

2.4 河川堤防の耐侵食機能向上技術の開発(1)

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水工研究グループ（河川・ダム水理）

研究担当者：箱石憲昭、坂野章

【要旨】

近年、集中豪雨の発生頻度の増大等による河川堤防の決壊に伴う被害の増加が懸念され、堤防の質的強化に向けた検討の必要性がより高くなっている。本研究では、耐侵食機能をさらに向上させる具体的な対策としてシート対策工（堤防裏のりをシートで覆って表面に覆土を施すケース）を取り上げ、吸出防止シートの設置による堤防裏のり面の降雨による表層崩壊に対する影響について実験的に検討した。

キーワード：河川堤防、堤防決壊、侵食、強化対策、雨水、表層崩壊、水理的検討

1. はじめに

平成16年の豪雨災害等、河川堤防の決壊に伴う水害の発生により、堤防決壊に対する堤防の安全性強化が強く求められている。堤防決壊の主な原因の一つに侵食があり、堤防の安全度強化のためには、侵食に対する抵抗力の高い堤防を開発する必要性が高い。河川堤防の耐侵食機能の評価には河川堤防の構造（形状・質）の把握が必要不可欠であるが、費用や工期等を考慮すると、長い区間に渡り高精度に河川堤防を調査しそれに応じた対応策を講ずることは困難である等から、堤防の内部構造の影響をあまり受けず、且つ効率的な対策工法の一つとして、堤防表面をシート状のもので覆うこと（以下、「シート工法」という）等が考えられる。しかし、その設計・施工技術は確立していないのが現状である。

本研究は、侵食に対する堤防の強化対策として、裏のり肩～裏のり尻の侵食を軽減する対策工について、その設計・施工技術を確立することを目的とするものである。

2. 検討の目的および方法

堤防の耐侵食機能の向上策の一つであるシート工法が効果的であることは、実物大堤防模型実験によって確認されている。この工法は、堤防裏のり面にシート（吸出防止シート）を敷くものであるが、環境・景観面等を考慮すると、シート上に「覆土」を施し、その表面を芝等で覆うことを基本とすることが妥当と考えられる。

一方、現地の河川堤防において「のり面の表層崩壊」の事例があり、表面の「土羽土」部が降雨により水分を含み、表層土の滑動力が堤体土との境界部におけるせん断抵抗力を超えたことが主な原因と考えられている。

これら堤防のり面の表層崩壊の規模は、深さ方向最大50cm程度で、堤体規模と比較すれば微少ではあるが、堤防天端を道路として併用している場合や堤防脇に側道等がある場合等を考慮すると、この表層崩壊は人的被害に直接結びつく重大な事象であるといえる。また、堤防表のり面で表層崩壊が生じると、そこが洪水時に水衝部となる可能性が高まる。さらに洪水流が増大し、裏のり表層崩壊部に流水が集中した場合を想定すると、堤体崩壊が助長されて大災害に繋がる可能性も考えられる。

本研究の目的は、表層崩壊のメカニズムを詳細に把握することではなく、「シート工法」の覆土（以下「表層土」という）部分の表層崩壊に対する安全性を確認することにある。したがって実験方法は、表層崩壊の発生条件を試行錯誤的に求め、「シート工法」の有無による表層崩壊の相違を比較することとし、最終的に表.1に示す実験ケースについて図.1、図.2に示す実験装置を用いて検討した。図.3に示す粒度の土を捲出厚30cm、締固度約92～96%（RI値）で堤防本体（のり勾配1:2）を造り、その上を同図に示す粒度の表層土30cmの厚さで覆って表.1に示す値（RI値）に締固め、対策として透水係数 $k_s = 1.4 \times 10^{-1}$ の吸出防止シートを用い、これを堤体土と表層土の間に敷き詰めた（以下「シート対策という」）。降雨条件の与え方については、堤防天端～のり面への降雨量（20mm/hr～160mm/hr）に相当する分の水量を堤防天端から供給したケース（実験1）と、裏のり面への降雨装置による降雨（約60mm/hr、約80mm/hr）としたケース（実験2）の2通りとした。

