

ISSN 0386—5878

土 研 資 料 2080号

土 木 研 究 所 資 料

河川における不定流計算法(Ⅳ)

—分合流・遊水池・複断面を考慮した陰型式差分法—

昭和59年3月

建設省土木研究所
河 川 研 究 室

Copyright © 1984 fiscal year by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

は　じ　め　に

関東地方建設局の依頼により、当研究室では昭和53年度から不定流計算プログラムの開発並びに利根川水系を対象とした検証計算を行なっている。一連の計算では、計算精度・使い易さ・計算機的能力向上等を考慮して陰型式差分法を採用し、種々の改良を重ねてきた（土研資料1569号（1980年），1762号（1982年），1939号（1983年））。本年度は今までの成果を総合して、複断面・分合流・遊水池をすべて考慮できるよう基本方程式と計算プログラムの改良を行なった。したがって本プログラムはかなり実用性の高いものになっているはずである。ただし本プログラムは万能ではなく、今後実際の洪水あるいは模型実験の結果との比較を通してその有効性を検討して行く必要があることはもちろんである。

本報告書は、このプログラムの内容を説明し、利根川水系に適用した結果を示したものである。なお、プログラム言語にはFORTRAN 77を用い、計算には建設省土木研究所のHITAC M-280H型電子計算機を使用した。

昭和 59 年 3 月

河川研究室	橋　本	宏
	藤　田	光　一
	加賀谷	均

目 次

は じ め に

本報告書で用いている記号の説明

第1章 序 論	1
1-1 基本的な方針	1
1-2 当研究室における陰型式不定流計算プログラム開発の経緯	2
第2章 不定流の基本方程式	4
2-1 横流出・横流入がない場合の基本方程式	4
2-2 横流出・横流入がある場合の基本方程式	7
2-3 基本式の実河川への応用	7
(1) 分合流がある場合	7
(2) 遊水池がある場合	9
(3) 強制的な流入・流出がある場合	9
(4) 横堤・急拡等による死水域がある場合	9
第3章 4点陰型式差分法による基本方程式の差分化	11
3-1 基本方程式の差分化	11
3-2 連立方程式の解法	17
3-3 初期水位の与え方について	23
第4章 プログラムの解説	24
4-1 計算のフロー	24
4-2 SUBROUTINEの説明	25
4-3 不定流計算プログラム	28
第5章 モデル河川による検討	40
5-1 モデル河川	40
5-2 計算条件	41
5-3 計算結果	41
5-4 考 察	48

第6章 利根川河道に対する適用例	49
6-1 対象対間	49
6-2 断面特性	54
6-3 分合流点の取扱い	54
6-4 各遊水池の諸元と計算への組込み方法	57
6-5 粗度の設定	58
6-6 昭和56年8月洪水について (Case 1)	59
6-7 昭和57年8月洪水について (Case 2)	60
6-8 昭和56年8月洪水について (Case 3)	60
6-9 昭和57年8月洪水について (Case 4)	60
6-10 計算結果の考察及び今後の検討事項	71
第7章 ま と め	177
謝 辞	177

本報告書で用いている記号の説明

(1) 物理定数

ρ : 密度

g : 重力加速度

(2) 水理量

▲ v : 流速

h : 水深

I_0 : 河床勾配

▲ Q : 流量

A : 断面積

H : 水位

R : 径深

D : 水面幅

$\bar{v}$: 平均流速

β : 運動量補正係数

T_r : 単位長さの河道の河床に働くせん断力の合力

($= \bar{\tau}_b \times S$, $\bar{\tau}_b$: 河床の平均せん断力,
 S : 潤辺長)

▲ w : 横流出する流れが持つ本川流下方向成分の流速

q_x : 単位長さ当たりの横流出量

H_0 : 調節池内の水位

V : 調節池の体積

▲ C : 流水断面内の流速の違い(複断面効果等)を摩擦項に取入れるのに用いるパラメータ (3-5式)

▲ v_l }
 A_l } 流水断面を数個の断面に分割した場合
 R_l } の, 各々の分割断面における水理量。
 S_l } 添字 l は分割断面の番号を表わす。
 n_l } n_l : 粗度, τ_l : せん断力, S_l : 潤辺
 τ_l }

(3) 差分方程式に現われる記号

▲ Δt : 時間ステップ

Δx : 距離ステップ

θ : 時間方向の差分に関するパラメータ

▲ 水理量につく } i は下付き添字で, j は上付き添字で用いられる。
添字 i : 距離を示す番号 }
添字 j : 時間を示す番号 }
添字 a : 対象としている差分メッシュ上の変数の平均値であることを示す。 例 A_i^{j+1}
例 A_a

▲ ΔQ_i : Q の Δt 間の変化量

ΔH_i : H の Δt 間の変化量

$\Delta \beta_i$: β の Δt 間の変化量

μ } 摩擦項を差分化する時用いるパラメータ
 γ } (3-6式)

▲ $x_{in}, y_{in}, T_i, P_i, U_i$: 最終的に得られた差分方程式に現われる係数と定数

(4) 分合流がある場合の差分方程式を解く際用

いる記号

$$\begin{array}{l} \blacktriangle \left. \begin{array}{l} \pi_I \\ \pi_{II} \\ \pi_{III N} \\ \pi'_{III N} \\ \pi_{III 0} \\ \pi'_{III 0} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{分合流点の水位・流量関係を表わす} \\ \text{係数 (3-23} \sim \text{3-26式)} \end{array} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \phi_I \\ \phi_{II} \\ \phi_{III N} \\ \phi_{III 0} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{分合流点の水位・流量関係を表わす} \\ \text{定数 (3-23} \sim \text{3-26式)} \end{array}$$

$$\blacktriangle \left. \begin{array}{l} \xi, \eta, E, F \\ \epsilon, \kappa, e, f \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{上記の値を求めるために用いる} \\ \text{漸化式のパラメータ} \end{array}$$

(3-17~3-22式)

第 1 章 序 論

1-1 基本的な方針

治水計画のレベルの向上と治水対策の複雑化・多様化に伴い、不定流計算には高い精度が要求されるようになった。また単一河道の不定流だけではなく遊水池・放水路・バイパス・排水機場といった多様な治水対策の効果を予測できることが求められている。一方、こうした計算に不可欠な電子計算機の性能は著しく向上した。しかし、現場の技術者が不定流計算のような純粋に技術的な問題にかけられる時間は逆に少なくなっている。こうした状況の下で今後有用となる計算手法は、次のような特徴を有していなければならないであろう。

- i) 現象が忠実に再現され、精度が良いこと。
- ii) 単一水路だけでなく遊水池・放水路等を容易に考慮でき、開水路網としての扱いが可能なこと（実河川にそのまま対応できる）。
- iii) 現象や河道条件が変わり境界条件が複雑になっても、プログラムの中味を変えずそのまま適用できること（計算量の少なさよりも、技巧を必要とせず単純な使い方ができることを優先する）。

本報告書でとりあげた不定流計算プログラムは、なるべく上記の条件を満たすように開発されたものであり、具体的には次のような方針に基づかれている。まず差分法としては4点陰型式差分法を用いた。これは、時間と距離のステップ (Δt , Δx) を相当大きく取っても計算が不安定にはならず比較的自由に Δx , Δt を決められること、 Δx を場所により容易に変えられること、境界条件を機械的に入れることができるため分合流・遊水池等を簡単にしかも機械的に組入れられること、等の特長をこの手法が持っているからである。次に、1次元解析の考え方によって運動量原理から不定流の基本方程式を導く際には、たとえある水理条件では無視しえるような項であってもすべて残すようにした。これは、様々な河道及び水理条件に適用されることを考慮したからである。また、実河川に本来存在する洪水流の2次元的な性質を1次元解析の範囲内でなるべく組込もうとの考えから、基本方程式には複断面が考慮されている（但し、単純な仮定を設けている）。これにより、文字通りの複断面河道だけではなく、横堤や死水域の効果も機械的に組入れることができる。その他、分合流・遊水池・強制流出入に対応できるようにしている。このうち分合流点については2次元的な流れが卓越しかつ全体の精度にも大きな影響を与えることから、従来より1次元解析における取扱いが問題になっていた。しかし現段階では分合流ロスを物理的に決める有効な方法がない。そこで今回は、利根川に適用する際分流に限って実測データからロスの特性を経験式で表わすことにより分流ロスを考慮することとした。合流については（水位が一致・流量が連続）をそのまま用いている。なお本プログラムにおいて分流率や水位差をあらかじめ決める等の操作を行なうことは、比較的容易である。

ところで、本計算プログラムで用いている陰型式差分法の欠点は計算量が大きくなることだと言われている。確かにこの方法において時間ステップを1つ進めるためには、計算断面数の2倍の未知数を含む連

立方程式を解かなければならない。特に、4点法の中でも機械的な差分化を行なう方式を用いると、原方程式の非線型がそのまま連立方程式に現われ収束計算が必要となる。しかし、陰型式差分法では Δt 自体に制限がない。もちろん無制限に Δt を大きく取るとは精度上の問題からできないが、それでも陽型式よりもかなり大きな Δt を用いることはできる。したがって全計算時間で見ると、陰型式差分法の計算時間が陽型式に比べ一般に長いとは決して言えないのである。いくつかの不定流計算法を比較した結果、精度・計算時間両面において4点陰型式差分法が有利であるとの報告¹⁾もある。計算条件によってこうした結果が変わる可能性はあるが、要求される精度や計算時間の制約に応じて Δt や Δx をかなり自由に換えられるという柔軟性においてこの手法がすぐれていることは確かである。

1-2 当研究室における陰型式不定流計算プログラム開発の経緯

昭和53, 54年度には、J. J. Dronkers が提案した4点陰型式差分法²⁾を用いた単一水路についての計算プログラムが作成された。このプログラムを用いて利根川の河口から布川 (76.5 km) までの区間を対象とした昭和47年9月洪水の再現計算が行なわれ、その適用性が調べられている。これと併せて、基本式を誘導する際の近似と Δx , Δt の取り方が計算結果に与える影響が検討された。これらの結果は土研資料1569号 (1980年) にまとめられている。

昭和56年度には、上記のプログラムが分合流を有する河道に適用できるよう改良された。分合流点では、水位が一致し流量が連続するという条件を用いている。このプログラムを用いて、江戸川への分派、鬼怒川・小貝川の合流を含む利根川の河口から栗橋 (130.5 km) までの区間についての再現計算が、昭和47年9月洪水についてなされた。これらの結果は土研資料1762号 (1982年) にまとめられている。

この段階では、実測値と再現計算値との間には必ずしも良い対応が見られていない。この原因としては、I) 分合流点の取扱いが単純過ぎること、II) 遊水池を考慮していないこと、III) 複断面河道の水理特性を全く考慮していないこと、IV) 計算に用いた粗度が実態と合っていないこと、が考えられた。

こうした検討を受け昭和57年度には、まず複断面の水理特性を考慮した単一水路についての計算プログラムが作成された。布川より下流の利根川を対象とした昭和47年9月・57年9月洪水の再現計算の結果、やや再現性は向上したものの依然として逓減部の計算水位が実測値より高いという傾向が見られた。この他、モデル河道を用いた計算により複断面河道と単断面河道の特性の違いが検討されている。なお、このプログラムでは、精度の向上や計算の単純化を図るため差分の方法を一部変えている。変更内容は以下の通りである。Dronkers の方法では差分方程式を線型化するため一部の水理量を既知変数だけから規定しており、完全な4点法にはなっていない。そこでこの方法に代えて、すべての水理量を未知変数と既知変数の両方から規定する機械的な4点法³⁾を採用した。これに伴ない連立方程式は非線型となり収束計算が

-
- 1) Price, R. K. : Comparison of Four Numerical Methods for Flood Routing, ASCE, Vol. 100, HY 7, 1974.
 - 2) Dronkers, J. J. : Tidal Computations for Rivers, Coastal Areas, and Seas, ASCE, Vol. 95, HY 1, 1969.
 - 3) Amein, M. and S. F. Ching : Implicit Flood Routing in Natural Channels, ASCE, Vol. 96, HY 12, 1970.

行なわれている。これらの結果は、土研資料1939号にまとめられた。

以上が前年度までの検討内容であり、主に前半は葛西技官（現岩手工事事務所洪水予報課）、後半は石川研究員（現東京工業大学）と加賀谷技官が中心となって作業が進められた。本年度は、基本的には前年度の計算法をそのまま用いて、分合流・遊水池・強制流出入・横堤・死水域を考慮できるよう計算プログラムの改良を行なった。これにより一次元解析の範囲内で考慮できる現象はほとんど取入れられ、かなりの実用性を持つプログラムになったと考えられる。なお、前年度の複断面を考慮した基本式の誘導に一部問題があったので、基本式を少し修正している。また時間方向の差分方式を拡張している。以上のプログラムを用いて栗橋から下流の利根川水系（分合流・遊水池を含む）について昭和56年8月、57年8月洪水の再現計算を行なった。



利根川水系の洪水計算結果

図1 利根川水系の洪水計算結果（昭和56年8月、57年8月洪水）
この図は、利根川水系の洪水計算結果を示す。縦軸は流量（m³/s）を示し、横軸は時間（日）を示す。実線は観測値、破線は計算値を示す。観測値は、昭和56年8月と昭和57年8月の洪水を示す。計算値は、観測値とよく一致していることが確認できる。

第2章 不定流の基本方程式

運動量の原理をもとに、複断面特性・横流入出・分合流・横堤や死水域を考慮した不定流計算の基本方程式を導く。

2-1 横流出・横流入がない場合の基本方程式

運動量原理は次式で表わされる。

$$\iiint_D \frac{\partial W}{\partial t} \rho dV + \iint_D \rho W W \cdot dA = P_e + \iiint_D \rho g dV - \iint_D p dA \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

ここで、 W ：流速ベクトル， p ：圧力， P_e ：重力以外の外力の合力， D ：対象としている領域， dA ：領域 D の表面の微小部分（表面に垂直で領域の外に向くベクトル）

これを言葉で説明すると次のようになる。

① ある固定された領域 内の単位時間当たり の運動量の増加	+	② 領域の境界 からの運動 量の流出	=	③ 重力以外の 外力の合力	+	④ 重力	+	⑤ 領域の境界 に働く圧力 の合力
..... (2-1')								

1次元解析で用いられる仮定に基づき、この原理を図2-1に示すような非定常開水路流れに適用すると次式が得られる。^{※)}

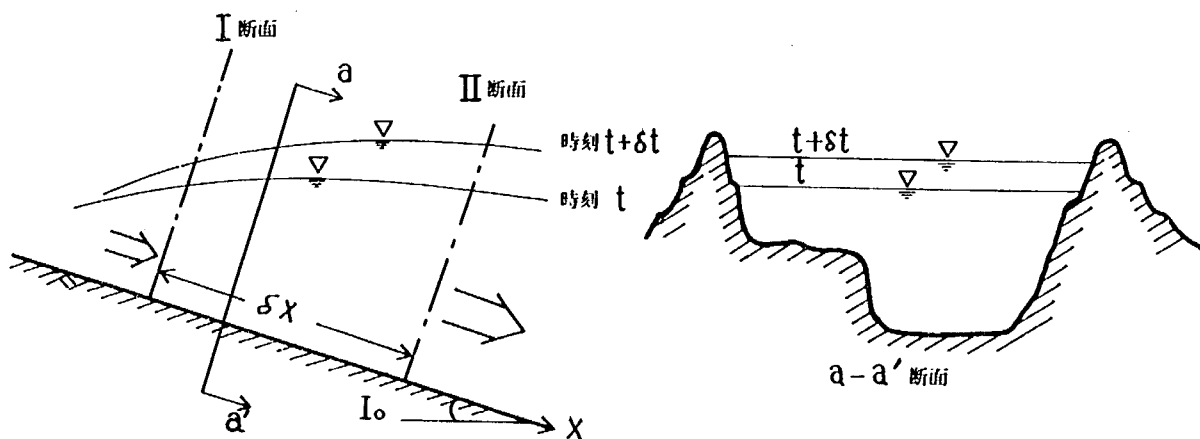


図2-1 非定常開水路流れ

※) 実は(2-1')式と(2-2)式の各項のうち①と②は完全に対応しているわけではない。これは、自由表面という移動する境界があるためである。しかし厳密に導くと式が煩雑となるので、ここではその説明は省略する。

$$\begin{aligned}
& \textcircled{1} \left\{ \frac{\delta x}{2} \cdot \left(\int_{I, t+\delta t} \rho dA \cdot v + \int_{II, t+\delta t} \rho dA \cdot v \right) - \frac{\delta x}{2} \left(\int_{I, t} \rho dA \cdot v + \int_{II, t} \rho dA \cdot v \right) \right\} / \delta t \\
& + \textcircled{2} \left(\int_{II} \rho dA \cdot v \cdot v - \int_I \rho \cdot dA \cdot v \cdot v \right) = - \textcircled{3} \frac{\delta x}{2} (T_r^I + T_r^{II}) \\
& + \textcircled{4} \rho g \frac{1}{2} (A^I + A^{II}) \cdot \delta x \cdot I_0 - \textcircled{5} \rho g \frac{1}{2} (A^I + A^{II}) dh \quad \dots\dots\dots (2-2)
\end{aligned}$$

ここで、 v : 各点の流速、 A : 断面積、 h : 水深、 I_0 : 河床勾配、 T_r : 単位長さの河道の河床に働く力 = τ_b (平均せん断力) $\times S$ (潤辺)

また、 I 、 II はそれぞれ断面 I 、断面 II の水理量を表わす。上式に、

$$\text{平均流速 : } \bar{v} = \frac{1}{A} \int v dA \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

$$\text{運動量補正係数 : } \beta = \frac{1}{A} \int \frac{v^2}{\bar{v}^2} dA \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

を導入すると、

$$\int \rho \cdot dA \cdot v^2 = \beta \rho A \bar{v}^2$$

$$\int \rho \cdot dA \cdot v = \rho A \bar{v}$$

となる。上式を (2-2) 式に代入し、両辺を ρ と δx で割り δx 、 $\delta t \rightarrow 0$ とすると次式が得られる。

$$\frac{\partial}{\partial x} (\beta \bar{v}^2 A) + \frac{\partial}{\partial t} (A \bar{v}) = g A I_0 - g A \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{1}{\rho} T_r \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

これが不定流の運動方程式である。一方、連続の式は、

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

である。連続の式を用いて、(2-5) 式を流量で表現する式に変形すると、

$$Q^2 \frac{\partial \beta}{\partial x} + A \frac{\partial Q}{\partial t} - 2 \beta Q \frac{\partial A}{\partial t} - \frac{\beta Q^2}{A} \frac{\partial A}{\partial x} + g A^2 \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{A}{\rho} T_r = 0 \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

H : 水位

となる。以上で、横流出・横流入がない場合の不定流の基本式が導かれた。導出の過程では複断面の取扱について何も言及しなかったが、複断面の特性は β と T_r の中で表現される。そこで次にこの特性を計算に考慮するための β 及び T_r の計算法について説明する。

複断面特性を一般的に言うと、「性質の異なる複数の断面から成る河道の水理特性」ということになる。例えば、図 2-2 のような河道である。この河道では、粗度や断面特性が領域(1)~(4)の間で大きく異なるため、流速と底面せん断力が各領域によって変わってくる。こうした流速と底面せん断力の分布が β と T_r

の中に適確に表現されれば、複断面特性が考慮されたことになるのである。ところが、一般に断面内の流速と底面せん断力の分布を予測することは、流れを少なくとも2次元的に解かなければ不可能であるし、解くこと自体困難である。そこで今回の計算では、次の仮定を設ける。

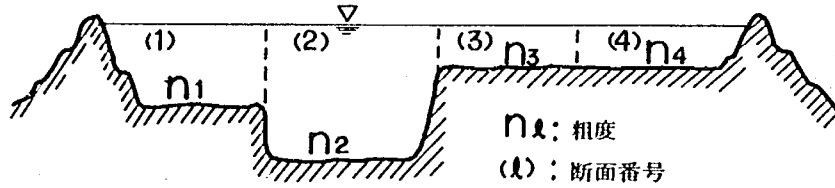


図2-2 性質の異なる複数の断面から成る河道

- (i) 等流時の流速分布が不定流時にも保たれる。
- (ii) 図2-2のような河道の各領域内では、単断面の抵抗則が成立する。
- (iii) これら各領域間の流水の相互作用は考えない。

以上の仮定から、 β と T_r を求める。なお、計算の対象を図2-2のようにはっきり分割できる複数の断面を持つ河道とする。分割した各領域の流速・面積・径深・潤辺・粗度・底面せん断力をそれぞれ v_l 、 A_l 、 R_l 、 S_l 、 n_l 、 τ_l (l は分割された断面の番号を表わす)とすると、まず(2-4)式は次のように書き換えられる。

$$\beta = \frac{1}{A} \sum_{l=1}^n \frac{v_l^2}{\bar{v}^2} A_l \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

また、仮定(ii)、(iii)より T_r は次のようになる。

$$T_r = \sum_{l=1}^n \tau_l \cdot S_l = \sum_{l=1}^n \rho g \frac{n_l^2 v_l^2}{R_l^{1/3}} \cdot S_l = \rho g \sum_{l=1}^n \frac{A_l}{R_l^{4/3}} n_l^2 \cdot v_l^2 \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

一方、仮定(i)~(iii)から流速の分配率として次式が得られる。

$$v_l = \left(\frac{R_l^{2/3}}{n_l} / \sum \frac{A_l R_l^{2/3}}{n_l} \right) \times Q \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

(2-10) 式を(2-9)、(2-8)式に代入すると、

$$\beta = A \sum_{l=1}^n A_l \frac{R_l^{4/3}}{n_l^2} / \left(\sum_{l=1}^n \frac{A_l}{n_l} R_l^{2/3} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

$$T_r = \rho g A Q^2 / \left(\sum_{l=1}^n \frac{1}{n_l} A_l R_l^{2/3} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

となる。これにより、断面特性と各領域の粗度、水位がわかれば、 β と T_r が計算できるようになった。以後の計算ではこの2式を用いることとする。

2-2 横流出・横流入がある場合の基本方程式

前節で導いた不定流の基本方程式に横流出・横流入を組込む。図2-3のように x 方向（本川の流下方向）の流速 w を持つ流体が単位河道長さ当たり q_x の流量で流出するとする（流入の場合 q_x の符号を変えればよい）。この場合（2-2）式の②〔領域の境界からの運動量の流出〕の項に、この横流出による分を加えればよい。したがって、（2-5）式は次のようになる。

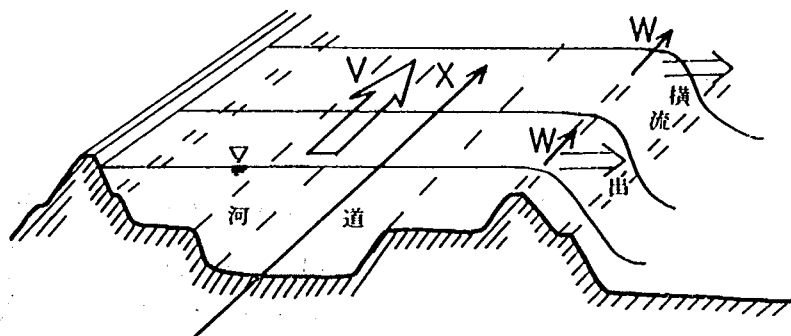


図2-3 横流出がある場合

$$\frac{\partial}{\partial x} (\beta \bar{v}^2 A) + \frac{\partial}{\partial t} (A \bar{v}) + w q_x = g A I_0 - g A \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{1}{\rho} T_r \quad \dots\dots\dots (2-13)$$

また、連続の式は、

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q_x = 0 \quad \dots\dots\dots (2-14)$$

となる。（2-14）式を用いて（2-13）式を変形すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} Q^2 \frac{\partial \beta}{\partial x} + A \frac{\partial Q}{\partial t} - 2 \beta Q \frac{\partial A}{\partial t} - \frac{\beta Q^2}{A} \frac{\partial A}{\partial x} - 2 \beta Q q_x + A w q_x \\ + g A^2 \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{A}{\rho} T_r = 0 \quad \dots\dots\dots (2-15) \end{aligned}$$

（2-14），（2-15）式が、横流出・横流入がある場合の不定流の基本方程式である。

2-3 基本式の実河川への応用

分合流，遊水池等を基本式（2-14），（2-15）式をもとに考慮する具体的な方法について述べる。

(1) 分合流がある場合

「分合流点では各河道の水位が一致し流量が連続する」条件を用いて各単一河道で成立する基本式同士を結びつける，ということが普通行なわれる。例えば図2-4に示す分流点において，河道Ⅰから決まる水位と流量を H_1 ， Q_1 ，同様に河道Ⅱ，Ⅲについてそれぞれ H_2 ， Q_2 ， H_3 ， Q_3 とすると，

$$\begin{aligned}
 H_1 &= H_2 \\
 H_2 &= H_3 & \dots\dots\dots (2-16) \\
 Q_1 &= Q_2 + Q_3
 \end{aligned}$$

なる式が成立すると考えるわけである。

ところで上式が成立するのは、厳密に言えば、
 “非常に率直な分流あるいは合流”が行なわれる
 場合だけである。実際には図2-5に示すように
 曲がり等の影響を受ける分合流点が多い。このよ
 うな分合流点では水位は上下流で一致しない。こ
 の場合、厳密には分合流点の流れの特性を2次元
 的に解くことが必要となるが、前にも述べたよう
 に簡単にはできない。そこで現実的な手段として、
 分流率や水位差等をあらかじめ与えてしまう方法
 が考えられよう。以下に分流の場合を例にとって
 この方法を説明する。例えば図2-5の河道にお

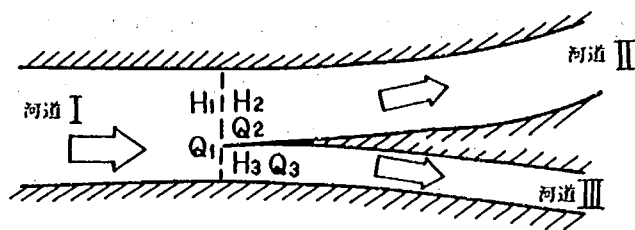


図2-4 損失のない分流

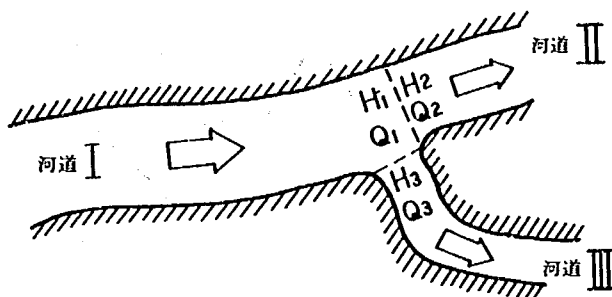


図2-5 曲がりの損失がある分流

いて分流率が実測模型実験等からかなりの精度で把握されていたとする。また、この河道形状から見て H_1 と H_2 はほぼ等しいが、 H_1 と H_3 は曲がりの影響により平均水位で見ると一致しないと予想される。以上よりこの分流点では、

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= r Q_1 \\
 Q_3 &= (1 - r) Q_1 & \dots\dots\dots (2-17) \\
 H_1 &= H_2 & r : \text{あらかじめ与える分流率}
 \end{aligned}$$

なる式が成立するという条件を用いる。またいきなり分流率を与えずに、水位差 $H_1 - H_3$ を河道3への分
 流量等の関数で与える方法も考えられる。この場合次式を分合流の条件として用いることになる。

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_2 + Q_3 \\
 H_1 &= H_2 & \dots\dots\dots (2-17') \\
 H_1 &= H_3 + f_1(H_3, Q_3) & f_1 : \text{関数}
 \end{aligned}$$

水位・流量関係の与え方は、この他にもあるかもしれない。要するに1次元解析だけではわからない情報を個々の分合流特性に応じて何らかの形で組込もうとするのが、ここで取上げた方法の基本的な考え方である（将来、実測データがなくても計算から分合流点の特性が明らかになるなら、その情報をこうした形で組入れても良い）。

今述べた方法のうち(2-16)式を用いる前者の方が、実測データを必要としないだけ簡単である。し

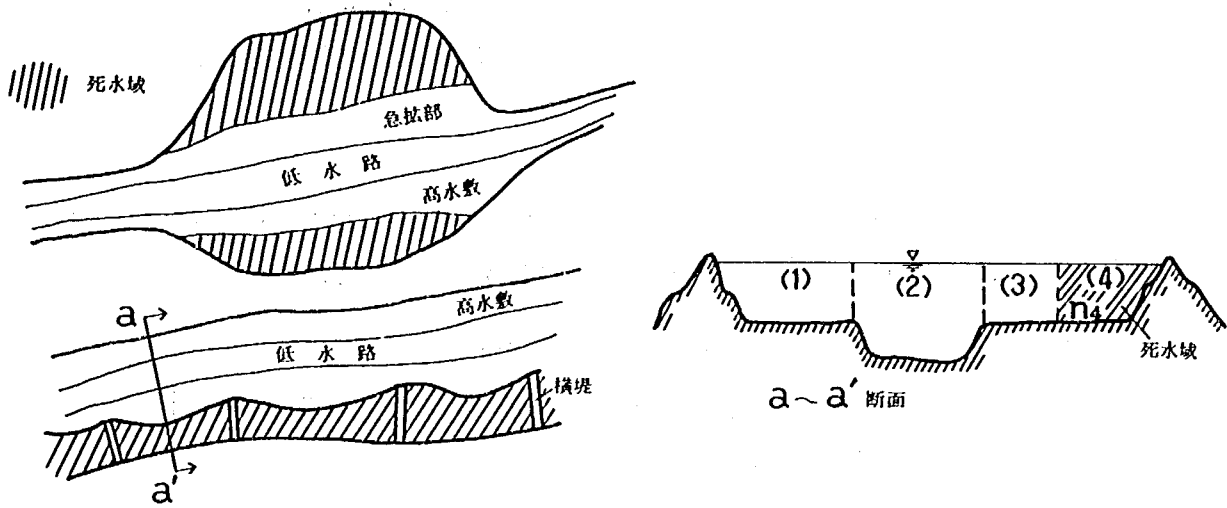


図 2 - 6 死水域の処理

以上の方法により、死水域の貯留効果を考慮した計算を機械的に行なうことが可能となる。また、この方法は越流堤のない遊水池において一部分にだけ速い流れが生じているような現象にも適用できる。

第3章 4点陰型式差分法による基本方程式の差分化

差分化する前に基本方程式(2-14), (2-15)式を次のように変形しておく。なお, x は上流から下流に向かうとする。

$$D \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q_x = 0 \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

$$\begin{aligned} Q^2 \frac{\partial \beta}{\partial x} + A \frac{\partial Q}{\partial t} - 2\beta Q D \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\beta Q^2}{A} D \frac{\partial H}{\partial x} - 2\beta Q q_x + A w q_x \\ + g A^2 \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{A}{\rho} \cdot T_r = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

D : 水面の幅

3-1 基本方程式の差分化

差分方法は次の通りである。図3-1に示すような差分メッシュを考える。●は既知量を, ○は未知量を表わし, 各点上の変数を α_i^j とする。下付き添字 i は x を, 上付き添字 j は t を表わす(以後もこの表示法を用いる)。この図の4点上の変数により方程式の各部分を次のように表現する。

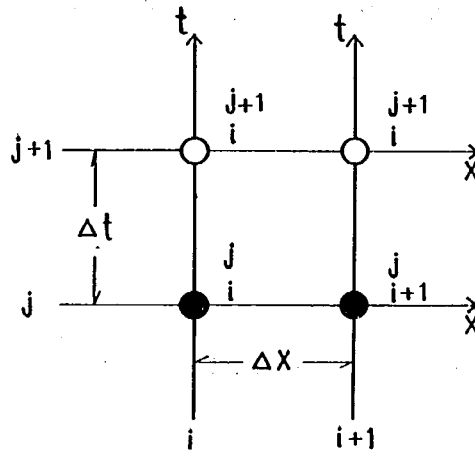


図3-1 差分のとり方

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \alpha}{\partial t} &= \frac{1}{2\Delta t} \{ (\alpha_{i+1}^{j+1} + \alpha_{i+1}^j) - (\alpha_i^{j+1} + \alpha_i^j) \} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial x} &= \frac{1}{\Delta x} [\{ \theta \alpha_{i+1}^{j+1} + (1-\theta) \alpha_{i+1}^j \} - \{ \theta \alpha_i^{j+1} + (1-\theta) \alpha_i^j \}] \\ \alpha &= \alpha_o = \frac{1}{2} \{ \theta (\alpha_{i+1}^{j+1} + \alpha_i^{j+1}) + (1-\theta) (\alpha_{i+1}^j + \alpha_i^j) \} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

(α は4点の平均の意味)

式中の θ は $0 \leq \theta \leq 1$ のパラメータであり、0.5 とおくと中央差分に一致する。また以下に展開する差分式では、

$$\Delta \alpha_i = \alpha_i^{j+1} - \alpha_i^j \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

なる変数を導入する。

以上の差分方式をもとに (3-1), (3-2) 式を差分化する。

(1) 運動方程式 (3-2) 式の差分化 (添字の a は、図3-1に示す4つの格子点上の変数の平均を意味する)

$$\begin{aligned} Q^2 \frac{\partial \beta}{\partial x} &= Q_a^2 \cdot \frac{1}{\Delta x} \{ \beta_{i+1}^j - \beta_i^j + \theta (\Delta \beta_{i+1} - \Delta \beta_i) \} \\ A \frac{\partial Q}{\partial t} &= A_a \cdot \frac{1}{\Delta t} \frac{1}{2} (\Delta Q_i + \Delta Q_{i+1}) \\ -2\beta Q D \frac{\partial H}{\partial t} &= -2\beta_a \cdot Q_a \cdot D_a \cdot \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{1}{2} (\Delta H_i + \Delta H_{i+1}) \\ -\frac{\beta Q^2 D}{A} \cdot \frac{\partial H}{\partial x} &= -\frac{\beta_a Q_a^2 \cdot D_a}{A_a} \frac{1}{\Delta x} [H_{i+1}^j - H_i^j + \theta (\Delta H_{i+1} - \Delta H_i)] \\ -2\beta Q q_x + A w q_x &= -2\beta_a \cdot Q_a \cdot q_{xa} + A_a \cdot w_a \cdot q_{xa} \\ g A^2 \frac{\partial H}{\partial x} &= g A_a^2 \frac{1}{\Delta x} [H_{i+1}^j - H_i^j + \theta (\Delta H_{i+1} - \Delta H_i)] \\ \frac{A}{\rho} \cdot T_r &= g A_a C_a \cdot \frac{1}{4} \cdot |Q_i^j + Q_{i+1}^j| \cdot (Q_i^j + \Delta Q_i + Q_{i+1}^j + \Delta Q_{i+1}) \cdot \gamma \end{aligned}$$

ここで

$$C = A / \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{n_i} A_i R_i^{2/3} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (3-5)$$

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \frac{1 + 2\theta\mu + \theta^2\mu^2}{1 + \mu} \\ \mu &= \frac{\Delta Q_i + \Delta Q_{i+1}}{Q_i^j + Q_{i+1}^j} \quad (Q_i^j = Q_{i+1}^j = 0 \text{ の時は } \mu = 0) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

以上の項をたし合せ整理すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} & \left(\frac{A_a}{2\Delta t} + \gamma \cdot \frac{g A_a \cdot C_a}{4} \cdot |Q_i^j + Q_{i+1}^j| \right) \Delta Q_i \\ & + \left(\frac{A_a}{2\Delta t} + \gamma \cdot \frac{g A_a \cdot C_a}{4} \cdot |Q_i^j + Q_{i+1}^j| \right) \Delta Q_{i+1} \\ & + \left(-\frac{\beta_a \cdot Q_a \cdot D_a}{\Delta t} + \frac{\beta_a \cdot Q_a^2 \cdot D_a \cdot \theta}{\Delta x \cdot A_a} - \frac{g \cdot A_a^2 \cdot \theta}{\Delta x} \right) \Delta H_i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left(-\frac{\beta_a \cdot Q_a \cdot D_a}{\Delta t} - \frac{\beta_a \cdot Q_a^2 \cdot D_a \cdot \theta}{\Delta x \cdot A_a} + \frac{g \cdot A_a^2 \cdot \theta}{\Delta x} \right) \Delta H_{i+1} \\
& = \frac{\beta_a \cdot Q_a^2 \cdot D_a}{A_a} \cdot \frac{H_{i+1}^j - H_i^j}{\Delta x} - g \cdot A_a^2 \frac{H_{i+1}^j - H_i^j}{\Delta x} \\
& \quad - \frac{g A_a \cdot C_a}{4} \cdot \gamma \cdot |Q_i^j + Q_{i+1}^j| (Q_i^j + Q_{i+1}^j) \\
& \quad - \frac{Q_a^2}{\Delta x} \{ \beta_{i+1}^j - \beta_i^j + \theta (\Delta \beta_{i+1} - \Delta \beta_i) \} \\
& \quad - A_a \cdot w_a \cdot q_{*a} + 2\beta_a \cdot Q_a \cdot q_{*a} \quad \dots\dots\dots (3-7)
\end{aligned}$$

(2) 連続の式 (3-1) 式の差分化

$$\begin{aligned}
D \frac{\partial H}{\partial t} &= D_a \frac{1}{\Delta t} \frac{\Delta H_i + \Delta H_{i+1}}{2} \\
\frac{\partial Q}{\partial x} &= \frac{1}{\Delta x} \{ Q_{i+1}^j - Q_i^j + \theta (\Delta Q_{i+1} - \Delta Q_i) \} \\
q_* &= q_{*a}
\end{aligned}$$

以上の項をたし合せ整理すると次式が得られる。

$$\begin{aligned}
& -\frac{\theta}{\Delta x} \Delta Q_i + \frac{\theta}{\Delta x} \Delta Q_{i+1} + \frac{D_a}{2\Delta t} \Delta H_i + \frac{D_a}{2\Delta t} \Delta H_{i+1} \\
& = -\frac{1}{\Delta x} (Q_{i+1}^j - Q_i^j) - q_{*a} \quad \dots\dots\dots (3-8)
\end{aligned}$$

(3) q_* (2-18) 式の離散化

$$\left. \begin{aligned}
q_{*1i}^j &= f_1(H_i^j; H_0^j) \\
q_{*2i}^j &= f_2(H_i^j, H_0^j) \\
H_0^j &= g(V^j) \\
V^j &= \sum_{k=0}^{j-1} \left(\sum_{i=m_1}^{m_2-1} q_{*1i}^k \cdot \Delta x_i - \sum_{i=m_3}^{m_4-1} q_{*2i}^k \cdot \Delta x_i \right) \cdot \Delta t_k
\end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

$m_1 \sim m_2$: 越流堤の区間, $m_3 \sim m_4$: 排水点のある区間

なお, q_* は, x 方向に関しては, 格子点上で与えるのではなく, i と $i+1$ の間で与える (図 3-2 参照)。

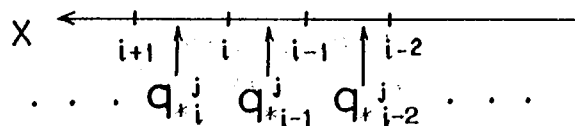


図3-2 q_x の離散化

(4) 解くべき連立方程式

1本の河道について図3-3のようなメッシュを切る。(1)及び(2)から、 i と $i+1$ 断面の間で次式が成立することがわかる。

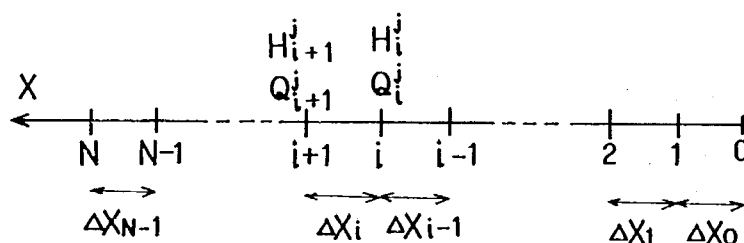


図3-3 x 方向の差分メッシュ

$$\left. \begin{aligned} x_{i1} \cdot \Delta Q_i + x_{i2} \cdot \Delta H_i + x_{i3} \cdot \Delta Q_{i+1} + x_{i4} \cdot \Delta H_{i+1} &= P_i \quad (\text{運動方程式}) \\ y_{i1} \cdot \Delta Q_i + y_{i2} \cdot \Delta H_i + y_{i3} \cdot \Delta Q_{i+1} + y_{i4} \cdot \Delta H_{i+1} &= U_i \quad (\text{連続の式}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-10)$$

ここで、

$$\begin{aligned} x_{i1} &= \frac{A_a}{2\Delta t} + \gamma \cdot \frac{gA_a \cdot C_a}{4} |Q_i^j + Q_{i+1}^j| \\ x_{i2} &= -\frac{\beta_a \cdot Q_a \cdot D_a}{\Delta t} + \frac{\beta_a \cdot Q_a^2 \cdot D_a \cdot \theta}{\Delta x_i \cdot A_a} - \frac{gA_a^2 \theta}{\Delta x_i} \\ x_{i3} &= \frac{A_a}{2\Delta t} + \gamma \frac{gA_a \cdot C_a}{4} |Q_i^j + Q_{i+1}^j| \\ x_{i4} &= -\frac{\beta_a \cdot Q_a \cdot D_a}{\Delta t} - \frac{\beta_a \cdot Q_a^2 \cdot D_a \cdot \theta}{\Delta x_i \cdot A_a} + \frac{g \cdot A_a^2 \cdot \theta}{\Delta x_i} \\ P_i &= \frac{\beta_a \cdot Q_a^2 \cdot D_a}{A_a} \cdot \frac{H_{i+1}^j - H_i^j}{\Delta x_i} - g \cdot A_a^2 \frac{H_{i+1}^j - H_i^j}{\Delta x_i} \\ &\quad - \frac{gA_a \cdot C_a}{4} \cdot \gamma \cdot |Q_i^j + Q_{i+1}^j| \cdot (Q_i^j + Q_{i+1}^j) \\ &\quad - \frac{Q_a^2}{\Delta x_i} \{ \beta_{i+1}^j - \beta_i^j + \theta (\Delta \beta_{i+1} - \Delta \beta_i) \} \end{aligned} \dots\dots\dots (3-11)$$

$$-A_a \cdot W_a \cdot q_{xa} + 2\beta_a \cdot Q_a \cdot q_{xa}$$

$$y_{i1} = -\frac{\theta}{\Delta x_i}$$

$$y_{i2} = \frac{D_a}{2\Delta t}$$

$$y_{i3} = \frac{\theta}{\Delta x_i}$$

$$y_{i4} = \frac{D_a}{2\Delta t}$$

$$U_i = -\frac{1}{\Delta x_i} (Q_{i+1}^j - Q_i^j) - q_{xa}$$

..... (3-12)

また、今まで説明を省略した変数を一応書き下しておく。

$$\Delta Q_i = Q_i^{j+1} - Q_i^j$$

$$\Delta H_i = H_i^{j+1} - H_i^j$$

$$Q_a = \frac{1}{2} \{ \theta (Q_{i+1}^{j+1} + Q_i^{j+1}) + (1-\theta) (Q_{i+1}^j + Q_i^j) \}$$

$$A_a = \frac{1}{2} \{ \theta (A_{i+1}^{j+1} + A_i^{j+1}) + (1-\theta) (A_{i+1}^j + A_i^j) \}$$

$$D_a = \frac{1}{2} \{ \theta (D_{i+1}^{j+1} + D_i^{j+1}) + (1-\theta) (D_{i+1}^j + D_i^j) \}$$

$$\beta_a = \frac{1}{2} \{ \theta (\beta_{i+1}^{j+1} + \beta_i^{j+1}) + (1-\theta) (\beta_{i+1}^j + \beta_i^j) \}$$

$$C_a = \frac{1}{2} \{ \theta (C_{i+1}^{j+1} + C_i^{j+1}) + (1-\theta) (C_{i+1}^j + C_i^j) \}$$

$$w_a = \frac{1}{2} \{ \theta (w_{i+1}^{j+1} + w_i^{j+1}) + (1-\theta) (w_{i+1}^j + w_i^j) \}$$

$$q_{xa} = \theta q_i^{j+1} + (1-\theta) q_i^j$$

..... (3-13)

このうち D_a は、高水敷に水がのる時や高水敷から水が引く時に急に变化する。この急変は計算上の不安定を招く恐れがあるので、次の操作により D_a の变化率を緩和する。

$$\left| \frac{D_i^{j+1}}{D_i^j} - 1 \right| > 0.1 \text{ または } \left| \frac{D_{i+1}^{j+1}}{D_{i+1}^j} - 1 \right| > 0.1 \text{ の時だけ}$$

$$D_a = \frac{1}{2} \left(\frac{A_{i+1}^{j+1} - A_i^j}{H_i^{j+1} - H_i^j} + \frac{A_{i+1}^{j+1} - A_{i+1}^j}{H_{i+1}^{j+1} - H_{i+1}^j} \right) \text{ (3-14)}$$

とする。それ以外の方は (3-13) 式の D_a を用いる。

(3-10) 式は図 3-3 の各断面間で成立する。それらの式をすべて合わせ、さらに上流端で流量・下

流端で水位を与える境界条件を加えると次の連立方程式が得られる。

$$\begin{pmatrix}
 1 & 0 & & & & \\
 x_{01} & x_{02} & x_{03} & x_{04} & & \\
 y_{01} & y_{02} & y_{03} & y_{04} & & \\
 & x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & \\
 & y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} & \\
 & & x_{21} & x_{22} & \cdots & \\
 & & y_{21} & y_{22} & \cdots & \\
 & & & \ddots & \ddots & \ddots \\
 & & & & x_{i1} & x_{i2} & x_{i3} & x_{i4} \\
 & & & & y_{i1} & y_{i2} & y_{i3} & y_{i4} \\
 & & & & & \ddots & \ddots & \ddots \\
 & & & & & & x_{N-1,1} & x_{N-1,2} & x_{N-1,3} & x_{N-1,4} \\
 & & & & & & y_{N-1,1} & y_{N-1,2} & y_{N-1,3} & y_{N-1,4} \\
 & & & & & & & 0 & 1 & \\
 \end{pmatrix}
 \times
 \begin{pmatrix}
 \Delta Q_0 \\
 \Delta H_0 \\
 \Delta Q_1 \\
 \Delta H_1 \\
 \Delta Q_2 \\
 \Delta H_2 \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \Delta Q_i \\
 \Delta H_i \\
 \Delta Q_{i+1} \\
 \Delta H_{i+1} \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \Delta Q_{N-1} \\
 \Delta H_{N-1} \\
 \Delta Q_N \\
 \Delta H_N
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 T_0 \\
 P_0 \\
 U_0 \\
 P_1 \\
 U_1 \\
 P_2 \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 P_i \\
 U_i \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 P_{N-2} \\
 U_{N-2} \\
 P_{N-1} \\
 U_{N-1} \\
 T_N
 \end{pmatrix}
 \quad (3-15)$$

なお、 T_0 、 T_N は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned}
 T_0 &= Q_0^{j+1} - Q_0^j \\
 T_N &= H_N^{j+1} - H_N^j
 \end{aligned} \right\} \quad (3-16)$$

分合流がない一本だけの河道であれば、 Q_0^j 、 H_N^j は境界条件として与えられ既知量となる。したがって未知数 $2N+2$ 個 (ΔQ_i 、 ΔH_i 、 $i=0, \dots, N$) に対して $2N+2$ 本の式からなる連立方程式が得られたことになる。(3-15) 式を解けば ΔQ_i 、 ΔH_i が求まり、これから次の時間ステップの各点の水位と流量を得る。

複数の河道が互いに連結した分合流のある河道系を計算の対象にする場合には、以下の式をまとめて解くことになる。

- (i) 各単一河道ごとに成立する (3-15) 式
- (ii) 各分合流点ごとに成立する (2-16) 式

(iii) 対象としている河道系全体の下流端と上流端の境界条件

単一河道の場合と同様に(i)~(iii)によって未知量の数と同数の式からなる連立方程式が得られ、それを解くことにより次の時間ステップの各点の水位と流量を求めることができる。

3-2 連立方程式の解法

前節で得られた連立方程式の解法について説明する。連立方程式の係数と定数項（(3-15)式で言えば係数 x_{ik} , y_{ik} と定数 P_i , U_i ）は、未知数 ΔQ_i , ΔH_i の関数となっている。このことは、解くべき連立方程式が非線型であることを意味する。そこで以下に示す逐次近似により解を求める。

- (i) $\Delta Q_i^{(k)}$, $\Delta H_i^{(k)}$ を仮定し、連立方程式の係数と定数項を求める。
- (ii) 得られた係数と定数をもとに $\Delta Q_i^{(k+1)}$, $\Delta H_i^{(k+1)}$ を求める（線型の連立方程式を解くことになる）。
- (iii) (ii)で得られた $\Delta Q_i^{(k+1)}$ と $\Delta H_i^{(k+1)}$ を用いて(i)を行なう。
- (iv) $[\Delta Q_i^{(k+1)} \div \Delta Q_i^{(k)} \text{ かつ } \Delta H_i^{(k+1)} \div \Delta H_i^{(k)}]$ がすべての i で成立するまで以上の計算を繰り返す。なお、逐次計算の最初では $\Delta Q^{(0)}$, $\Delta H^{(0)}$ を共に0とおいて(i)を行なう。

ところでこの逐次計算では、各繰返しステップ毎に線型の連立方程式を解かなばならない。河道が単一であれば(3-15)式だけが解く対象となる。係数行列が対角成分付近に集まっているので、この式を解くのは容易である（土研資料1939号P12-13参照）。しかし分合流を含む複数の河道を扱う場合には、各河道ごとに成立する(3-15)式と各分合流点において成立する(2-16)式をすべて合わせた連立方程式を解くことになる。単一河道と比較して未知量の数が多くなるだけでなく、係数行列が対角成分付近以外にも拡がるため、まともに解くと多大な時間を要する。そこで、各単一河道について成立する連立方程式が解きやすい形をしていることを利用して、次のような方法を用いる。

- (i) 各単一河道において成立する(3-15)式を変形して、上流端の流量と水位及び下流端の流量と水位相互の関係を求める。
- (ii) (2-16)式と(i)の結果及び境界条件から、分合流点の水位に関する連立方程式を導く（分合流点の数を m とすると、 $3m \times 3m$ の係数行列を持つ線型連立方程式となる）。
- (iii) この連立方程式を解き、その結果得られる分合流点の水位・流量の値を用いて各河道で成立する連立方程式を解く。

以下で、上記の方法に基づく具体的な計算手順を説明する。

(1) $H_N^{j+1} \sim Q_N^{j+1} \sim Q_0^{j+1}$ 関係

(3-15)式のうち上から3つを取り出す。

$$\begin{cases} \Delta Q_0 = T_0 \\ x_{01} \Delta Q_0 + x_{02} \Delta H_0 + x_{03} \Delta Q_1 + x_{04} \Delta H_1 = P_0 \\ y_{01} \Delta Q_0 + y_{02} \Delta H_0 + y_{03} \Delta Q_1 + y_{04} \Delta H_1 = U_0 \end{cases}$$

上式より次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 \cdot \Delta Q_1 + \eta_1 \cdot \Delta H_1 &= E_1 + F_1 \cdot T_0 \\ \left\{ \begin{aligned} \xi_1 &= x_{03} y_{02} - x_{02} y_{03} \\ \eta_1 &= x_{04} y_{02} - x_{02} y_{04} \\ E_1 &= y_{02} P_0 - x_{02} U_0 \\ F_1 &= x_{02} y_{01} - x_{01} y_{02} \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-17)$$

また次式を解くと、

$$\left\{ \begin{aligned} \xi_i \cdot \Delta Q_i + \eta_i \cdot \Delta H_i &= E_i + F_i T_0 \\ x_{i1} \cdot \Delta Q_i + x_{i2} \cdot \Delta H_i + x_{i3} \cdot \Delta Q_{i+1} + x_{i4} \cdot \Delta H_{i+1} &= P_i \\ y_{i1} \cdot \Delta Q_i + y_{i2} \cdot \Delta H_i + y_{i3} \cdot \Delta Q_{i+1} + y_{i4} \cdot \Delta H_{i+1} &= U_i \end{aligned} \right.$$

次式が得られる。

$$\left\{ \begin{aligned} \xi_{i+1} \cdot \Delta Q_{i+1} + \eta_{i+1} \cdot \Delta H_{i+1} &= E_{i+1} + F_{i+1} T_0 \\ \left\{ \begin{aligned} \xi_{i+1} &= x_{i3} y_{i2} \xi_i - x_{i3} y_{i1} \eta_i - x_{i2} y_{i3} \xi_i + x_{i1} y_{i3} \eta_i \\ \eta_{i+1} &= x_{i4} y_{i2} \xi_i - x_{i4} y_{i1} \eta_i - x_{i2} y_{i4} \xi_i + x_{i1} y_{i4} \eta_i \\ E_{i+1} &= P_i (y_{i2} \xi_i - y_{i1} \eta_i) - U_i (x_{i2} \xi_i - x_{i1} \eta_i) \\ &\quad + E_i (y_{i1} x_{i2} - y_{i2} x_{i1}) \\ F_{i+1} &= F_i (y_{i1} x_{i2} - y_{i2} x_{i1}) \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-18)$$

(3-17) 式から ξ_i, η_i, E_i, F_i の初期値 ($i=1$) を求め、(3-18) 式をそれらの漸化式として用いると、最終的に ξ_N, η_N, E_N, F_N を求めることができる。

$$\xi_N \cdot \Delta Q_N + \eta_N \cdot \Delta H_N = E_N + F_N \cdot T_0$$

が成立するから次式が導かれる。

$$\xi_N Q_N^{j+1} + \eta_N H_N^{j+1} - F_N Q_0^{j+1} = \xi_N Q_N^j + \eta_N H_N^j + E_N - F_N Q_0^j \dots\dots\dots (3-19)$$

以上により、 $H_N^{j+1} \sim Q_N^{j+1} \sim Q_0^{j+1}$ 関係が求まった。

(2) $H_0^{j+1} \sim Q_0^{j+1} \sim H_N^{j+1}$ 関係

(3-15) 式のうち下から3つを取り出す。

$$\begin{aligned} x_{N-1,1} \Delta Q_{N-1} + x_{N-1,2} \Delta H_{N-1} + x_{N-1,3} \Delta Q_N + x_{N-1,4} \Delta H_N &= P_{N-1} \\ y_{N-1,1} \Delta Q_{N-1} + y_{N-1,2} \Delta H_{N-1} + y_{N-1,3} \Delta Q_N + y_{N-1,4} \Delta H_N &= U_{N-1} \\ \Delta H_N &= T_N \end{aligned}$$

上式より次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{N-1} \cdot \Delta Q_{N-1} + \kappa_{N-1} \cdot \Delta H_{N-1} &= e_{N-1} + f_{N-1} \cdot T_N \\ \left\{ \begin{aligned} \epsilon_{N-1} &= x_{N-1,1} y_{N-1,3} - x_{N-1,3} y_{N-1,1} \\ \kappa_{N-1} &= x_{N-1,2} y_{N-1,3} - x_{N-1,3} y_{N-1,2} \\ e_{N-1} &= y_{N-1,3} P_{N-1} - x_{N-1,3} U_{N-1} \\ f_{N-1} &= x_{N-1,3} y_{N-1,4} - x_{N-1,4} y_{N-1,3} \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-20)$$

また次式を解くと、

$$\begin{aligned} x_{i-1,1} \Delta Q_{i-1} + x_{i-1,2} \Delta H_{i-1} + x_{i-1,3} \Delta Q_i + x_{i-1,4} \Delta H_i &= P_{i-1} \\ y_{i-1,1} \Delta Q_{i-1} + y_{i-1,2} \Delta H_{i-1} + y_{i-1,3} \Delta Q_i + y_{i-1,4} \Delta H_i &= U_{i-1} \\ \epsilon_i \cdot \Delta Q_i + \kappa_i \cdot \Delta H_i &= e_i + f_i T_N \end{aligned}$$

次式が得られる。

$$\left\{ \begin{aligned} \epsilon_{i-1} \cdot \Delta Q_{i-1} + \kappa_{i-1} \cdot \Delta H_{i-1} &= e_{i-1} + f_{i-1} \cdot T_N \\ \left\{ \begin{aligned} \epsilon_{i-1} &= x_{i-1,1} y_{i-1,4} \epsilon_i - x_{i-1,1} y_{i-1,3} \kappa_i - x_{i-1,4} y_{i-1,1} \epsilon_i + x_{i-1,3} y_{i-1,1} \kappa_i \\ \kappa_{i-1} &= x_{i-1,2} y_{i-1,4} \epsilon_i - x_{i-1,2} y_{i-1,3} \kappa_i - x_{i-1,4} y_{i-1,2} \epsilon_i + x_{i-1,3} y_{i-1,2} \kappa_i \\ e_{i-1} &= P_{i-1} (y_{i-1,4} \epsilon_i - y_{i-1,3} \kappa_i) - U_{i-1} (x_{i-1,4} \epsilon_i - x_{i-1,3} \kappa_i) \\ &\quad + e_i (y_{i-1,3} x_{i-1,4} - y_{i-1,4} x_{i-1,3}) \\ f_{i-1} &= f_i (y_{i-1,3} x_{i-1,4} - y_{i-1,4} x_{i-1,3}) \end{aligned} \right. \end{aligned} \right. \dots\dots\dots (3-21)$$

(3-20) 式から ϵ_i , κ_i , e_i , f_i の初期値 ($i=N-1$) を求め、(3-21) 式をそれらの漸化式として用いると、最終的に ϵ_0 , κ_0 , e_0 , f_0 を求めることができる。

$$\epsilon_0 \cdot \Delta Q_0 + \kappa_0 \Delta H_0 = e_0 + f_0 T_N$$

が成立するから次式が導かれる。

$$\epsilon_0 Q_0^{j+1} + \kappa_0 H_0^{j+1} - f_0 H_N^{j+1} = \epsilon_0 Q_0^j + \kappa_0 H_0^j + e_0 - f_0 H_N^j \dots\dots\dots (3-22)$$

以上により、 $H_0^{j+1} \sim Q_0^{j+1} \sim H_N^{j+1}$ 関係が求まった。

(3) 分合流点の水位 (未知) と既知量から分合流点の流量を求める式の誘導

a) 下流端に分合流点があり上流端では境界条件として既知の流量が与えられる河道の場合 (タイプ I)

(3-19) 式から次式を得る。

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_N^{j+1} = \pi_I \cdot H_N^{j+1} + \phi_I \\ \pi_I = -\frac{\eta_N}{\xi_N} \\ \phi_I = (F_N \cdot Q_0^{j+1} + \xi_N Q_N^j + \eta_N H_N^j + E_N - F_0 \cdot Q_0^j) / \xi_N \end{array} \right. \dots\dots\dots (3-23)$$

b) 上流端に分合流点があり下流端では境界条件として既知の水位が与えられる河道の場合(タイプⅡ)
(3-22)式から次式を得る。

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_0^{j+1} = \pi_{II} \cdot H_0^{j+1} + \phi_{II} \\ \pi_{II} = -\frac{\kappa_0}{\epsilon_0} \\ \phi_{II} = (f_0 \cdot H_N^{j+1} + \epsilon_0 Q_0^j + \kappa_0 H_0^j + e_0 - f_0 H_N^j) / \epsilon_0 \end{array} \right. \dots\dots\dots (3-24)$$

c) 上下流端に分合流点がある河道(タイプⅢ)

(3-19)式の Q_0^{j+1} に(3-22)式の Q_0^{j+1} を代入することにより次式が得られる。

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_N^{j+1} = \pi_{III} \cdot H_N^{j+1} + \pi'_{III} \cdot H_0^{j+1} + \phi_{III} \\ \pi_{III} = -\frac{\eta_N}{\xi_N} + \frac{F_N \cdot f_0}{\xi_N \cdot \epsilon_0} \\ \pi'_{III} = \frac{-F_N \cdot \kappa_0}{\xi_N \cdot \epsilon_0} \\ \phi_{III} = \frac{F_N}{\xi_N \cdot \epsilon_0} (\epsilon_0 Q_0^j + \kappa_0 H_0^j + e_0 - f_0 H_N^j) + Q_N^j + \frac{\eta_N}{\xi_N} H_N^j + \frac{E_N}{\xi_N} - \frac{F_N}{\xi_N} Q_0^j \end{array} \right. \dots\dots\dots (3-25)$$

(3-22)式から次式が得られる。

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_0^{j+1} = \pi_{III0} \cdot H_0^{j+1} + \pi'_{III0} \cdot H_N^{j+1} + \phi_{III0} \\ \pi_{III0} = -\frac{\kappa_0}{\epsilon_0} \\ \pi'_{III0} = \frac{f_0}{\epsilon_0} \\ \phi_{III0} = \frac{1}{\epsilon_0} (\epsilon_0 Q_0^j + \kappa_0 H_0^j + e_0 - f_0 H_N^j) \end{array} \right. \dots\dots\dots (3-26)$$

以上の(3-23), (3-24), (3-25), (3-26)式によって, いかなるタイプの河道についても, 分合流点の流量が分合流点未知水位と既知量($\pi_I, \phi_I, \pi_{II}, \phi_{II}, \pi_{III}, \pi'_{III}, \phi_{III}, \pi_{III0}, \pi'_{III0}, \phi_{III0}$)から求まるようになった。

(4) 分合流点の水位に関する連立方程式の誘導

図3-4に示す河道を例にとって説明する。丸で囲まれた数字は河道の番号を表す。また、各変数の上付き添字の番号は、変数その番号の河道に属することを表すものとする。(2-16)式に示した分合流点の条件から次式が得られる。

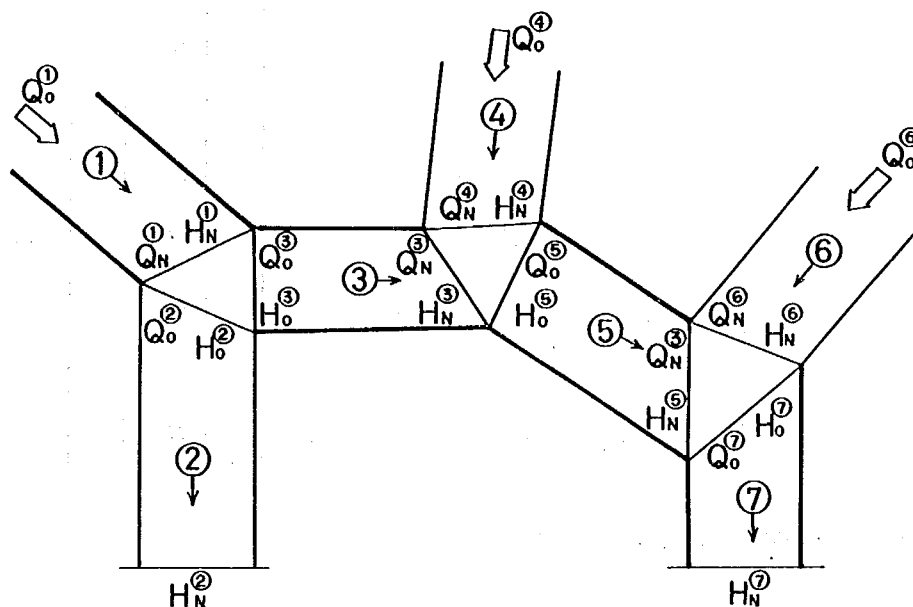


図3-4 モデル河道

$$\left. \begin{aligned}
 H_N^{(1)} &= H_0^{(2)} \\
 H_0^{(2)} &= H_0^{(3)} \\
 Q_N^{(1)} &= Q_0^{(2)} + Q_0^{(3)} \\
 H_N^{(3)} &= H_N^{(4)} \\
 H_N^{(4)} &= H_0^{(5)} \\
 Q_N^{(3)} + Q_N^{(4)} &= Q_0^{(5)} \\
 H_N^{(5)} &= H_N^{(6)} \\
 H_N^{(6)} &= H_0^{(7)} \\
 Q_N^{(5)} + Q_N^{(6)} &= Q_0^{(7)}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-27)$$

$Q_N^{(1)}$, $Q_N^{(4)}$, $Q_N^{(6)}$ については(3-23)式を, $Q_0^{(2)}$, $Q_0^{(7)}$ については(3-24)式を, $Q_0^{(3)}$, $Q_0^{(5)}$ については(3-26)式を, $Q_N^{(3)}$, $Q_N^{(5)}$ については(3-25)式を用いて流量を消去し整理すると, 分合流点の水位だ

けからなる連立方程式が得られる。

$$\begin{pmatrix}
 1 & -1 & & & & & & & & \\
 & 1 & -1 & & & & & & & \\
 \pi_I^{(1)} & -\pi_{II}^{(2)} & -\pi_{III0}^{(3)} & -\pi_{III0}'^{(3)} & & & & & & \\
 & & & 1 & -1 & & & & & \\
 & & & & 1 & -1 & & & & \\
 & & \pi_{III N}'^{(3)} & \pi_{III N}^{(3)} & \pi_I^{(4)} & -\pi_{III0}^{(5)} & -\pi_{III0}'^{(5)} & & & \\
 & & & & & & 1 & -1 & & \\
 & & & & & & & 1 & -1 & \\
 & & & & \pi_{III N}'^{(5)} & \pi_{III N}^{(5)} & \pi_I^{(6)} & -\pi_{II}^{(7)} & &
 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} H_N^{(1)} \\ H_0^{(2)} \\ H_0^{(3)} \\ H_N^{(3)} \\ H_N^{(4)} \\ H_0^{(5)} \\ H_N^{(5)} \\ H_N^{(6)} \\ H_0^{(7)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\phi_I^{(1)} + \phi_{II}^{(2)} + \phi_{III0}^{(3)} \\ 0 \\ 0 \\ -\phi_{III N}^{(3)} - \phi_I^{(4)} + \phi_{III0}^{(5)} \\ 0 \\ 0 \\ -\phi_{III N}^{(5)} - \phi_I^{(6)} + \phi_{II}^{(7)} \end{pmatrix}$$

〔左辺の行列中の空欄は 0 を表わす〕

..... (3-28)

係数行列の大きさがこの程度であれば、どんな解法を用いても計算時間に大きな差は出ない。(3-28) 式を解くことにより分合流点の水位が得られ、(3-23) ~ (3-26) 式を用いれば流量が求まる。以上により各河道の上下流端の水位・流量が与えられ、あとは各河道において成立する連立方程式を解けばすべての点の ΔH_i と ΔQ_i を求めることができる。

分合流のパターンが変わっても、基本的には今示した手順を用いればよい。また、分合流の条件として (2-17) 式を用いる場合には (3-27) 式が変わることになるが、最終的にはやはり分合流点の水位に関する線型連立方程式が導かれる。したがって手順が大きく変わることはない。もし分合流点の条件に非線型な関係 (例えば (2-17') 式で関数 f_i が Q や H に関して非線型である場合) を持込むとすると、得られる連立方程式が非線型となるので、分合流点の水位を求める時にも逐次近似を行なうことになる。しかし、基本的な手順はやはり同じである。

最後に本節で説明した差分方程式の解法の手順をまとめ、図 3-5 に示しておく。

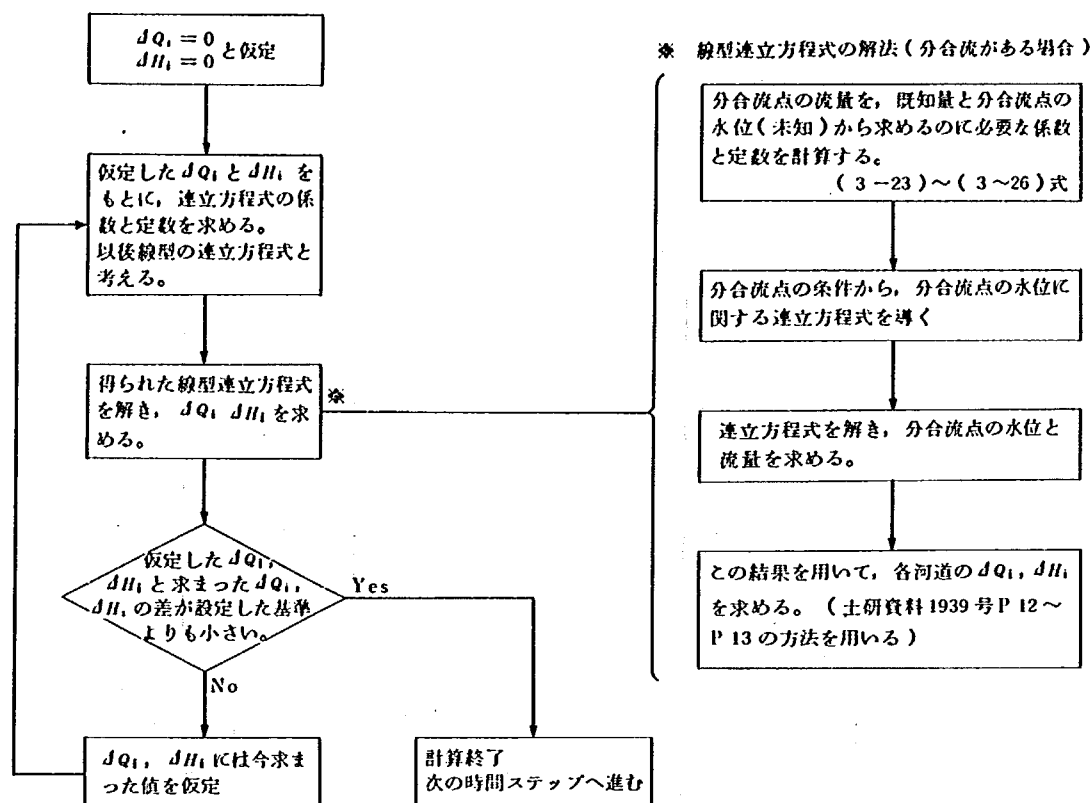


図 3-5 差分方程式を解く手順

3-3 初期水位の与え方について

不定流計算の初期水位には、不等流計算により得られる水位を用いる。この際、不定流計算と異なる基本式・差分法に基づく不等流計算法を用いると、不定流計算開始直後に乱れが生じる可能性がある。したがって、不定流計算に用いる基本式と差分法をそのまま使った不等流計算を行なう必要がある。具体的には、(2-15) 式から $\frac{\partial}{\partial t}$ の項を消去した式を基本式とすれば良い。

$$Q^2 \frac{\partial \beta}{\partial x} - \frac{\beta Q^2}{A} \frac{\partial A}{\partial x} + g A^2 \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{A}{\rho} T_r = 0 \quad \dots\dots\dots (3-29)$$

Q : 初期流量

差分には、3-1 節に示したものと同一方法を用いる。

分流がある場合には流量をあらかじめ決めることはできない。この場合には、分流量を仮定し、仮定した流量を用いて水位を求める。分流点で水位が合わない時には、流量を修正し水位を再び計算する。以上の手順を分流点の水位が合うまで繰返すことにより初期水位を求める。

第4章 プログラムの解説

4-1 計算フロー

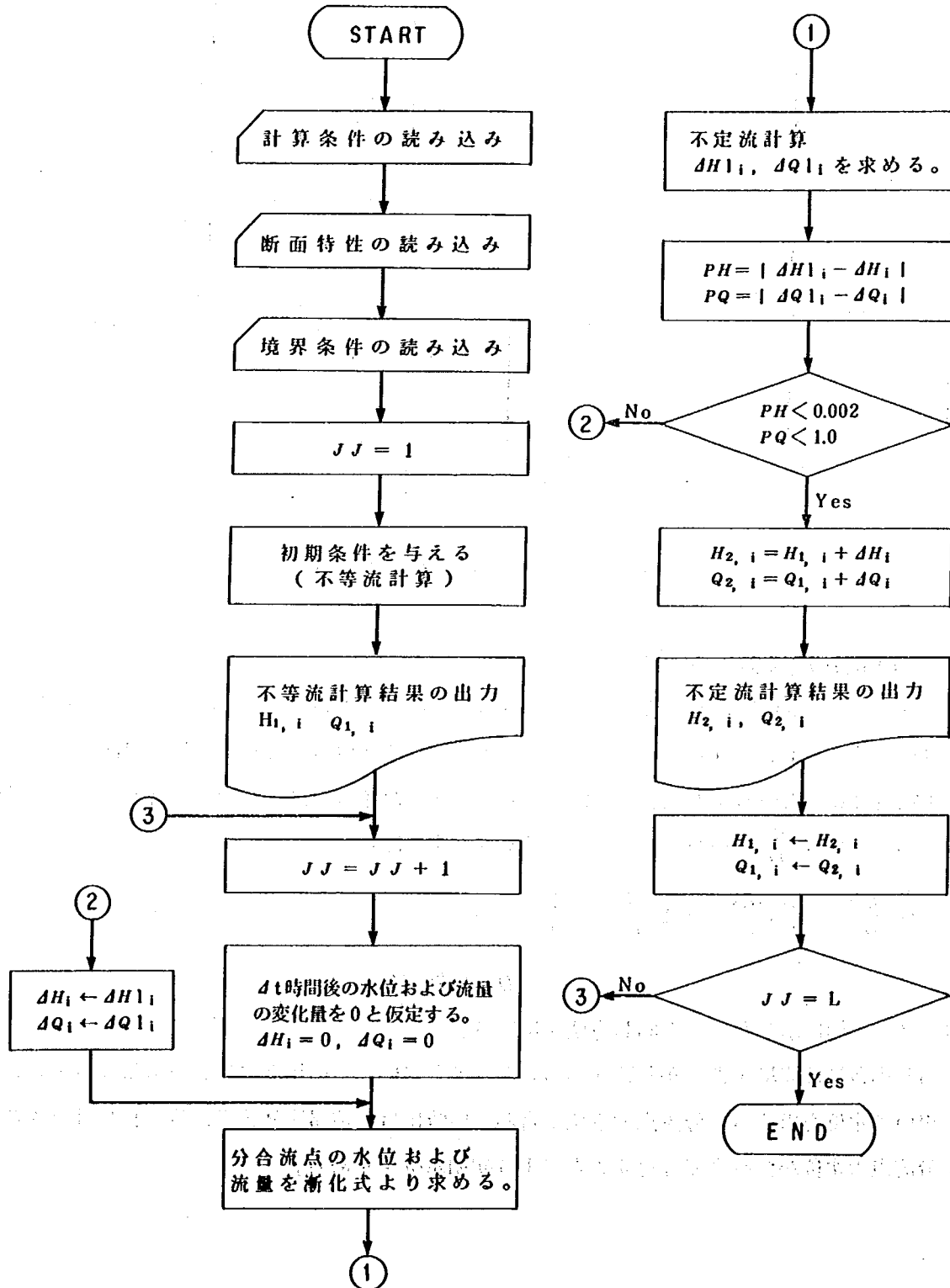


図4-1 フローチャート

・計算フローでの記号の説明

JJ : 時間ステップ

$H_{1,i}$: 不等流計算 or 1ステップ前の i 断面の水位 } 既知量

$Q_{1,i}$: 不等流計算 or 1ステップ前の i 断面の流量 } 既知量

$H_{2,i}$: 当該ステップの i 断面の水位 } 未知量

$Q_{2,i}$: 当該ステップの i 断面の流量 } 未知量

Δt : 時間ステップ間隔 (単位: sec)

ΔH_i : Δt 時間後の i 断面の水位変化量 (仮定)

ΔQ_i : Δt 時間後の i 断面の流量変化量 (仮定)

ΔH_i : 計算による Δt 時間後の i 断面の水位変化量

ΔQ_i : 計算による Δt 時間後の i 断面の流量変化量

PH : 仮定と計算による水位変化量の差

PQ : 仮定と計算による流量変化量の差

L : 時間ステップ数

4-2 SUBROUTINEの説明

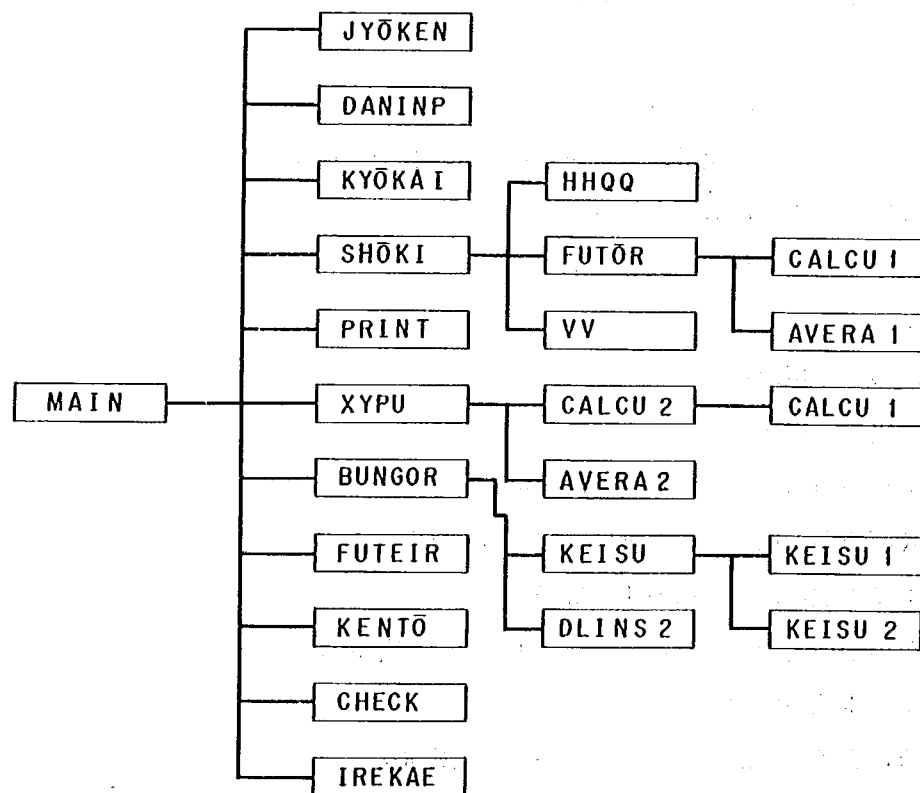


図4-2 プログラムの構成

1. JYOKEN

計算に必要な条件を与えるサブプログラム

必要な条件は以下の通りである (説明はREAD文の順序と同じ)

1. G : 重力加速度
2. M : 計算区間の断面数
3. L : 計算時間ステップ数
4. DT : 計算時間ステップ間隔 (単位: sec)
5. THE : 時間方向差分に関するパラメータ (本プログラムでは0.6)

6. KA : 河道の本数 (中間河道も一本と数える)
7. MU : 遊水池の個数
8. MH : 排水点の個数
9. KK : 分合流点の断面数 (= 分合流点数 × 3)
10. OME : 計算を速めるための加速係数 (本プログラムでは 1.2)
11. LA(K) : K 河道のタイプ

河道のタイプは以下の 3 つに分類される。

- 1 : 上流端で境界条件が与えられる (本川上流, 支川)
- 2 : 下流端で境界条件が与えられる (本川下流, 派川)
- 3 : 境界条件が与えられない (中間河道)

12. NS(K) : K 河道の上流端の断面番号
13. NE(K) : K 河道の下流端の断面番号
14. LP(K) : 不等流計算で流量配分を決めるときの K 河道のタイプ
タイプは以下の 4 つに分類される。

- 1 : 上流端で流量が与えられる (本川上流, 支川)
- 2 : 派川
- 3 : 分流後の本川河道
- 4 : 合流後の本川河道

15. BK(K) : K 河道への分流率 (適当に仮定, ここでは 0.3)
なお, K 河道が派川でないときは指定する必要なし。

16. LU : 遊水池がある場所の断面番号
遊水池が複数の断面にまたがっているときは全て指定する。

17. IU : 遊水池の属性
・ 一番上流にあるものから順に 1. 2. 3. …… と指定する。

18. LH : 排水点がある場所の断面番号

19. IH : 排水点の属性
上流にあるものから順に 1. 2. 3. …… と指定する。

2. DANINP

断面特性の読み込みを行なうサブプログラム

必要な断面特性は以下の通りである。

1. B(1, I) : I 断面の低水路幅
2. B(2, I) : I 断面の高水敷幅
3. Z(1, I) : I 断面の低水路高
4. Z(2, I) : I 断面の高水敷高

5. OM(1,I) : I断面の右岸堤防のり勾配 (単位:度)

6. OM(2,I) : I断面の左岸堤防のり勾配 (単位:度)

なお左右岸は逆でもかまわない。

7. N(1,I) : I断面の低水路の粗度係数

8. N(2,I) : I断面の高水敷の粗度係数

9. S(I) : I断面の累加距離

3. KYOKAI

境界条件の読み込みを行なうサブプログラム

必要な境界条件は以下の通りである。

1. QK(K,J) : K河道の上流端におけるJステップめのときの流量

2. HK(K,J) : K河道の下流端におけるJステップめのときの水位

4. SHOKI

不等流計算により初期値を求めるサブプログラム

最初の時間ステップ ($JJ=1$) のときの水位および流量を求める。

5. PRINT(J,JJ)

計算結果の出力を行なうサブプログラム

$J=1$: 不等流計算

$J=2$: 不定流計算

JJ : 当該時間ステップ

6. XYPV

第3章3-1(2)で説明した係数 x_{ij} , y_{ij} , P_i , U_i を求めるサブプログラム

7. BUNGOR(JJ)

分合流点の水位および流量を求めるサブプログラム

第3章3-2で説明した漸化式を用いる。

JJ : 当該時間ステップ

ここで現われる線型連立方程式の係数の大きさにはかなりの差があり桁落ちの恐れがある。また分合流点での計算誤差は他への影響が大きい。このため、このサブルーチンだけは倍精度で計算を行なっている。

