

強靱な地域形成のための堤防越水シミュレーション

板垣 修・大原美保・小池俊雄

1. はじめに

地球温暖化に伴う気候変動影響によるこれまでに経験したことのないような豪雨・洪水の増大に対して、管理者主体の河川区域を中心としたハード整備を加速化するとともに、土地利用やまちづくり、住まい方の工夫、災害時の避難、経済被害軽減や災害後の復旧・復興等、水災害に備える社会を構築し、持続可能な発展を目指す流域治水の必要性が強調されている。本報文は、流域治水の具体的な推進手法の確立に向け、堤防の整備規模を超過する洪水時の被害防止・軽減対策の1つとして、一連の氾濫域内における氾濫水量の低減を通じた被害軽減対策の研究を紹介する。氾濫の制御による被害軽減対策には江戸時代から記録に残る「野越」、米国陸軍工兵隊の「管理された越水」がある。なお、本研究は全国各地の流域治水の具体的な推進方策について技術的に研究することを目的に、近年激甚な氾濫被害が発生した地区の1つにおいて試行的に行った（引き続き研究が必要な）ものに過ぎない（詳細は板垣¹⁾、板垣ら²⁾を参照）。

2. 洪水氾濫被害の軽減対策の検討

2.1 洪水被害防止・軽減対策の分類

洪水規模・再現期間とハザード（場所ごとの浸水深等）の大きさを2軸として対策（リスク受忍を含む）を分類し図-1に示す。リスク受忍とは災害の再現期間等を踏まえ対策を講じない場合を意味し、低頻度激甚氾濫対策とは、災害の再現期間は長いものの発生時に激甚な被害が想定される洪水氾濫対策を意味する。図中気候変動の影響により強雨の再現期間が短くなり、洪水氾濫の再現期間が短くなることを左向きの矢印にて示す。

前述の氾濫水量の低減を通じた被害軽減対策は、低頻度激甚氾濫対策の1つと考えられ、治水施設整備（レベル1対策）と避難により人命を何としても守る（レベル2対策）との間のギャップを埋

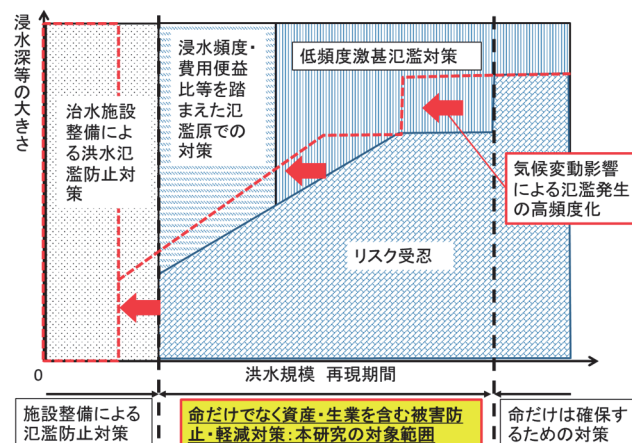


図-1 洪水規模・浸水深等による洪水対策の分類

める、命だけでなく資産・生業を含む被害防止・軽減対策（レベル1.5対策）である。

2.2 氾濫水量の低減対策の検討手法

本研究における氾濫水量の低減対策の検討手順を図-2に示す。3.においては紙幅の制約により一部項目を省略する。

3. 氾濫水量の低減対策の試験的な検討

3.1 試験適用地区の概要

試験適用地区を図-3に示す。高城川水系鶴田川は鳴瀬川水系吉田川をサイフォンで横過している。対象区域の広さは約2.1km×7.4kmであり、区域内の区間を含む一連区間の河床勾配は吉田川が約1/3000、鶴田川が1/1000から1/22000程度である。

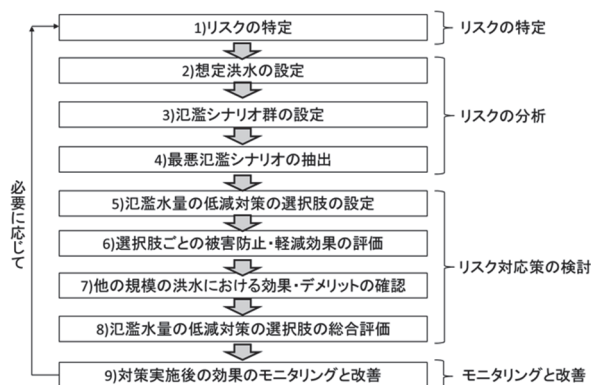


図-2 氾濫水量の低減対策の検討手順

令和元年台風第19号（東日本台風）による洪水（以下「実績洪水」と呼ぶ。）において農地が水没し排水に12日間を要するとともに、住家（主な集落の概略位置を図中白破線で示す）が床上浸水し転出する住民が生じたことから、農地の長期浸水及び住家の水没を防止すべきリスクとし、当該洪水を想定洪水として選定した。

