

人口減少に伴う地域変容と洪水氾濫制御機能を有する公園緑地整備に関する研究

金沢大学 教授 谷口健司
政策研究大学院大学 教授 知花武佳

概要：

本研究は、石川県小松市を流れる一級水系・梯川を対象とし、人口減少下において生じ得る余剰地を活用して、河川周辺域に河道内水位の低減による氾濫制御を目的とした遊水地機能を有する公園緑地の整備効果を検証するため、複数の設計ケースに基づく氾濫解析を実施した。公園緑地の設計条件、すなわち規模、配置、周囲堤としての遊歩道の高さや遊水地地盤高、越流堤の高さが下流断面での水位低減効果に大きく影響し、将来的に大規模な洪水が発生した場合でも一定の水位低減効果が期待できる可能性が示唆された。また、遊水地の規模や貯留容量が大きいほど高い効果が得られるわけではなく、様々な条件下での検討が不可欠であることが示された。一方、不適切な設計での周囲堤からの氾濫が生じる可能性や、破堤が生じた場合には経済損失の軽減は限定的であり、遊水地整備だけでなく、堤防強化や河道掘削などのハード対策との連携も不可欠であることも示された。

キーワード：流域治水、人口減少、遊水地整備、氾濫解析

1. はじめに

近年、記録的豪雨や台風による洪水被害が深刻化している。こうした災害の背景には、地球温暖化による気候変動が大きく関与しているとされ、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第6次報告書では、温暖化の進行により大雨の頻度と強度が増加し、局所的な洪水リスクが高まると報告されている¹⁾。

こうした状況に対応するため、我が国では「流域治水」の取り組みを推進しており、従来の堤防建設やダム改修といったハード対策に加え、土地利用計画の見直しやハザードマップの作成、情報共有の強化といったソフト対策を組み合わせた包括的なアプローチを検討している。

一方、我が国では少子高齢化に伴う人口減少が進行しており、将来は宅地や商業地に余剰地が生じることが想定される。この余剰地を有効活用することは、流域治水の実現においても重要である。小刀衿ら²⁾は、石川県の一級水系梯川流域を対象として、人口減少により生じる余剰地を活用し、洪水氾濫発生時の経済損失が潜在的に約40%削減される可能性を示した。谷口ら³⁾は同じく梯川流域にて、人口減少下での市街化区域面積の変化を考

慮した都市構造変化の推定を行い、安全な地域への移転が進み、洪水氾濫発生時の経済損失が軽減され得ることを示した。また、岩崎ら⁴⁾は梯川流域における小学校の移転・統合により最大で氾濫被害額が15.1%減少し、市街化区域面積の変更と組み合わせると被害額の減少率は19.9%まで上昇することを示した。一方で、余剰地を活用した氾濫制御施設等のハード対策の整備や、その効果に関する研究などは進められていない。

本研究では、石川県小松市を流れる一級水系・梯川を対象とし、河川周辺に生じる余剰地を活用して、氾濫制御を目的とした遊水地機能を有する公園緑地の整備を想定した氾濫解析を実施する。様々な設定の遊水地を想定し、遊水地の導入による下流域での河道水位の低下効果、越流や破堤による氾濫発生の可能性、氾濫時の対象地域の浸水深等の比較検討を行う。加えて、将来の人口減少に伴う河川周辺からの移転シナリオを想定し、治水経済調査マニュアル (案)⁵⁾に基づいて氾濫による被害額を推定することで、遊水地の氾濫被害軽減効果を評価し、適切な設計の重要性を明らかにする。

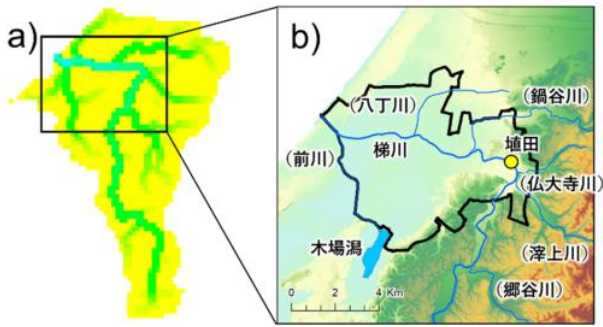


図-1 a) RRI モデルによる流出解析の対象域と河道, b) シームレスモデルによる氾濫解析の対象域 (黒太線)

