

先端スクリューを用いた 静的締固め砂杭工法（STEP-IT 工法）の開発研究

森利弘 * 菊川智巳 ** 米丸弘一 **

市街地や既設構造物近傍における液状化対策工事の需要が増加する中、振動式サンドコンパクションパイル工法と同等の改良効果を有する地盤改良工法として、インナースクリューによる捻り締固め効果を利用した静的締固め砂杭工法（STEP 工法）を開発し、適用してきた。ただし、ケーシングパイプ内側にインナースクリューを装備しているため、他の類似工法と比較してケーシングパイプ径が大きく、貫入能力に劣るといった課題があった。そこで、STEP 工法の技術的特徴を継承しつつ、ケーシングパイプ貫入能力が向上する工法の開発に取り組んできた。本報では工法の概要と開発時に実施した各種の実験結果について報告する。

キーワード：地盤改良，静的締固め砂杭，液状化対策，先端スクリュー

1. はじめに

地震時の液状化を防止する有効な方法の一つは地盤の密度増大を図る地盤改良工法である。砂等の材料を用い、地盤中に締固め砂杭を造成することにより周辺地盤の密度を増大させる。代表的な工法として、サンドコンパクションパイル工法（以下、SCP 工法）が多用されてきたが、SCP 工法は大型のバイプロハンマーを用いるため、性能面では優れるが振動や騒音が大きく、規制を受ける市街地や既設構造物近傍では適用が難しい状況にある。そこで、スクリューによる捻り締固め効果を利用し、低振動・低騒音で締固め砂杭を造成する STEP 工法^{1),2)}（以下、既存工法）を開発し、適用してきた。ただし、既存工法ではケーシングパイプ（以下、CP）内側にインナースクリューを装備しているため、他の類似工法と比較して CP 径が $\phi 500\text{mm}$ と大きく、貫入能力に劣るといった課題があった。このため、既存工法の特徴であるスクリューによる捻り締固め技術を継承しつつ、貫入能力が向上する工法の開発に取り組んできた。

その結果、CP 先端にスクリューを装備する静的締固め砂杭工法（STEP-IT 工法（Screw Torsion-Environmental Compaction Pile Method-Inverse Tapered Type Tip Screw））を開発に至った。本稿では最初に本工法の概要について述べ、続いて先端スクリューの形状を選定するために実施した模型実験、選定したスクリューを用いて原位置で実施した締固め砂杭の性能確認試験について報告する。

2. 本工法の概要

* 技術本部 技術研究所

** 日本海工株式会社

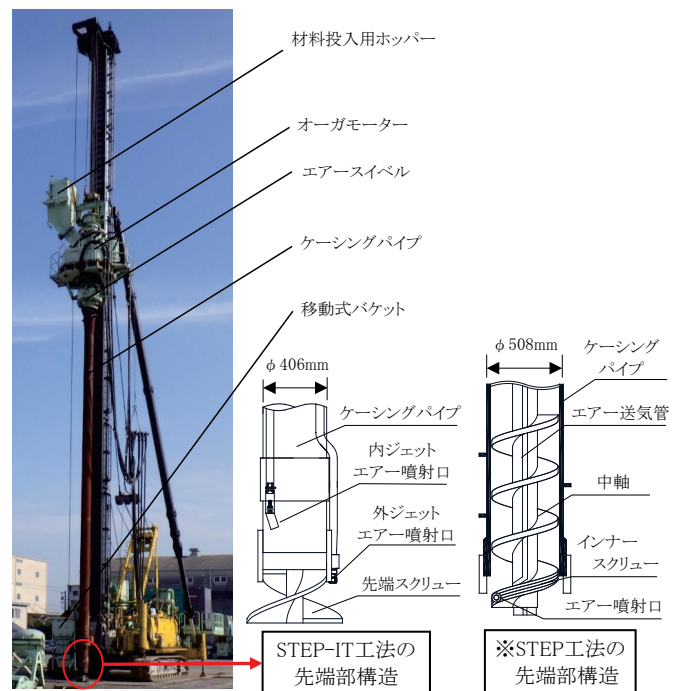


Fig.1 施工機械の概要

本工法は、既存工法で確立したスクリューによる捻り締固め技術を活用し、新たに開発した静的締固め砂杭工法である。

2. 1 施工機械

施工機械の概要図を Fig.1 に示す。クローラ式サンドパイル打機をベースマシンとし、CP および CP を回転駆動するためのオーガモーター等を装備する。既存工法で装備していたインナースクリューに変えて、CP の先端には砂杭の拡径・締固めを行うための先端スクリューを新たに設けている。また、エア関連の装置として、CP の貫入補助に用いる外ジェット、砂杭造成時に使用材料の排出効率を高めるための内ジェットを設けている。

