

ゾーニングの異なる堤体模型を用いた遠心力载荷振動実験

(独) 農研機構 農村工学研究所 正会員 ○林田 洋一
 (独) 農研機構 農村工学研究所 増川 晋
 (独) 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: 7.6m)、1971年に発生した San Fernand 地震による Lower San Fernando ダム(堤高: 40m)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。

本報告では、遠心力模型実験の結果から、堤体荷重が作用した液状化地盤での地震時の挙動、特に間隙水圧発生状況に及ぼす堤体のゾーニングの影響を検証するとともに、液状化地盤上の堤体の変状メカニズムと堤体の変状状態に及ぼすゾーニングの影響について検証を行う。

2. 実験条件

実験には、標準砂で作製した $D_r=50\%$ の液状化地盤上に、標準砂とカオリンを 8:2 で混合し締め固め、 $D_r=92\%$ の堤体を作製した 2 種類の模型を用いた。なお、液状化地盤下部には、三号珪砂を乾燥状態で締め固めた非液状化地盤を設けている。実験模型の概要を図-1 に示す。

Case A は均一型のゾーニングを模した形状とし、Case B は液状化層にキートレンチを掘削し、遮水部を設けるゾーニングを模した形状とした。両模型の液状化地盤の層厚は 70mm とした。堤体は、Case A で堤高 112 mm、堤頂幅 39 mm、法面勾配 1:2、Case B で堤高 140mm、堤頂幅 76 mm、法面勾配 1:2 とした。

キーワード アースダム、液状化、ゾーニング、遠心力模型実験

連絡先 〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6 (独) 農研機構 農村工学研究所 Tel : 029(838)7571

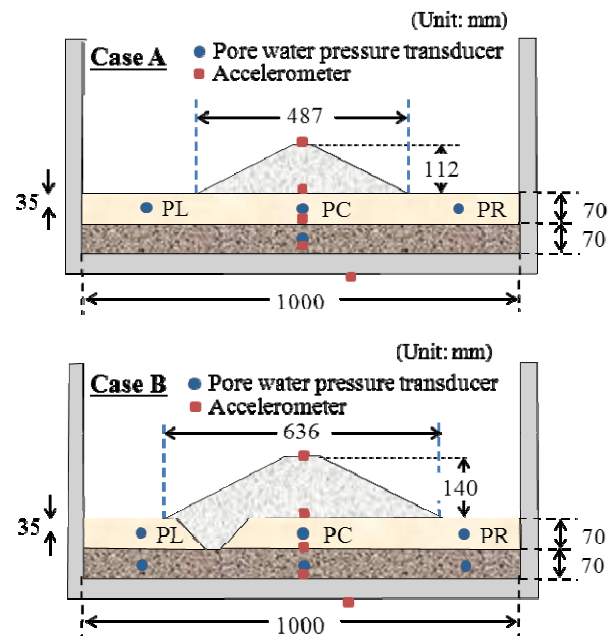


図-1 実験模型の概要

液状化地盤での間隙水圧を計測するため、図-1 に示す各位置に、間隙水圧計を設置した。また、加速度計を、土槽底面、液状化地盤底面、液状化地盤上面(堤体底面)、堤体天端部に設置し計測を行った。

実験は、50G の遠心場において実施した。なお、液状化地盤の飽和にあたっては、1G 場において模型底面から CO_2 ガスを十分に注入した後、粘度を 50 cSt に調整したメトロズ水溶液(粘性流体)を遠心場において模型底面から注入している。

加振には 1G 場相当で周波数 3 Hz、継続時間約 10 s の正弦波を用いた。振幅は、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5 m/s^2 とし、0.5 m/s^2 間隔で増加させながら、順次加振を実施した。

遠心力载荷中は、模型前面に設置した CCD カメラによる画像撮影を実施しており、各振幅での堤体の変形状や、クラックの発生・進展状況を確認した。また、各加振終了後の画像記録から、堤体の変状状況をスケッチしている。

3. 実験結果とその考察

実験終了後の堤体の変状状況を図-2 に示す。Case A、B ともに、堤体が側方に引っ張られることで天端部が沈下するとともに、堤体に複数の亀裂が生じるストレッチ型の破壊形態を示した。また、Case B では、液化化地盤のキートレンチ部の上層が、側方へ変形していることが観察された。実験終了時の天端部の平均沈下率（沈下量／堤高）は、Case A、B ともに 0.107 となり、ゾーニングによる違いは認められなかった。

両実験ケースにおける、間隙水圧発生量と入力波の大きさとの関係を図-3 に示す。図-3 では、入力波の大きさを表す指標として、入力波形の振幅と振幅=0 で表される軸とで形成される領域の面積を入力エネルギーと定義し用いている。なお、周波数 3Hz の正弦波が約 10 秒継続するとした場合、振幅 2.0、3.0、5.5 $\text{m/s}^2 \cdot \text{s}$ が、入力エネルギー 12、19、34 $\text{m/s}^2 \cdot \text{s}$ に相当する。また、間隙水圧上昇量は、両実験ケースともに、PL と PR で計測された値の平均値を示している。

