

◆特集：自然災害に対応する危機管理技術◆

# 都市域での浸水現象解明のための新しい解析手法

水草浩一\*

## 1. はじめに

現在の都市域においては、人口および資産の集積が進み、過去の同規模の水害と比較しても、浸水に対する潜在的な被害規模・脆弱さが増していると考えられる。近年では、平成11年と15年に福岡市内、平成12年に名古屋市内の各大都市市街地で、また16年には、新潟県三条市、兵庫県豊岡市等の地方都市市街地でそれぞれ大規模な浸水被害が生じており、昨今の社会構造の変化を示す被災形態として民間部門における被害の大きさが注目された。民間部門の被災は、直接日常生活への影響につながるため、都市域においては、浸水対策を早急に進め、浸水による被害を最小限に食い止めることが非常に重要となっている。

これをふまえて、都市化が著しく進展し、浸水

被害に対して従来の河道の整備等による被害の防止が困難な流域を対象に、総合的な浸水被害対策を推進するための、特定都市河川浸水被害対策法が平成16年5月より施行されている。本法律は、特定都市河川および特定都市河川流域の指定、都市洪水想定区域・都市浸水想定区域の指定、総合的な浸水被害対策のための流域水害対策計画の策定等を行うことを求めている。これらを実施するためには、河川、下水道等の枠組みを越えた横断的な施策が不可欠であり、これから各方面は対応を求められることとなる。

国土技術政策総合研究所水害研究室では、都市域における浸水想定を行う際に適用可能な、浸水解析モデルの開発を過去より継続的に行っており、過去においても途中経過を本誌にて紹介した<sup>1)</sup>。また、既に実運用に用いられている他の解析モデルの活用を考慮した、都市域での浸水解析を行う際に留意すべき要点の検討、適切な浸水解析

手法の検討も行っている。本報では、現時点での本研究室で行っているこれらに関する研究、取り組みについて紹介する。

## 2. 特定都市河川浸水被害対策法

近年、洪水調節ダム、堤防・河道整備等の河川に対する各種施策の継続的な進展にともない、大河川の破堤や氾濫が少なくなってきており、相対的に社会の関心が図-1に示すように、内水氾濫や中小河川の洪水といった小規模でも頻度の高い現象へと移ってきている。しかし、特に内水氾濫や都市域における浸水は、局地的、突発的に発生し現象の把握が困難なため、排水路の整備や下水道管路網の拡充等によ

