

# 砂圧入式静的締固め工法

セーブ エスピー  
SAVE-SP (Silent, Advanced Vibration-Erasing - Sand Press) 工法

磯谷 修二・永石 雅大

狭隘地や既設構造物直下の地盤の締固めを可能にするため、流動化させた砂を小型施工機のロッドを通して地中に圧入する砂圧入式静的締固め工法 (SAVE-SP 工法) を開発・実用化した。これまで施工材料に砂を用いた締固め工法は、大型の機械を必要としていたため狭隘地等での適用が困難であった。しかし、流動化させた砂を用いることによって施工条件及び施工機の適用範囲拡大を可能とした。

本報では施工機械、流動化砂の特性、施工方法など工法の基本事項と、試験工事での改良効果などについて報告する。

キーワード：地盤改良，締固め，耐震化，液状化対策，既設構造物直下，小型施工機，流動化砂

## 1. はじめに

近年、既設の護岸や岸壁、空港滑走路の耐震性向上のため、狭隘地や構造物直下でも適用可能な液状化対策工法が求められている。サンドコンパクションパイル工法は液状化対策工法として一般的であるが、大型施工機械を用いるため舗装の撤去や施工スペースの確保が問題となり適用できない場合が多い。そのため、小型施工機を用いる薬液注入系の固化工法や、セメントモルタルを圧入する静的締固め工法が既設構造物対応工法として利用されている。しかしながら、さらなるコスト削減や環境負荷を軽減できる材料 (砂) の使用を可能にする工法が求められていた。そのような背景の中で砂を流動化させ、圧入を小型施工機で行うことで、コスト削減、環境影響低減を可能にした砂圧入式静的締固め工法を開発、実用化した。

## 2. 工法の概要

### (1) 施工システム

本工法の施工システムを図-1に示す。

ロッドの貫入・引抜を行う小型施工機、流動化砂を施工機まで圧送する圧送ポンプ、流動化砂を製造する流動化砂製造プラント、材料砂をプラントに投入するバックホウからなる。

小型施工機は3m×6m程度の占有面積で、地中に貫入するロッド径はφ100mm程度である(写真-1)。また、より小型の施工機としてボーリングマシンの

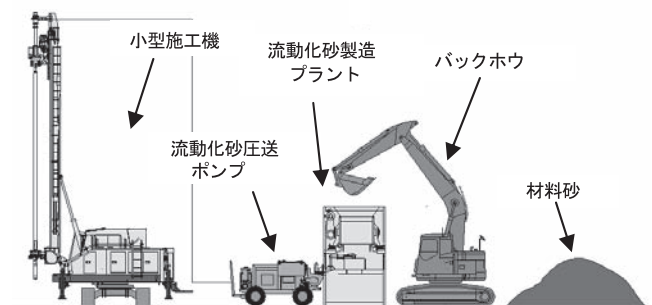


図-1 砂圧入式静的締固め工法の施工システム

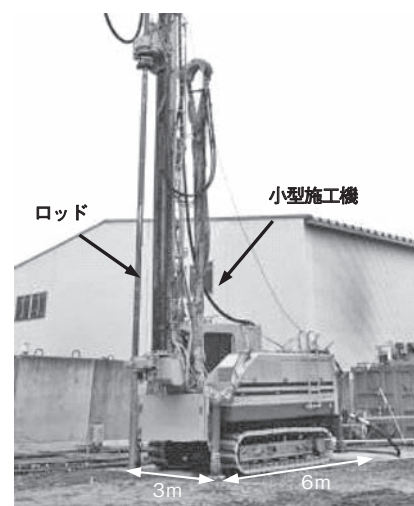


写真-1 SAVE-SP 工法施工機

適用も可能である。

施工機にロータリーパーカッションドリルやパイプロドリルを用いることで、斜め施工にも対応可能である。流動化砂製造プラントは、バッチ毎に流動化砂を製

造するもので、搬入した砂への加水、流動化剤および塑性化剤の添加・混練を行う（写真—2）。

圧送ポンプはピストン式で、材料の吸込と吐出を連続して行う。ピストン速度を変えることで流量調整が可能であり、ポンプと施工機の離隔は100m程度まで対応可能である。



写真—2 流動化砂製造プラント

## (2) 流動化砂

流動化砂とは、砂に流動化剤（アニオン系高分子材）を添加・混練することで、砂と水の分離が抑制され流動性が増した砂である。（写真—3）なお、地盤圧入後に流動性が消失するよう遅効性の塑性化剤（カチオン系高分子材）も添加している。材料砂は、圧送中の流動性（保水性）確保と地中圧入時の速やかな脱水が両立する粒度特性が必要である。



