

1. はじめに 著者らは、密度増大工法の液状化抑制効果について有効応力解析手法を用いて検討している。本報文では、有効応力解析において、深度方向の液状化の程度を考慮できる評価指標を提案し、深度方向に強度の異なる地盤を想定した三次元有効応力解析を行い、評価指標の有効性を検討した。

2. 検討条件 解析の対象とした地盤を図1に示す。埋土の細粒分含有率  $F_c=10\%$  とし、静止土圧係数  $K_0=0.5$  とした。埋土上層と埋土下層の強度を変えた4パターンの地盤について、それぞれ未改良と改良率10%の合計8ケースの解析を行った。改良後の  $N_1$  値の設定は、SCPの設計法のうち実績に基づく簡易図表設計法（方法A）<sup>2)</sup>に従った。解析ケースと地盤の  $N_1$  値を表1に示す。入力地震動は兵庫県南部地震におけるポートアイランドGL-32mでの観測波NS成分とした。

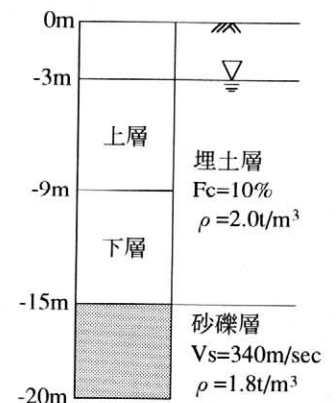


図1 地盤モデル

解析は、繰返し弾塑性モデル<sup>3)</sup>を用いたBiotの二層混合体理論に基づく三次元有効応力解析コード LIQCA<sup>4)</sup>によった。解析モデルは、平面的に無限に改良された地盤

表1 解析ケースと  $N_1$  値

| 解析ケース    |        |      | Case1   | Case2   | Case3   | Case4   |
|----------|--------|------|---------|---------|---------|---------|
| 埋土層の強度設定 |        |      | 上：弱,下：弱 | 上：弱,下：強 | 上：強,下：弱 | 上：強,下：強 |
| $N_1$ 値  | 未改良    | 埋土上層 | 8       | 8       | 16      | 16      |
|          |        | 埋土下層 |         | 16      | 8       |         |
|          | 改良率10% | 埋土上層 | 17      | 17      | 26      | 26      |
|          |        | 埋土下層 |         | 26      | 17      |         |

の一部を対称性を考慮して取り出し、底面は固定、加振直行方向面の節点については奥行き方向のみ固定、側面については等変位境界とした。地下水位面は排水境界とした。解析メッシュを図2に示す。埋土は繰返し弾塑性モデルとし、液状化強度は細粒分を考慮した  $N_a$  値より設定し<sup>5)</sup>、その液状化強度をフィッティングするように弾塑性パラメーターを設定した。砂礫は弾性モデルとし、解析には初期弾性係数の1/2の値を用いた。

3. 検討結果および考察 解析結果として、全ケースの地表面杭間中心の節点aにおける水平方向最大相対変位を表2に示す。また、改良率10%の各ケースの最大相対変位発生時の節点a列の水平方向相対変位の深度方向分布図を図3に示す。

表2より、未改良の各ケースでは地盤条件によらず最大相対変位はほぼ一定であり、改良率10%の各ケースにおいてもCase1~Case3については、未改良の場合と比較して変位は抑えられるものの、地盤条件による変位の違いは見られない。また、Case4の相対変位は他のケースと比較して著しく抑えられている。図3の相対変位の深度方向分布図より

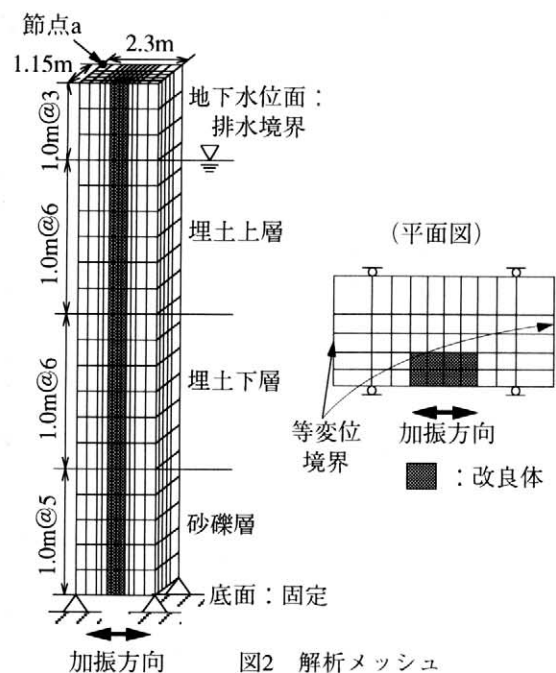


図2 解析メッシュ

表2 水平方向最大相対変位

|        | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 未改良    | 0.28  | 0.31  | 0.31  | 0.29  |
| 改良率10% | 0.26  | 0.22  | 0.24  | 0.08  |

単位 (m)

キーワード：有効応力解析、地盤改良、締固め杭、液状化

連絡先：〒163-0606 新宿区西新宿1-25-1 新宿センタービル TEL 03-5381-5296 FAX 03-3345-1914

り、最大相対変位がほぼ一定であった Case1～Case3 を比較すると、その深度方向の分布が著しく異なることがわかる。Case1 では埋土全層で、Case2 では埋土上層で、Case3 では埋土下層で変位が発生しており、それぞれ強度弱として設定した部分において液状化が発生し、変位が大きくなっている。

