

石垣嵩上げに着目した近代以前のローカルな水害対策の定量的評価

白洲瞭¹・平野勝也²・天谷友哉³

¹学生会員 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 博士課程前期2年
(〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1, E-mail:akira.shirasu.s7@dc.tohoku.ac.jp)

²正会員 博士(工学) 東北大学 災害科学国際研究所 准教授
(〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1, E-mail:hirano@tohoku.ac.jp)

³非会員 大日本ダイヤコンサルタント株式会社
(〒980-0021 宮城県仙台市青葉区中央 1-6-35, E-mail:amagai_tomoya@ne-con.co.jp)

災害の激甚化や人口減少による成熟社会を背景として、大量の税金を投じた大規模事業により洪水を堤外に封じ込める治水が限界を迎えつつある。公共的治水の役割が小さかった明治以前の自然発生的な私的・共同体的な水害対策、すなわちローカルな水害対策の実態を把握することは、今後公共だけでなくあらゆる主体による治水を実現するために必要な知見であると言える。そこで本研究ではローカルな水害対策の一つとして石垣による嵩上げに着目し、氾濫解析によりそれらの持つ水害への効果を浸水深と流速により測定した。その結果、浸水深については嵩上げによって一定の水準を下回る効果があること、流速については一貫した傾向は見られないものの、各地区特有の事情がその効果に影響する可能性が示唆された。

キーワード: 流域治水, 氾濫解析, 自助・共助, 伝統的水害対策, 石垣嵩上げ

1. はじめに

(1) 背景

気候変動による災害の激甚化が日本経済に多大な影響を与えている。特に水害に関しては、令和元年東日本台風や令和2年7月豪雨に見られるように多大な被害が生じており、これは被災地における人的被害だけでなく、火災保険料の引き上げなどを通じて日本全体に影響を及ぼしている。一方で、日本の総人口は減少の一途をたどる。2070年には2020年時点での総人口の約7割まで減少し、65歳以上人口はそのうち約4割へと上昇する。これらは国家の財源である税金の減少に繋がり、これまでの経済成長を前提とした時代とは異なる成熟社会を迎えることとなる。

これらの背景により、大量の税金を投じた大規模事業により洪水を堤外に封じ込めるような治水が限界を迎えつつある。そのような中で2021年に打ち立てられた流域治水プロジェクトは、これまでの河川管理者主導の治水に加え、河川管理者だけでなく流域の企業や住民などのあらゆる関係者が参加することで、多層的な治水への転換を目指すプロジェクトだ。

しかし、大熊¹⁾が指摘するように、日本では明治時代

以降、近代治水技術の導入や中央集権政府の樹立により、あらゆる地域に対して大規模な治水を推し進めることが可能となったため、現在まで公共的治水が卓越し、自分自身や家族を守る私的水害対策や、地域や仲間を守る共同体的水害対策はもはや姿を消しつつある。したがって、多層的な治水の実現には明治時代以前に存在した、自然発生的な私的水害対策と共同体的水害対策、すなわちローカルな水害対策に着目する必要がある。

ローカルな水害対策についての研究として、青木ら²⁾や大熊³⁾などがあるが、これらの研究は歴史的な調査や定性的な議論にとどまる。また、過去の水害対策評価に関して定量的な指標を用いた研究としては天谷ら⁴⁾があるが、その分析対象は下流域における集落立地特性であり、水害への曝露の指標も浸水深の観点にとどまっている。しかし、明治以前のローカルな水害対策を見直し、今後の水害対策へと応用するためには、過去の水害対策が想定していた水害の規模について、より一般的な傾向を把握することが必要である。

(2) 観点

ローカルな水害対策には水屋や水害防備林、輪中堤など様々なものが存在するが、本研究では石垣による嵩上

げ（以降石垣嵩上げ）に着目する。石垣嵩上げは、水害の浸水被害という側面だけでなく、流速による家屋の破壊被害も考慮した水害対策であり、より一般的な水害被害を扱うことができる。

なお、石垣嵩上げには地区全体を嵩上げするものや、一つの建築を嵩上げするものも存在するが、本研究では両者を総称して石垣嵩上げとすることで、ローカルな水害対策の効果について、普遍的な傾向を把握することができる。

(3) 研究の目的・枠組み

以上より、本研究ではローカルな水害対策の具体例として石垣嵩上げに着目し、これらが公共的治水の卓越する明治以前にどの程度の水害を想定していたのか、現在の基準で測定する。

