

名古屋工業大学 学生員 佐藤友美、桑原直範  
 名古屋工業大学 正会員 前田健一

1 はじめに

地震時の地盤の液状化対策における有益な工法の一つとして砂の締固め杭工法（以下 SCP 工法<sup>1)</sup>）がある。最近の事例解析や計測結果から鑑みると現行の液状化対策ついて以下のような問題があると考えられる。

- 1) 現行の液状化対策では、液状化すると予測・判定された箇所を対象することで液状化しない状態にするという両極端な考えが基本である。しかし、ある程度被害を許容するなどの耐震性能設計が必要である<sup>2), 3)</sup>。
- 2) 改良後の地盤は原地盤部分と SCP 打設部分からなる不均質な複合地盤である。しかし、改良地盤の評価は改良前後の N 値による点的な検討が主体であり、改良後の複合地盤全体としての動的挙動が評価されていない<sup>1)</sup>。耐震性能設計には、改良地盤の巨視的動的特性の把握が不可欠である。

- 3) SCP 打設により周辺地盤の側方土圧増加や応力緩和後の過圧密履歴など応力履歴による地震応答特性の改善および液状化強度の増加が見込まれるが<sup>4), 5)</sup>、設計上はその効果が考慮されていない（図-1 参照）。

本報告では、均質化法を用いて SCP 改良地盤全体の巨視的地震応答特性に及ぼす置換率、SCP 周辺地盤の側方土圧変化特性の影響について調べた。

2. 均質化法を用いた改良地盤の地震応答解析方法

本研究では、SCP の打設に伴って、図-1 に示すように SCP の周辺には密度増加だけでなく土圧が増加し動的特性が向上した領域が同心円状（複合杭状）に生じていると考える。したがって、改良地盤を複合杭が原地盤に介在した成層不均質地盤として取り扱う。図-2 に示すように、改良地盤を適当な成層に分割し、各層において複合杭と密度増加した原地盤部分の相互作用を取り入れた均質化法<sup>6)</sup>を用いる。改良地盤を各々が均質な多層成層地盤とみなし<sup>7)</sup>、多質点系に置き換えて応答解析を行う。本報告では、豊浦砂  $Dr=50\%$  ( $e_0=0.77$ ) の 20m の仮想水平体積地盤を想定し

(10 層に分割)、SCP 部分を  $e_0=0.60$ 、基盤波速度を 365m/sec. (N 値=50 相当) とした。現行法通り、置換率  $a_s$  分だけ周辺地盤の密度増加させるが、その際地表面の盛り上がり<sup>4)</sup>を考慮する。SCP 打設 (SCP 半径  $r_{scp}$ ) に伴い水平土圧に変化が生じる土圧再配分領域  $r_e$  とし (図 1)、水平土圧増加率を  $K_h/K_{h0}$  ( $K_{h0}$ ,  $K_h$  はそれぞれ、改良前・後の静止土圧係数。  $K_{h0}=0.5$ ) とする。ここで  $K_h/K_{h0}=1$  または  $r_e/r_{scp}=1$  の場合には打設に伴い水平土圧が変化しないことを意味する。改良地盤中の応力ひずみ関係には修正 R-O モデルを用い、計算ステップ毎に更新されるせん断剛性について均質化を適用することで非線形応答解析が可能となる。

3. 解析結果および考察

まず、線形解析結果について示す。図-3 は改良地盤の応答特性に及ぼす置換率  $a_s$  の影響を示す。改良率の増加に伴い、基盤入力  $A_B$  に対する地表面応答  $A_1$  の増幅率  $A_1/A_B$  は低下し、固有周波数も高くなり、十分な改良効果がみられる。図-4 はそれぞれ  $a_s=30\%$  において打設に伴う水平土圧増加を考慮した場合について示している。いずれの場合にも土圧増加に伴い改良地盤全体の耐震性が向上している。さらに詳しく調べるために、図-5、6 はそれぞれ、改良による地盤の応答低減率  $r_r$  ( $=$  (改良地盤の最大応答) / (未改良地盤の最大応答)) と置換率  $a_s$

