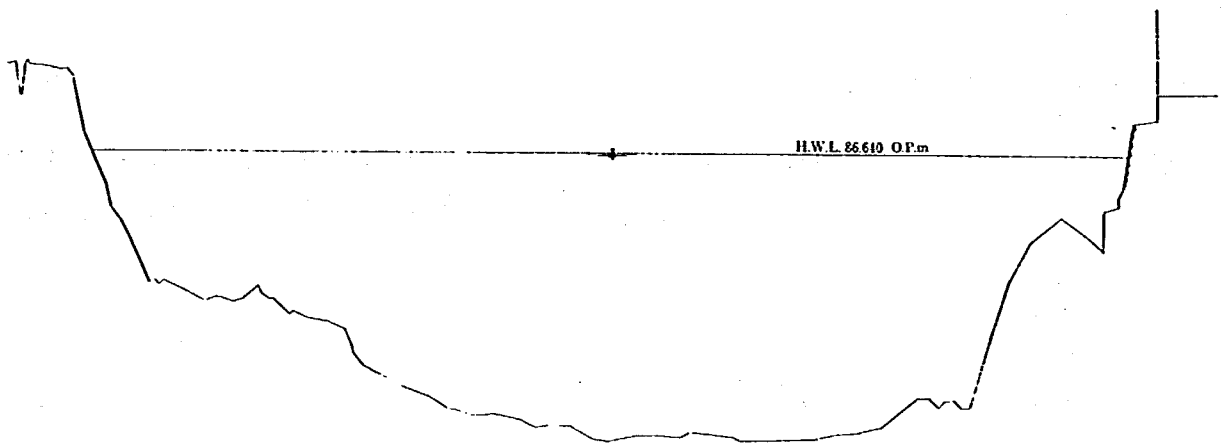


図4 瀬田川河道横断面図の一例

2. 境界条件

2-1 上流端境界条件

瀬田川直轄区間は75.3kまでで、これから上流は断面積が急に広くなり琵琶湖南湖の一部とみなせる。そこで最上流断面(75.3k)においてはエネルギー水頭は琵琶湖水位と等しいものとみなせる。これから上流端境界条件として、

$$H + \frac{1}{2g} \frac{Q^2}{A^2} = E \quad (7)$$

ただし左辺の H , Q , A はすべて最上流断面の値, E は琵琶湖水位(一定値)である。或る時間ステップでの水位及び流量の変化量を ΔH , ΔQ とすると次式を得る。

$$2g(H + \Delta H) + \frac{(Q + \Delta Q)^2}{A_b^2} = 2gE$$

これから、

$$2 \frac{Q}{A_b^2} \Delta Q + 2g\Delta H = 2g(E - H) - \frac{Q^2}{A_b^2} - \frac{\Delta Q^2}{A_b^2} \quad (8)$$

ここに $A_b = A + \frac{\Delta A}{2}$ である。上式の左辺 ΔQ と ΔH のみを未知数とみなす。他の実質的に未知数を含む項(A_b , ΔQ^2)は逐次近似で考慮する。

2-2 下流端境界条件

下流端(70.0k)には洗堰が在る。洗堰の操作方法は図5に示すように、全開型、越流型(ドン付も含む)、潜流型の3種あり、このうち全開型と越流型については水理実験から次の流量公式が得られている⁽²⁾。

i) 全開ゲート1門あたり(ただし全開門数3門以内)

$$Q = 16.2 (H - H_b)^{\frac{3}{2}} \text{ m}^3/\text{s}/\text{門} \quad (9)$$

ii) 越流ゲート 1 門あたり

$$Q = 20.5 (H - H_{G2})^{\frac{5}{3}} \text{ m}^3/\text{s}/\text{門} \quad (10)$$

ここに, H_b = 洗堰下段ゲート敷高 (O.P.80.8m), H_{G2} = 上段ゲート天端高 (ドン付状態では O.P.84.3m)。

潜流状態では正確な流量公式は得られていないが, ゲート位置で限界水深が発生すると仮定して 1 次元解析を行うと次式を得る。

iii) 潜流ゲート 1 門あたり

$$Q = 42.1 (H_{G1} - H_b) \sqrt{H - H_{G1}} \quad (11)$$

全開状態と潜流状態の判定は次式で行える。

$$\left. \begin{aligned} H_{G1} &> \frac{2}{3} H + \frac{1}{3} H_b \\ H_{G1} &\leq \frac{2}{3} H + \frac{1}{3} H_b \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{(全開状態)} \\ \text{(潜流状態)} \end{array} \quad (12)$$

ここに H_{G1} = 下段ゲートリップ高である。

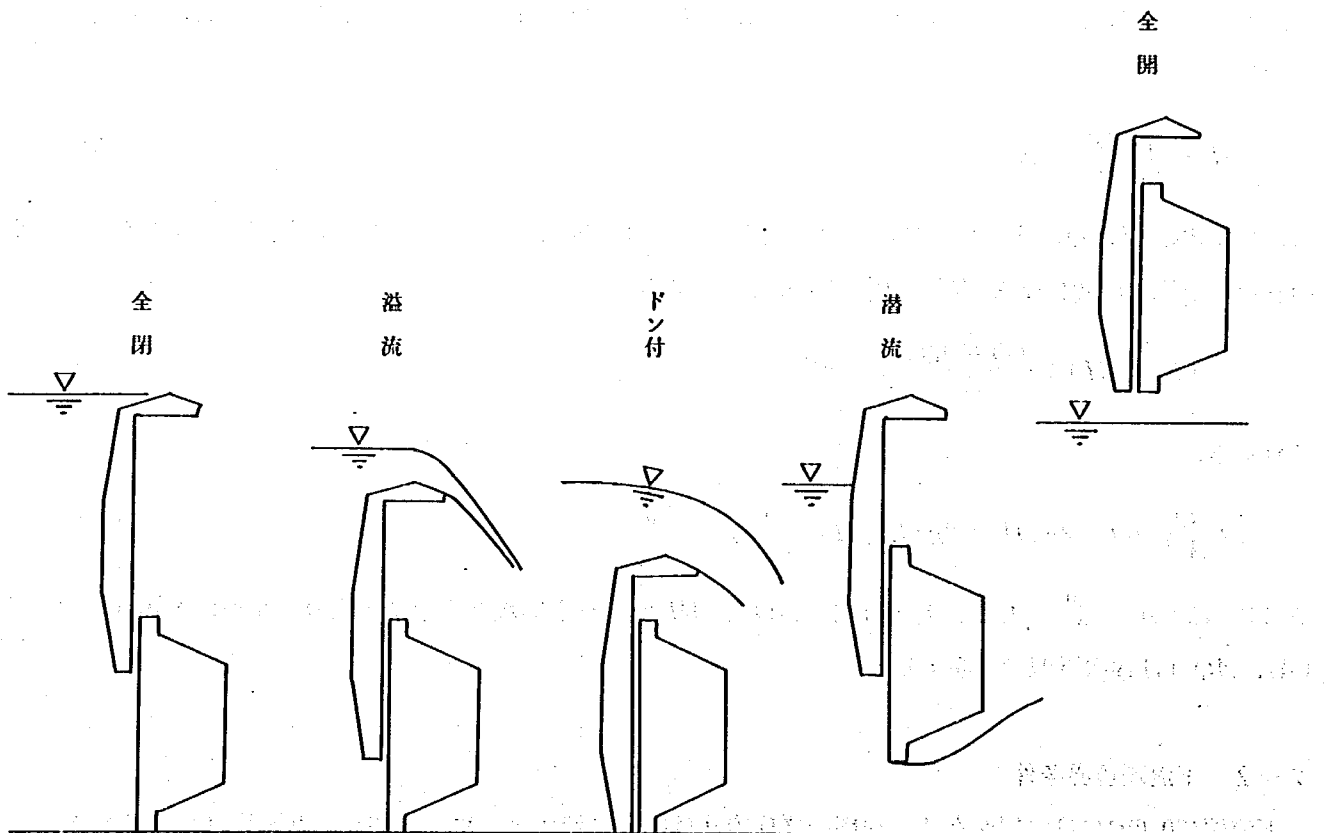


図5 洗堰操作方式

さてこの流量公式から境界条件式を作成するのだが、式がかなり繁雑になるので要点のみを記す。

$t = t_0 + \Delta t$ での流量が次のように表わされたとする。

$$Q(t_0) + \Delta Q = f\{H(t_0) + \Delta H : \text{ゲート状態}(t_0 + \Delta t)\} \quad (13)$$

右辺を水深について展開して整理すると次の近似式を得る。

$$\begin{aligned} \Delta Q - \frac{\partial f}{\partial H}\{H(t_0) : \text{ゲート状態}(t_0 + \Delta t)\} \Delta H \\ = f\{H(t_0) : \text{ゲート状態}(t_0 + \Delta t)\} - Q(t_0) \end{aligned} \quad (14)$$

上式はあくまで近似式であって Δt を大きく取った場合や操作方式の遷移過程においては十分な精度を持たない。そこで上式を修正して次の逐近似式をつくる。

$$\begin{aligned} \Delta Q - \frac{\partial f}{\partial H}\{H(t_0) : \text{ゲート状態}(t_0 + \Delta t)\} \Delta H \\ = f\{H(t_0) + \Delta H : \text{ゲート状態}(t_0 + \Delta t)\} \\ - Q(t_0) - \frac{\partial f}{\partial H}\{H(t_0) : \text{ゲート状態}(t_0 + \Delta t)\} \Delta H \end{aligned} \quad (15)$$

ここで左辺の ΔQ と ΔH のみを未知数として、右辺の ΔH は逐近似で与える。すると第1回目の近似では右辺に含まれる ΔH がゼロであるから (15) 式は (14) 式に等しくなる。また収束するにつれ左辺第2項と右辺第3項が打ち消すようになるので (15) 式は (13) 式に等しくなる。

次に計算最下流断面位置と洗堰位置とが一致しないことによる誤差を補正しておく。計算最下流断面と洗堰とではさまれる区間の水表面面積を A_0 とすると連続条件から

$$Q + \Delta Q - Q_w - \Delta Q_w = A_0 \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (16)$$

ここに添字 w は洗堰での値であることを表わす。また水位については計算最下流断面と洗堰とで等しいものとしている。(15) 式の Q 及び ΔQ は (16) 式の Q_w , ΔQ_w と同じものであるから代入して整理し直すと、

$$\begin{aligned} \Delta Q - \left[A_0 / \Delta t + \frac{\partial f}{\partial H}\{H(t_0) : \text{ゲート状態}(t_0 + \Delta t)\} \right] \Delta H \\ = f\{H(t_0) + \Delta H : \text{ゲート状態}(t_0 + \Delta t)\} \\ - Q(t_0) - \frac{\partial f}{\partial H}\{H(t_0) : \text{ゲート状態}(t_0 + \Delta t)\} \Delta H \end{aligned} \quad (16)$$

3. 宇治電取水水量について

70.5k右岸には宇治電取水口があり、数十 m^3/s の取水を行なっている。そこでこの取水口を含む区間

については横流出を考慮する。単位距離あたりの横流出量を q と書くと、運動方程式及び連続式は次のようになる。

$$A \frac{\partial Q}{\partial t} - 2Q \frac{\partial A}{\partial t} - \frac{P^* Q q}{A} - \frac{Q^2}{A} \frac{\partial A}{\partial x} + g A^2 \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{g n^2 |Q| Q}{R^{4/3}} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q = 0 \quad (18)$$

(17) 式の P^* は流出する流れが持ち出す x 方向の運動量に関する係数で、主流と同じ x 方向速度で流出する場合に 2, x 方向速度を失って流出する場合に 1 となる。厳密には宇治電取水量と洗堰との流量比率によって P^* の値は変わると考えられるが、取水口水路が本川に対してかなり大きい角度を持っていることから本計算では 1 と置くことにする。

以上から宇治電取水口を含む第一区間について次の置き換えを行う。

$$\left. \begin{aligned} B(2*J) + Q_q(2*J) * Q_{in} &\Rightarrow B(2*J) \\ B(2*J+1) - 2Q_{in} &\Rightarrow B(2*J+1) \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

ここに、 Q_{in} = 宇治電取水量。

4. 初期条件

初期条件を不等流計算で与えるが、通常不等流計算の差分化と平均化のやり方は不定流計算のそれと異っている。このため通常不等流計算で初期条件を与えると不定流計算開始直後に攪乱を生じる。そこでここでは不定流計算式から導かれる不等流計算式を用いる。すなわち (3) 式で $\Delta H_1, \Delta H_2, \Delta Q_1, \Delta Q_2 \rightarrow 0$ とおくと次式を得る。

$$\frac{Q^2}{A_a} (A_1 - A_2) - g A_a^2 (H_1 - H_2) - g n^2 \frac{|Q| Q}{R_r^{4/3}} \Delta x = 0$$

ここに $A_a = (A_1 + A_2)/2$, $R_r = (R_1 + R_2)/2$ 。さらに宇治電取水を考慮すると

$$H_2 = H_1 - \frac{Q^2}{g A_a^2} (A_1 - A_2) + \frac{n^2 Q^2}{A_a^2 R_r^{4/3}} \Delta x + \left[\frac{Q Q_{in}}{g A_a^2} \right]_{i=j} \quad (20)$$

5. 断面形状の与え方

通常不等流・不定流計算では断面形を多角形で近似しその頂点の座標を形状特性値として入力する。この方法は最も確実と言えるが、しかし計算機の容量を要するし、収束計算に過度の時間がかかる原因となる。

幸い瀬田川河道は単断面であり、また琵琶湖を控えているため砂洲が現われるほど水位が低下することも

稀である。そこで次の近似式でも十分断面形を表現できると考えられる。

$$(\text{断面積}) \quad A = A_l (H - Z)^{A_m} \quad (21)$$

$$(\text{径 深}) \quad R = R_l (H - Z)^{R_m} \quad (22)$$

ここに、 Z , A_l , A_m , R_l , R_m は各断面固有の定数である。

計算断面は70.1k~75.3kを0.2km間隔に区切り、27断面、26区間とした。各断面の形状特性値を巻末付録1に示す。

(3) 式中の A_c は (21) 式から次のように表わされる。

$$A_c = \frac{\partial A}{\partial H} = \frac{A_m \cdot A_l}{\left(H + \frac{\Delta H}{2} - Z \right)} \quad (23)$$

6. その他計算上の微調整

6-1 最上流区間連続条件式の修正

連続条件の差分式は次のとおりである。

$$\Delta Q_1 - \Delta Q_2 + C_v A_{c1} \Delta H_1 + C_v A_{c2} \Delta H_2 = -2(Q_1 - Q_2)$$

左辺第3項と第4項の寄与が相対的に小さい場合(例えば時間メッシュを粗くとり $C_v \rightarrow 0$ となった場合、あるいは本計算のように上流端が湖であって ΔH が境界条件によって小さな値に抑えられる場合など)には、

$$\Delta Q_1 - \Delta Q_2 \approx -2(Q_1 - Q_2)$$

となる。ここで何らかの攪乱によって $(Q_1 - Q_2)$ に必要以上に大きな値が入ったとすると、次の時間ステップには

$$(Q_1 + \Delta Q_1) - (Q_2 + \Delta Q_2) = -(Q_1 - Q_2)$$

となり定常振動を起こす。したがってこれにわずかな不安定要素が加わると発散振動を生じる恐れが大きい。そこで最上流区間の連続条件式のみを次のように書き変える。

$$B(2N-1): -2(Q_1 - Q_2) \rightarrow -(Q_1 - Q_2) \quad (24)$$

これによって攪乱は指数関数的に減少する。なお上記の操作は

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \rightarrow \frac{(Q_1 + \Delta Q_1) - (Q_2 + \Delta Q_2)}{\Delta x} \quad (25)$$

と差分化したことに対応する。

6-2 変動成分の平滑化

上に述べた振動特性は境界以外でも表われる恐れがある。この場合は両側に別の区間があるので、丁度鋸刃の形が1時間ステップ毎に正負入れ変わるような振動になると予想される。

そこで、やや意図的ではあるが、次式のように前後2断面の値を用いた3点平滑化を行うこととする。

$$\frac{\Delta H(I-1) + 2\Delta H(I) + \Delta H(I+1)}{4} \rightarrow \Delta H(I) \quad (26)$$

$$\frac{\Delta Q(I-1) + 2\Delta Q(I) + \Delta Q(I+1)}{4} \rightarrow \Delta Q(I) \quad (27)$$

(26), (27) 式は、1時間ステップ内の変化量を空間的にプロットした場合に3断面程度の距離では直線とみなされるという仮定に立って書かれている。すなわち不定流の空間スケールに較べて断面間距離を十分小さくとることを前提にした操作である。

