

締固めによる改良地盤の液状化強度の評価指標について

不動建設株式会社 正会員 山本 実 原田 健二
 同上 正会員 新川 直利 櫛原 信二

1. はじめに

代表的な液状化対策工法であるサンドコンパクションパイル工法の締固め効果については、過去の地震による被害事例でその有効性が数多く確認されている。筆者らは、締固めによる改良地盤が想定以上の外力を受けても被害が少なかった事例に対する要因や、その有効性に関する評価について研究を重ねてきた¹⁾。

本報では、1995年兵庫県南部地震による被害事例を基に実施された統計的な分析結果を用いて、締固めによる改良地盤の液状化強度を定量的に評価する指標について検討する。

2. 兵庫県南部地震における被害事例の分析

松尾ら²⁾³⁾は兵庫県南部地震の際にポートアイランド1期・六甲アイランド埋立地盤を対象として得られた構造物の相対沈下量と無処理部及び締固め改良部の地盤状況を基に、締固めによる地盤改良の有無に応じてゾーン分けし、道路橋示方書に準拠した液状化安全率 F_L 、液状化指数 P_L 等について統計的な分析を実施した。図1~3は、各ゾーン毎の平均 F_L 、平均 P_L 、 $F_L < 1.0$ となる比率 P と相対沈下量 S (cm) の関係を示したもので、無処理地盤の分布を延長して見ると、沈下が生じない限界としては、概ね $F_L > 1.0$ 、 $P_L < 5$ 、 $P < 40\%$ であると考えられる。これに対して、締固め改良後の杭間 N 値から求めた平均 F_L 、平均 P_L 、 P は、無処理部に比べてその分布が不連続であり、バラツキも大きいことがわかる。この分析結果は、改良後の杭間 N 値で評価する現行の設計法では、締固めによる改良地盤全体の平均的な液状化強度を過小評価している可能性があることを示唆している。

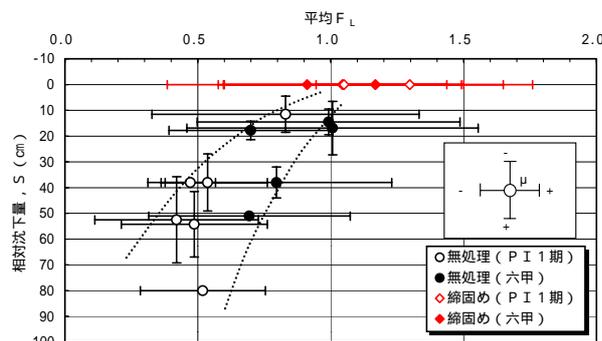


図1 平均 F_L と相対沈下量の関係

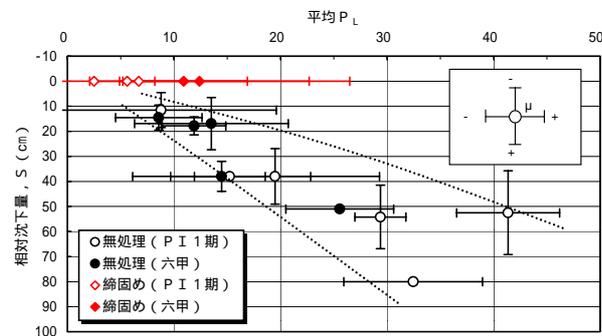


図2 平均 P_L と相対沈下量の関係

3. 締固めによる改良地盤の液状化強度の評価

原田ら⁴⁾は、締固めによる改良地盤の液状化強度が、同じ N 値を有する自然堆積地盤のそれに比べて高い傾向にあることを指摘している。さらに、締固めによる改良地盤全体で評価した場合の複合地盤効果などの要因を考慮すると、締固めによる改良地盤では以下に示すような特性が複合的に関与していると考えられる。

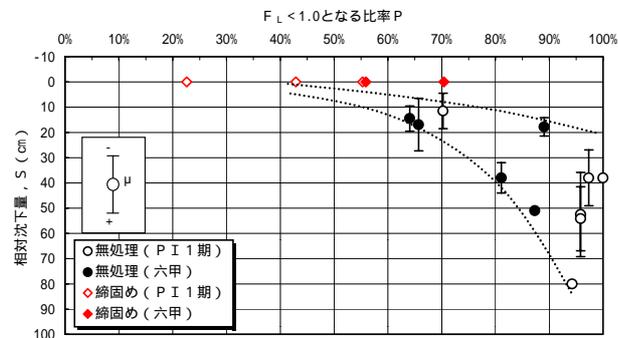


図3 $F_L < 1.0$ となる比率 P と相対沈下量の関係

締固めによる改良地盤，液状化強度，沈下，静止土圧係数，複合地盤

不動建設株式会社 〒110-0016 東京都台東区台東 1-2-1 TEL (03)3837-6034 FAX (03)3837-6158

- a) 地盤の密度増加 (C_1)
- b) 水平有効応力の増加（静止土圧係数 K_0 の増加）(C_2)
- c) 地盤全体の剛性増大（複合地盤効果）(C_3)
- d) 繰返しせん断履歴による微視構造の変化 (C_4)
- e) 砂杭の排水効果 (C_5)
- f) 飽和度の低下 (C_6)

