

河川堤防締切工に関する基礎実験

寒地土木研究所 寒地河川チーム ○島田 友典
前田 俊一
北海道開発局 帯広開発建設部 横濱 秀明

破堤部の締切にはブロックを投入して行うことが多いが、投入によりどのような水理量・河床変化など不明な点が多く、それらを明らかにすることで効率的な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破堤開口部を想定し、水防資材である根固ブロックと大型クレーンを用いて締切基礎実験を行った。概ね指示した地点に1個あたり4分程度でブロックを投入することが可能であった。また破堤開口部を狭めていくに従い、氾濫流量の流速上昇が確認でき、また実災害時では不可視部分である締切区間の河床洗掘が生じていることなどが確認できた。

キーワード：破堤，堤防締切

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¹⁾。日本においても今後さらに、大雨や短時間降雨の発生頻度、大雨による降水量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、過去の事例ではその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、家屋流出などの甚大な被害をもたらした⁴⁾。このような被害を可能な限り軽減するには、破堤氾濫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締め切るなどの技術が求められている。

しかし今までは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⁵⁾。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土木研究所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）の最小化を目的に系統立てた実験を継続して実施している。平成20年～23年に堤防決壊・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、実験報告書として取りまとめ、破堤拡幅進行過程を明らかにし、また堤体崩壊量と水理量との関係性を示した⁷⁾。平成24年度以降は次に破堤拡幅進行を抑制し氾濫流量の増加抑制を目的に水防備蓄資材である根固

ブロックを用いた破堤拡幅進行・破堤氾濫流量の増加抑制につながる技術開発に取り組んでいる⁸⁾⁹⁾。平成27年度からは、破堤拡幅進行抑制の検討と並行して、氾濫流量を低減させるため技術検討（破堤開口部を早急に締め切るための荒締切・せめ工など）に着手したところである。

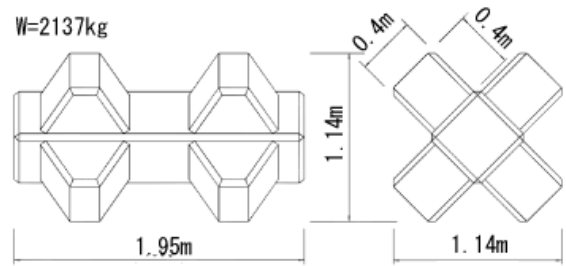
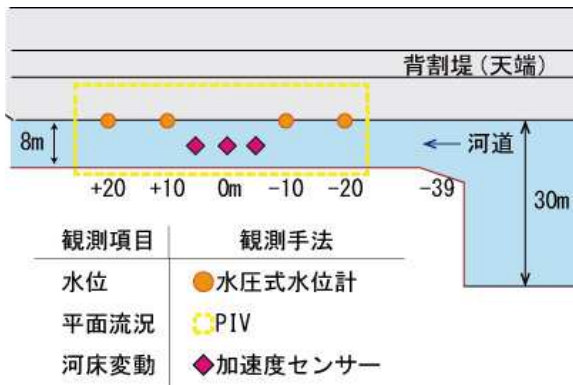
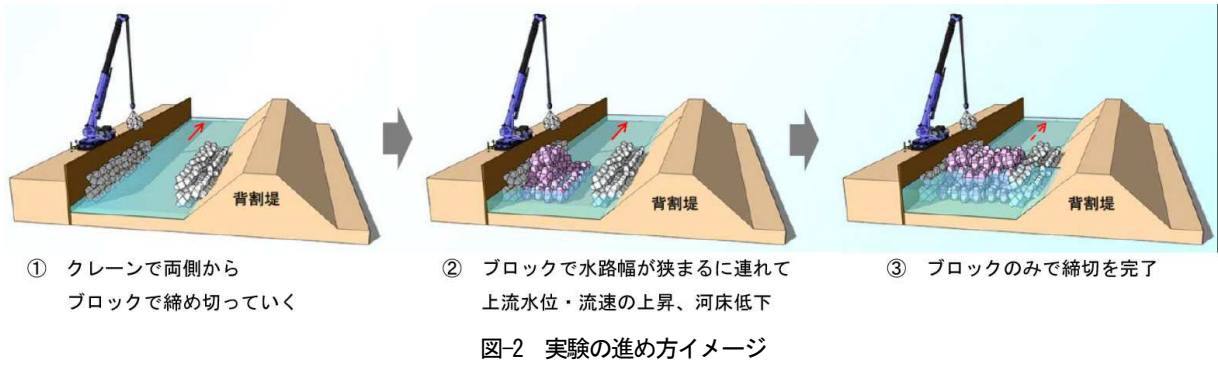
基礎的な現象把握・減災効果については模型実験を実施しているところであるが、実際に締め切るにあたり、現状ではクレーン等を用いて破堤開口部に水防資材であるブロック投入などを行うことが考えられる¹⁰⁾が、実災害時の流水中に複数のブロックを投入し、流れをせき止めた際の流況変化等について把握した事例はほとんどない。また実際に重機を用いて多くのブロックを効率的に投入できるかなども不明である。

