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

国立研究開発法人土木研究所 正会員 〇大重 綱平, 青柳 悠大, 谷本 俊輔, 佐々木 哲也

<u>1. はじめに</u> 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、亀裂やゆる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、地震によるゆるみ(密度低下) は生 じにくいものの、砂質土堤防に比べて亀裂が大きく開口し、高水に対する漏水量が健全な堤防と比べ増加する 結果が得られた.

そこで、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と考えられる粘性土堤防を対象に、地 震による亀裂発生時の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.

<u>2. 模型実験の概要</u>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(液状化層・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. いずれの Case 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, 液状化層は相対密度 $D_r=60\%$ 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 号でそれぞれ作製した.

実験ケースを表-1 に示す. Case1 では健全な堤防, Case2-1 では 地震動を受けた後の堤防に対して浸透実験を行った.また, Case2-1 に続けて実施した Case2-2 では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盛土し浸透実験を行った.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,各段階で約6.5時間にわた



表−1 実験ケース			
ケース	遠心 加速度	実験手順	備考
Case0	-	-	堤体内密度計測
Case1		浸透実験	-
Case2-1	50G	加振実験→浸透実験	-
Case2-2		亀裂埋戻し→浸透実験	亀裂への 埋戻し対策あり

って水位を保持した.また, Case2-1 の加振実験では 1Hz, 300gal, 20 サイクルの正弦波の入力を 2 回行った. Case2-2 の模型解体時には, 直径 50mm, 高さ 30mm の小型コアカッターによる 25 点程度での採取試料から堤体の密度分布を把握するとともに,堤防横断面を開削・観察することにより亀裂の発生状況を記録した. これと比較するため, Case0 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.

<u>3. 堤体の亀裂状況と密度変化</u> Case2-1 では 300gal の正弦波による加振入力を 2 回行い,天端の沈下量が 1.5m 程度,法尻の水平変位量が 1.2m 程度であった. Case2-1 における加振実験後の亀裂状況を写真-1 に, Case2-2 における浸透実験後の亀裂状況を写真-2 にそれぞれ示す.また,この浸透実験後の堤体表面形状に 堤体内の密度分布を重ねたものを図-2 に示す.

Case2-1 において、加振実験後の亀裂の発生範囲は写真-1 に示すように堤防天端を中心として法面にも大きな亀裂が発生しており、特に堤防天端の亀裂は堤体内の下面まで達していた.その後、Case2-2 において亀裂を埋戻し、浸透実験を行ったが、写真-2 に示すように亀裂の埋戻し土は流出していない.

図-2 では、堤体内の密度分布を締固め度 D_c に換算して表示している. Case2-2 では密度測定時に亀裂の空隙部の影響を受けている箇所もあるため、健全なコア(図-2 中の●)を対象として、Case0 の健全な堤防の密度分布と比較することとした. Case2-2 の堤防法尻部は地震動による変位が生じたことで、Case0 と比べ密度低下が生じていることが確認される. 一方、Case2-2 の堤体内中央部は Case0 と比べ、密度低下の度合いは比較的軽微であった.

キーワード 堤防, 地震, 浸透特性

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 TEL029-879-6771



写真-2 浸透実験後の堤体の亀裂状況 (Case2-2)

4. 堤体の浸透特性変化 各ケースにおける単位奥行 当りの流量と川表水位の時刻歴を図-3に示す. 排水側 流量は排水用タンクの水位上昇量を水圧計により計測 し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, 排水側流量の時刻歴は間欠的と なっている.

既報²⁾では粘性土堤防の場合,高水に対する漏水量 が健全な堤防と比べ増加する傾向があることが確認さ れている.しかし,その時の実験では表のり肩のガラ ス面沿いに浸入した水が陥没した天端に湛水し,堤防 機能に関係ない部分からの漏水量が多かったと推測さ れる.そのため,本実験では越水が生じない範囲のル ーフィングを改良している.

いずれのケースも川表水位に対して排水側流量は比 例的に増加しており、また、各水位保持期間において も排水側流量はほぼ同程度の大きさとなっていること が確認される. Case2-1の排水側流量が Case1 とほぼ 同程度であることから、地震動を受け亀裂が生じた堤 防と健全な堤防での浸透特性変化はほぼないと考えら れる. 一方、Case2-2の排水側流量も Case2-1 とほぼ 同程度であることから、亀裂を埋戻した応急措置状態 の堤防と埋戻し前の亀裂が残存する状態の堤防での浸 透特性変化はほぼないと考えられる. これらより、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 響はないと考えられる.

5. 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 亀裂発生時の応急措置状態を模擬した遠心模型実験に より検討を行った.その結果、埋戻しにより応急措置 を行った粘性土堤防では、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、著しい堤体内密度 の低下も生じないことが確認された.また、洪水時の 川裏側への排水流量は、健全な堤防や亀裂が残存する 応急措置前の堤防とほぼ同程度の大きさであったこと から、地震動による粘性土堤防の縦断亀裂は、堤防の 浸透特性にそれほど影響はない可能性があることがわ かった.

Case2-1 天端・法面写真 写真-1 加振実験後の堤体の亀裂状況 (Case2-1) 締固め度 Dc(%) 川裏側 川表側 Case 0 (健全な堤防の密度分布) 川裏側 川表側 水位 5.5m 文②水位 4.5m 文①水位 3.5m Case 2-2(応急措置後に浸透実験を実施した堤防の密度分布) ●:健全なコア ▲:クラック等の乱れ ■:試料長不十分 堤体内の密度分布 図-2 ③水位5.5m保持期間 ①水位3.5m保持期間 ②水位4.5m保持期間 2 1 || 2 || 3 Case1 の (u/zm) 1.5 6 Ê 目標水位5.5r 4 4 Ⅲ表水位(**⊿**0 70 10 20 30 40 50 60 Case 1 (健全な堤防の排水側流量) ①水位3.5m保持期間 ②水位4.5m保持期間 ③水位5.5m保持期間 2 8 10||2|| 3 Case2-' é 位 第 二 (n²/n) の の (n²/n) の の (n²/n) 6 6 Ê 目標水位5.5 4 4 11 3 11 3 2 ____0 70 10 20 30 40 50 60 Case 2-1 (加振実験後の堤防の排水側流量) ①水位3.5m保持期間 ②水位4.5m保持期間 ③水位5.5m保持期間 1 || 2 || 3 Case2-2 (h/zm) (h/zm) (a/m²/h) (h/zm) 6 Ê 目標水位5.5m Linteral 4 4 2 2 包括0.5 40 50 10 20 30 60 時間 (h)

Case 2-2(応急措置後に浸透実験を実施した堤防の排水側流量) 図−3 単位奥行当りの流量と川表水位の時刻歴

本実験では無対策堤防を対象としたが、実地震によ

る亀裂の発生パターンは様々であり、浸透特性に与える影響が液状化対策の有無等によって異なること等が 考えられることから、多様な条件下での浸透特性について今後も実験および解析的検討を行っていきたい. 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-, pp.16, 2016.3 2)大重, 梶取, 谷本, 佐々木: 地震後の堤防機能に関する遠心力載荷模型実験, 土木技術資料, pp.24, 2020.12