

破堤箇所の不確かさを考慮した多数洪水シナリオによる浸水リスク評価手法の開発

大野 哲平¹・高橋 智幸²

Development of method for evaluating inundation risk
by using multiple flood scenarios considering
uncertainty in location of dike breach

Teppei ONO¹ and Tomoyuki TAKAHASHI²

Abstract

Heavy rains exceeding the design rainfall occur frequently. Non-structural mitigation measures such as flood hazard map based on estimated flood inundation area have been more important. However, there is a risk of underestimation of the areas, because assumed locations of dike breach in inundation analysis are limited to the cases exceeding the high-water level. In this study, the flood inundation model with multiple locations of dike breach was applied for the Akutagawa river in Takatsuki city. A comparison with each computed maximum inundation depth of dike breaches placed next to each other shows that the proposed method with multiple flood scenarios enables to prevent underestimation of the areas. Further, the analyses of inundation class and maximum inundation depth showed the optimum interval of dike breach which can evaluate the maximum inundation areas using the minimum assumed locations of dike breach.

キーワード：外水氾濫解析，多数洪水シナリオ，破堤間隔，洪水浸水想定区域，芥川

Key words: river flood analysis, multiple flood scenarios, interval of dike breach, estimated flood inundation area, the Akutagawa river

1. はじめに

2015年9月の関東・東北豪雨災害により，1級

河川の鬼怒川が破堤し，大きな被害が発生した。このような計画降雨を超過した場合に発生する洪

¹ 関西大学大学院社会安全研究科
Graduate School of Societal Safety Sciences, Kansai
University

² 関西大学社会安全学部
Faculty of Societal Safety Sciences, Kansai University

本論文に対する討議は平成30年5月末日まで受け付ける。

水災害に対しては、ハード面からの防災対策には限界があり、ソフト面からの減災対策も重要である。そのための有効な手段として、洪水浸水想定区域を基にした洪水ハザードマップの作成や避難計画の策定が挙げられる。2015年5月20日の水防法の改正では、想定し得る最大規模の洪水浸水想定区域の公表が定められ、外水氾濫解析を用いて、物理的に考えられる最大規模の洪水浸水想定区域を予め推定することが求められている。

外水氾濫解析を用いた洪水浸水想定区域の予測精度は、氾濫流・洪水流モデル、氾濫域の標高や建物及び土地利用などを組み込んだ地形モデル、破堤モデル（破堤箇所、破堤プロセス）の各精度により決定される。氾濫流・洪水流モデルは高精度の平面2次元不定流モデルが種々の方法で開発されている。例えば、秋山らにより、河道・氾濫域包括解析モデルの実破堤氾濫への適用¹⁾や破堤氾濫流に対する適用性の検証²⁾が行われてきた。また、氾濫域の標高は、近年、国土地理院がLPを用いた航空測量により、数mメッシュ単位の高精度な測量データを提供している。建物や土地利用などのデータも、国土交通省が公開している基盤地図情報³⁾や国土数値情報⁴⁾から容易に取得でき、これらのデータからGIS等を用いて精度の高い地形モデルの作成が可能となっている。

一方で、破堤モデルに必要な破堤箇所は、堤体材料や先行降雨による堤体の脆弱化、過去の堤防の被災履歴などの内的要因に加えて、外力条件である洪水の水位や継続時間などの多数の不確か要素に左右される。このような理由から、事前に破堤箇所を正確に予測することは困難であることが既に指摘されている⁵⁾。破堤箇所は堤内地の洪水リスクを把握する洪水浸水想定区域を決定する上で非常に重要な指標であるが、現行の外水氾濫解析では、計画高水位を超過した地点に限定されている場合が多い。実際に本研究の解析対象地の芥川流域でも同様であり⁶⁾、破堤箇所の不確かさによる洪水浸水想定区域の違いはこれまでに十分に検討されていない。

そこで本研究では、破堤箇所の不確かさによる洪水浸水想定区域の違いを検討するために、高槻

市芥川下流域を対象として、多数洪水シナリオを用いた外水氾濫解析を実施した。多数洪水シナリオとは、事前に破堤箇所を正確に予測することが困難であるという前提の上で、破堤箇所を機械的に想定するシナリオを多数設定する手法である。しかしながら、本手法を用いた場合、破堤箇所を際限なく設定できてしまうため、本研究では最適な破堤間隔を検討することで、破堤箇所の設定数を求めた。なお、氾濫解析の支配方程式及び計算スキームの妥当性を検証するために、鬼怒川洪水氾濫の再現計算を行った。

2. 鬼怒川洪水氾濫による氾濫解析の支配方程式及び計算スキームの検証

2.1 氾濫解析の支配方程式及び計算スキーム

氾濫流の支配方程式は、式(1)の連続式と式(2)及び(3)の運動方程式から構成される平面2次元の非線形長波理論を用いた。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2 M}{D^{7/3}} \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2 N}{D^{7/3}} \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3)$$

ここに、 η は水位、 M と N は x 方向及び y 方向の流量フラックス、 D は全水深、 n はManningの粗度係数、 g は重力加速度である。計算スキームは、後藤・小川⁷⁾を参考にして、スタッガード格子を用いたleap-frog法を採用し、移流項の計算には1次精度の風上差分法を用いた。計算領域の境界条件は、後藤・小川⁷⁾を参考にして、特性曲線法を用いた自由透過とした。具体的には、特性曲線上では、リーマン特性量が保存されることを長波理論に適用するとともに進行波を仮定して、開境界条件とした。また、洪水流先端の遡上境界

条件には、小谷ら⁸⁾の方法を採用した。遡上計算を行うためには、陸域と水域の境界格子の全水深を定義しておく必要があるが、小谷ら⁸⁾の方法では、汀線の流量フラックス M , N を計算するための全水深は、非浸水格子の地盤高と先端部の浸水格子の水位の差としている。なお、移動限界水深は0.01 m として計算した。