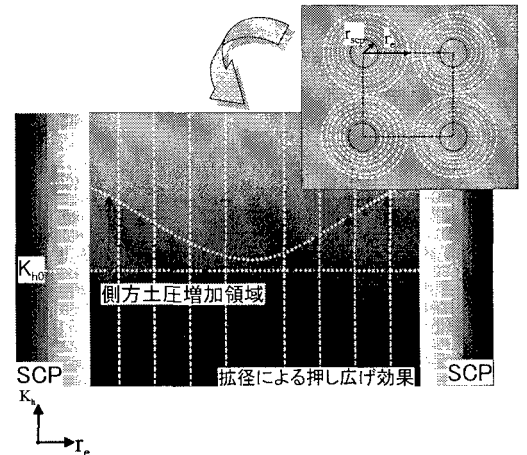


図-1 締固め杭と周辺地盤の改良効果

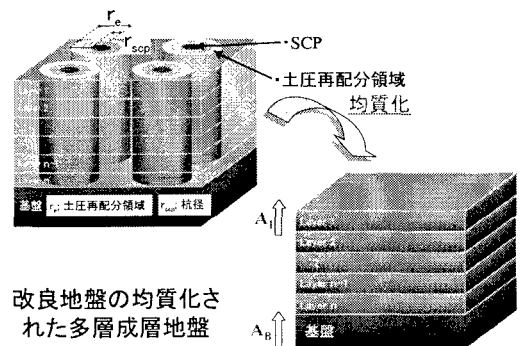


図-2 不均質な改良地盤と均質化による水平多層地盤

について土圧再配分領域  $r_e/r_{SCP}$ 、水平土圧増加率  $K_h/K_{h0}$  との関係でまとめている。例えば図-6 の置換率  $a_s=30\%$  においては、水平土圧増加を考慮しない場合 ( $K_h/K_{h0}=1$ )、低減率  $r_r=0.4$  である。しかし、土圧増加を考慮した  $K_h/K_{h0}=2.5$  の場合には、半分の低置換率  $a_s=15\%$  であっても同程度の効果が期待できる。次に、非線形解析によって得られた液状化安全率  $F_L$  の深度分布を図-7 に示す。図中には、未改良地盤、原地盤の密度増加がない場合 (SCP が埋め込まれた場合)、密度増加は考慮するが土圧増加を考慮しない場合、両方を考慮する場がそれぞれ示されており、順に液状化安全率  $F_L$  が高くなっている。土圧増加を考慮することで最大 1.5 倍程度の  $F_L$  の増加がみられる。

4. おわりに 液状化対策地盤全体の応答特性と打設による応力履歴を考慮することで現行法に比べかなり経済的な耐震性能設計が可能になると考えられる。今後、改良前後の改良地盤において貫入試験、PS 検層、常時微動観測などによる動的特性の把握や改良施工過程を考慮したの地盤内の密度増加・応力履歴の解析が必要である。

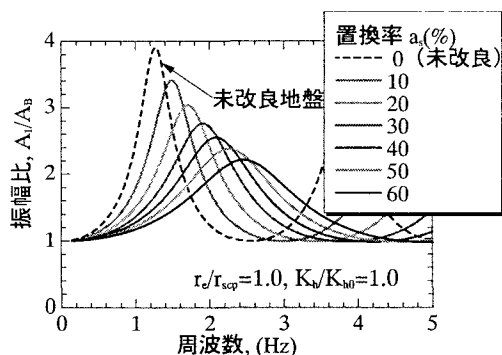


図-3 改良地盤の地震応答特性に及ぼす改良率  $a_s$  の影響 (水平土圧増加考慮無し:  $r_e/r_{SCP}=1, K_h/K_{h0}=1.0$ )

