

新たな CPG 工法の開発  
 ー 等価改良率を用いた隆起抑制効果の評価 ー

復建調査設計 (株) 正会員 ○木村 康隆  
 (国研) 港湾空港技術研究所 正会員 佐々 真志  
 (国研) 港湾空港技術研究所 正会員 山崎 浩之  
 みらい建設工業 (株) 正会員 小西 武  
 三信建設工業 (株) 正会員 新坂 孝志  
 東興ジオテック (株) 正会員 岡見 強  
 (株) アートンシビルテクノ 正会員 高橋 但

1. はじめに

静的圧入締固め工法 (CPG 工法) は, 注入管より低流動性のモルタルを地盤に静的に圧入して地盤の密度を増大させる液状化対策工法の一つである. CPG 工法は既設構造物の直下や近傍での適応が可能であるが, 施工に伴う地盤隆起が問題となる場合があり, その制御が課題である. 筆者らは, これまでの室内模型実験<sup>1)</sup>により, 従来のボトムアップ方式による圧入施工 (BU 施工) に比べ隆起抑制効果及び液状化対策効果を向上させたアップダウン施工 (U/D 施工) を開発した. 本研究では, 前述の室内模型実験に加え, 新たに実施した実機による現場実証実験<sup>2)</sup>の結果より, 実大規模における U/D 施工の隆起抑制効果について等価改良率の概念<sup>1)</sup>を用いて検証した.

2. 模型実験および現場実証実験概要

室内模型実験<sup>1)</sup>では, 円筒形土槽<sup>1)</sup> (φ155mm×450mm), 角型土槽<sup>1)</sup> (W300mm×L300mm×H450mm) 及びせん断土槽<sup>1)</sup> (W600mm×L600mm×H600mm) に模型地盤を作成し, 実施工の 1/10 スケールにて小型圧入装置を使用し注入管 (外径 10.5mm) よりモルタルを圧入した. 現場実証実験<sup>2)</sup>では, T タイプ (従来機), TSR タイプ (T タイプ改良型) 及び GI タイプ (汎用大型地盤改良機) の 3 タイプの施工機械を用い, GL-5.00m~-2.75m の 2.25m 区間に対し, 1 ステップ当り 0.25m の注入長で改良体 9 球体分を造成した. 当該地盤の土層構成及び現場実証実験の詳細については, 文献<sup>2)</sup>を参照されたい. ここで, 本研究では U/D 施工に伴う注入管先端が上下移動した総移動距離 (ΣL) に注入管断面積 (A) を乗じたものを“繰返し体積 cyclic volume” (CV) (1), CV を初期地盤体積 (V<sub>0</sub>) で除したものを“繰返し体積率 cyclic volume rate” (CVR) (2) と定義した. また, CVR と注入による改良率 (a<sub>s</sub>) (3) が地盤の締固め効果に対して同等の価値があると仮定した上で, 両者を足し合わせたものを等価改良率 (a<sub>se</sub>) と定義し, U/D 施工による隆起抑制効果の評価の指標とした. 以下に, それぞれの定義式を示す.

$$CV = \Sigma L \times A \quad (1) \quad CVR = \frac{CV}{V_0} \quad (2) \quad a_s = \frac{\Sigma Q}{V_0} \quad (3) \quad a_{se} = a_s + CVR \quad (4)$$

室内模型実験及び現場実証実験の実験仕様一覧表を表-1 に示す.