写真—3 流動化砂（プラント吐出口）

## (3) 施工手順

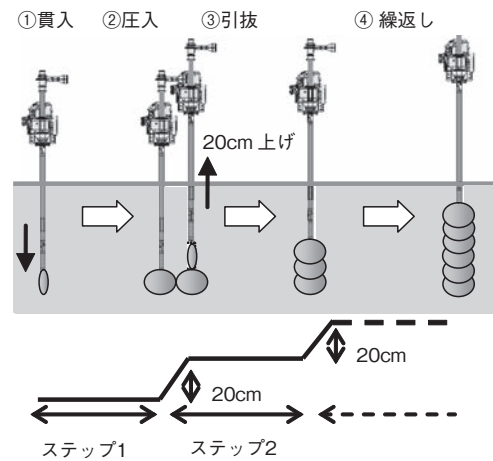
本工法の施工手順を図—2に示す。

①ロッドを所定深度まで貫入、②流動化砂を圧入、③所定長引抜き、④②③の繰り返しとなる。②では所定の改良体体積が得られる量の流動化砂を圧入する。

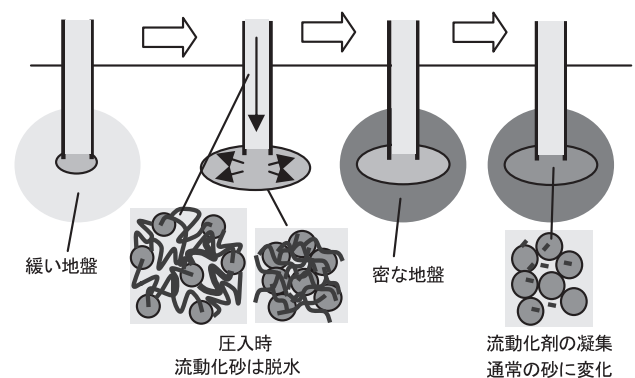
## (4) 締固め機構

本工法の締固め機構を図—3に示す。

ロッドから地中に排出された流動化砂は圧力で脱水



図—2 施工手順



図—3 締固め機構

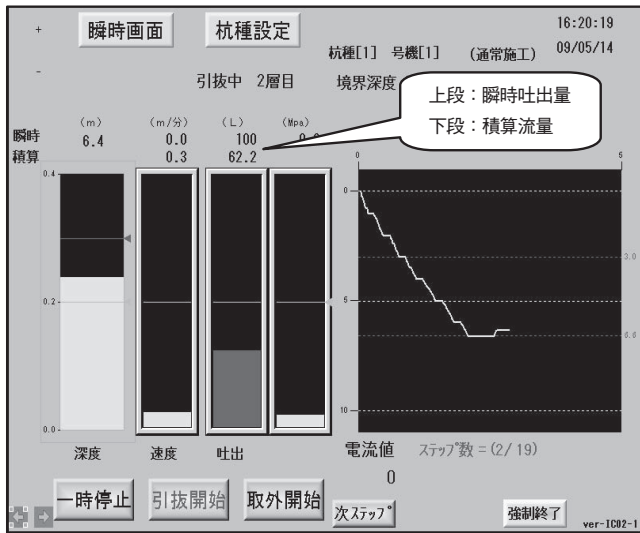
され、締めりながら拡張される。同時に周囲の地盤は締固められる。この時いくらかの流動化剤は残るが、時間経過に従い塑性化剤の効果で凝集し、その後は通常の砂になる。これに要する期間はおおよそ1ヶ月であるが、脱水された流動化砂は塑性化前においても十分なせん断抵抗を有し、改良効果は施工直後から発現する。