2. 2 施工手順

施工手順は以下に示す通りである。施工手順の模式図を Fig. 2 に示す。

- ①CP を杭芯位置にセットし、原地盤土砂の侵入を防止するために CP 内に砂等の材料を投入する。
- ②オーガモーターを正転駆動させ、CP の貫入を開始する。硬質層や貫入抵抗が大きい場合など、必要に応じて外ジェットを使用する。
- ③規定深度まで CP を貫入させた後、CP 内に材料を補給する。
- ④砂面計 (マイクロウェーブ式レベル計) で CP 内の材料天端を確認した後、オーガモーターを逆転駆動させ、CP 内に圧縮空気を供給しつつ、CP の引抜きを開始する。
- ⑤材料を排出させながら、CP を所定の単位長さまで引抜く。
- ⑥所定深度に到達後、CP の引抜きを一旦停止し、材料の排出は継続させつつ、締固めを行う。
- ⑦砂面計で規定量の材料が排出されるまで先端スクリーによる捻り締固めを行う。
- ⑧手順④～⑦を繰り返し、規定長の締固め砂杭を造成する。

なお、SCP 工法における締固め砂杭の造成は CP の引抜きと貫入を繰り返す打戻し施工によるが、本工法では Fig. 2 に示すように CP の引抜きを単位長さ毎に行い締固め砂杭を段階的に造成する点に特徴がある。

2. 3 砂杭造成メカニズム

本工法における砂杭の造成メカニズムは先端スクリー

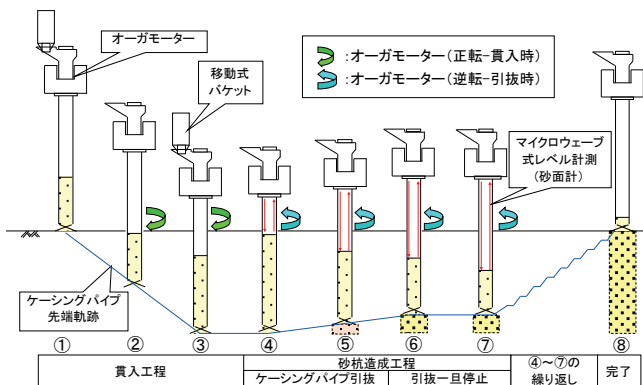


Fig. 2 施工手順

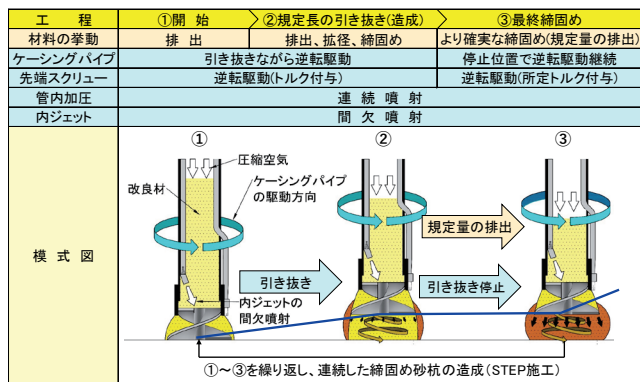


Fig. 3 締固め砂杭の造成メカニズム

による捻り締固め効果を利用して行う。その詳細メカニズムを Fig. 3 に示す。Fig. 3 における造成工程①, ②, ③は Fig. 2 における施工手順のそれぞれ④～⑤, ⑥, ⑦に該当する。

砂杭の造成時には CP を貫入時とは逆方向に回転させ、スクリー効果により材料を下方へ移動、下部に締固め砂杭を造成する。これは既存工法における締固め砂杭の造成メカニズム (スクリーによる捻り締固めを利用した造成メカニズム) を継承したものである。本工法における先端スクリーは下端ほど径が大きくなる逆テーパ形状であり、これにより締固め範囲の拡大と砂杭造成速度の向上を図っている。

先端スクリーへの材料供給は、CP 内に圧縮空気を充填することにより、CP の引抜きに伴い生じる CP 直下の空間に材料が順次排出され、連続した砂杭の造成が可能となっている。材料供給に関しては、SCP 工法の材料排出技術を活用しているが、本工法では内ジェットに間欠噴射を取り入れることにより、CP 内からの材料排出の促進効果を高めている。

3. 模型実験の概要と結果

前述したように、本工法ではスクリーによる捻り締固め効果を利用し、締固め砂杭を造成する方針とした。そこで、原位置での性能確認試験に先立ち、室内模型実験を実施し、スクリー形状の選定に関する事前検討を行うこととした。なお、模型実験は様々なスクリー形状に対して実施しているが、ここでは最終段階におけるスクリー形状の選定結果について記載する。

3. 1 模型実験装置

模型実験装置の概要を Fig. 4 に示す。簡易リーダーに沿って CP が昇降する構造とした。なお、模型実験はスクリー形状の選定のための比較実験であり、影響が小さいと考えられるジェット等のエア装置は模型実験では模擬していない。計測項目のうち、モーターの回転トルクおよび装置の底面に設置している荷重計のデータは自動計測とし、CP を模擬した鋼管パイプの鉛直変位および管内材料の高さは目視による読み取りとしている。なお、材料には珪砂 (5 号) を用いている。

模型実験に使用した先端スクリーの形状を Fig. 5 に示す。スクリー形状のパラメーターとして、①枚数、②巻角度、③ピッチ、④鋼管パイプとの離隔距離、⑤スクリー径を設定した。

参考として、模型実験に用いた装置と実施工機の相似関係を Table 1 に示す。約 1/6 縮尺模型を基本としているが、オーガモーターのトルク値を含め、スクリー形状の選定比較に影響が小さいと考えられる項目は厳密に相似関係を満足させている訳ではない。

