

流域水害対策計画検討のための流出解析手法について

日本上下水道設計㈱ 名古屋総合事務所下水道部 西澤 政彦
河川事業本部河川部 ○館 紀昭

1. はじめに

平成 15 年 6 月に施行された特定都市河川浸水被害対策法（以下「新法」という）は、流域の市街化が著しく進み、あるいはその恐れがあり、河川事業（河道又は洪水調節ダムの整備）のみでは十分な治水効果を発現することが難しい特定都市河川を対象にして、河川管理者と下水道管理者等が共同して「流域水害対策計画」を策定し、浸水被害対策を推進しようとするものである。

流域水害対策計画検討のための流出解析手法には、特定都市河川流域内の調整池や新設する雨水貯留浸透施設の効果を適切に評価できることや、河川と下水道施設の相互影響を再現すること、氾濫解析において内水氾濫と外水氾濫の複合的な氾濫現象を扱えることができるモデルが必要となる。

従来より、河川計画では湛水ポンドモデル・二次元不定流モデルといった氾濫解析モデルが存在していたが、下水道施設の効果を十分に反映できない点や、流域が広大なため市街化区域内での道路湛水といった詳細検討が困難であるなど、市街地での浸水現象とそれへの対策を合理的に解析することが難しかった。一方近年では、下水道流出解析モデルを用いて流出解析を行い、施設計画の評価を行うことが多くなってきたが、内水域での水位・流量観測データが少ないため、モデル精度の点で問題が生じている。

愛知県内では、総合治水対策特定河川である庄内川水系新川が 2006 年に特定都市河川流域の指定を受け、平成 21 年 11 月現在境川・猿渡川流域（図-1）においても新法指定に向けた検討が進められている。本稿では特定都市下水道計画の検討過程において抽出された課題のうち以下の 3 事例について、従来の河川計画・下水道計画での考え方と比較し、技術的な考察を示すものである。

- ①市街化区域内の湛水状況把握のための地形モデル作成
- ②農地からの流出現象に対する評価
- ③将来土地利用を考慮した有効降雨モデルの作成

2. 技術的考察の事例

2. 1 市街化区域内の湛水状況把握のための地形モデル作成

これまでの下水道全体計画は、流域内（主に市街化区域）の計画雨水を全量処理できる（完全ドライ）施設規模が設定されてきた。新法では、雨水が地表面に湛水する現象を「冠水」（被害を伴わない浸水。多くの場合、雨水が道路を流れる程度の現象を指すこととしているが、定義は市町ごとに異なる設定が可能）と「浸水」（主に床下浸水以上の浸水状況）に区分し、概ね 20～30 年の期間内



図-1 境川・猿渡川流域概要図

に浸水被害を解消することを目標に、特定都市下水道計画が策定される。

境川・猿渡川流域では河川計画において、平面二次元不定流解析モデルを中心とした分布型モデルが構築済みで、湛水域の移動や計画の妥当性を評価するツールとして活用されていた。しかし下水道施設の効果が十分に反映できない点や、地形モデルのメッシュが大きいことで市街化区域内の詳細な浸水現象の把握が困難であるといった問題点から、新たに特定都市下水道計画における検討事項を表現できるモデルを構築する必要に迫られた。

そこで航空レーザー測量（図-2 参照）を実施して当該流域の地盤高データを取得し、統計処理を施すことにより 10m メッシュの地盤高モデルを作成し、路面冠水と宅地浸水の区別がつくレベルの解析モデルを構築した。また、10m メッシュの地形モデルを境川・猿渡川全域（約 27,000ha）に拡大し、下水道と河川の一体解析が可能なモデルを作成した。

