

堤防からの越水発生以降に適用可能な水防工法の開発に向けた水理模型実験

土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○前田 俊一
土木研究所寒地土木研究所 正会員 横山 洋
土木研究所寒地土木研究所 正会員 平松 裕基

1. はじめに

近年、毎年のように堤防決壊による深刻な洪水被害が発生しており、国土交通省では、越水に対して危機管理型ハード対策を上回る効果を有する「粘り強い河川堤防」を目指すとしている¹⁾。越水対策としては、このような堤防強化の他にも水防活動からのアプローチも考えられ、実際に積土のう工法等の越水対策を目的とした幾つかの水防工法が全国的に普及している。しかし、これらは全て越水を防ぐことに主眼が置かれており、越水発生以降に適用可能な工法は確立されていない。そこで本研究では、越水発生から堤防決壊までの時間の引き延ばしを目的としたシートで堤防の裏法部等を被覆する水防工法（図-1、以降「シート被覆工法」と称する）の開発可能性を探るため、断面二次元の模型堤防を用いた越流実験を行い、シート被覆工法の効果を検討したので報告する。

2. 水理模型実験の概要

2. 1 実験条件

実験では寒地土木研究所にある高速流循環水路（最大流量 $3.0\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1.0\text{m}\times 1.0\text{m}$ の矩形水路）内に、堤防高 40cm 、天端幅 40cm 、法勾配2割、奥行き 1.0m の断面二次元の模型堤防（縮尺は $1/10$ を想定）を設置した上で、越流実験を行った（図-2）。堤体及び基盤の材料には、粗砂（ $d_m=0.97\text{mm}$ ）と中礫（ $d_m=4.85\text{mm}$ ）を8:2の割合で混合したものを、堤体には、既往の千代田実験水路の $1/20$ の縮尺模型実験²⁾と同様に、上記の粗砂と中礫の混合物の体積に対してベントナイトを15%配合し、堤体材料に粘性を持たせることとした。

各実験ケースの条件は表-1のとおりである。越流水深は当初全ケースで概ね 3cm （実スケールで 30cm ）に合わせる予定だったが、微妙な流量調整が難しく、想定どおりの値にならなかったものの、実験結果の傾向を左右するほどの影響は無かったと考えている。また、シートの被覆範囲は、表法の間中地点から裏法部の堤内地までとし（図-2）、堤内地の被覆範囲は北海道での危機管理

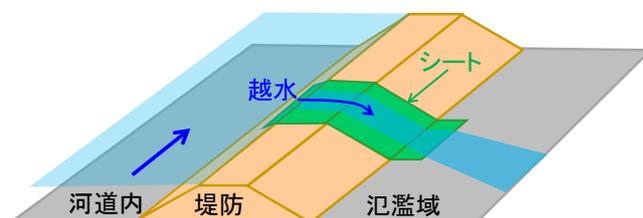


図-1 シート被覆工法のイメージ図

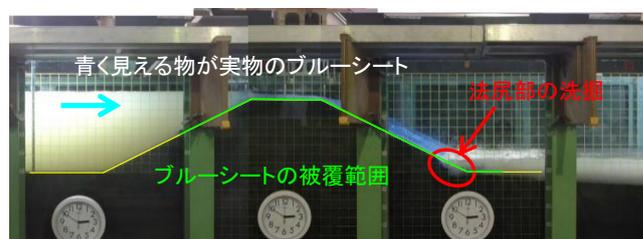
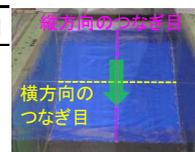


図-2 越流実験の状況（ケース2、通水停止直前）

表-1 実験条件

ケース	越流水深	シート被覆	シートのつなぎ目
ケース1	4.6cm	無し	—
ケース2	3.1cm	有り	縦方向
ケース3	4.1cm	有り	縦方向と横方向



型ハード対策の施工事例を参考に、法尻から 20cm （実スケールで 2.0m ）までとした。なお、シート被覆工法で想定しているシートは一辺が $5\sim 10\text{m}$ の長方形の市販品を想定しており、当該工法を実際の現場に適用する場合、1枚のシートで足りることはあり得ず、川の縦断方向や堤防の法長方向に複数のシートをつなげることになるので、シートのつなぎ目から越流水が侵入して堤防の侵食の進む懸念がある。このため、つなぎ目の適切な処理が当該工法のポイントになると考え、実験ではシートのつなぎ目を設けることとした。具体的には、縦方向はシートの被覆範囲全体で水路の中央部に、横方向は裏法面にのみ中間地点に設けた（表-1）。また、シートの表法側端部はシートを丸めて筒状に加工した部分に鉄筋を入れて鉄筋の重さでシートを表法面に密着させるとともに、堤内地側の端部はシートにハトメを付けた上で約 10cm の深さまで基盤にネジを入れてシートを固定した。

