

液状化対策された堤防の耐震性再評価に関する動的遠心模型実験 (その2 対策効果の比較)

土木研究所 正会員 ○中島進、谷本俊輔、中田芳貴、佐々木哲也

**1. はじめに** レベル1地震動を想定して耐震対策された堤防の耐震性再評価を目的とした動的遠心模型実験について、前報<sup>1)</sup>では評価に当たっての課題を整理するとともに、実験条件について述べた。本報では、対策工と模型地盤について、L1、L2時の試設計結果の概要を説明した後に、実験における堤防と対策工の変形量および対策効果について報告する。

**2. 対策工と模型地盤の試設計結果の概要** 東北硅砂7号で作製した基礎地盤の相対密度と地震動の規模に応じた液状化判定結果を表-1に示す。ここで、水平震度はL1については文献2)に、L2については文献3)により行った。前報表-1でまとめた通り、層2の相対密度がDr=85%のCase2、Case5は対策工を支持すべき土層の液状化により外的安定を喪失するケースに相当する。

固化改良体は比重を調整したアクリル箱で模擬し、改良体の諸元(改良幅10m、層2への根入れ1m)は、L1に対して外的安定を満足するように設定した。Case3の締固め工法の改良域は一樣に東北硅砂7号でDr=85%として模擬したため、表-1に示すとおり改良域はL1では液状化しないが、L2では液状化が生じる条件である。なお、改良幅は固結工法と同一とし、深度は層2への着底にとどめた。Case7のドレーン工法も改良幅は固結工法と同様に10mとし、改良深度は層2への着底にとどめた。ドレーン材にはいわき硅砂3号を使用し、透水係数は3.5×10cm/sである。改良率は既往の実績を参考としつつ、模型の作製が可能な範囲で密にドレーンを配置したが、試設計ではL1地震動に対しても改良範囲が液状化する結果となっており、実際に現場で用いられているものと比較すると、対策効果が低い条件となっている。

矢板工法については、基本ケースであるCase4ではL1時に十分となるように根入れ長を設定し、発生断面力がL1時に許容応力度以下、L2時に許容応力度を超過する鋼矢板IVw型と同等になるように断面寸法を設定した。Case5ではCase4に加えて層2が液状化するように相対密度をDr=85%とし、Case6ではCase4よりもさらに内部破壊を顕著にすることを意図して、L1時においても応力度照査を満足しないIII~IIIw型相当となるように矢板模型の断面を設定した。

**3. 対策効果の比較** 前報でまとめた各実験ケースについて、実験における対策効果の比較を堤防天端の沈下量とのり尻の水平変位量との関係として図-1に示す。沈下量、水平変位は前報図-3に示した変位計のうち、堤防天端および堤防のり尻における計測値の平均値である。また、図中には同一の基礎地盤条件、加振条件のもとで実施した無対策の堤防に関する結果(Case0)<sup>4)</sup>も併せて示した。堤防の沈下量に着目すると、対策工の種類や前報でのパターン1~3に応じて対策効果に差異はあるものの、全てのケースにおいて無対策のCase0と比較して沈下量は減少しており、L1を想定した耐震対策がL2に対しても一定の効果を

表-1 基礎地盤の平均  $F_L$

	相対密度	L1地震動	L2地震動
層1	Dr=60%	0.65	0.19
層2	Dr=95%	4.35	1.96
	Dr=85%	1.01	0.35

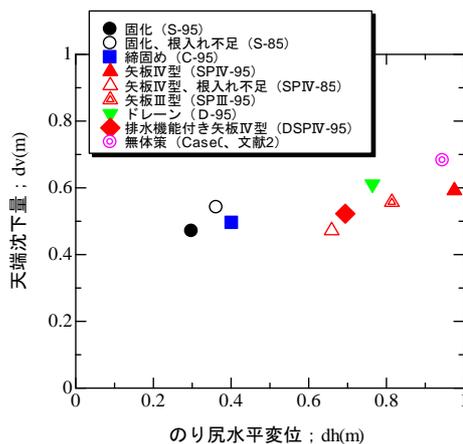


図-1 天端の沈下量とのり尻水平変位の比較

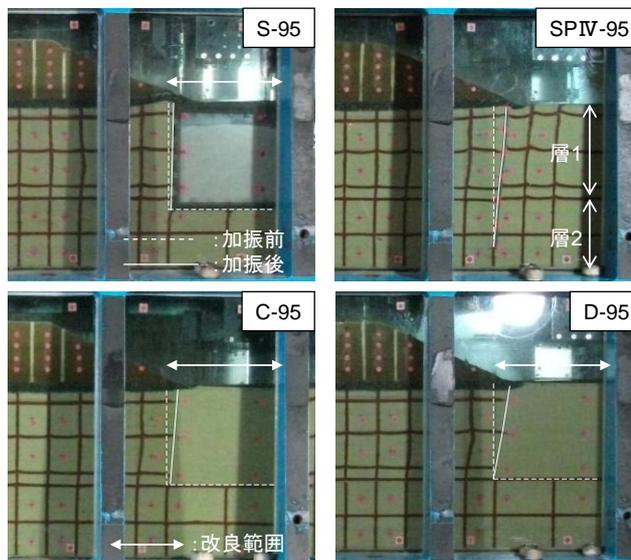


図-2 加振後の模型地盤と対策工の状況

キーワード：河川堤防、レベル2地震動、液状化対策

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独) 土木研究所 材料地盤研究グループ (土質・振動) TEL:029-879-6771

