

2023/06/23

2023年度河川技術に関するシンポジウム@Web

# 堤防断面形状および堤体材料が 破堤拡幅進行過程に与える影響

河川堤防整備が進んでいる今日でも破堤などの大規模水害の発生リスクが高まってきており、例えば令和元年台風第19号による洪水では全国の河川堤防308箇所から越水が確認され、破堤した142箇所のうち122箇所が越水によるものと推定されている。破堤に至る・至らなかった要因を明らかにすることだけでなく、破堤に至った場合であっても越水からどのように堤防が決壊し、破堤拡幅が進行するかを理解することは破堤被害軽減技術を検討する上でも重要な知見となる。

越水破堤現象の理解を目的に、堤体形状および堤体材料の相違に着目した模型実験を行った。これより越水から堤防決壊に至るまでは特に堤体材料の相違が、破堤拡幅段階においては特に堤体形状の相違が影響を与えることなどを示した。



寒地土木研究所 島田友典

北見工業大学 渡邊康玄

寒地土木研究所 前田俊一・大串弘哉

北海道開発局 長谷川武春・猪子長

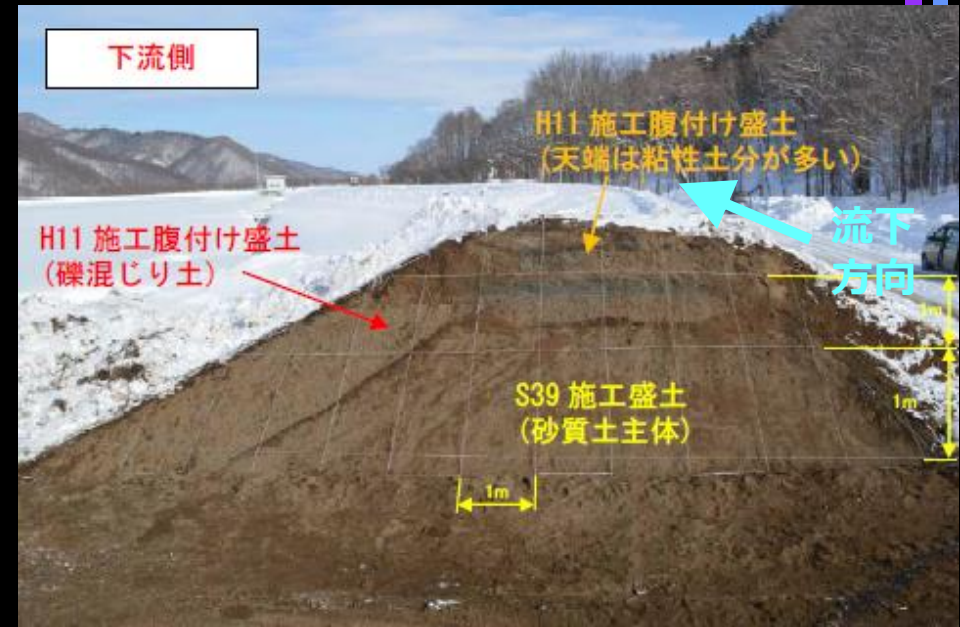
## 背景・目的

堤防は順次拡築されて  
出来た構造物

時代により築堤材料や  
施工法が異なる

堤体形状や材料の相違  
が破堤現象に与える影  
響は不明点が多いが、  
被害軽減技術を考える  
上で現象理解は重要

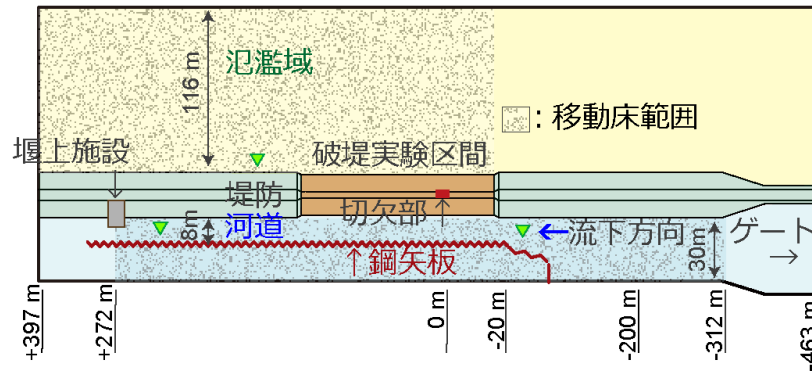
→この影響理解を目的に越水破堤模型実験を実施



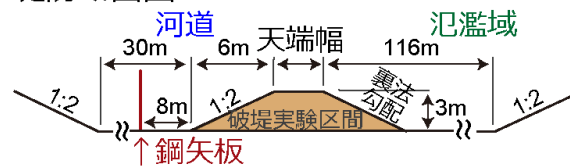
破堤箇所復旧工事に併せた開削調査の一例  
(常呂川堤防調査委員会報告書より)