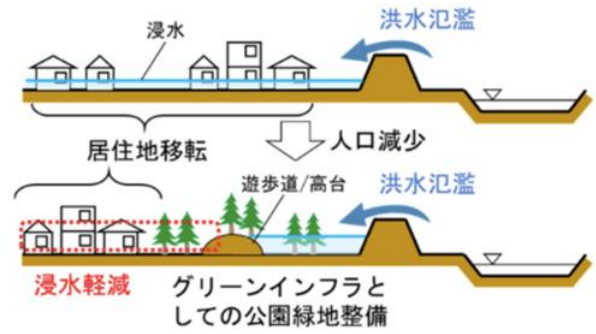


図-2 人口減少下での居住地移転と遊水地機能を有する公園緑地整備のイメージ

2. 研究方法

(1) 対象地域

本研究で対象とする梯川は、小松市と加賀市の境界に位置する鈴ヶ岳 (標高 1,175m) を源流とし、山間部を北流しながら郷谷川、澤上川、仏大寺川を合わせて平野部に入り、鍋谷川、八丁川、前川と合流して日本海へ注ぐ。幹線流路の延長は 42km、流域面積は 271.2km²である。

梯川下流域に位置する小松市街地では、河床勾配が緩く、川幅が狭いため、流下能力が低い。このため、上流部で河道から溢れた氾濫流が左右岸の低平地に流下し、海岸沿いに発達した砂丘に阻まれる結果、湛水時間が長期化する特性を持つ。この特性により、氾濫時の被害はさらに拡大する傾向がある。近年では、令和 4 年 8 月の集中豪雨により、埴田水位観測所では観測史上最高水位の 5.90m を記録し、内水による浸水も発生した。

(2) 対象降雨

対象降雨については、梯川流域を対象とした擬似温暖化手法を適用した数値気象シミュレーション結果⁶⁾を用いた。本研究では、平成 10 年 9 月と平成 25 年 7 月の発生した大雨に基づく 250 ケースを超える擬似温暖化シミュレーションのうち 3 ケースを選定し、最大 9 時間雨量が約 260mm/9 時間となるように引き伸ばして入力降雨データを作成した。これらは、梯川流域の計画降雨である 135mm/9 時間を上回っており、河川整備完了後、気候変化下で生じ得る大規模降雨による洪水発生時の水災害リスクの検討に資するものである。なお、国土交通省による梯川流域の想定最大規模降雨は 350mm/9 時間である。

(3) 流出解析及び氾濫解析

流出解析には降雨流出氾濫モデル (Rainfall-Runoff-Inundation: RRI モデル)⁷⁾を用いる。河道網等の流域データは、全球水文データセットである HydroSHEDS を用いて作成し、モデルの空間解像度は 500m である (図-1a)。

氾濫解析には、様々な氾濫因子を考慮可能な一体解析モデル (シームレスモデル)⁸⁾を用いる。シームレスモ

表-1 公園緑地の諸元の設定

遊歩道 (周囲堤) の地盤高	<パターン 1, 2, 2A, 2B> 5.0m, 5.55-6.0m, 6.0m <パターン 3> 7.0-8.5m, 7.5m <パターン 4> 6.5m
遊水地内の地盤高または変化量	<パターン 1, 2, 2A, 2B> 変化なし, 0.5m 低下, 一律 1.5m, 一律 2.5m <パターン 3, 4> 変化なし, 0.7m 低下, 一律 4.0m
越流堤高さ	<パターン 1, 2, 2A, 2B> 4.0m, 4.5m, 4.7m, 5.0m <パターン 3, 4> 6.0m

デルは、一次元河道モデル、下水道ネットワークモデル、地表面氾濫モデルから構成されている。ただし、対象とする梯川流域では、下水道ネットワークモデルに必要なデータが十分整備されていないため、氾濫流および内水の排水については簡易排水モデル⁹⁾を用いて算定した。なお、一次元河道モデル及び地表面氾濫モデルの空間解像度は 200 m 及び 40 m である。破堤については、破堤幅が 1 時間で初期幅 (10m) から最終幅 (100m) まで広がり、破堤時には堤防基部まで破壊されると仮定した。

(4) 遊水地機能を有する公園緑地の設定

本研究では、洪水リスク軽減を目的として、人口減少下で生じる余剰地を活用した、遊水地機能を有する公園緑地の整備を提案する (図-2)。河道と公園緑地の間には越流堤を設けることを想定し、河川水位が越流堤より高くなると、水が遊水地へ流入し、一時的に貯留される。

