新たなＣＰＧ工法の注入管進退動の繰返し効果について－ せん断土槽実験 －

復建調査設計（株）　正会員　○高田　圭太
（国研）港湾空港技術研究所　正会員　佐々　真志
三信建設工業（株）　正会員　竹之内寛至
東興ジオテック（株）　齊藤　英徳

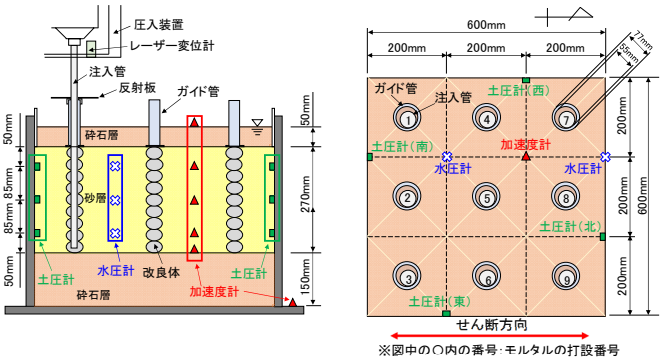
１．はじめに

静的圧入締固め工法（以下，CPG 工法）[1]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，従来のボトムアップ方式（以下，従来施工）では施工に伴う地盤隆起が問題となる場合があり，その抑制が課題であった．著者らはこれまでに，小型模型実験および実大規模の現場実証実験を実施し，隆起抑制効果ならびに液状化対策効果が大幅に向上した新たな CPG 工法であるアップダウン施工（以下，U/D 施工）の開発を進めてきた[2)3)4)]．U/D 施工とは，注入過程において，圧入したモルタル中で注入管の進退動を繰返すことで地盤隆起を抑制し，従来施工よりも効果的な密実化を実現する施工法である．既往の実験により，この進退動の長さと回数を増やすことによって改良体が周辺地盤を取込み拡径し，地盤の相対密度が上昇することは確認されているが，その改良効果については十分に検証されていなかった[4)]．そこで本論文では，せん断土槽を用いた加振実験を行い，U/D 施工により周辺地盤を取込み拡径した改良体を造成した場合において，相対密度の増加，土圧（K 値），液状化時の加速度（液状化換算加速度）について，従来施工との比較を行った．

２．実験概要

実験に用いた土槽（W600mm×L600mm×H490mm）の断面図および平面図を**図-1** に，実験仕様一覧を**表-1** に示す．土槽底面より 150mm の砕石基盤，270mm の砂層（改良対象層），50mm の砕石層（非改良層）を設置した．改良対象層には東北 7 号珪砂を使用し，初期相対密度 40%ないし 70%を目標として水中落下法にて模型地盤を作製した．模型地盤作製後，モルタル圧入を行った上で**図-1** に示すせん断方向に加振した．実験は**表-1** に示す CASE①～⑤の計 5 ケースにより行った．CASE③～⑤のモルタル圧入による改良率は a_s=5.7%である．土槽の壁面には土圧計を設置し，モルタル圧入中の土圧変化を計測した．

加振実験は，1 回の加振で 5Hz の正弦波を 20 波入力し，加振毎に入力加速度を 50Gal ずつ大きくした．実験結果から，液状化発生時の換算加速度を（**式-1**）により求め，これを液状化強度として評価し，各ケースの結果を比較した．なお，液状化の判断は土槽中央に設置した水圧計の計測値から算定した過剰間隙水圧比が 1.0 以上に達した時とした．



(a) 断面図　(b) 平面図

図-1　せん断土槽の断面図および平面図

表-1　実験仕様

実験条件 ＼ CASE		未改良		改良（従来施工or U/D施工）		
		①未改良 Dr_0=40%	②未改良 Dr_0=70%	③従来施工	④U/D施工 CV=2200cm³	⑤U/D施工 CV=3600cm³
初期相対密度 D_{r0}※	(%)	44.5	75.6	41.5	37.8	40.0
圧入量	(cm³/本)	—	—	612	612	612
圧入本数	(本)	—	—	9	9	9
改良率 a_s	(%)	—	—	5.7	5.7	5.7
注入管の外径	(mm)	—	—	19	19	19
ストローク長	(mm)	—	—	0	90	90
繰返し回数	(回)	—	—	0	6	10
繰返し体積 CV	(cm³)	—	—	0	2,200	3,600
繰返し体積率 CVR	(%)	—	—	0	20	33