8. FUTEIR

不定流計算を行なうサブプログラム

(3-15) 式の連立方程式を解く。

9. KENTO

不定流計算結果が誤差範囲内かどうか検討するサブプログラム

10. CHECK

河道内貯流や遊水池への流出量等をモニターするサブプログラム

11. IREKAE

当該時間ステップの諸量を1ステップ前の諸量に入れ換えるサブプログラム

4-3 不定流計算プログラム

ここで示すプログラムは、5章のモデル河道に対する試計算や6章で述べる利根川河道に対する不定流計算に用いたものである。このプログラムのほとんどの部分は他の任意の河道に対してもそのまま適用できる。ただし、分合流点の水位に関する連立方程式は、任意の分合流パターンに対応できるようにはなっていない。したがって分合流パターンが異なる河道の計算をする場合には、この部分を修正する必要がある（入力条件を変えるだけで任意の分合流パターンに対応できるようプログラム修正することは比較的容易であり、今後このような修正を行なう必要があろう）。

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
1		C MAIN PROGRAM
2	00001	COMMON /BLOCK1/M,L
3	00002	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365),SQ0(2,365),SQ1(2,365),
4		* DQ(365),DH(365)
5	00003	* COMMON /HENSU6/DH1(365),DQ1(365),DDQ(365),DDH(365),PQ,PH,DDDQ(365)
6		* ,DDDH(365)
7	00004	CALL JYOKEN
8	00005	CALL DANINP
9	00006	CALL KYOKAI
10	00007	CALL SHOKI
11	00008	CALL PRINT(1,1)
12	00009	J=2
13	00010	DO 10 JJ=2,L
14	00011	WRITE(6,101)
15	00012	101 FORMAT(7X,'PQ',14X,'PH')
16	00013	DO 15 I=1,M
17	00014	SQ0(J,I)=0
18	00015	SQ1(J,I)=0
19	00016	DQ(I)=0
20	00017	DH(I)=0
21	00018	DDQ(I)=0
22	00019	DDH(I)=0
23	00020	DDDQ(I)=0
24	00021	15 DDDH(I)=0
25	00022	40 CALL XYPV
26	00023	CALL BUNGOR(JJ)
27	00024	CALL FUTEIR
28	00025	DO 25 I=1,M
29	00026	DDDQ(I)=DDQ(I)
30	00027	25 DDDH(I)=DDH(I)
31	00028	CALL KENTO
32	00029	IF(PQ.LE.1..AND.PH.LE.0.002) GO TO 20
33	00030	WRITE(6,*) PQ,PH
34	00031	DO 30 I=1,M
35	00032	DQ(I)=DQ1(I)
36	00033	30 DH(I)=DH1(I)
37	00034	GO TO 40
38	00035	20 CALL PRINT(J,JJ)
39	00036	CALL CHECK(JJ)
40	00037	10 CALL IREKAE
41	00038	STOP
42	00039	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
43	00001	SUBROUTINE JYOKEN
44	00002	COMMON /BLOCK1/M,L,G,DT,THE
45	00003	COMMON /BLOCK2/KA,LA(7),LP(7),NS(7),NE(7),BK(7),KK,OME
46	00004	COMMON /BLOCK3/MO(365),MI(365),HU(2,365),V(2)
47	00005	G=9.8
48	00006	READ(5,*) M,L,DT,THE,KA,MU,MH,KK,OME
49	00007	READ(5,*) (LA(K),K=1,KA)
50	00008	READ(5,*) (NS(K),NE(K),K=1,KA)
51	00009	READ(5,*) (LP(K),K=1,KA)
52	00010	DO 10 K=1,KA
53	00011	10 IF(LP(K).EQ.2) READ(5,*) BK(K)
54	00012	DO 30 I=1,M
55	00013	30 MO(I)=0
56	00014	IF(MU.EQ.0) GO TO 20
57	00015	DO 40 K=1,MU
58	00016	READ(5,*) LU,IU
59	00017	40 MO(LU)=IU
60	00018	20 DO 60 I=1,M
61	00019	60 MI(I)=0
62	00020	IF(MH.EQ.0) GO TO 50
63	00021	DO 70 K=1,MH
64	00022	READ(5,*) LH,IH
65	00023	70 MI(LH)=IH
66	00024	50 RETURN
67	00025	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
68	00001	SUBROUTINE DANINP
69	00002	COMMON /BLOCK1/M
70	00003	COMMON /BLOCK4/B(2,365),Z(2,365),OM(2,365),N(2,365),S(365)
71	00004	REAL N
72	00005	READ(5,*) (B(1,I),B(2,I),I=1,M)
73	00006	READ(5,*) (Z(1,I),Z(2,I),I=1,M)
74	00007	READ(5,*) (OM(1,I),OM(2,I),I=1,M)
75	00008	READ(5,*) (N(1,I),N(2,I),I=1,M)
76	00009	READ(5,*) (S(I),I=1,M)
77	00010	RETURN
78	00011	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
79	00001	SUBROUTINE KYOKAI
80	00002	COMMON /BLOCK1/M,L
81	00003	COMMON /BLOCK2/KA,LA(7)
82	00004	COMMON /BLOCK5/QK(7,121),HK(7,121)
83	00005	DO 10 K=1,KA
84	00006	IF(LA(K).EQ.4) READ(5,*) (QK(K,J),J=1,L)
85	00007	IF(LA(K).EQ.4) READ(5,*) (HK(K,J),J=1,L)
86	00008	IF(LA(K).EQ.1) READ(5,*) (QK(K,J),J=1,L)
87	00009	10 IF(LA(K).EQ.2) READ(5,*) (HK(K,J),J=1,L)
88	00010	RETURN
89	00011	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
90	00001	SUBROUTINE SHOKI
91	00002	COMMON /BLOCK1/M
92	00003	COMMON /BLOCK2/KA,LA(7),LP(7),NS(7),NE(7),BK(7)
93	00004	COMMON /BLOCK3/MO(365)
94	00005	COMMON /BLOCK4/B(2,365),Z(2,365),OM(2,365),N(2,365)
95	00006	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365),SQO(2,365),SQI(2,365)
96	00007	REAL N
97	00008	JJ=1
98	00009	J=1
99	00010	DO 10 I=1,M
100	00011	SQO(J,I)=0
101	00012	10 SQI(J,I)=0
102	00013	CALL HHQQ(J,JJ)
103	00014	50 DO 30 K=1,KA
104	00015	NN=NE(K)
105	00016	NO=NS(K)
106	00017	IF(LP(K).EQ.1) QQ=Q(J,NO)
107	00018	IF(LP(K).EQ.2) QQ=Q(J,NE(K-1))+BK(K)
108	00019	IF(LP(K).EQ.3) QQ=Q(J,NE(K-2))+ (1.-BK(K-1))
109	00020	IF(LP(K).EQ.4) QQ=Q(J,NE(K-1))+Q(J,NE(K-2))
110	00021	DO 30 I=NO,NN
111	00022	30 Q(J,I)=QQ
112	00023	DO 40 K=KA,1,-1
113	00024	NN=NE(K)
114	00025	NO=NS(K)
115	00026	IF(KA.EQ.1) GO TO 7
116	00027	IF(K.EQ.1) GO TO 5
117	00028	IF(LA(K).EQ.3) GO TO 5
118	00029	IF(LA(K).EQ.1) H(J,NN)=H(J,NS(K+1))
119	00030	GO TO 6
120	00031	5 H(J,NN)=H(J,NS(K+2))
121	00032	6 IF(LA(K).EQ.1) GO TO 40
122	00033	7 CALL FUTORY(J,NN,NO)
123	00034	IF(LA(K).NE.2) GO TO 40
124	00035	IF(K.EQ.KA) GO TO 40
125	00036	ED=H(J,NO)-H(J,NS(K+1))
126	00037	WRITE(6,*) ED
127	00038	IF(ABS(ED).LT.0.001) GO TO 40
128	00039	EDD=ED/2.
129	00040	QE=0
130	00041	DO 20 I=1,2
131	00042	IF(H(J,NO).LE.Z(I,NO)) GO TO 4
132	00043	20 QE=QE+B(I,NO)*((H(J,NO)-Z(I,NO))-EDD)**(5./3.)*(1./3000.)*(1./2.)
133		*N(I,NO)
134	00044	4 QF=0
135	00045	DO 70 I=1,2
136	00046	IF(H(J,NO).LE.Z(I,NO)) GO TO 3
137	00047	70 QF=QF+B(I,NO)*((H(J,NO)-Z(I,NO))* (5./3.)*(1./3000.)*(1./2.)/N(I,NO)
138		*0)
139	00048	3 BK(K)=(Q(J,NO)+QE-QF)/Q(J,NE(K-1))
140	00049	WRITE(6,*) BK(K)

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
141	00050	GO TO 50
142	00051	40 CONTINUE
143	00052	DO 60 K=1,KA
144	00053	IF(LA(K).NE.1) GO TO 60
145	00054	NN=NE(K)
146	00055	NO=NS(K)
147	00056	CALL FUTORY(J,NN,NO)
148	00057	60 CONTINUE
149	00058	DO 80 I=1,H
150	00059	80 IF(MO(I).EQ.2) CALL VV(J,I)
151	00060	RETURN
152	00061	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
153	00001	SUBROUTINE HHQQ(J,JJ)
154	00002	COMMON /BLOCK2/KA,LA(7),LP(7),NS(7),NE(7)
155	00003	COMMON /BLOCK5/QK(7,121),HK(7,121)
156	00004	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365)
157	00005	DO 10 K=1,KA
158	00006	NN=NE(K)
159	00007	NO=NS(K)
160	00008	IF(LA(K).EQ.4) Q(J,NO)=QK(K,JJ)
161	00009	IF(LA(K).EQ.4) H(J,NN)=HK(K,JJ)
162	00010	IF(LA(K).EQ.1) Q(J,NO)=QK(K,JJ)
163	00011	10 IF(LA(K).EQ.2) H(J,NN)=HK(K,JJ)
164	00012	RETURN
165	00013	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
166	00001	SUBROUTINE FUTORY(J,NN,NO)
167	00002	COMMON /BLOCK1/H,L,G
168	00003	COMMON /BLOCK4/B(2,365),Z(2,365),OM(2,365),N(2,365),S(365)
169	00004	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365)
170	00005	COMMON /BLOCK7/AA,BEA,QA,DA,BED,CA
171	00006	REAL N
172	00007	CALL CALCUI(J,NN)
173	00008	DO 10 I=NN-1,NO,-1
174	00009	DX=(S(I)-S(I+1))*1000.
175	00010	HC=(Q(J,I)**2/(B(1,I)**2*G))**(1./3.)
176	00011	H(J,I)=H(J,I+1)+Z(1,I)-Z(1,I+1)
177	00012	IF(H(J,I)-Z(1,I).LE.HC) H(J,I)=HC+1.2+Z(1,I)
178	00013	20 IF(H(J,I)-Z(1,I).LE.HC) THEN
179	00014	H(J,I)=HC+Z(1,I)
180	00015	GO TO 10
181	00016	ELSE
182	00017	GO TO 1
183	00018	END IF
184	00019	1 CALL CALCUI(J,I)
185	00020	CALL AVERA1(J,I)
186	00021	A1=G*AA**2-BEA*QA**2+DA/AA
187	00022	HH=H(J,I+1)+QA**2+BED/A1+G*AA+CA+QA**2+DX/A1
188	00023	IF(ABS(HH-H(J,I)).LT.0.001) GO TO 10
189	00024	H(J,I)=HH
190	00025	GO TO 20
191	00026	10 CONTINUE
192	00027	RETURN
193	00028	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
194	00001	SUBROUTINE CALCUI(J,I)
195	00002	COMMON /BLOCK4/B(2,365),Z(2,365),OM(2,365),N(2,365)
196	00003	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365)
197	00004	COMMON /BLOCK8/A(2,365),D(2,365),BE(2,365),C(2,365),W(2,365)
198	00005	DIMENSION AM(2),RM(2),AL(2)
199	00006	REAL N
200	00007	AM(1)=B(1,I)+(H(J,I)-Z(1,I))
201	00008	IF(H(J,I).LE.Z(2,I)) GO TO 60
202	00009	IF(OM(1,I).EQ.90.) GO TO 70
203	00010	B1=(H(J,I)-Z(2,I))/TAN(OM(1,I)+3.14/180.)
204	00011	GO TO 75
205	00012	70 B1=0.
206	00013	IF(OM(2,I).EQ.90.) GO TO 80
207	00014	B2=(H(J,I)-Z(2,I))/TAN(OM(2,I)+3.14/180.)
208	00015	GO TO 85
209	00016	80 B2=0
210	00017	85 AM(2)=(2.*B(2,I)+B1+B2)*(H(J,I)-Z(2,I))/2.

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
211	00018	DM=B(2,I)+B1+B2
212	00019	GO TO 90
213	00020	60 AM(2)=0
214	00021	DM=0
215	00022	90 A(J,I)=AM(1)+AM(2)
216	00023	D(J,I)=B(1,I)+DM
217	00024	ARN=0
218	00025	ARN2=0
219	00026	RN=0
220	00027	DO 10 K=1,2
221	00028	IF(AM(K).EQ.0) GO TO 50
222	00029	RM(K)=AM(K)/B(K,I)
223	00030	ARN=ARN+AM(K)*RM(K)**(2./3.)/N(K,I)
224	00031	ARN2=ARN2+AM(K)*RM(K)**(4./3.)/N(K,I)**2
225	00032	10 RN=RN+RM(K)**(2./3.)*AM(K)/N(K,I)
226	00033	50 BE(J,I)=ARN2*A(J,I)/RN**2
227	00034	C(J,I)=0
228	00035	DO 20 K=1,2
229	00036	IF(AM(K).EQ.0) GO TO 30
230	00037	AL(K)=AM(K)*RM(K)**(2./3.)/(N(K,I)*ARN)
231	00038	20 C(J,I)=C(J,I)+N(K,I)**2*AL(K)**2/(RM(K)**(4./3.)*AM(K))
232	00039	W(J,I)=AL(2)*Q(J,I)/AM(2)
233	00040	GO TO 40
234	00041	30 W(J,I)=0
235	00042	40 RETURN
236	00043	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
237	00001	SUBROUTINE AVERA1(J,I)
238	00002	COMMON /BLOCK6/Q(2,365)
239	00003	COMMON /BLOCK7/AA,BEA,QA,DA,BED,CA
240	00004	COMMON /BLOCK8/A(2,365),D(2,365),BE(2,365),C(2,365)
241	00005	QA=(Q(J,I)+Q(J,I+1))/2.
242	00006	BED=BE(J,I+1)-BE(J,I)
243	00007	AA=(A(J,I)+A(J,I+1))/2.
244	00008	BEA=(BE(J,I)+BE(J,I+1))/2.
245	00009	DA=(D(J,I)+D(J,I+1))/2.
246	00010	CA=(C(J,I)+C(J,I+1))/2.
247	00011	RETURN
248	00012	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
249	00001	SUBROUTINE XYPU
250	00002	COMMON /BLOCK1/M,L,G,DT,THE
251	00003	COMMON /BLOCK2/KA,LA(7),LP(7),NS(7),NE(7),BK(7),KK,OME
252	00004	COMMON /BLOCK4/B(2,365),Z(2,365),OM(2,365),N(2,365),S(365)
253	00005	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365),SQO(2,365),SQI(2,365),
254		* DQ(365),DH(365)
255	00006	COMMON /BLOCK7/AA,BEA,QA,DA,BED,CA,WA,SQIA,SQOA
256	00007	COMMON /HENSU1/X(365,4),Y(365,4),P(365),U(365)
257	00008	COMMON /HENSU6/DH1(365),DQ1(365),DDQ(365),DDH(365),PQ,PH,DDDQ(365)
258		* ,DDDH(365)
259	00009	DDD=1.
260	00010	DO 10 I=1,M
261	00011	IF(DDQ(I)+DDDQ(I).LT.0) DDD=-1.
262	00012	IF(DDDH(I).EQ.0) DDD=0
263	00013	H(2,I)=H(1,I)+DH(I)+(OME-1.)*DDH(I)+DDD
264	00014	DDD=1.
265	00015	IF(DDH(I)+DDDH(I).LT.0) DDD=-1.
266	00016	IF(DDDQ(I).EQ.0) DDD=0
267	00017	10 Q(2,I)=Q(1,I)+DQ(I)+(OME-1.)*DDQ(I)+DDD
268	00018	DO 20 K=1,KA
269	00019	NN=NE(K)
270	00020	NO=NS(K)
271	00021	CALL CALC2(2,NN,NO)
272	00022	DO 20 I=NO,NN-1
273	00023	CALL AVERA2(I)
274	00024	DX=(S(I)-S(I+1))*1000.
275	00025	X(1,1)=AA/(2.*DT)+G*AA*CA*ABS(Q(1,I)+Q(1,I+1))*GAM(I)/4.
276	00026	X(1,2)=-BEA*QA*DA/DT+BEA*QA**2*DA*THE/(DX*AA)-G*AA**2*THE/DX
277	00027	X(1,3)=X(1,1)
278	00028	X(1,4)=-BEA*QA*DA/DT-BEA*QA**2*DA*THE/(DX*AA)+G*AA**2*THE/DX
279	00029	P(I)=BEA*QA**2*DA*(H(1,I+1)-H(1,I))/(AA*DX)-G*AA**2*(H(1,I+1)-H(1,I))/DX-G*AA*CA*(Q(1,I)+Q(1,I+1))*ABS(Q(1,I)+Q(1,I+1))*GAM(I)/4.-QA
280		**2*BED/DX-AA*WA*SQOA+2.*BEA*QA*SQIA
281		Y(I,1)=-THE/DX
282	00030	Y(I,2)=DA/(2.*DT)
283	00031	

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
284	00032	Y(I,3)=THE/DX
285	00033	Y(I,4)=Y(I,2)
286	00034	20 U(I)=- (Q(1,I+1)-Q(1,I))/DX-SQQA+SQIA
287	00035	RETURN
288	00036	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
289	00001	SUBROUTINE CALC2(J,NN,NO)
290	00002	COMMON /BLOCK3/MO(365),MI(365),HU(2,365)
291	00003	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365),SQO(2,365),SQI(2,365)
292	00004	DO 10 I=NO,NN
293	00005	CALL CALC1(J,I)
294	00006	IF(MO(I).EQ.0) GO TO 20
295	00007	HU(J,I)=US(J,I)
296	00008	SQO(J,I)=EO(J,I)
297	00009	20 IF(MI(I).EQ.0) GO TO 10
298	00010	SQI(J,I)=EI(J,I)
299	00011	10 CONTINUE
300	00012	RETURN
301	00013	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
302	00001	FUNCTION US(J,I)
303	00002	US=0
304	00003	RETURN
305	00004	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
306	00001	FUNCTION EO(J,I)
307	00002	COMMON /BLOCK1/M,L,G,DT
308	00003	COMMON /BLOCK3/MO(365),MI(365),HU(2,365),V(2)
309	00004	COMMON /BLOCK4/B(2,365),Z(2,365),OH(2,365),N(2,365),S(365)
310	00005	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365)
311	00006	IF(MO(I).EQ.1) GO TO 1
312	00007	IF(MO(I).EQ.2) GO TO 2
313	00008	IF(MO(I).EQ.3) GO TO 3
314	00009	1 H1=H(J,I)-11.9
315	00010	IF(H1.LE.0) GO TO 4
316	00011	HW=11.9-Z(2,I)
317	00012	UM=.28+.37*H1/HW
318	00013	EO=UM*H1+SQRT(2.*G*H1)*280./((S(I)-S(I+1))*1000.)
319	00014	GO TO 5
320	00015	2 CALL VV(J,I)
321	00016	EO=(V(J)-V(J-1))/(DT*(S(I)-S(I+1))*1000.)
322	00017	GO TO 5
323	00018	3 H1=H(J,I)-9.6
324	00019	IF(H1.LE.0) GO TO 4
325	00020	HW=9.6-Z(2,I)
326	00021	UM=.28+.37*H1/HW
327	00022	EO=UM*H1+SQRT(2.*G*H1)*450./((S(I)-S(I+1))*1000.)
328	00023	GO TO 5
329	00024	4 EO=0
330	00025	5 RETURN
331	00026	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
332	00001	SUBROUTINE VV(J,I)
333	00002	COMMON /BLOCK3/MO(365),MI(365),HU(2,365),V(2)
334	00003	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365)
335	00004	IF(H(J,I).LT.5.) V(J)=0
336	00005	IF(H(J,I).GE.5.) V(J)=75720.*H(J,I)-378600.
337	00006	IF(H(J,I).GE.5.5) V(J)=231712.*H(J,I)-1236556.
338	00007	IF(H(J,I).GE.6.) V(J)=530928.*H(J,I)-3031852.
339	00008	IF(H(J,I).GE.6.5) V(J)=1154418.*H(J,I)-7084537.
340	00009	IF(H(J,I).GE.7.) V(J)=1867966.*H(J,I)-12079373.
341	00010	IF(H(J,I).GE.7.5) V(J)=2487412.*H(J,I)-16725218.
342	00011	IF(H(J,I).GE.8.) V(J)=2939812.*H(J,I)-20344418.
343	00012	IF(H(J,I).GE.8.5) V(J)=3216416.*H(J,I)-22695552.
344	00013	IF(H(J,I).GE.9.) V(J)=3520258.*H(J,I)-25430130.
345	00014	IF(H(J,I).GE.9.5) V(J)=3794570.*H(J,I)-28036094.
346	00015	IF(H(J,I).GE.10.) V(J)=4439569.*H(J,I)-34486086.
347	00016	RETURN
348	00017	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
349	00001	FUNCTION EI(J,I)
350	00002	EI=0
351	00003	RETURN
352	00004	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
353	00001	SUBROUTINE AVERA2(I)
354	00002	COMMON /BLOCK1/M,L,G,DT,THE
355	00003	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365),SQD(2,365),SQI(2,365)
356	00004	COMMON /BLOCK7/AA,BEA,QA,DA,BED,CA,WA,SQIA,SQOA,DAA(365)
357	00005	COMMON /BLOCK8/A(2,365),D(2,365),BE(2,365),C(2,365),W(2,365)
358	00006	AA=BB(I,A)
359	00007	BEA=BB(I,BE)
360	00008	QA=BB(I,Q)
361	00009	CA=BB(I,C)
362	00010	WA=BB(I,W)
363	00011	SQOA=CC(I,SQO)
364	00012	SQIA=CC(I,SQI)
365	00013	BED=THE*(BE(2,I+1)-BE(2,I))+(1.-THE)*(BE(1,I+1)-BE(1,I))
366	00014	DB1=D(2,I)/D(1,I)
367	00015	DB2=D(2,I+1)/D(1,I+1)
368	00016	IF(DB1.GT.1.1.OR.DB1.LT.0.9) GO TO 5
369	00017	IF(DB2.GT.1.1.OR.DB2.LT.0.9) GO TO 5
370	00018	DA=BB(I,D)
371	00019	GO TO 6
372	00020	5 IF(H(2,I)-H(1,I).EQ.0) GO TO 1
373	00021	DA1=(A(2,I)-A(1,I))/(H(2,I)-H(1,I))
374	00022	GO TO 2
375	00023	1 DA1=A(2,I)/H(2,I)
376	00024	2 IF(H(2,I+1)-H(1,I+1).EQ.0) GO TO 3
377	00025	DA2=(A(2,I+1)-A(1,I+1))/(H(2,I+1)-H(1,I+1))
378	00026	GO TO 4
379	00027	3 DA2=A(2,I+1)/H(2,I+1)
380	00028	4 DA=(DA1+DA2)/2.
381	00029	6 DAA(I)=DA
382	00030	RETURN
383	00031	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
384	00001	FUNCTION BB(I,AI)
385	00002	COMMON /BLOCK1/M,L,G,DT,THE
386	00003	DIMENSION AI(2,365)
387	00004	AB1=AI(2,I)-AI(1,I)
388	00005	AB2=AI(2,I+1)-AI(1,I+1)
389	00006	BB=(AI(1,I)+AI(1,I+1)+THE*(AB1+AB2))/2.
390	00007	RETURN
391	00008	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
392	00001	FUNCTION GAM(I)
393	00002	COMMON /BLOCK1/M,L,G,DT,THE
394	00003	COMMON /BLOCK6/Q(2,365)
395	00004	IF(Q(1,I)+Q(1,I+1).EQ.0) THEN
396	00005	GAM=1.
397	00006	GO TO 10
398	00007	ELSE
399	00008	X=(Q(2,I)-Q(1,I)+Q(2,I+1)-Q(1,I+1))/(Q(1,I)+Q(1,I+1))
400	00009	GAM=(1.+2.*THE*X+THE**2*X**2)/(1.+X)
401	00010	END IF
402	00011	10 RETURN
403	00012	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
404	00001	FUNCTION CC(I,CI)
405	00002	COMMON /BLOCK1/M,L,G,DT,THE
406	00003	DIMENSION CI(2,365)
407	00004	CC=CI(1,I)+THE*(CI(2,I)-CI(1,I))
408	00005	RETURN
409	00006	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
410	00001	SUBROUTINE BUNGOR(JJ)
411	00002	REAL*8 E,EN,EPS
412	00003	COMMON /BLOCK2/KA,LA(7),LP(7),NS(7),NE(7),BK(7),KK
413	00004	COMMON /BLOCK5/QK(7,121),HK(7,121)
414	00005	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365)
415	00006	COMMON /HENSU3/PI(7),PIO(7),PIOD(7),PIND(7),PIN(7),PHI(7),PHIO(7),
416		* PHIN(7)
417	00007	DIMENSION E(9,9),EN(9),NANS(9)
418	00008	EPS=-1.
419	00009	EE=1000.
420	00010	IF(H(2,NS(2)).LE.1.) GO TO 2
421	00011	GO TO 3
422	00012	2 AS=.109
423	00013	BS=-1.395
424	00014	IF(H(1,NS(2)).GE.12.8) GO TO 1
425	00015	AS=0
426	00016	BS=0
427	00017	GO TO 1
428	00018	3 AS=.109
429	00019	BS=-1.395
430	00020	IF(H(2,NS(2)).GE.12.8) GO TO 1
431	00021	AS=0
432	00022	BS=0
433	00023	1 DO 5 I=1,KA
434	00024	NN=NE(I)
435	00025	NO=NS(I)
436	00026	IF(LA(I).EQ.1) Q(2,NO)=QK(I,JJ)
437	00027	5 IF(LA(I).EQ.2) H(2,NN)=HK(I,JJ)
438	00028	DO 10 I=1,KK
439	00029	DO 10 J=1,KK
440	00030	10 E(I,J)=0
441	00031	DO 20 I=1,KK-1
442	00032	E(I,I)=1.
443	00033	20 E(I,I+1)=-1.
444	00034	E(1,2)=-1.-AS
445	00035	E(2,2)=1.+AS
446	00036	CALL KEISU(JJ)
447	00037	E(3,1)=PI(1)/EE
448	00038	E(3,2)=-PI(2)/EE
449	00039	E(3,3)=-PI(3)/EE
450	00040	E(3,4)=-PI(4)/EE
451	00041	E(6,3)=PIND(3)/EE
452	00042	E(6,4)=PIN(3)/EE
453	00043	E(6,5)=PI(4)/EE
454	00044	E(6,6)=-PI(5)/EE
455	00045	E(6,7)=-PI(6)/EE
456	00046	E(9,6)=PIND(5)/EE
457	00047	E(9,7)=PIN(5)/EE
458	00048	E(9,8)=PI(6)/EE
459	00049	E(9,9)=-PI(7)/EE
460	00050	DO 30 I=1,KK
461	00051	30 EN(I)=0
462	00052	EN(1)=BS
463	00053	EN(2)=-BS
464	00054	EN(3)=(PHI(2)+PHIO(3)-PHI(1))/EE
465	00055	EN(6)=(PHIO(5)-PHI(4)-PHIN(3))/EE
466	00056	EN(9)=(PHI(7)-PHI(6)-PHIN(5))/EE
467	00057	CALL DLINS2(E,9,9,EN,NANS,NSTOP,EPS)
468	00058	H(2,NE(1))=EN(1)
469	00059	H(2,NS(2))=EN(2)
470	00060	H(2,NS(3))=EN(3)
471	00061	H(2,NE(3))=EN(4)
472	00062	H(2,NE(4))=EN(5)
473	00063	H(2,NS(5))=EN(6)
474	00064	H(2,NE(5))=EN(7)
475	00065	H(2,NE(6))=EN(8)
476	00066	H(2,NS(7))=EN(9)
477	00067	Q(2,NE(1))=PI(1)+H(2,NE(1))+PHI(1)
478	00068	Q(2,NS(2))=PI(2)+H(2,NS(2))+PHI(2)
479	00069	Q(2,NS(3))=PI(3)+H(2,NS(3))+PIOD(3)+H(2,NE(3))+PHIO(3)
480	00070	Q(2,NE(3))=PIN(3)+H(2,NE(3))+PIND(3)+H(2,NS(3))+PHIN(3)
481	00071	Q(2,NE(4))=PI(4)+H(2,NE(4))+PHI(4)
482	00072	Q(2,NS(5))=PI(5)+H(2,NS(5))+PIOD(5)+H(2,NE(5))+PHIO(5)
483	00073	Q(2,NE(5))=PIN(5)+H(2,NE(5))+PIND(5)+H(2,NS(5))+PHIN(5)
484	00074	Q(2,NE(6))=PI(6)+H(2,NE(6))+PHI(6)
485	00075	Q(2,NS(7))=PI(7)+H(2,NS(7))+PHI(7)
486	00076	RETURN
487	00077	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
488	00001	SUBROUTINE KEISU(JJ)
489	00002	COMMON /BLOCK2/KA,LA(7),LP(7),NS(7),NE(7)
490	00003	COMMON /BLOCK5/QK(7,121),HK(7,121)
491	00004	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365)
492	00005	COMMON /HENSU3/PI(7),PIO(7),PIOD(7),PIND(7),PIN(7),PHI(7),PHIO(7),
493		PHIN(7)
494	00006	* COMMON /HENSU4/ETA(365),XI(365),FL(365),EL(365),KAP(365),EPS(365),
495		* FS(365),ES(365)
496	00007	REAL KAP
497	00008	DO 10 I=1,KA
498	00009	NN=NE(I)
499	00010	NO=NS(I)
500	00011	IF(LA(I).EQ.1) GO TO 20
501	00012	IF(LA(I).EQ.2) GO TO 30
502	00013	IF(LA(I).EQ.3) GO TO 40
503	00014	20 CALL KEISU1(NN,NO)
504	00015	PI(I)=-ETA(NN)/XI(NN)
505	00016	PHI(I)=(FL(NN)*(QK(I,JJ)-QK(I,JJ-1))+XI(NN)*Q(1,NN)+ETA(NN)*H(1,NN
506		*)+EL(NN))/XI(NN)
507	00017	GO TO 10
508	00018	30 CALL KEISU2(NN,NO)
509	00019	PI(I)=-KAP(NO)/EPS(NO)
510	00020	PHI(I)=(FS(NO)*(HK(I,JJ)-HK(I,JJ-1))+EPS(NO)*Q(1,NO)+KAP(NO)*H(1,N
511		*O)+ES(NO))/EPS(NO)
512	00021	GO TO 10
513	00022	40 CALL KEISU1(NN,NO)
514	00023	CALL KEISU2(NN,NO)
515	00024	PIO(I)=-KAP(NO)/EPS(NO)
516	00025	PIOD(I)=FS(NO)/EPS(NO)
517	00026	PIN(I)=-ETA(NN)/XI(NN)+FL(NN)*FS(NO)/(XI(NN)*EPS(NO))
518	00027	PIND(I)=-FL(NN)*KAP(NO)/(XI(NN)*EPS(NO))
519	00028	PHIO(I)=(EPS(NO)*Q(1,NO)+KAP(NO)*H(1,NO)+ES(NO)-FS(NO)*H(1,NN))/EP
520		*S(NO)
521	00029	PHIN(I)=FL(NN)/(XI(NN)*EPS(NO))+EPS(NO)*Q(1,NO)+KAP(NO)*H(1,NO)+E
522		*S(NO)-FS(NO)*H(1,NN))+Q(1,NN)+ETA(NN)/XI(NN)+H(1,NN)+EL(NN)/XI(NN)
523		*-FL(NN)/XI(NN)*Q(1,NO)
524	00030	10 CONTINUE
525	00031	RETURN
526	00032	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
527	00001	SUBROUTINE KEISU1(NN,NO)
528	00002	COMMON /HENSU1/X(365,4),Y(365,4),P(365),U(365)
529	00003	COMMON /HENSU4/ETA(365),XI(365),FL(365),EL(365)
530	00004	N1=NO+1
531	00005	XI(N1)=X(NO,3)*Y(NO,2)-X(NO,2)*Y(NO,3)
532	00006	ETA(N1)=X(NO,4)*Y(NO,2)-X(NO,2)*Y(NO,4)
533	00007	EL(N1)=Y(NO,2)*P(NO)-X(NO,2)*U(NO)
534	00008	FL(N1)=X(NO,2)*Y(NO,1)-X(NO,1)*Y(NO,2)
535	00009	DO 10 I=N1,NN-1
536	00010	XI(I+1)=X(I,3)*Y(I,2)*XI(I)-X(I,3)*Y(I,1)*ETA(I)-X(I,2)*Y(I,3)*XI(I
537		*I)+X(I,1)*Y(I,3)*ETA(I)
538	00011	ETA(I+1)=X(I,4)*Y(I,2)*XI(I)-X(I,4)*Y(I,1)*ETA(I)-X(I,2)*Y(I,4)*XI
539		*(I)+X(I,1)*Y(I,4)*ETA(I)
540	00012	EL(I+1)=P(I)*Y(I,2)*XI(I)-Y(I,1)*ETA(I)-U(I)*(X(I,2)*XI(I)-X(I,1
541		*)*ETA(I))+EL(I)*Y(I,1)*X(I,2)-Y(I,2)*X(I,1))
542	00013	FL(I+1)=FL(I)*(Y(I,1)*X(I,2)-Y(I,2)*X(I,1))
543	00014	ETA(I+1)=ETA(I+1)/XI(I+1)
544	00015	EL(I+1)=EL(I+1)/XI(I+1)
545	00016	FL(I+1)=FL(I+1)/XI(I+1)
546	00017	10 XI(I+1)=1.
547	00018	RETURN
548	00019	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
549	00001	SUBROUTINE KEISU2(NN,NO)
550	00002	COMMON /HENSU1/X(365,4),Y(365,4),P(365),U(365)
551	00003	COMMON /HENSU4/ETA(365),XI(365),FL(365),EL(365),KAP(365),EPS(365),
552		* FS(365),ES(365)
553	00004	REAL KAP
554	00005	EPS(NN-1)=X(NN-1,1)*Y(NN-1,3)-X(NN-1,3)*Y(NN-1,1)
555	00006	KAP(NN-1)=X(NN-1,2)*Y(NN-1,3)-X(NN-1,3)*Y(NN-1,2)
556	00007	ES(NN-1)=Y(NN-1,3)*P(NN-1)-X(NN-1,3)*U(NN-1)
557	00008	FS(NN-1)=X(NN-1,3)*Y(NN-1,4)-X(NN-1,4)*Y(NN-1,3)
558	00009	DO 10 I=NN-1,NO+1,-1
559	00010	EPS(I-1)=X(I-1,1)*Y(I-1,4)*EPS(I)-X(I-1,1)*Y(I-1,3)*KAP(I)-X(I-1,4
560		*)*Y(I-1,1)*EPS(I)+X(I-1,3)*Y(I-1,1)*KAP(I)

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
561	00011	KAP(I-1)=X(I-1,2)*Y(I-1,4)*EPS(I)-X(I-1,2)*Y(I-1,3)*KAP(I)-X(I-1,4
562		*)*Y(I-1,2)+EPS(I)+X(I-1,3)*Y(I-1,2)*KAP(I)
563	00012	ES(I-1)=P(I-1)*(Y(I-1,4)*EPS(I)-Y(I-1,3)*KAP(I))-U(I-1)*(X(I-1,4)*
564		*EPS(I)-X(I-1,3)*KAP(I))+ES(I)*(Y(I-1,3)*X(I-1,4)-Y(I-1,4)*X(I-1,3)
565		*)
566	00013	FS(I-1)=FS(I)*(Y(I-1,3)*X(I-1,4)-Y(I-1,4)*X(I-1,3))
567	00014	KAP(I-1)=KAP(I-1)/EPS(I-1)
568	00015	ES(I-1)=ES(I-1)/EPS(I-1)
569	00016	FS(I-1)=FS(I-1)/EPS(I-1)
570	00017	10 EPS(I-1)=1.
571	00018	RETURN
572	00019	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
573	00001	SUBROUTINE FUTEIR
574	00002	COMMON /BLOCK2/KA,LA(7),LP(7),NS(7),NE(7)
575	00003	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365)
576	00004	COMMON /HENSU1/X(365,4),Y(365,4),P(365),U(365)
577	00005	COMMON /HENSU5/TA(365),TZ(365),ZA(365,2),ZZ(365,2)
578	00006	COMMON /HENSU6/DH1(365),DQ1(365)
579	00007	DO 10 K=1,KA
580	00008	NN=NE(K)
581	00009	NO=NS(K)
582	00010	TA(NO)=Q(2,NO)-Q(1,NO)
583	00011	TZ(NN)=H(2,NN)-H(1,NN)
584	00012	ZA(NO,1)=1.
585	00013	ZA(NO,2)=0
586	00014	ZZ(NN,1)=0
587	00015	ZZ(NN,2)=1.
588	00016	DO 20 I=NN-1,NO,-1
589	00017	ZX=X(I,3)*ZZ(I+1,2)-X(I,4)*ZZ(I+1,1)
590	00018	ZY=Y(I,3)*ZZ(I+1,2)-Y(I,4)*ZZ(I+1,1)
591	00019	ZZ(I,1)=X(I,1)*ZZ(I+1,2)+ZY-Y(I,1)*ZZ(I+1,2)*ZX
592	00020	ZZ(I,2)=X(I,2)*ZZ(I+1,2)+ZY-Y(I,2)*ZZ(I+1,2)*ZX
593	00021	TZ(I)=(ZZ(I+1,2)*P(I)-X(I,4)*TZ(I+1))+ZY-(ZZ(I+1,2)*U(I)-Y(I,4)*TZ
594		*(I+1))*ZX
595	00022	ZZ(I,2)=ZZ(I,2)/ZZ(I,1)
596	00023	TZ(I)=TZ(I)/ZZ(I,1)
597	00024	20 ZZ(I,1)=1.
598	00025	DQ1(NO)=TA(NO)
599	00026	DH1(NO)=(ZZ(NO,1)*TA(NO)-ZA(NO,1)*TZ(NO))/(ZA(NO,2)*ZZ(NO,1)-ZA(NO
600		*,1)*ZZ(NO,2))
601	00027	DO 30 I=NO+1,NN
602	00028	DQ1(I)=(ZZ(I,2)*P(I-1)-X(I-1,4)*TZ(I)-X(I-1,1)*ZZ(I,2)*DQ1(I-1)-X
603		*I-1,2)*ZZ(I,2)*DH1(I-1))/(X(I-1,3)*ZZ(I,2)-X(I-1,4)*ZZ(I,1))
604	00029	30 DH1(I)=(TZ(I)-ZZ(I,1)*DQ1(I))/ZZ(I,2)
605	00030	10 CONTINUE
606	00031	RETURN
607	00032	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
608	00001	SUBROUTINE KENTO
609	00002	COMMON /BLOCK1/M
610	00003	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365),SQ0(2,365),SQI(2,365),
611		* DQ(365),DH(365)
612	00004	COMMON /HENSU6/DH1(365),DQ1(365),DDQ(365),DDH(365),PQ,PH
613	00005	PQ=0
614	00006	PH=0
615	00007	DO 10 I=1,M
616	00008	DDQ(I)=DQ1(I)-DQ(I)
617	00009	DDH(I)=DH1(I)-DH(I)
618	00010	IF(PQ.LT.ABS(DDQ(I))) PQ=ABS(DDQ(I))
619	00011	10 IF(PH.LT.ABS(DDH(I))) PH=ABS(DDH(I))
620	00012	RETURN
621	00013	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
622	00001	SUBROUTINE PRINT(J,JJ)
623	00002	COMMON /BLOCK1/M
624	00003	COMMON /BLOCK2/KA,LA(7),LP(7),NS(7),NE(7)
625	00004	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365)
626	00005	WRITE(6,103) JJ
627	00006	103 FORMAT('OJJ=',I3)
628	00007	DO 15 K=1,KA
629	00008	WRITE(6,102) K
630	00009	102 FORMAT(1H,'K=',I2)
631	00010	NN=NE(K)
632	00011	NO=NS(K)
633	00012	DO 10 I=NO,NN,5
634	00013	IF(I.GT.NN-4) GO TO 1
635	00014	WRITE(6,*) H(J,I),H(J,I+1),H(J,I+2),H(J,I+3),H(J,I+4)
636	00015	10 WRITE(6,*) Q(J,I),Q(J,I+1),Q(J,I+2),Q(J,I+3),Q(J,I+4)
637	00016	GO TO 15
638	00017	1 IF(NN-I.EQ.0) GO TO 2
639	00018	IF(NN-I.EQ.1) GO TO 3
640	00019	IF(NN-I.EQ.2) GO TO 4
641	00020	IF(NN-I.EQ.3) GO TO 5
642	00021	2 WRITE(6,*) H(J,I)
643	00022	WRITE(6,*) Q(J,I)
644	00023	GO TO 15
645	00024	3 WRITE(6,*) H(J,I),H(J,I+1)
646	00025	WRITE(6,*) Q(J,I),Q(J,I+1)
647	00026	GO TO 15
648	00027	4 WRITE(6,*) H(J,I),H(J,I+1),H(J,I+2)
649	00028	WRITE(6,*) Q(J,I),Q(J,I+1),Q(J,I+2)
650	00029	GO TO 15
651	00030	5 WRITE(6,*) H(J,I),H(J,I+1),H(J,I+2),H(J,I+3)
652	00031	WRITE(6,*) Q(J,I),Q(J,I+1),Q(J,I+2),Q(J,I+3)
653	00032	15 WRITE(6,*)
654	00033	DO 20 I=M,1,-1
655	00034	20 WRITE(17,200) H(J,I),Q(J,I)
656	00035	200 FORMAT(2F9.3)
657	00036	RETURN
658	00037	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
659	00001	SUBROUTINE CHECK(JJ)
660	00002	COMMON /BLOCK1/M,L,G,DT,THE
661	00003	COMMON /BLOCK2/KA,LA(7),LP(7),NS(7),NE(7)
662	00004	COMMON /BLOCK4/B(2,365),Z(2,365),OM(2,365),N(2,365),S(365)
663	00005	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365),SQ(2,365),SQI(2,365)
664	00006	COMMON /BLOCK7/AA,BEA,QA,DA,BED,CA,WA,SQIA,SQOA,DAA(365)
665	00007	DIMENSION VOLH(7),VOLQ(7),VOLSQO(7),VOLSQI(7),SA(7)
666	00008	DIMENSION TVH(121),TVQ(121),TVSQO(121),TVSQI(121),TVSA(121)
667	00009	WRITE(6,105) JJ
668	00010	105 FORMAT(' JJ=',I3)
669	00011	WRITE(6,100)
670	00012	100 FORMAT(11X,'K',5X,'VOLH',14X,'VOLQ',9X,'VOLSQO',11X,'VOLSQI',11X,'
671		*SA')
672	00013	TVH(1)=0
673	00014	TVQ(1)=0
674	00015	TVSQO(1)=0
675	00016	TVSQI(1)=0
676	00017	TVSA(1)=0
677	00018	TVH(JJ)=0
678	00019	TVQ(JJ)=0
679	00020	TVSQO(JJ)=0
680	00021	TVSQI(JJ)=0
681	00022	TVSA(JJ)=0
682	00023	DO 20 K=1,KA
683	00024	NN=NE(K)
684	00025	NO=NS(K)
685	00026	VOLH(K)=0
686	00027	VOLSQO(K)=0
687	00028	VOLSQI(K)=0
688	00029	DO 10 I=NO,NN-1
689	00030	VOLH(K)=VOLH(K)+(H(2,I)-H(1,I)+H(2,I+1)-H(1,I+1))/2.*(S(I)-S(I+1))
690		**1000.*DAA(I)
691	00031	VOLSQO(K)=VOLSQO(K)+(SQO(1,I)+THE*(SQO(2,I)-SQO(1,I)))*(S(I)-S(I+1))
692		)*1000.*DT
693	00032	10 VOLSQI(K)=VOLSQI(K)+(SQI(1,I)+THE*(SQI(2,I)-SQI(1,I)))*(S(I)-S(I+1))
694		)*1000.*DT
695	00033	VOLQ(K)=(Q(1,NO)+THE*(Q(2,NO)-Q(1,NO))-(Q(1,NN)+THE*(Q(2,NN)-Q(1,NN))))*DT
696		*N)))*DT
697	00034	SA(K)=VOLQ(K)+VOLSQI(K)-VOLH(K)-VOLSQO(K)
698	00035	TVH(JJ)=TVH(JJ)+VOLH(K)

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
699	00036	TVQ(JJ)=TVQ(JJ)+VOLQ(K)
700	00037	TVSQO(JJ)=TVSQO(JJ)+VOLSQO(K)
701	00038	TVSQI(JJ)=TVSQI(JJ)+VOLSQI(K)
702	00039	TVSA(JJ)=TVSA(JJ)+SA(K)
703	00040	20 WRITE(6,*) K,VOLH(K),VOLQ(K),VOLSQO(K),VOLSQI(K),SA(K)
704	00041	TVH(JJ)=TVH(JJ)+TVH(JJ-1)
705	00042	TVQ(JJ)=TVQ(JJ)+TVQ(JJ-1)
706	00043	TVSQO(JJ)=TVSQO(JJ)+TVSQO(JJ-1)
707	00044	TVSQI(JJ)=TVSQI(JJ)+TVSQI(JJ-1)
708	00045	TVSA(JJ)=TVSA(JJ)+TVSA(JJ-1)
709	00046	WRITE(6,110) TVH(JJ),TVQ(JJ),TVSQO(JJ),TVSQI(JJ),TVSA(JJ)
710	00047	110 FORMAT(7X,'TOTAL',1X,E12.4,5X,E12.4,5X,E12.4,5X,E12.4,5X,E12.4)
711	00048	WRITE(6,*)
712	00049	WRITE(2,120) TVH(JJ),TVQ(JJ),TVSQO(JJ),TVSQI(JJ),TVSA(JJ)
713	00050	120 FORMAT(5E12.4)
714	00051	RETURN
715	00052	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
716	00001	SUBROUTINE IREKAE
717	00002	COMMON /BLOCK1/M
718	00003	COMMON /BLOCK3/HO(365),HI(365),HU(2,365),V(2)
719	00004	COMMON /BLOCK6/Q(2,365),H(2,365),SQO(2,365),SQI(2,365)
720	00005	COMMON /BLOCK8/A(2,365),D(2,365),BE(2,365),C(2,365),W(2,365)
721	00006	DO 10 I=1,M
722	00007	H(1,I)=H(2,I)
723	00008	Q(1,I)=Q(2,I)
724	00009	A(1,I)=A(2,I)
725	00010	BE(1,I)=BE(2,I)
726	00011	D(1,I)=D(2,I)
727	00012	C(1,I)=C(2,I)
728	00013	W(1,I)=W(2,I)
729	00014	SQO(1,I)=SQO(2,I)
730	00015	10 SQI(1,I)=SQI(2,I)
731	00016	V(1)=V(2)
732	00017	RETURN
733	00018	END

第5章 モデル河川による検討

本プログラムで考慮した複断面・分合流・調節池・強制流入点・横堤をすべて含んだモデル河道についての計算を行ない、計算法及びプログラムの妥当性を検討する。

5-1 モデル河川

モデル河道は、緩流の複断面河道を持つ河川を想定して設定した。以下にその形状等を示す。

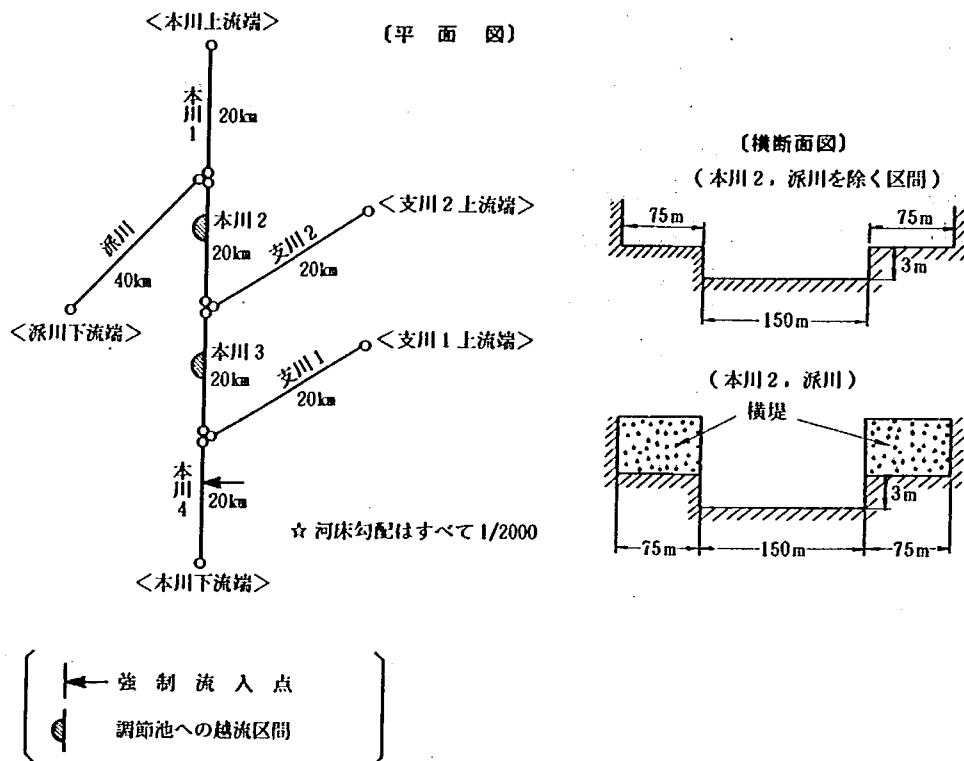


図5-1 モデル河道の形状

分合流のパターンは上の平面図に示す通りである。河道の横断面形は全区間同一であるが、本川2と派川には高水敷の部分に横堤を設けてある。この区間の高水敷の粗度は1,000とした。調節池へ流出させるための越流堤は、本川2と本川3にそれぞれ一ヶ所ずつ長さ2kmにわたって設置されている。本川2の越流堤は低水路水深が4mになった時から、本川3は5mになった時から越流が始まるよう高さを設定している。強制流入点では、流量が2,000 m^3/s を越えている場合に限って、200 m^3/s の強制流入を行なうようにしている。

5-2 計算条件

基本ケースとして以下に示す条件を設定した。

計算時間ステップ : $\Delta t = 20 \text{ 分} = 1,200 \text{ sec}$

差分のパラメータ : $\theta = 0.6$

計算時間 : $J=0$ から $J=120$ まで (J : 時間ステップ数)

距離ステップ : $\Delta x = 500 \text{ m}$

粗度係数 : 低水路 (0.03), 高水敷 (0.06), 横堤のある高水敷 (1,000)

下流端水深 : 本川下流端 6 m (Fixed)

派川下流端 6 m (Fixed)

上流端流量 : 本川上流端 $500 \text{ m}^3/\text{s} \sim 4,000 \text{ m}^3/\text{s} \sim 500 \text{ m}^3/\text{s}$

支川2上流端 $200 \text{ m}^3/\text{s} \sim 3,000 \text{ m}^3/\text{s} \sim 200 \text{ m}^3/\text{s}$

支川1上流端 $200 \text{ m}^3/\text{s} \sim 3,000 \text{ m}^3/\text{s} \sim 200 \text{ m}^3/\text{s}$

上記の条件の他, $\Delta t = 20 \text{ 分}$ としたまま θ を変えた計算, $\theta = 0.6$ としたまま Δt を変えた計算を行ない, 計算結果に与える Δt と θ の影響を検討した。

5-3 計算結果

基本ケースについての計算結果を図5-2に示す。また, この時の連続条件をチェックしたグラフを図5-3に示す。

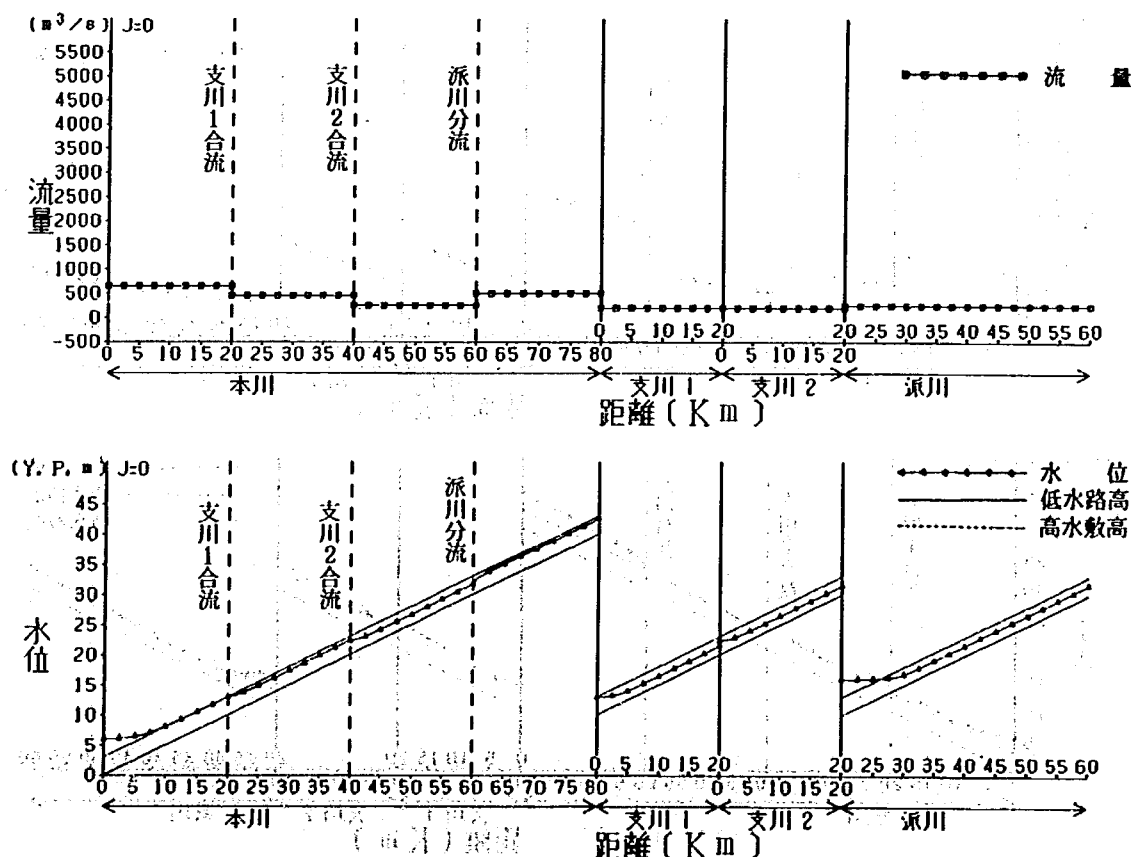


図5-2(1) 水位・流量縦断図

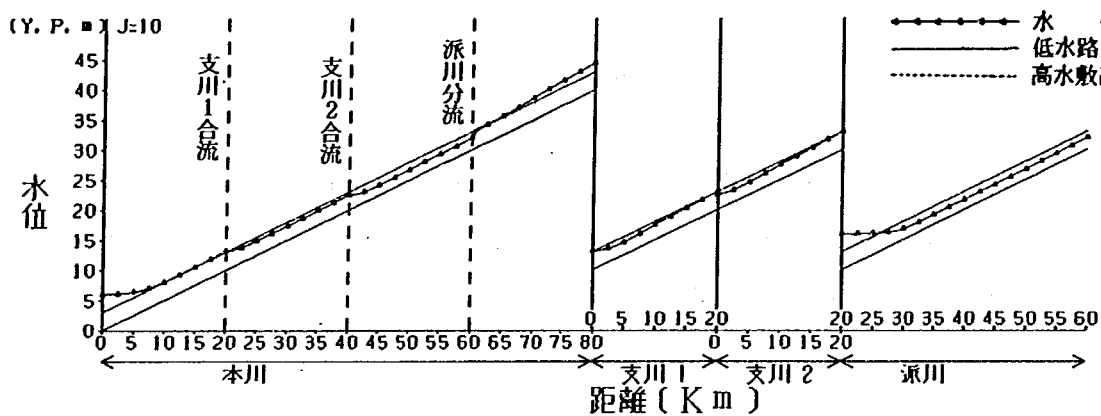
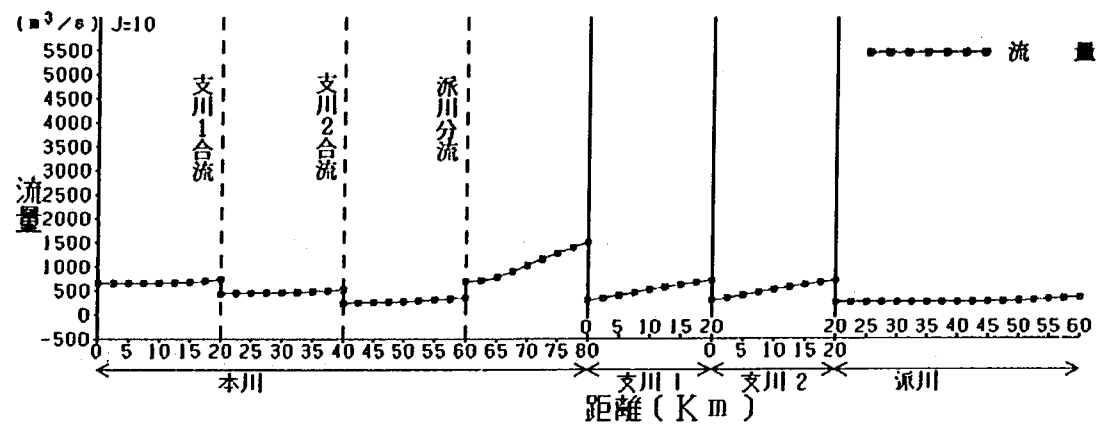


图 5-2(2) 水位・流量縦断面図

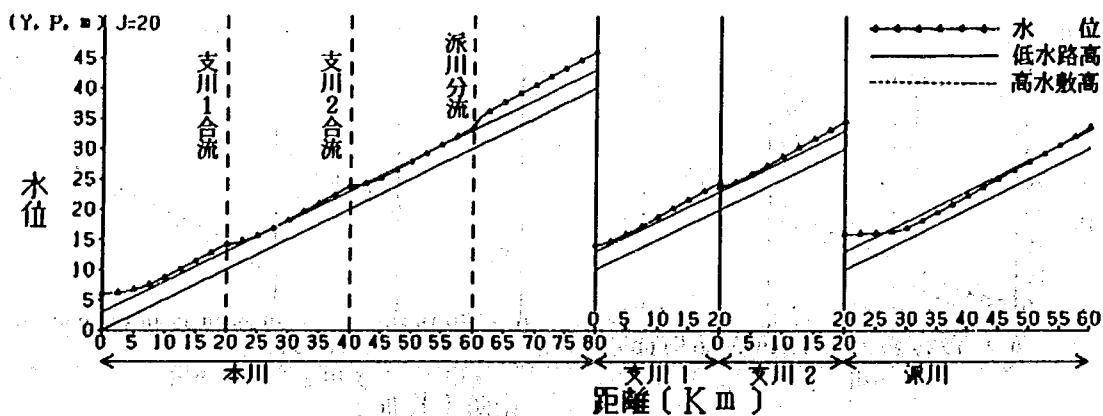
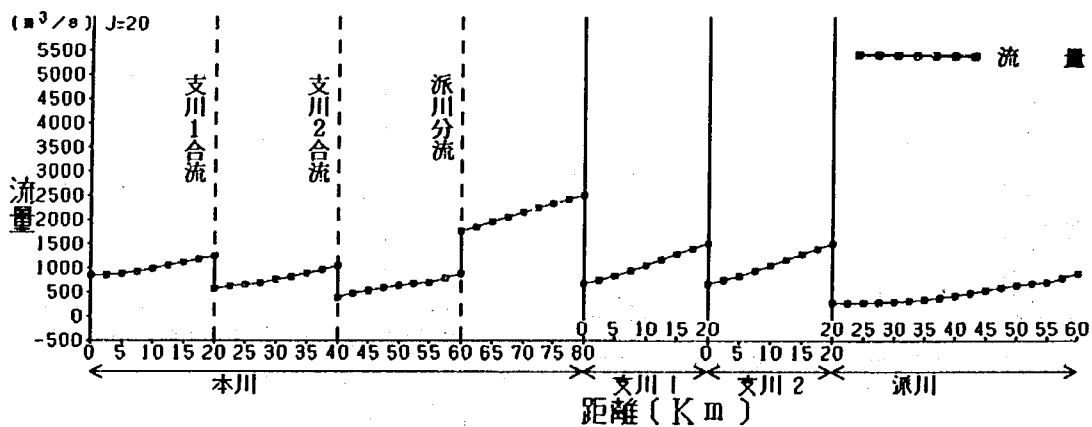


图 5-2(3) 水位・流量縦断面図

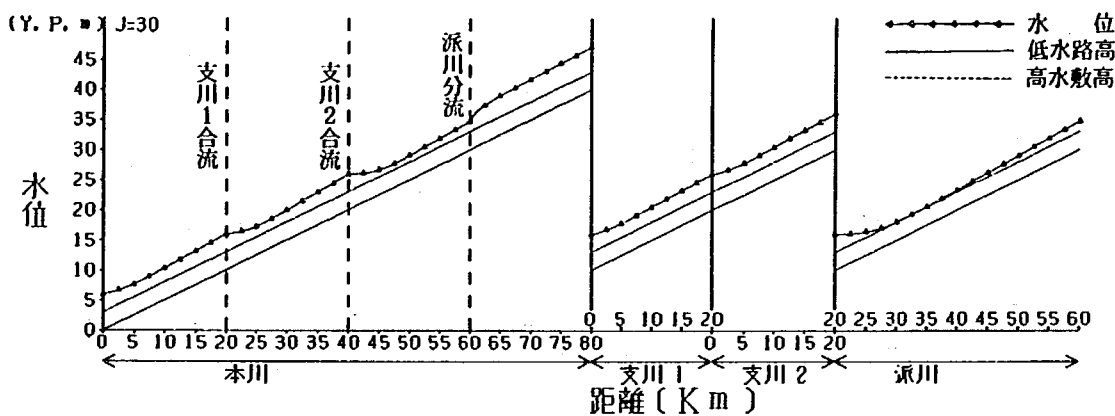
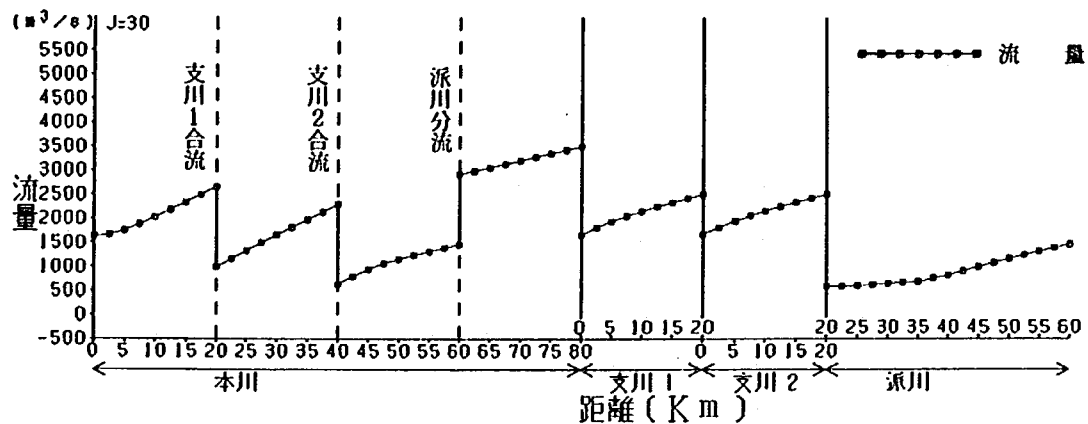


図5-2(4) 水位・流量縦断面図

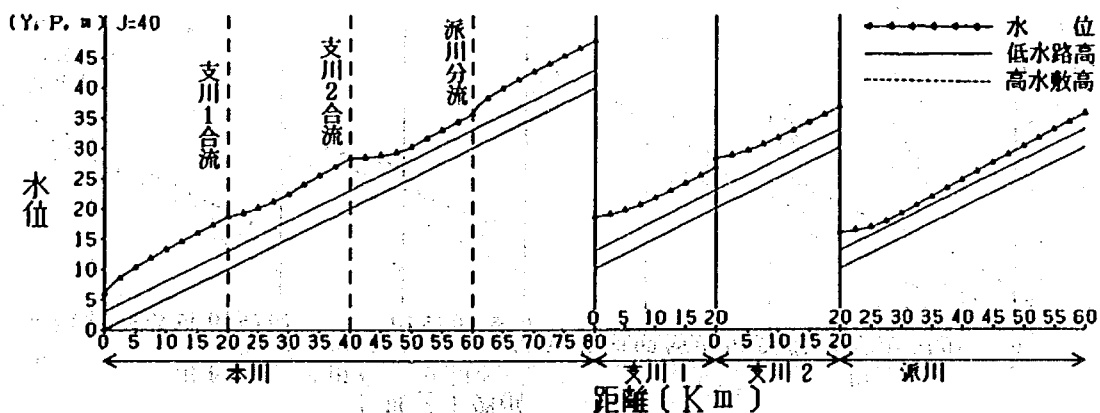
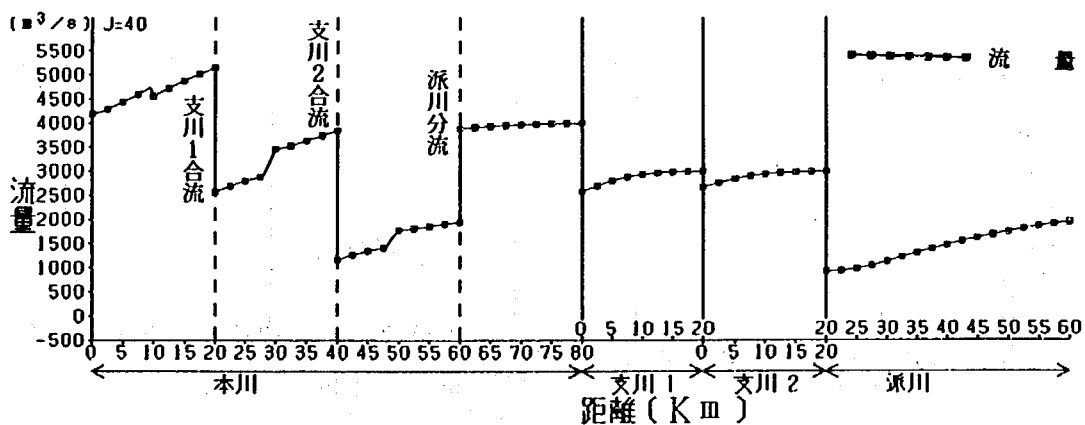


図5-2(5) 水位・流量縦断面図

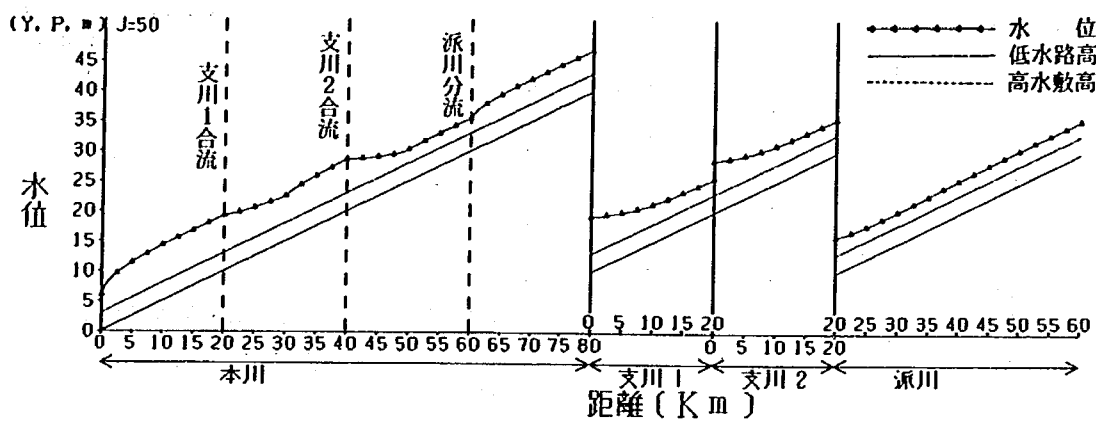
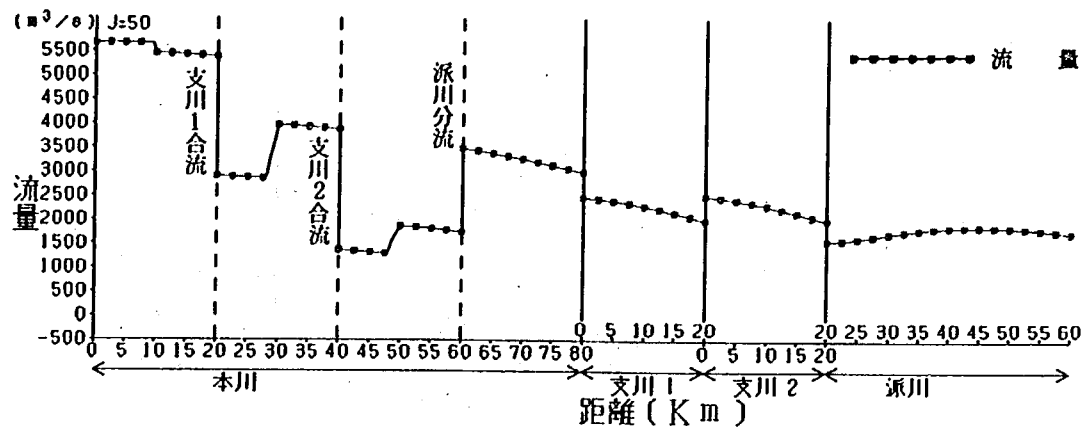


图 5-2(6) 水位・流量縦断図

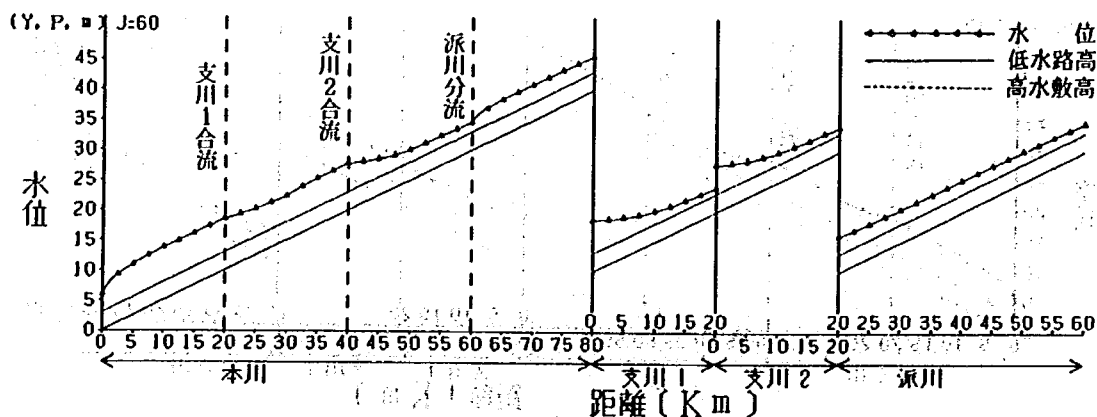
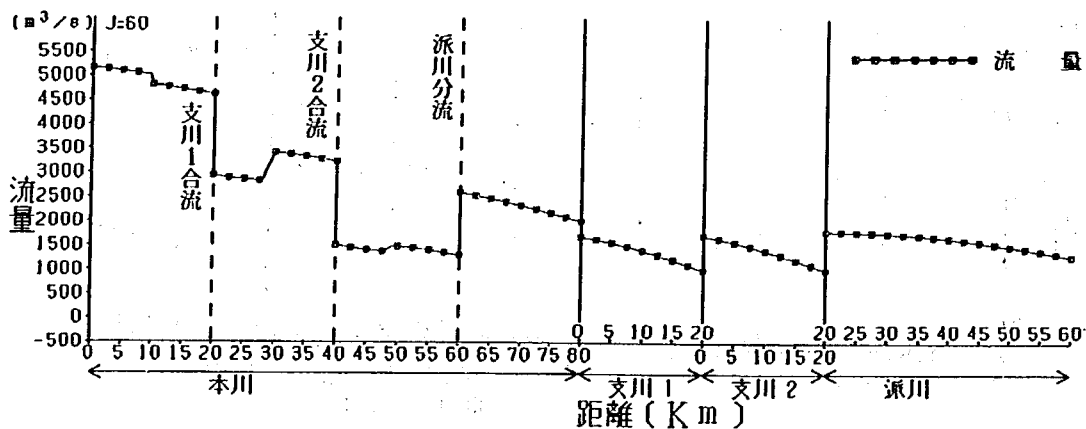


图 5-2(7) 水位・流量縦断図

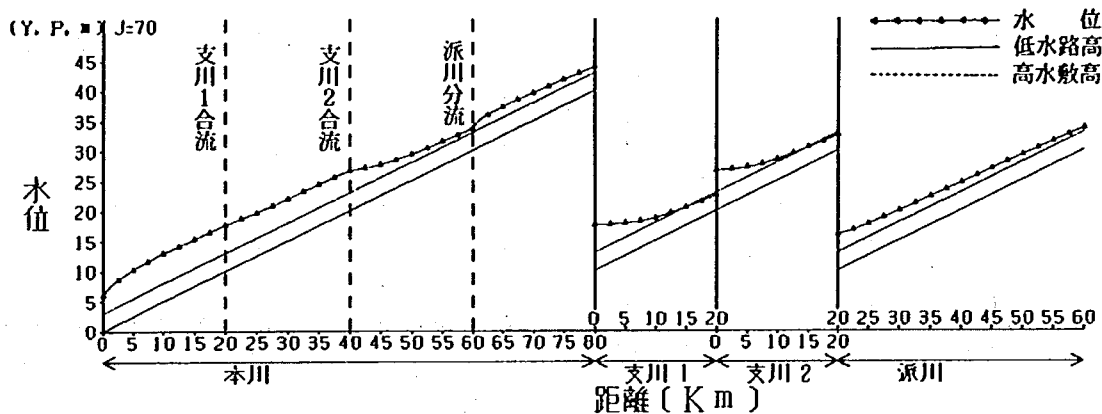
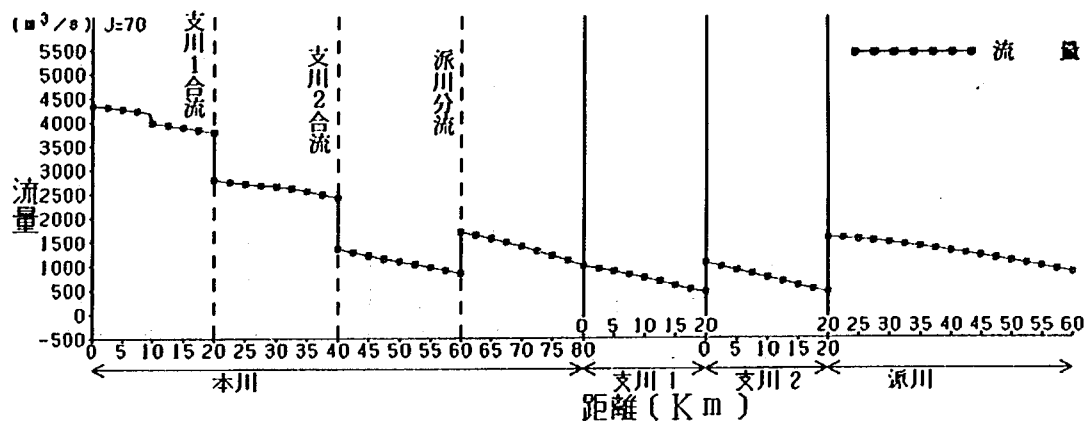


図 5 - 2 (8) 水位・流量縦断面図

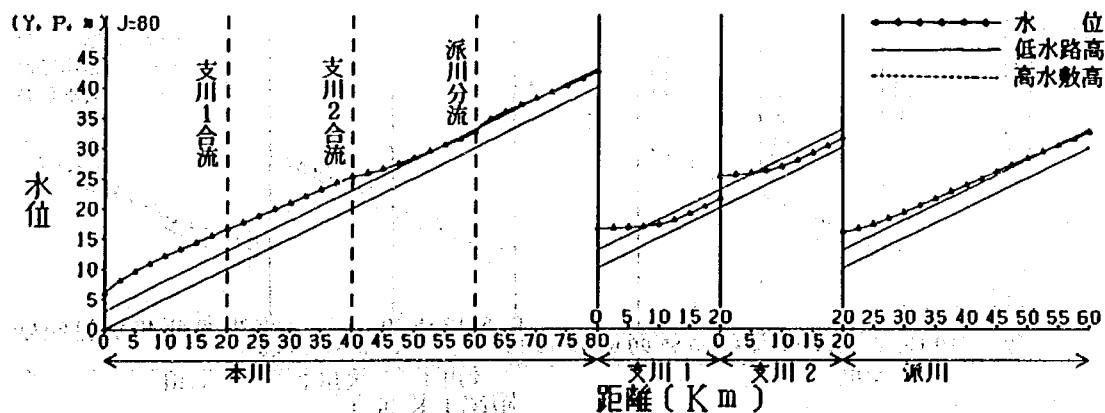
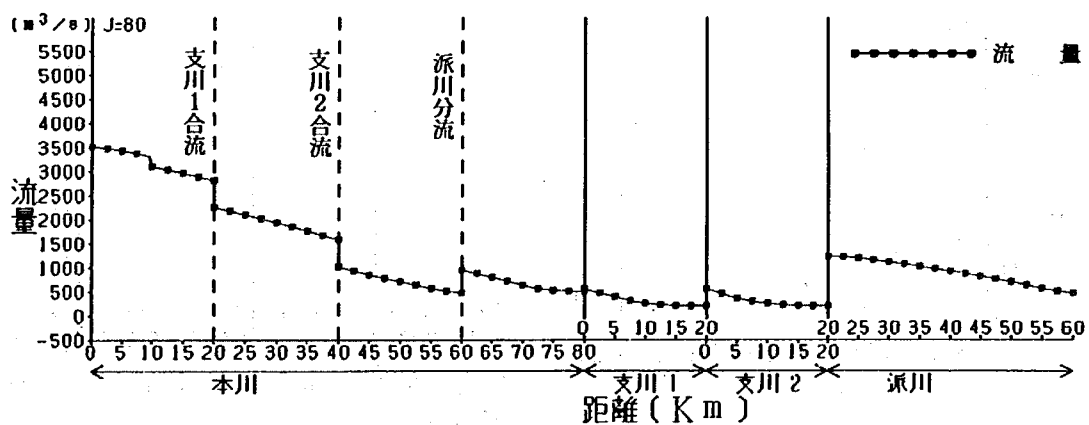


