# 4. 市街地や構造物近傍での液状化対策を可能とした

## 静的締固め砂杭工法の開発

#### 1. はじめに

比較的緩い砂質地盤に強い地震動が作用すると 液状化現象が発生し、構造物に甚大な被害をもた らす。新潟地震,兵庫県南部地震,新潟県中越地 震,近年では東北地方太平洋沖地震などにおいて も大きな液状化被害が発生している。

液状化を防止する有効な方法のひとつは、緩い 砂質地盤を締め固め、密度の増大を図ることであ り、その代表的な地盤改良技術が大型振動機を用 いて地盤中に締固め砂杭を造成するサンドコンパ クションパイル工法(以下、SCP工法)であった。 しかし、近年、市街地や構造物近傍における施工 の需要が増加し、前述した振動式のSCP工法では このような現場への適用が困難となり、振動式 SCP工法と同等の改良効果を有しつつ低振動・低 騒音で施工が可能な工法の開発が必要とされた。

本論文では、大型振動機に代えてオーガモータ ーを使用し低振動・低騒音で施工できる締固め砂 杭工法の開発と、実施工における改良効果の検証 について報告する。

## 2. 工法概要

## 2.1 使用機械

写真-1 に施工機械の全景を示す。施工機はクロ ーラ式サンドパイル打機をベースマシンとし,前 装備には CP 貫入・引抜用に下部オーガモーター (45kW×2), CP 管内の改良材排出・締固め用に 上部オーガモーター (90kW×1),その下部に CP (φ508mm)が装備され,先端部には上部オーガ モーターと鋼管で接続されたインナースクリュー を有する。CP の貫入・引抜には施工機の油圧ウイ ンチにより貫入・引抜方向の張力をワイヤーを介 して付与する構造としている。

#### 2.2 造成メカニズム

締固め砂杭は,規定深度まで CP を貫入後, CP 内に充填した改良材を CP 内部に設置されたイン ナースクリューの回転により地盤中に強制排出す ることで造成する。なお,改良材については砂・

日本海工株式会社	○ 篠井	隆之
株式会社熊谷組	森	利弘



写真-1 施工機械全景

スラグ・再生砕石 (RC-40)・再生砂など多様な材 料が使用可能である。

造成メカニズムの概要を図-1 に示す。まず CP 内に充填された改良材はインナースクリューの回 転により強制的に地盤中に排出・拡径締固めされ る。この排出を確認しつつ CP を回転させながら引 抜を開始する。インナースクリューと CP は独立駆 動しているため,③の最終締固め時には状況に応 じて CP の回転を停止させることで回転の相対速 度に変化を与え、改良材の排出効果を高める。造 成時における改良材の排出量は、CP 上部に設置し たレーザー距離計で管内砂面を計測し、常時管理 しながら締固め砂杭を造成する。



#### 2.3 施工手順

施工手順の模式図を図-2 に示す。まず CP をあ らかじめ測量した打設位置に誘導し,原地盤の混 入防止として CP 内に改良材を充填した後, CP を 回転させながら規定深度まで貫入する。

図中①~③の工程は締固め砂杭 1m の造成を示 すもので、その詳細は前項の図-1 に示したとおり である。杭頭深度までの造成は上述した①~③の 工程を繰返すこと、つまり図中の STEP 施工部分 により造成される。この間、CP 内にある改良材は 材料面検出用のレーザー距離計によって常時計測 されており、1m の造成に対して改良材の不足が生 じる場合は事前に CP 内へ改良材を補給する。

#### 2.4 施工管理

施工は CP 先端深度と CP 内材料面高さの計測に 基づいた締固め砂杭造成 1m ごとの材料使用量に ついて管理する。CP 先端深度の計測は CP 移動記 録用ワイヤーを介したセルシン変換機により, CP 内材料面高さの計測は CP 上部に設置したレーザ 一距離計により計測する。

写真-2 にレーザー距離計を示す。通常、SCP エ 法における CP 内の材料面の変動は CP 上部より吊 り下げた重錘を上下させることで計測するが,機 構上,トラブルが発生しやすい。一方,本工法で 使用するレーザー距離計は CP 上部から材料面に レーザーを照射し,その反射光を検出することで 材料面の変動を計測するため,上述した重錘によ る計測で発生するトラブルは皆無である。また,施工中の材料面計測時における重錘の上下操作が 必要ないなどの利点がある。

計測された CP 先端深度と CP 内材料面の変動は 操作室の施工管理システムで処理され,その状況 はオペレーションモニターに表示される。この情 報を基に造成した締固め砂杭のデータは施工管理 システムに記録され,オシログラフの施工記録デ ータの基となる。写真-3 にオペレーションモニタ ーを示す。