より具体的には、異なる再現期間による河川流量を入力する氾濫解析を行うことで、以下の2点を測定する。

- ・ 石垣嵩上げをおこなった箇所が本来被るはずだった水害曝露の規模
- ・ 石垣嵩上げによる対策の結果、軽減される水害曝露の規模

これらを測定し、過去のローカルな水害対策の水準について一般的な傾向を把握することを目的とする。

本来であれば、一般的な傾向の把握には広い範囲での解析が必要である。しかし、石垣嵩上げは水害対策以外の要因によって生じる可能性もある。そこで、本論文ではローカルな水害対策の傾向把握を目的とする研究の端緒として、月光川水系の上流域、中流域で確認できた石垣嵩上げのみを対象とした予備解析を行うことで、そもそも明治以前のローカルな取組みに水害対策の傾向が存在することを確認する。

2. 解析方法

(1) 氾濫解析の概要

本研究における氾濫解析では、解析ソフトウェアのiRICに内蔵される氾濫解析ソルバーNays2dFlood[®]を用いた。Nays2dFloodは入力データとして解析を行う河川の流量を必要とするが、その流量は天谷ら⁴⁾が国立研究開発法人土木研究所 ICHARMにより開発・公開されているRRIモデル[®]を用いて計算した結果を用いた。これら2つを組み合わせた手法は、令和元年台風19号の中川流域⁷⁾や令和2年7月の球磨川水害⁸⁾の解析時に用いられた手法である。

(2) 対象流域・地域

流速被害の生じやすい上流域と、浸水被害の生じやす



図-1 月光川水系

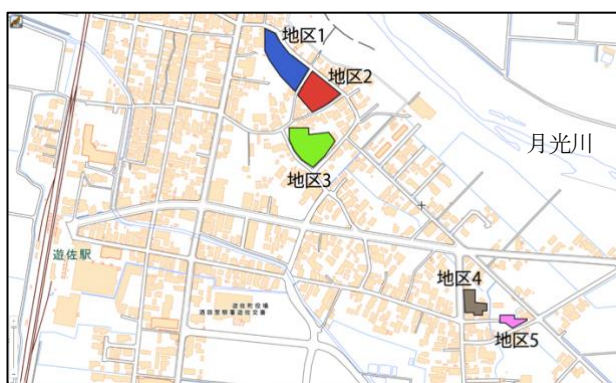


図-2 遊佐地域における嵩上げ箇所



図-3 杉沢地域における嵩上げ箇所

い中流域において、それぞれ複数の石垣嵩上げが確認できた二級水系の月光川水系（図-1）を対象とした。

また、氾濫解析を行う地域は月光川の支川である庄内熊野川に位置する杉沢地域を上流域として選定し、中流域としては遊佐地域を選定した。これら2つの地域では、それぞれ石垣嵩上げが複数確認された。

なお、石垣嵩上げと認める条件は、装飾や敷地界としての石垣を含まないために、Googleストリートビューによりおよそ0.5mを超える石垣が現在確認できる箇所、かつ過去の航空写真（1961年から1969年）において既に宅地が形成されている箇所の2条件とした。また、石垣嵩上げの領域の特定は、石垣に垂直な方向の坂の傾斜や、視覚的に確認できる情報に基づいて決定した。その結果、遊佐地域では5地区（図-2）、杉沢地域では4地区（図-3）が、石垣嵩上げの行われた地区と認められた。

(3) 入力データ

a) 流量

天谷ら⁹⁾により計算された、遊佐地域と杉沢地域の上流部における再現期間別の流量をRRIモデルによる計算結果から抽出し、入力する流量とした。各地点での流量は図-4,5の通りである。

b) 石垣嵩上げを反映した標高データ

石垣嵩上げは建物の敷地単位での事象であるため、できるだけ小さなメッシュを持つデータとして、国土地理院の提供する基盤地図情報⁹⁾より数値標高モデル(5m)を取得した。このデータに対して、明治以前の標高データを再現するために、近代治水の影響として堤防や鉄道によって標高の高くなっている箇所をGISにおける標高穴埋め関数の実行により補正した。なお、この標高データには元々嵩上げによる標高の上昇は反映されているため、このデータを以降「嵩上げあり」とし、石垣嵩上げによる対策の結果、軽減される水害曝露の規模を測定する際に用いる。

c) 石垣嵩上げの影響を除いた標高データ

次に、石垣嵩上げの影響を除いた標高データを作成する。(2)において石垣嵩上げと認めた地区に対して、石垣嵩上げをGISにおける標高穴埋め関数により補正した。これにより作成したデータを以降「嵩上げなし」とし、石垣嵩上げをおこなった箇所が本来被るはずだった水害曝露の規模を測定する際に用いる。

