

越水等による破堤の被害軽減技術に関する研究

研究予算：運営費交付金(一般勘定)

研究期間：平 24～平 28

担当チーム：寒地河川チーム

研究担当者：船木淳悟、前田俊一、島田友典

【要旨】

破堤による堤防開口部の荒締切を実施するにあたり、既存工法では水防資材であるブロック等を投入することが考えられるが、投入により荒締切開口部がどのような水理量・河床変化が生じるかなど不明な点が多く、それらを明らかにすることが効果的で効率的な荒締切作業につながると考えられる。そこで実物大規模の十勝川千代田実験水路において大型クレーンで水防資材である根固ブロックを投入して荒締切基礎実験を行った。破堤開口部は幅が狭まるにつれ流速の上昇、河床低下が確認できた。また投入したブロックは河床への埋没等が生じ、水防資材の備蓄にはロス率も見込んだ計画準備を立てる重要性が確認できた。

キーワード：破堤、緊急復旧対策工法、荒締切工法、根固めブロック、十勝川千代田実験水路

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書¹⁾によると、気候システムの温暖化に疑う余地はなく、世界的に極端な降水がより強くまた頻発する可能性が非常に高いと言われている。日本においても今後さらに大雨による降水量の増大が予測されており、それに伴い施設の能力を大幅に上回る外力により極めて大規模な水災害の発生する懸念が高まることも想定されている²⁾。なかでも堤防決壊による被害は甚大であり、その8割以上が越水に起因するものであるとされている³⁾。最近でも平成27年9月の関東・東北豪雨では鬼怒川において越水に起因するとされる堤防決壊が生じ、広範囲で長時間にわたる浸水や家屋の倒壊流出などの甚大な被害をもたらした^{4) 5)}。このような被害を軽減するには、堤防決壊を防止するだけでなく、万が一、破堤氾濫が発生した場合においても早急に破堤開口部を締め切るなどの技術が求められている。

しかし締切工法などの緊急復旧対策に関しては、水理条件を基に詳細に研究した事例は少なく、それらについて飛田らが詳細にレビューを行っている⁶⁾。これによると具体的な水理条件と締切工法の関係については、今後、検討が必要であると述べている。

国土交通省北海道開発局と寒地土木研究所では、堤防決壊時における被害規模（浸水面積・浸水深・浸水到達時間など）の最小化を目的に、実物大規模の十勝川千代田実験水路⁷⁾（以下、実験水路と称す）を用いて

系統立てた研究を継続して実施している。平成20～23年には破堤拡幅進行メカニズムの解明を目的に越水破堤実験を行い、堤体崩壊量と水理量との関係性などを示し実験報告書として取りまとめた⁷⁾。平成24年度以降は破堤拡幅進行速度を低減することで氾濫流量の増加抑制を目的に、水防備蓄資材である根固ブロックを用いた技術開発に取り組んでいる^{8) 9)}。平成27年度からは氾濫流量の増加抑制だけでなく低減させるための技術検討（破堤開口部を早急に締め切るための荒締切工など）に着手したところである。

荒締切工ではクレーン等を用いて破堤開口部にブロックなどを投入することが考えられる¹⁰⁾が、破堤開口部流水中の流況変化等について把握した事例はほとんどない。また重機を用いて多くのブロックを効率的に投入できるかなど不明な点も多い。

そこで平成27年度は実験水路においてクレーンを用いてブロックを投入する荒締切工実験を行い、荒締切作業時の流況変化や、災害時には不可視部分となる荒締切区間における河床の時系列変化などについて観測を行い基礎的な現象把握を行った。

