

堤防破堤リスクや内水氾濫を考慮した リアルタイム浸水把握・浸水予測システムの構築

前島直哉¹

¹中部地方整備局 沼津河川国道事務所 調査課（〒410-8567 沼津市下香貫外原3244-2）

狩野川流域において令和元年東日本台風発生時、破堤こそなかったものの各地で内水氾濫による被災が確認された。今後も気候変動に伴う風水害の頻発化・激甚化が予想される。

沼津河川国道事務所では広域かつ多発的に発生する浸水被害実態を早期に検知・発見・把握することを目的とした「リアルタイム浸水把握・浸水予測システム」の構築を行い、水害発生リスクが高くなった際の効率的なソフト対策として位置付けた。本論文では当該システムの概要と、今後の展開と課題を記述する。

キーワード 堤防破堤リスク リアルタイム浸水把握 内水氾濫 浸水予測システム

1. はじめに

近年、全国各地において豪雨による災害が頻発し、気候変動による水害リスクが増大している。令和元年東日本台風では、静岡県や関東甲信地方、東北地方の多くの地域で降水量の観測史上1位の値を更新する等、記録的な大雨となった。この大雨の影響で、広い範囲で河川の氾濫が相次いだほか、土砂災害や浸水被害が発生し、人的被害や住家被害、ライフラインへの被害が発生した。

令和2年7月に総合施策としてとりまとめられた「総力戦で挑む 防災・減災プロジェクト」の中で「新技術の活用による防災・減災の高度化・迅速化」や「わかりやすい情報発信の推進」が挙げられており、洪水発生時のソフト対策として避難支援や災害対応等に資する情報を迅速かつ的確に伝達することが求められている。

これらの社会的要請を踏まえ、洪水発生時にリアルタイムの浸水状況を正確に把握し、避難や災害対応に必要な時間を考慮した予測情報を効果的に活用することが必要となる。しかし、水位計データや河川監視カメラ映像等を取得し、ソフト対策に使用している河川管理者も多いが、これらの情報を集約し、他の情報や解析と連携させ、リードタイムを考慮した上で、効果的に活用している事例は少ない。

本検討では、各種水位計や越水検知センサーおよび河川監視カメラ等から得られるデータと、堤防破堤リスクの把握・評価に基づく外水氾濫および内水氾濫を考慮した浸水解析を連携させた、リアルタイム浸水把握・浸水予測システムを構築した。また、河川管理者が行う資機

材搬送や排水作業等の災害対応、及び交通規制や避難誘導等にも活用できる情報を提供できるシステムとした。

2. 対象流域の概要

対象流域は、静岡県伊豆市の天城山系を源流とし、河口は駿河湾に注ぐ一級水系狩野川とその支川である黄瀬川、大場川、来光川、柿沢川、柿田川とした。これらの支川の多くは田方平野に位置しており、低平地で勾配が緩く内水氾濫が発生しやすい地域となっている。令和元年東日本台風発生時には、一部の区間で計画高水位程度まで外水位が上昇するとともに、大場川、来光川等、多くの河川で内水氾濫が発生した（図-1）。