## (5) 施工管理

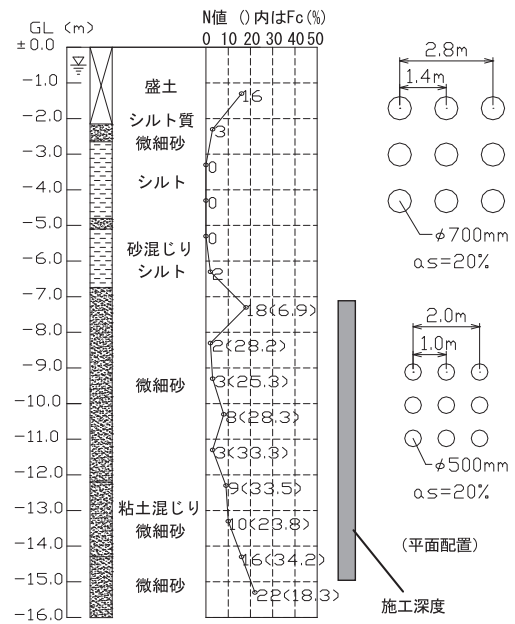
施工管理は、施工機に専用の管理装置（施工管理モニター）を搭載して行っている（図—4）。

この管理装置では、ロッド先端の深度（m）・流動化砂圧入流量（L）・流動化砂圧入圧力（MPa）を表示しており、オペレーターがリアルタイムで施工状況を確認することができる。また、造成時には各深度で流動化砂が規定量圧入されると、音声告知と共に自動的にロッドが引き上げられるように制御され（自動制御）、ヒューマンエラーも防止している。

また、施工時の圧入圧力は概ね1～3MPa程度であるが、地盤条件によっては最大6MPa程度まで上昇することもある。



図一四 施工管理モニター



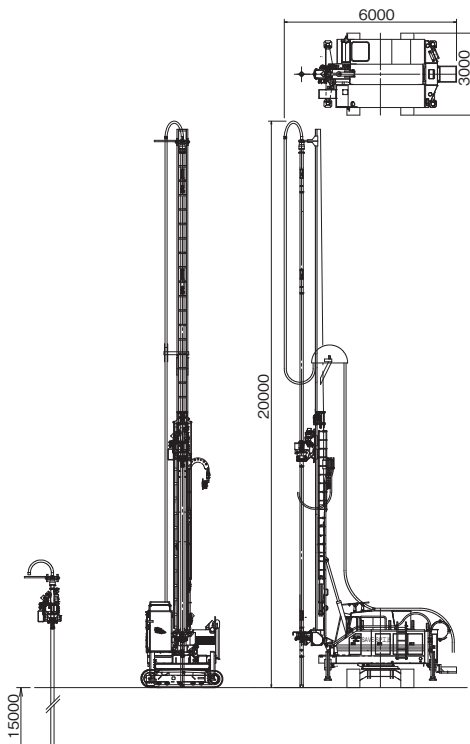
図一六 対象地盤と改良体配置

### 3. 施工試験

#### (1) 施工試験 1

##### (a) 試験概要

愛知県田原市にて試験工事を実施した。当工事では GL - 7 m ~ - 15 m の砂質土を対象に施工性及び締固め効果を確認した。地盤の  $N$  値は 2 ~ 18, 細粒分含有率  $F_c$  は 30% 程度である。(図一六) この地盤に換算改良径  $\phi$  500 mm,  $\phi$  700 mm で改良率 20% となるよう施工した。施工機械は小型機 (12 t クラス) を用いて行った (図一五)。

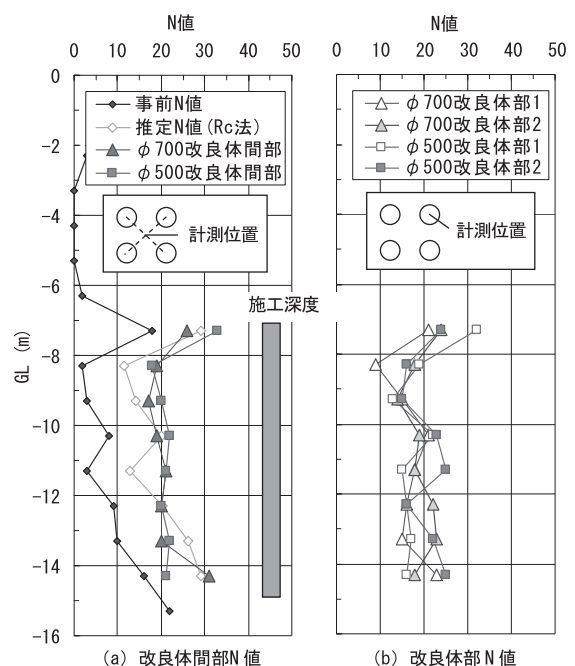


図一五 施工機 (12 t クラス)