2.2 鬼怒川洪水氾濫の再現計算

(1) 地形モデルと計算条件

2.1の氾濫解析の支配方程式と計算スキームの妥当性を検証するために2015年9月に発生した鬼怒川洪水氾濫の再現計算を行った。計算機は、Intel (R) Xeon (R) CPU E5-2697 v3 @ 2.60GHz を用いて行い、約4日程度の計算時間を要した。図1に基盤地図情報³⁾の5mメッシュの数値標高モデルと国土数値情報⁴⁾の土地利用細分メッシュデータから作成した計算領域の標高と土地利用をそれぞれ示す。粗度係数は小谷ら⁸⁾の設定例を参考にして、土地利用に応じて設定した。計算時間は24時間、時間間隔は0.2秒、格子間隔は5.0 m、

格子数は南北方向に4791格子、東西方向に2145格子とした。

(2) 外力条件として用いる越流水深の推定方法

外力条件として、鬼怒川流域の洪水氾濫に大きな影響を与えたと考えられる鬼怒川左岸21k付近の破堤箇所と鬼怒川左岸25k付近の越流箇所(図1を参照)において、堤防付近の堤内地側の格子に越流水深を与えた。

具体的には、図2に示す国土交通省の水文水質データベースで公開されている鎌庭観測点(図1を参照)の2015年9月の時系列水位を用いて越流水深の設定を行った。まず、鎌庭観測点と破堤箇所及び越流箇所の川幅の違いを考慮した上で、鎌庭観測点の時系列の水位を用いて、破堤箇所と越流箇所の時系列の水位を計算した。そして、水位が破堤箇所及び越流箇所の左岸堤防天端高を超えた高さを両地点の越流水深とした。また、破堤箇所は堤防の決壊を考慮するために、国土交通省の資料¹¹⁾を参考に左岸堤防天端高が1時間かけて左岸堤内地地盤高に変化するとして、越流水深を計

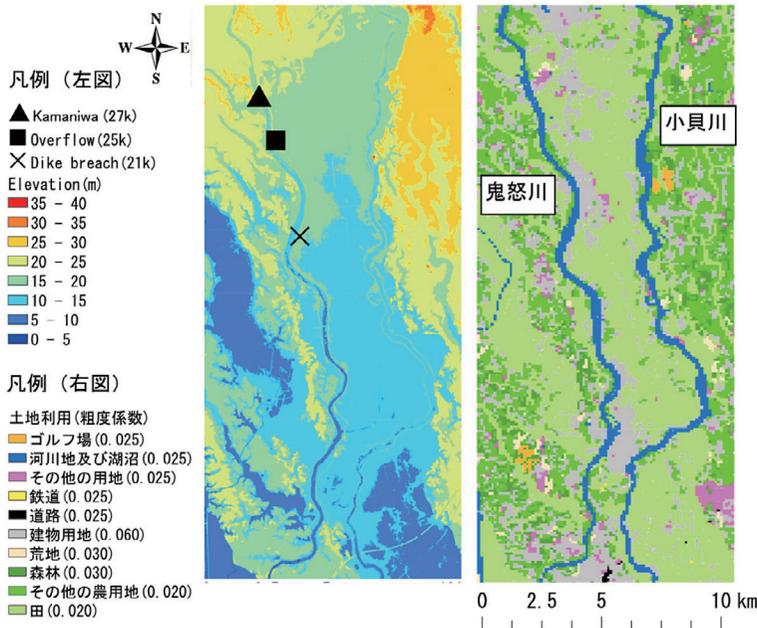


図1 左：計算領域の標高及び越流・破堤箇所と鎌庭観測点 右：計算領域の土地利用 (粗度係数) と河川位置

算した。以上の方法をまとめた、破堤箇所と越流箇所からの越流水深の設定方法を図3に示す。なお、既往報告^{9,10)}を参考に、鬼怒川左岸21kに位置する破堤箇所の破堤幅は180mと一定とした。鬼怒川左岸25k付近の越流箇所は鬼怒川左岸25.35kと24.75kの2箇所からの越水を考慮し、越流幅はそれぞれ150m、50mと一定とした。

以上の方法で推定した、破堤箇所及び越流箇所の境界条件を図4にそれぞれ示す。既往報告¹¹⁾より、左岸25k付近からの越流開始時刻と左岸21k付近からの破堤開始時刻は約7時間半の差があっ

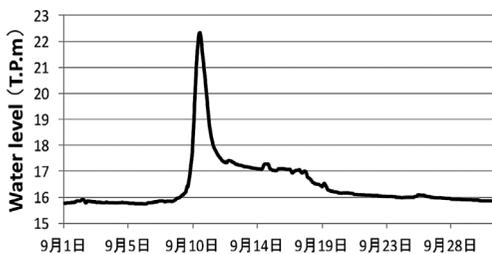


図2 鎌庭観測点の2015年9月1日～9月30日の時系列水位

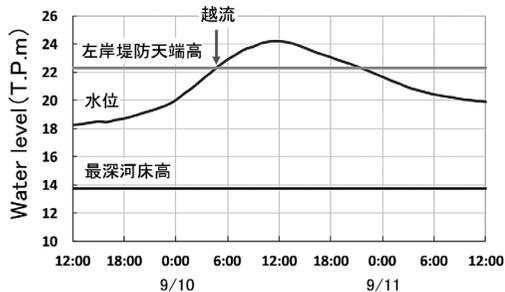
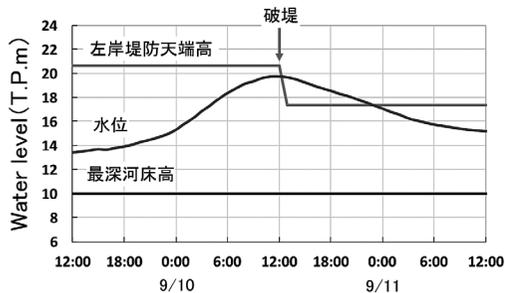