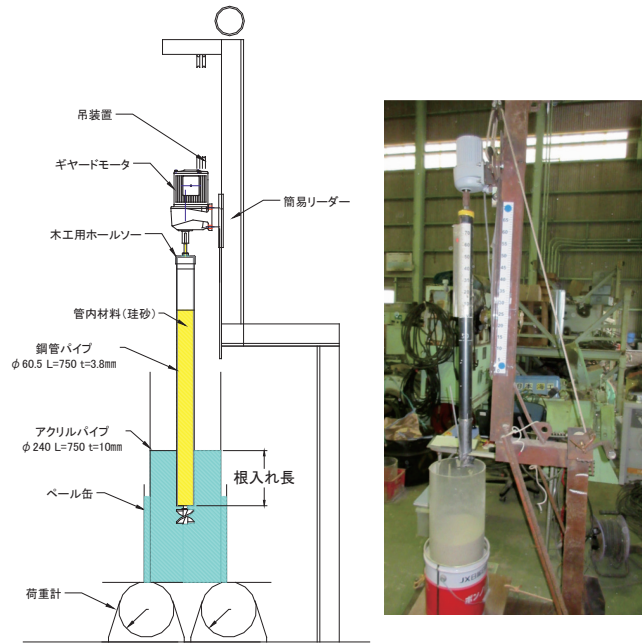


Fig. 4 模型実験装置

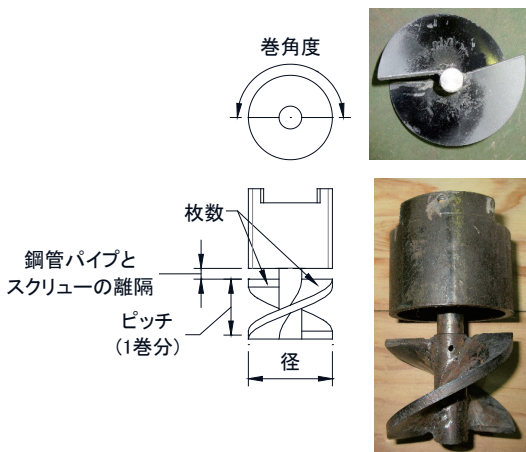


Fig. 5 模型実験用先端スクリーンの概要

Table 1 模型実験装置と実施工機の相似関係

部品	項目	単位	実施工機 (諸元)	相似関係		模型機 (諸元)
				理論スケール	理論諸元	
ケーシングパイプ	外径(φ)	mm	406.4	0.15	61.0	60.5
	内径(φ)	mm	368.4	0.15	55.3	53.2
	肉厚	mm	19	0.15	2.9	3.8
オーガモーター	回転数 (低速/高速)	rpm	7/14	1.00	7/14	0~30
	トルク (低速/高速)	N・m	122630/60940	0.15 ³	413/205	55.8
	軸出力	kW	90	0.15 ³	0.3	0.2
造成砂杭	目標径(φ)	mm	700	0.15	105	105

3. 2 スクリューの形状選定

先端スクリーウの形状を選定するために実施した模型実験の条件を Table 2 に示す. 選定に際して, まずは締め砂杭の造成に重要な材料の排出能力(cm³/分)に着目し, 模型実験を実施することとした. 試験結果を Fig. 6 に示す.

スクリーウの枚数, 巻角度およびピッチに関する実験結果から, 枚数を4枚から2枚に減らし, 巻角度を90度から180度に拡大することによって排出能力が向上する傾向が見られた. 一方, スクリューのピッチは82.6mm/巻までは排出能力が向上するが, 109.2mm/巻まで拡大すると逆に排出能力が低下することが分かった. 続いて, これらの仕様で鋼管パイプの根入れ長を0cmから3cmに変更して実施した鋼管パイプとスクリーウの離隔に関する実験結果から, 離隔距離10mmまでは排出能力が向上すると判断した. また, スクリュー径の違いに関する実験から, スクリュー径を単に拡大するよりも上端から下方に向かって徐々に拡径する逆テーパ形状にすることによって排出能力が大きく向上することが確認できた. スクリュー径を鋼管パイプ径より大きくした場合に排出能力が極端に低下しているのは鋼管パイプを回転させることによりスクリーウ周辺地盤を逆に巻き込む作用(動き)が生じるためである.

以上の材料排出能力に着目した実験結果を踏まえ, 良好な結果が得られたスクリーウ形状(枚数2, 巻角度180

Table 2 模型実験における実験条件

着眼パラメータ	スクリーウ諸元					回転速度 (rpm)	鋼管パイプ根入れ長 (cm)
	径 (mm)	ピッチ (mm/巻)	巻角度 (度)	枚数 (枚)	離隔 (mm)		
スクリーウの枚数	60	53.2	90	4	7.4	17.3	0
				2			
				4			
				2			
スクリーウの巻角度	60	53.2	90	2	7.4	17.3	0
			120				
			90				
			180				
スクリーウのピッチ	60	73.8	180	2	7.0	17.3	0
		82.6					
		109.2					
鋼管パイプとスクリーウの離隔	60	82.6	180	2	3.0	17.3	3
					10.0		
スクリーウの径	60	82.6	180	2	10.0	17.3	0
	60/90*						
	60/103*						
	90						
	103						

