

液状化地盤－堤体－貯水の相互作用に伴うアースダムの破壊形態

農研機構 農村工学研究所 正会員 ○林田 洋一
 農研機構 農村工学研究所 増川 晋
 農研機構 農村工学研究所 正会員 田頭 秀和

1. 目的

過去の地震によるフィルダムの甚大な被害事例として、1925年に発生した Santa Barbara 地震による Sheffield ダム（堤高：7.6 m）、1971年に発生した San Fernand 地震による Lower San Fernando ダム（堤高：40 m）での堤体および基礎地盤の液状化による甚大な被害が報告されている。本邦においても、地震による農業用ダム（堤高 15m 未満のものも含む）での被害調査から、破堤に至る壊滅的な被災要因として、堤体および基礎地盤の液状化が挙げられている。このような知見を踏まえ、現在では液状化に対する検討を実施した上でフィルダムは建設されている。しかしながら、築造年代の古いフィルダムについては、建設時に液状化に対する検討が実施されていないことが想定されるため、地震時の安全性を検証するにあたり、液状化の発生に対する検討が必要になると考える。また、液状化の発生が懸念される場合、その影響を緩和する対策が求められる。

本報では、液状化地盤上に築造されたアースダムの地震時の破壊形態およびその発生メカニズムを、液状化地盤-堤体-貯水の相互作用として評価した遠心载荷模型実験結果について報告する。

2. 実験条件

実験には、上流側の液状化地盤の一部を掘り込み不透水ゾーンを設けた傾斜遮水ゾーン型のゾーニングを模した模型を用いた。実験模型の概要を図-1に示す。液状化地盤は、不飽和状態の標準砂を $D_r = 50\%$ に締固め作製し、液状化層の層厚は 50 mm とした。なお、液状化層下部には、4号珪砂を乾燥状態で締固めた非液状化層を設けている。液状化地盤上には、標準砂とカオリンを 8:2 で混合した材料を $D_c = 92\%$ で締固め堤体を作製した。なお上流側掘り込み部の不透水ゾーンについては、一度作製した液状化地盤を掘り込んだ後、堤体と同一の材料で埋戻し $D_c = 92\%$ で締固め、作製した。

キーワード アースダム、液状化、遠心力模型実験、破壊形態

連絡先 〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6

堤体は堤高 80 mm、堤頂幅 28 mm、法面勾配 1:2 としている。また上流側の掘り込み部の不透水ゾーンの勾配は 1:1 とした。各模型ともに液状化地盤上面から 25 mm の位置に間隙水圧計を設置した。土層底面、液状化地盤底面、液状化地盤上面（堤体底面）、堤体天端部に加速度計を設置した。

実験は 20 G の遠心場において実施した。液状化地盤の飽和にあたっては、1 G 場で模型底面から CO_2 ガスを十分に注入した後、遠心場において粘度を 20 cSt に調整したメトロズ水溶液（粘性流体）を模型底面から注入した。飽和は、模型前面に設置したカメラ映像で粘性流体が地盤表面に薄く湧出することで確認した。飽和を目視で確認し粘性流体の注入を中止した後、遠心力を変化させ、遠心力の変化率に応じ間隙水圧値が追従することを確認した。その後、遠心力を一旦除荷し、1G 場において上流側に高粘度のメトロズ水溶液を用い貯水を行った。なお、ここで用いたメトロズ水溶液は堤体上流面に貯水圧を作用させることを目的としており、遠心場での堤体への透水を目的としたものではない。その後、再度 20 G まで遠心力を载荷し、間隙水圧の値が安定するのを確認した後、加振を実施した。加振には 1 G 場相当で 3 m/s^2 、周波数 3 Hz、継続時間 400 s の正弦波を用い、堤体が破壊するまでの状況を観察した。また、実験前後の模型形状をレーザー変位計により測定した。

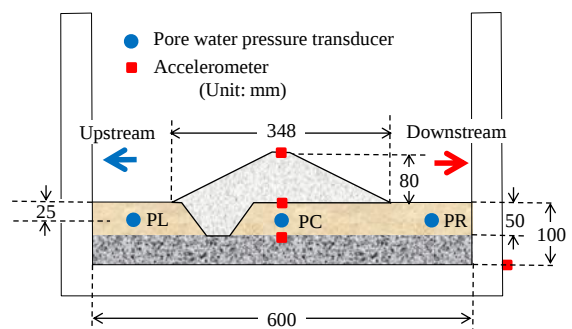


図-1 実験模型の概要

農研機構 農村工学研究所 Tel : 029(838)7571

3. 実験結果と考察

実験前後の模型形状を図-2に示す。図-2より、堤体は顕著に変形し最終的には形状を維持しておらず、天端部では50 mm以上の沈下が生じている。計測された間隙水圧増分の経時変化を図-3に示す。経過時間として実時間を示しており、0～20秒までが加振時間である。図-3より、間隙水圧の上昇量はPLで14 kPa、PCで16 kPa、PRで17 kPaとなっている。PCとPRでは、加振後に急激に間隙水圧が上昇するが、加振後3秒を境にその挙動が変化する。PCでは加振3秒で一旦間隙水圧が減少し、6秒以降に再度上昇し加振後11秒でピークに達し減少する。またPRでは加振後3秒で間隙水圧の上昇率が減少し加振後13秒でピークに達し減少する。これに対し、PLでは加振中に徐々に間隙水圧が上昇し、加振終了時の20秒後にピークに到達している。

