

堤体直下の浮き型固化改良による液状化対策に関する動的遠心模型実験

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

1. はじめに 河川堤防の液状化対策工は、「河川堤防の液状化対策の手引き 平成 28 年 3 月」¹⁾(以下,「手引き」と称す)により設計がなされている。既設堤防の基礎地盤の液状化対策としては,一般的に施工上の支障が小さい法尻対策が選定されるが,許容沈下量が小さい場合や堤体が小規模な場合など条件によっては,堤体直下対策が優位となる場合もある。堤体直下対策の場合,手引きでは基礎地盤全体の液状化層を改良することとされているが,浮き型で十分な対策効果が得られるのであれば,大規模なコスト縮減につながる可能性がある。

そこで本報では,堤防の浮き型の固化改良による対策効果を把握することを目的とした動的遠心模型実験を行った結果を報告する。

2. 模型実験の概要 本実験は,一度の加振で 2 ケース同時に模型実験を行うため,幅 1.5m,奥行き 0.3m,高さ 0.5m の土槽にて,奥行方向中央部で仕切り,2 つの模型を作成し,50G の遠心加速度の下で実施したものである。加振の入力地震動波形は,レベル 2 タイプ 1 地震動 (I 種地盤)である新晩翠橋の加速度波形を使用した。以降に示す数値は実物スケールに換算した値である。実験模型の概要図を図-1 に,実験ケース一覧を表-1 に示す。

図-1 に示すとおり,実験対象は層厚 15m の基礎地盤 (液状化層 10m・支持層 5m) の上に築堤した高さ 3m,天端幅 3m,法勾配 2 割の堤防である。いずれのケースも堤体は最適含水比 $w=16.5\%$,締固め度 $D_c=90\%$ (湿潤突き固め)に調整した江戸崎砂で,液状化層は相対密度 $D_r=50\%$ (空中落下法)の宇部硅砂 6 号,支持層は相対密度 $D_r=90\%$ (乾燥突き固め)の宇部硅砂 6 号,改良体は一軸圧縮強度 $q_u=500\text{kPa}$ 程度のセメント混合砂(宇部硅砂 6 号+セメント)で,それぞれ作製した。

Case1 は無対策の堤防, Case2~4 では堤体直下の液状化対策工として,堤体と同じ幅 15m の改良体を設置し,改良体の層厚をそれぞれ,2m, 5m, 10m (全層改良)とした場合について検討を行った。

3. 加振後の堤体天端の沈下量 加振後における沈下量の計測結果一覧を表-2 に,加振前後の堤体および基礎地盤の状況を写真-1 に示す。なお,写真-1 の中央より左側は加振前,右側は加振後の状況を並べて示している。無対策の Case1 では 1.05m の天端沈下量が生じた。改良層厚 2m の Case2 では 0.84m,改良層厚 5m の Case3 では 0.52m,改良層厚 10m の Case4 では 0.08m であった。堤体下面位置の沈下量も計測をしているが,ほぼ天端沈下量と同程度の値であった。ストレッチングが発生していないため,後述するように堤体の損傷は無対策含め全体的に軽微であ

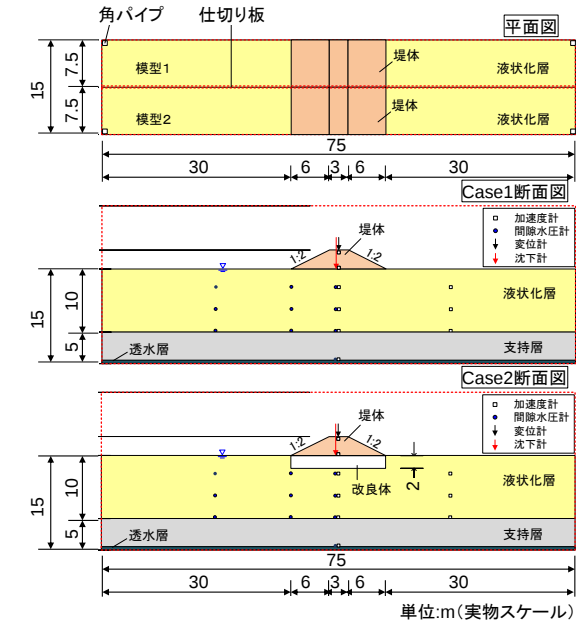


図-1 実験概要図 (Case1, Case2)