そこで平成27年度に十勝川千代田実験水路（以下、千代田実験水路と称す）において、実際の重機を用いて破堤開口部を想定して河道部にブロックを投入して締め切る実験を行った。本論文では実際に締め切り作業を進める際に生じる現象として流況変化、及び通常の災害時には不可視部分である締切区間における河床の変化状況について観測を行い、その結果を報告するものである。

2. 実験概要

(1) 実験水路概要

図-1 に実験水路の形状を示す。本来は堤防を想定し破堤開口部を設けて、そこを締めきるべきであるが、本実験は開口部に投入したブロック周辺の流況、及びブロック投入区間の河床の変化などを把握することを目的としており、ここでは千代田実験水路の川幅30m部分を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部（開口部の抜出）に見立ててブロックの投入を行い締切を行った。



(2) 観測概要・通水概要

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 $20\text{m}^3/\text{s}$ として通水し、目標流量到達後、定常流とした。

(3) 締切方法概要

実験の一連のイメージを図-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めブロックのうち、共同で研究を実施している北海道開発局が最も多く備蓄している水防資材の根固ブロック(図-3)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をして頂いた。さらに投入にあたっては一般的なオートフックのほか、今後の効率的な締切方法の検討を念頭に、空中でブロックを切り離して投入を行うため、反動でクレーンが横転しないような特殊な安全装置が必要となる。そこで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(図-4)(以下、空中切り離し装置と称す)¹⁰⁾の貸与を受けて実験を行った。



3. 実験結果

(1) 実験概況

図-5に実験区間の上流、下流、及び上空から撮影した実験状況のうち、代表的な時間帯を示す。

図-6に時系列の水位変化、ブロック投入状況を示す。まず(ア)は水面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昇していることがわかる。

水面上にブロックが出てきたのち、空中切り離し装置からオートフックに切り替えを行ったため、(ウ)に示すように投入間隔があいており、水位上昇も止まっている。(エ)はオートフックによる投入である。オートフックは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せる必要がある。そのた