(4) 計算格子・計算条件の設定

Nays2DFloodにおける計算格子及び計算の条件は表-1,2の通りである。できるだけ小さな格子での解析を目指しつつ、計算負荷を考慮しながら設定した。

3. 結果と考察

(1) 結果

以上の解析条件に基づいて氾濫解析をおこなった結果を、浸水深と流速に分けて示す。

a) 浸水深

石垣嵩上げの確認された各地区に含まれる格子点における、解析期間内での最大浸水深をそれぞれ算出し、各地区での全ての格子点の平均値を算出した。嵩上げなしにおける結果も石垣嵩上げされた地区ごとに対応して算出されていることに留意されたい。これらの結果を地域ごとに示した結果が図-6,7である。

まず、遊佐地域と杉沢地域を比較すると、石垣嵩上げの有無に関わらず遊佐地域で浸水深がより大きいことがわかる。

次に、越村ら¹⁰⁾によると、浸水深が約2m以上、流速が

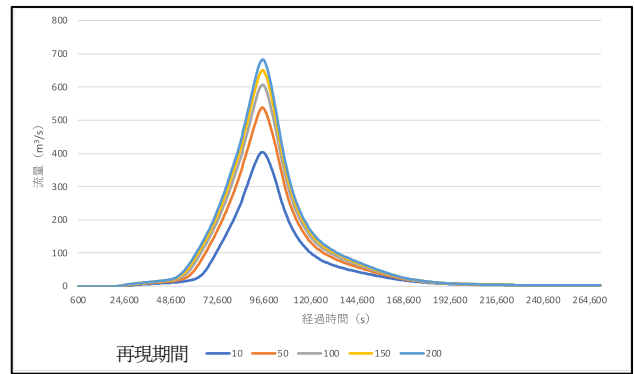


図-4 遊佐地域における入力流量

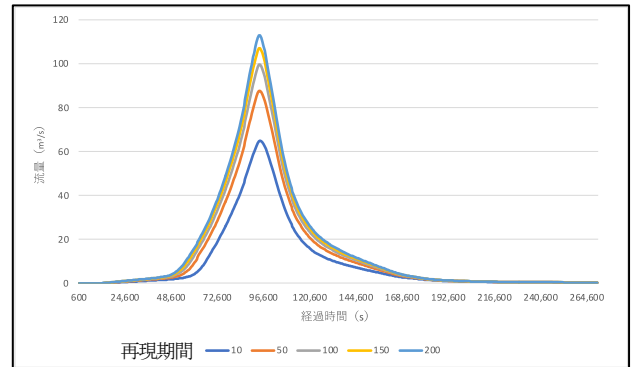


図-5 杉沢地域における入力流量

表-1 計算格子生成条件

	遊佐地域	杉沢地域
河川水平方向メッシュサイズ (m)	4.95	4.99
河川横断方向のメッシュサイズ (m)	5.00	5.00
メッシュ数	151,200	66,000

表-2 計算条件

タイムステップ (s)	0.300
堤内地の粗度係数	0.020
堤外地の粗度係数	0.025
下流端境界条件	自由流出
初期水面形	水深ゼロ
移流項の差分方法	風上差分

約1.8m/s以上であると家屋破壊が顕著になる。しかし、本解析では再現期間200年の氾濫においても、浸水深が高々0.8m、流速が高々0.6m/sであり、現在の基準では深刻な被害は生じないと言える。

また、建築基準法で定められる一階の床高45cmを閾値として見ると、地区2,5では再現期間10年から50年の間、地区1では再現期間50年から100年の間、そして地区3,4では150年から200年の間でこの閾値を超えた浸水深が生じる。

石垣嵩上げの効果は、杉沢地域では嵩上げなしでも浸水がほとんど生じないため嵩上げの効果は乏しいが、遊佐地域では嵩上げなしにおいて全ての地区で再現期間

200年までに浸水深45cmを超えていたのに対して、嵩上げありでは再現期間200年でも閾値を超えない水準まで効果を発揮していることがわかる。

b) 流速

浸水深と同様に、石垣嵩上げが行われた各地区に含まれる格子点における、解析期間内での最大流速をそれぞれ算出し、各地区での全ての格子点の平均値を算出した。これらの結果を地域ごとに示した結果が図-8,9である。

