

河川堤防の進行性破壊に対する礫混合土置換工法の対策効果に関する大型模型実験

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○佐々木哲也, 西村圭右, 石原雅規

1. 目的

河川堤防の浸透による法尻からの進行性破壊に対する礫混合土置換工法の対策効果に関して、これまで研究を進めてきている。堤体高 0.75m の中型模型実験¹⁾により、法面付近の一部を礫混合土により置き換える礫混合土置換工法により、法面のせん断強度の強化が図られ、進行性破壊に対する対策工として有効である可能性を確認してきた。一方で、堤体高 3m の大型模型を用いた実験²⁾により、堤体の法尻付近（底幅 1m, 高さ 1m の範囲）を礫混合土で置き換えた場合には、法尻からの崩壊の進行は見られないものの、置換範囲が全体的に滑動するような変状が確認された。本研究では、既往研究²⁾と同様の材料を用いた大型模型実験により、礫混合土による置換範囲を既往研究²⁾よりも拡大した場合の変状状態の確認と、対策効果の検証を行った。

2. 実験模型概要

実験模型の概要を図 1 に、使用材料の粒度分布を図 2 に、模型作成時の密度管理状況を表 1 に示す。模型は三方を壁に囲まれたピット内に作成した。天端側背面には、堤体内へ水を供給するための給水槽を設け、また、南北方向のピット側壁には、ルーフィング対策として幅 40mm, 奥行き 30mm の角材を設置した。実験模型の基盤層として関東ロームを用いて厚さ 30cm の層を目標締固め度 90% で作製し、その上部に高さ 3m, 天端幅 1m, 法面勾配 1:2 で半断面の堤体を作製した。堤体は山砂を用いて目標締固め度 86% で作製し、法尻付近の底幅 2m, 高さ 2m の範囲を、山砂, 5号砕石, 6号砕石を 4:1:1 で混合した礫混合土を用いて目標締固め度 90% で作製した。また、水位計, 間隙水圧計, 土壌水分計, マノメータを図 1 の位置に設置した。なお、水位計での観測箇所には水位計設置のため、開孔部に不織布を巻いたストレーナ管を基盤下面から立上げ、設置した。

3. 実験・調査方法

実験実施にあたっては、まず給水槽水位を基盤層上面の高さで保持し、2週間程度放置し、基盤層を飽和させた。その後、2日に分けて実験を行った。1日目の実験では水位を基盤上面から 2.1m の高さに保持した。実験後に一度給水槽内の水を排水し、翌日の実験では、水位を 2.4m で保持した。なお、実験実施中に模型正面から 3 台のカメラによるインターバル撮影を行い、3D モデリングソフトウェア (Agisoft Metashape) による画像解析を行い、模型表面の座標を計算した。各日の実験終了後には、ピンポールを用いて貫入試験を実施し、地表面から貫入時の抵抗が急増するまでの深度を計測し、変状箇所のゆるみ深度を確認した。全ての実験が終了した後、堤体模型の開削を実施し、実験後の模型断面 (位置は図 1 参照) の状況を観察した。

4. 実験結果

図 3 に変状の発生状況を、図 4 に堤体内水位の経時変化を示す。比較対象として、堤体全体を本実験と同様の山砂 (締固め度 86%) で作製した無対策の大型模型実験 (給水槽水位: 2.1m) の結果²⁾をあわせて示す。以下、無対策の場合を Case1, 本実験における水位 2.1m の場合を Case2-1, 2.4m の場合を Case2-2 とする。Case1 の場合は給水槽への給水開始後 6 時間 40 分後に法尻の一部が泥濁化し法面が崩れ始めた後に、徐々に崩壊範囲が拡大する様子

キーワード 河川堤防, 浸透, 進行性破壊, 礫混合土

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 国立研究開発法人 土木研究所 TEL 029-879-6771

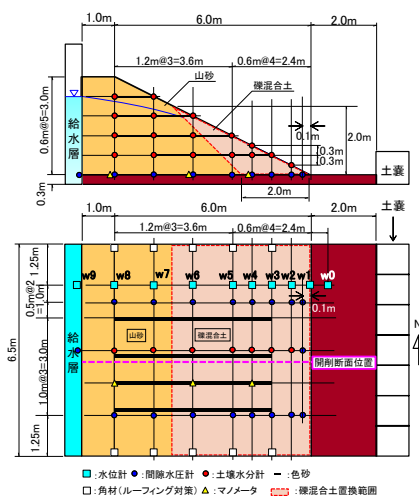


図 1 実験模型概要

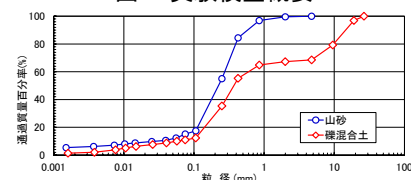


図 2 使用材料の粒度分布

表 1 模型作成時の密度管理状況

模型材料	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)	目標締固め度 (%)	
堤体	山砂	13.7	1.429	85.8	86.0
対策工	礫混合土	11.6	1.736	91.3	90.0
	山砂:5号砕石:6号砕石=4:1:1で混合				
基盤	関東ローム	51.1	1.186	90.8	90.0

が確認された。Case2-1 では水位の上昇傾向としては、概ね Case1 の場合と同様であるが、給水開始から 8 時間後に初めて法尻付近の表層ですべりが確認された。

その後、若干すべり範囲が拡大し、最終的に横 2.6m、縦 0.7m 程度の範囲ですべりが発生したものの、Case1 と比較すると概ね同様の堤体内水位分布であっても比較的小規模な変状に留まっていた。