7. 計算のフロー

計算のフローを図6に示す。また計算プログラムを巻末付録2に示した。

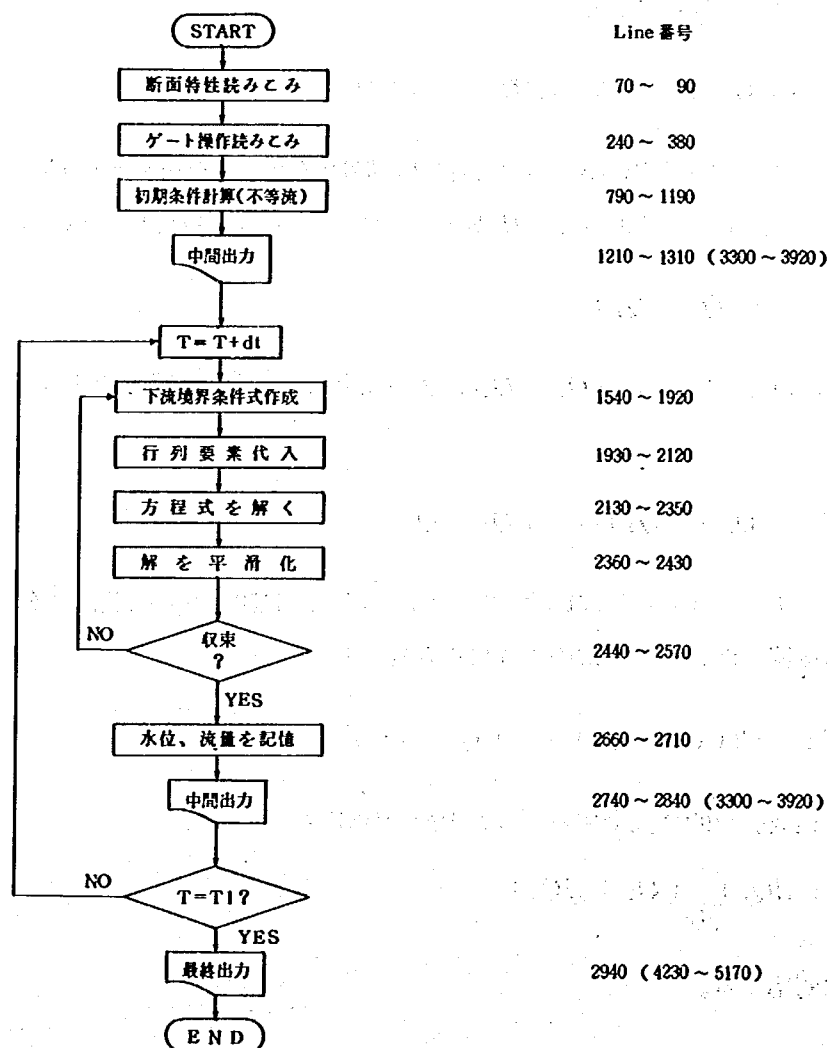


図6 計算のフロー

8. 現地データによる検証

瀬田川では洗堰ゲート操作により人為的に不定流を起こせる。したがってあらかじめ観測態勢をしいてゲート操作を行うことにより、精度の良い不定流のデータを取ることができる。ここでは昭和54年及び55年に行われた観測結果を用いて本計算法を検証する。計算条件を表1に、水位観測結果を巻末付録3に示す。ただし巻末付録の値はもとデータを左右岸で平均し O.P.m に換算してある。なお計算は土木研究所の大型計算機(HITAC M-180)を使用した。計算に要する時間は1ケース(現地時間で3時間)あたり約9秒であった。

表1 現地データによる検証計算条件一覧

Run	日付	No	干 町 初期水位 (o.p.m)	宇 治 取 水 量 (m ³ /s)	操 作 ゲ ー ト (門)	全 開 ゲ ー ト (門)	下 段 扉 初 期 高 (o.p.m)	下 段 扉 最 終 高 (o.p.m)	上 段 扉 初 期 高 (o.p.m)	上 段 扉 最 終 高 (o.p.m)	下 段 扉 操 作 時 間 (分)	上 段 扉 操 作 時 間 (分)	計 算 時 間 (分)	計 算 ス テ ッ プ (分)
1-1	S54 5/23	1	84.87	43.3	2	1	84.95	80.80	89.80	84.30	30	30	102	6
		2			1	0	85.46	80.80	89.80	84.30	36	36	78	6
1-2	S54 6/ 5	1	85.41	54.0	10	0	80.80	80.80	84.81	85.23	10	10	10	5
		2			10	0	80.80	80.80	85.23	86.36	10	10	170	5
1-3	S54 7/ 7	1	85.15	49.1	2	0	85.91	81.82	89.80	87.05	30	30	30	6
		2			2	0	81.82	80.80	87.05	84.30	30	30	150	6
1-4	S55 6/16	1	84.88	44.2	2	0	85.80	80.80	89.80	84.42	48	60	180	6

Run 1-1 は部分的に全開したゲート (3 門) をドン付けにし、越流状態に切りかえたケースである。図 7-1~7-3 は干町 (70.1k), 橋本 (71.5k), 鳥居川 (74.0k) における水位の時間的変化を示している。このケースでは2度にわたってゲートが閉められた結果、洗堰放流量 (計算値) が455m³/s→343m³/s→268m³/s と2段階で減少している。各地点の水位もこれに対応して段階的に上昇しているが、干町と鳥居川では10分程度の時間差がある。図 7-4 は第1段階のゲート操作による遡上波の挙動を示したものである。遡上波のフロントは明確でなく、むしろ下流から順に貯留されてゆくようにも見える。この図では T=42分までしか示していないが、これ以降、第2段階のゲート操作が行われるまでほとんど変化が無い。すなわち T=42分で既に新しい平衡状態に達してしまっている。このように波としての性質が少ない原因は、ゲートが全閉とならないために定常流成分がかなり存在していることであると推察される。

一方、Run 1-2 はゲートを全閉としたケースであり、流量は90m³/s→0 m³/s となっている。図 8-1~8-3 は干町、橋本、鳥居川の水位の時間変化を示している。前の例に比べると明らかに波動性が強く、180分を経過してもまだ新しい平衡状態に達してはいない。また Run 1-1 と比べて調節流量が少ないにもかかわらず、過剰水位 (最大水位-最終平衡水位) が遙かに大きい点が注目される。図 8-4 は遡上波の伝播を示しているが、初期においてはフロントが比較的明確であり段波的性質を持っているようである。上流端で反射して負の段波となり次第に分散して $\frac{1}{4}$ モードの定在波となってゆく様子がわかる。定在波の周期は約60分である。

このように、瀬田川の遡上波の性質は、ゲートを全閉にするか否かによってかなり異ってくると言える。この点については別冊「瀬田川洗堰の洪水調節方法に関する調査」で詳述したので参照願いたい。なお本計算プログラムはどちらの場合についてもかなり精度良い結果を与える。ただし定在波の周期が現地に比較して若干少な目となっている。この理由は今のところはっきりしないが、ひとつには上流の境界条件の問題が考えられる。すなわち上流端(75.3k)ではエネルギーが琵琶湖水位に等しいとしている。これは琵琶湖から洗堰に流れが向っている場合はほぼ成立するが逆の場合には正しくない。上記計算では Run 1—2 のみ逆流が生じている。またいまひとつの理由として、計算では断面内速度分布を一様としていることが考えられる。すなわち、運動量補正係数を β とした時の長波の波速は

$$C = \frac{\sqrt{gH}}{\sqrt{\beta}} \quad (28)$$

となり、 $\sqrt{\beta}$ に逆比例する。計算式ではこれを 1 と仮定しているが、通常言われている 1.1 という値を取れば波速は約 0.5 割減することとなり実測値に近い値となる。

いまひとつの原因として(26)、(27)式による平滑化が考えられる。すなわち下流の水位上昇の影響が平滑化によって早く伝わる恐れがある。また図 8—1～3に見られる高周波への移行を早める原因になるとも考えられる。これについては今後検討する予定である。

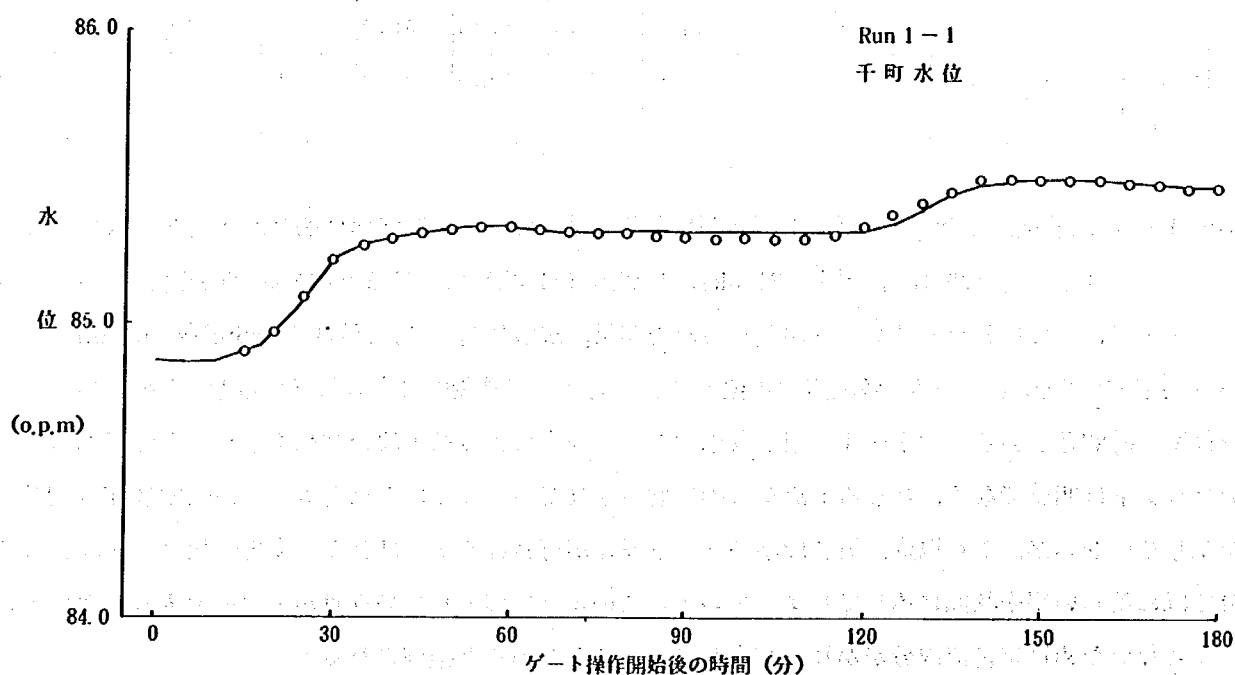


図 7—1 千町水位の変化 (Run 1—1)

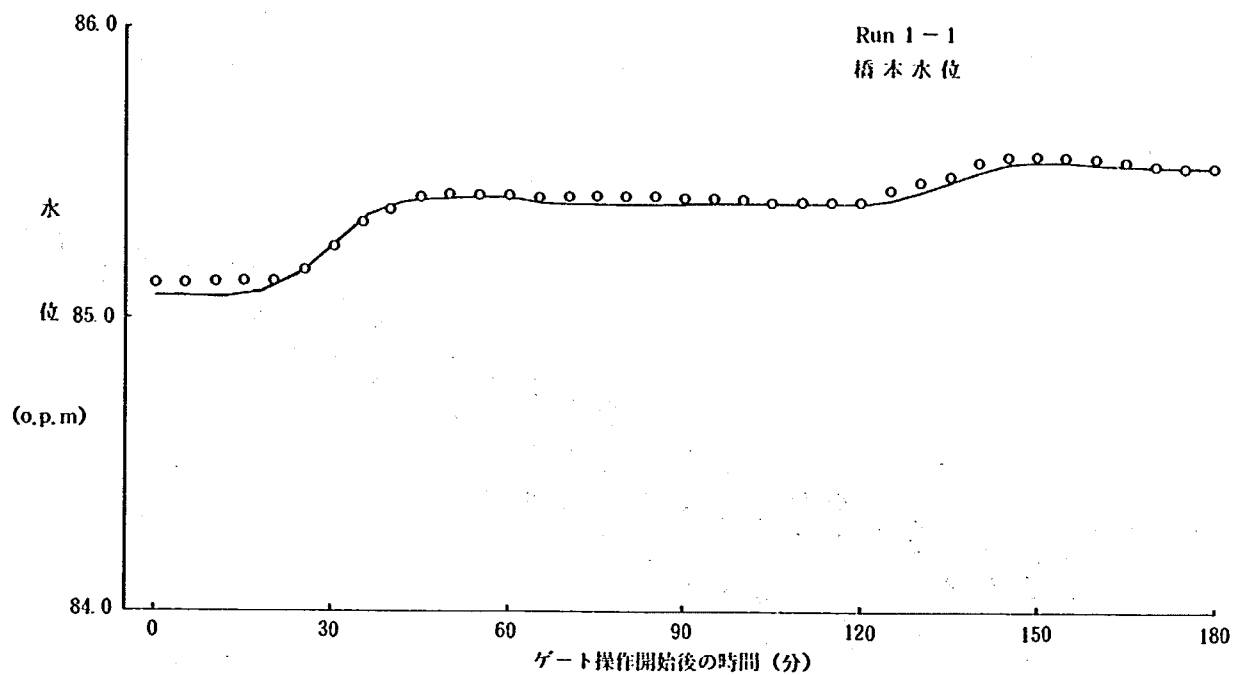


図 7-2 橋本水位の変化 (Run 1-1)

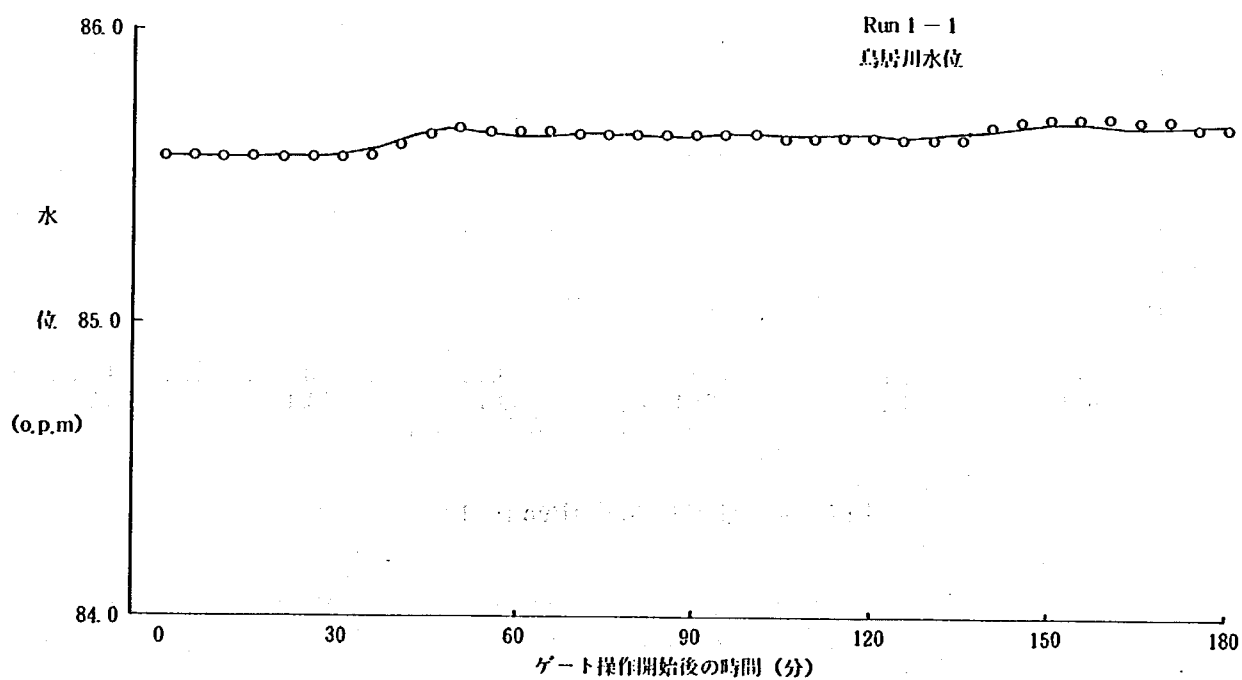


図 7-3 鳥居川水位の変化 (Run 1-1)

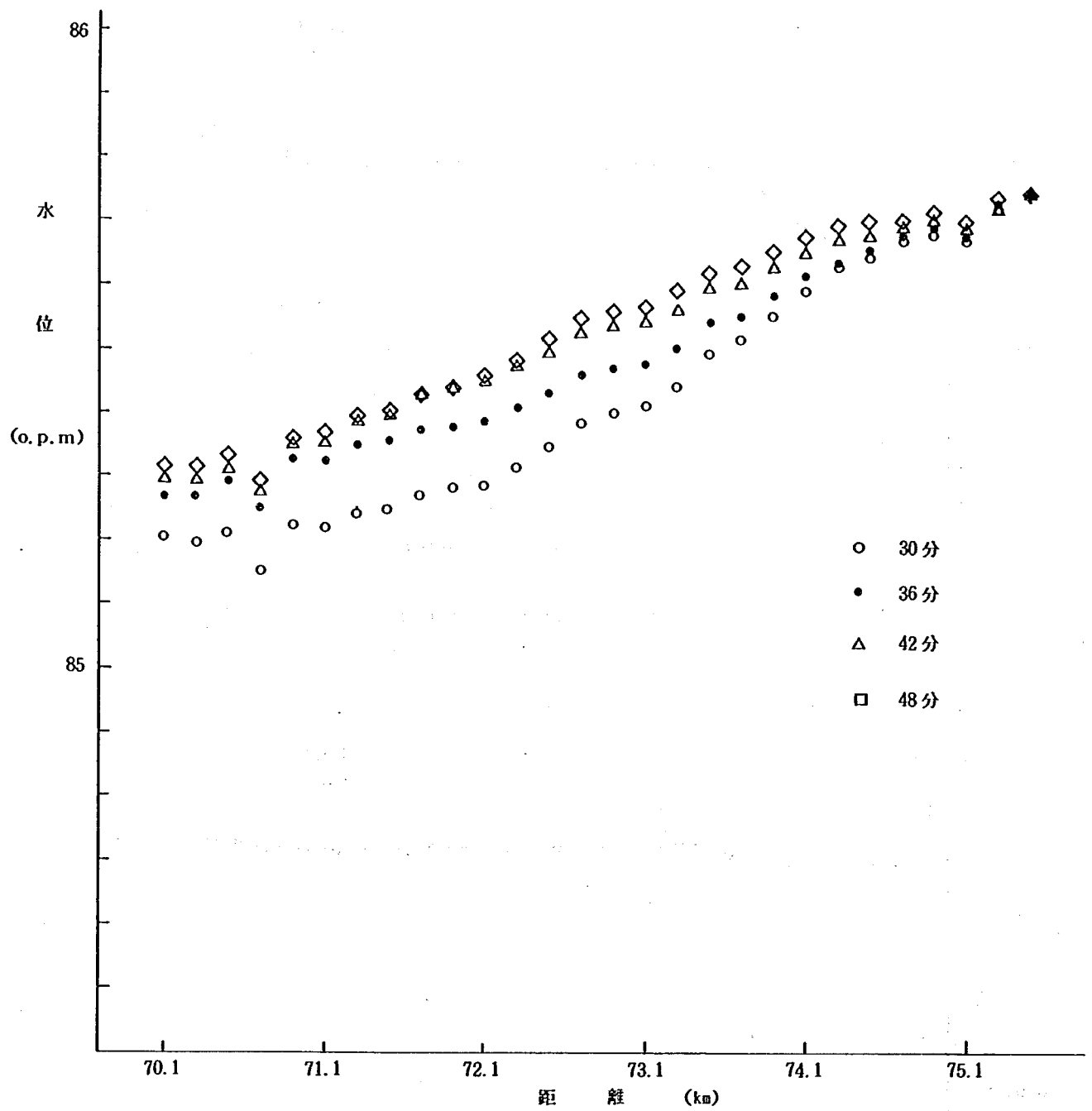


図7-4 遡上波の伝播 (Run 1-1)

