

堤防の浸透特性に及ぼす地震後の横断亀裂の影響に関する遠心模型実験

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○上田 和也, 青柳 悠大, 谷本 俊輔, 石原 雅規, 佐々木 哲也

1. はじめに

河川堤防では、地震後の越水を防止する観点から、地震動による堤防天端の沈下量を指標とした評価¹⁾や沈下を抑制するための対策が実施されている。これに加え、合理的な応急措置の方法や優先度の考え方を構築していくためには、亀裂や緩み等の変状が地震後の堤防の浸透特性に及ぼす影響について知見を積み重ねる必要がある。既報²⁾では、堤体材料が粘性土堤防の場合、砂質土堤防に比べて亀裂が大きく開口する傾向があるが、地震動による堤防の縦断亀裂は浸透特性にはそれほど影響はない結果が得られている。

そこで、本報では、粘性土堤防を対象に、横断亀裂が発生した場合の浸透特性への影響、応急措置状態を模擬した遠心模型実験の結果について報告する。

2. 模型実験の概要

本実験は、幅 1.5m、奥行き 0.3m、高さ 0.5m の土槽内に作製した 1/50 縮尺模型に対し、50G の遠心加速度の下で実施したものである。以降に示す数値は実物スケールに換算した値である。

図-1 に示すとおり、実験対象は層厚 9.0m の基礎地盤（液化化層・支持層）の上に築堤した高さ 7.5m、天端幅 7.5m、法勾配 2 割の堤防である。堤防縦断方向の構造急変部で地震動による堤体の横断亀裂を誘発させる目的で、堤体直下の奥行き 7.5m は固化改良体を打設した。いずれのケースも堤体は自然含水比 $w=23.5\%$ 、締固め度 $D_c=90\%$ の霞ヶ浦粘土で、液化化層は相対密度 $D_r=60\%$ の東北硅砂 7 号で、支持層は相対密度 $D_r=90\%$ の宇部硅砂 6 号で、固化改良体は一軸圧縮強度 $qu=1,000\text{kpa}$ 以上のセメント混合砂で、それぞれ作製した。

3. 実験の概要

実験ケースを表-1 に示す。Case3 では、健全な堤防の浸透特性を把握するため、加振前の状態にて浸透実験を行った。Case4 では、加振実験を行い、地震動を受けた後の堤防に対して、浸透実験①を行った。その後、地震後の応急措置の効果を確認するため、東北硅砂 7 号を用いて亀裂を埋戻し、さらに堤防天端付近は霞ヶ浦粘土を用いてもとの堤防高まで嵩上げし、浸透実験②を行った。ただし、Case3 では加振実験の前に浸透実験を行っているが、遠心加速度を上げた際に堤体がわずかに沈下し、改良体と液化化層の境界部付近に、横断方向に微細な亀裂が発生した。そのため、Case3 は健全な堤防の浸透実験と言い難いことから、固化改良体以外は同条件となる既報²⁾の Case1 を健全な堤防の状態とし、各ケースとの比較を行った。各ケースの浸透実験では着色したメトローズ水溶液により川表水位を 3.5m、4.5m、5.5m と段階的に増加させ水位を保持した。

各ケースの模型解体時には、直径 50mm、高さ 30mm の小型コアカッターで採取試料し、堤体の密度分布を把握した。これと比較するため、Case5 として、浸透・加振履歴のない健全な堤防模型に対しても小型コアカッターによる密度計測を行った。

4. 堤体の亀裂状況と密度変化

加振による天端の沈下量が、Case3 では改良体上で 0.4m 程度、液化化層上で 1.5m 程度であり、Case4 では改良体上で 0.4m 程度、液化化層上で 1.6m 程度であった。Case3 にお

