

都市型水害の現状と 流出解析モデルを用いた内水解析及び対策検討

山下 茂

近年、多数の台風襲来やいわゆる「ゲリラ豪雨」と呼ばれる局地的集中豪雨が頻発している。これに伴い、都市部における水害被災リスク、すなわち「都市型水害リスク」が増大している。

水害というと、一般には河川の破堤や溢水により生じる事象である「外水による被害」や、土石流や崖崩れ等の「土砂災害」をイメージされる方がほとんどであろう。しかしながら、実は水害による被害、特に近年頻発している都市型水害による物的被害額は、下水道や町中の水路等の溢水や氾濫による「内水による被害」が外水等によるそれをはるかに上まわっている。

本稿では、近年における都市型水害の現状と、筆者が日常実務として携わっている流出解析モデルを用いた内水解析及び対策検討について述べる。

キーワード：流出解析モデル、都市型水害、浸水対策、内水排除計画、内水ハザードマップ

1. はじめに

国土の約7割を山地が占めるわが国では、氾濫原を主体とする少ない平地部に、人口の約50%、資産の約75%が集積している。このため、わが国は水害に対し非常に脆弱な都市構造であるといえる。

一方、近年地球温暖化やこれに伴うヒートアイランド現象等が遠因とされる局所的集中豪雨が増加しており、これにより、資産集中や地下空間利用の進展等都市機能の高度化が進んだ都市部における水害リスクの増大が顕在化している。

2. 都市型水害の現状

(1) 降雨強度の増大と強い雨の頻度の増加

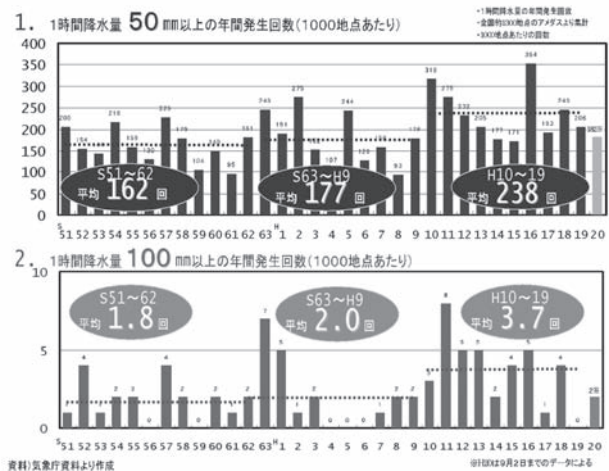
昨今、台風の異常発生や局所的な集中豪雨が頻発している。表1は気象庁が定義した雨の強さの程度を示す基準である。時間雨量30mm/hr以上はバケツをひっくり返したような激しい雨となり、小規模な水害の発生が懸念される状態となる。時間雨量50mm/hr以上になると、水害発生リスクが高まるほか、外出や車の運転等も危険な状況となる。さらに時間雨量が80mm/hr以上となると、甚大な水害が発生する危険性が高まる。

一方、図1は昭和52年から平成19年までの豪雨発生頻度をまとめたものである。これを見るとわかる

表一 時間雨量と雨の強さの目安

時間雨量 (mm)	予報用語	人の受けるイメージ	人への影響	屋内			災害発生状況
				(木造住宅を想定)	屋外の様子	車に乗っていて	
10以上～20未満	やや強い雨	ザーザーと流る	地面からの跳ね返りや足元がぬれる	雨の音で話し声が良く聞き取れない	地面一面に水たまりができる		この程度の雨でも長く続く時は注意が必要
20以上～30未満	強い雨	どしゃ降り	傘をさしていてもぬれる		高層階階層で水たまりが川のようになる	ファイバーを走くしても見づらい	側溝や下水、小さな川がある。小規模の屋漏れが始まる
30以上～50未満	激しい雨	バケツをひっくり返したように流る		寝ている人の半数くらいが雨に気がつく	道路が川のようになる	高層階階層で水たまりが川のようになる	山崩れ・崖崩れが起きやすくなり危険地帯では避難の準備が必要 都市では下水道から雨水があふれる
50以上～80未満	非常に激しい雨	溝のように深る(ゴブゴブと降り続く)	傘は全く役に立たなくなる		水しぶきであたり一面が白っぽくなり視界が悪くなる		都市部で地下室や地下街に雨水が溜り込む場合がある トンネルから水が噴出 土石流が起こりやすい 多くの災害が発生する
80以上～	猛烈な雨	懸念されるような圧迫感がある。恐怖を感じる					用による大規模な災害の発生するおそれ強く、嚴重な警戒が必要

