

◆特集：災害の軽減をめざして◆

下水道管渠網を組み込んだ氾濫解析モデルの構築

水草浩一* 廣木謙三**

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、生活の利便性、快適性は向上しているが、それと同時に災害に対する潜在的な危険性も増大している。IT化にともなう電気・電子機器の増加、地下街・地下鉄の発達にともなう地下空間の高度化利用、一般家庭の地下室設置の普及等に代表されるように、特に浸水に対しては脆弱である。実際に、平成11年、15年の福岡市内、平成12年の名古屋市内でそれぞれ生じた水害では、民間分野における被害が甚大であり、都市域で浸水・氾濫が生じた場合は、生活や生産活動に大きな影響が出ることを改めて認識させられた。この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になってきている。

以上をふまえて、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15年度に制定された。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、浸水想定を行う際にも河川、下水道、地表面氾濫を全て考慮する必要がある。

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・氾濫の特性を十分に踏まえた上で、施策目標や想定される水災シナリオに基づいた浸水想定を行うための、氾濫解析モデルの開発や構築を過去より連綿と行ってきた。本報で

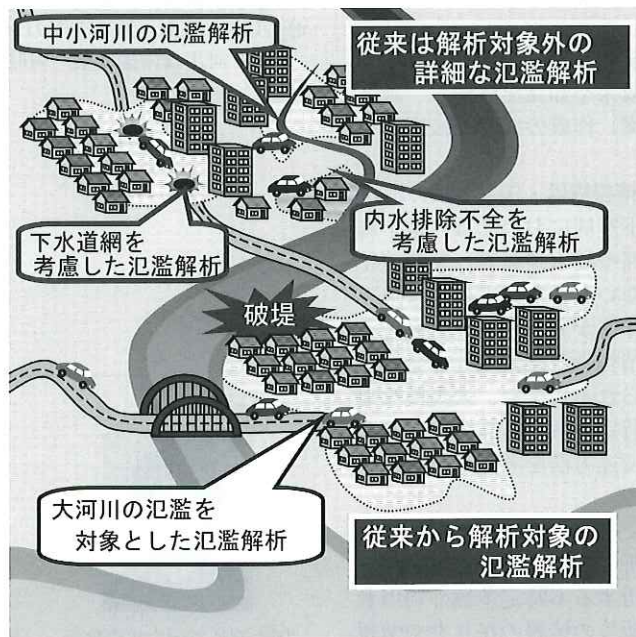


図-1 都市域における氾濫解析の特性

Development of the Flood Analysis Model Incorporating the Sewage System

は、現在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・河道整備等の各種施策の継続的な進展にともない、多少の降雨が生じて破堤や越水をとまなう氾濫に至ることは少なくなってきたおり、外水に由来する氾濫回数は減少傾向にある。このため、相対的に社会の関心も、内水氾濫や中小河川からの氾濫といった小規模ではあるものの頻度の高い現象へと移ってきている。

都市域における内水氾濫は、現象そのものが局部的、突発的であり、また排水路や下水道管渠等が発達している場合は、氾濫水が地下空間を含め、立体的かつ複雑な挙動で拡散するため、その予測や把握が非常に困難となる。このため、従来の外水を対象とした氾濫解析においては解析の対象外であった。

この従来は解析の対象外であった内水氾濫に対して、総合的な浸水被害対策を推進するために、特定都市河川浸水被害対策法が制定された。そのなかでも、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、図-2に示すとおり河川、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る。そして、これら施策を推進するにあたっては、河川、下水道、流域状況を総合的に加味したモデルを活用することが必要となる。

都市域における内水氾濫での氾濫水の挙動に着目すると、下水道管渠と地表面との間では、当然の事ながら区別なく自由に移動する。このことから、下水道と地表面氾濫の各々を独立事象として解析し、その結果同士を単純に重ね合わせるだけの解析手法では、実現象を表現しているとはいえない。つまり、都市域における内水氾濫を解析するモデルは、下水道、流域氾濫状況を一体的かつ同時に解析可能であることが必要条件となる。