図3 鬼怒川洪水の越流水深の設定方法(上:左岸21k破堤箇所,下:左岸25k越流箇所)

たので、その時間差を考慮した。なお、横軸の計算開始0時間は、2015年9月10日5:00と対応している。堤防の決壊を考慮した破堤箇所の越流水深は線形で急激にピークに達していることがわかる。

2.3 計算結果と考察

図5は鬼怒川洪水氾濫の再現計算と佐山ら¹²⁾の現地調査に基づく実測値から作成した最大浸水深の空間分布を示している。計算では、水海道地区方面での最大浸水深が過大評価されている。この理由として、本計算では、鬼怒川や小貝川及び排水河川として計算領域を南北に流れる八間堀川と東西に流れる新八間堀川へのポンプ車による約780万 m^3 の排水作業と排水機場による約90万 m^3 の排水作業¹¹⁾、及びそれらの河川からの自然流下を考慮していないためである。この地域の氾濫解析の精度を向上させるためには、排水モデルを導入する必要があるが、排水量の時系列データは得られていない。

そこで、排水の影響が小さい水海道地区以北と比較すると、浸水域や最大浸水深は概ね精度良く再現できていることがわかる。特に、常総市役所石下庁舎が位置する石下地区周辺では、再現性が高いことがわかる。このように、排水よりも破堤及び越流の影響が大きい水海道地区以北の実測値と計算値の比較から、氾濫解析の支配方程式と計算スキームの妥当性は十分であると判断した。

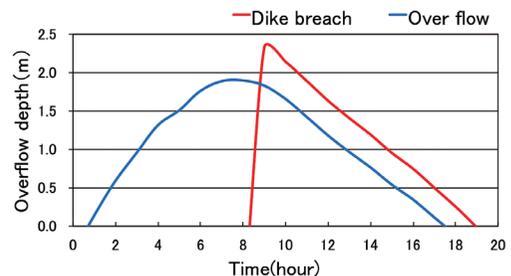


図4 破堤箇所及び越流箇所に強制入力した越流水深の時系列変化

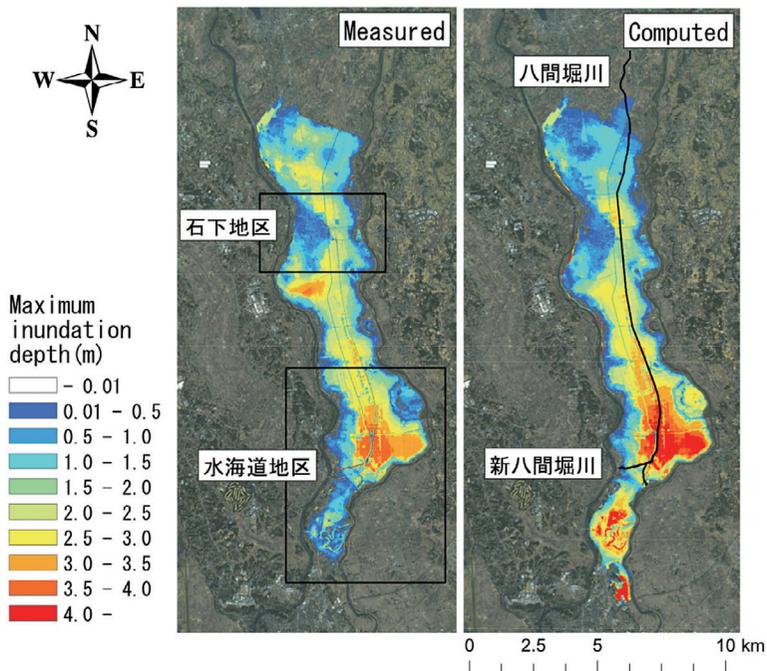


図5 鬼怒川洪水氾濫の実測値(左)と計算値(右)の比較

3. 高槻市芥川下流域左岸を対象とした多数洪水シナリオの適用

3.1 多数洪水シナリオの設定手法と既存手法の相違点

従来、破堤箇所の設定は、河道の1次元不定流計算などを用いて河道水位を計算し、既定の計画高水位を超過した地点を破堤箇所として、氾濫シミュレーションを実施してきた。破堤箇所の場所は堤内地の洪水浸水想定区域に大きな影響を与えることから、氾濫シミュレーションを行う上で非常に重要な条件である。しかし、先述した理由から事前に破堤箇所を正確に特定することは困難である。したがって、現状の水位のみで破堤箇所を決定する方法は、破堤箇所の不確かさによる洪水浸水想定区域の違いを十分に考慮できていない。

そこで本研究では、新たな手法として多数洪水シナリオを提案し、破堤箇所の不確かさを考慮した洪水浸水想定区域を作成することを試みた。多数洪水シナリオとは、破堤間隔に基づき多数の破堤箇所を設定する手法である。ここで、破堤間隔とは、任意に設定する破堤箇所間の距離である。

図6に多数洪水シナリオによる破堤箇所の設定手法を示すように、破堤間隔を小さくするほど、計算領域内に多くの破堤箇所が設定されることになる。既存設定手法との大きな違いとして、氾濫解析を実施する際に一般的に用いられていた河道水位などの物理的な指標を使用しないことが挙げられる。しかしながら、本手法を用いた場合、破堤箇所を際限なく設定することが可能となってしまうため、本研究では最適な破堤間隔を検討することで、破堤箇所の設定数を求めた。なお、本研究の多数洪水シナリオは、多数の破堤箇所を1箇所ずつ個別に計算するものであり、確率的に小さい複数箇所の同時破堤は考慮していない。

