

振動式および静的締固め改良工法による大規模地盤改良工事（その2）
～変位緩衝孔による施工時地盤変位低減対策の再現解析結果について～

株式会社 JERA 正会員 藤井 嵩大
大成建設株式会社 正会員○吉田 龍平, 正会員 広重 敬嗣
株式会社不動テトラ 正会員 尾形 太
株式会社地層科学研究所 正会員 磯部 有作

1. はじめに

サンドコンパクションパイル工法（以下 SCP 工法）の近接施工においては、周辺の地盤や構造物へ及ぼす変位の影響を予測し、変位の影響を軽減するために適切な対策を選定する必要がある。周辺地盤変位の予測方法としては、既往の施工実績から作成されたチャートや各種の推定式が提案されているが、これらは地盤条件や施工条件が異なる各種工事により得られたデータに基づいて作成されているため、変位影響の目安として利用するのには有効であるものの、特定の現場における詳細な変位予測を行う場合には当該現場の条件に則した検討が必要となる。

今回、既設護岸近傍において変位緩衝孔による変位低減対策を用いた SCP 工法を施工した。本施工にあたり地表面水平変位の計測を行うとともに2次元 FEM による再現解析を実施したので、以下に報告する。

2. 解析モデル及び解析条件

再現解析の対象は、藤井ら¹⁾に示す変位緩衝孔施工箇所のうち、護岸の耐震評価が実施されている C 部を選定した。図1に、護岸直交断面の2次元解析モデルを示す。

変位緩衝孔は、φ0.5m のアースオーガーにより地盤を削孔し緩める対策方法とした。C 部においては、既設護岸より 21.2m、SCP 工法改良範囲端部から 2.6m の位置に変位緩衝孔が施工され、護岸法線方向には 0.5m 間隔の千鳥配置となっている。

一方、SCP 工法は杭径φ0.7m の締固め杭（以下 SCP 杭）を地盤中に強制圧入する改良工法であるが、C 部では正形状に 1.4m 間隔（平面改良率 19.6%）の配置となっている。解析では、変位緩衝孔と SCP 杭の各位置の要素幅を強制的に収縮または拡張することで施工過程を表現することとし、変位緩衝孔の削孔は要素幅を 56mm 収縮し、SCP 杭の打設は要素幅を 71mm 拡張した。