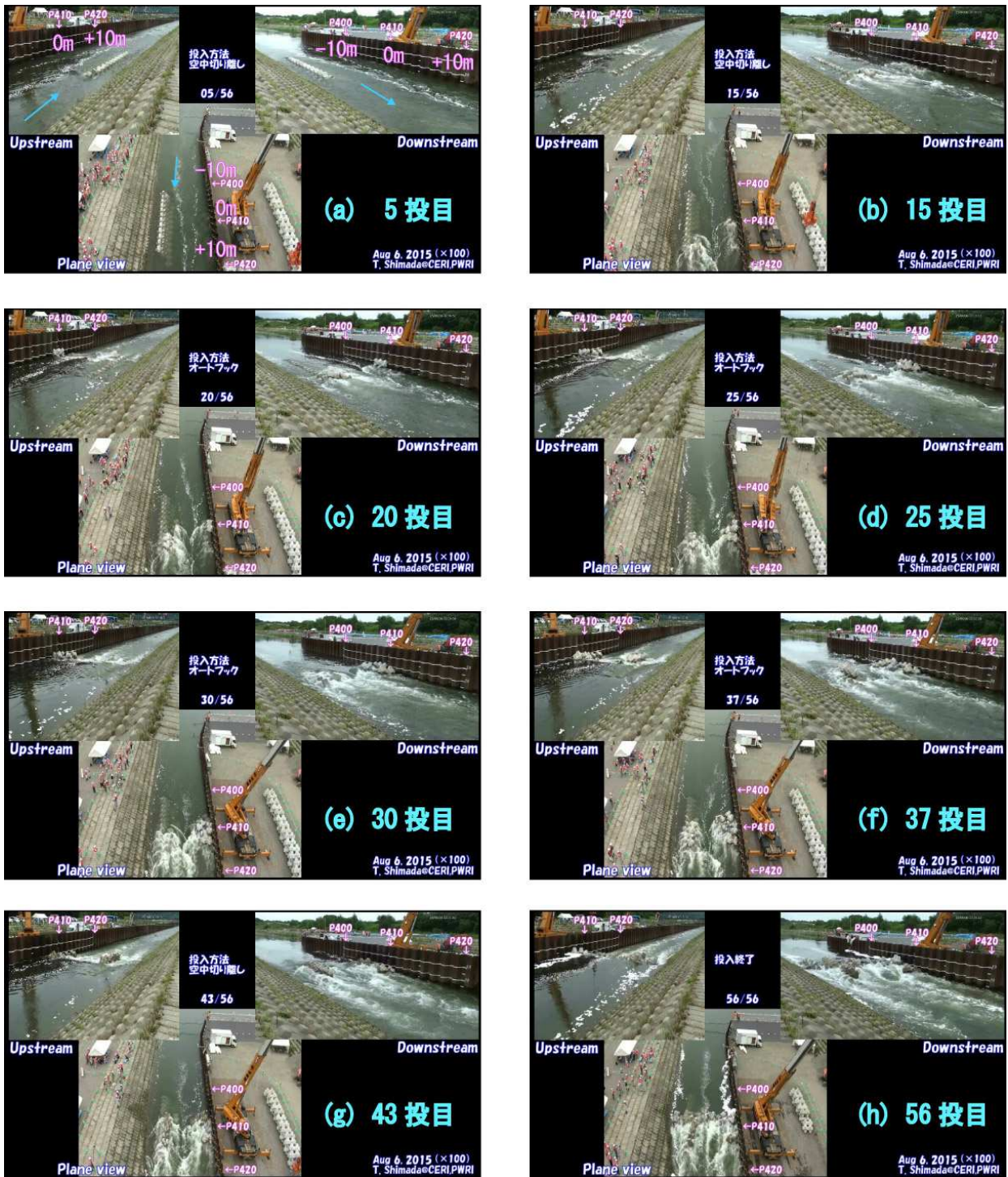


図-5 実験状況

め水面上にブロックが出ている場所にしか投入はできず、また狙った場所によっては一部、流れの中に投入することもあり、その場合はブロックが流されないように注意が必要である。なお投入間隔があいた(オ)はワイヤーがブロック間に挟まったため、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、実災害時の流れのある中での投入には注意が必要である。

そして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、(カ)では再度、空中切り離しに切り替えて最後まで実験を行った。

今回は流れの中に投入を行う初めての実験ということでもあり、投入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。これは投入のための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。