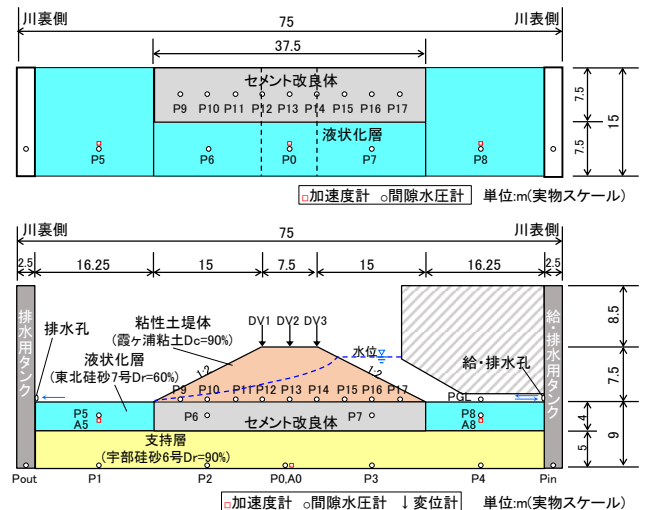


図-1 模型概要図（実物スケール）

表-1 実験ケース

ケース	遠心加速度	実験手順	備考
Case1	50G	浸透実験	過年度実施済
Case3		浸透実験→加振実験	
Case4		加振実験→浸透実験①	
Case5	-	埋戻し・嵩上げ→浸透実験②	堤体内密度計測

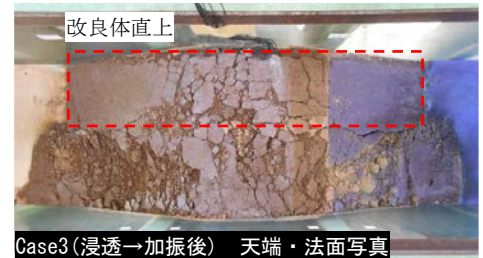


写真-1 加振後の堤体の亀裂状況 (Case3)

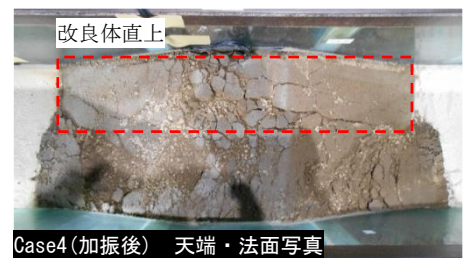


写真-2 加振後の堤体の亀裂状況 (Case4)

キーワード 堤防, 地震, 浸透特性, 横断亀裂

連絡先 〒350-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所土質・振動チーム TEL 029-879-6771

ける加振実験後の亀裂状況を写真-1に、Case4における加振実験後の亀裂状況を写真-2にそれぞれ示す。

Case3において、改良体上の堤防は比較的健全であったが、液状化層上にある堤防は沈下とともに側方にも流動がみられ、亀裂が多く発生していた。Case4についてもCase3と同様の傾向で亀裂が発生していた。各ケースの実験後の堤体の密度分布について、堤体内の密度分布を締固め度 D_c に換算して、Case5の健全な堤防と比較し、締固め度 D_c の増減量をコンター図とした。

Case4の結果を図-2に示す。加振していないCase5と比較すると全体的に密度が低下しており、液状化層上の堤体密度低下は最大で10%程度で影響範囲も大きく、改良体上の堤体は密度低下の度合いは液状化層上にと比べて比較的軽微であった。また、堤体の上部は密度低下が著しく、下部は比較的密度低下が軽微である傾向が確認された。これはCase3も同様の結果であった。

これより、堤体に一定の沈下がみられる場合は堤体の緩みによる強度低下も懸念されるため、亀裂の補修だけでなく全面的な切り返しを行うことが望ましいと考える。

5. 堤体の浸透特性変化

健全な堤防としてCase1、横断亀裂が発生した状態としてCase3、地震動により堤防全体に横断亀裂を含む亀裂が入った状態としてCase4の漏水量を整理した。Case3の浸透実験時の川裏側の状況を写真-3に示す。各ケースにおける単位奥行き当りの漏水量と川表水位の時刻歴を図-3に示す。なお、漏水量は排水用タンク底部の水圧計により得られた水位上昇速度を流量へ変換することで算定した。このとき、排水用タンクの水位が排水孔に近づくたびに、排水用タンクより水を抜いたため、漏水量の時刻歴は間欠的となっている。いずれのケースも川表水位に対して漏水量は比例的に増加していることが確認される。Case3では、横断亀裂からの漏水が川裏側で確認されており、漏水量がCase1に比べ1.3倍程度増加した。漏水量は増加しているが、一般に堤防では、透水係수에数倍程度の差が出ることは知られており、堤体の透水係数のばらつきと比較すると、本実験の横断亀裂による浸透特性への影響は軽微であると判断した。Case4では、加振後の浸透実験①における漏水量は健全な堤防と同程度であった。また、埋戻しにより応急措置を行った粘性土堤防における浸透実験②では、河川水の浸透の影響を受けても亀裂の埋戻し土は流出されず、川裏側への漏水量は健全な堤防と同程度であった。加振実験後の浸透実験①が健全な堤防と同程度の浸透特性であったため、本実験では、応急措置の効果は確認できていない。

