

ネットワーク型河川への 一次元流出・不定流解析の適用

APPLICATION OF ONE DIMENSIONAL RUNOFF AND UNSTEADY FLOW ANALYSES TO THE RIVERS CONNECTED COMPLECATEDLY

堀田 哲夫¹・藤原 直樹²

Tetsuo HOTTA and Naoki FUJIWARA

¹正会員 (株)建設技術研究所 東京支社技術統括部長 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町 4-9-11)

²正会員 工修 (株)建設技術研究所 東京支社河川本部技術第5部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町 4-9-11)

Middle and small scale of rivers in urban lowland area often have a number of junctions, diversions and drainage points, and the flow is controlled by river structures such as pumps, gates and pipes. This paper shows an example that one-dimensional runoff and unsteady analyses were applied to such a complicated river network. The results of simulations are compared and evaluated with field measurements. The possibility is also considered that the numerical analyses will be used in the operation rule studies and the decision support systems.

Key Words: River network, river structures, simulation and operation rules

1. はじめに

都市低地部に位置する比較的規模の小さな河川は、幾つもの河道が分合流する、複数の排水地点を持つなど複雑な河川網を形成している場合が多い。これらの河川網では、互いの流量・水位の影響があり、平水時と出水時ではその流れの方向も含めた流下形態が大きく変わる場合がある。また、内水排除のためのポンプや樋管、水質保全のための浄化ポンプなど、構造物の制御状況によっても流下形態が変化する。

これまで河道計画・施設計画等においては、各々の河川を単独で扱い上下流の境界条件をある程度仮定した状態で不等流計算を実施、その結果を計画に反映する場合が多かった。しかしながら上述のような複雑な河川網においては、河川相互の影響、降雨・流入パターンや下流水位の時間変化パターン、関連する既設構造物の運転操作状況などを十分考慮し、河川網全体を対象とした計画・管理を実施していくことが望ましい。

本検討では、分合流が複雑に入り組み本川大河川に複数地点で流出し、構造物の制御方法によって本川流出箇所が変化する都市内水域の河川網を対象として、平水時・出水時およびその移行時の流れの状況を同時に表現し得るネットワーク型の一次元流出・不定流計算モデルを構築した。構築モデルは、対象河川複数地

点で実施された平水時・出水時の水位・流量観測結果と比較検討することにより妥当性を検証し、モデルが妥当であることを明らかにした。

また本モデルを用いることにより、新たな河川構造物設置時の影響検討及び操作方法の検討、水位・水質監視等の管理方法への適用可能性についても検討した。

2. 対象河川

本検討の対象河川は、都市部低平地を流域に持つ中・小規模河川群であり、図-1に示すように本川河川と複数箇所複雑に接続している。本川の下流側には浄水場が幾つか存在するが、本支川群を含めた支川からの汚濁の進んだ水の流入による異臭障害(カビ臭)等の上水利水障害が懸念されてきた。

これを解消するために、支川流入水と本川の水を分離する水路を高水敷に建設して、支川の水を浄化しつつ下流へ流下させ、安全でおいしい水の確保と有害物質の本川流下防止を図る計画が進められ、施設が完成している。

本検討では、このように施設が複雑に配置された河川網をモデルフィールドとして各種条件下でシミュレーションによるケーススタディを行い、今後のモデルの活用性についてとりまとめた。