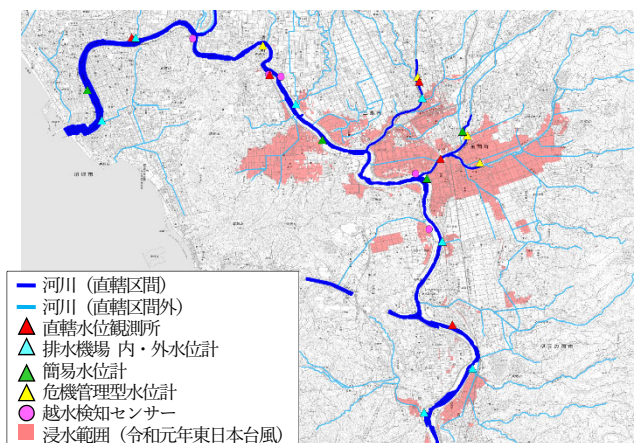


図-1 狩野川流域における令和元年東日本台風発生時の浸水状況

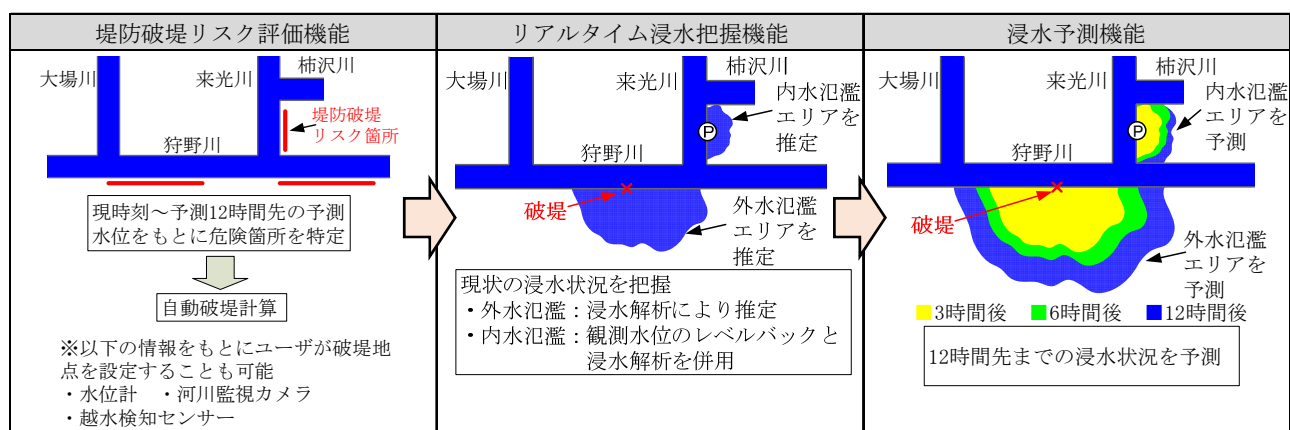


図-2 本システムの機能概要

3. 本システムの概要

狩野川流域を対象として構築したリアルタイム浸水把握・浸水予測システムは、以下の3つの機能を有する。各機能のイメージを図-2に示す。

- ① **堤防破堤リスク評価機能**：現時刻～12時間先までの河道縦断水位を計算し（水位計データで縦断水位を補正）、越水地点を堤防破堤箇所として自動設定。別途、取得・集約している越水検知センサーや河川監視カメラの情報を参照し、堤防破堤箇所を手動設定できる機能も導入。
- ② **リアルタイム浸水把握機能**：現時刻の浸水状況を把握・表示。外水氾濫は、浸水解析により推定。内水氾濫は、排水機場の観測内水位を用いたレベルバックと浸水解析を併用して推定。
- ③ **浸水予測機能**：12時間先までの浸水状況を予測・表示。内外水氾濫とも浸水解析により予測。また、浸水深の平面分布に加え、避難所等の重要施設や道路・鉄道の浸水状況等を表示でき、防災拠点から資機材置き場へのアクセス道路の検索等も可能として、避難支援や災害対応等の観点から必要な情報を容易に表示・出力できるシステムとした

4. 本システムの表示機能および活用方法の検討

(1) 本システムの表示機能

a) 堤防破堤リスク評価の表示機能

本システムにおいて算定された現時刻～12時間先までの河道縦断水位と左右岸堤防高を比較し、越水が予測される断面を堤防破堤リスク箇所として地図上に表示する仕組みとした。堤防破堤リスク評価の表示機能を図-3に示す。河川沿いの赤実線は、氾濫による流量低減を考慮した河道計算水位をもとに設定した堤防破堤リスク箇所、赤破線は、氾濫による流量低減を考慮しない河道計算水位をもとに設定した堤防破堤リスク箇所を示す。

