

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

① 研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属	役職	
	たばた こうすけ 田端 幸輔	中央大学研究開発機構	機構准教授	
② 研究テーマ	名称	堤防脆弱性タイムラインと破堤氾濫予測に基づいた堤防強化対策及び氾濫危機管理技術に関する研究		
	政策領域	[分野] 流域計画・流域管理課題分野 [公募課題]	融合技術	(リモートセンシング、非破壊検査、認知行動学 等)
③ 研究経費 (単位: 万円)	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計
	252.8	189.6	なし	442.4
※端数切り捨て。				
④ 研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏名	所属・役職 (※平成29年3月31日現在)			
竹村吉晴	中央大学研究開発機構・機構助教			
⑤ 研究の目的・目標 (申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)				
<u>研究の目的</u>				
<p>水害に強いまちづくりのより一層の促進と定着のためには、第一に河川と都市域の境界領域にある長大な土堤防の破壊危険性を科学的根拠に基づいて定量評価し、合理的な堤防強化対策を検討すること、第二に破堤氾濫による浸水被害予測精度を高め、洪水時の危機管理や流域氾濫対策に繋げていくことが課題である。</p> <p>本研究では、平成27年9月洪水で堤防決壊を含む多くの堤体被災が生じた鬼怒川堤防を対象に、堤防破壊危険確率と堤防脆弱性指標の時間変化(タイムライン)から堤防破壊危険性を評価し、堤防強化対策実施による効果を定量的に見積もる手法を開発する。また、平成27年9月洪水時の氾濫流の再現により、流域氾濫特性を明らかにするとともに、大規模洪水に対する流域全体の治水、危機管理対策を検討していく上で必要な技術課題を明らかにすることを目的とする。</p>				
<u>研究目標</u>				
<p>1年目は、洪水中の堤防破壊危険確率と堤防脆弱性指標の時間変化(堤防脆弱性タイムライン)と堤体被災の関係を分析する。また、破堤氾濫特性を適切に表現できる氾濫解析モデルを構築する。</p> <p>2年目は、河道改修や堤防強化対策によりタイムライン、破堤危険個所がどのように変化するかを検討する。また、対策実施後に破堤氾濫が生じた場合の浸水被害を見積もり、平成27年9月洪水時の実績被害との比較検討を行う。更に、浸水被害リスクを小さくするための河道改修、堤防強化、流域対策の在り方を検討し、今後の危機管理、流域氾濫対策を進めていく上で必要となる検討項目や調査データに関する課題整理を行う。</p>				

⑥研究成果

(様式 H-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

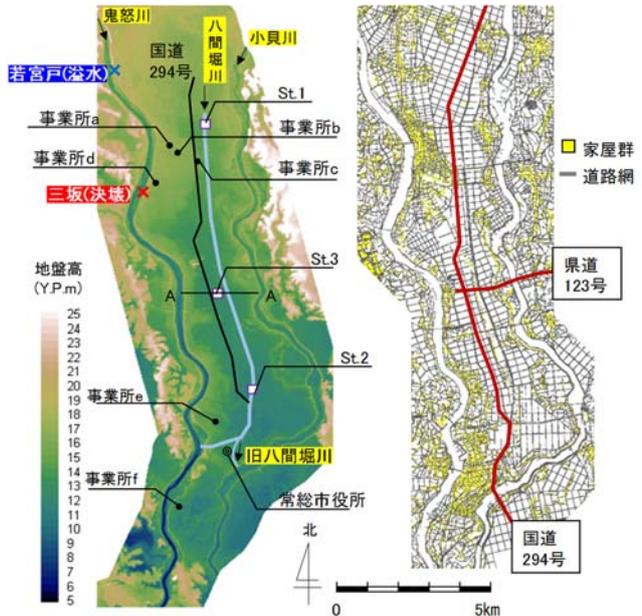
(1) 常総市街地の氾濫流解析の再現性検証

a) 氾濫解析モデルの構築

過年度モデルでは 10m メッシュとしていたが、今年度は 5m メッシュに解像度を上げ、家屋群を適切に取り込み、粗度係数分布をより詳細に考慮することで、精度向上を図り、氾濫水の到達時間、浸水深等氾濫流の再現性を検証した。構築した氾濫解析モデルを図-1に示す。氾濫流解析には平面二次元解析手法を用いた。ただし、家屋の透過率は考慮せず、家屋メッシュは不透過条件として扱った。マンシングの粗度係数は、表-1に示す3つのCaseで設定した。Case1は一般的な氾濫解析で用いられる値である。また、Case3では、Dry領域に流れ込む氾濫フロント部分には大きな抵抗が働き、一度Wet状態となった箇所では抵抗は軽減すると考え、粗度係数に関するDry/Wet判定水深 h_0 (=1.0m)を導入し、水深が h_0 以下の箇所では粗度係数を0.10、 h_0 以上または一度Wet判定となった箇所では土地利用毎に設定した粗度係数を与えた。