図 5 - 2 (9) 水位・流量縦断面図

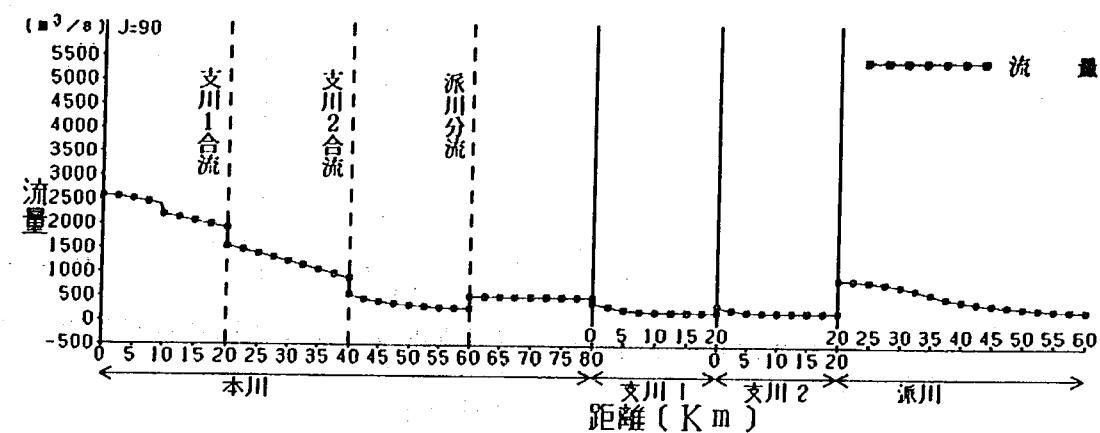


図5-2(I) 水位・流量縦断図

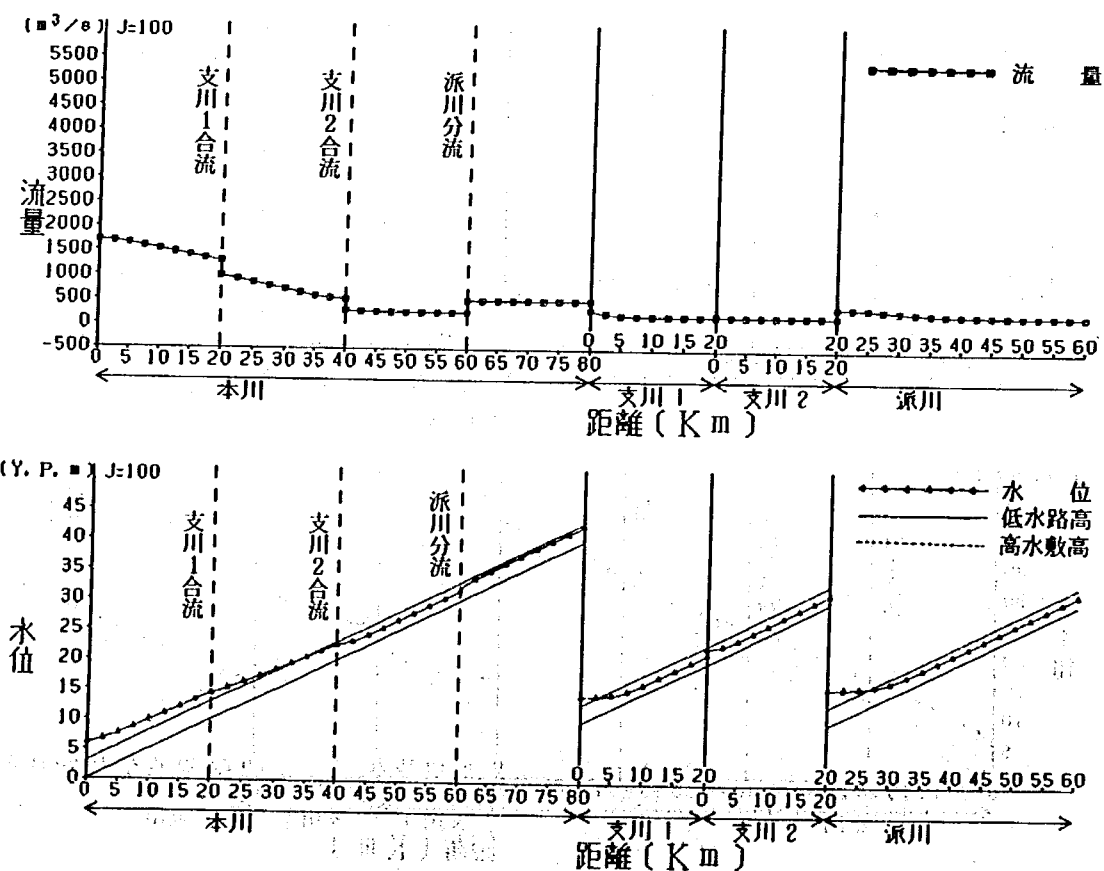


図5-2(II) 水位・流量縦断図

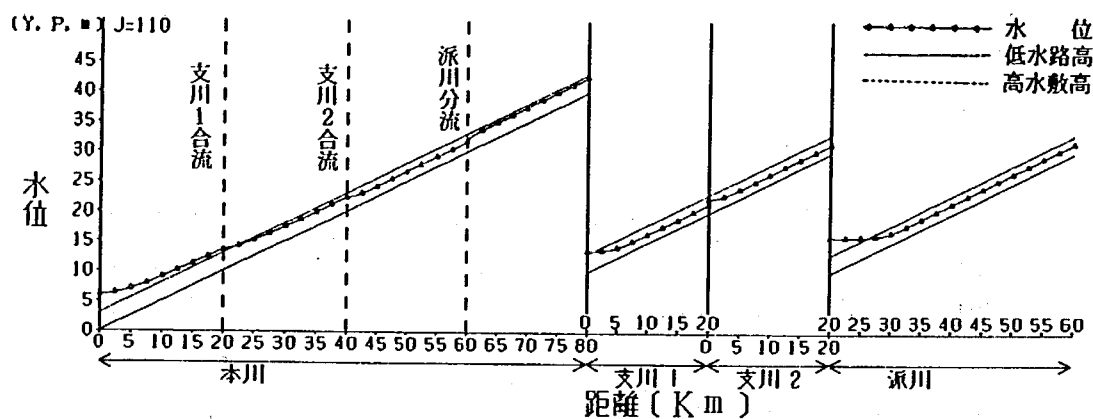
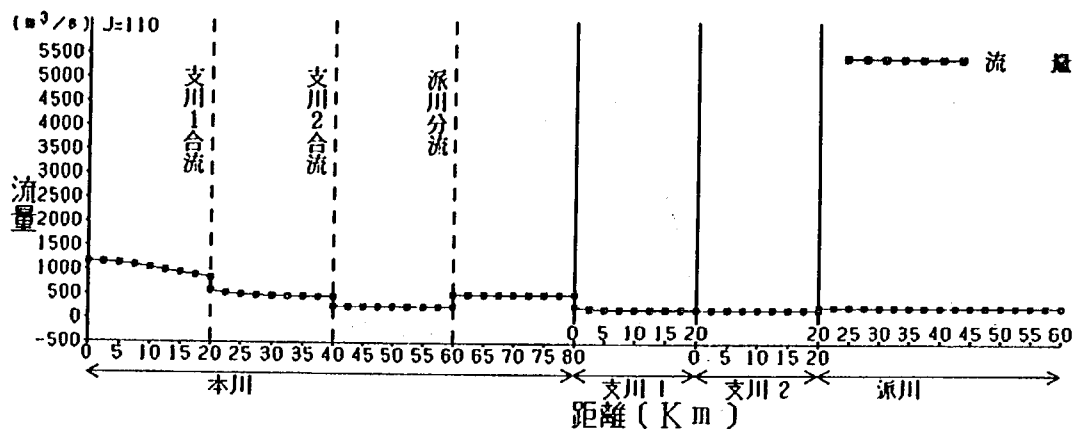


图 5-2(12) 水位・流量縦断図

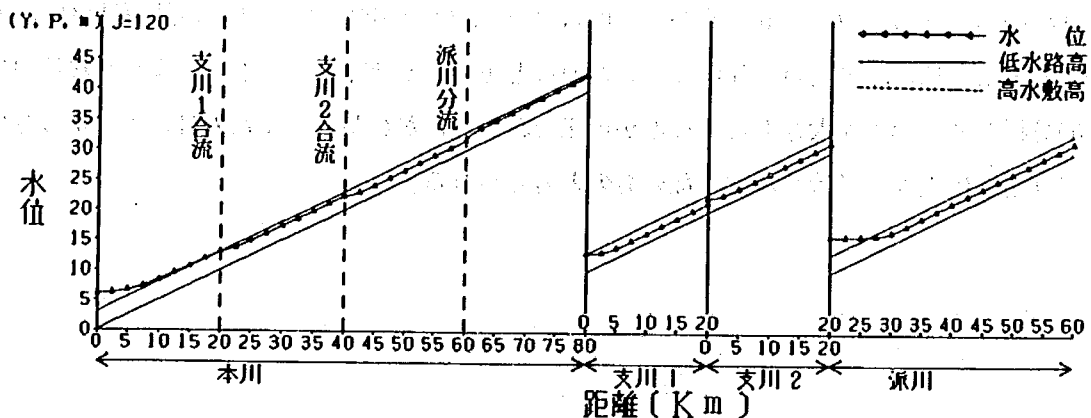
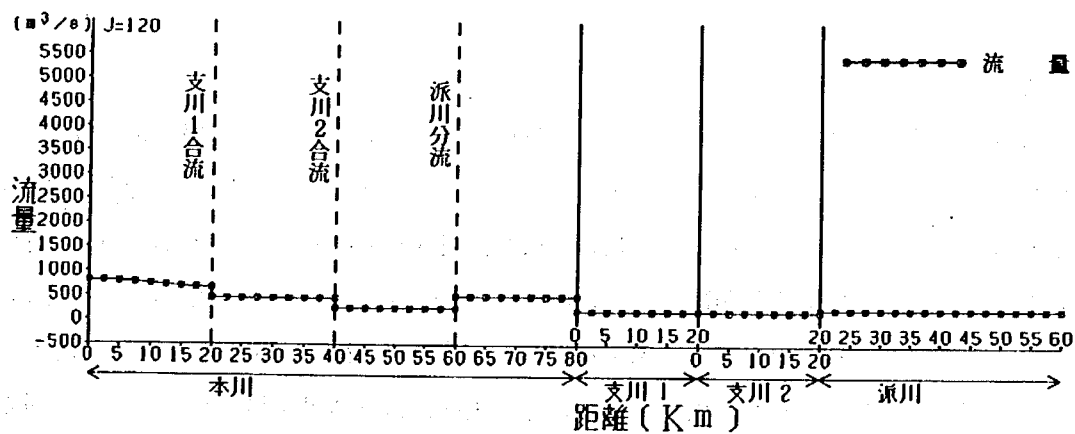


图 5-2(13) 水位・流量縦断図

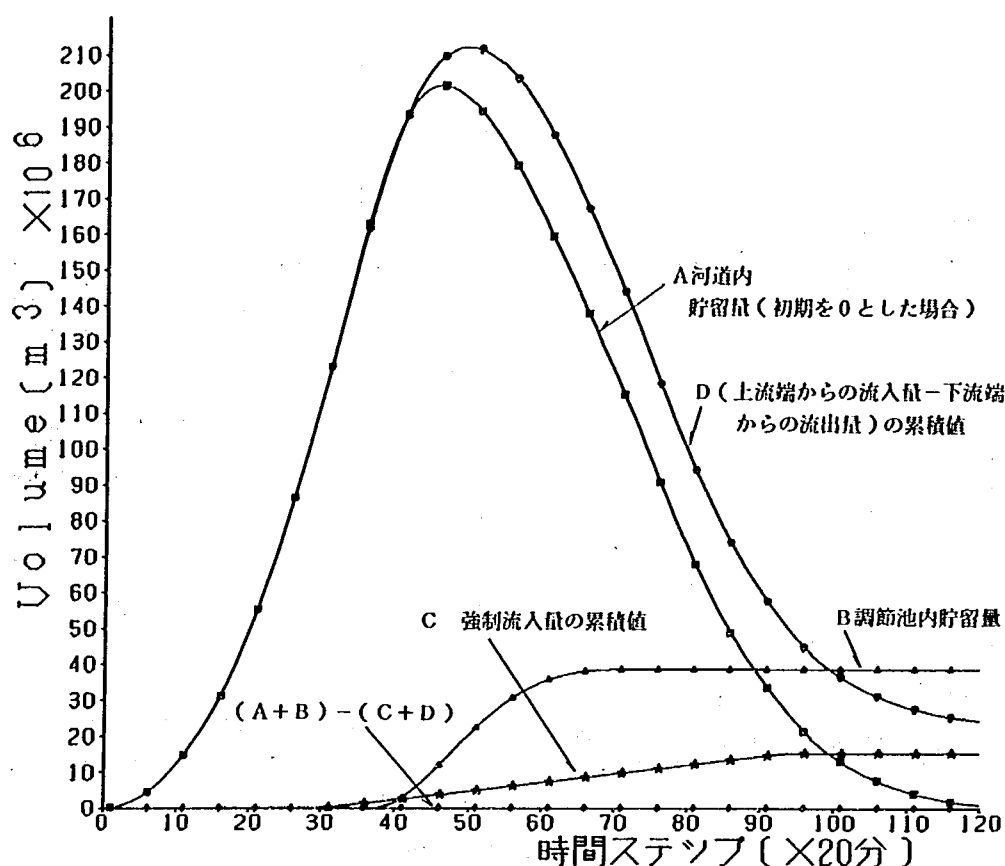


図5-3 連続条件のチェック

5-4 考察

図5-2に示した計算結果より、以下に示すことがわかる。まず、水が高水敷に乗る時に水位、流量値に乱れは見られない。また、越流堤のある区間では、所定の水位に達すると越流が起きている。(この区間で流量が減少していることからわかる) 強制流入も表現されている。横堤のある区間で高水敷の粗度を1,000としたが、計算には全く問題は起きていない。一方図5-3から連続条件が、この河道系全体で満たされていることがわかる。以上より、本プログラムが分合流・複断面・調節池・強制流入・横堤を表現できることが確認された(ただし、表現できることと実態に合う結果が得られることとは別である)。

また、 $\Delta t = 5$ 分、60分($\theta = 0.6$)及び $\theta = 0.5, 0.7$ ($\Delta t = 20$ 分)の条件での計算結果は、 $\theta = 0.6$ 、 $\Delta t = 20$ 分の結果とほとんど変わらなかった。このことから、本計算で対象としたような緩流河川では少なくとも60分程度まで Δt を大きくとることが可能であることがわかる。また θ は、このようなゆるやかな不定流では結果に大きな影響を及ぼさないものと考えられる。

第 6 章 利根川河道に対する適用例

第 4 章で解説したプログラムを利根川河道に適用し、実測水位および実測流量との比較を行った。対象とした洪水は、昭和 56 年 8 月（栗橋地点で約 8,000 ton/sec），昭和 57 年 8 月（栗橋地点で約 11,000 ton/sec）の 2 洪水である。

6-1 対象区間

対象区間は栗橋（130.5 km）～銚子（1.0 km）であり、途中派川として江戸川、支川として鬼怒川および小貝川、遊水池として管生・田中・稲戸井を考慮している。表 6-1 に各河道の累加距離と計算上の断面番号の関係を示す。

表 6-1(1) 河道の累加距離と計算上の断面番号(I)

利根川上流河道			江戸川	
I	km		I	km
1	130.5	栗橋	23	58.0
2	130.0		24	57.5
3	129.5		25	57.0
4	129.0		26	56.5
5	128.5		27	56.0
6	128.0		28	55.5
7	127.5		29	55.0
8	127.0		30	54.5
9	126.5		31	54.0
10	126.0		32	53.5
11	125.5		33	53.0
12	125.0		34	52.5
13	124.5		35	52.0
14	124.0	利根関宿	36	51.5
15	123.5		37	51.0
16	123.0		38	50.5
17	122.5		39	50.0
18	122.0	江戸川分流	40	49.5
江戸川			41	49.0
			42	48.5
			43	48.0
19	61.6	仮想断面	44	47.5
20	59.5		45	47.0
21	59.0		46	46.5
22	58.5	西関宿	47	46.0

表 6 - 1 (2)

江 戸 川		利 根 川 中 間 河 道 (1)	
I	km	I	km
48	45.5	87	122.0 仮想断面
49	45.0	88	121.0 境
50	44.5	89	120.5 北関宿
51	44.0	90	120.0
52	43.5	91	119.5
53	43.0	92	119.0
54	42.5	93	118.5
55	42.0	94	118.0
56	41.5	95	117.5
57	41.0	96	117.0
58	40.5	97	116.5
59	40.0	98	116.0
60	39.5	99	115.5
61	39.0 野田	100	115.0
62	38.5	101	114.5
63	38.0	102	114.0
64	37.5	103	113.5
65	37.0	104	113.0
66	36.5	105	112.5
67	36.0	106	112.0
68	35.5	107	111.5
69	35.0	108	111.0
70	34.5	109	110.5
71	34.0	110	110.0
72	33.5	111	109.5
73	33.0	112	109.0
74	32.5	113	108.5
75	32.0	114	108.0
76	31.5	115	107.5
77	31.0	116	107.0
78	30.5	117	106.5
79	30.0	118	106.0
80	29.5	119	105.5
81	29.0	120	105.0
82	28.5	121	104.5
83	28.0	122	104.0 芽吹橋
84	27.5	123	103.5
85	27.0	124	103.0
86	26.5 流山	125	102.5
		126	102.0
		127	101.5

表 6 - 1 (3)

利根川中間河道(1)			利根川中間河道(2)		
I	km		I	km	
128	101.0		162	96.5	鬼怒川合流
129	100.5		163	96.0	
130	100.0	菅生遊水池	164	95.5	
131	99.5		165	95.0	
132	99.0		166	94.5	
133	98.5		167	94.0	
134	98.0		168	93.5	
135	97.5		169	93.0	
136	97.0		170	92.5	
137	96.5	仮想断面	171	92.0	
鬼 怒 川			172	91.5	
138	11.0	水海道	173	91.0	
139	10.5		174	90.5	
140	10.0		175	90.0	
141	9.5		176	89.5	稲戸井遊水池
142	9.0		177	89.0	
143	8.5		178	88.5	
144	8.0		179	88.0	
145	7.5		180	87.5	田中遊水池
146	7.0		181	87.0	
147	6.5		182	86.5	
148	6.0		183	86.0	
149	5.5		184	85.5	取手
150	5.0		185	85.0	
151	4.5		186	84.5	
152	4.0		187	84.0	
153	3.5		188	83.5	
154	3.0		189	83.0	
155	2.5		190	82.5	
156	2.0		191	82.0	
157	1.5		192	81.5	
158	1.0		193	81.0	
159	0.5		194	80.5	
160	0.0		195	80.0	
161	-0.5	仮想断面	196	79.5	
			197	79.0	
			198	78.5	仮想断面

表 6 - 1 (4)

小 貝 川			利 根 川 下 流 河 道		
I	km		I	km	
199	3.5	高須	237	64.0	
200	3.0		238	63.5	
201	2.5		239	63.0	
202	2.0		240	62.5	
203	1.5		241	62.0	
204	1.0		242	61.5	
205	0.5		243	61.0	
206	0.0		244	60.5	
207	-1.0	仮想断面	245	60.0	
利 根 川 下 流 河 道			246	59.5	
208	78.5	小貝川合流(押付)	247	59.0	
209	78.0		248	58.5	
210	77.5		249	58.0	
211	77.0		250	57.5	
212	76.5	布川	251	57.0	
213	76.0		252	56.5	
214	75.5		253	56.0	
215	75.0		254	55.5	
216	74.5		255	55.0	
217	74.0		256	54.5	金江津
218	73.5		257	54.0	
219	73.0		258	53.5	
220	72.5		259	53.0	
221	72.0		260	52.5	
222	71.5		261	52.0	
223	71.0		262	51.5	
224	70.5		263	51.0	
225	70.0		264	50.5	
226	69.5		265	50.0	
227	69.0		266	49.5	
228	68.5		267	49.0	
229	68.0		268	48.5	
230	67.5		269	48.0	
231	67.0		270	47.5	
232	66.5	須賀	271	47.0	
233	66.0		272	46.5	
234	65.5		273	46.0	
235	65.0		274	45.5	
236	64.5		275	45.0	
			276	44.5	
			277	44.0	

表 6 - 1 (5)

利 根 川 下 流 河 道		利 根 川 下 流 河 道	
I	km	I	km
278	43.5	319	23.0
279	43.0	320	22.5
280	42.5	321	22.0
281	42.0	322	21.5
282	41.5	323	21.0
283	41.0	324	20.5
284	40.5	325	20.0
285	40.0 横利根	326	19.5
286	39.5	327	19.0
287	39.0	328	18.5
288	38.5	329	18.0
289	38.0	330	17.5
290	37.5	331	17.0
291	37.0	332	16.5 太田新田
292	36.5	333	16.0
293	36.0	334	15.5
294	35.5	335	15.0
295	35.0	336	14.5
296	34.5	337	14.0
297	34.0	338	13.5
298	33.5	339	13.0
299	33.0	340	12.5
300	32.5	341	12.0
301	32.0	342	11.5
302	31.5	343	11.0
303	31.0	344	10.5
304	30.5	345	10.0
305	30.0	346	9.5
306	29.5	347	9.0
307	29.0	348	8.5
308	28.5	349	8.0
309	28.0	350	7.5
310	27.5	351	7.0
311	27.0	352	6.5
312	26.5	353	6.0
313	26.0	354	5.5
314	25.5	355	5.0
315	25.0	356	4.5
316	24.5	357	4.0
317	24.0	358	3.5
318	23.5	359	3.0

表 6 - 1 (6)

利根川下流河道		利根川下流河道	
I	km	I	km
360	2.5	362	1.5
361	2.0	363	1.0 銚子

6 - 2 断面特性

断面特性は、昭和 56 年度の横断測量結果より、図 6 - 1 に示すように各断面を低水路と高水敷に区切って作成した。このうち低水路は長方形に、高水敷部分は台形に近似している。なお、左右岸の高水敷高は同じとした。横断面形を長方形と台形に近似させるにあたっては、できるだけ現況河道と河積が等しくなるよう配慮したが、人間の感覚で作成したため、多少 rough なものになっている。

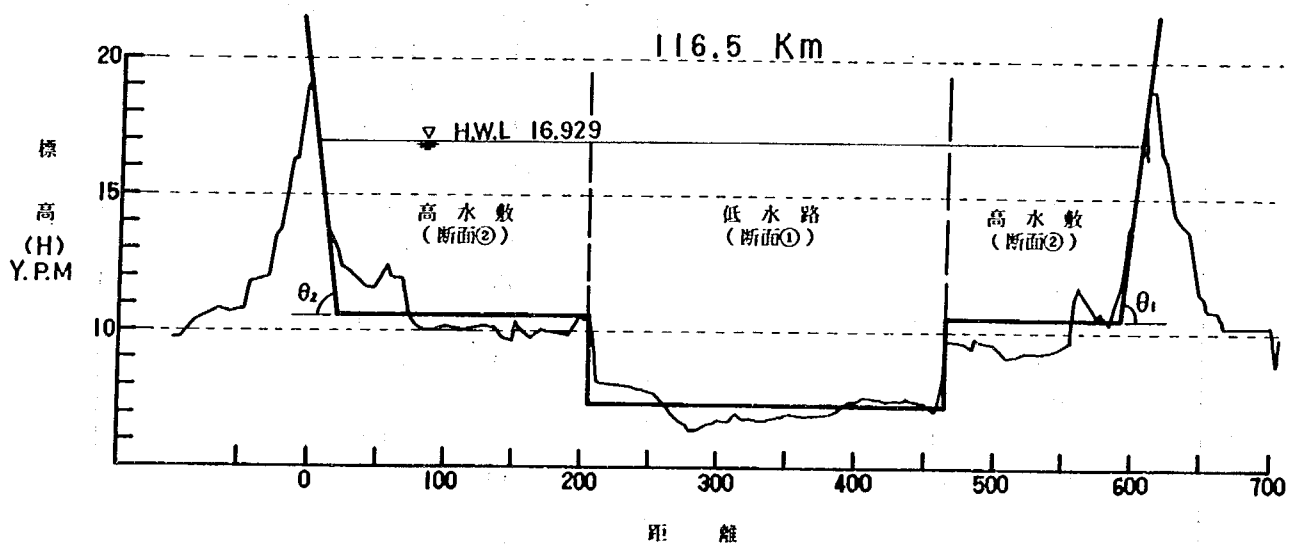


図 6 - 1 断面特性の作成

6 - 3 分合流点の取扱い

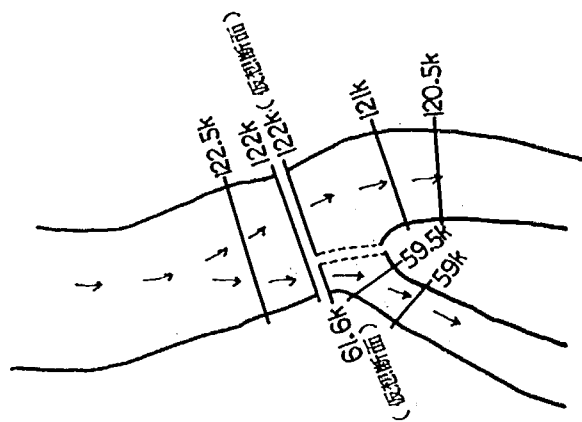
ここでは合流についてはロスを無視し、江戸川分派についてはロスを考慮した。

(1) 分合流点における仮想断面の設定

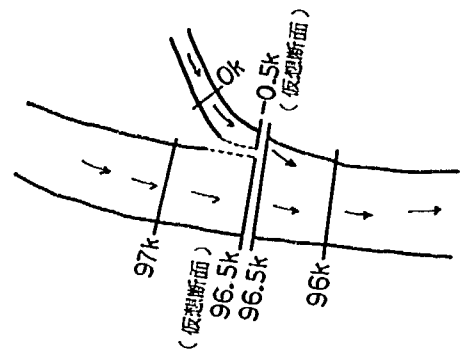
図 6 - 2 に示すように支派川および中間河道に仮想断面を設けて、本川の断面と重複させた。

(2) 分流ロスを考慮する方法

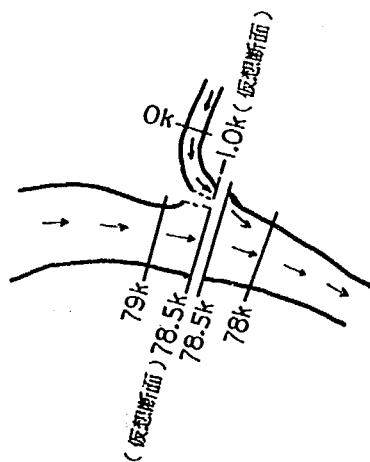
分流点における計算精度はその点より下流のすべての流量の精度に直接影響を与えるので、慎重な取扱いが必要である。ここでは、実測データから江戸川分派における分流ロスの特性を検討し、経験式により分流ロスを組込むことを試みる。



江戸川分岐点



鬼怒川合流点



小貝川合流点

図6-2 計算で設定した分合流点における仮想断面

図6-2に示すように江戸川は利根川本川から直角に近い角度で分派する。したがって分流ロス、分流点における利根川本川水位と江戸川最上流端水位の差の中に現われると考えてよいであろう。分流ロス表現することは、この水位差を何らかの形で推定し計算に組入れることを意味する。ところで江戸川には流頭部に水門があり、その上下流で水位が観測されている。分流点の平面形状から、水門の上流側の水位は利根川本川の水位を、水門下流の水位は江戸川上流端の水位を代表していると考えられる。そこで、水門上下流の水位差 ΔH の特性を実測値から調べることにする。図6-3は、 ΔH と水門下流側水位(Y.P.) H_L の関係をS56・8, S57・8, S57・9の3洪水について示したものである。 $\Delta H \sim H_L$ 関係はループを描くものの平均的には次のような特性を持つことがわかる。「水位 H_L がある値(約12.8m Y.P.)以下の場合、 ΔH は H_L によらず一定である。 H_L がその値を越えると ΔH は H_L の増大とともに急激に増大する。」 ΔH は水面勾配と等価であり、縦断的にあまり変化しない河道であれば水面勾配は水位に大きな影響を受けないはずである。したがって図6-3に示すように H_L がある値を越えると ΔH が急に増大するのは、分流ロスがあるためだと考えられる。そこでやや強引ではあるが図6-3に示す曲線群を図6-3'に示す2本の直線で近似し、図中のハッチで示した部分を分流ロスにより生ずる水位差 ΔH_L と考えることとする。図6-3'より ΔH_L は次式で表わされる。

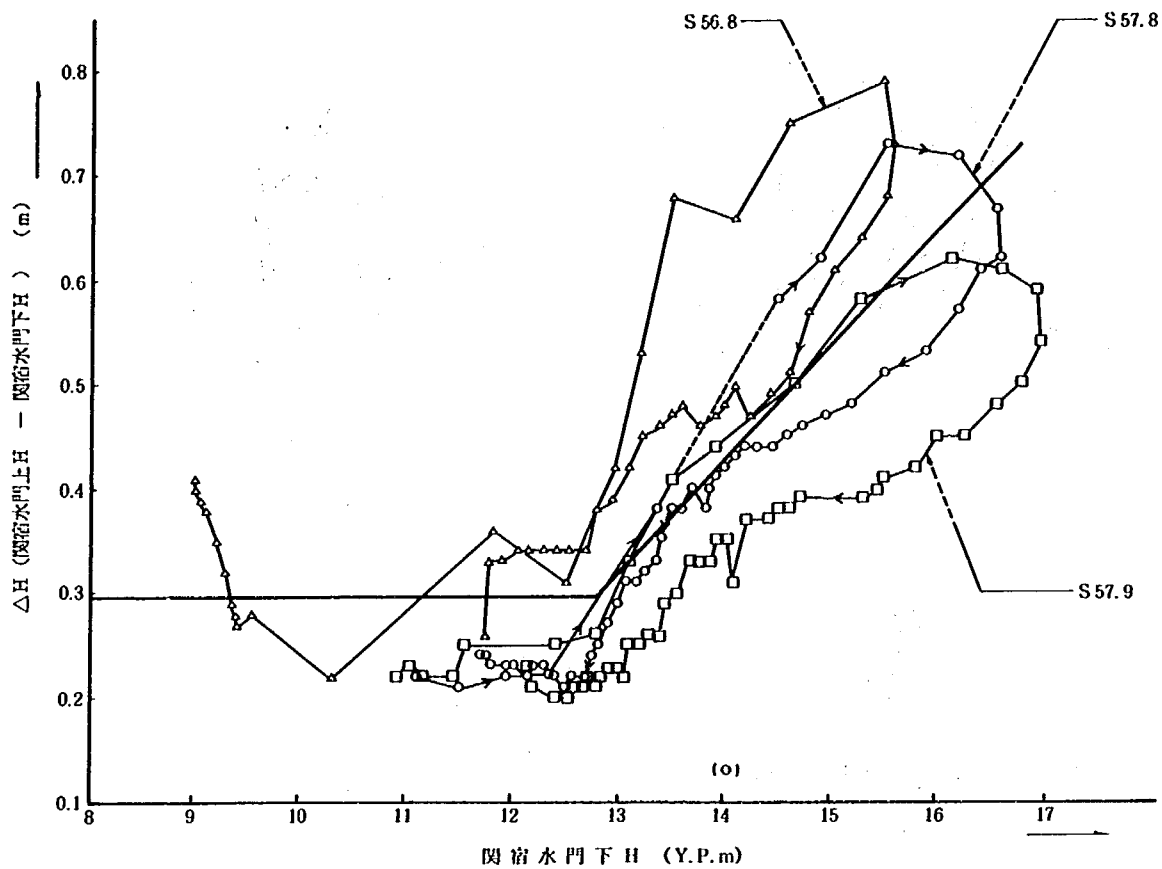


図 6-3 水門下流側水位 H_L と水門上下流の水位差 ΔH の関係

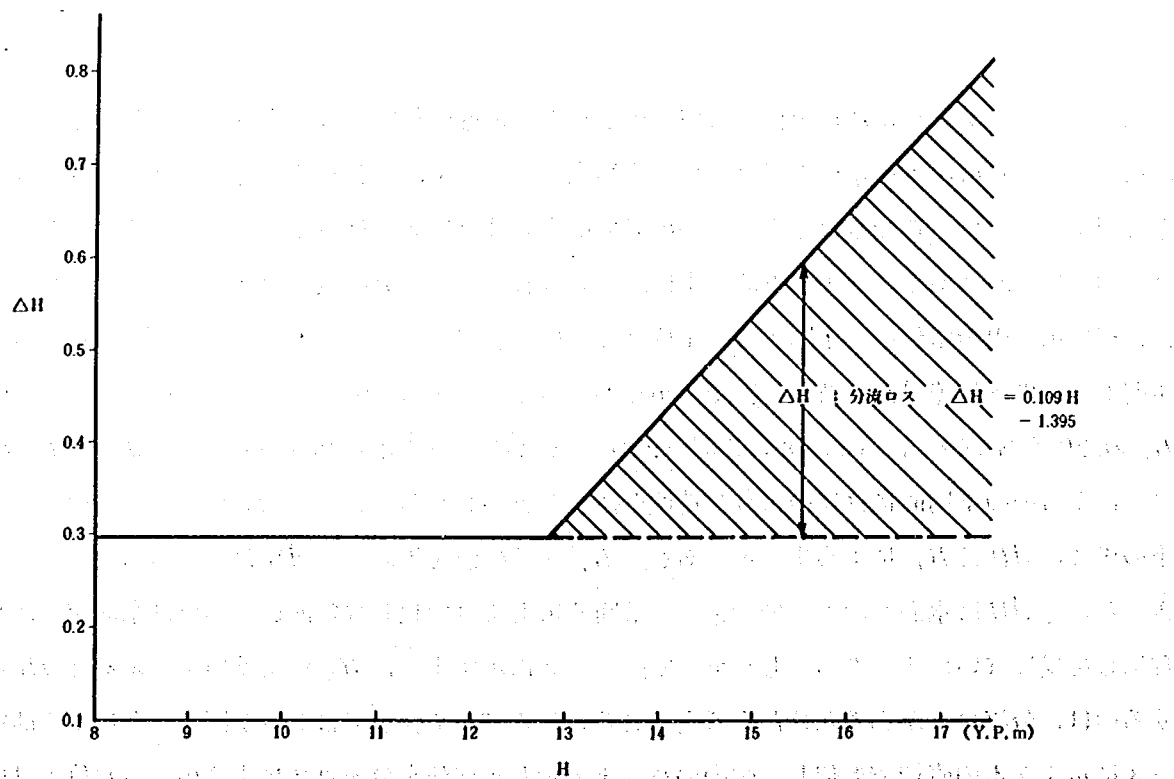


図 6-3' 分流ロスの表現

$$\Delta H_L = aH_L + b \quad \left(\begin{array}{l} H_L \text{は Y. P. m} \\ \Delta H_L \text{は m 単位} \end{array} \right) \dots\dots\dots (6-1)$$

ここで, $a = 0.109$ $b = -1.395$

簡単のためこのロスが仮想断面を設置した地点で起きているとすると, 分流条件は次式で表わされることになる。

$$\left. \begin{array}{l} H_1 = H_2 \\ H_1 = aH_3 + b + H_3 \\ Q_1 = Q_2 + Q_3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (6-2)$$

ここで, H_1 : 分流点の本川上流側水位

H_2 : 分流点の本川下流側水位

H_3 : 分流点の江戸川水位

分流ロスの計算は(6-2)式を用いて行なうこととする。

注1) ΔH と Q (流量)の関係も調べたが $\Delta H \sim H_L$ 関係よりもはるかにバラツキが大きかった。

注2) H_L が12.8m(Y.P.)を越えると急に ΔH が大きくなるのは, 水位が水門の最下端より高くなり, もぐり流出になるからである。(水門全開時のゲート下端の高さは, 約12.8m(Y.P.))

注3) 江戸川分流のロスには曲がりによるものだけでなく, 上記のゲートによるものや, 左岸高水敷の植生によるものなどがある。 Q よりも H_L を用いた方が ΔH が表現しやすいのは, 分流ロスが主に水門によって起きているからかもしれない。こうした分流特性については現在模型実験によって調べられており, 詳細は, 昭和60年3月発行予定の土研資料「江戸川流頭部水理模型実験最終報告書」を参照されたい。

注4) ここで示した方法は絶対的なものではない。重要な点は, 分流特性を検討し, 何らかの形で分流ロスを入れる試みをしたことにある。

6-4 各遊水池の諸元と計算への組み込み方法

ここで考慮している遊水池は, 菅生(利根川本川100.0km地点), 稲戸井(本川89.5km地点), 田中(本川87.5km地点)の3つである。なお稲戸井については, 現在まだ越流堤ができていない状態である。

表6-2~3に各遊水池の諸元と水位-容量の関係を示す。

表6-2 越流堤諸元

	堤 高	堤 幅	位 置
菅 生	Y.P.11.9 m	280 m	100.0 km
稲 戸 井	—	—	89.5 km
田 中	Y.P. 9.6 m	450 m	87.5 km

菅生および田中遊水池については, 水理公式集発電編にある本間の式を用いた。ただし遊水池内のボリュームと排水門の操作状況がはっきりつかめていないため今回は

完全越流とし, また遊水池からの逆流はないものとして取り扱っている。

$$q = \mu h_1 \sqrt{2gh_1} \dots\dots\dots (\text{完全越流の式})$$

ここに q : 単位幅当りの越流量 μ : 流量係数 g : 重力加速度 h_1 : せき高を基準とした本川水深

表 6-3 各調節池の水位-容量の関係(計画)

H (Y.P.m)	田中調節池	稲戸井調節池	菅生調節池
3	0 (m³)	(m³)	(m³)
3.5	938		
4	26,182		
4.5	318,338		
5	1,125,765	0	0
5.5	2,658,321	37,860	6,408
6	5,297,580	153,716	61,005
6.5	9,062,423	419,180	140,247
7	13,715,890	996,389	246,714
7.5	18,953,853	1,930,372	503,055
8	24,438,411	3,174,078	1,219,929
8.5	30,044,068	4,643,984	2,447,628
9	35,737,823	6,252,192	4,176,672
9.5	41,509,032	8,012,321	6,484,512
10	47,328,927	9,909,606	9,199,157
11	59,025,513	14,084,625	14,966,349
12	70,762,230	18,551,697	20,791,047
13	82,526,255	23,047,305	26,673,001
14		27,566,508	32,612,460
15		32,107,452	38,609,178

ただし、計算上は距離ステップ($\Delta x = 500\text{m}$)と越流堤幅が違うため以下のように変更してある。

$$q = \mu h_1 \sqrt{2gh_1} \cdot B / \Delta x \quad B: \text{越流堤幅}$$

稲戸井遊水池については越流堤がないため、「河道水位と遊水池内水位が等しい」という条件から導かれる次式を用いた。この式により遊水池からの逆流も表現できる。

$$q = \frac{V[H(J)] - V[H(J-1)]}{\Delta t \cdot \Delta x}$$

ここに J : 時間

$V[H(J)]$: 水位が $H(J)$ のときの容量

$V[H(J-1)]$: 水位が $H(J-1)$ のときの容量

6-5 粗度の設定

図6-4に計算で与えた粗度の縦断図を示す。2種類の頻度($A \cdot B$)を設けている。粗度Aは図中の実線(低水路)と点線(高水敷)で示したものであり、粗度Bは粗度Aのうち110km~130.5km(利根川)の低水路粗度を一点鎖線で示す値に変えたものである。

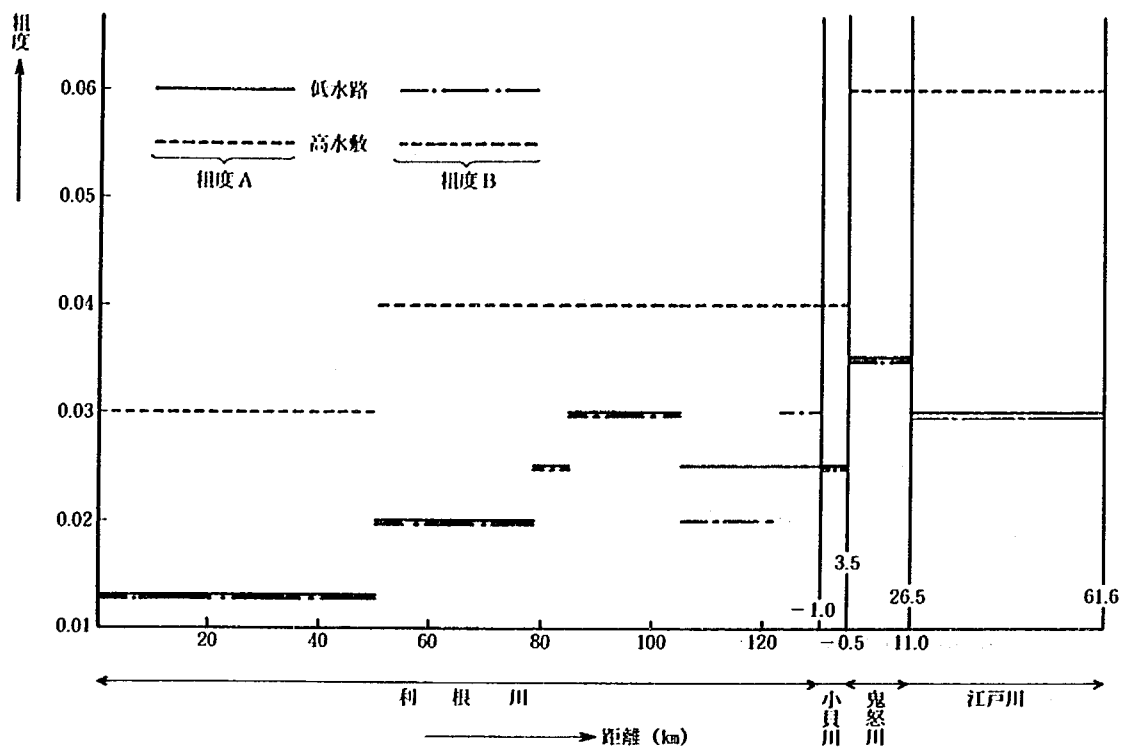


図 6 - 5 粗 度 縦 断 図

6 - 6 昭和 5 6 年 8 月洪水について (Case 1)

ここでは、前節で述べた粗度のうち粗度 A を用いて計算を行った。

1) 境界条件

境界条件は、栗橋 (利根川) , 水海道 (鬼怒川) , 高須 (小貝川) で上流端流量を与え、流山 (江戸川) , 銚子 (利根川) で下流端水位を与えた。計算時間ステップ数は、8 月 2 3 日 1 時 ~ 2 5 日 1 2 時までの 59 ステップ、時間ステップ間隔は 3,600 sec である。

2) 主な地点の実測水位および実測流量

この洪水での主な地点の水位および流量の実測値は表 6 - 4 および表 6 - 5 に示すとおりである。(流観が行なわれていない時間については、 $H-Q$ カーブを用いて、実測水位から流量を推定している)

3) 計算結果

図 6 - 5 - 1 ~ 13 に水位および流量縦断図を示す。なお、 J は時間ステップを表わす。図 6 - 6 は連続条件をチェックしたグラフである。図 6 - 7 - 1 ~ 15 には各地点の水位時間曲線、図 6 - 8 - 1 ~ 6 には各地点の流量時間曲線を示す。

6-7 昭和57年8月洪水について (Case 2)

粗度Aを用いた計算を行なった。

1) 境界条件

境界条件の与え方は56年8月洪水と同様。計算ステップ数は8月1日21時～4日12時までの63ステップである。

2) 主な地点の実測水位および実測流量

この洪水での主な地点の水位および流量の実測値は表6-6および表6-7に示すとおりである。(流観が行なわれていない時間については、 $H-Q$ カーブを用いて実測水位から流量を推定している)

3) 計算結果

図6-9-1～13に水位および流量縦断図を示す。図6-10は連続条件のボリュームチェックである。図6-11-1～15には各地点の水位時間曲線、図6-12-1～7には流量時間曲線を示す。

6-8 昭和56年8月洪水について (Case 3)

粗度Bを用いて計算を行なった。

1) 計算結果

図6-13-1～13に水位および流量縦断図を示す。図6-14は連続条件のボリュームチェックである。図6-15-1～15には各地点の水位時間曲線、図6-16-1～6には各地点の流量時間曲線を示す。

6-9 昭和57年8月洪水について (Case 4)

粗度Bを用いて計算を行なった。

1) 計算結果

図6-17-1～13に水位および流量縦断図を示す。図6-18は連続条件のボリュームチェックである。図6-19-1～15には各地点の水位時間曲線、図6-20-1～7には流量時間曲線を示す。

☆これらの計算では、HITAC M-280H型電子計算機で1 Case 当たり90秒程度の計算時間を要している。

表6-4-1 主な地点の実測水位 (昭和56年8月)

実 測 水 位 Y. P. (m)								
月 日 時	J	栗 橋	境	芽 吹	取 手	布 川	須 賀	金 江 津
8 23	1 0	15.066	10.788	4.875	1.899	1.801	1.583	1.60
	2 1	15.486	11.378	4.895	1.969	1.931	1.623	1.62
	3 2	15.766	11.818	5.055	2.079	1.941	1.643	1.61
	4 3	15.986	12.118	5.745	2.207	2.031	1.713	1.61
	5 4	16.266	12.448	6.515	2.259	2.051	1.733	1.70
	6 5	16.596	12.708	7.105	2.329	2.041	1.743	1.73
	7 6	16.976	13.028	7.576	2.549	2.091	1.713	1.64
	8 7	17.246	13.408	7.985	3.019	2.221	1.663	1.55
	9 8	17.546	13.768	8.465	3.479	2.401	1.663	1.56
	10 9	17.966	14.028	9.085	4.049	2.661	1.803	1.47
	11 10	18.376	14.318	9.635	4.839	3.091	2.023	1.47
	12 11	18.646	14.658	10.135	5.329	3.701	2.363	1.60
	13 12	19.056	14.998	10.695	5.779	4.241	2.803	1.80
	14 13	19.256	15.288	11.225	6.229	4.661	3.173	2.03
	15 14	19.336	15.528	11.725	6.649	5.041	3.503	2.26
	16 15	19.416	15.688	12.135	7.109	5.431	3.843	2.45
	17 16	19.396	15.778	12.485	7.589	5.791	4.213	2.64
	18 17	19.396	15.798	12.735	8.059	6.081	4.573	2.87
	19 18	19.246	15.788	12.915	8.489	6.721	4.913	3.12
	20 19	19.096	15.718	12.945	8.829	7.041	5.263	3.35
	21 20	18.916	15.608	12.965	9.089	7.311	5.583	3.61
	22 21	18.756	15.478	12.945	9.239	7.501	5.843	3.97
	23 22	18.556	15.328	12.855	9.359	7.701	6.043	4.12
24	0 23	18.396	15.178	12.765	9.429	7.861	6.213	4.30
	1 24	18.226	15.038	12.645	9.479	7.921	6.333	4.44
	2 25	18.066	14.888	12.545	9.489	7.991	6.433	4.56
	3 26	17.936	14.748	12.415	9.459	8.021	6.493	4.63
	4 27	17.806	14.628	12.295	9.509	8.011	6.503	4.66
	5 28	17.676	14.528	12.155	9.319	7.941	6.483	4.67
	6 29	17.566	14.428	12.035	9.229	7.911	6.443	4.66
	7 30	17.476	14.348	11.905	9.129	7.871	6.373	4.63
	8 31	17.376	14.268	11.795	9.019	7.801	6.313	4.60
	9 32	17.296	14.188	11.695	8.909	7.671	6.243	4.55
	10 33	17.216	14.118	11.605	8.809	7.601	6.153	4.50
	11 34	17.136	14.058	11.505	8.699	7.541	6.073	4.45
	12 35	17.056	13.998	11.415	8.599	7.441	5.993	4.39
	13 36	16.996	13.938	11.335	8.499	7.371	5.913	4.33
	14 37	16.876	13.878	11.255	8.419	7.311	5.833	4.27
	15 38	16.806	13.818	11.165	8.329	7.231	5.763	4.21
	16 39	16.746	13.748	11.085	8.239	7.151	5.693	4.16
	17 40	16.686	13.688	11.015	8.159	7.081	5.613	4.11
	18 41	16.606	13.638	10.935	8.079	7.011	5.543	4.05
	19 42	16.526	13.568	10.855	8.009	6.951	5.473	3.99
	20 43	16.446	13.498	10.775	7.929	6.891	5.403	3.94
	21 44	16.366		10.695	7.859	6.821	5.343	3.98
	22 45	16.296		10.615	7.789	6.761	5.273	3.84
	23 46	16.216		10.535	7.709	6.701	5.223	3.80
25	0 47	16.126		10.445	7.629	6.631	5.153	3.76
	1 48	16.046		10.355	7.559	6.561	5.103	3.72
	2 49	15.966		10.255	7.479	6.491	5.043	3.69
	3 50	15.886		10.155	7.399	6.421	4.983	3.64
	4 51	15.806		10.055	7.309	6.361	4.923	3.60
	5 52	15.716		9.955	7.229	6.281	4.863	3.54
	6 53	15.636		9.845	7.149	6.221	4.793	3.49
	7 54	15.566		9.735	7.059	6.141	4.723	3.42
	8 55	15.486		9.645	6.979	6.061	4.643	3.35
	9 56	15.406		9.535	6.889	5.991	4.573	3.29
	10 57	15.326		9.445	6.809	5.911	4.513	3.22
	11 58	15.246		9.345	6.729	5.841	4.433	3.17
	12 59	15.166		9.265	6.649	5.761	4.363	3.13

表6-4-2 主な地点の実測水位(昭和56年8月)

		実 測 水 位 Y. P. (m)						
月	日 時	J	銚 子	西 関 宿	野 田	流 山	水 海 道	高 須
8	23	1 0	0.96	10.74	4.42	1.95	7.094	
		2 1	0.84	11.29	4.5	2.00	7.204	
		3 2	0.79	11.66	4.8	1.97	7.404	
		4 3	0.78	11.95	5.46	2.00	7.604	
		5 4	0.84	12.16	5.94	2.23	7.794	
		6 5	0.94	12.42	6.23	2.67	7.904	
		7 6	1.04	12.65	6.42	2.99	7.994	
		8 7	1.13	12.96	6.58	3.13	8.094	
		9 8	1.19	13.2	6.72	3.25	8.164	
		10 9	1.21	13.44	6.91	3.36	8.304	
		11 10	1.18	13.65	7.18	3.49	8.564	
		12 11	1.12	13.9	7.49	3.63	9.674	
		13 12	1.06	14.16	7.89	3.81	11.254	4.85
		14 13	1.01	14.47	8.31	4.04	12.744	
		15 14	1.01	14.63	8.64	4.33	13.694	5.67
		16 15	1.09	14.78	8.93	4.83	14.214	
		17 16	1.17	14.88	9.2	5.25	14.444	6.53
		18 17	1.24	14.91	9.42	5.62	14.594	
		19 18	1.34	14.89	9.6	5.97	14.604	7.39
		20 19	1.45	14.85	9.72	6.24	14.584	
		21 20	1.49	14.76	9.8	6.49	14.534	8.04
		22 21	1.49	14.65	9.83	6.63	14.464	8.28
		23 22	1.46	14.52	9.83	6.73	14.394	8.46
24	0	23	1.40	14.4	9.79	6.76	14.284	8.558
		1 24	1.36	14.27	9.74	6.79	14.214	8.688
		2 25	1.31	14.16	9.66	6.76	14.104	8.698
		3 26	1.26	14.06	9.59	6.71	13.994	8.658
		4 27	1.26	13.96	9.51	6.66	13.914	8.578
		5 28	1.27	13.87	9.42	6.60	13.824	8.488
		6 29	1.29	13.79	9.33	6.52	13.744	8.4
		7 30	1.32	13.72	9.25	6.44	13.674	8.31
		8 31	1.34	13.66	9.17	6.35	13.564	8.21
		9 32	1.38	13.58	9.11	6.29	13.474	8.12
		10 33	1.42	13.52	9.06	6.21	13.384	8.02
		11 34	1.44	13.49	9.0	6.14	13.304	7.93
		12 35	1.45	13.44	8.95	6.09	13.204	7.84
		13 36	1.45	13.39	8.9	6.01	13.104	7.75
		14 37	1.43	13.32	8.85	5.95	13.014	7.66
		15 38	1.42	13.28	8.79	5.89	12.974	7.59
		16 39	1.41	13.23	8.75	5.84	12.834	7.51
		17 40	1.41	13.19	8.71	5.79	12.774	7.44
		18 41	1.43	13.14	8.66	5.75	12.644	7.36
		19 42	1.48	13.09	8.62	5.70	12.494	7.29
		20 43	1.51	13.03	8.57	5.66	12.384	7.22
		21 44	1.53	12.97	8.53	5.62	12.224	7.16
		22 45	1.53	12.9	8.49	5.57	12.054	7.1
	23 46	1.49	12.84	8.45	5.53	11.854	7.02	
25	0	47	1.42	12.79	8.4	5.49	11.644	6.96
		1 48	1.32	12.72	8.36	5.45	11.454	6.88
		2 49	1.20	12.66	8.31	5.40	11.214	6.81
		3 50	1.03	12.59	8.27	5.36	11.034	6.73
		4 51	0.93	12.53	8.22	5.32	10.854	6.66
		5 52	0.81	12.45	8.17	5.27	10.724	6.58
		6 53	0.74	12.38	8.12	5.23	10.554	6.5
		7 54	0.70	12.32	8.06	5.19	10.434	6.44
		8 55	0.71	12.25	8.02	5.15	10.334	6.36
		9 56	0.77	12.18	7.97	5.11	10.204	6.29
		10 57	0.88	12.12	7.93	5.07	10.134	6.21
		11 58	0.99	12.05	7.88	5.03	10.064	6.14
	12 59	1.11	12.0	7.83	5.00	9.984	6.07	

表 6-4-3 主な地点の実測水位 (昭和56年 8月)

			実 測 水 位 T. P. (m)			
月	日	時	J	押 付	横 利 根	利 根 関 宿
8	23	1	0	1.76	1.531	12.11
		2	1	1.83	1.541	12.78
		3	2	1.91	1.461	13.17
		4	3	2.01	1.481	13.46
		5	4	2.03	1.581	13.76
		6	5	2.03	1.571	13.99
		7	6	2.11	1.471	14.31
		8	7	2.28	1.571	14.73
		9	8	2.52	1.431	15.08
		10	9	3.01	1.301	15.37
		11	10	3.6	1.311	15.69
		12	11	4.24	1.341	15.99
		13	12	4.7	1.431	16.25
		14	13	5.13	1.581	16.49
		15	14	5.63	1.611	16.64
		16	15	6.05	1.641	16.79
		17	16	6.54	1.691	16.81
		18	17	7.06	1.821	16.79
		19	18	7.41	1.961	16.74
		20	19	7.84	2.141	16.67
		21	20	8.07	2.351	16.54
		22	21	8.27	2.561	16.42
		23	22	8.49	2.731	16.28
24	0	23	0	8.55	2.901	16.13
		1	24	8.67	3.011	15.98
		2	25	8.74	3.111	15.84
		3	26	8.73	3.141	15.71
		4	27	8.63	3.191	15.59
		5	28	8.55	3.231	15.47
		6	29	8.47	3.191	15.37
		7	30	8.4	3.221	15.29
		8	31	8.31	3.201	15.19
		9	32	8.21	3.171	15.11
		10	33	8.1	3.161	15.02
		11	34	7.98	3.141	14.94
		12	35	7.9	3.111	14.89
		13	36	7.8	3.071	14.81
		14	37	7.73	3.041	14.74
		15	38	7.62	3.011	14.64
		16	39	7.55	2.671	14.59
		17	40	7.55	2.931	14.54
		18	41	7.38	2.901	14.46
		19	42	7.31	2.851	14.39
		20	43	7.24	2.821	14.32
		21	44	7.17	2.781	14.24
		22	45	7.09	2.761	14.17
		23	46	7.03	2.741	14.09
25	0	47	0	6.94	2.721	14.02
		1	48	6.88	2.681	13.94
		2	49	6.79	2.641	13.87
		3	50	6.72	2.591	13.80
		4	51	6.63	2.521	13.74
		5	52	6.56	2.441	13.66
		6	53	6.48	2.371	13.79
		7	54	6.39	2.301	13.51
		8	55	6.3	2.211	13.44
		9	56	6.22	2.161	13.37
		10	57	6.15	2.101	13.30
		11	58	6.06	2.061	13.24
		12	59	5.98	2.041	13.15

表6-5-1 主な地点の実測流量(昭和56年8月)

				実 測 流 量 Q (m ³ /s)			
月	日	時	J	栗 橋	芽 吹	取 手	布 川
8	23	1	0	1,740			
		2	1	2,060			
		3	2	2,300			
		4	3	2,500			
		5	4	2,760			
		6	5	3,020			
		7	6	3,580			
		8	7	4,040			
		9	8	4,600			
		10	9	5,280	2,902		
		11	10	6,240			
		12	11	6,560	3,902		1,972
		13	12	7,880		2,924	2,295
		14	13	8,100	5,165		
		15	14	8,180	5,011	3,319	2,888
		16	15	8,180	5,321		
		17	16	7,800	5,331	4,392	3,685
		18	17	7,800	6,790		
		19	18	7,500	5,965	5,325	4,763
		20	19	7,220	6,129		5,092
		21	20	6,880	5,462	6,425	5,818
		22	21	6,520	5,183	6,341	5,930
		23	22	6,240	5,429	5,477	6,002
24	0	23	0	5,880	5,203	5,490	6,108
		1	24	5,540		5,245	5,500
		2	25	5,200	4,569		5,705
		3	26	4,880		5,224	6,056
		4	27	4,420	3,993	4,895	5,712
		5	28	4,080		4,881	5,304
		6	29	3,880		5,018	5,141
		7	30	3,700	3,483	4,585	5,052
		8	31	3,520		4,013	5,063
		9	32	3,460		4,192	4,860
		10	33	3,320	2,908	4,099	
		11	34	3,240			
		12	35	3,120		3,434	
		13	36	3,040	2,453		4,182
		14	37	2,940		3,513	4,087
		15	38	2,880			3,958
		16	39	2,840	2,077	3,602	3,646
		17	40	2,800			3,617
		18	41	2,720			
		19	42	2,680			3,882
		20	43	2,620			
		21	44	2,560		3,257	3,516
		22	45	2,500		2,976	
		23	46	2,460			3,047
25	0	47	0	2,380			
		1	48	2,340		2,618	2,916
		2	49	2,280			
		3	50	2,220			2,821
		4	51	2,160		2,404	
		5	52	2,080			2,561
		6	53	2,040			
		7	54	2,000		2,283	2,571
		8	55	1,960			
		9	56	1,880			2,422
		10	57	1,840		2,231	
		11	58	1,800			2,473
		12	59	1,740			

表 6-5-2 主な地点の実測流量 (昭和56年 8 月)

実 測 流 量 Q (m ³ /s)						
月 日 時	J	西 関 宿	野 田	流 山	水 海 道	高 須
8 23 1	0				75	(0)
2	1				90	(0)
3	2				110	(0)
4	3				130	(0)
5	4				150	(0)
6	5				165	(0)
7	6				180	(0)
8	7				190	(0)
9	8				200	(0)
10	9	939			215	(50)
11	10				255	(100)
12	11	1,331			450	153
13	12				830	142
14	13	1,629			1,305	82
15	14				1,675	(50)
16	15	1,768	1,657		1,910	(20)
17	16				2,005	(0)
18	17	1,700	1,738		2,000	-26
19	18				2,000	-80
20	19	1,825	1,743	1,418	1,700	(-100)
21	20				1,640	-119
22	21	1,624	1,835	1,470	1,610	-58
23	22				1,575	-30
24 0	23	1,484	1,824	1,613	1,520	-50
1	24				1,505	-61
2	25	1,378	1,705	1,435	1,465	-120
3	26				1,420	(-150)
4	27	1,260	1,552	1,375	1,390	(-100)
5	28				1,350	(-50)
6	29	1,138	1,383	1,332	1,315	(0)
7	30				1,290	(0)
8	31	1,122	1,356	1,241	1,240	(0)
9	32				1,205	(0)
10	33		1,257	1,218	1,175	(0)
11	34	1,000			1,150	(0)
12	35	892	1,236	1,147	1,105	(0)
13	36				1,075	(0)
14	37	853	1,169	1,099	1,050	(0)
15	38				1,040	(0)
16	39	800	1,174	966	1,000	(0)
17	40				980	(0)
18	41	728	1,071	944	945	(0)
19	42				900	(0)
20	43	700	1,024	865	870	(0)
21	44				825	(0)
22	45		1,010	843	780	(0)
23	46				735	(0)
25 0	47		979	798	695	36
1	48				665	53
2	49		922	762	625	61
3	50				595	78
4	51		896	757	565	77
5	52				545	71
6	53		876	759	520	90
7	54				500	91
8	55				485	111
9	56				460	116
10	57				450	119
11	58				440	135
12	59				425	133

() 内の値は内挿値

表6-6-1 主な地点の実測水位(昭和57年8月)

			実 測 水 位 Y. P. (m)					
月	日	時	J	栗 橋	芽 吹	取 手	布 川	須 賀
8	1	21	0	15.076	6.905	3.409	2.731	
		22	1	15.716	7.005	3.479	2.781	
		23	2	16.256	7.155	3.579	2.851	
2	0	3		16.856	7.445	3.699	2.941	
		1	4	17.346	8.025	3.859	3.031	2.153
		2	5	17.746	8.785	4.119	3.171	2.353
		3	6	17.946	9.255	4.719	3.441	2.543
		4	7	18.176	9.655	5.259	3.891	2.793
		5	8	18.426	10.015	5.639	4.321	3.053
		6	9	18.736	10.445	5.919	4.641	3.273
		7	10	19.216	10.935	6.249	4.911	3.433
		8	11	19.536	11.445	6.559	5.181	3.623
		9	12	19.936	12.015	6.889	5.491	3.853
		10	13	20.096	12.495	7.279	5.771	4.123
		11	14	20.186	12.885	7.619	6.051	4.393
		12	15	20.226	13.215	8.049	6.351	4.663
		13	16	20.166	13.405	8.489	6.871	5.003
		14	17	20.056	13.505	8.909	7.171	5.353
		15	18	19.936	13.575	9.239	7.501	5.683
		16	19	19.796	13.615	9.499	7.731	6.003
		17	20	19.646	13.605	9.649	7.961	6.283
		18	21	19.446	13.515	9.799	8.121	6.513
		19	22	19.246	13.435	9.909	8.221	6.673
		20	23	19.026	13.345	9.939	8.311	6.813
		21	24	18.816	13.225	9.939	8.381	6.903
		22	25	18.616	13.105	9.929	8.411	6.963
		23	26	18.446	12.945	9.899	8.421	6.993
3	0	27		18.206	12.795	9.849	8.401	6.993
		1	28	18.136	12.645	9.779	8.371	6.983
		2	29	17.996	12.495	9.709	8.381	6.953
		3	30	17.866	12.355	9.629	8.291	6.913
		4	31	17.746	12.205	9.539	8.241	6.863
		5	32	17.656	12.055	9.439	8.201	6.803
		6	33	17.576	11.925	9.339	8.101	6.723
		7	34	17.486	11.805	9.219	8.021	6.653
		8	35	17.416	11.659	9.049	7.901	6.513
		9	36	17.346	11.595	8.999	7.871	6.473
		10	37	17.296	11.495	8.879	7.761	6.383
		11	38	17.256	11.405	8.779	7.651	6.273
		12	39	17.216	11.315	8.659	7.581	6.173
		13	40	17.196	11.235	8.549	7.531	6.073
		14	41	17.176	11.175	8.459	7.451	5.973
		15	42	17.156	11.115	8.379	7.371	5.883
		16	43	17.136	11.065	8.289	7.281	5.803
		17	44	17.136	11.025	8.229	7.221	5.733
		18	45	17.136	10.985	8.179	7.161	5.673
		19	46	17.126	10.955	8.119	7.101	5.613
		20	47	17.126	10.945	8.079	7.091	5.573
		21	48	17.126	10.945	8.059	7.051	5.533
		22	49	17.106	10.955	8.049	7.041	5.503
		23	50	17.086	10.965	8.049	7.001	5.473
4	0	51		17.066	10.965	8.059	7.021	5.453
		1	52	17.046	10.965	8.049	7.001	5.443
		2	53	17.026	10.955	8.049	7.011	5.433
		3	54	16.996	10.945	8.029	6.991	5.433
		4	55	16.956	10.925	8.019	6.971	5.423
		5	56	16.886	10.905	7.999	6.961	5.403
		6	57	16.856	10.875	7.979	6.941	5.393
		7	58	16.806	10.825	7.959	6.941	5.383
		8	59	16.766	10.795	7.929	6.911	5.373
		9	60	16.716	10.755	7.899	6.881	5.343
		10	61	16.656	10.725	7.879	6.861	5.323
		11	62	16.596	10.675	7.839	6.831	5.293
12	63	16.536	10.625	7.809	6.811	5.273		

表6-6-2 主な地点の実測水位(昭和57年8月)

実 測 水 位 Y. P. (m)									
月	日	時	J	金 江 津	太 田 新 田	銚 子	西 関 宿	野 田	流 山
8	1	21	0	1. 55	1. 185	1. 07	11. 5	6. 43	3. 46
		22	1	1. 6	1. 255	1. 14	11. 7	6. 48	3. 49
		23	2	1. 65	1. 335	1. 2	12. 13	6. 54	3. 51
2	0	3	1. 75	1. 435	1. 26	12. 52	6. 61	3. 54	
	1	4	2. 0	1. 565	1. 27	12. 9	6. 7	3. 59	
	2	5	2. 15	1. 595	1. 24	13. 23	6. 85	3. 63	
	3	6	2. 25	1. 595	1. 08	13. 29	7. 03	3. 69	
	4	7	2. 37	1. 515	0. 94	13. 66	7. 26	3. 80	
	5	8	2. 44	1. 375	0. 76	13. 82	7. 56	3. 95	
	6	9	2. 46	1. 305	0. 61	14. 02	7. 87	4. 12	
	7	10	2. 45	1. 245	0. 47	14. 25	8. 18	4. 26	
	8	11	2. 5	1. 155	0. 4	14. 61	8. 5	4. 45	
	9	12	2. 57	1. 095	0. 38	14. 94	8. 82	4. 85	
	10	13	2. 7	1. 055	0. 39	15. 25	9. 16	5. 26	
	11	14	2. 9	1. 065	0. 46	15. 48	9. 49	5. 63	
	12	15	3. 05	1. 145	0. 64	15. 62	9. 84	6. 01	
	13	16	3. 25	1. 275	0. 81	15. 72	10. 14	6. 53	
	14	17	3. 45	1. 425	1. 03	15. 74	10. 35	6. 82	
	15	18	3. 84	1. 625	1. 15	15. 67	10. 49	7. 04	
	16	19	4. 0	1. 805	1. 23	15. 58	10. 54	7. 29	
	17	20	4. 25	1. 965	1. 25	15. 5	10. 58	7. 39	
	18	21	4. 45	2. 085	1. 27	15. 35	10. 55	7. 46	
	19	22	4. 65	2. 185	1. 27	15. 21	10. 52	7. 51	
	20	23	4. 85	2. 255	1. 31	15. 05	10. 44	7. 49	
	21	24	5. 0	2. 295	1. 36	14. 89	10. 35	7. 44	
	22	25	5. 05	2. 335	1. 44	14. 75	10. 24	7. 39	
23	26	5. 11	2. 385	1. 52	14. 61	10. 13	7. 30		
3	0	27	5. 14	2. 435	1. 6	14. 46	10. 01	7. 20	
	1	28	5. 15	2. 475	1. 64	14. 34	9. 89	7. 11	
	2	29	5. 15	2. 505	1. 68	14. 23	9. 78	7. 00	
	3	30	5. 14	2. 525	1. 66	14. 12	9. 67	6. 93	
	4	31	5. 13	2. 535	1. 61	14. 03	9. 57	6. 82	
	5	32	5. 09	2. 525	1. 52	13. 95	9. 47	6. 73	
	6	33	5. 06	2. 495	1. 41	13. 88	9. 38	6. 62	
	7	34	5. 01	2. 455	1. 3	13. 81	9. 3	6. 49	
	8	35	4. 95	2. 365	1. 22	13. 75	9. 23	6. 45	
	9	36	4. 88	2. 345	1. 14	13. 69	9. 16	6. 39	
	10	37	4. 88	2. 285	1. 07	13. 63	9. 1	6. 30	
	11	38	4. 73	2. 245	1. 05	13. 58	9. 05	6. 22	
	12	39	4. 64	2. 195	1. 05	13. 54	9. 0	6. 16	
	13	40	4. 56	2. 155	1. 11	13. 51	8. 95	6. 10	
	14	41	4. 48	2. 125	1. 3	13. 5	8. 9	6. 04	
	15	42	4. 4	2. 115	1. 29	13. 48	8. 87	5. 99	
	16	43	4. 33	2. 115	1. 33	13. 44	8. 83	5. 94	
	17	44	4. 28	2. 115	1. 33	13. 45	8. 8	5. 88	
	18	45	4. 24	2. 105	1. 28	13. 44	8. 77	5. 83	
	19	46	4. 2	2. 075	1. 19	13. 43	8. 74	5. 80	
	20	47	4. 16	2. 035	1. 13	13. 42	8. 72	5. 77	
	21	48	4. 13	1. 995	1. 06	13. 41	8. 7	5. 74	
	22	49	4. 1	1. 945	1. 05	13. 4	8. 69	5. 71	
23	50	4. 05	1. 925	1. 08	13. 39	8. 68	5. 70		
4	0	51	4. 03	1. 905	1. 18	13. 38	8. 67	5. 69	
	1	52	4. 01	1. 915	1. 25	13. 36	8. 65	5. 66	
	2	53	3. 99	1. 925	1. 32	13. 35	8. 64	5. 64	
	3	54	3. 98	1. 945	1. 33	13. 33	8. 63	5. 63	
	4	55	3. 98	1. 955	1. 27	13. 31	8. 62	5. 62	
	5	56	3. 98	1. 945	1. 15	13. 28	8. 6	5. 60	
	6	57	3. 98	1. 895	0. 99	13. 26	8. 59	5. 59	
	7	58	3. 98	1. 825	0. 83	13. 24	8. 57	5. 59	
	8	59	3. 96	1. 765	0. 68	13. 21	8. 56	5. 56	
	9	60	3. 93	1. 695	0. 58	13. 18	8. 54	5. 55	
	10	61	3. 89	1. 635	0. 52	13. 15	8. 52	5. 54	
	11	62	3. 86	1. 595	0. 53	13. 11	8. 5	5. 52	
	12	63	3. 83	1. 555	0. 59	13. 08	8. 48	5. 50	

表6-6-3 主な地点の実測水位 (昭和57年8月)

			実 測 水 位 Y. P. (m)						
月	日	時	J	水 海 道	高 須	押 付	横 利 根	利 根 関 宿	北 関 宿
8 1 1	21	0		7. 764		2. 74	1. 371	12. 74	11. 56
	22	1		7. 824		2. 82	1. 401	13. 09	11. 80
	23	2		7. 894		2. 9	1. 491	13. 78	12. 35
2	0	3		7. 954		2. 98	1. 661	14. 33	12. 86
	1	4		8. 064		3. 09	1. 841	14. 74	13. 24
	2	5		8. 154		3. 28	2. 031	15. 12	13. 68
	3	6		8. 314		3. 63	2. 081	15. 34	14. 24
	4	7		8. 504		4. 23	2. 071	15. 56	14. 58
	5	8		8. 764		4. 71	2. 011	15. 80	14. 99
	6	9		8. 974		4. 98	1. 921	16. 07	15. 18
	7	10		9. 174		5. 29	1. 821	16. 43	15. 50
	8	11		9. 424		5. 61	1. 701	16. 75	15. 86
	9	12		9. 744		5. 94	1. 651	17. 05	16. 16
	10	13		10. 114		6. 33	1. 651	17. 36	16. 48
	11	14		10. 734		6. 68	1. 701	17. 48	16. 78
	12	15		11. 994		7. 08	1. 811	17. 52	16. 90
	13	16		13. 054	6. 94	7. 45	1. 951	17. 57	16. 96
	14	17		13. 734	7. 48	7. 84	2. 141	17. 51	17. 00
	15	18		14. 094	7. 68	8. 19	2. 321	17. 40	16. 94
	16	19		14. 324	7. 98	8. 47	2. 541	17. 32	16. 78
	17	20		14. 444	8. 25	8. 71	2. 771	17. 17	16. 63
	18	21		14. 514	8. 44	8. 96	2. 961	17. 03	16. 46
	19	22		14. 534	8. 32	8. 97	3. 121	16. 84	16. 24
	20	23		14. 494	8. 42	9. 12	3. 261	16. 65	16. 04
	21	24		14. 444	8. 45	9. 11	3. 361	16. 49	15. 77
	22	25		14. 364	8. 46	9. 16	3. 441	16. 34	15. 59
	23	26		14. 304	8. 45	9. 11	3. 521	16. 16	15. 41
3	0	27		14. 214	8. 43	9. 09	3. 561	16. 00	15. 21
	1	28		14. 094	8. 37	9. 05	3. 621	15. 86	15. 09
	2	29		13. 954	8. 31	9. 02	3. 641	15. 74	14. 96
	3	30		13. 764	8. 24	8. 92	3. 691	15. 62	14. 83
	4	31		13. 674	8. 47	8. 82	3. 671	15. 53	14. 72
	5	32		13. 384	8. 32	8. 74	3. 681	15. 43	14. 62
	6	33		13. 064	8. 25	8. 67	3. 671	15. 37	14. 56
	7	34		12. 774	8. 15	8. 54	3. 641	15. 30	14. 49
	8	35		12. 494	8. 06	8. 39	(3. 571)	15. 24	14. 43
	9	36		12. 234	7. 96	8. 33	3. 531	15. 18	14. 35
	10	37		12. 044	7. 82	8. 23	3. 481	15. 12	14. 29
	11	38		11. 844	7. 71	8. 12	3. 421	15. 07	14. 24
	12	39		11. 704	7. 56	8. 02	3. 361	15. 03	14. 19
	13	40		11. 684	7. 51	7. 91	3. 271	15. 00	14. 15
	14	41		11. 684	7. 38	7. 79	3. 201	14. 98	14. 12
	15	42		11. 694	7. 31	7. 7	3. 151	14. 96	14. 10
	16	43		11. 784	7. 22	7. 6	3. 091	14. 94	14. 08
	17	44		11. 754	7. 16	7. 54	3. 061	14. 93	14. 06
	18	45		11. 874	7. 12	7. 48	3. 031	14. 92	14. 05
	19	46		12. 204	7. 03	7. 44	3. 011	14. 91	14. 04
	20	47		12. 594	6. 99	7. 37	2. 981	14. 91	14. 03
	21	48		12. 834	6. 94	7. 36	2. 931	14. 90	14. 02
	22	49		12. 964	6. 88	7. 32	2. 881	14. 89	14. 02
	23	50		12. 984	6. 92	7. 31	2. 831	14. 88	14. 00
4	0	51		12. 934	6. 93	7. 33	2. 801	14. 86	13. 99
	1	52		12. 854	6. 92	7. 31	2. 771	14. 84	13. 97
	2	53		12. 724	6. 89	7. 32	2. 751	14. 82	13. 94
	3	54		12. 624	6. 88	7. 30	2. 741	14. 79	13. 93
	4	55		12. 514	6. 87	7. 27	2. 751	14. 71	13. 90
	5	56		12. 434	6. 84	7. 26	2. 751	14. 73	13. 88
	6	57		12. 384	6. 84	7. 25	2. 751	14. 70	13. 84
	7	58		12. 294	6. 81	7. 24	2. 731	14. 67	13. 82
	8	59		12. 234	6. 78	7. 22	2. 691	14. 53	13. 77
	9	60		12. 124	6. 76	7. 17	2. 641	14. 59	13. 73
	10	61		12. 024	6. 76	7. 15	2. 601	14. 54	13. 66
	11	62		11. 924	6. 72	7. 14	2. 551	14. 49	13. 64
12	63		11. 794	6. 7	7. 1	2. 511	14. 43	13. 58	

表 6 - 7 - 1 主な地点の実測流量 (昭和57年 8 月)

実 測 流 量 Q (m ³ /S)						
月 日 時	J	栗 橋	芽 吹	取 手	布 川	金 江 津
8 1 21	0	1,720				
22	1	2,260				
23	2	2,740				
2 0	3	3,420				
1	4	4,260				
2	5	4,900				
3	6	5,260				
4	7	5,720				
5	8	6,320				
6	9	7,240				
7	10	8,480	3,826	3,310		
8	11	9,440	4,845	3,512		
9	12	10,540	4,683	3,680		
10	13	11,040	4,707			
11	14	11,080	6,938	5,082		
12	15	10,600	7,049			
13	16	10,280	6,908	5,740	5,033	
14	17	9,860	6,777	6,700	5,686	
15	18	9,300	7,005	7,009	5,750	
16	19	8,800	6,217	7,272	6,038	
17	20	8,440	6,120		6,640	
18	21	7,920	6,128	6,817	6,722	
19	22	7,460	5,810		6,647	
20	23	7,060	5,431	6,235	6,805	
21	24	6,640			6,656	6,009
22	25	6,520	4,541	6,242	6,508	
23	26	6,040		5,860	6,609	6,148
3 0	27	5,480	4,080	5,695	6,249	6,847
1	28	5,380		5,827	5,674	6,025
2	29	5,040	3,607	5,516	6,137	5,504
3	30	4,640		5,496	6,137	5,676
4	31	4,280			5,922	
5	32	4,040			5,919	5,541
6	33	3,920		5,360	5,010	
7	34	3,720		4,822	4,909	5,794
8	35	3,600				
9	36	3,500		4,221	4,934	5,282
10	37	3,440				
11	38	3,380		3,991	4,370	
12	39	3,320				
13	40	3,280		3,898	4,414	4,763
14	41	3,240				
15	42	3,240		3,804		
16	43	3,220				4,327
17	44	3,220			3,830	
18	45	3,220		3,392		
19	46	3,210			3,571	3,964
20	47	3,210				
21	48	3,210		3,365	3,309	3,721
22	49	3,200				
23	50	3,180				
4 0	51	3,120		3,358	3,647	3,175
1	52	3,100				
2	53	3,080				
3	54	3,060		3,599	3,514	
4	55	3,020				2,388
5	56	2,960				
6	57	2,920		3,618	3,732	3,618
7	58	2,880				
8	59	2,860				
9	60	2,820		3,403	3,348	
10	61	2,760				
11	62	2,720				
12	63	2,680		3,093	3,438	

表 6 - 7 - 2 主な地点の実測流量 (昭和57年 8 月)

実 測 流 量 Q (m ³ /S)						
月	日	時	J	西 関 宿	野 田	流 山
8	1	21	0			145
		22	1			155
		23	2			160
2	0	3				170
	1	4				185
	2	5				195
	3	6				220
	4	7				245
	5	8				285
	6	9				320
	7	10		1, 454		355
	8	11				400
	9	12		1, 945	1, 191	470
	10	13				550
	11	14		2, 240	1, 622	700
	12	15				1, 091
	13	16		2, 025	2, 084	1, 391
	14	17		2, 120		2, 021
	15	18		2, 223	2, 268	
	16	19				2, 188
	17	20		2, 011	2, 230	1, 680
	18	21			2, 124	2, 211
	19	22		1, 772	2, 195	2, 318
	20	23				2, 326
	21	24		1, 589	2, 055	2, 149
	22	25				2, 153
	23	26		1, 539	1, 890	1, 530
3	0	27				1, 989
	1	28		1, 352	1, 669	1, 500
	2	29				1, 460
	3	30		1, 337	1, 332	1, 400
	4	31				1, 320
	5	32		1, 056	1, 382	1, 290
	6	33				1, 170
	7	34		857	1, 310	1, 070
	8	35				980
	9	36		939	1, 154	900
	10	37				830
	11	38		756		780
	12	39			1, 086	735
	13	40				710
	14	41		663		705
	15	42			1, 410	705
	16	43				705
	17	44		734		730
	18	45			1, 020	720
	19	46				745
	20	47		679		820
	21	48			1, 022	930
	22	49				1, 000
	23	50		729		1, 040
						1, 050
4	0	51			1, 087	1, 034
	1	52				1, 030
	2	53		754		1, 005
	3	54			1, 112	905
	4	55				935
	5	56				910
	6	57			1, 088	885
	7	58				870
	8	59		717		845
	9	60			1, 094	830
	10	61				805
	11	62				775
	12	63				755
						730

() 内は内挿値

6-10 計算結果の考察及び今後の検討事項

(1) 分流について

江戸川への分流量は、西関宿・野田・流山の流量で代表できる。これらの地点の流量-時間曲線を見ると、粗度Bを適用したCase 3と4については実測値と計算値がよく一致している。また、分派点付近の利根川と江戸川の水位に関しても、ピーク付近では実測値と計算値に大きなズレは見られない。以上のことから、本計算により江戸川への分流特性が適確に表現されたと考えられる。一方粗度Aを適用したCase 1と2の流量については、実測値より計算値の方が大き目に出ている。これは、分流点下流の利根川の粗度に大きすぎる値を与えたためである。

