



所属名：鹿島建設(株)

発表者：井関 泰文

1. はじめに

近年、集中豪雨による都市域での水害が頻発している。我が国では国土の 10% を占める都市域に人口の 50%、資産の 75% が集中しているが、この地域の多くは想定氾濫区域内にあり、現在でも全国 450 もの市町村で慢性的な床上浸水が発生していると言われて¹⁾。これらを背景として都市型水害防止に向けた新法「特定都市河川浸水被害対策法」が 2004 年 5 月に施行された。特定都市河川浸水被害対策法の概要を図 - 1 に示す²⁾。この法律は従来を越えた総合的な対策の実施を目的としており、河川、下水道が連携した治水対策の検討の重要性も強調されている。

本報では、よりの確な都市型水害対策等の検討のベースとして都市域の雨水流出・排水現象を精度よく再現するために開発した解析システムを紹介する。水理学的な基礎方程式などの詳細は参考文献³⁾⁴⁾に譲り、ここでは、解析実務の効率化向上のため GIS (地理情報システム) 技術を高度に駆使した解析データ作成、結果表示の支援機能を中心に紹介する。なお、本開発は井上前京都大学防災研究所長の研究指導を受け、中部大学松尾教授、武田助教授と鹿島との共同研究によるものである。

2. システムの概要

本システムのイメージを図 - 2 に示す。本システムでは地表面氾濫解析、下水管路流解析、河川流解析を連成できるため、複雑な都市域の雨水流出・排水現象を総合的に再現できる。また、解析作業のプレ・ポスト処理には、GIS 技術を用いて解析に必要なデータ類の作成を効率的に行う「データ作成支援システム」、解析結果を簡単な操作でビジュアルに表示する「解析結果表示システム」を併せて開発している。

