

洪水予測を目的とした分布型流出モデルの同定

伊藤弘之・飯野光則・平塚真里子・大浪裕之

1. はじめに

近年、記録的な豪雨に伴う河川氾濫や氾濫に差し迫る状況が頻発化しており、水害による被害の軽減を図るため、危機管理の重要性がより増している。水害に対する危機管理においては、降雨や河川水位を把握するだけでなく、タイムリーに対策を講じるため、降雨や河川水位等の状況変化を予測しながら先んじて対策を準備することが重要である。洪水予測は河川水位の変化を予測するものであり、洪水予報指定河川においては、河川の代表地点における3～6時間先の河川水位の予測が行われている。

洪水予測は、その時点までに観測された当該河川流域の降雨量や、河川の水位変化及び降雨の予測値を踏まえて行われる。特に中小河川においては降雨の流出時間が短いため、予測降雨を含む一連の降雨の流出量を計算する必要があり、正確な予測は困難な状況にある。危機管理に関わる意思決定を支援するためには、より一層の予測精度の向上が求められるが、これには主に降雨予測の精度と降雨が河川流量となる流出現象の再現の2つの課題がある。ここでは後者を対象に検討する。

降雨の流出現象はタンクモデルや貯留関数モデル等により表現される。特に近年では、レーダー観測技術の実用化により高い解像度で精度の高い降雨量分布がほぼリアルタイムで得られるようになったことに伴い、降雨量分布を反映できる分布型流出モデルが活用されるようになってきている。分布型流出モデルは対象流域を細分化し、エリア毎に流出モデルを設定できるため、流域内に複数の洪水観測地点があれば、対応する小流域毎にモデル定数を設定することにより、流出特性をより詳細に表現することが可能になると考えられる。

このため本検討においては、流出モデルの精度向上のため、観測地点を追加して流出モデルに多様な定数を設定する方法を提案する。そして実流

域にこの方法を適用することにより、洪水流量の再現性や精度の変化について評価した結果について記述する。

2. 洪水予測モデルの構築

本検討においては、流域面積が比較的小さく、水位・流量の観測が比較的密に実施されている鶴見川流域¹⁾ (神奈川県・東京都) のうち落合橋を最下流地点とした中上流域(115.4km²)を対象とし(図-1参照)、土研モデル²⁾と河道不定流から構成される洪水予測モデルを構築する。

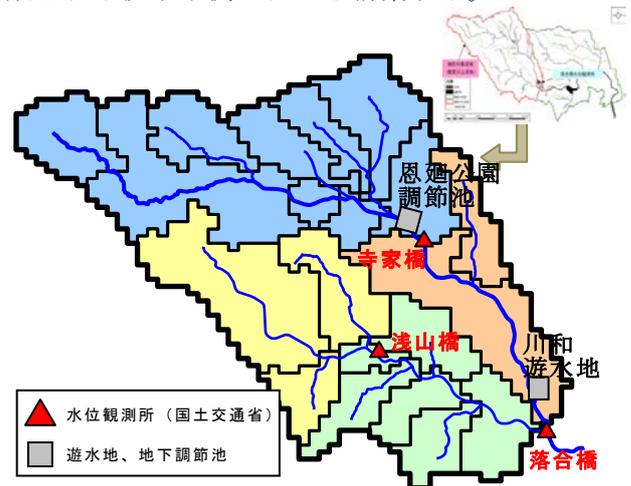


図-1 対象流域

本検討で使用した土研モデルと河道不定流モデルの概要は以下の通りである。

(1) 土研モデル

土研モデルは、地表面における地下浸透、表面流出、表面貯留、地表面からの蒸発を表現する表層モデル、地中での遅い中間流や基底流量を表現する地下水モデル及び上記モデルから流出した水の移動を表現する河道モデルから構成される(図-2参照)。

表層モデルについては、土地利用を市街地、湿地(田)、畑、森林に分類し、土地利用分類毎にモデル定数を設定する。地下水モデルについては、土地利用に関係なく、流域全体で一様とする。河道モデルの接続方向は、250mのメッシュ平均標高より形成される落水線を一部修正し、鶴見川、

The Method of identifying the parameters of the Doken distributed run-off model for flood prediction.