加振中の堤体および基礎地盤の変状過程を図-4に示す。図-4には模型を正面から撮影した画像と上面から撮影した画像を併記し、加振開始後の経過時間を実時間で示している。加振開始から1秒後には天端周辺部にクラックの発生が認められ、5秒経過時点では堤体下流部において変状が顕著となるものの貯水の越流は生じていない。その後も堤体下流部の変状は進行しつづき、8秒経過頃には上流側法面にも大きなクラックが観察され、9秒経過頃に越流が生じた。その後、堤体上流部においても基礎地盤への沈下および側方への変状が顕著になり、最終的には堤体の形状が認められない状態にまで破壊が進行した。このことから、上流側の液状化層を改良した場合であっても、長時間の振動により下流側への変状が進行し越流が生じると、貯水との相互作用により堤体が上流側へも変形し壊滅的な変状に至ることが分かった。

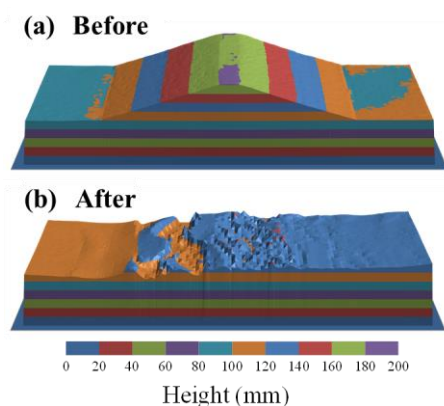


図-2 実験前後の模型形状

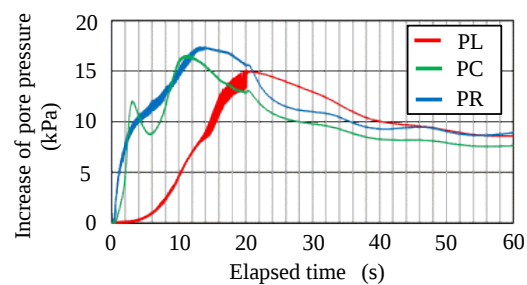
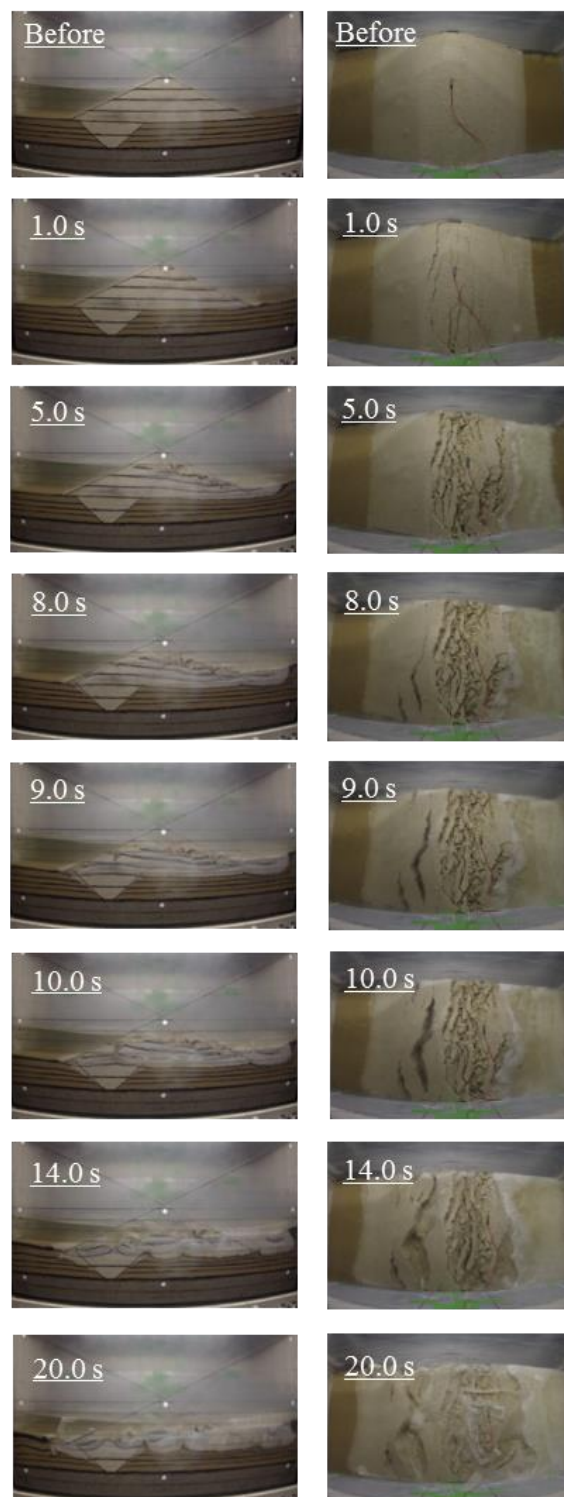


図-3 間隙水圧増加量の経時変化



(a) 正面

(b) 上面

図-4 堤体の変状過程