2. 実験概要

2.1 実験水路・観測概要

図-1 に実験水路形状を示す。災害時には破堤開口部を締め切るが、本実験ではブロック投入に伴う流況や河床変化などの把握を目的としていることから、実験

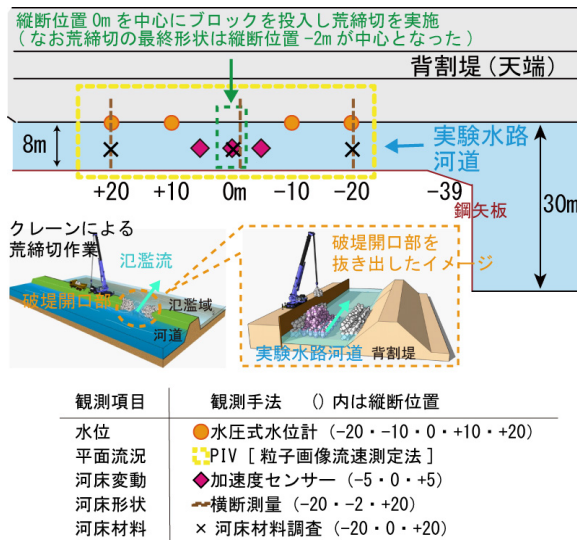


図-1 実験水路・観測概要

水路(川幅30m・河床勾配1/500)に鋼矢板を用いて水路幅8mと狭くした状態とし、この河道部分を破堤開口部に見立ててブロックを投入し荒締切実験を行った。

図-1に観測概要を示す。使用した観測機器・手法については既往の破堤実験で確立したものと同様であり、詳細はそちらを参照してもらいたい⁷⁾。また通水は水路上流端ゲートからの供給流量を概ね $20\text{m}^3/\text{s}$ を一定流量とした。

2.2 荒締切実験の概要

実験の進め方を図-2に示す。用いた水防資材は河岸保護のため投入資材としても実績が高い根固ブロックのうち、共同で研究を実施している北海道開発局が水防資材として最も多く備蓄しているブロックを用いることとした。

また今回の実験では実際の洪水が起こった際に人命や資産等を守るための実践的な訓練の意味合いもあり、実際の洪水時における緊急対策工の技術を習得することを目的として“一般社団法人帯広建設業協会(以下、帯広建協と称す)“が実験に必要な資材や施工機械の操作員などの確保に協力して頂いた。

2.3 ブロック投入方法の概要

ブロック投入は図-3に示すように一般的なオートフックのほか、今後の効果的で効率的な締切方法検討も念頭に投入場所を自由に選択できる空中切り離し投入も行った。

オートフックによる投入では、ブロック重量2137kg(図-2)のうちクレーンにかかる荷重が500kg以下になるとワイヤーが外れる仕組みになっているため、吊り上げたブロックを投入済のブロックなどに着底さ

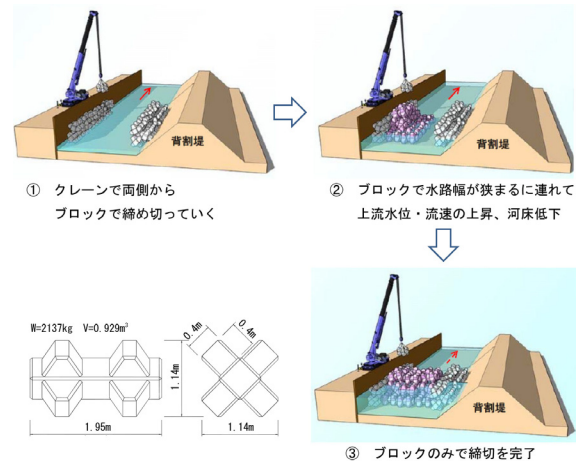


図-2 実験手順・根固ブロック形状



図-3 ブロック投入方法

せる必要がある。そのため水面より上にブロックが出ている場所にしか投入はできず、また着底時にはブロックが流されないように注意する必要がある。

空中切り離しによる投入は、空中でブロックを切り離す際の反動によりクレーンが横転する懸念があるため、実験では国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所が開発した異形ブロック投入安全装置(以下、空中切り離し装置と称す)¹¹⁾の貸与を受けて実験を行った。

なお空中切り離し装置のマニュアルによるとブームやクレーン本体の疲労の観点から、クレーン一台で投入可能な累積最大回数の目安が決められており、また投入作業中に異常な振動や異音がした場合には作業を中断し機器点検の必要があるとしていることから、投入地点の状況に応じてオートフックと空中切り離し装置の使い分けが必要である。

3. 実験結果

3.1 実験概況

図-4(上段)に時系列の水位変化、ブロック投入状況を、図-5(左)に上空から撮影した実験状況を示す。

(a)~(b)のうち(ア)では水面より上にブロックが出ておらず、オートフックでの投入が困難なため、空中切り離し装置を用いて投入を行った時間帯である。(イ)に示すように投入に伴い上流の水位が徐々に上