b) **浸水範囲・浸水深の表示機能**リアルタイム浸水把握や浸水予測により算定された現時刻～12時間先までの浸

水範囲・浸水深を地図上に表示する仕組みとした（図-4）。背景図は常に最新版の地図がダウンロード可能な電子国土基本図（国土地理院）を標準とし、詳細な地形が把握できる空中写真やDM（デジタル地図）が選択できる仕組みとした。

c) 浸水施設の表示機能

資機材置き場や防災拠点、避難所に指定されている施設、災害時要援護者施設等の重要施設について、地図上で浸水範囲・浸水深と重ねて表示することで、施設の浸水状況が確認できる仕組みとした（図-4）。施設毎に設定した床高と本システムで算定した25mメッシュ単位の浸水深に応じた施設の色別表示（床上、床下浸水）が可能である。床高は治水経済調査マニュアルを踏まえ45cmを基本としたが、避難所については、施設地盤高の造成状況や建物の形式（ピロティ形式の有無）を確認し必要に応じて床高の現地計測を実施した上で設定した。

d) 交通網の冠水状況の表示機能

交通網（道路、鉄道）について、地図上で浸水範囲・浸水深と重ねて表示することで、道路、鉄道の浸水状況が確認できる仕組みとした（図-4）。さらに、ダイクストラ法を用いて、出発地点（事務所など）と目的地点（資機材置き場など）を設定することで、通行可能な道路の中から最短ルートを検索する機能を実装した。

(2) 破堤地点の手動設定のための支援機能

本システムは自動破堤計算による浸水範囲・浸水深の表示を基本としているが、ユーザーが任意に破堤地点を設定し、破堤計算を行うことを可能としている。また、本システムは、堤防破堤リスク箇所の情報に加え、越水検知や河川監視カメラの情報を集約表示することで出水時において適切な破堤地点の設定を可能とした（図-3）。

a) 越水検知情報の表示機能

本システムでは、狩野川水系（直轄区間）に設置されている越水検知センサーによる越水発生の有無の情報を取得し、地図上での越水の有無に応じた色別表示や一覧表示によりユーザーが確認できる仕組みとした。