したがって、a) 地盤の密度増加 (C_1) が杭間 N 値の増加のみで評価されているものとする、締固めによる改良地盤全体の液化化強度は下式で評価できる。

$$R_{L(改良地盤全体)} = C \cdot R_{L(改良後杭間)}$$

$$= C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot R_{L(改良後杭間)} \dots (1)$$

ここに、 $C, C_2 \sim C_6$ ：液化化強度の割増係数

4. 液化化強度の割増係数

(1) 式に示される液化化強度の割増係数 C をパラメータとして、締固めによる改良地盤の平均 F_L 、平均 P_L 、 $F_L < 1.0$ となる比率 P で整理したものを図4～6に示す。同図より、前述の沈下が生じなかった限界と推定される $F_L > 1.0, P_L < 5, P < 40\%$ となる液化化強度の割増係数は、総合的に判断して概ね $C = 1.5 \sim 2.0$ であると考えられる。すなわち、締固めによる改良地盤全体の平均的な液化化強度は、杭間 N 値から求まる液化化強度の1.5～2.0倍の強度を有していることになる。なお、同図には杭間 N 値を用いて文献4)で示されたb)水平有効応力の増加（静止土圧係数 K_0 の増加）(C_2) を考慮して評価したものについても併せてプロットしている。これによる割増係数は $C_2 = 1.1 \sim 1.3$ 程度であることがわかる。このことから、締固めによる改良地盤全体の液化化強度には $C_3 \sim C_6$ による効果も含まれるものと推察される。

5. まとめ

以上、1995年兵庫県南部地震による被害事例を基に実施された統計的な分析結果を用いて、締固めによる改良地盤の液化化強度の定量的な評価を試みた結果、締固めによる改良地盤全体の平均的な液化化強度は、杭間 N 値から求まる液化化強度の1.5～2.0倍の強度を有していることが明らかとなった。しかし、レベル2地震時における締固めによる改良地盤の被害状況の検証事例は兵庫県南部地震のみであり、液化化強度の割増係数の適用にあたっては、地盤条件や対象構造物の重要度等も含めて十分に吟味する必要がある。

【参考文献】

- 1) 大林,原田,山本,佐々木:締固め地盤の液化化抵抗に関する評価,第10回日本地震工学シンポジウム,pp.1411-1416,1998.
- 2) 松尾,安田,原田,石黒,渦岡:レベル2地震動による改良地盤の評価について,第32回地盤工学研究発表会,pp.1065-1066,1997.
- 3) 松尾,安田,山本,原田,橋本:レベル2地震動に対する改良地盤の評価法と被害について,土木学会第52回年次学術講演会,pp.408-409,1997.
- 4) 原田,大林,山本,安田:締固めによる改良地盤の N 値と液化化強度の評価について,第11回日本地震工学シンポジウム,pp.707-710,2002.

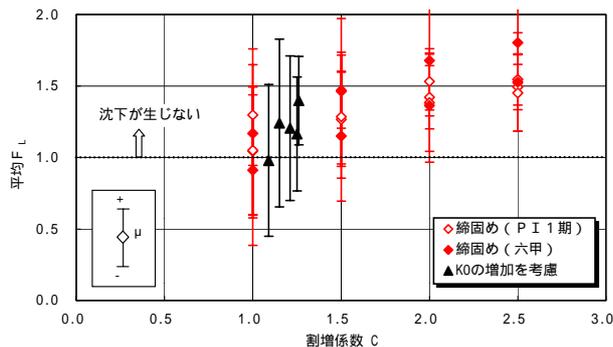


図4 割増係数と平均 F_L の関係

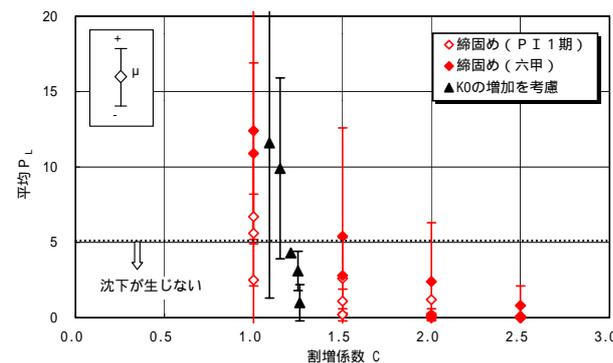


図5 割増係数と平均 P_L の関係

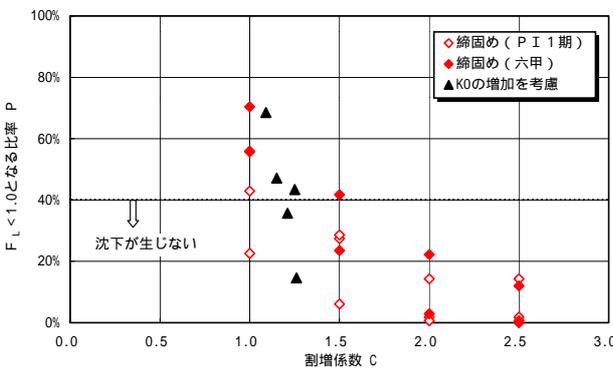


図6 割増係数と $F_L < 1.0$ となる比率 P の関係