3.2 解析対象地

2.1の氾濫解析を用いて、図7に示す高槻市芥川下流域左岸を対象に多数洪水シナリオを用いた外水氾濫解析を行った。芥川は淀川水系に含まれる流域面積50.1 km²の中小河川である。国内の中小河川は、近年の集中豪雨で破堤を伴う洪水被害が発生しており、芥川においても昭和28年には破

堤による大規模な水害履歴がある。また、近年、芥川下流域では都市化が進行し、破堤を伴う洪水氾濫が発生すれば大きな被害が懸念される。

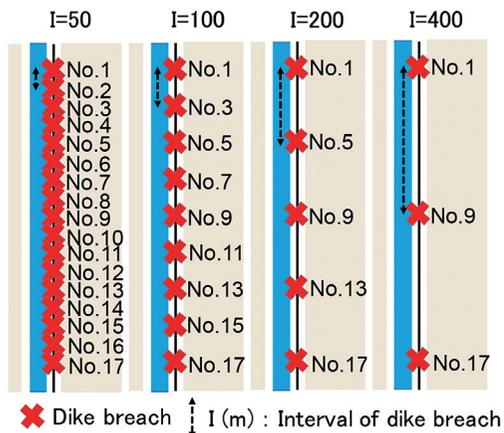


図6 多数洪水シナリオによる破堤箇所の設定手法

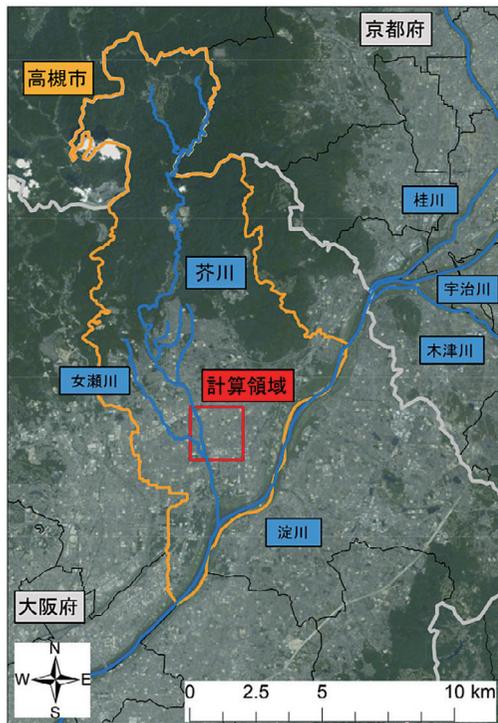


図7 芥川流域図

3.3 地形モデルと計算条件

図8に国土地理院から提供を受けた航空レーザー測量データの1mメッシュのグラウンドデータと基盤地図情報²⁾から作成した地形モデル、及び避難所などの洪水リスクの評価対象として選定した22地点を示す。また、図9に国土地理院の基盤地図情報から判別した計算領域の建物種別を示す。

外力条件は200年確率降雨(318.3 mm/24 hr)、計算時間は5時間、時間間隔は0.025秒、格子数は南北方向と東西方向にそれぞれ2000格子、格子間隔は1.0 m、粗度係数は0.025とした。建物は、格子間隔が1.0 mであり地形として再現できるた

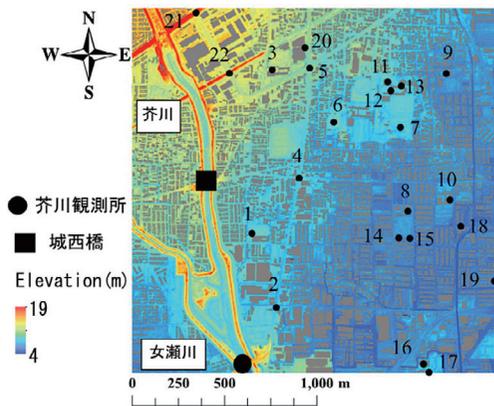


図8 計算領域の標高と建築物及び洪水リスクの評価対象として選定した22地点

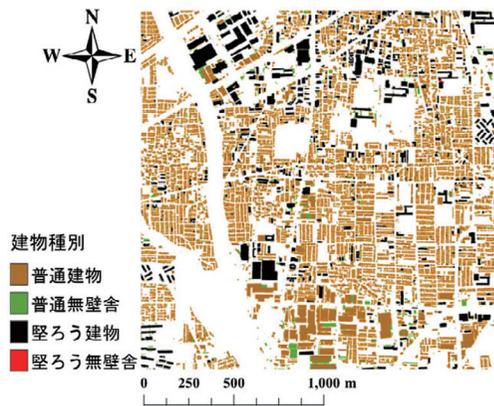


図9 計算領域の建物種別

め、有壁な建物は地形モデルに反映させた。具体的には、計算上、普通建物と堅ろう建物は非浸水区域として取り扱った。なお、数値計算は2.2と同様の計算機を用いて行い、約4日程度の計算時間を要した。

3.4 破堤箇所及び外力条件の設定

破堤箇所は多数洪水シナリオに基づき図10に示すように設定した。破堤箇所及び破堤間隔は Case A (33箇所, 62 m), Case B (17箇所, 124 m), Case C (11箇所, 186 m), Case D (9箇所, 248 m), Case E (7箇所, 310 m) の合計5ケースを設定した。破堤箇所を設定するにあたり、現行の外水氾濫解析において、本計算領域内に設定されている破堤箇所が7箇所であることを基準とし