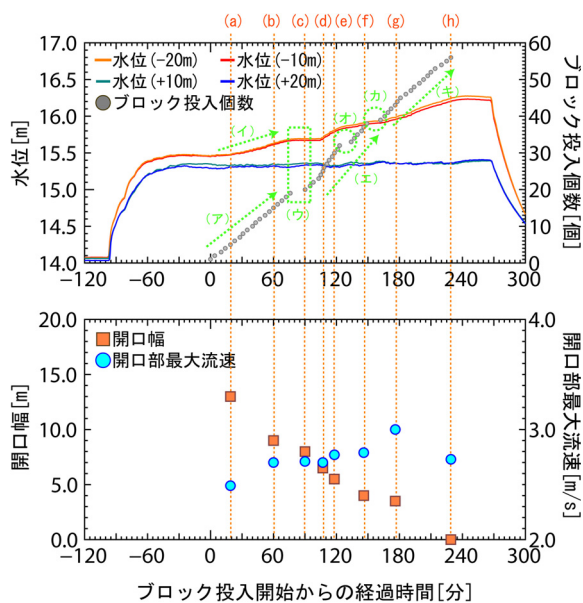


図-4 (上段) 水位変化とブロック投入個数
(下段) 開口幅と開口部の最大流速

昇していることがわかる。

(ウ)に示すように投入間隔が空き水位上昇が止まっているが、これは(b)～(c)の間で水面より上にブロックが出てきたためオートフックでの投入が可能と判断し、空中切り離し装置から切り替えを行ったためである。装置の切り替えに要した時間は15分程度であったことから、実災害時においても許容できる範囲と考えられる。

(d)～(f)のうち(エ)はオートフックによる投入である。(オ)では投入間隔が空いているが、これは着底させたブロックが水中に転がり落ちた際、投入済のブロックとの間にワイヤーが挟まり、その対応に要した時間である。オートフックは投入済みのブロックに着底させる必要があることから、実災害時の流れがある中での投入には細心の注意が必要であり、投入が危険と考えられる場合には早めに空中切り離し装置に切り替えるなどの対応があると考えられる。

(f)～(h)のうち(カ)では着底可能なブロック周辺の水位・流速上昇等により、オートフックを用いた投入がこれ以上は危険と判断をしたため、空中切り離しに切り替えて、(キ)のように最後まで実験を行った。

今回は流れの中に多くのブロックを投入する初めての実験ということでもあり、投入作業は慎重に行ったがブロック1投あたり3分半～4分程度のペースで投入が可能であった。これはブロックが計画的に運搬されてきた場合、1時間に20投程度の投入が可能ということであり、今後の効率的な締切工法検討の基礎的知見に

なると言える。

3.2 締切に伴う流況変化

図-5(左)に荒締切に伴う開口幅、図-5(中央)にPIV観測による平面流況を示す。開口部中央付近の流速は締め切りに伴い流速が上昇している。図-4(下段)にこれらの時系列を示すが、最も開口部が狭くなった(g)では最大3.0m/sまで流速が上昇していたことがわかる。これは実際の締切作業においても開口部を狭くするに従い、流速の上昇が想定され、例えばブロックの転動なども念頭に置いた締切手順検討の必要性を示唆している。

3.3 締切りに伴う河床低下

災害時には荒締切部の水面下は不可視であるが、効率的な締め切り方法を検討するためにも河床洗掘過程を把握することは重要である。そこで図-5に示すようにブロック投入箇所の河床に加速度センサーを埋設し、時系列での河床洗掘状況の観測を行った。なお加速度センサーを用いた河床低下等の推定手法については筆者らの文献を参照されたい¹²⁾。

図-5(右)は加速度センサーの記録より判読したセンサー流出のタイミングであり、各時刻におけるセンサー流出はその時刻に少なくともセンサー流出深までは河床洗掘が生じていたことを意味する。ブロック投入開始から河床洗掘が生じており、投入数に応じて徐々に洗掘が進んでいる。(c)～(f)の間ではセンサーの流出は確認できないが、図-4(下段)に示すように開口部の最大流速は2.7m/s程度の一定で推移していた時間帯であり、最大流速が再上昇した(g)で、再びセンサー流出が確認できることから、ブロック間の複雑な流れなどはあるが流速の上昇に伴い河床洗掘が進行した可能性があると考えられる。

図-6に通水前後に計測した横断面図、及び粒度分布を示す。荒締切部より上流(実河川では河道側)では河床はほとんど低下しておらず、また粒度分布も変化していないことから、締切を行うことによる影響は大きくなかったと考えられる。一方で荒締切箇所(縦断位置-2m)では全体にわたって最大で2.5m程度の河床低下が確認できる。これは前述のようにブロックの投入に伴い河床が低下していたと考えられる。なお粒度分布は大きく変化していないことから、荒締切に伴う高流速化等により粒径の大きなものも含め多くの土砂が下流(氾濫域側)に流出していたと考えられる。また荒締切部より下流(氾濫域側)では荒締切箇所ほどではないが河床低下が確認できる。これは荒締切部から氾濫域に向かう氾濫流により洗掘したものと考えられる。