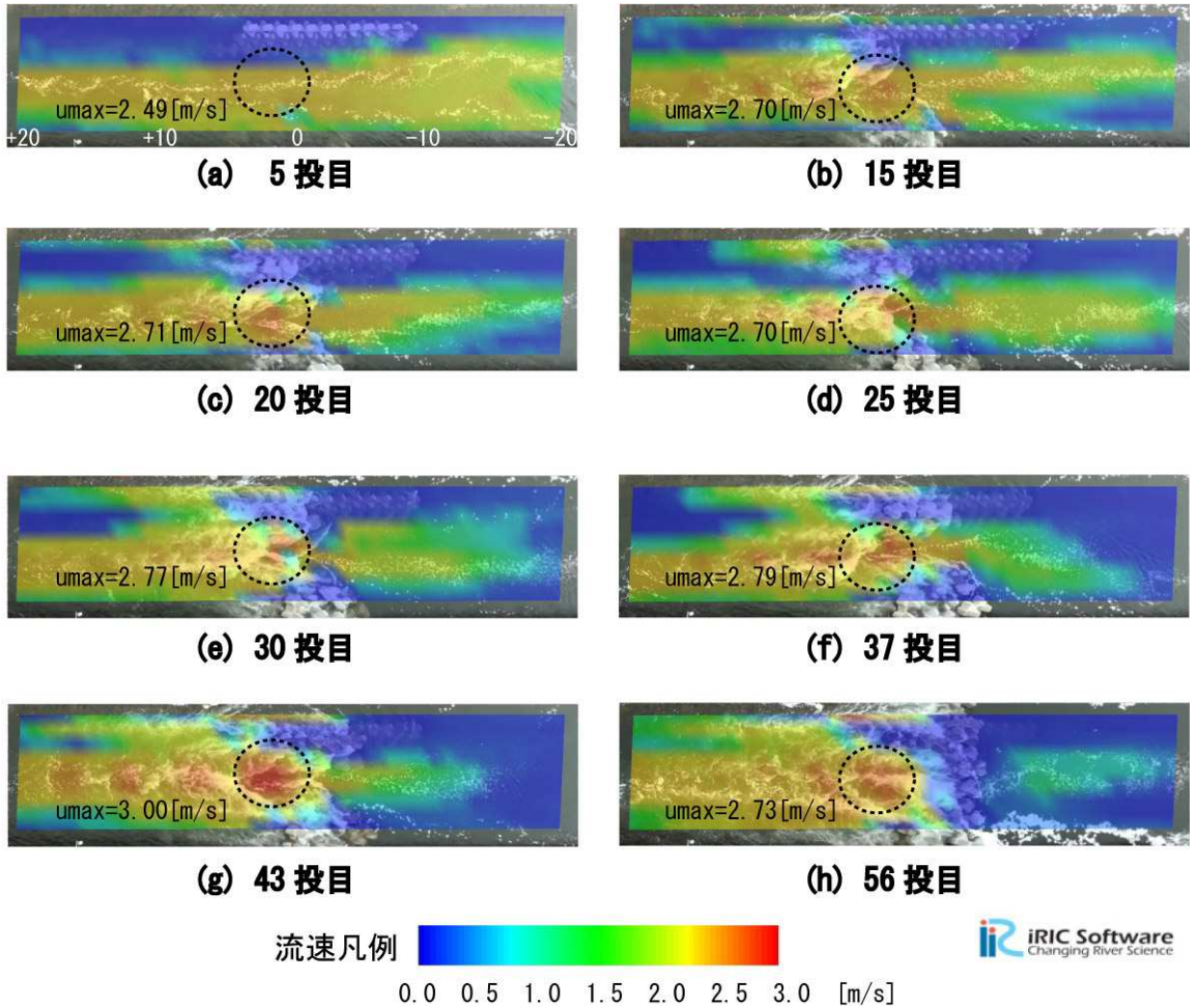


図-7 流況

(2) 締切りに伴う流況変化

今回の実験では図-2に示すように水路中央を最後に締め切るように両側からブロックの投入を行った。図-7にPIV観測結果を示す。これによると開口部中央である丸で示した箇所について、最初は流速2.5m/s程度であったが、締め切るに伴い流速が上昇しており、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) 締切りに伴う河床低下