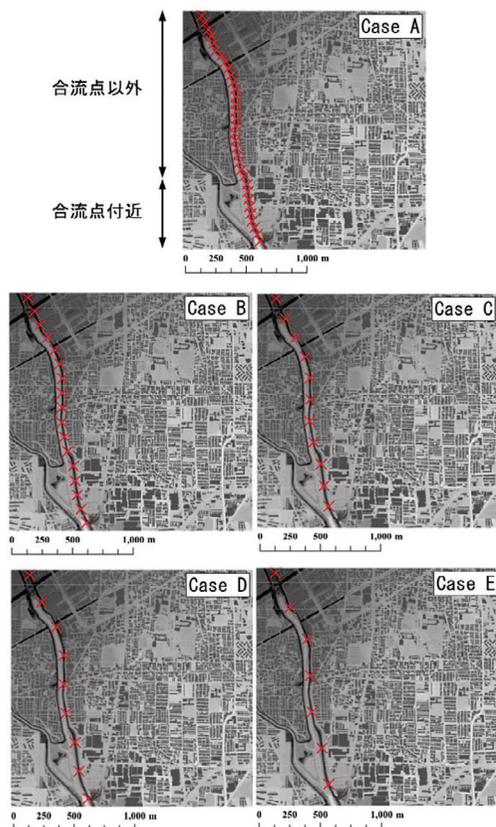


図10 多数洪水シナリオを用いて設定した各ケースの破堤箇所 (赤色×印)

た。なお、破堤幅は氾濫シミュレーション・マニュアル¹³⁾で提案されている次式に基づき決定した。

$$y = 1.6 \times (\log_{10} x)^{3.8} + 62 \quad (4)$$

$$y = 2.0 \times (\log_{10} x)^{3.8} + 77 \quad (5)$$

ここに、 y は破堤幅、 x は川幅である。なお、式(4)は合流点以外、式(5)は合流点付近の場合に用いる。破堤幅は、女瀬川との合流点付近は式(5)から95 m、合流点以外は式(4)から74 mとそれぞれ設定した。

外力条件の設定方法は多数の破堤箇所を設定することによる計算負荷を考慮し、河道の計算を省略することで計算負荷を小さくした。具体的には、破堤箇所からの越流水深を次のように推定した。はじめに、破堤箇所からの氾濫水量を計算するために、図11に示す既往報告⁶⁾の城西橋付近(図8を参照)の200年確率降雨の流量ハイドログラフを、芥川観測所(図8を参照)の2004年から2012年までの水位流量データから作成したH-Q式を用いて水位に変換した。H-Q式の作成に用いる水

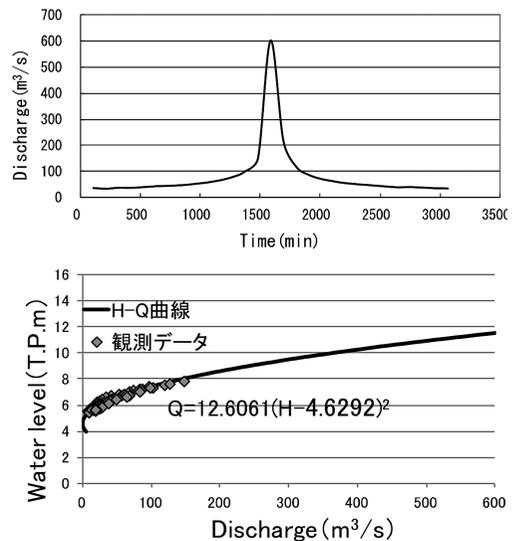


図11 城西橋付近の200年確率降雨の流量ハイドログラフ(大阪府茨木土木事務所⁶⁾のデータから作図)及び芥川観測所の水位流量データから求めたH-Q曲線

位流量データは、高水領域の外挿の精度を良くするために、比較的高水位である T.P 水位が 5.5 m 以上のデータを使用した。次に、図12に示すように、城西橋付近の左岸堤防天端高を超えた水位を越流水深とし、本間の越流公式¹³⁾を用いて氾濫水量を計算した。なお、図12の破堤のタイミングは河道水位が計画高水位に到達した時間とし、越流状態は完全越流を仮定して計算した。ただし、本計算の手法では、破堤による河道内水位の低下を考慮できないことから、越流水深を過大に評価している可能性がある。破堤幅の拡幅プロセス、河床勾配により決定される破堤幅の有効疎通率や平均流入角、破堤形状などの条件は氾濫シミュレーション・マニュアル¹³⁾に準じて設定した。

以上の方法を用いて、総氾濫水量は、合流点付近では約8,438,643 m³、合流点以外では約6,541,385 m³と求められた。この総氾濫水量は城西橋付近で破堤した場合の数値であるが、本研究では計算領域が小さいことを勘案し、全ての破堤箇所でのこの総氾濫水量を用いた外力条件で計算を行った。具体的には、図13に示すように、破堤箇所における堤防付近の堤内地側の各メッシュに対して周期 3 時間の sin 波の越流水深を階段状に与えて計算した結果、総氾濫水量が先述した規定の値になるように調整した。本計算では、この方法を用いて、200年確率降雨による破堤氾濫を再現した。なお、周期は計画高水位を超過する継続時間が概ね 3 時間であることを目安に設定した。この操作は、計算時間の短縮と破堤時の水面勾配を小さくすることによる計算の安定化を図るために行った。しか

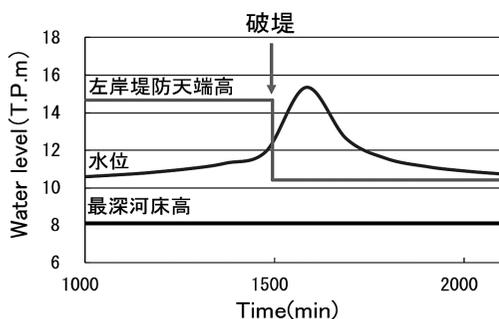


図12 城西橋付近からの氾濫水量の計算方法

し、実際には各メッシュはそれぞれの標高値を持っていることから、図13に示すように、完全に越流水深の大きさを揃えることはできない点に留意する必要がある。

3.5 計算結果の考察

(1) 多数洪水シナリオの有用性

図14は Case A ~ Case E の全破堤箇所の包絡最大浸水深を示している。ここで、多数の破堤箇所を考慮しておくことの防災上の有用性を確認するために、隣接する破堤箇所の浸水区域を比較した。一例として、破堤箇所の位置を 62 m 変化させた場合の両者の浸水区域を比較した。図15に破堤箇所が No.17 と No.18 の場合の最大浸水深をそれぞれ示す。両者を比較すると、破堤箇所から南東側で比較的大きな差が出ていることが示されている。このように、破堤箇所がわずか 62 m 異なるだけでも堤内地の浸水状況が大きく変わる場