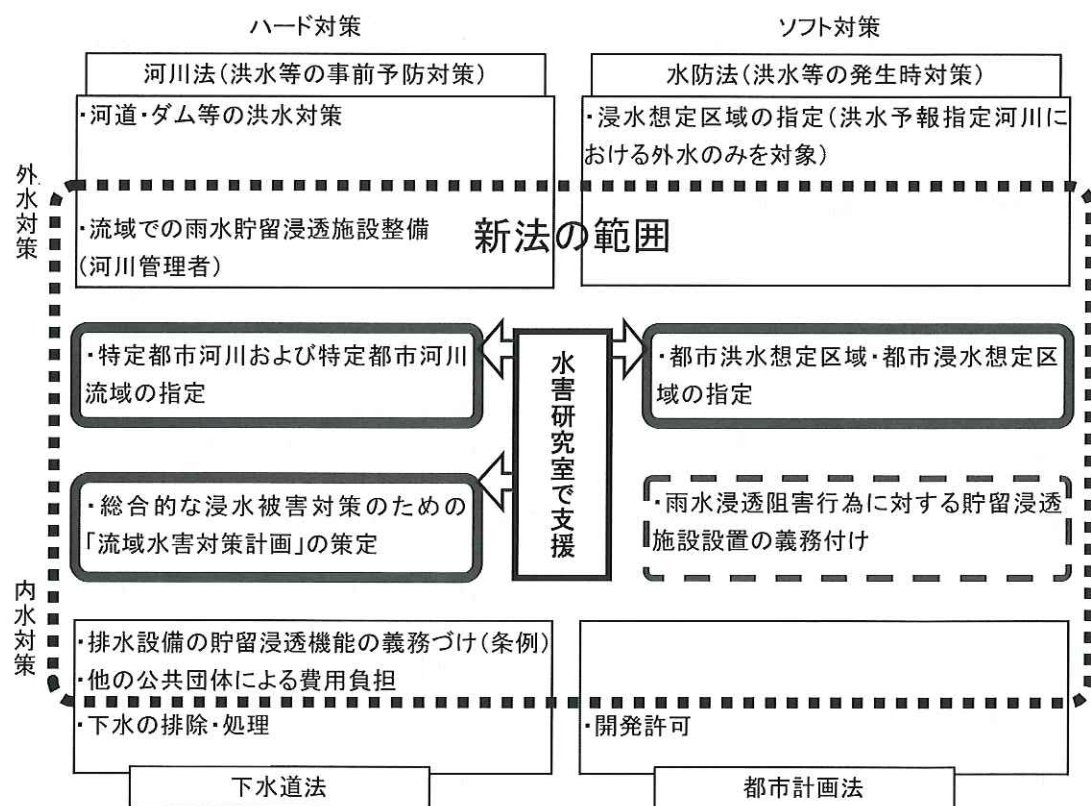


図-2 特定都市河川浸水被害対策法への適用

本研究室では、都市域における氾濫解析モデルの開発、各モデル間での性能の比較検討を行っており、本法律に基づく各種の施策を実施するための諸検討の有用なツールとなることが可能である。

3. 都市域における氾濫解析モデルの現状

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、都市域の浸水・氾濫状況を把握することが極めて重要になるが、そのためには解析モデルを用いて予測を行うことが有効となる。

内水氾濫は、外水氾濫と比較して取り扱う水量が少ないため、従来の外水氾濫解析において無視されていた排水路や下水道管渠等の施設が、解析結果に対して相対的に大きな影響を与えるようになる。都市域は特に排水路や下水道管渠が高度に発達しているため、内水氾濫解析を行う際は、下水道管渠網による影響・効果の算定に長けたモデルを選定し、適切に活用することが重要となる。