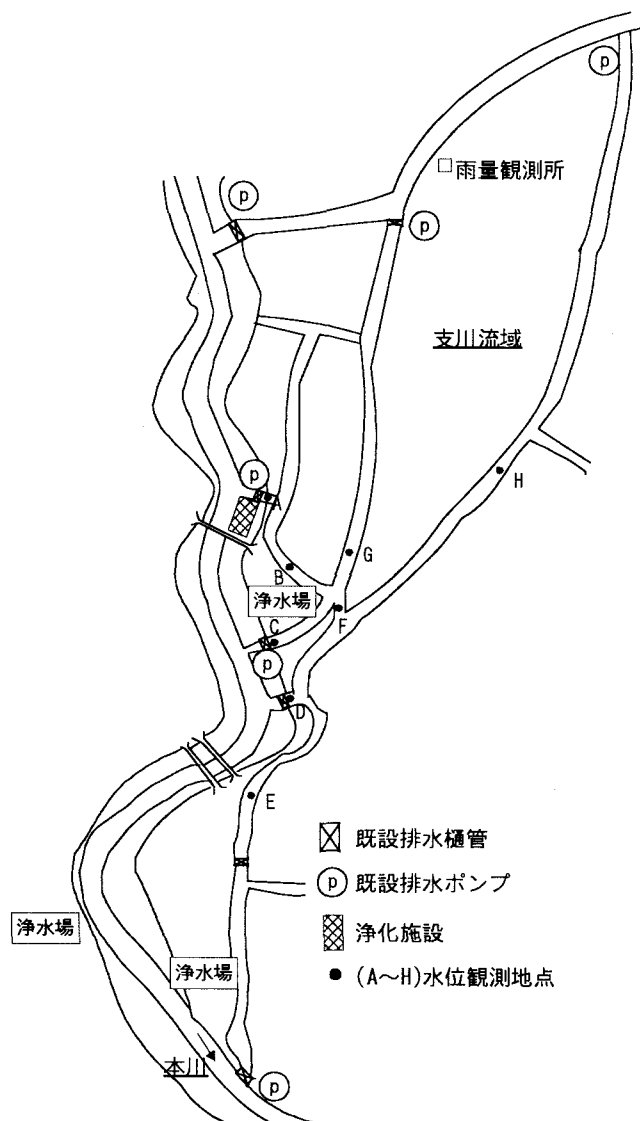


図-1 対象河川概要図

3. 降雨流出・河道モデルの構築

晴天時においては、各支川の下流端を締め切って支川流入水全量を浄化施設で浄化し、浄化後の水を浄水場の下流までバイパスする施設となっている。一方、出水時には浄化運用を停止して本川と支川を再び接続、各支川からの流出を本川に速やかに流下させる。もし出水時運用への切替えタイミングが遅れ支川水位が上昇し過ぎた場合、支川流域で内水被害等が生じる恐れがあるからである。

本検討では、晴天時、雨天時及び晴天時から雨天時への移行時を共に表現し得る数値解析モデルを構築し、現地観測結果との比較によりモデルの妥当性を検証した。また各種施設の運用方法の違いによる流況変化状況についても検討を行い、運用方法等の検討においてシミュレーションモデルが有効であることを確認した。

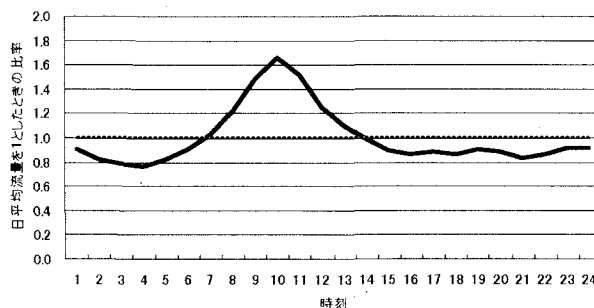


図-2 晴天時流入量時刻変動パターン

以下に、構築した流出モデル及び河道モデルの概要をまとめる。

(1) 流出モデル

対象流域(約 20km²)を、排水路等を考慮して細かく流域分割し、洪水到達時間 T の関数のみで表現できる佐藤流出関数法(式(1)参照)¹⁾を使用して流域流出量を算出した。

また晴天時流入量は、現地流量観測結果から日平均流入量(約 2.5m³/s/100km²)を算出すると共に、下水道未整備区間の存在により時刻変動していることから、これを考慮した標準的な流入量時刻変動パターンを作成した(図-2 参照)。

$$Q = 1/3.6 \cdot f \cdot R \cdot A \left[e^{-\alpha t'} (\alpha t' + 1) - e^{-\alpha t} (\alpha t + 1) \right] \quad (1)$$