破堤箇所が合流点付近の場合

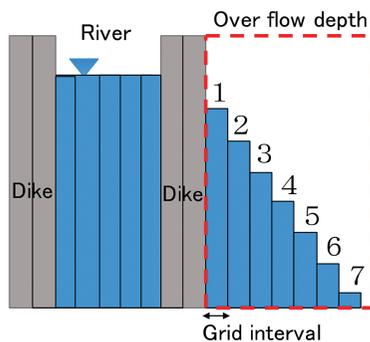
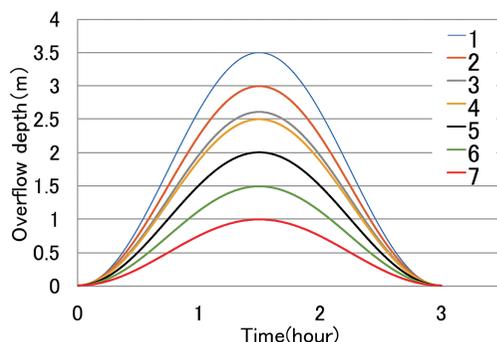


図13 越流水深の入力箇所の説明図

合がある。さらに、図16に Case A の包絡最大浸水深と No.17の最大浸水深の差を示す。本計算領域の約2.2 km の比較的短い河道区間においても、多数洪水シナリオの場合と破堤箇所が1箇所の場合では、最大浸水深に大きな違いが出ていること

