

静的圧入締固め工法における圧入方法の違いによる改良効果の検証

東興ジオテック（株）	正会員	○岡見 強
（独）港湾空港技術研究所	正会員	山崎 浩之
三信建設工業（株）	正会員	新坂 孝志
みらい建設工業（株）	正会員	足立 雅樹
復建調査設計（株）	正会員	山田 和弘
九州大学大学院	フェロー会員	善 功企

1. はじめに

静的圧入締固め工法(以下, CPG 工法)は, 低流動性のモルタルを地盤に静的に圧入して周辺地盤を締固め, 密度を増大させる液状化対策工法である。本工法では, 施工時に発生する隆起が問題となる場合に対して, 圧入時に载荷と除荷を繰り返す圧入方法(以下, 除荷圧入)により, 模型実験および実施工において隆起が抑制されることを確認してきた¹⁾。本稿は, さらに隆起を抑制する施工方法として検討してきた圧入方法の違いによる改良効果を検証するために行った振動台実験結果について報告するものである。

2. 実験概要

図-1 に土槽模型の断面図, 側面図および平面図を示す。実験装置の概要および模型土層の作製方法については参考文献 2)を参照していただきたい。試料砂は, 相馬珪砂 6 号($\rho_s=2.674\text{g/cm}^3$, $e_{\max}=1.327$, $e_{\min}=0.792$)を用いた。間隙水圧計および加速度計は固結体位置の中間位置に相当する箇所に, 土圧計は壁面に設置した。これらの計器の設置深度は, GL-50mm, -125mm, -200mm, -275mm, -350mm である。なお, 加速度計は, 地表面と基盤面にも設置した。地表面の変位はレーザー変位計により測定した。

加振方法は, 50Gal から 550Gal まで 50Gal ずつ段階的に増加させ, 各段階で 5Hz の正弦波を 20 波入力した。

表-1 に固結体の改良仕様を示す。実験は, 圧入方法を変化させた以下の 5 ケースを行った。

(1)通常圧入は, 1 ステップ当り, 規定量まで一定に圧入する方法である。(2)除荷圧入は, 圧入材に载荷と除荷を繰り返しながら圧入する方法である。(3)中 UD 圧入 40 回は, 圧入管をアップダウン(4 往復)させながら圧入を行う方法である。(4)後 UD 圧入 40 回および(5)130 回は, 1 ステップ当りの圧入完了後に, 圧入管のみをアップダウン(4 往復および 13 往復)させる方法である。中 UD 圧入および後 UD 圧入のアップダウンの範囲は, 1 ステップの高さとした。1 本の固結体は 10 ステップで造成するため, 1 ステップ当りのアップダウン回数が 4 往復および 13 往復では, 1 本当りの総アップダウン回数はそれぞれ 40 回, 130 回となる。

3. 実験結果

(1)液状化抵抗

液状化発生時の換算入力加速度と深度の関係を図-2 に示す。液状化の判断は, 過剰間隙水圧比が 0.9 以上に達した時とし, 換算入力加速度は, 次式により算出した。

$$\text{換算入力加速度 } \alpha_{eq}' = \frac{\text{液状化発生時の波数}}{\text{全波数}} \times 50 + (\text{入力加速度 } \alpha_{eq} - 50)$$

キーワード：静的締固め, 液状化, 改良効果

連絡先：〒105-0014 東京都港区 2-14-5 東興ジオテック（株）東京地中支店 技術部 Tel.03-6436-4299

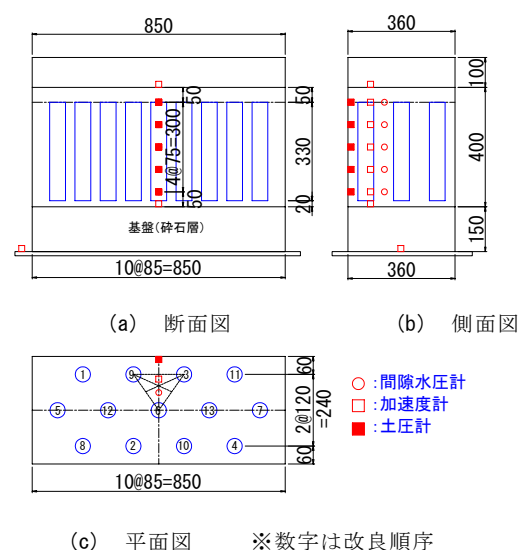


図-1 模型地盤断面図

表-1 改良仕様

圧入方法	改良率 (%)	換算改良径 (mm)	1本当りの圧入量 (cm ³)	改良本数 (本)	1ステップ当りの繰返し数 (回)	圧入後の相対密度 (%)
通常圧入	10	51	780	13	1	53.0
除荷圧入					4	51.9
中UD圧入40回					4	53.5
後UD圧入40回	10	51	780	13	4	58.4
後UD圧入130回					13	63.9

未改良では 100Gal 程度で液状化が発生するが、改良地盤では 200～400Gal 程度まで液状化しない結果が得られた。また、通常圧入よりは除荷圧入の方が液状化に対する抵抗力が大きく、さらに後 UD 圧入 40 回、中 UD 圧入 40 回、後 UD 圧入 130 回の順にアップダウンの繰返し回数が多くなるにつれて液状化抵抗力が大きくなる結果が得られた。なお、同じアップダウンの繰返し回数でも、圧入時に圧入管をアップダウンさせる中 UD 圧入の方が後 UD 圧入より若干大きいことが確認された。