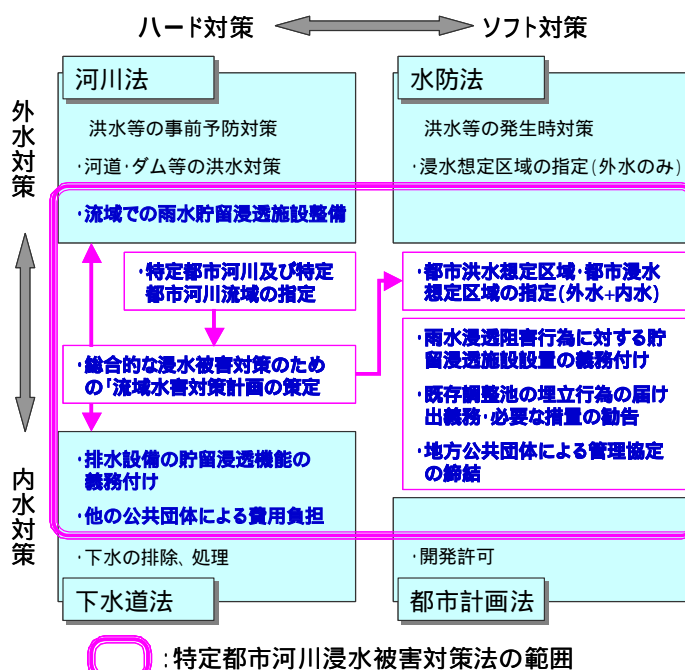


図 - 1 特定都市河川浸水被害対策法の概要

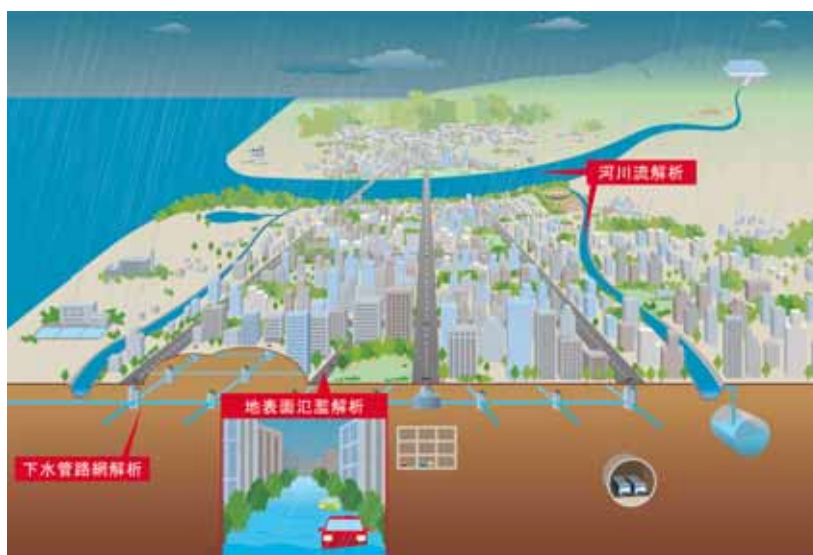


図 - 2 都市型水害予測解析システムのイメージ

(1) システムの構成

解析本体部

解析の主要部は地表面氾濫解析、下水管路流解析及び河川流解析の3つで構成される。その他に水路流解析も組入れることが可能である。各解析モデルは以下のものを適用している。

a) 地表面氾濫解析

地表面氾濫解析には一般的に用いられる二次元不定流モデルを適用した。数値解析の離散化には差分法を適用し、デカルト座標系の矩形要素により逐次計算している。また、都市域の地表面氾濫流において重要な要因となる建物の影響については、建物占有率（解析格子内で建物が占める面積の割合）から求めた洪水透過率により評価する。

b) 下水管路流解析

下水管路流モデルはマンホール（人孔）とそれを結ぶ管路からなり、必要に応じてポンプや貯留機能を設定できる。管路モデルは満管状態と開水路状態を分けずに表現できる“プライスマンロットモデル”を適用している。また、地表面氾濫流と下水管路との水の受渡しは人孔を介して行う。

c) 河川流解析

河川流解析には河川の洪水解析に一般的に用いられている一次元不定流モデルを適用した。地表面氾濫流と河川との水の受渡しは、河川堤防を挟んで両者の水位関係から越流公式を用いて計算する。また、河川と下水道との水の受渡しは、両者の連結部における河川水位と下水管路のピエゾ水頭との関係から計算する。

d) 水路流解析

水路が多く存在する場合、河川として取り扱うのではなく、矩形要素の辺に水路を沿わせて、移流項を省略した運動量方程式、連続式で水路内の水理現象を解析している。水路流を考慮する場合には、両岸からの越流現象が再現できるモデルとなっており、地表面氾濫解析においてもその影響が考慮される。

プレ・ポスト処理部

a) プレ処理部（データ作成支援システム）

解析で使用するデータを表 - 1 に示す。プレ処理用に以下の解析入力データを GIS 上に表示しながら設定・修正できるシステムを開発した。

- ・解析範囲
- ・解析格子
- ・標高データ
- ・建物占有率データ
- ・堤防・盛土データ
- ・河川データ
- ・水路データ
- ・下水道データ
- ・河川 / 水路と氾濫域との接続データ
- ・降雨パターン領域

表 - 1 解析用入力データ

	作成データ（解析用入力データ）
地表面関連	<ul style="list-style-type: none"> ・境界条件 ・解析範囲・解析格子幅 ・標高 ・建物占有率 ・堤防・盛土
下水道関連	<ul style="list-style-type: none"> ・管渠（断面、管径、管底高） ・人孔 ・ポンプ場 ・貯留施設
河川関連	<ul style="list-style-type: none"> ・境界条件 ・線形、断面、河床標高
水路関連	<ul style="list-style-type: none"> ・境界条件 ・線形、断面、水路床標高
降雨関連	<ul style="list-style-type: none"> ・降雨パターン領域 ・降雨パターン

b) ポスト処理部（解析結果表示システム）

表 - 2 に表示できる解析結果の種類を示す。

解析結果表示システムでは、解析結果を簡単な操作で GIS 上に表示できる。また、時々刻々の流出変化状況をアニメーション表示できる。これらの機能は解析担当者が解析結果の妥当性を確認することを支援すると共に、専門家でない方々への解り易い解析結果説明を可能としている。

(2) システムの特徴

一体的な雨水流出・排水解析システム

地表面氾濫、下水道管路流、河川流を一体として解析するため、雨水流出・排水現象を精度良く再現できる。このため、様々な治水対策施設の効果を合理的に評価でき、治水関連施設管理や災害時の避難解析への適用も考えられる。