2. 2 農地からの流出現象に対する評価

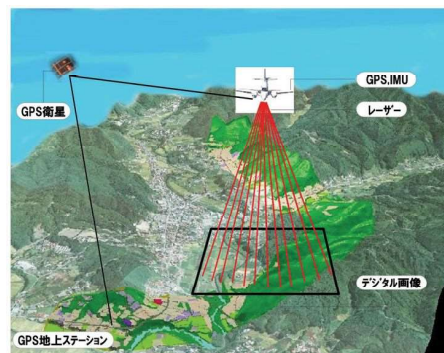
（1）下水道流出解析における現状

これまで新法の指定を受けている鶴見川や寝屋川と比較して、境川・猿渡川流域は河川沿いに農地が多く、内水排除の道程で農地を通過するケースも多数存在している。従来下水道計画では市街化区域内の流出現象を主として扱ってきたが、流域水害対策では農地湛水の現況非悪化を原則としており、特定都市下水道計画において下水道施設が農地湛水や農地施設へ与える影響を検討する必要がある。

下水道計画では一般に土地利用種別毎に表-1 に示す固定流出係数値を与え、排水区の平均流出係数をもって、施設計画が行われることが多い。

一方、河川計画では表-2 のように流域に同一の降雨があっても初期損失雨量が土地利用によって異なることを前提としたモデル(f_1 -Rsa 法)や、流域内の貯留・中間流出を考慮したタンクモデルを組み合わせた解析が行われている。

下水道計画と河川計画の流出解析モデルでは、農地からの流出に対する考え方で顕著な違いが見られる。特に水田の評価は難しく、水の無い状態で



・航空機から地表に向けてレーザービームを照射し、地表から反射してくるまでの時間差から、距離を測ります。
・地上のGPS基準局と航空機に搭載したGPS/IMU（ジャイロ）により、航空機の空間位置及び傾きを正確に把握できます。
・これらを反射ミラーのスキャニング角度と合わせて解析することで、地物の3次元的位置（XYZ）が計測できます。
・水平精度（XY）：±30cm 高さ精度（Z）：±15cm（メーカー値）

出典：http://www.ramse3d.com/laser/tech.html

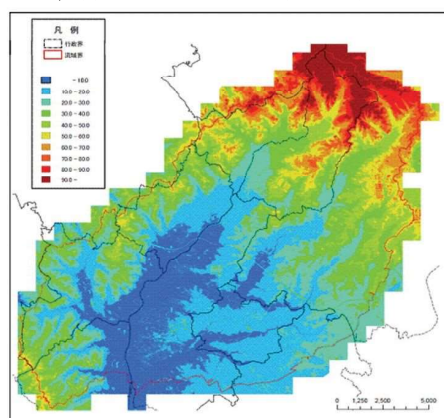


図-2 航空レーザー測量概要（上）と10mメッシュ境川・猿渡川流域地盤高図（下）

表-1 下水道計画の流出係数

土地利用	標準値	流出係数中央値
道路	0.8～0.9	0.85
公園	0.05～0.25	0.2
山林	0.20～0.40	0.3
間地	0.10～0.30	0.2
屋根	0.85～0.95	0.9
水面	1.0	1.0

「下水道施設計画・設計指針と解説」より

表-2 河川計画の流出係数標準値（上）及び有効降雨モデルパラメータ標準値（下）

□ 河川計画流出係数

土地利用	流出係数
密集市街地	0.9
一般市街地	0.8
畑、原野	0.6
水田	0.7
山地	0.7

	f_1	Rsa(mm)	fsa
田	0.0	50.0	1.0
山地	0.25	150.0	1.0
畑	0.15	300.0	0.6
市街地	0.6～0.9	55.0	1.0

「河川砂防技術基準（案）同解説 計画編」より

は流出係数 0 となり、水を張っている状態では 1.0 になるものと考えられるが、下水道計画では一般的にこの中間的な値（例えば固定流出係数 0.5）を用いて施設規模の根拠としていることが多い。最近では計算機・解析ソフトの発達により、下水道流出解析モデルを用いて流出解析を行い、施設計画の評価を行うことが多くなってきた。このような解析では、ソフトが提供する降雨損失モデルと表面流出モデルを使うことが一般的だが、検討過程がブラックボックス化しているため、これらを適正に評価し、モデルの精度を高める必要がある。