b) 再現計算結果

若宮戸溢水箇所付近(事業所b)、三坂決壊点付近(事業所d)、決壊地点から最も離れた地点(事業所f)に着目し、防犯カメラ映像から判断した浸水深と、解析結果の比較を行った。図-2に事業所b、d、fの浸水深の時間変化を示す。事業所bは家屋群が密集したエリア内に位置しているため、浸水開始時刻を十分再現することが困難であったが、若宮戸からの氾濫水によって、実績浸水開始時刻付近で浸水が始まるということが表現できた。事業所dでは、実績と同様、堤防決壊直後に急激に浸水が始まる。また、Dry/Wet状態の粗度を考慮したCase3が最も観測データを説明できることが確認される。以上より、Case3の考え方で粗度係数を調整することで、防犯カメラ映像から判断した浸水開始時刻を概ね1時間以内の誤差で捉えることが出来た。このことから、若宮戸及び三坂地点からの2波形の氾濫水の拡がりの特徴をある程度表現できたものと考えられる。



(a) 地盤高コンター (b) 家屋群、道路網

図-1 構築した氾濫解析モデル

表-1 各Caseで設定した粗度係数

Case	農地	道路	水域	Dry時 (水深 ≤ 1 m)
1	0.040	0.030	0.025	—
2	0.070	0.025	0.020	—
3	0.070	0.025	0.020	0.100

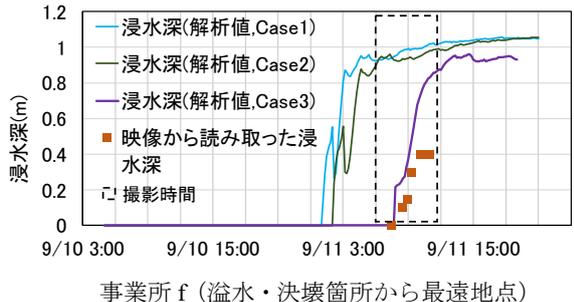
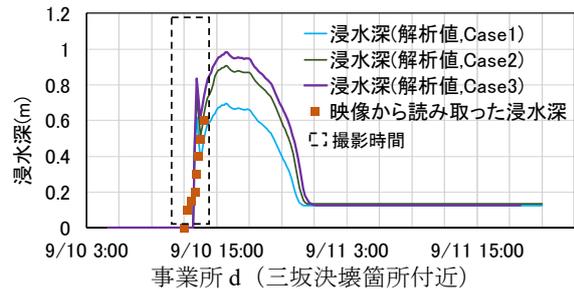
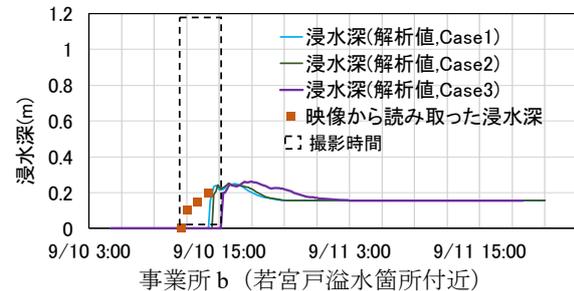


図-2 カメラ映像から判断した浸水深と解析結果の比較

⑥研究成果 (つづき)

(2) 水害リスク軽減策に向けた検討

a) 氾濫発生から歩行避難困難となるまでの時間

ここでは歩行避難の観点から水害リスクの検討を行った。これまで、洪水氾濫時における浸水深/身長と流速を指標とした歩行避難困難領域図や、水深 0.5m 以上では歩行避難が困難となった事例が示されている³⁾。本検討では、これらの知見から歩行避難困難となる水深、流速の組み合わせ(身長 170cm とした場合)を図-3 のように設定した。そして、氾濫流解析結果から得られた浸水深、流速の時空間分布を用いて、若宮戸地点で溢水が生じてから歩行避難困難となるまでの時間を全てのメッシュで算出した。図-4 に、若宮戸の溢水が生じた後に安全に歩行避難するために必要なリードタイムの空間分布を示す。若宮戸付近では溢水から 5 時間後、三坂付近では堤防決壊から 3 時間後には安全避難困難と評価される。また、八間堀川の東側(赤色の領域)ではリードタイムが約 18 時間であるのに対し、西側(黄色の領域)は 13 時間程度と、東側に比べ約 5 時間短い。これは、八間堀川の西側の領域では若宮戸の溢水と三坂の決壊による氾濫水が合わさったことで大量の水が素早く流下したためである。以上より、八間堀川西側では、最大浸水深は小さいがリードタイムは短く、避難活動が困難な状況にあったことが示された。