なお参考として、分流量に与える粗度と分流ロスの影響を示しておく。表6-8は、粗度B・分流ロス有の計算条件(Case 3とCase 4で用いたもの)を基準とし、分派点付近の粗度を変えたり分流ロスを入れなかったりした場合に西関宿のピーク流量がどのように変化するかを示したものである。この表から、粗度が分流量にかなりの影響を与えること、分流ロスは江戸川の粗度を全川にわたって0.005上げると同じ程度の効果を持つことがわかる。また分派点より下流の粗度を0.005程度変えても、その付近の水位はあまり変化しないという結果も同時に得られている。これは、粗度を変えることによって分流量もまた変わるためである。以上のことから、分流特性を不定流計算で再現するためには分流ロスと粗度の設定が非常に重要であることがわかる。

表6-8 西関宿のピーク流量(不定流計算の結果)

計 算 条 件	S56.8洪水[t/s]	S57.8洪水[t/s]
① 基本ケース (Case 3, 4の計算条件)	1918	2644
② 分派点より下流約10kmの利根川の粗度を0.02から0.025にした場合	2094 (+176)	2860 (+216)
③ さらに江戸川全川の粗度を0.03から0.025にした場合	2333 (+239)	3176 (+316)
④ さらに分流ロスを無視した場合	2470 (+137)	3461 (+285)

(2) 分流点より下流の利根川の流量について

S56.8洪水については、取手から下流の計算流量が実測流量より500~1,000 t/s程度多い。S57.8洪水については、芽吹から下流の計算流量がやはり500~1,000 t/s程度実測流量より多くなっている。このように利根川下流部において計算流量が実測流量をかなり上回っている原因は主に2つ考えられる。第一は、栗橋と水海道(鬼怒川)の流観データの誤差である。栗橋と水海道の流量は境界条件として用いられているが、この量に誤差があれば当然下流すべてに影響する。流観データに1割程度の誤差が含まれているのは常識であることを考えると、700 ton/s程度のズレがあってもおかしくない。今後は境界条件に

含まれる誤差を考慮した条件設定を行なう必要がある。第二の原因としては、遊水池への流入量が実際よりも少ないことが考えられる。菅生・稲戸井・田中の3遊水池は芽吹と取手の間に位置しており、これらの遊水池に流入する量が増せばわるくともS57.8洪水については計算値が実測値に近くなる。これらの遊水池の中でも越流堤のある田中・菅生遊水池については、越流堤の高さやその付近の河道の粗度、越流係数が流入量に大きな影響を与えるので、これらの条件に誤差があれば流入量もかなり誤差を持つはずである。したがって越流堤を持つ遊水池に関しては、越流水深と流入量の関係から越流特性を調べたり越流堤の高さを厳密に測定するなど、分流と同様慎重な吟味をした上で不定流計算を行なうことが必要である。

(3) 水位の時間変化について

ほぼ全川の水位観測地点において、実測値の方が計算値より水位の逓減が遅いという傾向が見られる。この原因としては、減水期の方が増水期より粗度が大きくなること、高水敷上の流れと低水路上の流れの干渉を考慮していないことなどが考えられるが、現段階では断定できない。今後解明していくべき問題として残った。

(4) 計算で与えた粗度について

計算で与えた粗度は、高水敷の地被状態から決まる高水敷粗度や河床材料と水理条件から決まる低水路粗度とはかなり異なっている（全般的に計算で与えた粗度の方が大きい）。これは、粗度を決める要因に河床材料や地被状態以外のもの例えば、低水路の曲がりやかん木等があるためだと思われる。したがって現段階では、実測値と計算値が合うように修正しながら粗度を決定していく方法を取らざるを得ないであろう。（河床材料が変わるところで低水路粗度を変えたり、高水敷粗度を低水路粗度より大きくするなど、最低限の情報は取入れるべきである。）しかし、複断面を考慮できるという本計算プログラムの特徴をさらに生かすためには、高水敷と低水路の粗度をある程度物理的に決めることが必要である。今後、実際の河川における複断面河道の抵抗特性を検討して行くべきであろう。

Case 1

(昭和56年 8 月洪水——粗度A)

1. The first part of the report
is devoted to a general
description of the
situation in the
country.

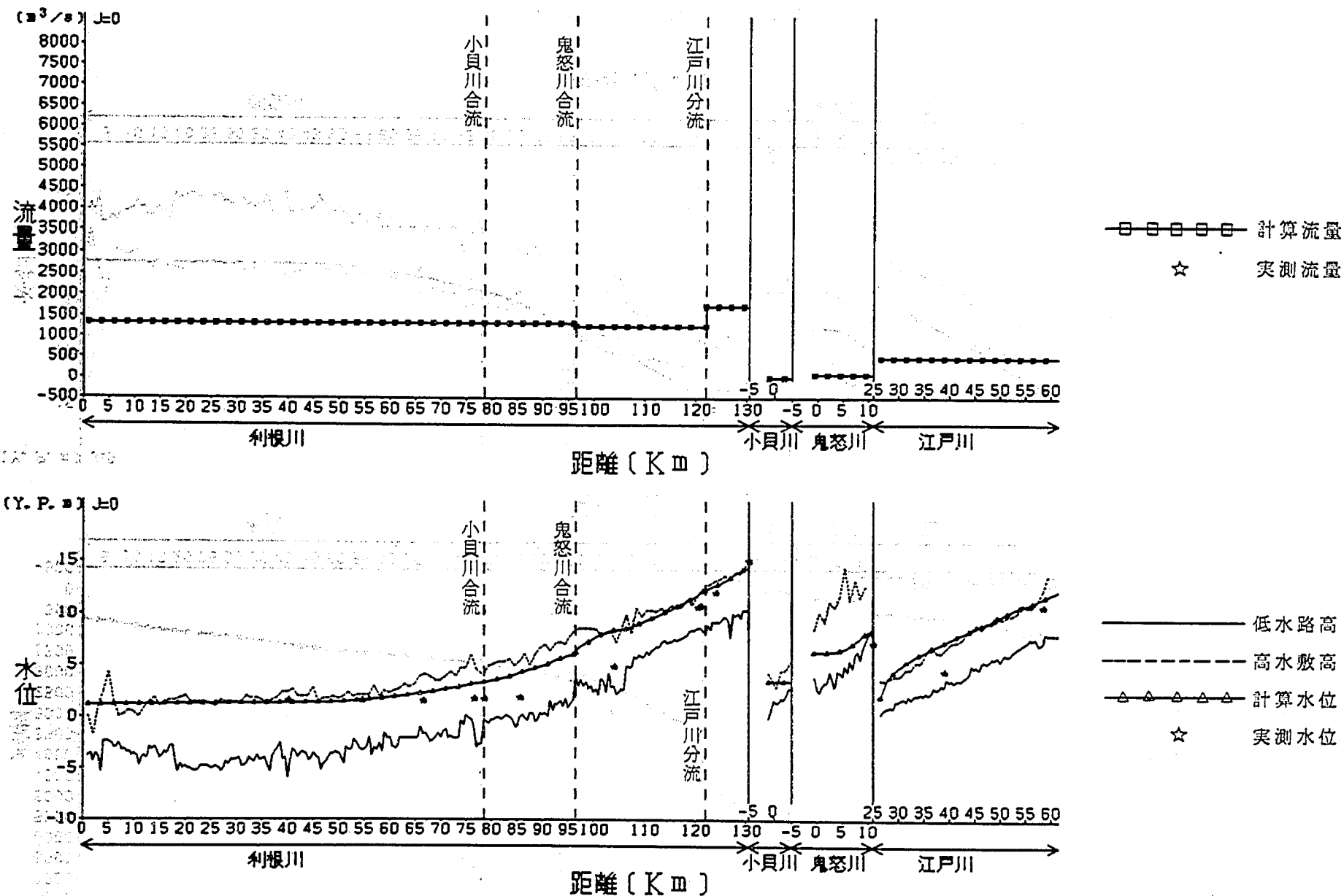


図 6 - 5 - 1 水位・流量縦断図 (不等流計算)

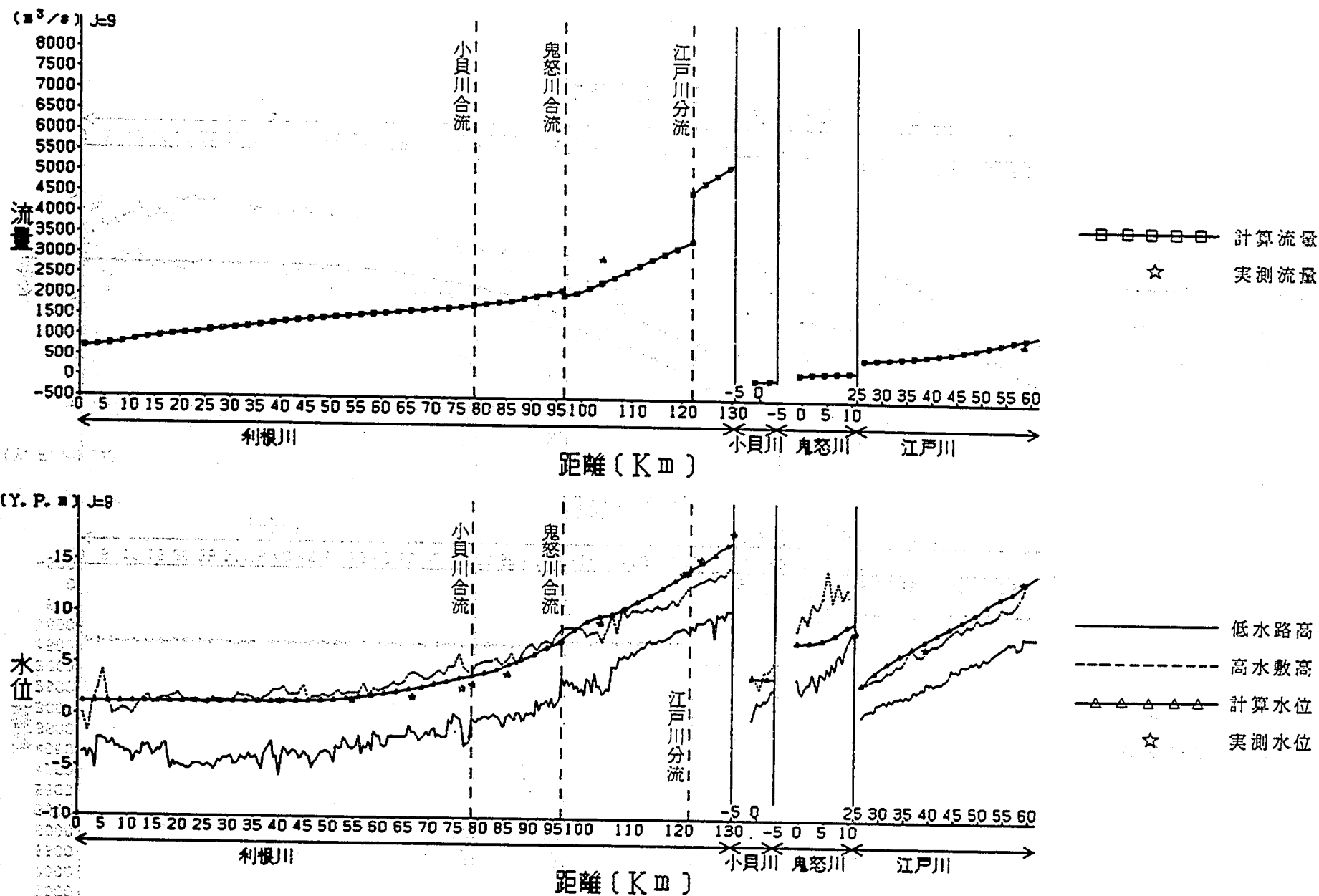


図 6-5-2 水位・流量縦断図

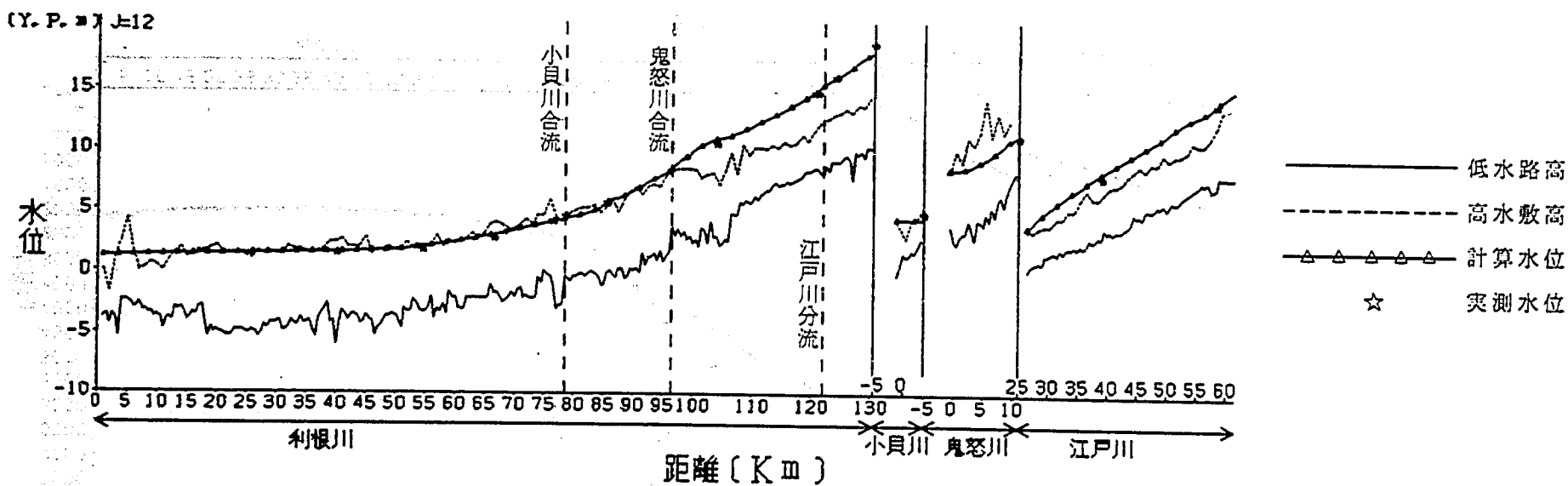
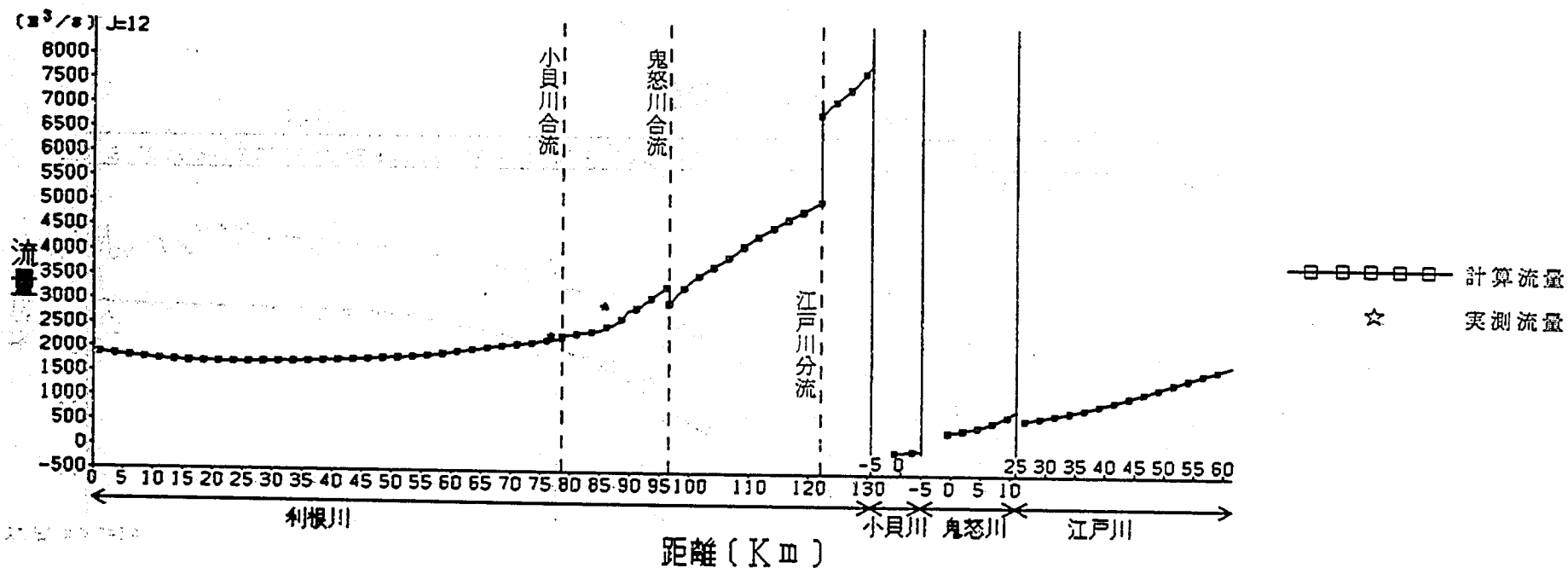


図 6 - 5 - 3 水位・流量縦断面図

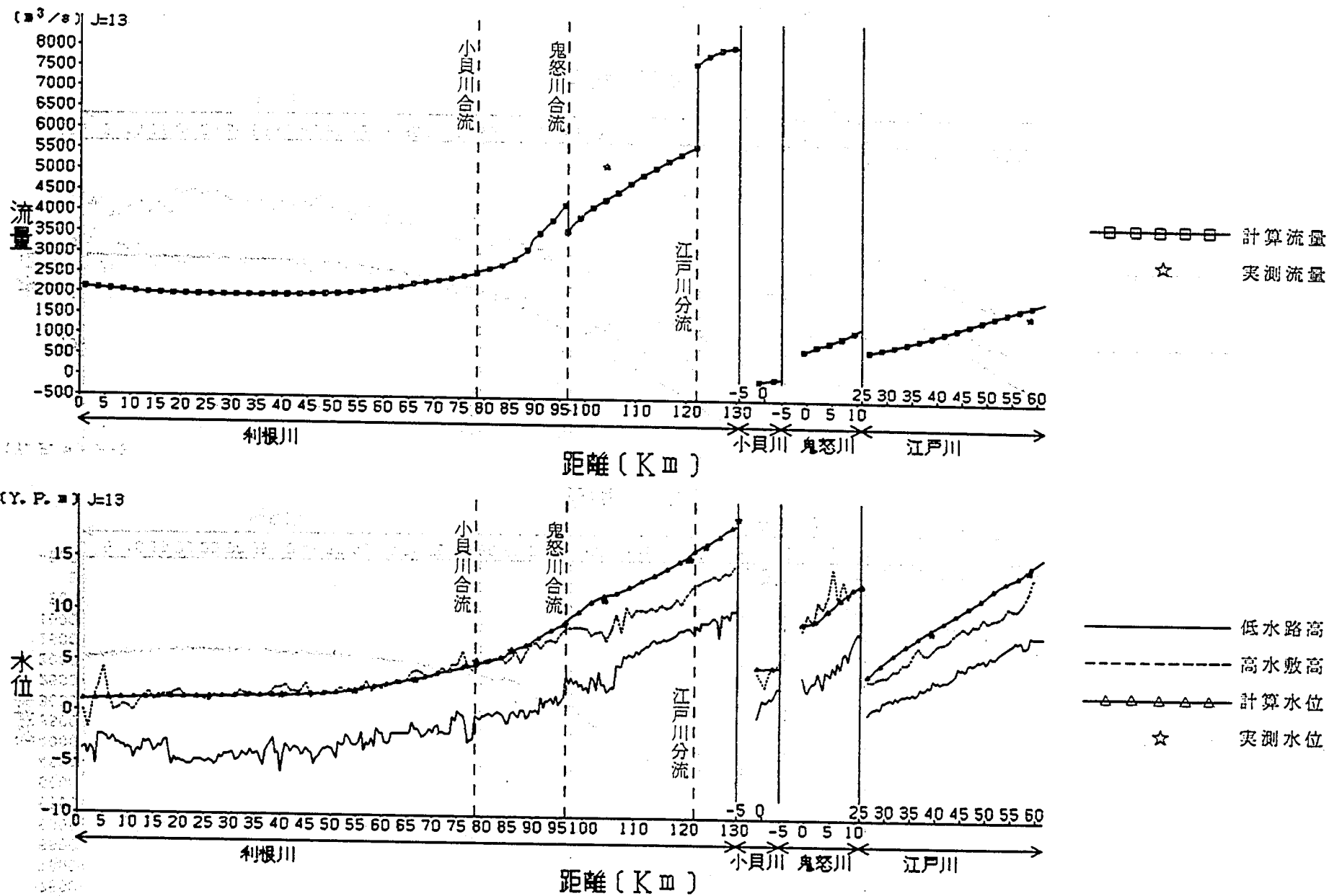


図 6 - 5 - 4 水位・流量縦断面図

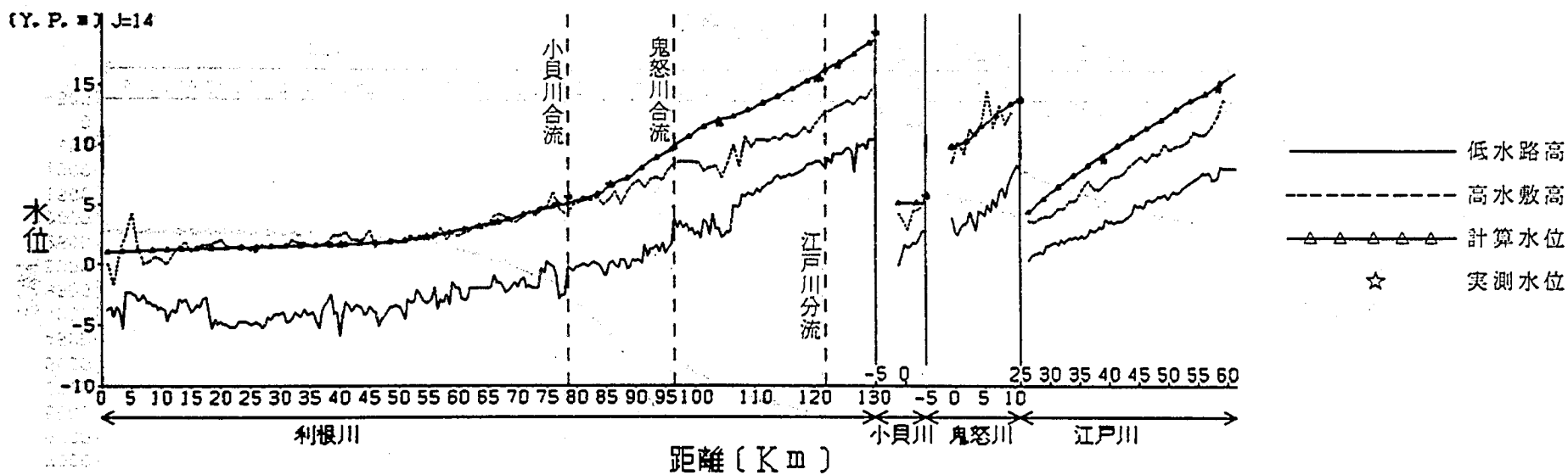
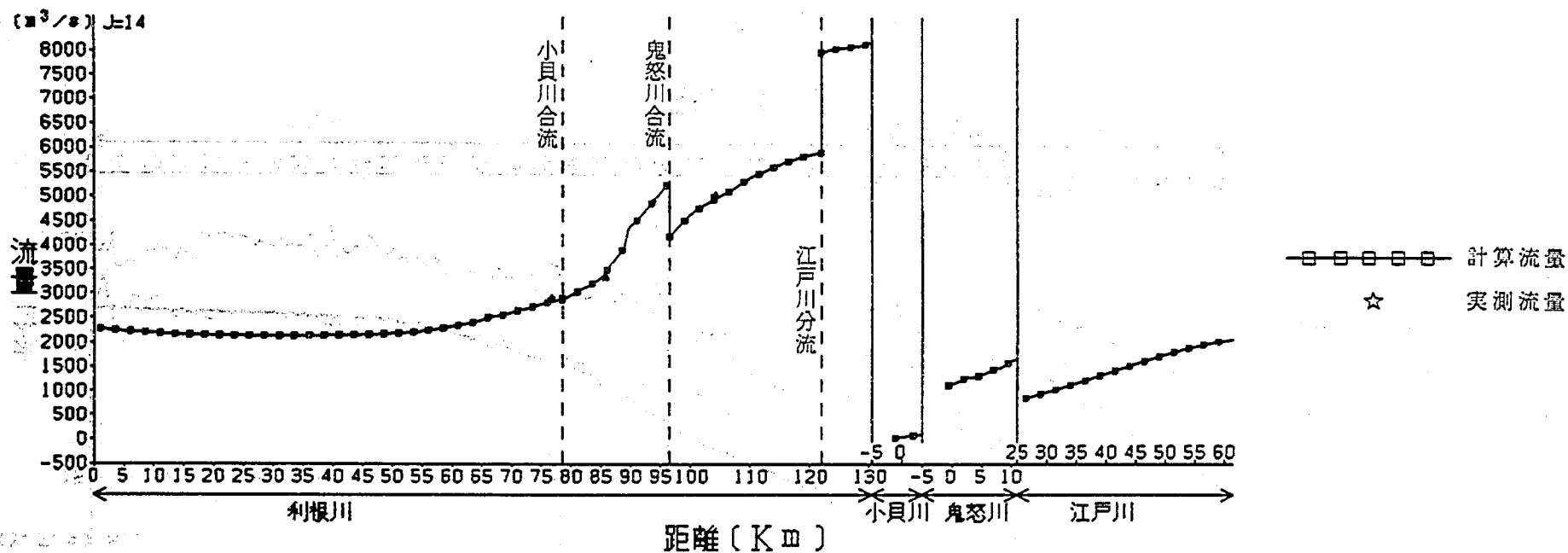


図 6 - 5 - 5 水位・流量縦断図

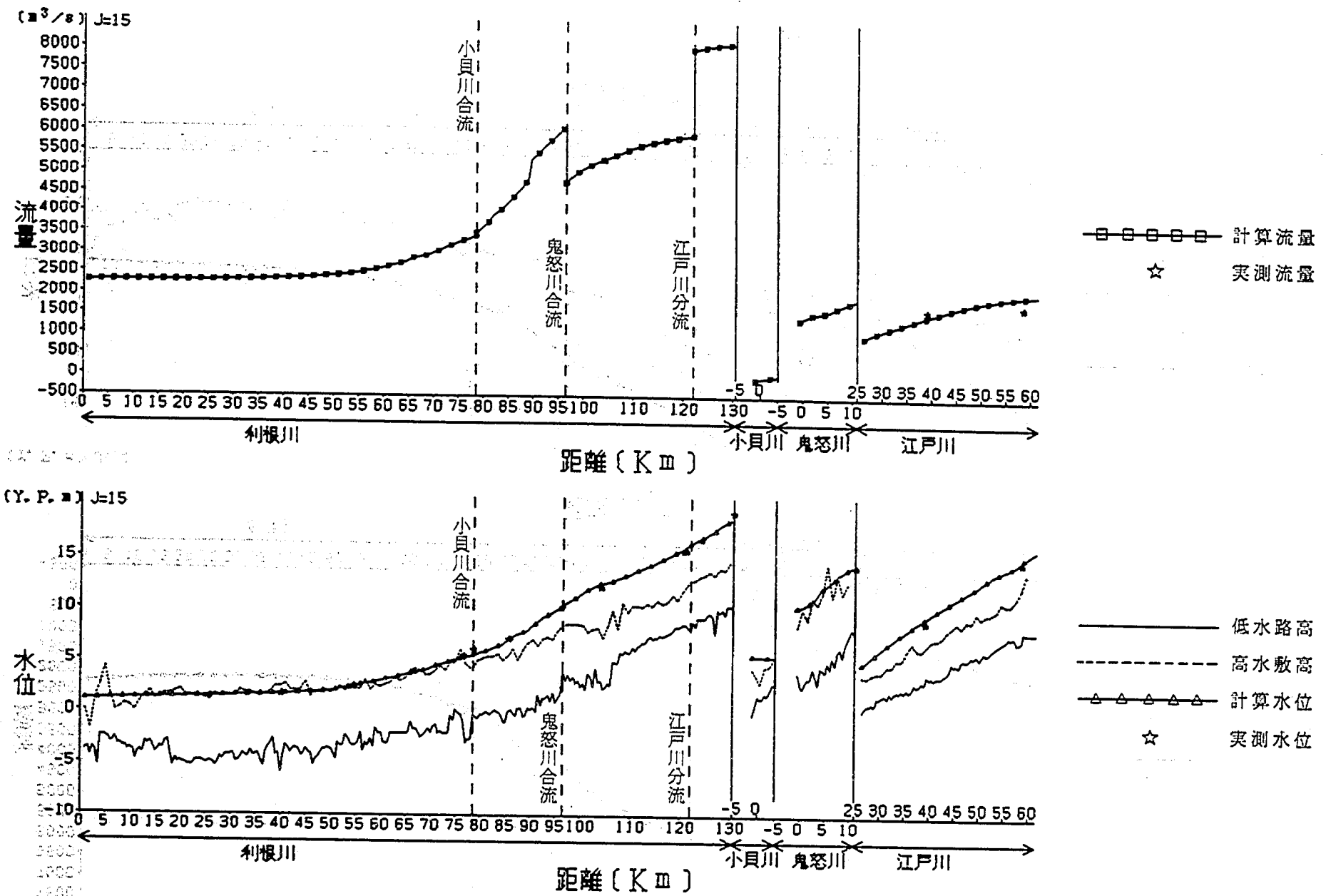


図 6 - 5 - 6 水位・流量縦断図

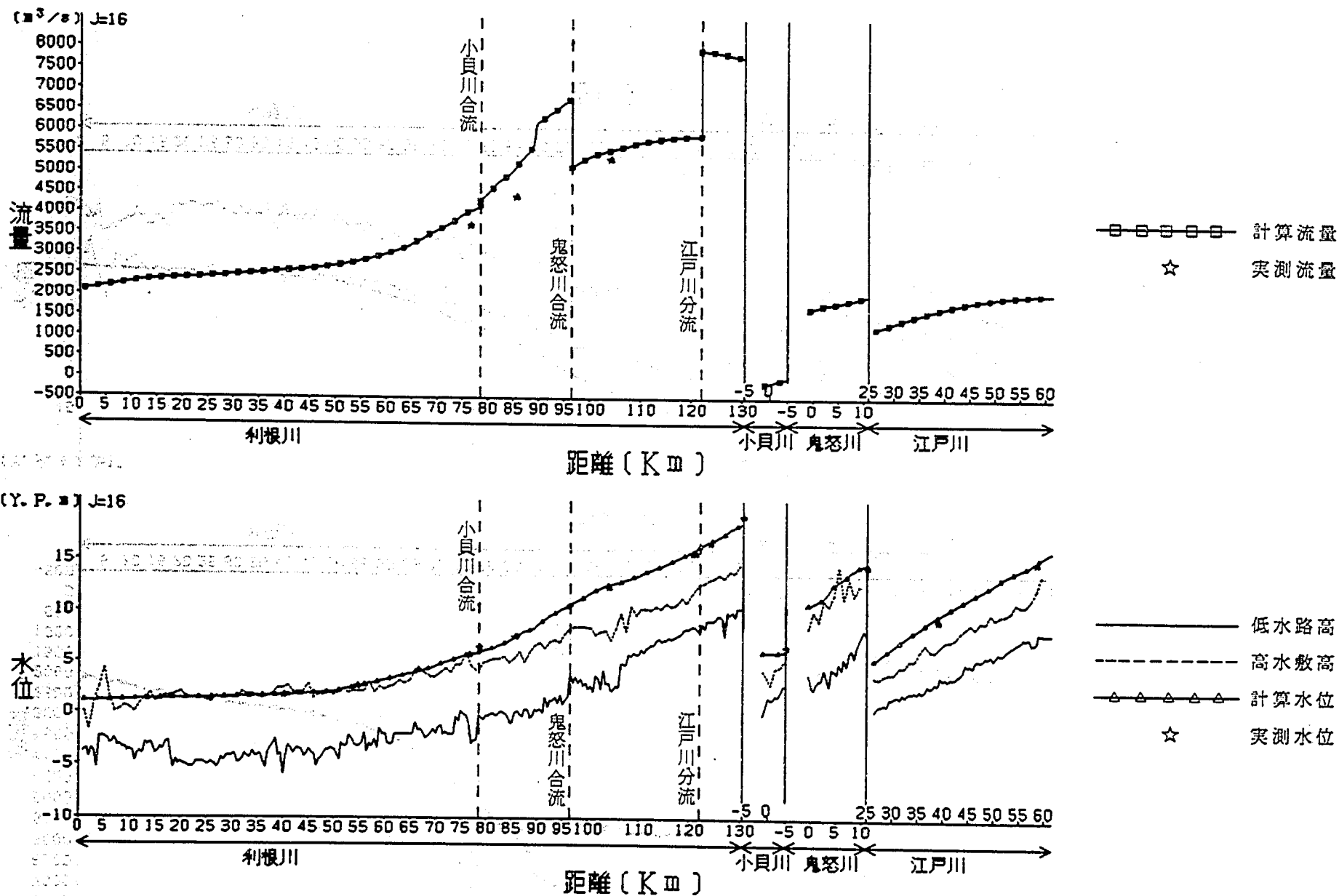


図 6 - 5 - 7 水位・流量縦断図

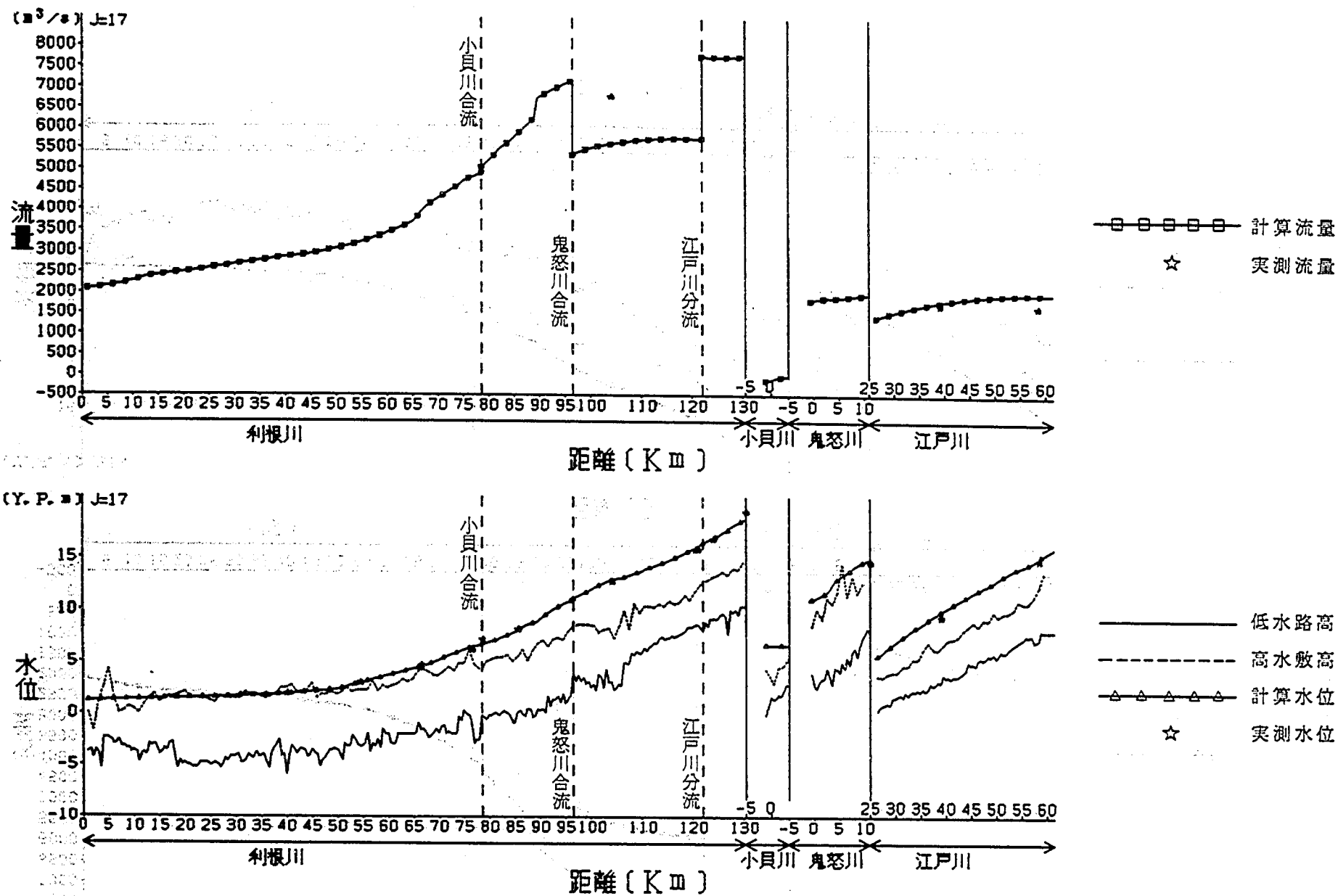


図 6-5-8 水位・流量縦断図

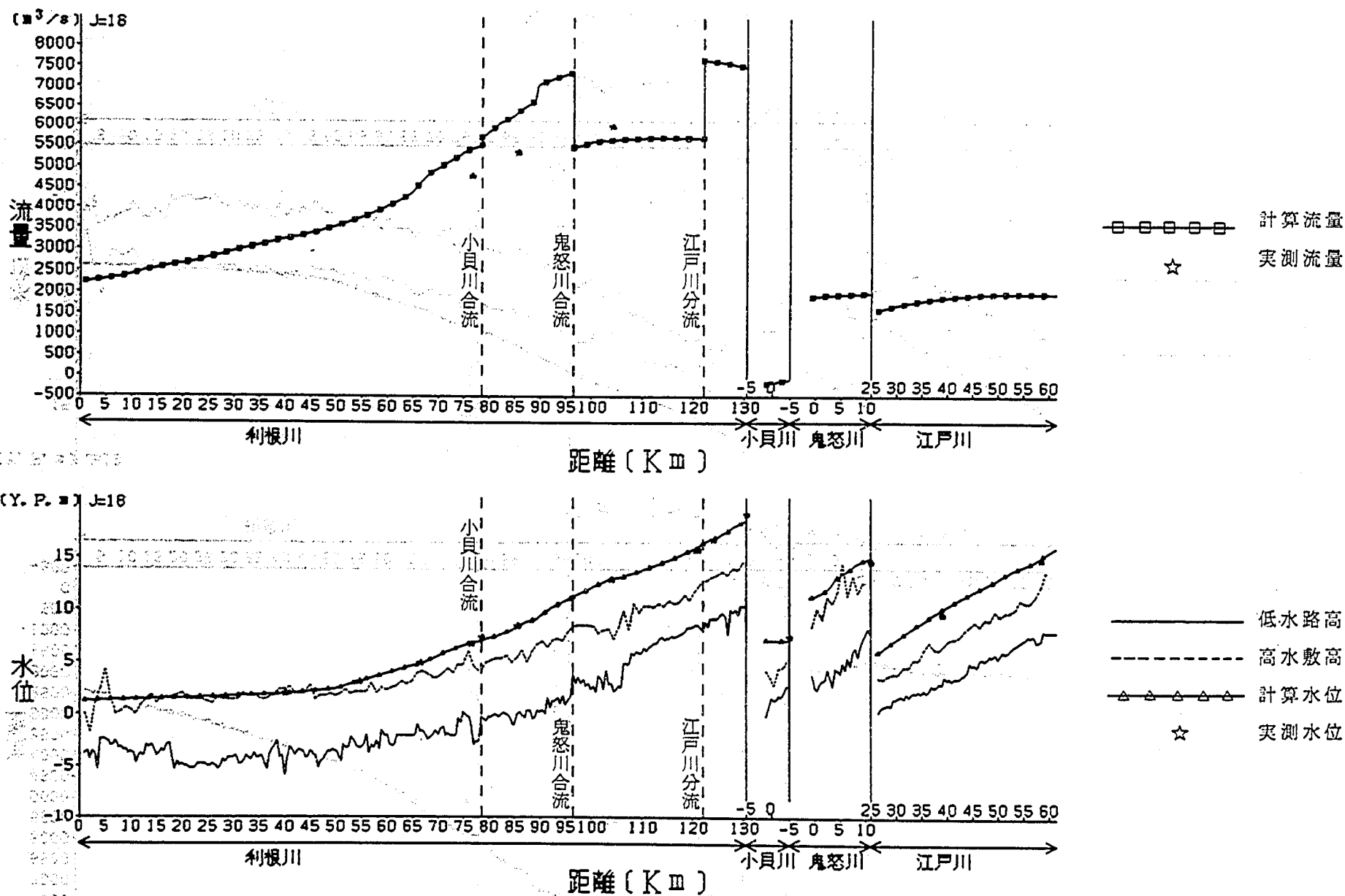


図 6 - 5 - 9 水位・流量縦断面図

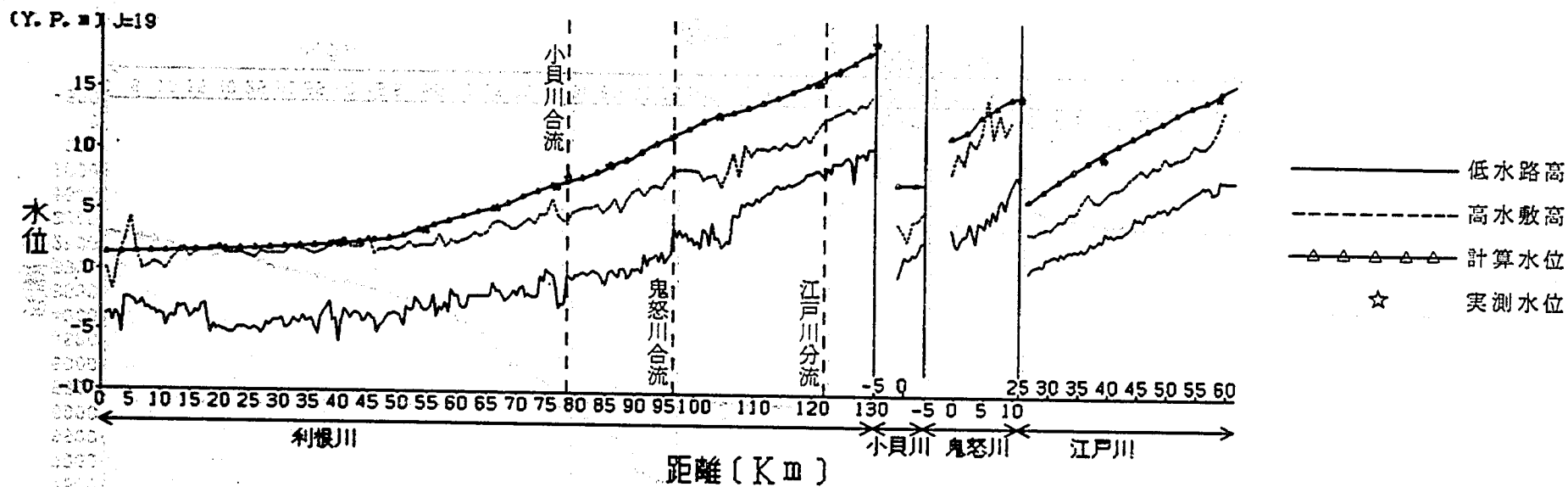
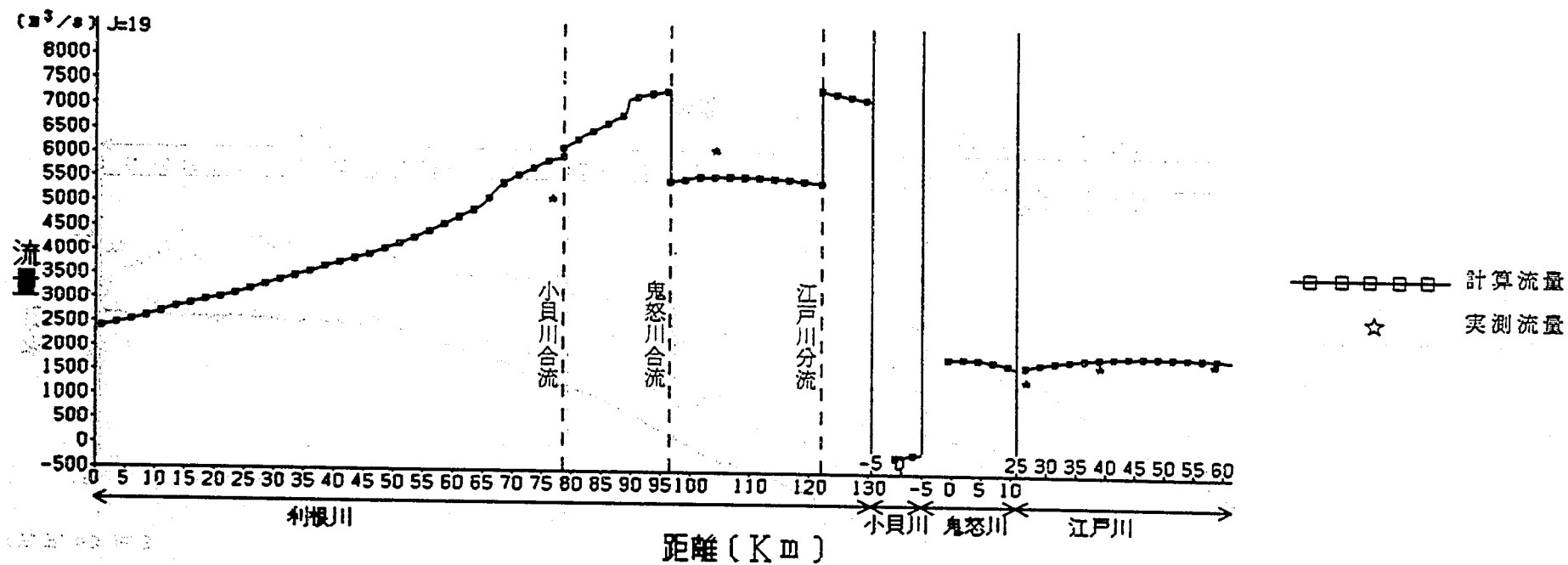