表-1 実験ケース

実験ケース	対策工	改良体の目標一軸圧縮強度
Case1	無	-
Case2	改良体層厚 2m	$q_u=500\text{ kPa}$
Case3	改良体層厚 5m	$q_u=500\text{ kPa}$
Case4	改良体層厚 10m	$q_u=500\text{ kPa}$

表-2 加振後の沈下量

実験ケース	堤体天端の沈下量 (m)	堤体下面位置の沈下量 (m)
Case1	1.05	1.07
Case2	0.84	0.87
Case3	0.52	0.53
Case4	0.08	0.06

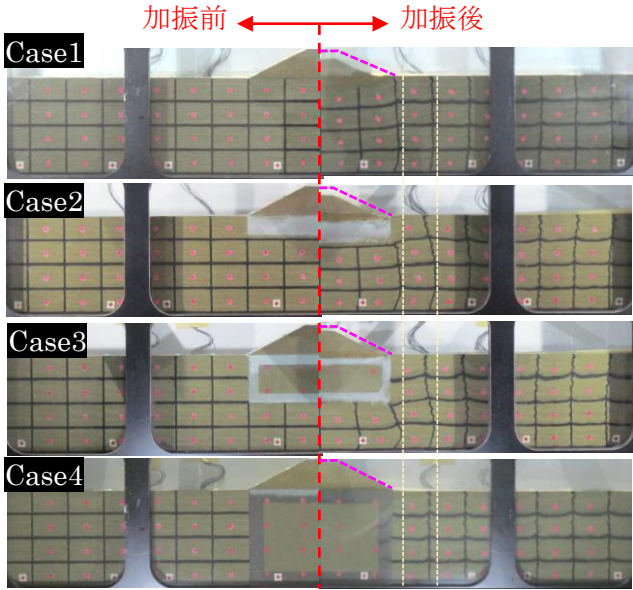


写真-1 加振前後の堤体および基礎地盤の状況 (左:加振前, 右:加振後)

キーワード 堤防, 地震, 固化改良工, 浮き型

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

る。天端沈下量と固化改良体の改良層厚に着目すると、改良体が厚くなるほど沈下量が減少する傾向が確認された。Case1 の沈下量に対する各ケースの沈下量の低減効果を整理した結果を図-2 に示す。

図-2 に示すように、Case2 は Case1 に比べ沈下量が約 20% 減、Case3 では沈下量が約 50% 減、Case4 では沈下量が約 92% 減となった。液状化層厚に対する改良体層厚の割合はそれぞれ 20%, 50%, 100% であり、Case4 が堤体自体の変形の影響によりわずかに 8% 程度低いものの、無対策の堤防に対する沈下量の抑制度合いとほぼ同程度の結果となった。

4. 堤体および固化改良体の変状 実験後の改良体の状況を写真-2 に示す。Case2 では実験後の改良体(改良層厚 2m)にクラックが確認された。ただし、クラックが遠心加速度上昇過程で生じたものか、加振中に生じたものかは不明である。その他ケースでは、改良体に変状は確認されなかった。こうした改良体の内部破壊に対する設計上の扱いについては、今後検討していく必要がある。

写真-3~5 に Case1, 3, 4 の加振後の堤体の状況写真を示す。無対策の Case1 では、加振後の堤体に複数のクラックが発生していた。このクラックの位置は写真-2 で示した Case2 の改良体に発生したクラックとほぼ同位置であった。対策工として直下に改良体がある Case2, 3 では沈下は生じているものの堤体に変状は確認されなかった。しかし、最も沈下量が小さかった Case4 については、写真-4 に示すように堤体にクラックが生じる結果となった。