昨今、特定都市河川浸水被害対策法の制定も影響して、下水道管渠内の水理と地表面氾濫を一体同時に解析する氾濫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。

4. 一体同時型氾濫解析モデル

現在、各方面で開発が試みられている一体同時

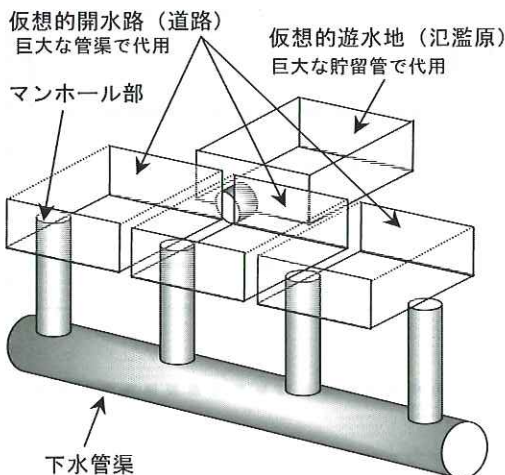


図-3 市販の下水道モデルを用いた場合の氾濫解析手法例

型の氾濫解析モデルについて、そのモデル構造に着目して分類すると、大きく以下の3種類が挙げられる。

- ①一般的な2次元または1次元氾濫解析モデルに工夫を加え、単純な氾濫解析として解析が行えるようにしたもの（下水道の流下能力を降雨損失として降雨に換算し、有効降雨から差し引く等）。
- ②市販の下水道モデルに工夫を加え、単純な下水道管渠内の水理計算として解析が行えるようにしたもの（道路や氾濫原を、開水路（又は巨大な管渠）や遊水地（又は巨大な貯留管）に見立て、仮想的に下水道の一部として解析する）。
- ③下水道管渠内の水理解析モデルと氾濫解析モデルをプログラム内のマンホール部その他において連結し、氾濫水が双方向に移動できるよう構築して一体化したもの

①の手法は、外水氾濫を対象とした氾濫解析モデルの有効降雨算定プログラムに、仮想的な下水道の排水能力の算定プログラムを組み込み、その結果を対象降雨から差し引くものである。一般的な外水氾濫解析モデルをほぼそのまま活用できるため、解析が非常に簡易である。しかし、仮想的な下水道の排水能力の設定そのものが物理的根拠に乏しいことや、下水道管渠内の複雑な水理現象の表現が不可能であることから、解析結果の信頼性が低い。

市販の下水道モデルは、中核の計算部分がブラックボックス化している。このため、これらを用いて氾濫解析を行う際には、②に示すような手法により、下水道管渠内の水理解析として仮想的に氾濫解析を行う必要が生じる。仮想的な条件の設定方法は、図-3に示すとおりであるが、その設定過程やキャリブレーションには高度な技量を要する。市販の下水道モデルは、データの入出力や操作性に優れているため、この手法を用いて氾濫解析を試みられることが多い。しかし、モデル自体が高価なことや、プログラムが非公開であるため、全国への展開性やプログラムの拡張性に制限が生じる。

③の手法は、プログラムが公開されている下水道管渠内の水理解析モデルを用いて、一般的な氾濫解析モデルと、プログラム内部において融和させたものである。公開モデルを用いているので、

プログラムの改良・改善が自由であるほかに、物理現象がそのまま表現可能であるため、一体化の手法としては非常に理想的である。しかし、下水道管渠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るため、物理現象をそのままモデル化すると、解析に要する時間、計算の安定性等において問題が生じる。そしてこれら問題の解決は容易でないため、実用に耐え得る有効なモデルの開発が前記の2手法と比較して遅れている。

5. 水害研究室で開発した都市域における流出解析モデル

前記手法のうち③を用いたモデルとして本研究室では、下水道管渠網を考慮した都市域における流出解析モデルの開発を従来から行ってきた。このモ

デルは、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の計算が可能な点を最大の特徴として、データベースの利用を前提としたモデル構造、FORTRAN 言語を採用したことともなうモデルの改良・修正の容易性等の性質を有するモデルである。

