

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 (その3 基礎地盤条件と改良体の残留変位)

土木研究所 正会員 ○中田芳貴、谷本俊輔、中島進、佐々木哲也

1. はじめに 筆者らは、河川堤防の液状化対策として、堤防ののり尻部にセメント改良土を格子状に施工する固結工法(図-1参照)のレベル2地震動に対する設計法について検討することを目的として、固結工法に関する動的遠心模型実験を実施した¹⁾²⁾。河川堤防の液状化対策としての固結工法には、堤防の沈下量を減少させるため、堤防直下の基礎地盤の液状化に伴う側方変形を抑制する効果が期待される。このため、本報および別報³⁾では、改良体の残留水平変位に改良幅、基礎地盤条件が及ぼす影響に着目して、レベル2地震動に対する固結工法の設計法に関する検討を行ったので、その内容を報告する。

2. 実験条件 実験は50Gの遠心力場のもとで行った。図-1、表-1に模型実験の概要、実験条件について、寸法値を実物大換算した値でまとめる。本研究では改良幅が対策効果に及ぼす影響を系統的

に調べることを目的として、左右ののり尻に幅の異なる改良体を配置した。模型実験の方法等については文献1)にてまとめられているが、本報では基礎地盤条件に関する説明を補足する。基本となる基礎地盤条件(Case4~8)は支持層厚6m(東北珪砂7号、相対密度 $Dr=90\%$)、液状化層厚8m(同、 $Dr=60\%$)で、堤防高さは6m(江戸崎砂、締め固め度 $Dc=90\%$)である。Case9では堤防直下に非液状化層がある条件を想定して、地下水位を地表面より2m低下させた。Case10では液状化層の間に粘性土からなる中間非液状化層がある条件を想定して、中間非液状化層(カオリン粘土)を層厚2m作製した(図-1参照)。また、Case11では支持層が粘土層である条件を想定した。Case8以外では改良体が支持層に対して1m根入れされている。なお、粘土を用いたCase10、Case11では実験準備に要する期間内に、模型地盤の飽和に用いるメチルセルローズ水溶液(粘性係数を水の50倍に調整)の物性が変化する恐れがあったため、土層底面が不透水境界であることと、粘土層の透水係数が加振時間(約50秒)に対して十分に小さいことを考慮して、粘土層以深についてのみ水で飽和させた。入力地震動波形は、予備実験の結果よりI種地盤の地盤面におけるプレート境界型の地震動を用いた(文献2))。以下では、改良体の水平変位と基礎地盤条件に着目して実験結果を整理した。

3. 実験結果 図-2に改良体の水平変位と改良幅および基礎地盤条件との関係をまとめる。Case4とCase9を除くと、改良幅が広くなるに従って改良体の水平変位は減少した。Case4で改良幅と水平変位の関係が逆転したのは、実験準備過程で改良体に損傷が生じたことなどが原因だと考えられる。一方で、Case9では幅の異なる左右の改良体で水平変位がほぼ同等の結果となったが、これはCase9では改良幅Bに対する液状化層厚 H_L の比 B/H_L が他ケース(0.75~1.38)と比較

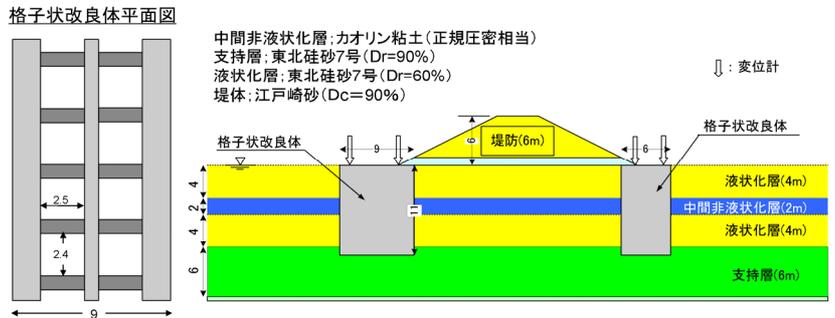


図-1 実験模型の模式図(単位:m)

表-1 実験条件のまとめ

	改良幅	のり尻沈下量		改良強度	根入れ深さ	液状化層厚	表層非液状化層厚	支持層厚	中間非液状化層厚
		水平変位	のり尻						
Case4*	L	8m	0.53 m	0.52 m	1100kPa	1m	8m	0m	6m
	R	9m	0.52 m	0.77 m	1100-	1m	8m	0m	6m
Case5	L	11m	0.52 m	0.48 m	1342kPa	1m	8m	0m	6m
	R	10m	0.51 m	0.54 m	553-	1m	8m	0m	6m
Case6	L	9m	0.62 m	0.59 m	612kPa	1m	8m	0m	6m
	R	8m	0.59 m	0.89 m	902kPa	1m	6m	2m	6m
Case7	無対策	0.69 m	1.075 m		1m	8m	0m	6m	2m(粘土)
Case8	L	11m	0.53 m	0.44 m	850-	0m	8m	0m	6m
	R**	8m	0.50 m	0.54 m	956kPa	1m	8m	0m	6m
Case9	L	11m	0.38 m	0.23 m	841-	1m	6m	2m	6m
	R	8m	0.38 m	0.23 m	902kPa	1m	8m	0m	6m
Case10	L	9m	0.10 m	0.07 m	1100kPa	1m	8m	0m	6m
	R	6m	0.17 m	0.16 m		1m	(上4m、下4m)	0m	6m
Case11	L	11m	0.19 m	0.11 m	1100kPa	1m	8m	0m	6m
	R	8m	0.20 m	0.31 m		1m	8m	0m	6m