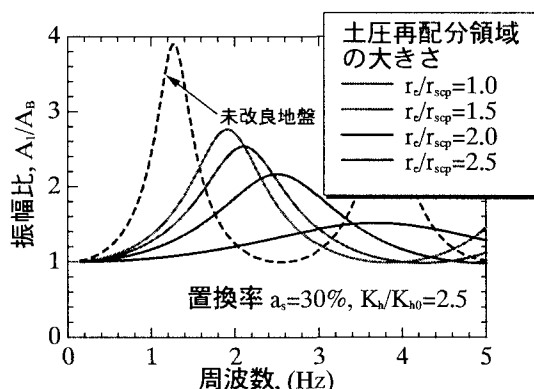


図-4 改良地盤の地震応答特性に及ぼす水平土圧増加領域の大きさ  $r_e/r_{SCP}$  の影響 (置換率  $a_s=30\%$ ,  $K_h/K_{h0}=2.5$ )

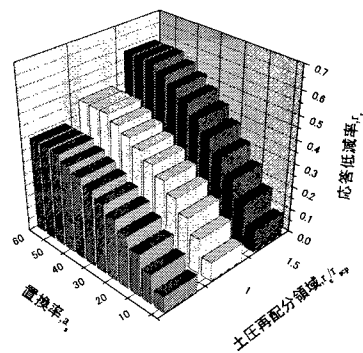


図-5 改良地盤の応答低減率  $r_r$  に及ぼす置換率  $a_s$  と水平土圧増加領域  $r_e/r_{SCP}$  の影響 ( $K_h/K_{h0}=2.5$ )

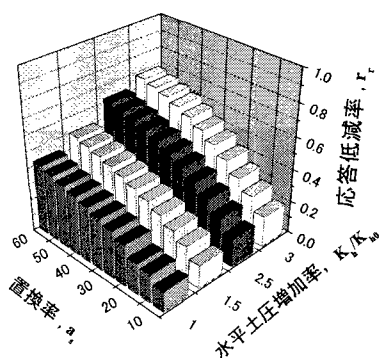


図-6 改良地盤の応答低減率  $r_r$  に及ぼす置換率  $a_s$  と水平土圧増加率  $K_h/K_{h0}$  の影響 ( $r_e/r_{SCP}=2.0$ )

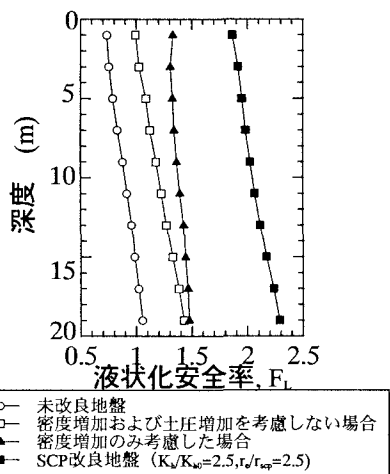


図-7 対策効果の異なる地盤の液状化安全率  $F_L$  深度分布

参考文献:

1)地盤工学会: 液状化対策の調査・設計から施工まで, pp.175-200, 1998. 2)Yasuda, S., Ishihara, K., Harada, K. and Shinkawa, N.: Effect of Soil Improvement on Ground Subsidence due to Liquefaction, Soils and Foundations, Special Issue, pp.99-107, 1996. 3)財団法人沿岸開発技術センター: 埋立地の液状化対策ハンドブック (改訂版), PP.256-260, 1997. 4)山本・原田・野津: 締固め砂杭工法を用いた緩い砂質地盤の液状化対策の新しい設計方法, 土と基礎, No.11, pp.17-20, 2000. 5)木村・奥村・三沢・川鍋: コンパクションパイル打設地盤の  $K_0$  値について, 第 21 回地盤工学研究発表会, pp.1863-1864, 1986. 6) Nemat-Nasser, S. and Hori, M.: Micromechanics - Overall Properties of Heterogeneous Solids, Elsevier, 1993. 7) 桑原・前田・佐藤: 第 13 回地盤工学シンポジウム論文集 (地盤の防災), 2001, pp.1-6.