がわかる。したがって、堤内地の洪水浸水想定区域の作成には、多数の破堤箇所を考慮する多数洪水シナリオが、防災上有用であることが示された。

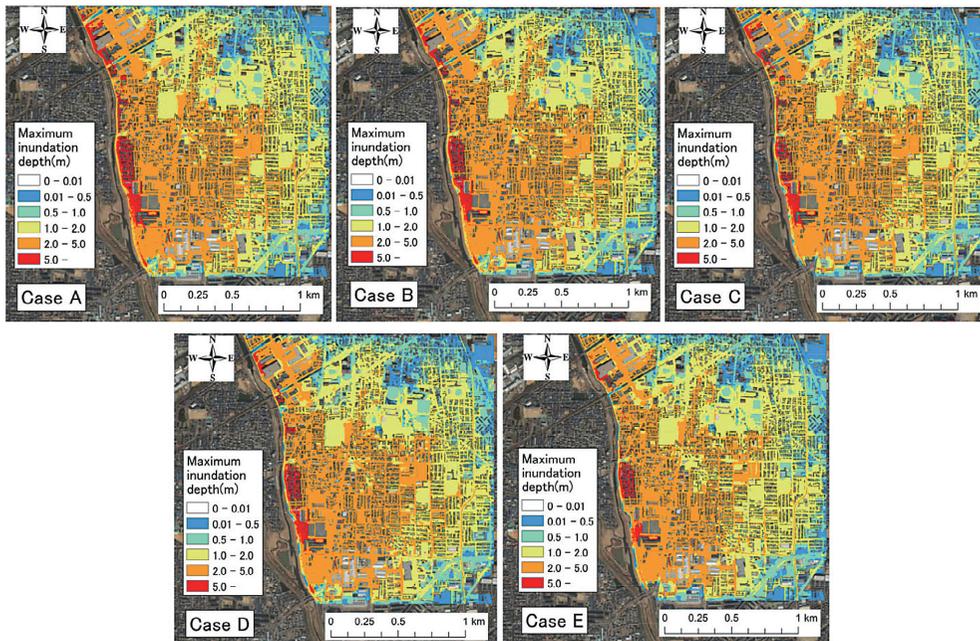


図14 Case A ~ Case E の全破堤箇所の包絡最大浸水深

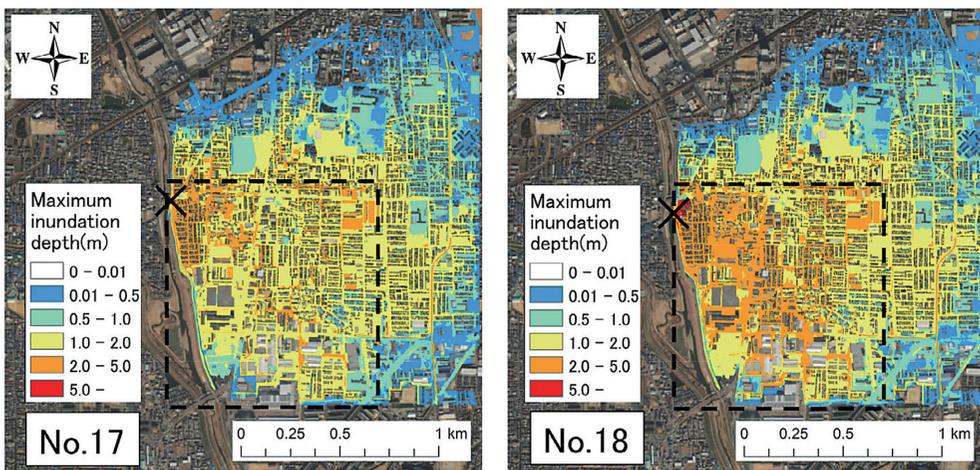


図15 No.17と No.18の最大浸水深の比較

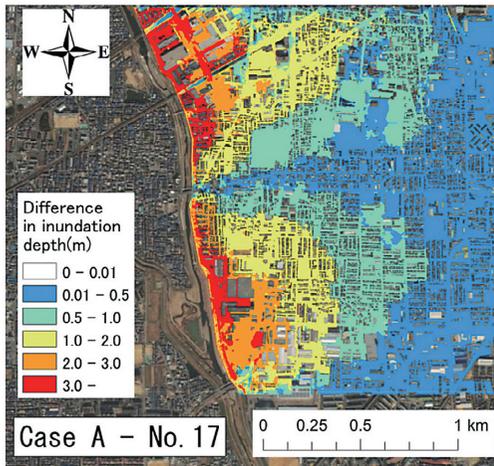


図16 Case Aの包絡最大浸水深とNo.17の最大浸水深の差

(2) 最適な破堤間隔に関する検討

多数洪水シナリオの有用性は示すことができたが、破堤箇所が増加するほど計算負荷は増大する。そこで、堤内地の洪水浸水想定区域を評価する際に、どの程度の破堤箇所を設定する必要があるかを検討した。そのために、破堤箇所数を決定する破堤間隔に着目し、それ以上は破堤箇所を増やしても堤内地の洪水リスクが変化しない破堤間隔を最適な破堤間隔と定義し、その検討を行った。

ここで、図14に示す各ケースの包絡最大浸水深から、浸水レベルを4段階に分類した。具体的には、浸水レベル0（浸水なし：0.01 m未滿），浸水レベル1（床下浸水程度：0.01 m～0.5 m），浸水レベル2（床上浸水程度：0.5 m～3 m），浸水レベル3（1階水没程度：3 m以上）とした。図17

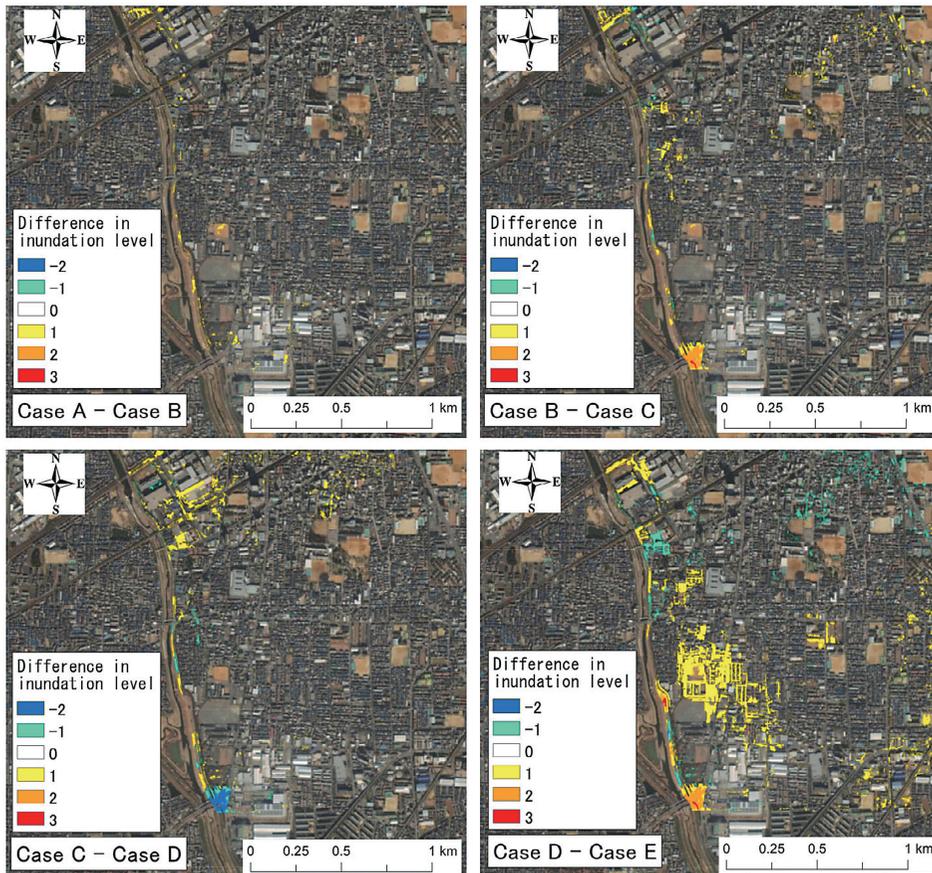


図17 破堤間隔の大きさが隣接する各ケースの浸水レベルの差

に破堤間隔の大きさが隣接する各ケースの浸水レベルの差を示す。凡例に示す正の値は、破堤間隔を小さくした場合に、浸水レベルが大きくなったことを、負の値は浸水レベルが小さくなったことを、0は浸水レベルの変化が無かったことをそれぞれ示す。浸水レベルが変化しなくなるまで、破堤間隔を小さくすれば、浸水レベルを過小評価する恐れが無くなると言える。Case A - Case Bでは、それ以外と比較して、河道の近くを除いて両ケースの浸水レベルの差がほとんど無いことがわかる。

さらに、評価対象として選定した22地点(図8を参照)の各ケースの包絡最大浸水深と破堤間隔の関係を図18に整理した。各出力地点の全体的な傾向として、破堤間隔を小さくするほど、包絡最大浸水深が大きくなっていることがわかる。しかし、赤い破線で囲んだ Case A と Case B の破堤間隔の包絡最大浸水深を比較すると、全22地点で包絡最大浸水深が等しいことがわかる。すなわち、破堤間隔を Case B の124 m から Case A の62 m に小さくすることにより、破堤箇所を17箇所から33箇所に増やしても、洪水リスクを評価する上で重要な指標である空間的な浸水レベルはほとんどの地先で変化せず、全ての評価対象地点で包絡最大浸水深が等しくなった。したがって、設定した5ケースの中では、本計算領域における最適な破堤間隔は Case B の124 m であることが示された。