流速についても浸水深と同様に、家屋破壊が顕著になる1.8m/sを超えない結果となった。

嵩上げによる効果として実線と破線を比較すると、遊佐地域では地区5を除くと、どの再現期間で見ても嵩上げありよりも小さな値をとる嵩上げなしの点は存在しない。そして、嵩上げありは再現期間200年の水害でも約0.2mの流速を逃れる水準となっている。したがって、地区5を除いた傾向としては、一定以下の水準にまで水害曝露を低減させる効果があったと言える。また、杉沢地域では地区4を除くと、ほとんど実線と破線は重なっている。したがって、杉沢地域における地区4を除いた傾

向として、流速に対しては石垣嵩上げによる効果はほとんど発揮されないと言える。

また、除いて考えた遊佐地域の地区5は、再現期間100年を超えると実線と破線の間隔が狭まるため、10年から100年の再現期間で石垣嵩上げの効果が強く発揮されると言える。一方で、杉沢地域の地区4では、再現期間100年から200年にかけて実線と破線の間隔は拡大するため、100年を超えた再現期間の水害に対して石垣嵩上げの効果が発揮されると言える。

(2) 考察

上流域の杉沢と比べて中流域の遊佐地域の方が、浸水深及び流速は全体として大きいことがわかった。これは、中流域の方が集水域は大きく、流量も多くなるためであると考えられる。

また、どちらの地域でも嵩上げなしにおける水害曝露は、現在の家屋被害の一基準である浸水深約2m以上、流速約1.8m/sには到底及ばなかった。したがって、明治以前は水害リスクの低い土地でもローカルな水害対策