図 6-5-10 水位・流量縦断面図

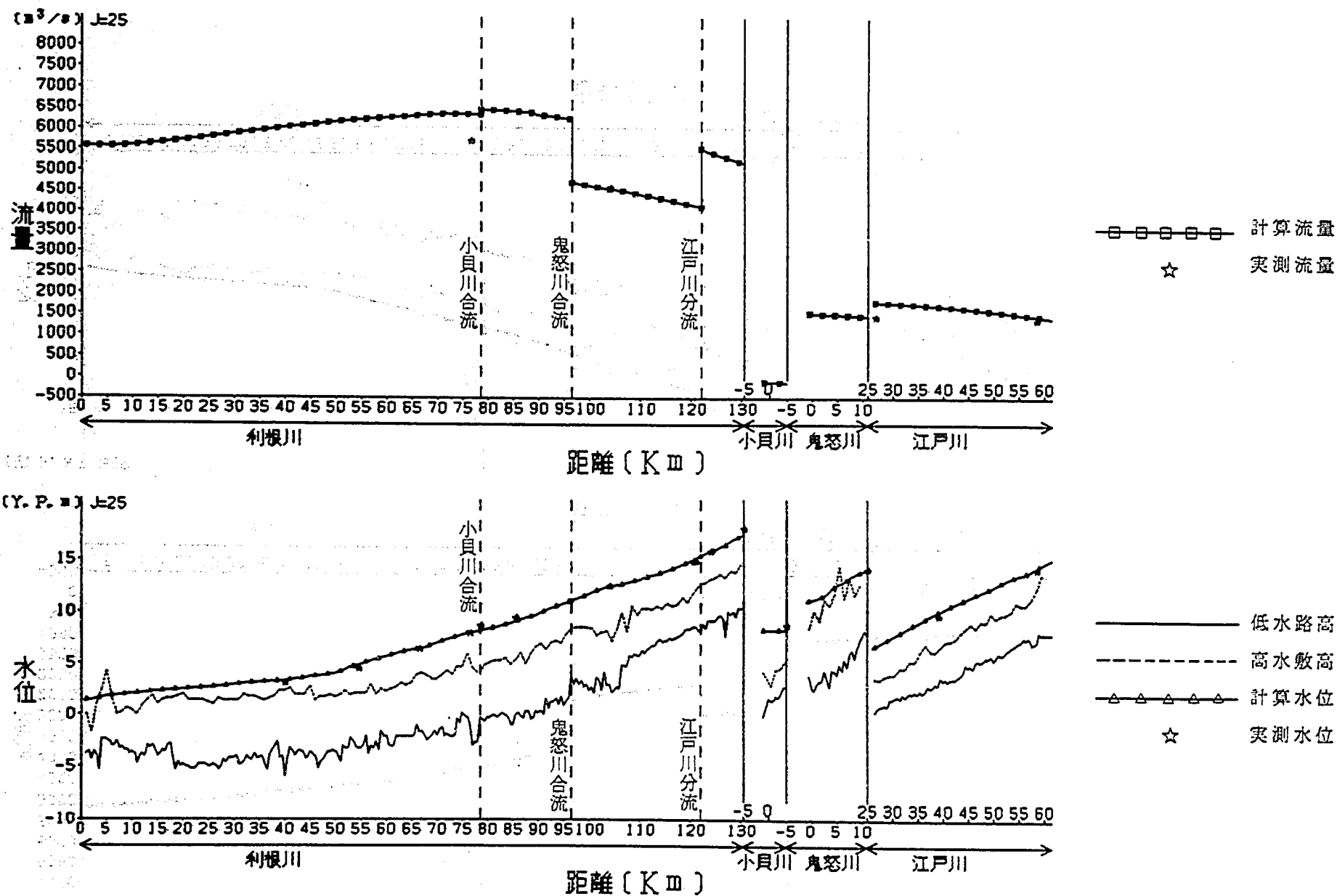


図 6 - 5 - 11 水位・流量縦断面図

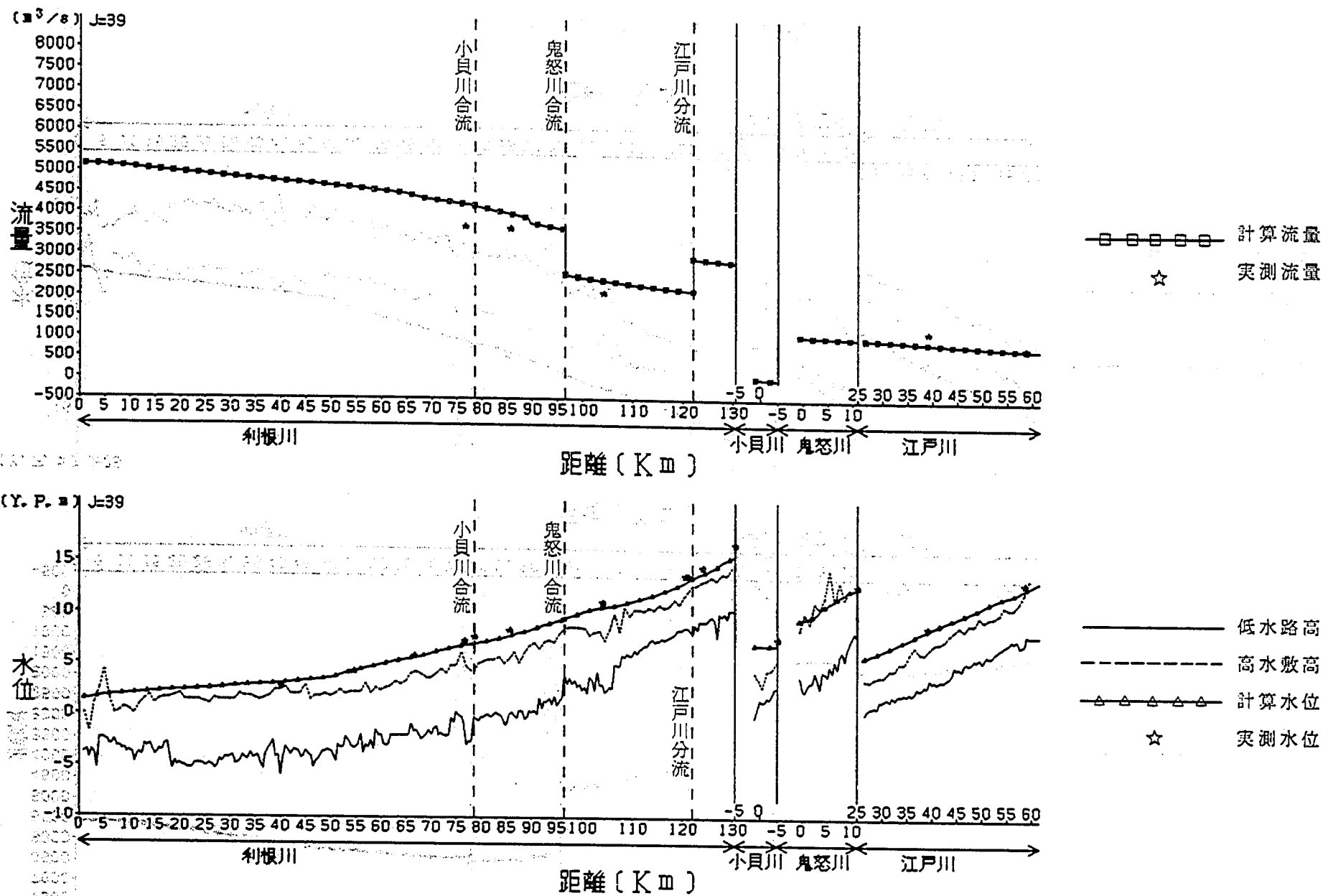


図 6-5-12 水位・流量縦断図

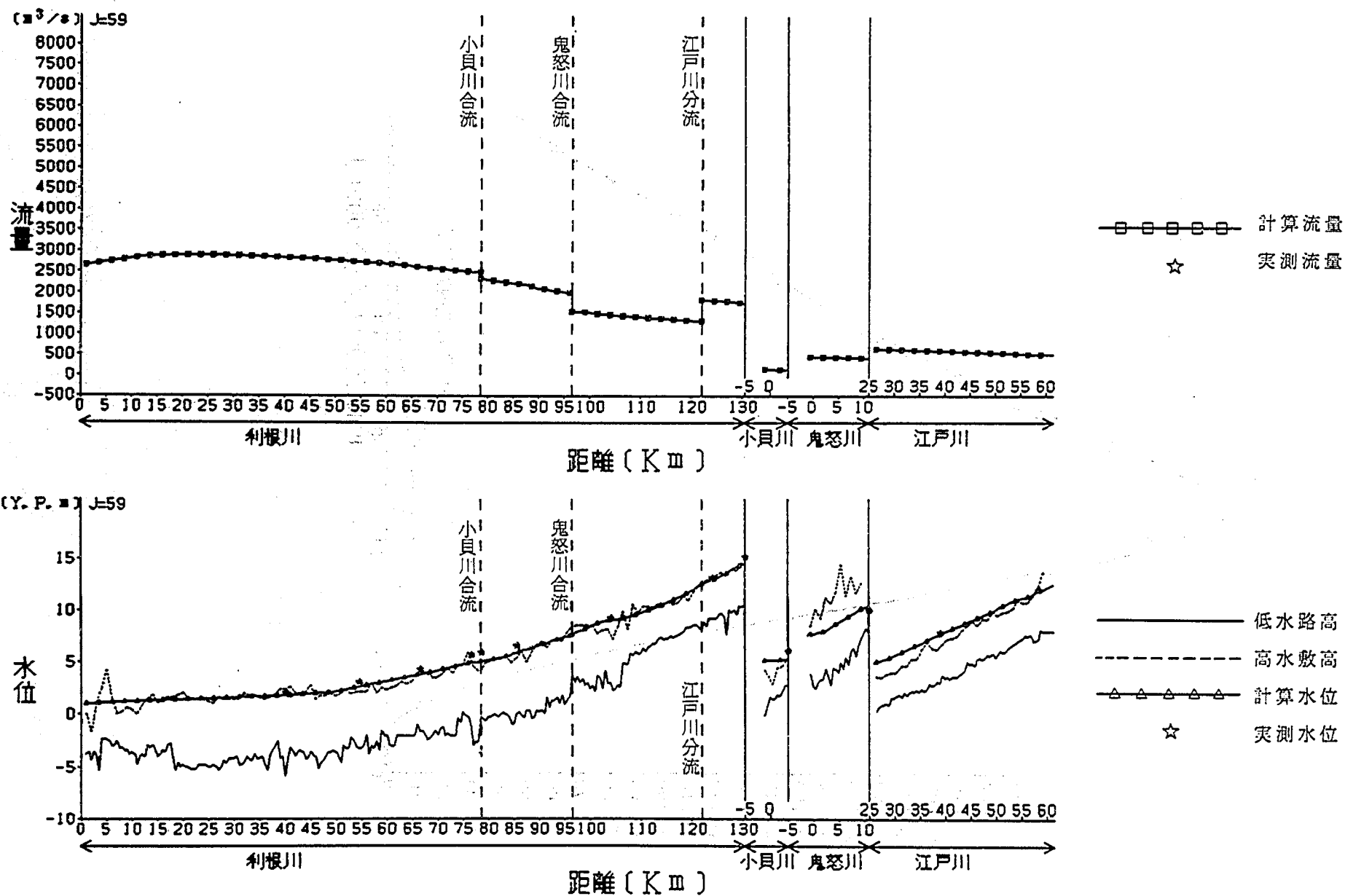


図 6-5-13 水位・流量縦断図

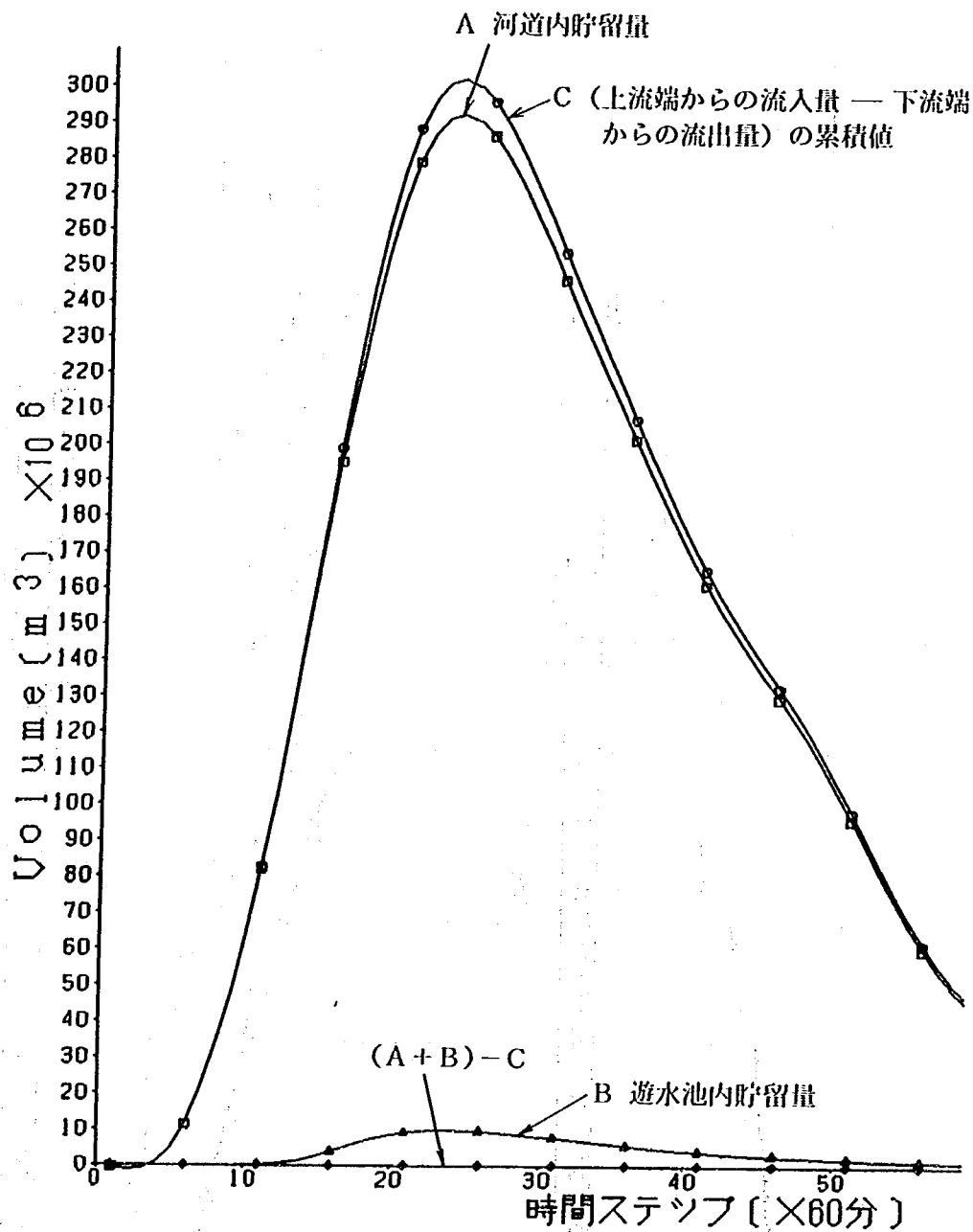


図6-6 ポリュームチェック

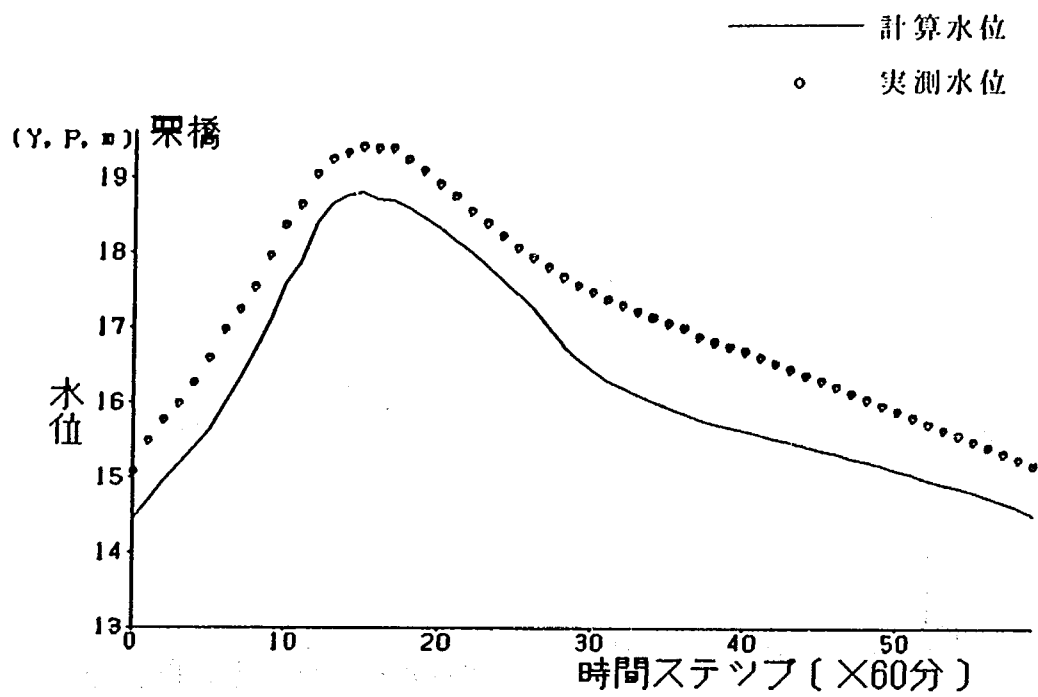


図 6-7-1 水位時間曲線

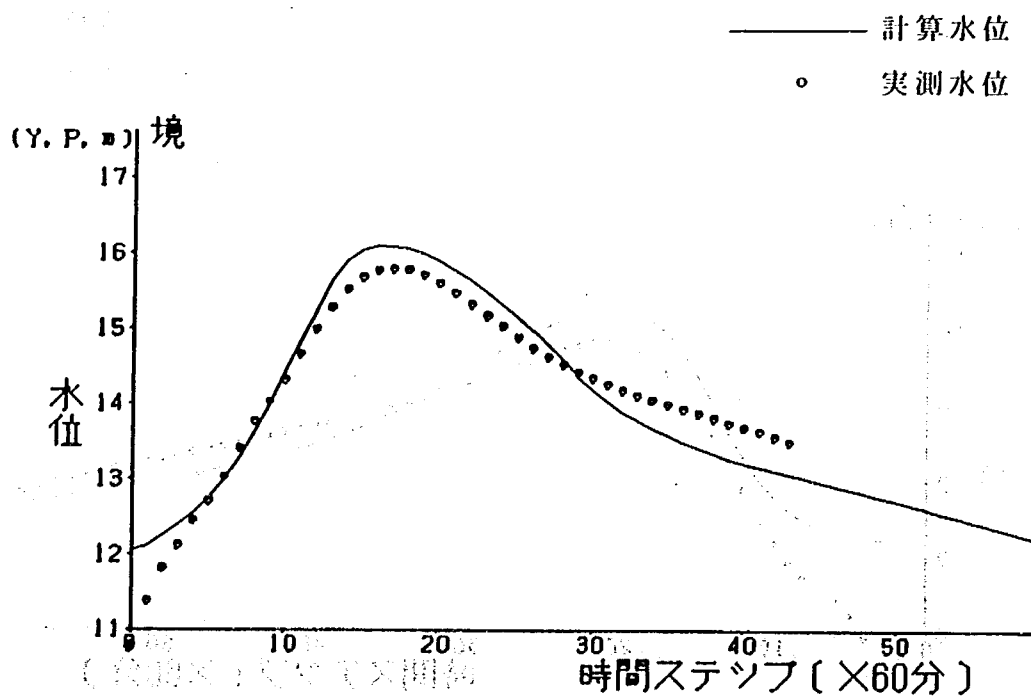


図 6-7-2 水位時間曲線

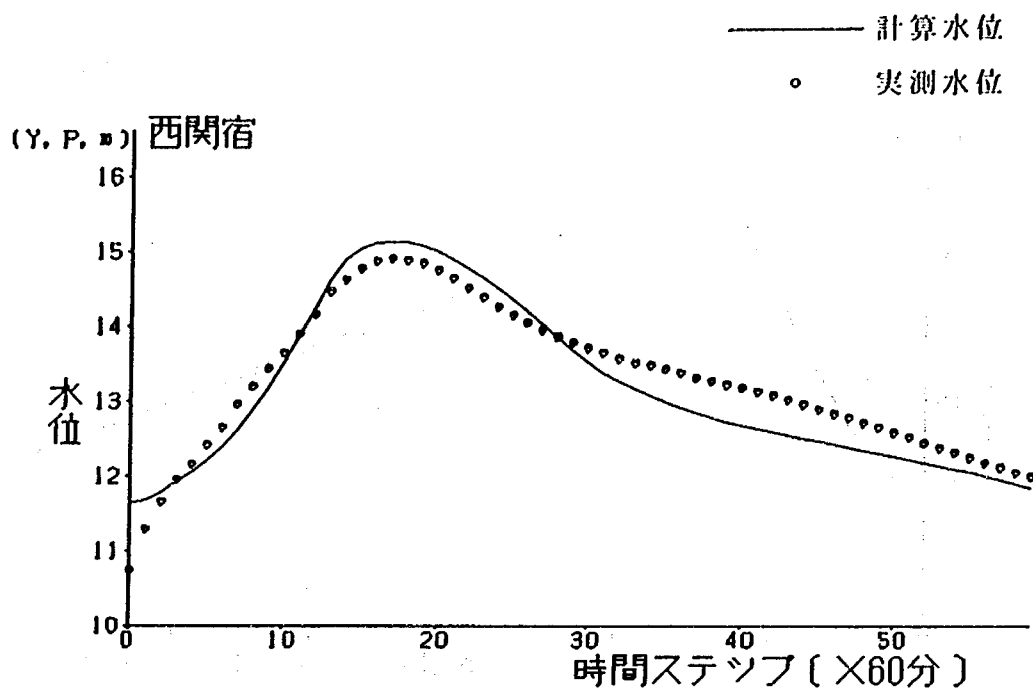


図 6 - 7 - 3 水位時間曲線

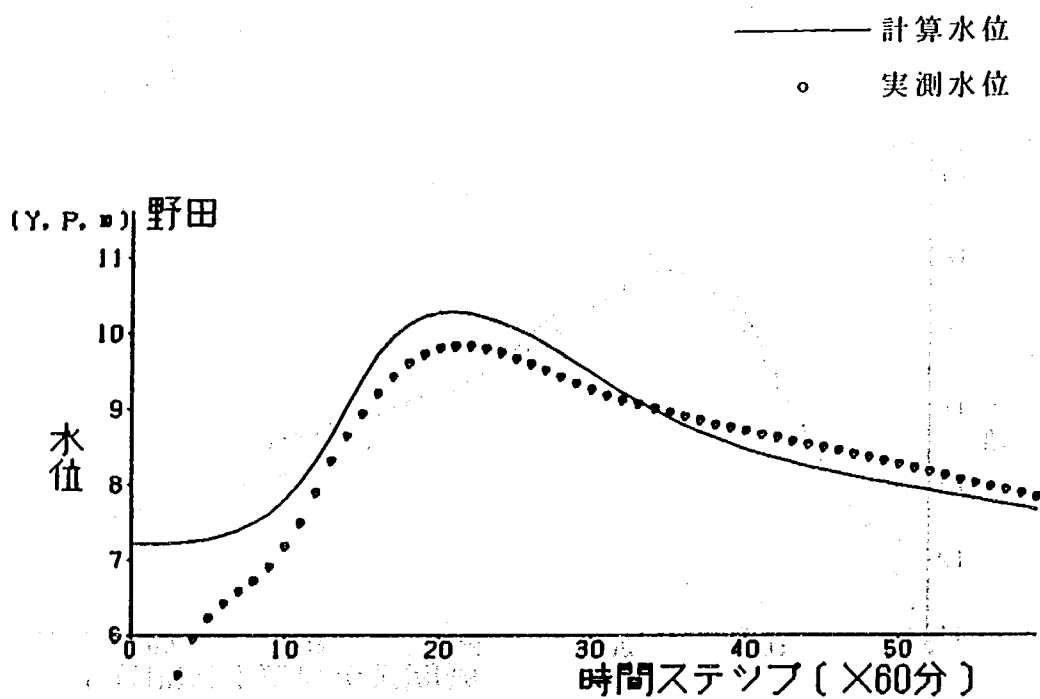


図 6 - 7 - 4 水位時間曲線

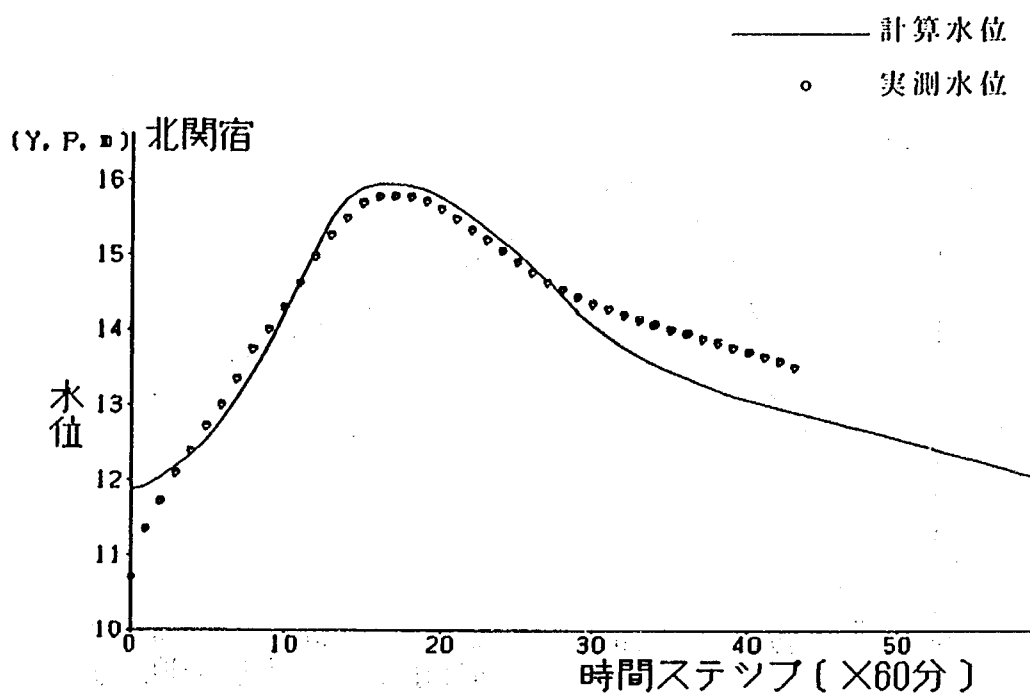


図 6-7-5 水位時間曲線

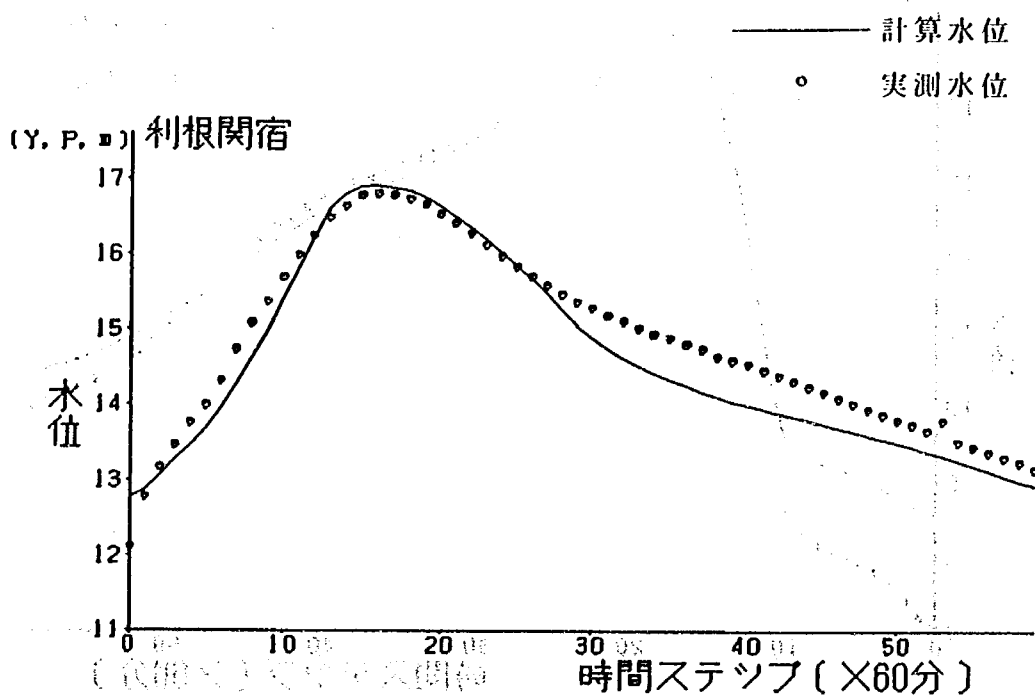


図 6-7-6 水位時間曲線

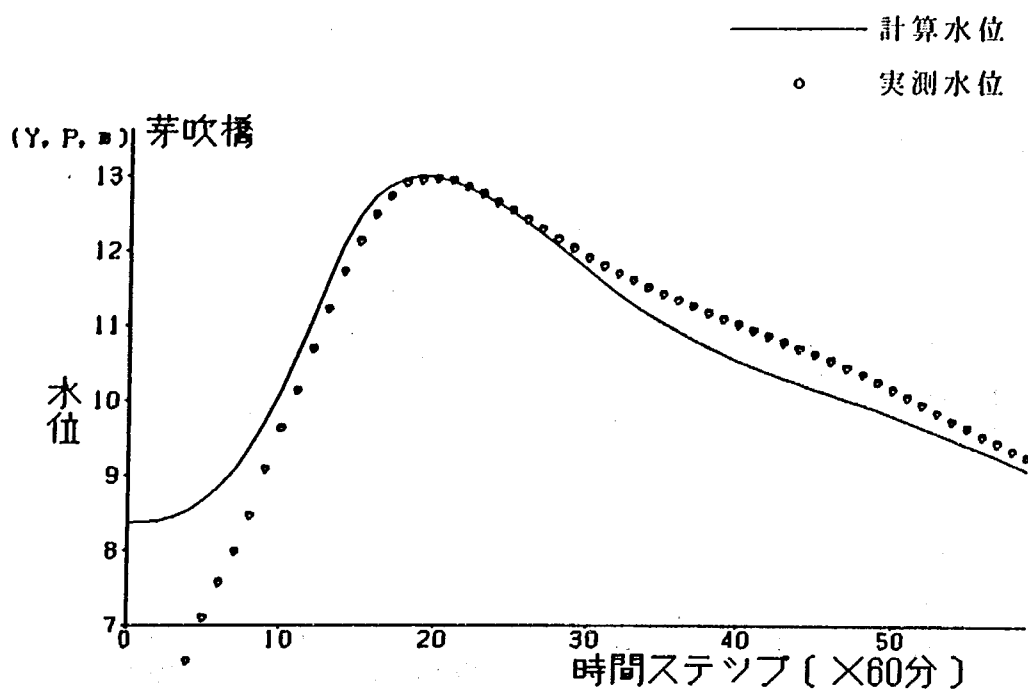


図 6 - 7 - 7 水位時間曲線

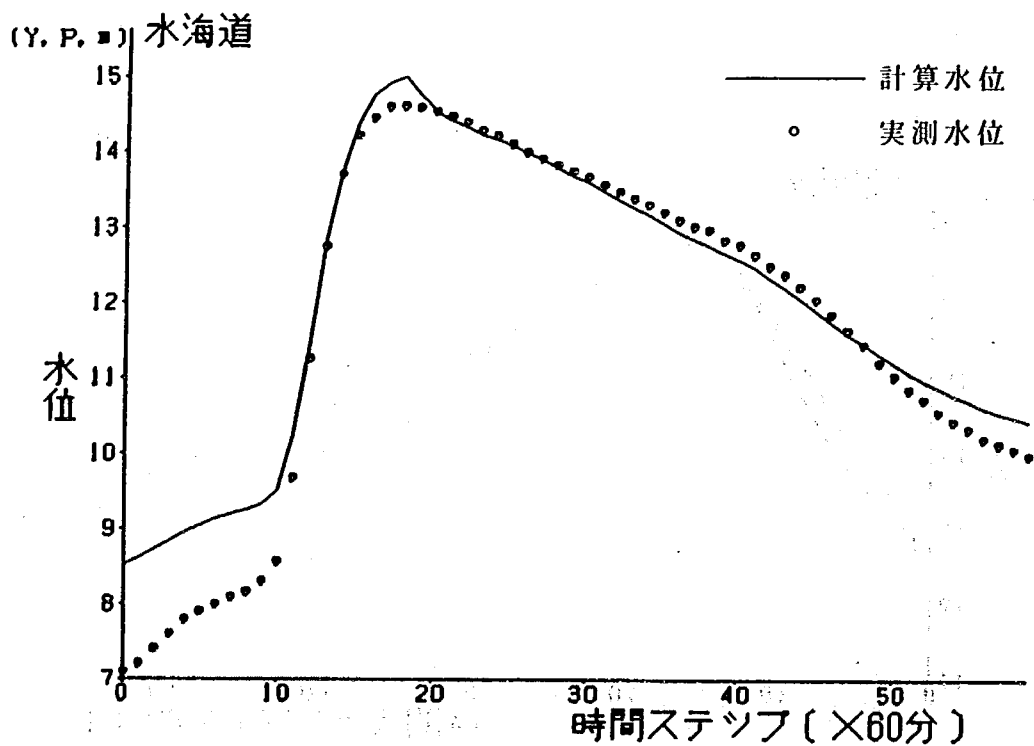


図 6 - 7 - 8 水位時間曲線

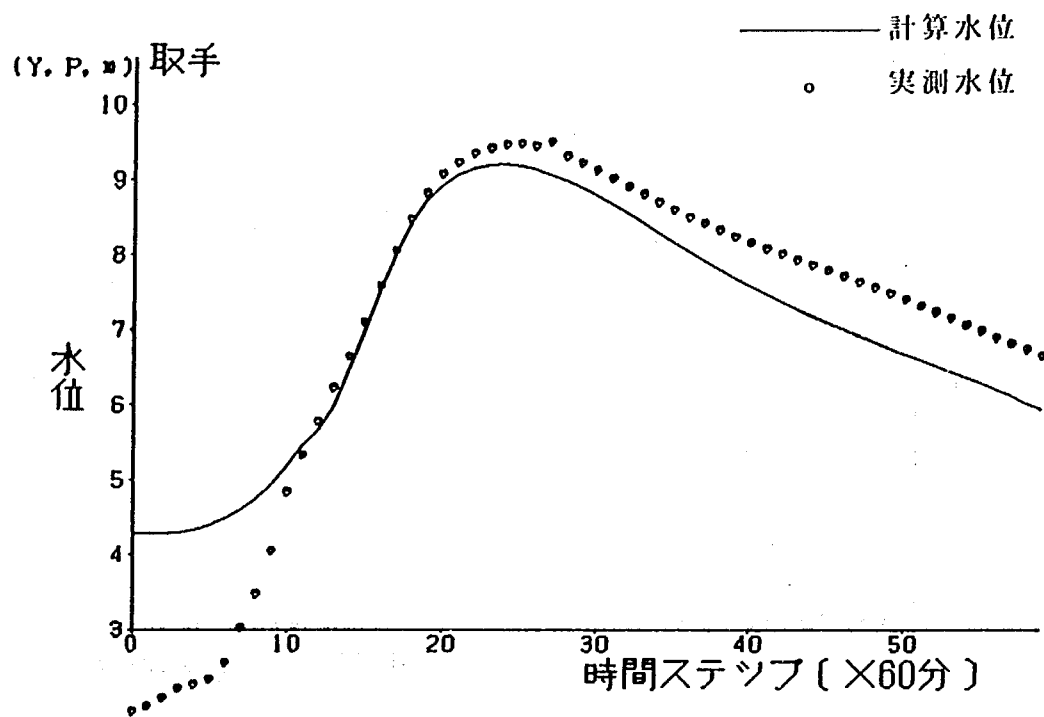


図 6 - 7 - 9 水位時間曲線

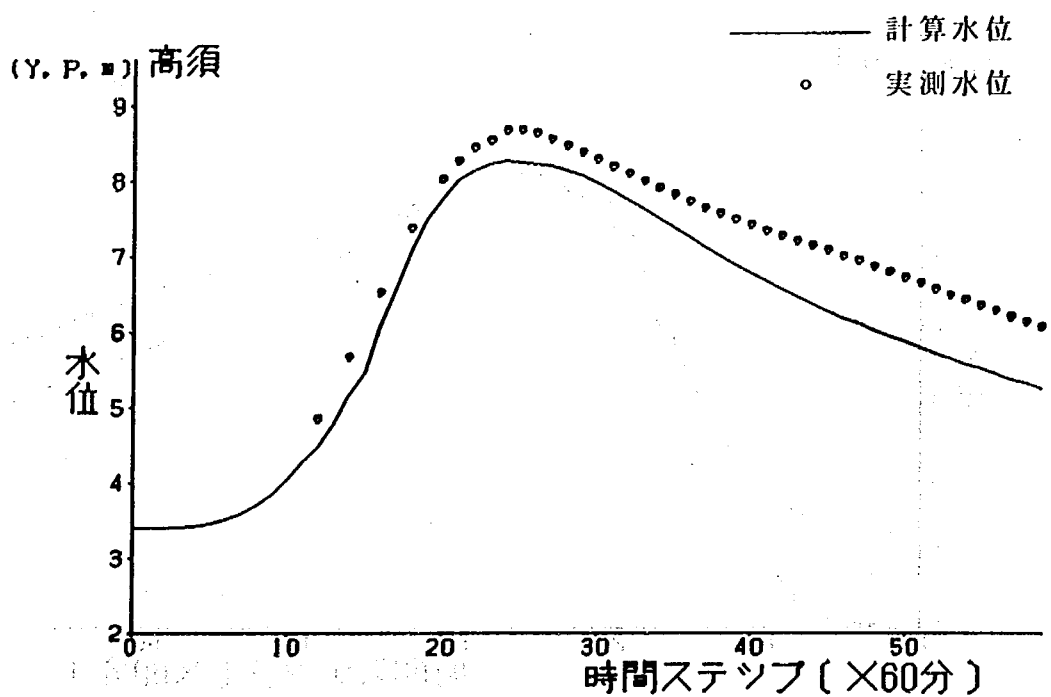


図 6 - 7 - 10 水位時間曲線

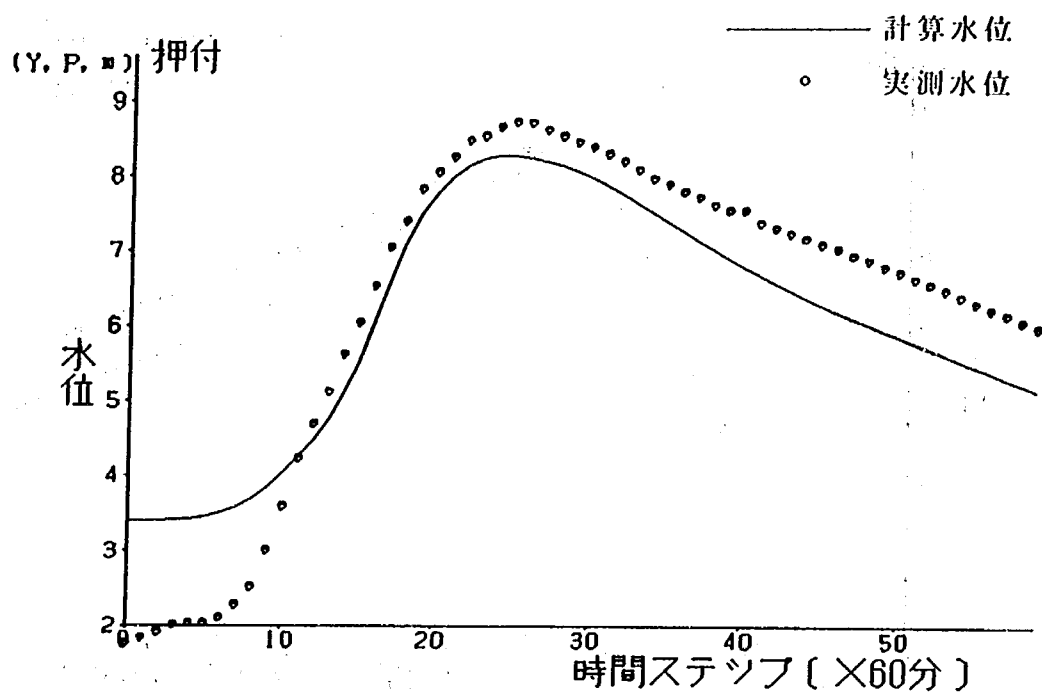


図 6-7-11 水位時間曲線

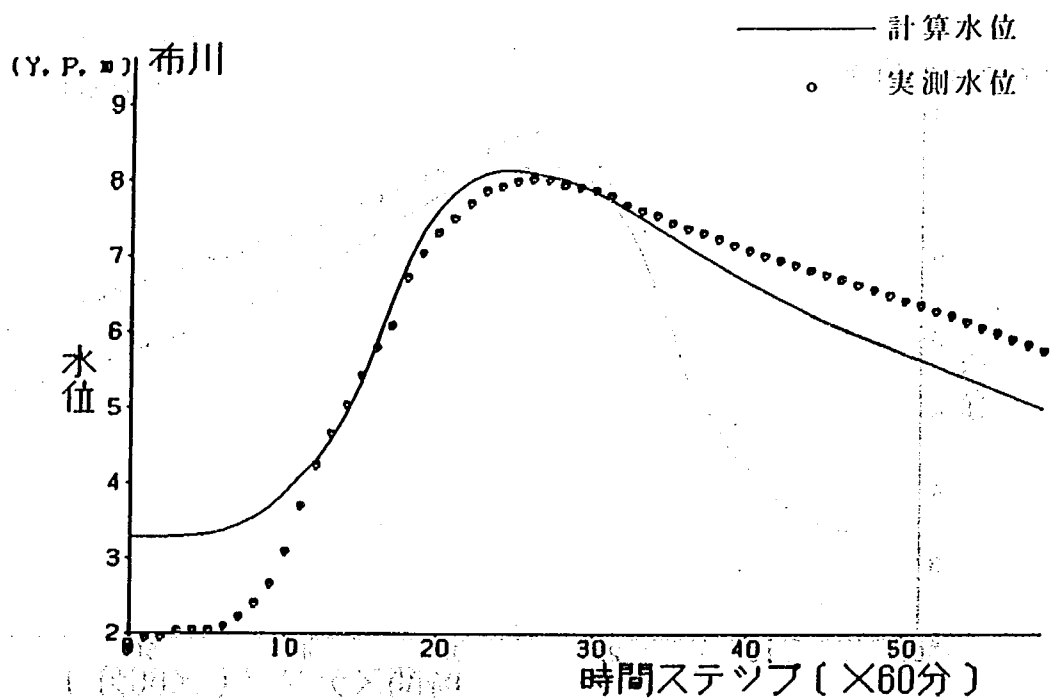


図 6-7-12 水位時間曲線

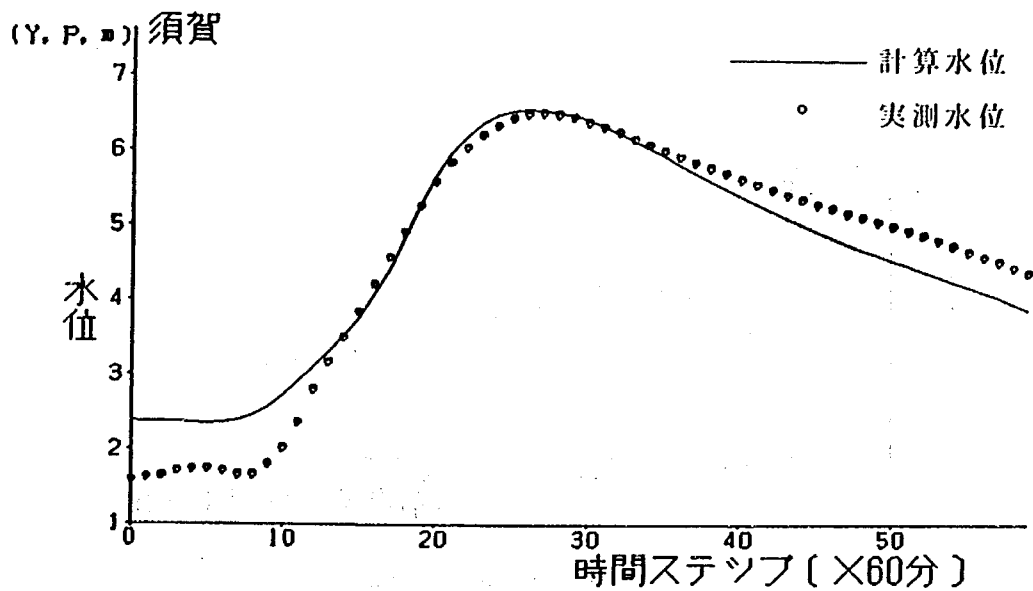


図 6-7-13 水位時間曲線

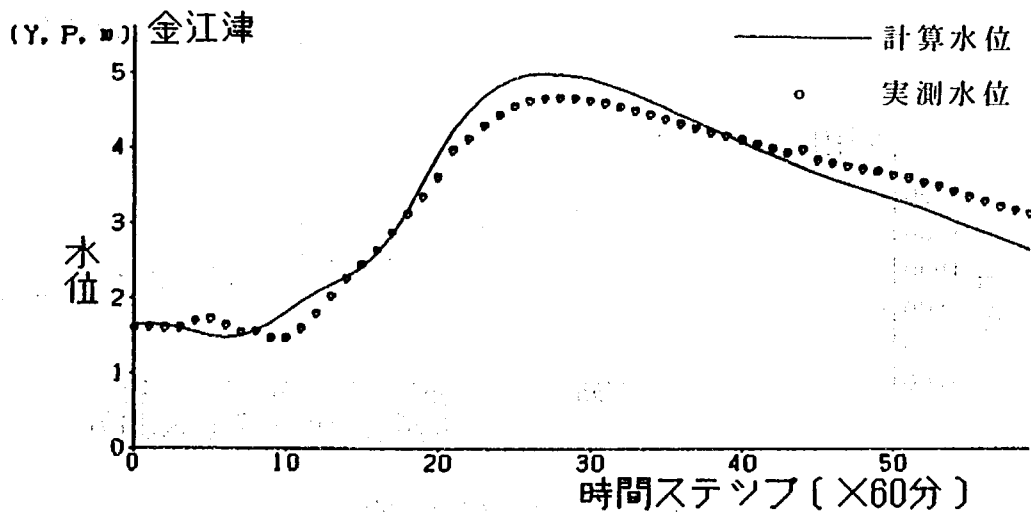


図 6-7-14 水位時間曲線

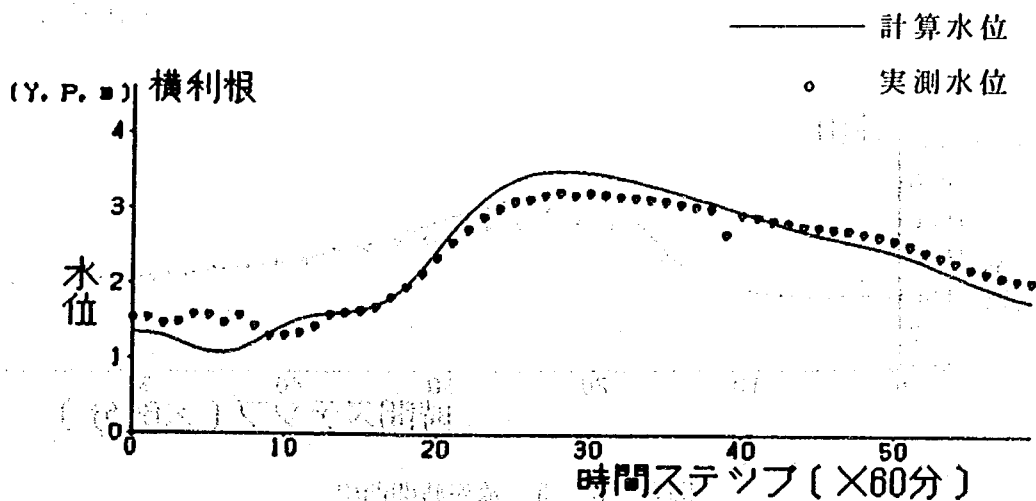


図 6-7-15 水位時間曲線

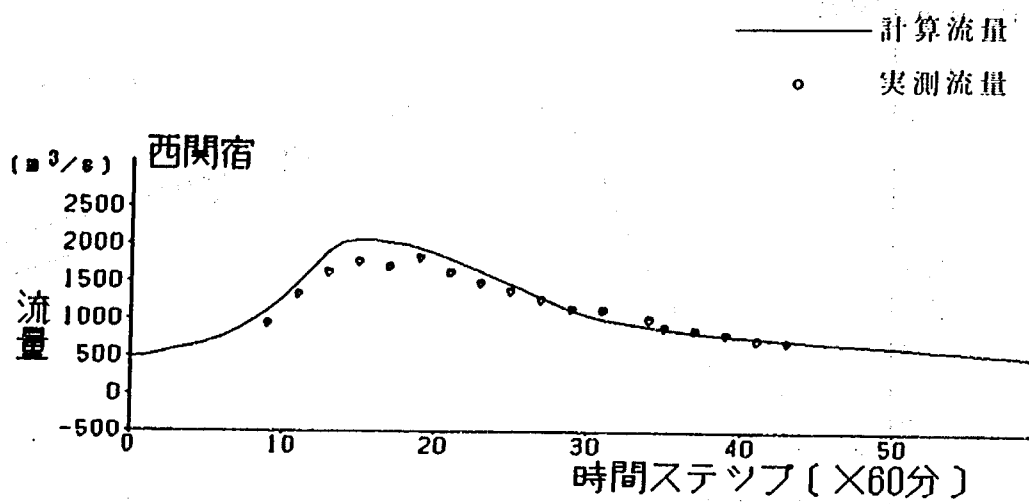


図 6-8-1 流量時間曲線

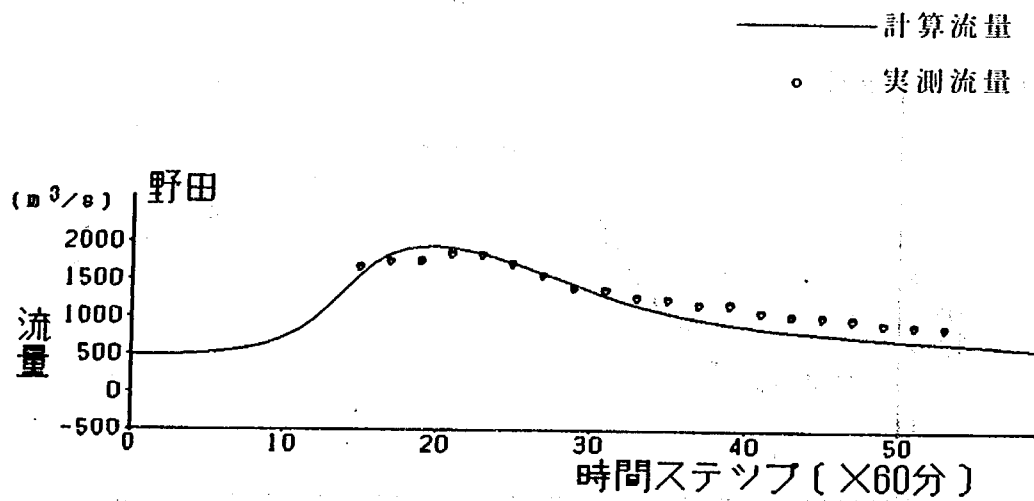


図 6-8-2 流量時間曲線

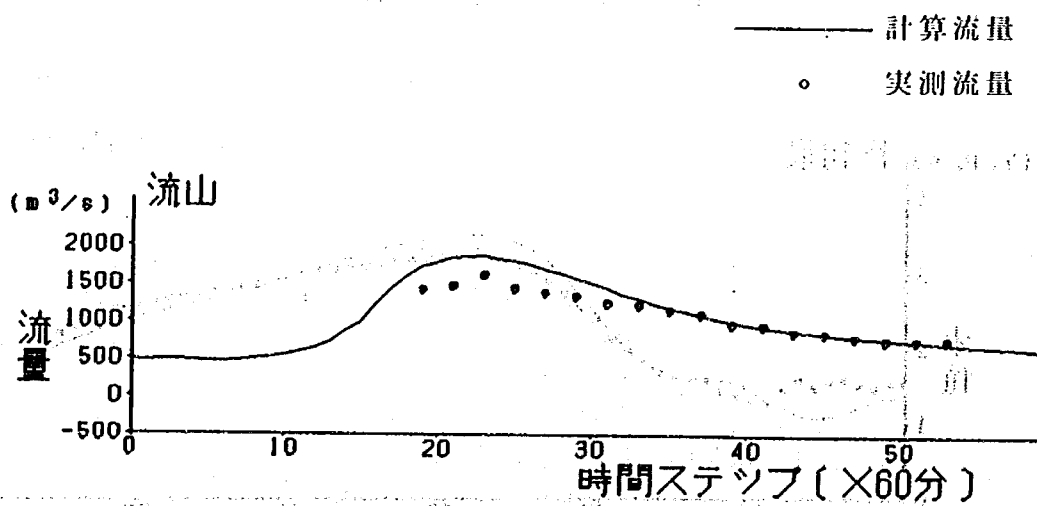


図 6-8-3 流量時間曲線

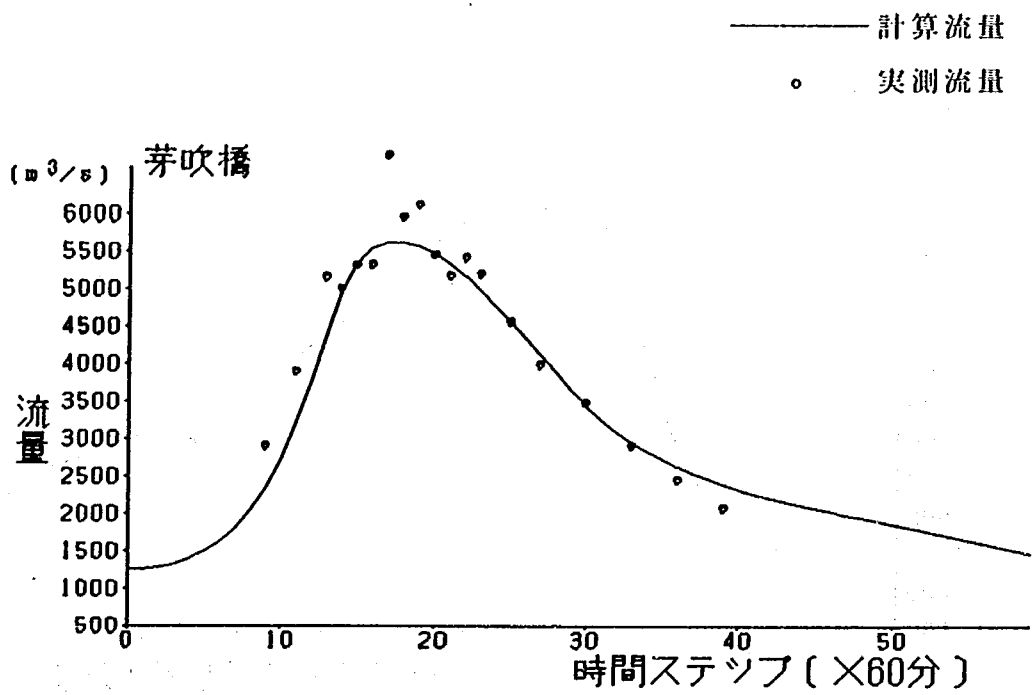


図 6 - 8 - 4 流量時間曲線

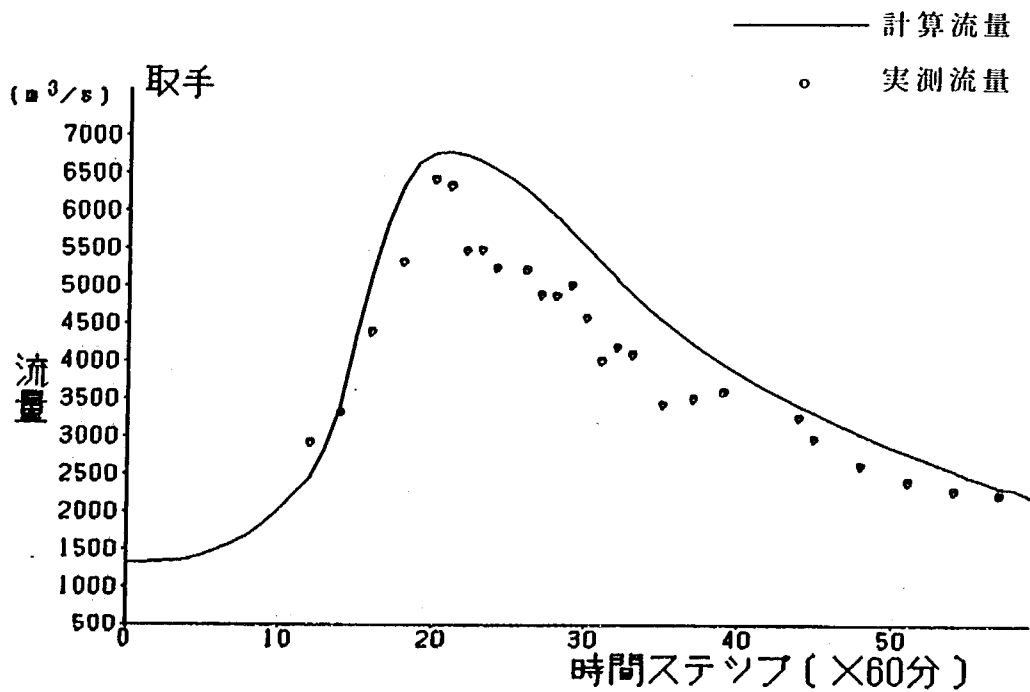


図 6 - 8 - 5 流量時間曲線

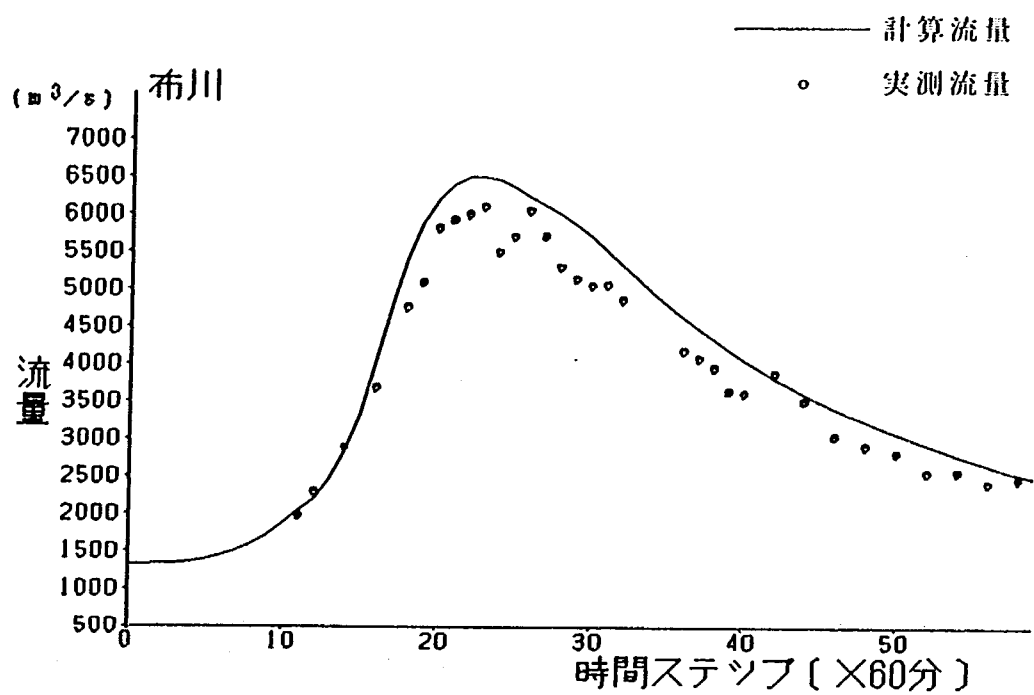


図 6 - 8 - 6 流量時間曲線

Case 2

(昭和57年8月洪水——粗度A)

8-11-63
(COP - 14113-14114)

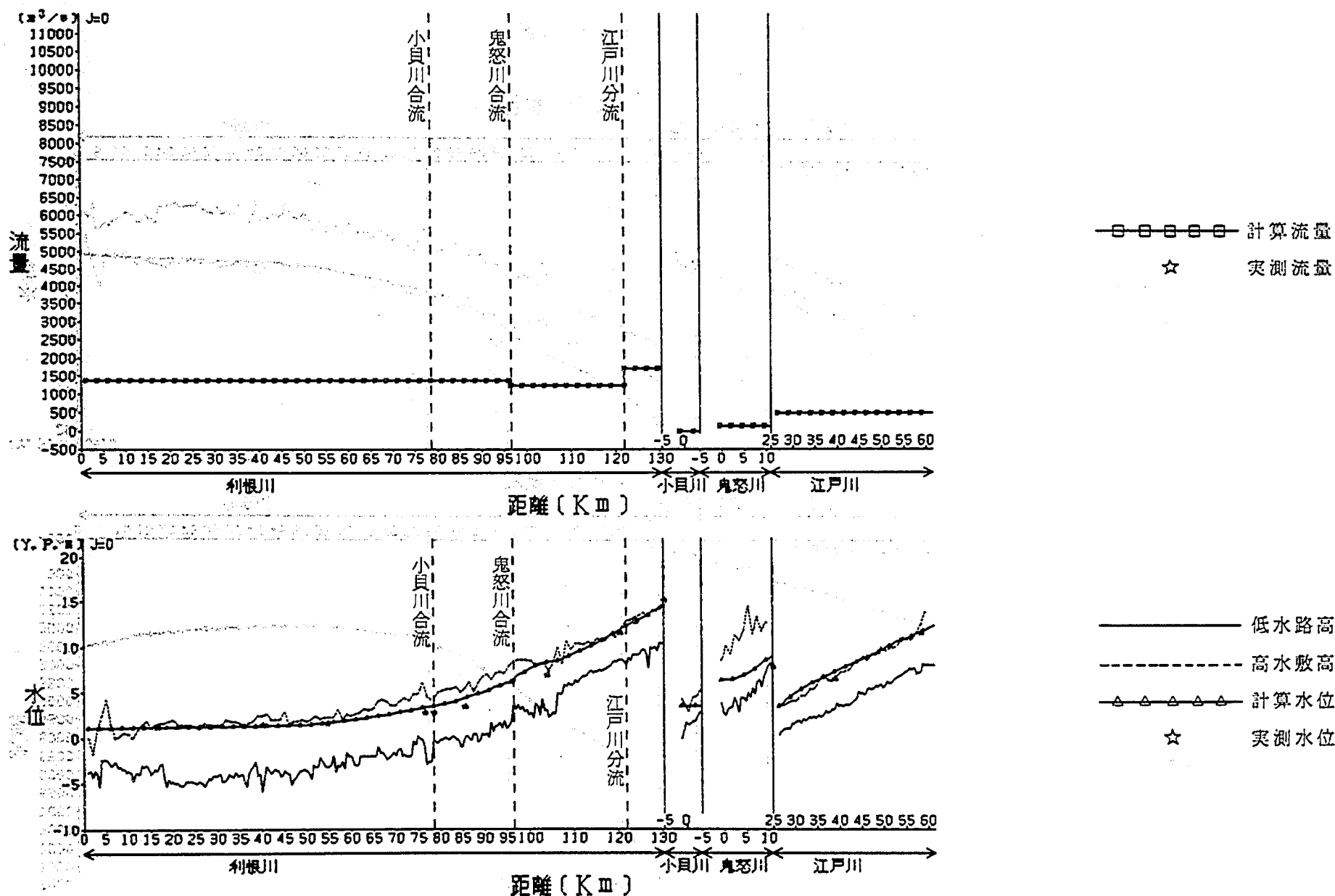


図 6-9-1 水位・流量縦断図 (不等流計算)