恩田川他支川を含む計 11 河川の流路と一致させたものを用いる。

(2)河道不定流モデル

洪水流量の河道内の伝播を表現するため、対象流域内の鶴見川と恩田川を対象に河道不定流モデルを適用する。粗度係数は自然河道の一般値として $n=0.03$ を使用した。また、恩廻公園地下調節池(110,000 m³)と川和遊水地(120,000 m³)の効果については、不定流モデルに組み込む。

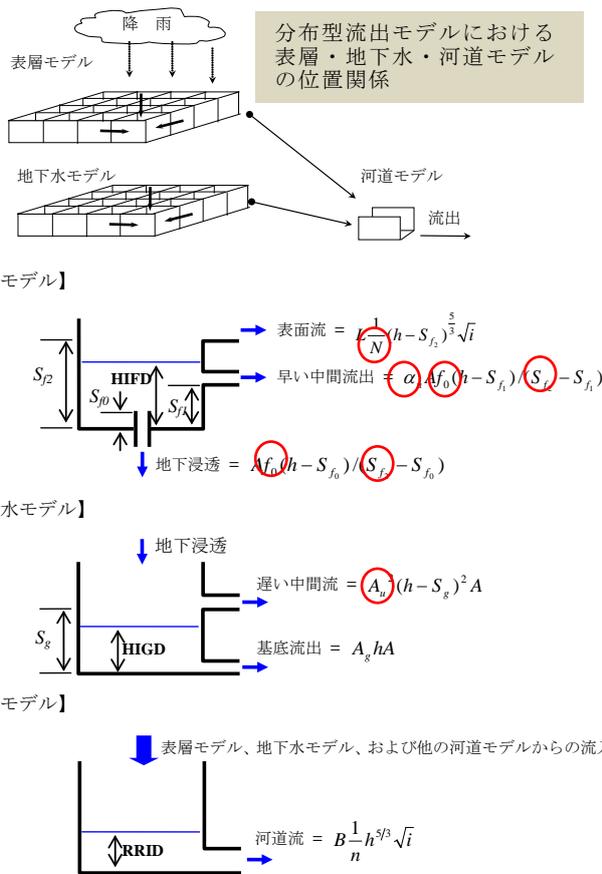


図-2 土研モデルの構造

3. モデル定数の同定と洪水の再現性

流出モデルの定数を、その物理的特性を表す観測値から決定することは困難であり³⁾、いくつかの代表的な実績降雨に対して観測された洪水流量が再現できるように、モデル定数を決定するのが一般的である。このため、複数の洪水観測地点が存在すれば、モデル定数を面的に多様化することにより流出特性の表現力の向上が期待される。

本検討においては、モデル定数の同定地点を増やすことによる既往洪水(表-1 参照)の再現性、お

よび同定に使用していない洪水の再現性(予測精度)について評価する。落合橋地点における洪水の再現を目的として、落合橋地点の観測値のみでモデル定数を決定するケース 1 と、落合橋、寺家橋、浅山橋の 3 地点の観測値で決定するケース 2 を設ける。ケース 1 では流域全体で共通のモデル定数を設定し、ケース 2 では寺家橋、浅山橋の上流域及び落合橋上流の残流域の市街地において異なるモデル定数を設定する。

ケース 1、2 でモデル定数の最適化の水準を概ね等しくするため、モデル定数の同定作業は以下の 1)~5)の方針に基づき、図-3 の順序で行うこととした。ケース 2 では寺家橋流域、浅山橋流域でモデル定数を決定した後、落合橋残流域について一連の作業を行う。

- 1)対象洪水は表-1 に示す 6 洪水とする。落合橋地点のピーク流量が 300m³/s 以上と 100m³/s 程度以下のものが混在するが、洪水予測の実務を踏まえて 6 洪水に共通するモデル定数を同定する。
- 2)土木研究所が設定している標準パラメータ⁴⁾をモデル定数の初期値とする。
- 3)洪水波形を水位の立ち上がり、ピーク付近、下降部の 3 つのフェーズに分け、各フェーズ毎に洪水波形への影響が大きい 2~3 種類のモデル定数を選定し、最適な値を決定する。初期値周辺における感度分析の結果、水位の立ち上がりにおいては α, S_{f2} 、ピーク付近では α, f_0, N 、減水部では f_0, A_n が支配的であった(図-2,表-2 参照)。
- 4)水位の立ち上がり、減水部、ピーク付近の順に洪水波形の再現性を目安とし同定を行う。
- 5)6 洪水の再現性から最適な定数値を判断し、誤差指標を算定する。