# 実験水路の概要

平面図



堤防断面図



観測項目

水位	
▼ サーボ式水位計	
河道 上流	-53 ~ +27m
河道 下流	+247m
氾濫域	+122 ~ +205m



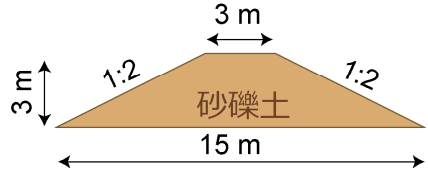

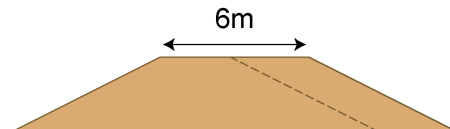
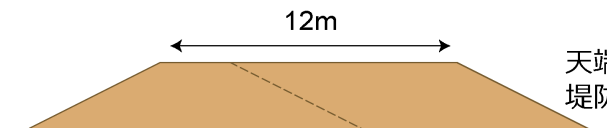
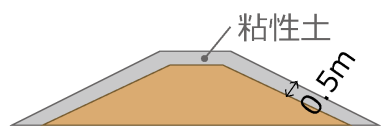

千代田実験水路の縮尺1/20模型を用いた。なお実物大規模の実験との比較も念頭に水路諸元や実験結果を含め全て現地規模に換算して示す。

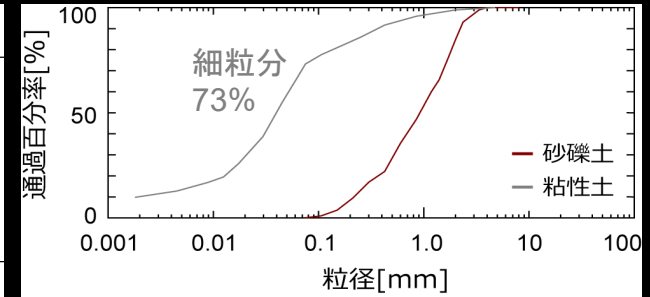
実験区間の川幅は8m、河床勾配1/500、氾濫域幅は116m。

破堤のきっかけとして越水部分に深さ0.5mの切欠を設けた。