このモデルでは、物理現象が精緻にモデル化されていることから、開発当初より解析精度の高さも特徴となっていた。しかし、計算の厳密性にもなう計算量の増加に対して、計算機の性能が不十分であるなどの解決すべき問題点もあり、このため一般公開には至らなかった。

その後、本研究室では、改良が容易なこのモデルを活用して、氾濫解析モデルである土研モデルの一部の2次元不定流氾濫解析を組み込み、下水

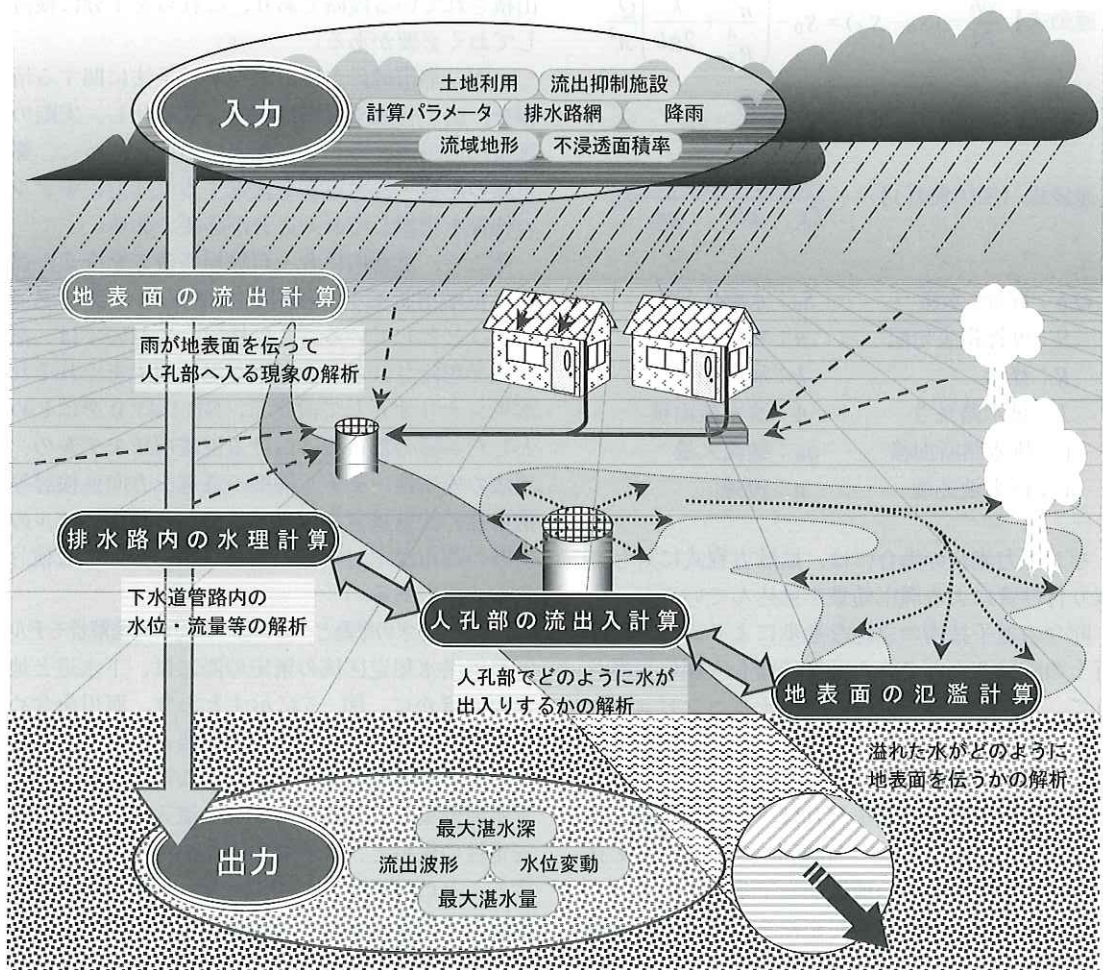


図-4 NILIM1.0の解析の流れ図

道管渠内の水理解析と地表面の氾濫解析を同時に行うことが可能な、一体同時型モデルへの再構築を行った。そしてモデル名を従来のPWRIモデルから『NILIM (New Integrated Lowland Inundation Model) 1.0』に変更している。

