

内外水を統合した浸水ハザード評価手法の開発

板垣 修・川崎将生

1. はじめに

気候変動の影響が指摘されるこれまでに経験したことの無いような豪雨・洪水が全国で頻発している。このような豪雨・洪水外力が洪水防御施設の設計規模を上回った場合氾濫が発生しうる。

このため、洪水被害の防止には洪水氾濫の生起頻度を低減させるための洪水防御施設の整備を引き続き進めるとともに、同設計規模を超える豪雨・洪水が生じた場合に備え氾濫時の被害防止・軽減対策を進めていくことが重要である。

このような被害防止・軽減対策の検討・推進には、その前段として、地域の浸水想定図などのハザード（浸水深等）又はリスク（被害額等）情報が必要である。このようなハザード情報として河川管理者から洪水浸水想定区域図が公表されるなどしている。

本稿は、ハザード情報の利用目的に応じた対象外力規模選定の必要性、ハザード情報作成・内外水氾濫（内水氾濫：下水道等排水施設の能力を超過する降雨のため排水しきれずに発生する氾濫。外水氾濫：増水した河川があふれることにより生じる氾濫）統合手法の分類について述べた後、内外水統合型浸水ハザード評価手法として研究した2手法について試験適用結果¹⁾とともに紹介する。なお、本研究は本特集の次の報文²⁾において必要な浸水ハザード情報を作成するために実施された。

2. 目的に応じた外力規模選定の重要性

ハザード情報は、利用目的に応じた外力（豪雨・洪水）を対象としたものであることが重要である。例えば、頻発する内水対策として各家屋のかさ上げ、止水板設置等の検討を行う際には、現行の洪水浸水想定区域図が対象とする想定最大規模（再起年数1,000年規模）洪水時の最大浸水深分布図等のみでは不十分である（図-1参照）。

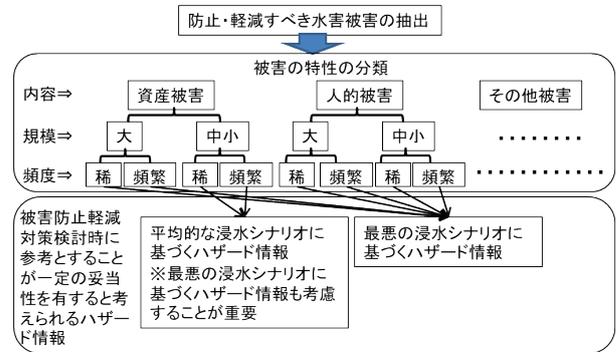


図-1 被害防止・軽減目的に応じて必要なハザード情報

これを踏まえ本研究では既存洪水浸水想定区域図等における対象外力よりも小さい（高頻度の）外力を含む様々な外力を対象とした。

3. 内外水浸水ハザード情報の分類

内外水氾濫の現行浸水ハザード情報（浸水想定図等）を作成手法の観点から分類すると主に次の2つとなる。

- (1)過去の実際の洪水時の浸水範囲を図示したもの（例 浸水実績図）
- (2)想定した降雨についての氾濫シミュレーション結果を図示したもの（例 洪水浸水想定区域図）

(1)は内外水を区別せずに記録された実浸水範囲を図示しているため当該洪水規模、当時の河道条件等に依存している。

(2)は想定する降雨規模を自由に設定することができ、現況・将来の河道条件等を反映することができる。しかし、大河川、中小河川、下水道の部局ごとに評価されるのが一般的であり、これらを統合する手法は確立していない。

4. 内外水氾濫統合評価手法の分類

3.(2)の氾濫シミュレーションにおける内外水統合手法としては、主に次の3つが考えられる。

- (1)内外水別の氾濫シミュレーション結果を単に重ね合わせる手法（簡易手法）

長所：簡便・低コスト 短所：内外水氾濫の相互作用について考慮できず利用目的によっ

Development of an Integrated Hazard Assessment Method for Riverine and Urban Flood Risk Reduction Measures

ては不十分な情報となる

(2)内外水同時生起確率を求め同時生起確率別浸水深分布を表示する手法（内外水氾濫同時生起確率に基づく手法）

長所：内外水氾濫の統合を統計学的に実現
短所：降雨観測データの年数が少なければ同時生起確率の算定精度が低下する

(3)浸水深分布に影響すると考えられる因子（降雨の時空間分布、河口出発水位等）を抽出し、各因子について確率分布を設定し、乱数発生によりシナリオごとの各因子の値を設定し、内外水氾濫一体の氾濫シミュレーションにより氾濫シナリオ群を生成し必要なハザード情報を抽出・表示する手法（モンテカルロ手法）

長所：各因子の確率分布を適切に設定することができれば原則としてあらゆる内外水氾濫を統合した浸水ハザード評価が可能
短所：氾濫シミュレーション回数（氾濫シナリオ数）が通常膨大となり計算コストが大きい

