

模擬堤防の越流決壊とこれに伴い生じる地形変動プロセス

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

1. 序論

地球規模で進む気候変動の影響によって、日本でも記録的豪雨が多発し、毎年のように河川堤防が決壊する事態となった。このような状況下で、著者らは模擬堤防の越流破堤実験を行い¹⁾、堤防が越流により決壊するプロセスについて検討してきた。一方、寒地土木研究所²⁾³⁾では、千代田実験水路を用いた実物大の破堤実験が行われており、堤内地への土砂堆積や堤体崩壊量の定量化に関してまで貴重な知見が報告されてきた。本研究では、決壊プロセスに影響を与える諸条件を十分に制御した小規模な実験を行うことにより、決壊に到るメカニズムの詳細に迫ることを目指した。

2. 実験の概要

本実験では、一端が開放された長方形の実験水路に堤体を作成した。堤体には、TA カオリン（粒径 $7.0 \times 10^{-3} \text{mm}$ 、比重 2.65）、珪砂 7 号（粒径 0.15mm、比重 2.65）、珪砂 1 号（粒径 4.3mm、比重 2.65）の 3 種類の材料を用い、それぞれを粘土・砂・礫として取り扱う。なお、堤体下方の基礎地盤および模擬河床の材料は堤体材料と同様であるとした。本論文で説明する実験は三つの条件下で行われ、砂のみからなる Case 1、砂に粘土を 9% 含有させた Case 2、粘土：砂：礫の割合が 3：4：3 であるものを Case 3 と呼ぶことにする。このうち Case 3 の混合比率は、2015 年に発生した鬼怒川堤防決壊後の復旧工事に用いられた材料と同一である。本研究では、著者らのこれまでの実験¹⁾とは異なり、模擬河川に水ならびに砂礫が輸送される条件下で行われた。実験手順は以下の通りである。まず、水路内に厚さ 0.05m の基礎地盤を作成する。模擬堤防の寸法は、天端幅が 0.25m、高さは 0.75m、法面勾配は 30° とし、これを水路の長辺方向に 1.54m にわたって作成した。また、越水が発生する位置を定めるため、下流端から 90cm の位置を中心に上下流 5cm にわたって、天端が周囲より 1cm だけ低くなるように切り欠きを設けた。模擬河川はこの堤防とステンレス水路の壁との間に位置し、底面幅は 2cm の台形断面となっている。実験の開始時刻は、河川水が堤防の裏法肩を越えた瞬間とし、その後、河川の水位が基礎地盤付近まで低下するか、通水時間が 3 時間を経過した時点で実験終了とした。実験時に発生する変化については、堤体の裏法面と垂直となる方向から撮影する「法面カメラ」、堤内地側から水平方向に撮影する「正面カメラ」、天端の鉛直上方から撮影する「俯瞰カメラ」の 3 台を用いて動画として記録された。

3. 河川堤防の決壊プロセスについて

写真 -1 は、法面カメラから撮影された Case 1～3 の決壊の様子を示したものである。まず、砂のみで構成された模擬堤防 (Case 1) の決壊プロセスについて述べる。越流が開始すると、切り欠き部から鉛直下方向に浸食が進む。浸食が基礎地盤にまで到達すると、その後は堤体下部で側方への浸食が発生し、支えを失った堤体上部が崩落することになる。この現象が繰り返され、破堤口は下流側に拡幅する。これは、河川の流れが下流側の破堤断面にぶつかるためであると考えられる。また、破堤口付近の河床には顕著な洗掘が発生することが確認された。堤防決壊に伴って河川流れの水面が横断方向に顕著な勾配をもつようになったためと推察される。次に、砂に粘土を含有させた材料を用いて作成した模擬堤防 (Case 2) について述べる。越流開始後、まず裏法尻付近に浸食が生じる。その後、ゆっくりと決壊に到るが、裏法面上に現れる浸食地形は階