##### (b) 試験結果

所定深度まで貫入終了後、流動化砂で造成を行い、圧入圧力、圧入量、共に安定し計画量の圧入が完了した。また、造成中の自動制御 (ステップアップ) についても滞りなく実施することができ、システム全体としての有効性を確認することができた。

施工後、各改良体の対角線交点 (以下、改良体間部) と改良体部で  $N$  値を計測した。結果を図一七に示す。図一七(a)には改良率 20% での推定  $N$  値 (Rc 法) も示しているが、改良体間部  $N$  値はこの推定  $N$  値と同等であることを確認した。



図一七 施工前後の  $N$  値

(2) 施工試験 2

(a) 試験概要

佐賀県唐津市にて試験工事を実施した。当工事の目的は、斜め施工の施工性確認を主として行った。対象地盤はGL - 2.2 m ~ - 9.0 m の砂質土であり、N値は1 ~ 8、細粒分含有率  $F_c$  は3 ~ 30%程度である。この地盤に換算改良径  $\phi$  700 mm、改良率15%にて施工した。本試験で使用した施工機を写真—4に示す。なお、この施工機は振動機と回転機構を備えた振動機付き施工機であり、1.5 m のロッドを継ぎ足して所定深度の施工を行った。



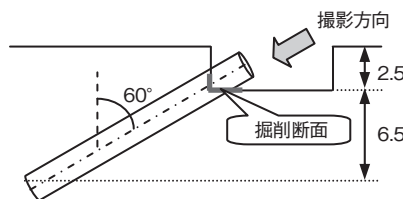
写真—4 振動機付き施工機

(b) 試験結果

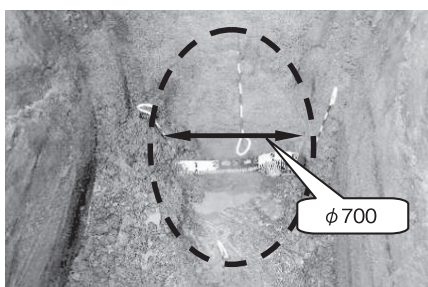
施工は、斜めにロッドを切り継ぐ施工であったが、鉛直の施工と変わらない施工性を確認した。

また、ロッドの切り継ぎ回数が多い中、誤操作することもなく施工管理装置の有効性を確認することができた。

斜め施工の改良効果についても鉛直施工と同様の効果を確認した。また、斜め施工時の改良体の出来型を



図—8 掘削断面図



写真—5 掘削断面

掘削確認した。掘削面図を図—8に、掘削写真を写真—5に示す。その結果、改良体直径はほぼ $\phi$  700 mmであり、斜め施工においても所定の造成ができることを確認した。

4. 環境側面

(1) 施工材料

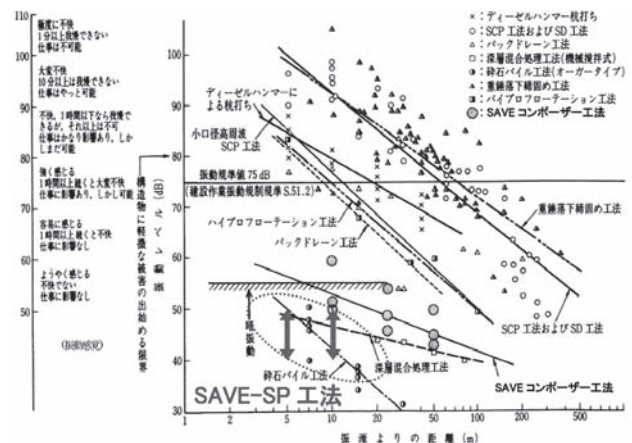
砂を流動化させる流動化剤の化学成分、アニオン系高分子材料は、一般にはシェービングクリーム、ローション、法面の緑化吹き付け用添加剤などに用いられている。一方、塑性化剤の化学成分であるカチオン系高分子材料は、紙すき用添加剤、濁水処理用凝集剤などに使用されている。