ここに、 $t' = t - \tau$ f : 流出係数

$\alpha = 1/T$ (T : 洪水到達時間)

τ : 有効雨量強度 R の雨の継続時間

t : 降雨開始より経過時間

Q : 時刻 t における流出量

(2) 河道モデル

河道水位追跡モデルでは、ネットワーク型の一次元不定流計算モデルを構築し、モデル上に堰、ポンプ、ゲート等の各構造物を組み込んだ。基礎方程式は以下の通り(St Venant 方程式)であり、有限差分陰解法(6点アボットスキーム)²⁾を解法として用いた。

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gn^2 Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (2b)$$

ここに、 Q = 流出量

n = 粗度係数

A = 流下断面

R = 径深

q = 横流入量

α = 運動量の係数

h = 水位

図-3 に構築モデル平面図を示す。

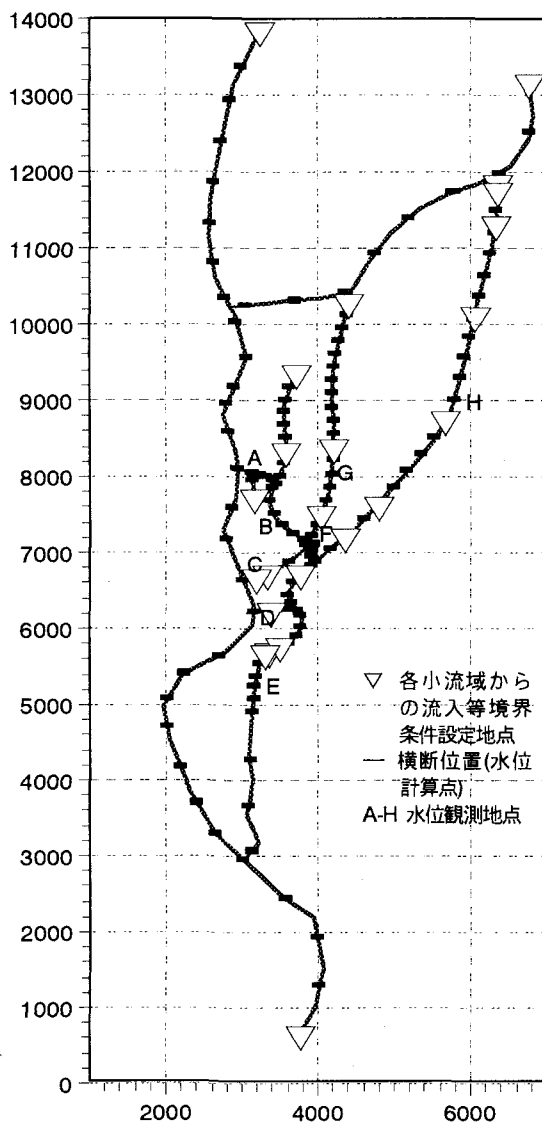


図-3 構築モデル平面図

表-1 有効雨量算出定数

	都市域(79%)		水田 (9%)	畑・その他 (12%)
	浸透域 (32%)	不浸透域 (47%)		
凹地貯留量	6mm	2mm	50mm	6mm
浸透能	3mm/hr	—	—	10mm/hr

洪水到達時間 = 流入時間 30 分 + 流下時間 30 分

4. 構築モデルの妥当性検討

(1) 降雨流出モデルの妥当性検討

図-1 及び図-3 の H 地点(上流域面積約 7km^2)で実施された 6 降雨(総雨量 $15\text{mm} \sim 35\text{mm}$ 程度)の現地流量観測を用いて再現検討を行った。表-1 に降雨損失の最終定数をまとめる。再現検討結果は図-4 に示す通りであり、妥当な再現結果が得られた。