(2) 沈下量

加震後の地表面沈下量を図-3 に示す。図中の○印は、GL-50mm の深度が液状化した時の沈下量である。

未改良では 100Gal 程度で液状化が発生し沈下がみられたが、改良地盤では 250～450Gal まで沈下が生じなかった。液状化発生時の沈下量は、未改良が 7mm、中 UD 圧入が 14mm 生じたが、それ以外はほとんど発生していなかった。液状化発生後の沈下量は、除荷圧入と中 UD 圧入が収束する傾向を示すものの、それ以外は入力加速度の増加に伴い沈下量が増加する傾向がみられた。

(3) K 値

圧入後の K 値 (σ_h'/σ_v') の深度分布を図-4 に示す。

未改良に比べ改良地盤の K 値は大きく増加している。通常圧入で $K=1\sim2$ 、除荷圧入・中 UD 圧入・後 UD 圧入のようにアップダウンの繰返し圧入では、 $K=2\sim4$ 程度と増加する状況が確認された。なお、繰返し回数に着目した場合、深度的なバラツキもあり、繰返し回数に比例するような傾向がみられなかった。土圧計と間隙水圧計を設置した 1 地点だけの計測結果であり、地盤全体としては、本来、(1)液状化抵抗と同様に繰返し回数に比例するような傾向があったものと考えられる。

4. まとめ

CPG 工法において、隆起抑制効果のある施工方法を検討するため圧入方法を変えて振動台実験を行った結果、通常圧入・除荷圧入より、圧入管をアップダウンさせる施工方法(中 UD 圧入・後 UD 圧入)が、液状化に対する抵抗が大きく、後 UD 圧入では、アップダウン回数を多くするほどその改良効果が大きくなることが確認された。参考文献 2)での圧入後の隆起計測結果においては、中 UD 圧入は通常圧入・除荷圧入に比べて隆起量に明確な差はみられなかったが、後 UD 圧入の隆起量は通常圧入の 1/2～1/3 程度に抑制された効果が確認されている。隆起が少ない後 UD 圧入は、地盤の締固めの度合いが大きく液状化に対する改良効果が発揮されたものと考えられる。

＜参考文献＞ 1) 原田・山崎・足立・森河・山田・善：静的圧入締固め工法の繰返し圧入による振動台実験，土木学会第 64 回年次学術講演会，pp. 531-532，2009. 2) 飯川・山崎・小西・高田・岡見・善：静的圧入締固め工法の隆起抑制効果のある施工方法の検討，土木学会第 66 回年次学術講演会，2011（投稿中）。

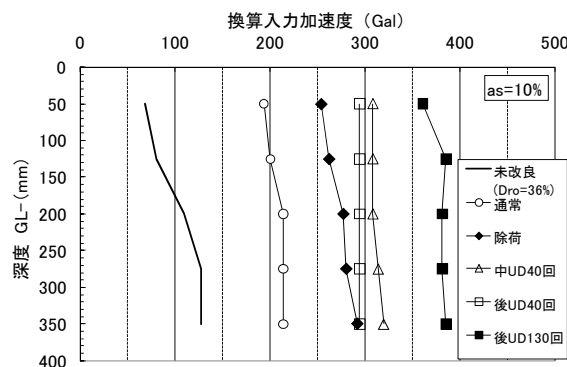


図-2 液状化発生時の換算入力加速度

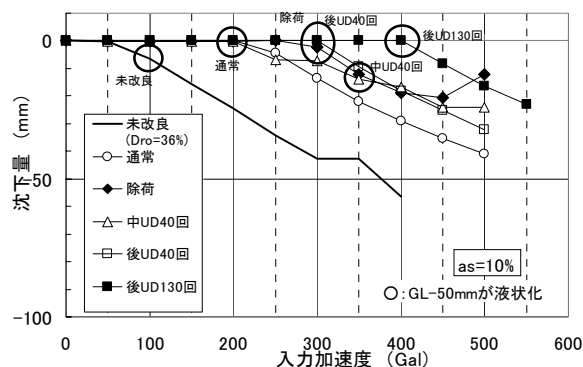


図-3 加震後の地表面沈下量

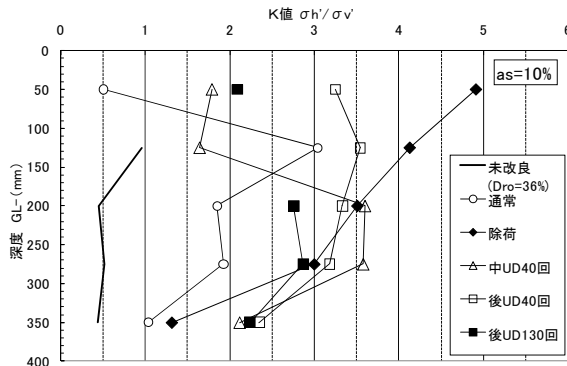


図-4 深度と K 値の関係