これより、地震動による堤防の横断亀裂は浸透特性には影響があまり見られない結果となったが、別報³⁾で示す通り、横断亀裂が堤防機能に影響を与える場合もあることが確認されている。そのため、横断亀裂は縦断亀裂に比べて補修の優先度が高いと考える。

6. まとめ

本報では、地震による亀裂によって堤防機能が低下しやすい粘性土堤防を対象に、地震による横断亀裂の浸透特性への影響を検討した。本実験では横断亀裂は浸透特性にそれほど影響がない結果となったが、別報³⁾で示す通り、横断亀裂が影響を与える場合もあり、地震動による堤体の緩みから、強度低下による堤防機能への影響が懸念されることを確認した。

参考文献

- 1)国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針・解説 - II.堤防編一, pp.16, 2016.3, 2)
- 大重綱平ら：堤防の浸透特性に及ぼす地震後の亀裂および応急措置の影響に関する遠心模型実験, 令和3年度土木学会全国大会年次学術講演会 III-117 2021, 3)青柳悠大ら：堤体液状化によって生じた亀裂や緩みが堤防の浸透特性に及ぼす影響の検討, 令和4年度土木学会全国大会年次学術講演会 2022 (投稿中).

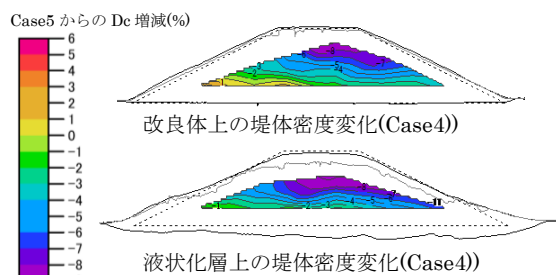


図-2 加振後の堤体の密度変化 (Case4)

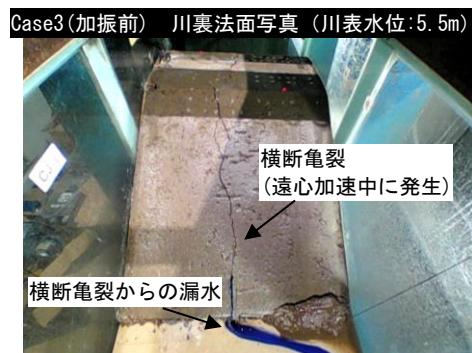


写真-3 浸透実験時の川裏法面 (Case3)

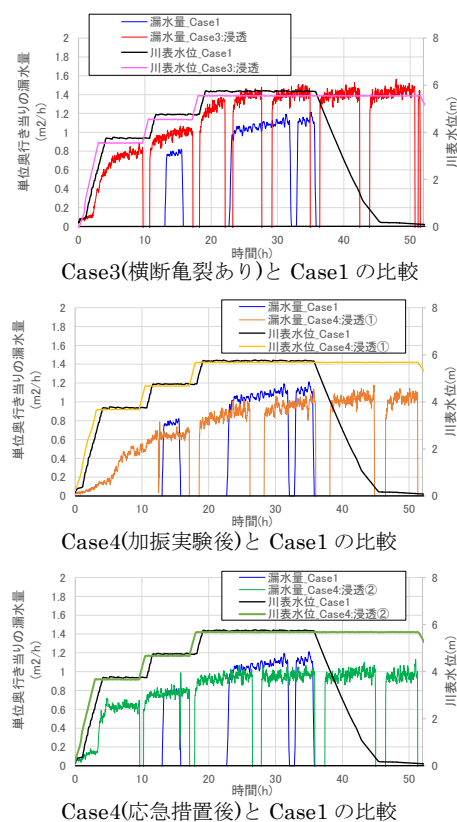


図-3 単位奥行き当りの漏水量と川表水位の時刻歴