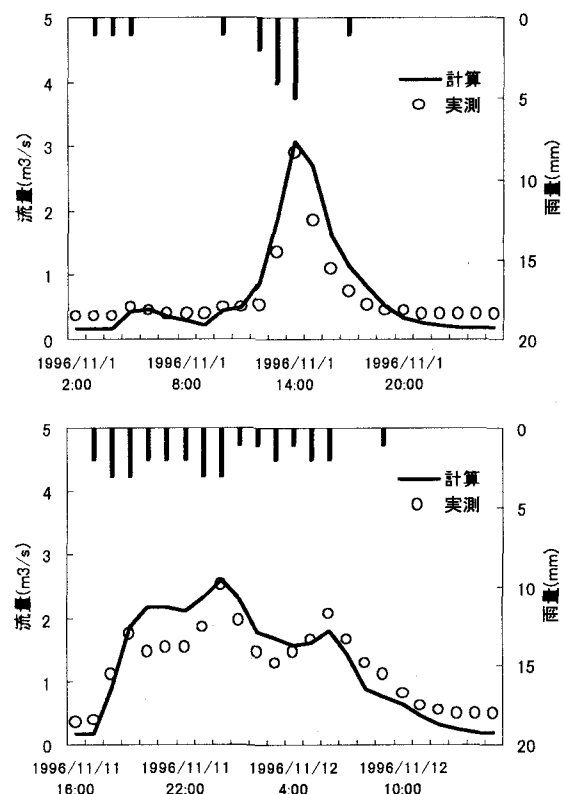


図-4 流出再現結果流量ハイドログラフ(H地点)

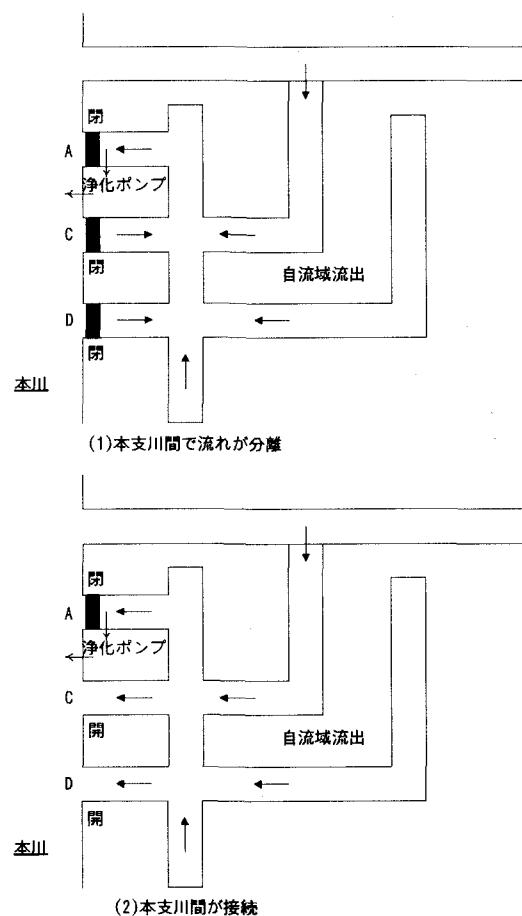
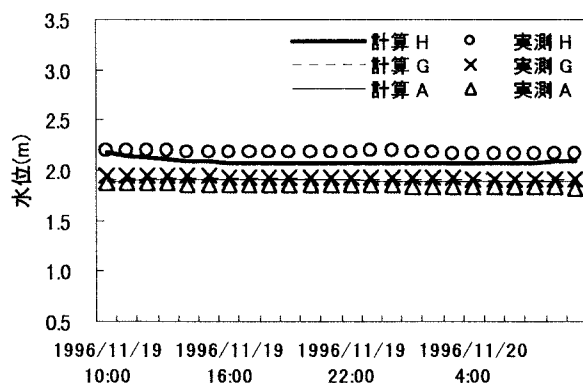