b) カメラ画像の集約表示機能

予め水位観測所毎の受持ち区間を設定し、受持ち区間の

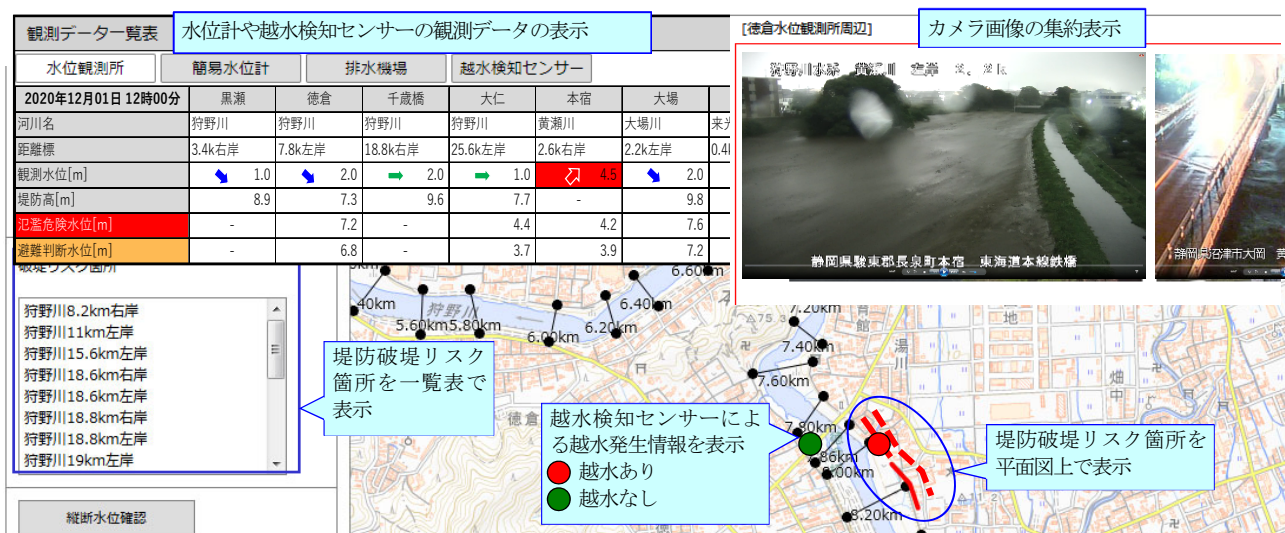


図-3 堤防破堤リスク評価の表示機能

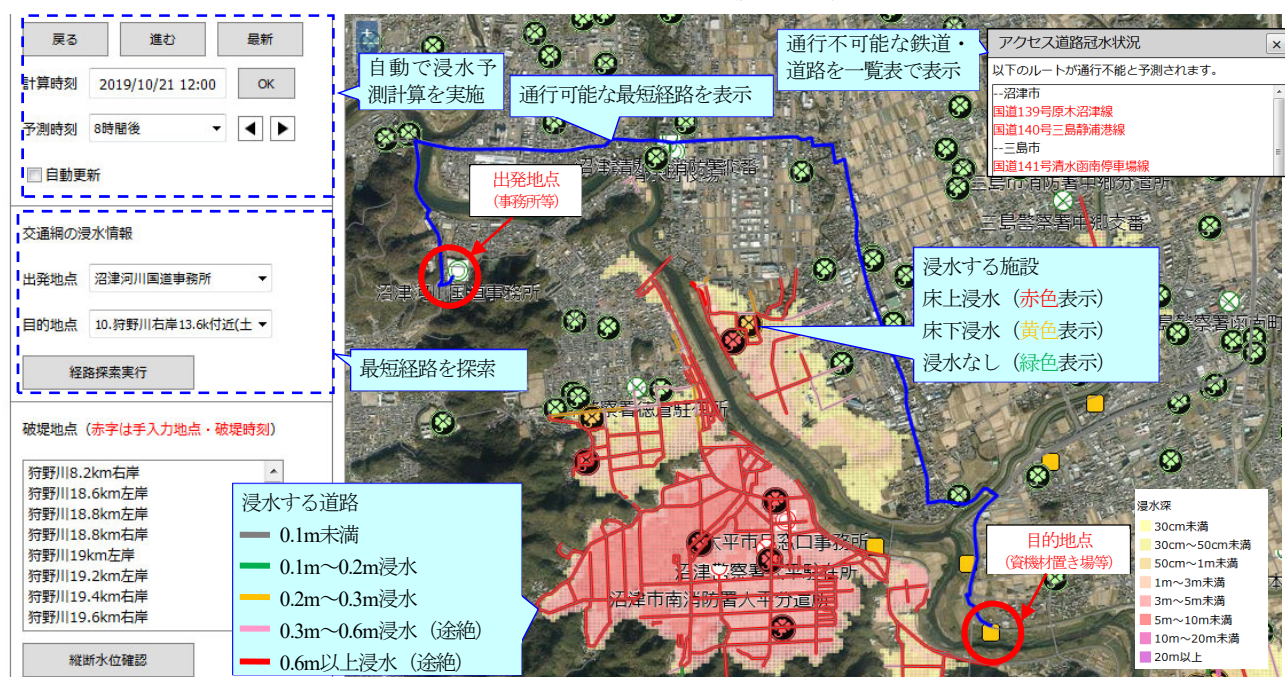


図-4 リアルタイム浸水把握・浸水予測の表示機能

現時刻、予測水位が危険水位を超過した際に、受持ち区間に位置するCCTV及び簡易型カメラの撮影画像を集約表示する機能を構築した。受持ち区間における危険水位超過の判断は、水位観測所以外に、200mピッチの距離標や堤防注視箇所も含めて確認することで全川の的に評価できる仕組みとした。また、水位観測所や堤防注視箇所を含めた距離標毎の危険水位は、避難判断水位を基本とし、過去に急激な水位上昇が確認された黄瀬川のみ氾濫注意水位を危険水位として設定することで事前にカメラ画像を確認できるようにした。

