

改良地盤における液状化強度のばらつきに関する実験的考察

九州大学工学部 学生会員○重岡 知之 九州大学大学院 フェロー会員 善 功企
九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸

1. 背景および目的

近年、頻発する大地震により液状化対策の重要性がますます高まっている。液状化対策工法には、浸透固化処理工法などの固化を原理とした工法があるが、液状化対策として固化処理された地盤では、対象地盤の土質の不均質性や薬液の浸透特性¹⁾などの原因により、液状化強度のばらつきが生じていることが確認されている。土質の不均一性に起因する液状化強度のばらつきを防ぐことは、現実的には困難であることから、本文では、液状化強度にばらつきを有する改良地盤の、地震時の挙動の許容性を把握することを目的として、模型地盤を用いて振動台実験を行った。

2. 内容

2.1. 実験概要

本実験で使用した模型土槽を図-1に示す。地盤は4行×5列に分割し、各地盤要素を150mm(高さ)×150mm(幅)×300mm(奥行き)で作製した。各地盤要素を、左の列から順にline1～line5と定義した。ばらつきを有する地盤を表現するために、液状化する要素と液状化しない要素の2つに単純化してモデル化した。液状化する要素では、5号珪砂($D_{50}=0.63$)を使用し、水中落下法により相対密度60%になるように調整した。液状化しない要素では、浸透固化処理を施し、薬液濃度は6%、養生日数は7日とした。改良地盤の作成に用いた薬液は、恒久性の水ガラス(エコシリカI)であり、薬液の初期pHを3とし²⁾、実験時の供試体の一軸圧縮強度は38 kN/m²である。また、土槽の両端にクッションを設置し、波動の鉛直壁からの反射を低減した。振動台の加振は、3Hzの正弦波を10波ずつ100Gal～400Galまで100Gal単位で増加させるステップ载荷で行った。模型土槽には水圧計を設置し、line1～line5では地盤の沈下量を測定した。水圧計の設置位置は、line2とline4の各地盤要素の図心とした。実験ケースを表-1に、各ケースにおける改良パターンを図-2に示す。改良パターンは、乱数を発生させて無作為に決定した。

2.2. 実験結果および考察

図-3に改良率と地表面の平均沈下量の関係を示す。ここで、平均沈下量とは、各入力加速度におけるline1～line5の沈下量の平均である。未改良のCase1は、200Gal加振時で大幅な沈下が発生し、300Gal加振時でさらに沈下が生じた。しかし、400Gal加振時には大きな変化は見られない。これは、300Gal加振時まで大きく沈下し、地盤の密度が上昇したためであると考えられる。改良率40%のCase2では、平均沈下量は未改良地盤と比較すると1/2～2/3程度まで減少し、改良率60%と80%の地盤では殆ど沈下が生じていない。改良率60%と80%の地盤では、平均沈下量は未改良の地盤の1/10～1/8程度まで抑えられており、地盤改良の効果が見られる。このことより、今回の改良パターンに関しては、地盤の60%以上が改良されていれば、地表面の沈下には殆ど影響は無いと考えられる。

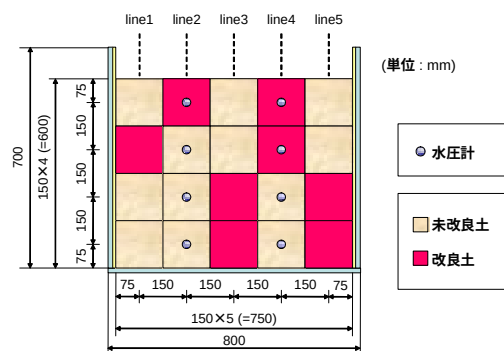


図-1 模型土槽(Case2)

表-1 実験ケース

ケース番号	薬液濃度(%)	改良率(%)
Case1	-	0
Case2	6	40
Case3		60
Case4		80

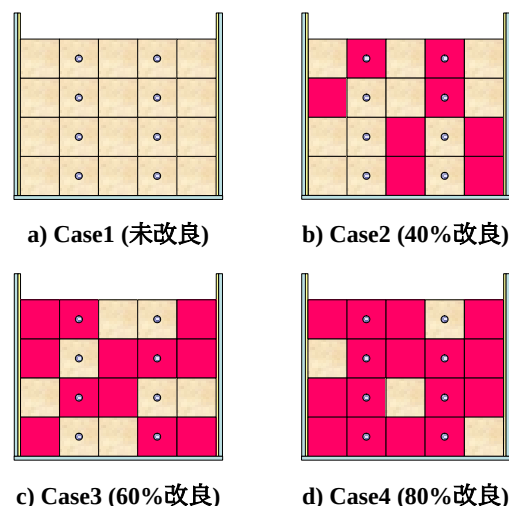


図-2 改良パターン

図-4 に改良率 40%における line2 の過剰間隙水圧比の最大値の深度分布図を示す。なお、深度 7.5cm の改良要素では、過剰間隙水圧比が上昇しないため、便宜上 0 とした。図-4 より、未改良である深度 22.5cm、37.5cm、52.5cm では、過剰間隙水圧比の最大値が上昇している。深度 22.5cm の地点では、200Gal 以上での加振時に過剰間隙水圧比の最大値がほぼ 1 となっており、液状化が発生している。このことより、図-3 における沈下の理由が液状化に起因するものであることが確認される。

