

液状化対策地盤の最適改良形状に関する実験的研究

九州大学大学院 学生会員○小林 正和 九州大学大学院 フェロー 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

地盤の液状化対策として、事前混合処理工法や浸透固化処理工法などの固化処理工法が開発されている。従来の液状化対策では、液状化すると判定された地盤の全層を改良することが一般的であり、未改良部を残した部分的な地盤改良は通常行われない。しかし、未改良部を残して部分改良することで、液状化対策費用が削減できるだけでなく、液状化による不同沈下も低減できる可能性がある。

そこで、本文では、地盤に部分改良を施したさいの最適な改良形状の提案を目的として、模型地盤を用いた振動台実験を行った。

2. 実験概要

図-1 に、本実験で用いた模型土槽の断面図を示す。模型地盤は 12 行×15 列に分割し、各地盤要素を 50mm(高さ)×50mm(幅)×300mm(奥行)で作製した。地盤を、液状化する要素(未改良部)と液状化しない要素(改良部)の 2 つにモデル化した。未改良部は 5 号硅砂を使用し、水中落下法により相対密度 30%に調整した。改良部は、アルミ製の箱に薬液(エコシリカ I)を入れた後、5 号硅砂を水中落下させて蓋で密封した剛体模型を配列させて作製した。なお、比重は未改良部とほぼ等しい。

表-1 に実験条件を、図-2 に改良形状をそれぞれ示す。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載荷で行った。模型土槽には加速度計と間隙水圧計を図-2 のように設置し、地表面の各要素では沈下量を測定した。なお、水平方向および鉛直方向に、それぞれ x 座標および z 座標をとる。

3. 実験結果および考察

本文では、岩崎らによって提案された液状化指数¹⁾を参考に、新しい指標として液状化指標 I_L を導入し、各改良形状における液状化対策効果を評価した。 I_L 値は液状化安全率 F_L 値の深度分布から式(1)によって算出した。

$$I_L = \int (1 - F_L) \cdot w(z) dz \quad (1)$$

ここで、 z は深度(m)、 $w(z)$ は深さに対する重み関数であり、液状化の程度が激しいと考えられる地盤表層に重みを与える。したがって、地盤表層ほど I_L 値は大きい。なお、改良部においては $(1 - F_L) = 0$ とした。また、 F_L 値は、液状化強度 R および作用荷重 L を用いて、式(2)によって求めた。

$$F_L = R/L \quad (2)$$

さらに、液状化強度 R および作用荷重 L は、式(3)および式(4)によって計算した。

$$R = 0.082 \sqrt{N/(\sigma'_v + 0.7)} - 0.05 \quad (3)$$

$$L = (\alpha_{\text{入力}}/980)(\sigma'_v/\sigma'_v) \cdot \gamma_d \quad (4)$$

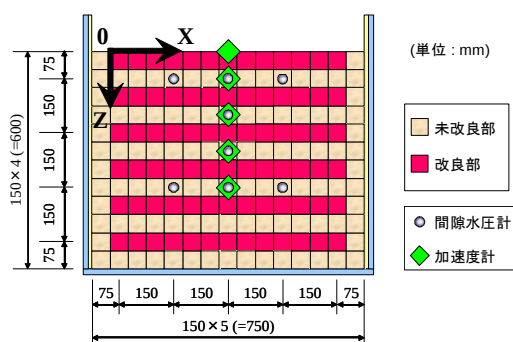


図-1 模型土槽の断面図

表-1 実験条件

未改良部	5号硅砂
改良部	剛体模型(5号硅砂+エコシリカ)
入力波	3Hzの正弦波
入力加速度 Gal	100, 200, 300, 400
相対密度 %	30

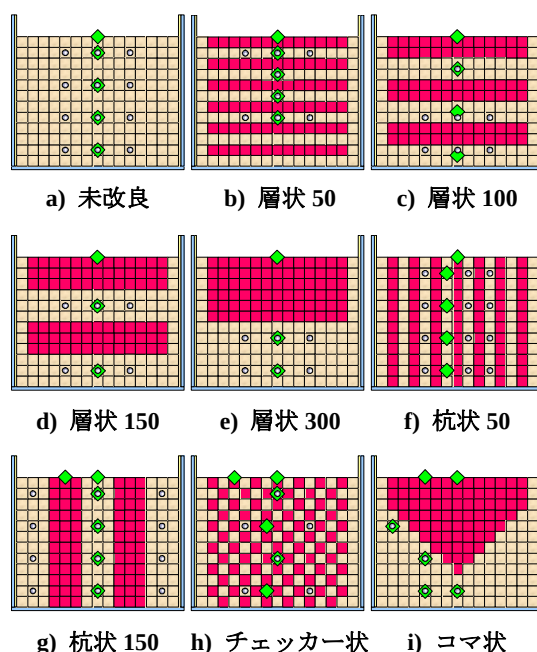


図-2 改良形状

式(3)における N 値の算出には、Meyerhof の関係式から求められる式(5)を用いた。

$$D_r = 21\sqrt{N/(\sigma'_v/98 + 0.7)} \quad (5)$$

また、式(4)において、地盤の変形性に起因した深さ方向の低減係数 γ_d は 1.0 とした。

図-3 に、全ての改良地盤における、最大過剰間隙水圧比の平均値と平均鉛直ひずみの関係を示す。各改良地盤において、100Gal～400Gal までの 4 点ずつをプロットした。未改良地盤に着目すると、過剰間隙水圧比の増加とともに、鉛直ひずみも増加し、200Gal 加振時に、過剰間隙水圧比は 0.8 を超え、液状化に起因して鉛直ひずみは大きく増加した。その他の改良地盤についても同様の傾向があることから、液状化に起因した鉛直ひずみの特性は、過剰間隙水圧の発現特性と密接に関係すると考えられる。そこで本文では、図-4 に示す、未改良地盤における最大過剰間隙水圧比の深度分布を、深さに対する重み関数 $w(z)$ として用いた。この $w(z)$ を式(1)に適用し、各水平位置(x)において算出した I_L 値の総和を、その改良地盤における I_L 値と定義した。