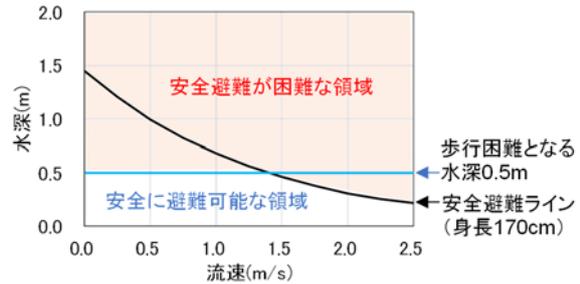


図-3 歩行避難困難となる水深、流速の組み合わせ³⁾

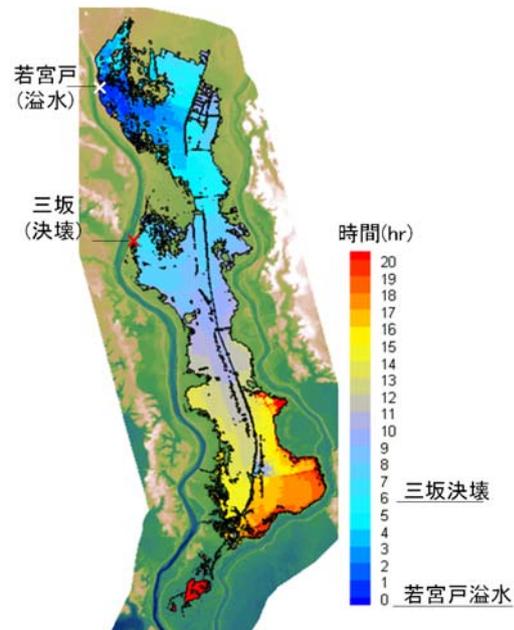
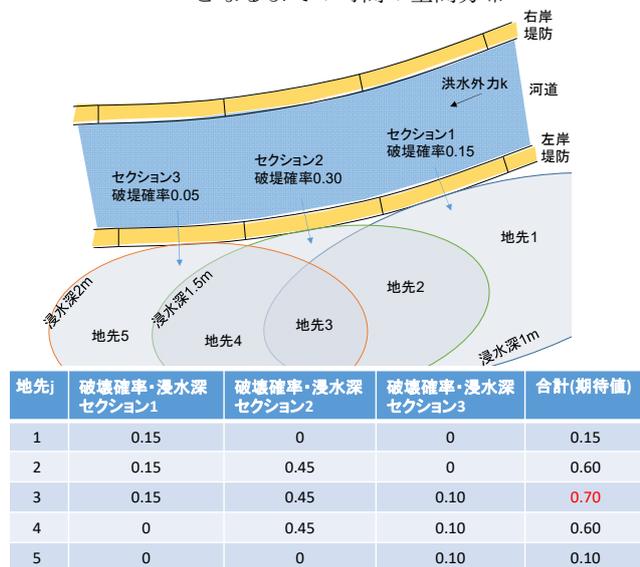


図-4 若宮戸の溢水開始から歩行避難困難となるまでの時間の空間分布

b) 現況堤防の氾濫リスクと堤防強化対策の効果

これまで、治水経済評価等の検討には、堤防破壊確率は考慮されず、「破堤氾濫被害の確率=外力の生起確率」として扱われてきた。堤防破壊確率が導入できれば、氾濫計算結果と関連付けることで、流域全体の危険度分布を「地先のリスク」(図-5)として面的に把握できるようになると考えられる。



$$D_{k,j} = \sum_i P_{f_i} \cdot d_{i,j}$$

$$E_j = \sum_k D_{k,j} \cdot dP_k$$

$D_{k,j}$ 洪水外力kにおけるj番目メッシュの被害期待値(地先の被害期待値)

E_j j番目メッシュの年間あたりの被害期待値

P_f i番目セクションの破壊確率

P_k 洪水外力kの生起確率

$d_{i,j}$ i番目セクションが破壊したときのj番目メッシュの被害

図-5 地先の被害期待値分布の算定イメージ

⑥研究成果 (つづき)