発揮している。

図-2 に対策工が良好な基礎地盤に着底あるいは根入れされた条件に相当する S-95、C-95、SPIV-95、D-95 実験における加振後の模型地盤の状況を示す。まず、S-95 ではアクリル箱で模擬した固化体に剛体的な水平変位や沈下・傾斜が生じていた。これに対して、C-95、D-95 では改良範囲自体の変形がより顕著であった。また、SPIV-95 では、先端を支点として矢板が回転するような変形が生じており、のり尻付近では図-1 に示すように無体策の Case0 とほぼ同程度の水平変位が生じた。締固め工法については、改良範囲に過剰間隙水圧比が 1.0 付近まで上昇したものの顕著な変形が認められず、密な砂の粘り強さが発揮されたものと考えられる。

L1 に対する耐震対策の L2 時の挙動を評価するという観点から、前報で示したパターンごとに対策効果を比較する。支持層に液状化が生じることを想定したパターン 1 については、固結工法の S-95、S-85 で比較すると、堤防天端の沈下量およびのり尻の水平変位ともに S-85 の方が若干大きいものの、今回の実験では対策効果の低下度合いは軽微だった。図-3 に示す加振終了時の過剰間隙水圧比の震度分布より、L2 時に液状化が生じると想定されていた SPIV-85 において、層 2 (G.L. -8m 以深) の過剰間隙水圧比が完全に上昇せず、液状化に至っていないことが分かる。ここに、同図中の凡例は前報図-3 に示す計測線に対応している。これは、層 1 (G.L. -8m 以浅) が液状化した結果として層 2 に大きなせん断応力が作用しにくくなったためと考えられ、このような挙動を考慮することができれば、対策効果をより合理的に評価できる可能性が考えられる。矢板工法の SPIV-95 と SPIV-85 を比較すると、根入れ不足の SPIV-85 の方が堤防の沈下量、のり尻の水平変位ともに小さかった。ただし、SPIV-85 では振動台により再現された地震動波形の振幅が小さめであったことを付記しておく。

次に、対策工に内部破壊が生じるパターン 2 として SPIV-95 と SPIII-95 を比較すると、沈下量はほぼ同程度であるものの、のり尻の水平変位については SPIII-95 の方が小さかった。この原因については今後の検討が必要である。また、矢板に生じたひずみは SPIII-95 においても降伏ひずみにちょうど達した程度であり、模型地盤解体時の目視観察からは塑性変形が認められなかった。前述のとおり、SPIII-95 の矢板模型では L1 時においても許容応力度を上回ると想定されていたことから、等方応力時の静止土圧と液状化土による地震時動水圧の和として与える設計地震力が過大であり、合理化の余地があると考えられる。

図-3 について、R5 測線に着目して SPIV-95、DSPIV-95、D-95 で排水効果を比較すると、加振終了時の過剰間隙水圧比には顕著な違いは見られず、今回の実験条件では L2 時の排水効果は限定的だった。なお、D-95 実験の R7、R8 および DSPIV-95 実験の R6~R8 をみると明らかなように、排水系の対策工法ではドレーンや排水部材から離れたところでは過剰間隙水圧比はほぼ 1 に達していた。

**4. まとめ** 本研究では、レベル 1 地震動を想定して耐震対策がなされた河川堤防について、レベル 2 地震動に対する耐震性を再評価することを目的として、その技術課題を 3 パターンに分類した上で、各パターンについてその地震時挙動を把握するための動的遠心模型実験を行った。その結果、今回の実験条件の範囲では、外的安定が確保できない (パターン 1) としても、対策効果の低下はさほど顕著ではなかった。これに対して、排水効果が不足する場合 (パターン 3) には、パターン 1 に比して対策効果が低下した。対策工に内部破壊が生じる場合 (パターン 2) については、今回の実験条件では矢板に顕著な塑性変形が残留しなかったため、今後更なる検討を行いたい。

**謝辞** 動的遠心模型実験の結果は、国土交通省河川局治水課ならびに関東地方整備局よりご提供いただいた。記して謝意を表す。

**参考文献** 1) 谷本ら：液状化対策された河川堤防の耐震性再評価に関する動的遠心模型実験、第 66 回土木学会年次学術講演会 (投稿中) 2) 土木研究所：河川堤防の液状化対策工設計・施工マニュアル、土木研究所資料、第 3513 号、1997 3) 国土交通省河川局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針 (案)・同解説、2007 4) 中島ら：河川堤防の液状化対策に用いる格子状地盤改良工法に関する動的遠心模型実験—限界震度を用いた固結工法の耐震設計計算法に関する検討—、第 13 回日本地震工学シンポジウム、2010

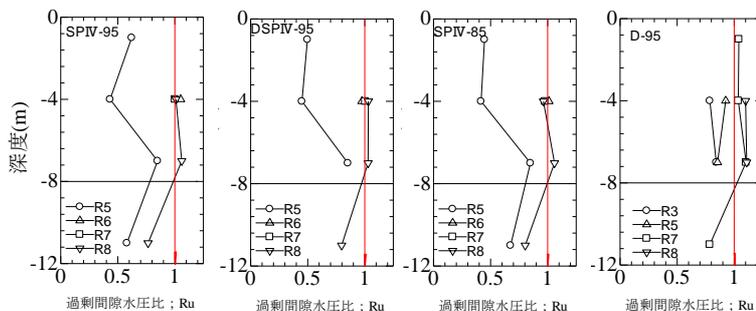


図-3 過剰間隙水圧比の深度分布の比較