*: 上端から下端に向かって徐々に拡径する逆テーパ形状

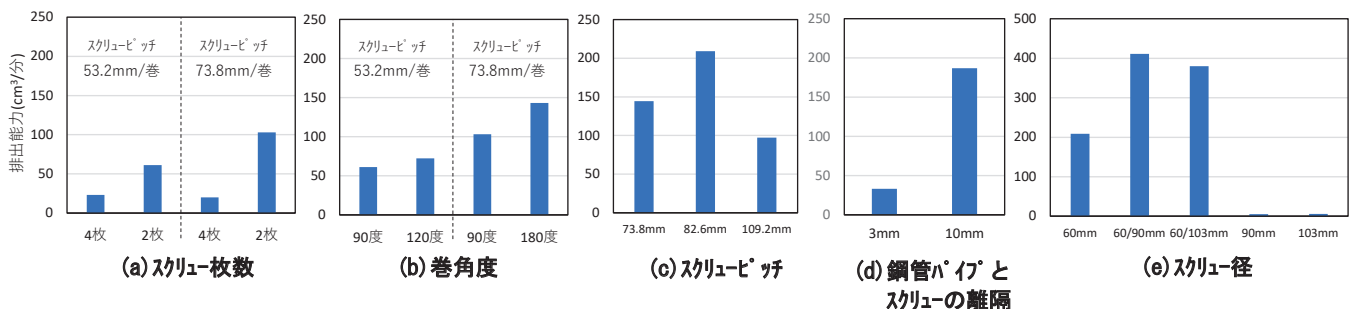


Fig. 6 スクリュー形状選定のための排出能力比較実験結果

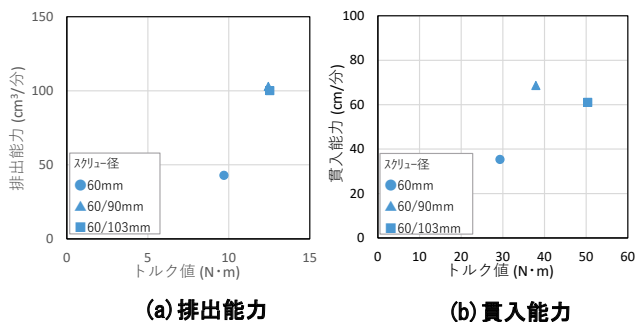


Fig. 7 排出能力および貫入能力の確認実験結果

Table 3 模型実験から選定した先端スクリーの諸元

区分	スクリー諸元				
	径 (mm)	ピッチ (mm/巻)	巻角度 (度)	枚数 (枚)	鋼管パイプとの離隔 (mm)
模型	上部: 60 下部: 90~103	82.6	180	2	10.0
実機換算	上部: 406 下部: 610~700	560	180	2	67

度、ピッチ 82.6mm/巻、鋼管パイプとの離隔距離 10mm) をベースに、鋼管パイプの根入れ長を 10cm に変更し、再度、材料排出能力に関する確認実験とともに併せて貫入能力に関する確認実験を実施した。先端スクリーの径は比較の意味合いを含めて 3 タイプとしている。なお、根入れ長を 0cm から 10cm に変更したのは土被りのある状態での確認を行うためである。

Fig. 7 の (a) に示すように 10cm 根入れした状態においても逆テーパ形状では排出能力が向上していること、スクリー下端径の違いによる排出能力の差はほとんど無いことが確認できた。一方、Fig. 7 の (b) に示すように逆テーパ形状にすることで貫入能力が向上するが、下端径を大きくし過ぎると貫入能力が少し低下する傾向が見られた。また、貫入時におけるトルク値は逆に増大している。

上記模型実験より、先端スクリーの形状は Table 3 をベースとし、先端スクリーの形状は逆テーパ形状にする方針とした。

3.3 スクリューの拡径能力

前節 3.2 で選定した先端スクリー模型のうち、下端径を 90mm としたスクリーを用い、締固め砂杭造成に必要な拡径能力について確認することとした。実験装置は、前掲した Fig. 4 を使用している。Fig. 8 に示すように、長さ 15cm の締固め砂杭を下部より 5cm ずつ造成した後、上部より段階的に砂杭周辺の砂およびアクリルパイプを撤去した後に砂杭の径を 3 深度で測定した。なお、砂杭の径が測定 (区別) できるように鋼管パイプ内の排出材料には色砂の珪砂を用いている。

Fig. 8 に砂杭の杭径確認結果を、Table 4 に砂杭の拡径

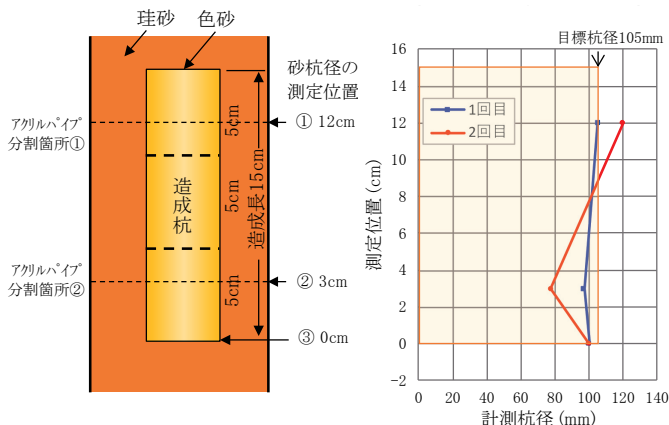


Fig. 8 砂杭造成による杭径確認結果

Table 4 砂杭の拡径効果と締固め効果の確認結果

区分	拡径効果			締固め効果		
	実測径 (mm)	実機換算径 (mm)	拡径率*1	砂杭体積*2 (cm³)	排出砂量 (cm³)	体積変化率*3
目標値	105	700	1.15	1236	1608~1669	1.30~1.35
1回目 (平均)	99.05	660.3	1.10	1156	1553	1.34
2回目 (平均)	100.64	670.9	1.12	1193	1553	1.30
	2回の平均			2回の平均		
	1.11			1.32		