表-1 室内模型実験及び現場実証実験仕様一覧

| 施工法                  | 室内模型実験    |            |            |           |            |            |           |           |            |           |            |           | 現場実証実験     |           |            |            |           |            |      |      |      |
|----------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------|------|------|
|                      | BU        | 円筒形土槽      |            |           |            |            |           | BU        | 角型土槽       |           |            | せん断土槽     |            |           | BU         | T          | TSR       |            | GI   |      |      |
|                      |           | U/D        |            |           |            |            |           |           | U/D        |           |            | U/D       |            |           |            | U/D        |           | U/D        |      |      |      |
|                      | 1球体<br>5回 | 1球体<br>10回 | 1球体<br>20回 | 3球体<br>5回 | 3球体<br>10回 | 3球体<br>20回 | 3球体<br>3回 | 3球体<br>5回 | 3球体<br>10回 | 3球体<br>5回 | 3球体<br>10回 | 3球体<br>5回 | 3球体<br>10回 | 2球体<br>5回 | 2球体<br>10回 | 2球体<br>10回 | 4球体<br>5回 | 4球体<br>10回 |      |      |      |
| ΣQ(cm <sup>3</sup> ) | 612       | 612        | 612        | 612       | 612        | 612        | 2,448     | 2,448     | 2,448      | 2,448     | 2,448      | 9,792     | 9,792      | 9,792     | 0.96       | 0.96       | 0.96      | 1.02       | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| CV(cm <sup>3</sup> ) | 0         | 216        | 433        | 866       | 528        | 1,056      | 2,113     | 0         | 1,268      | 2,113     | 4,226      | 0         | 8,451      | 16,902    | 0.00       | 0.17       | 0.33      | 0.00       | 1.71 | 1.28 | 2.57 |
| a <sub>s</sub> (%)   | 12        | 12         | 12         | 12        | 12         | 12         | 10        | 10        | 10         | 10        | 10         | 10        | 10         | 10        | 15         | 15         | 15        | 15         | 15   | 15   | 15   |
| CVR(%)               | 0         | 4          | 9          | 17        | 10         | 21         | 42        | 0         | 5          | 9         | 17         | 0         | 9          | 17        | 0          | 3          | 6         | 0          | 30   | 23   | 46   |
| a <sub>se</sub> (%)  | 12        | 16         | 21         | 29        | 22         | 33         | 54        | 10        | 15         | 19        | 27         | 10        | 19         | 27        | 15         | 18         | 21        | 15         | 45   | 38   | 61   |

キーワード: 静的締固め, 隆起抑制効果, 液状化

連絡先: 〒101-0032 東京都千代田区岩本町 3-8-15 復建調査設計 (株) 東京支社地盤環境課 TEL 03-5835-2631 FAX 03-5835-2632

3. 実験結果および考察

(1) 室内模型実験

図-1 に、室内模型実験による等価改良率と平均鉛直変位の関係図を示す。ここで平均鉛直変位とは、土槽平面の改良体の杭頭及び杭間を通る測線上をレーザー変位計にて計測し、その値を平均したものである。この測定は、初期地盤および圧入1本完了毎に計測した。図-1 より、各土槽において等価改良率の増加に伴い鉛直変位が低減しており、隆起が抑制される傾向が確認できる。

図-2 に、室内模型実験による等価改良率と相対密度増分の関係図を示す。同図より、各土槽において等価改良率の増加に伴い相対密度増分が増加しており、改良効果（密度増加）が増大する傾向が確認できる。

(2) 現場実証実験

図-3 に、現場実証実験による等価改良率と平均地点隆起量の関係図を示す。なお、同図は注入管からの距離 500mm の位置における、注入ステップ別の隆起計測値及び等価改良率の各累計値を示している。代表として、GI タイプの実験結果を示した。同図より、BU 施工では等価改良率 15%に至るまでの隆起量は 20mm 程度であったのに対し、U/D 施工では隆起量が顕著に抑制され、特に U/D 施工 4 球体 10 回では等価改良率 61%に至る過程の最大隆起量は 1mm 以下であった。

図-4 に、現場実証実験における全ステップ注入後の等価改良率と平均地点隆起量の関係図を示す。同図より、T 及び TSR タイプでは、TSR の施工時のトラブル<sup>3)</sup>のため明瞭な相関は見られなかったものの、GI タイプでは等価改良率の増加に伴い隆起が 20mm から 1mm 以下と格段に抑制されることを明らかにした。これより、室内模型実験と同様に、実機においても U/D 施工による高い隆起抑制効果を明確に確認できた。また、これらの結果と上述の室内模型実験結果から、現場の改良地盤において等価改良率に応じた密度増加が生じていることが見込まれる。