改良率 40%の各 line における地盤の沈下量を図-5 に示す。200Gal および 300Gal 加振時に大幅な沈下が生じた。また、図-5 および図-2 の b)より、地表面付近の要素が未改良である line3 と line5 では地盤が大きく沈下する一方で、逆に地表面付近が改良されている line4 での沈下量は、line3 と line5 の 1/2 程度である。さらに、line1 と line2 を比較すると line2 のほうの沈下が小さい。これらのことから、地表面に近い未改良要素が、地表面の沈下に与える影響が大きいといえる。また、400Gal 加振時では line4 の沈下量が line2 と比べて小さいことから、地表面付近の地盤をより深く改良するほうが沈下が小さいといえる。

各ケースにおける 300Gal 加振時の地盤沈下量を図-6 に示す。図-6 および図-2 の b)より、改良率 40%において、line2 と line4 の沈下量は、line1、line3、line5 の沈下量と比較すると、1/3～1/2 程度と小さい。改良率 60%でも、line1、line2、line5 の沈下量は、line3 と line4 の沈下量と比べると 1/10～1/5 程度である。これは、加振時の地盤沈下量には、鉛直方向の改良パターンによる影響が存在することを示している。それに対して、鉛直方向の改良パターンが同じである改良率 40%の line3 と line5 の沈下量を比較すると、それぞれ隣接する line の改良パターンが違うにもかかわらず、line3 で 2.3cm、line5 で 2.4cm とほぼ等しい。改良率 60%の line1 と line5 においても、同様の傾向が見られた。これらのことから、傾斜のない水平な地盤の加振時の沈下量は、鉛直方向の改良パターンによる影響と比べて、水平方向の改良パターンによる影響を受けにくいといえる。

3. まとめ

- (1)改良率 60%と 80%の地盤では、平均沈下量は未改良地盤の 1/10～1/8 程度であり、地盤改良の効果が確認できた。
- (2)地表面付近の地盤をより深く改良するほうが、加振時の地盤沈下量が小さい。
- (3)水平地盤の加振時の沈下量は、鉛直方向の改良パターンによる影響と比較して、水平方向の改良パターンによる影響を受けにくい。

4. 今後の課題

今後は、同一の改良率のもとで改良パターンを変えて実験し、改良パターンと過剰間隙水圧比、地盤沈下量の関係を定量的に把握する所存である。

<参考文献>

- 1)林健太郎ら：溶液型薬液注入工法の浸透および強度特性に関する大型土槽実験，土木学会論文集 No.694/III-57，pp.221-228，2001
- 2)財団法人 沿岸開発技術研究センター：浸透固化処理工法技術マニュアル，2003

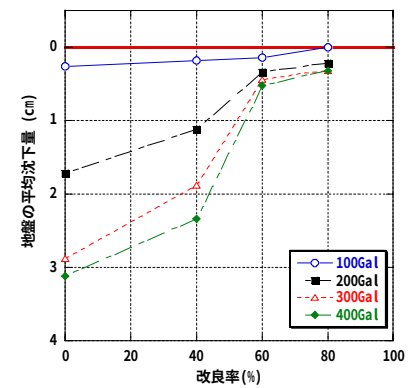


図-3 改良率と平均地盤沈下量の関係

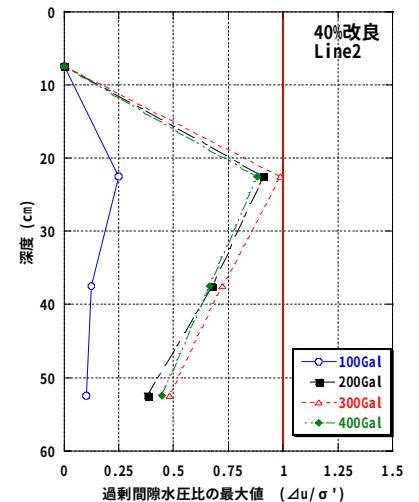


図-4 最大過剰間隙水圧比の深度分布図

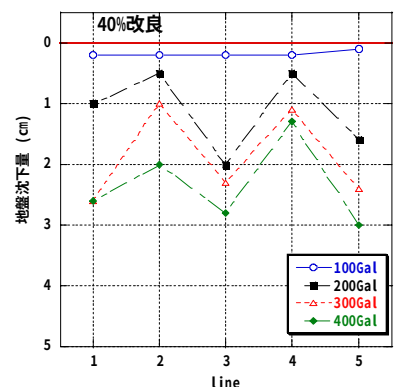


図-5 各 line の地盤沈下量(40%改良)

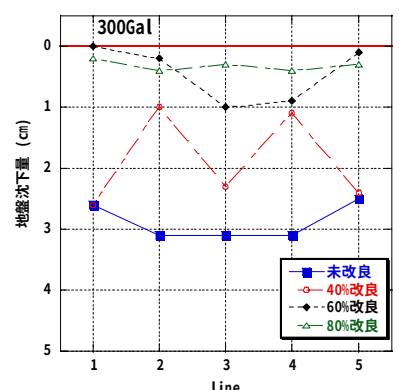


図-6 各ケースの地盤沈下量(300Gal)