

特集：洪水への新たな闘い～治水対策の技術開発への取組み～

千代田実験水路を用いた越水破堤実験

島田友典* 横山 洋** 平井康幸*** 三宅 洋****

1. はじめに

近年、台風や集中豪雨などに起因する豪雨災害が多発しており、河川の氾濫による大規模な水害の発生が懸念されている¹⁾。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とされている²⁾が、越水破堤メカニズムは未解明部分が多い。

このメカニズムを明らかにすることを目的に、国土交通省北海道開発局と(独)土木研究所寒地土木研究所では2008年度から十勝川千代田実験水路³⁾(以下、千代田実験水路)において実物大規模の越水破堤実験を行ってきた^{4),5),6)}。本論文では2010年度に実施した氾濫域まで再現した越水破堤実験⁶⁾の概要について報告する。

2. 越水破堤実験の概要

図-1に実験状況、図-2に千代田実験水路概要を示す。通水はゲートからの供給流量を増加させ、切欠からの越流水深が概ね30cm(過去の事例⁷⁾等から判断して決定)になった後に供給流量を一定(Case1で70m³/s程度、Case2で35m³/s程度)とした。また実験終了は破堤実験区間の大半が破堤拡幅した時点とし、実験水路への通水停止のためにゲート閉操作を開始した時間はCase1では越水開始から36分後、Case2では95分後であった。

主な観測項目・位置は図-2に示す通りである。使用した観測機器・手法については、過去の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^{3),4),5),6)}。

3. 越水破堤実験の結果

図-3に実験状況、図-4に堤防天端中央の破堤拡幅進行過程、図-5に越流氾濫流量、図-6に水路左岸の水位縦断面図を示す。両Caseともに越水開始から実験終了までに5つのStepを経て進行することがわかる。以下にStep毎の概況を示す。



図-1 千代田実験水路における実験状況

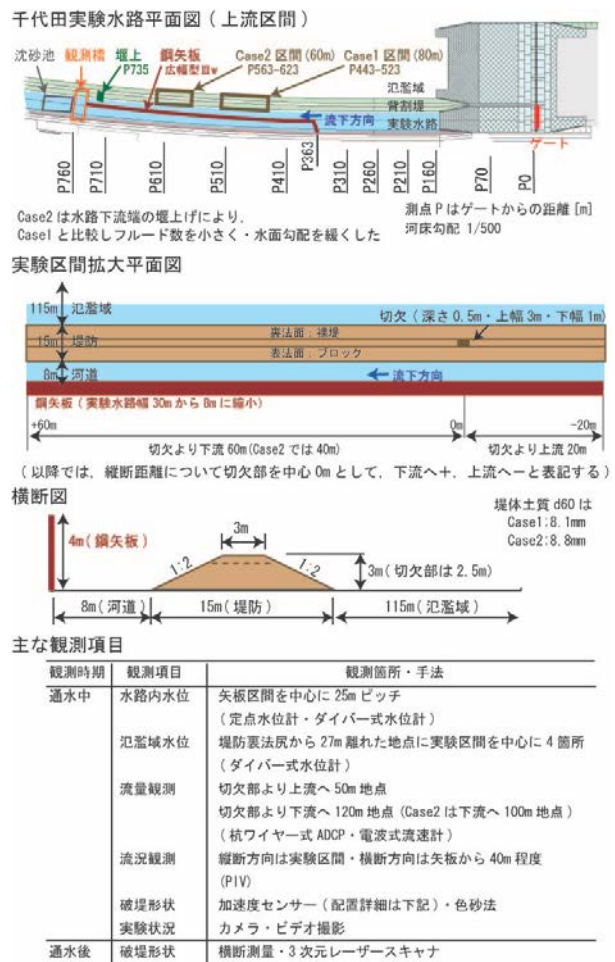


図-2 実験概要

[Step1～越水から破堤拡幅開始まで]