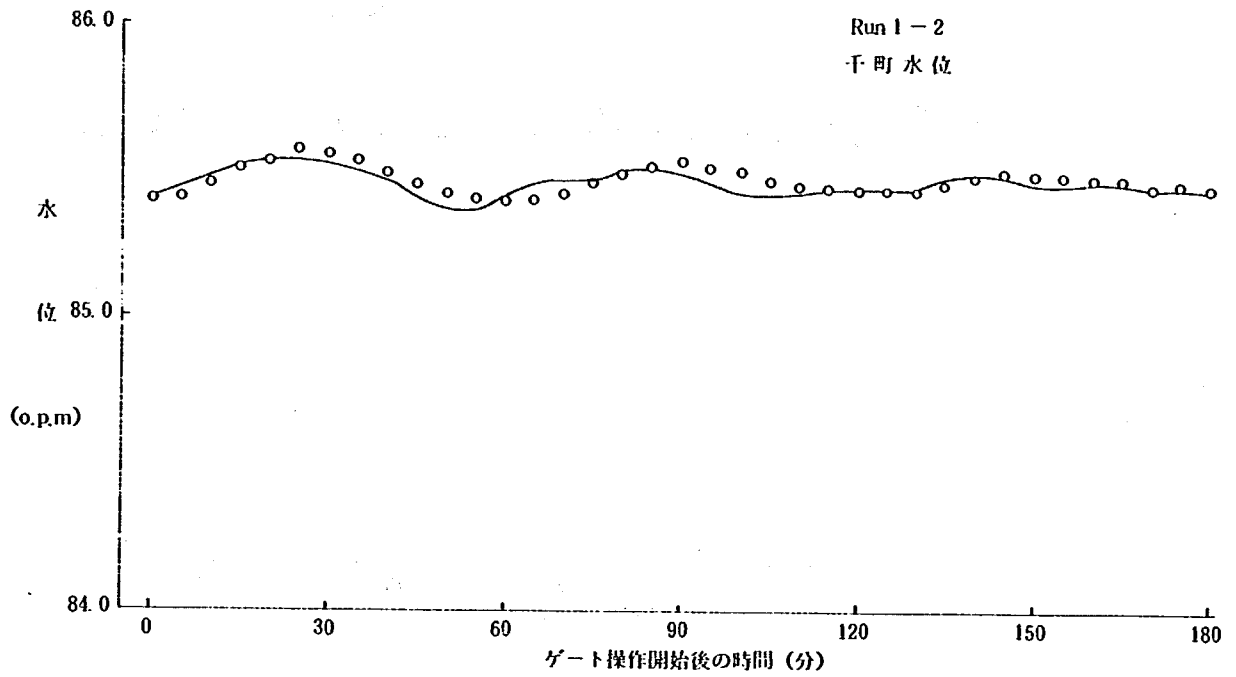


図 8-1 干町水位の変化 (Run 1-2)

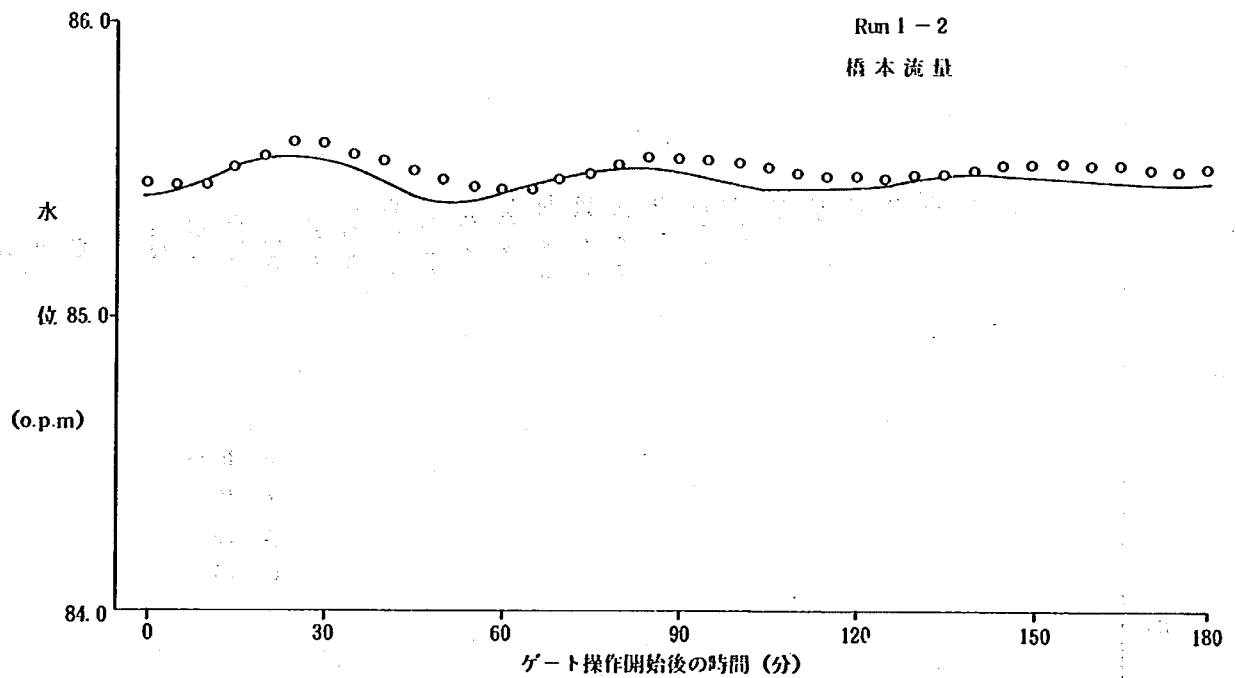


図 8-2 橋本水位の変化 (Run 1-2)

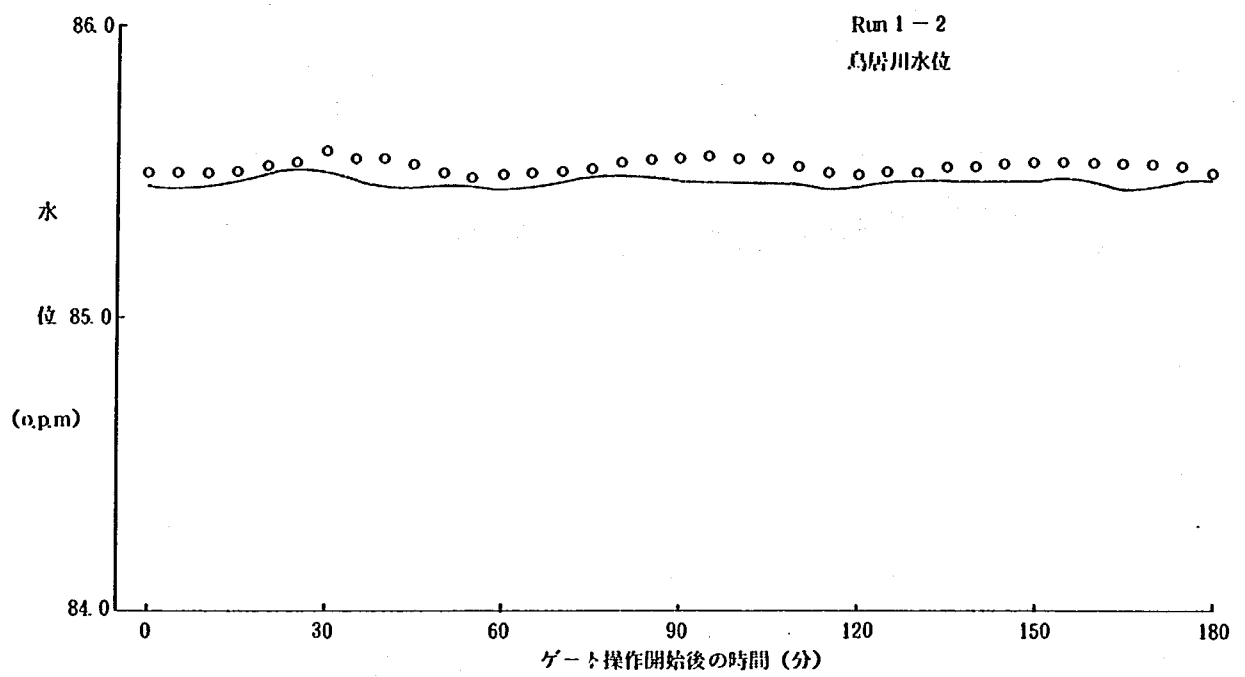


図8-3 鳥居川水位の変化 (Run 1-2)

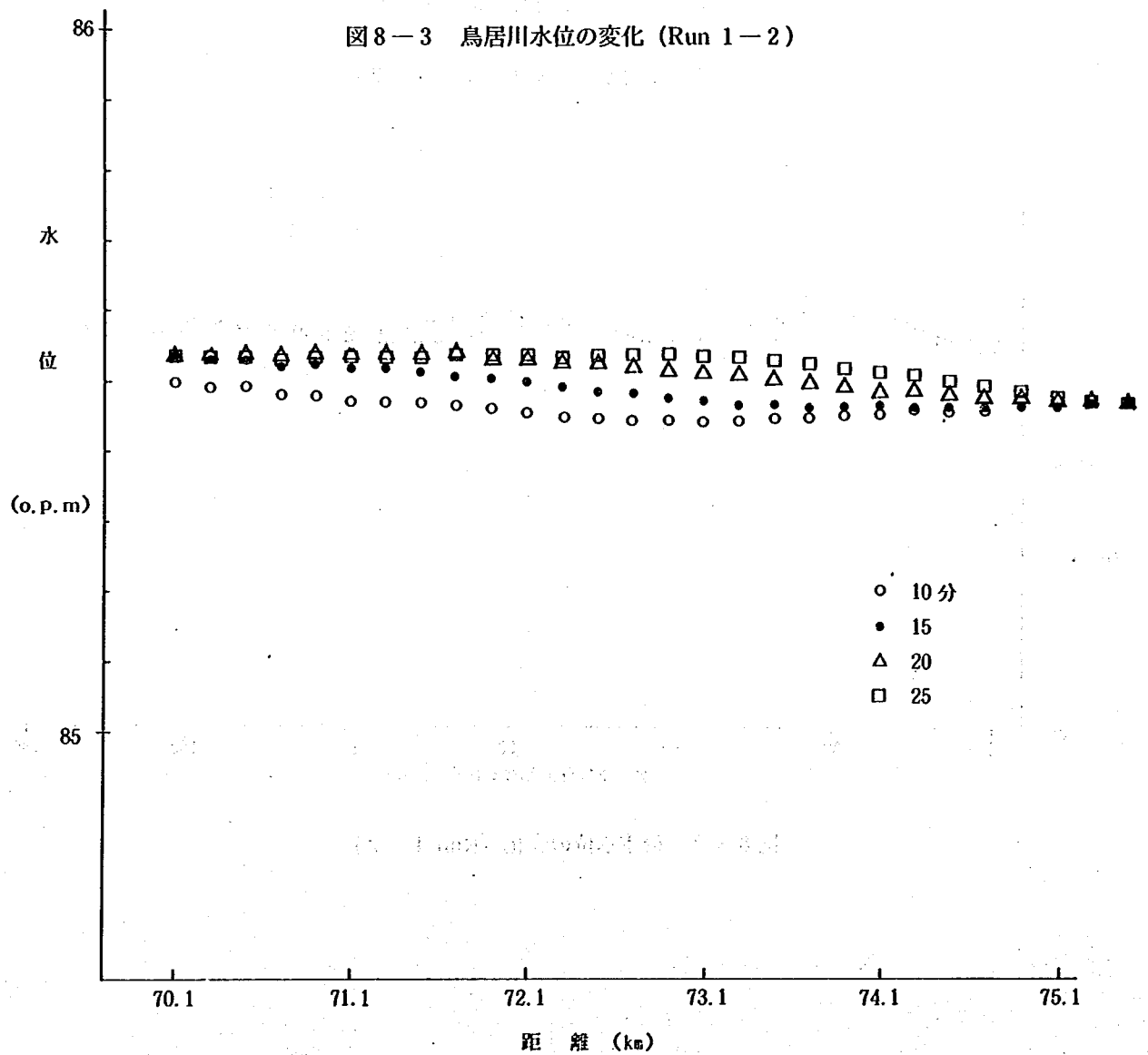


図8-4 遡上波の伝播 (Run 1-2)

9. 水理実験による検証

現地観測においては、人災を引き起こす恐れがあるので、それほど大きな遡上波を発生させることができない。そこで水理実験⁽³⁾によって大きな遡上波についての計算検証データを得ることとした。実験模型は別冊「瀬田川洗堰の洪水調節方法に関する調査」に説明されているので参照されたい。

現地と模型では上流端境界条件の形式が異なる。すなわち現地では上流端が琵琶湖であるため水位一定の条件となるのに対し、模型ではポンプによって定常的に水が供給されるため流量一定の条件となる。また模型上流端に整流槽があり河道部に対して無視できない面積を持つため、現地の100mに相当するピッチで計算断面を与えている。整流槽の上流には量水槽から落下する水脈の水褥池がある。この部分は河道と同様には取り扱えないので、貯留効果のみを考慮した。したがって上流端境界条件は整流槽上流端で次のように与えられる。

$$A_u \frac{\Delta H_N}{\Delta t} + \Delta Q_N = 0 \quad (29)$$

実験条件を表2に示す。Run 2-1は急閉塞、Run 2-2, 3は極急閉塞である。実験模型は瀬田川70.9kまでの河道しか含んでいない。上流端条件は“流量一定”となる。したがって相似模型となるのは遡上波のフロントが70.9kに到着するまでのわずかの時間（現地時間で約180秒）である。このため急閉塞の場合のみを行うこととしたわけである。なお模型水位は100mピッチで左右岸に設置された容量式波高計からペン式データレコーダに出力し、ディジタイザによって数値化している。

表2 水理実験による検証計算条件一覧

Run	初期流量 (m ³ /s)	操作ゲート (門)	閉塞時間 (秒)	他ゲートの 状態
2-1	400	3	200	ドン付
2-2	400	10	0	/
2-3	600	10	0	

図9-1はRun 2-1の結果である。このケースでは、3門のゲートを全開、他をドン付け（天端高O.P. 84.3m）として、初期流量400m³/s（実物値）を通水して水位が十分安定した後、全開となっていたゲートを200秒（実物値：模型上では36秒）で閉塞した。通水初期には放流水のほとんどが全開ゲートから流出し、ドン付けゲートからはごくわずかの溢流が見られる状態であった。閉塞後は溢流水深が増大し、ドン付けゲート7門から400m³/sが流出する状態で平衡となった。ただし図9-1では平衡状態までのデータは含まれていない。図中実線が右岸の測定値、破線が左岸の測定値、丸印が計算値である。全体に計算値の方がやや大きめであるとともに、波の進行が若干速い。波速の異なる原因はふたつ考えられる。ひとつは計算に用いた潜流状態の放流能力式の誤差である。この式は他の状態における（9）式、（10）式と異なり、実験的に得られた式ではない。仮にゲート閉塞初期における流量変化率が後期のそれより小さいとすれば、貯留量がそれほど急激に増大せず、見かけ上波の伝播が遅れるようになる。このことは実験水位が計算水位より常に小さめであることとも対応すると思われる。第2の原因としては図8-4で述べた運動量補正係数の問題である。ただし下流端（70.0k）において既に実験値との間に時間差を生じていることからみて、前者が主な原因と考えてよいと思われる。

図9-2および図9-3は極急閉塞の場合であり、初期流量はそれぞれ $400\text{m}^3/\text{s}$ 、 $600\text{m}^3/\text{s}$ である。計算では極急閉塞条件を与えられないので、1ステップ時間($\frac{1}{3}$ 分)でゲート閉塞したものとしている。もちろん現地において極急閉塞操作はありえないのだが、ここでは本計算法で現象をどこまでフォローできるかを試すために行った。

さて極急閉塞の場合、模型上では段波が生じる。しかし計算では明確な段波は表わせない。また上流に遡上するにつれて波状の変動に変化してゆく傾向が見られる。しかしフロントが各地点を通過した後の平均的な水位は概ね一致していることがわかる。フロントが各地点に到達する時間もほぼ一致しており、このことから Run 2-1における波速の差はゲート半開時における放流能力式の誤差によるものと思われる。また流量別に見ると、 $400\text{m}^3/\text{s}$ が最も良好な一致を示し、流量が大きくなるほど波状性が顕著となって誤差が大きくなっている。

このように波形勾配が非常に大きくなると本計算法でも現象を完全に表わすことが難しくなってくる。しかし現地におけるゲート閉塞時間は30分程度以上であり、Run 2-2~4はもとより Run 2-1よりも遙かに長く、したがって瀬田川の遡上波を検討するには十分有効であると判断される。