遊水地設置のパターンは、設置場所、遊水地の形状、規模、遊水地の堤防の役割を果たす遊歩道の高さ、遊水地の地盤標高、越流堤の位置や高さを変化させ、様々な条件下での効果を比較・検討を行う。公園緑地では周囲堤の機能をもつ遊歩道を整備することを想定し、遊歩道 (周囲堤) に該当するメッシュの地盤高を上げることとした。また、遊水地の貯留容量を増加させるため、遊水

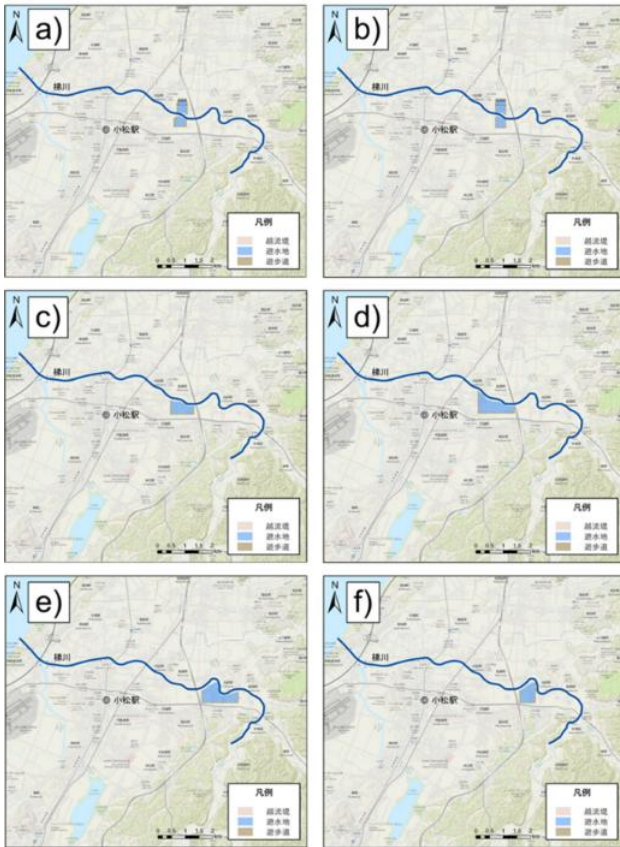


図-3 氾濫解析における公園緑地の設置箇所（図中の水色の地域）。a) パターン 1, b) パターン 2, c) パターン 2A, d) パターン 2B, e) パターン 3, f) パターン 4

地に該当するメッシュの地盤高を下げた。ただし、地盤高を下げないケースも想定した。また、公園へ導水するための越流堤については、堤防データおよび標高データを用い、導水するメッシュの堤防高を下げて越流堤の高さと一致させ、標高データも越流堤高さと等しく設定した。表-1 に公園緑地の諸元の設定のパターンを示す。

公園緑地の設定場所を図-3 に示す。場所選定においては、将来の人口減少により生じる余剰地の利用を前提とし、主要幹線道路、樋管、変電所などの重要施設を避け、田畑、住宅地等の設置が比較的容易な場所を優先した。

氾濫解析の各ケースについては、設置のパターンと表-1 の諸元を用いて以下のように命名する。

ケース名: SITE[パターン]_R[遊歩道地盤高]_B[遊水地内の地盤高または変化量]_L[越流堤高さ]

例えば、パターン1 で遊歩道地盤高を下流側が 5.55m、上流側が 6.0m、遊水地内の地盤高を 1.5m、越流堤高さを 4.0m とした場合は、SITE1_R5.55-6.0_B1.5_L4.0 とする。また、設置場所がパターン2 で遊歩道地盤高を 6m、遊水地内の地盤高を元の地盤から 0.5m 低下させ、越流堤高さを 4.5m とした場合は、SITE2_R6.0_B-0.5_L4.5 とする。