Case2-2 では、実験開始から 4 時間 45 分が経過した時点で、礫混合土上端部（法尻から水平方向に 3m の位置）付近でク

ラックが発生し、その後、時間の経過とともに礫混合土全体が滑動し、クラックが拡大する様子が確認された。図 5 に実験後のゆるみ範囲の確認結果を示す。Case1 では最大 30cm 程度の深さで一様に深い範囲までゆるみが確認されたが、Case2-1, 2 では局所的に 10cm 程度のゆるみが確認されるものの、ほとんどの範囲でゆるみは表層付近に留まっている事がわかる。以上の結果より、無対策の場合に比べて、礫混合土置換範囲において、せん断強度が増加し、礫混合土自体は破壊していないと考えられ、法尻から徐々に進行するような崩壊に対する対策工としての有効性が確認されたが、既往研究²⁾と同様、一定程度（本研究では基盤層上面から 1.5m まで）礫混合土背面の水位が上昇した際に、礫混合土置換範囲が全体的に滑動したと考えられる。図 6 に模型の開削断面の状況を示す。実験後の礫混合土と山砂との境界面の形状を見ると、全体的に山砂と礫混合土の境界面が法尻側に移動しており、法尻から水平方向に 2.5m 程度の位置では下方に沈みこんでいる事がわかる。また、礫混合土の開削断面内には亀裂は確認されなかったものの、法尻から水平方向に 2.8m 程度の堤体形状が折れ曲がった位置では表面に小規模なクラックが確認された。このことから、礫混合土がいくつかのブロックに分かれ滑動・沈下し、これに伴いできた隙間を礫混合土背面の山砂が充填するように変形したと考えられる。礫混合土と基盤との境界の状況については、滑動前後で礫混合土の幅がほとんど変化していないことや、法尻より先に大きな隆起が見られないことから、基盤との境界においても礫混合土は破壊しておらず、基盤層の関東ロームが表層付近で滑動したと考えられる。

5. まとめ

本研究では、既往研究と同様の材料を用い、礫混合土置換工法の置換範囲を拡大した大型模型実験を実施し、進行性破壊に対する対策工としての有効性を確認した。一方で、置換範囲を拡大した場合でも、既往研究²⁾と同様、背面水位によっては礫混合土がいくつかのブロックに分かれ滑動・沈下することが確認された。以上の変状メカニズムを踏まえて、実際に礫混合土置換工法の設計法を検討する必要がある。

参考文献 1) 佐々木享ほか：河川浸透による進行性破壊に対する礫混合土の対策効果に関する模型実験，第 54 回地盤工学会研究発表会，2019. 7，2) 杉山詠一ほか：浸透による進行性破壊に対する礫混合土の対策効果に関する大型模型実験，第 76 回年次学術講演会，2021. 9

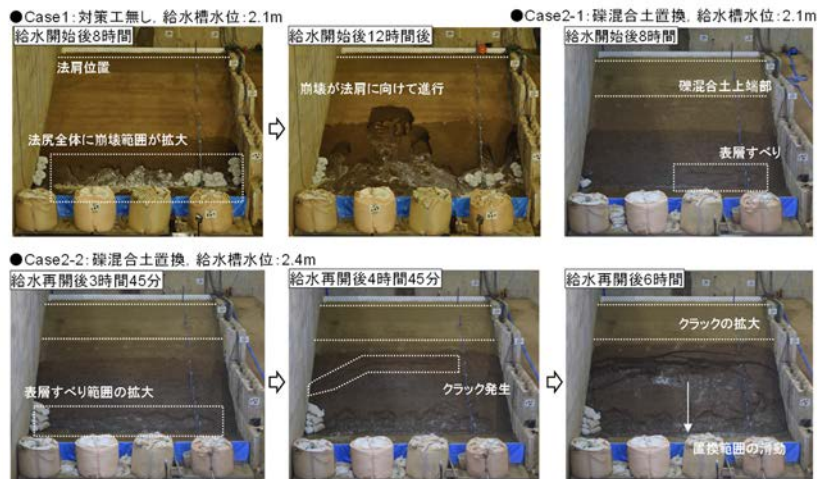


図3 変状の発生状況（水位は基盤上面からの高さ）

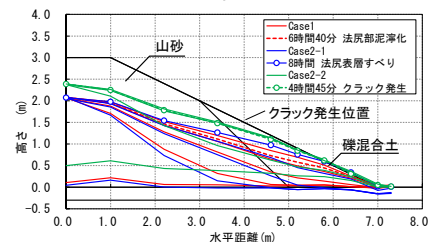


図4 堤体内水位の経時変化（実線：2時間間隔）

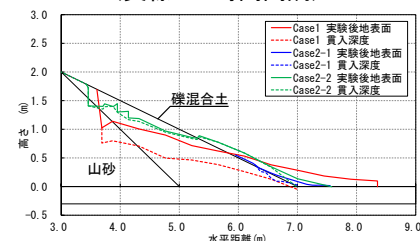


図5 実験後のゆるみ範囲（変状発生範囲拡大）

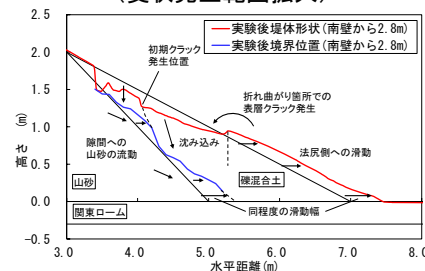


図6 開削断面の状況（変状発生範囲拡大）