5. 堤防破堤リスク評価機能の検討

堤防破堤リスク評価に必要な解析手法や評価方法を設定した。

(1) 河道一次元不定流モデルの構築

本・支川区間を対象に、200mピッチを基本とした河道断面を反映した河道一次元不定流モデルを構築し、本システムにおける河道水位の算定に使用した。

(2) 洪水予測システムとの連携

中部地方整備局の洪水予測システムの予測結果（流域流出量）を取得し、河道一次元不定流モデルの上流端流量や横流入量として設定する仕組みとした。この洪水予測システムから浸水解析に必要な地点の流出量を取得し、浸水解析の境界条件として設定することでリアルタイムでの浸水予測を可能とした。

(3) 縦断水位の補正

河道一次元不定流モデルにより算定した現時刻の河道縦断水位に対して、水位観測所や簡易水位計の観測水位および排水機場の外水位がオンラインで取得可能な地点

における計算誤差を縦断方向に各断面で内挿し、スライド補正した現時刻の縦断水位を算定する仕組みを作成し、本システムに導入した(図-5)。また、現時刻の各断面の計算誤差を用いて、予測各時点の縦断水位も補正することで予測精度の向上を図った。

(4) 堤防破堤リスクの評価

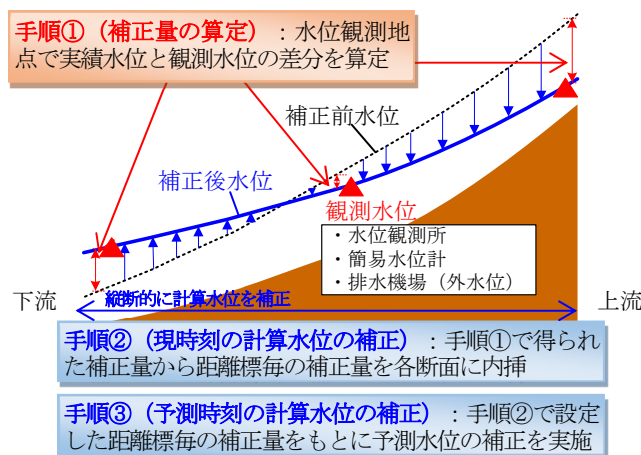


図-5 計算水位の補正方法

縦断水位補正を行った計算水位に対し、左右岸堤防高と比較し、越水が想定される断面を抽出して、堤防破堤リスク箇所とする仕組みを作成した。評価する断面は200mピッチの河道断面を基本としたが、距離標間における越水の恐れのある箇所を評価するため、堤防3次元測量(MMSデータ)を活用して抽出したネック部(堤防注視箇所)の断面データを河道一次元不定流モデルに追加し、距離標間のリスク箇所についても越水破堤の判定ができる仕組みとした。

(5) 破堤地点の手動設定

計算水位をもとに抽出した堤防破堤リスク箇所を対象とした自動破堤計算を基本とするが、越水に至る以前に破堤の発生が確認された場合、ユーザが任意に破堤地点を設定できる仕組みも作成した。

6. リアルタイム浸水把握機能の検討

外水氾濫による浸水エリアを、河道一次元・氾濫原平面二次元モデルにより把握するものとした。また、内水氾濫による浸水エリアは、河道一次元・氾濫原平面二次元モデルと、より精度を確保できる可能性がある観測水位レベルバックモデルを比較し、内水地区毎に再現精度の高いモデルにより把握するものとした。

