

静的締固め砂杭工法

SAVE コンポーザー

竹内 秀克・森 鼻 章 治・新 川 直 利

静的締固め砂杭工法（SAVE コンポーザー）（以下「本工法」という）は1996年に開発実用化されて以来、強制昇降装置を用いた回転圧入施工により、無振動・低騒音の施工を可能とし、市街地での締固めによる液状化対策や既設構造物に近接した施工などに多く用いられている。ここでは、本工法の機械性能および施工方法を説明するとともに、実際の適用事例を2つ紹介し、本工法の特徴や改良効果などについて説明する。

キーワード：静的締固め砂杭工法、液状化対策、市街地施工、サンドコンパクションパイル、強制昇降装置

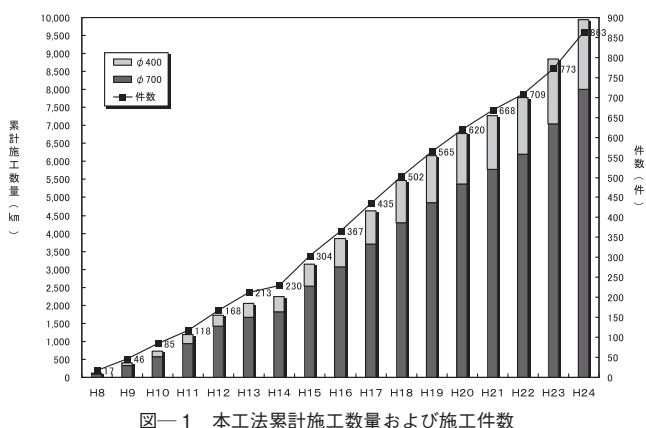
1. はじめに

本工法は1996年に開発実用化されて以来、2012年3月までに施工件数は860件以上、施工延長は8,000 km以上に達している（図—1）。本工法は、その環境対応性の長所により、河川・海岸堤防の液状化対策や、建築構造物の支持力・液状化対策に多く用いられている。

ここでは、本工法の概要と、適用事例について紹介する。



写真—1 本工法による市街地施工状況



図—1 本工法累計施工数量および施工件数

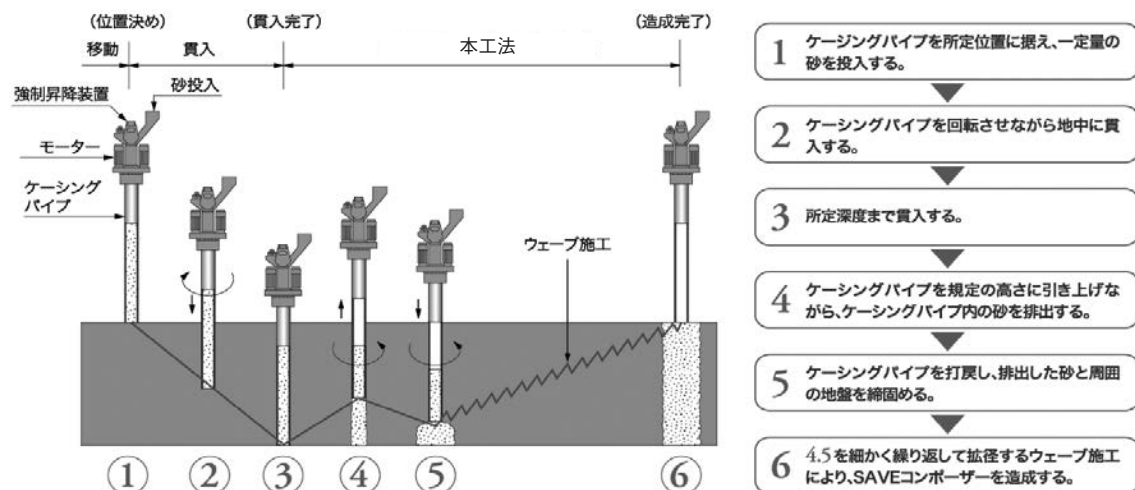
2. 本工法

本工法（写真—1）は、従来の振動式サンドコンパクションパイル工法（以下、SCP工法）と同じサイズ（直径70 cm）の砂杭を、振動機の代わりに強制昇降装置を用いた回転圧入施工（ケーシングパイプを所定深度まで貫入した後、細かく引抜き・打戻しを繰り返して、良く締め固められた砂杭を造成する）を行うことにより静的に地盤中に造成し（図—2）、かつ振動式SCP工法と同等な改良効果を有することを目標に開発された工法である。この改善により無振動・低騒音の施工を実現し、市街地や既設構造物近傍における、主に緩い砂質土の液状化対策や支持力対策を目的とした地盤改良工事の施工が可能となった。

基本的なSCP工法と同じく、締固めと補強および圧密排水を基本原理としている。砂質地盤に対しては、原地盤の「締固め」を行うことにより支持力の増加、沈下の低減、水平抵抗の増加、液状化の防止を図る。以下、工法の特徴を列記する。