通水流量は定常流 $70\text{m}^3/\text{s}$ 程度を目標とした。

# 実験ケース・実験で用いた材料

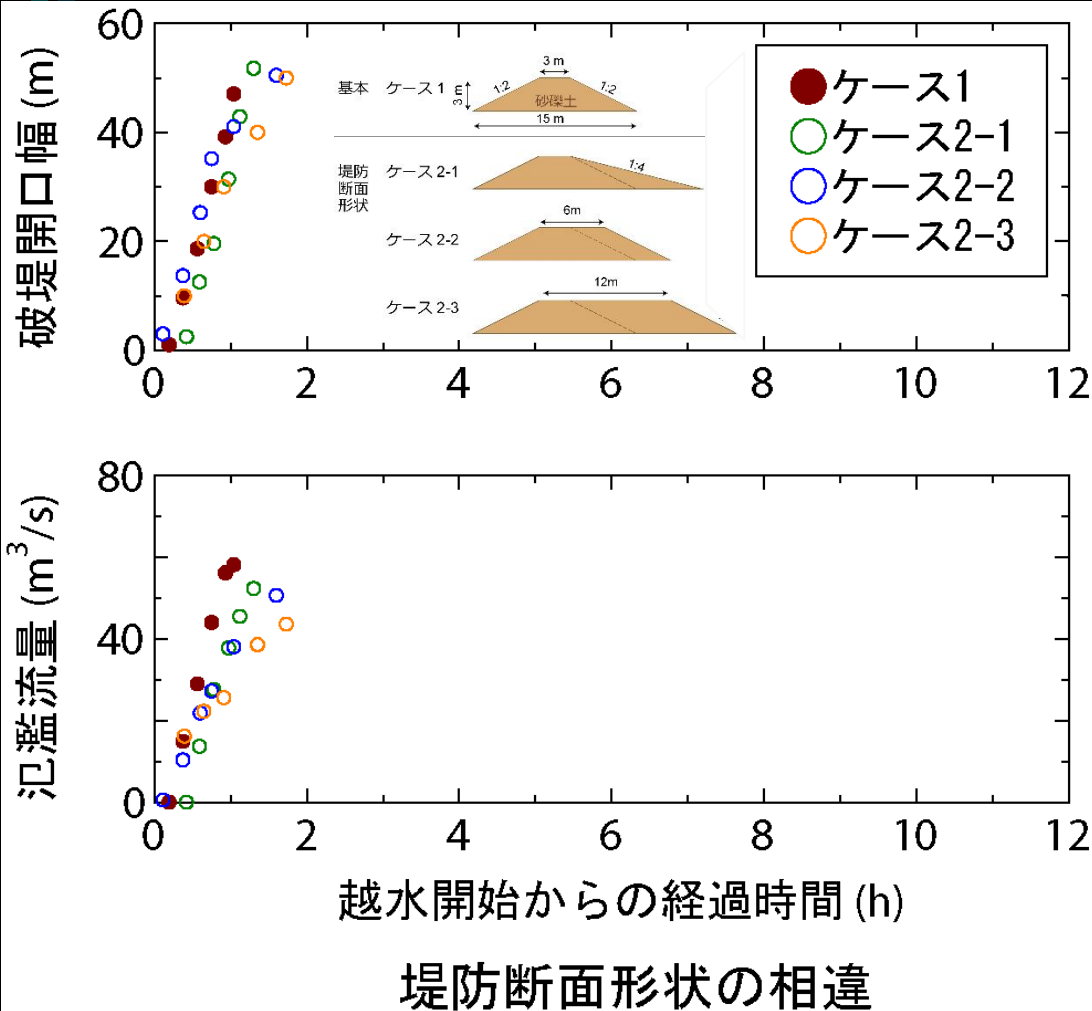
分類	ケース	堤防断面	
基本	ケース 1		基本となるケース
堤防断面形状	ケース 2-1		裏法勾配を 2 割から 4 割 堤防断面積は 1.3 倍程度
	ケース 2-2		天端幅を 3m から 6m 堤防断面積は 1.3 倍程度
	ケース 2-3		天端幅を 3m から 12m 堤防断面積は 2 倍
堤体材料	ケース 3-1		堤防表層 0.5m を粘性土
	ケース 3-2		堤体全てを粘性土



堤防および基盤に用いた砂を上図に示す。砂質土は千代田現地実験の粒度分布を参考に混合砂とした。千代田現地実験での破堤拡幅速度を本縮尺模型でも再現することを目的に、若干の粘着性を持たせるため堤体体積に対してベントナイトを15%配合した。