3.2 氾濫シナリオ群の設定

1) 実績洪水時の越水・氾濫状況

実績洪水時の吉田川の越水地点³⁾を図-3に示す（黄色が越水、橙色が越水後破堤）。最大越水深は破堤地点（20.9k 付近）における約 0.4m とされている。吉田川左岸の想定破堤地点（実績洪水時の主な越水箇所に基づく）及び 3.5 における破堤防止対策の選択肢に基づき表-1 のとおり氾濫シナリオ（氾濫解析における氾濫条件）群を設定した。氾濫解析手順を図-4 に、氾濫シナリオ 1（実績洪水の再現計算）の氾濫解析結果を図-5（上）に示す。

3.3 氾濫解析精度の検証

浸水推定段彩図（国土地理院）と図-5（上）を目視で比較したところ、吉田川と鶴田川に挟まれた区域の浸水範囲及び浸水深について著しい差異は認められなかった。痕跡浸水深（12地点）^{4),5)}と最大浸水深を比較したところ、両者の差は約 0.2～1.8m、差の絶対値の平均は約 0.85mであった。両者の差が大きいのは盛土近く、破堤点近く、周囲よりも1m程度地盤高が高い地点であり、これらを除いた3地点の両者の差は約 0.2～0.6mであった。氾濫水の排水所要日数は氾濫シナリオ1で14日間であり、実際の12日間との差は17%であった。ここで、排水所要日数は吉田川左岸 14.0k 付近の既設排水機場の排水能力 $8.5\text{m}^3/\text{s}$ に基づき、氾濫水量を排水能力で単純に除し概略試算している。

3.4 最悪氾濫シナリオの抽出

氾濫シナリオ 1、3（図-5）、4（図省略）を比較すると 3、4の方が1よりも浸水範囲が広く、広範囲で大きな浸水深となった。よって、氾濫シナリオ 3（及び 4）がこれら 3つのシナリオの中で最悪の氾濫シナリオ（浸水面積では 3、最大浸水深では 4 が最悪）である。

3.5 氾濫水量の低減対策の選択肢の設定

強固に防護され天端高さが計画高水位である

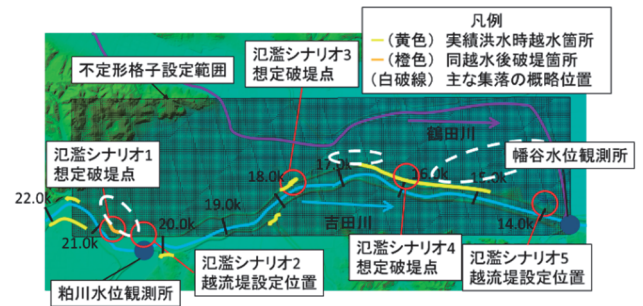


図-3 試験適用地区

※iRICにより作成 国土地理院色別標高図使用（図-5、図-6も同様）

表-1 氾濫シナリオ群

氾濫シナリオ	氾濫条件
1	左岸 20.9k 付近破堤（実績再現）
2	左岸 20.3k 付近仮想越流堤を越流
3	左岸 17.8k 付近破堤
4	左岸 16.0k 付近破堤
5	左岸 14.0k 付近仮想越流堤を越流

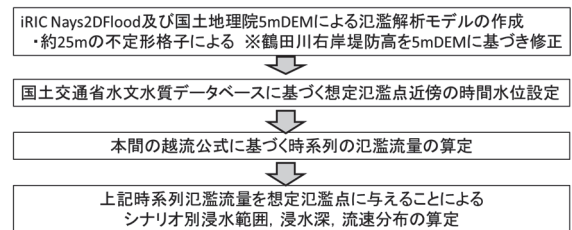


図-4 氾濫解析手順

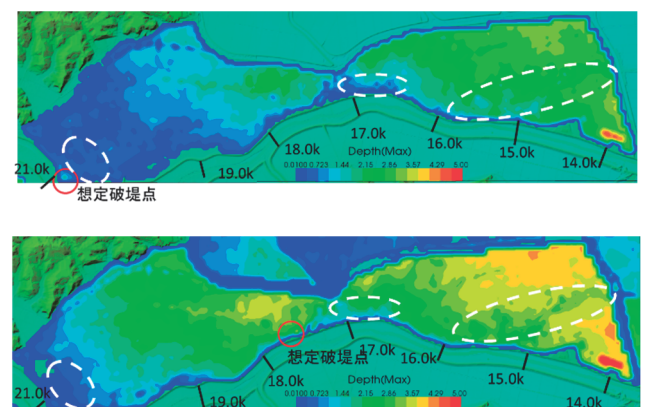


図-5 最大浸水深分布（上：氾濫シナリオ1、下：同3）

越流堤及び減勢工を新たに設けることにより河川水の一部を堤内地へ流入させることを通じて地区内の吉田川水位を低下させ、越流堤以外の堤防からの越水をできるだけ防ぎ越水破堤を防ぐ方策を検討した。本研究では地元でのヒアリングを基に、浸水期間3日以内、床下浸水被害に留めることを