上記のうち(2)について5.で、(3)の簡易手法について6.で述べる。

5. 内外水同時生起確率に基づく手法

A流域（面積約1,500km²）内のB地区（同7.5km²）の内外水氾濫同時生起確率を次のとおり試算した例により、手法を説明する。外水規定雨量としてA流域平均2日間雨量、内水規定雨量としてB地区（点）の1時間雨量を選定し、A流域の洪水到達時間を9時間として同時間内の毎時雨量が常に0.5mm未満である期間を無降雨期間とし、無降雨期間で区切られる降雨事象を30年間で3,097抽出し、全降雨事象の内外水規定雨量を各算定した。さらに、標本平均超過関数³⁾と年平均生起回数に基づき閾値として外水氾濫で70mm/2日間、内水氾濫で10mm/時間を選定し、少なくとも一方の閾値を超過する329降雨事象を以下の分析の対象として抽出した。

内外水の氾濫シミュレーションでは25mメッシュ浸水深を出力し、対象河川水位が設計洪水水位を超過する2日間雨量の場合には、下水道から河川への排水ポンプは停止するものとした。

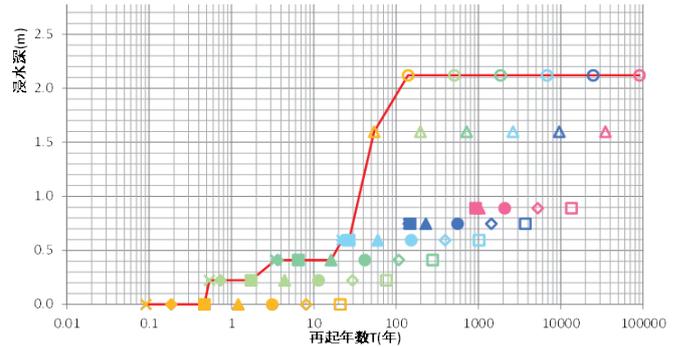


図-2 内外水同時生起確率別浸水深試算例

既往研究⁴⁾を参考に実務上の簡便性を考慮し Freund（フロイント）の2変数指数分布に基づき内外水氾濫対象降雨の同時生起確率を試算し、生起確率別浸水深をメッシュ別に試算した（図-2にある1メッシュの試算結果を示す）。図中各プロットはA流域平均2日間雨量0（×）、50（◆）、100（■）、150（▲）、200（●）、250（◇）、300（□）、350（△）、400mm（○）、B地区1時間雨量0（黄）、30（黄緑）、60（青緑）、90（水）、120（青）、150mm（桃）の組合せによる計算結果（両0mmを除く）であり、赤線は再起年数別最大浸水深を結んだものである。同図より再起年数が概ね50年以上の範囲において、同じ同時生起確率であっても浸水深に1m以上の差がありうるということが読み取れる。

6. 簡易モンテカルロ手法

将来の全国での手法適用を念頭に汎用性を重視し、主な因子について限定的ではあるが複数シナリオを設定し、それらの組合せによる内外水一体の氾濫シミュレーション結果から最大浸水深等を抽出・表示する手法（簡易モンテカルロ手法）を開発した。本手法では外水氾濫における流域平均2日間雨量又は内水氾濫における地区（点）1時間雨量を主因子とし、これ以外の因子（降雨の時空間分布、河口出発水位等）を従因子とし、主因子に基づき評価された確率規模に対する浸水深が従因子により幅を持つものとした。なお、本簡易手法では乱数を発生させず、後述のとおり各因子について過去の観測値に基づき複数ケースを設定している。

これは、5.で述べた手法が内外水規定雨量の組合せごとの生起確率を評価しているのに対し、本手法では主因子1つの確率評価にとどめ、従因子

による浸水深への影響については浸水深(氾濫シナリオ群)の幅の把握までとするものである。

過去30年間のA流域平均年最大2日間雨量(日界9時として時間雨量データから算定)を生起した30降雨事象を抽出するとともに同雨量が生起した2日間におけるB地区の最大1時間雨量を生起した30降雨事象を抽出した。また、過去30年間の最高・最低潮位を踏まえ、3つの河口出発水位(高潮位・中間・低潮位)ケースを設定した。

抽出したA流域平均年最大2日間雨量、及びこれに対応したB地区最大1時間雨量それぞれについて、4つの確率規模(外水:雨量確率(年超過確率)1/75~1/220程度、内水:同1/2~1/50)まで引き伸ばし、これらを入力することで氾濫シミュレーションを行った。2日間雨量の引き伸ばし率を同時生起する1時間雨量にも与えた(逆も同様)。その際最大浸水深が内水氾濫により発生した場合には、当該計算を実施した際に設定した2日間雨量の引き伸ばし率を与えて求めた1時間雨量の雨量確率を算定し、この値を当該浸水深の雨量確率とした(逆も同様)。今回は外水氾濫について30降雨事象×4確率規模×3河口出発水位の360ケース、内水についても同様に360ケース、内外水合計で720ケースの試算を行った。