表-1 検証対象洪水

No	発生年月日	ピーク流量 (m ³ /s)		
		落合橋	寺家橋	浅山橋
1	平成12年7月8日	397.5	152.3	99.3
2	平成22年12月2日	423.6	224.3	278.4
3	平成22年12月22日	97.1	46.9	34.7
4	平成23年8月26日	350.6	142.2	197.0
5	平成23年9月20日	65.3	32.1	27.6
6	平成23年11月19日	119.1	39.2	42.1

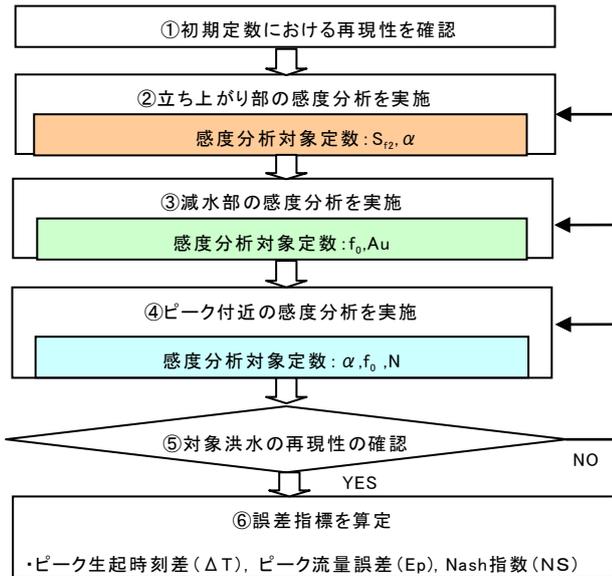


図-3 モデル定数の同定のための作業フロー

表-2 同定に使用したモデル定数の一覧

記号	モデル定数	洪水波形への影響
α	早い中間流出に係わる係数	早い中間流の流量
S_{12}	表層モデルの最大貯留高	表面流出の発生
f_0	最終浸透能	地表の浸透性
N	地表粗度係数	表面流の流量
Au	遅い中間流出に係わる係数	遅い中間流の流量

ケース1、2において同定された分布型流出モデルによる対象洪水の再現性を、ピーク流量発生時刻差(ΔT 分)、ピーク流量誤差率(E_p)、Nash指標(NS)で表す(図-4参照)。ケース2で同定されたモデルのほうがピーク流量について過小評価傾向にあるが、洪水波形やピーク時刻についてはケース1に比べ、高い再現性を有することが分かる。

また、同定に使用していない平成24年5月3日、9月21日の洪水を再現した結果を図-5に示す。ケース2においては、ピーク流量について比較的大きな5月の洪水で過大、比較的小さな9月洪水で過小傾向が見られたが、洪水の波形やピーク時刻についてケース1よりも高い再現性が見られた。

モデル定数の同定は、あくまでも図-3の作業フローの範囲で行われたものであり、同定結果が与えられた条件に対して、真に最適なものであるかについては確認できていないが、ケース2において同定地点を増やしたことにより、洪水流出をより適切に表現できた可能性がある。

