

河川堤防決壊時の地形変化に注目した着色砂礫を用いた移動床実験

早稲田大学大学院
早稲田大学大学院
早稲田大学
早稲田大学理工学術院

学生員 ○ 大内 美佳
学生員 宮澤 拓海
非会員 佐藤 楓
正会員 関根 正人

1. 序論

近年、気象の極端化の影響により、河川堤防の決壊を伴う豪雨災害が多発している。河川堤防の決壊メカニズムの解明は防災上重要な課題であることから、著者らは2015年より模擬堤防を用いた越流決壊実験を行っており、堤体材料の礫・砂・粘土の混合比率を系統的に変化させて実験を行い¹⁾、材料の違いが決壊プロセスに及ぼす影響について検討してきた。本研究では砂と粘土を含む堤体に着目して、着色した材料を用いた模擬堤防の越流決壊実験を行い、土砂の浸食・運搬・堆積の様子を観察することで、越流決壊プロセスをより詳細に検討した。

2. 実験概要

本実験では、下流端が開放された長方形断面水路内に基礎地盤と堤体を作成し、模擬河川空間に注水して越流を生じさせる。基礎地盤および堤体の材料には、粘土としてTAカオリン(粒径 $7.0\times10^{-3}\text{mm}$ 、比重2.65)を、砂として珪砂7号(粒径 0.15mm 、比重2.65)またはカラーサンド6・7号(粒径 0.20mm 、比重2.65)を、9:91の比率で一様に混合したものをを用いる。

実験手順を示す。初めに、水路内に高さ5cmの基礎地盤を作成し、上流端から50cmの区間を模擬河川空間として、その下流側に天端幅5cm、高さ15cm、法面勾配 30° の模擬堤防を作成する。堤体を上層・中層・下層の3層に分け、着色する層の材料には砂として表に示した色のカラーサンド6・7号を、着色しない層の材料には珪砂7号を用いる。天端の中央には、幅10cm、深さ1cmの切欠きを設けている。水位が一定となるよう模擬河川空間に注水し、越流水が堤体の裏法肩に到達した時刻を実験開始とした。実験中は、堤内地側から裏法面全体を撮影する裏法面カメラ、堤内地側から破堤部を水平に撮影する正面カメラ、破堤部の上方から水路全体を撮影する俯瞰カメラ、模擬河川空間側から表法面の破堤部を撮影する表法面カメラの4台を用いて映像を記録した。また、超音波式変位センサを用いて模擬河川空間上の水位を測定した。実験後にはレーザ式変位センサを用いて地形高を測定するとともに、内径10mmの円筒を用いたボーリング調査を水路中心軸状の複数箇所で行い、地形表面下の土質構造の変化を面的に捉えることを目指した。

表 -1 実験条件表

Case	各層の色		
	上層	中層	下層
0	青	赤	緑
1	青	-	-
2	-	青	-
3	-	-	青

3. 粘土と砂で構成された材料による堤体の越流決壊時の地形変化の過程

粘土と砂で構成された材料による堤体の越流決壊プロセスについて述べる。越流水は裏法面を浸食し、粘土を含む堤体に特有の階段状の地形が形成された。その後、裏法尻から下方浸食が進むことで越流水は鉛直下向きに流れ落ち、裏法尻付近に落掘りが生じた。落掘りでは越流水と土砂がかき混ぜられ、泡状になった粘土が浮いていた。浸食のフロントが模擬河川空間に向かうにしたがって、落掘りは泡状になった粘土とともに天端直下まで遡上し、フロントが表法肩に達すると、堤体高が急激に下がり決壊に至る。鉛直下向きの流れが弱まることで、堤体下部において側方浸食が卓越し、支えを失った堤体上部が崩れ落ちた。決壊後、越流水に溶け出している粘土は下流に向かって流出したが、泡状になった粘土は破堤部に留まっていた。

Case 0 での水路中心軸上の縦断図を図 -1 に示す。裏法尻付近から天端直下にかけて、着色された材料のみが堆

キーワード：堤防決壊，越流，着色砂礫，浸食，運搬，堆積
連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1，TEL 03-5286-3401，FAX 03-5272-2915