測定項目は、形状変化、表層土および堤体土の水分、支持力、状況観察であり、表.1に示すようにケースによ

表.1 実験ケース一覧

ケースNo.	目的	検討内容	模型条件					測定項目				備考
			対策無	対策有	堤体締固	表層締固	降雨	形状	水分	支持力	観察	
実験 1-1	・堤防のり面の表層崩壊メカニズム把握	累加雨量・降雨強度と表層崩壊との関係	○		約96%	約89%	20~160 (mm/hr)	○	○	○	○	堤体土 $d_{60} \div 2\text{mm}$ =表層土
実験 1-2				○				○	○	○	○	
実験 2-1	・シート対策の表層崩壊への影響	表層崩壊発生時の堤防条件(土羽材料、締固度等)	○		約92%	約60%	60、80 (mm/hr)	○			○	堤体土 $d_{60} \div 2\text{mm}$ 表層土 $d_{60} \div 0.6\text{mm}$
実験 2-2				○				○			○	

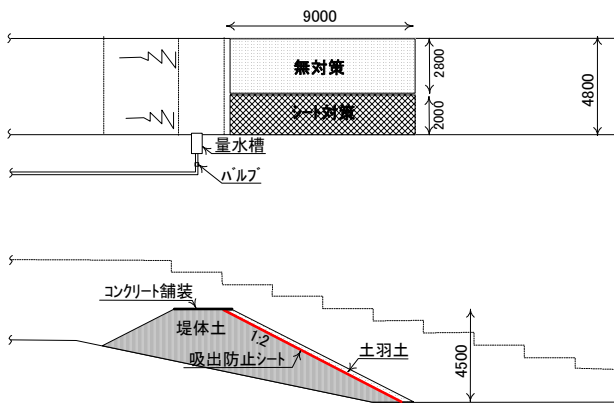


図.1 実験装置概要 (実験 1)

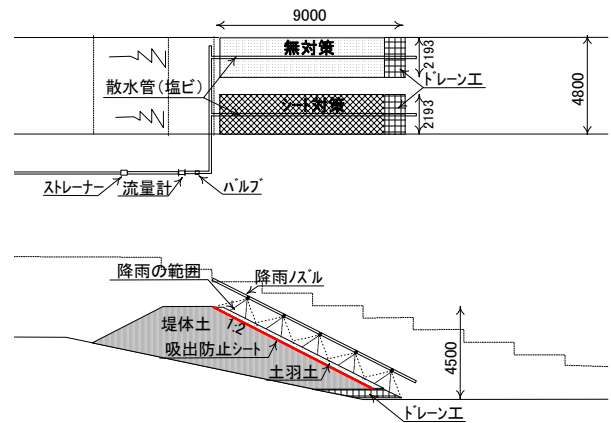


図.2 実験装置概要 (実験 2)

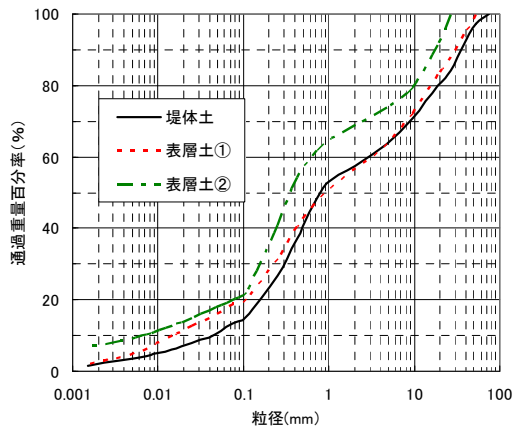


図.3 堤体土および表層土の材料

って測定項目が異なる。

3. 検討結果

3.1 表層土①の結果 (実験 1)

降雨強度 20mm/hr の降雨に相当する流量を 5～7 時間 / 日として 6 日間断続的に累計 34 時間与えたが、対策有無どちらのケース (実験 1-1、1-2) においても、裏のり表面の侵食は殆ど認められなかった。続いて、降雨強度 40mm/hr、60mm/hr、70mm/hr、100mm/hr、160mm/hr の降雨の相当する流量をそれぞれ 6 時間、6 時間、5 時間、6 時間、5 時間を加えたが、対策の有無にあまり係わず、裏のり表面に小規模のガリ侵食が確認された程度で、表

