

堤防断面形状の相違による破堤特性に関する越水破堤実験

土木研究所寒地土木研究所

正会員

○神原

柚乃

北見工業大学

正会員

渡邊

康玄

土木研究所寒地土木研究所

正会員

島田

友典

土木研究所寒地土木研究所

正会員

大串

弘哉

1. はじめに

近年、気候変動等の影響により集中豪雨が増加し、河川堤防の決壊が多数発生している。過去の事例では堤防決壊の約 8 割は越水に起因するとされており¹⁾、これまで北海道開発局と寒地土木研究所では、様々な条件において越水破堤実験を実施し²⁾、破堤メカニズムの解明に努めてきた。しかしながら、堤防断面形状の相違が破堤拡幅現象に及ぼす影響は十分に分かっていない。そこで、本論文では堤防断面形状が異なる条件での破堤特性の把握を目的に、千代田実験水路²⁾の縮尺 1/20 の模型水路を用いて実験を実施し、破堤進行過程の整理を行った。

2. 実験概要

図-1 に実験水路の平面図を示す。なお、実物大実験との比較も念頭に、以下に示す水路諸元、水理量、時間等は全てフルード相似則で現地スケールに換算した値で表記する。実験水路は単断面河道であり、川幅は 30m、氾濫域幅は 116m、水路長は 860m、斜線部は移動床である。実験は、堤防の断面形状を変えて 3 ケース実施した。基本ケースの堤防形状は千代田実験水路における破堤実験²⁾と同様に高さ 3m、天端幅 3m、法勾配 2 割、断面積 27m²である。基本ケースの他、断面積を 2 倍にしたケース 1（堤防天端幅を 4 倍に拡幅）とケース 2（裏法面勾配を 8 割に緩勾配化）を実施し、比較検討を行った。なお、全てのケースにおいて破堤のきっかけとして切欠（深さ 0.5m・上幅 3m・下幅 1m）を設けている。各ケースの水理諸元を表-1 に、堤防断面を図-2 に示す。また、図-3 は用いた堤体材料の粒度分布である。千代田現地実験の粒度分布を参考に、既往の縮尺模型実験²⁾と同様の混合砂とし、若干の粘着性を持たせるためにベントナイトを 15%配合させている。

3. 実験結果

図-4 に破堤開口幅の時間変化、図-5 にケース 1・2 の破堤進行過程を示す。なお、基本ケースの破堤進行過程は既往実験²⁾における同じ断面形状を持つ実験結果と同様である。既往実験²⁾より破堤拡幅進行過程は、初期破堤段階（Step1）、破堤拡幅開始段階（Step2）、破堤拡幅加速段階（Step3）、破堤拡幅減速段階（Step4）の 4 段階に分類できるため、今回もそれに倣い以下では段階毎に特徴を示す。

(1) 初期破堤段階（Step1）

基本ケースでは、越水開始後ほどなくして破堤開口幅が拡大している。一方、ケース 1・2 においては、越水開始から表法肩が侵食されたのち破堤拡幅が開始するまでの時間が基本ケースに比べて大幅に延びている。図-4 より、

表-1 実験水理諸元

ケース	内容	模型縮尺	水路形状		堤防形状			流量	下流端水位 (等流水深)
			河床勾配	水路幅	天端幅	表法勾配	裏法勾配		
基本	基本	1/20	1/500	30m	3m	1:2	1:2	315(m ³ /s)	2.75m
1	天端幅拡幅	1/20	1/500	30m	12m	1:2	1:2	315(m ³ /s)	2.75m
2	裏法面緩勾配	1/20	1/500	30m	3m	1:2	1:8	315(m ³ /s)	2.75m

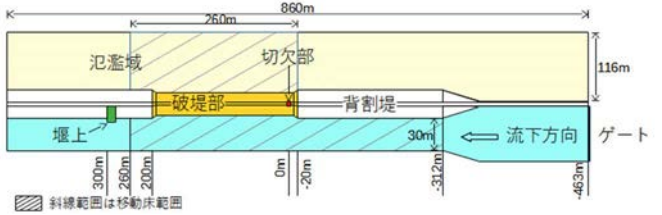


図-1 実験水路平面図

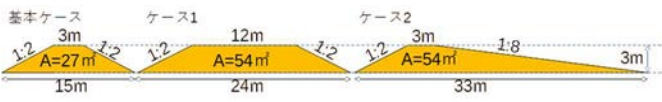


図-2 堤防断面図

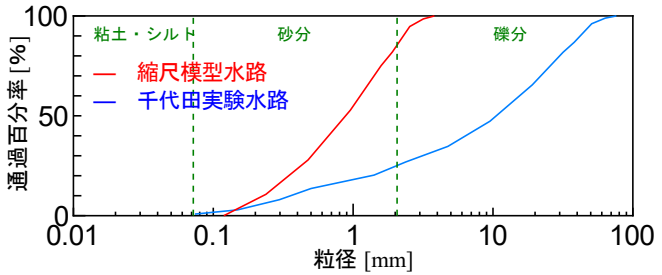


図-3 堤体材料の粒度分布

キーワード 破堤現象、堤防決壊実験、堤防断面積、堤防断面形状

連絡先 〒062-0935 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 土木研究所寒地土木研究所 TEL 011-841-1639