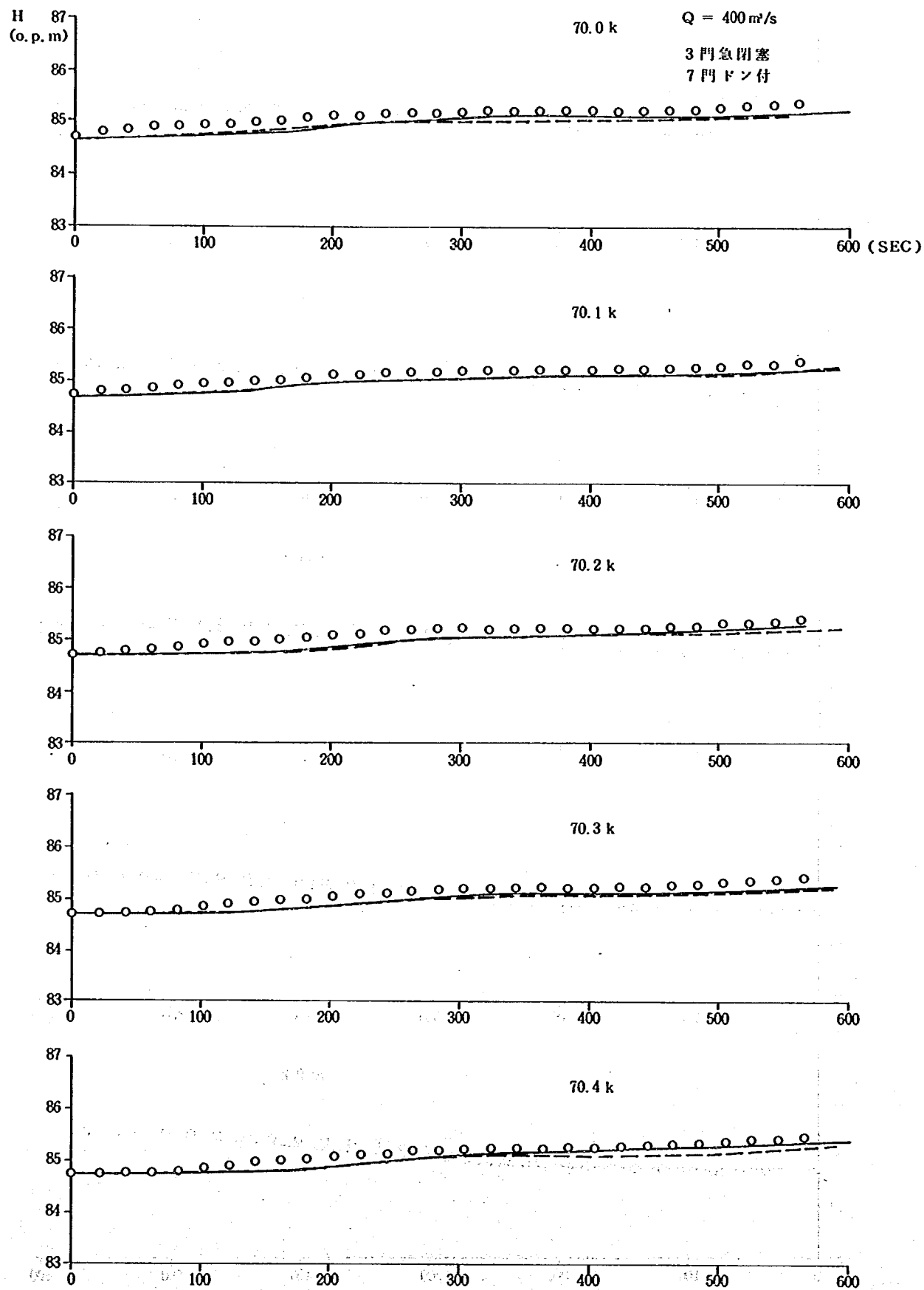


図9-1 模型上の遡上波の伝播 (Run 2-1)

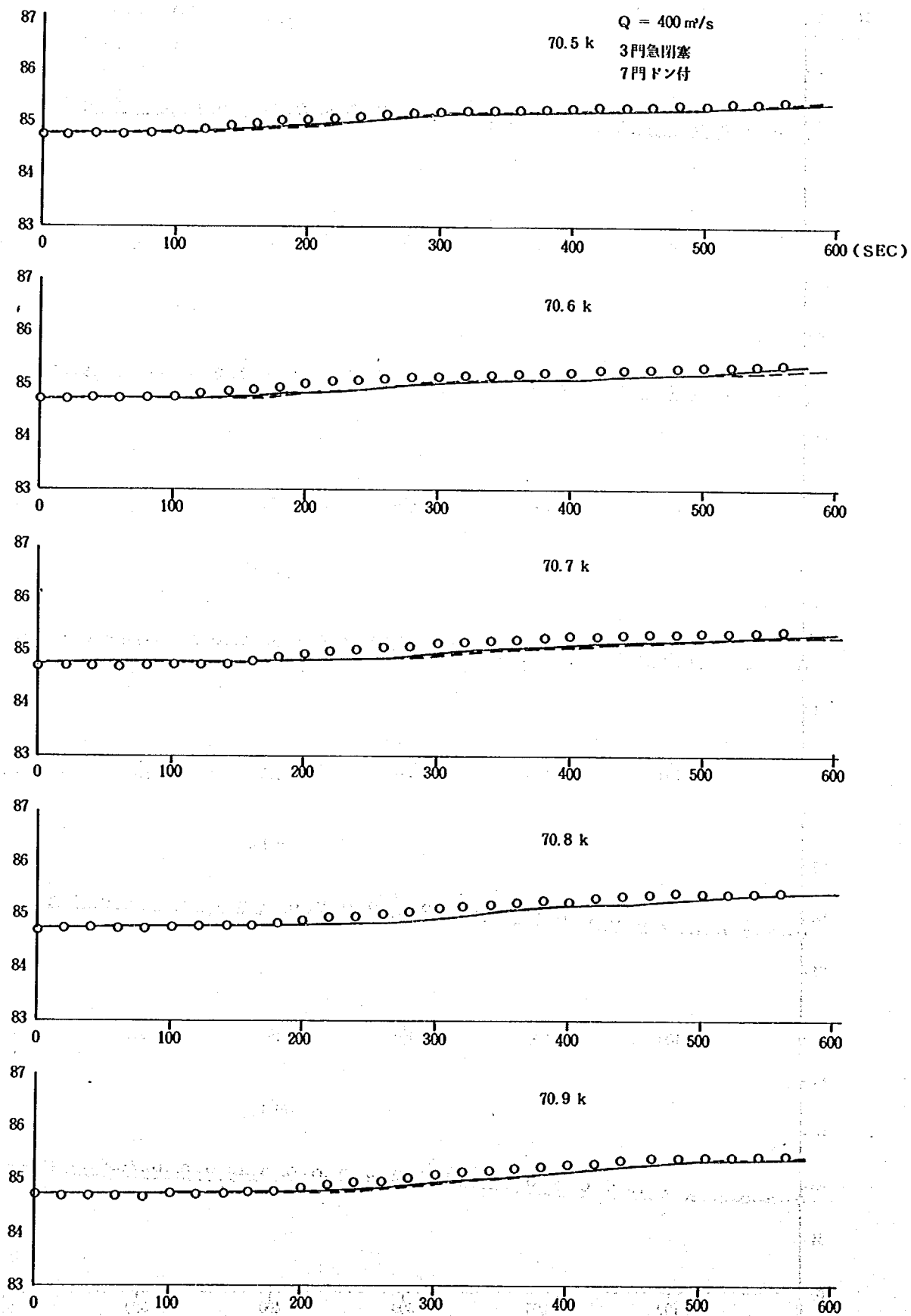


図9-1 模型上の遡上波の伝播 (Run 2-1)

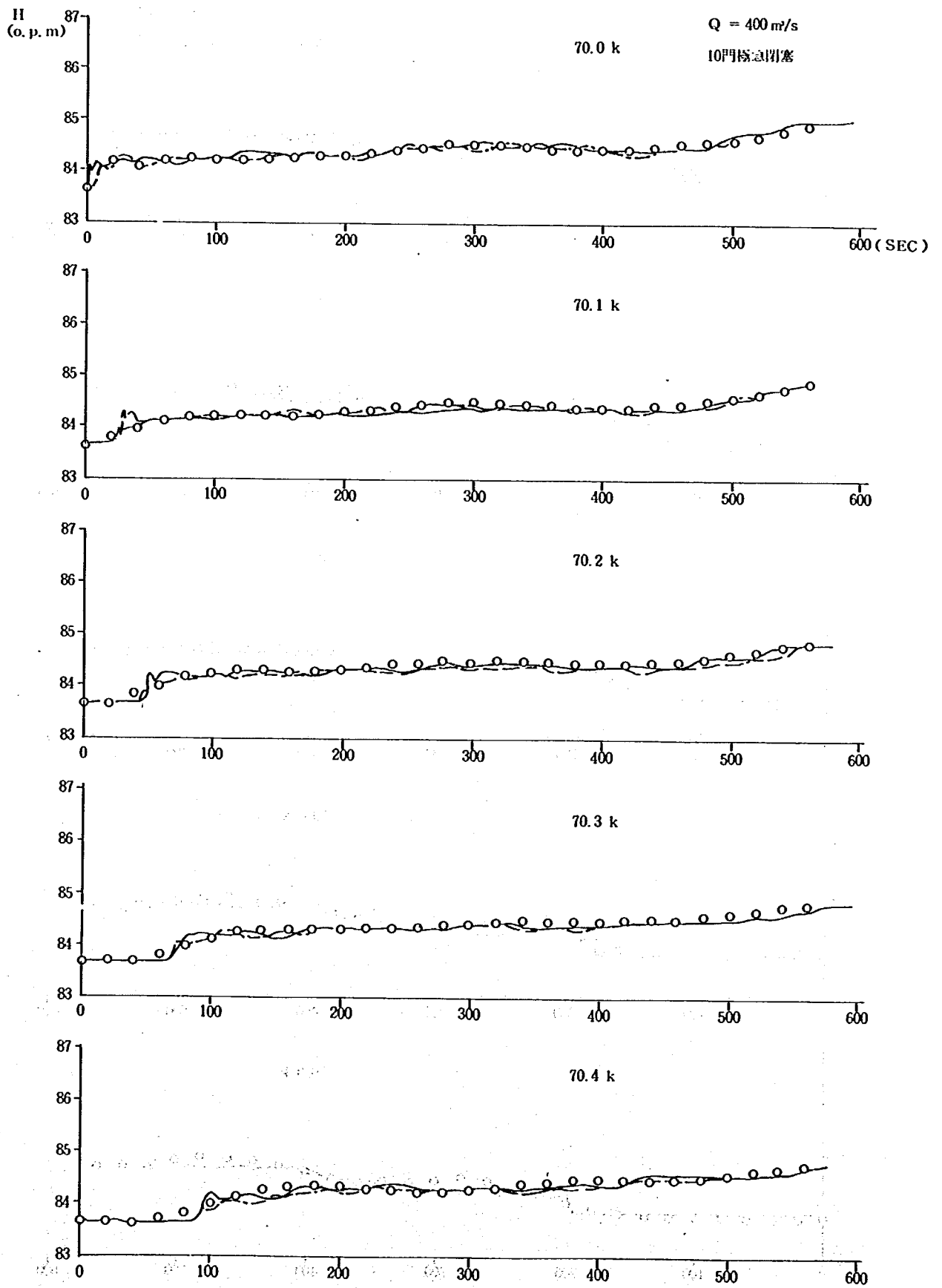


図9-2 模型上の遡上波の伝播 (Run 2-2)

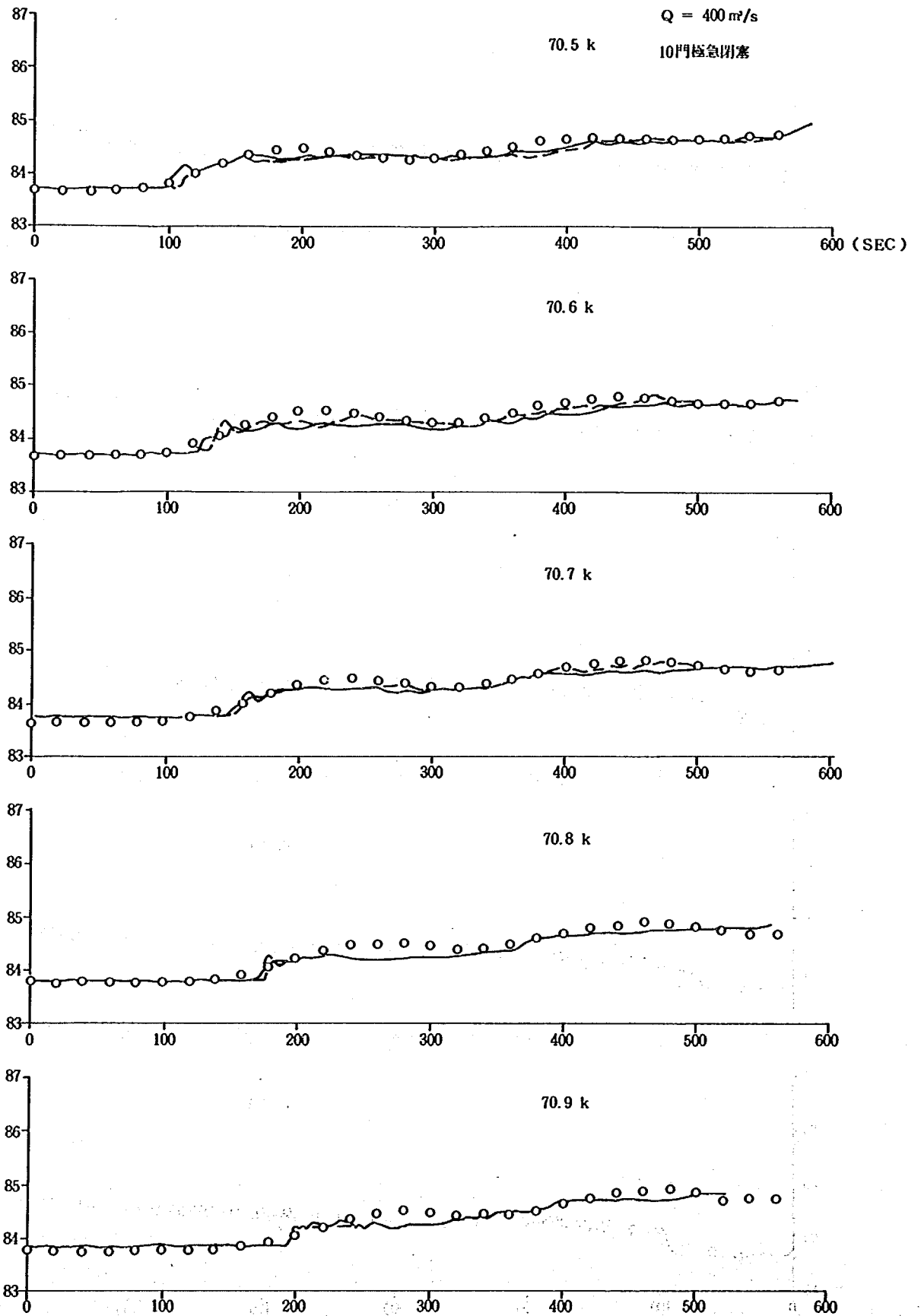


図9-2 模型上の遡上波の伝播 (Run 2-2)

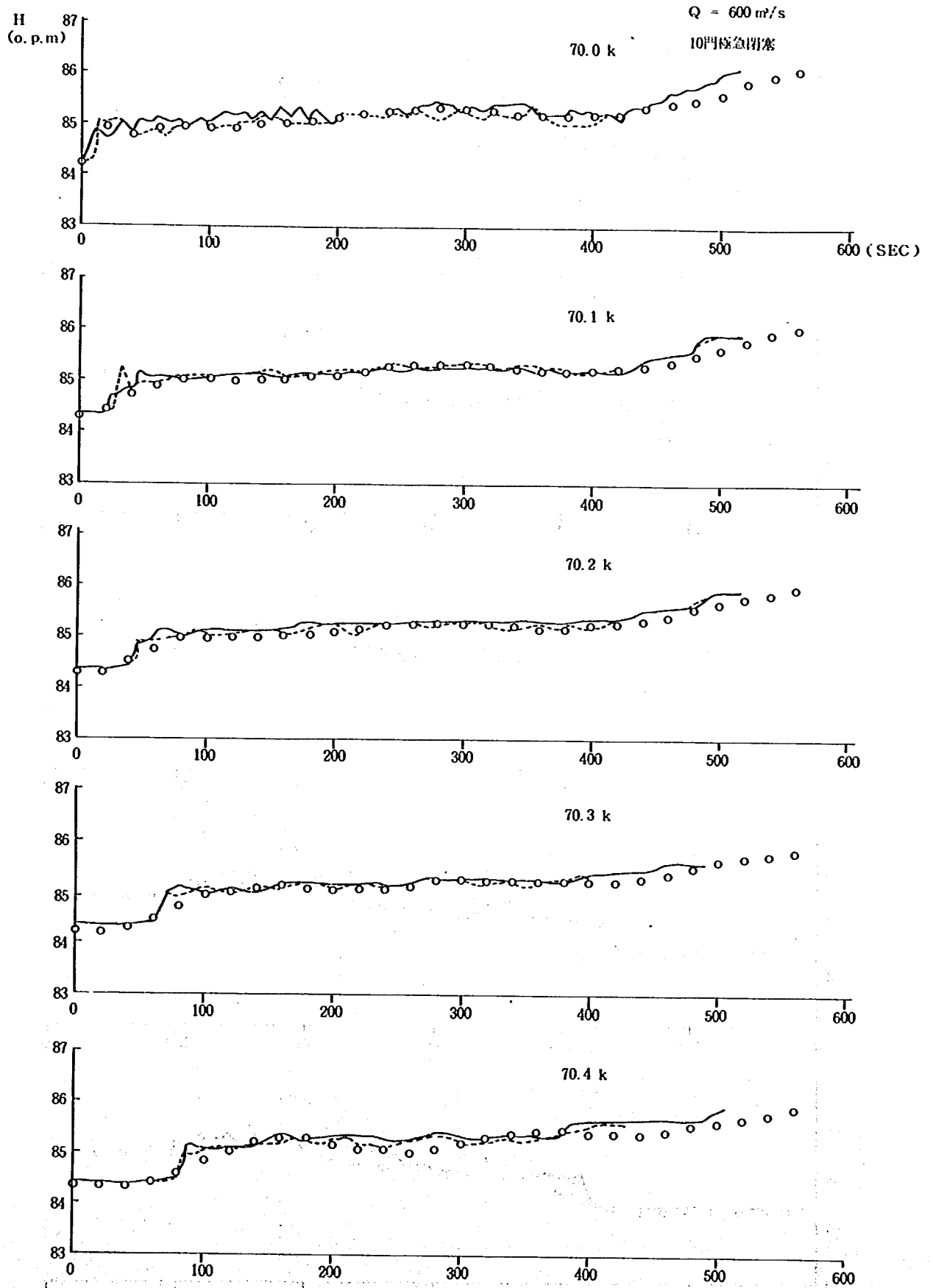


図9-3 模型上の遡上波の伝播 (Run 2-3)