微地形を考慮した解析

地形の複雑な市街地を精度良く解析するには、地形をなるべく詳しくモデル化する必要がある。本システムでは精度の良い地形モデルを作成するため、10m という細かい解析格子幅（従来は50m、100m が一般的）の適用を可能とした。

データ作成から結果表示まで一貫した解析処理システム

解析には表 - 1 に示す多くのデータが必要となる。これらのデータ作成からデータチェック、解析、結果表示といった一貫処理システムを構築したことで、解析作業の大幅な効率化を可能にした。

一例として、下水管路データ作成システムを紹介する。図 - 3 は電子化された下水道台帳データを解析システムに取り込んだ後、データ中の明らかな間違いを事前チェックする機能を示す。チェックパラメータは勾配、土被り、人孔管底高、流入管本数などであり、上・下限値を入力するとそれから外れる管を赤く表示する。表示された管を含む平面地区を画面上で指定すると、地区内の下水管路網が図 - 4 のように 3 次元表示され視覚的な確認も可能である。さらに、同表示システムの管路網平面図から修正が必要な管路を指定すると管路縦断図とともに修正画面が表示され、非常に簡単に管径や勾配などを修正できる。

表 - 2 解析結果の種類

	解析結果
地表面関連	<ul style="list-style-type: none"> ・浸水深分布図 ・浸水深時間変化図 ・任意設定箇所浸水断面図 ・流量・流向分布図 ・流速・流向分布図
下水道関連	<ul style="list-style-type: none"> ・管路状態図（満管、非満管） ・管路流量・流向図 ・管路縦断水位状況図 ・人孔状態（溢水、非溢水）
河川・水路関連	<ul style="list-style-type: none"> ・横断水位図 ・縦断水位図

(: 下水道水が人孔から地表面に噴き出す状況)



図 - 3 下水管路データチェック結果表示

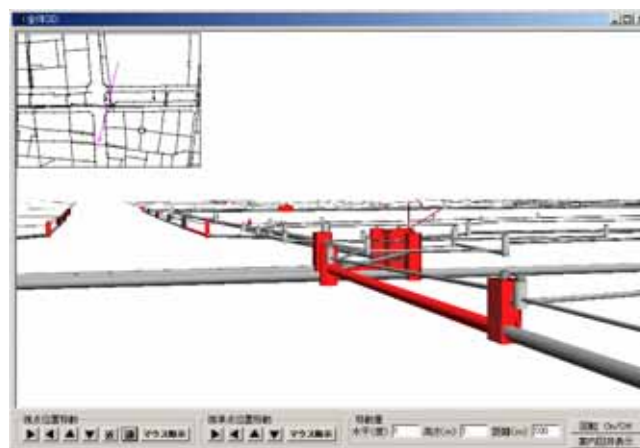


図 - 4 下水管路網 3 次元表示

3. モデル解析例

以下、実地域のモデル解析の事例とともに、ポスト処理（解析結果表示）システムを紹介する。

(1) 解析 A

過密市街地の解析である。下水道台帳によると、当地域は解析対象面積約 140ha に下水管路が約 1,400 本（二つの人孔間管渠を 1 本とする）張り巡らされている。図 - 5 にモデル地域の家形図と主要な下水管路網、図 - 6 に地表面標高図を示す。この標高データは精度の高いレーザープロファイラ（航空機等から地表に向けてレーザーを照射し、標高を計測する技術）によるデータを基に作成した。また、標高差の大きい過密市街地ということから解析格子は 10 m 幅とした。このモデル解析では仮定の貯留施設を設置した比較解析を行い、その効果を確認できた。