越水開始後、裏法面・裏法肩が浸食され、裏法面はハの字型となっている。天端は氾濫域から河道に向かって後退が見られるが、天端中央の破堤拡幅

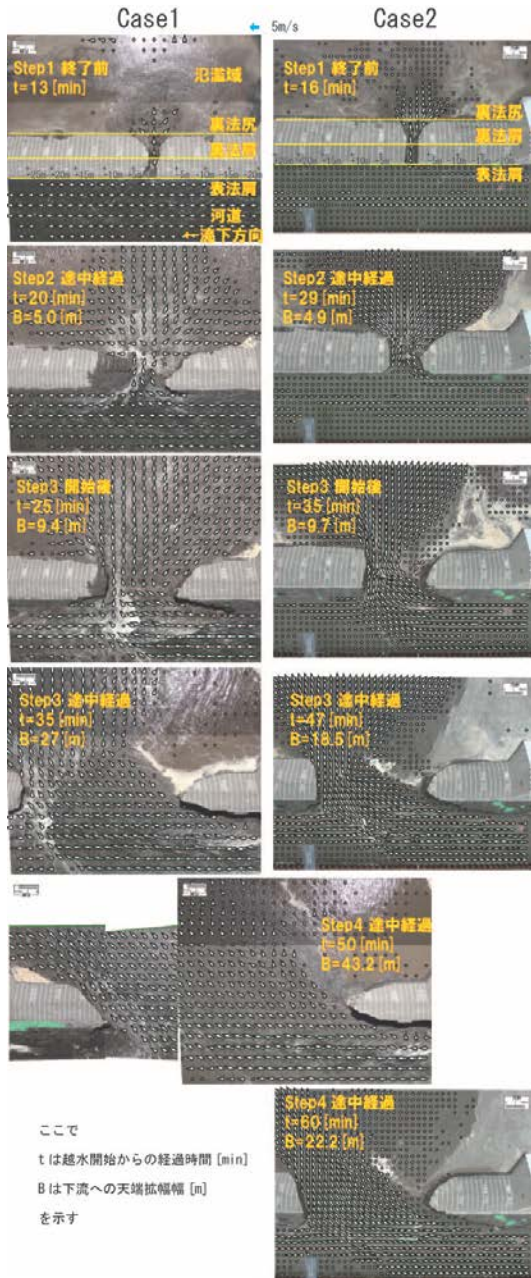


図-3 実験状況(水路上空より撮影)

は起こっていない。最大越流水深はCase1・Case2ともに30cm程度、水面勾配はCase1で1/900程度、Case2で1/10,000程度、河道内表面流速はCase1で2m/s程度、Case2で1m/s程度であり、切欠部に向かう流れは見られなかった。Step1では河道内水理量の相違による明確な差はなく、破堤拡幅を伴わない正面越流に近い現象⁷⁾であった。

[Step2~破堤拡幅開始]

Case1では、切欠部より上流50m地点のフルード数は0.5~0.6程度であり、流況は河道上流から破堤口に向かい、その流れが破堤口下流端にぶつかることで下流への破堤拡幅が進むとともに、ぶつかった流れが氾濫域にむけ上流にふられており、その流れ

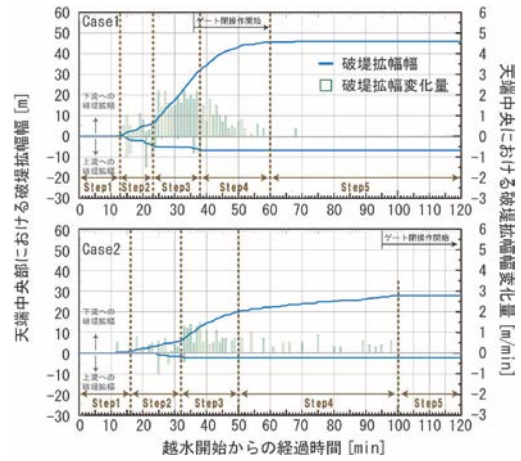


図-4 破堤拡幅進行過程

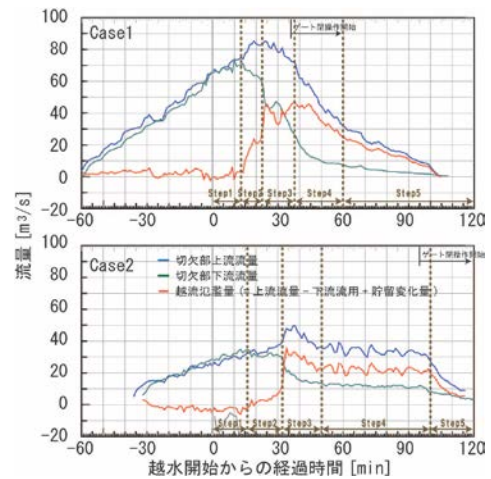


図-5 破堤区間上下流流量・越流量

により上流への拡幅も見られる。この現象を繰り返しながら徐々に破堤拡幅が進行し、越流量が増加を始める。

Case2では、切欠部より上流50m地点のフルード数は0.2程度であり、流況は破堤口上下流から流れ込む形で、破堤拡幅が徐々に進行し、越流量が増加を始める。この現象は千代田実験水路で行った横断堤破堤実験に近い現象²⁾であったが、河道流れがある分、下流への拡幅が卓越している。

[Step3~破堤拡幅が急激に進行]