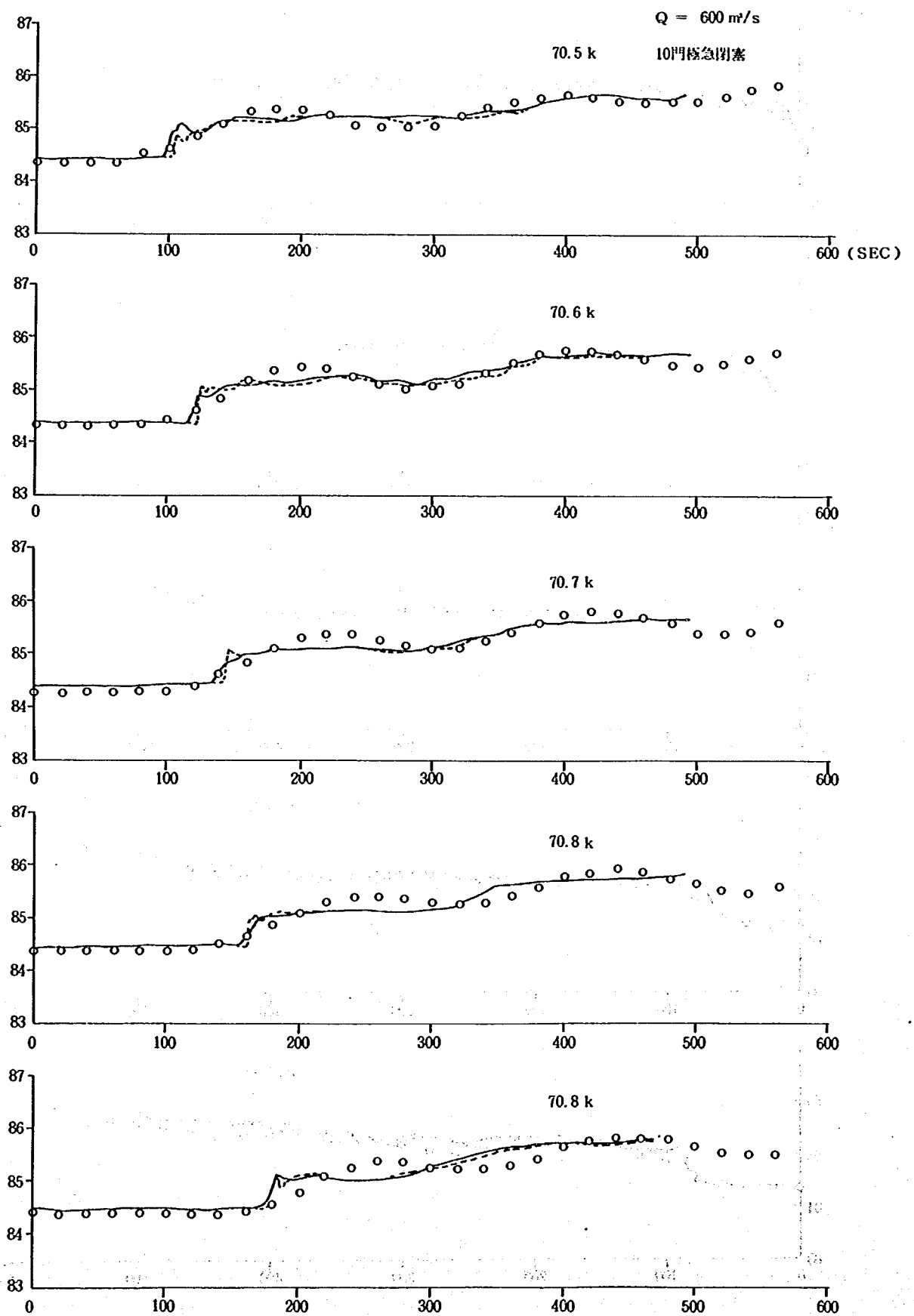


図9-3 模型上ね遡上波の伝播 (Run 2-3)

第4章 結 語

以上述べてきた陰型式差分不定流計算法は、計算原理が単純であるうえに解が非常に安定している。したがって、いわゆる計算機のエキスパートでなくとも容易に使いこなせると思われる。高速計算機の普及によって陰型式差分法の欠点である計算時間の問題が解消され、今後不定流計算法の主流になると考えられる。

瀬田川現地データおよび水理模型実験データにより検証したところ、単断面河道であればかなり変化率の大きい不定流であっても精度良く計算できることがわかった。また境界条件が相当複雑であっても十分安定した解の得られることも明らかとなった。

しかし本計算法が普及するにはさらにいくつかの改良が必要とされる。その第1は分・合流点を含む河道への拡張である。本報で対象とした瀬田川河道にも宇治隧道の分流点が含まれているが、ここでは一方的に或る量が取水されるとして分流水路を計算区間外としている。分・合流点を含む河道の不定流計算を困難にしているのは水位・流量の間の非線形性である。分・合流点の上・下流あるいは本・支川で顕著な水位差の生じることは水理学の常識であるが、驚いたことに、不定流計算（および不等流計算）でこのことが考慮された例はほとんど無いようである。この水位差を考慮するには非線形の関係を線形式で近似する必要が生じるわけで、その方式を検討しなければならない。

第2の改良点は複断面河道への拡張である。複断面河道は単断面河道とかなり異った特性を持っている。例えば低水路と高水敷の流速差が大きいので洪水波形に縦分散が生じる。また高水敷に水が載るところで物理的に不安定であり、これが計算上の乱れを誘発する恐れがある。また高水敷の粗度係数の評価の問題も避けて通ることはできない。

以上が今後改良すべき主な点であるが、その他にひとつ重要な問題がある。それは計算法の検証をいかにするかということである。今回対象とした瀬田川（洗堰・琵琶湖間）は洗堰のゲート操作によって人為的に不定流を発生させられる。したがってあらかじめ観測態勢をしておけばかなり精度の良い水位観測データを得られる。今後計算プログラムを改良してゆく際に、それに相当する質の良いデータを得るための検証用河道と観測態勢を整える必要があると思われる。

参 考 文 献

- (1) 須賀堯三，葛西敏彦：河川における不定流の計算法—陰形式差分法—，土木研究所資料第1569号，昭和55年3月
- (2) 須賀堯三，石川忠晴，葛西敏彦，林正男：瀬田川洗堰の洪水調節方法に関する調査（中間報告），土木研究所資料第1758号，昭和57年3月
- (3) 瀬田川洗堰水理模型実験業務報告書，昭和57年1月

付 録

付録1 瀬田川河道断面特性値

K	Z	A _i	A _m	R _i	R _m
70.1	80.55	150	1.05	0.85	1.05
70.3	79.25	34	1.60	0.36	1.31
70.5	79.80	48	1.48	0.60	1.13
70.7	80.45	82	0.90	1.00	0.90
70.9	78.55	24	1.58	0.43	1.20
71.1	80.00	69	1.17	0.94	0.93
71.3	78.75	36	1.40	0.56	0.87
71.5	80.35	74	1.13	0.95	0.93
71.7	79.75	58	1.23	0.86	0.97
71.9	79.7	39	1.39	0.56	1.13
72.1	80.00	41	1.37	1.05	0.93
72.3	80.35	61	1.21	0.80	1.00
72.5	78.90	21	1.67	0.375	1.27
72.7	79.90	30	1.77	0.37	1.29
72.9	79.05	15.4	1.98	0.18	1.60
73.1	81.05	54	1.53	0.39	1.34
73.3	81.65	63	1.50	0.44	1.27
73.5	79.80	25	1.76	0.50	1.10
73.7	81.50	84	1.27	0.76	1.03
73.9	80.90	49	1.53	0.52	1.17
74.1	81.00	52	1.56	0.57	1.10
74.3	81.40	116	1.24	0.74	1.04
74.5	81.60	100	1.34	0.45	1.39
74.7	80.10	78	1.39	0.62	1.10
74.9	81.50	165	1.22	0.67	1.13
75.1	80.60	24	1.90	0.132	1.83
75.3	81.55	56	1.77	0.25	1.65

付録2 計算プログラム (BASIC)

```

10 REM FUTEIRYU KEISAN (SETA4) ** BY ARAIZEKI GATE OPERATION **
20 DIM Z(35),H(35),R(35),Q(35),A(35),Dh(35),Dr(35),Dq(35),B(70)
30 DIM A1(35),Am(35),R1(35),Rm(35),Rr(35),Qq(35),Hg1(60),Hg2(60)
40 DIM C(70,4),D(35,2),Vh(70),Dh1(35),Dq1(35),Ddq(35),Ddh(35)
50 DIM Aa(35),Ab(35),Ac(35),Da(35),E(70),Dq2(35),Dh2(35),Qm(35,60),Hm(35,60)
60 M=28
70 FOR I=1 TO M
80 READ Z(I),A1(I),Am(I),R1(I),Rm(I)
90 NEXT I
100 G=9.8
110 Kk=0
120 PRINTER IS 16
130 PRINT PAGE
140 PRINT TAB(10);"Hallow. Nice to meet you !",LIN(8)
150 BEEP
160 WAIT 2000
170 FIXED 2
180 PRINT PAGE
190 PRINT TAB(10);"Unsteady Flow Caused by ARAIZEKI Gate Operation."
200 WAIT 1500
210 BEEP
220 T=0
230 Back5: PRINT PAGE
240 PRINT TAB(10);"INPUT following data.",LIN(1)
250 PRINT TAB(15);"Initial W.L. at Sencho";TAB(46);"H0 (O.P.m)"
260 PRINT TAB(15);"Ujiden Intake Rate";TAB(45);"Qin (mm/s)"
270 PRINT TAB(15);"Number of operation gates";TAB(46);"N0"
280 PRINT TAB(15);"Number of Open Gates";TAB(46);"N1"
290 PRINT TAB(15);"Initial Level of Lower Gate";TAB(44);"Hg1f (O.P.m)"
300 PRINT TAB(15);"Last Level of Lower Gate";TAB(44);"Hg1l (O.P.m)"
310 PRINT TAB(15);"Initial Level of Upper Gate";TAB(44);"Hg2f O.P.m)"
320 PRINT TAB(15);"Last Level of Upper Gate";TAB(44);"Hg2l O.P.m)"
330 PRINT TAB(15);"Duration of Lower Gate Ope.";TAB(45);"T11 (min.)"
340 PRINT TAB(15);"Duration of Upper Gate Ope.";TAB(45);"T21 (min.)"
350 PRINT TAB(15);"Duration of Calculation";TAB(46);"Te (min.)"
360 PRINT TAB(15);"Time Difference";TAB(46);"Dt (min.)"
370 INPUT "H0",H0,"Qin",Qin,"N0",N0,"N1",N1,"Hg1f",Hg1f,"Hg1l",Hg1l
380 INPUT "Hg2f",Hg2f,"Hg2l",Hg2l,"T11",T11,"T12",T12,"Te",Te,"Dt",Dt
390 PRINT PAGE
400 PRINT TAB(10);"If You don't want the longitudinal profile at each time,"
410 PRINT TAB(10);"INPUT 1 for Lj."
420 INPUT "Lj",Lj
430 PRINT PAGE
440 T11=T11*60
450 T12=T12*60
460 Te=Te*60
470 Dt=Dt*60
480 GOSUB Hyoshi
490 T0=T
500 N=.030
510 Dx=200
520 A00=15000
530 Cv=Dx/Dt
540 IF Lj=1 THEN 660
550 INPUT "Hmax for GRAPHICS",Hmax
560 INPUT "Hmin for GRAPHICS",Hmin
570 INPUT "Qmax for GRAPHICS",Qmax
580 INPUT "Qmin for GRAPHICS",Qmin
590 INPUT "Dddq for GRAPHICS",Dddq
600 H00=Hmax-Hmin
610 Q00=Qmax-Qmin
620 H0max=Hmax+H00/6
630 H0min=Hmin-H00/3
640 Q0max=Qmax+Q00/6
650 Q0min=Qmin-Q00/3

```

```

660 FOR T=0+T0 TO T11/Dt+T0
670 Hg1(T+1)=(Hg1f-Hg11)*(T11/Dt+T0-T)*Dt/T11+Hg11
680 NEXT T
690 FOR T=0+T0 TO T12/Dt+T0
700 Hg2(T+1)=(Hg2f-Hg21)*(T12/Dt+T0-T)*Dt/T12+Hg21
710 NEXT T
720 FOR T=T11/Dt+T0 TO Te/Dt+T0
730 Hg1(T+1)=Hg11
740 NEXT T
750 FOR T=T12/Dt+T0 TO Te/Dt+T0
760 Hg2(T+1)=Hg21
770 NEXT T
780 IF Kk=1 THEN Jump8
790 IF H0-84.3>0 THEN Step1
800 Qf1=0
810 GOTO Hop1
820 Step1: Qf1=(10-H0-H1)*20.5*(H0-84.3)^1.667
830 Hop1: H11=H0-80.8
840 H12=Hg1f-80.8
850 IF H12<H11*.667 THEN Step11
860 Qf2=H0*16.2*H11^1.5
870 GOTO Step12
880 Step11: Qf2=H0*42.1*H12*SQR(H0-Hg1f)
890 Step12: IF H0-Hg2f>0 THEN Step2
900 Qf3=0
910 GOTO Hop2
920 Step2: Qf3=H0*20.5*(H0-Hg2f)^1.667
930 Hop2: Qf4=N1*16.2*(H0-80.8)^1.5
940 Qf=Qf1+Qf2+Qf3+Qf4
950 Q1=Qf^2/G
960 Q2=N^2*Qf^2
970 Hm(1,T0+1)=H(1)=H0
980 R(1)=R1(1)*(H(1)-Z(1))^Am(1)
990 R(1)=R1(1)*(H(1)-Z(1))^Rm(1)
1000 Qm(1,T0+1)=Q(1)=Qf
1010 Qc=0
1020 FOR J=2 TO M
1030 IF J=4 THEN Qf=Qf+Qin
1040 IF J=4 THEN Qc=Qin
1050 IF J=5 THEN Qc=0
1060 Qm(J,T0+1)=Q(J)=Qf
1070 H1=H(J-1)
1080 Back2: R(J)=R1(J)*(H1-Z(J))^Am(J)
1090 R(J)=R1(J)*(H1-Z(J))^Rm(J)
1100 Aj=(R(J)+R(J-1))/2
1110 Rj=(R(J)+R(J-1))/2
1120 H(J)=H(J-1)-Qf^2/G*(R(J-1)-R(J))/Aj^3+N^2*Qf^2/Aj^2/Rj^1.333*Dx
1130 H(J)=H(J)-Qf*Qc/G/Aj^2
1140 IF ABS(H(J)-H1)<.001 THEN Out2
1150 H1=H(J)
1160 GOTO Back2
1170 Out2: Hm(J,T0+1)=H(J)
1180 NEXT J
1190 Em=H(M)+Qf^2/2/G/A(M)^2
1200 Jump8: IF Lj=1 THEN 1320
1210 PRINTER IS 0
1220 PRINT PAGE
1230 PRINT TAB(30); "INITIAL CONDITION", LIN(1)
1240 FIXED 3
1250 PRINT TAB(32); "X"; TAB(40); "H"; TAB(48); "Q", LIN(1)
1260 FOR I=1 TO M
1270 X=69.9+I/5
1280 PRINT TAB(28); X; TAB(36); H(I); TAB(44); Q(I)
1290 NEXT I
1300 PRINT LIN(1), TAB(41); "Hlake="; Em
1310 GOSUB Gragh
1320 FOR T=1+T0 TO Te/Dt+T0
1330 PRINTER IS 16
1340 PRINT PAGE
1350 Tt=T*Dt
1360 FIXED 0