*1: 拡径率 = 実測径 / 先端スクリー径
*2: 砂杭体積 = 実測径での断面積 × 造成長
*3: 体積変化率 = 排出砂量 / 砂杭体積

効果として拡径率 (実測径 / 先端スクリー径)、締固め効果として体積変化率 (排出砂量 / 砂杭体積) の確認結果を示す。Fig. 8 より、目標杭径 105mm (実機換算で 700mm) に若干不足しているが、概ね満足できていることが分かる。また、Table 4 より、先端スクリーによる締固めは目標とした SCP 工法での体積変化率 1.3~1.35³⁾ と同等程度の締固め効果が期待できることを確認した。

4. 性能確認試験の概要と結果

4.1 試験概要

締固め砂杭の性能を確認するために原位置において性能確認試験を実施した。その概要を Table 5 に示す。なお、先端スクリーの諸元は Table 3 の実機換算として

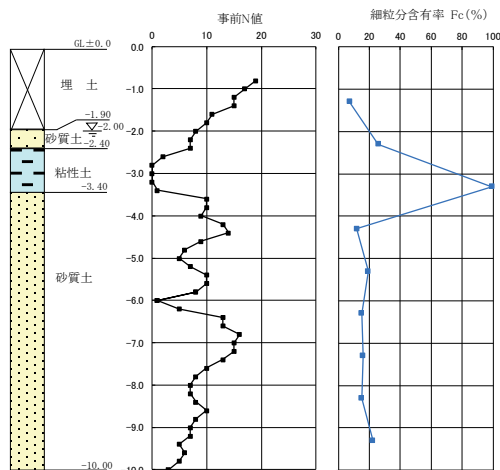


Fig. 9 試験場所の地盤特性

Table 5 性能確認試験の概要

区分	件名	年月	場所	規模・数量	使用材料	確認項目	確認方法	結果概要
A-1	試験(1)	平成29年 3~5月	兵庫県 姫路市	φ 700mm □ 2.0m a _s =9.6% L=3.0~12.0m 49本	砕砂	杭径	漉き取り、露出	GL-1.6mまでφ700mmを確認
						杭芯強度	大型動的コーン 貫入試験	GL-2.0~7.0m N値=7~33
						杭間強度		GL-2.0~7.0m(粘性土除く) 平均N値 前9.0 後18.3
						騒音レベル	JIS Z 8731	離隔距離5.0m 76dB程度
						振動レベル	JIS Z 8735	離隔距離5.0m 50dB程度
A-2	試験(2)	平成30年 3~4月	兵庫県 姫路市	φ 700mm □ 2.0m a _s =9.6% L=7.0~12.0m 49本	リサイクル材 (再生砂) ・ 再生砕石(RC-40)	杭径	漉き取り、露出	GL-1.0mまでφ700mmを確認
						杭芯強度	大型動的コーン 貫入試験	GL-2.0~7.0m N値=7~49
						杭間強度		GL-2.0~7.0m(粘性土除く) 平均N値 前9.0 後16.3(再生砂) 後16.5(RC-40)
						騒音レベル	JIS Z 8731	離隔距離5.0m 79dB程度
						振動レベル	JIS Z 8735	離隔距離5.0m 46dB程度