(1) 氾濫原平面二次元不定流モデルの構築

対象流域を25mメッシュに分割した氾濫原平面二次元不定流モデルを構築し、樋門やポンプ等の排水施設のモデル化を行い、追加した河道一次元不定流モデル(5.(1)で作成)と接続することで、河道から堤内地への氾濫や氾濫流の河道への戻りを表現可能とした。

(2) 観測水位レベルバックモデルの構築

狩野川流域では、オンラインで取得可能な7箇所の直轄排水機場の内水位データを用いて、これらの内水地区(江川、浪人川、境川、四日町、宗光寺、小坂、函南観音川)を対象とした観測水位レベルバックモデルを構築した。

(3) 内水地区の浸水解析手法の選定

観測水位レベルバックモデルの対象とした7箇所の内水地区を対象に、河道一次元・氾濫原平面二次元モデルと観測水位レベルバックモデルの2手法により令和元年東日本台風の再現計算を実施した。再現性の比較結果(宗光寺地区の例)を図-6に示すが2手法の精度は概ね同程度となっているため、未知の洪水への再現性を考慮し、観測水位レベルバックモデルを採用した。

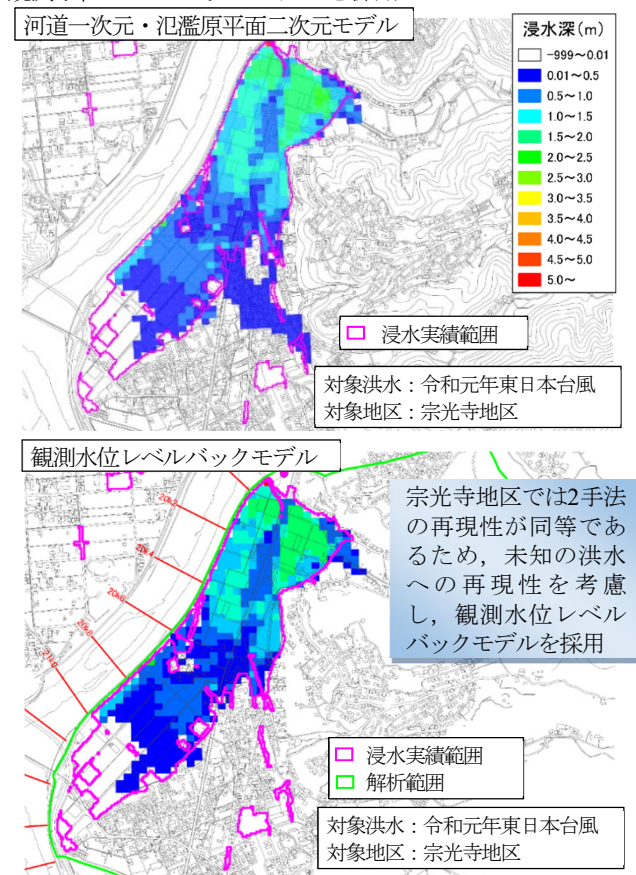


図-6 内水地区の再現計算結果の比較

7. 浸水予測機能の検討

内外水氾濫ともに、5., 6.で構築した河道一次元・氾濫原平面二次元モデルにより12時間先までの浸水エリアを予測するものとした。

(1) 氾濫原平面二次元不定流モデルの精度検証

令和元年東日本台風を対象とした、氾濫原平面二次元不定流モデルによる再現計算結果の再現精度が確保されていることを確認した(図-7)。

(2) 予測先行時間の設定

静岡県東部地域大規模氾濫減災協議会において策定された防災行動計画をもとに必要なリードタイムから予測

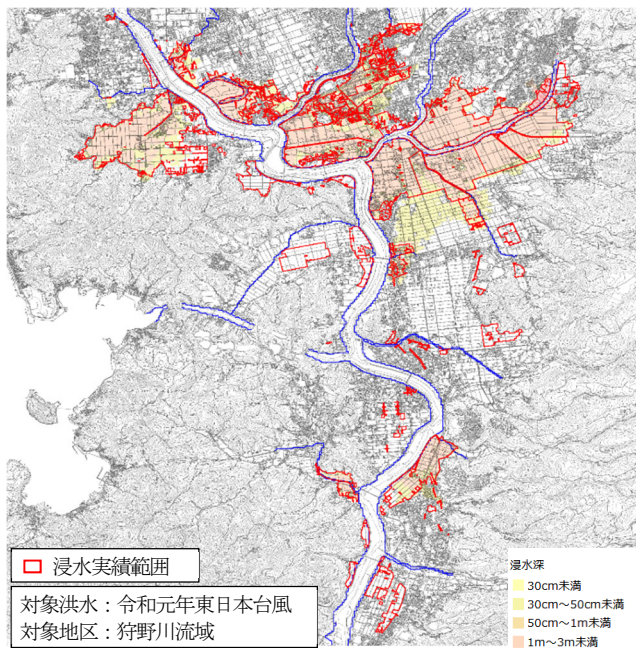


図-7 浸水解析結果と実績浸水エリアの比較

先行時間を設定した。狩野川流域の沿川市町を対象としたタイムラインでは、降水短時間予報を活用して洪水初期から6時間先の予測雨量を確認する必要性が示されていることを踏まえ、氾濫流の拡散時間（最大6時間程度）なども考慮して予測先行時間を12時間と設定した。

(3) 予測更新間隔の設定

流域河川の水位上昇特性から、堤防破堤リスク評価（氾濫による流量低減を未考慮）の結果表示を常に10分間隔で更新する仕組みとした。また、破堤や氾濫が推定・予測された後は、浸水解析の計算時間の制約から、堤防破堤リスク評価（氾濫による流量低減を考慮）やリアルタイム浸水把握、浸水予測の結果表示を30分間隔で更新する仕組みとした。