```

```

1370 PRINT TAB(10); "T="; T/60; "min", LIN(1)
1380 JJ=1
1390 MAT Dh=(0)
1400 MAT Dr=(0)
1410 MAT Dq=(0)
1420 MAT Da=(0)
1430 MAT C=(0)
1440 MAT B=(0)
1450 Back3: FOR I=1 TO M
1460 IF I=M THEN Jump1
1470 Rr(I)=(2*R(I)+Dr(I)+2*R(I+1)+Dr(I+1))/4
1480 Ra(I)=(2*A(I)+Da(I)+2*A(I+1)+Da(I+1))/4
1490 Qq(I)=(2*Q(I)+Dq(I)+2*Q(I+1)+Dq(I+1))/4
1500 Jump1: Ab(I)=A(I)+Da(I)/2
1510 Ac(I)=Am(I)*Ab(I)/(H(I)+Dh(I)/2-Z(I))
1520 NEXT I
1530 C(1,1)=1
1540 Aaa=.667
1550 Aa1=20.5*(10-H0-H1)
1560 Aa2=16.2*H0
1570 Aa3=20.5*H0
1580 Aa4=16.2*H1
1590 Aa5=16.2*H0/Aaa/(1-Aaa)^.5
1600 IF H(1)-84.3>0 THEN Step3
1610 C11=0
1620 GOTO Hop3
1630 Step3: C11=-1.667*Aa1*(H(1)-84.3)^.667
1640 Hop3: H11=H(1)-80.8
1650 H12=Hg1(T+1)-80.8
1660 IF H12<Aaa*H11 THEN Hop7
1670 C12=-1.5*Aa2*H11^.5
1680 GOTO Step7
1690 Hop7: C12=-.5*Aa5*H12/(H11-H12)^.5
1700 Step7: IF H(1)-Hg2(T+1)>0 THEN Step4
1710 C13=0
1720 GOTO Hop4
1730 Step4: C13=-1.667*Aa3*(H(1)-Hg2(T+1))^1.667
1740 Hop4: C14=-1.5*Aa4*(H(1)-80.8)^.5
1750 C(1,2)=C11+C12+C13+C14-A00/Dt
1760 IF H(1)+Dh(1)-84.3>0 THEN Step5
1770 B11=0
1780 GOTO Hop5
1790 Step5: B11=Aa1*(H(1)+Dh(1)-84.3)^1.667
1800 Hop5: Hk=H(1)+Dh(1)
1810 H11=Hk-80.8
1820 H12=Hg1(T+1)-80.8
1830 IF H12<Aaa*H11 THEN Hop8
1840 B12=Aa2*H11^.5
1850 GOTO Step8
1860 Hop8: B12=Aa5*H12*(H11-H12)^.5
1870 Step8: IF H(1)+Dh(1)-Hg2(T+1)>0 THEN Step6
1880 B13=0
1890 GOTO Hop6
1900 Step6: B13=Aa3*(H(1)+Dh(1)-Hg2(T+1))^1.667
1910 Hop6: B14=Aa4*(H(1)+Dh(1)-80.8)^1.5
1920 B(1)=B11+B12+B13+B14+(C11+C12+C13+C14)*Dh(1)-Q(1)
1930 FOR I=1 TO M-1
1940 K=2*I
1950 C(K,1)=Cv/2*Ra(I)
1960 C(K,2)=-Cv*Qq(I)*Ac(I)+G*Ra(I)^2/2
1970 C(K,3)=C(K,1)
1980 C(K,4)=-Cv*Qq(I)*Ac(I+1)-G*Ra(I)^2/2
1990 C(K+1,1)=1
2000 C(K+1,2)=Cv*Ac(I)
2010 C(K+1,3)=-1
2020 C(K+1,4)=Cv*Ac(I+1)
2030 B(K)=Qq(I)^2/Ra(I)*(Ab(I)-Ab(I+1))-G*N^2*ABS(Qq(I))*Qq(I)/Rr(I)^1.333*Dx
2040 B(K)=B(K)-G*Ra(I)^2*(H(I)-H(I+1))
2050 B(K+1)=-2*(Q(I)-Q(I+1))
2060 NEXT I
2070 D(M,1)=2*Q(M)/Ab(M)^2

```

```

2080 D(M,2)=2*G
2090 E(M)=2*G*(Em-H(M))-Q(M)^2/Ab(M)^2-Dq(M)^2/Ab(M)^2
2100 B(6)=B(6)+Qq(3)*Qin
2110 B(7)=B(7)-Qin*2
2120 B(2*M-1)=B(2*M-1)/2
2130 FOR I=1 TO M-1
2140 J=M-I
2150 K=(M-I)*2
2160 D(J,1)=C(K,1)*D(J+1,2)*(C(K+1,3)*D(J+1,2)-C(K+1,4)*D(J+1,1))
2170 D(J,1)=D(J,1)-C(K+1,1)*D(J+1,2)*(C(K,3)*D(J+1,2)-C(K,4)*D(J+1,1))
2180 D(J,2)=C(K,2)*D(J+1,2)*(C(K+1,3)*D(J+1,2)-C(K+1,4)*D(J+1,1))
2190 D(J,2)=D(J,2)-C(K+1,2)*D(J+1,2)*(C(K,3)*D(J+1,2)-C(K,4)*D(J+1,1))
2200 E1=(B(K)*D(J+1,2)-E(J+1)*C(K,4))*(C(K+1,3)*D(J+1,2)-C(K+1,4)*D(J+1,1))
2210 E2=(B(K+1)*D(J+1,2)-E(J+1)*C(K+1,4))*(C(K,3)*D(J+1,2)-C(K,4)*D(J+1,1))
2220 E(J)=E1-E2
2230 S=C(1,1)/D(J,2)
2240 D(J,1)=D(J,1)*S
2250 D(J,2)=D(J,2)*S
2260 E(J)=E(J)*S
2270 NEXT I
2280 Dq1(1)=(B(1)*D(1,2)-E(1)*C(1,2))/(C(1,1)*D(1,2)-D(1,1)*C(1,2))
2290 Dh1(1)=(B(1)*D(1,1)-E(1)*C(1,1))/(C(1,2)*D(1,1)-D(1,2)*C(1,1))
2300 FOR I=2 TO M
2310 K=2*I-2
2320 Dq1(I)=B(K)*D(I,2)-E(I)*C(K,4)-C(K,1)*D(I,2)*Dq1(I-1)
2330 Dh1(I)=(Dq1(I)-C(K,2)*D(I,2)*Dh1(I-1))/(C(K,3)*D(I,2)-C(K,4)*D(I,1))
2340 Dh1(I)=(E(I)-D(I,1)*Dq1(I))/D(I,2)
2350 NEXT I
2360 FOR I=2 TO M-1
2370 Dq2(I)=(Dq1(I-1)+2*Dq1(I)+Dq1(I+1))/4
2380 Dh2(I)=(Dh1(I-1)+2*Dh1(I)+Dh1(I+1))/4
2390 NEXT I
2400 FOR I=2 TO M-1
2410 Dq1(I)=Dq2(I)
2420 Dh1(I)=Dh2(I)
2430 NEXT I
2440 FIXED 3
2450 Mq=0
2460 Mh=0
2470 FOR I=1 TO M
2480 X=69.9+I/5
2490 Ddq(I)=Dq1(I)-Dq(I)
2500 Ddh(I)=Dh1(I)-Dh(I)
2510 IF Mq<ABS(Ddq(I)) THEN Mq=ABS(Ddq(I))
2520 IF Mh<ABS(Ddh(I)) THEN Mh=ABS(Ddh(I))
2530 NEXT I
2540 IF Mq>1 THEN Jump7
2550 IF Mh>.002 THEN Jump7
2560 GOTO Jump2
2570 Jump7: PRINT USING "10X,2D,5X,3D.D,5X,D.3D"; Jj,Mq,Mh
2580 Jj=Jj+1
2590 FOR I=1 TO M
2600 Dq(I)=Dq1(I)
2610 Dh(I)=Dh1(I)
2620 Dr(I)=R1(I)*((H(I)+Dh(I)-Z(I))^Rm(I)-(H(I)-Z(I))^Rm(I))
2630 Da(I)=A1(I)*((H(I)+Dh(I)-Z(I))^Am(I)-(H(I)-Z(I))^Am(I))
2640 NEXT I
2650 GOTO Back3
2660 Jump2: FOR I=1 TO M
2670 Hm(I,T+1)=H(I)=H(I)+Dh1(I)
2680 Qm(I,T+1)=Q(I)=Q(I)+Dq1(I)
2690 A(I)=A1(I)*(H(I)-Z(I))^Am(I)
2700 R(I)=R1(I)*(H(I)-Z(I))^Rm(I)
2710 NEXT I
2720 Tt=T*Dt
2730 IF Lj=1 THEN 2850
2740 PRINTER IS 0
2750 PRINT PAGE
2760 FIXED 0
2770 PRINT TAB(30); "T=";Tt/60;"min.",LIN(1)
2780 FIXED 3

```

```

2790 PRINT TAB(32);"X";TAB(40);"H";TAB(48);"Q",LIN(1)
2800 FOR I=1 TO H
2810 X=69.9+I/5
2820 PRINT TAB(28);X;TAB(36);H(I);TAB(44);Q(I)
2830 NEXT I
2840 GOSUB Gragh
2850 NEXT I
2860 PRINTER IS 16
2870 PRINT PAGE
2880 PRINT TAB(10),"If you want to continue, INPUT 1. If not, INPUT 0",LIN(8)
2890 T=T-1
2900 Tn=T
2910 BEEP
2920 INPUT "Kk",Kk
2930 IF Kk=1 THEN Back5
2940 GOTO Gragh2
2950 REM "Data of Section from 70.1K to 76.3"
2960 DATA 80.55,150,1.05,0.85,1.05
2970 DATA 79.25, 34,1.60,0.36,1.31
2980 DATA 79.80, 48,1.48,0.60,1.13
2990 DATA 80.45, 82,0.90,1.00,0.90
3000 DATA 78.55, 24,1.58,0.43,1.20
3010 DATA 80.00, 69,1.17,0.94,0.93
3020 DATA 78.75, 36,1.40,0.56,0.87
3030 DATA 80.35, 74,1.13,0.95,0.93
3040 DATA 79.75, 58,1.23,0.86,0.97
3050 DATA 79.70, 39,1.39,0.56,1.13
3060 DATA 80.00, 41,1.37,1.05,0.93
3070 DATA 80.35, 61,1.21,0.80,1.00
3080 DATA 78.90, 21,1.67,0.375,1.27
3090 DATA 79.90, 30,1.77,0.37,1.29
3100 DATA 79.05,15.4,1.98,0.18,1.60
3110 DATA 81.05, 54,1.53,0.39,1.34
3120 DATA 81.65, 63,1.50,0.44,1.27
3130 DATA 79.80, 25,1.76,0.50,1.10
3140 DATA 81.50, 84,1.27,0.76,1.03
3150 DATA 80.90, 49,1.53,0.52,1.17
3160 DATA 81.00, 52,1.56,0.57,1.10
3170 DATA 81.40,116,1.24,0.74,1.04
3180 DATA 81.60,100,1.34,0.45,1.39
3190 DATA 80.10, 78,1.39,0.62,1.10
3200 DATA 81.35,165,1.22,0.67,1.13
3210 DATA 80.60, 24,1.90,0.132,1.83
3220 DATA 81.55, 56,1.77,0.25,1.65
3230 DATA 80.25,109,1.65,0.30,1.47
3240 DATA 77.35, 40,2.28,0.71,0.80
3250 DATA 80.70,1103,1.0,1.00,1.00
3260 DATA 81.18,1270,1.0,1.00,1.00
3270 DATA 80.10,1335,1.0,1.00,1.00
3280 DATA 81.61,1347,1.0,1.00,1.00
3290 GOTO End
3300 Gragh: PLOTTER IS 13 "GRAPHICS"
3310 GRAPHICS
3320 FIXED 0
3330 SCALE 69,77,H0min,H0max
3340 PEN 1
3350 LINE TYPE 1
3360 FOR Lx=70 TO 76
3370 MOVE Lx,Hmin
3380 PLOT Lx,Hmax,-1
3390 NEXT Lx
3400 FOR Ly=Hmin TO Hmax STEP .5
3410 MOVE 70,Ly
3420 PLOT 76,Ly,-1
3430 NEXT Ly
3440 LORG 5
3450 FOR Lx=70 TO 76
3460 MOVE Lx,Hmin-H00/18
3470 LABEL Lx
3480 NEXT Lx
3490 FIXED 1

```

```

3500 FOR Ly=Hmin TO Hmax STEP .5
3510 MOVE 69.7,Ly
3520 LABEL Ly
3530 NEXT Ly
3540 FIXED 0
3550 MOVE 73,Hmin-H00/9
3560 LABEL "DISTANCE (K)"
3570 DEG
3580 MOVE 69.3,Hmin+H00/2
3590 LDIR -90
3600 LABEL "WATER LEVEL, H (O.P.m)"
3610 LDIR 0
3620 CSIZE 2.5
3630 FOR I=1 TO M
3640 Lx=69.9+I/5
3650 MOVE Lx,H(I)
3660 LABEL "*"
3670 NEXT I
3680 SCALE 69,77,Q0min,Q0max
3690 CSIZE 3.3
3700 FOR Ly=Qmin TO Qmax STEP Dddq
3710 MOVE 76.3,Ly
3720 LABEL Ly
3730 NEXT Ly
3740 MOVE 76.7,Qmin+Q00/2
3750 LDIR 90
3760 LABEL "FLOW RATE, Q (mmm/s)"
3770 LDIR 0
3780 CSIZE 2.5
3790 FOR I=1 TO M
3800 Lx=69.9+I/5
3810 MOVE Lx,Q(I)
3820 LABEL "+"
3830 NEXT I
3840 CSIZE 3.3
3850 LONG 2
3860 MOVE 70.3,Qmax-.12*Dddq
3870 LABEL "* H"
3880 MOVE 70.3,Qmax-.24*Dddq
3890 LABEL "+ Q"
3900 DUMP GRAPHICS Qmin-Q00/8,Qmax+Q00/36
3910 EXIT GRAPHICS
3920 RETURN
3930 Hyoshi: PRINTER IS 0
3940 PRINT PAGE
3950 PRINT LIN(10),TAB(7);"UNSTEADY FLOW IN THE SETA RIVER CAUSED BY ARAIZEKI G
ATE OPERATION"
3960 PRINT LIN(4),TAB(48);"by Dr.Tadaharu Ishikawa"
3970 PRINT TAB(51);"River Hydraulics Div."
3980 PRINT TAB(51);"P.W.R.I. in Tsukuba"
3990 PRINT TAB(51);"TEL.0298-64-2211ex458",LIN(11)
4000 PRINT TAB(35);"CONDITIONS",LIN(5)
4010 FIXED 2
4020 PRINT TAB(10);"Initial Water Level at Sencho";TAB(48);"H0";TAB(60);H0;"O.P
.m"
4030 FIXED 1
4040 PRINT TAB(10);"Intake Rate of Ujiden Channel";TAB(48);"Qin";TAB(60);Qin;"m
mm/s"
4050 FIXED 0
4060 PRINT TAB(10);"Number of Gates under Operation";TAB(48);"H0";TAB(60);H0
4070 PRINT TAB(10);"Number of Open Gates";TAB(48);"H1";TAB(60);H1
4080 FIXED 2
4090 PRINT TAB(10);"Initial Level of Lower Gates";TAB(48);"Hg1f";TAB(60);Hg1f;"
O.P.m"
4100 PRINT TAB(10);"Last Level of Lower Gates";TAB(48);"Hg1l";TAB(60);Hg1l;"O.P
.m"
4110 PRINT TAB(10);"Initial Level of Upper Gates";TAB(48);"Hg2f";TAB(60);Hg2f;"
O.P.m"
4120 PRINT TAB(10);"Last Level of Upper Gates";TAB(48);"Hg2l";TAB(60);Hg2l;"O.P
.m"
4130 FIXED 0

```

```

4140 PRINT TAB(10);"Duration of Lower Gate Operation";TAB(48);"T11";TAB(60);T11
/60;"min."
4150 PRINT TAB(10);"Duration of Upper Gate Operation";TAB(48);"T12";TAB(60);T12
/60;"min."
4160 PRINT TAB(10);"Duration of Calculation";TAB(48);"Te";TAB(60);Te/60;"min."
4170 PRINT TAB(10);"Time Difference";TAB(48);"Dt";TAB(60);Dt/60;"min."
4180 IF Kk=1 THEN Jump9
4190 PRINT LIN(10),TAB(20);"(Calculation starts from a steady states.)"
4200 GOTO Jump10
4210 Jump9: PRINT LIN(10),TAB(20);"(Calculation starts from an unsteady states."
"
4220 Jump10: RETURN
4230 Gragh2: PRINTER IS 16
4240 PRINT PAGE
4250 PRINT TAB(10);"If you want a time series of H, INPUT 1. If not, INPUT 0"
4260 INPUT Kk
4270 IF Kk=0 THEN End
4280 PRINT PAGE
4290 PRINT TAB(10);"INPUT the range of W.L."
4300 INPUT "Hmax",Hmax,"Hmin",Hmin
4310 PRINT PAGE
4320 PRINT TAB(10);"If you want DATA in prototype, INPUT 1. If not, INPUT 0"
4330 INPUT Kk
4340 PRINT PAGE
4350 PRINT TAB(10);"INPUT the Section Number"
4360 IF Kk=0 THEN 4410
4370 PRINT LIN(3),TAB(10);"and change LIN(Data) to (RESTORE Dabbbb)"
4380 PRINT LIN(1),TAB(20);"a is data number, bbb is section number, and push C
ONT"
4390 PRINT LIN(4),TAB(20);"We have the following data."
4400 PRINT TAB(40);"70.1K",TAB(40);"70.4K",TAB(40);"71.0K",TAB(40);"71.5K",TAB(
40);"72.0K",TAB(40);"72.5K",TAB(40);"74.0K"
4410 INPUT Xx
4420 PAUSE
4430 PRINTER IS 0
4440 PRINT PAGE,LIN(15)
4450 PRINTER IS 16
4460 Kp=1
4470 I=(Xx-69.9)*5
4480 J=INT(I)
4490 IF I=J THEN Kp=0
4500 PRINT PAGE
4510 PLOTTER IS 13,"GRAPHICS"
4520 GRAPHICS
4530 DEG
4540 FIXED 0
4550 Tm=Tn*Dt/60
4560 Lt0=INT((Tm-.1)/30)*30+30
4570 Ltmin=-Lt0/6
4580 Ltmax=Lt0*7/6
4590 H00=Hmax-Hmin
4600 H0max=Hmax+H00/6
4610 H0min=Hmin-H00/3
4620 SCALE Ltmin,Ltmax,H0min,H0max
4630 PEN 1
4640 LINE TYPE 1
4650 FOR Lt=0 TO Lt0 STEP 30
4660 MOVE Lt,Hmin
4670 PLOT Lt,Hmax,-1
4680 NEXT Lt
4690 FOR Ly=Hmin TO Hmax STEP .5
4700 MOVE 0,Ly
4710 PLOT Lt0,Ly,-1
4720 NEXT Ly
4730 LORG 5
4740 FOR Lt=0 TO Lt0 STEP 30
4750 MOVE Lt,Hmin-H00/18
4760 LABEL Lt
4770 NEXT Lt
4780 FIXED 1
4790 FOR Ly1=Hmin TO Hmax STEP .5