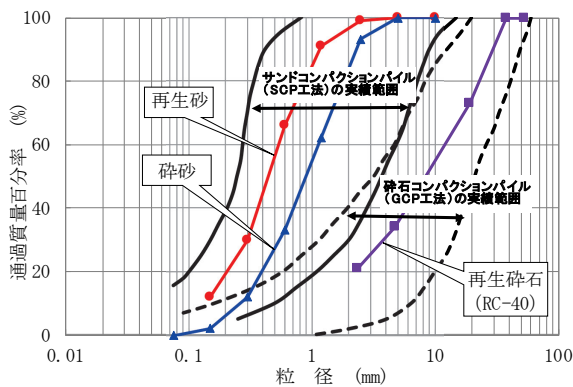


Fig. 10 使用材料の粒径加積曲線 4)に加筆

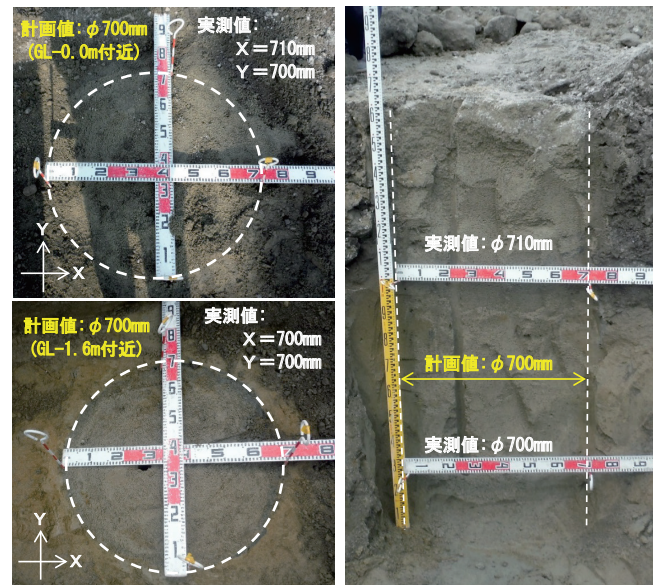
いるが、CPの貫入能力および施工機械の仕様を再検討し、先端スクリーの下端径は最終的に650mmとした。性能確認試験における主な確認項目はTable 5に示した通りであるが、併せて既存工法との貫入能力を比較した。試験場所の地盤特性をFig. 9に示す。

A-1(試験(1))とA-2(試験(2))は同じ敷地内で実施しているが、違いは締固め砂杭に用いた材料の種類であり、A-1では砕砂、A-2ではリサイクル材(再生砂)と再生砕石(RC-40)を使用している。用いた材料の粒径加積曲線をFig. 10に示す。Fig. 10のように使用した材料はSCP工法およびGCP工法(砕石コンパクションパイル工法)の施工実績範囲に入っている。

4.2 砂杭の出来形

本工法では前述した体積変化率を踏まえ、所定の砂杭径の造成に必要な材料排出量を管理しながら締固め砂杭を造成する。材料排出量の管理はCP内の材料天端をマイクロウェーブ式レベル計で計測し、オペレーションルーム内のモニターに表示して行う。

造成した砂杭が所定の出来形(杭径)に形成されているかを表層部の掘り起こしを行い、調査した。調査した結果をPhoto. 1に示す。Photo. 1はA-1での結果であるが、GL-1.6mまでの縦割り調査を含めて、所定の杭径



(a) 平面状況 (b) 断面状況

Photo. 1 掘り起こしによる砂杭の計測状況 (A-1)

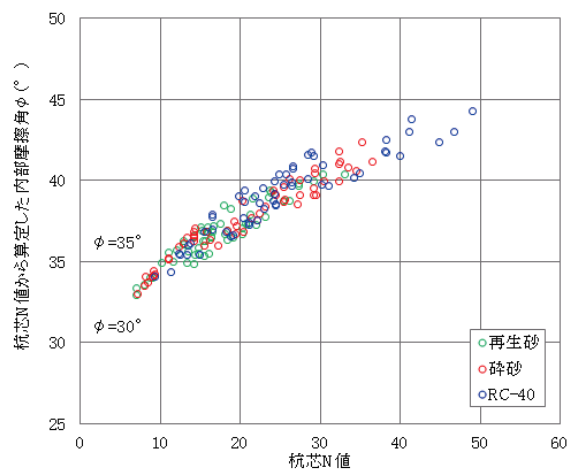


Fig. 11 杭芯N値と内部摩擦角の関係

700mmを有していることが確認できた。なお、A-2においても杭径700mmを確認している。

4. 3 杭芯強度

造成した締固め砂杭の強度を確認するために杭芯位置において大型動的コーン貫入試験を実施した。Fig. 11 に試験結果を示す。大型動的コーン貫入試験による N_d 値から N 値を求め (N_d 値= N 値), N 値から内部摩擦角 ϕ を算