(5) 氾濫被害額の算定

氾濫被害額は、治水経済調査マニュアル（案）⁵⁾ を参考に算定する。被害額算定では、住宅地・市街地等では家屋被害、家庭用品被害、事業所償却・在庫被害が生じ、農地では農作物被害が発生するとした。土地利用種別には国土交通省による土地利用細分メッシュを用いた。浸水深 45cm 以上で床上浸水が発生するとし、土壌堆積は考慮しない。農作物被害は、田とそれ以外の畑地として被害額を算定した。畑地では、主要農作物の平均評価額に近いトマトの評価額を代表とする手法により被害額を算定する。被害額算定に必要な各種評価額及び各被害率算定に要する浸水深ごとの被害率は、治水経済調査マニュアル（案）によるものを用いた。

本研究では、人口減少下での余剰地を活用した世帯移転と公園緑地整備をセットとして想定している。氾濫被害額についても移転後の世帯分布に基づいて算定する。移転後の世帯分布推定の概要は以下①～③の通りである。

- ①小松市における 2050 年時点での人口減少率(0.811) を乗じて将来の世帯数分布を求める。
- ②現在の世帯数と 2050 年の世帯数の差を、各メッシュにおいて転入できる世帯数とする。
- ③小松駅周辺の利便性の高いメッシュを移転先として選定し、公園緑地整備候補地の世帯を割り当てる。

なお、氾濫被害額算定に必要な従業者数についても、世帯移転に従って変更した。

3. 氾濫解析結果

本章では公園緑地整備の効果を検討するため、1 次元河道モデルにおける河道内水位の比較を行う。また、周囲堤の高さ不足や遊水地の貯留容量不足による氾濫が生じるケースがみられたため、それらの比較を行う。さらに、河道内水位の低下が十分でなく、破堤が想定されるケースもあったことから、公園緑地を整備した上で、破堤を想定した氾濫解析の結果を示す。

(1) 1 次元河道モデルによる水位の算定結果

本節では、破堤が発生しないと仮定した場合の氾濫解析における、公園緑地整備時の河道内水位を比較する。なお、パターン1 パターン2、及びパターン4 においては、周囲堤の高さ不足や貯留容量の不足などにより、遊水地からの越流氾濫が生じるケースが発生した。ここでは、パターン1, 2, 2B の結果を示す。

a) パターン1

図-4 はパターン1 の各ケースと公園緑地が整備されないケース（以下、CTL とする）における、河口から 5.6km から 7.8km の断面における最高水位である。すべてのケ