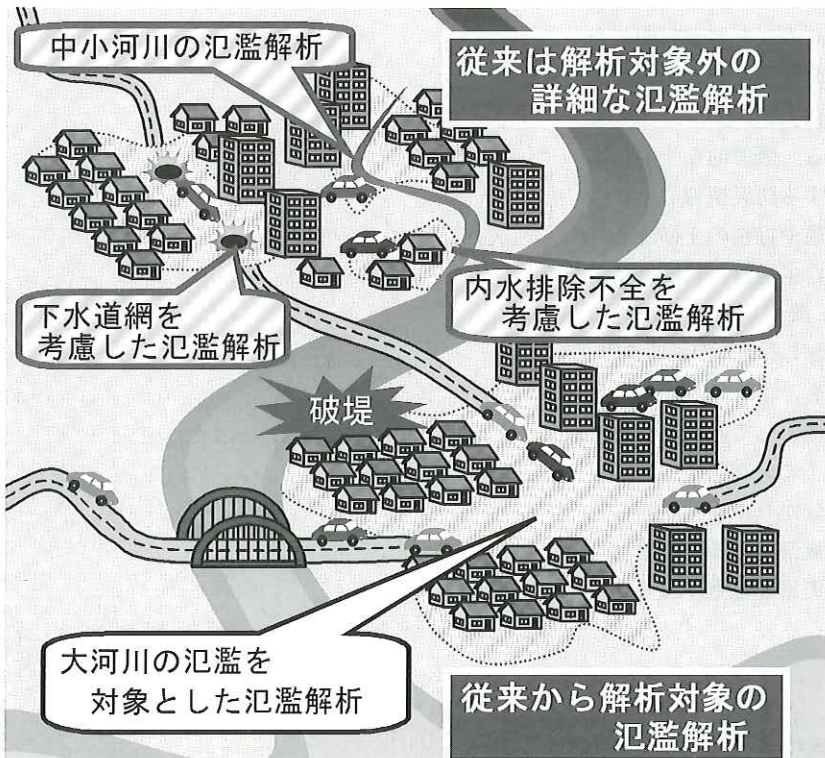


図-1 都市域における氾濫解析の必要性

る対処療法的な対応が主として用いられ、流域としての対策計画へ具体的に考慮・反映されることは稀であった。

従来は以上のような扱いのなされてきた内水氾濫や浸水に対し、総合的な浸水被害対策を推進するため、特定都市河川浸水被害対策法が制定された。なかでも、特定都市河川および特定都市河川流域の指定、都市洪水想定区域・都市浸水想定区域の指定は、河川、下水道を含めた複数の分野を横断するような施策の一つであり、総合的な施策の運営を関係各方面に求めている。そして、これら施策の推進にあたって、河川、下水道、流域状況を総合的に把握可能な解析モデルに対する要求が高まることが十分に想定される。

内水氾濫は外水氾濫と比較して浸水量が少ないため、従来の内水氾濫解析手法では小排水路や下水道等の施設が考慮されていなかったが、都市域では特にこれら施設が高度に発達しているためその影響・効果が無視できない。このため、内水氾濫解析として地表面浸水と下水道を解析し、結果を重ね合わせることで双方を表現する手法が提案され一部では実運用に用いられている。しかし、この異なる事象を独立に解析する手法では下水道と地表面の間で自由に水が移動する実現象を十分に表現できないため、都市域における内水氾濫をより精度良く解析するために、流域浸水状況と下水道を一体的かつ同時に解析可能なことが解析モデルに求められる必要条件であると、昨今は認識されつつある。

### 3. NILIM

特定都市河川浸水被害対策法に示されるような各種施策を推進する場合には、都市域の現状における想定浸水・氾濫状況を把握することが極めて重要であり、解析モデルを効果的に用いることが有効と考えられる。また本法律に関連して、下水道の水利と地表面浸水を一体的かつ同時に解析する浸水解析モデルに対する関心や必要性の認識が急速に高まっており、各方面でこのような解析モデルの研究や開発が活発に試みられている。

水害研究室でも、これらの背景を受け、都市域における流域浸水状況と下水道を一体的かつ同時に解析可能な都市域浸水解析モデルNILIM (New Integrated Lowland Inundation Model) の開発を行ってきたが、下水道と地表面との連結部分における水の挙動は非常に複雑であり、かつこの問題の解決が困難なため、解析モデルの実用化に向けた確認作業に時間を要し、当初の予定よりも開発およびプログラム公開が遅れた。現段階ではこの箇所の物理現象の把握が未解明なため、仮想的な理論に基づく数式を用いたという前提条件のもと、過日、都市域での浸水解析モデルを用いた浸

水想定を行う際の技術的手引きとなる、都市域氾濫解析モデル活用ガイドライン (案)<sup>2)</sup> とともにNILIMを一般に公開したところである。水害研究室では、NILIMに関して、主に下水道からの内水氾濫解析に主眼をおいたNILIM1.0と、外水氾濫も考慮可能なNILIM2.0の2種類に分類して、段階的な開発とプログラム公開を目指しており、過日公開したものはNILIM1.0に当たる。