ここでは、上記考え方により、常総市を対象に、堤防破壊危険確率、堤防脆弱性指標に基づいた氾濫リスクを試算した。図-6に、常総市主要部に面している鬼怒川左岸堤防の脆弱性指標 t^* の縦断分布を示す。図の赤線は、堤防決壊の危険性が高まるとされる $t^*=0.1$ の値を示している。H27.9洪水では、実際には21kにおいて決壊が生じたが、15~20k付近では t^* が0.1を超え、いつ決壊が生じてもおかしくない状況であった。ここでは、 t^* が0.1を超える箇所において堤防決壊が生じるとしたとき、堤防破壊危険確率と氾濫リスク(浸水深, 流体力指標 v^2h^4)の関係を図-5に示す方法で集計し、危険箇所やその規模について分析を行った。表-2に設定した破堤危険箇所における脆弱性指標と破堤危険確率の関係を示す。なお、破堤箇所は1kmピッチとし、複数箇所における同時破堤は考慮していない。

図-7に試算したリスクを示す。この結果は図-5のDに浸水深、流体力指標を与え、洪水外力はH27.9洪水の1パターンとした結果である。八間堀川沿線から常総市役所付近にかけて南北方向に、浸水リスクの高い箇所が分布していることが分かる。これらのエリアは、どの地点が破堤しても浸水するリスクが高いことを示している。また、流体力については、決壊箇所周辺で相対的にリスクが高まっている。すなわち、堤防沿川に存在する家屋群については、決壊によって家屋被害が生じる可能性が高いことを示している。以上を踏まえると、堤防沿いの地域では、決壊してからの避難では間に合わないため、これら地域では、事前避難のための判断基準(例えば累積降雨、河川水位等)に基づいた避難の徹底が必要となると考えられる。

また、良質な材料で堤防前腹付けを実施することを想定して堤防破壊危険確率を算出した結果、図-8のようになり、破堤危険性が大幅に低下し、氾濫リスクが軽減されることが確認された。これより、流域氾濫リスク軽減のためには堤防整備・強化が必須であることが明白で、堤防危険性評価と併せて今後十分な検討が必要となる。

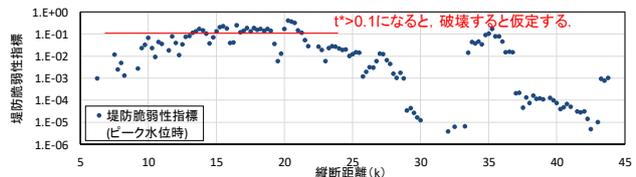


図-6 左岸堤防の脆弱性指

表-2 破堤点と破堤時刻, 破堤危険確率

距離(k)	$t^* \geq 0.1$ となる時間	堤防破壊危険確率
14	2017/9/10 12:05	0.361
15	2017/9/10 12:34	0.395
16	-	-
17	2017/9/10 11:46	0.377
18	2017/9/10 10:52	0.381
19	2017/9/10 11:12	0.359
20	2017/9/10 9:42	0.389
21	2017/9/10 10:33	0.389
22	-	-