NILIM1.0の最大の特徴は、一体同時型の氾濫解析が可能である点である。そして、図-4に示すとおり、下水道管渠内の水理計算を行う管渠内解析、マンホール部における氾濫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氾濫水の拡散計算を行う氾濫解析の、各解析を同時に行う事が可能である。

下水道管渠内の水理解析に関しては、水位を条件として、開水路流れと圧力流れで下式のとり基礎式を選択させている。

$$\text{【運動式】 } \frac{\partial h}{\partial x} = (S_0 - S_f) = S_0 - \left(\frac{n^2}{R^{\frac{4}{3}}} + \frac{k}{2gL} \right) \frac{Q^2}{A^2}$$

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

$$\text{【連続式 (圧力流れ)】 } \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{C^2 \partial u}{g \partial x} = \frac{C^2}{g A_0} q_{in}$$

Q, h : 流量, 水深	S_0 : 水路床勾配
S_f : 摩擦損失勾配	n : 粗度係数
R : 径深	k : 局所損失係数
L : 排水路長さ	A : 流水断面積
A_0 : 排水路断面積	q_{in} : 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¹⁾。

昨今の電子技術の急速な進歩により、従来は解析上の隘路となっていた計算時間も大幅に短縮されて、現在では一般的なパーソナルコンピュータ上での解析も可能である。このため本研究室では、プログラムの最終の調整、確認、実流域における適用性の検討等の作業を経れば一般使用に耐えうる段階に到達していると判断しており、平成16年春にプログラムの一般公開を予定している。

特定都市河川浸水被害対策法を踏まえた都市域の氾濫解析の必要性は、今後全国的で急速に高まると予想されるため、プログラム公開型の

NILIM1.0に対する潜在的な需要は小さくないと考えられる。

6. 水害研究室で現在進行中の各種企画・研究

本研究室では、特定都市河川浸水被害対策法に関する各種施策の実施に対するNILIM1.0の適用性について、さまざまな検討、研究を遂行中である。以降では現在進行中の検討、課題から代表的なものを紹介する。

6.1 都市域氾濫解析モデル検討会

NILIM1.0は平成16年春にプログラムの一般公開を予定しているが、現在のところ公開にあたってのモデルの信頼性、解析精度等に対する担保材料が充分でない。また、NILIM1.0以外の氾濫解析モデルに関しても、施策への活用や実際に運用する際の問題等、実用化に向けた課題項目が山積されている段階であり、これらを十分に検討しておく必要がある。

一方、都市域における氾濫解析手法に関する情報を、広く行政や関係機関等と共有化し、実際の施策に活用させることが重要であると同時に、都市域の氾濫・浸水対策を促進する上でも、モデルの特性を把握しておくことが必要である。

そこで、実務関係者・現場担当者等を交えた都市域氾濫解析モデル検討会を平成15年度に開催することとしている。この検討会においては、都市域で想定されるさまざまな氾濫現象をそれぞれ水災シナリオとして設定し、NILIM1.0をはじめとした各種の都市域における氾濫解析モデルの、手法の妥当性、モデル構築の最適な方向性検討等、適用性の比較検討を行う。また、これらモデルの実際の都市浸水対策への活用方策についても検討する予定である。