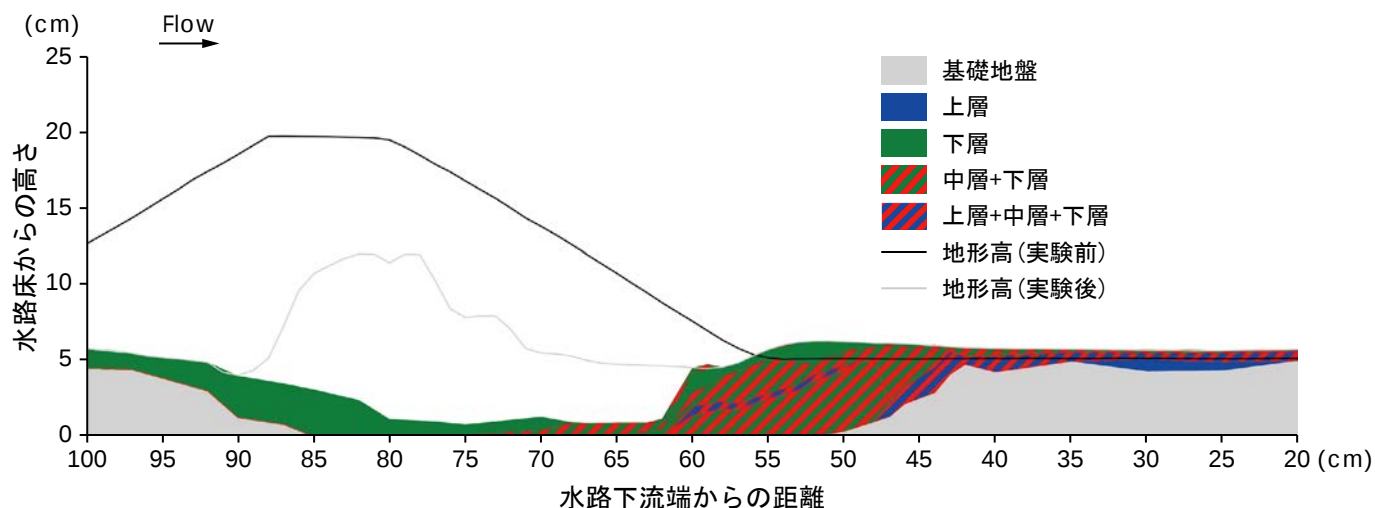
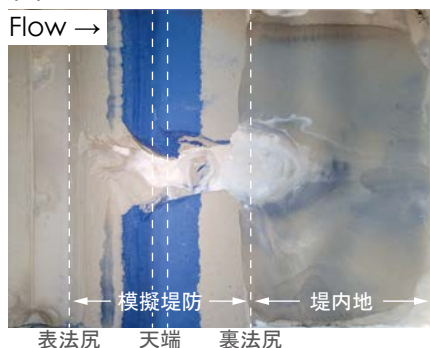
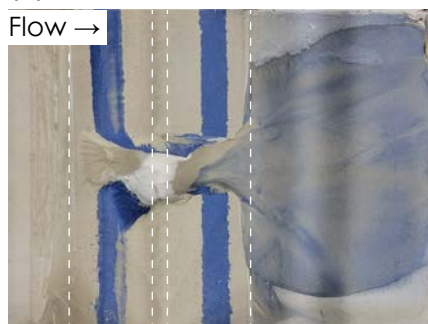


図-1 Case 0 での実験終了後の水路中心軸上の縦断面図：地形高を測定した後、実験終了後に堤体上部から崩れ落ちた土砂を取り除いた上でボーリングにより土砂を採取した。

(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

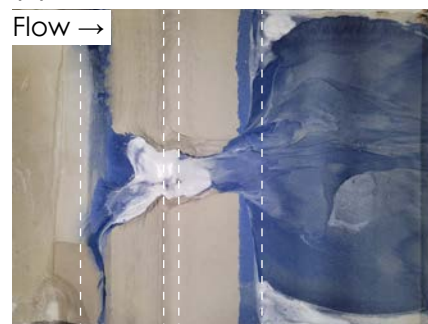


写真-1 実験終了後の破堤部と堤内地の様子：(a) Case 1 (上層を着色), (b) Case 2 (中層を着色), (c) Case 3 (下層を着色). 俯瞰カメラにより撮影した。

積している。このことから、裏法尻付近から天端直下では浸食の過程で基礎地盤が完全に消失し、その後、堤体から流出した土砂により埋め戻されているとわかる。また、天端直下より上流側では基礎地盤が残留していることから、基礎地盤の消失は落掘りで生じていると言える。さらに材料の色に注目すると、裏法尻付近では中層の材料が多く堆積しており、これは決壊前に生じる下方浸食により堤体の上部から下部にわたって満遍なく流出した土砂であると考えられる。一方で天端直下では下層の材料のみが堆積しており、これは決壊後に堤体下部で生じる側方浸食により流出した土砂であると考えられる。天端より下流側に堆積する土砂には粘土がほとんど含まれておらず、落掘りで越流水と土砂がかき混ぜられる過程で粘土が浮き上がるなどによって分級が生じたと推察される。

次に、上層・中層・下層のみをそれぞれ青色に着色した Case 1~3 の実験終了後の様子を写真-1 に示す。堤内地に堆積した土砂の色は、Case 3, Case 2, Case 1 の順に濃く、堤内地では基礎地盤から順に上層・中層・下層の土砂が堆積していることがわかる。時刻が進むにしたがって表面に近い箇所に土砂が堆積することを考慮すると、実験後半では下層の土砂が堆積しており、決壊後に側方浸食が卓越することで堤体下部の土砂が流出していることを裏付ける結果となった。

4. 結論

本研究では、粘土を含む堤体について、着色した材料を用いて模擬堤防の越流決壊実験を行い、浸食・運搬・堆積の様子を観察することで越流決壊プロセスをより詳細に検討した。その結果、粘土を含む堤体では、(1) 落掘りで基礎地盤が消失した後、裏法尻付近は決壊前の下方浸食による土砂で埋め戻され、天端直下は決壊後の側方浸食による土砂で埋め戻されること、(2) 落掘りで越流水と土砂がかき混ぜられる過程で分級が生じることがわかった。

参考文献：1) 関根正人，菅俊貴，松浦泰地：模擬河川堤防の決壊プロセスに与える堤体材料の礫・砂・粘土の混合比率の影響，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.75，No.4，pp.I_949-I_954，2019。