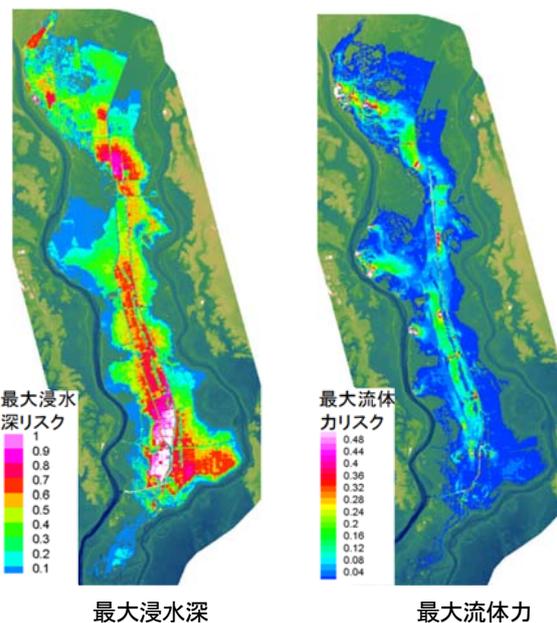


図-7 氾濫リスク試算結果

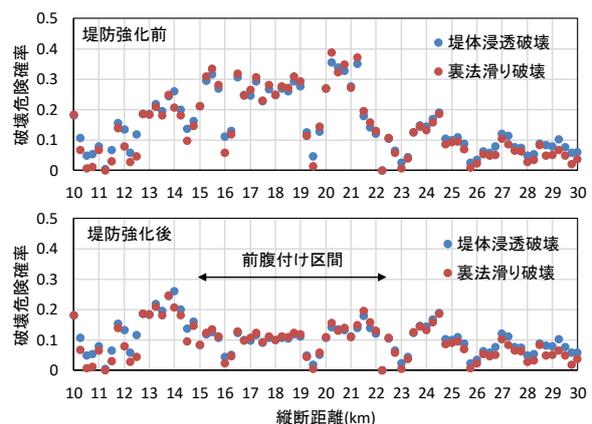


図-8 堤防強化前後の破壊危険確率の比較

⑥研究成果（つづき）

参考文献

- 1) 田端幸輔, 福岡捷二, 瀬崎智之: 超過洪水時における堤防破堤確率評価手法に関する研究, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.71, No.4, I_1273-I_1278, 2015.
- 2) 田端幸輔, 福岡捷二: 堤防破壊確率と堤防脆弱性指標に基づいた堤防危険箇所の推定法, 第三回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム, pp.61-64, 2015.
- 3) 国土交通省: 地下空間における浸水対策ガイドライン同解説<技術資料>, 2002. 佐藤 智, 今村文彦, 首藤伸夫: 洪水氾濫の数値計算および家屋被害について. 第33回水理講演会論文集, pp.331-336, 1989.

⑦研究成果の発表状況

(本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。(以下記入例))

- ・ これまでに発表した代表的な論文
- ・ 著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)
- ・ 国際会議、学会等における発表状況
- ・ 主要雑誌・新聞等への成果発表
- ・ 学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
- ・ 究開発成果としての事業化、製品化などの普及状況
- ・ 企業とのタイアップ状況
- ・ 特許など、知的財産権の取得状況
- ・ 技術研究開発成果による受賞、表彰等)

本研究に関連し、以下の2編の論文を発表した。

田端幸輔, 福岡捷二, 内堀寿美男, 上村勇太: 堤防脆弱性指標に基づいた堤防破壊危険性評価に関する研究 ―鬼怒川中下流部平成27年9月大洪水を例として―, 河川技術論文集, 第23巻, pp.387-392, 2017.6.

田端幸輔, 福岡捷二, 吉井拓也: 平成27年9月鬼怒川流域における洪水流・氾濫流の一体解析に基づく水害リスク軽減策に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.4, pp.I_1399-I_1404, 2018.2.

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

なし

⑨表彰、受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

平成29年度 河川技術に関するシンポジウム優秀発表者賞：
堤防脆弱性指標に基づいた堤防破壊危険性評価に関する研究—鬼怒川中下流部平成27年9月大洪水を例として—，田端幸輔。

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や流域計画・流域管理政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究により、高精度な氾濫解析モデルと、堤防破壊危険確率、脆弱性指標を組み合わせることにより、氾濫原の地先のリスクを算出可能であることが明らかとなった。今後、流域氾濫リスクの軽減による安全・安心なまちづくりを考えていくには、ハード、ソフト面による以下の検討・考察が必要である。

【ハード面（堤防の安全性確保）】

堤防弱点部となる裏法先周辺部の土質・構造に関する情報を更に蓄積し、堤防危険性の評価精度を高めることが重要である。そして、堤防強化の必要箇所を見極め、決壊の危険性をなるべく下げることが最も重要である。

【ソフト面（安全避難）】

想定される様々な洪水波形に対して、氾濫リスク評価を行い、安全避難のためのリードタイムと併せることで、適切な避難方法・避難ルートを検討することが重要である。そしてこの結果を基に、現行のハザードマップの更なる改善を図っていく必要がある。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、流域計画・流域管理政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

鬼怒川では、平成27年9月に既往最大の大規模洪水が発生し、堤防決壊と溢水による甚大な氾濫被害が発生した。この洪水では、流下能力の少ない鬼怒川下流部において堤防余裕高部分を洪水が流下し、いっどこで破堤しても不思議でない状況にあった。よって、鬼怒川を対象に減災適応策に関する研究を行い、実効性の高い新しい検討方法として全国に発信していくことは極めて重要な意味を持つ。また、構築した高精度氾濫解析モデルと、堤防破壊危険確率算定法、堤防脆弱性指標を組み合わせることで、氾濫原の地先のリスク（浸水深や流体力等）の面的な分布を把握可能であることが明らかとなった。本研究で示した考え方は、堤防整備の意義・効果、安全避難の観点からの流域対策といった、今後の流域全体の危機管理対策を検討していく上で大いに有益なものになると考えられる。