本工法で使用する流動化剤と塑性化剤は、特有の性能を満足させるよう新たに改良を加えているため、その安全性について各種項目を確認している。

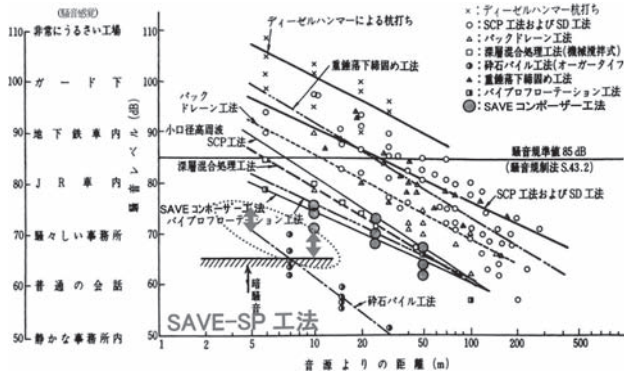
流動化剤、塑性化剤ともに中性であり、周辺地盤の水質 (pH) への影響は特にない。化学物質の安全性に関しては、いずれもPRTR法(環境省：化学物質排出把握管理促進法)における毒性指定化学物質の第1種・第2種に該当しない。また、流動化剤と塑性化剤を添加した流動化砂の安全性に関しては、土壤汚染対策法に準じた溶出試験並びに含有量試験ともに不検出で、土壤に対する安全性は確認されている。さらに、流動化砂の間隙水を用いた魚類(ヒメダカ)による急性毒性試験[96時間  $LC_{50}$ ] (JIS K 0102-2008)の結果においても安全性が確認されている。

(2) 振動・騒音

本工法における小型施工機の振動・騒音について、試験施工時に現場計測を実施した結果を振動について図—9、騒音について図—10に示す。



図—9 振動源からの距離と振動レベルの関係



図一 10 騒音源からの距離と騒音レベルの関係

計測結果より、本工法における施工時の振動・騒音は、既設構造物の近接施工等にも適用される深層混合処理工法やSAVEコンポーザー工法以下であり、環境負荷を低減した工法であることを確認した。

(振動機付き施工機を用いた場合はこの限りではない。)

### 5. おわりに

これまで狭隘地や既設構造物等の直下での耐震対策は、セメント系固化材を用いた工法や薬液注入工法等が主であったが、施工材料に自然砂を用いた砂圧入式静的締固め工法の開発によって、固化系材料を用いない液状化対策が可能となった。また、既存施設の延命化・高性能化が求められている様々な事業において、環境に優しい地盤の締固めのニーズは増大していくと考えられる。

今後、適用条件の拡大及び施工法の最適化に努めるべく研究開発を継続し、環境負荷低減の地盤改良工法として更なる発展に努めるものである。



#### 【参考文献】

- 1) 東祥二, 深田久, 櫛原信二, 今井優輝: 流動化砂の圧入による地盤の締固め工法 (その1: 工法の概要), 第44回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.749-750, 2009.
- 2) 山本実, 原田健二, 野津光夫: 締固め工法を用いた緩い砂質地盤の液状化対策の新しい設計法, 土と基礎, Vol.48, No.11, pp.17-20, 2000.
- 3) 磯谷修二, 仁田尾洋, 櫛原信二, 今井優輝: 流動化砂の圧入による地盤の締固め工法 (その2: 試験施工と改良効果), 第44回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.751-752, 2009.
- 4) 今井優輝・大林淳・福島信吾・伊藤竹史: 砂圧入式静的締固め工法 (SAVE-SP工法) の改良効果と適用事例, 第54回地盤工学シンポジウム 平成21年度論文集, pp.579-584, 2009.11.
- 5) 地盤工学学会: 打ち戻し式施工によるサンドコンパクションパイル工法 設計施工マニュアル, pp.96-102, 2009.
- 6) 原田健二・山本実・大林淳: 静的締固め砂杭打設地盤のKo増加に関する一考察, 第53回土木学会年次学術講演会第3部 (B), pp.540-541, 1998.

#### 【筆者紹介】



磯谷 修二 (いそや しゅうじ)  
 (株)不動テトラ  
 技術開発統轄部  
 技術開発部長



永石 雅大 (ながいし まさひろ)  
 (株)不動テトラ  
 技術開発統轄部  
 技術開発部