出典：気象庁基準に基づき作成



図一 最近30年間の豪雨発生頻度の状況
出典：水害レポート2008（国土交通省）

ように、ここ30年で時間雨量50mm/hrの「激しい雨」の発生回数は約1.5倍、さらに時間雨量100mm/hr以上の甚大な水害に直結しかねない「猛烈な雨」の発生頻度は約2倍に増加している。

平成19年11月にIPCC（気候変動に関する政府間パネル）が第4次報告書を示した。環境省ではこの結果に基づき、地球温暖化がもたらすわが国への影響について『地球温暖化「日本への影響」～長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価～』を発表した。この中で、今後最も厳しいレベルの温室効果ガス抑制施策（二酸化炭素を450ppmに抑制する）を実施したとしても、21世紀半ば頃までは降雨強度の増大と強い雨の頻度増加の傾向は続くとしている。

(2) 内水被害の拡大

図-2及び表-2は、平成19年度の水害被害額について原因別に示したものである。

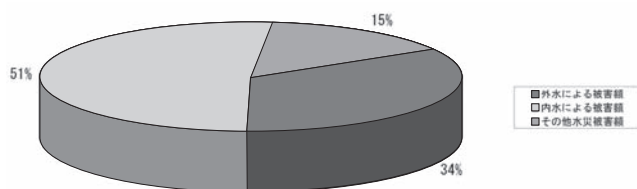


図-2 原因別水害被害構成比 (平成19年度)

表-2 原因別水害被害額 (平成19年度)

原因	一般資産等被害額 (千円)				公益事業等被害額 (千円)				合計 (千円)	
	被害額	構成比	被害額	構成比	被害額	構成比	被害額	構成比	被害額	構成比
■ 外水による浸水	17,466	37.9%	1,746	19.8%	19,212	34.9%	181	6.8%	19,391	33.7%
破堤	2,296	5	360	4.1	2,656	4.8	30	1.1	2,685	4.7
有堤部洪水	4,483	9.7	726	8.2	5,209	9.5	92	3.5	5,300	9.2
無堤部洪水	10,687	23.2	660	7.5	11,347	20.6	59	2.2	11,406	19.8
■ 内水による浸水	22,630	49.1%	6,782	76.5%	29,394	53.5%	170	6.4%	29,564	51.3%
内水氾濫	22,595	49	6,747	76.3	29,343	53.4	170	6.4	29,513	51.2
窪地内水	35	0.1	15	0.2	51	0.1	0	0	51	0.1
■ その他の水災	6,382	13.8%	331	3.8%	6,382	11.5%	2,296	86.7%	8,659	15.1%
洗掘・流失	20	0	1	0	21	0	730	27.6	751	1.3
土石流	1,032	2.2	0	0	1,032	1.9	102	3.9	1,134	2
地すべり	359	0.8	86	1	445	0.8	125	4.7	570	1
急傾斜地崩壊	1,517	3.3	0	0	1,517	2.8	558	21.1	2,075	3.6
高潮	402	0.9	0	0	402	0.7	1	0	403	0.7
津波	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
波浪	5	0	0	0	5	0	91	3.4	96	0.2
その他	2,696	5.8	244	2.8	2,940	5.3	689	26	3,629	6.3
合計	46,127	100%	8,839	100%	54,968	100%	2,647	100%	57,614	100%

出典：平成19年度水害統計より作成

水害というと、「河川の氾濫や破堤等による外水被害」、「土石流や斜面崩壊等の土砂災害」等を思い浮かべる方が多いと思う。たしかに人的被害等、甚大な被害は外水や土砂災害によるものが多くを占める。しかしながら、この図表が示すとおり、平成19年度に発生した水害を資産等物的被害の額に着目した場合は、内水による被害額が実に全体の半分以上を占めている。