図-3にある1つのメッシュの試算結果を示す。図中赤色のプロットは外水氾濫が生じ同浸水深が内水氾濫浸水深よりも大きくなったケースであり

A流域平均2日間雨量により雨量確率が評価されており、同青色は内水氾濫による浸水深でありB地区の1時間雨量により雨量確率が評価されている。内外水各4つの雨量確率以外のプロットは、前述のように2日間雨量の引き伸ばし率を与えて求めた1時間雨量による内水氾濫浸水深が外水氾濫浸水深を上回った場合の1時間雨量の雨量確率(又はその逆)に応じたプロットである。黒丸で囲まれたプロットは内外水氾濫それぞれについての雨量確率別浸水深の中央値であり、水色の曲線はそれら中央値の最大値を結んだものである。同図より同じ雨量確率であっても浸水深が異なるシナリオが分布していること、同じ雨量確率であっても外水氾濫が生起するかどうかにより浸水深が大きく異なることが読み取れる。図-3の例では雨量確率1/100規模降雨時の浸水深が約4.5mから約0.3mまで幅広く分布している。また、同規模の外水氾濫における最大浸水深とシナリオ中央値との差が約1.5mであることから、図-1の目的別ハザード情報(想定浸水深)は、50%(=1.5m÷3.0m)程度のオーダーで変わりうる事がわかる。

図-4にシナリオ中央・最大・最小浸水深(雨量確率1/75)分布図試作結果を示す。同図より、シナリオ最大・最小浸水深の差が3m以上となる地区があること、シナリオ中央値では浸水しないとされている左下の地区が最大浸水深シナリオでは深さ1~3m以上浸水することなどが読み取れる。