目標とする。ここで、耐越水型の堤防（危機管理型ハード対策）を全川に渡り導入すれば、越流から破堤までの時間を現状よりも長くすることを通じて人的被害を低減しようと考えられるが、下流へのリスク移転の議論が生じる。また、本研究で対象とする住家、農地被害の軽減対策（レベル1.5対策）を検討するために必要である堤防の機能発揮の評価手法が研究途上にあると考えられることから、今回は選択肢に含めなかった。なお、地区内の吉田川堤防の全区間を越流に耐えうる越流堤とするには延長8km程度の両岸に渡り堤内側に減勢工等を設置するための広大な用地を取得すること等が必要であり現実的ではないと考えた。

地区内の吉田川の上流端付近左岸の集落の直下流に越流堤を設置することを選択肢1（氾濫シナリオ2）とし、地区内で最も標高が低い吉田川下流端付近に越流堤を設置することを選択肢2（氾濫シナリオ5）とした。ここで、越流堤の幅（吉田川流下方向長さ）は50m程度と設定した（設定根拠は板垣ら²⁾を参照）。

選択肢ごとの氾濫解析結果を図-6に示す。いずれも浸水範囲・浸水深等が小さくなったが選択肢2の方がより小さくなった。

3.6 氾濫水量の低減対策の選択肢の総合評価

選択肢2では実績洪水時の浸水面積が破堤を伴う氾濫シナリオ1、3、4の中の最小値の1/3程度に低減されるとともに最大浸水深が同6割程度に低減された。また、排水所要日数も氾濫シナリオ1、3、4において14日間から25日間であるのに対して、氾濫シナリオ5では2日間程度と大幅に短縮（約86%短縮）された。

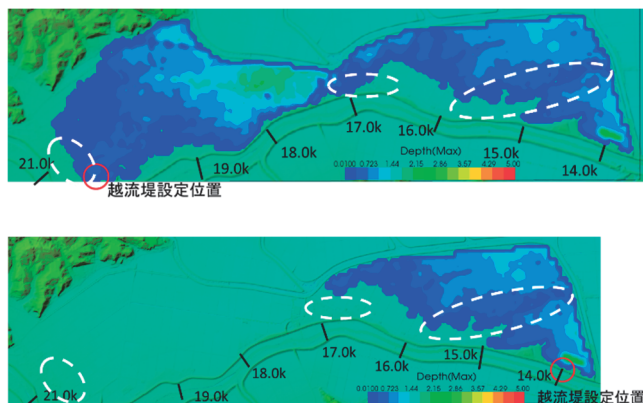


図-6 最大浸水深分布（上：選択肢1、下：同2）

地区内の集落（図中右端の白破線内）の平均浸水深を氾濫シナリオ1と5で比較すると前者に比べ後者は約2m減少した。つまり、実績洪水時に住家の一階天井付近まで水没する浸水深であった場所においても1m程度の宅地かさ上げ等を行うことにより床下浸水以下に被害を軽減しうる。

越流堤の設置により越水頻度が増大することは本対策手法のデメリットである。これを具体的に把握するためピーク水位が計画高水位+0.6m（当該区間の吉田川の計画堤防高と計画高水位との差である1.2mの半分）の洪水を想定し選択肢2の排水所要日数を試算したところ1日程度に過ぎなかった。

さらに、想定洪水ごとの年超過確率を概略評価し、農作物被害額の年平均値を概算（一律水稻を仮定。土砂堆積、並びに住家、農業用施設、道路等の被害を考慮せず。）したところ、年平均被害額が氾濫シナリオ1、3、4の中の最小値の1/3程度に低減された。

最後に、施策効果総合表現図（気候変動の影響による被害増分を洪水再現期間別に示した図）⁶⁾を用いて、実績洪水時河道と選択肢2の気候変動への適応度（気候変動の影響による被害増分が小さいほど適応度が高いと考える。）を図-7に示す。実績洪水を超過する規模の洪水時の被害については実績洪水と同程度と仮定し右方水平に破線で示した。気候変動影響により洪水の再現期間（幡谷地点の観測水位データに基づく実績洪水の再現期間を約265年と試算。）が短縮する（再現期間の短縮量に踏み込まず単に左方向に平行移動すると仮定。実績洪水の再現期間が100年程度に短縮した場合を図示。これらは図の横軸からの立ち上がり位置に対応。）ことによる被害の増分を赤実線（実績洪水時河道：氾濫シナリオ1、3、4の中で被害最大の氾濫シナリオ3）及び橙実線（選択肢2）で示すと、選択肢2の方が被害の増分（気候変動の影響を見込んだ洪水の被害額から現在気候での被害額を差し引いたもの）が大幅に低減されることが見て取れる。