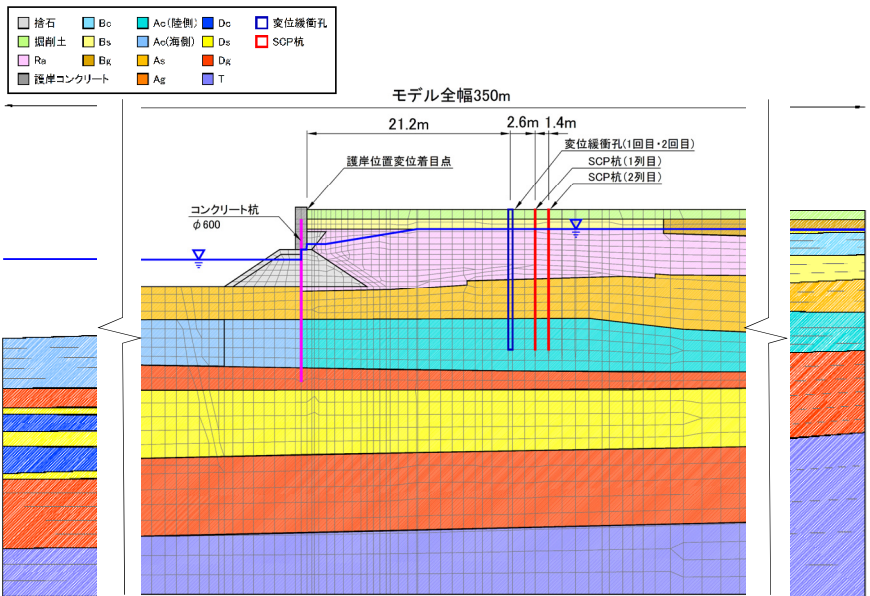


図1 解析モデル

表1 強制変位量の算定根拠

項目	記号	単位	変位緩衝孔	SCP杭
孔径・杭径	φ	(mm)	500	700
設置間隔(モデル奥行方向)	φ	(mm)	500	1,400
解析モデル上の要素幅	B	(mm)	393	275
護岸からの距離	H	(m)	21.0	23.8
施工延長(モデル奥行方向)	L	(m)	56.0	16.5
護岸位置での影響分散範囲	L'=L+2・H	(m)	98.0	64.1
影響分散による低減係数	α=L'/L	—	57.1%	25.7%
排土率による低減係数	β	—	25.0%	—
要素幅変化量	δ=B・α・β	(mm)	56 (収縮量)	71 (拡張量)

概要図

表2 解析物性値一覧（平面ひずみ要素）

土層名	質量密度		ポアソン比 ν	ヤング率 E (kN/m ²)
	ρ _t (t/m ³)	ρ _{sat} (t/m ³)		
埋土	捨石	2.04	0.20	560,000
	掘削土	1.83	—	3,500
	Ra	1.44	1.49	2,800
自然地盤	Bc	1.71	1.71	2,100
	Bs	1.82	1.85	3,500
	Bg	1.67	1.87	4,900
	Ac(陸側)	—	1.74	2,100
	Ac(海側)	—	1.51	1,000
	As	—	1.94	7,000
	Ag	—	2.23	22,400
	Dc	—	1.91	16,800
	Ds	—	1.98	25,200
	Dg	—	2.08	52,500
	T	—	1.900	477,000
変位緩衝孔		1.80	1.80	1,400
SCP杭		2.00	2.00	24,500
護岸コンクリート		2.50	0.20	25,000,000

キーワード サンドコンパクションパイル（SCP）、2次元 FEM 解析、変位緩衝孔

連絡先 〒470-2532 愛知県知多郡武豊町字竜宮 1-1 大成建設(株)名古屋支店土木作業所 TEL 0569-73-8600

これらの強制変位量は、実施工における変位緩衝孔と SCP 杭の配置がともに護岸法線方向（モデル奥行方向）に離散的に配置されているのを護岸断面の 2 次元モデル上で等価となるよう換算するとともに、C 部における変位緩衝孔と SCP 工法の施工延長が護岸法線方向に有限であることを考慮して設定したものである。強制変位量の設定根拠を表 1 に示す。なお、変位緩衝孔施工時の排土量は、佐藤ら²⁾の計測結果に基づき削孔体積の 25.0%と想定した。

表 2 に平面ひずみ要素の物性一覧を示す。地盤要素のヤング率は E_{50} 相当（ $=700 \times N$ 値）として与えた。変位緩衝孔は佐藤ら²⁾の既往研究を参考に N 値 2 相当、SCP 杭は N 値 35 相当（ $\phi = 42^\circ$ ）として定義した。

解析ステップは、「変位緩衝孔削孔（1 回目）→SCP 杭打設（1 列目）→変位緩衝孔削孔（2 回目）→SCP 杭打設（2 列目）」のように実際の地盤改良施工における 2 列目の SCP 杭打設までを再現し、各ステップにおける地表面水平変位を算定した。

また、本解析における地盤要素の構成モデルは、菅沼ら³⁾により SCP 工法施工時の地盤変位予測に対する有効性が確認されている線形弾性モデルを用いることとした。なお、変位緩衝孔の削孔や SCP 杭の打設ステップにおける周辺地盤の実際の応力状態は弾性モデルでは評価できない。つまり、変位緩衝孔削孔による地盤の緩み、SCP 杭打設に伴う地盤の強度増加は評価対象外とする。