そこで、有効降雨の算出過程をより明確に意識できるよう、有効降雨を解析ソフト外で検討し、モデルに与える方法を試みた。

（２）検討方法

まず境川・猿渡川流域内の土地利用を図-3 に示す 8 種に分類し、各々の流出パラメータについて検討を行った。パラメータは下水道計画で使用される標準的な固定流出係数を基本とし、 f_1 -Rsa 法やタンクモデルの概念を取り入れる。

パラメータを種々に変化させ、別途流域内に設置した水位計の計測結果と計算結果の比較を繰り返すことで、パラメータの同定を行った。実績水位と計算水位の誤差評価は図-4 に示す指標を用いた。尚、解析ソフトとしては InfoworksCS 9.5 を使い、管内水理モデルと地表面氾濫モデルの同時解析を行っている。

（３）検討結果

a) 市街地（屋根・間地）

図-5 に、市街地（屋根・間地）での検討結果を示す。市街地に関しては、下水道計画で用いられてきた固定流出係数で実績水位をほぼ再現することができた。市街地はアスファルトやコンクリートで地表面が覆われているため、窪地のような地形的な損失や中間流出を考慮する必要がないこと、及び効率的な排水系統が整備されていることによって降雨→流出間の関係が比例的に対応するためと考えられる。

b) 水田

図-6 に、水田のパラメータ検討結果を示す。下水道計画で用いられている固定流出係数では、実績水位と計算結果で大きな乖離が見られた。これは、初期降雨が田面内で浸透・貯留されていることや、水田からの流出時に堰・オリフィスのような機構で流出が調整されていることが原因と考えられる。そこで、河川計画で使用されている f_1 -Rsa 法とタンクモデルを適用し調整を行ったところ、実績水位とほぼ一致する結果が得られた。

（４）水田の解析結果に関する考察

水田の流出解析においては、 f_1 -Rsa 法とタンクモデルの適用により、流出現象をほぼ再現する

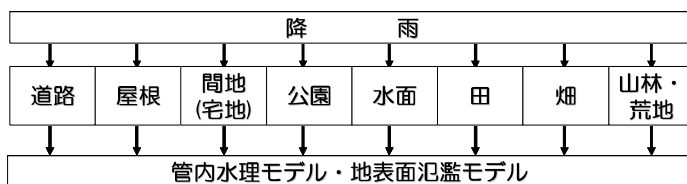


図-3 パラメータ設定の基本的な考え方
(土地利用分類)

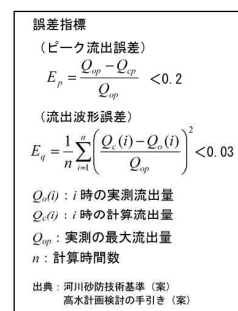


図-4 誤差検討方法

水位計上流の土地利用

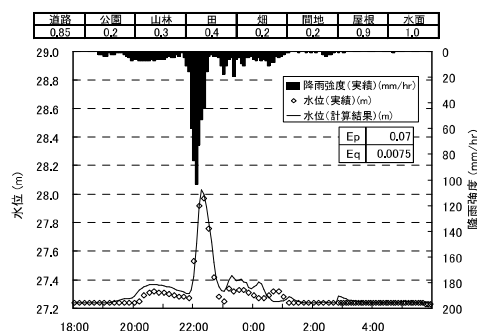
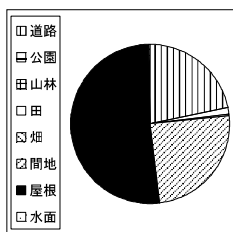


図-5 パラメータ検討結果 市街地（屋根・間地）

ことができた。境川・猿渡川流域内の水田には図-7 に示すような吐出し口径 $\phi 150\text{mm}$ 程度の排水マスが設置されており、このマスに流出調整機能が備わっているものと考えられる。また、本稿で検討したタンクモデルではピーク時に田面内で30～40cmの湛水が見込まれるキャリブレーション結果が得られたが、これについても図-7 に示すような水田面内での湛水深として、想定範囲内の値となっている。このように水田の計算結果は流域内の地形・施設要因による流出調整効果を見込んだものとして妥当な結果を示していると言える。