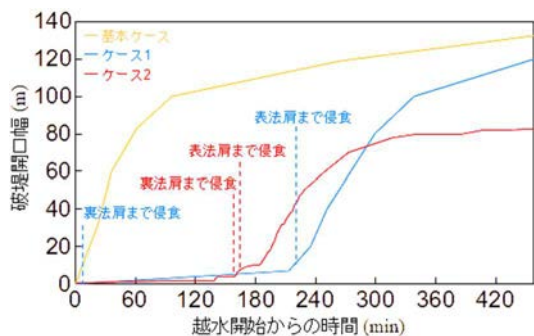


図-4 破堤開口幅の時間変化

ケース1では裏法部の侵食のあと天端の崩壊に至るまでの時間が長く、ケース2では裏法部の侵食に要する時間が長いことから、断面積を拡大することで拡幅開始時間を引き延ばす効果が確認できる。

(2) 破堤拡幅開始段階 (Step2)

全ケースにおいて、侵食が表法肩まで到達した後、急速に拡幅が開始する。拡幅開始直後は裏法部に先行

して天端が侵食され、図-5の様に氾濫流が上流方向を向いている。その後破堤拡幅の進行に伴い裏法部の侵食も進み、氾濫流は直角方向へ流れるようになる。ケース1・2では、侵食された土砂が遠くまで掃流されず開口部付近に堆積し、氾濫域の河床が高くなる様子が見てとれた。

(3) 破堤拡幅加速段階 (Step3)

図-6にケース1・2の堤体侵食イメージ図を示す。丸数字は侵食が生じる順番を示している。ケース1では、まず裏法尻部が侵食され、裏法上部が塊状に崩落し、次いで天端、表法部が堤体横断面に沿って侵食・崩落している。氾濫流は下流方向を向き、開口部の下流端付近に集中する。これは、侵食された多量の土砂が開口部付近に堆積することに加えて、堤体下部の土砂が侵食されずに残存し大きな死水域を形成することで、主流幅が狭くなることが要因として考えられる。ケース2では、裏法上部に続いて天端・表法部が流れに沿って徐々に侵食・崩落している。これは、土砂の堆積範囲が開口部付近に集中せず死水域が狭いため、ケース1に比べて主流幅が広くなり相対的に掃流力が低下したことが要因として考えられる。また、堤体が斜め下流方向に侵食を受けるため開口部下流端の侵食幅や堤体横断面が広く、単位長さ当たりの破堤口拡幅に必要な堤体侵食量が多いことから、破堤拡幅が穏やかに進行している。

(4) 破堤拡幅減速段階 (Step4)

基本ケースでは、最大開口幅が135mまで達する。ケース1では、開口幅が100m前後に達すると破堤拡幅速度が低下する。ケース2では、開口幅が50m前後に達すると破堤拡幅が緩やかになり、80mほどで拡幅が収束する。

4. まとめ

堤防断面形状の相違による破堤特性の把握を目的として、千代田実験水路の縮尺1/20の模型水路を用いて越水破堤実験を実施した。限られた条件ではあるが、堤防天端幅を広くした場合においても、裏法面を緩勾配化した場合においても、越水開始から破堤拡幅が開始するまでの時間は長くなった。また、破堤拡幅開始後の破堤進行速度はやや遅くなり、最終破堤幅も狭くなった。さらに裏法面勾配を緩勾配化した方が、最大破堤幅を狭める効果が大きくなることが確認できた。

参考文献

- 1) 吉川勝秀：河川堤防学，技報堂出版，pp.98，2008
- 2) 河川堤防の越水破堤現象のうち破堤拡幅機構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

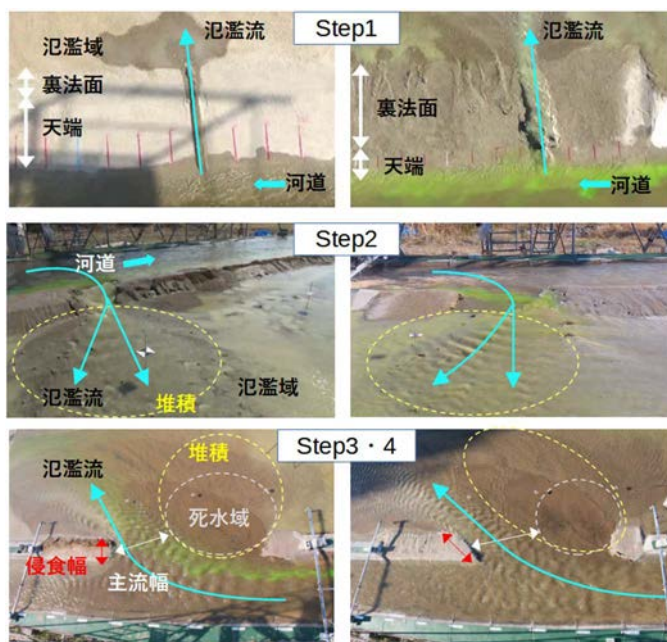


図-5 破堤拡幅進行過程 (右：ケース1，左：ケース2)

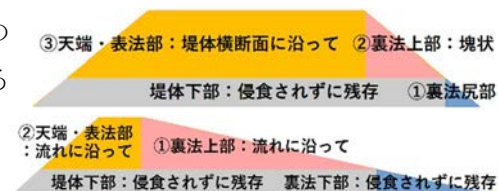


図-6 堤体侵食イメージ

(上：ケース1，下：ケース2)