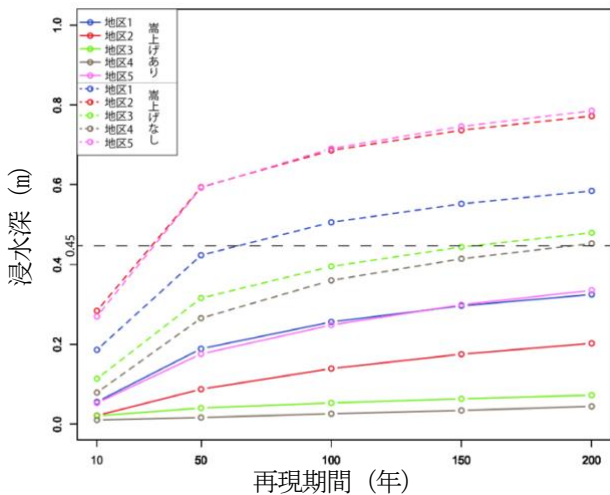


図-6 遊佐地域における最大浸水深の平均値

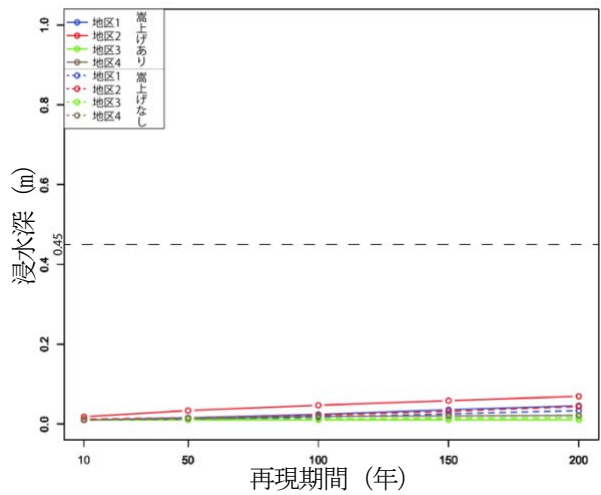


図-7 杉沢地域における最大浸水深の平均値

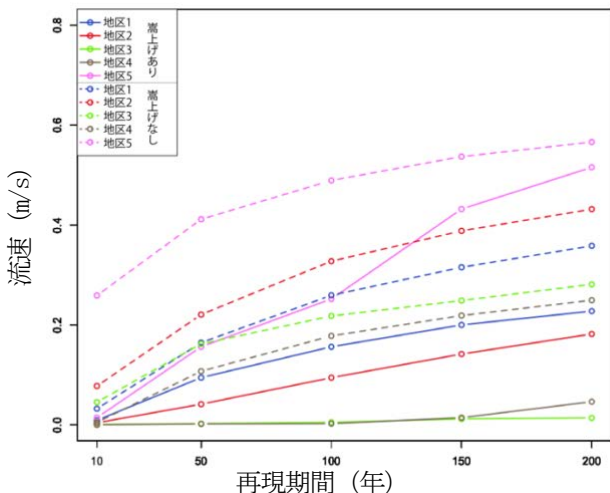


図-8 遊佐における最大流速の平均値

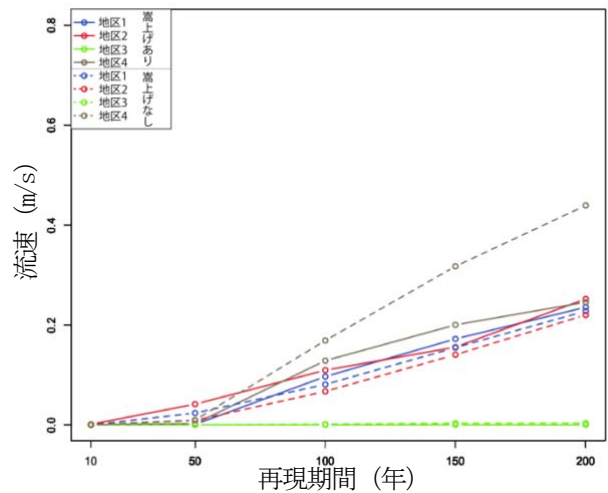


図-9 杉沢地域における最大流速の平均値

が生じていた可能性、もしくは今回の氾濫解析で計算された浸水深、流速が当時は深刻な水害リスクとして認識されていた可能性がある。

嵩上げの効果は、浸水深という観点では遊佐地域で共通して再現期間200年で45cm以下に抑え込むという傾向が見られたが、流速については遊佐地域の地区5や杉沢地域の地区4のように、同じ地域の他地区とは違う傾向を示す地区も存在し、一般的な傾向は確認できなかった。これは、その地区特有の事情が反映されている可能性がある。例えば、遊佐地域の地区1から4が住家であるのに対し、地区5は神社であり定住している人間がいないため、規模の大きい水害による流速被害までは考慮しなかった可能性が考えられる。杉沢地域の地区4については地区1から地区3と同様に住家であるが、最も上流側に位置する地区であるため、地域全体の要衝として流速軽減の役割を担っていた可能性が考えられる。

5. まとめと展望

本研究では、ローカルな水害対策の一つとして石垣嵩上げに着目し、それらの対策水準についての一般的な傾向の把握を目的とした。これを達成するために、石垣嵩上げが生じる条件と、その結果軽減される水害曝露の規模の2つについて、氾濫解析により浸水深と流速という形で測定した。結果として、中流域における石垣嵩上げは浸水深について一定の水準を達成する効果をもつことが明らかとなった。また、流速に対する効果については一貫した傾向は見られないものの、個別要因がそのあり方に影響する可能性が示唆された。

しかしながら、本研究では1つの流域の特定の地域という、空間的に限られた対象での解析となっているため、より一般的な傾向を把握するためにはさらに広い範囲での解析が必要である。また、石垣嵩上げの地区による効果の差については、地域全体から見たその地区の立ち位置や、その地域の村落形態など、様々な要因が考えられる。それらの可能性の検討も課題である。

参考文献

- 1) 大熊孝：ローカルな思想を創る① 技術にも自治がある治水技術の伝統と近代，社団法人農山漁村文化協会，2004。
- 2) 青木秀史，畔柳昭雄：水害常襲地帯における地域・建築と住民生活に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第80巻，第717号，pp.2569-2576，2015
- 3) 大熊孝：水害防備林の再興に関する一考察，土木史研究，第17号，pp.135-143，1997
- 4) 天谷友哉，平野勝也：過去の土地利用に見る近代治水以

前の水害リスクマネジメント，景観デザイン研究講演集，No.18，2022。

- 5) 一般社団法人iRIC-UC：iRIC Software，<https://i-ric.org/>，最終閲覧日2023年8月30日。
- 6) 佐山敬洋，岩見洋一：降雨流出氾濫（RRI）モデルの開発と応用，土木技術資料，Vol.56，No.6，pp.1-4，2014。
- 7) 大中臨，赤松良久，平田真二，佐山敬洋：令和元年台風第19号による那珂川流域の流出氾濫再現シミュレーション，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.76，No.1，pp.304-314，2020。
- 8) 山田真史，佐山敬洋，尾形勇紀，二瓶泰雄：分布型降雨流出氾濫モデル RRI と氾濫流解析ソルバ iRIC Nays2DFlood の連携について -2020年7月球磨川水害での例-，iRIC Online Workshop #1，2020。
- 9) 国土地理院：国土地図情報 ダウンロードサービス，<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>，最終閲覧日2023年8月30日。
- 10) 越村俊一，行谷佑一，柳澤英明：津波被害関数の構築，土木学会論文集B，Vol.65，No.4，320-331，2009。