Step3以降、破堤拡幅速度が急激に早くなり、下流への拡幅がほとんどを占める。流況は両Caseとも河道幅全体から流れが破堤口に向かっている。特にCase2では破堤口通過時に破堤口下流を中心とした流れが見られ、破堤拡幅が進行しながらもその主流幅は概ね一定で推移していくようである。また越流量は両Caseとも急増しピークを迎え、河道内全体で急激な水位低下が生じている。

[Step4~破堤拡幅速度の低下]

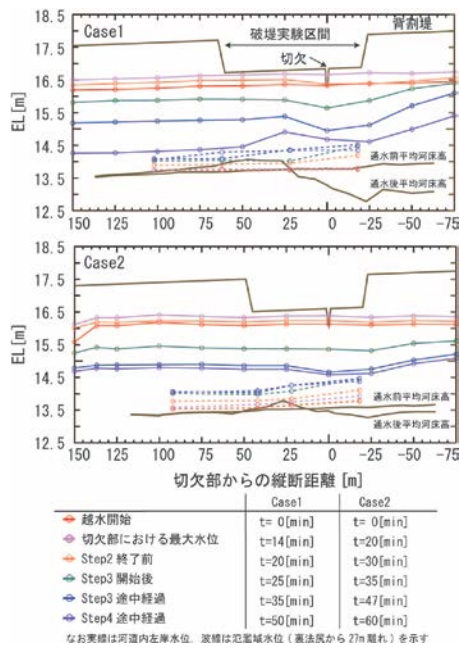


図-6 水路内縦断水位

Step3と比較すると、破堤拡幅速度は遅くなる。Case1ではゲート閉操作の影響と考えられるが、Case2は定常流量が供給されているにも関わらず、拡幅は間欠的となり、Step4を通して概ね一定速度で進行し、破堤拡幅は広がっているが越流量は一定値で推移している。これは破堤開口幅の拡幅に追従する形で越流する主流幅はほぼ一定であるためと考えられる。

[Step5~破堤拡幅終了]

ゲート閉操作による供給流量低下により、破堤拡幅は停止する。

以上が越水開始からの5Stepの概況であるが、実河川では堤防高に対し、今回のように川幅が狭いことは少ないため、Step3のような急激な水位低下などは見られない可能性もあり、本実験の結果を実河川に適用する際には注意が必要である。

4. 破堤進行過程における考察

実災害を想定した際、重要となるのは越水した後、破堤拡幅開始までに要する時間はどの程度か、更に破堤拡幅が始まると破堤拡幅速度・拡幅継続時間・最終破堤幅がどの程度かである。ここでは前述の5つのStepを更に大きく区分し、越水開始から破堤拡幅が始まるまでと、破堤拡幅が顕著となる以降に分類して検討を行った。

4.1 破堤幅拡幅開始までの考察

Step1は破堤拡幅の伴わない正面越流による越水

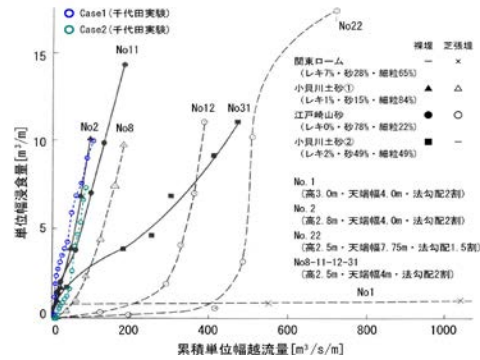


図-7 単位幅浸食量と累積単位幅越流量

破堤に近い現象であった。そこで旧建設省土木研究所による正面越流破堤実験結果⁷⁾と、本実験結果を比較した。報告書⁷⁾によると、堤体の崩壊を表す指標として単位幅浸食量を、外力の指標として累積越流量を用いた評価を行っており、今回の実験でもStep1において同様の評価を行う。単位幅浸食量は加速度センサーの結果から推定した切欠部断面での堤体崩壊量を用いた。越流量は図-7から判読が困難であるが、Step1は破堤拡幅を伴わない正面越流に近い現象であったため、ここでは堤体からの越流水深を用いて中間の越流公式⁸⁾を用いて算出した。

図-7は既往の結果⁷⁾に、今回の実験結果を重ね合わせたものである。両Caseとも裸堤であるNo.2やNo.11と概ね一致している。これよりStep1については、既往の正面越流実験による知見を用いても問題がないと考えることが出来る。また同実験では様々な保護工(例えば天端アスファルトなど)に関する知見が蓄積されている。それを現地でも適用出来る可能性があると言える。