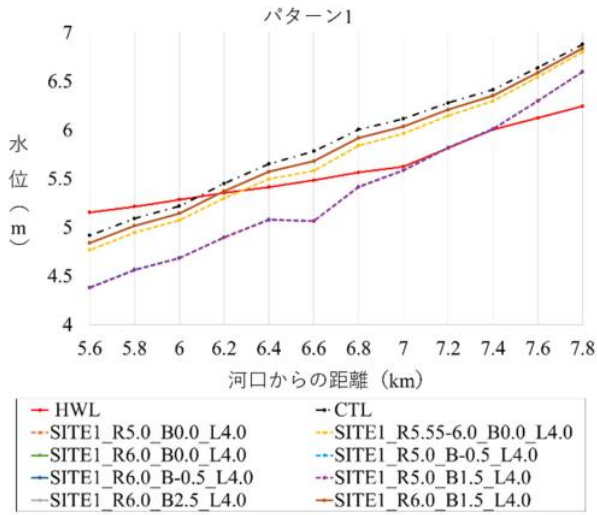


図4 パターン1における河道内の最高水位

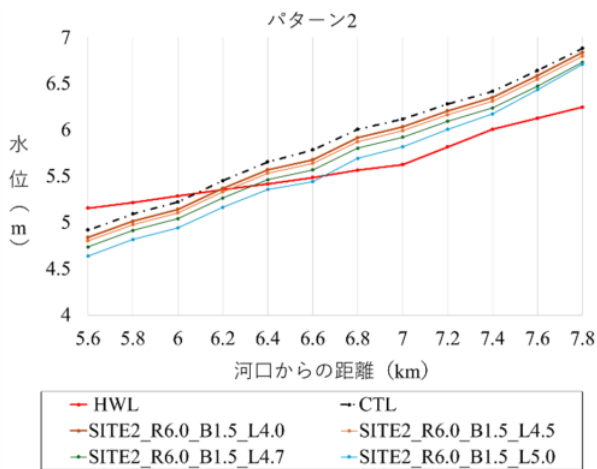


図5 パターン2における河道内の最高水位。遊歩道高さを 6.0m, 遊水地内の地盤高を 1.5m とした際の結果。

ースで遊水地を設置しないCTL より水位が低下している。個別のケースでは, SITE1_R5.55-6.0_B0.0_L4.0を除き, 遊水地から越流が発生した場合 (SITE1_R5.0_B0.0_L4.0, SITE1_R5.0_B-0.5_L4.0, SITE1_R5.0_B1.5_L4.0) では, 河道から遊水地に洪水流入したことで顕著な水位低下が生じた。SITE1_R5.55-6.0_B0.0_L4.0 と遊水地からの越流氾濫が発生しない場合 (SITE1_R6.0_B0.0_L4.0, SITE1_R6.0_B-0.5_L4.0, SITE1_R6.0_B2.5_L4.0, SITE1_R6.0_B1.5_L4.0) では, 水位低下はさほど大きくなかった。これらのケースでは, 河口から 6.2km (断面 32) より上流区間で最高水位がHWL を超えていた。

b) パターン2

パターン2では越流堤の高さを 4.0m, 4.5m, 4.7m, 5.0m と変化させて氾濫解析を行った。図-5 は遊歩道高さを 6.0m, 遊水地内の地盤高を 1.5m まで掘削させた際の結果である。いずれもCTL よりも河道内水位の低下がみられる。また, 越流堤高さが高いほど河道内水位が低下している。越流堤高さを高くすることで, 遊水地への洪水流入のタイミングは遅くなるが, 危険性が高まりつつある。

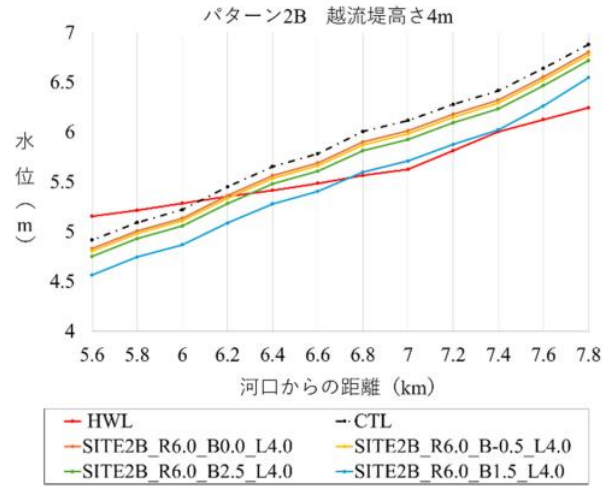


図6 パターン2における河道内の最高水位。遊歩道高さを 6.0m, 越流堤高さを 4.0m とした際の結果。

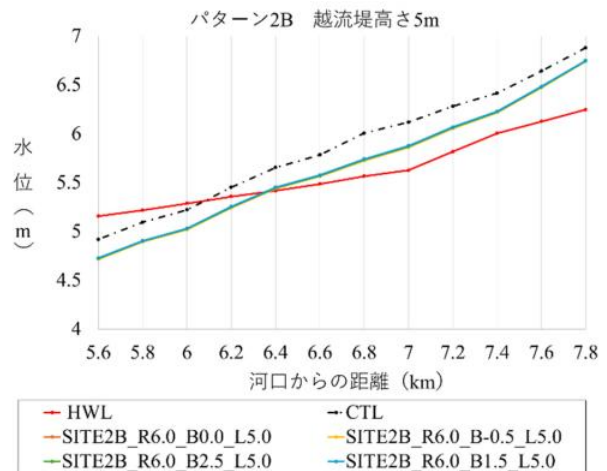


図7 パターン2における河道内の最高水位。遊歩道高さを 6.0m, 越流堤高さを 5.0m とした際の結果。

段階で洪水流が遊水地へ導入されることとなり, 適切な水位低下ができていると考えられる。

c) パターン2B

図-6 はパターン2Bにおいて越流堤高さを 4.0m としたケースの最高水位の比較である。遊水地内を掘削し, 貯留容量を大きくしたケースで最高水位の低下が顕著である。図-7 は越流堤高さを 5.0m としたケースである。遊水地内の地盤高が高いケースでは, 最高水位の低下がみられるが, 遊水地内の地盤が低いケースでは上昇している。貯留容量が小さいケースでは, 水位上昇前に遊水地の使用率が高まることなく, 最高水位が低下したと考えられる。一方, 貯留容量が大きく遊水地に余裕がある場合, 越流堤高さが低いケースでは遊水地に誘導されていた洪水流がそのまま下流に流れることになり, 水位低減効果が小さくなったと考えられる。