堤体材料の相違に着目したケースでは粘性土を用いた千代田現地実験と比較を行い、越水から破堤拡幅までの進行過程が定性的に再現できていたことから黒土を選定した。

# 実験結果 (ケース1・2) 堤体形状相違



破堤開口幅・氾濫流量の時系列変化

越水開始から破堤拡幅開始まで

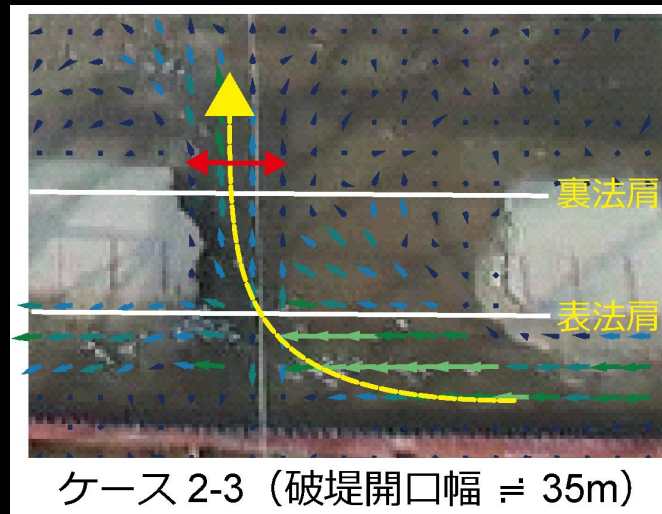
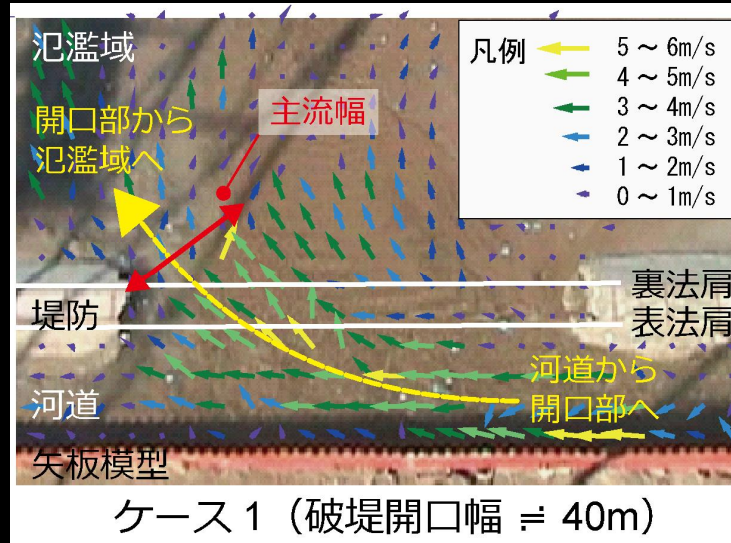
材料が砂礫土と侵食されやすく、短時間で現象が進行するため、断面形状の相違による明瞭な差は確認できなかった。

破堤拡幅開始以降

堤防断面が大きくなると破堤拡幅速度はやや緩やかとなる。

これは次図に示すとおり、河道から氾濫域に向かう流れが破堤開口部下流側に作用し堤体を侵食することで進行。そのため堤防断面積が大きくなるに従い、破堤拡幅のための侵食量が増えることで拡幅速度が低減したと考えられる。

# 実験結果 (ケース1・2) 堤体形状相違



PIV解析による破堤開口部の流況

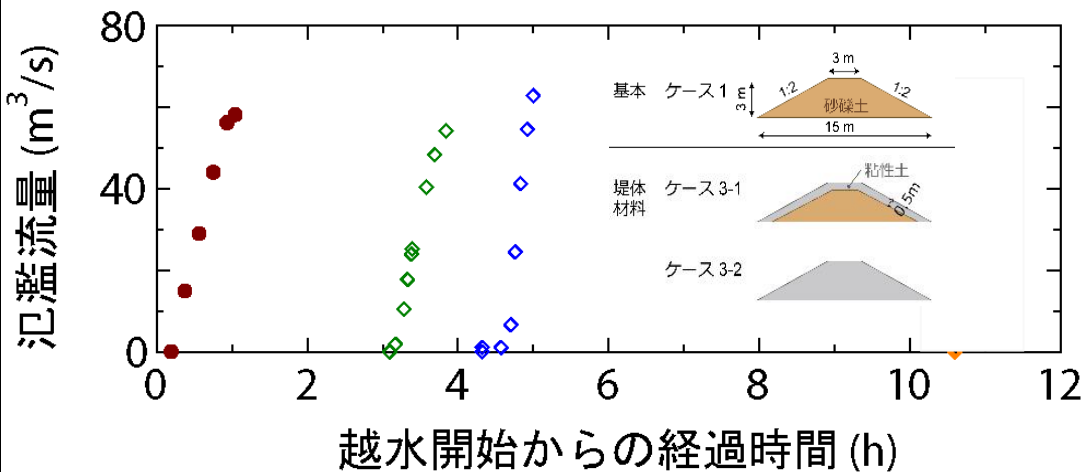
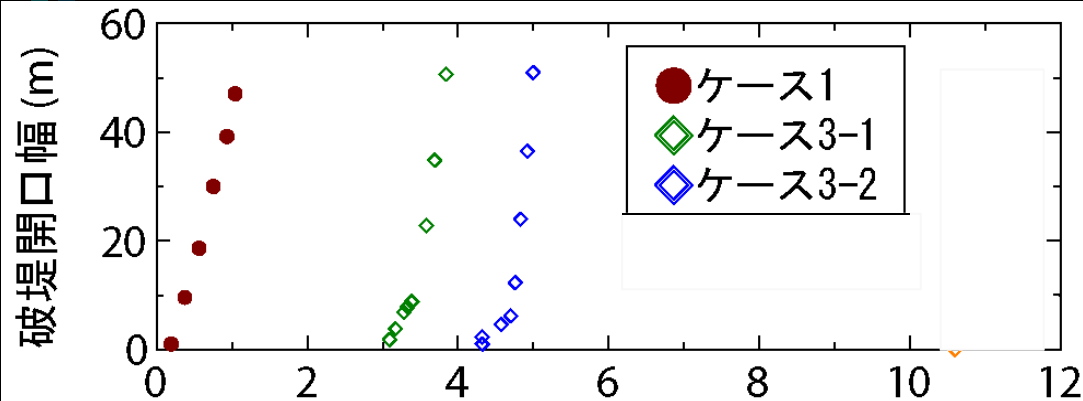
## 氾濫流量