※目標D_{r0}=40%:①③④⑤，目標D_{r0}=70%:②

液状化発生時の換算加速度（液状化換算加速度）　$\alpha'_{eq} = \frac{\text{液状化発生時の波数}}{\text{全波数（20 波）}} \times 50 + (\text{入力加速度 } \alpha_{eq} - 50)$　・・・（式-1）

３．実験結果

(1) 相対密度の増加

図-2 に繰返し体積率 CVR と相対密度の増分 ΔD_r の関係を示す．ここで，繰返し体積率 CVR とは，注入管の断面積に進退動の総移動距離（ストローク長×繰返し回数）を乗じた繰返し体積 CV を液状化対象層である砂の体積で

キーワード：静的圧入締固め，せん断土槽，改良効果
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 TEL 03-5835-2631 FAX 03-5835-2632

© Japan Society of Civil Engineers

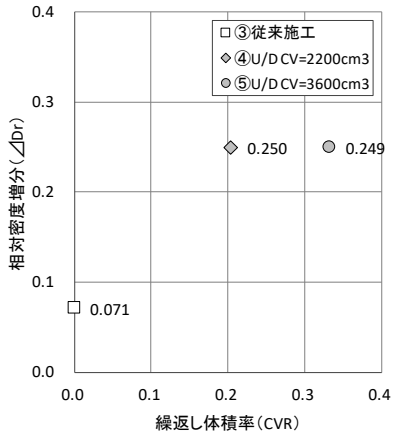


図-2　繰返し体積率と相対密度増分の関係

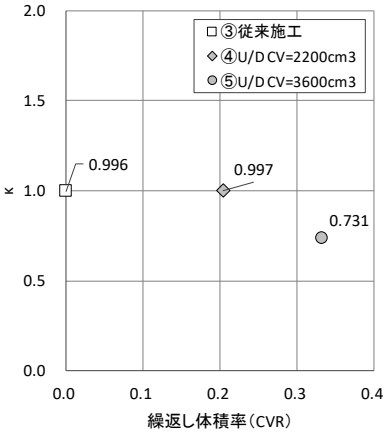


図-3　繰返し体積率と κ の関係

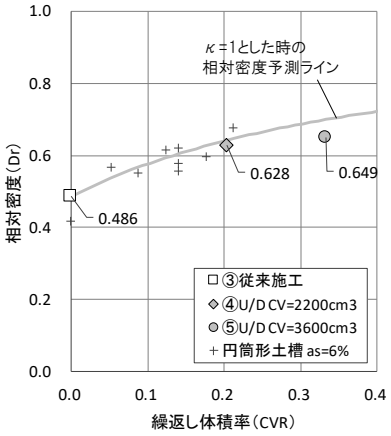


図-4　繰返し体積率と相対密度の関係

除した値を指す．U/D 施工を行った CASE④および CASE⑤の相対密度増分（ΔD_r）は 25.0%，24.9%と，CASE③従来施工の ΔD_r=7.1%と比べて大きく，U/D 施工による締固め効果の向上を示した．この時，締固め工法の設計で用いる係数 κ を逆算すると，CASE③従来施工と CASE④（U/D 施工 CV=2,200cm^3）はおおよそ κ=1，CASE④（U/D 施工 CV=3,600cm^3）は κ=0.73 となる（**図-3**）．③従来施工の κ=1 を用いて従来の設計法（κ 法）により圧入による改良率に対して予想される相対密度と実験結果の関係を**図-4** に示す．なお，**図-4** には円筒形土槽実験[5]の結果をあわせて示した．**図-4** から，繰返し体積率に応じた相対密度の増加は，圧入による改良率に応じて予想される相対密度とほぼ一致する．