既報²⁾でも同様の傾向が確認されているが、この要因としては、堤体下面から支持層までを固化改良したことで、土槽底面からの地震動が減衰することなく堤体に達したことにより、Case2, 3 と比べて加速度が大きくなったためと考えられる。この結果に基づくと、液状化層の下部にあえて未改良部を残すことで、地震動による堤体の亀裂を軽減させるような設計方針も考えられる。

5. まとめ 基礎地盤の液状化対策工として堤体直下の固化改良工法を対象とし、液状化層を 2m, 5m, 10m と改良したケースおよび無対策のケースを設定し、動的遠心模型実験を実施した。対策効果の検討結果を以下にまとめる。

- ・堤体直下の改良体が厚くなるほど沈下量が減少する傾向が見られた。無対策の堤防に対する沈下量の低減の割合は、全層改良の場合がわずかに低いものの、改良層厚比(改良層厚/無対策時の液状化層厚)とほぼ同程度の結果となった。
- ・改良厚が 2m のケースでは、無対策のケースと比較して、天端沈下量および堤体の変状を抑制する効果が認められたが、実験後の改良体にはクラックが生じていた。その他対策工を実施したケースでは、改良体の変状は見られなかった。
- ・液状化層を全層改良したケースでは、天端沈下が低減され、固化改良体にもクラックが生じなかったものの、堤体にクラックや堤体自体の変形に伴う沈下が生じた。これは堤体下部に液状化層がないために加速度波形が減衰することなく堤体に到達したことで、変形が生じたと考えられる。

参考文献 1) 国立研究開発法人土木研究所：河川堤防の液状化対策の手引き，土木研究所資料 第 4332 号，2016.3.

2) 荒木裕行ら：基礎地盤の液状化に対する堤体直下固化改良工に関する動的遠心模型実験，第 2 回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム，2014.12.

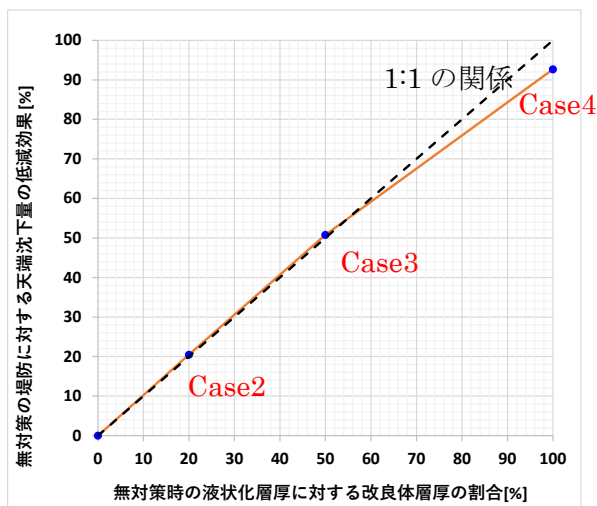


図-2 改良体層厚比と沈下量低減効果の比較

Case2 (改良層厚 2m)



写真-2 加振後の改良体状況 (Case2)

Case1 (無対策)

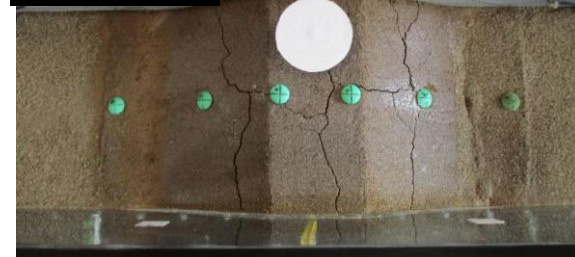


写真-3 加振後の堤体状況 (Case1)

Case3 (改良層厚 5m)

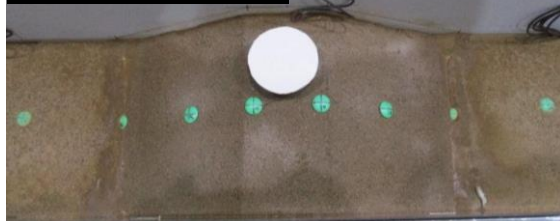


写真-4 加振後の堤体状況 (Case3)

Case4 (全層改良)



写真-5 加振後の堤体状況 (Case4)