前図より堤防断面積が大きくなるに従い、氾濫流量は低減する傾向。

これは左図に示すようにケース1では河道から破堤開口部を通過する主流部は河道流下方向への成分も持ち、氾濫域へ斜め方向に流出。

一方で堤防断面積が大きいケース2-3では、河道から氾濫域に向かう流れが堤体に作用することで主流部の流下方向への成分が小さくなり、流向が堤防法線に対して直角方向に変化することで主流幅も狭く、氾濫流速も小さくなることで氾濫流量の低減に繋がったと考えられる。

# 実験結果 (ケース1・3) 堤体材料相違



堤体材料の相違

破堤開口幅・氾濫流量の時系列変化



## 越水による裏法侵食状況

### 越水開始から破堤拡幅開始まで

粘性土を用いたケース3では破堤拡幅開始までの時間が長くなっている。

ケース1では越流水が裏法尻に到達する前に裏法面中間から侵食が始まったが、上図よりケース3-1は越流水が裏法尻に到達し基盤が侵食。これをきっかけに裏法肩へと侵食が進行、堤防内部の砂質土も流出。

ケース3-2は堤体材料すべてが粘性土であり、堤防内部の崩壊にも時間を要することからケース3-1よりも拡幅に至るまでの時間が長くなっている。

# 実験結果（ケース1・3）堤体材料相違

## 破堤拡幅開始以降

破堤拡幅開始以降ではケース1とケース3で進行過程に明瞭な違いは見られなかった。

ケース3-1は堤体の多くが砂質土であり、破堤開口部の堤体断面に直接、速い流れが作用し侵食することもあり、破堤拡幅速度に差が生じなかったと考えられる。

ケース3-2については堤体がすべて粘性土であるが基盤は砂質土である。破堤拡幅過程では基盤が先行して侵食され、不安定となることで堤体が崩落、破堤拡幅が進行することより、相対的に耐侵食力が小さい基盤が侵食されたことで拡幅速度の低減が見られなかったと考えられる。

これは破堤拡幅段階においても堤体材料だけでなく基盤材料の相違にも着目する必要があることを示唆するとともに、拡幅段階において堤体の上部・下部など3次元的な崩壊過程の把握も重要であると言える。

今回、用いた粘性土について、実堤防と比較して相似則など課題があり拡幅速度など定量的な比較評価は難しいものの、横越流3次元実験を通じても越水初期から破堤拡幅まで進行速度には既往の2次元実験同様の傾向が確認出来た一方、堤体材料の相違が破堤拡幅現象に明瞭な差を与えることは確認されなかった。



# まとめ

堤防断面形状と堤体材料の相違が破堤拡幅進行過程に与える影響を理解すること目的に縮尺模型を用いた3次元横越流破堤実験を行った。得られた知見を以下に示す。

- ・ 堤防断面積が大きくなるに従い、破堤拡幅のために必要な侵食量が増加し、その結果、破堤拡幅速度が低減されること、また河道から氾濫域に向かって流れづらくなるため氾濫流量の減少に効果があることが示された。
- ・ 堤体材料が越流に対して侵食しづらい材料であると、破堤拡幅までの時間が長くなる効果は期待できるものの、破堤拡幅段階においては相対的に耐侵食力が小さい基盤が洗掘されたことで破堤拡幅速度が低減しなかった。

なお本報告では縮尺模型による現象理解を主としているため、得られた知見を現地堤防に適用するには実物大規模実験等も必要である。また堤防条件のほか、河道条件も組み合わせた破堤拡幅現象の理解も重要である。