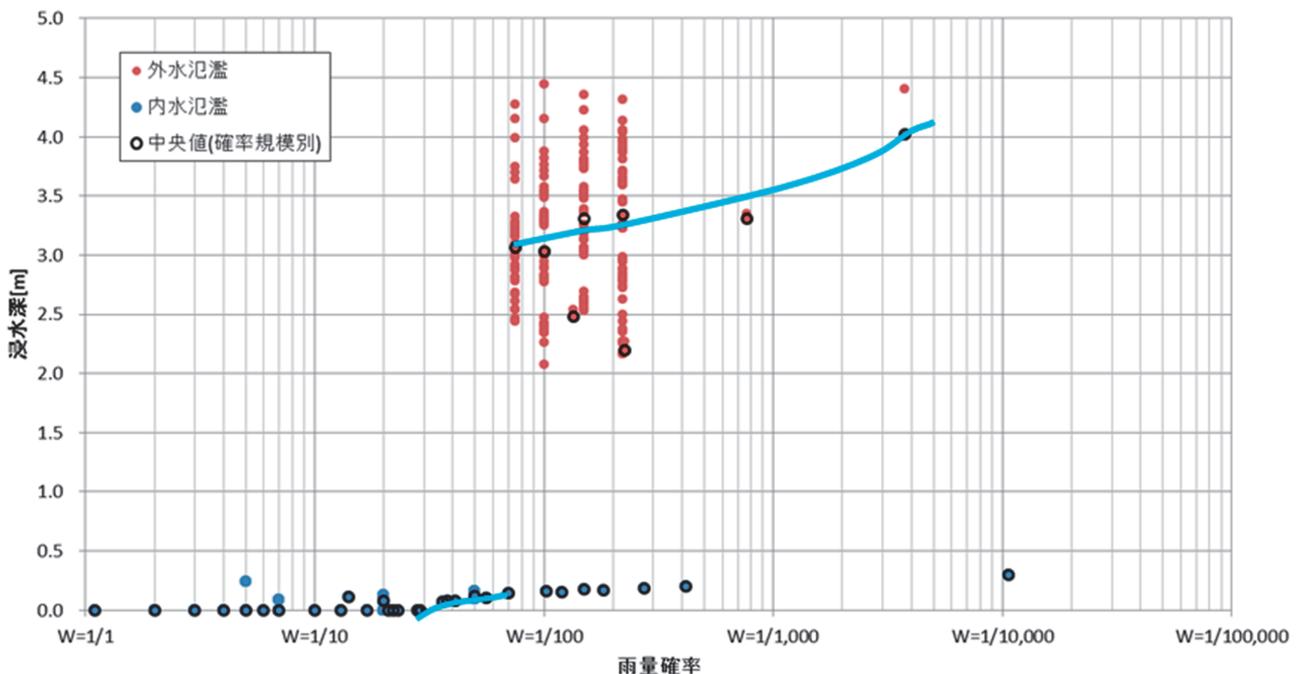


図-3 雨量確率別浸水深試算結果例

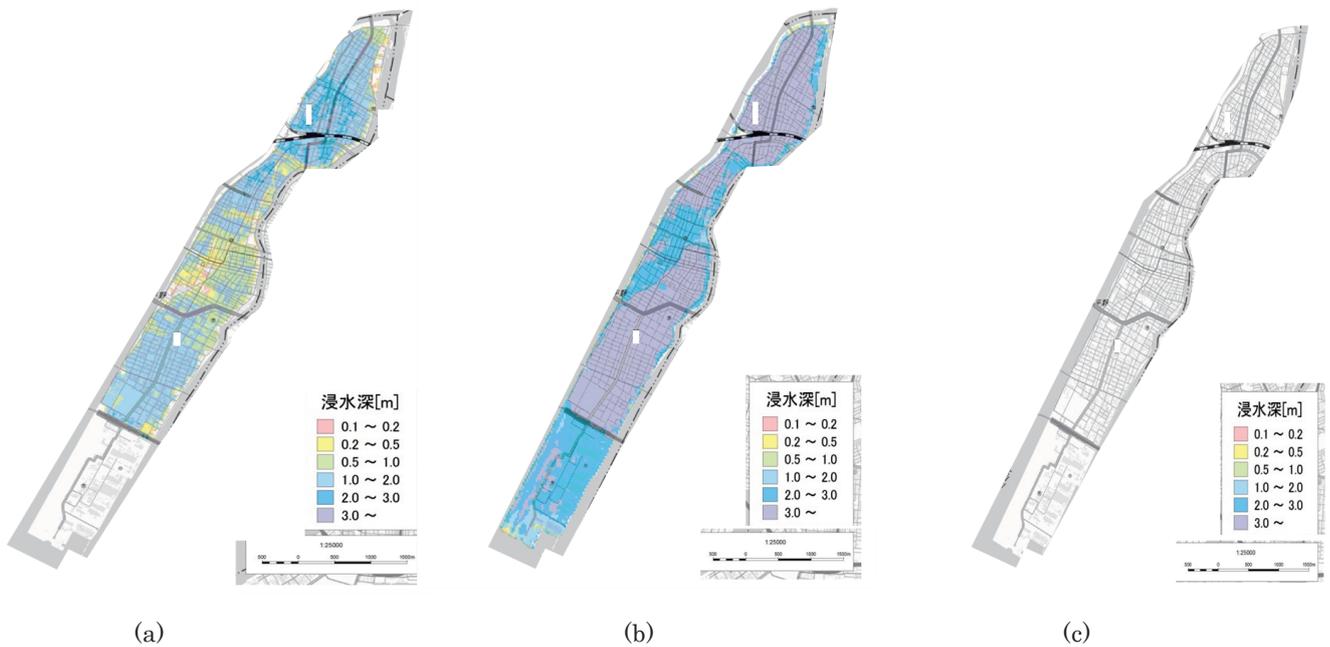


図-4 B地区での雨量確率1/75規模内外水氾濫統合浸水深分布試算例
(a:シナリオ中央値、b:シナリオ最大値、c:シナリオ最小値)

7. おわりに

次頁からの報文で述べる都市水害の防止対策の具体的な検討に必要なハザード情報に関して、2つの浸水ハザード評価手法を試験適用結果とともに紹介した。5.の手法により内外水氾濫規定雨量の組合せごとの生起確率を精度良く評価するのに必要なデータが蓄積されるまでの間、6.の手法は実用的な手法の1つと考えられる。

引き続き、まちづくり等において使いやすい浸水想定情報の作成手法等について、都市・下水道・河川分野等連携で研究を進めてまいりたい。

謝 辞

河川・下水道データの貸与及び意見交換に貴重な時間を割いてくださったA流域及びB地区関係各位に心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国総研気候変動適応研究本部：気候変動下の都市における戦略的水害リスク低減手法の開発、国総研資料第1080号、pp.22～45、2019
- 2) 木内望、山本陽子：都市における建築・敷地レベルの水害リスク低減策の評価手法とまちづくりと連携した取組み、土木技術資料、第62巻、第6号、pp.24～29、2020
- 3) 高橋倫也、志村隆彰：極値統計学、近代科学社、2016
- 4) 栗田秀明、岡田耕、神田徹、端野道夫：都市河川における高潮・降雨の同時生起確率と内水排除計画への適用、水工学論文集、第44巻、pp.359～364、2000

板垣 修



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部
水害研究室長
ITAGAKI Osamu

川崎将生



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部
水循環研究室長
KAWASAKI Masaki