

砂と粘土からなる模擬河川堤防の越流決壊プロセスに及ぼす河道幅の影響

早稲田大学大学院	学生員	○宮澤 拓海
早稲田大学大学院	学生員	廣川 萌恵
早稲田大学大学院 (当時)	学生員	松浦 泰地
早稲田大学理工学術院	正会員	関根 正人

1. 序論

近年、日本では局地的な集中豪雨が頻発しており、それによる堤防の決壊をはじめとする河川災害が多発している。この状況を受け、著者らは、2015年より模擬堤防を用いた越流決壊実験を行い¹⁾、越流による堤防決壊メカニズムの研究を推し進めて来た。この他に、寒地土木研究所では千代田実験水路の縮尺模型を用いた模擬堤防実験²⁾が行われている。本研究では過去から行っている砂質土や粘性土などの堤体材料を変化させる条件のほか、今年から新たに河川幅を変化させる実験条件を加え、破堤形態に与える影響を検討し、越流破堤メカニズムのさらなる解明を目指した。

2. 実験の概要

本実験では、一端が開放された長方形断面水路に基礎地盤および堤体を作成する。材料には、粘土としてTAカオリン(粒径7.0×10⁻³mm, 比重2.65)、砂として珪砂7号(粒径0.15mm, 比重2.65)の2種類を用い、砂と粘土を91:9の割合で、一様に混合した材料を対象とした。実験は、模擬河川空間に水および砂礫が輸送される条件下で行い、河床幅を2.5cmとしたものをCase 1、河床幅を5cmのものをCase 2と呼ぶことにする。

実験手順は以下の通りである。まず水路全体に5cm厚の基礎地盤を作成する。模擬堤防の寸法は、天端幅2.5cm、高さ7.5cm、法面勾配30°とし、水路の長辺方向に1.54mにわたって作成した。また、越流する地点を定めるため、下流端から90cmの位置を中心に、幅10cmにわたる切り欠きを設け、天端より1cm低くなるようにした。堤防と水路の側壁との間の空間を模擬河川空間とし、断面は実験条件によって底面の幅が2.5cmあるいは5cmの台形とした。2つのケースの間で、堤体ならびに河床に作用する掃流力が等しくなるように留意し、流量を定めている。なお、水位が裏法肩を越えた瞬間を実験開始時刻とし、水位が基礎地盤付近まで低下した時点で終了とした。実験中に生じた現象は、裏法面に対し垂直な方向から破堤部を撮影する法面カメラ、堤内地側から破堤部を水平に撮影する正面カメラ、鉛直上方から水路全体を撮影する俯瞰カメラ、河床上方から破堤部を撮影する河床カメラの4台を用いて動画として記録された。下流の開放端から流出した河川水の流量については、通水中に数回にわたって測定し、上流からの流量に占めると下流ならびに越流水の流量の比率を調べた。また、注水中に模擬河川空間の上流部からトレーサー粒子を投入し、俯瞰カメラの映像から粒子を追うことで越流水の流況を観察した。

3. 河川堤防の決壊プロセスについて

堤防の決壊プロセスについて述べる。越流開始後、裏法尻付近に浸食が生じるとともに、階段状の地形が形成される。写真-1よりわかるように滝のような流れが発生し、表法面側の基礎地盤まで落掘りが形成される。河道幅の大きいCase 2の方が越流初期の破堤幅も広がっていたが、破堤までに至る時間はCase 2の方が長く、全体の水位低下も緩やかであった。大まかなプロセスは両Caseで同一であるが、Case 1の方が階段状の地形がはっきり現れ、河川流れに対して垂直な方向に越流した。Case 2では、河川流れの方向に対して斜めに越流する様子が見られ、破堤部の上流側では堤体上部が、下流側では堤体下部で浸食が激しくなっていた。また、Case 2に限り、天端の越流水の流路の中央部は地形高が高くなっており、破堤口には2つに分かれた流路が現れた。