図 - 5 モデル地域の家形及び下水管路図

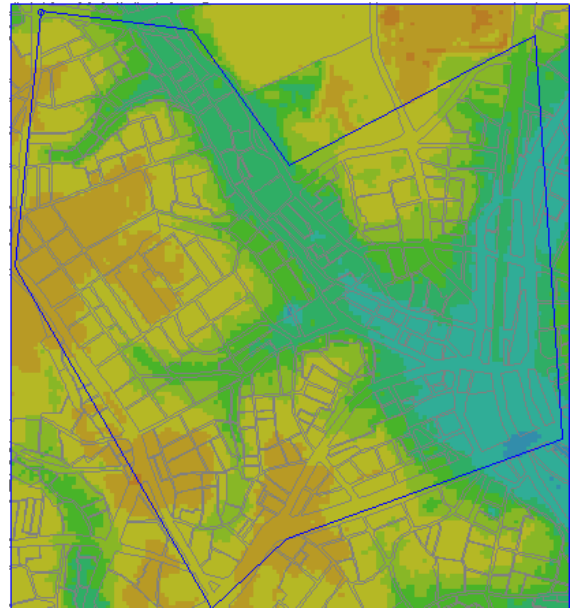


図 - 6 地表面標高図（濃い青が谷地）

(2) 解析 B

約 125km²という広大な地域を解析した。当地域には約 12 万本の下水管路が整備（下水道台帳）されているが、解析効率の面から管径 600 以上の下水管路約 2 万本を自動抽出しモデル化した。図 - 7 に浸水深分布図の一部を示す。当地域の過去の浸水実績と同様な傾向の解析結果となった。このシステムでは浸水深分布表示画面上で、指定した任意地点の浸水深の時間変化図を表示できる。表示例を図 - 8 に示す。また、下水管路、河川の縦断水位図例をそれぞれ図 - 9、図 - 10 に示す。