*: 脱枠時に改良体が損傷
 **: 内部の格子壁において、天端から改良体の中腹付近でクラックが発生
 ■: 改良体が顕著に損傷

キーワード: 河川堤防、レベル2地震動、液状化対策、格子状地盤改良工法

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

して1.33~1.83と大きかったために、対策効果が頭打ちになったものと推測される。

今回の実験条件では、根入れの深さが1mと比較的小さかったこともあり、根入れの有無 (Case8Lと Case5L) が改良体の水平変位に及ぼす影響は顕著ではなかった。なお、Case6Rの水平変位がCase8Rと比較して大きかったのは、改良体に顕著な損傷が生じたためだと推測される (文献2)、3参照)。一方で、中間非液状化層を有するCase10では改良幅は他の実験と比較して狭いが、固化体の水平変位は小さかった。また、支持層を粘性土としたCase11でも他の実験と比較すると改良体の水平変位は小さかった。このように、改良体の水平変位の大小は改良体の諸元のみならず基礎地盤の土層構成の影響を強く受けることが分かった。

4. レベル2地震動に対する固結工法の設計法 設計地震動としてレベル1地震動相当を想定していた従来の固結工法の設計では、堤防の地震時円弧すべり (全体安定) と、改良体の滑動・転倒・支持力に対する安定 (外的安定) および改良体の内部破壊に対する安定 (内的安定) に関する検討が行われていた⁴⁾。一方で、レベル2地震動のような極めて大きな地震動に対しては、堤防の耐震性能が満足される範囲で改良体に残留変位が生じる (外的な安定が損なわれる) ことが許容される。このため、従来の設計法における全体安定と改良体の外的安定を必ずしも満たす必要はなく、対策工を含めた地盤変形解析で堤防の沈下量を算定し、沈下後の堤防高と河川水位とを比較するという変形量照査へと置き換わることになる。このとき、改良体の残留水平変位の評価が重要となる。堤防の尻部の改良体には、地震時に偏荷重の繰返し作用により徐々に水平変位が累積する。このような挙動を踏まえた設計方針としては、動的解析で変位の累積を評価する方針と、繰返し荷重による変位が十分小さくなるまでに改良体に外的な安定性を確保する方針との二通りが考えられる。動的解析の精度をいかに確保するかという問題や延長の長い線状構造物である特性等を踏まえると、後者の方が実務的かつ確実性が高いと考えられる。

改良体の外的安定性を統一的に評価する指標として、限界水平震度 k_{hcr} を用いることが考えられる。ここで、限界水平震度とは、改良体に作用する外力と、改良体を支持する地盤の抵抗力の最大値とがちょうど釣り合うような水平震度であり、従来の外的安定に関する検討において、滑動・転倒・支持力のいずれかで外的な安定が損なわれた (安全率が1となった) 時点の水平震度に相当する。ここで、水平震度と改良体の残留変位の関係について考察すると、図-3に模式的に示すように、大地震時には水平震度が k_{hcr} 以上には増大しないために頭打ちとなるとともに、改良体の外的安定が損なわれたことにより残留変位が増加するものと考えられる。したがって、改良体に一定値以上の k_{hcr} を与えることで、繰返し荷重による改良体の残留変位を小さく抑えるという設計方針が成立する可能性が考えられる。別報で、これらの仮説について検証を行うとともに、 k_{hcr} を算定するための安定計算モデルについて述べる。さらに、図-3に示すように k_{hcr} という指標を用いることで地震力の頭打ちも考慮できるため、内的安定に関する検討も合理化できる可能性がある。

5. まとめ 格子状地盤改良工法の対策効果に関して、改良体の残留水平変位と基礎地盤条件および改良幅の関係について報告するとともに、レベル2地震動に対する設計方針について述べた。これについて検証した結果を次報で紹介する。

参考文献 1) 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(その1)、第45回地盤工学研究発表会講演集 (投稿中)、2010 2) 中田ら：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 (その2)、第45回地盤工学研究発表会講演集 (投稿中) 2010 3) 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 (その4)、土木学会第65回年次学術講演会講演概要集 (投稿中)、2010、4) 松尾ら：河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル (案)、土木研究所資料、No. 3513、1997

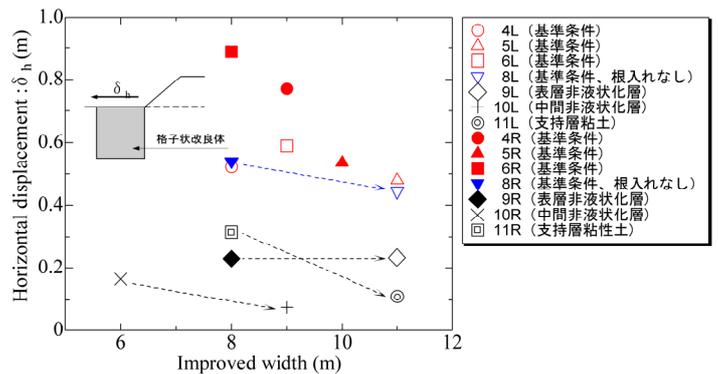


図-2 改良幅と改良体の水平変位の関係

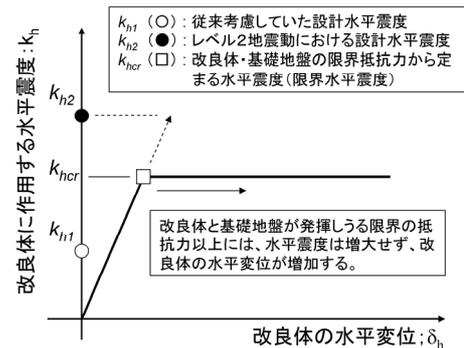


図-3 設計震度と改良体の水平変位の関係