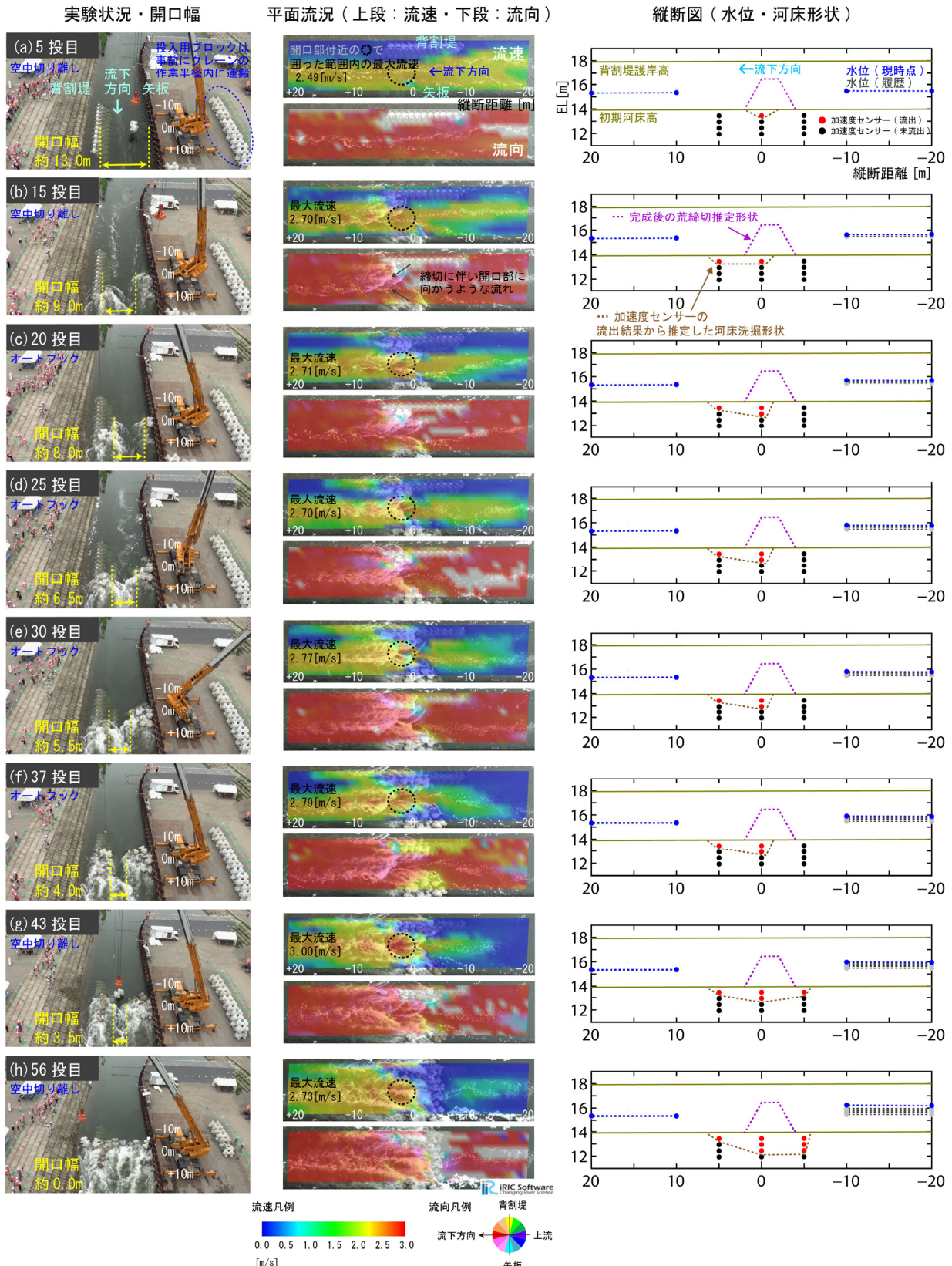


図-5 (左) 縮切開口幅 (中央) 流況 (右) 河道中央の水位・河床変化縦断面図

3.4 縮切完成形状

図-7 に縮切完成後の形状を示す。完成した縮切高は 2.5m 程度であり河床の最大洗掘深と同程度であった。

また投入したブロック 56 個に対して河床より上に存在したブロックは 30 個程度、河床以下 26 個程度であった。

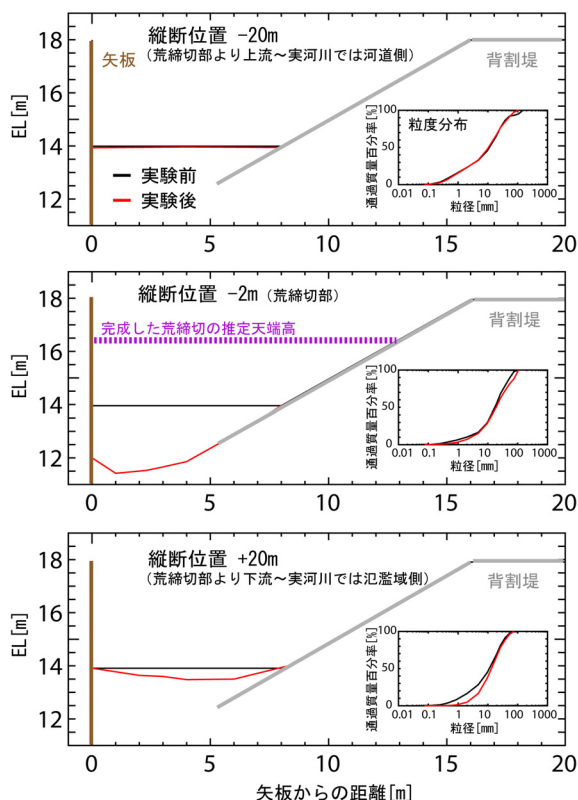


図-6 横断面図・粒度分布

今回の実験では投入した個数の半分程度は締切高に寄与せず埋没していたと考えられ、荒締切実施に必要なブロック数を備蓄するにあたってはこのようなロス率も見込んだ計画準備を立てる重要性を示唆するものである。また投入地点の河床低下を抑制しつつ荒締切を進めることが出来れば、効率的な荒締切につながる可能性がある。

今回の実験では砕石等による間詰めを行っていないがブロック通しがかみ合うことで高さの確保が出来ており、荒締切の空体積 100m³程度に対して河床上にあるブロックは30個程度と、空隙が目立っている(空隙率70%程度)。実災害時にはブロックを投入したのちに、砕石や土砂を用いて間詰めを行い、その上を重機が前進して荒締切を進めていくが¹⁰⁾、荒締切部に重機がのって安全に作業が可能かなど、オペレーションも念頭においた検討が不可欠である。

4. まとめ

本資料では破堤開口部を締切る際に生じる現象把握を目的に、実物大規模の千代田実験水路において実際の重機、水防資材を用いた荒締切工の基礎実験を行い、これより次のことが明らかとなった。