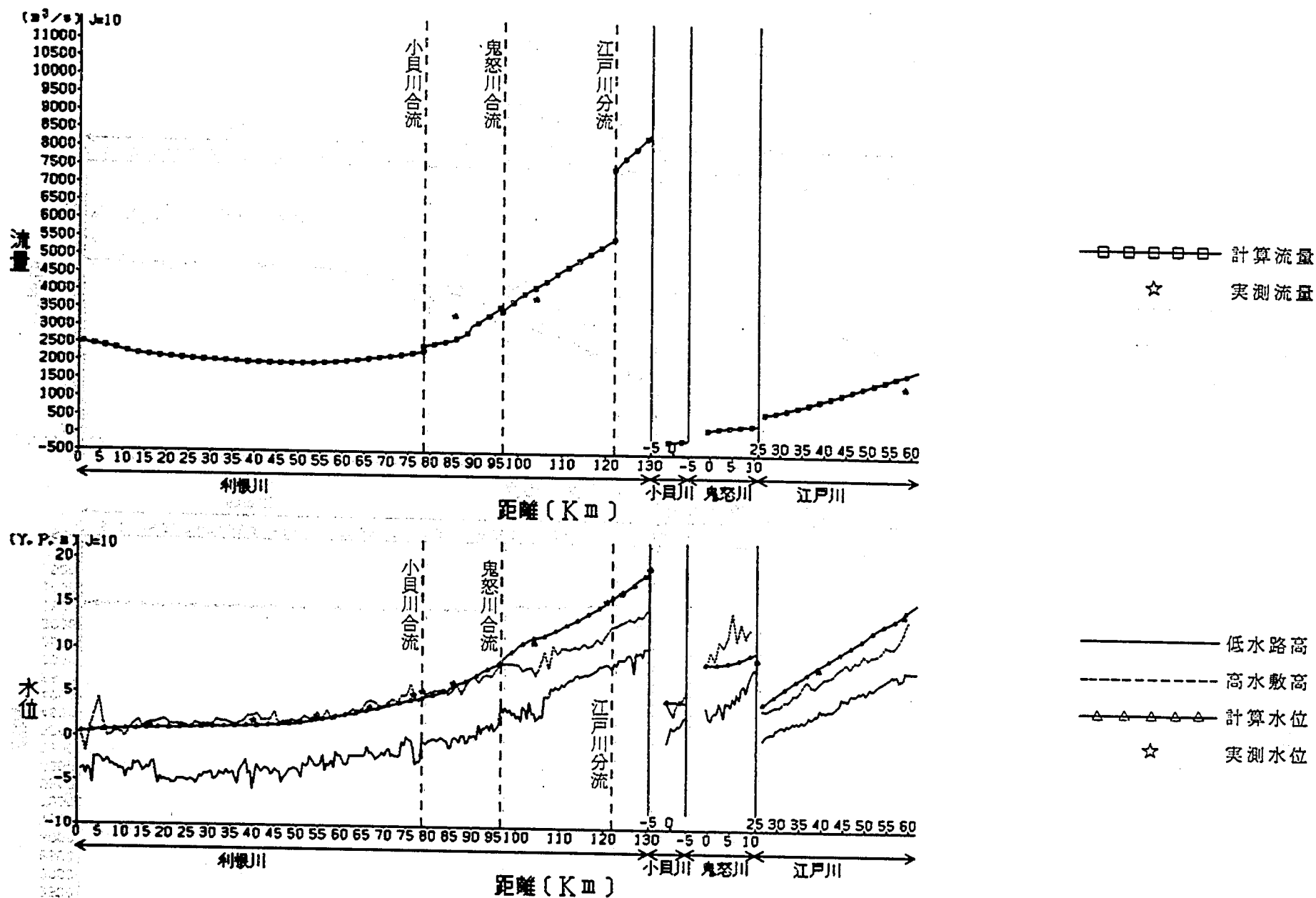


图 6-9-2 水位·流量縦断図

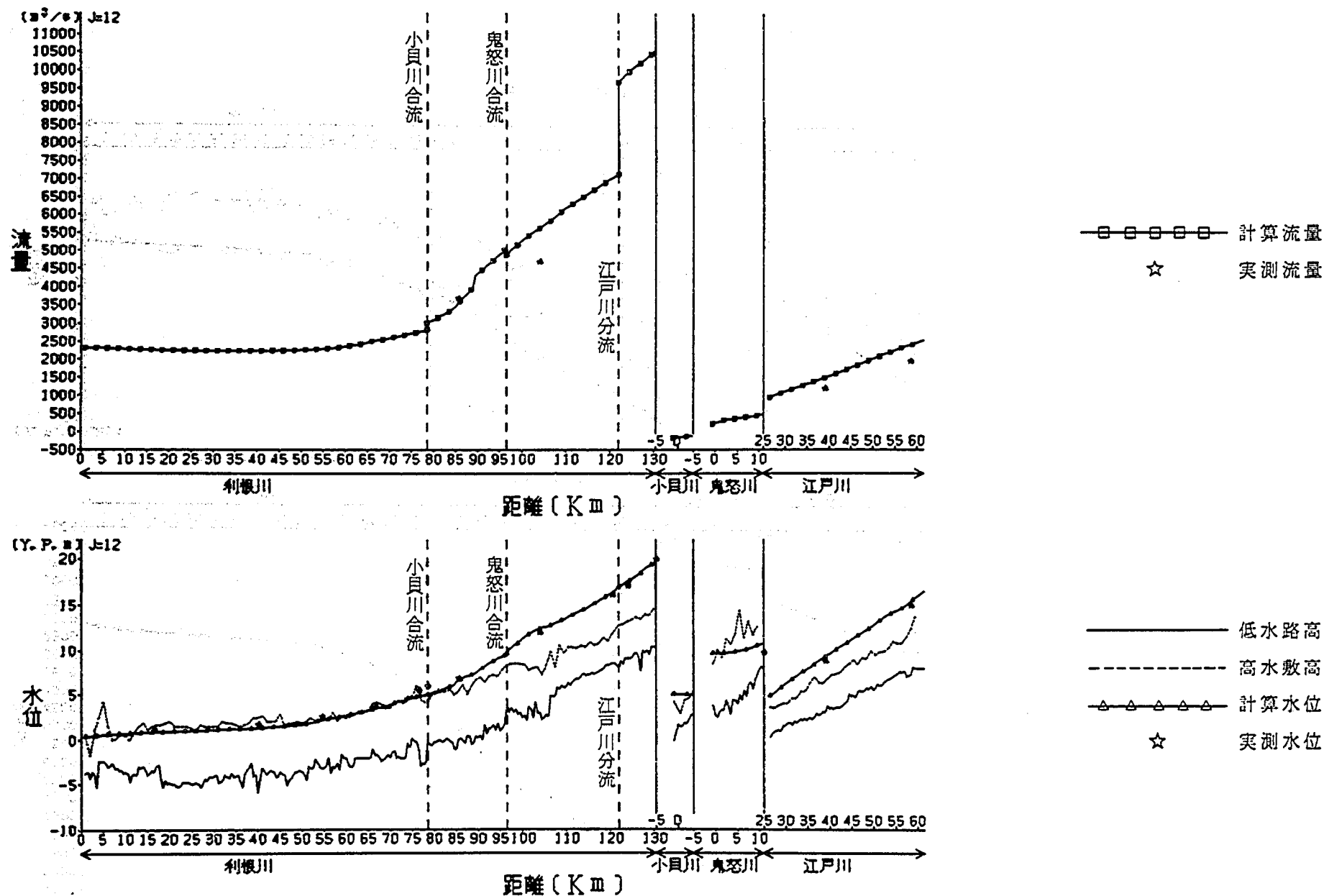


図 6-9-3 水位・流量縦断図

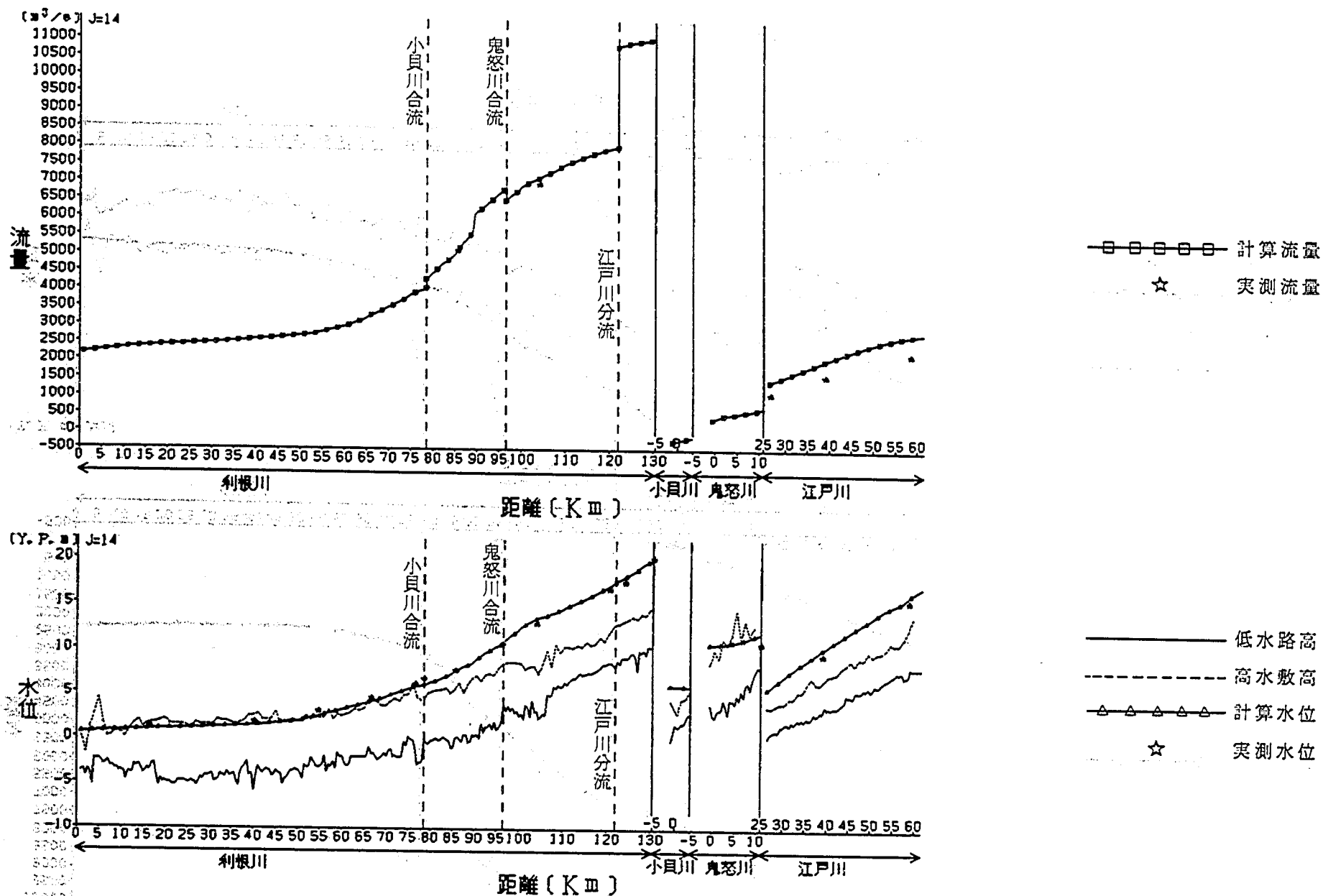


図 6 - 9 - 4 水位・流量縦断図

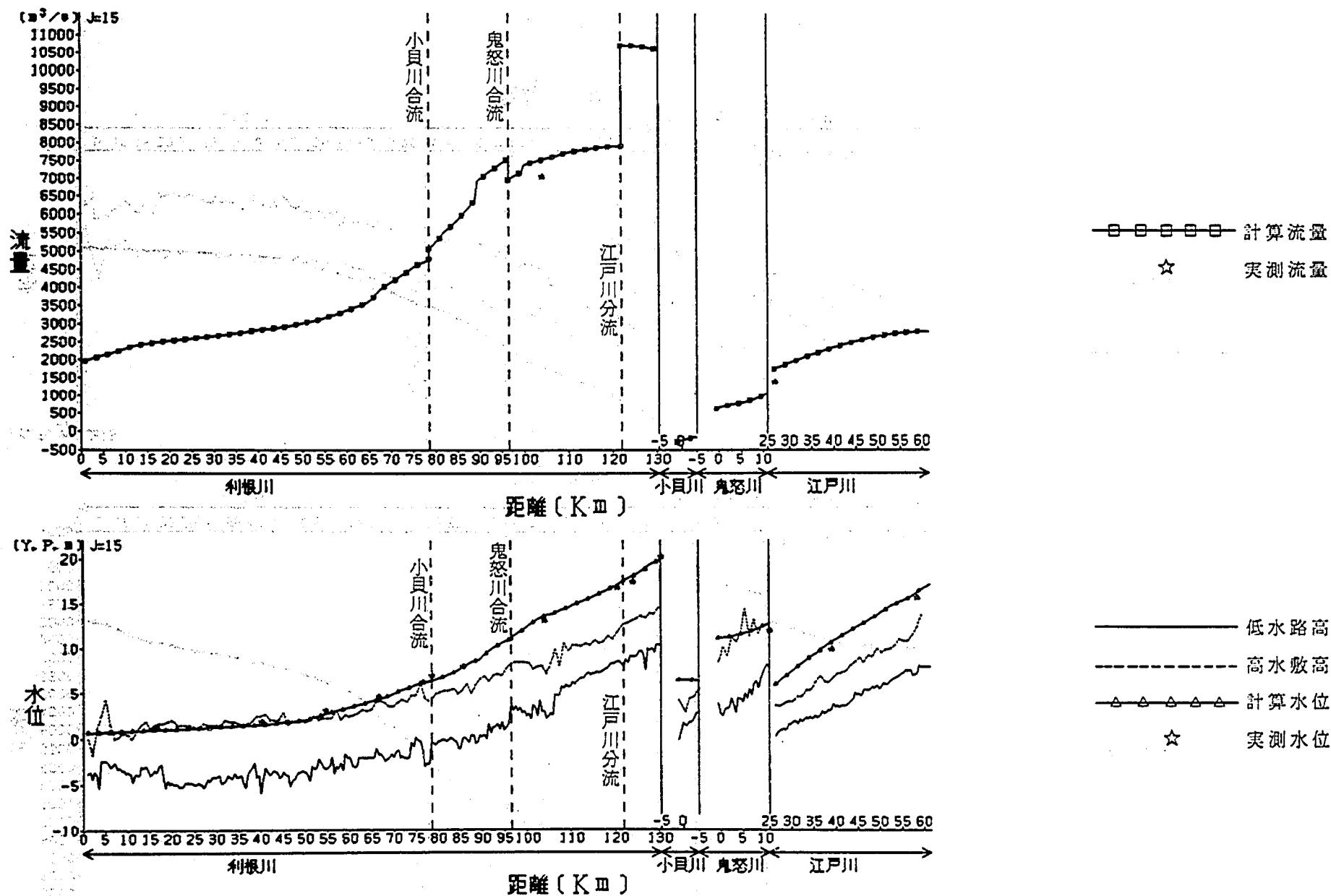


図 6 - 9 - 5 水位・流量縦断面図

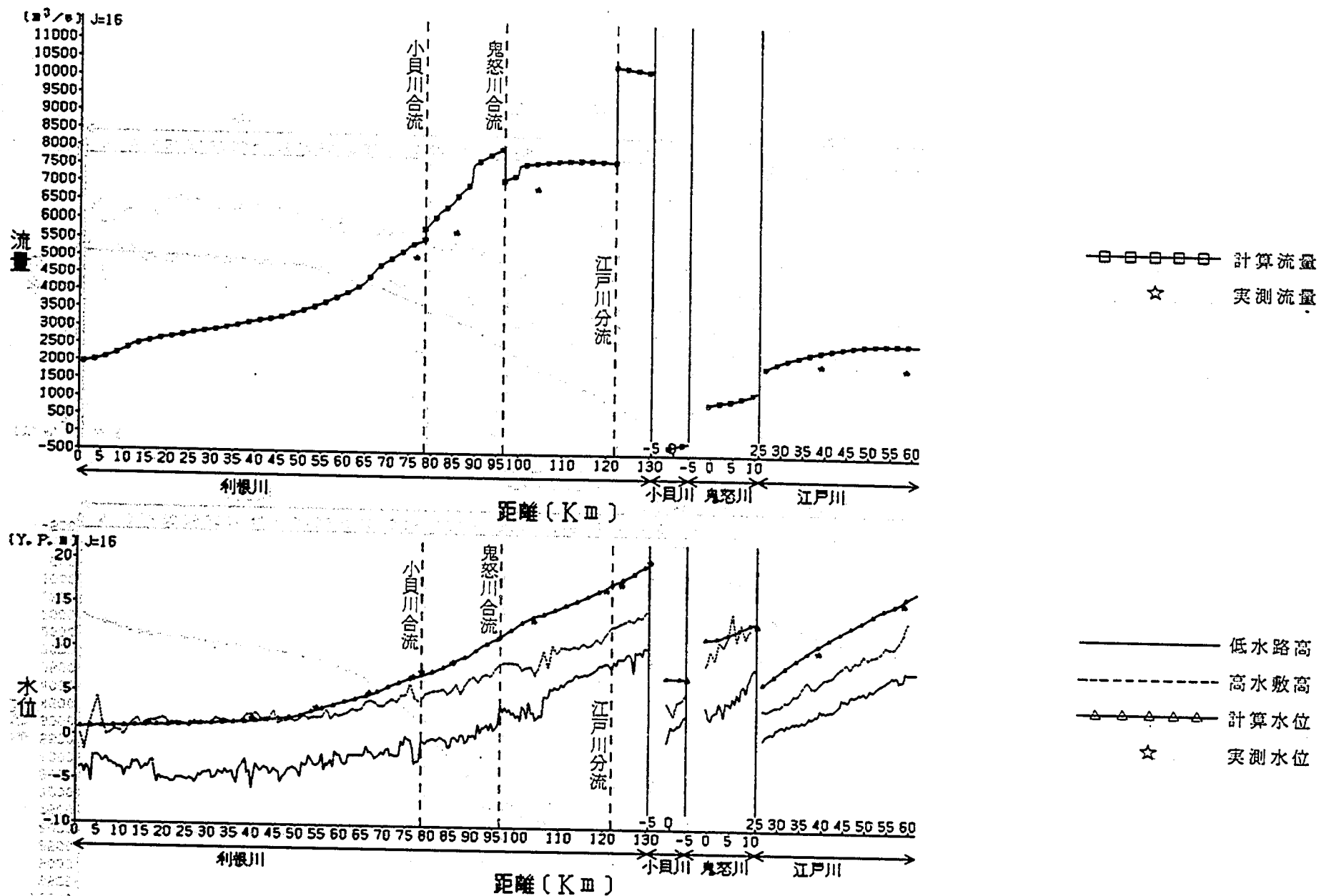


图 6-9-6 水位·流量縦断图

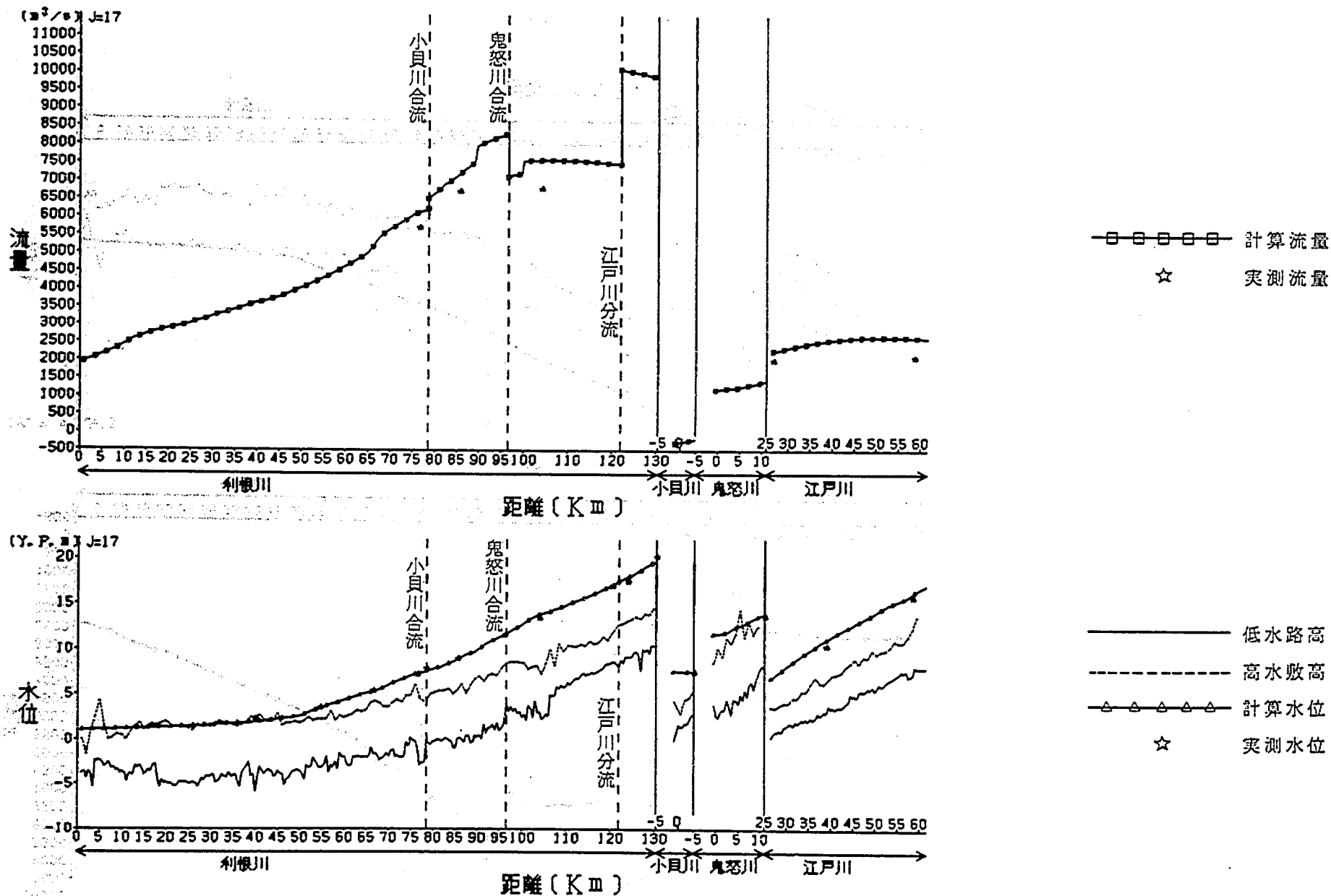


図 6-9-7 水位・流量縦断面図

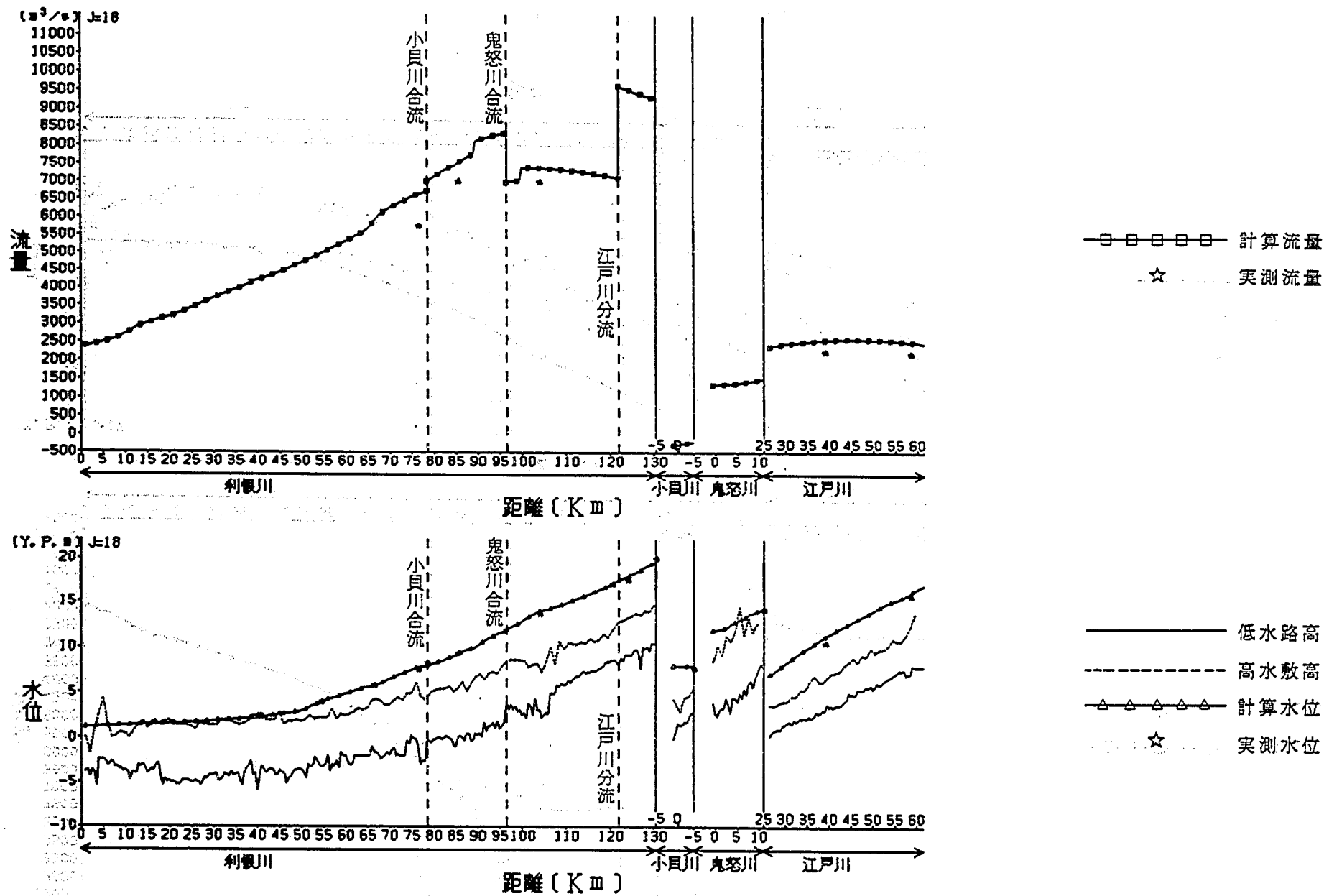


図 6 - 9 - 8 水位・流量縦断図

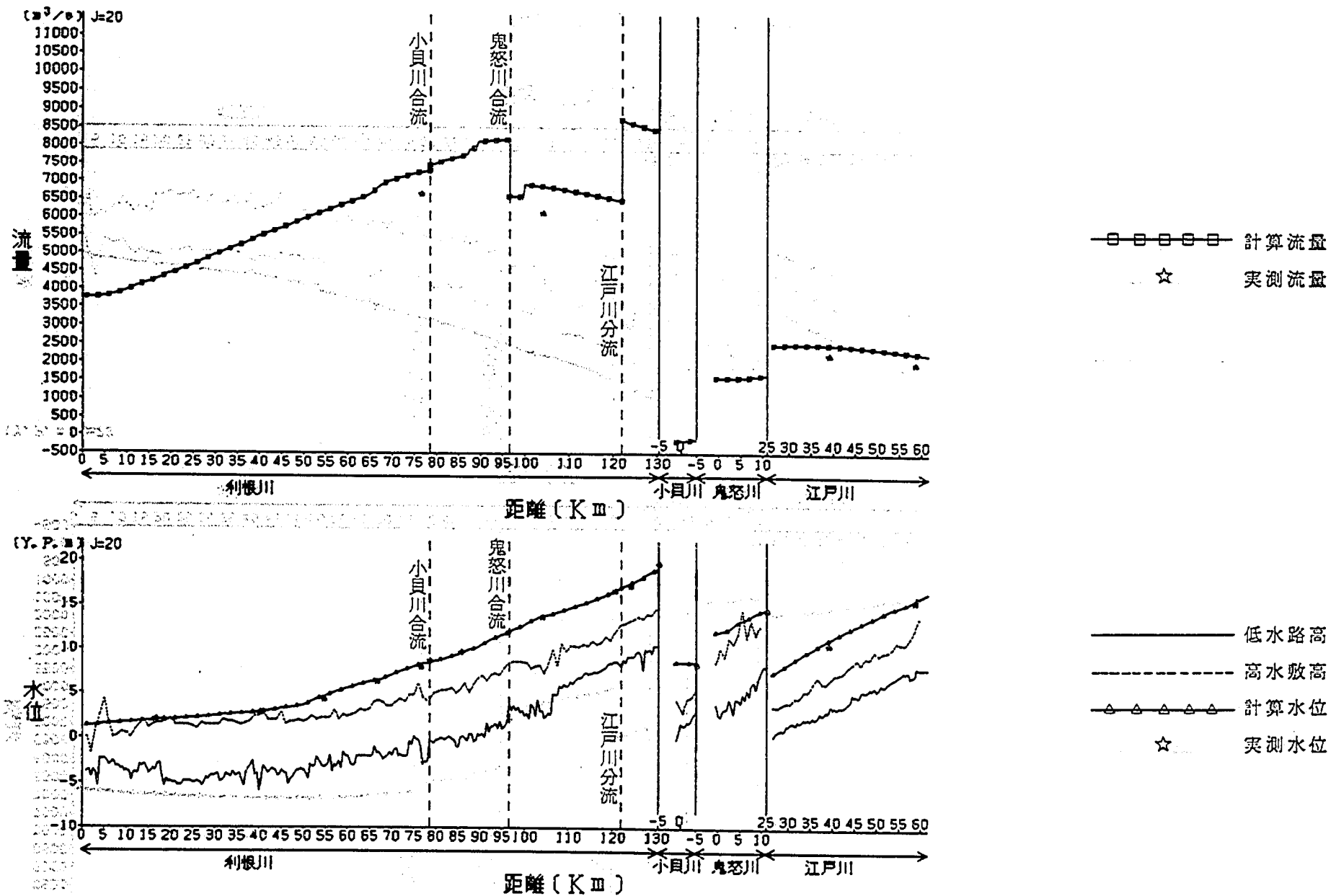


図 6-9-9 水位・流量縦断図

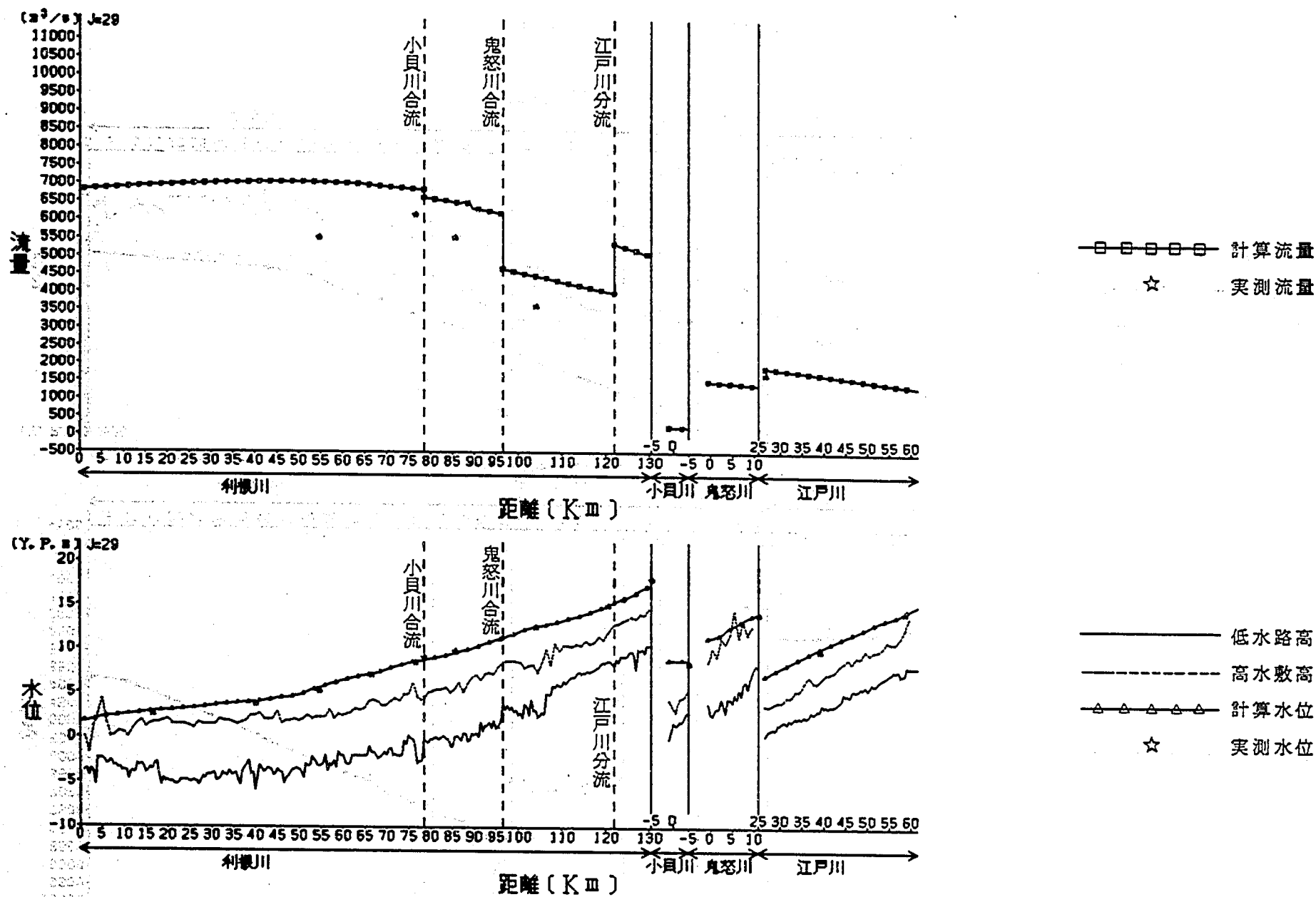


図 6-9-10 水位・流量縦断面図

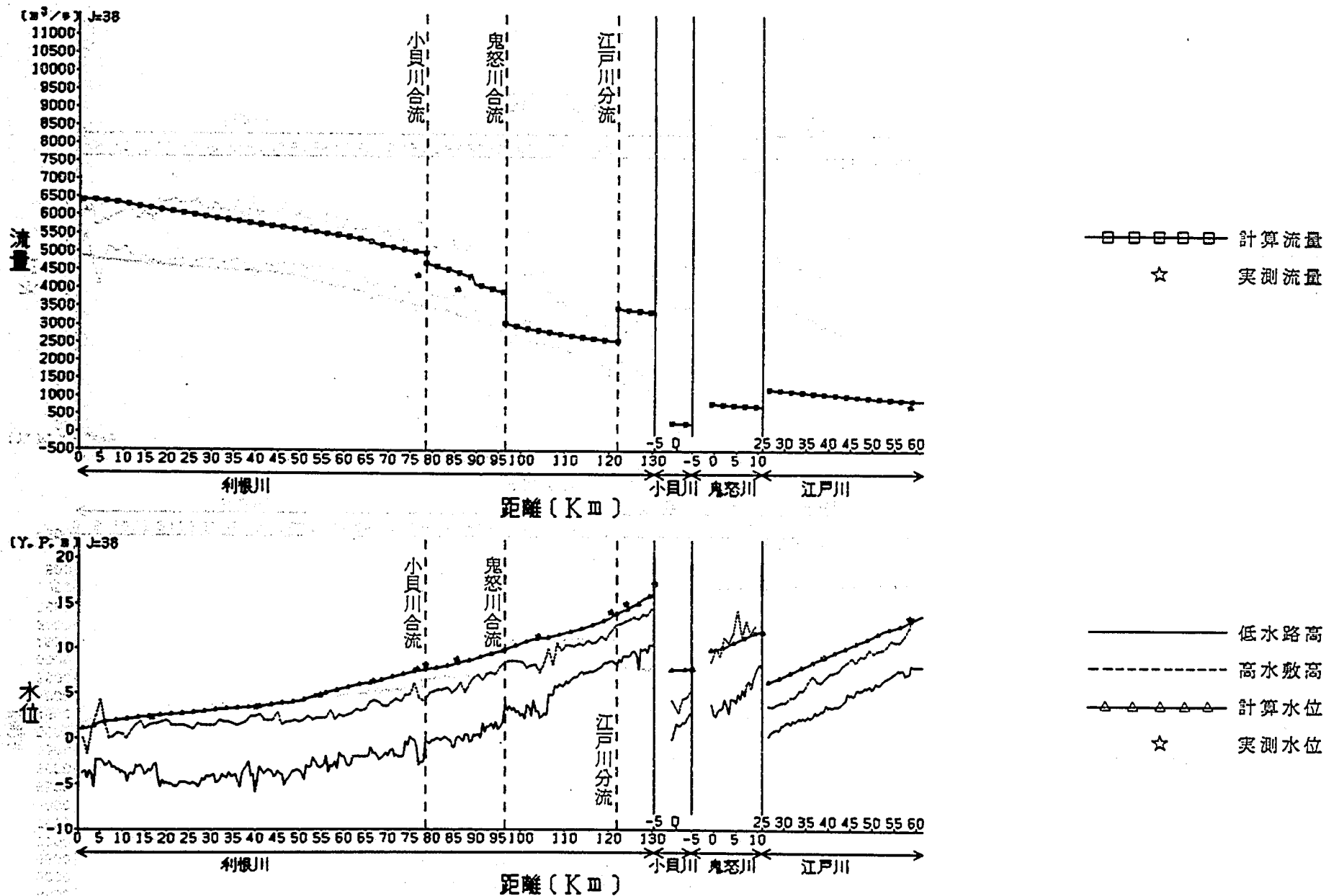


図 6-9-11 水位・流量縦断図

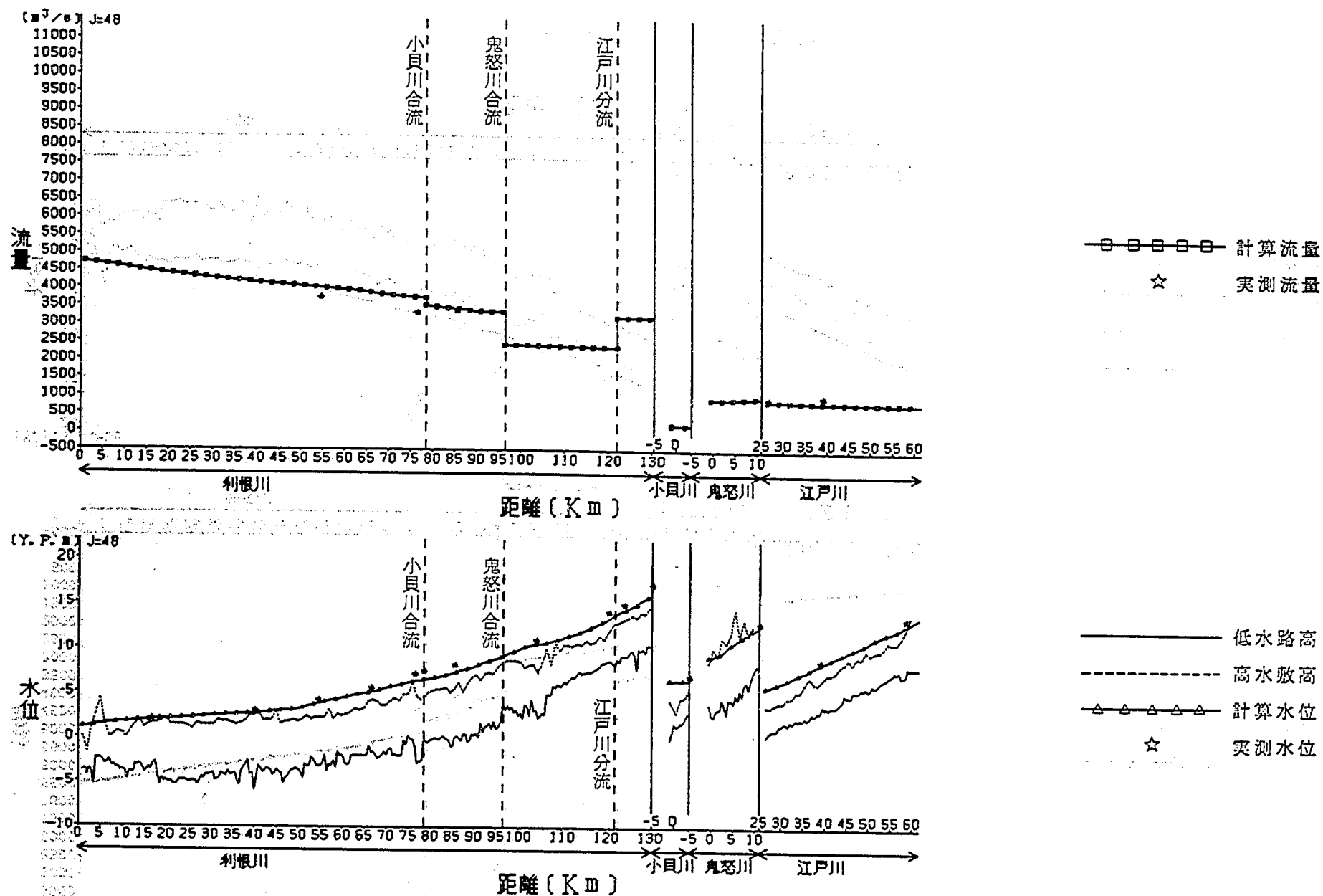


図 6 - 9 - 12 水位・流量縦断図

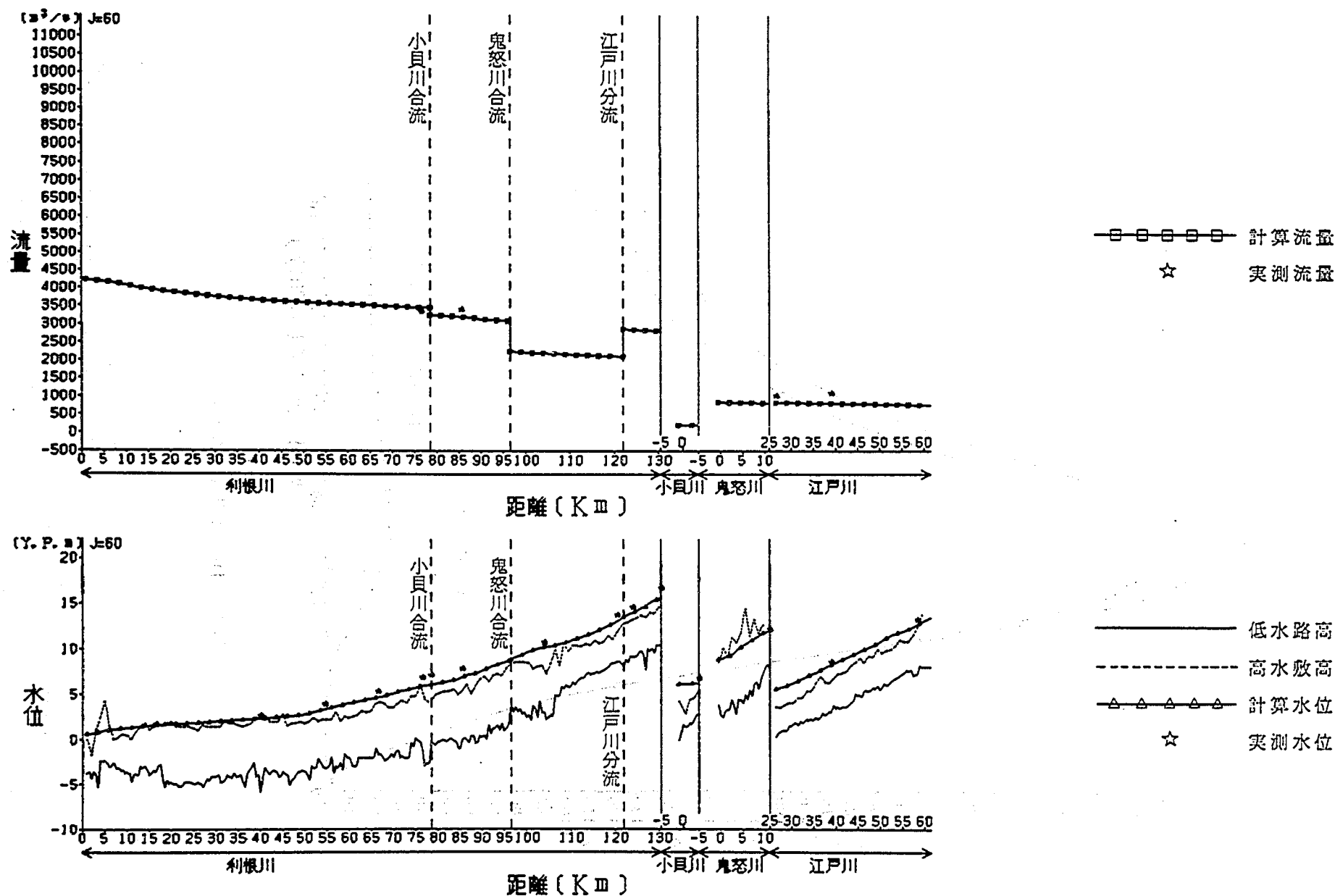


図 6 - 9 - 13 水位・流量縦断面図

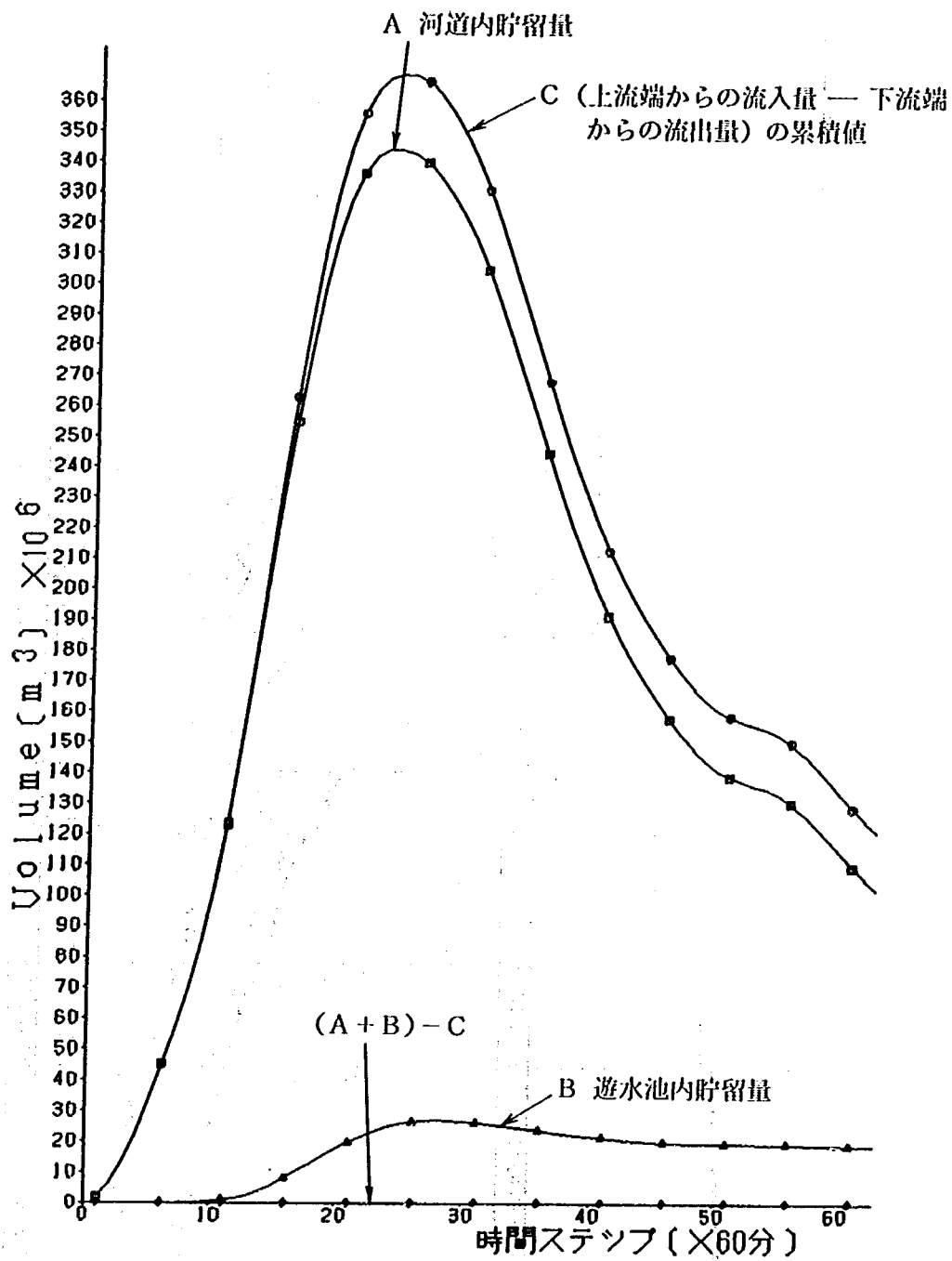


図6-10 ボリュームチェック

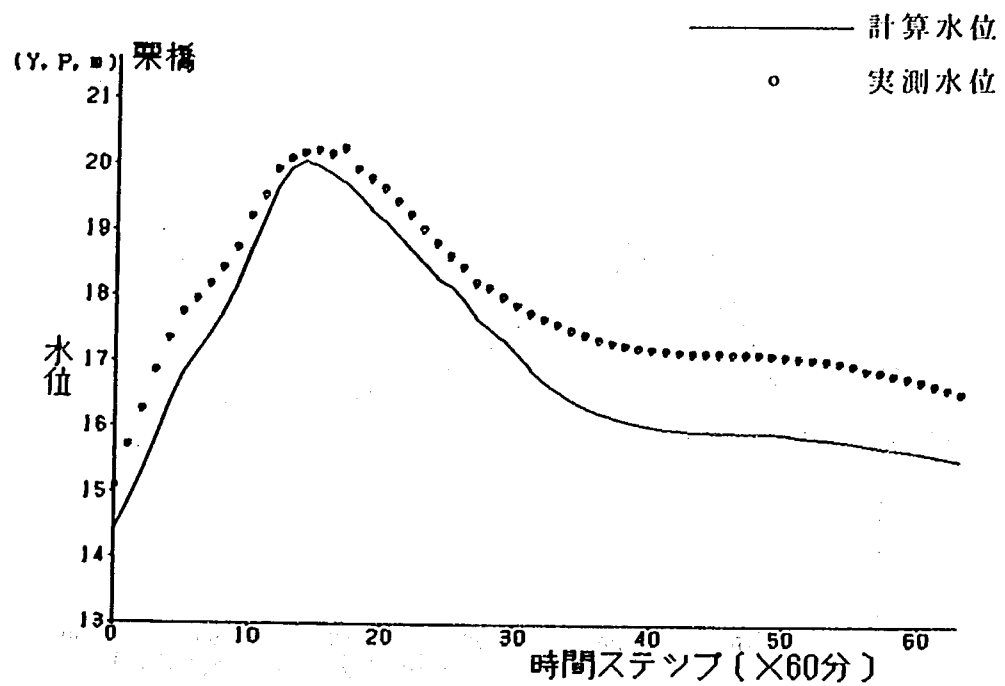


図 6 - 11 - 1 水位時間曲線

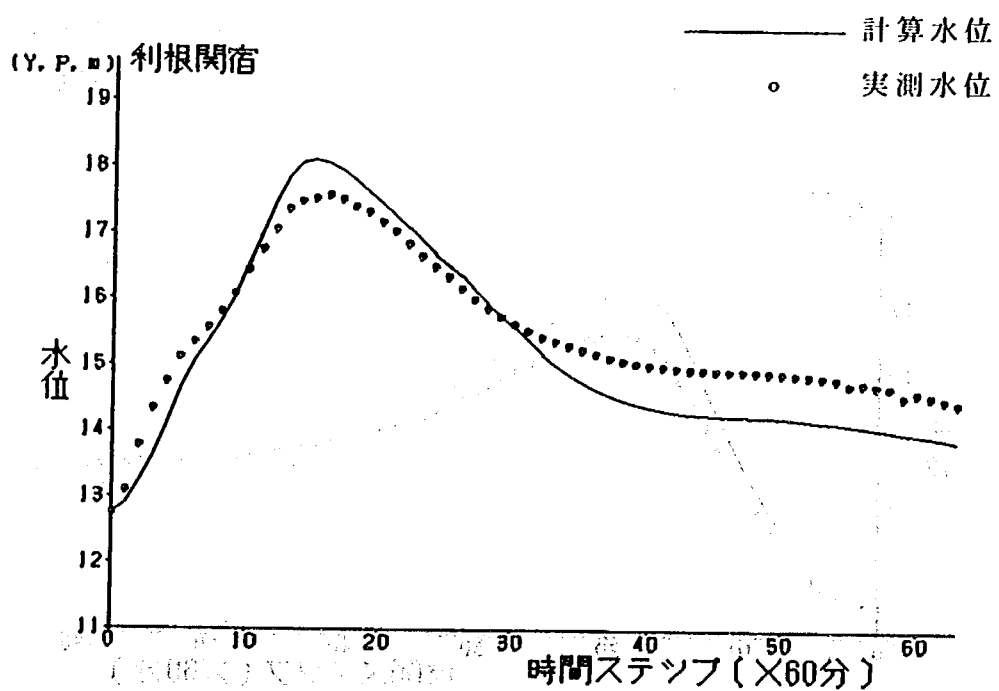


図 6 - 11 - 2 水位時間曲線

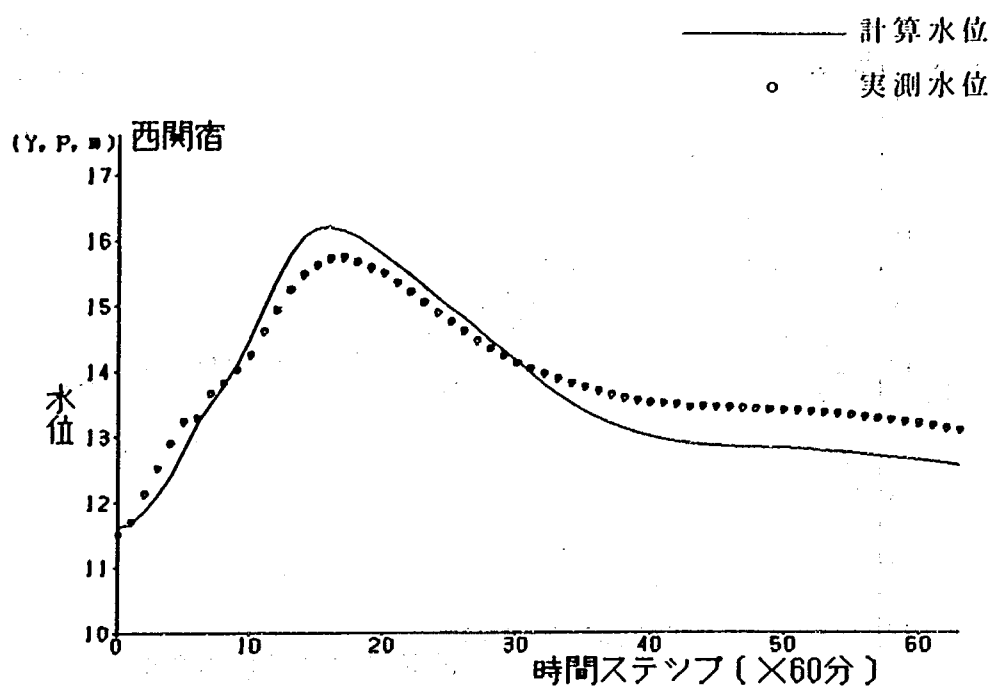


図 6 - 11 - 3 水位時間曲線

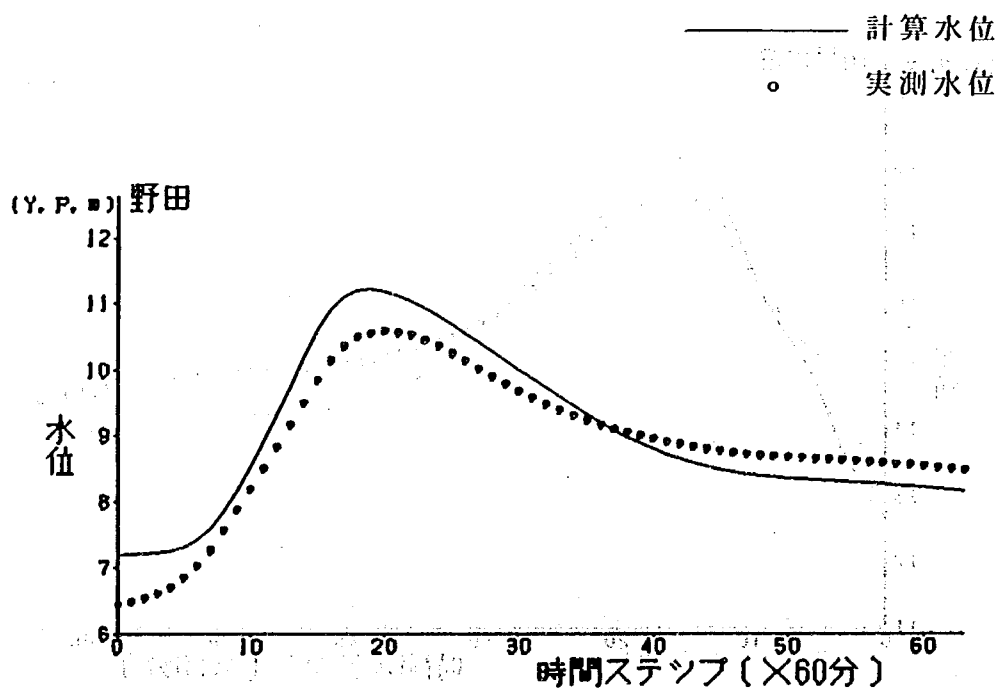


図 6 - 11 - 4 水位時間曲線

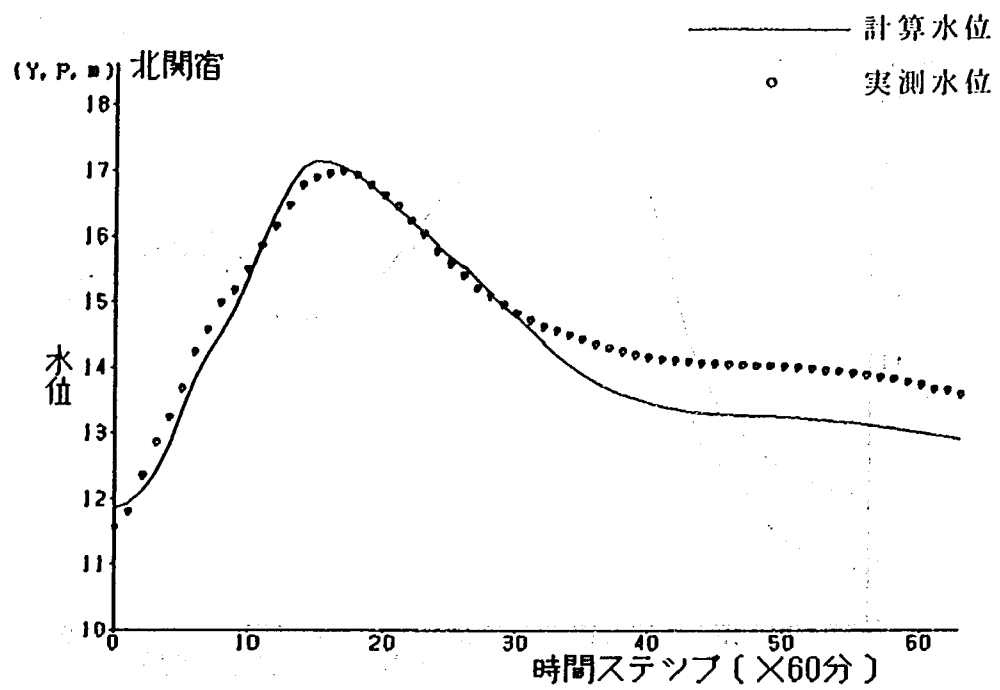


図 6 - 11 - 5 水位時間曲線

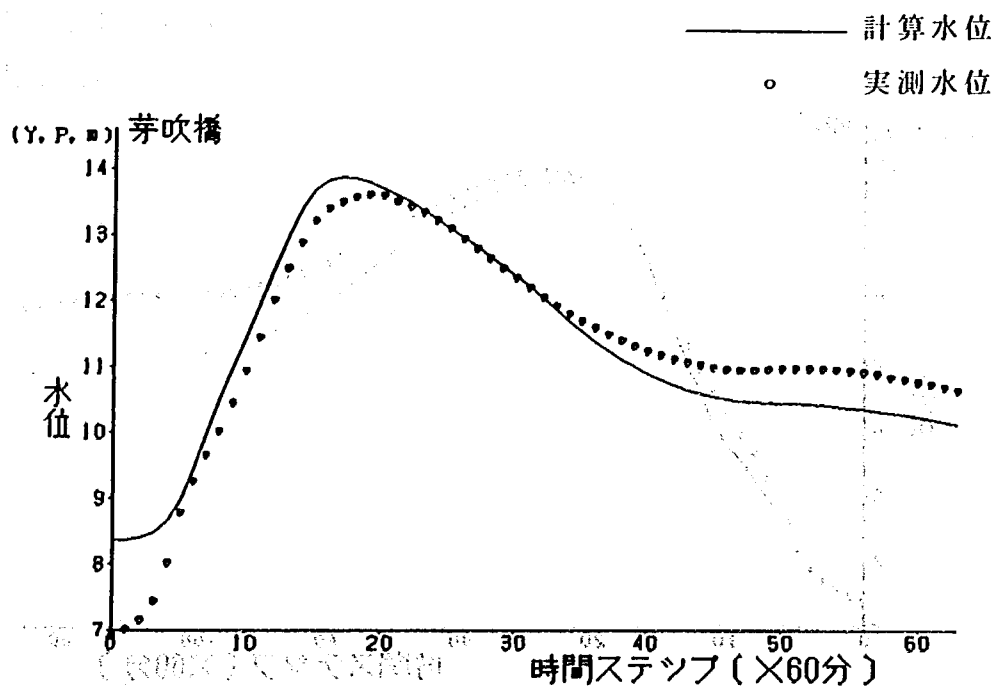


図 6 - 11 - 6 水位時間曲線

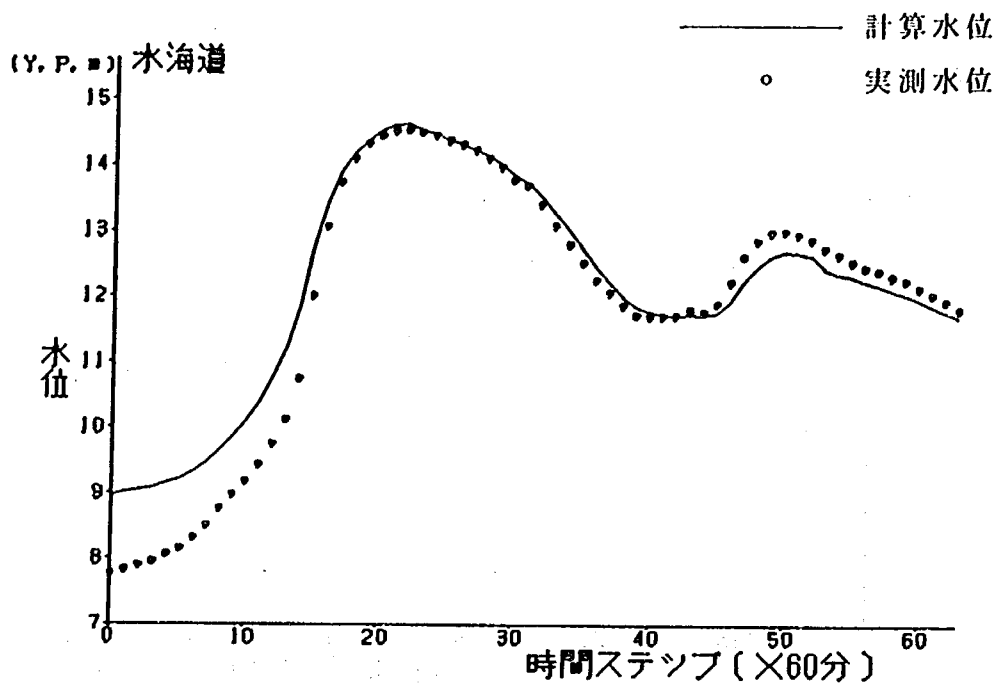


図 6 - 11 - 7 水位時間曲線

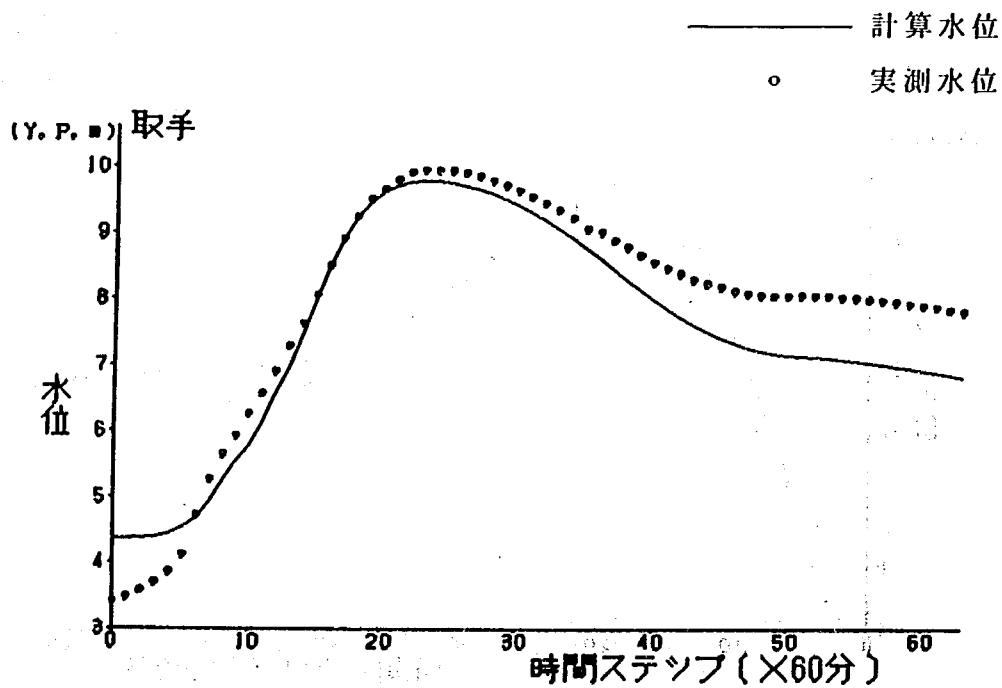


図 6 - 11 - 8 水位時間曲線

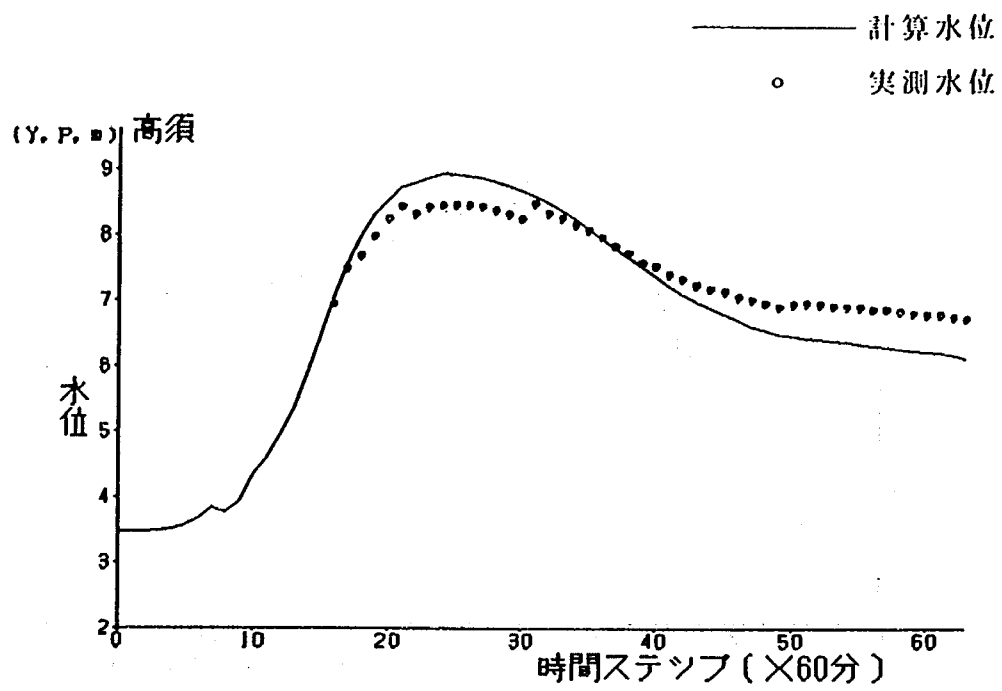


図6-11-9 水位時間曲線

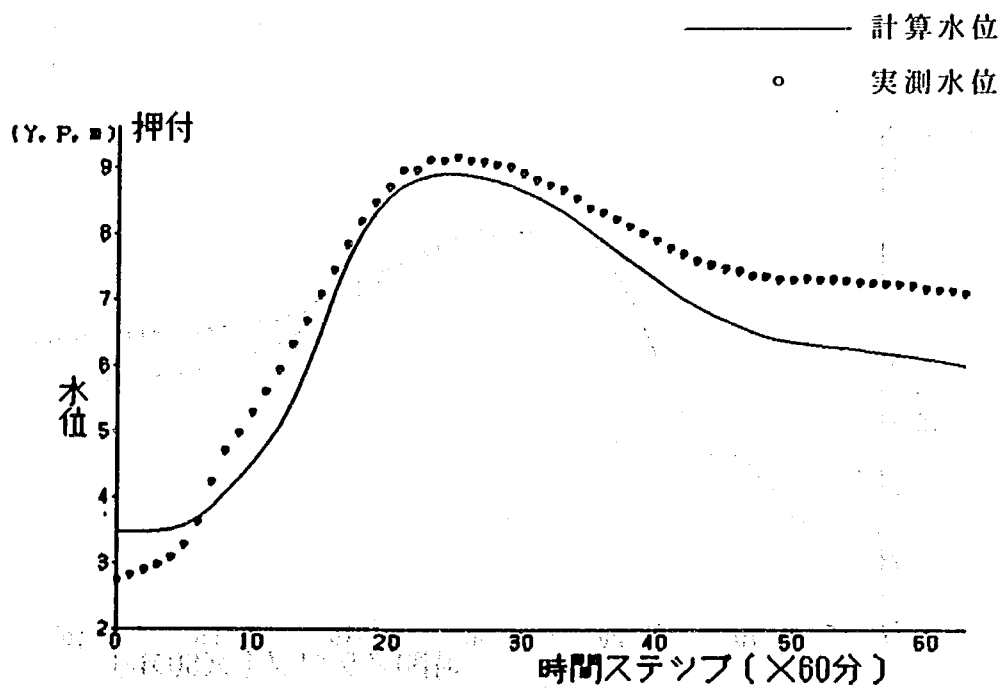


図6-11-10 水位時間曲線

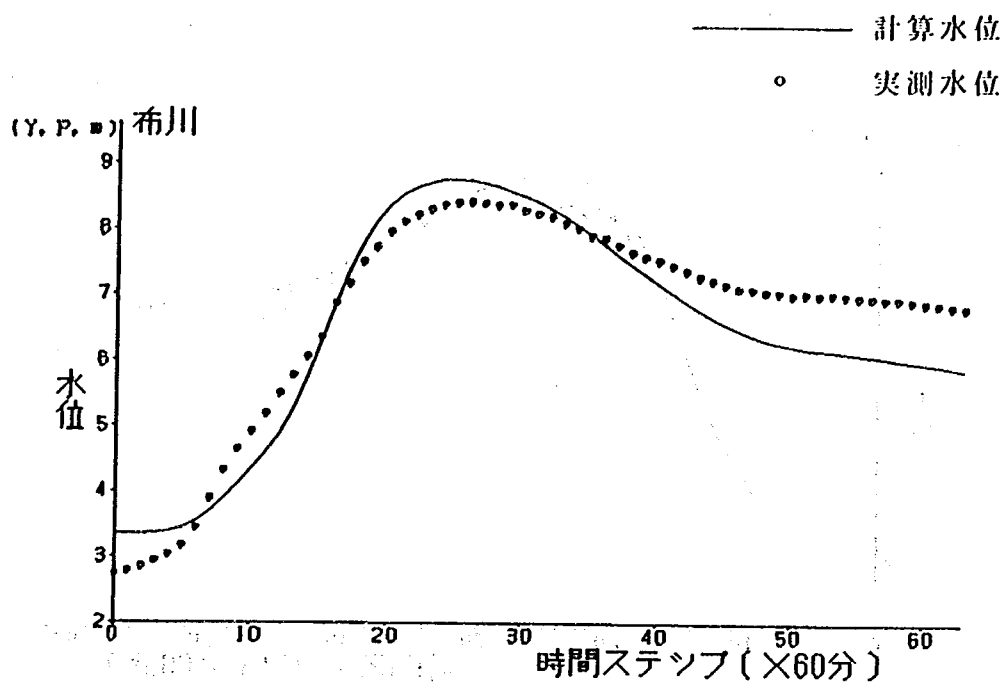


図 6-11-11 水位時間曲線

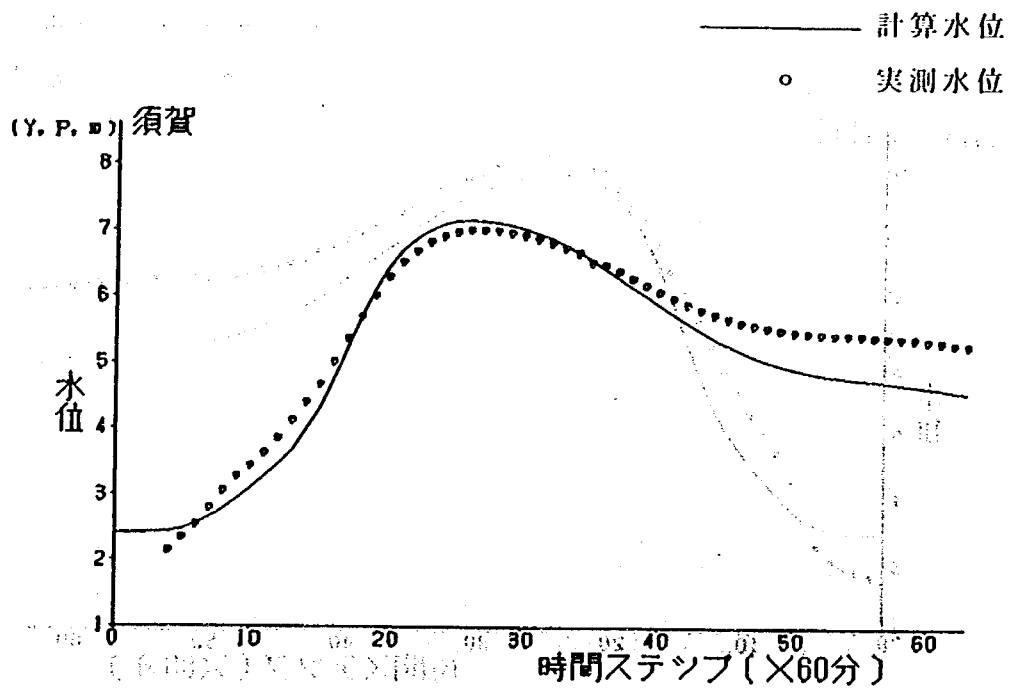


図 6-11-12 水位時間曲線

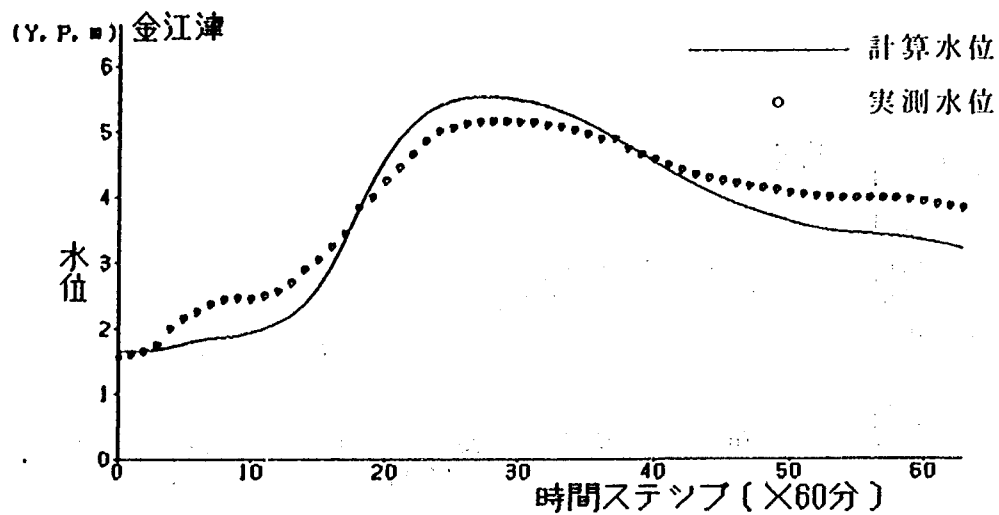


図 6 - 11 - 13 水位時間曲線

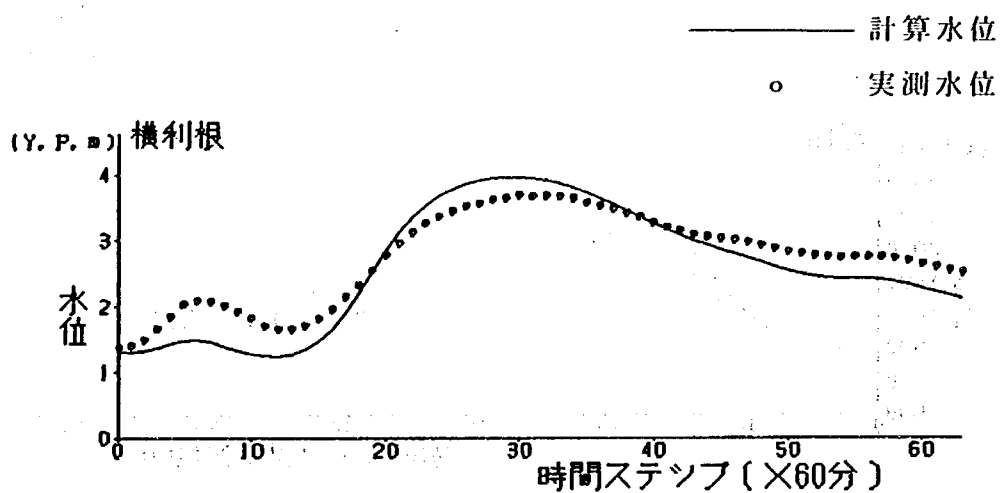


図 6 - 11 - 14 水位時間曲線

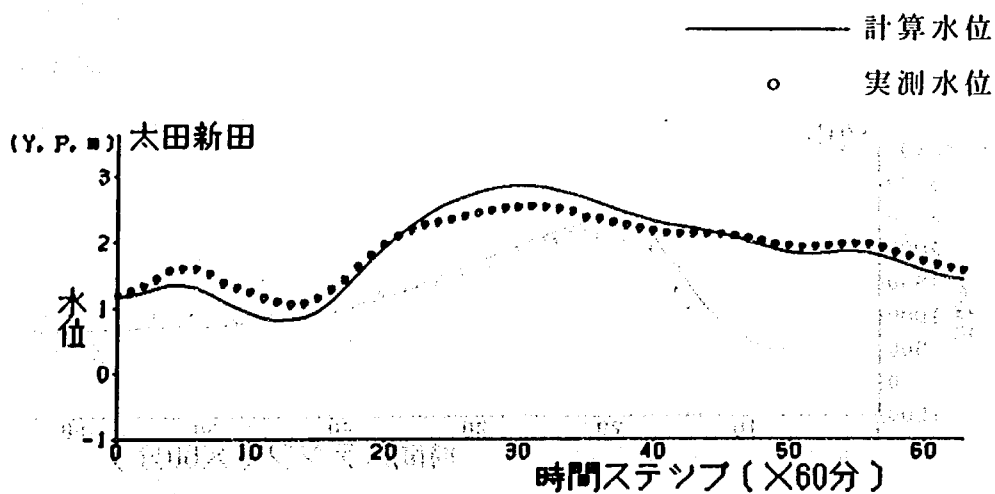


図 6 - 11 - 15 水位時間曲線

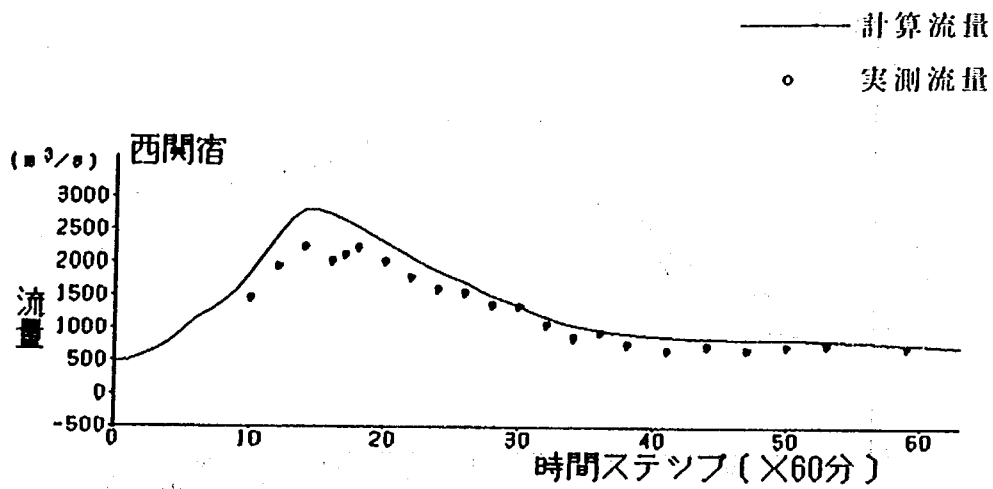


図 6 - 12 - 1 流量時間曲線

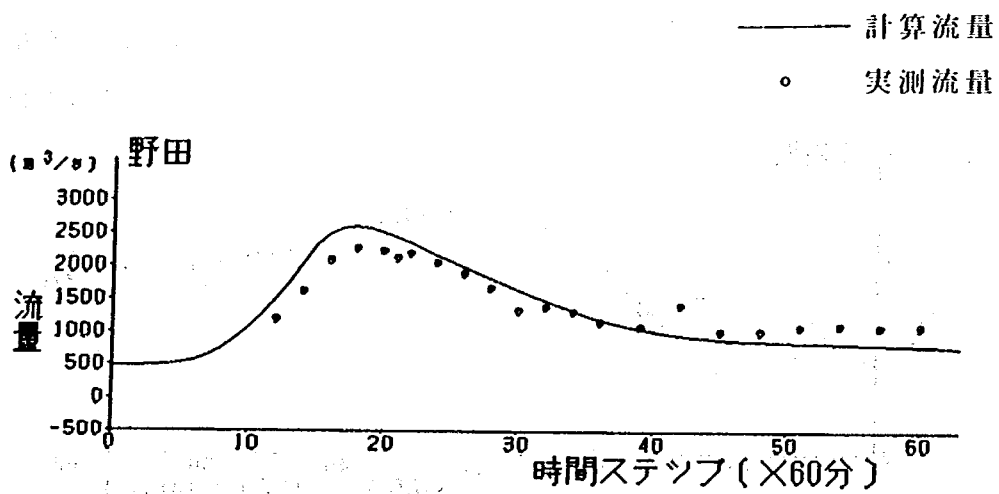


図 6 - 12 - 2 流量時間曲線

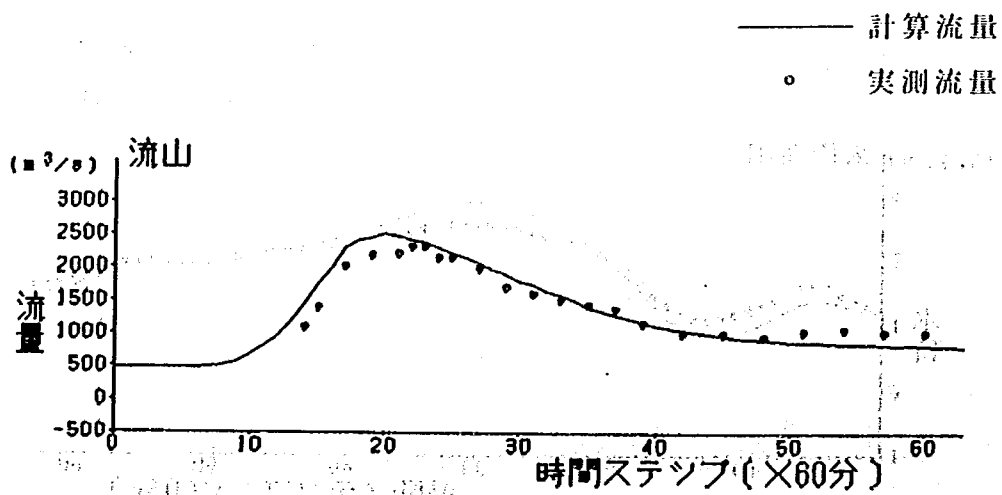


図 6 - 12 - 3 流量時間曲線

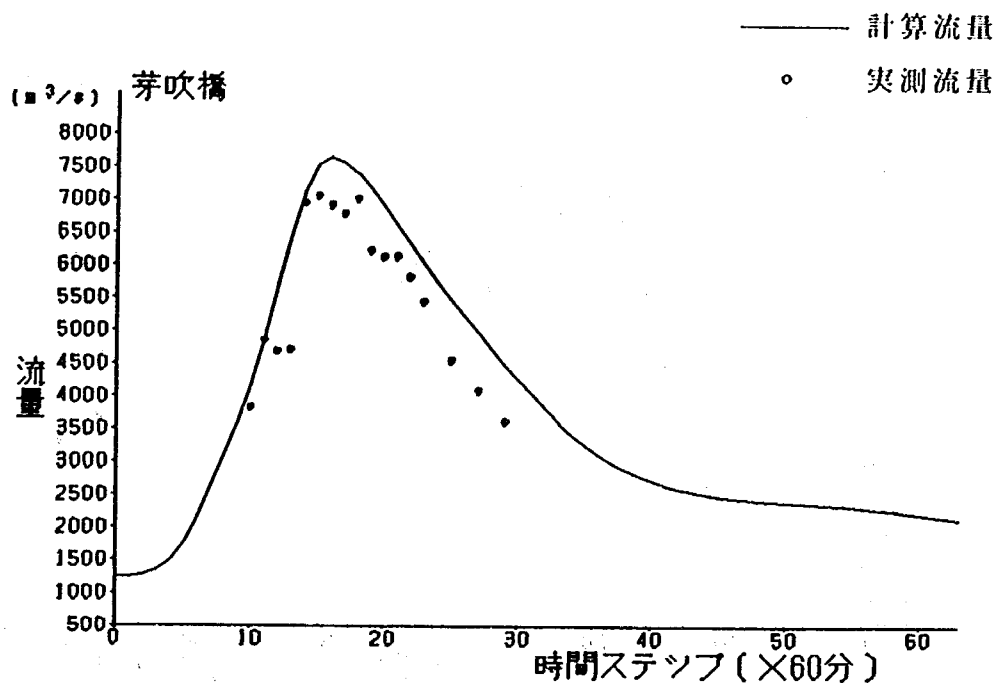


図6-12-4 流量時間曲線

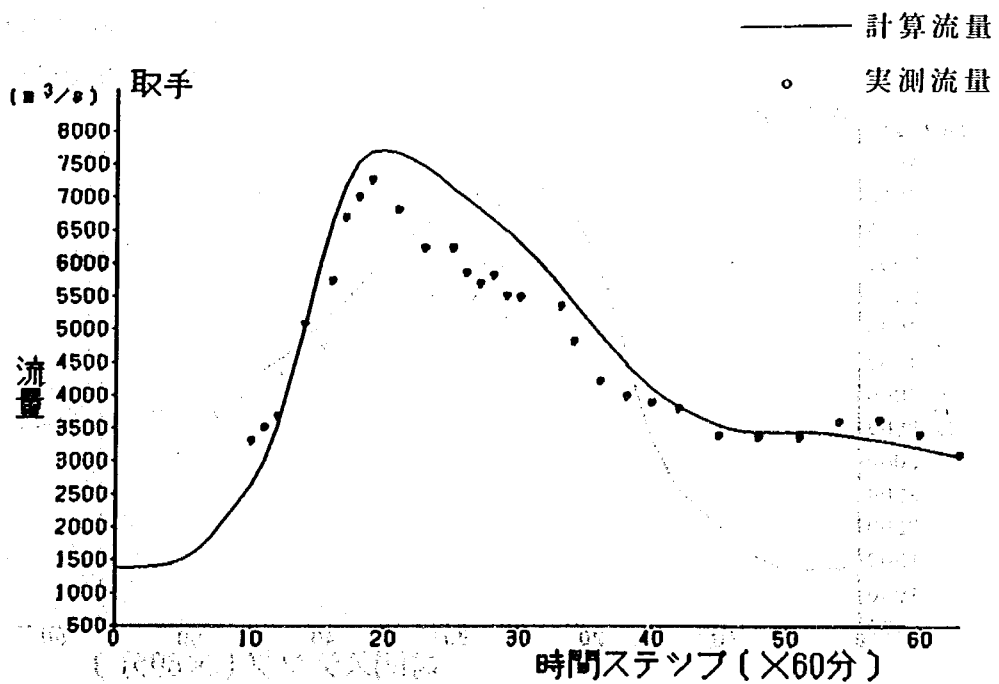


図6-12-5 流量時間曲線

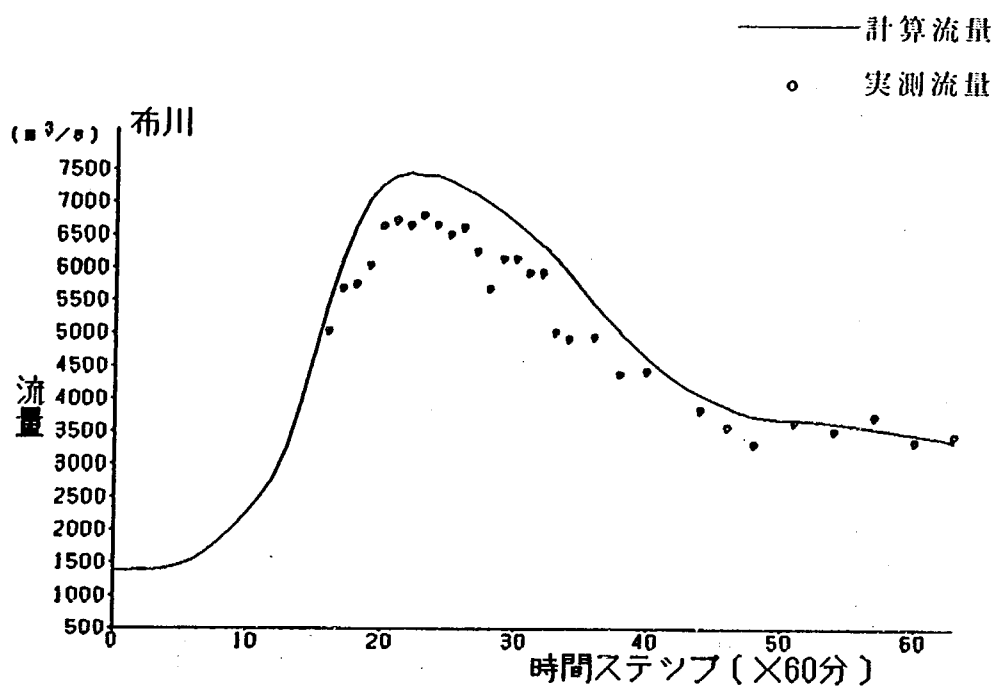


図 6 - 12 - 6 流量時間曲線

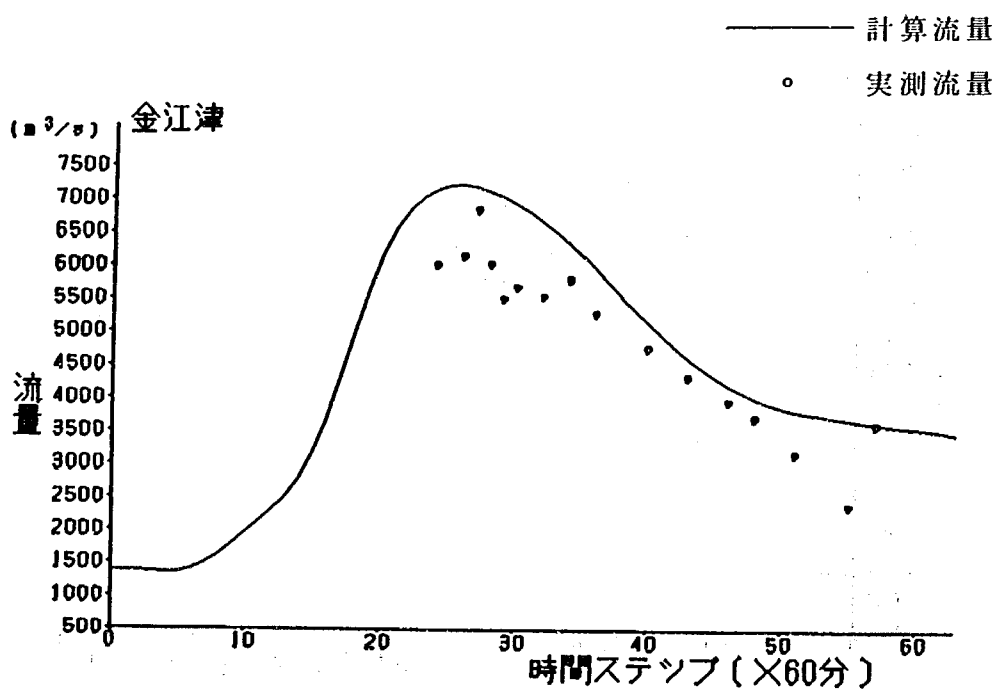


図 6 - 12 - 7 流量時間曲線

Case 3

(昭和56年 8 月洪水——粗度B)

2013

2013年12月31日

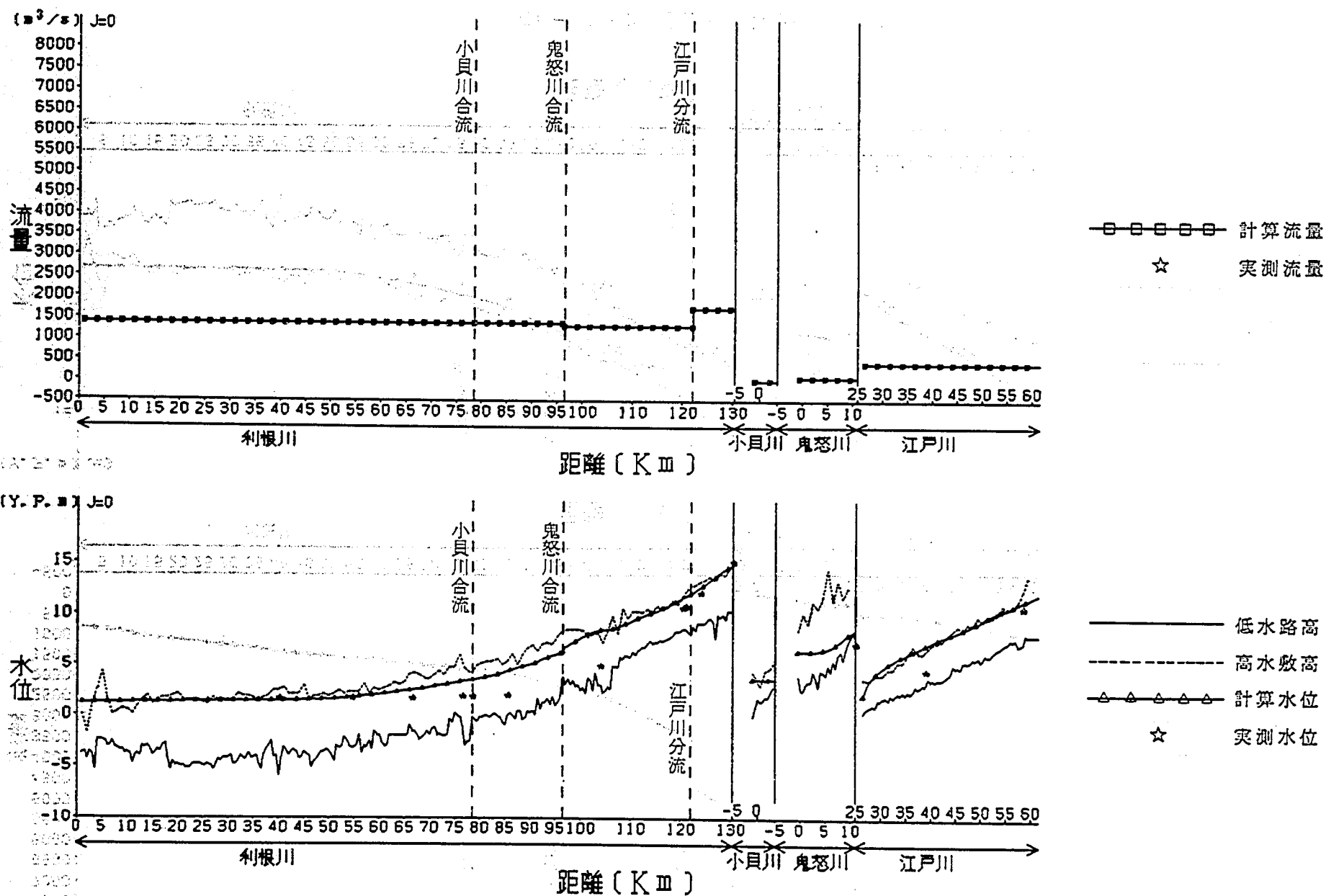


図 6-13-1 水位・流量縦断図 (不等流計算)

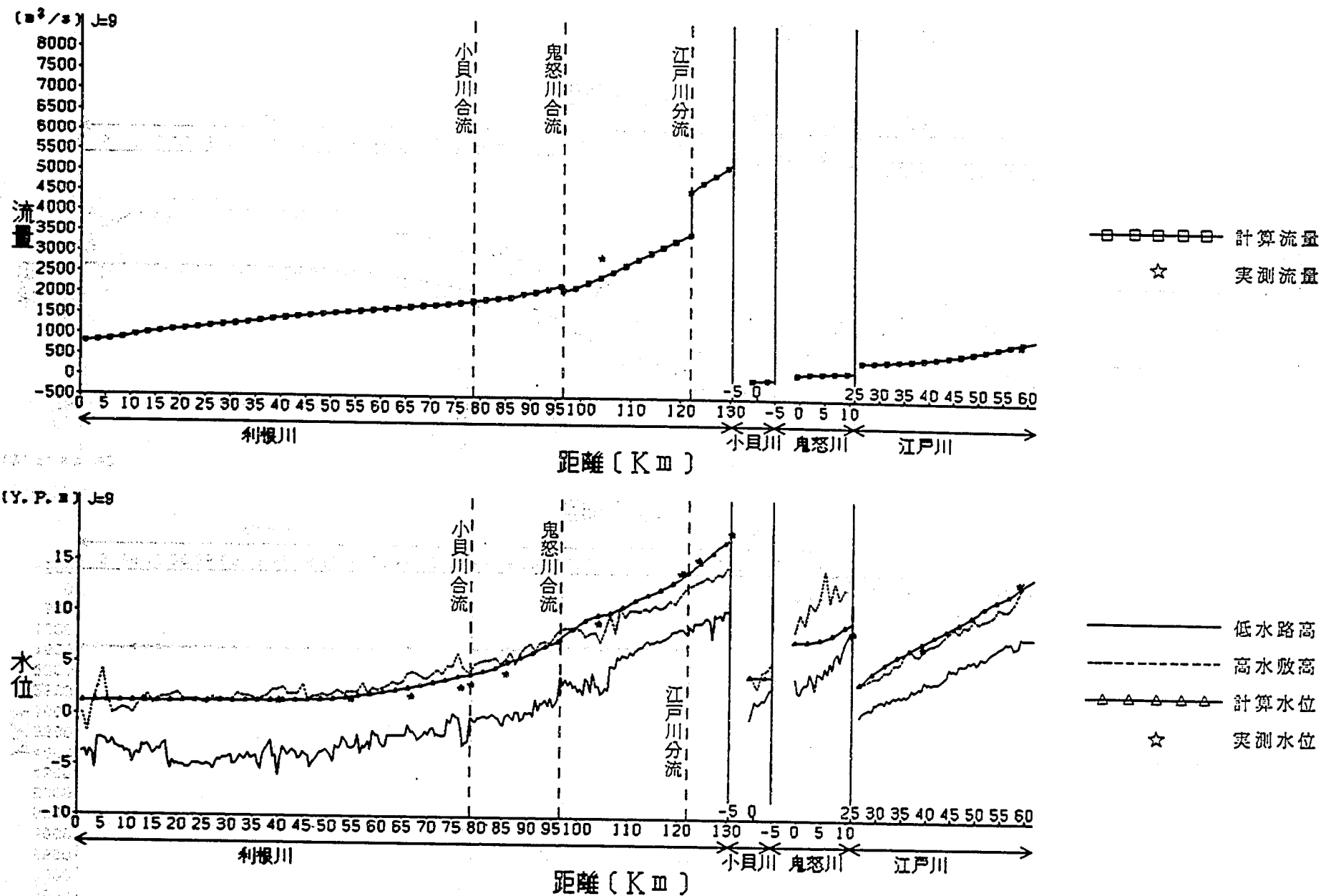


図 6-13-2 水位・流量縦断面図

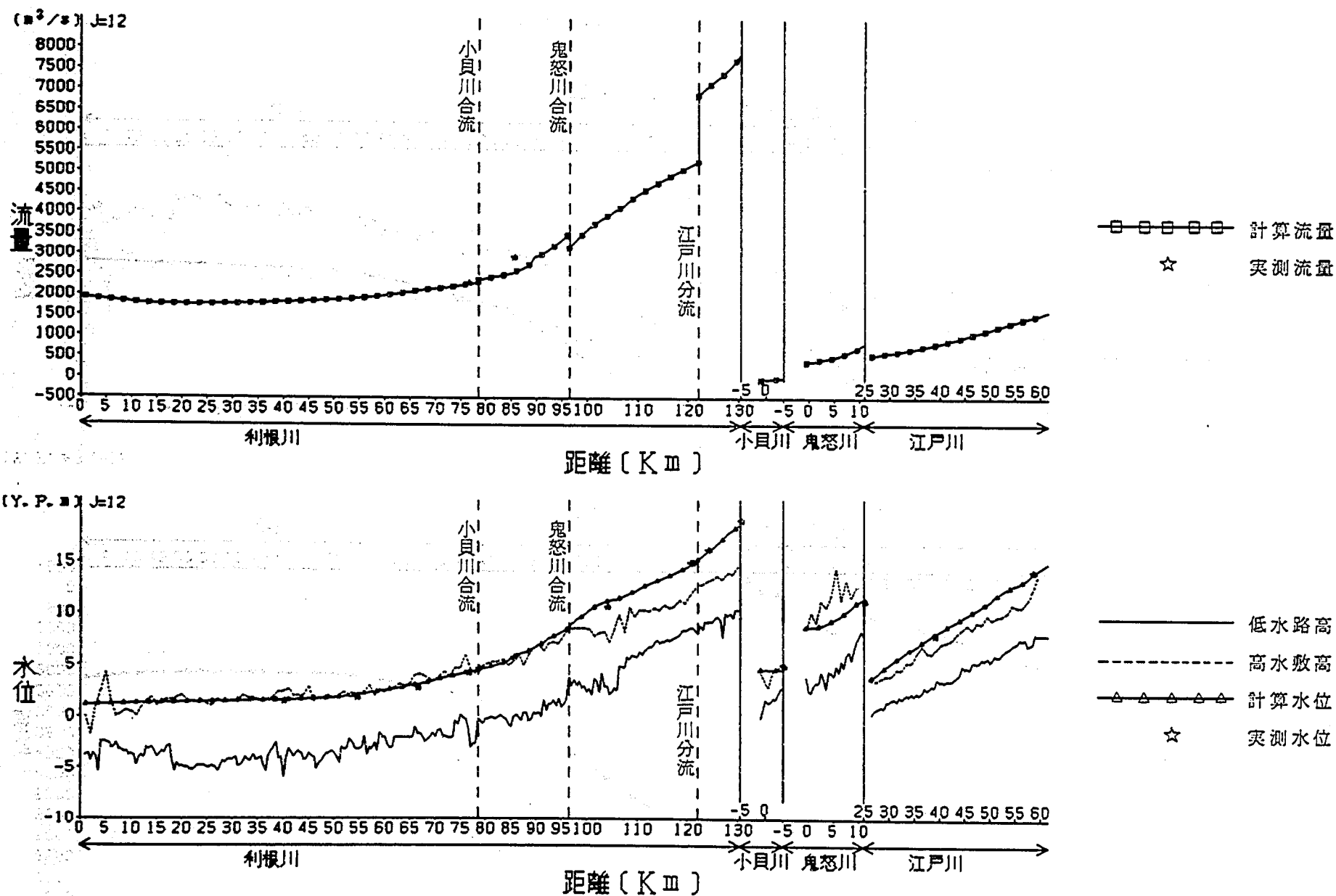


図 6 - 13 - 3 水位・流量縦断面図

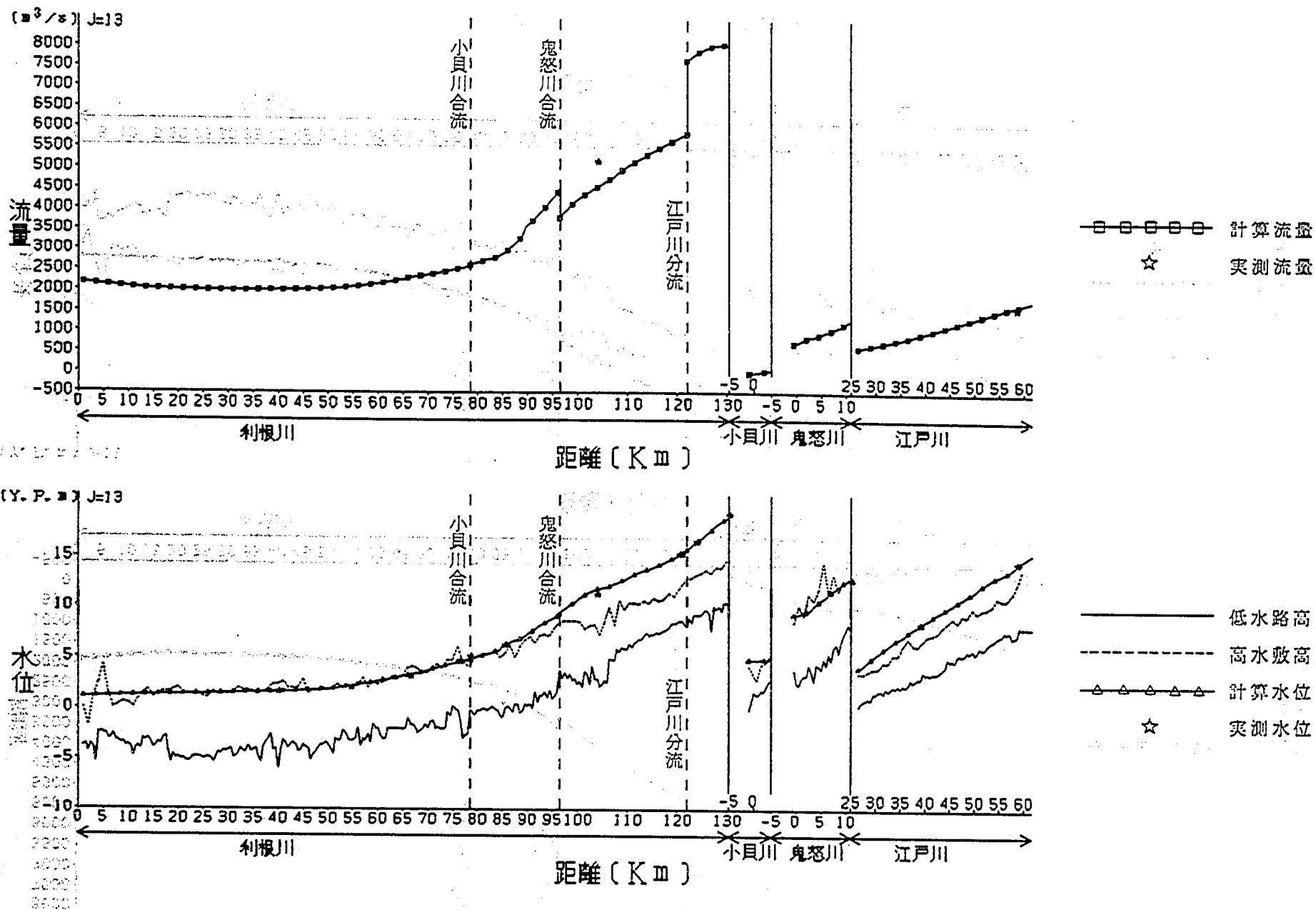


図 6 - 13 - 4 水位・流量縦断面図

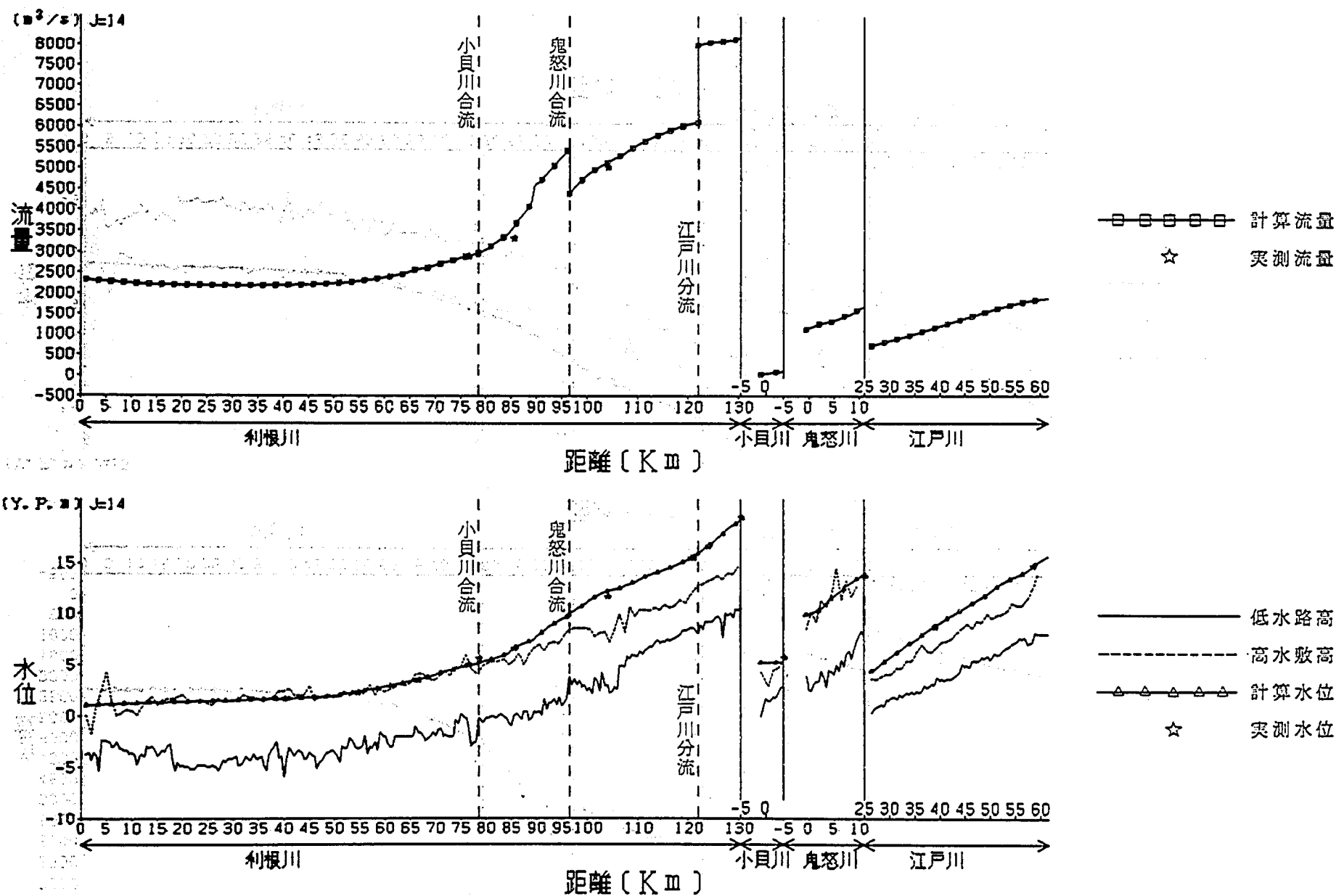


図 6 - 13 - 5 水位・流量縦断図

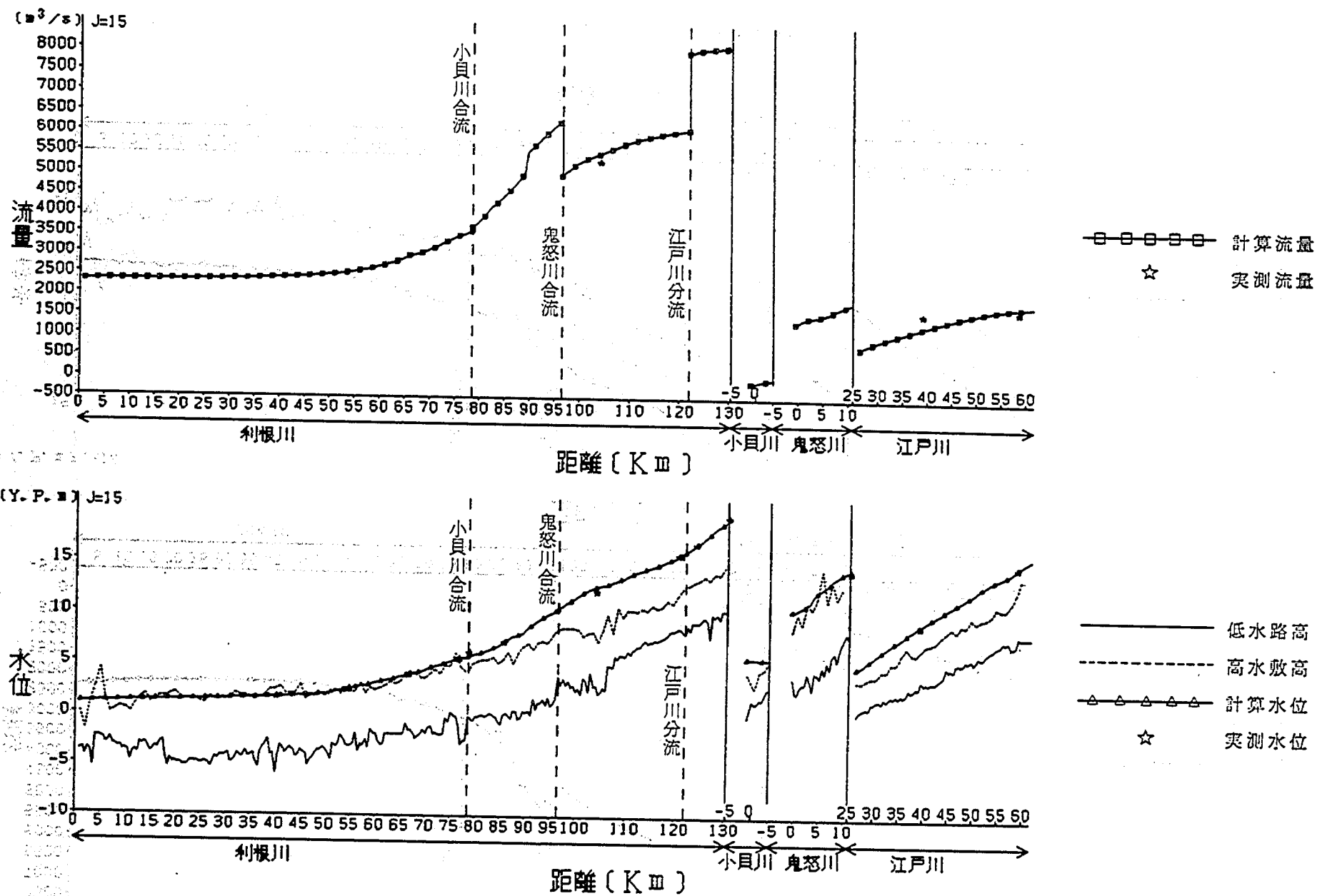


図 6 - 13 - 6 水位・流量縦断面図

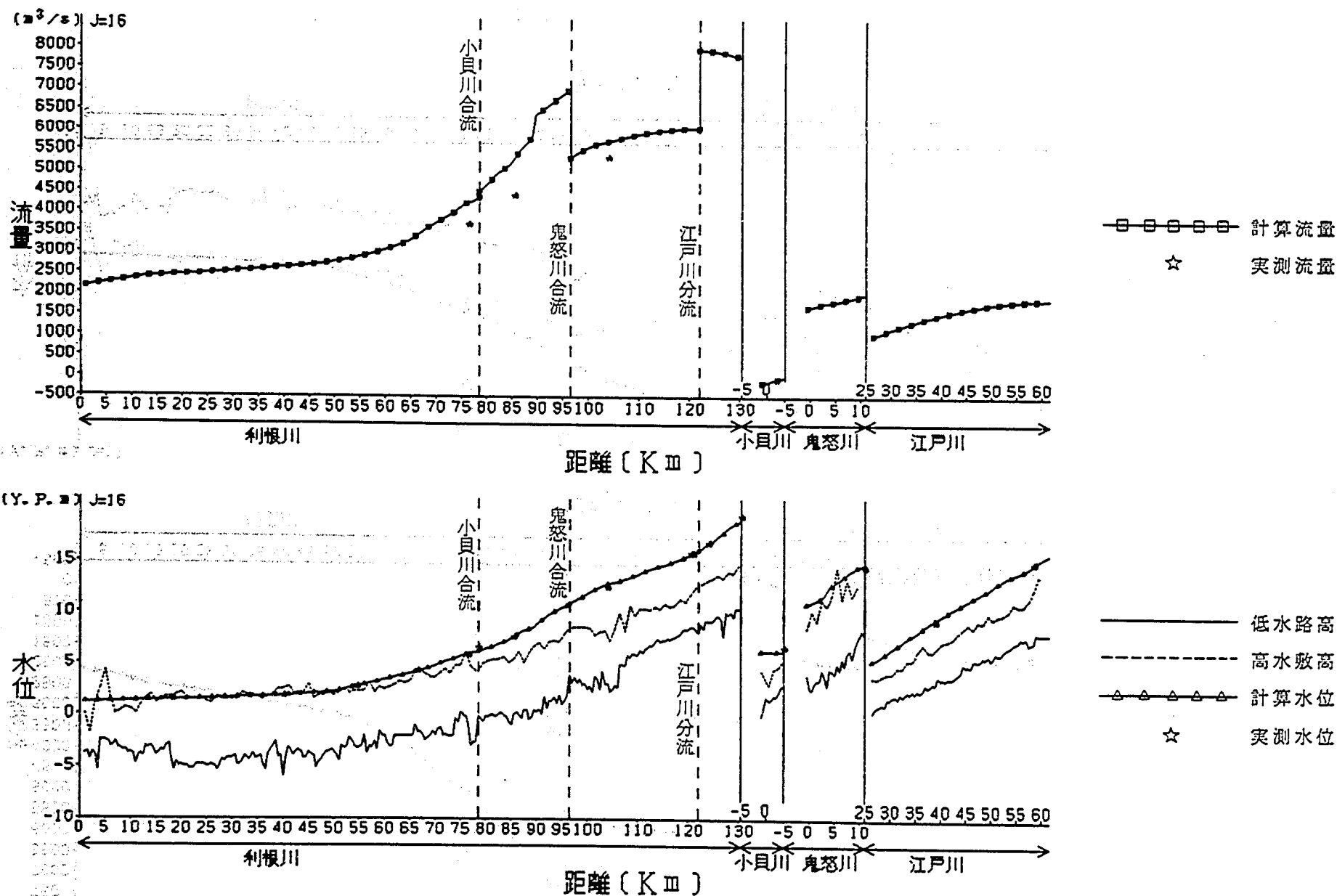


図 6 - 13 - 7 水位・流量縦断面図

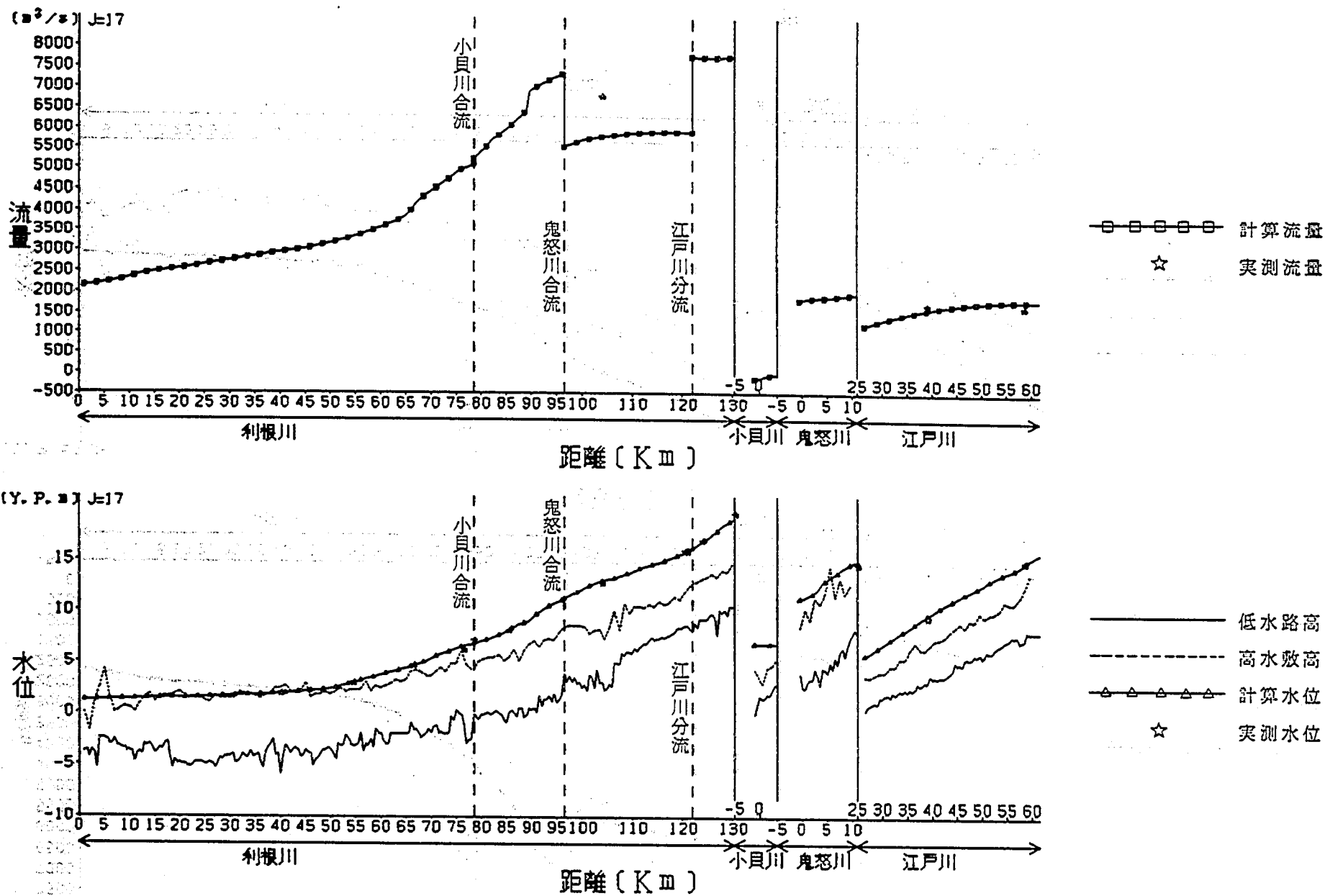


図 6 - 13 - 8 水位・流量縦断図

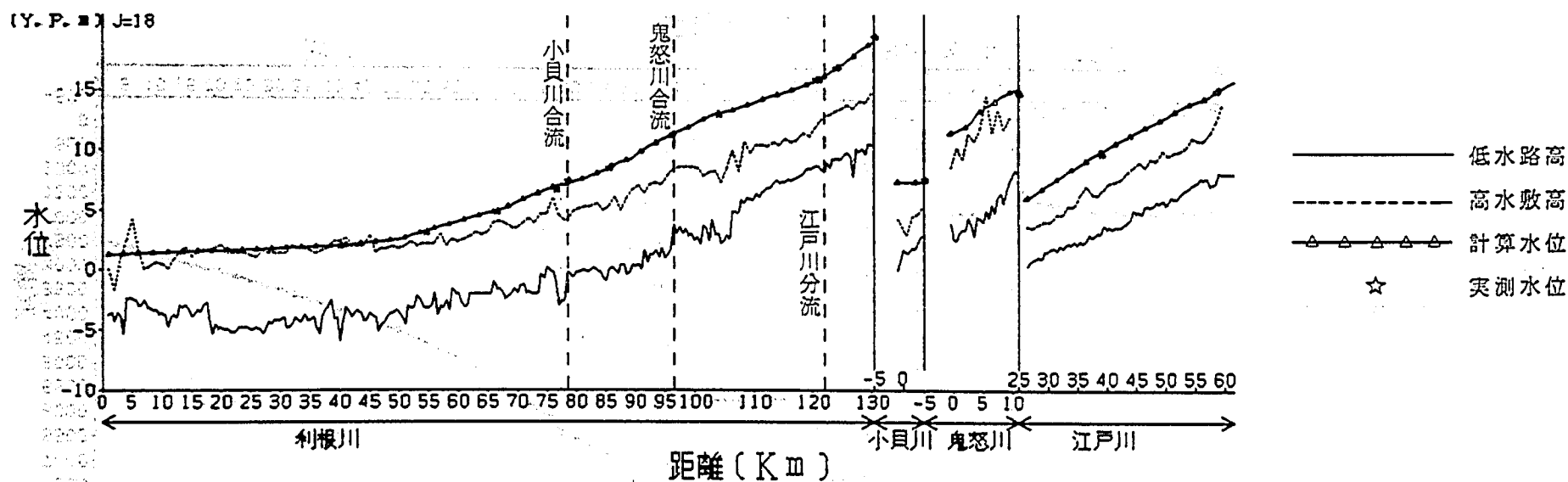
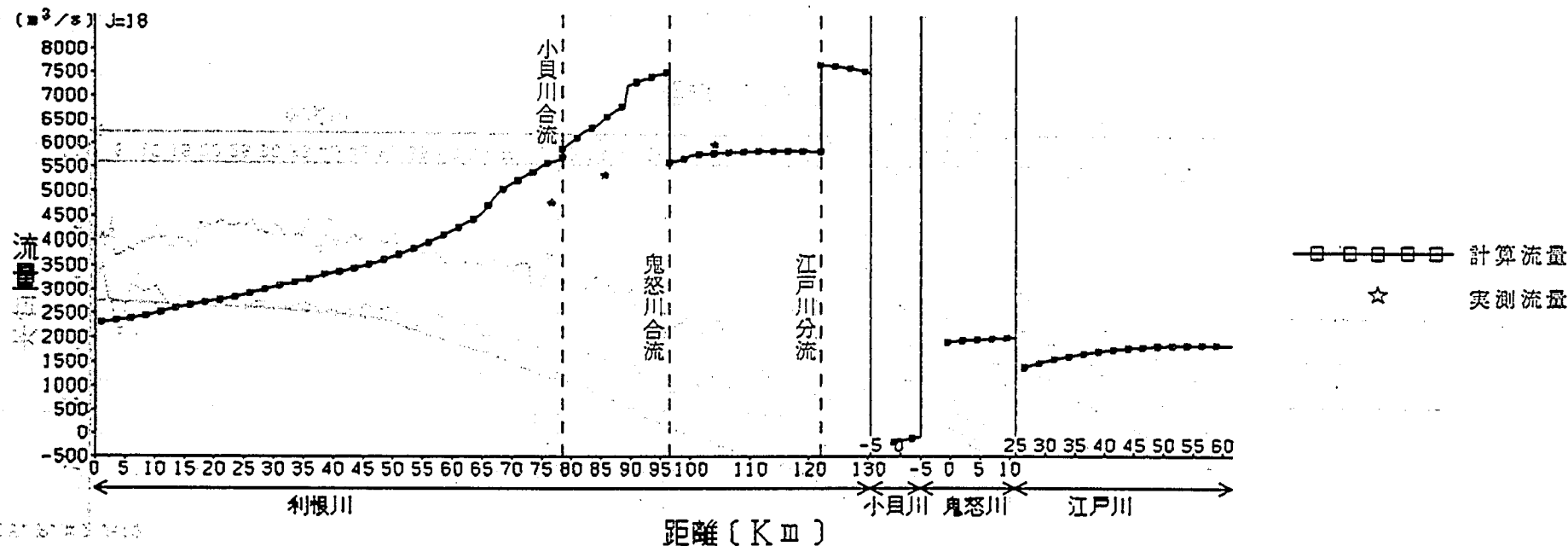