図-5 本・支川間における水収支

<本・支川が分離>



<本・支川が接続>

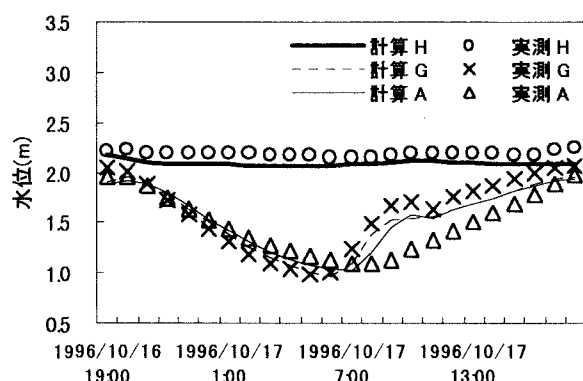


図-6 晴天時再現検討結果水位ハイドログラフ

(2) 河道モデルの妥当性検討

a) 晴天時

図-5に示す通り支川と本川が分離している状態と接続している状態の両条件下において、図-1及び図-3に示した8地点の連続水位観測結果との比較を行い、晴天時におけるモデルの妥当性を検討した。再現検討結果を図-6に示す。

b) 出水時

次に、水位観測が実施された出水時(6降雨)を対象として再現検討を実施し、出水時水位挙動の妥当性を確認した。本・支川間の接続条件は図-6(2)と同様であり、再現検討結果を図-7に示す。

以上、雨天時・晴天時ともに本モデルを用いた計算結果が実際の流出状況、水位変動状況と概ね同様の値を示しており、その妥当性が確認された。

5. 各種条件下における流況予測及び特性分析

流水を保全するための浄化運用を含めた施設の運用としては、以下に示す5つの視点を設定した。

- ①晴天時運用：樋管等により本・支川の流れを分離し、支川水を浄化施設により浄化する。
- ②小降雨時運用：支川水位が上昇しないようポンプ運転稼働量を調節し、浄化処理を継続する。