(2) 土圧（K 値）

図-5 には CASE③従来施工と U/D 施工を行った CASE④および CASE⑤のモルタル圧入後の土圧から算定した K 値を示す．施工前の地盤の一般的な静止土圧係数 K_0 値=0.5 に対して，U/D 施工後の K 値（平均値）は，K 値=1.83（CASE④），K 値=2.04（CASE⑤）に増加しており，CASE③従来施工の K 値=2.15 と比較しても同程度の K 値増加を得られることが確認された．

(3) 液状化強度

図-6 には CASE③従来施工が液状化に達した時の換算加速度を 1.0 とし，各ケースの換算加速度を比で表した値（正規化した液状化換算加速度）と相対密度の関係を示した．U/D 施工を行った CASE④および CASE⑤では，CASE③従来施工に対して，2.0 倍以上の大幅に上昇した液状化換算加速度を示し，より液状化しにくい地盤となっていることが確認された．なお，CASE②未改良（Dr_0=70%）は，実験ケースの中で相対密度が最も大きいにも関わらず，CASE④，⑤と比べて液状化換算加速度は小さい．このことは，改良効果（液状化強度）には，相対密度に加えてモルタル圧入による土圧増加の効果が大きく寄与することを示唆する．

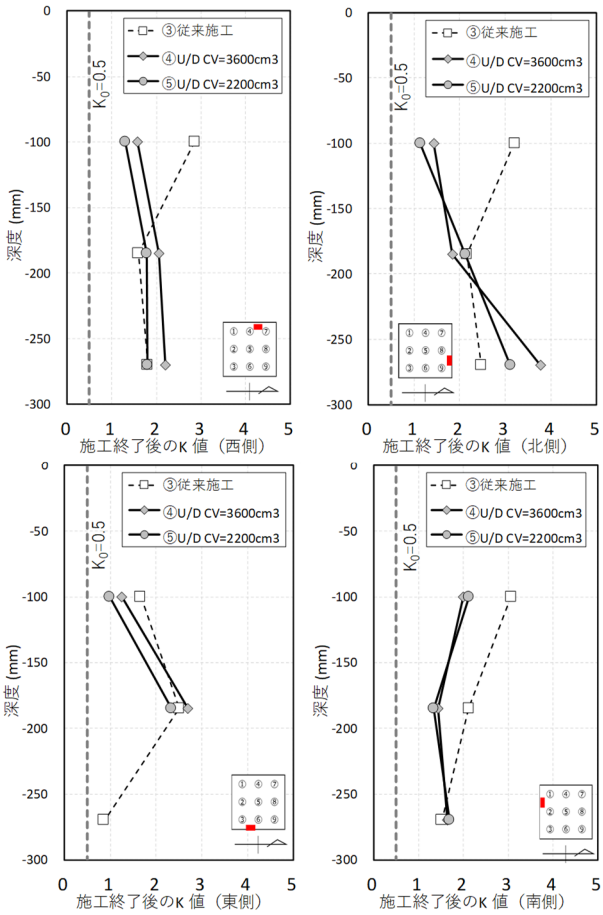


図-5　施工後の土圧から算定した K 値

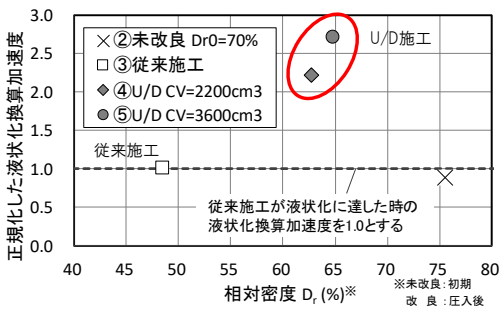


図-6　相対密度と正規化した液状化換算加速度の関係

＜参考文献＞

1) 沿岸技術研究センター：「液状化対策としての静的圧入締固め工法技術マニュアル―コンパクショングラウチング工法―」，2013.　2) 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.　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，I_282－I287，2017.　4) 竹之内他：新たな CPG 工法の隆起抑制メカニズムと施工能率向上の検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 74，No. 2，I_886－I891，2018.　5) 今他：新たな CPG 工法の注入管進退動の繰返し効果について－ 円筒形土槽実験 －，土木学会第 75 回年次学術講演会，2020（投稿中）．

© Japan Society of Civil Engineers