(2) 遊水地からの越流による浸水

周囲堤の高さ不足や貯留容量の不足などにより, 遊水地からの越流氾濫が生じるケースが見られた。図-8 はパ

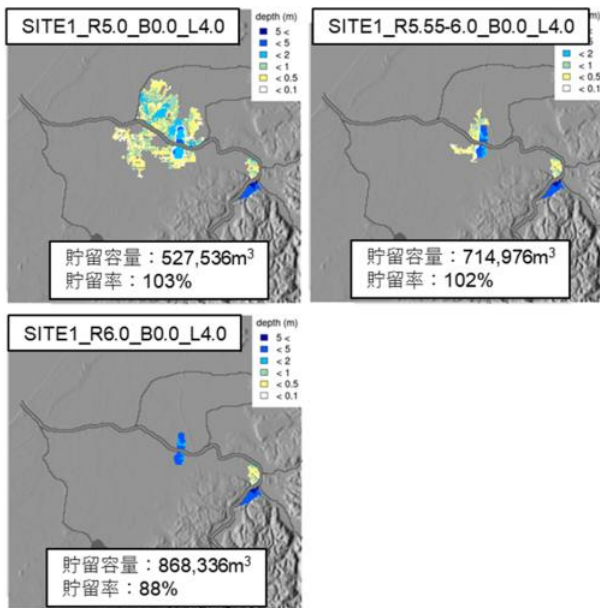


図-8 パターン1における浸水深分布. 遊水地の地盤高は変化させず、越流堤高さを4.0mとしたケースの結果.

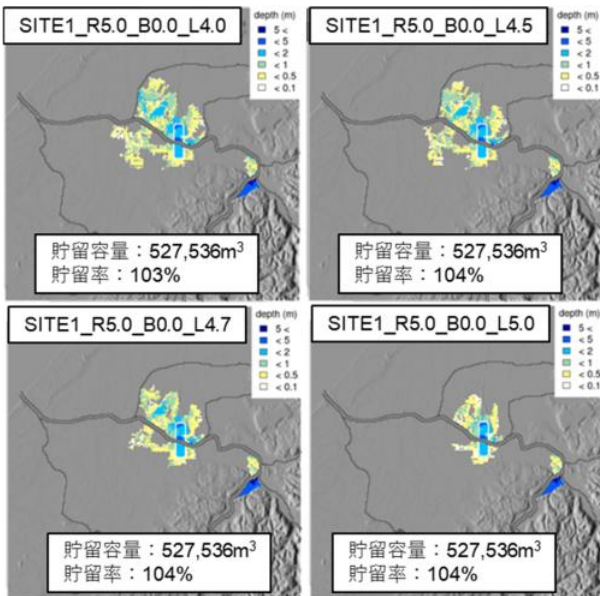


図-9 パターン1における浸水深分布. 遊歩道高さを5.0m, 遊水地の地盤高は変化なしとしたケースの結果.

ターン1のうち、遊歩道の高さを5.0m, 5.55-6.0m, 6.0mに変化させたケースの浸水深分布である。なお、いずれも遊水地内の地盤高は元のままであり、越流堤高さは4.0mとした。周囲堤の高さが低いケースでは、広範囲で浸水が生じ、十分な高さが必要であることがわかる。

図-9は越流堤高さを変化させた結果である。先述のように越流堤を高くすると遊水地への流入が遅くなり、遊水地は余裕がある状態が維持され、周囲堤からの氾濫が生じる場合でも浸水域を小さくすることができる。

遊水地の貯留容量は地盤の掘削によっても大きくすることが可能であるが、越流堤が低い場合には流入量が多く、周囲堤からの氾濫は大きいままである(図-10)。

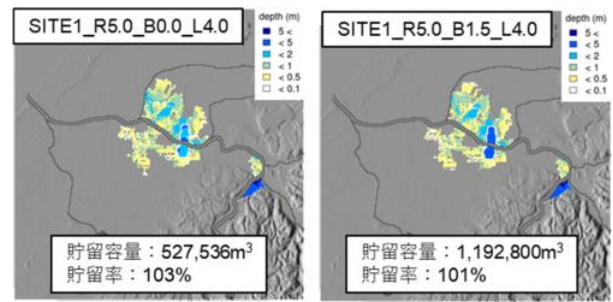


図-10 パターン1における浸水深分布. 遊歩道高さを5.0m, 越流堤高さを4.0mとしたケースの結果.