図-5 に、 I_L 値と最大過剰間隙水圧比の平均値の関係を示す。横軸には、各改良地盤の I_L 値を未改良地盤のそれで除すことで正規化した値を用いた。図より、正規化した I_L 値の増加にともない、過剰間隙水圧比は増加し、その程度は入力加速度が大きいほど、概ね大きくなった。

図-6 に、 I_L 値と平均鉛直ひずみの関係を示す。過剰間隙水圧比と同様、正規化した I_L 値の増加にともない、平均鉛直ひずみは増加し、その程度は入力加速度が大きいほど、大きくなる結果となった。以上より、液状化指標 I_L 値が小さくなるように地盤改良を行うことが、効果的な液状化対策につながると考えられる。すなわち、液状化指標 I_L 値が大きい地盤表層を、重点的に改良することの妥当性が示唆されたといえる。ただし、本文では、全ての改良地盤に対し、未改良地盤の間隙水圧分布を重み関数として適用した。間隙水圧分布は各改良地盤で異なり、その値は未改良地盤より低減すると考えられる。よって、未改良地盤の間隙水圧分布を適用したことで、 I_L 値を若干大きく計算した可能性があるため、重み関数をさらに改良することが今後の課題として挙げられる。

4. 結論

本文では、様々な形状に部分改良した模型地盤を対象に振動台実験を行い、深さ方向の重み関数を用いて求められる液状化指標 I_L 値によって、液状化対策効果を評価した。以下に得られた結論を示す。

- (1) 液状化指標 I_L 値の増加にともない、過剰間隙水圧および鉛直ひずみは増加した。
- (2) 液状化指標 I_L 値が大きい地盤表層を、重点的に改良することが液状化対策として効果的であると考えられる。

<参考文献> 岩崎敏男ら：地震時地盤液状化の程度の予測について，地盤工学会，土と基礎，Vol.28，No.4，pp.23-29，1980。

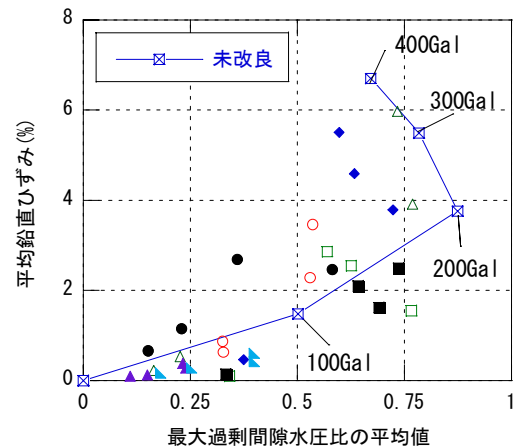


図-3 最大過剰間隙水圧比と鉛直ひずみの関係

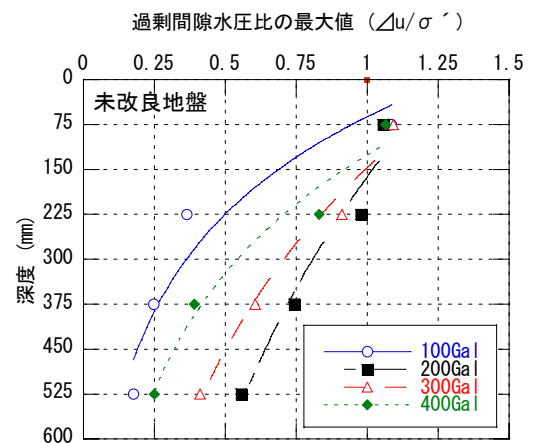


図-4 最大過剰間隙水圧比の深度分布(未改良)

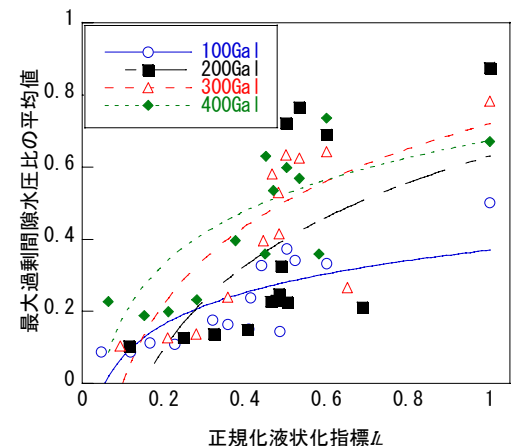


図-5 I_L 値と最大過剰間隙水圧比の関係

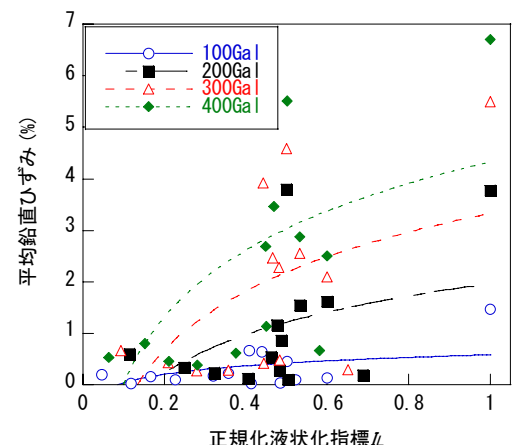


図-6 I_L 値と鉛直ひずみの関係