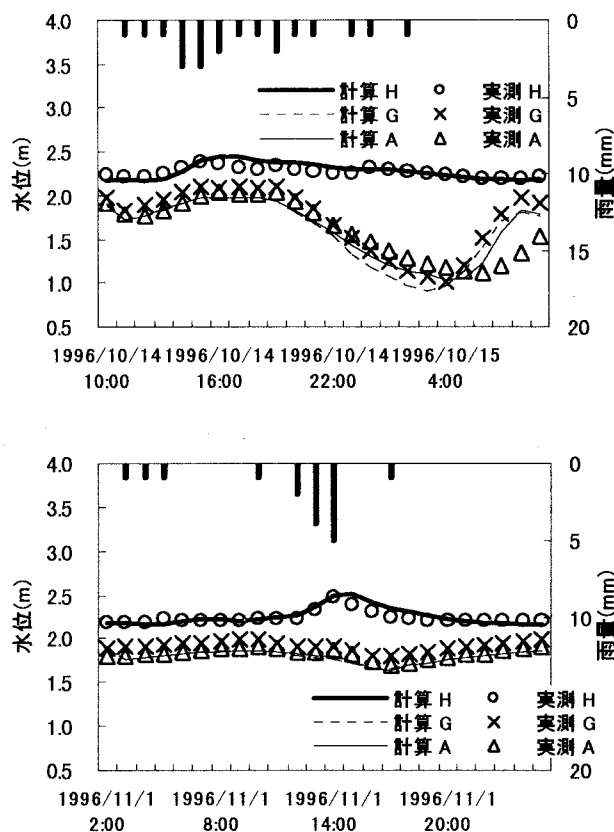


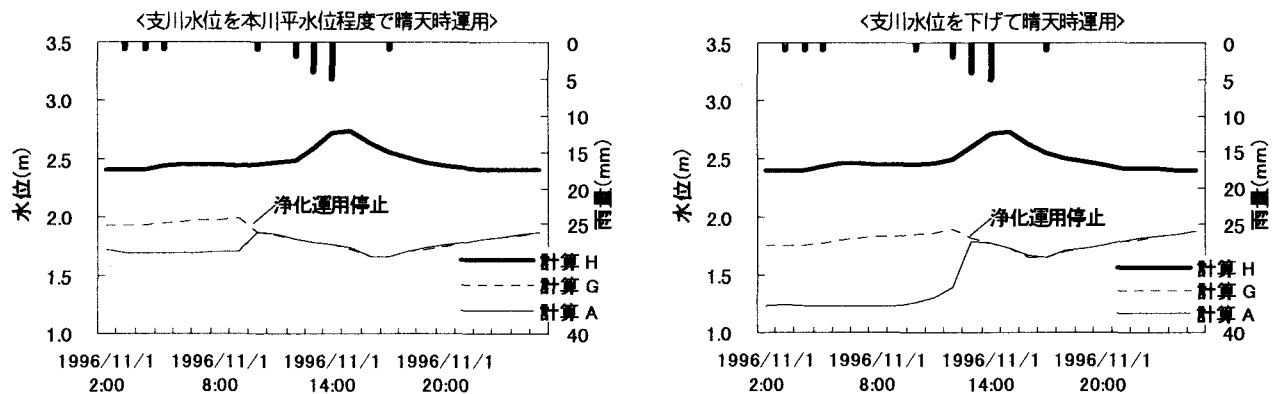
図-7 出水時再検討結果水位ハイドログラフ

- ③大降雨時初期運用：浄化運用を停止し、支川の内水被害が生じないように樋管等を開き本川と接続する。
- ④洪水時運用：本川水位が高い時には支川洪水防御のために再び本・支川を分離し雨水排水等ポンプによる排水を行う。
- ⑤降雨終了時運用：支川水位が十分に低下した事を確認した上で本・支川を分離、浄化運用を再開する。

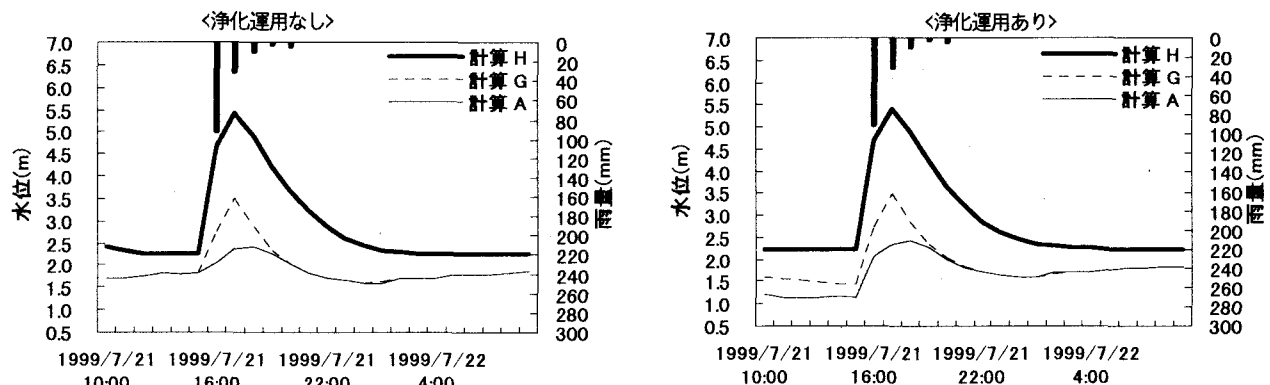
ここで特に重要となるのは、状況変化に応じた施設運用の切り替えである。支川流域に内水被害等を生じさせないために、どの地点の水位・流量を監視し、どのようなタイミングで施設運用を切り替えるべきであるのかを明らかにするのが望ましい。

本検討では先に構築したモデルを用いて、晴天時の支川水位制御、本支川間の接続・分離運用切替えのタイミング、本川水位及び降雨条件等を変化させたケースでのシミュレーションを実施した。検討結果の概要を以下に、出力結果の一例を図-8にまとめる。