4.2 破堤幅拡幅開始以降の考察

ハザードマップ作成には現在、氾濫シミュレーションマニュアル(案)など^{9),10)}が用いられているが、これによると最終破堤幅は川幅のみに依存し、破堤時間は破堤後、瞬時に最終破堤幅の1/2が破堤し、その後1時間かけて最終破堤幅まで拡大すると仮定している。しかし実際には洪水規模・継続時間に左右されると考えるのが自然である。

そこで今回の実験結果より破堤拡幅速度と河道内流量を用いてStep3以降を対象に検討を行った。破堤拡幅速度はStep3以降、下流への拡幅がほとんどであるため、図-4より天端中央拡幅変化量(下流)を用いた。なお破堤拡幅の間欠性は重要であるが、ここでは洪水継続中にどの程度、破堤拡幅が進行す

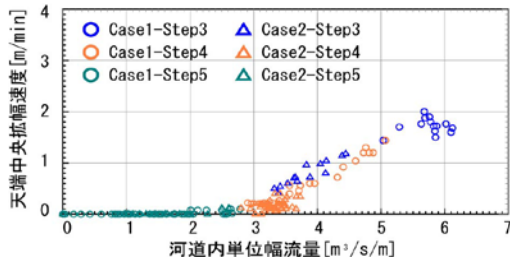


図-8 破堤拡幅速度と河道内単位幅流量

るのかを平均的に算出することを目的に、観測した拡幅変化量を5分間移動平均とした。

河道内水理量は、流量観測上流区間の河道内単位幅流量とした。

図-8にその関係を示す。今回の場合、単位幅流量3~4m³/s/mで破堤拡幅が進行するか否かの境界となっている。参考までに千代田実験水路がある十勝川の基準地点・主要地点における単位幅流量は、河川整備計画による河道の配分流量¹¹⁾から算出すると3.8~8.4m³/s/m程度であり、今回の実験より得られた値も実現象からは大きく外れていないと言える。今後、様々な堤体・河道特性などを考慮する必要はあるが、河道内水理量を用いて破堤拡幅速度を推定できる可能性がある。

5. まとめ

以下に今回、得られた知見を簡潔に示す。

- ・越水開始から破堤拡幅開始までにおいて、堤体土質が概ね同一の場合、外力の指標として累積単位幅越流量を用いることで、堤体崩壊量を推定出来ると言える。またこれより既往の正面越流による知見⁷⁾を河道流のある越水破堤現象にも流用することが可能であると言える。

- ・破堤拡幅開始以降において、既往の知見では破堤幅・破堤拡幅速度は洪水時の流況に関係なく河

道幅のみに依存していたが、今回の実験結果より、河道内における単位幅流量を用いることで推定出来る可能性があると言える。

謝 辞

十勝川千代田実験水路での実験実施にあたっては十勝川千代田実験水路実験検討会¹²⁾から助言を多く頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会：水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)、国土交通省、2008。
- 2) 吉川勝秀：河川堤防学、技報堂出版、pp.98、2008。
- 3) 島田友典ほか：十勝川千代田実験水路の基礎的な土砂挙動特性、土木学会応用力学論文集、Vol.11、pp.699~707、2008。
- 4) 島田友典ほか：千代田実験水路における横断堤越水破堤実験、土木学会水工学論文集、第53巻、pp.871~876、2009。
- 5) 島田友典ほか：千代田実験における越水破堤実験、土木学会水工学論文集、第54巻、pp.811~816、2010。
- 6) 島田友典ほか：千代田実験における氾濫域を含む越水破堤実験、土木学会水工学論文集、第55巻、pp.841~846、2011。
- 7) 越水堤防調査最終報告書・解説編、建設省土木研究所資料、第2074号、1984。
- 8) 水理公式集(平成11年度版)、土木学会、pp.132~133、1999。
- 9) 氾濫シミュレーション・マニュアル(案)・シミュレーションの手引き及び新モデルの検証、建設省土木研究所、1996。
- 10) 急流河川における浸水想定区域検討の手引き、国土交通省北陸地方整備局、2003。
- 11) 十勝川水系河川整備計画、国土交通省北海道開発局帯広開発建設部
<http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/kakusyu/houshin-seibi/index.html>、2010。
- 12) 十勝川千代田実験水路について、北海道開発局帯広開発建設部
<http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/riveroffice/>

島田友典*



独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所寒地水圏
研究グループ寒地河川
チーム 研究員
Tomonori SHIMADA

横山 洋**



独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所寒地水圏
研究グループ水環境保全
チーム 主任研究員
Hiroshi YOKOYAMA

平井康幸***



独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所寒地水圏
研究グループ寒地河川
チーム 上席研究員
Yasuyuki HIRAI

三宅 洋****



国土交通省北海道開発局
帯広開発建設部治水課長
Hiroshi MIYAKE