さらに、平成6年度から平成15年度までの水害被

害額について、原因を「内水」「外水など内水以外」の2つに分類、全国及び東京都でそれぞれ集計したデータを図-3に示す。東京都では、水害被害額の実に9割以上が内水によるものとなっている。このように、近年の都市型水害において、その被害の原因の大部分が内水によるものとなっている。

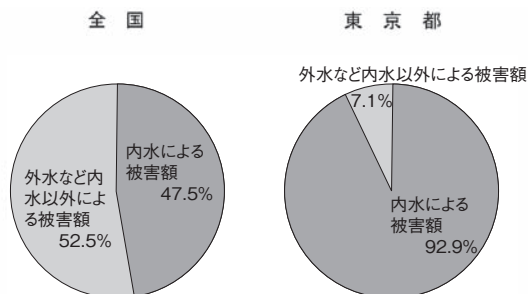


図-3 H6～H15・10年間の原因別水害被害額構成比
出典：平成18年版国土交通白書

3. これまでの検討手法と問題点

(1) これまでの検討手法

都市部における内水対策は、これまでにも主に公共下水道事業（合流式及び分流式雨水）として精力的に進められてきた。

公共下水道における雨水排除計画策定は、中小河川と同様、合理式（ラショナル式）による流出解析によって行う。具体的には、対象流域に管路や水路系統を計画し、これに基づいて流域を細かく分割（俗に亀の甲を割ると表現している）した区画割施設平面図（図-4参照）を作成する。この区画割施設平面図に沿って、路線（原則として流入地点から次の流入地点までが一つの路線となる）毎にピーク流量を算定する。具体的には下水道事業特有の流量計算表（表-3）という一覧表に、路線毎の追加面積（流域面積）、追加延長（最長延長）、流達時間（洪水到達時間）、雨水流出量、そ

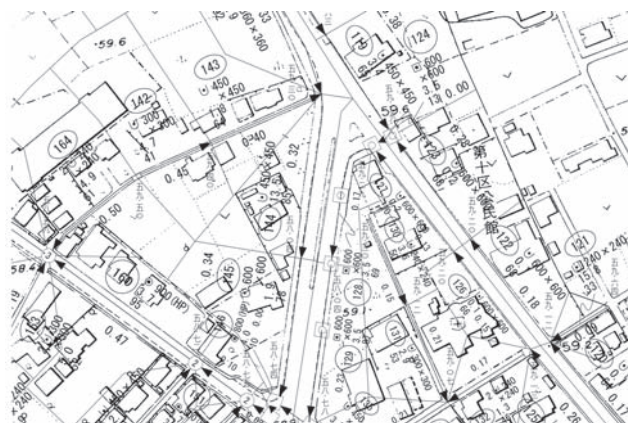
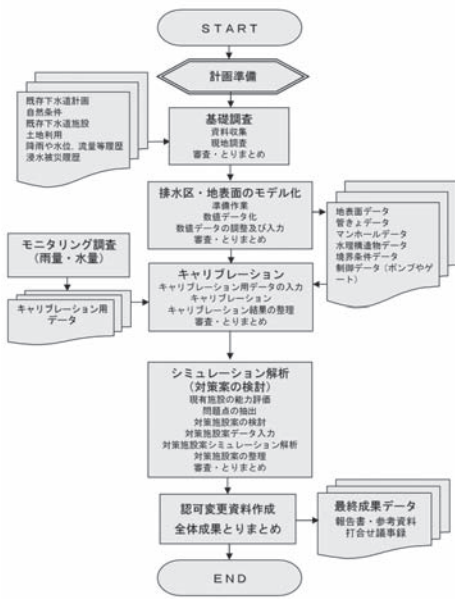


図-4 区画割施設平面図の例

称が変更している)を創設, 事業計画手順を「下水道総合浸水対策策定マニュアル(案)」「内水ハザードマップ作成の手引き(案)」としてとりまとめた。この中で, 浸水対策施設の検討や浸水想定のための標準的な手法として, 流出解析モデルによる内水解析が示されている。