実災害時の締切作業において表面流況までは把握が可能であるが、投入したブロック下部の洗掘状況などを把握することが困難である。そこで本実験では投入箇所の河床に加速度センサーを埋設し、河床洗掘状況について観測を行った。図-8は配置した加速度センサーの記録より判読した洗掘タイミングである。ブロックを5個投入した時点から河床洗掘が生じており、投入に応じて徐々

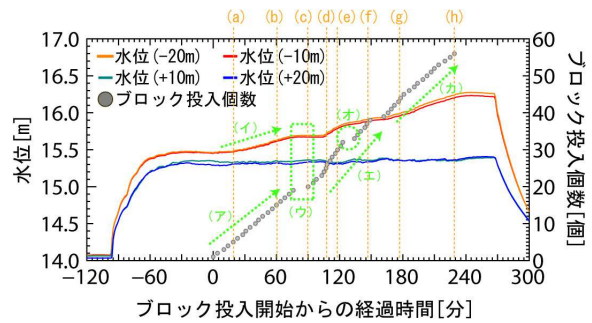


図-6 水位変化とブロック投入個数

に洗掘していることがわかる。また最終的には初期河床から最大2m以上の洗掘が生じている。図-9に示すように実験後の状況より投入した締切高は2.5m程度であるため、それと同程度の河床洗掘が生じていたことになる。これは締切時に必要なブロック算出にあたり、ブロックの転動流出だけでなく、河床洗掘も考慮したブロック数の計画準備が必要であることを示唆している。

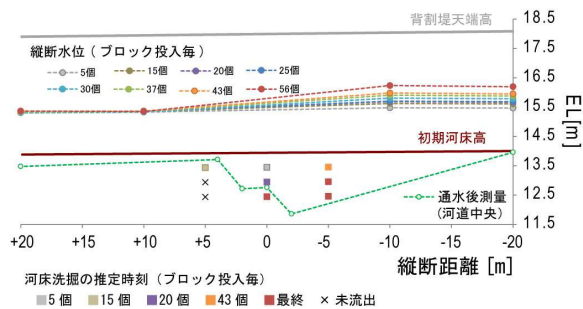


図-8 加速度センサーの記録を用いた河床洗掘過程の推定 (縦断面図)

4. まとめ

以下に得られた知見を簡潔に示す。

- ① オートフック、空中切り離し装置を用いることでブロック1個当たり4分程度で投入が可能である。
- ② 締切に伴って氾濫流量の流速が増加し、ブロック転動の懸念など、締切にあたってはその手順の検討の必要性を示した。
- ③ ブロックを投入した時点から河床洗掘が生じ、最終的には2m程度の洗掘であったことから、締切時に必要なブロック個数算出にはブロック転動流出だけでなく、河床洗掘も考慮したブロック数の計画準備が必要であることを示した。

謝辞：本実験を行うにあたり、十勝川実験水路アドバイザー委員会と同実験検討会より、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（中間とりまとめ），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，第70回土木学会年次学術講演会，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，第3回，2015.

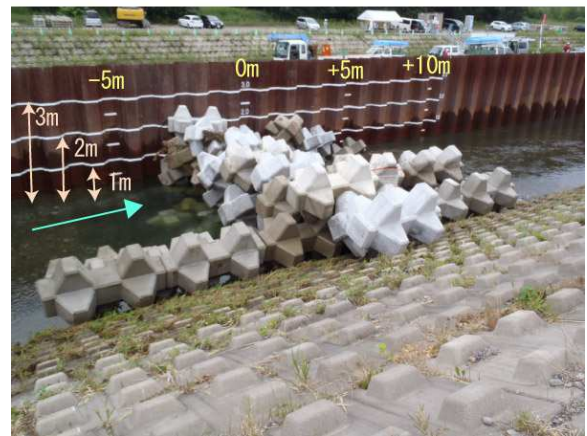


図-9 実験後の状況

- 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，水工学論文集，第59巻，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>