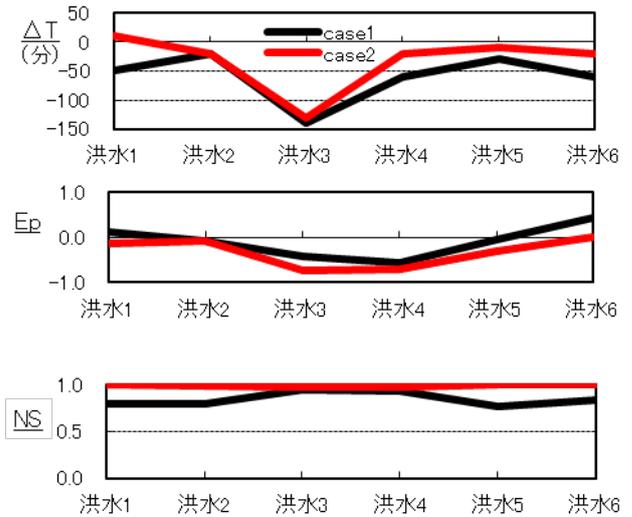


図-4 対象洪水の再現精度

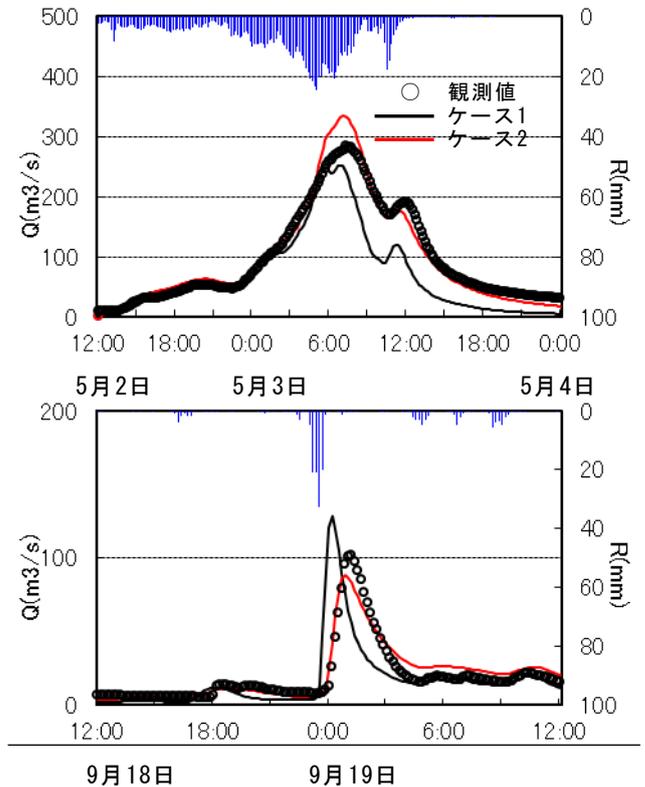


図-5 洪水の再現状況(落合橋地点)

4. 水位・流量の簡易・安価な観測技術

流域内の複数の洪水観測地点を利用し多様なモデル定数を設定することにより、流出特性をより高い精度で表現できる可能性を示した。しかし、全国の中小河川では流域内に水位観測所が1地点しか無い場合や、複数あるものの流量観測が行われていないため、流出解析の再現性の検証等に使用できない場合が多い。

水位観測については、圧力センサーとデータロガーを現地に据え付ける等により、比較的簡易かつ安価な観測が可能であるが、流出モデルでは洪水流量がアウトプットとなるため、水位だけでなく流量観測が必要となる。

流量観測は従来より浮子や接触型の流速計により行われてきたが、経験を有する技術者の確保とコストが課題となる。このため、既設の CCTV 等により撮影された河川水面の動画を利用することを視野に入れ、PIV*（粒子画像流速測定法）⁵⁾を現地で試行した。PIV は水面の凹凸を追跡し、パターンマッチングにより流体の移動量、つまり流速を算定するものである。

平成 23 年 9 月 21 日に行った PIV 及び浮子による流速観測結果は図-6 の通りであり、河川水面中央部分を広域に撮影した結果は浮子観測の結果と良く合ったが、ズームで撮影した結果を解析すると過大な値となった。河川流速の計測に適した撮影方法等について標準化が必要である。



図-6 撮影方法による観測結果の差違

5. まとめ

洪水予測の観点から、分布型流出モデルの洪水再現精度について検討した。将来的に種々のパターンの降雨とそれらによる洪水流量が観測され、これらが流出モデルに反映されることにより、モデル定数はより適切な値に調節されていくと考えられるが、流域内のきめ細かな流出特性を表現するためには、これら洪水に対していくつかの地点で観測を行い、流出モデルに反映することが必要と考えられる。

人口や資産の集積した地点や河川の整備水準の低い地点における洪水観測はそれ自体も危機管理に資するものであり、洪水の現況把握、予測、現象解明等の面から観測網の拡充が望まれる。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局：鶴見川水系河川整備基本方針、2004年5月。
- 2) 吉野文雄、吉谷純一、堀口輝亮：分布型流出モデルの開発と実流域への適用、土木技術資料、Vol.32-10、pp.54-59、1990。
- 3) 立川康人：流域水循環の数値モデルの進歩と今後の課題、土木学会水理委員会・海岸工学委員会、2002年9月。
- 4) 土木研究所水災害リスク・マネジメント国際センター：「発展途上国対応洪水予警報システムに関する研究開発」共同研究報告書、2008年11月。
- 5) 綾 史郎、露口 肇、柿木理史、室田有紀、藤田一郎：淀川下流部におけるPIVを用いた洪水時の流速観測、第44回水工学論文集、pp.455～460、2000。

伊藤弘之



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター水害研究室
研究員
Hiroyuki ITOU

飯野光則



国土交通省水管理・国土保全局保全課総合土砂企画官
Mitsunori IINO

平塚真里子



国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所調査課開発調査係長
Mariko HIRATSUKA

大浪裕之



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター水害研究室 研究員
Hiroyuki OONAMI

*土木用語解説：PIV(Particle Image Velocimetry)