```

```

4800 MOVE -Lt0/20,Ly1
4810 LABEL Ly1
4820 NEXT Ly1
4830 MOVE Lt0/2,Hmin-H00/9
4840 LABEL "TIME (min)"
4850 LDIR -90
4860 MOVE -.8*Lt0/6,Hmin+H00/2
4870 LABEL "WATER LEVEL, H (O.P.m)"
4880 LDIR 0
4890 CSIZE 2.5
4900 FOR T=0 TO Tn
4910 Lt=T*Dt/60
4920 MOVE Lt,(Hm(J,T+1)+Hm(J+Kp,T+1))/2
4930 LABEL "*"
4940 NEXT T
4950 MOVE 15,Hmax-.1
4960 CSIZE 2.5
4970 LABEL Xx;"K"
4980 IF Kk=0 THEN 5120
4990 Data: RESTORE H1701
5000 Td1=INT(Lt0/5)
5010 FOR Td=0 TO Td1
5020 READ Ht
5030 IF Ht=0 THEN 5070
5040 Lt=Td*5
5050 MOVE Lt,Ht
5060 LABEL "0"
5070 NEXT Td
5080 MOVE 45,Hmax-.1
5090 LABEL "0 Obs."
5100 MOVE 45,Hmax-.2
5110 LABEL "* Cal."
5120 DUMP GRAPHICS
5130 EXIT GRAPHICS
5140 PRINTER IS 16
5150 PRINT TAB(10);"If you want more, INPUT 1. If not INPUT 0"
5160 INPUT Kk
5170 IF Kk=0 THEN End
5180 GOTO 4320
5190 End: PRINTER IS 16
5200 PRINT PAGE
5210 PRINT TAB(30);"THE END",LIN(5)
5220 PRINT TAB(30);"See you again,my friend I",LIN(2)
5230 H1701: REM "Water Level; S.54,5,23; 10:30-13:30; 70.1K"
5240 DATA 0.00, 0.00, 0.00, 84.90, 84.97, 85.09
5250 DATA 85.21, 85.26, 85.28, 85.30, 85.31, 85.32
5260 DATA 85.32, 85.31, 85.30, 85.30, 85.30, 85.29
5270 DATA 85.29, 85.29, 85.29, 85.29, 85.29, 85.30
5280 DATA 85.33, 85.37, 85.41, 85.45, 85.49, 85.49
5290 DATA 85.49, 85.49, 85.49, 85.48, 85.47, 85.46
5300 DATA 85.46
5310 DATA 85.41, 85.41, 85.46, 85.51, 85.55, 85.56
5320 H1704: REM "Water Level; S.54,5,23; 10:30-13:30; 70.4K"
5330 DATA 84.91, 84.91, 84.91, 84.91, 84.97, 85.05
5340 DATA 85.18, 85.27, 85.29, 85.31, 85.32, 85.33
5350 DATA 85.32, 85.32, 85.32, 85.32, 85.32, 85.32
5360 DATA 85.32, 85.31, 85.31, 85.31, 85.31, 85.31
5370 DATA 85.34, 85.34, 85.41, 85.46, 85.49, 85.51
5380 DATA 85.51, 85.51, 85.50, 85.49, 85.49, 85.48
5390 DATA 85.48
5400 H1715: REM "Water Level; S.54,5,23; 10:30-13:30; 71.5K"
5410 DATA 85.11, 85.11, 85.12, 85.12, 85.12, 85.16
5420 DATA 85.24, 85.33, 85.37, 85.41, 85.42, 85.42
5430 DATA 85.42, 85.42, 85.42, 85.42, 85.42, 85.42
5440 DATA 85.41, 85.41, 85.41, 85.40, 85.40, 85.40
5450 DATA 85.40, 85.44, 85.47, 85.49, 85.54, 85.56
5460 DATA 85.56, 85.56, 85.55, 85.54, 85.53, 85.52
5470 DATA 85.52
5480 H1740: REM "Water Level; S.54,5,23; 10:30-13:30; 74.0K"
5490 DATA 85.56, 85.56, 85.56, 85.56, 85.56, 85.56
5500 DATA 85.56, 85.57, 85.60, 85.64, 85.66, 85.65

```

5510	DATA	85.65,	85.65,	85.64,	85.64,	85.64,	85.64
5520	DATA	85.64,	85.64,	85.64,	85.63,	85.63,	85.63
5530	DATA	85.63,	85.63,	85.63,	85.63,	85.67,	85.69
5540	DATA	85.70,	85.70,	85.70,	85.69,	85.69,	85.67
5550	DATA	85.67					
5560	H1710:	REM					
5570	DATA	85.04,	85.04,	85.04,	85.04,	85.07,	85.14
5580	DATA	85.26,	85.33,	85.36,	85.38,	85.39,	85.39
5590	DATA	85.39,	85.38,	85.38,	85.38,	85.38,	85.37
5600	DATA	85.37,	85.37,	85.37,	85.37,	85.37,	85.37
5610	DATA	85.38,	85.42,	85.46,	85.50,	85.54,	85.54
5620	DATA	85.54,	85.54,	85.54,	85.53,	85.52,	85.51
5630	DATA	85.51					
5640	H1720:	REM					
5650	DATA	85.18,	85.18,	85.18,	85.18,	85.19,	85.20
5660	DATA	85.28,	85.37,	85.46,	85.45,	85.46,	85.47
5670	DATA	85.45,	85.45,	85.45,	85.45,	85.45,	85.45
5680	DATA	85.45,	85.44,	85.44,	85.44,	85.43,	85.43
5690	DATA	85.43,	85.47,	85.49,	85.51,	85.57,	85.59
5700	DATA	85.59,	85.58,	85.58,	85.57,	85.55,	85.55
5710	DATA	85.55					
5720	H1725:	REM					
5730	DATA	85.28,	85.28,	85.28,	85.28,	85.28,	85.29
5740	DATA	85.32,	85.40,	85.48,	85.49,	85.49,	85.49
5750	DATA	85.49,	85.49,	85.49,	85.49,	85.49,	85.49
5760	DATA	85.49,	85.48,	85.48,	85.48,	85.48,	85.48
5770	DATA	85.48,	85.50,	85.52,	85.56,	85.59,	85.61
5780	DATA	85.61,	85.61,	85.60,	85.59,	85.58,	85.58
5790	DATA	85.58					
5800	H2701:	REM					
5810	DATA	85.41,	85.41,	85.46,	85.51,	85.53,	85.58
5820	DATA	85.56,	85.54,	85.50,	85.46,	85.43,	85.41
5830	DATA	85.40,	85.41,	85.43,	85.47,	85.50,	85.52
5840	DATA	85.54,	85.52,	85.51,	85.48,	85.46,	85.45
5850	DATA	85.44,	85.44,	85.44,	85.46,	85.48,	85.50
5860	DATA	85.50,	85.49,	85.49,	85.47,	85.46,	85.46
5870	DATA	85.45,	85.45,	85.45,	85.46,	85.46,	85.46
5880	DATA	85.46,	85.47,	85.47,	85.47,	85.46,	85.46
5890	DATA	85.46,	85.46,	85.45,	85.45,	85.44,	85.44
5900	DATA	85.44,	85.44,	85.44,	85.43,	85.41,	85.41
5910	DATA	85.42,	85.43,	85.44,	85.45,	85.45,	85.45
5920	DATA	85.44,	85.45,	85.45,	85.45,	85.45,	85.45
5930	DATA	85.46					
5940	H2715:	REM					
5950	DATA	85.46,	85.45,	85.45,	85.51,	85.55,	85.59
5960	DATA	85.59,	85.56,	85.53,	85.50,	85.47,	85.45
5970	DATA	85.44,	85.44,	85.47,	85.49,	85.52,	85.54
5980	DATA	85.54,	85.54,	85.53,	85.51,	85.49,	85.48
5990	DATA	85.48,	85.47,	85.48,	85.49,	85.50,	85.52
6000	DATA	85.52,	85.52,	85.51,	85.51,	85.50,	85.50
6010	DATA	85.50,	85.50,	85.49,	85.50,	85.50,	85.50
6020	DATA	85.51,	85.50,	85.51,	85.50,	85.50,	85.51
6030	DATA	85.51,	85.50,	85.49,	85.49,	85.49,	85.49
6040	DATA	85.48,	85.48,	85.48,	85.48,	85.47,	85.47
6050	DATA	85.46,	85.46,	85.47,	85.47,	85.48,	85.48
6060	DATA	85.48,	85.48,	85.48,	85.48,	85.49,	85.49
6070	DATA	85.50					
6080	H2740:	REM					
6090	DATA	85.50,	85.50,	85.50,	85.51,	85.53	
6100	DATA	85.57,	85.55,	85.55,	85.53,	85.50,	85.48
6110	DATA	85.49,	85.50,	85.50,	85.52,	85.54,	85.55
6120	DATA	85.56,	85.56,	85.55,	85.55,	85.53,	85.51
6130	DATA	85.50,	85.50,	85.50,	85.52,	85.52,	85.53
6140	DATA	85.54,	85.54,	85.54,	85.53,	85.53,	85.51
6150	DATA	85.50,	85.50,	85.50,	85.50,	85.50,	85.50
6160	DATA	85.51,	85.52,	85.52,	85.53,	85.53,	85.53
6170	DATA	85.52,	85.51,	85.51,	85.51,	85.50,	85.50
6180	DATA	85.50,	85.50,	85.50,	85.50,	85.50,	85.50
6190	DATA	85.50,	85.50,	85.50,	85.50,	85.49,	85.49
6200	DATA	85.50,	85.50,	85.51,	85.51,	85.51,	85.51
6210	DATA	85.52					

6220 H2704: REM
 6230 DATA 85.42, 85.43, 85.47, 85.52, 85.56, 85.56
 6240 DATA 85.57, 85.54, 85.50, 85.46, 85.43, 85.41
 6250 DATA 85.41, 85.41, 85.45, 85.48, 85.50, 85.52
 6260 DATA 85.52, 85.52, 85.51, 85.49, 85.46, 85.45
 6270 DATA 85.44, 85.44, 85.44, 85.47, 85.49, 85.50
 6280 DATA 85.50, 85.49, 85.49, 85.48, 85.47, 85.47
 6290 DATA 85.46, 85.46, 85.46, 85.46, 85.47, 85.48
 6300 DATA 85.47, 85.47, 85.48, 85.48, 85.48, 85.47
 6310 DATA 85.47, 85.46, 85.45, 85.45, 85.45, 85.45
 6320 DATA 85.45, 85.44, 85.44, 85.44, 85.43, 85.42
 6330 DATA 85.43, 85.44, 85.44, 85.45, 85.45, 85.45
 6340 DATA 85.45, 85.45, 85.46, 85.46, 85.46, 85.46
 6350 DATA 85.46
 6360 H2710: REM
 6370 DATA 85.44, 85.44, 85.49, 85.54, 85.56, 85.59
 6380 DATA 85.58, 85.56, 85.53, 85.49, 85.45, 85.44
 6390 DATA 85.43, 85.44, 85.47, 85.50, 85.53, 85.54
 6400 DATA 85.55, 85.54, 85.53, 85.51, 85.49, 85.47
 6410 DATA 85.47, 85.47, 85.47, 85.49, 85.51, 85.52
 6420 DATA 85.52, 85.51, 85.51, 85.50, 85.49, 85.49
 6430 DATA 85.49, 85.48, 85.48, 85.48, 85.49, 85.50
 6440 DATA 85.49, 85.49, 85.50, 85.50, 85.50, 85.49
 6450 DATA 85.49, 85.49, 85.48, 85.47, 85.47, 85.47
 6460 DATA 85.47, 85.47, 85.46, 85.46, 85.45, 85.45
 6470 DATA 85.45, 85.46, 85.47, 85.47, 85.48, 85.48
 6480 DATA 85.48, 85.48, 85.49, 85.49, 85.49, 85.49
 6490 DATA 85.49
 6500 H2720: REM
 6510 DATA 85.44, 85.44, 85.44, 85.49, 85.53, 85.58
 6520 DATA 85.57, 85.55, 85.52, 85.49, 85.45, 85.44
 6530 DATA 85.43, 85.44, 85.46, 85.48, 85.51, 85.52
 6540 DATA 85.53, 85.52, 85.52, 85.50, 85.49, 85.47
 6550 DATA 85.46, 85.46, 85.47, 85.49, 85.50, 85.51
 6560 DATA 85.51, 85.51, 85.50, 85.49, 85.49, 85.49
 6570 DATA 85.48, 85.47, 85.47, 85.47, 85.47, 85.47
 6580 DATA 85.48, 85.48, 85.48, 85.48, 85.49, 85.48
 6590 DATA 85.48, 85.48, 85.47, 85.47, 85.47, 85.47
 6600 DATA 85.47, 85.47, 85.47, 85.46, 85.46, 85.45
 6610 DATA 85.45, 85.45, 85.46, 85.46, 85.47, 85.47
 6620 DATA 85.46, 85.47, 85.47, 85.47, 85.48, 85.48
 6630 DATA 85.48
 6640 H2725: REM
 6650 DATA 85.46, 85.46, 85.46, 85.50, 85.54, 85.57
 6660 DATA 85.57, 85.55, 85.52, 85.49, 85.46, 85.44
 6670 DATA 85.44, 85.45, 85.47, 85.49, 85.51, 85.52
 6680 DATA 85.54, 85.53, 85.52, 85.50, 85.49, 85.48
 6690 DATA 85.46, 85.46, 85.46, 85.49, 85.49, 85.50
 6700 DATA 85.51, 85.51, 85.50, 85.50, 85.49, 85.49
 6710 DATA 85.48, 85.48, 85.48, 85.48, 85.48, 85.48
 6720 DATA 85.49, 85.49, 85.49, 85.49, 85.49, 85.49
 6730 DATA 85.49, 85.48, 85.48, 85.48, 85.47, 85.47
 6740 DATA 85.48, 85.48, 85.47, 85.47, 85.47, 85.46
 6750 DATA 85.45, 85.45, 85.46, 85.47, 85.47, 85.47
 6760 DATA 85.47, 85.48, 85.48, 85.49, 85.49, 85.49
 6770 DATA 85.49
 6780 H3701: REM
 6790 DATA 0.00, 0.00, 0.00, 85.16, 85.19, 85.19
 6800 DATA 85.25, 85.31, 85.39, 85.47, 85.51, 85.50
 6810 DATA 85.53, 85.53, 85.52, 85.51, 85.50, 85.51
 6820 DATA 85.51, 85.50, 85.50, 85.50, 85.50, 85.50
 6830 DATA 85.50, 85.50, 85.49, 85.49, 85.49, 85.49
 6840 DATA 85.50, 85.50, 85.50, 85.50, 85.49, 85.49
 6850 DATA 85.49, 85.49, 85.49, 85.49, 85.48, 85.48
 6860 DATA 85.48
 6870 H3704: REM
 6880 DATA 0.00, 0.00, 0.00, 85.15, 85.20, 85.21
 6890 DATA 85.26, 85.32, 85.41, 85.47, 85.52, 85.53
 6900 DATA 85.53, 85.54, 85.52, 85.51, 85.51, 85.51
 6910 DATA 85.51, 85.51, 85.51, 85.51, 85.50, 85.50
 6920 DATA 85.50, 85.49, 85.49, 85.49, 85.50, 85.51

