強度のばらつきを有する改良地盤の地震時沈下予測に関する一提案

九州大学大学院 学生会員 重岡 知之 フェロー会員 善功企 正会員 陳 光斉 正会員 笠間 清伸

<u>1. 背景および目的</u>

液状化対策工法には各種の固化処理工法があるが、液状化対策として固 化処理された改良地盤では、対象地盤の土質の不均質性や、固化材の混合 の不均一性、薬液の浸透特性¹⁾など種々の原因により、液状化強度の空間 的なばらつきが生じることが報告されている。土質の不均質性に起因する 強度のばらつきを防ぐことは現実的には困難であり、強度のばらついた改 良地盤の地震時沈下挙動や変位特性は、未解明な点が多い。

そこで、本文では、模型地盤を用いて振動台実験を行い、強度のばらつ いた改良地盤の地震時沈下挙動および変位特性を把握し、鉛直ひずみの分 布に着目した、地震時沈下量の簡易予測式を提案した。

<u>2. 内容</u>

<u>2.1. 実験概要</u>

本実験で使用した模型土槽を図-1 に示す。強度のばらつきを有する改 良地盤を表現するために、地盤をメッシュ状に分割し、液状化しやすい要 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 部では、5号硅砂を使用し、水中落下により相対密度60%に調整した。改 良部は、アルミパイプに砂と薬液を詰めたモデル改良体とした。実験ケー スを表-1に示す。改良率(地盤全体積に対する改良部の体積の比率)は40%、 60%、80%とした。メッシュ幅は、50mm、75mm、150mm とし、ケース 番号の A、B、C はそれぞれ 50 mm、75 mm、150mm のメッシュを意味す る。改良パターンは、乱数を発生させて無作為に決定し、各ケースでパタ ーンを変えて3回行った。改良されたケースは、合計9×3=27ケースとな る。図-2に、改良パターンの一例を示す。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、図-1の位置に間隙水圧計およびマーカーを設置し、デ ジタルカメラによる撮影と画像解析を行った。メッシュの中心線上では、 地表面の沈下量を測定した。なお、以下では、模型地盤の地表面の左端を 原点とし、図-1のように x 座標と z 座標をとるものとする。

2.2. 実験結果の考察および沈下量予測式の提案

図-3 に、Case2-A(40%改良)および Case3-A(60%改良)の合計 6 ケースを用いた、300Gal 加振後の鉛直変位の深度分布図を 示す。図-3 によると、マーカーにより観察された鉛直変位は、 同一深度でばらつきはあるものの、鉛直変位の分布は、地表 面付近で大きく、深くなるにつれて曲線的に小さくなる。

図-4 に、Case1(未改良)の水平座標 x=525mm における、過剰 間隙水圧比の最大値の深度分布図を示す。図-4 より、300Gal 加振時では、深度 225mm の地点まで液状化していることが確 認できる。この分布形状は、図-3 に示す鉛直変位の深度分布 の傾向と類似しており、これらのことより、今回の実験条件 においては、地震時の平均的な鉛直ひずみ分布を、曲線で近 似してよいと考えられる。



図-1 模型土槽

表-1 実験ケース

Case	改良率(%)	メッシュ幅(mm)
1	-	-
2-A		50
2-B	40	75
2-C		150
3-A		50
3-B	60	75
3-C		150
4-A		50
4-B	80	75
4-C		150
		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
a) Case2-A(40%) b) Case2-B(40%) c) Case2-C(40%		
		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0



g) Case4-A(80%) h) Case4-B(80%) i) Case4-C(80%)

図-2 改良パターンの一例



III-102

液状化危険度u

*exp(-2z/300)