図-3 から、両実験ケースともに、間隙水圧の上昇量は、入力エネルギーが 20 $\text{m/s}^2 \cdot \text{s}$ までは入力エネルギーの増加とともに増加するが、入力エネルギーが 25 $\text{m/s}^2 \cdot \text{s}$ 程度に達すると、間隙水圧の上昇量は頭打ちとなり、若干低下する傾向にあることが分かる。

図-4 に遠心力载荷中に撮影した画像記録から、堤体の変形形状およびクラックの発生状況をスケッチした結果を示す。なお、図-4 には、振幅 2.0、3.0、5.5 m/s^2 での加振終了後の状況を示している。図-4 (a) より、振幅 2.0 m/s^2 では、Case A はほぼ変状しておらず、Case B でも堤体の顕著な沈下は認められず、天端中央部表層に 1 条のクラックが認められる程度であった。図-4 (b) に示す振幅 3.0 m/s^2 程度から、Case A、B ともに天端部に複数のクラックが発生しはじめ、図-4 (c) に示す振幅 5.5 m/s^2 の加振終了時には堤体は大きく沈下し、天端部のみならず、堤体法面上部にも複数のクラックの発生が認められた。しかしながら、堤体法面下部は、実験前とほぼ同等の勾配を保持しており、変状は堤体上部に集中していることが分かった。なお、実験終了後にレーザー変位計により両模型の形状を計測した結果、堤体法尻部付近が側方に変形し、周辺の液化化地盤が隆起していることが分かった。振幅 3.0 ～5.5 m/s^2 は、入力エネルギー 19～34 $\text{m/s}^2 \cdot \text{s}$ に相当し、図-3 より、液化化地盤での間隙水圧の上昇量がほぼ平衡となってい

ることが分かる。このことから、振幅 3.0 ～5.5 m/s^2 で、堤体の変状状態が著しく進行したのは、液化化地盤での間隙水圧の上昇に伴う強度低下のみでなく、堤体に作用する慣性力との相互作用によるものと考えられる。

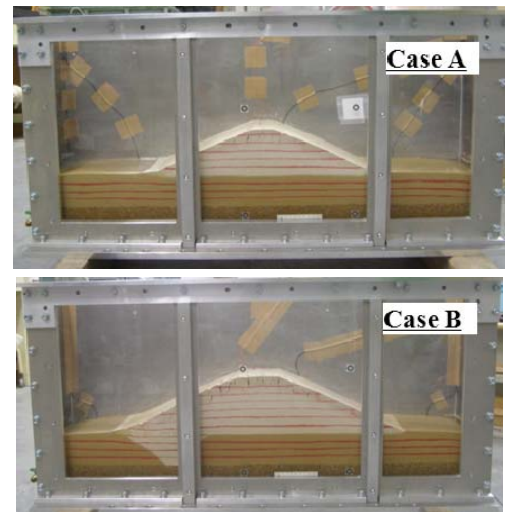


図-2 実験終了後の堤体の変状状況

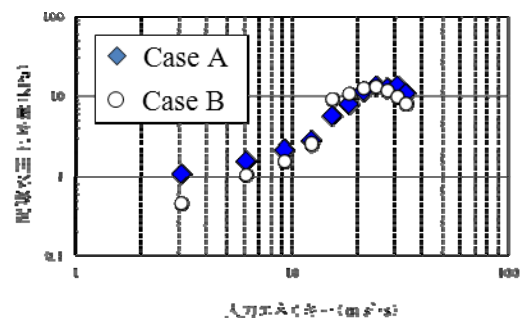


図-3 入力エネルギーと間隙水圧上昇量の関係

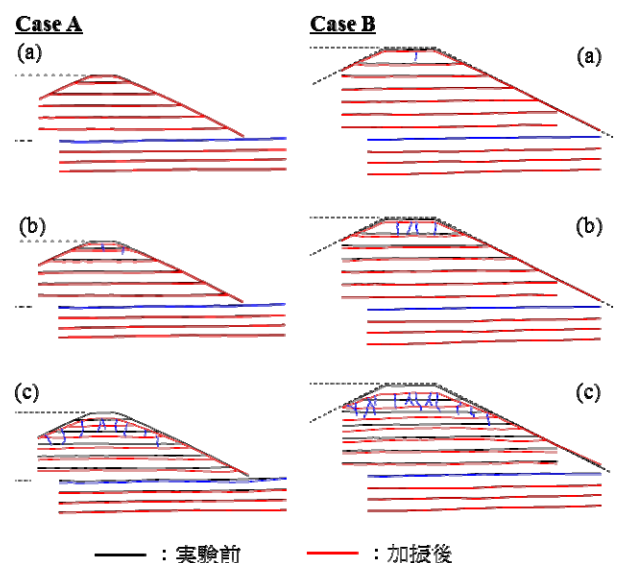


図-4 加振後の堤体変状状態のスケッチ

(a) 振幅 2.0 m/s^2 、(b) 振幅 3.0 m/s^2 、(c) 振幅 5.5 m/s^2