3. 解析結果

再現解析による 1 列目 SCP 杭からの距離と地表面水平変位量の関係を図 2 に示す。本結果より、変位緩衝孔の削孔により地盤が陸側に変位し、SCP 杭の打設により海側に変位する傾向が表現されている。また、本結果では、SCP 打設領域からの距離と地表面水平変位量は概ね反比例の関係で直線的に変化していることが分かる。一方、既往の調査事例では距離と地盤変位量は非線形的に変化するとした例が多い。これは、実際の変位の影響は平面的にも 2 次元的な広がりをもって伝播するのにに対し、本解析では断面 2 次元モデルを用いているためにこの影響が評価できていないこと、また弾性モデルを用いているために変位緩衝孔設置時および SCP 杭打設時の周辺地盤の変形挙動が精度よく表現されていないためであると考えられる。

次に、各解析ステップにおける護岸位置の地表面水平変位を C 部における実施工の地表面水平変位計測結果を重ねた結果を図 3 に示す。本結果より、再現解析による水平変位量は実測結果と概ね同程度の結果となっている。これより、SCP 工法施工時の地表面地盤の変位量については、弾性モデルを用いた本解析手法でも評価できる可能性を示している。

4. まとめ

護岸近傍における SCP 工法施工時の地盤変位影響について、線形弾性モデルを用いた断面 2 次元 FEM モデルにより解析を行った。解析においては、変位緩衝孔の削孔と SCP 杭の打設を要素幅の収縮および拡張によりモデル化し、変位緩衝孔を併用した SCP 工法の施工過程の再現を試みた。その結果、実施工における地盤変位計測結果を本手法による解析で概ねトレースできることを確認した。今後は、SCP 施工時の変位計測データの蓄積に加え、3 次元解析や非線形モデルの適用等によるさらなる予測精度の向上が期待される。

参考文献

- 1) 広重ら：動的・静的締固め改良工法による大規模地盤改良工事（その 1），第 74 回土木学会年次学術講演会，2019（投稿中）。
- 2) 佐藤ら：建築物における静的締固め砂杭工法施工時の変位対策，基礎工 4 月号，pp.46-48，2016
- 3) 菅沼ら：静的締固め砂杭工法施工時の変位予測，第 52 回土木学会年次学術講演会，1997

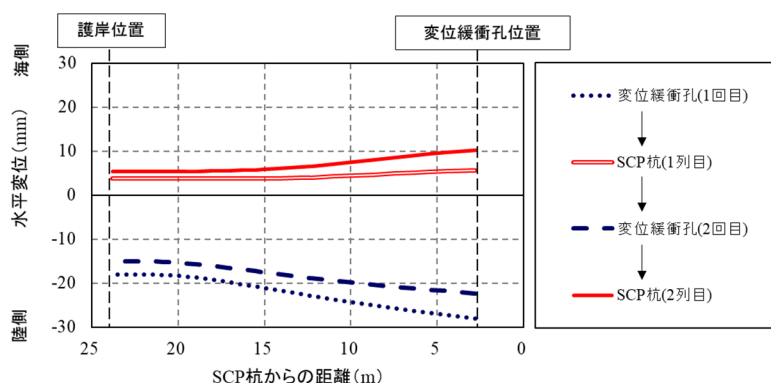


図 2 再現解析結果（SCP 杭からの距離と水平変位量の関係）

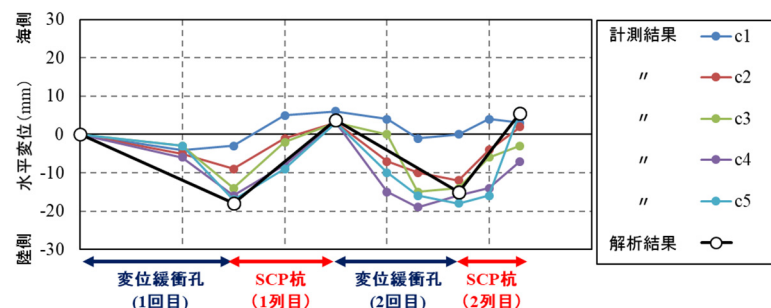


図 3 解析結果と C 部施工計測結果の比較
（護岸位置変位着目点における地表面水平変位）