NILIMは、極力計算パラメータを用いずに、物理方程式に基づく開水路流れ・満管流れおよびその遷移状態物理現象をそのまま表現できるよう構築している。また、図-2に示すように、下水道の水利計算を行う管路内解析、マンホール部における水の流出入量計算を行う溢水解析、マンホール部から溢水した水の拡散計算を行う浸水解析の、各概念を同時に解析しており、最大の特徴である下水道と地表面の一体的かつ同時に解析が可能となっている。ほかに、Fortran言語を採用したことによるデータベースの利用を前提としたプログラム構造、プログラムの改良・修正の容易性等の特徴を有する。

### 4. NILIM1.0と2.0の概要

NILIMは1.0と2.0ともに、下水道管渠内の水利解析に関しては基礎概念・式が同じであり、水位を条件として、開水路流れと圧力流れで下式のとおり基礎式を選択させている。

$$\text{【運動式】 } \frac{\partial h}{\partial x} = (S_o - S_f) = S_o - \left( \frac{n^2}{R^{4/3}} + \frac{k}{2gL} \right) \frac{Q^2}{A^2}$$

$$\text{【連続式(開水路流れ)】 } \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_m$$

$$\text{【連続式(圧力流れ)】 } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{C^2 \partial u}{g \partial x} = \frac{C^2}{g A_o} q_m$$

$Q, h$ : 流量, 水深	$S_o$ : 水路床勾配
$S_f$ : 摩擦損失勾配	$n$ : 粗度計数
$R$ : 径深	$K$ : 局所損失係数
$L$ : 排水路長さ	$A$ : 流水断面積
$A_o$ : 排水路断面積	$q_m$ : 横流入量
$C$ : 圧力波速度	$u$ : 流速

なお圧力流れの場合には、拡散方程式に対して、取り付け管による調圧効果を見込んでいる<sup>3)</sup>。

NILIM1.0と2.0の差異としては、下水道管路への集水方法が挙げられる。一般的に下水道は下水道台帳で管理され、その中でマンホール毎に集水面積が規定されており (一般的には亀甲状の形状)、下水道に主眼をおいたNILIM1.0ではデータベースを有効に活用するため、これに準じて亀甲