- ・ ある程度の降雨まで本・支川を分離した浄化運用を継続させるためには、あらかじめ支川河道水位を引き下げておくことが望ましい。
- ・ 大降雨発生時においても、適正なタイミングで晴天時運用から雨天時運用に移行すれば、支川水位を著しく上昇させることはない。

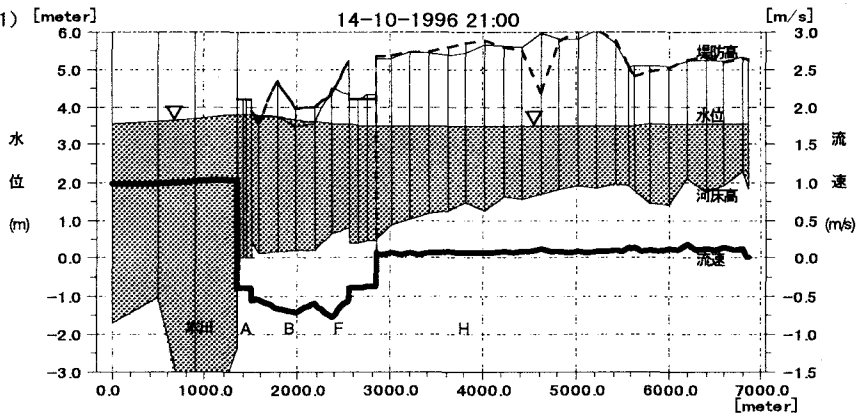
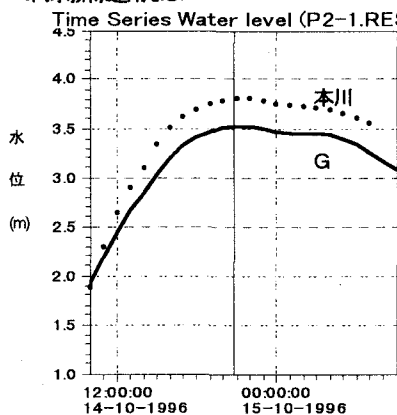


(1) 支川水位と浄化運用停止タイミング

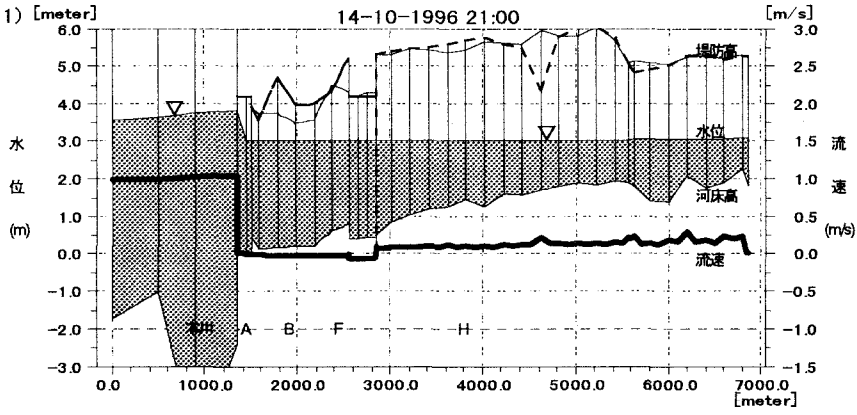
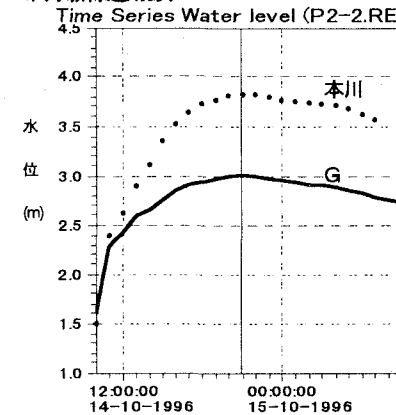