6.2 河川の水の挙動と一体の都市域での氾濫解析モデル

都市洪水想定区域の策定の際には、下水道と地表面のほかに、図-5に示すとおり、河川を含めた一体同時解析を行うことが必要となる。このようなモデル実現に向けた具体的な課題としては、下水道管渠への外水の瞬間的な流入に対する計算安定性の保持と、解析対象が河川流域規模に拡大することに対応するための計算の簡素化という、相反する条件を満たさねばならない。この課題を克服するためには、所定の計算速度や精度を保持しつつ、いかに相反条件の最適な釣り合いを導き

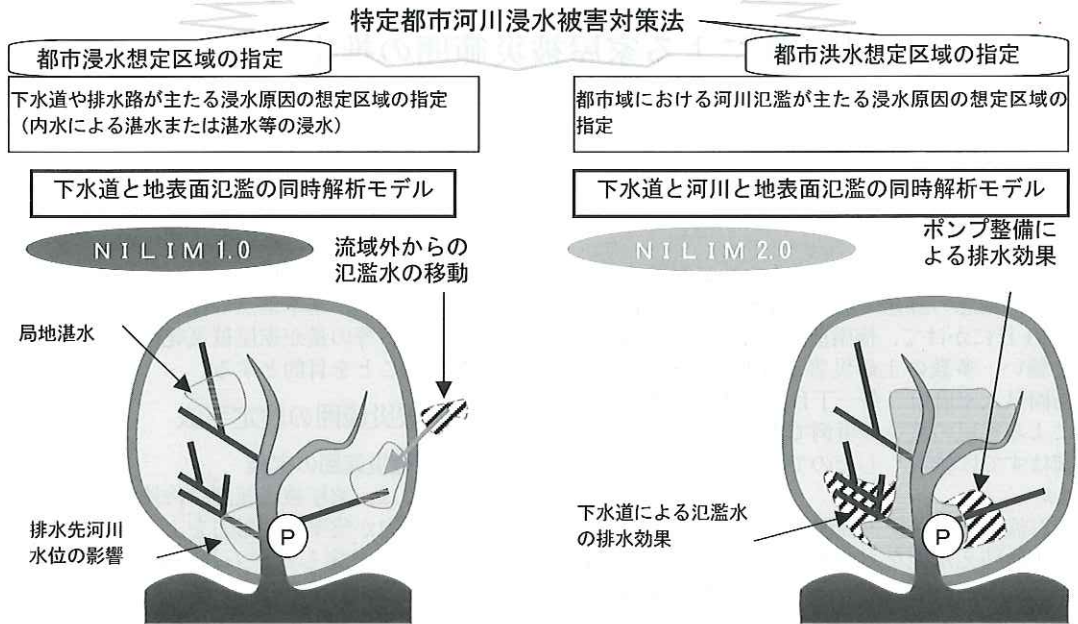


図-5 NILIM1.0 および 2.0 の適用想定分野

出すかが重要となる。

本研究室では NILIM1.0 を基礎モデルとして、氾濫解析モデルである土研モデルと融合させた新たな都市域での氾濫解析モデル (NILIM2.0) の構築およびその妥当性の検討を行う予定である。この NILIM2.0 は、新たに河道や堤防等に関するサブルーチンを組み込むことから、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となる。現在のところ NILIM2.0 そのものは構想段階であるが、このモデルが実用化されれば、降雨流出、河道、下水道等から最終の放流先に至るまで、流域・水系完結型の氾濫解析が可能となることが期待される。

7. おわりに

都市域における氾濫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、さまざまな解析手法が提示されてきた。本研究室で開発を行ってきた NILIM1.0 もその内のひとつである。特定都市河川浸水被害対策法などに関連して、これら氾濫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。

NILIM1.0 に関しては、使用者による自由なモデルの改良が可能である。プログラム公開後様々な技術者により、モデルが操作され、モデルの性能向上のため改良が加えられ、このモデルが広いフィールドで活用されることを切に期待している。

参 考 文 献

- 1) 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 年 2 月

水草浩一*



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
研究官
Koichi MIZUKUSA

廣木謙三**



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
室長
Kenzou HIROKI