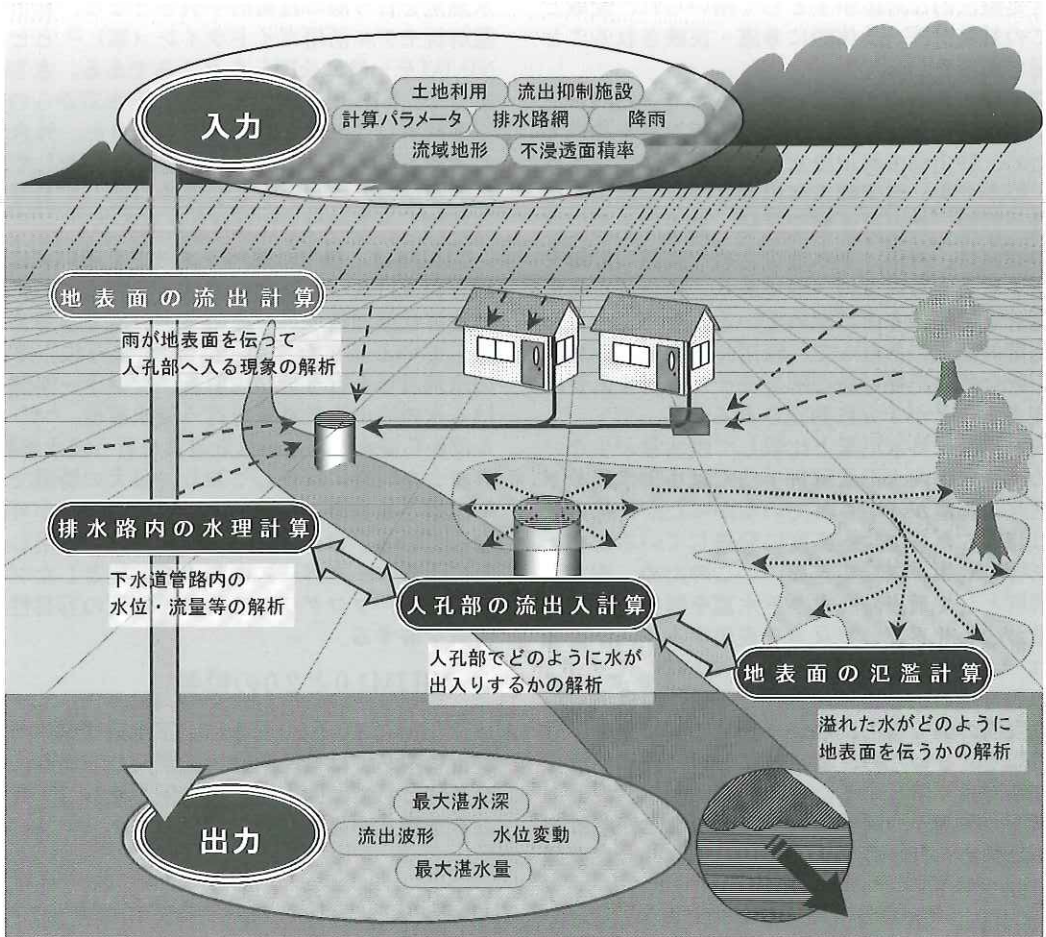


図-2 NILIMの解析の流れ図

状集水域からマンホールへ直接集水する算定手法を用いている。なお、マンホールから噴き出した溢水は、亀甲状集水域とは別設定の地表面メッシュを伝搬し、流下能力に余裕のあるマンホールから下水道へ再流入させている。

一方、NILIM2.0は河川氾濫に主眼をおいており、河道や堤防等に関するサブルーチンを組み込んでいることから、破堤・越水部、水門・樋門、揚水機場等における、内水と外水の水収支の同時解析が可能である。対象となる流域面積はNILIM1.0より広大になるため、計算速度向上のために下水道を簡略化させて入力（ランピング）させる必要がある。そこで、亀甲状集水域は用いず、降雨も浸水も全て地表面メッシュを経由して、流下能力に余裕のあるマンホールから下水道へ流入する算定手法を用いている。

### 5. NILIMの解析精度向上に係わる検討

現在NILIMでは、下水道から地表面への噴き出しおよび地表面から下水道への流入の算定は、

着目するマンホールの上下流管路の流下能力から求めている。

【マンホール部流出入判定式】

$$\begin{aligned} \text{湛水量} (t+dt) \\ = \text{湛水量} (t) + (\text{全流入量} - \text{下水道流下能力}) dt \end{aligned}$$

ここでの流下能力とは、着目マンホールとその上下流マンホールとの間の管路内動水勾配から求めており、動水勾配の向きによって負の値を持つ。この算定手法により、下水道内の逆流解析のほか分岐管解析も可能である。

しかし、この算定手法がマンホール部における実際の水理現象を表現できているかどうかの確認は、現段階ではされていない。これには、

- ・マンホールの実施設は地表面下に敷設されるため、現象の把握が困難
- ・下水道内の現象を把握するために設置する機材（水位計、圧力センサー等）の、満管時に示す値の意味が不明
- ・実際の下水道には取り付け管や集水枡等マンホー