図 6-13-9 水位・流量縦断面図

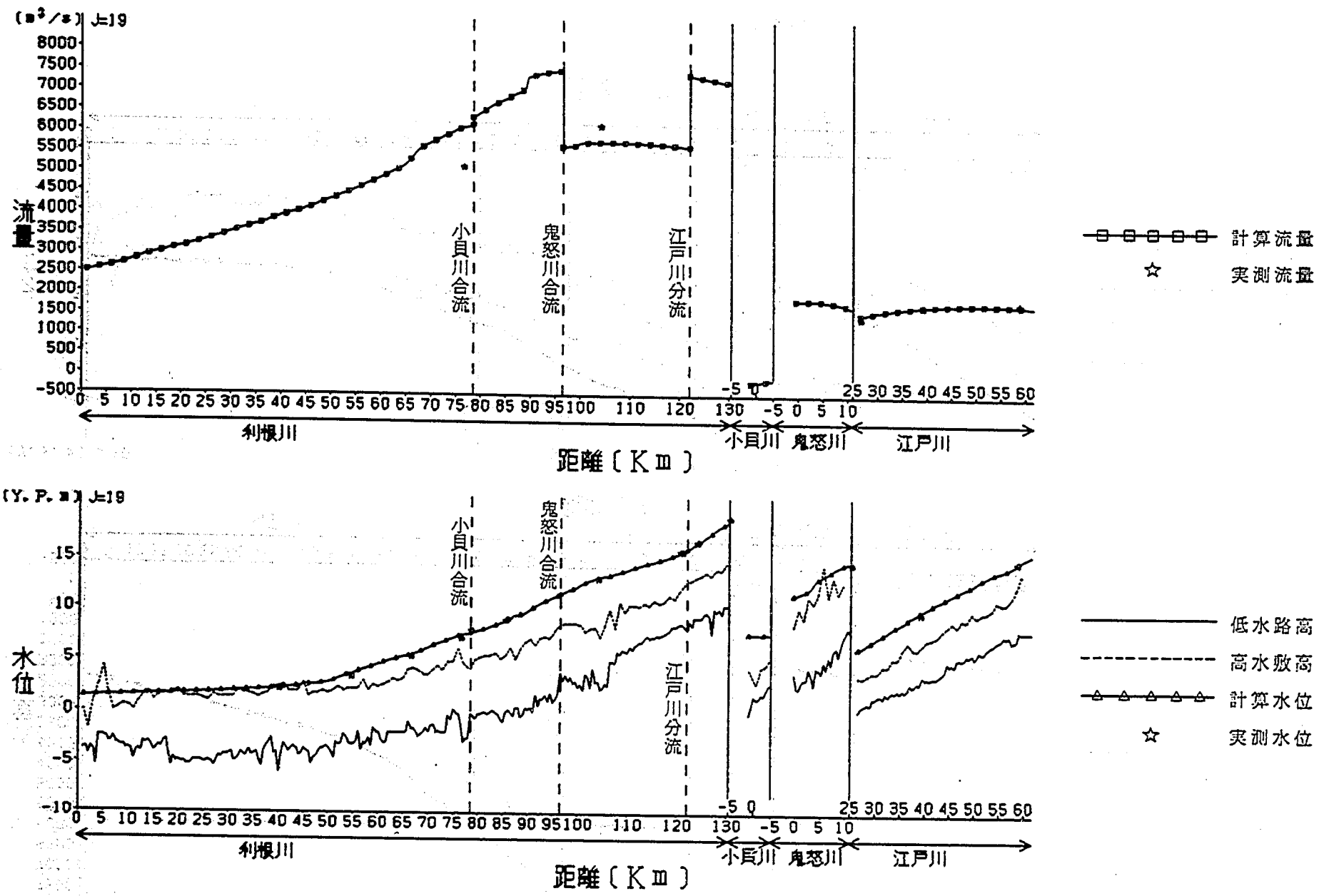


図 6 - 13 - 10 水位・流量縦断図

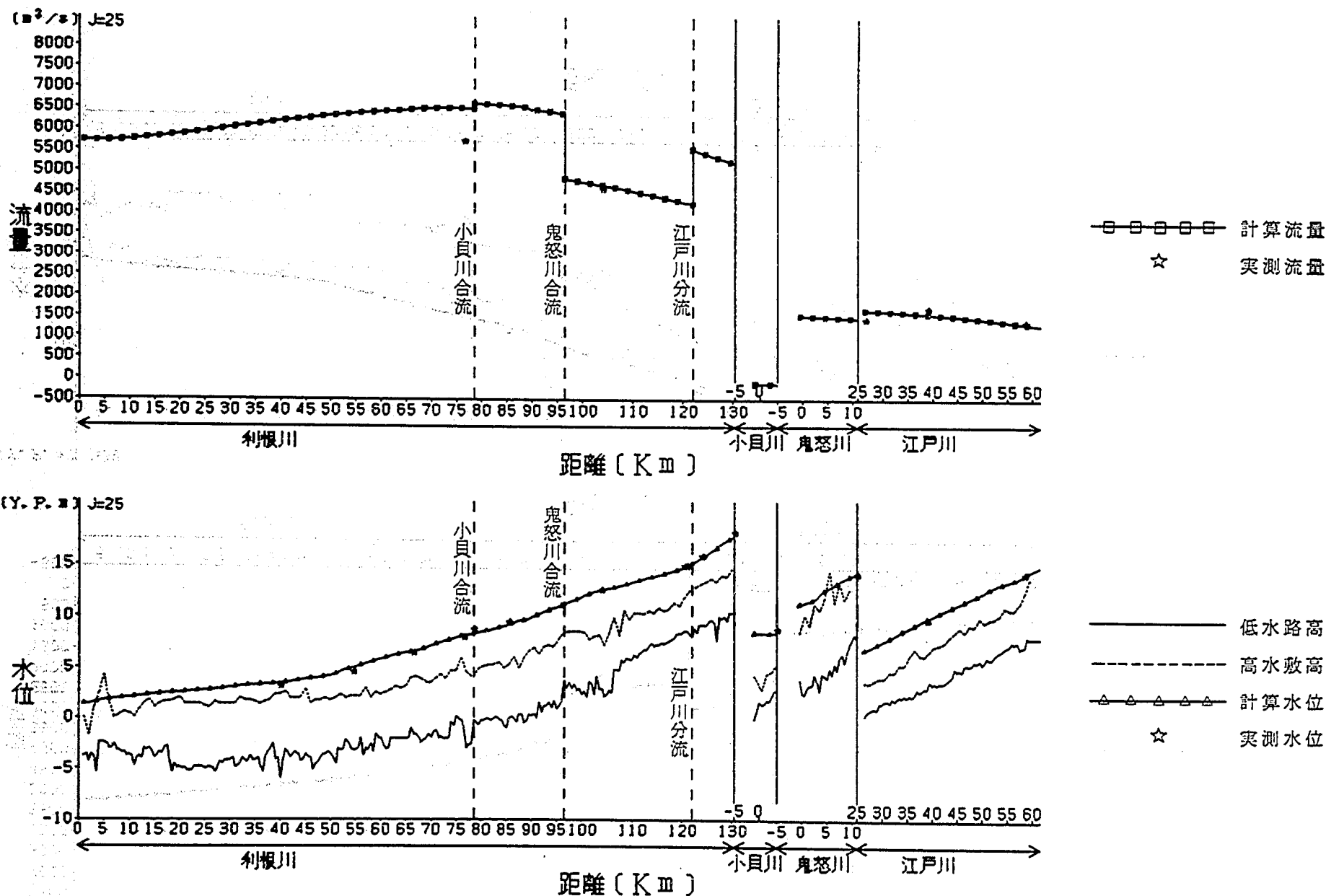


図 6 - 13 - 11 水位・流量縦断図

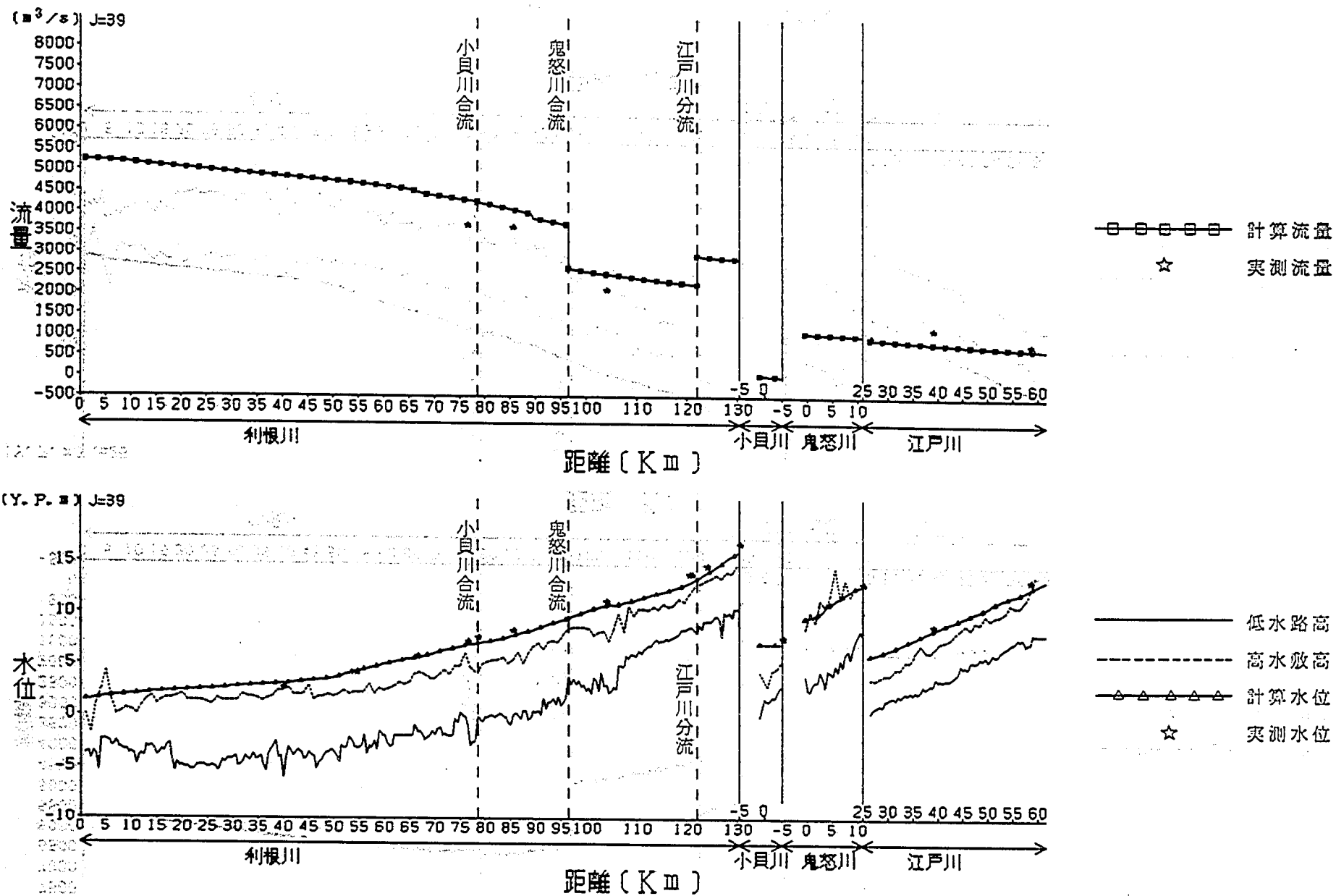


図 6 - 13 - 12 水位・流量縦断面図

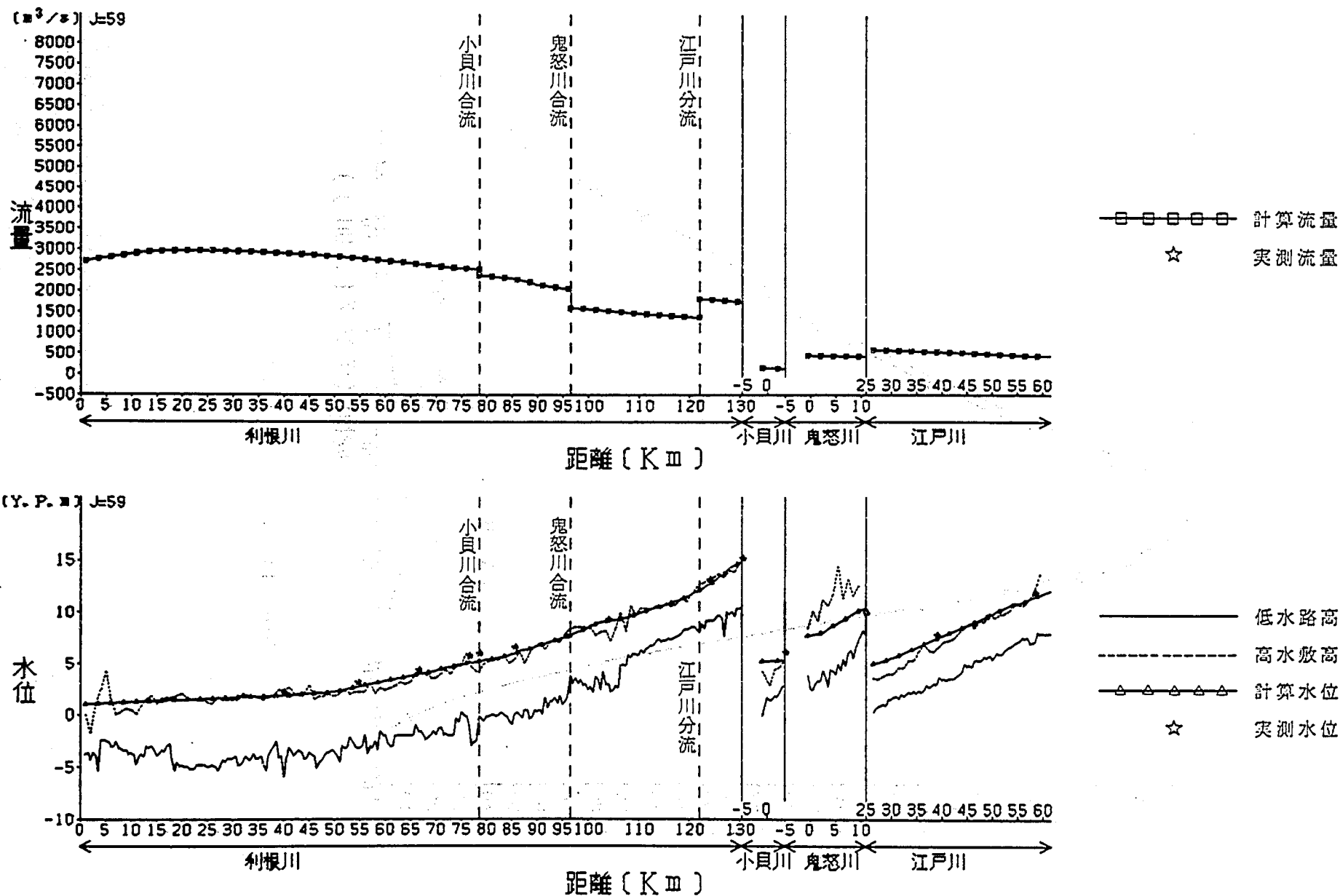


図 6 - 13 - 13 水位・流量縦断面図

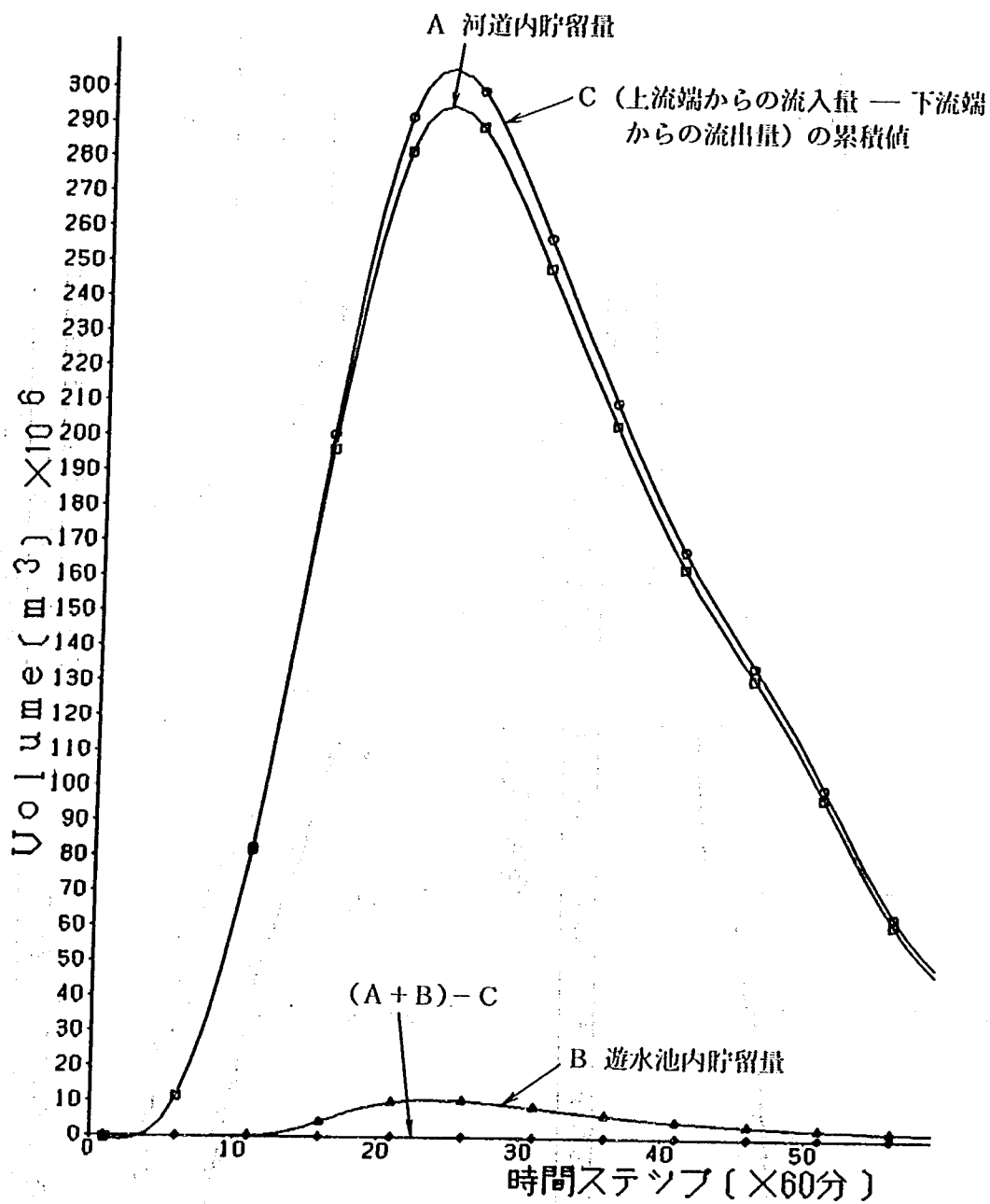


図6-14 ポリュームチェック

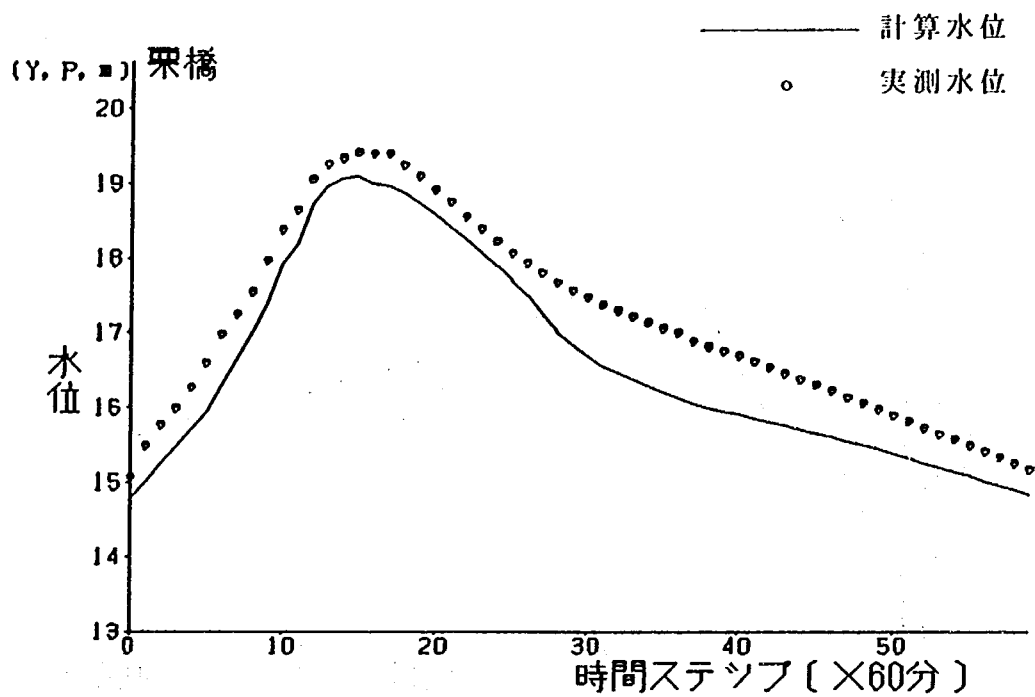


図 6 - 15 - 1 水位時間曲線

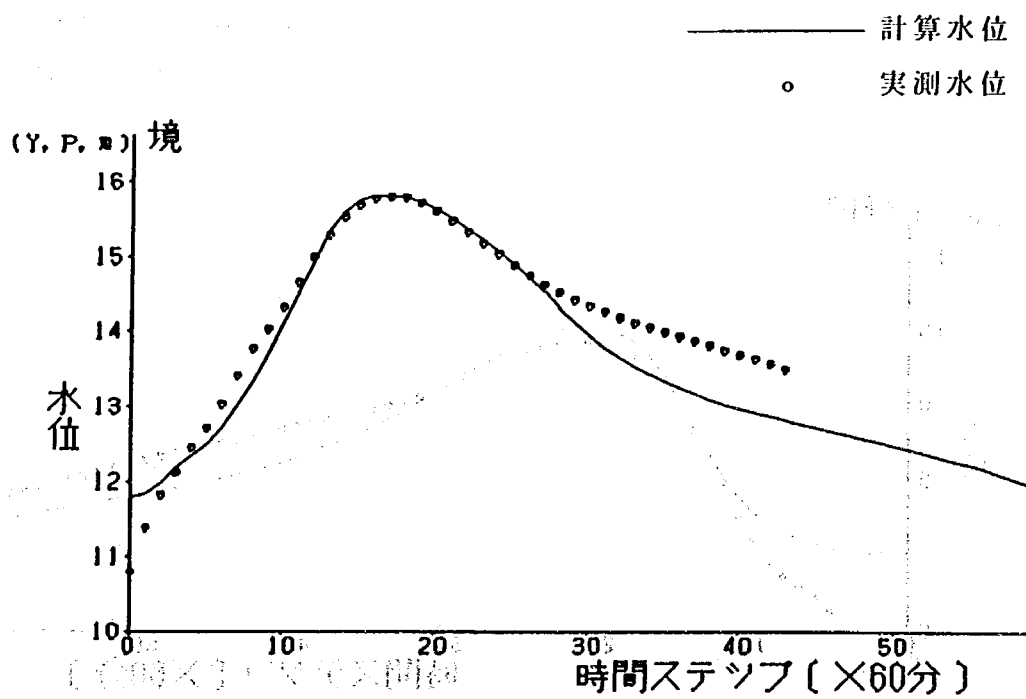


図 6 - 15 - 2 水位時間曲線

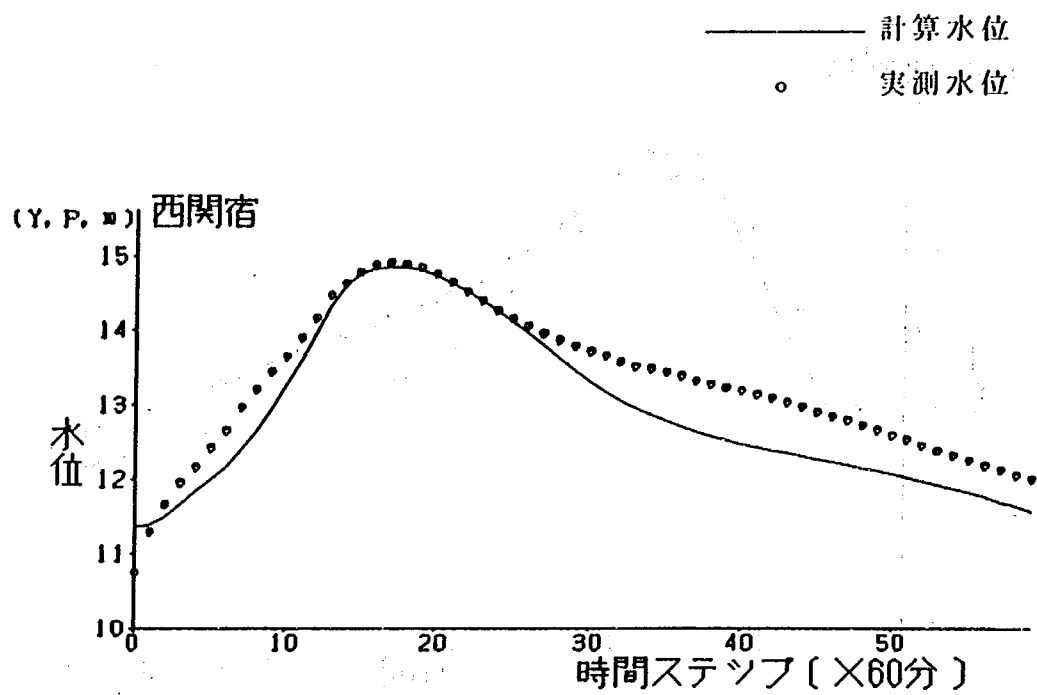


図 6 - 15 - 3 水位時間曲線

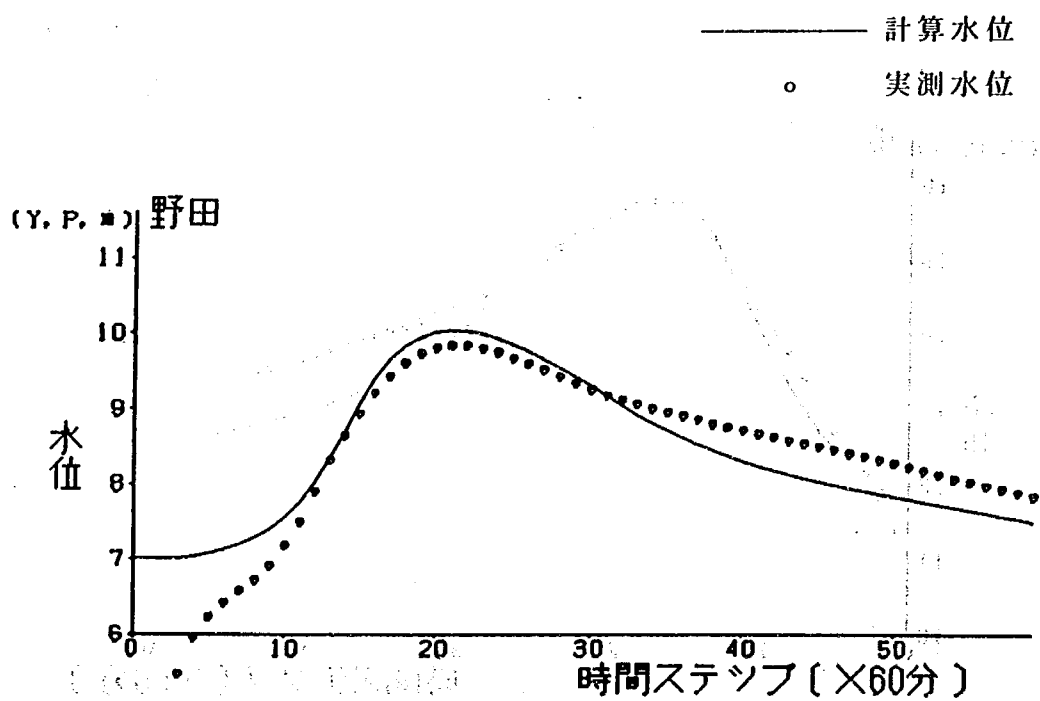


図 6 - 15 - 4 水位時間曲線

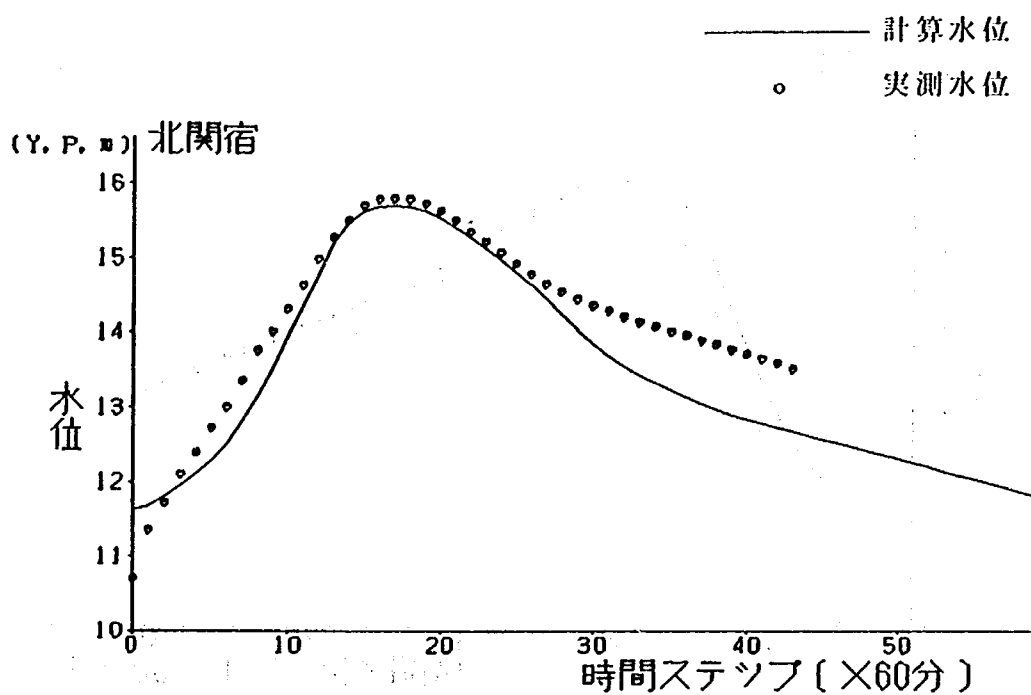


図6-15-5 水位時間曲線

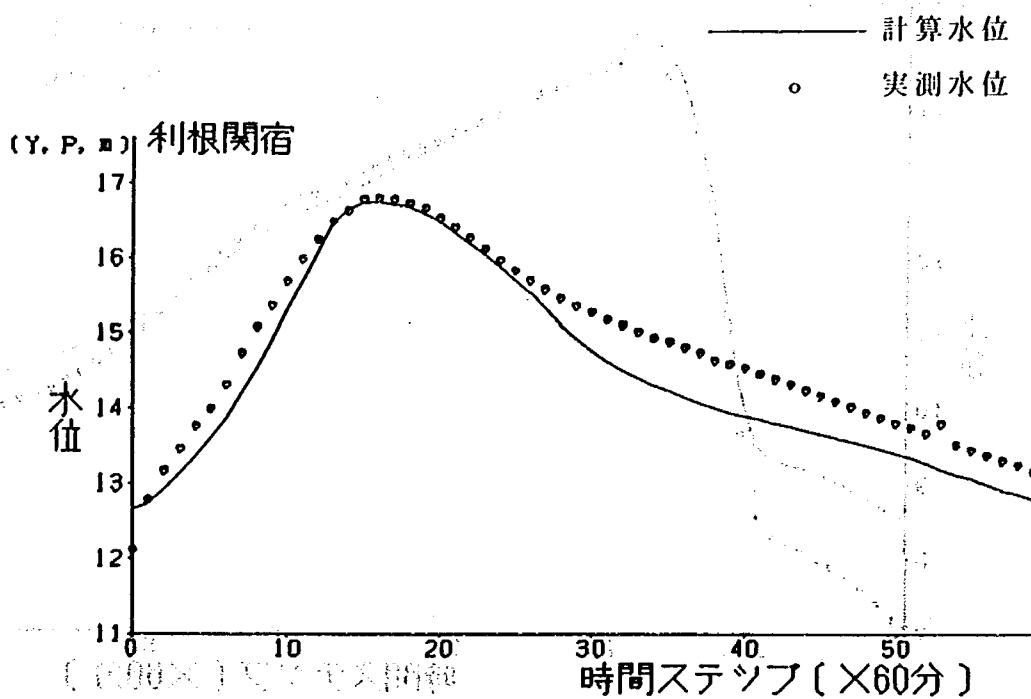


図6-15-6 水位時間曲線

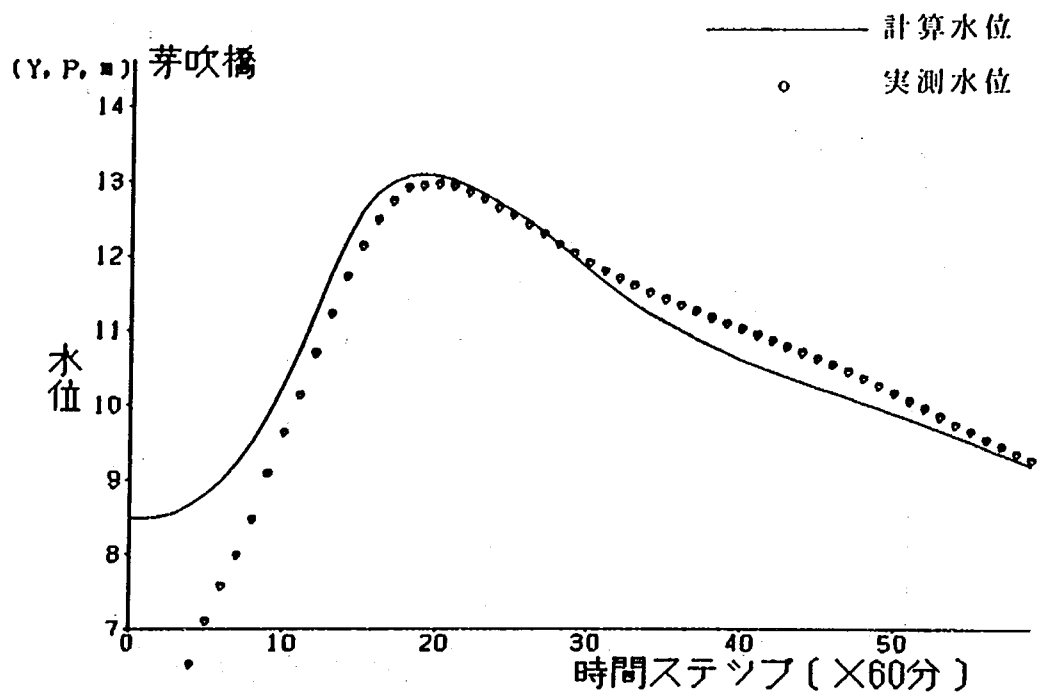


図6-15-7 水位時間曲線

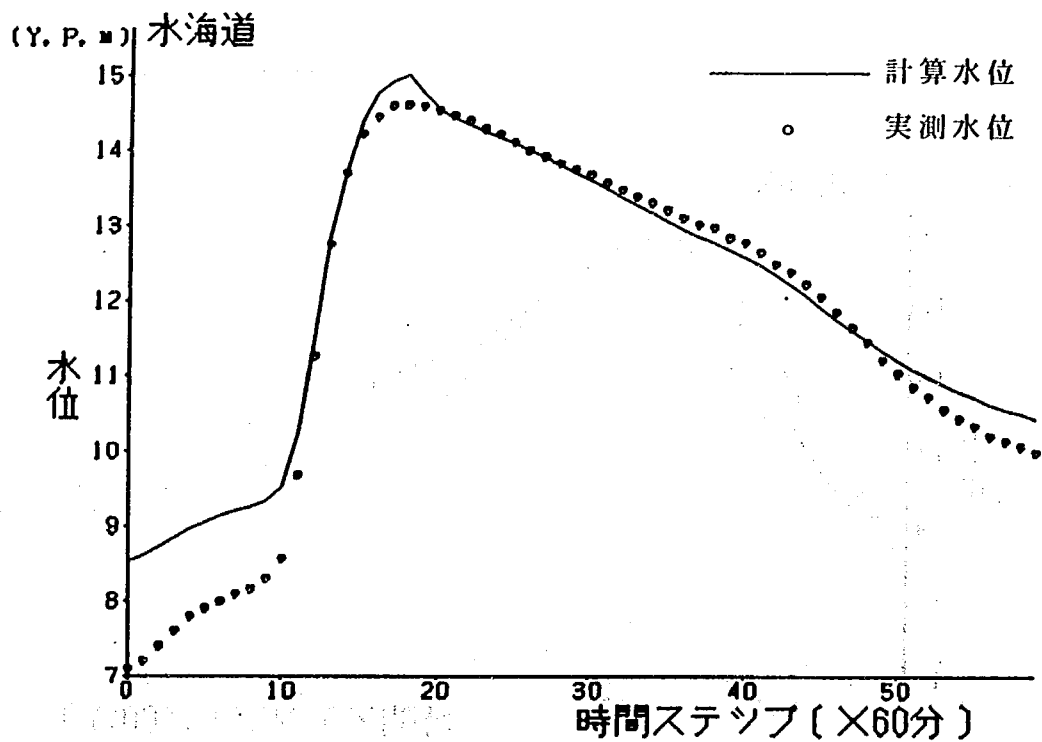


図6-15-8 水位時間曲線

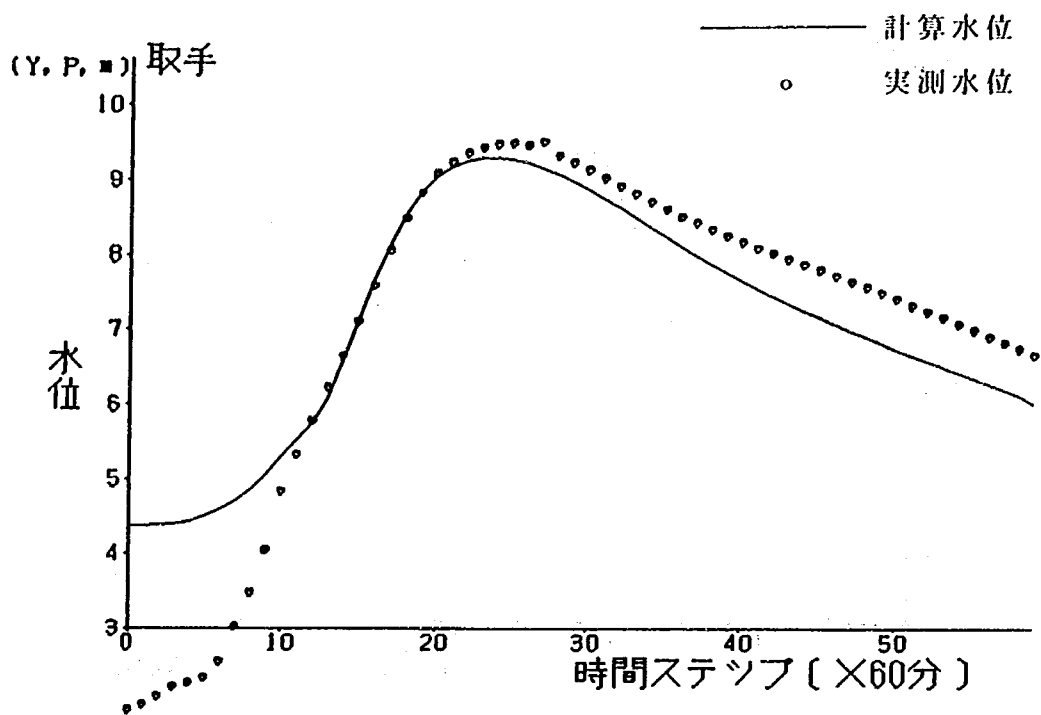


図 6 - 15 - 9 水位時間曲線

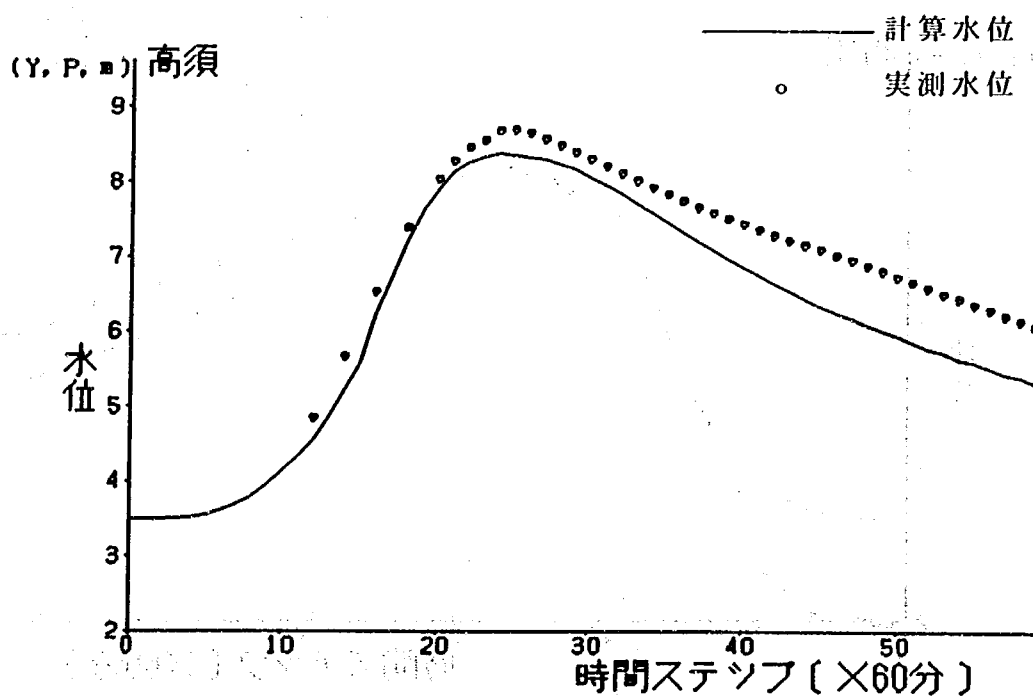


図 6 - 15 - 10 水位時間曲線

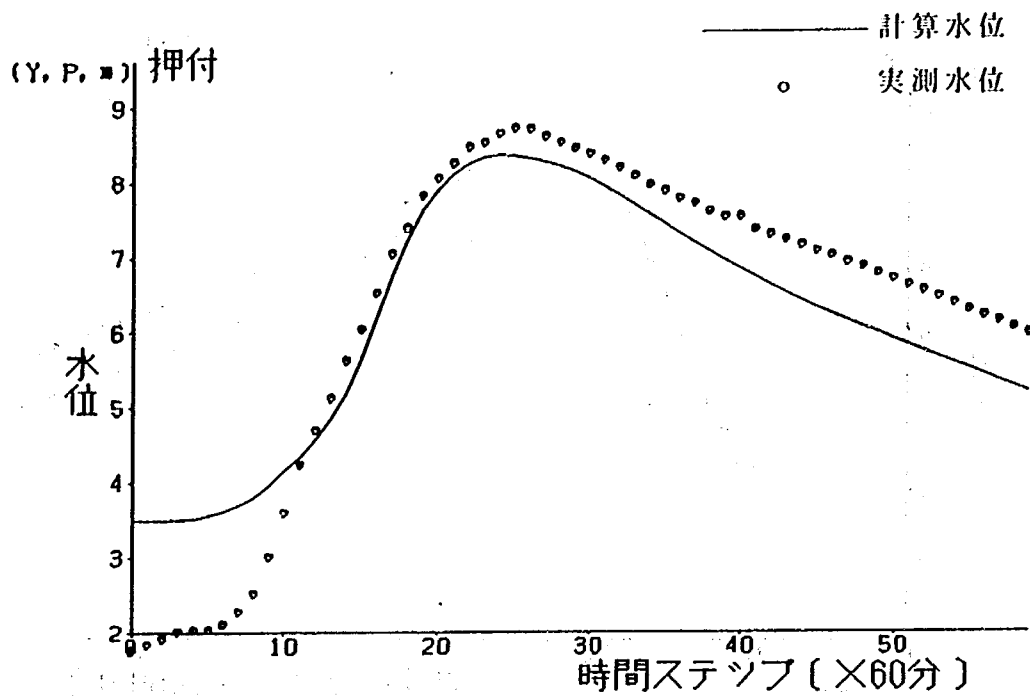


図 6 - 15 - 11 水位時間曲線

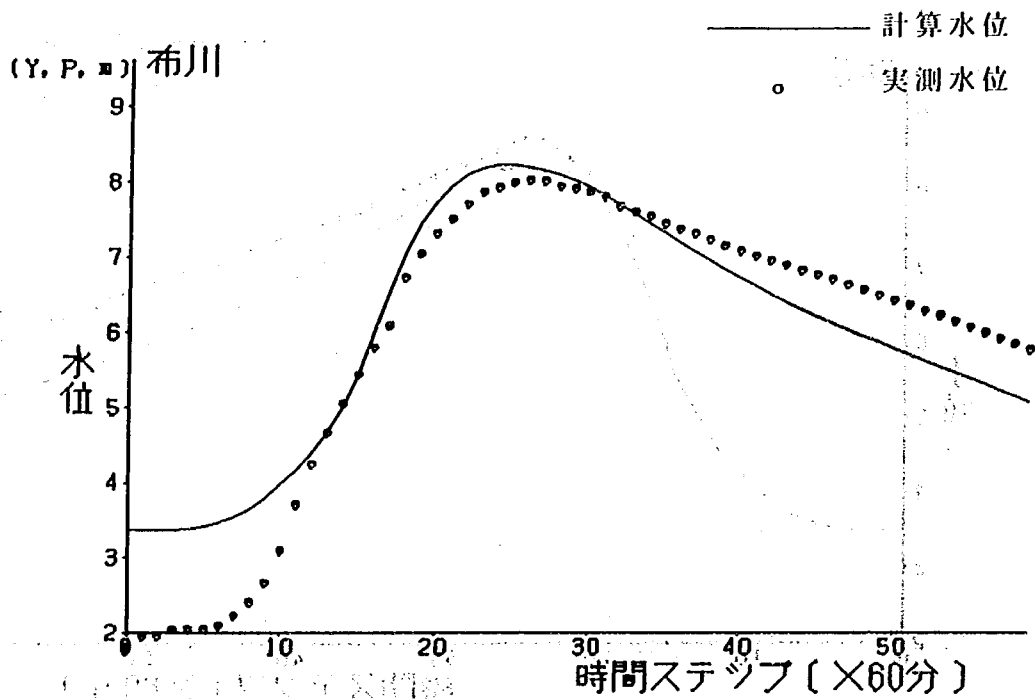


図 6 - 15 - 12 水位時間曲線

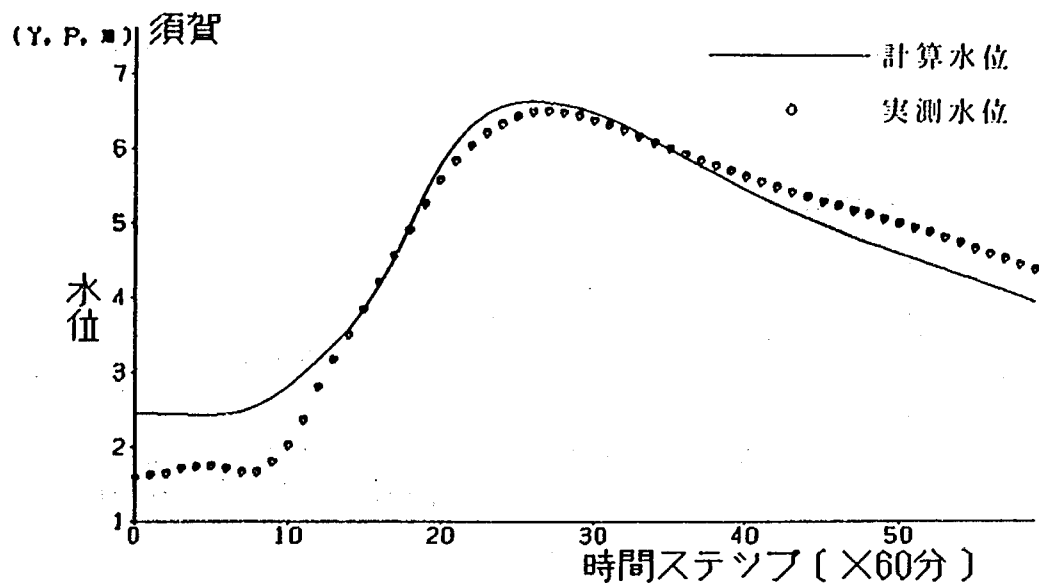


図6-15-13 水位時間曲線

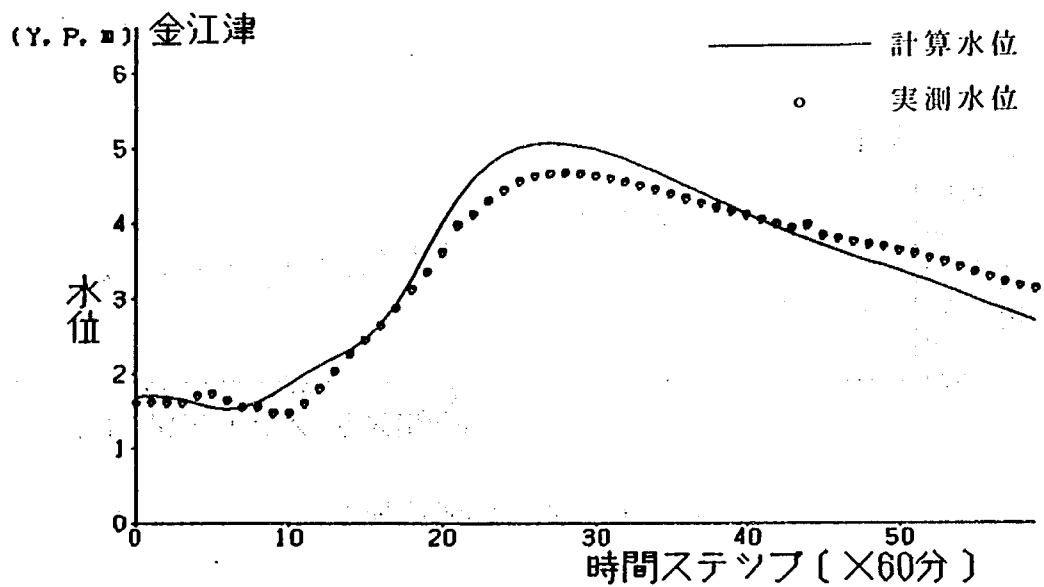


図6-15-14 水位時間曲線

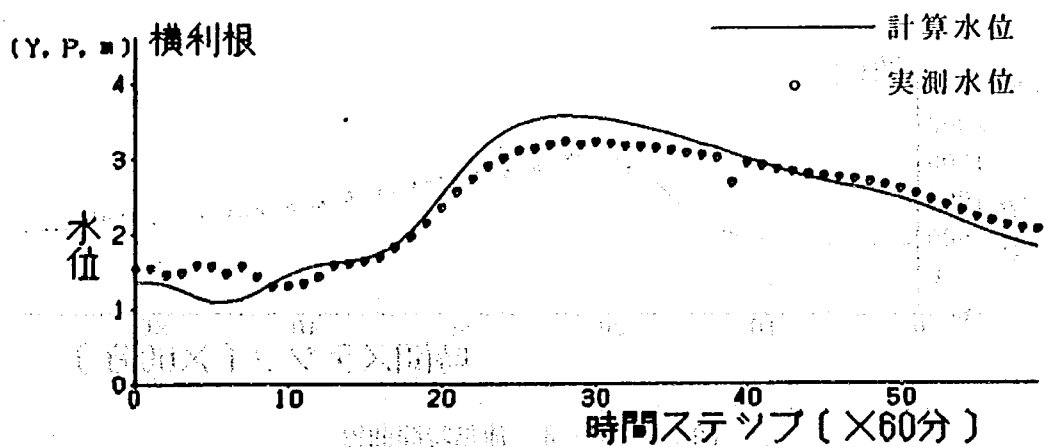


図6-15-15 水位時間曲線

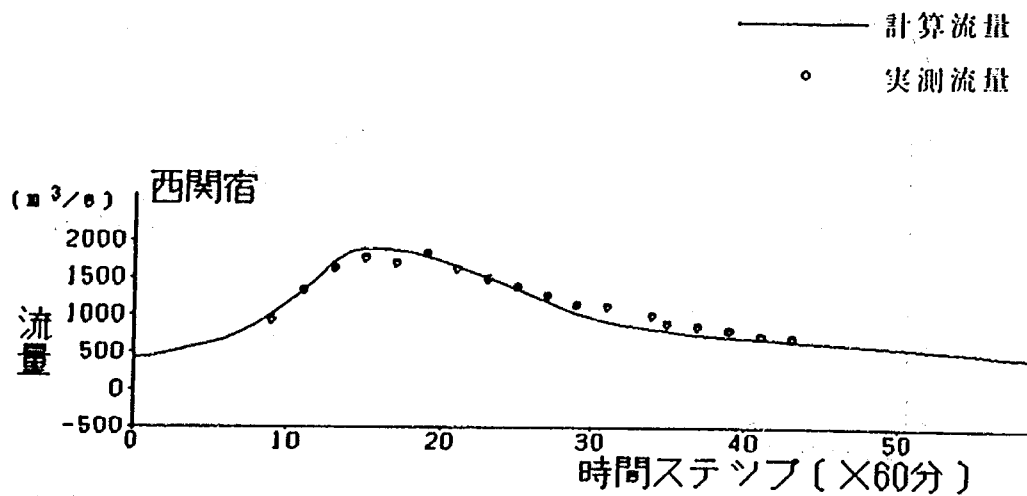


図 6 - 16 - 1 流量時間曲線

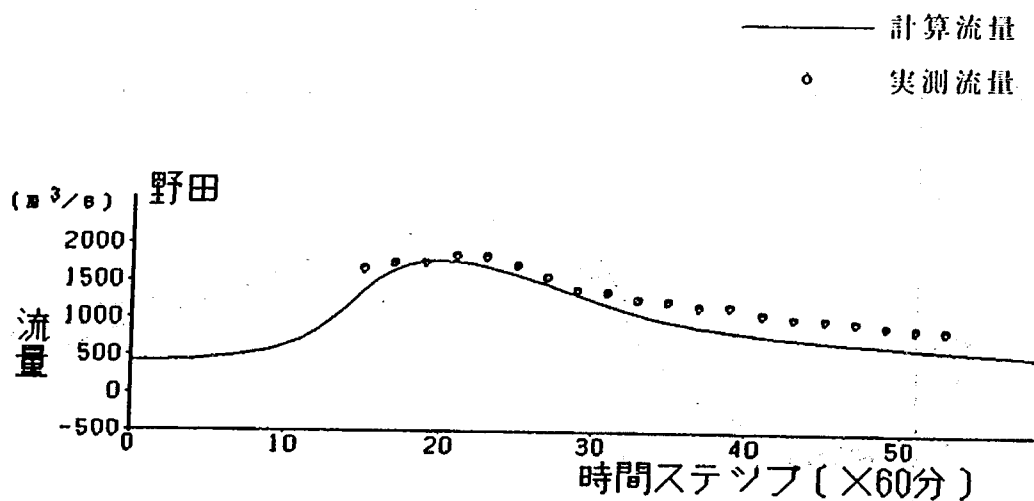


図 6 - 16 - 2 流量時間曲線

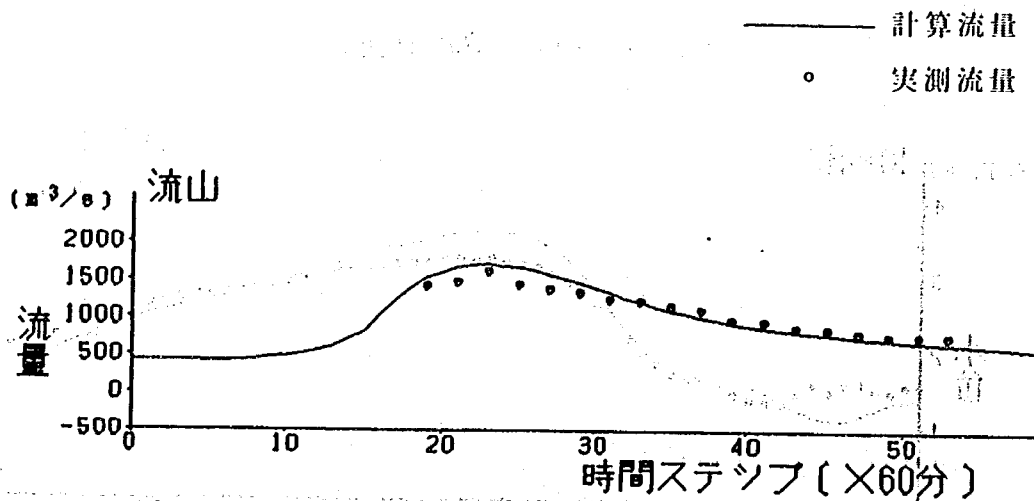


図 6 - 16 - 3 流量時間曲線

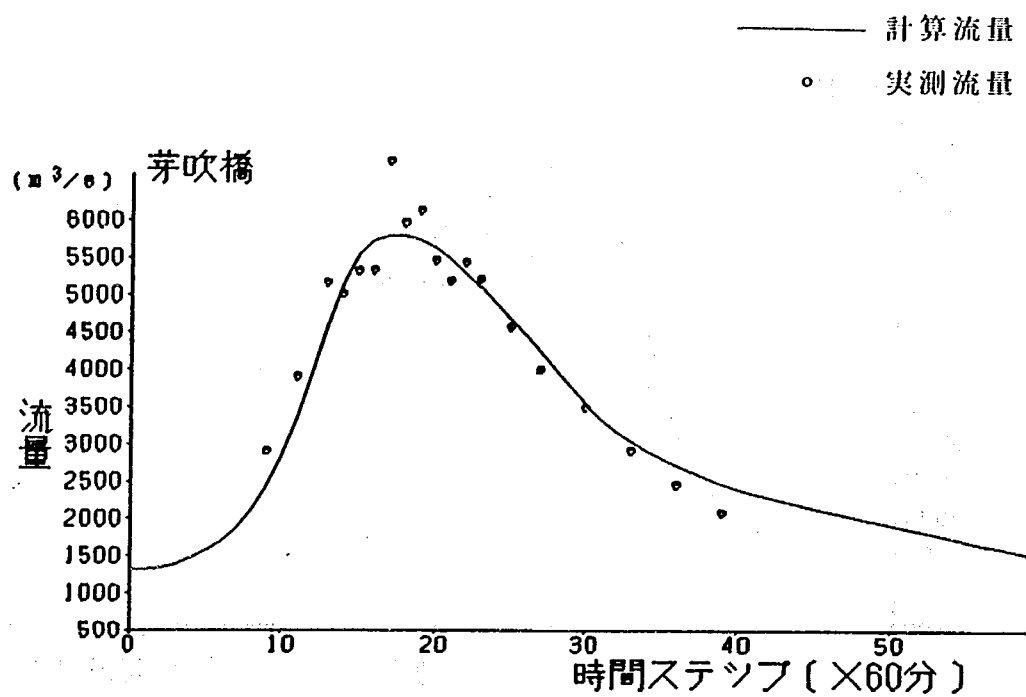


図 6 - 16 - 4 流量時間曲線

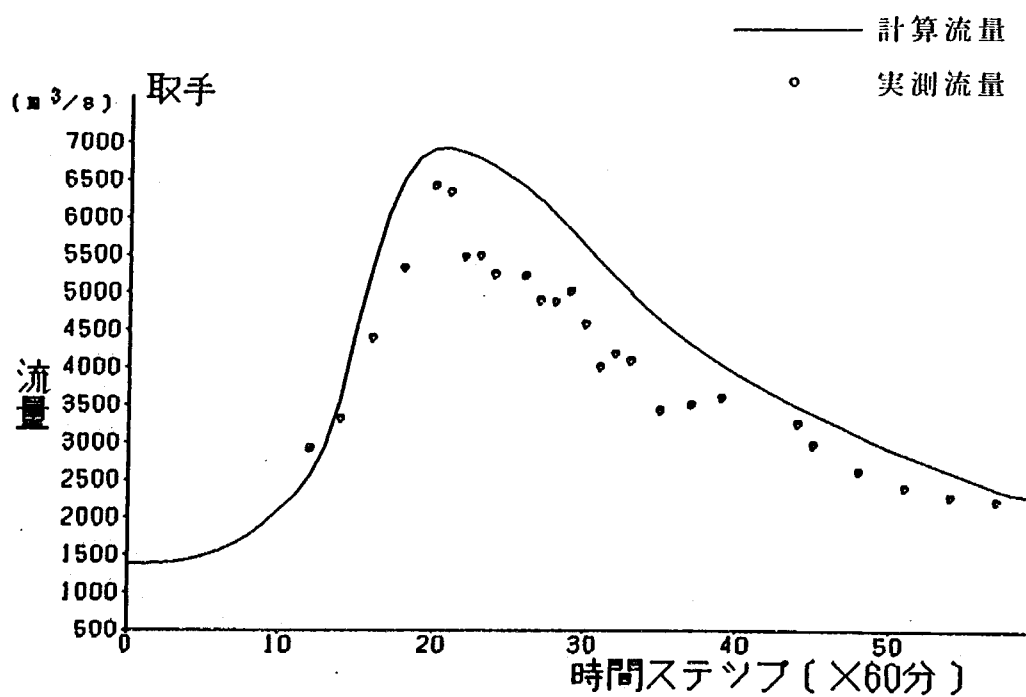


図 6 - 16 - 5 流量時間曲線

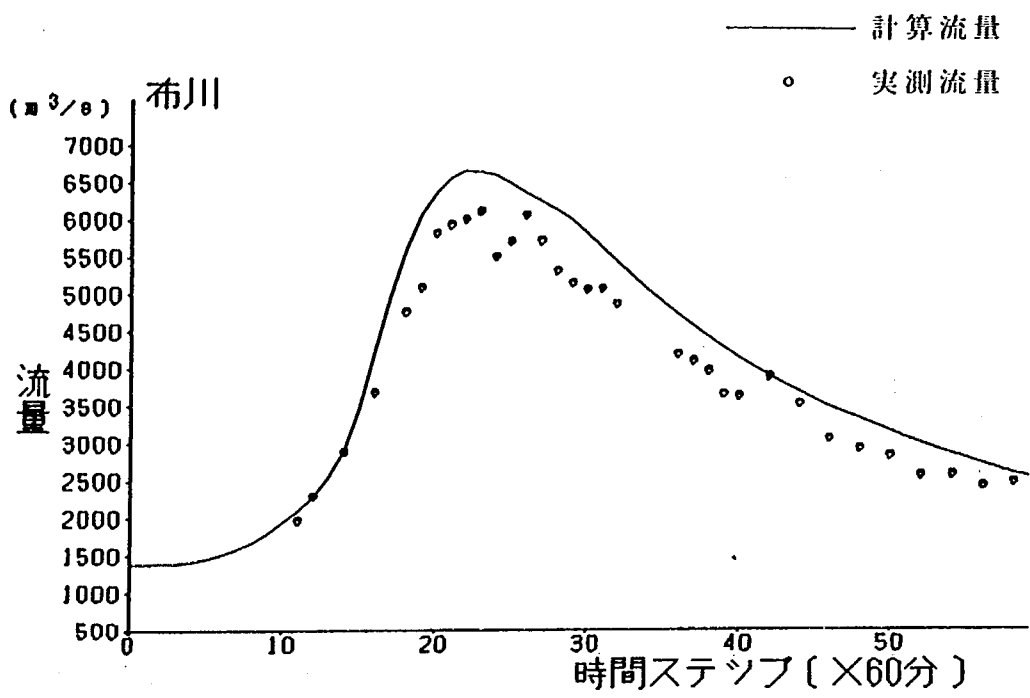


図 6 - 16 - 6 流量時間曲線

Case 4

(昭和57年 8 月洪水——粗度B)

1990

(B) (5) DPP, (B) (5) ACP, (B) (5) RMD

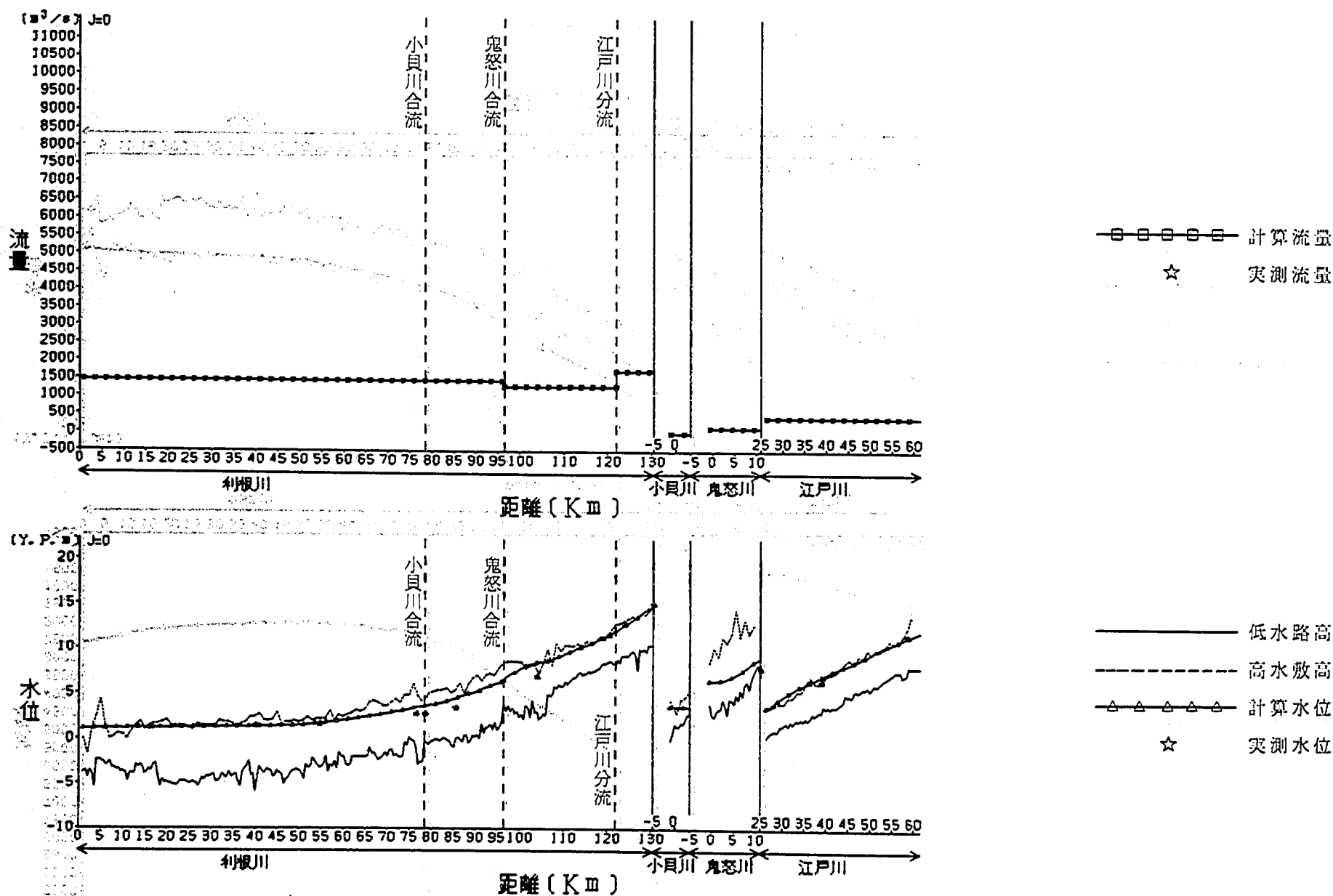


図 6 - 17 - 1 水位・流量縦断図 (不等流計算)