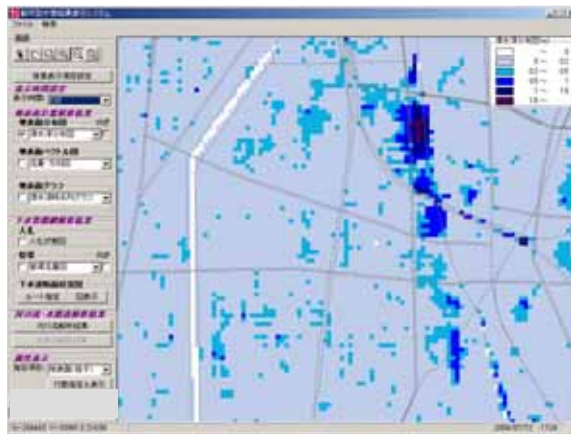


図 - 7 浸水深分布図

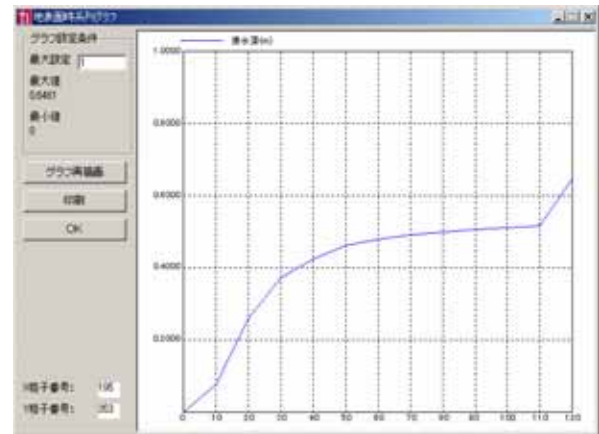


図 - 8 浸水深の時間変化

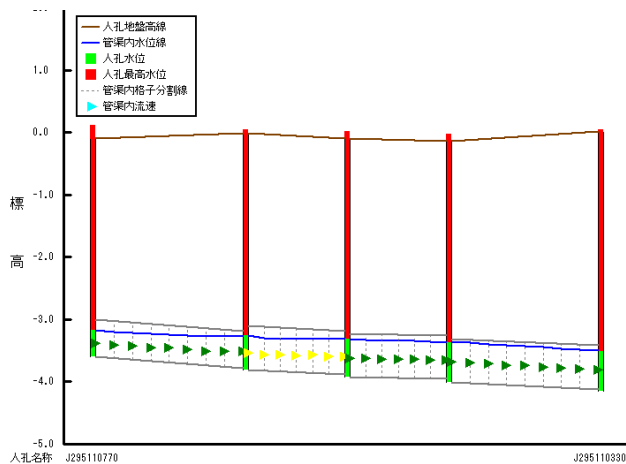


図 - 9 下水管路縦断水位図

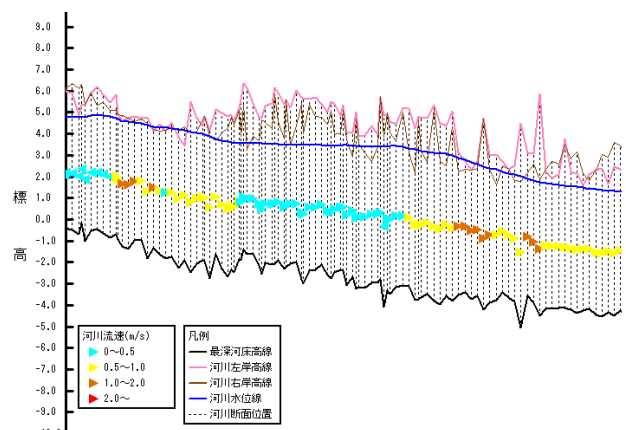


図 - 10 河川縦断水位図

(3) 解析C

解析Cにおける解析条件は対象面積約500ha、下水管路約1,000本(下水道台帳)である。また、この地区には多くの開水路があり、62本の水路をモデル化した。図-11に水路水深図を示す。解析の結果、水路水深分布の変動を確認することができた。また、浸水分布実績とも概ね合う結果となり、このように複雑な水路を持つ地域においても本システムの適用性を確認できた。

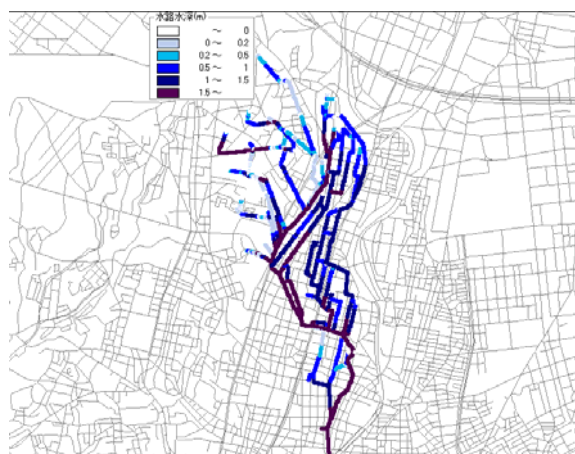


図-11 水路水深図

以上のモデル解析の解析条件概要を表-3に示す。

表-3 解析条件一覧表

	解析対象面積 (ha)	標高差 (m)	下水管路 (本)	その他条件
解析A	140	29	約1,400本	過密市街地
解析B	12,500	148	約20,000本	2河川
解析C	500	45	約1,000本	開水路62本

4. 今後の展開

都市型水害の水理現象には多くの要素が係っており非常に複雑である。このため、上述の通り条件の異なるいくつかのモデル解析を実施してきた。いずれの解析結果も洪水実績と概ね合う結果となった。モデル解析を行ったエリアにはそれぞれ特徴があり、それに合せるようにシステムの高度化を実現することができた。既にポンプや簡単な貯水施設のモデルはシステムに組み込んでいるが、今後は様々な条件に対しても解析できるようにその他の各種水理施設等をモデル化する予定である。今後は、本システムの活用を国や自治体などの各方面に提案し、解析実施機会を増やしなが、将来的には水防診断、計画、管理など幅広い分野で貢献できるシステムにしていきたいと考えている。

水害予測解析では膨大なデータ作成が必要となる。現在、各自治体で進められている下水道台帳等の電子化や国交省等で進められている中小河川の三次元電子地図整備等に注目している。また、今後多くの地域で特定都市河川浸水被害対策法の適用に際し、本システムが有効に活用されることを期待している。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：防災の知識 - 防災のための街づくり - , 国土交通省河川局ホームページ
- 2) 国土交通省：特定都市河川浸水被害対策法の概要, 国土交通省河川局ホームページ
- 3) 武田 誠・松尾直規：氾濫水に与える下水道システムの影響に関する数値解析的検討、水工学論文集、第44巻、pp.467-472、2000年2月
- 4) 大坪郁宜・櫻井耕史・武田 誠・松尾直規：GISを用いた氾濫解析システムに関する研究、水工学論文集、第45巻、pp.877-882、2001年2月