

新たなCPG工法の実験的検証－隆起抑制・改良体拡張・K₀値－

みらい建設工業（株）
（国研）港湾空港技術研究所
三信建設工業（株）
東興ジオテック（株）

正会員
正会員
正会員

○足立 雅樹
佐々 真志
竹之内寛至
岡田 宙

1. はじめに

静的圧入締固め工法（CPG 工法）は、密度増大工法の一つで、主に港湾・空港等の臨海部における液状化対策に適用されている工法である。著者らは、圧入したモルタルに対して注入管の進退動を繰返すことで、従来の CPG 工法よりも隆起抑制効果及び液状化対策効果が格段に高いアップダウン施工（U/D 施工）を開発した^{1) 2)}。

本研究³⁾では、既往研究をふまえて、異なる注入管径・改良体本数（改良率）・繰返し回数での一連の U/D 施工のせん断土槽実験及び加振実験を通じて、これらの各諸元が、隆起抑制・相対密度・K₀ 値・液状化抵抗、並びに等価改良率に及ぼす影響を明らかにし、得られた結果から、等価改良率、特に繰返し体積率に関して改良効果への寄与度合を示す補正係数 α の検証を行うことを目的としている。

本稿では、実験概要、U/D 施工の隆起抑制、改良体拡張及び K₀ 値について述べる。本研究の U/D 施工の密実化、液状化抵抗・等価改良率の検証については文献 4) を参照されたい。

2. 実験概要

表-1 に実験ケース一覧を、図-1 にせん断土槽及び模型地盤を示す。このせん断土槽内（幅 598 mm，奥行き 598 mm，高さ 490 mm，いずれも内寸）に相対密度を約 40% に設定した模型地盤を作製し、モルタル打設本数が 9 本及び 16 本のボトムアップ施工（従来の CPG 施工）と打設本数が 9 本の U/D 施工を実施した。模型地盤には、東北 7 号珪砂を用いた。本実験では、注入管の管径及び繰返し回数が、隆起抑制効果や改良効果に与える影響を明らかにするため、注入管径は、直径 1.05 cm と 1.9 cm の 2 種類（内径はともに 0.6 cm）使用し、注入管の進退動の長さ（アップダウン長）は 9 cm とした。施工時には、壁面土圧、間隙水圧及び地表面の変位を計測した。

施工後、入力加速度を段階的に上げていくステップ加振を行い、各施工法の液状化抵抗を計測して U/D 施工の等価改良率についての検証を行った。加振実験終了後、モルタル改良体を掘り出し、その体積，直径等の各種計測を実施した。また既往の実験で、U/D 施工の注入管の進退動によって、砂を取り込みながら改良体が拡張されていくことが分かっており、実際に掘り出した改良体からその直径を算出した。

表-1 実験ケース一覧

実施 年度	CASE名 (注入管外径_アップダウン長_ 繰返し回数_打設本数)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
		砂地盤 の体積 cm ³	砂地盤の 乾燥重量 g	初期 相対密度 %	改良体1本 当りの体積 cm ³	改良体の 打設本数 本	総改良体 体積 ④×⑤ cm ³	改良率 (a ₀) ⑥/①×100 %	繰返し 体積 cm ³	繰返し体積率 (CVR) ⑧/①×100 %
R1	1 φ1.9 cm_0 cm_0 回_9 本	96,553	132,085	41.5	612	9	5,508	5.7	612	0.6
	2 φ1.9 cm_9 cm_6 回_9 本	96,553	132,085	37.8	612	9	5,508	5.7	19,980	20.7
	3 φ1.9 cm_9 cm_10 回_9 本	96,553	132,085	40	612	9	5,508	5.7	32,841	34.0
R2	4 φ1.05 cm_0 cm_0 回_16 本	96,553	131,795	38.2	612	16	9,792	10.1	333	0.3
	5 φ1.05 cm_0 cm_0 回_9 本	96,553	131,795	36.1	612	9	5,508	5.7	187	0.2
	6 φ1.05 cm_9 cm_2 回_9 本	96,553	131,795	38.3	612	9	5,508	5.7	2,174	2.3
	7 φ1.05 cm_9 cm_5 回_9 本	96,553	131,795	41.2	612	9	5,508	5.7	5,120	5.3
	8 φ1.05 cm_9 cm_10 回_9 本	96,553	131,795	43.2	612	9	5,508	5.7	10,029	10.4
	9 φ1.9 cm_0 cm_0 回_16 本	96,553	131,795	38.2	612	16	9,792	10.1	1089	1.1
	10 φ1.9 cm_0 cm_0 回_9 本	96,553	131,795	41.1	612	9	5,508	5.7	612	0.6
	11 φ1.9 cm_9 cm_3 回_9 本	96,553	131,795	37.4	612	9	5,508	5.7	10,335	10.7
	12 φ1.9 cm_9 cm_5 回_9 本	96,553	131,795	42.2	612	9	5,508	5.7	16,765	17.4
	13 φ1.9 cm_9 cm_10 回_9 本	96,553	131,795	43.3	612	9	5,508	5.7	32,841	34.0