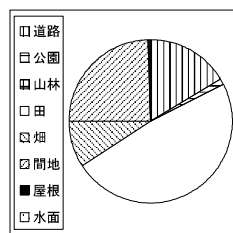
(5) 下水道計画と河川計画の差異に関する考察

下水道による雨水排除計画は、流域数十～百 ha、流達時間1時間未満の流域内の計画雨水を全量処理できる（地表面完全ドライ）計画となっており、図-8 に示す、雷雨型の降雨分布を対象としている。一方で河川計画は、下水道計画より広い流域、長い流達時間という特徴から、長時間にわたって降雨が続く状況（図-8、台風型の降雨分布）を対象に計画が立案されている。河川流出モデルでは以上のような特徴により、流域内の貯留を考慮したモデルや、流達時間内の中間流出・流出の非線形性（累積降雨・降雨継続時間による流出係数の変化）について検討が重ねられてきた。また、下水道計画と河川計画で設計条件が大きく異なることから、設計思想の違いについて整合が計られていなかったのが現状である。しかし、計画規模を超えた降雨が多発する現状において、特定都市下水道計画のように一部湛水許容の計画を策定するケースが出てきている。こうした状況下で流出解析モデルの重要性はより高まっており、効率的な計画策定のために従来の考え方にとらわれず、様々な考え方を取り入れていくことが重要であると考えられる。

2.3 将来土地利用を考慮した有効降雨モデルの作成

これまでの下水道計画は都市施設として、都市計画に定められている最終的な土地利用形態を踏まえて有効降雨が設定されてきたが、特定都市下水道計画の

水位計上流の土地利用



流出係数 0.4
→ f_1 -Rsa 法、タンク
モデルの適用
($f_1: 0.0$
Rsa: 35.0mm
fsa: 1.0)

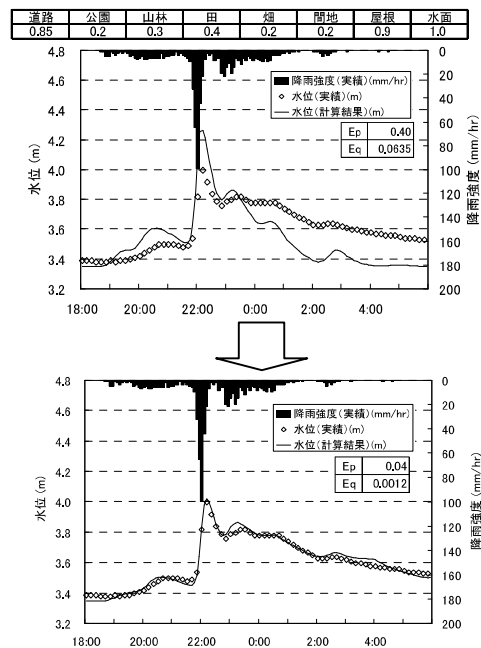


図-6 パラメータ検討結果 水田
(上：流出係数 0.4、下：パラメータ調整後)

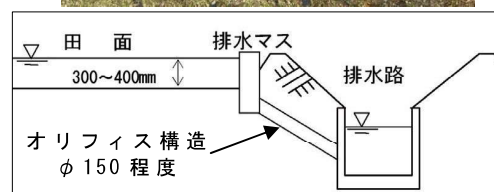


図-7 排水マス（上）及び
水田面湛水の模式図（下）

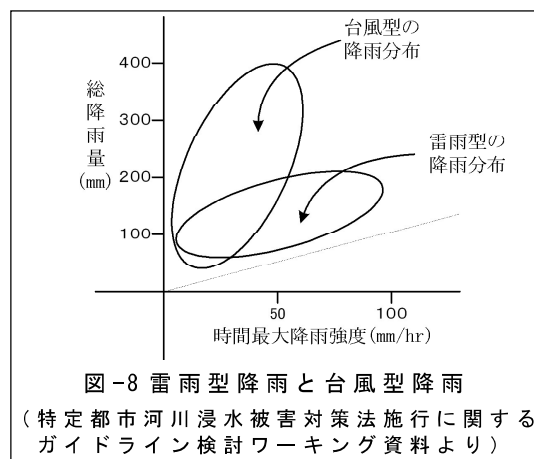


図-8 雷雨型降雨と台風型降雨
(特定都市河川浸水被害対策法施行に関する
ガイドライン検討ワーキング資料より)