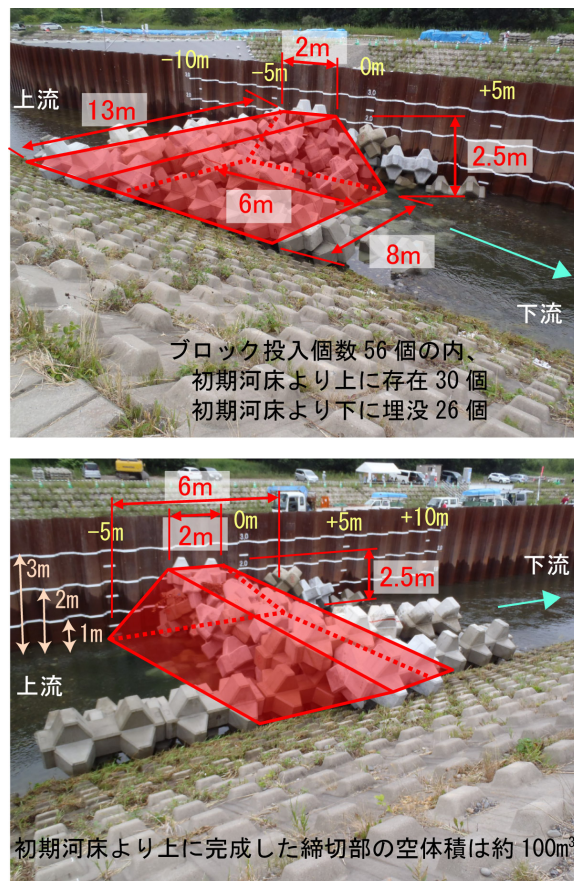


図-7 荒締切の完成形状

- 1) 重機の作業足場の条件が良く、且つブロックが計画通りに被災箇所周辺まで運搬ができれば、3～4分毎にブロックを投入することが可能である。
- 2) ブロックを投入し開口部が狭まり荒締切が進むにつれ、流速の上昇や流向の変化が生じたことから、状況に応じたブロック投入位置の選定や、ブロックの転動などにも留意する必要がある。
- 3) ブロック投入の初期段階から河床低下が生じ、最終的には荒締切の仕上がり形状高と同程度の河床洗掘が確認された。これは荒締切に必要な水防資材の備蓄には、河床への埋没などのロス率も見込んだ計画準備を立てることが重要であることを示唆している。また河床洗掘を抑制しながら荒締切を進めるような工夫が出来れば、効果的で効率的な荒締切につながる可能性を示唆するものである。

今回の実験では想定した破堤開口幅は8mと、その幅は非常に狭いものであった。実災害時には破堤開口幅が数10mから100mを超えるような場合も想定される。このような条件の中、効率的に荒締切を進める手順等を検証するとともに、荒締切に伴い氾濫流量が低減し、少し

でも減災に寄与できるような検討を進めていく予定である。

併せて今回は重機の足場が良好な条件であったため、不安定な条件、荒締切の上を前進できるかなどの検証も必要であり、これらは実物大規模のメリットを活かし千代田実験水路を活用することを考えている。

謝辞: 本実験を行うにあたり、十勝川千代田実験水路アドバイザー委員会と同検討会より、多くの助言を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) IPCC第5次評価報告書統合報告書製作決定者向け要約，文科省・経産省・気象庁・環境省，2015.
- 2) 社会資本整備審議会：水災害分野における気候変動適応策のあり方について（答申），国土交通省，2015.
- 3) 吉川勝秀：河川堤防学，技報堂出版，pp. 98，2008.
- 4) 鬼怒川堤防調査委員会，関東地方整備局，2015.
- 5) 例えば，台風10号による大雨洪水で決壊した鬼怒川の堤防被災調査速報，（国法）土木研究所寒地土木研究所，活動情報Case10，<http://www.ceri.go.jp/contents/about/about08.html>
- 6) 飛田大輔・柏谷和久・柿沼孝治・島田友典・伊藤幸義：河川堤防の締切工に関する簡易模型実験，土木学会年次学術講演会概要集，第70回，II-12，2015.
- 7) 河川堤防の越水破堤現象のうち破堤拡幅過程に関する実験報告書：国土交通省北海道開発局，土木研究所寒地土木研究所，2012.
- 8) 島田友典，前田俊一，柏谷和久，飛田大輔，伊藤幸義，横濱秀明：根固ブロックを用いた破堤氾濫流量抑制の基礎実験，地盤工学から見た堤防技術シンポジウム講演概要集，第3回，I-4，2015.
- 9) 島田友典，飛田大輔，前田俊一，柏谷和久，横濱秀明：千代田実験水路における破堤拡幅進行時の氾濫流量抑制実験，土木学会論文集B1（水工学），vol172，No. 4，I_1159-1164，2016.
- 10) （財）国土技術研究センター：堤防決壊時の緊急対策技術資料（案）
- 11) 北陸地方整備局北陸技術事務所：異形ブロック投入安全装置の開発，<http://www.hrr.mlit.go.jp/hokugi/file/-tec-box/hokugi-outcome/13-kasen-burokku.pdf>
- 12) 島田友典，渡邊康玄，横山洋，辻珠希：千代田実験水路における横断堤越水破堤実験，土木学会論文集，第53巻，pp. 871-876，2009.

LEVEE BREACH CONTROL EXPERIMENT USING A FULL-SCALE LEVEE AT THE CHIYODA EXPERIMENTAL CHANNEL

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2012-2016

Research Team : River Engineering Research Team

Author : FUNAKI Jungo

MAEDA Syunichi

SHIMADA Tomonori

Abstract: The damage caused by river levee breaches can be extensive. Damage mitigation can be expected by temporarily closing the levee breach and reducing the amount of flood water exiting the breach. An assumed levee breach was created at a field-scale experimental channel, and a basic experiment was done to temporarily close the breach by using a crane to place concrete blocks. One concrete block was able to be placed in about 3 minutes. The flow velocity increased when the cross sectional area of the flow at the breach gradually became small. Scouring was observed at non-visible locations of the temporarily closed levee section.

Keywords: Levee Breach, Temporary Breach Closure, Foot Protection Blocks, Chiyoda experimental Channel