#### 4. 液状化の程度を評価する指標

3.で示したように、解析結果を評価する場合、

地表面の最大相対変位で評価すると、相対変位が等しいケースについても、その深度方向の液状化の程度はさまざまであり、一概にどちらのケースが安全かという評価は不可能である。そこで、著者らは、地盤の地震応答解析結果より深度方向の液状化程度の分布について評価できる指標として、 $P_L$  値と同様の考え方より<sup>6)</sup>、式(1)で計算される値 ( $E_L$  値とよぶ) を提案する。

$$E_L = \frac{\int_0^L \frac{du(z)}{dz} W(z) dz}{\int_0^L W(z) dz} \quad (1)$$

ここで、 $L$ : 検討を行う深度 (m)、 $u(z)$ : 水平方向相対変位 (m)、 $z$ : 深度 (m)、 $W(z)$ : 重み関数。

本検討では、 $u(z)$  は節点 a 列の水平方向相対変位とし、 $W(z)$  は  $P_L$  値と同様に浅いほど影響が大きくなるような一次関数を用

い、層厚で規準化した (式(2))。  $L$  はモデル全体を考え 20m とした。

$$W(z) = 1 - \frac{z}{L} \quad (2)$$

改良率 10% の各ケースについて、 $E_L$  値の時刻歴を図 4 に示す。( ) の数値は最大値である。 $E_L$  値は重み付平均ひずみであり、全層においてひずみが一定の場合、 $E_L$  値はその一定値と一致する。地表面の節点の最大相対変位の比較ではほぼ等しかった Case2 と Case3 について、 $E_L$  値の最大値を比較すると Case3 は Case2 の 2/3 程度となった。これは Case2 では上層が、Case3 では下層が液状化しているためであり、このように  $E_L$  値を用いて評価することにより、深度方向の液状化の程度の違いが考慮できる。Case4 の最大値は 0.0038 と 1 オーダー小さく液状化が抑えられていることがわかる。

5. おわりに 有効応力解析において、地盤の地震応答解析結果の評価指標として提案した  $E_L$  値について、深度方向に強度の異なる地盤を想定した三次元有効応力解析を行い検討した結果、 $E_L$  値により深度方向の液状化程度を考慮できることがわかった。今後は具体的な構造物の種類を想定し、構造物の液状化による損傷程度と  $E_L$  値の関係を、重み関数や積分区間を変更するなどして検討する予定である。

参考文献 1) 古池ら: 三次元有効応力解析による密度増大工法の液状化抑制効果にする一検討—改良体の強度、杭間地盤の強度分布、静止土圧係数の影響—、第 53 回地盤工学研究発表会 (投稿中) 2) 地盤工学会: 液状化対策の調査・設計から施工まで、p.190, 1988. 3) Tateishi, A. et al.: A cyclic elasto-plastic model for sand and its application under various stress condition, 1st. Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, IS-TOKYO-95, pp.399-404, 1995. 4) Oka, F. et al.: FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-pastic model, Applied Science Research, 52, pp.209-245, 1994. 5) Yoshimi, Y. et al.: Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed sample, Soils and foundations, Vol. 29, No. 1, pp.93-104, 1989. 6) 岩崎ら: 地震時地盤液状化の程度予測について、土と基礎、1980.4.

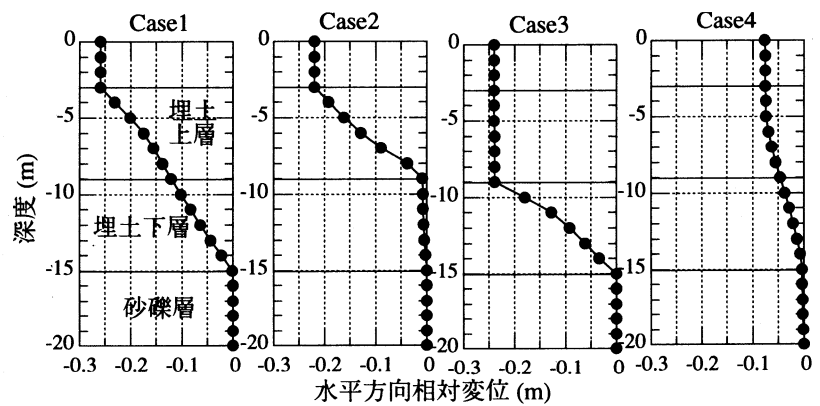


図3 水平方向相対変位の深度方向分布図 (改良率10%のケース)

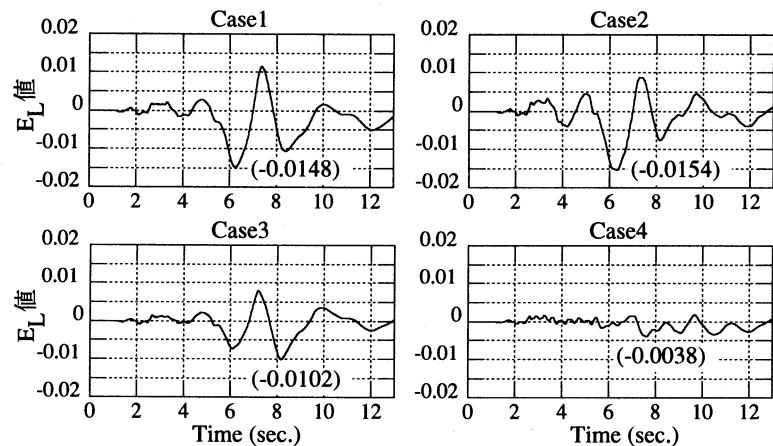


図4  $E_L$  値の時刻歴 (改良率10%のケース)