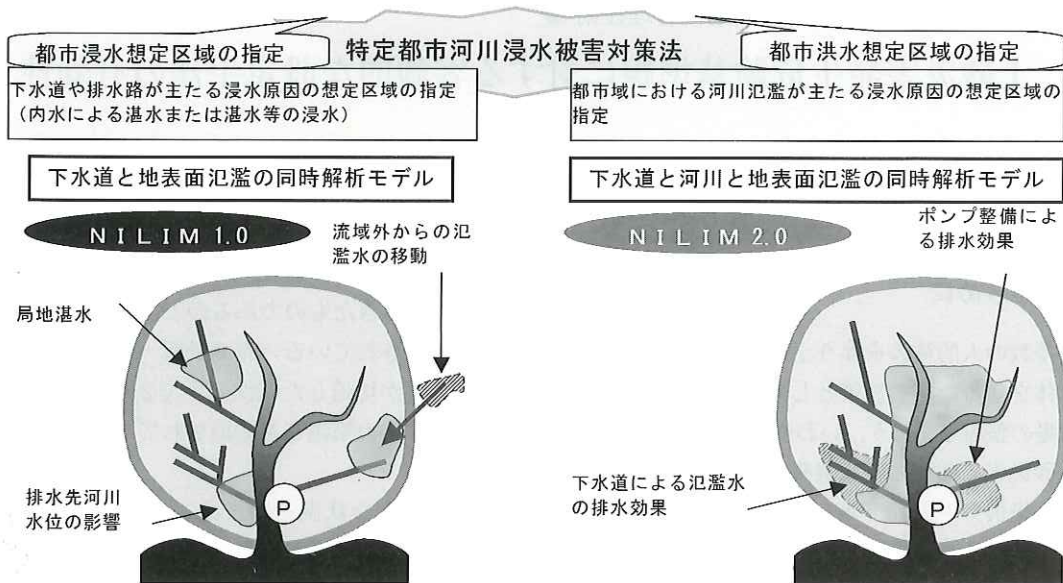


図-3 NILIM1.0および2.0の適用想定分野

ル以外の開口部開度の把握の困難な施設が多い・マンホール部における水深によって大きく変化するマンホール部損失の取り扱いが煩雑等の問題点や未解明現象の存在が主な原因として挙げられる。

そこで、水害研究室ではNILIMのマンホール部における算定手法の妥当性を検討するために、マンホール部での流出入量の把握に着目した模型実験を今後行う予定である。この実験により、マンホール部での水理学的な現象の把握ができれば、NILIMの解析精度や物理・水理学的な現象表現の信頼性の向上を図ることが可能となる。またそれだけでなく、NILIMとは異なる算定手法（例えばプライスマンスロット）を用いている他の下水道解析モデルの妥当性についての検討が可能になるため、意義的な実験として各方面からその成果に注目が集まっているところである。

## 6. おわりに

都市域における浸水現象を解析する場合は、非常に複雑な物理現象を取り扱うため、本研究室ではNILIM1.0と2.0に分け、段階的な開発を行ってきた。図-3に示すとおり、特定都市河川浸水被害対策法などに関連して、これら浸水解析モデルに対する需要は今後増加すると予想されるが、実際の施策で活用する場合は、モデルの特性を十分に把握した上で取り扱うことが重要である。

なお、特定都市河川浸水被害対策法における都市洪水想定区域の検討では、都市域での浸水現象に下水道の効果や影響を見込むことを求めているため、現段階では従来の二次元不定流解析モデ

ルによる浸水解析でも十分に対応可能である。しかし、下水道を解析に考慮可能なNILIM2.0の開発を継続しプログラムを公開することで、今後我が国における都市域での浸水解析の、より一層の高度化を図ることが可能になると考えられる。

## 参考文献

- 1) 水草浩一、廣木謙三：下水道管渠網を組み込んだ氾濫解析モデルの構築：土木技術資料第45巻第12号；2003.12
- 2) 中村徹立、佐々木淑充、水草浩一：都市域氾濫解析モデル活用ガイドライン（案）—都市浸水—：国土技術政策総合研究所資料第202号，2004.11
- 3) 渡辺政広、竹内 明、川裾利雄：取付管の調圧効果を考慮した下水道管渠網の雨水流出モデル、第33回水理講演会論文集，1989.2

水草浩一\*



国土技術政策総合研究所企画部企画課建設専門官（前 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官）  
Koichi MIZUKUSA