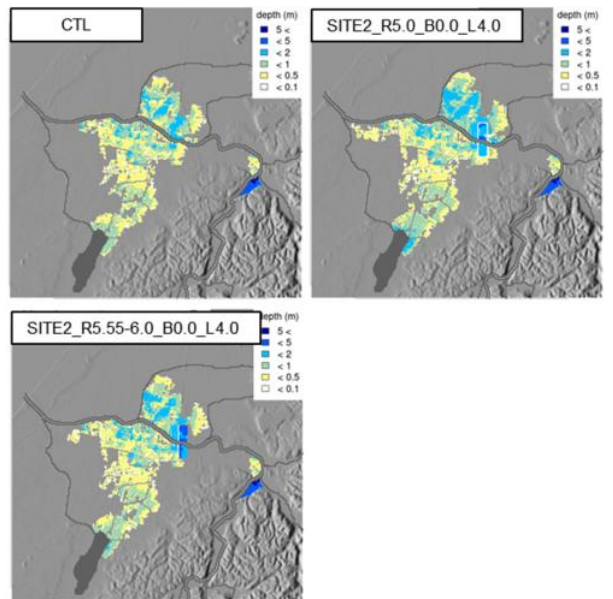


図-11 破堤を想定した氾濫解析結果

(3) 破堤を想定した氾濫解析

図-11に破堤を想定した氾濫解析結果を示す。なお、結果は左岸・右岸での破堤について個別に実施した氾濫解析結果の合成図である。遊水地から氾濫が発生しなかったケース(SITE2_R5.55-6.0_B0.0_L4.0)とCTLを比較すると、浸水深分布は類似していた。一方、遊水地から氾濫が発生したケース(SITE2_R5.0_B0.0_L4.0)をCTLと比較すると、左右岸においてCTLでは浸水が発生しない領域にも浸水が生じた。左岸西部および右岸で浸水範囲の拡大が顕著であり、右岸では浸水高さ1m以上2m未満のメッシュが多く占めている。また、流域の南側において、CTLでは浸水高さ0.5m~1mのメッシュが多く占めているのに対して、遊水地からの氾濫が発生したケースでは浸水高さ0.5m~2mのメッシュが多く占めている。

4. 氾濫被害額の算定

本研究では梯川における計画降雨を上回る規模の降雨を入力としており、破堤が生じない場合であっても山間部の出口部分で氾濫が生じており、この氾濫による被害

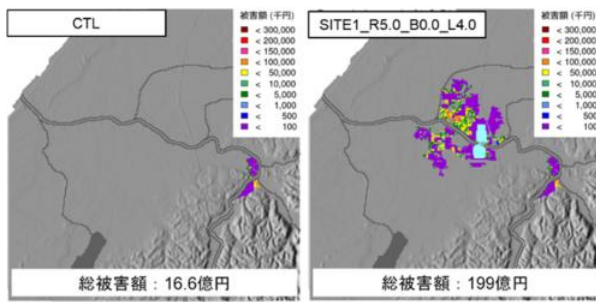


図-12 破堤が生じない場合の氾濫被害額分布。

額は約 16.6 億円である。また、遊水地の周囲堤からの氾濫が発生する場合の被害額は遊水地の設定ごとに異なるが、最大で約 200 億円にのぼる（図-12）。

図-13 は破堤を想定した場合の氾濫被害額の分布である。遊水地からの氾濫が生じないような設計がなされた場合でも破堤が生じた場合には CTL と同程度の被害が発生しており、遊水地を整備した場合でも破堤が生じない堤防の整備と維持管理が不可欠である。周囲堤からの氾濫が生じるような遊水地整備がなされた場合には、氾濫被害額は CTL を大きく上回る結果となった。

5. まとめ

本研究は、石川県小松市の一級水系・梯川を対象とし、河川沿いに生じる余剰地を活用した遊水地機能を有する公園緑地の整備効果を検証するため、複数の設計ケースに基づく氾濫解析を実施した。各ケースで、下流域での河川水位低減効果と計画高水位との比較を行い、破堤リスクの軽減効果を評価した。また、遊水地からの氾濫発生の有無の確認と、氾濫した場合の浸水域や浸水深から公園緑地設計の適否を評価した。さらに、河道水位の低減が不十分でない場合について破堤を考慮した氾濫解析を実施した。加えて、将来の人口減少に伴う居住地移転を想定し、世帯数および従業員数の変化を踏まえた氾濫被害額の算出を行った。