4. おわりに

多数洪水シナリオによる破堤箇所の設定手法を提案し、高槻市芥川下流域左岸を対象として多数洪水シナリオを用いた外水氾濫解析を実施した。その結果、多数の破堤箇所を考慮することにより、少数の破堤箇所で潜在化している洪水リスクを顕在化できることを示した。また、堤内地の洪水浸水想定区域を評価するための最適な破堤間隔が存在することを示し、本計算領域の最適な破堤間隔が Case B の124 m であることを明らかにした。しかし、本研究で求めた最適な破堤間隔は芥川のこの区間においてのみ適用できる値である。最適な破堤間隔は河床勾配や堤内地の勾配や凹凸など

の影響により変化すると考えられることから、今後は仮想地形による数値実験を通して最適な破堤間隔を定式化し、標準的な手法にすることが課題である。また、近年の集中豪雨の増加を踏まえると、外力条件に超過洪水を加えることも重要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、大阪府茨木土木事務所より業務委託報告書を、また国土交通省国土地理

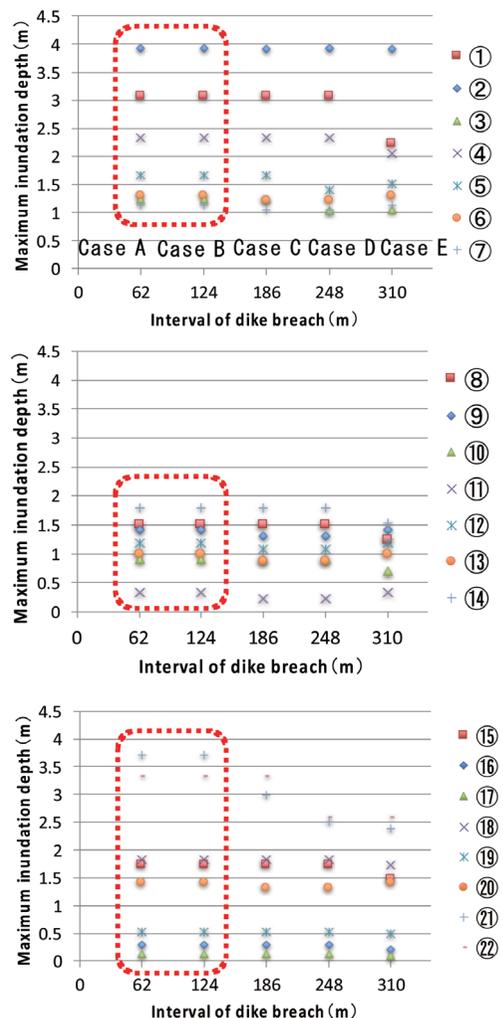


図18 各地点の包絡最大浸水深と破堤間隔の関係性

院より航空レーザー測量データをご提供頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 秋山壽一郎・重枝末玲：河道・氾濫原包括解析による氾濫流量の評価と市街地破堤氾濫解析，土木学会論文集 B, Vol.63, No.3, pp.224-237, 2007.
- 2) 秋山壽一郎・重枝末玲・梅木雄大・伊藤雄亮：破堤氾濫流の横越流特性と河道・氾濫域包括解析の適用性の検討，水工学論文集，Vol.54, pp.853-858, 2010.
- 3) 国土交通省，基盤地図情報ダウンロードサービス，<http://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>，2017年8月14日.
- 4) 国土交通省，国土数値情報ダウンロードサービス，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>，2017年8月14日.
- 5) 秋山壽一郎：減災型治水におけるリスク把握の課題，土木学会平成26年度全国大会研究討論会資料，2014.
- 6) 大阪府茨木土木事務所，株式会社クレアリア：一級河川東檜尾川外洪水氾濫シミュレーション業務委託報告書，2011.
- 7) 後藤智明・小川由伸：Leap-frog法を用いた津波の数値計算法，東北大学工学部土木工学科，1982.
- 8) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，Vol.45, pp.356-360, 1998.
- 9) 東京大学：平成27年9月関東・東北豪雨による鬼怒川洪水に関する調査第3報，2015.
- 10) 寒地土木研究所：台風18号による大雨洪水で決壊した鬼怒川の堤防調査報告書（速報），2015.
- 11) 国土交通省関東地方整備局：平成27年9月関東・東北豪雨に係る鬼怒川の洪水被害及び復旧状況等について，2015.
- 12) 佐山敬洋・大槻順朗・永野博之・二瓶泰雄：平成27年関東・東北水害鬼怒川氾濫による常総市周辺の浸水深分布調査（第二報），<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/news/6105/>，2017年8月14日.
- 13) 栗城 稔・末次忠司・海野 仁・田中義人・小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル（案）—シミュレーションの手引き及び新モデルの検証—，土木研究所資料，第3400号，1996.

（投稿受理：平成28年11月28日

訂正稿受理：平成29年8月22日）

要 旨

計画降雨を超過する豪雨が頻繁に発生しており，浸水想定区域を基にした洪水ハザードマップ等のソフト面からの減災対策がより重要になってきている。しかし，現行の外水氾濫解析の破堤箇所は計画高水位を超過する地点に限られており，浸水想定区域が過小評価されている危険性がある。そこで本研究では，多数の破堤箇所を用いた洪水氾濫モデルを高槻市の芥川に適用した。その結果，隣接する破堤箇所の最大浸水深の比較から，多数洪水シナリオを用いた提案手法が浸水想定区域の過小評価を防ぐことを明らかにした。さらに，浸水レベルと最大浸水深の分析から，必要最小限の破堤箇所により最大の浸水想定区域を評価できる最適な破堤間隔を示した。