4. まとめ

本研究では、室内模型実験に加え、現場実証実験においても、新たに開発した U/D 施工による高い隆起抑制効果とその有効性を実証した。また、等価改良率を用いることで、実大規模においても U/D 施工による地盤の隆起量及び密度増加量を予測することができ、従来の CPG 工法と同様の設計が可能であることを示した。今後は、U/D 施工の実機による改良効果（N 値増加等）の確認や、当該効果を踏まえた設計法の確立が課題である。

<参考文献>

- 1)竹之内他：隆起抑制効果と液状化対策効果が向上した新たな CPG 工法の開発，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.72, No.2, I\_372-I\_377, 2016.
- 2)竹之内他：新たな CPG 工法の現場実証実験-概要および施工状況-，第 52 回地盤工学研究発表会，2017（投稿中）
- 3)竹之内他：隆起抑制型 CPG 工法の開発と現場実証実験による検証，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.73, No.2, 2017（投稿中）

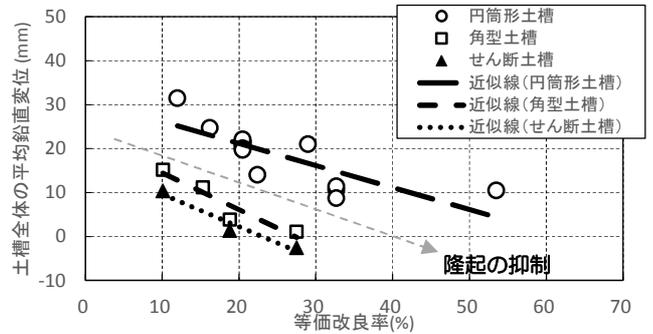


図-1 等価改良率と平均鉛直変位の関係図 (室内模型実験)

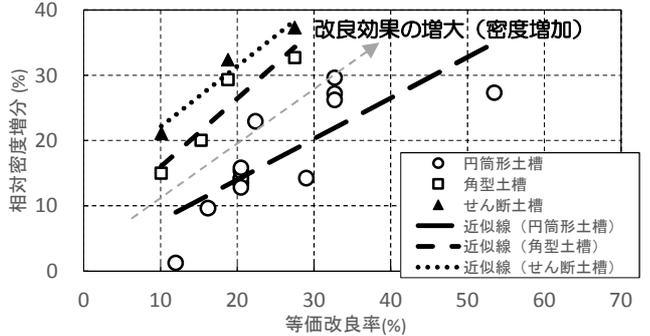


図-2 等価改良率と相対密度増分の関係図 (室内模型実験)

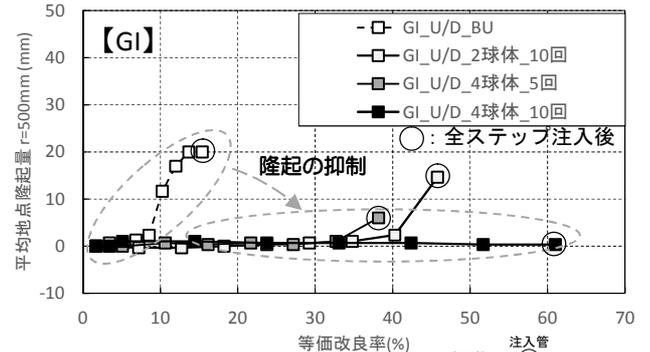


図-3 等価改良率と平均地点隆起量の関係図 (現場実証実験 r=500mm, 注入ステップ別累計)

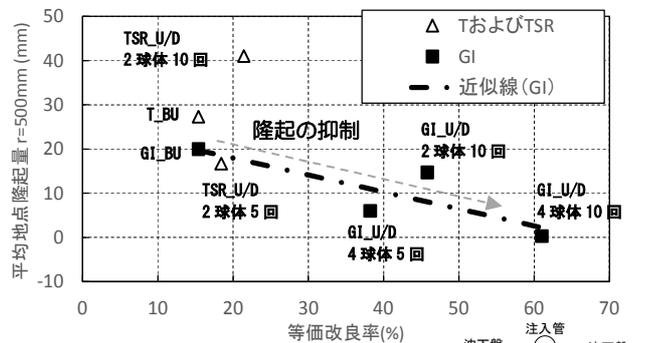


図-4 等価改良率と平均地点隆起量の関係図 (現場実証実験 r=500mm, 全ステップ注入後)