8. 今後の展開と課題

(1) 新たな観測水位の活用

本システムは、計算水位の補正機能を有しているが、縦断水位の補正は水位データの取得地点が増えることで精度が向上すると考えられる。狩野川水系には令和2年度に危機管理型水位計が新たに11箇所設置されており、今後、計算精度向上に向けて新たな観測水位の活用が期待される。

(2) 越水検知方法の高度化

狩野川水系（直轄区間）にはCCTVカメラや簡易型カメラが約50台、また、水位観測所や越水検知センサー等が約30箇所設置されているが、これらの全ての設備に対し、職員が目視で確認している。今後、AIによる画像解析技術を活用したカメラ画像からの水面検知機能などを本システムに導入するなど、越水や危険水位超過の判

断から破堤地点設定までの自動化が望まれる。

(3) 今後の課題

本システムの構築により、複数の実況データと連携させた解析等から浸水状況を把握・予測し、洪水時に求められる必要な情報を、必要なタイミングで提供することが可能となった。

しかし、災害が起これば本システムが運用されていない状況が続くことにより、運用方法や操作方法の忘失につながり、果てはシステム自体が使用されなくなる。

こうした問題を解決するために、常に訓練や演習に運用のタイミングや操作方法の演習を組み込み、システムの継続的な運用を維持することで、洪水時の活用につながっていく。

気候変動による水害リスクの増大により、これまで以上に本システムのような水防支援システムの重要度は高くなる。そのため、出水時の活用状況や浸水解析モデルの予測精度を確認し、利便性や予測精度の向上に向けた対応が今後必要になると考える。

謝辞： 本論文を作成するにあたり、事務所の職員及び関係者にご指導・ご協力頂き深く感謝し、御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 武田英祐・辻倉裕喜・蟹江盛仁・宮本賢治・松元渉・能登谷祐一・栗山康弘・中村稜也：堤防破堤リスクや内水氾濫を考慮したリアルタイム浸水把握・浸水予測システムの構築，河川技術論文集，第27巻，pp.75-80
- 2) 国土交通省：総力戦で挑む防災・減災プロジェクト ～いのちとくらしをまもる防災減災～，令和2年9月