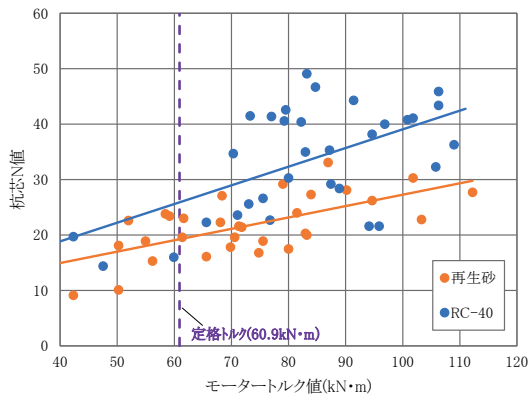


Fig. 12 杭芯強度とトルク値の関係図

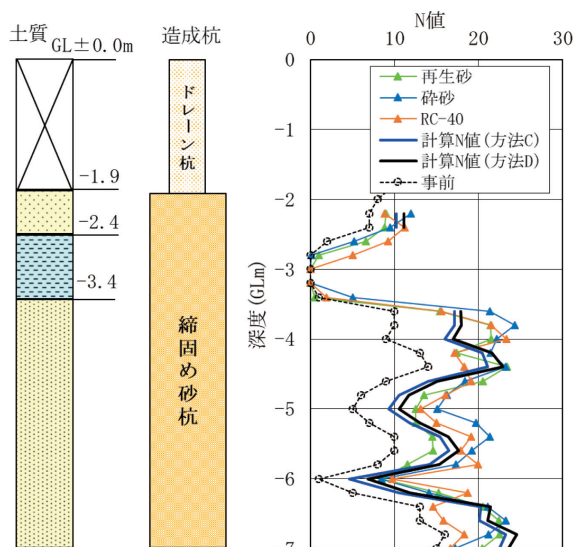


Fig. 13 杭間N値の深度分布

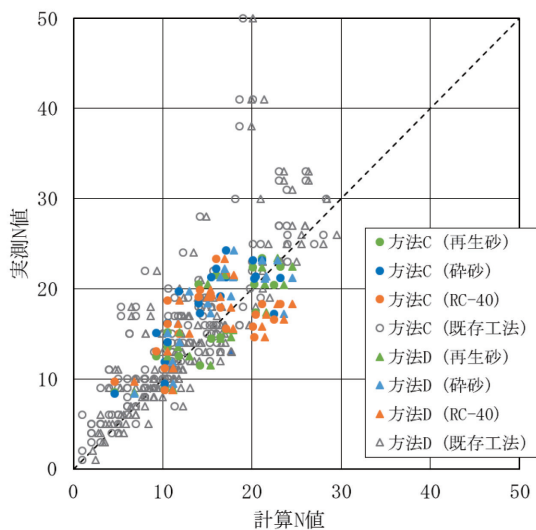


Fig. 14 杭間計算N値と実測N値の関係図

定した。算定式⁵⁾を式(1)に示す。

$$\phi = 25 + 3.2 \sqrt{\frac{100N}{(\sigma'_{v0} + 70)}} \quad \dots (1)$$

ここで、

ϕ : 締固め砂杭の内部摩擦角(°)

N : 締固め砂杭の杭芯 N 値

σ'_{v0} : 測定した時の有効土被り圧(kN/m²)

算定された内部摩擦角は締固め砂杭に求められる性能範囲 ($\phi=30\sim35^\circ$ 程度⁶⁾) と同等以上の $33\sim45^\circ$ となっており、杭芯強度は目標強度を満足していることが確認される。

Fig. 12 は杭芯 N 値と出力トルク値との関係を示したものである。出力トルク値は砂杭造成中におけるオーガモーターの電流値からトルク値に換算している。使用材料が異なると分布特性に差が見られるが、同じ材料ではトルク値の上昇とともに杭芯 N 値も上昇する傾向が確認できる。また、定格トルク (60.9kN・m) で概ね N 値 20 以上を示している。このように施工中の品質管理の指標としてトルク値が利用できる可能性があることが分かった。

4. 4 杭間強度

締固め砂杭造成による改良効果の確認として造成後、杭間位置において大型動的コーン貫入試験を実施した。なお、締固め砂杭は正方形配置 (ピッチ 2.0m) で施工し、杭間強度の確認は砂杭 4 本の中心位置で行っている。

Fig. 13 に杭間 N 値の深度分布を示す。同図には SCP 工法の砂質地盤に対する設計法である方法 C と方法 D⁷⁾ で算定される杭間計算 N 値 (以降、計算 N 値) も併せて示した。改良後における実測 N 値は使用材料による違いは見られず、また、計算 N 値と分布特性が類似していることが分かる。

実施した性能確認試験における計算 N 値と実測 N 値の関係を Fig. 14 に示す。同図には既存工法における実績データについても参考として記載した。プロット点は 45° 線付近に位置しており、改良後の杭間 N 値の推定に、SCP 工法における設計方法が適用できることが分かった。また、既存工法における分布特性と比較して顕著な違いが見られないことが確認される。

4. 5 振動・騒音レベル

本工法による締固め砂杭の施工中に計測した振動レベルと騒音レベルの測定結果を、それぞれ Fig. 15 と Fig. 16 に示す。なお、振動レベル、騒音レベルは Fig. 2 の施工手順のうち、締固め砂杭の造成工程において最大となっている。

Fig. 15 および Fig. 16 には SCP 工法における値および既存工法におけるデータを併せて示す。各図から振動レベルおよび騒音レベルは砂杭の打設位置からの離隔距離