策定に当たっては雨水流出域の土地利用を概ね 30 年後までの土地利用状況を的確に予測し、各々の状況に従い雨水流出量を算出し、対策内容に反映させる必要がある。

新法は法第 9 条にて、浸透阻害行為を行うものに対し流出抑制施設（以下「9 条施設」という）の設置を義務付けられるようになっている。ガイドラインの記載にしたがって、9 条施設の規模は、宅地流出係数 0.9 を基準として設定される。一方の下水道計画は、宅地を屋根（ $C=0.9$ ）と間地（ $C=0.2$ ）に区分し、流出係数 0.6 程度になることが一般的である。これに 9 条施設の流出抑制効果を見込んだとき、9 条措置が施される宅地等からの雨水流出量は、現況と同程度又はこれ以下となる。

しかし、下水道計画に 9 条施設を反映させるにあたっては 9 条施設の設置位置が未定である点や、9 条施設の容量算出に用いる流出係数（0.9）が、下水道計画で使用される流出係数（0.6 程度）と異なる点、開発規模（面積）ごとに設定される基準降雨が市町ごとに設定している下水道計画降雨と異なるといった課題がある。

そこで、おおむね 30 年後の市街化状況と 9 条施設の効果の双方を見込んだ有効降雨を作成（図-9 参照）して流出解析モデルに与えることで、下水道計画への反映を行った。

3. おわりに

本検討では航空レーザー測量による 10m メッシュ地形モデルの構築や、河川計画での降雨損失や表面流出モデルの考え方を取り入れて有効降雨を検討することで、市街化区域内の浸水状況や、農地を含む流域からの流出現象を高い精度で再現できるモデルの構築が可能となった。また、将来土地利用において、設置位置が不明な 9 条施設の効果を有効降雨に見込んで開発地に与えることで効率的な計画策定が可能となった。

流域水害対策計画はおおむね 30 年後までの市街化状況を想定して立案されている。しかし、将来の土地利用については不確実性を有すことから、計画の進行管理において土地利用状況を監視し、流出解析モデルを有効に活用して、対策効果のモニタリングを実施していくことが重要であると考ええる。

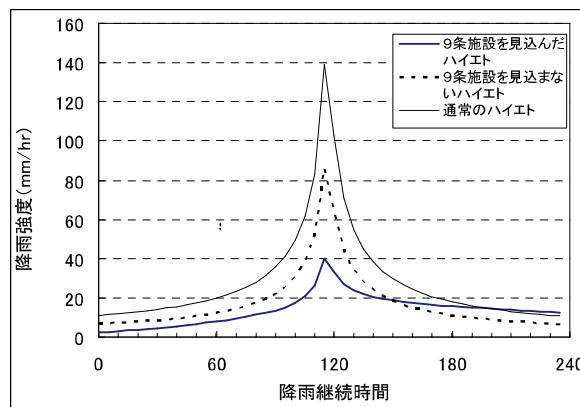


図-9 9 条施設を見込んだ有効降雨の例

【参考文献】 河川砂防技術基準（案）同解説 計画編 山海堂 1997 年
下水道施設計画・設計指針と解説 前編 （社）日本下水道協会 2001 年
土地改良事業計画設計基準 計画「排水」 （社）農業土木学会 2006 年
解説・特定都市河川浸水被害対策法施行に関するガイドライン （財）国土技術研究センター 2005 年

問合せ先：日本上下水道設計（株） 河川事業本部 河川部 館 紀昭

〒141-0031 品川区西五反田 7-20-9（KDX 西五反田ビル）

TEL：03-5745-2892 FAX：03-5745-2893 E-mail：Noriaki_Tate@njs.co.jp