キーワード：堤防決壊、越流、浸食、砂、粘土、河床幅

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

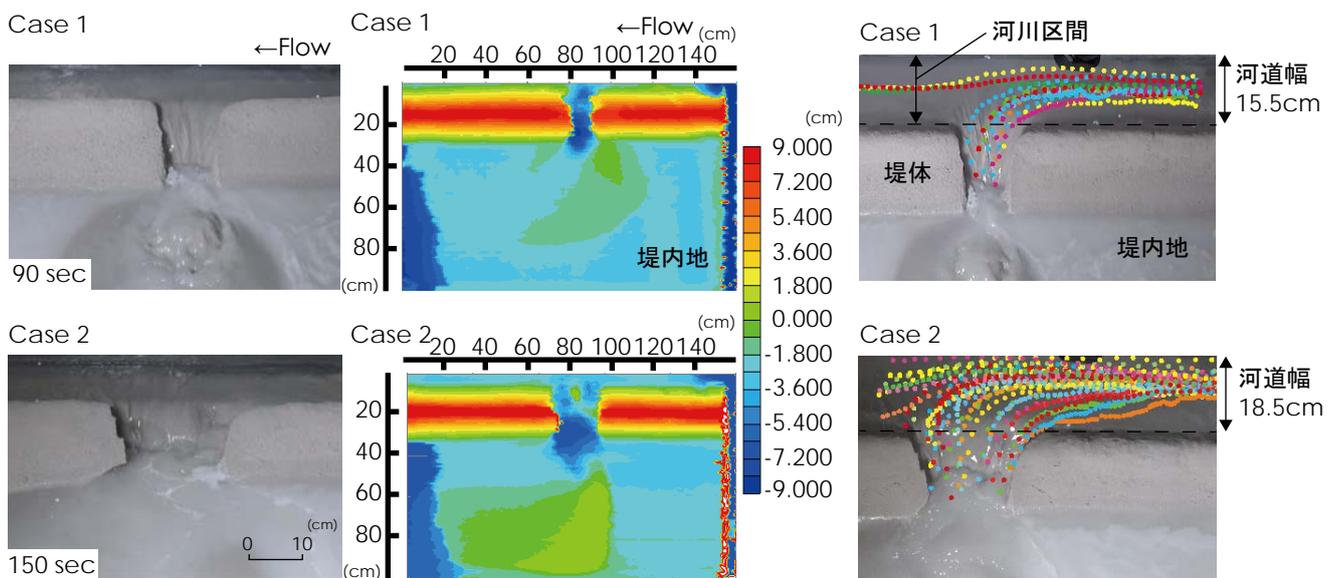


写真-1 堤防決壊プロセス

図-1 実験後のコンター図

図-2 トレーサー粒子より求めた流線

地形高のコンター図を図-1に示す。Case 2の方が破堤口が2倍程度広く、落掘りが深くなっていることがわかる。また、流出土砂も堤内地の広い範囲に多く堆積している。上流側の方が高く堆積しているが、河床幅が広くなると下流側に堆積が広がる傾向があることが確認された。

流線の様子を図-2に示す。水面幅15.5cmとしたCase 1では、実験初期に水面幅の約2/3に当たる水路壁から約5cmの位置までを通過した水ならびにトレーサー粒子がそのまま下流に流れていくことが確認された。ただし、後半の時間帯にはほぼ水面幅全体にわたり、水ならびに粒子が破堤部に引き込まれるようになった。一方、水面幅18.5cmのCase 2では、水路壁から約10cmの位置までの水およびトレーサー粒子が下流へ流れる様子が見られた。このことから、河床幅が大きくなる時、水面に対して越流水が占める割合は小さくなると言える。

次に、上流からの流れの流量に対する越流水の比について述べる。ここでは、河床幅によらず掃流力が一定となるように流量を定めることとし、Case 1で1.5L/s、Case 2で2.385L/sであった。実験全体を通して見るとどちらのケースにおいても越流水の割合は60%程度であり、大きな差は見られなかった。なお、越流流量は、決壊が進行するに伴って増加していく傾向にある。

4. 結論

本研究では、越流による模擬堤防の決壊実験を行い、河床幅の違いが決壊プロセスに与える影響を明らかにすることを目的とした。堤体に粘土を含む堤防の決壊の仕方は階段状の浸食流れと段落ちの流れ、それに伴う落掘りの形成が特徴的であり、河床幅が変化した場合でもこの破堤形態は大きく変わらないことが明らかとなった。一方、同一の掃流力条件下であれば、河床幅の大きな流れの方が決壊に至る時間が長くなることが確認された。この結果から、河床幅が小さいほど堤内地に流出する流量が急激に増え、短時間で決壊に至るものと推察される。この傾向については、実河川においても留意する必要があると考えられる。

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. 2) 飛田大輔・渡邊康玄・伊藤幸義・柿沼孝治・武田淳史: 千代田実験水路の縮尺模型を用いた河道条件の違いによる破堤幅速度, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.70, No.4, pp.I_1549-I_1554, 2014.