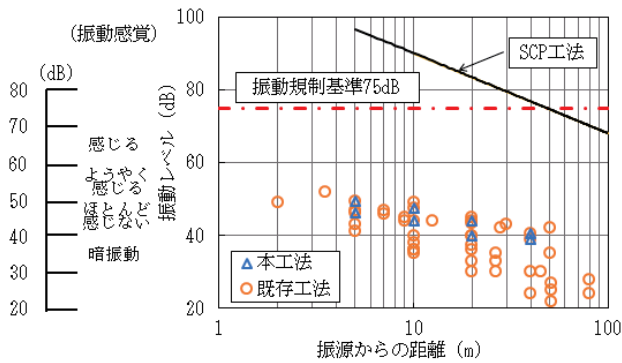


Fig. 15 振動レベルの距離減衰図

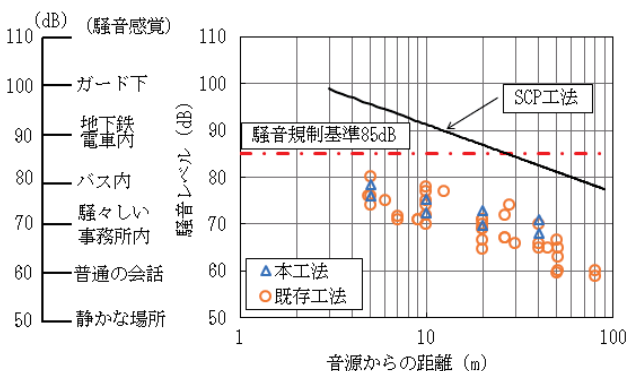


Fig. 16 騒音レベルの距離減衰図

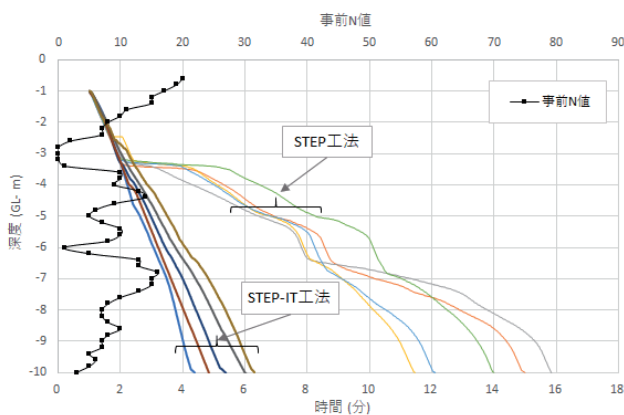


Fig. 17 本工法と既存工法の貫入軌跡の比較

5mで特定建設作業の規制基準値を下回ることが確認できる。また、既存工法と比較した結果、振動レベルおよび騒音レベル共に同程度であることが確認できる。

4. 6 貫入能力

既存工法においてはCP内側にインナースクリーを装備するため、CP径はφ500mmとなっている。他の類似工法と比較した場合、CP径が100mm程度大きく、貫入能力に劣るという課題があり、本工法の開発に着手した。これまでに示したように締固め砂杭としての改良効果および施工時における振動・騒音レベルには既存工法と比較して顕著な違いは見られない。

一方、同じ敷地内において本工法と既存工法の貫入試験を実施し、貫入能力の比較を行った。Fig. 17は貫入試験データから得られた貫入軌跡を示したものである。既存工法とは異なり、本工法では地盤N値の変化に対して貫入軌跡の顕著な変化は見られず、深度方向で貫入速度は概ね一定となっている。既存工法と比較すると貫入時間が大幅に短縮され(1/2程度)、貫入能力が向上していることが分かる。これは、CP径をφ400mmに変更したことに加え、先端スクリーによる地盤の切削効果や外ジェットの影響が作用したものと考えられる。原位置における貫入試験結果から、目標とした他の類似工法と同程度である貫入速度1m/分を満足していることが確認できた。

5. まとめ

液状化対策工法として開発した既存工法の貫入能力向上を目的とし、既存工法の特徴であるスクリーによる捻り締固め技術を継承する新たな静的締固め砂杭工法

(STEP-IT工法)を開発した。開発に際し実施した原位置での性能確認試験結果から、以下のことが確認できた。

- 1) 本工法における締固め砂杭の造成径は目標としたφ700mmを満足する。また、締固め砂杭の杭芯強度は設計上の要求性能範囲を満足する。
- 2) 締固め砂杭造成による杭間強度の設計は、SCP工法における設計法(方法Cおよび方法D)を用いることができる。
- 3) 振動・騒音レベルは締固め砂杭の施工位置からの離隔距離5mで特定建設作業の規制基準値を下回る。
- 4) 本工法における貫入工程でのケーシングパイプの貫入速度は既存工法に比べ2倍程度向上する。

謝辞

本工法の開発は、日本海工株式会社との共同開発である。開発に際し、ご協力いただいた関係者に改めて感謝申し上げます。

また、本工法は(一社)国土技術研究センターから建設技術審査証明を取得している。取得に際し、ご協力いただいた関係者の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 渡辺則雄, 服部正裕: インナースクリーを用いた静的締固め工法(STEP工法)の開発, 熊谷組技術研究報告 第67号, pp. 43-50, 2008. 12
- 2) 森利弘, 服部正裕: 液状化対策工法の開発と施工事例—インナースクリーを用いた静的締固め地盤改良—, 建築技術, No. 742, pp. 52-59, 2011. 11
- 3) 地盤工学会: 軟弱地盤対策工法—調査・設計から施工まで—, p. 139, 平成2年1月
- 4) 日本道路協会: 道路土工 軟弱地盤対策工指針, p. 281, 平成24年8月

- 5) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，p. 334，平成 30 年 5 月
6) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，p. 823，平成 30 年 5 月

- 7) 日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指針，pp. 271-278，平成 24 年 8 月

Research and Development of Static Sand Compaction Pile Method (STEP-IT Method) Using Tip Screw

Toshihiro MORI, Tomomi KIKUGAWA and Koichi YONEMARU

Abstract

In response to growing demand for liquefaction-countermeasures work in urban areas and near existing structures, we developed and deployed a static sand compaction pile method based on the torsion compaction effects of the inner screw (i.e., the Screw Torsion-Environmental Compaction Pile Method (STEP method)) as a ground improvement method with improvement effects equal to those of the conventional vibratory sand compaction pile method. However, since the inner screw is installed inside a casing pipe, the method poses issues related to the larger pipe diameter and lower penetration capability compared to other approaches. In response, we have developed a method that improves pipe penetration capabilities while inheriting the technical features of the STEP method. This report gives an overview of the construction method and the results of various experiments performed during development.

Key words: Ground Improvement, Static Sand Compaction Pile, Liquefaction Counter Measure, Tip Screw