氾濫解析の結果、公園緑地の設計条件（規模、配置、遊歩道や遊水地の設定、越流堤の高さや配置）が、下流域での水位低下効果に影響することが確認された。必ずしも規模や貯留量が大きいほど絶対的な効果が得られるわけではなく、効果の評価には複数のケースを想定する必要があるが、適切な設計であれば下流断面での水位低減が可能であり、将来的に大規模な洪水が発生した場合でも破堤リスクの軽減効果が期待できる。

一方、破堤を考慮した場合、遊水地が整備されても、計画高水位（HWL）を超えて破堤が発生すると、遊水地による貯留効果は限定的であることが明らかとなった。本研究では、仮に遊水地を設けたとしても、HWL を超える状態で破堤が生じた場合、リスク低減効果は十分ではなく、経済損失は遊水地が整備されない場合と同等の規模

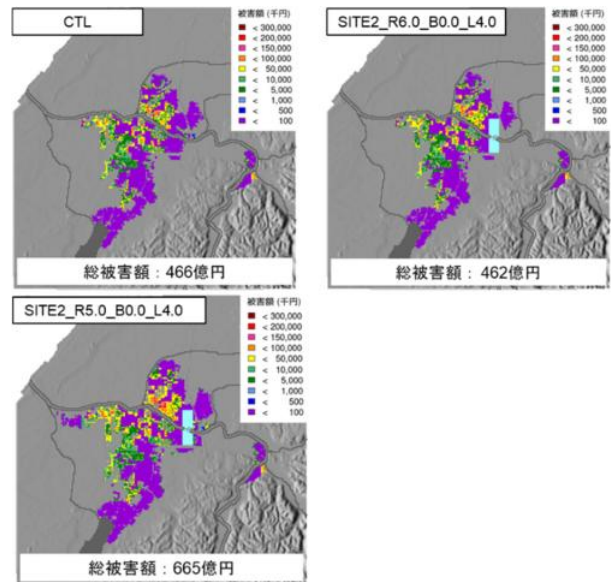


図-13 破堤が生じる場合の氾濫被害額分布。

となった。遊水地整備だけでなく、堤防強化や河道掘削などのハード対策との連携も不可欠である。

今後、異なる洪水波形に基づく検討や、河道と遊水地を一体的に表現したモデルにより洪水流の挙動を明らかにすることが不可欠である。

参考文献

- 1) 気象庁: IPCC AR6 統合報告書 政策決定者向け要約 (SPM) 暫定訳, 2023.
- 2) 小刀祐海斗, 谷口健司: 人口減少及び都市構造変化下における洪水氾濫発生時の経済損失変容評価, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.76, No.2, pp.I_517-I_522, 2020.
- 3) 谷口健司, 小刀祐海斗, 高山雄貴: 人口減少化での居住地移転促進策を想定した都市構造変化時の潜在的氾濫被害額評価, 土木学会論文集, Vol.79, No.2, 22-00117, 2023.
- 4) 岩崎慎一郎, 谷口健司: 公共施設の配置変更に伴う都市構造変化時の水災害リスク軽減効果に関する研究, 土木学会論文集, Vol.80, No.16, 23-16116, 2024.
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局: 治水経済マニュアル (案), 2020.
- 6) 谷口健司, 渋尾欣弘: 擬似温暖化手法による複数の確率年降雨に基づく氾濫解析と期待浸水深推定の試み, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.5, pp.I_1405-I_1419, 2018.
- 7) 佐山敬洋, 岩見洋一: 降雨流出 (RR1) モデルの開発と応用, 土木技術資料, 56(6), pp.18-21, 2014.
- 8) 佐貫宏, 渋尾欣弘, 李星愛, 吉村耕平, 田島芳満, 古米弘明, 佐藤慎司: 様々な氾濫因子を考慮した都市沿岸部の氾濫予測解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I_517-I_522, 2016.
- 9) 谷口健司, 渋尾欣弘: 氾濫解析モデルを用いた降雨の時空間特性と氾濫及び浸水形態の違いに関する検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.4, pp.I_1489-I_1494, 2018.