(2) 強降雨強度生起時の水位変化状況

<内水排除運用なし>



<内水排除運用あり>



水位ハイドログラフ

最高水位生起時水位・流速縦断面

(3) 内水排除運用の有無による支川水位変化

図-8 流況予測及び特性分析結果

- ・ 降雨バタン、本川水位状況等の違いにより支川水位挙動が大きく変化する場合がありますため、構造物制御を行う際には、構造物地点の水位（もしくは流量）による制御だけでなく、クリティカルとなる上・下流地点をあらかじめ明確にした上で、これらの水位・流量も考慮した運用を行うことが望ましい。

以上より、本シミュレーションモデルが出水による構造物操作の影響や流下形態の変化等を的確に表現できることが明らかとなり、運用方法検討等への活用が可能であることが確認できた。

6. 現状の課題及び今後の適用可能性

(1) まとめ

本検討では、ネットワーク型の一次元流出・不定流計算モデルを用いることにより、分合流が複雑に入り組み逆流等が生じる実河川においても、平水時・出水時およびその移行時の流れの状況を十分表現できることを示した。

また、ポンプ、ゲート、堰など多数の河川構造物の計画・制御もモデルに組み込むことにより、それらの操作方法の違いによる流況変化の状況を明らかにし、数値解析モデルが施設配置検討や操作ルール検討時に有効であることを確認した。

リアルタイムコントロールも含めた河川内構造物等の実管理においては、水理解析等による流況予測検討に加え、降雨予測を含めたきめ細かな河川監視システムの構築と、それらを踏まえた水理解析モデルの更なる精度向上が必要となる。また、例えば出水運用時から晴天時運用に戻る際には管理者の相互的判断が不可欠であり、数値解析(予測)結果のみからこれを規定することはできない。但し、管理者の意志決定を支援するためのツールとしては現段階の数値解析手法は十分に有効であり、実用に耐え得ると考える。

(2) 現状の課題

構造物の操作規則等を検討する場合には、現地観測データを用いた検証が不可欠である。水位観測については晴天時・雨天時の複数地点同時観測が比較的容易であるが、出水時の流量・流速・水質観測は費用、人員確保等の問題から対象地点、対象出水が限られてし

まう場合が多い。

現地観測データは数値解析モデル構築や構造物操作方法検討の基本のデータであることから、無人観測機器を活用するなどしてなるべく多くの観測データを蓄積していくことが望ましいと考える。同時に、河川状況等を十分把握した上で観測位置・方法等について十分吟味し、効率的で的確な現地観測を実施しなければならないのは言うまでもない。

また、構造物建設時及び設置後の試験運用・実運用下においても水位・流量等の十分な追跡調査を行い、運用前に構築した数値解析モデル及び操作運用ルールの妥当性を常にチェックしていくことが必要である。

(3) 今後の適用可能性

本検討では、新規構造物の設置や施設運用方法の違いによる流況変化状況の把握に主眼を置き、水理解析モデルの適用性について検討した。今後は、水質保全の観点も含めたモデル構築を行い、水理・水質の両面から総合的に判断できるモデルの構築を実施していく必要がある。

本水理計算モデルに水質計算ツールを組み込むことにより、最も効果的で安全な運用方法を検討することができ、住民にも水質改善効果など事業の有効性を解りやすく示すことができるものと考ええる。また、水質事故等が発生した場合の影響範囲や時間などの予測にも役立てていくことができると考える。

謝辞: 本検討は、建設省関東地方建設局江戸川工事事務所御委託の関連業務を契機として、その後新たな広域ネットワークモデルを構築しその適用性について検討したものです。検討に際し事務所には各種データの提供及び御指導を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 建設省水文研究会編：流出解析例題集，(社)全日本建設技術協会，1971。
- 2) Abbott, M. B. and Ionescu, F.: On the numerical computation of nearly horizontal flows, Journal of Hydraulic Research, Vol.5, no.2, pp97-117, 1967.

(2000.4.17 受付)