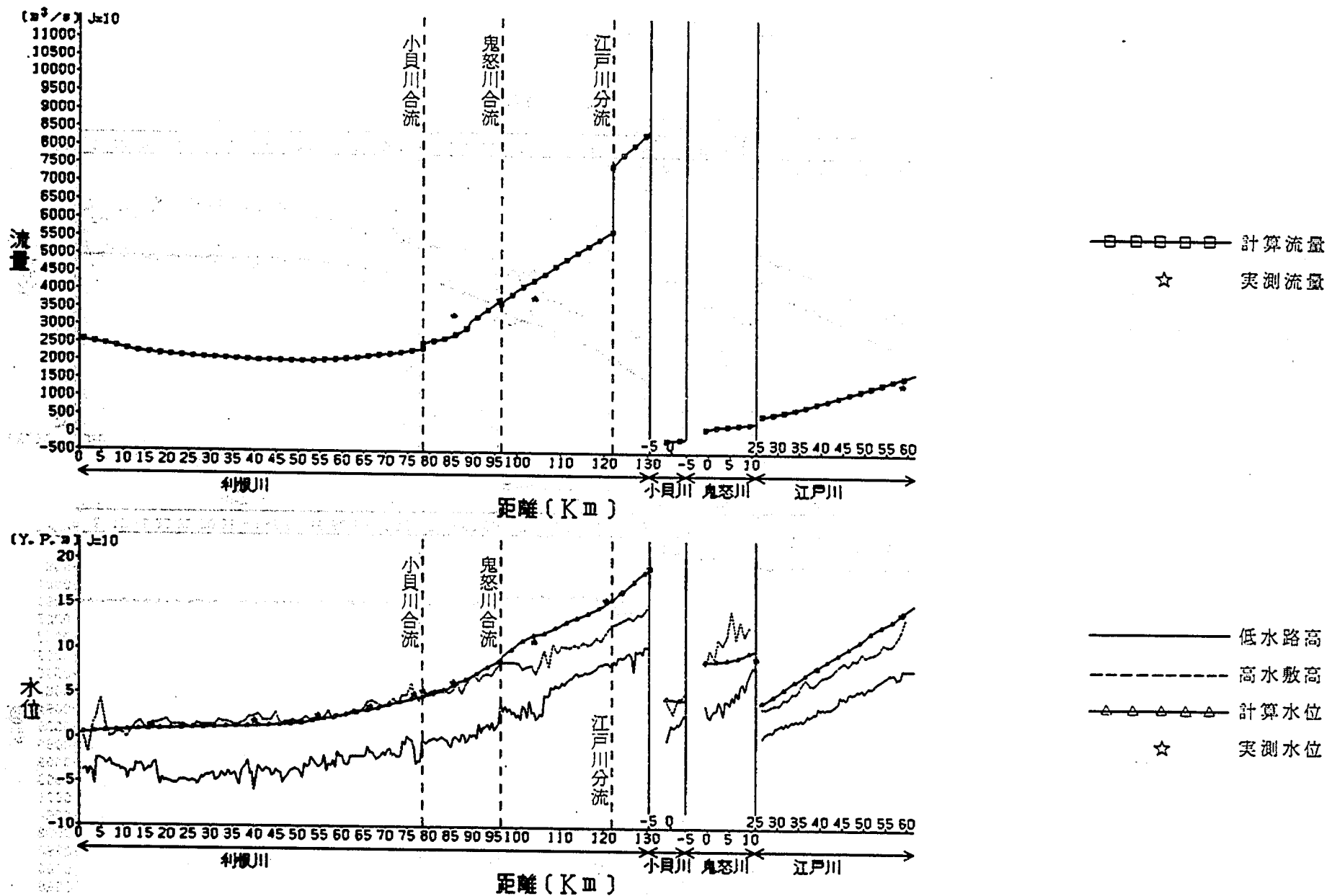


図 6-17-2 水位・流量縦断図

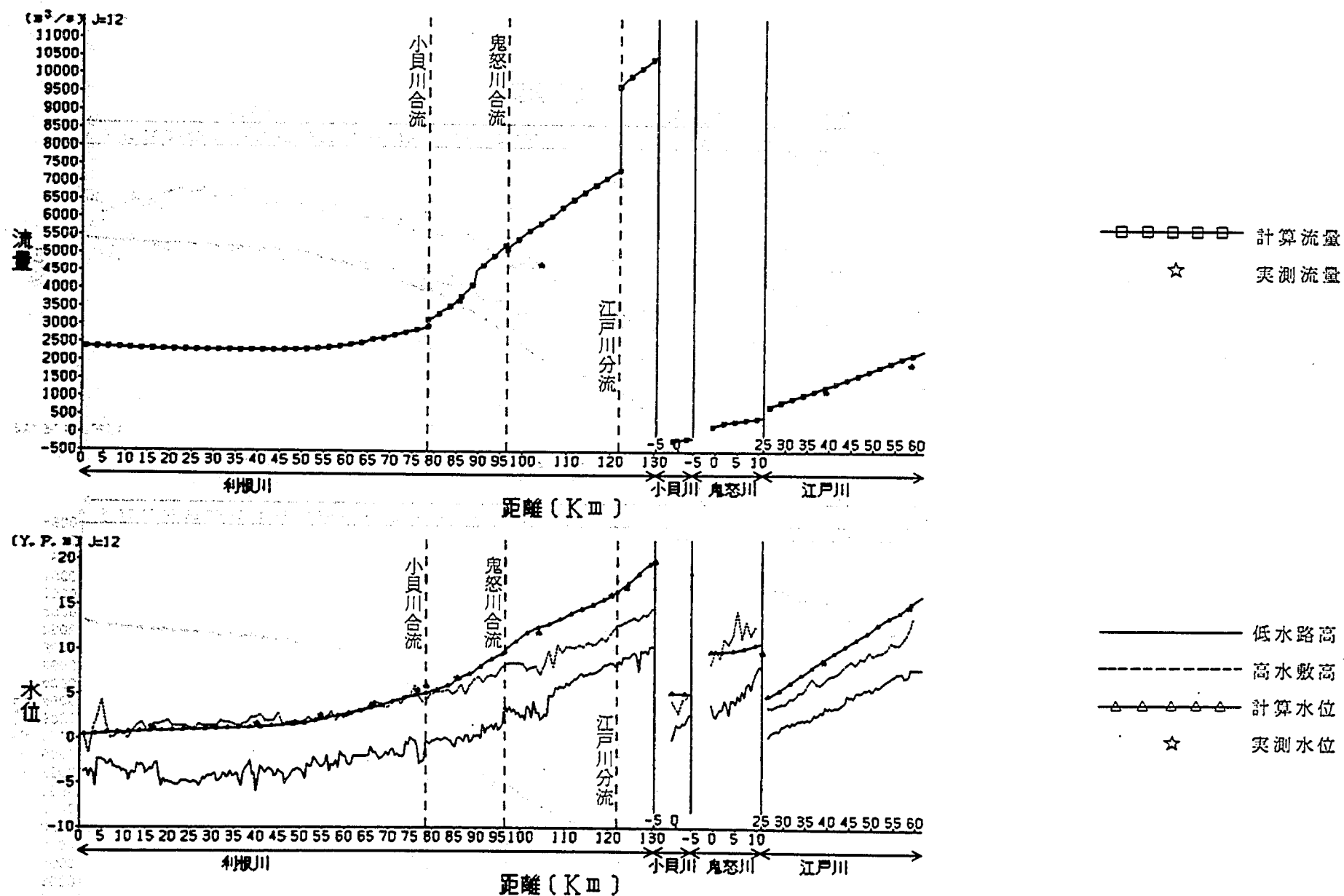


図 6 - 17 - 3 水位・流量縦断図

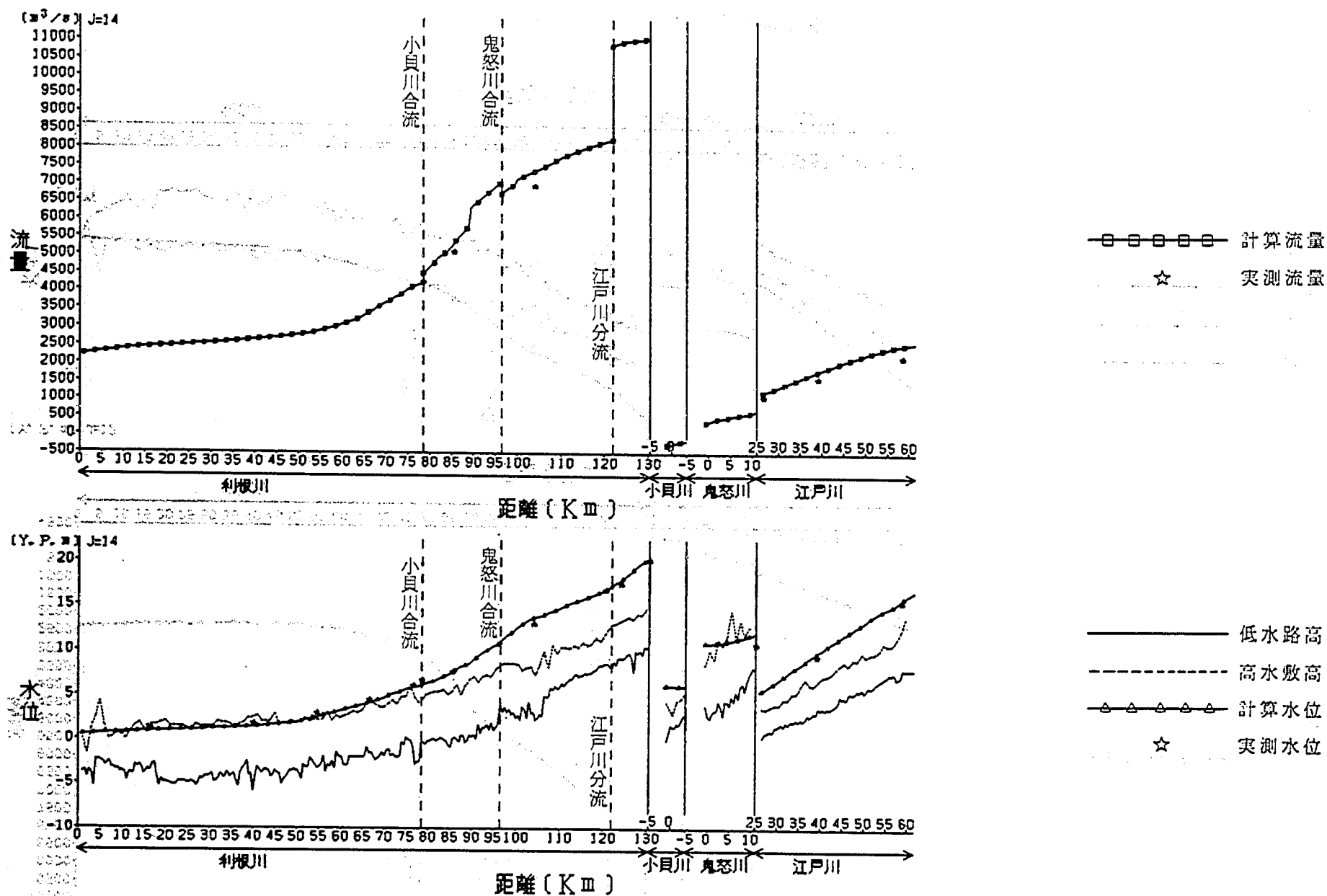


図 6-17-4 水位・流量縦断図

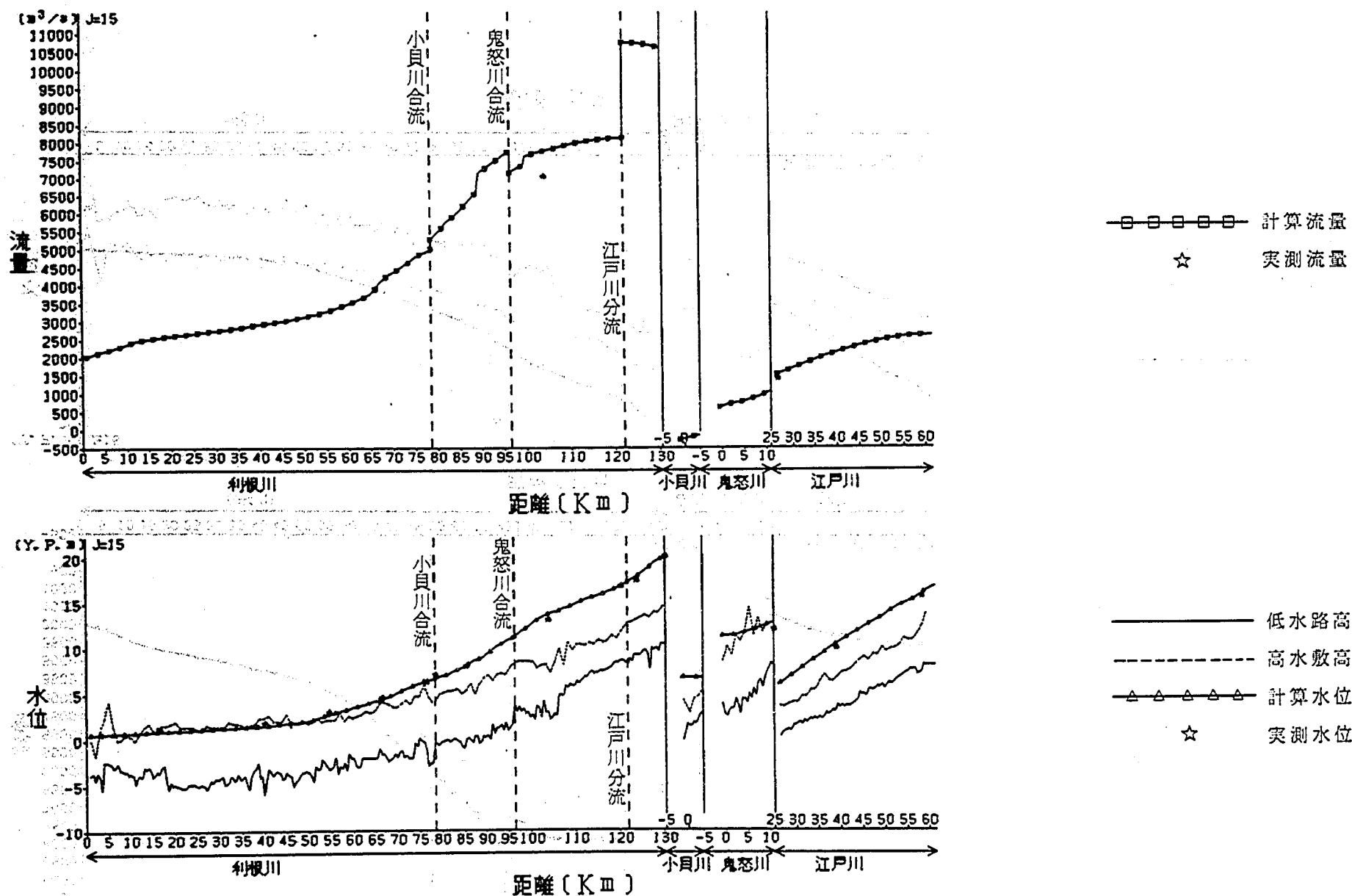


図 6 - 17 - 5 水位・流量縦断面図

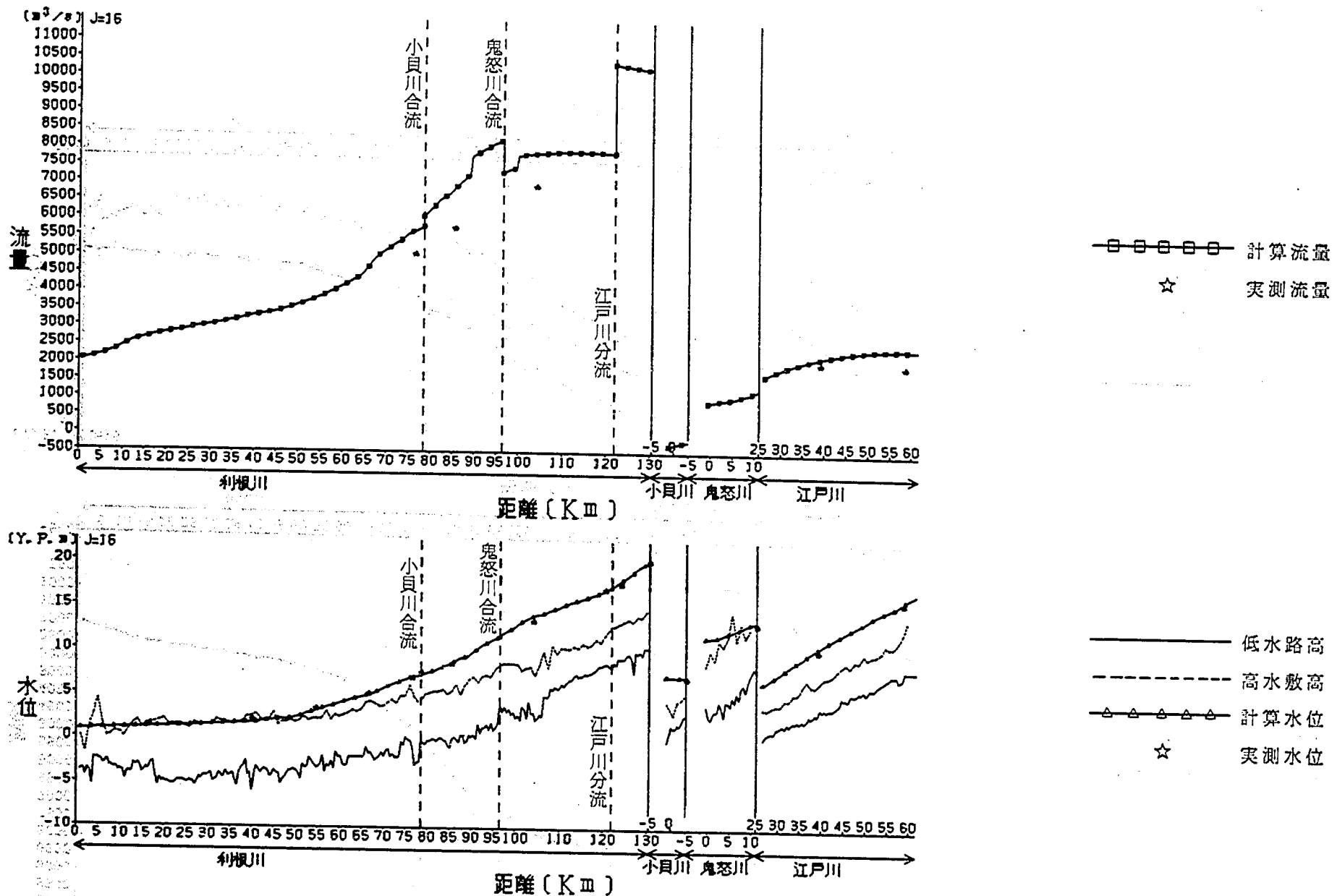


図 6 - 17 - 6 水位・流量縦断図

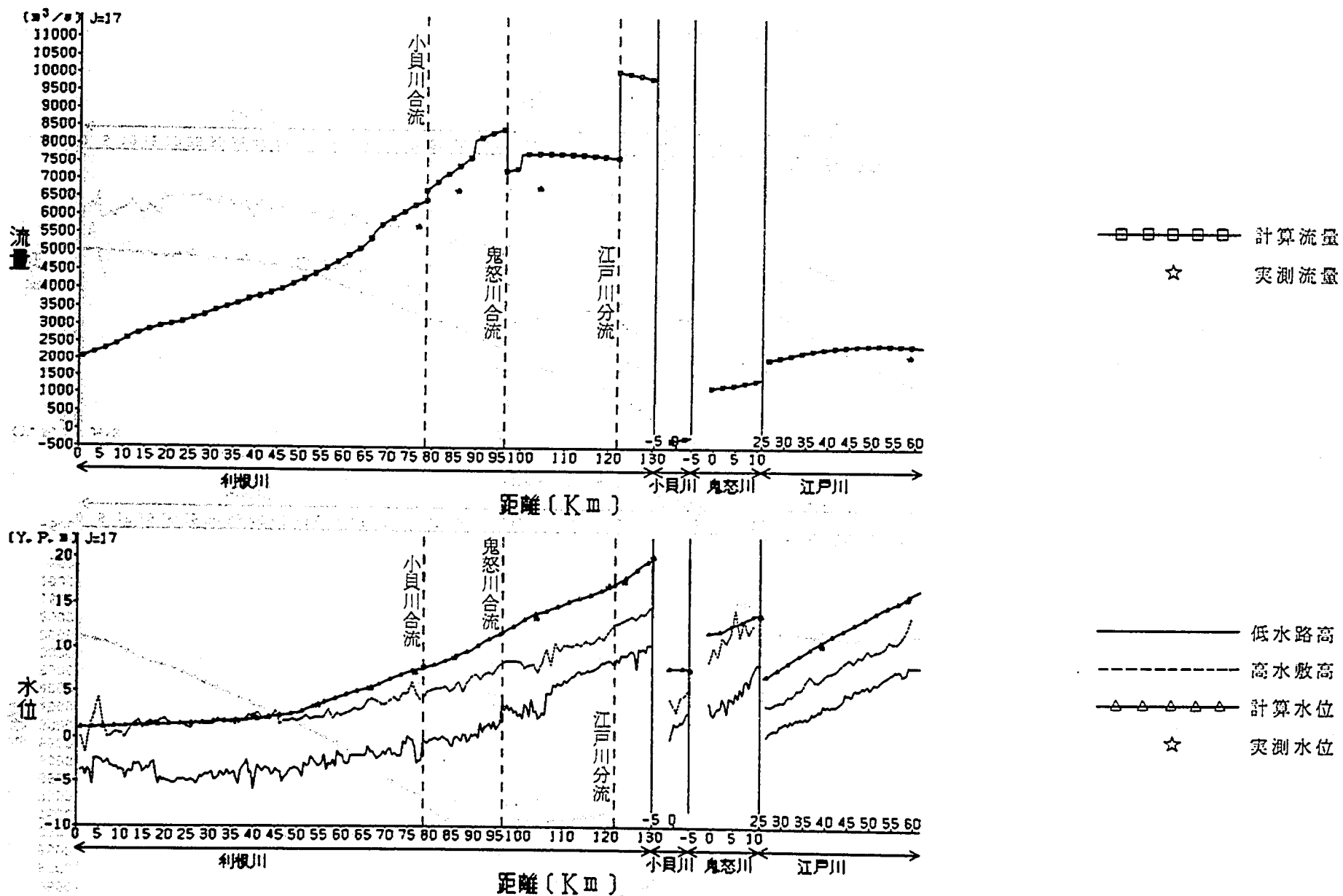


図 6 - 17 - 7 水位・流量縦断図

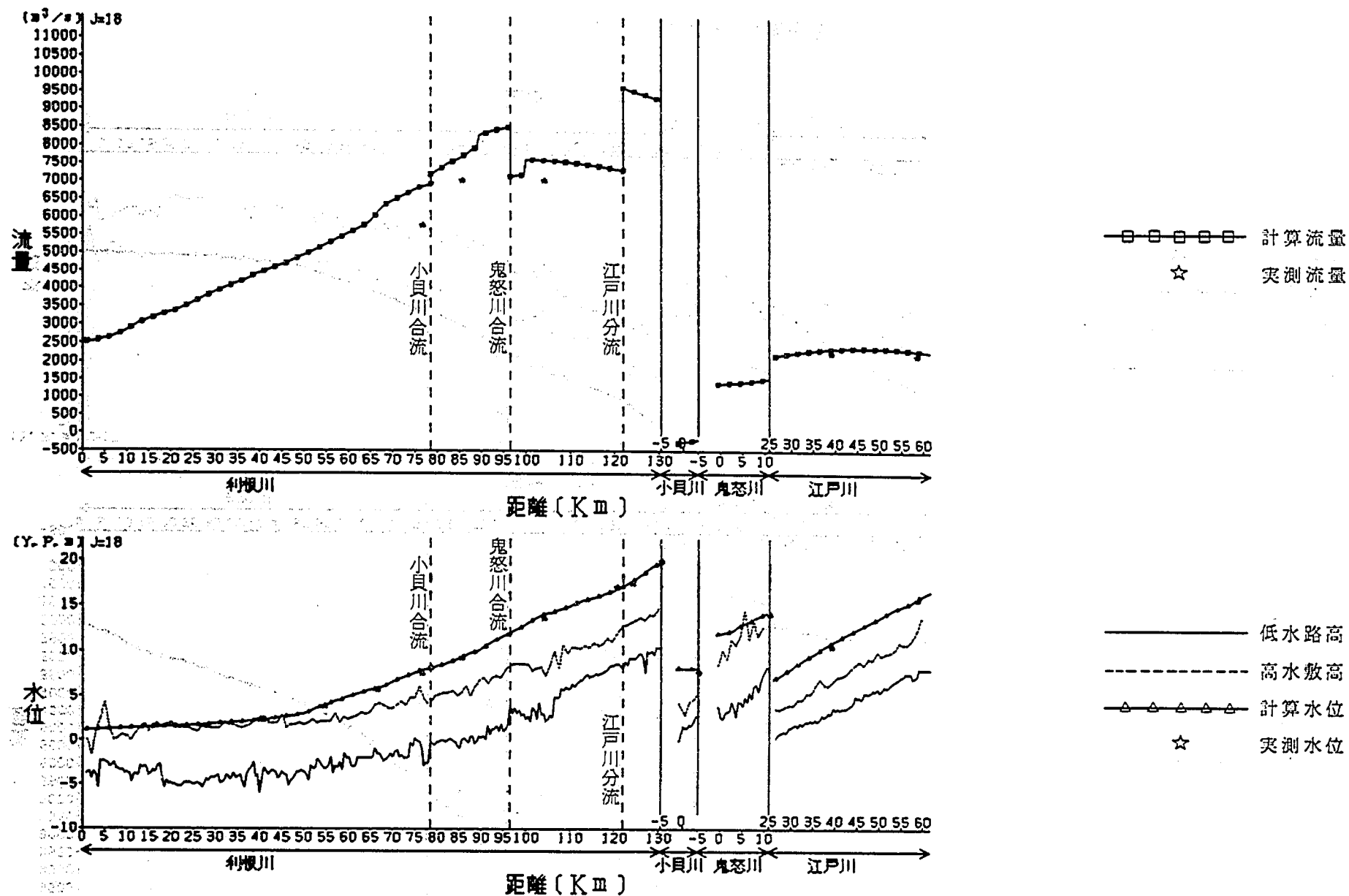


図6-17-8 水位・流量縦断面図

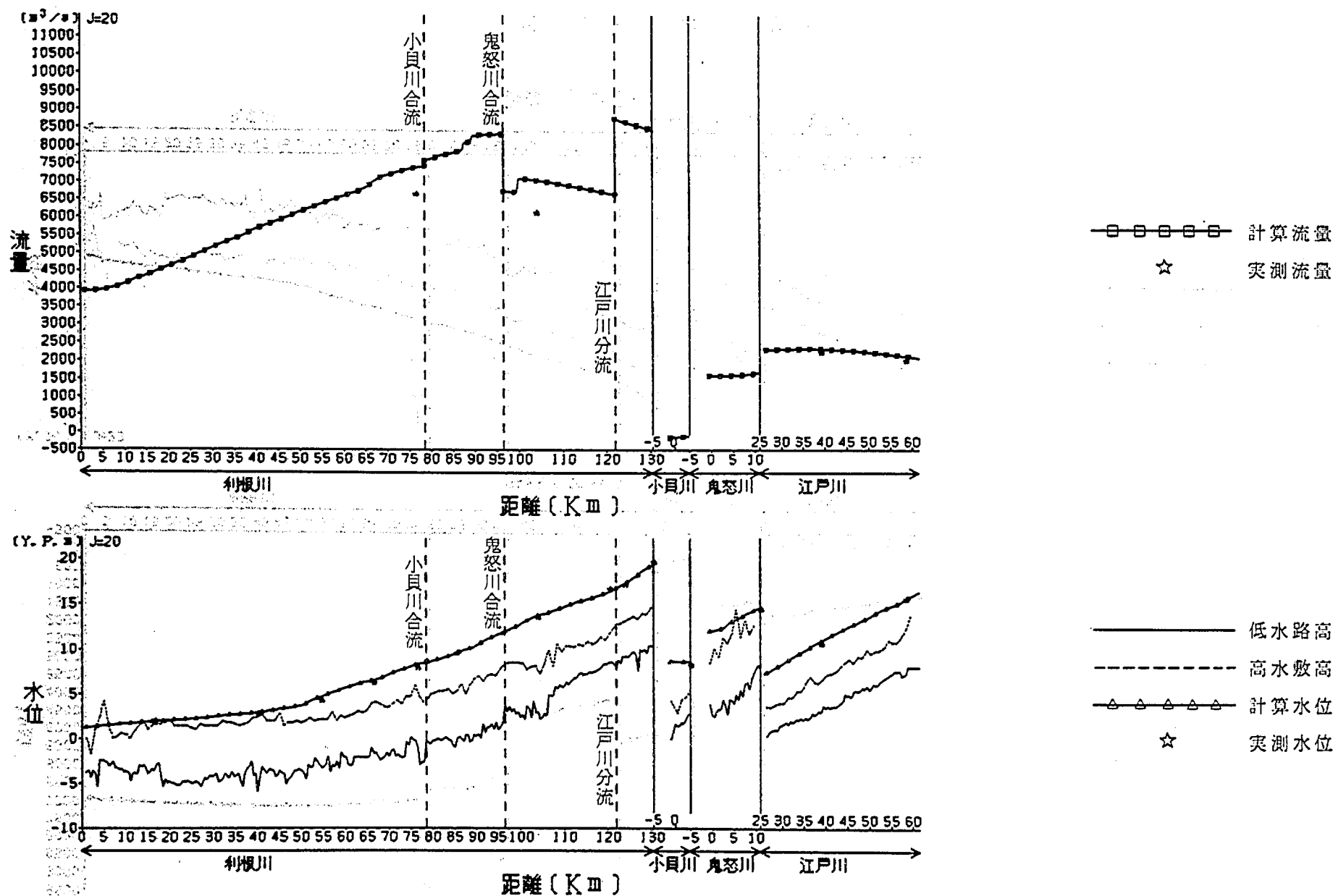


図 6-17-9 水位・流量縦断図

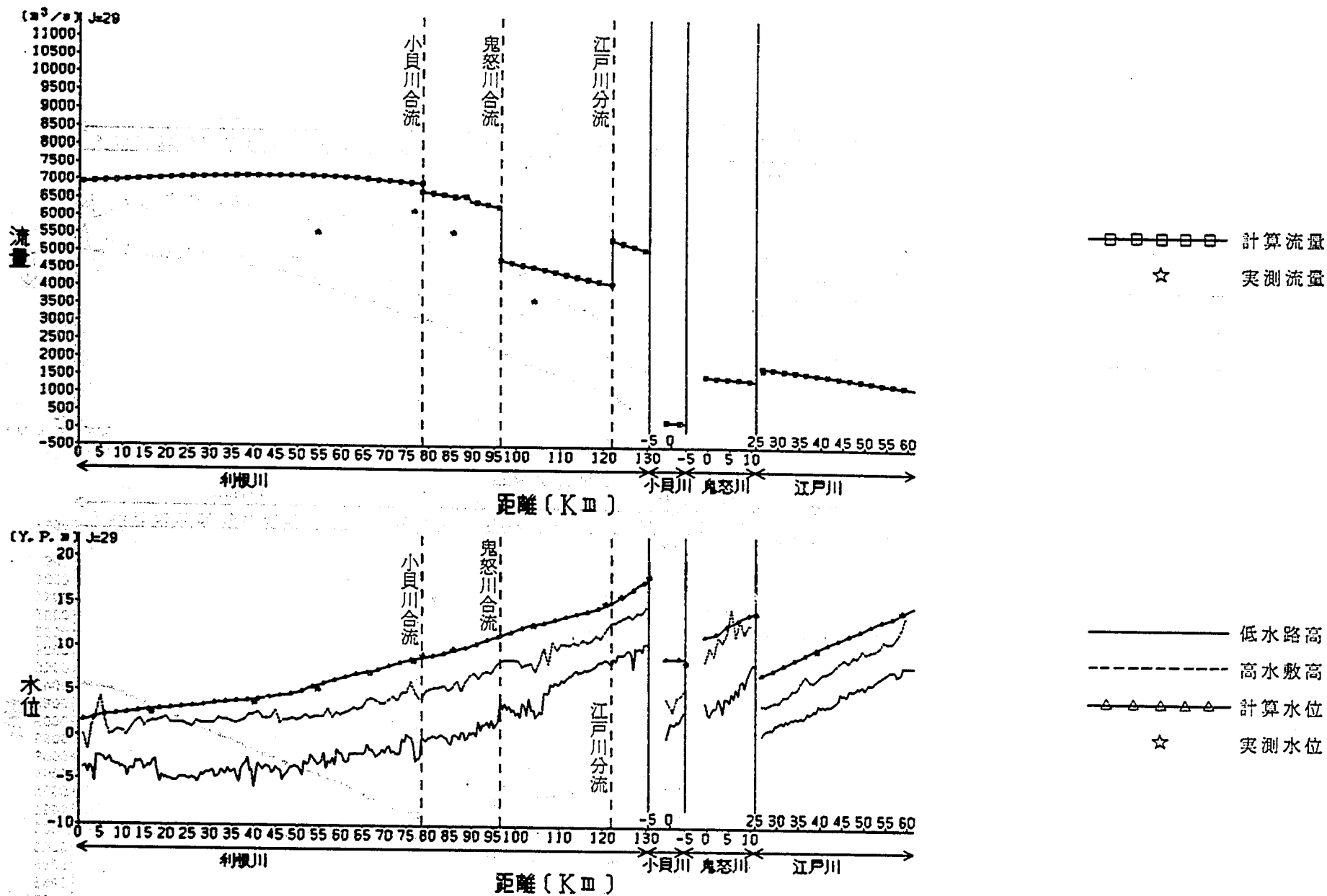


図 6 - 17 - 10 水位・流量縦断図

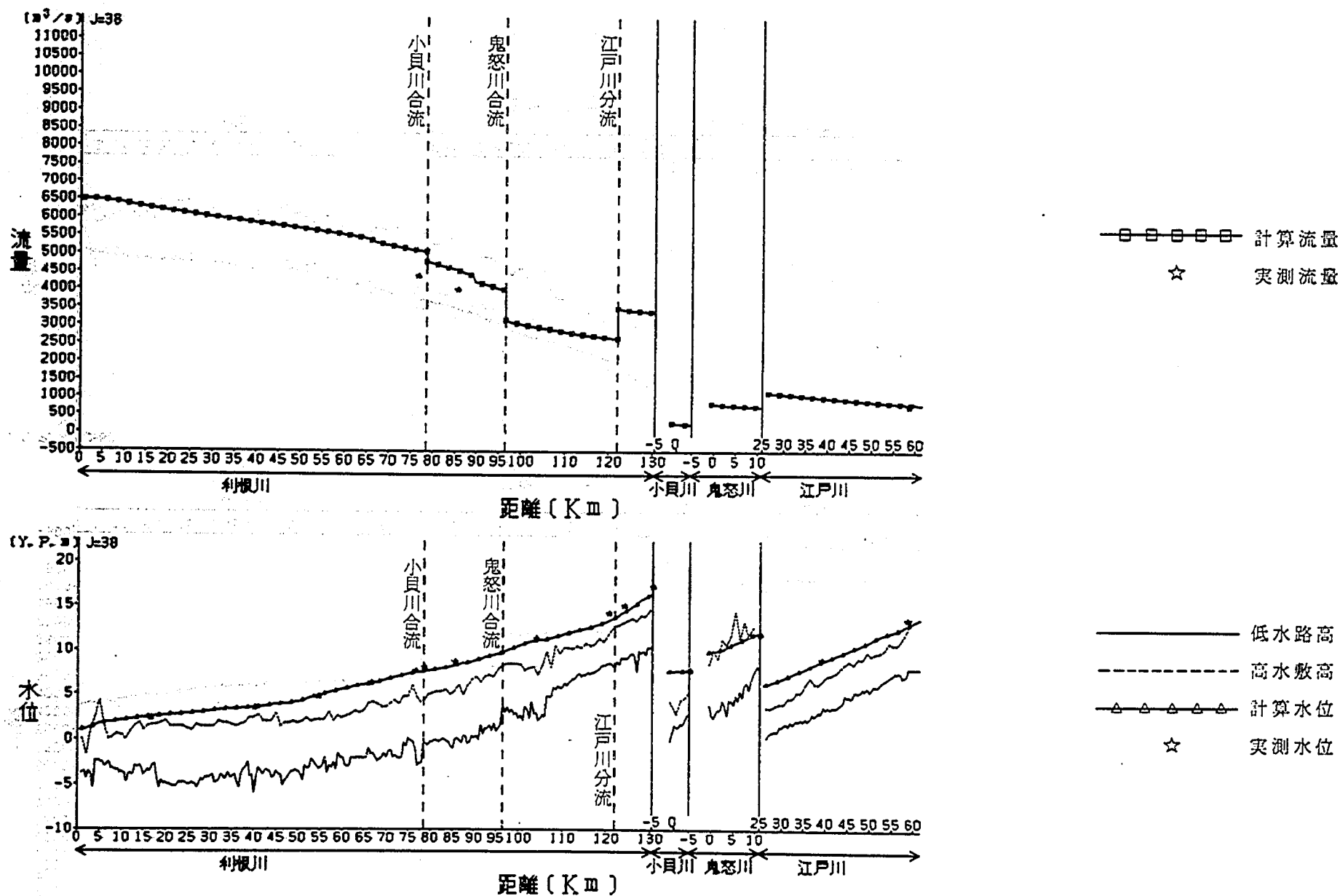


図 6 - 17 - 11 水位・流量縦断面図

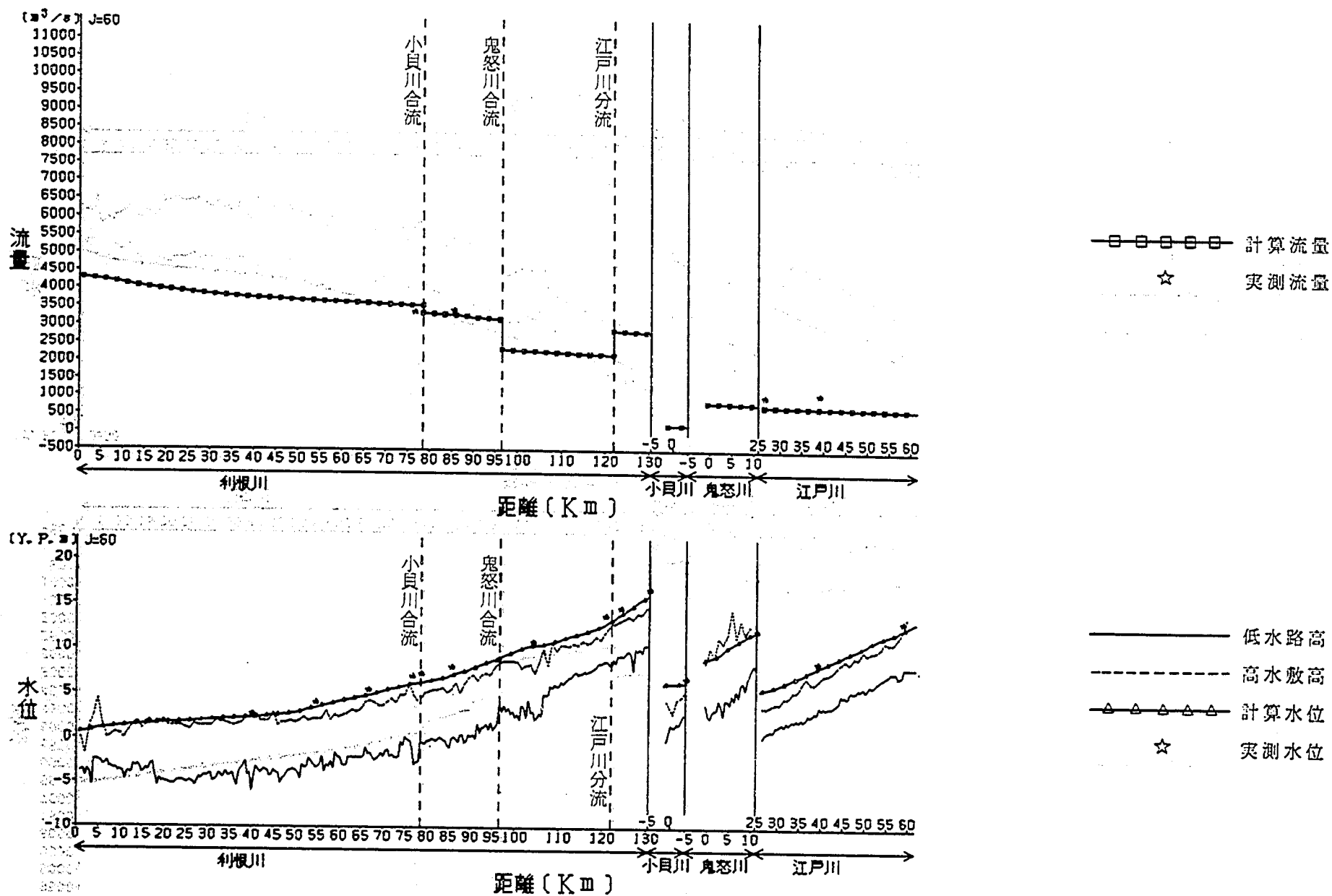


図6-17-12 水位・流量縦断図

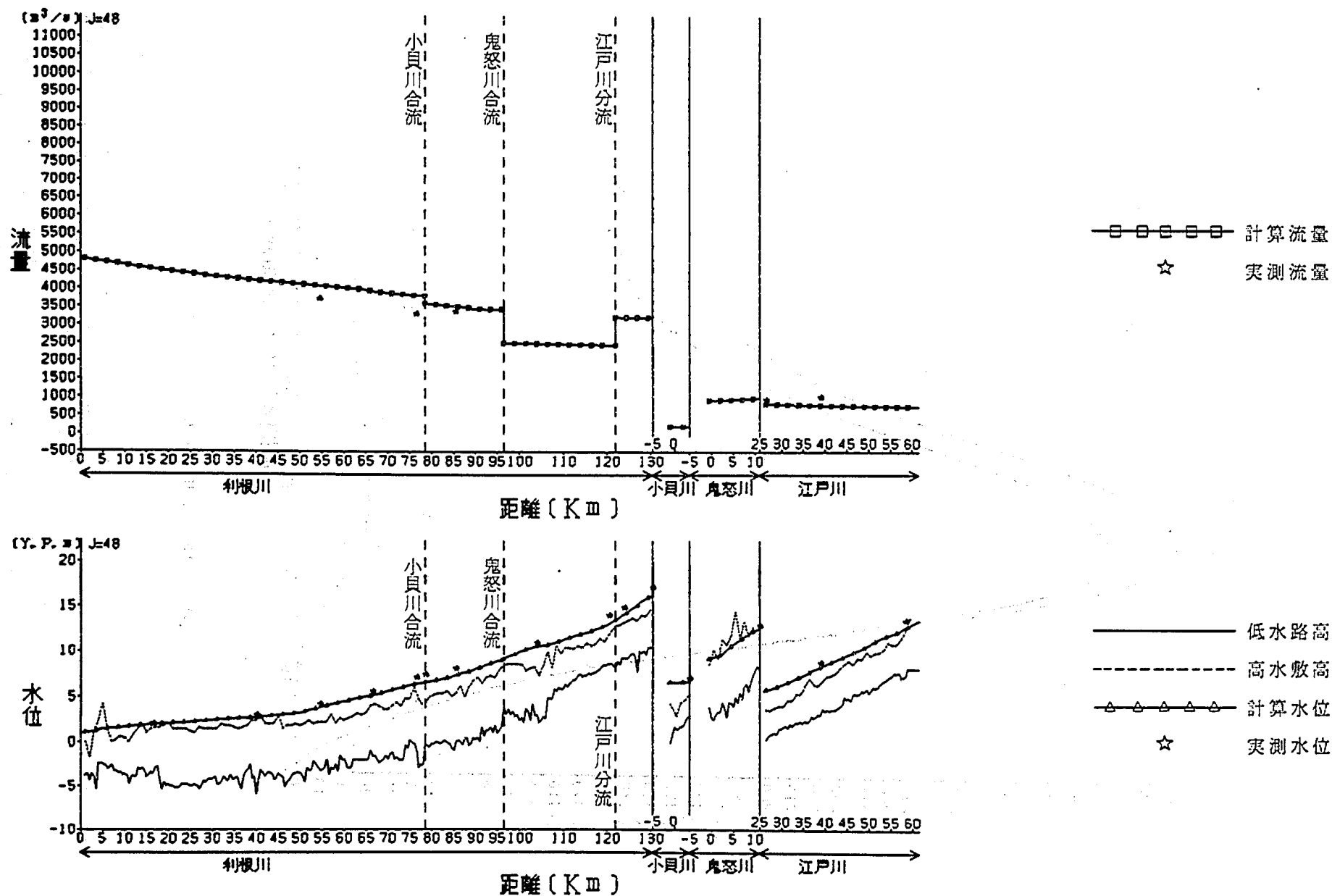


図 6-17-13 水位・流量縦断図

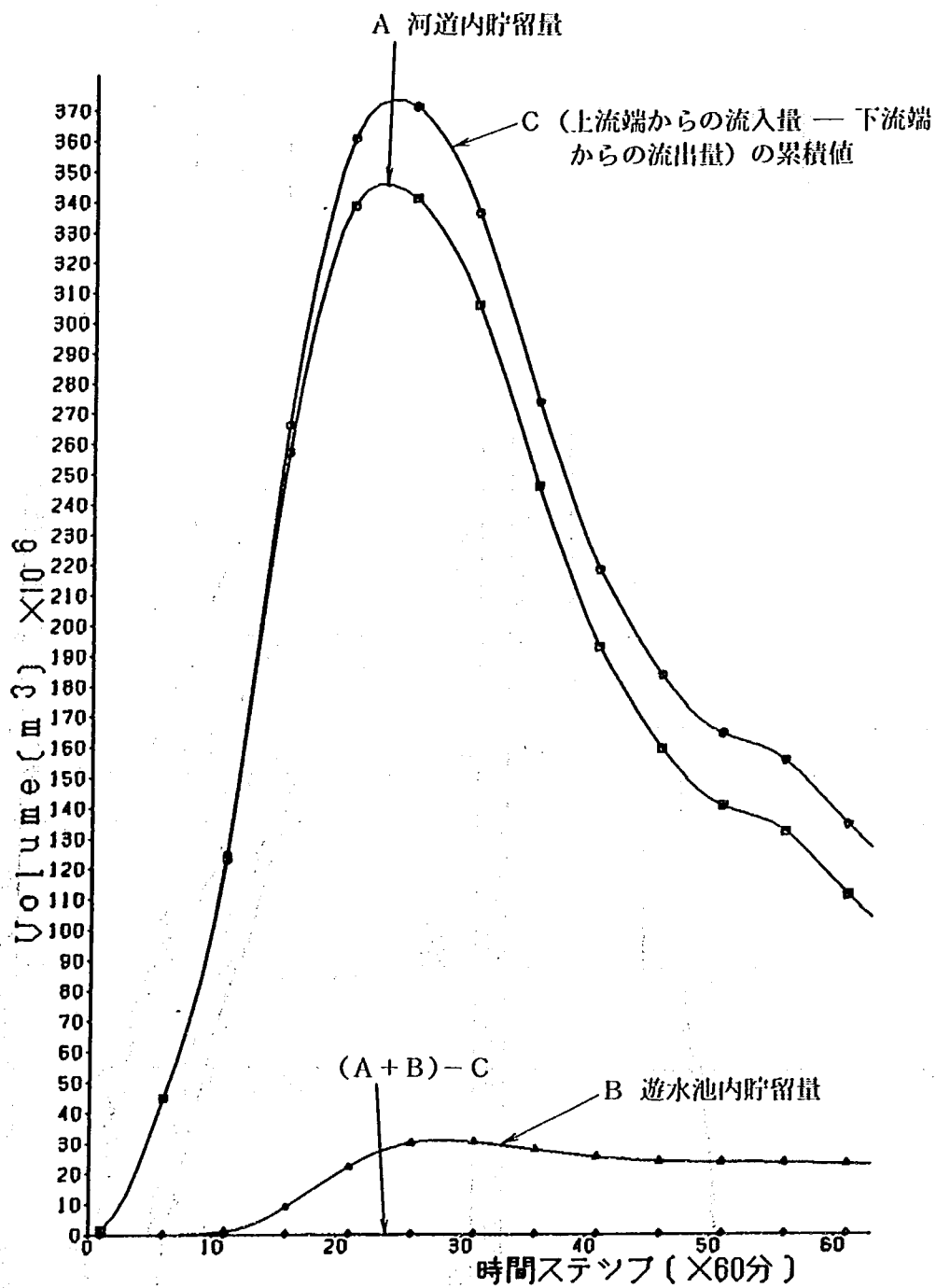


図6-18 ポリュームチェック

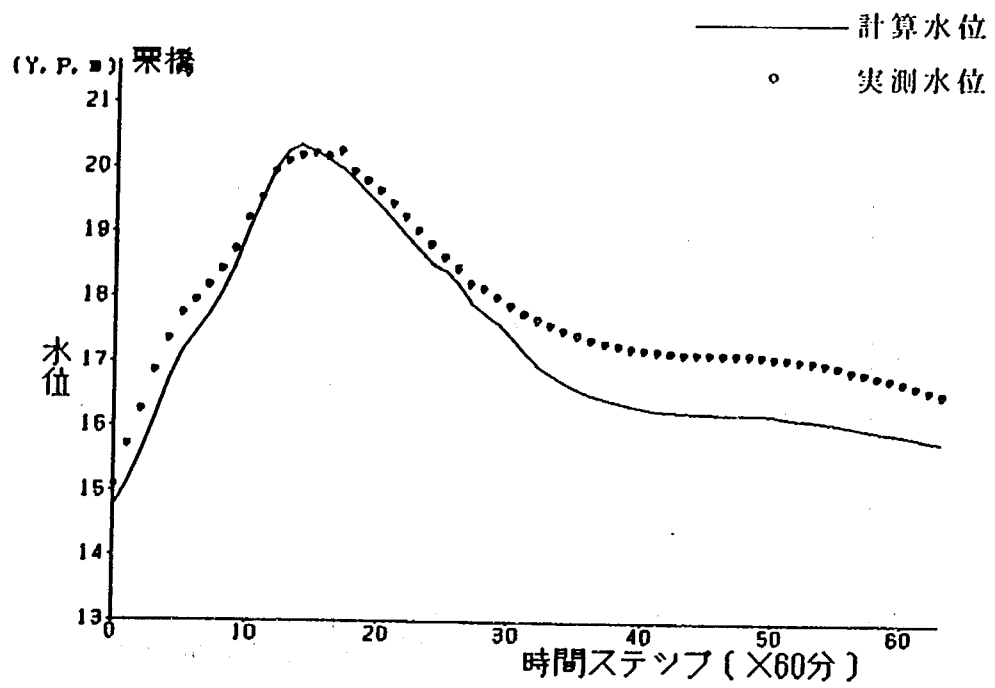


図 6-19-1 水位時間曲線

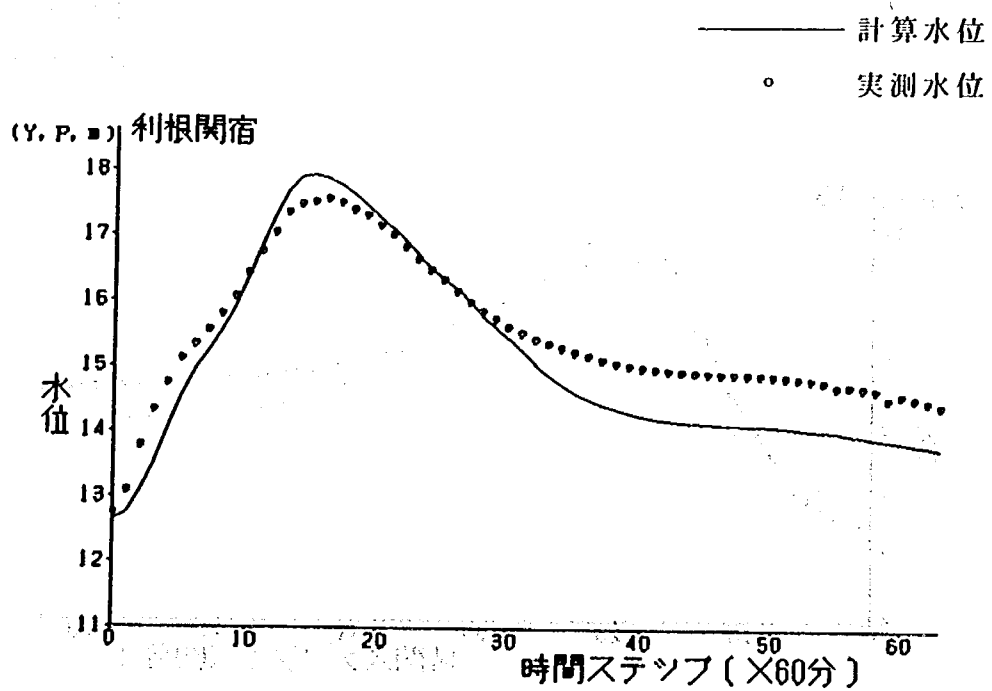


図 6-19-2 水位時間曲線

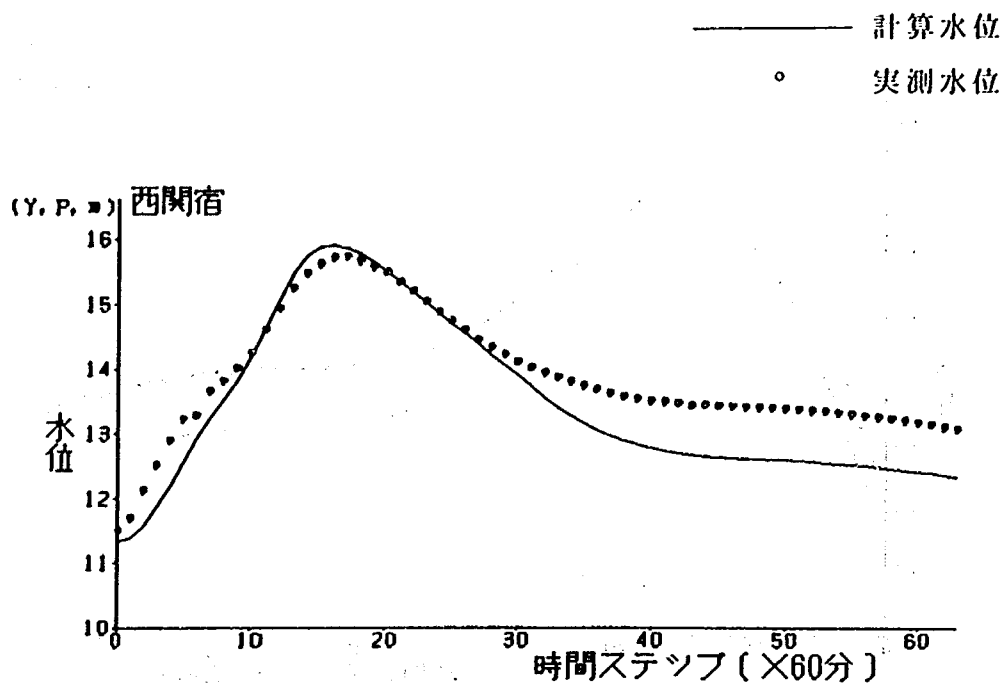


図 6 - 19 - 3 水位時間曲線

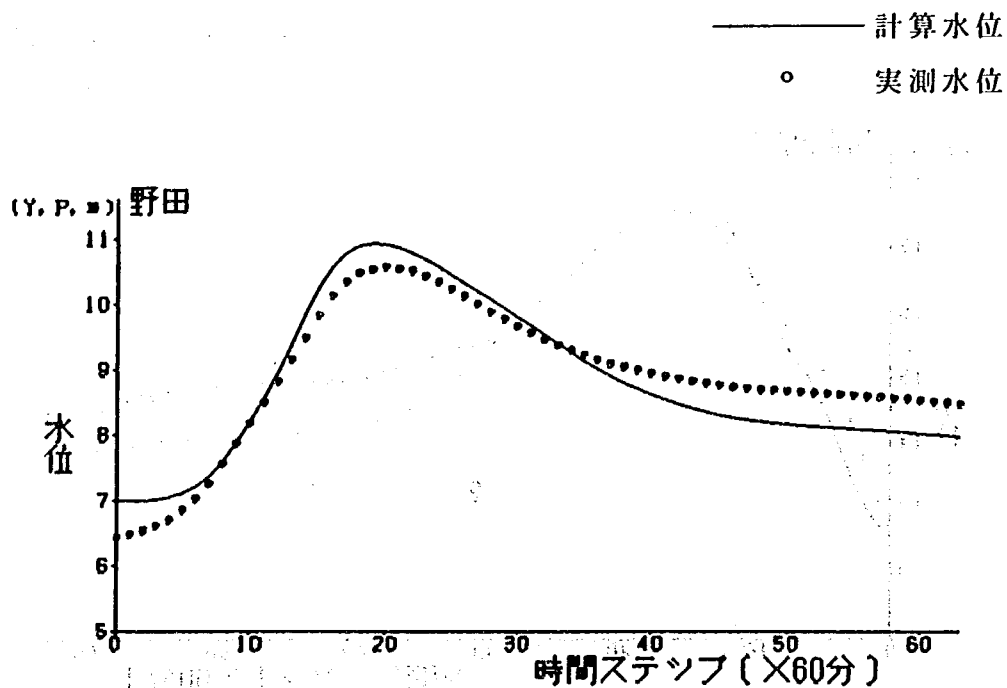


図 6 - 19 - 4 水位時間曲線

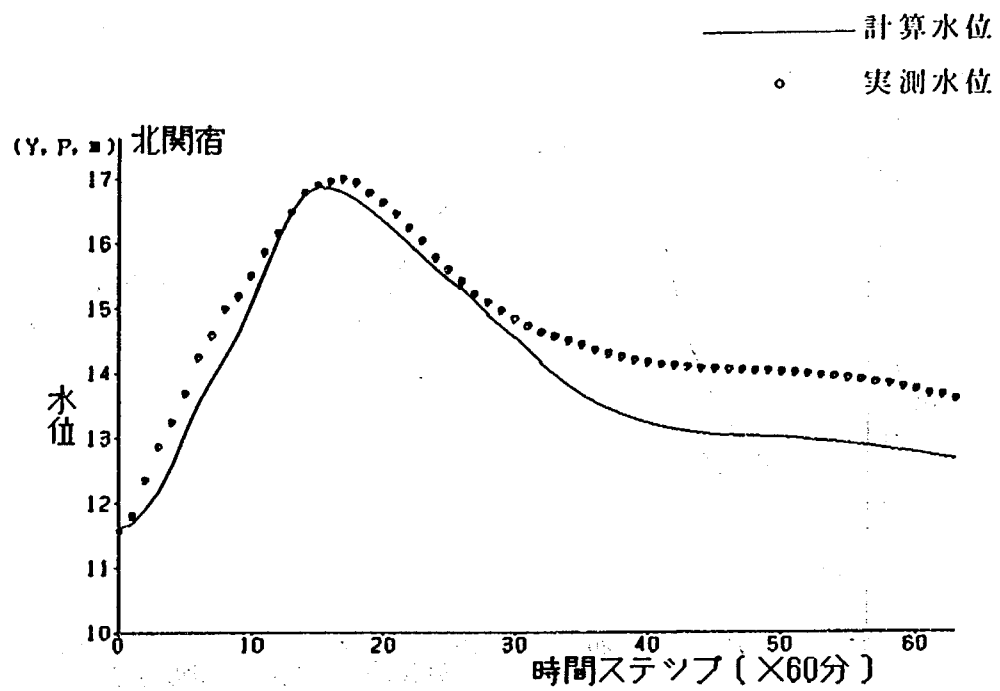


図 6-19-5 水位時間曲線

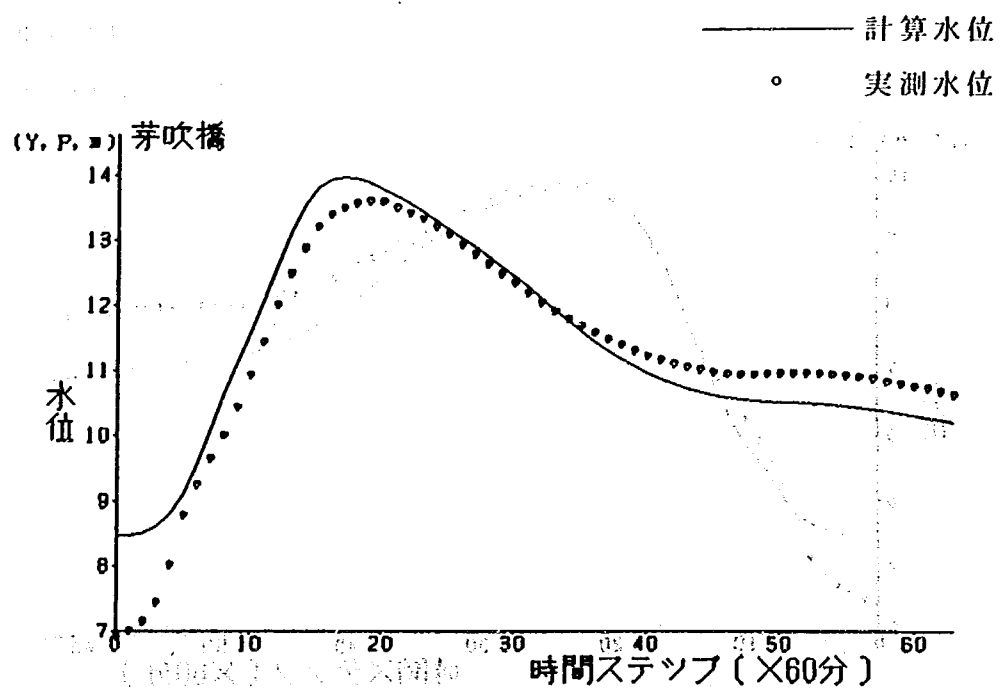


図 6-19-6 水位時間曲線

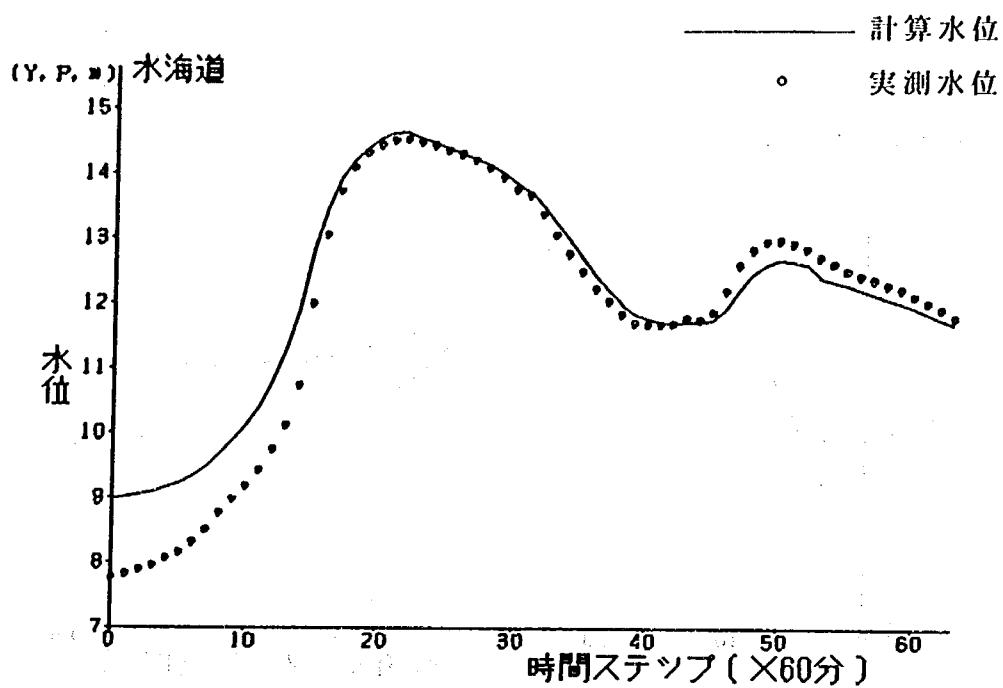


図 6 - 19 - 7 水位時間曲線

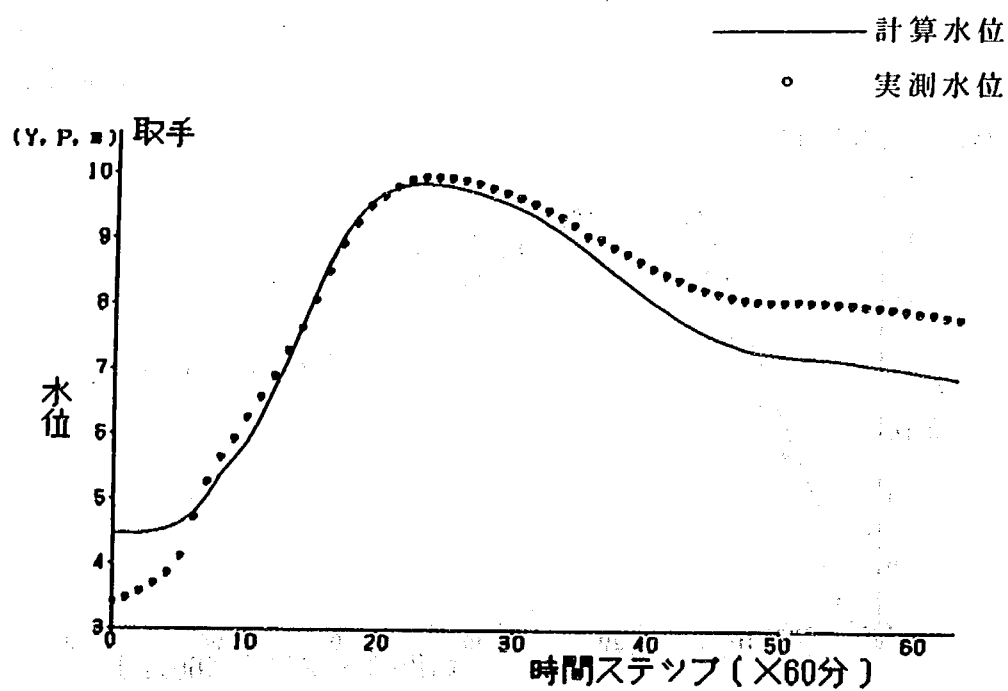


図 6 - 19 - 8 水位時間曲線

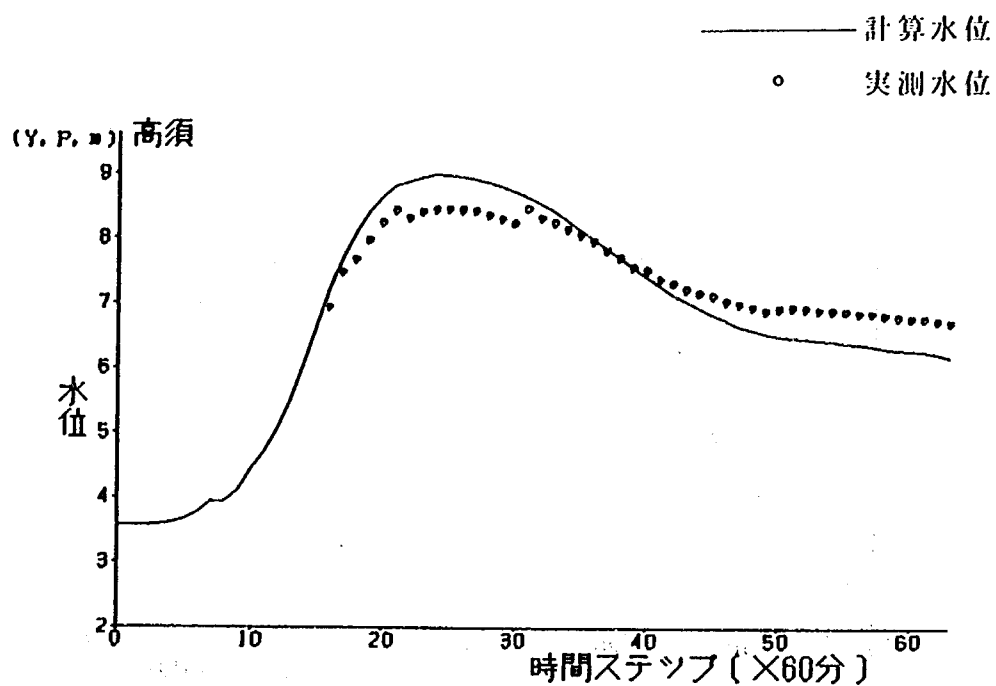


図 6 - 19 - 9 水位時間曲線

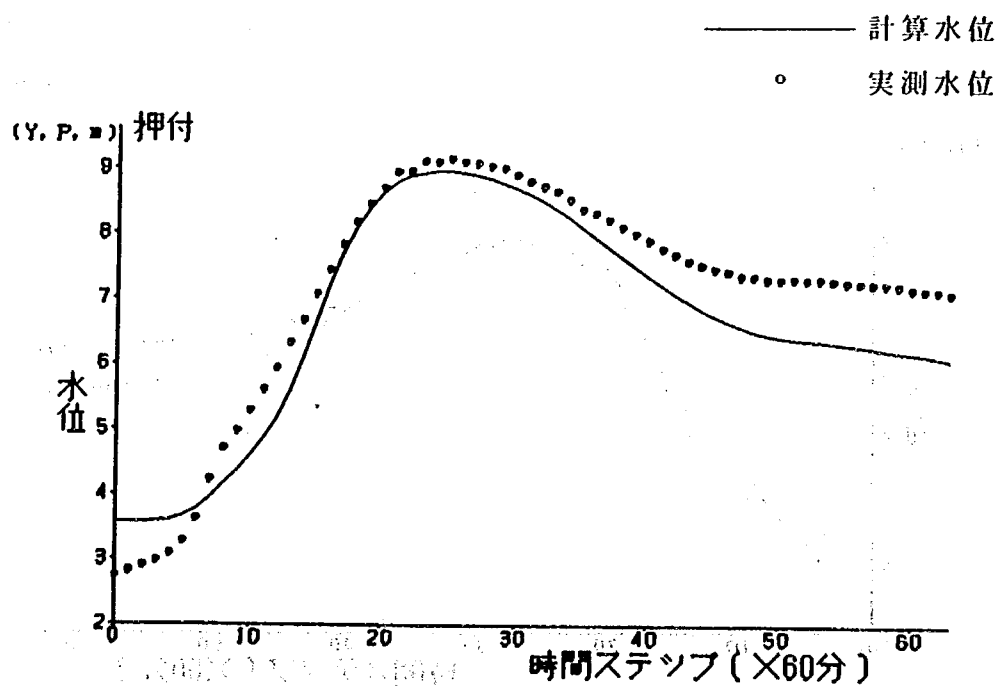


図 6 - 19 - 10 水位時間曲線

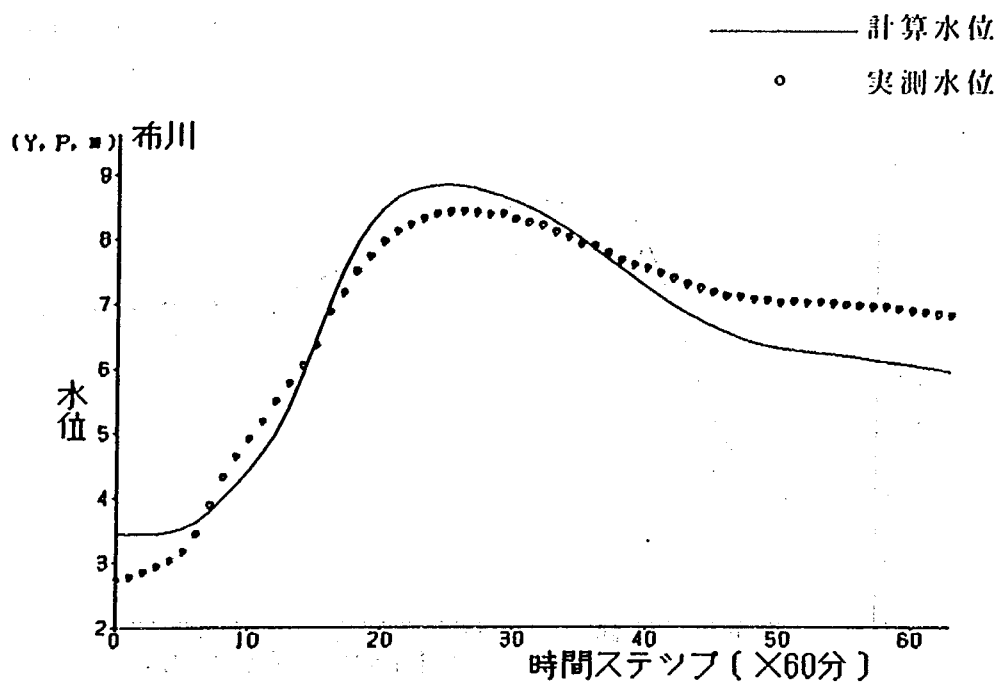


図 6 - 19 - 11 水位時間曲線

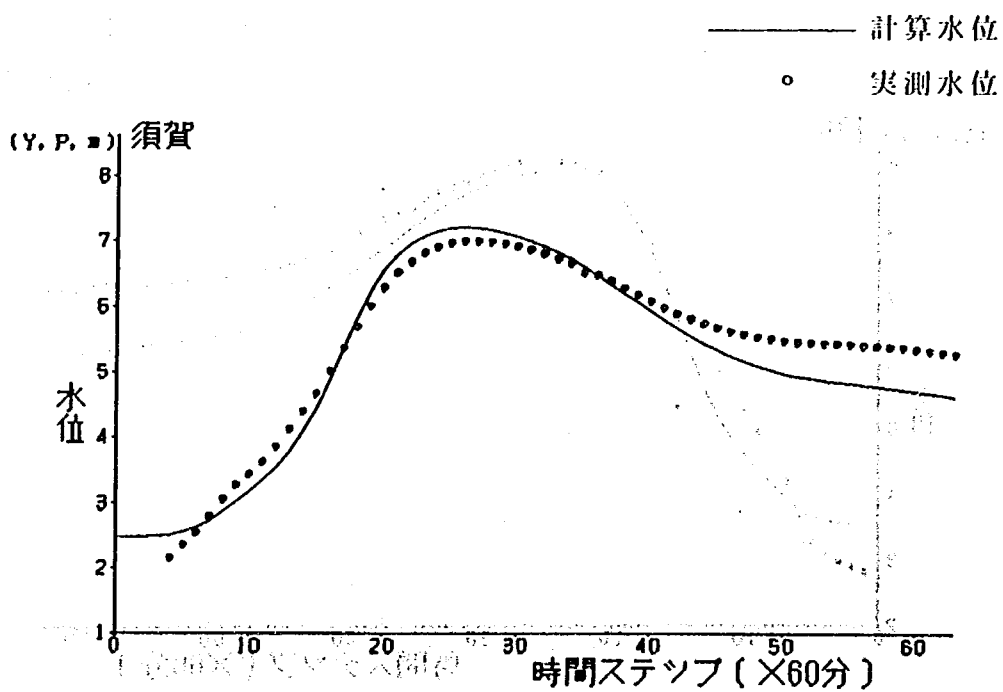


図 6 - 19 - 12 水位時間曲線

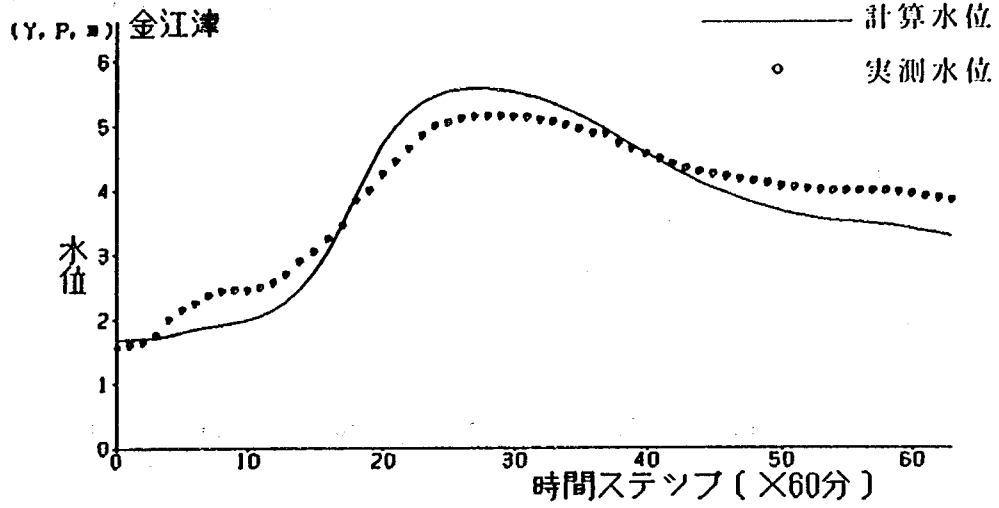


図 6-19-13 水位時間曲線

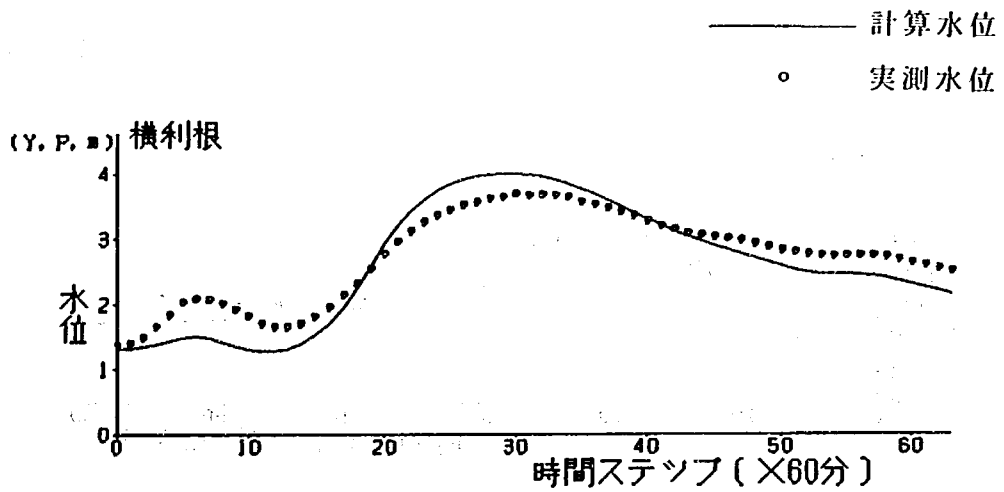


図 6-19-14 水位時間曲線

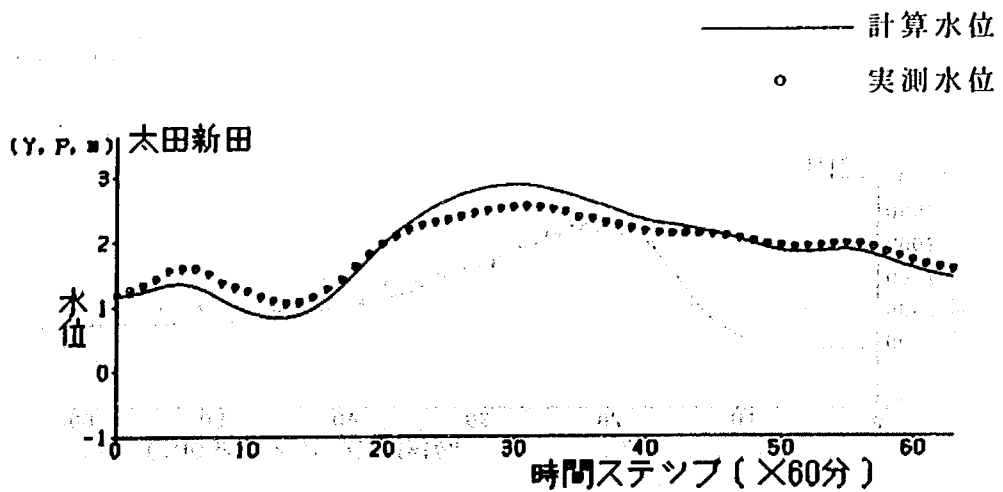


図 6-19-15 水位時間曲線

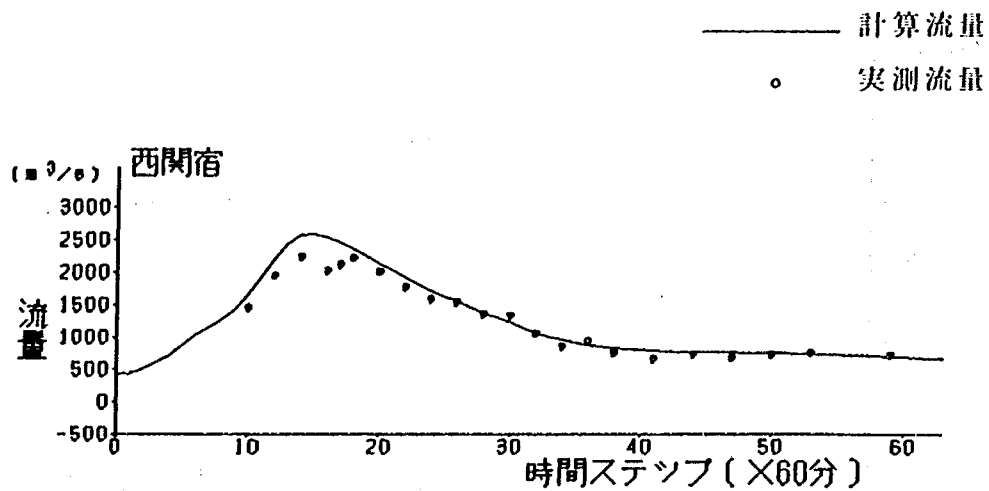


図 6 - 20 - 1 流量時間曲線

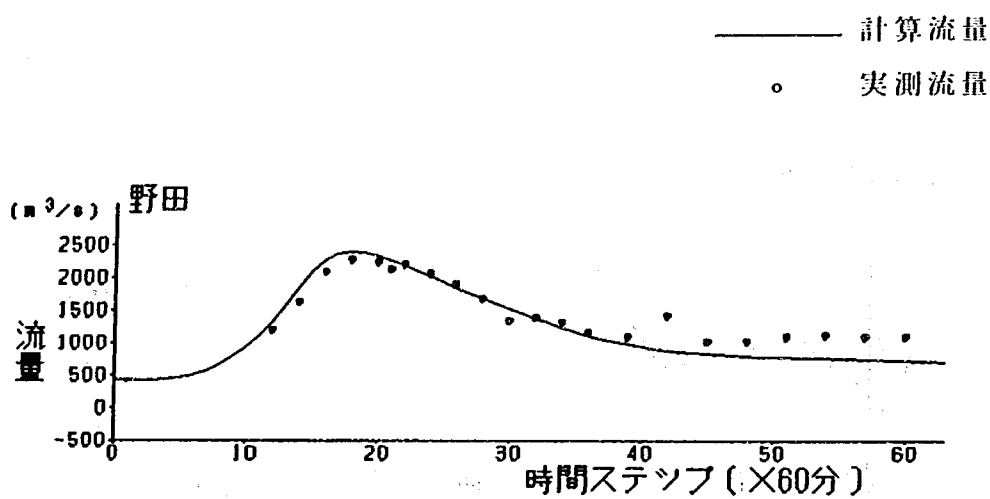


図 6 - 20 - 2 流量時間曲線

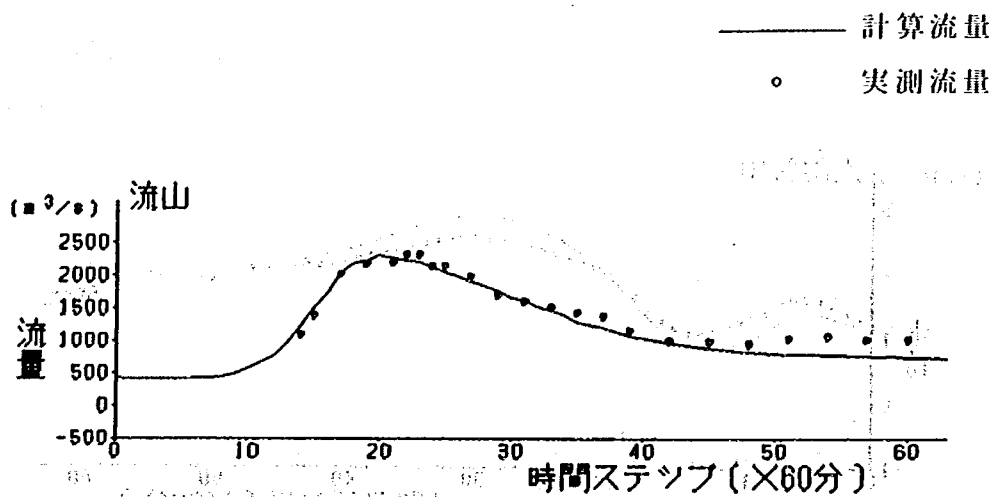


図 6 - 20 - 3 流量時間曲線

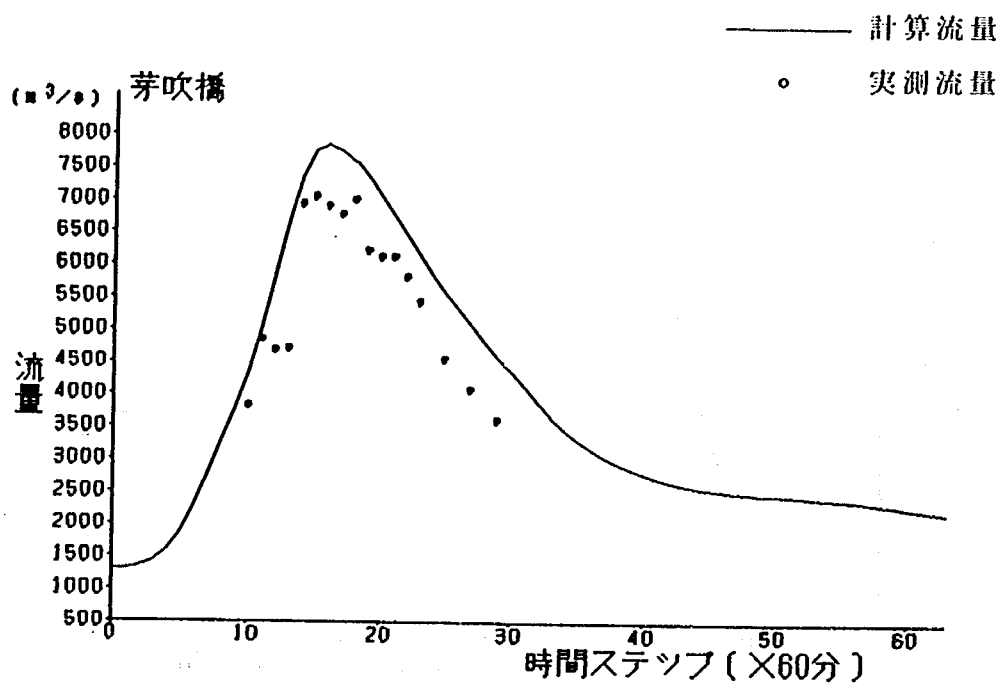


図 6 - 20 - 4 流量時間曲線

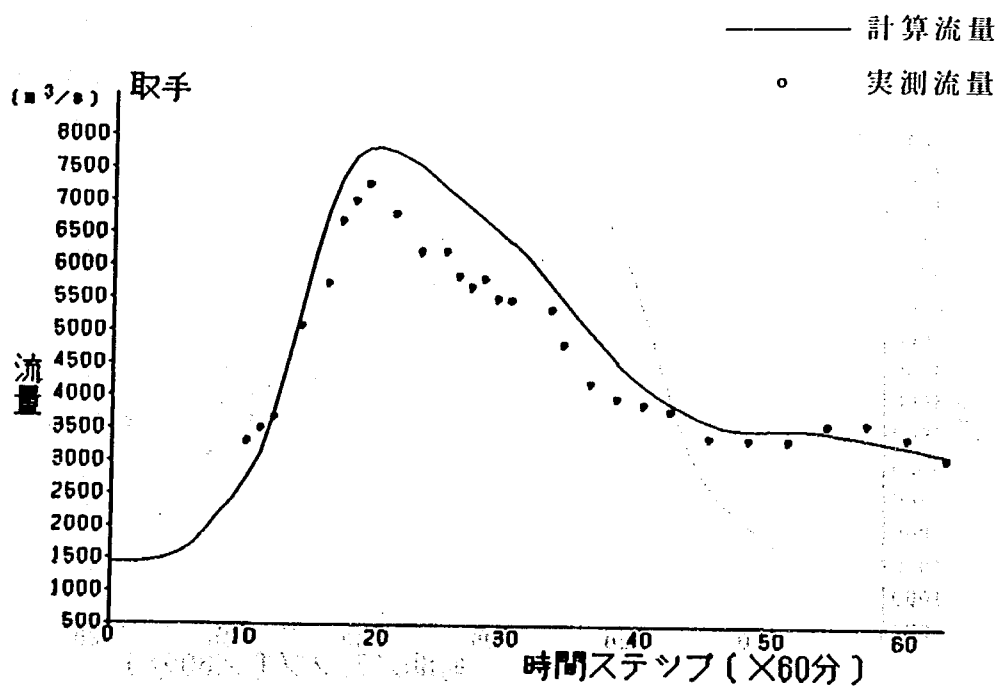


図 6 - 20 - 5 流量時間曲線

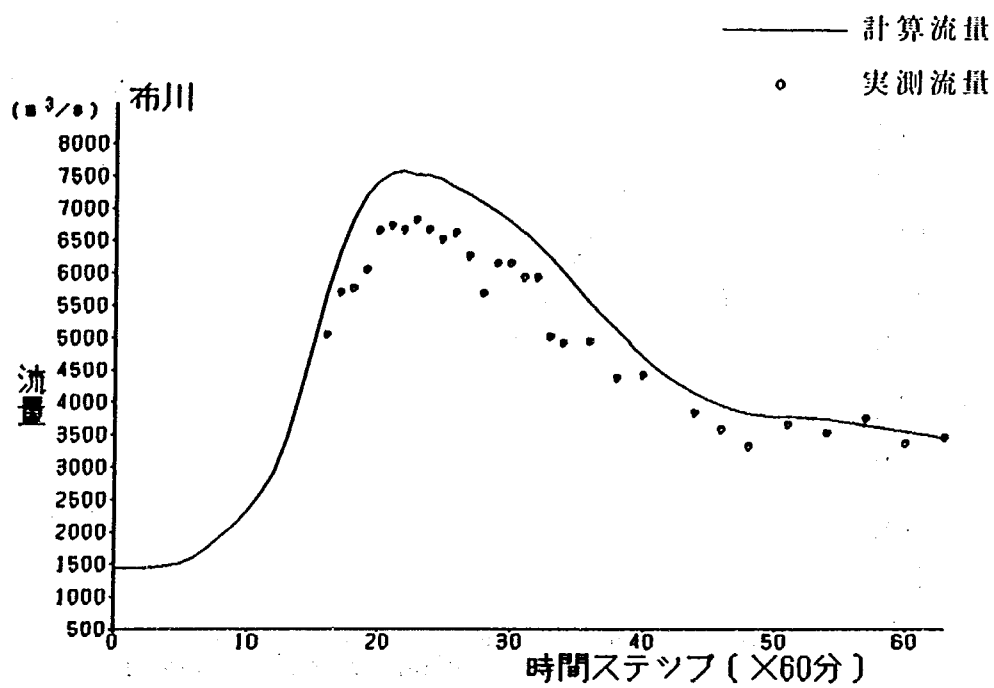


図 6 - 20 - 6 流量時間曲線

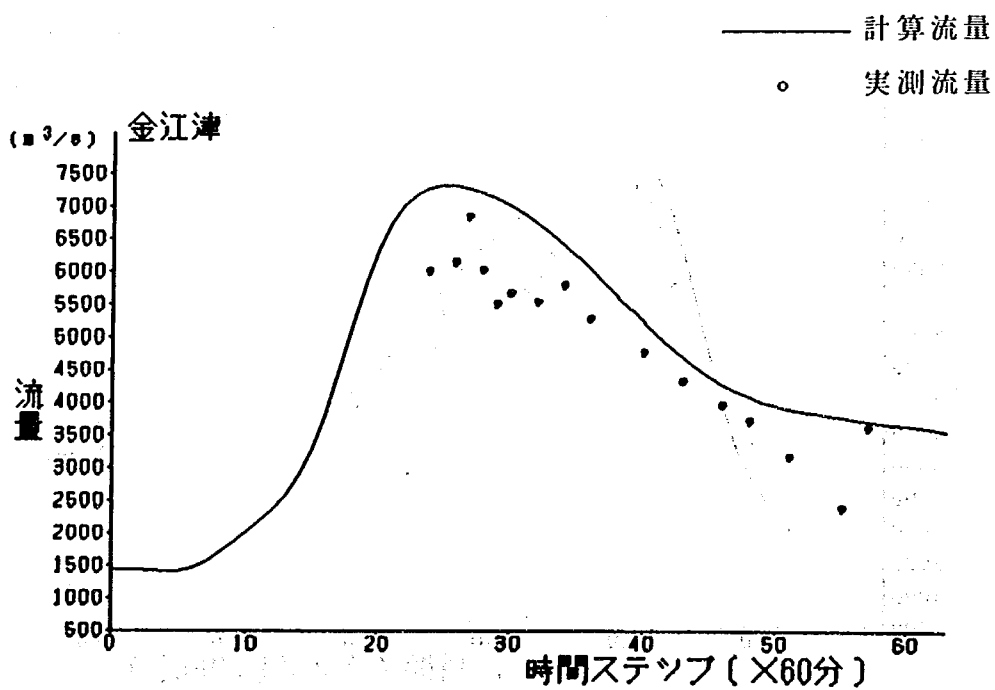


図 6 - 20 - 7 流量時間曲線

第 7 章 ま と め

4 点陰型式差分法に基づく不定流計算プログラムを開発した。プログラムでは、分合流・遊水池・複断面・死水域の貯留効果を考慮することができる。また、計算は非常に安定している。

このプログラムを栗橋より下流の利根川水系に適用した。この際、実測水位をもとに作った経験式を用いて江戸川分流におけるロスを考慮している。この結果、概ね良好な結果を得た。しかし、下流部で計算流量が実測値より大きく、また水位の逕減部において計算水位が実測水位よりやや小さくなるという計算と実測値のズレが見られた。

今後の検討事項としては、次の点があげられる。

① 計算条件に関して

- ▲ 高水敷と低水路の粗度の物理的な推定方法の確立
- ▲ 越流堤を持つ遊水池における流入特性の把握
- ▲ 一洪水中の粗度の変化特性の把握

② 計算方法に関して

- ▲ 複断面河道の流動特性（高水敷と低水路の流水の相互干渉など）の検討。本計算で用いた等流近似の妥当性。
- ▲ 遊水池への流入の取扱いの妥当性
- ▲ 分合流ロスの物理的な推定法

③ 検証に関して

- ▲ 現地データだけでなく水理模型実験による検証

謝

辞

実測資料の提供に御協力いただいた、関東地方建設局利根川下流、利根川上流、江戸川、下館工事事務所各調査課調査係の各位に謝意を表わします。

河川における不定流計算法(Ⅳ)
一分合流・遊水池・複断面を考慮した
陰型式差分法一

ISSN 0386-5878
土研資料第2080号
昭和59年3月

橋本 宏 藤田光一

キーワード 不定流, 陰型式差分法, 複断面, 加賀谷 均
数値解析, 電算プログラム, 分合流, 遊水池

要 旨

陰型式差分法を用い分合流・遊水池・複断面を考慮した不定流計算のプログラムを紹介し, さらに, 栗橋より下流の利根川水系に本プログラムを適用した結果について述べた。



郵便はがき

3 0 5 - □ □

40
円切手
を
は
っ
て
下
さ
い。

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. _____

土木研究所資料第2080号

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第2080号 部
河川における不定流計算法(Ⅳ)

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