4. まとめ

試験適用地区において仮想越流堤（選択肢2）を設置することによる実績洪水規模の洪水時の吉田川の水位低下による効果は次のとおりである。

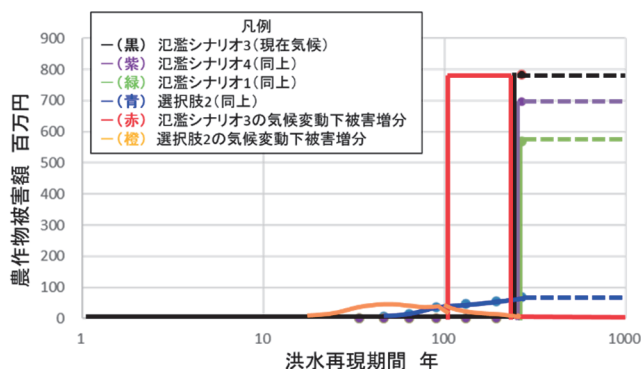


図-7 気候変動への適応度の比較

- ① 最大越水深が約 0.39m から約 0.14m へ約 0.25m 低減
- ② 計画堤防天端高を水位が超える区間の長さが約 6km から約 2.2km へ約 3.8km 短縮
- ③ 越水継続時間が約 4 時間から約 2 時間 10 分へ約 1 時間 50 分短縮

実績洪水時に越水したものの決壊を免れた箇所の中で最大の越水深は約0.36m、越水継続時間は約3時間と推定されている³⁾。したがって、仮想越流堤の設置により越水深、越水継続時間ともに上記非決壊箇所付近の値以下に低減されることから決壊の可能性を大幅に軽減でき、浸水期間を3日以内に留め、合わせて一部の宅地を1m程度嵩上げすることで床下浸水被害に留める目標を達成しうると考えられる。なお、計画高水位を河川水位が超えた場合の堤防の機能発揮には大きな不確実性が避けられないことから、計画的に堤防を粘り強くしておくことが重要である。

本稿で述べた氾濫水量の低減を通じた洪水被害の軽減対策は浸水域の偏在化を伴うため、土地所有者等の合意形成が難しいと考えられる。このた

め、浸水頻度が増加する土地については、浸水被害を軽減するための住家・道路の嵩上げ等を支援することなどにより、被害負担を平準化することが必須と考えられる。

第一著者が現在勤務している河川事務所においても、設計規模を超過する洪水時の被害防止・軽減対策を具体的に検討することが重要と考えられ、本研究成果等を踏まえ、流域治水の具体的推進を引き続き図ってまいりたい。

謝 辞

日本大学工学部梅田信准教授、大崎市水害に強いまちづくり専門家会議委員及び関係各位並びに国土交通省水管理・国土保全局、国土技術政策総合研究所の関係各位に心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 板垣修：流域治水の推進に必要な合意形成のための減災対策による被害軽減効果の評価手法の研究、政策研究大学院大学博士論文、pp.21～52、2021
- 2) 板垣修、大原美保、小池俊雄：貯留分担による安全で豊かな地域形成のための堤防越水箇所整備の検討、水文・水資源学会誌、第35巻、第5号、pp.325～338、2022
- 3) 鳴瀬川堤防調査委員会：鳴瀬川堤防調査委員会報告書、pp.2-11～3-16、2020
- 4) 土木学会水工学委員会令和元年台風19号豪雨災害調査団：土木学会水工学委員会令和元年台風19号豪雨災害調査団報告書（東北地区）、土木学会、p.63、2020
- 5) 梅田信：土木学会水工学委員会令和元年台風19号豪雨災害調査団（東北地区）浸水痕跡現地調査データ、2019
- 6) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 気候変動適応研究本部：河川・海岸分野の気候変動適応策に関する研究、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告第56号、pp.201～203、2017

板垣 修



研究当時 政策研究大学院大学／土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター連携防災プログラム博士課程学生（国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室長）、現 中部地方整備局 木曽川上流河川事務所長、博士（防災学）
Ph.D. ITAGAKI Osamu

大原美保



土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター主任研究員、博士（工学）
Dr. OHARA Miho

小池俊雄



土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター長、工博
Dr. KOIKE Toshio