5. 検討手順と留意点

検討手順について, 図一5にフローを示した。



図一5 検討フロー

(1) 基礎調査

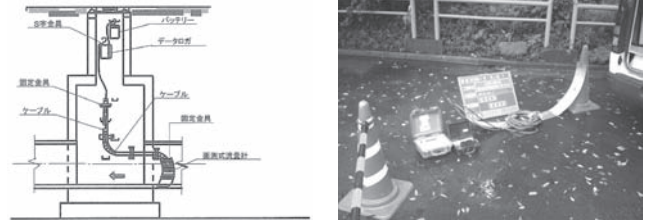
過去の浸水被害や既存排水施設, 下水道や都市計画等の将来計画等, 下水道流出シミュレーション解析のため必要な資料の収集, 整理を行う。資料に基づいて現地を歩き, 既設排水系統の状況や浸水に脆弱な窪地等の現況等を確認しておくことが重要である。

(2) モニタリング調査

■流量調査

キャリブレーション等に必要な資料を得るため, 実測調査によるモニタリングを行う。調査は降雨頻度が高い6月~10月頃行うのが望ましい。また, 豪雨を確実に捕らえるためには, 調査を少なくとも60~90日程度の期間実施する必要がある。

流量観測は, 仮設面速式流量計等を人孔内もしくは水路に設置して, 水位と流速を連続的に測定, 流量を求める。データはデータログメモリに蓄積, 7日おき程度に実施する定期点検時に回収する。



図一6 写真一1 面速式流量計による計測装置の例
図の出典: 流出解析モデル利活用マニュアル(下水道新技術推進機構)

■降雨量調査

転倒ます型雨量計を流量調査と同一期間設置して, 0.5 mm 単位の降雨量観測を行う。データ保存間隔は5分間隔としてデータログメモリに蓄積, 7日~10日おき程度に実施する定期点検時に回収する。



写真一2 転倒ます型雨量計(左)と設置状況(右)

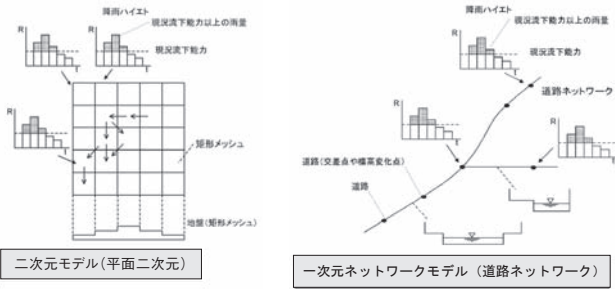
(3) 排水区のモデル化

排水区のモデル化に当たっては, 雨水排除計画, 浸水対策施設計画の基本方針, 検討対象降雨の選定, 流出係数モデルの選定や放流先河川の受け入れ状況等の基本事項を確認する。その上で, 地表面流出率, 管渠, 水理構造物(ポンプ, 貯留施設, 堰等), 境界条件(放流先河川等), 制御(ポンプやゲート)等を数値モデルとして入力する。

この作業は特に手間と時間が必要である。下水道や都市計画等のGISデータがあれば, 極力これを有効活用して省力化を図ることが重要となる。また, 解析ソフトによる入力が基本ではあるが, それぞれのデータや地区等により分割し, CSVデータ等として分業し数値化する等の創意・工夫が必要である。

(4) 地表面のモデル化

溢水した後の挙動(氾濫流)について把握するため, レーザープロファイラーデータ等に基づき, 地表面モデルを構築する。モデル化の手法としては, 二次元モデル(平面二次元)による方法と, 道路ネットワークを一次元ネットワークとしてモデル化する方法がある(図一7参照)。一般に前者がより詳細な解析に向いているが, 市街化の進展した地域等では後者の方が再現性がよいケースもある。



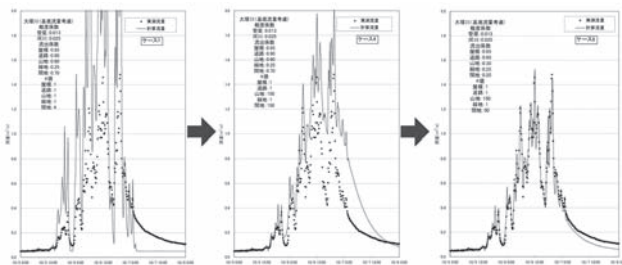
図一七 二次元モデル(平面二次元)による方法(左)と道路を一次元ネットワークとしてモデル化する方法(右)
 出典：内水ハザードマップ作成の手引き(案)(国土交通省)