層崩壊には至らなかった。

3.2 表層土②の結果 (実験 2)

表層土①の結果を踏まえ、表層土材料を替える (平均粒径 $d_m \div 2\text{mm} \rightarrow d_m \div 0.6\text{mm}$) とともに、表層土の締固度を約 89%→約 60%にした。また、降雨条件は、当初は予備実験 1 と同一としたが、天端からの供給水が裏のり面の限定された箇所のみ集中し、実際の降雨状況と大きく異なったことから、図.2 に示す降雨装置を用いて裏のり面で均等な降雨状態になるよう設定した。

降雨強度 60mm/hr で 42 分降雨後の裏のり面表層の状況を写真.1、および写真.2 に示す。シート対策有の場合には殆ど形状変化が確認できないが、シート対策無の場合には写真撮影直前に表層崩壊が生じた。表層崩壊の発生前には、堤防天端肩法線に平行にクラックが発生し、そのクラックがある限界値に達した時点で、裏のり面の表層土が流動化し一体となって一気に流れ下った。

一方、シート対策有りの場合には、約 60mm/hr の 6 時間と約 80mm/hr の 4.5 時間を与えても僅かにクラック (幅 $\div 3\text{cm}$) が確認された程度で、表層崩壊には至らなかった。

対策無しの場合における一連の現象は、表層土塊に水が浸透して間隙水圧が上昇し、表層土塊の滑動力がせん断抵抗力を超えたことにより生じた次のような表層崩壊と考えられる。図.4 のような、のり表面の様な含水比を有する土塊の力学的バランスを考えると、

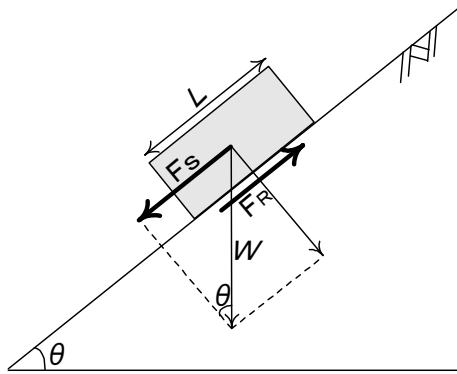


図4 堤防のり面にかかる力

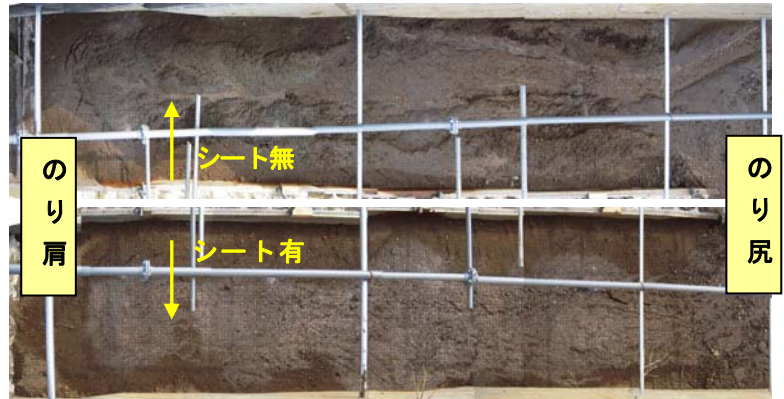


写真2 堤防のり表面の状況（上空から）

で、 $FR/Fs \leq 1$ となって表層崩壊に至ったものと考えられる。対策有のケースでは、表層土塊の間隙水圧 U があまり増大しなかったために、表層崩壊に至らなかったものと考えられる。今後、土壌水分等の詳細な測定によってこれらのメカニズムを確認する必要がある。

4. まとめ

現地の新堤防のり面で表層崩壊の発生した事例が堤防のり面表層に土羽土を施工した場合に多いことから、表層土（土羽土）の条件が表層崩壊の重要な発生素因の一つと考えた。実物大の堤防模型において表層土の材料（粒度分布）と締固度に注目して、試行錯誤的な実験によって表層崩壊現象を再現させ、吸出防止シートを用いた「シート工法」が、表層崩壊の防止策としても有効に働くことを確認した。