写真-2 レーザー距離計概要





写真-3 オペレーションモニター

## 3. 実施工における検証

本工法が従来の振動式 SCP 工法と同等の改良効 果を有することの検証として,施工後における締 固め砂杭の出来形および砂杭間における地盤強度 の増加の確認を行った。また,開発目的である低 振動・低騒音の地盤改良工法であることの検証と して振動・騒音計測を行い,振動式 SCP 工法と比 較した。

#### 3.1 出来形確認

写真-4に出来形平面および断面を示す。地表面から 2.5mの深度(GL-2.5m)まで地盤を掘削して形状を確認したところ,平面・断面共に設計径である φ 700mm を確保していることが分かった。



写真-4 出来形平面および断面

#### 3.2 地盤強度増加の確認

本工法で造成される締固め砂杭は振動式 SCP 工 法と造成杭径が同径であり,材料使用量について も差異がないため,振動式 SCP 工法と同等の締固 め砂杭が造成されると考えられる。しかし,造成 メカニズムが異なるため,改良効果の検証として 原地盤の細粒分含有率(F<sub>c</sub>)ごとに分類した杭間 強度の比較を行った。



図-3 は参考文献<sup>1)</sup>中にある  $F_c$ が杭間 N 値に及ぼ す影響を示した図に本工法の施工実績を加筆した もので、横軸に  $F_c$ ,縦軸は式(1)に示すように有効 上載圧( $\sigma'_v$ )によって基準化した杭間 N 値( $N_1$ ) を用いている。

ここで $N_1$ :基準化したN値N:N値 $\sigma'_v$ :有効上載圧 $(kN/m^2)$ 

図-3 より, F<sub>e</sub>に関係なく振動式 SCP 工法とほぼ 同じ杭間 N 値が得られており,振動式 SCP 工法と 同等の改良効果が得られていることが分かった。

#### 3.3 振動・騒音の計測

図-4に振動式SCP工法と本工法との振動レベルの比較,また,図-5に騒音レベルの比較を示す。

振動・騒音レベルは、ともに振動式 SCP 工法を 大きく下回り、振動レベルにおいては施工機の CP 貫入地点より 2m,騒音レベルについては 5m の地 点においても特定建設作業規制基準の規制値を下 回ることが確認できた。





## 4. 設計法

施工に先立ち,地盤中または地盤上に構築され る各種構造物に応じた要求性能を満足する地盤改 良仕様を設計する必要がある。

改良効果の推定方法として地盤の F<sub>c</sub>を考慮した 設計法(方法 C)が長く使用されてきたが,近年 では SCP 施工に伴う地盤の体積変化も考慮した方 法 D<sup>2)</sup>も建築および土木分野で広く使用されるよ うになっている。本報告では本工法の両設計法に 対する適用性を検証した。

#### 4.1 方法 C および方法 D

地盤改良の推定方法として一般的に使用されて きた方法 C は、地盤改良後推定 N 値を改良前 N 値、 F<sub>c</sub>、置換率 ( $a_s$ )から推定しており、砂杭の施工後 に地盤の盛り上がりが発生しないことを前提とし ているが、方法 D では砂杭施工後の地盤の盛り上 がりを考慮し、その盛上り土量を地盤の F<sub>c</sub>と関連 付けることで改良後地盤の間隙比および相対密度 について評価する設計法である。図-6 に両設計法 における地盤間隙比の考え方を示す。



#### 4.2 実施工との比較

図-7に施工後の標準貫入試験による杭間N値お よびオートラムサウンディング試験による換算杭 間N値と、方法Cによる計算杭間N値との比較, 図-8に方法Dによる計算杭間N値との比較を示す。 全体的に方法Dによる計算N値が方法Cの計算N 値に対して若干大きな値を示しているが、両設計 法による計算N値と実測値がほぼ45度線上にプロ ットされており、両設計法が本工法に適用可能で あることが分かった。

### 5. おわりに

本工法は振動式 SCP 工法と比較して施工実績が 乏しく,データ量も十分とは言えない。今後は幅 広い分野で施工実績を積み重ね,各種データの収 集・分析を行うことで本工法を成熟させたいと考 える。



図-7 方法Cによる設計値と 実施工後試験値による杭間強度比較



実施工後試験値による杭間強度比較

#### 参考文献

- 原田健二、石田英毅;大地震における建築構造物の締 固めによる直接基礎改良地盤の評価に関する実証的研 究(実務に見る地盤改良工法の技術的諸問題(社団法 人日本建築学会)pp.93~98 1999))
- 2) 打戻し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(社団法人地盤工学会 pp.96~101 2009)