以上より、強度のばらついた改良地盤において、未改良部の鉛直ひずみを鉛直方 向に積分することで、地震時沈下量が求められると考えられる。そこで、まず、地 震時の鉛直ひずみ分布を指数関数で仮定したものが、次式である。

$$\varepsilon_{z}(z) = \varepsilon_{z0} \cdot \exp(-\frac{2z}{L_{z}}) \tag{1}$$

上式で、₂₀は地表面の鉛直ひずみ(%)、L_zは鉛直方向の自己相関距離(mm)である。 式(1)における L_zは距離の次元を持ち、任意の 2 点間の相関性を特徴づけるパラメ ータである。式(1)を用いて、予測沈下量 S は次式で表せる。

$$S = \int_0^D u \cdot \mathcal{E}_z(z) dz \tag{2}$$

ここで、u は各要素の液状化危険度(未改良部=1,改良部=0 とする)であり、これは 改良部の鉛直ひずみ量を0とするためのパラメータである。D は深度 (mm)であり、 D=600mm となる。予測沈下量 S の求め方のイメージを図-5 に示す。

式(2)を用いて、典型的な沈下が生じた、300Gal 加振後の沈下量について、全 27 ケースの試算を行った。そのさい、図-3、図-4 の傾向とビデオ観察より、一律に L_z=300mm とした。また、地表面の鉛直ひずみ ₂₀は、Case1(未改良)の 300Gal 加 振後の沈下量の平均 28.8mm を、式(2)に代入して逆算した ₂₀=19.5%を用いた。

図-6 に、式(2)により計算した、沈下量の予測値 S と実測値の関係を示す。図-6 より、実測値と予測値には相関が認められるが、ばらつきは大きい。これは、式(2) では、深度方向の改良パターンしか考慮されないことが原因であると考えられる。 観察された地盤の沈下現象は、ある地点が独立に沈下するのではなく、近傍の地盤 と相互に作用しながら沈下するため、近傍の沈下量の影響も考慮すべきである。

以上のことより、式(2)により求めた任意の地点の予測沈下量 S を、周辺地盤の沈 下量に水平方向の重みを付けて平均化【加重平均】することを考えた。加重平均の イメージを図-7 に示す。重み関数は、実地盤においても、近傍の影響が特に大きい と考え、次式に示す指数関数を用いた。

$$\omega(x) = \exp(-\frac{2|x - x_0|}{L_x})$$
(3)

上式で、 x_0 は任意の地点の水平座標(mm)、 L_x は水平方向の自己相関距離(mm)である。分子を $|x - x_0|$ としたのは、図-7のように $x=x_0$ について対称に重みを付けるためである。式(2)および式(3)を用いて、加重平均した予測沈下量 S*は次式となる。

$$S* = \int_{x_0 - L_x}^{x_0 + L_x} S \cdot \omega(x) dx \ / \ \int_{x_0 - L_x}^{x_0 + L_x} \omega(x) dx \tag{4}$$

上式で、積分区間は、水平座標 x_0 に、正負の方向に自己相関距離 L_x を加えた x_0 - $L_x \sim x_0 + L_x$ とした。そのさい、今回の実験条件とビデオ観察より、一律に L_x =150mm とした。図-7 に示すのは、 x_0 =525mm の地点における一例である。

式(4)を用いて、300Gal 加振後の沈下量について、全 27 ケースの試算を行った。 図-8 に、式(4)を用いて計算した、沈下量の予測値 S*と実測値の関係を示す。図-8

より、補正後の予測値のほうが、実測値との関係が良好であり、比較的精度の高い予測ができている。しかしながら、 沈下量を実測値よりも大きく計算する傾向がある。その要因として、改良地盤に混在する未改良部の鉛直ひずみ分布は、 今回、Case1(未改良)から想定された、 ₂₀=19.5%で与えられる分布よりも小さいと推察される。鉛直ひずみ分布の決定 手法に関しては、多方面からの検討が必要であるが、今後の研究により、更に精度の高い予測式の提案が可能である。 3. まとめ

(1)鉛直変位の深度分布は、地表面付近で大きく、深くなるにつれて曲線的に小さくなる。(2)鉛直ひずみの分布に着目 した、地震時沈下量の簡易予測式を提案した。<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/ -57、pp.221-228、2001





図-7 加重平均イメージ(x₀=525mm)





-562-