(5) キャリブレーション

入力した数値データについて、既往降雨データや過去の浸水履歴と対比して評価、流出係数等各種パラメータの修正を行う。この作業はモデルの再現精度を決定する極めて重要なプロセスであり、パラメータ設定変更による応答に関する十分な知識と経験を要する。

■既往降雨によるキャリブレーション

(2) で述べたモニタリング結果データに基づき、構築したモデルと実際の現象を対比、これが合致するようパラメータの微調整を行う。図一八に実際に既往降雨によりキャリブレーションを実施した事例を示す。



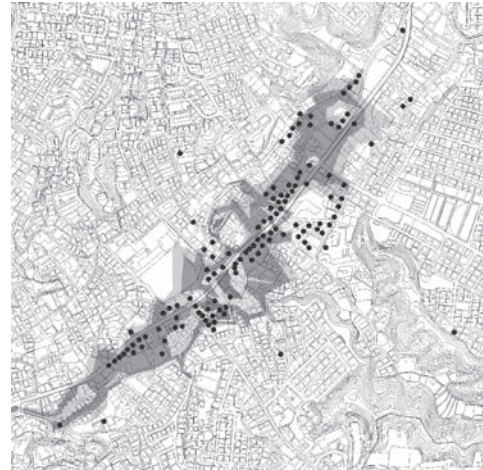
図一八 既往降雨によるキャリブレーションの例

図中の点によるハイドロはモニタリング実測値、折れ線は計算結果のハイドログラフである。図では3段階のみ取り上げているが、実際は数多くの段階においてパラメータを微調整、試行することで最終的なモデルを決定している。

なお、検討区域内にポンプ場等があって水位や水量を継続的に観測したデータがあり、なおかつ至近の降雨データ(10分間隔)が存在するのであれば、このデータを活用しキャリブレーションを実施することも可能である。

■浸水履歴によるキャリブレーション

既往浸水履歴に基づき、その時と同じ降雨を与えることでキャリブレーションを行う。図一九に事例を



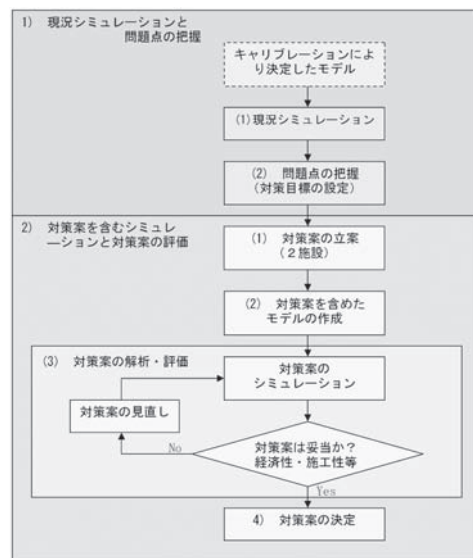
図一九 浸水履歴によるキャリブレーションの例

示すが、実際の浸水履歴箇所(図中の点)に対し、計算結果の浸水範囲(図中の着色部分)がこれと重なるようにパラメータの調整を行う。

なお、浸水履歴データに関しては、被災した市民からの通報や苦情に基づいたものであるケースが多い。このため、同一程度の浸水被害であっても、被災者個人の主観によってその程度が左右(例：床下浸水か冠水か等)される傾向があることに留意する必要がある。

(6) シミュレーション

計画外力(計画降雨強度)における問題点について、現況シミュレーションにより十分把握する。その上で、対策メニューを立案、これをシミュレーションモデルに組み込んで解析する。図一十にシミュレーションのフローを示す。