キーワード 越水、堤防決壊、水防工法、シート被覆工法、水理模型実験

連絡先 〒062-8602 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

2. 2 実験結果

(1) ケース1

まず、堤体の侵食は裏法面の下部から始まり、裏法尻部の洗掘と裏法面の侵食の天端方向への拡大が進んだ。また、裏法面の中間よりもやや下の部分の侵食が進行するとともに、それよりも上の侵食を受けた堤体面が天端から切り立ち、全体としては階段形状のようになった(図-3左)。また、堤体下部や基盤部が侵食・洗掘された結果、不安定になった堤体の一部が塊となって崩落する状況も見られた。表法肩まで侵食が進んでも表法部の侵食はほとんど進まなかったが、通水から約2時間50分後に、表法部の上半分が基盤の洗掘箇所へ転倒するように崩れ落ちて堤防が決壊した(図-3右)。

(2) ケース2

ケース1と同じ時間通水した後にシートをはがしたところ、法尻部が洗掘されていた他、シートのつなぎ目直下が若干侵食されていた(図-4左)。また、法尻部から堤内地にかけての洗掘は、①シートの下流端境界付近で洗掘が発生、②シートを固定していたネジが洗掘により流出して、堤内地のシートが越流水によって揺動するとともに洗掘箇所が法尻方向へ移動(当初の洗掘箇所は埋め戻し)、③裏法尻付近が洗掘、④法尻部の洗掘が天端方向に拡大、⑤法尻部の洗掘がほぼ停止(通水から概ね1時間後に定常状態)というように進行した。

(3) ケース3

ケース2と同じ条件でシートをはがしたところ、法尻部が洗掘されていた他、縦方向のシートのつなぎ目周辺が侵食されていた(図-4右)。ケース2よりも洗掘・侵食の程度・範囲は大きかった。また、横方向のつなぎ目部周辺では侵食は発生していなかった。洗掘の進行過程はケース2とほぼ同様で、通水停止時点では法尻部周辺の洗掘は定常状態には至っていなかったものの、洗掘の進行は収まりつつあった。

2. 3 考察

ケース1のような堤防決壊プロセスは、砂礫地盤の上に粘性土で堤防を築造した場合のそれと似ていることから、今回用意した粗砂と中礫の混合材料に対してベントナイトの15%配合は過多であったために、決壊形態が粘性土の堤防のようになった可能性が考えられる。

また、ケース2とケース3の通水停止時点での法尻部周辺の洗掘状況は、一般にSTAGE1(堤防表層及び裏法尻部の侵食)～STAGE2(裏法部侵食)～STAGE3(天端部侵食)

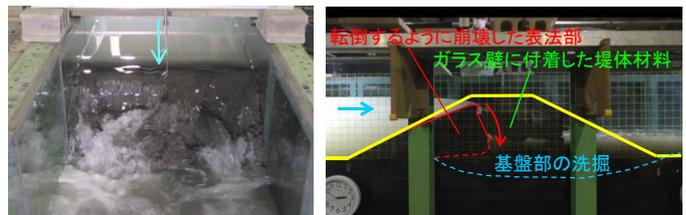


図-3 ケース1の堤防決壊の進行状況
(左：通水から1時間後、右：決壊の瞬間)

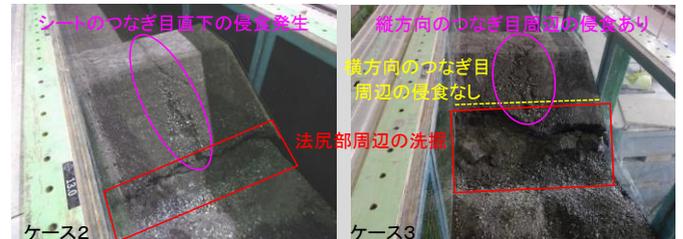


図-4 実験終了時の侵食状況(左：ケース2、右：ケース3)

～STAGE4(決壊口拡大)と進む堤防決壊の過程¹⁾においては、まだSTAGE2の序盤であるため、仮にケース2とケース3で通水をさらに継続していれば、シートがはがれない限りは、堤防決壊までには相当の時間を要すると考えられる。したがって、シート被覆工法は越水発生以降に適用できる効果的な水防工法である可能性が高い。なお、ケース2で法尻部の洗掘がほぼ停止した理由は、裏法面から法尻部の洗掘箇所に向けて越流水が落ち込む場所でシートが激しく揺動しつつ洗掘箇所を越流水からカバーしたためと思われる。また、ケース3では横方向のつなぎ目部周辺での侵食が無かったため、横方向のつなぎ目からの越流水の侵入はほとんど無かったと考えられる。したがって、ケース2とケース3の実質的な違いは、横方向のつなぎ目の有無よりも越流水深の違いであり、ケース3は越流水深が大きいため、ケース2よりも法尻部の洗掘やつなぎ目周辺の侵食が進んだと考えられる。

3. 最後に

シート被覆工法は越水発生以降にも適用可能な水防工法として効果的である可能性の高いことがわかった。今後は、堤内地の被覆エリアの最適な範囲の検討、シートのつなぎ目の処理方法及び短時間でシートを敷設できる方法の検討等を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省：令和元年台風第19号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会，2020。
- 2) 伊藤幸義ら：模型実験による氾濫域を含む越流破堤メカニズム検討，pp 371-376，河川技術論文集，第16巻，2010。