「シート工法」を現地に適用するに当たってはいくつかの課題がある。一つは堤防裏のり尻付近の確実な排水が重要である。表層土内の水分を吸出防止シートを通じて堤防裏のり尻からスムーズに排水できなければ効果が半減される。特に堤防裏のり尻付近が湛水するような状況では、吸出防止シート自体の毛管現象の働きによって堤体内に水が吸い上げられ、排水とは逆の効果となってしまうことも考えられる。また、モグラや重機等による吸出防止シートの破損の可能性、吸出防止シートの目詰まりによる透過係数の低下等により所期の機能を保持できない等の可能性も想定され、試験施工等を行ってこれらの課題を解決していく必要があると考えられる。

次年度は、堤体特性等と各種対策方法による耐侵食機能改善効果の関係についてこれまでの検討結果を取り纏める予定である。

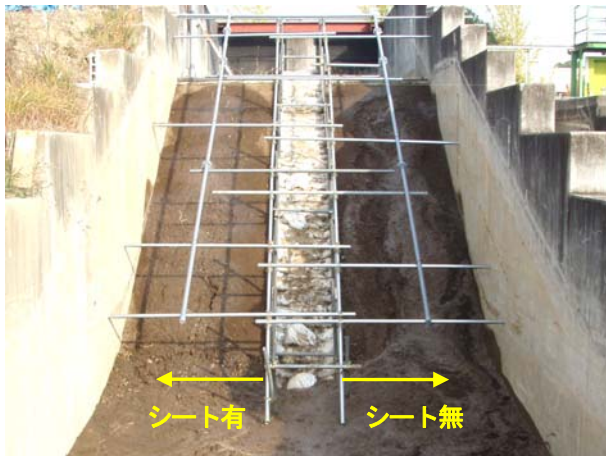


写真1 堤防のり表面の状況（正面から）

$$FR = (w \cdot \cos \theta - U \cdot L) \cdot \tan \phi + C \cdot L \cdots \cdots (1)$$

$$Fs = w \cdot \sin \theta \cdots \cdots (2)$$

ここに、 FR ：抵抗力、 Fs ：滑動力、 w ：単位長当たりの土塊重量、 θ ：すべり面勾配、 U ：間隙水圧、 ϕ ：内部摩擦角、 C ：粘着力 L ：滑り面長さ である。

表層土の浸潤線の上昇に伴い、(1)式の U が増大し、 FR が低下する。 $FR/Fs \leq 1$ の条件となって表層崩壊が発生に繋がるのが基本的なメカニズムと考えられる。

以上の観点から、本実験の結果を考察すると概略次のようになる。

表層土①のケースでは、長時間の降水にも係わらず（ほぼ飽和状態）、対策有無の両ケースで表層崩壊が発生しなかった主な理由は、間隙水圧 U があまり増大しなかった。つまり、表層土の締固度が高く、 $FR/Fs \geq 1$ の条件が保持された結果と考えられる。

一方、表層土②の対策無のケースでは、表層土が流動化して崩壊したことから、滑り面の内部摩擦角 ϕ の影響はあまり支配的ではなく、表層土の締固度が低いことにより表層土塊の間隙水圧 U が増大したことの方が支配的

TO IMPROVE LEVEE STRENGTHENING MEASURES AGAINST EROSION BY RIVER WATER.

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2006-2010

Research Team : Hydraulic Engineering
Research Group (River
and Dam Hydraulic
Engineering)

Author : HAKOISHI Noriaki
SAKANO Akira

Abstract : In recent years, there are concern that the increasing in the levee break damage by the excess flood. It was confirmed that the most causes of levee break was erosion by last year's analysis. Furthermore, extraction and its degree of influence of the dominant factors were examined using the hydraulic model test. In the current year, We examined the influence to surface failure of the bank face of slope by rain at the case of using a sheet.

Key words : levee, levee breach, erosion, strengthening measures, hydraulic study, surface failure