6930 DATA 85.51, 85.51, 85.50, 85.50, 85.49, 85.50
 6940 DATA 85.50, 85.49, 85.49, 85.49, 85.48, 85.49
 6950 DATA 85.49
 6960 H3710: REM
 6970 DATA 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00
 6980 DATA 0.00, 0.00, 0.00, 85.54, 85.56, 85.57
 6990 DATA 85.58, 85.57, 85.57, 85.56, 85.55, 85.55
 7000 DATA 85.55, 85.55, 85.55, 85.55, 85.55, 85.55
 7010 DATA 85.54, 85.54, 85.54, 85.54, 85.54, 85.55
 7020 DATA 85.55, 85.55, 85.55, 85.54, 85.54, 85.54
 7030 DATA 85.54, 85.54, 85.54, 85.53, 85.53, 85.53
 7040 DATA 85.53, 85.53
 7050 H3715: REM
 7060 DATA 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00
 7070 DATA 0.00, 0.00, 85.50, 85.52, 85.59, 85.60
 7080 DATA 85.60, 85.59, 85.58, 85.58, 85.58, 85.58
 7090 DATA 85.57, 85.57, 85.57, 85.57, 85.57, 85.57
 7100 DATA 85.56, 85.56, 85.56, 85.56, 85.57, 85.57
 7110 DATA 85.57, 85.58, 85.57, 85.57, 85.57, 85.56
 7120 DATA 85.56, 85.57, 85.57, 85.56, 85.56, 85.55
 7130 DATA 85.55, 85.55
 7140 H3720: REM
 7150 DATA 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00
 7160 DATA 0.00, 0.00, 85.52, 85.54, 85.60, 85.63
 7170 DATA 85.63, 85.62, 85.61, 85.61, 85.61, 85.60
 7180 DATA 85.60, 85.60, 85.60, 85.60, 85.60, 85.60
 7190 DATA 85.59, 85.59, 85.59, 85.59, 85.60, 85.60
 7200 DATA 85.60, 85.60, 85.60, 85.60, 85.59, 85.59
 7210 DATA 85.58, 85.58, 85.58, 85.58, 85.58, 85.58
 7220 DATA 85.58, 85.58
 7230 H3725: REM
 7240 DATA 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00
 7250 DATA 0.00, 0.00, 85.57, 85.58, 85.60, 85.66
 7260 DATA 85.66, 85.65, 85.64, 85.64, 85.64, 85.63
 7270 DATA 85.63, 85.63, 85.63, 85.63, 85.63, 85.62
 7280 DATA 85.62, 85.62, 85.62, 85.62, 85.63, 85.63
 7290 DATA 85.63, 85.63, 85.62, 85.62, 85.62, 85.62
 7300 DATA 85.62, 85.61, 85.61, 85.61, 85.61, 85.61
 7310 DATA 85.61, 85.61, 85.62
 7320 H3740: REM
 7330 DATA 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00
 7340 DATA 85.66, 85.66, 85.67, 85.69, 85.72, 85.75
 7350 DATA 85.75, 85.74, 85.74, 85.74, 85.74, 85.74
 7360 DATA 85.74, 85.73, 85.73, 85.73, 85.73, 85.73
 7370 DATA 85.73, 85.73, 85.73, 85.73, 85.74, 85.73
 7380 DATA 85.73, 85.73, 85.73, 85.73, 85.73, 85.73
 7390 DATA 85.73, 85.72, 85.71, 85.71, 85.71, 85.72
 7400 DATA 85.72
 7410 H4701: REM
 7420 DATA 84.88, 84.89, 84.89, 84.89, 84.90, 84.92
 7430 DATA 84.97, 85.01, 85.11, 85.17, 85.28, 85.31
 7440 DATA 85.33, 85.34, 85.35, 85.35, 85.34, 85.33
 7450 DATA 85.32, 85.31, 85.31, 85.31, 85.31, 85.32
 7460 DATA 85.32, 85.31, 85.31, 85.30, 85.29, 85.28
 7470 DATA 85.29, 85.30, 85.29, 85.29, 85.28, 85.28
 7480 DATA 85.28
 7490 H4704: REM
 7500 DATA 84.89, 84.89, 84.89, 84.89, 84.91, 84.93
 7510 DATA 84.98, 85.01, 85.12, 85.16, 85.29, 85.32
 7520 DATA 85.33, 85.32, 85.32, 85.31, 85.30, 85.33
 7530 DATA 85.32, 85.32, 85.31, 85.32, 85.32, 85.33
 7540 DATA 85.33, 85.32, 85.32, 85.31, 85.30, 85.30
 7550 DATA 85.30, 85.31, 85.30, 85.30, 85.30, 85.29
 7560 DATA 85.29
 7570 H4710: REM
 7580 DATA 85.00, 85.00, 85.00, 85.01, 85.01, 85.02
 7590 DATA 85.06, 85.09, 85.19, 85.21, 85.31, 85.37
 7600 DATA 85.38, 85.40, 85.40, 85.40, 85.39, 85.38
 7610 DATA 85.37, 85.36, 85.36, 85.36, 85.36, 85.37
 7620 DATA 85.37, 85.36, 85.36, 85.36, 85.35, 85.33
 7630 DATA 85.34, 85.35, 85.35, 85.35, 85.34, 85.34

```

7640 DATA 85.33
7650 H4715: REM
7660 DATA 85.03, 85.03, 85.04, 85.04, 85.04, 85.05
7670 DATA 85.07, 85.10, 85.13, 85.23, 85.27, 85.38
7680 DATA 85.39, 85.41, 85.41, 85.41, 85.39, 85.38
7690 DATA 85.37, 85.37, 85.37, 85.37, 85.37, 85.38
7700 DATA 85.37, 85.37, 85.37, 85.37, 85.36, 85.35
7710 DATA 85.35, 85.36, 85.36, 85.35, 85.35, 85.34
7720 DATA 85.33
7730 H4720: REM
7740 DATA 85.07, 85.07, 85.07, 85.07, 85.07, 85.08
7750 DATA 85.09, 85.13, 85.14, 85.23, 85.24, 85.37
7760 DATA 85.38, 85.40, 85.40, 85.39, 85.39, 85.38
7770 DATA 85.36, 85.36, 85.36, 85.36, 85.37, 85.37
7780 DATA 85.36, 85.36, 85.36, 85.36, 85.36, 85.36
7790 DATA 85.35, 85.35, 85.35, 85.35, 85.35, 85.33
7800 DATA 85.33
7810 H4725: REM
7820 DATA 85.15, 85.15, 85.16, 85.16, 85.16, 85.17
7830 DATA 85.18, 85.21, 85.22, 85.28, 85.32, 85.40
7840 DATA 85.43, 85.44, 85.43, 85.42, 85.42, 85.41
7850 DATA 85.40, 85.40, 85.40, 85.40, 85.40, 85.40
7860 DATA 85.40, 85.40, 85.40, 85.40, 85.40, 85.38
7870 DATA 85.38, 85.39, 85.39, 85.38, 85.38, 85.37
7880 DATA 85.37
7890 H4740: REM
7900 DATA 85.35, 85.35, 85.35, 85.36, 85.36, 85.36
7910 DATA 85.36, 85.36, 85.37, 85.38, 85.41, 85.43
7920 DATA 85.48, 85.50, 85.49, 85.48, 85.47, 85.46
7930 DATA 85.46, 85.46, 85.46, 85.46, 85.46, 85.47
7940 DATA 85.47, 85.47, 85.47, 85.47, 85.47, 85.47
7950 DATA 85.47, 85.45, 85.45, 85.45, 85.44, 85.44
7960 DATA 85.44
7970 H4750: REM
7980 DATA 85.43, 85.43, 85.43, 85.44, 85.44, 85.44
7990 DATA 85.44, 85.43, 85.43, 85.43, 85.44, 85.46
8000 DATA 85.47, 85.48, 85.48, 85.47, 85.47, 85.46
8010 DATA 85.46, 85.47, 85.47, 85.47, 85.46, 85.45
8020 DATA 85.46, 85.46, 85.47, 85.47, 85.47, 85.47
8030 DATA 85.46, 85.45, 85.44, 85.44, 85.44, 85.44
8040 DATA 85.44
8050 END

```

S54.5.23

付録3 現地水位観測結果

		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
10:00	70.1										84.90	84.97	85.09
	70.4							84.91	84.91	84.91	84.91	84.97	85.05
	71.0							85.04	85.04	85.04	85.04	85.07	85.14
	71.5							85.11	85.11	85.12	85.12	85.12	85.16
	72.0							85.18	85.18	85.18	85.18	85.19	85.20
	72.5							85.28	85.28	85.28	85.28	85.28	85.29
	74.0							85.56	85.56	85.56	85.56	85.56	85.56
11:00	70.1	85.21	85.26	85.28	85.30	85.31	85.32	85.32	85.31	85.30	85.30	85.30	85.29
	70.4	85.18	85.27	85.29	85.31	85.32	85.33	85.32	85.32	85.32	85.32	85.32	85.32
	71.0	85.26	85.33	85.36	85.38	85.39	85.39	85.39	85.38	85.38	85.38	85.38	85.37
	71.5	85.24	85.33	85.37	85.41	85.42	85.42	85.42	85.42	85.42	85.42	85.42	85.42
	72.0	85.28	85.37	85.46	85.45	85.46	85.47	85.45	85.45	85.45	85.45	85.45	85.45
	72.5	85.32	85.40	85.48	85.49	85.49	85.49	85.49	85.49	85.49	85.49	85.49	85.49
	74.0	85.56	85.57	85.60	85.64	85.66	85.65	85.65	85.65	85.64	85.64	85.64	85.64
12:00	70.1	85.29	85.29	85.29	85.29	85.29	85.30	85.33	85.37	85.41	85.45	85.49	85.49
	70.4	85.32	85.31	85.31	85.31	85.31	85.31	85.34	85.34	85.41	85.46	85.49	85.51
	71.0	85.37	85.37	85.37	85.37	85.37	85.37	85.38	85.42	85.46	85.50	85.54	85.54
	71.5	85.41	85.41	85.41	85.40	85.40	85.40	85.40	85.44	85.47	85.49	85.54	85.56
	72.0	85.45	85.44	85.44	85.44	85.43	85.43	85.43	85.47	85.49	85.51	85.57	85.59
	72.5	85.49	85.48	85.48	85.48	85.48	85.48	85.48	85.50	85.52	85.56	85.59	85.61
	74.0	85.64	85.64	85.64	85.63	85.63	85.63	85.63	85.63	85.63	85.63	85.67	85.69
13:00	70.1	85.49	85.49	85.49	85.48	85.47	85.46						
	70.4	85.51	85.51	85.50	85.49	85.49	85.48						
	71.0	85.54	85.54	85.54	85.53	85.52	85.51						
	71.5	85.56	85.56	85.55	85.54	85.53	85.52						
	72.0	85.59	85.58	85.58	85.57	85.55	85.55						
	72.5	85.61	85.61	85.60	85.59	85.58	85.58						
	74.0	85.70	85.70	85.70	85.69	85.69	85.67						

S54.6.5

付録3 現地水位観測結果

		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
9 : 00	70.1			85.41	85.41	85.46	85.51	85.53	85.58	85.56	85.54	85.50	85.46
	70.4			85.42	85.43	85.47	85.52	85.56	85.56	85.57	85.54	85.50	85.46
	71.0			85.44	85.44	85.49	85.54	85.56	85.59	85.58	85.56	85.53	85.49
	71.5			85.46	85.45	85.45	85.51	85.55	85.59	85.59	85.56	85.53	85.50
	72.0			85.44	85.44	85.44	85.49	85.53	85.58	85.57	85.55	85.52	85.49
	72.5			85.46	85.46	85.46	85.50	85.54	85.57	85.57	85.55	85.52	85.49
	74.0			85.50	85.50	85.50	85.50	85.51	85.50	85.57	85.55	85.55	85.53
10 : 00	70.1	85.43	85.41	85.40	85.41	85.43	85.47	85.50	85.52	85.54	85.52	85.51	85.48
	70.4	85.43	85.41	85.41	85.41	85.45	85.48	85.50	85.52	85.52	85.52	85.51	85.49
	71.0	85.45	85.44	85.43	85.44	85.47	85.50	85.53	85.54	85.55	85.54	85.53	85.51
	71.5	85.47	85.45	85.44	85.44	85.47	85.49	85.52	85.54	85.54	85.54	85.53	85.51
	72.0	85.45	85.44	85.43	85.44	85.46	85.48	85.51	85.52	85.53	85.52	85.52	85.50
	72.5	85.46	85.44	85.44	85.45	85.47	85.49	85.51	85.52	85.54	85.53	85.52	85.50
	74.0	85.50	85.48	85.49	85.50	85.50	85.52	85.54	85.55	85.56	85.56	85.55	85.55
11 : 00	70.1	85.46	85.45	85.44	85.44	85.44	85.46	85.48	85.50	85.50	85.49	85.49	85.47
	70.4	85.46	85.45	85.44	85.44	85.44	85.47	85.49	85.50	85.50	85.49	85.49	85.48
	71.0	85.49	85.47	85.47	85.47	85.47	85.49	85.51	85.52	85.52	85.51	85.51	85.50
	71.5	85.49	85.48	85.48	85.47	85.48	85.49	85.50	85.52	85.52	85.52	85.51	85.51
	72.0	85.49	85.47	85.46	85.46	85.47	85.49	85.50	85.51	85.51	85.51	85.50	85.49
	72.5	85.49	85.48	85.46	85.46	85.46	85.49	85.49	85.50	85.51	85.51	85.50	85.50
	74.0	85.53	85.51	85.50	85.50	85.50	85.52	85.52	85.53	85.54	85.54	85.54	85.53
12 : 00	70.1	85.46	85.46										
	70.4	85.47	85.47										
	71.0	85.49	85.49										
	71.5	85.50	85.50										
	72.0	85.49	85.49										
	72.5	85.49	85.49										
	74.0	85.53	85.51										

S54.6.16

付録3 現地水位観測結果

		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
14 : 00	70.1	84.88	84.89	84.89	84.89	84.90	84.92	84.97	85.01	85.11	85.17	85.28	85.31
	70.4	84.89	84.89	84.89	84.89	84.91	84.93	84.98	85.01	85.12	85.16	85.29	85.32
	71.0	85.00	85.00	85.00	85.01	85.01	85.02	85.06	85.09	85.19	85.21	85.31	85.37
	71.5	85.03	85.03	85.04	85.04	85.04	85.05	83.07	85.10	85.13	85.23	85.27	85.38
	72.0	85.07	85.07	85.07	85.07	85.07	85.08	85.09	85.13	85.14	85.23	85.24	85.37
	72.5	85.15	85.15	85.16	85.16	85.16	85.17	85.18	85.21	85.22	85.28	85.32	85.30
	74.0	85.35	85.35	85.35	85.36	85.36	85.36	85.36	85.36	85.37	85.38	85.41	85.43
15 : 00	70.1	85.33	85.34	85.35	85.35	85.34	85.33	85.32	85.31	85.31	85.31	85.31	85.32
	70.4	85.33	85.32	85.32	85.31	85.30	85.33	85.32	85.32	85.31	85.32	85.32	85.33
	71.0	85.38	85.40	85.40	85.40	85.39	85.38	85.37	85.36	85.36	85.36	85.36	85.37
	71.5	85.39	85.41	85.41	85.41	85.39	85.38	85.37	85.37	85.37	85.37	85.37	85.38
	72.0	85.38	85.40	85.40	85.39	85.39	85.38	85.36	85.36	85.36	85.36	85.37	85.37
	72.5	85.43	85.44	85.43	85.42	85.42	85.41	85.40	85.40	85.40	85.40	85.40	85.40
	74.0	85.48	85.50	85.49	85.48	85.47	85.46	85.46	85.46	85.46	85.46	85.46	85.47
16 : 00	70.1	85.32	85.31	85.31	85.30	85.29	85.28	85.29	85.30	85.29	85.29	85.28	85.28
	70.4	85.33	85.32	85.32	85.31	85.30	85.30	85.30	85.31	85.30	85.30	85.30	85.29
	71.0	85.37	85.40	85.40	85.40	85.35	85.33	85.34	85.35	85.35	85.35	85.34	85.34
	71.5	85.37	85.37	85.37	85.37	85.36	85.35	85.35	85.36	85.36	85.35	85.35	85.34
	72.0	85.36	85.36	85.36	85.36	85.36	85.36	85.35	85.35	85.35	85.35	85.35	85.33
	72.5	85.40	85.40	85.40	85.40	85.40	85.38	85.38	35.39	85.39	85.38	85.38	85.37
	74.0	85.47	85.47	85.47	85.47	85.47	85.47	85.47	85.45	85.45	85.45	85.44	85.44
	70.1												
	70.4												
	71.0												
	71.5												
	71.0												
	72.5												
	74.0												

S54.7.7

付録3 現地水位観測結果

		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
11:00	70.1										85.16	85.19	85.19
	70.4										85.15	85.20	85.21
	71.0												
	71.5												
	72.0												
	72.5												
	74.0												
12:00	70.1	85.25	85.31	85.39	85.47	85.51	85.50	85.53	85.53	85.52	85.51	85.50	85.51
	70.4	85.26	85.32	85.41	85.47	85.52	85.53	85.53	85.54	85.52	85.51	85.51	85.51
	71.0				85.54	85.56	85.57	85.58	85.57	85.57	85.56	85.55	85.55
	71.5			85.50	85.52	85.59	85.60	85.60	85.59	85.58	85.58	85.58	85.58
	72.0			85.52	85.54	85.60	85.63	85.63	85.62	85.61	85.61	85.61	85.60
	72.5			85.57	85.58	85.60	85.66	85.66	85.65	85.64	85.64	85.64	85.63
	74.0	85.66	85.66	85.67	85.69	85.72	85.75	85.75	85.74	85.74	85.74	85.74	85.74
13:00	70.1	85.51	85.50	85.50	85.50	85.50	85.50	85.50	85.50	85.49	85.49	85.49	85.49
	70.4	85.51	85.51	85.51	85.51	85.50	85.50	85.50	85.49	85.49	85.49	85.50	85.51
	71.0	85.55	85.55	85.55	85.55	85.55	85.55	85.54	85.54	85.54	85.54	85.54	85.55
	71.5	85.57	85.57	85.57	85.57	85.57	85.57	85.56	85.56	85.56	85.56	85.57	85.57
	72.0	85.60	85.60	85.60	85.60	85.60	85.60	85.59	85.59	85.59	85.59	85.60	85.60
	72.5	85.63	85.63	85.63	85.63	85.63	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.63	85.63
	74.0	85.74	85.73	85.73	85.73	85.73	85.73	85.73	85.73	85.73	85.73	85.74	85.73
14:00	70.1	85.50	85.50	85.50	85.50	85.49	85.49						
	70.4	85.51	85.51	85.50	85.50	85.49	85.50						
	71.0	85.55	85.55	85.55	85.54	85.54	85.54						
	71.5	85.57	85.58	85.57	85.57	85.57	85.56						
	72.0	85.60	85.60	85.60	85.60	85.59	85.59						
	72.5	85.63	85.63	85.62	85.62	85.62	85.62						
	74.0	85.73	85.73	85.73	85.73	85.73	85.73						

瀬田川洗堰ゲート操作にともなう遡上
波の数値計算—陰形式差分法の応用—

ISSN 0386-5878
土研資料第1759号
昭和 57 年 3 月

須賀堯三, 石川忠晴, 葛西敏彦, 林 正男

キーワード 不定流, 陰型式差分法, ゲート操作

要 旨

陰型式差分不定流計算法に若干の改良を施し,
瀬田川洗堰ゲート操作にともなう遡上波の解析に
適用した。



郵便はがき

40円切手
をはいて
下さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
河川研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1759号 部
瀬田川洗堰ゲート操作にともなう遡上波の数値計算
——陰型式差分法の応用——
須賀・石川・葛西・林

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印