キーワード：堤防決壊，越流，浸食，粘土，砂，礫

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

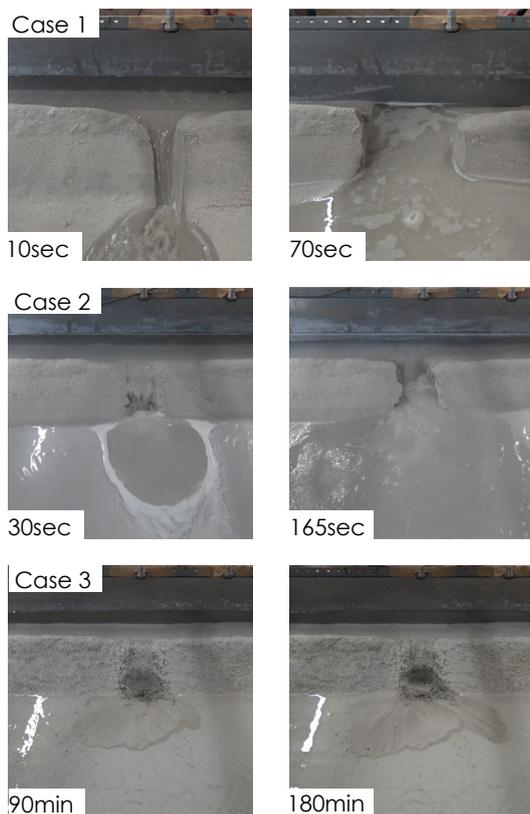


写真-1 模擬堤防の決壊プロセス：堤内地の斜め上方から撮影した実験結果を示す。

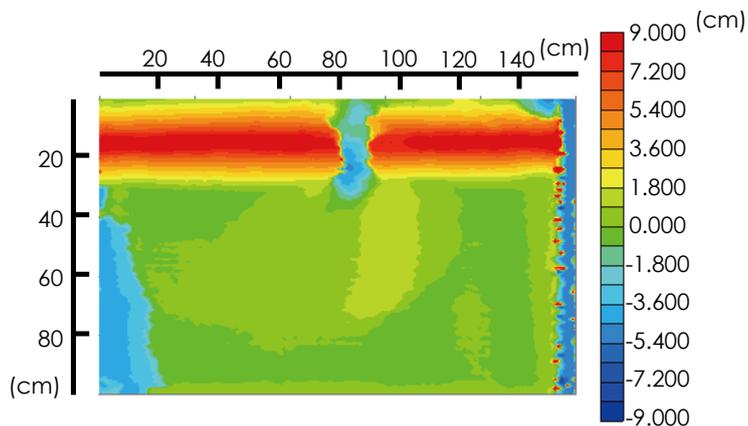


図-1 実験後のコンター図 (Case 2)

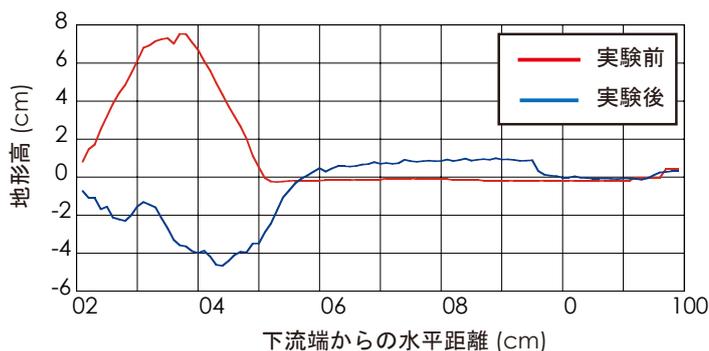


図-2 実験前後の堤体形状 (Case 2)

段状のものとなった。その後の浸食は、裏法面から表法面に向かって進行する。Case 1 と比べると、決壊に到るまでの所要時間は大きい。写真-1 より、Case 1 よりも破堤幅が小さいことがわかる。図-1 は、実験終了後に計測された地形高のコンター図である。図-2 には、決壊が生じた横断面での堤体形状を示した。これより、裏法面側の基礎地盤まで浸食されていることがわかる。これは、粘土を含有することで階段状の浸食が生じ、これにより顕著な鉛直方向の水の流れが発生したためと考えられる。最後に、粘土・砂・礫より構成された模擬堤防 (Case 3) について述べる。越流開始後、まず粘土と砂が地形面から流出し、表面に露出することになった礫が流れ下ることによって、堤体表面がゆっくりと浸食された。その後、Case 1 や Case 2 のような顕著な浸食が生じることはなく、実験開始から3時間経過しても決壊することはなかった。天端付近で生じた越流水による浸食は5 mm程度に過ぎなかった。ただし、堤体の裏法面は切り立ったような形状となっており、直下の基礎地盤にも浸食が見られた。これは浸食が進む中で発生した鉛直方向の水の流れによるものであると考えられる。堤体の表法面ならびに河床には浸食は認められなかった。

4. 結論

本研究では、河川からの越流水による堤防決壊の模擬実験を行い、粘土・砂・礫の含有比率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指した。砂に粘土を含有させた材料により構成された堤体の場合には、砂のみの場合に比べて耐浸食性が高く、階段状の地形を刻みながら決壊に到ることが確認された。また、堤防決壊地点付近の河床では顕著な洗掘が生じる可能性が示された。さらに礫を含有させると耐浸食性はさらに高まり、決壊には到らなくなることも明らかとなった。

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.2, I_949-I_954, 2019. 2) 飛田大輔・柿沼孝治・横山洋・武田淳史：千代田実験水路破堤拡幅実験に基づく堤体崩壊量の定量化，土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.69, No.4, I_1225-I_1230, 2013. 3) 飛田大輔・柿沼孝治・横山洋・武田淳史：破堤に伴う堤内地への土砂堆積に関する研究，土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.71, No.4, I_1291-I_1296, 2015