○印はボトムアップ施工

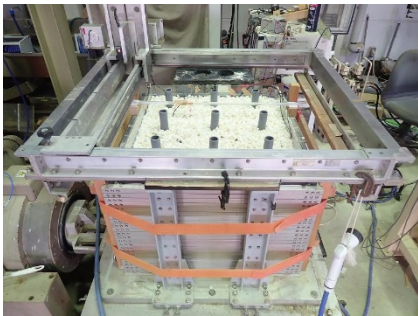


図-1 せん断土槽及び模型地盤

キーワード：静的締固め，隆起抑制，K₀ 値

連絡先：〒108-0014 東京都港区芝 4-6-12 みらい建設工業株式会社 TEL03-6436-3719 FAX03-6436-3744

3. 結果及び考察

図-2 に、繰返し体積率と土層全体の隆起量の平均の関係を示す。繰返し体積率 (CVR) とは、使用する注入管の断面積 (A) に注入管ステップアップ時の移動距離も含む注入管進退動の総移動距離 (ΣL) を乗じた値 (繰返し体積: CV) を改良対象地盤の体積 (V) で除し、百分率で示した値であり、式-1 のように定義した。

$$CVR = A \times \Sigma L / V \quad (\text{式-1})$$

本図より、繰返し体積率が大きなものほど、土層全体の隆起量の平均値が小さくなる傾向であること、使用する注入管径の大きさによらず、U/D 施工により速やかに隆起抑制することが分かった。本実験では、繰返し体積率が約 10 % で、発生する隆起をほぼ抑制し、繰返し体積率が 10 % 以上では、地盤沈下する結果となった。

図-3 に、繰返し体積率と正規化した改良体の直径の関係を示す。本図における改良体の直径とは、各ケースの実測した 9 本の改良体の体積の平均値を、初期の砂層の地盤高 270 mm で除して算出した値である。その各ケースの改良体の直径を、繰返し体積率が最も小さい case 5 の改良体の直径で除して正規化した。本図より、繰返し体積率の増加と共に正規化した改良体の直径が増加傾向であることがわかった。

図-4 に、繰返し体積率と K_0 値の関係を示す。本図は、せん断土槽の北側壁面に設置した深度-270 mm の壁面土圧及び間隙水圧から静止土圧係数 (K_0 値) を算出した。 K_0 値とは、土圧の水平有効応力 (σ'_h) と初期地盤の鉛直有効応力 (σ'_{v0}) との比であり、次式で算出した。

$$K_0 = \sigma'_h / \sigma'_{v0} \quad (\text{式-2})$$

本実験より、繰返し体積が大きなものほど、 K_0 値が大きくなる傾向にあることが分かった。

図-5 に、正規化した改良体の直径と K_0 値の関係を示す。改良体の直径が大きなものほど、 K_0 値が大きくなる傾向にあることが分かった。これは、U/D 施工の繰返し体積率の増加によって、改良体が砂を取り込み拡張した結果、地盤内の拘束効果が高まり、土圧が上昇したためだといえる。

4. まとめ

本研究は、新たな CPG 工法 (U/D 施工) の異なる注入管径・改良体本数・繰返し回数での一連のせん断土槽実験及び加振実験を通じて、これらの各諸元が、隆起抑制・相対密度・ K_0 値・液状化抵抗、並びに等価改良率に及ぼす影響を明らかにし、得られた結果から、等価改良率、特に繰返し体積率に関して改良効果への寄与度合を示す補正係数 α の検証を行った。本稿では、実験概要、U/D 施工の隆起抑制、改良体拡張、 K_0 値について述べ、U/D 施工は、注入管径によらず速やかな隆起抑制を実現し、改良体拡張が顕著になり、その結果 K_0 値が増加した。

<参考文献>

- 1) 例えば、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, pp.I_372-I_377, 2016.
- 2) 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, pp.I_282-I_287, 2017.
- 3) 竹之内他：新たな CPG 工法の等価改良率の実験的検証, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 2021 (投稿中).
- 4) 岩城他：新たな CPG 工法の実験的検証—密実化・液状化抵抗・等価改良率—, 第 76 回土木学会年次講演会, 2021 (投稿中).

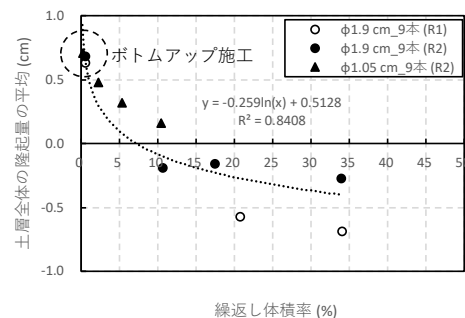


図-2 繰返し体積率と土層全体の隆起量の平均の関係

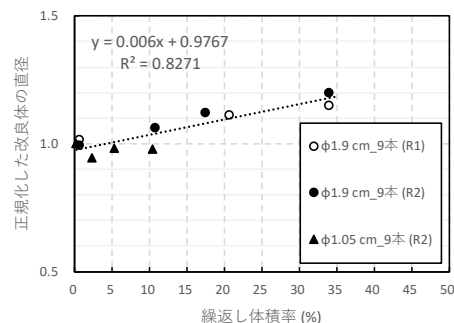


図-3 繰返し体積率と正規化した改良体の直径の関係

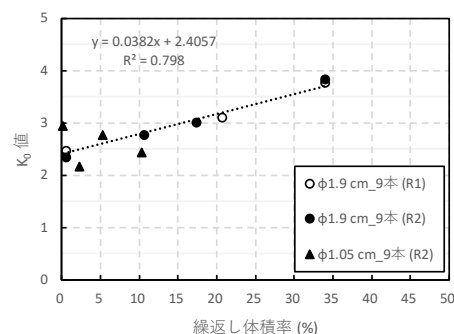


図-4 繰返し体積率と K_0 値の関係

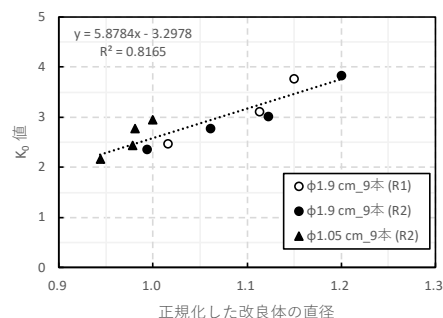


図-5 正規化した改良体の直径と K_0 値の関係