図一十 シミュレーションのフロー

■問題点の把握（対策目標の設定）

シミュレーションによる現況の評価、再現で得られた時系列データ及び評価画面に基づいて、問題となる地点の抽出及び原因把握を行う。

■対策案を含むシミュレーションと対策案の評価

問題点を解決するための対策を立案する。浸水対策案としては下記のメニュー等が挙げられる。

- ①増補管、バイパス管の設置及び管渠のループ化
- ②分水施設の改造（堰、オリフィス）
- ③流出抑制施設（貯留・浸透施設）の設置
- ④ポンプ設備の増強

これらの対策についてモデルに組み込み、効果や妥当性について検証する（図-11）。

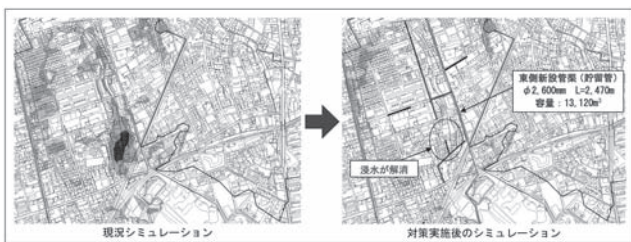


図-11 現況及び対策案実施後シミュレーションの事例

■シミュレーション結果の活用

シミュレーション結果は、当然の事ながら浸水対策施設基本計画の基礎資料となるほか、以下に示すような活用方法がある。

- ①浸水対策計画について地域住民等に効果をアニメーションでわかりやすく表示する説明ツール
- ②浸水想定区域図（図-12）、内水ハザードマップ作成資料

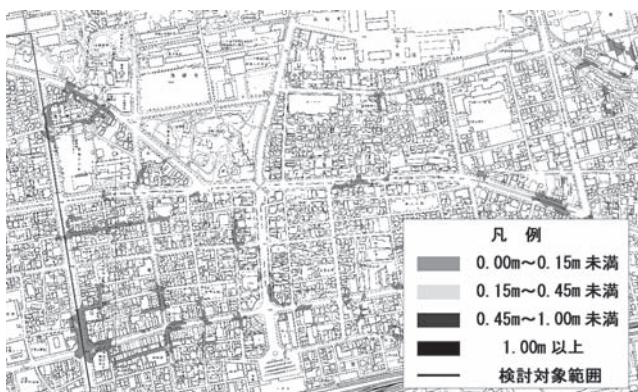


図-12 シミュレーション結果から調製した浸水想定区域図の例

6. 今後の課題

今後、都市型水害対策として、流出解析モデルによる内水対策検討の活用拡大を図っていくためには、次

に挙げるような課題をクリアしていく必要がある。

- ①シミュレーション結果の国庫補助事業における施設計画根拠としての位置付けの確立
- ②ゲリラ豪雨等に対する降雨予測精度技術の向上（GPSの応用やXバンドレーダ等）を踏まえた「浸水予測システム」や「RTC（リアルタイムコントロールシステム）」への発展
- ③流域の狭い中小都市河川を中心に、特定都市河川浸水被害対策法で示されているような「河川一下水道を一体で検討するシステム（図-13）」への展開

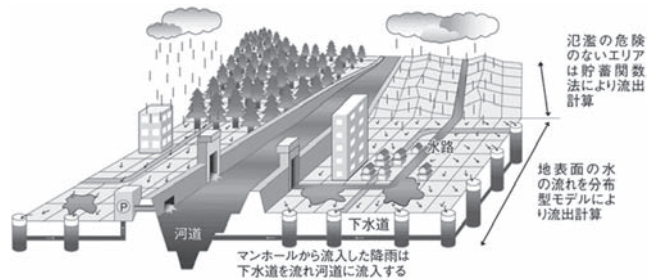


図-13 河川一下水道一体解析のイメージ図

7. おわりに

今後も都市部における水災リスクはますます増大していくことが懸念されている。流出解析モデルによる内水対策検討の手法が活用されることで、より効果的、効率的な浸水対策が進捗するとともに、ハードだけでなくソフト面も踏まえた「浸水に対して安心、安全なまちづくり」の実現のため、微力ながら尽力していきたい所存である。

JICMA

【参考文献】

- 1) 下水道新技術推進機構：流出解析モデル利活用マニュアル，2006.3
- 2) 環境省温暖化影響総合予測プロジェクトチーム：地球温暖化「日本への影響」～長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価～，2009.5
- 3) 国土交通省河川局治水課：水害レポート2008
- 4) 国土交通省河川局：平成19年度水害統計，2009.3
- 5) 国土交通省都市・地域整備局：内水ハザードマップ作成の手引き，2009.3
- 6) 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—，国土交通省国土技術政策総合研究所資料No.202，2004.11
- 7) 国土交通省：平成18年度国土交通白書

【筆者紹介】

山下 茂（やました しげる）
 (株)東京建設コンサルタント
 東京本社 技術第二部