①無振動、低騒音工法であり、周辺環境へ与える影響が少ないため（図—3）、既設構造物に近接した施工が可能である。

②従来SCP工法と同様の改良目的に使用でき、同等



図一 2 本工法による砂杭造成概要

3. 施工機械と施工方法

(1) 施工機械

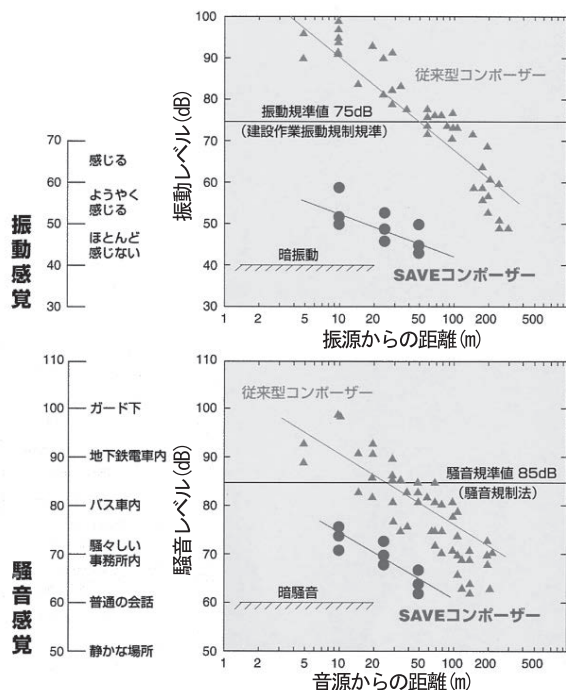
本工法の施工機械構成を図一 4 に示す。施工機械は従来の SCP 施工機と同様のベースマシン、ケーシングを回転させる駆動装置および油圧によるギア駆動の強制昇降装置などにより構成される（写真一 2）。施工機械の詳細については、現場条件等に応じて適宜変更することができる。

(a) ベースマシン

ベースマシンは、汎用のクローラークレーン（通常は 3 点支持の丸ポストリーダー）を用いる。機械規模は地盤改良の施工深度等に応じて選定される。

(b) 強制昇降装置

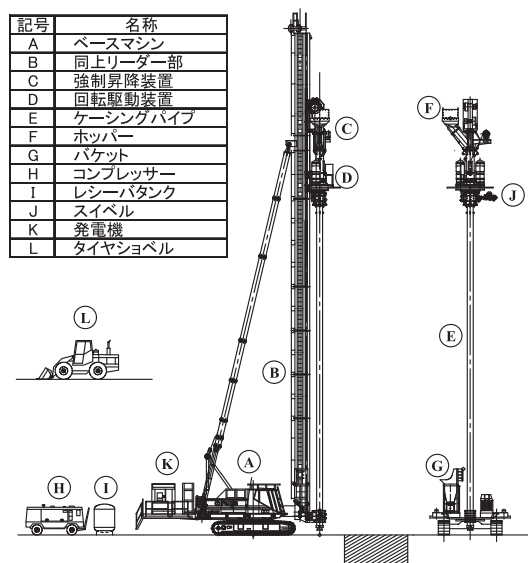
貫入・造成のための主な機構である強制昇降装置は、ケーシングパイプを強制的に昇降させるための動



図一 3 振動・騒音の距離減衰

の効果が得られる。

- ③砂質土のみならず、粘性土などさまざまな地盤に適用できる。
- ④電子化された管理システムを使用することにより、確実な砂杭の造成と信頼性の高い施工管理ができる。
- ⑤砂の他に碎石、スラグなどの各種材料も使用可能である。また、同一施工機で容易に杭径を変えることができるので、複合パイルの造成も行える。
- ⑥グラベルドレーン工や深層混合処理工など他の環境対応型の地盤改良工法と比べて経済的である。



図一 4 本工法施工機 機械構成

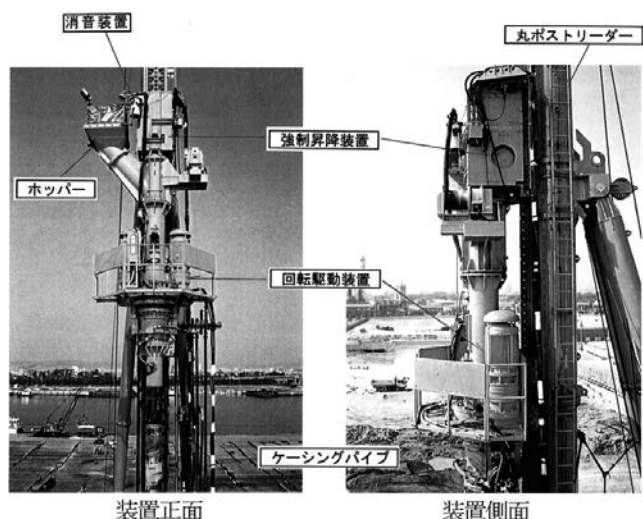


写真-2 強制昇降装置

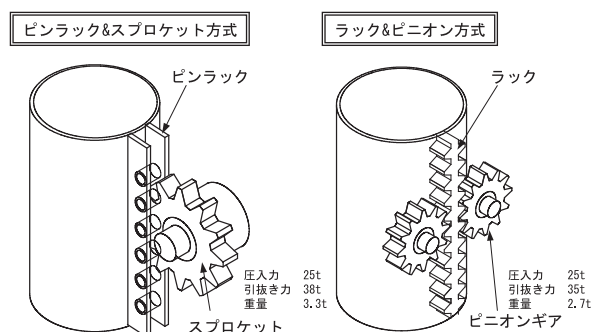


図-5 強制昇降装置

力を得るためのものであり、現状では図-5に示すような2方式を採用している。いずれも強制昇降装置の必要反力を施工機の重量で確保し、スプロケットもしくはピニオンギアの回転には油圧モーターを用いる。

(c) 回転駆動装置

回転駆動装置はケーシングパイプを回転させることによって、ケーシング周囲の摩擦を軽減するなどの効果で貫入・引抜きを補助する役割を持つ。

(d) ケーシングパイプ

ケーシングパイプは本工法砂杭造成のための主要部

分であり、通常は外径φ40cm程度の中空鋼管を用いる。砂杭造成時には、このケーシングパイプ内に材料砂を補給して、所定深度で必要量の材料砂を排出する。なお、先端部には圧縮空気を供給したり、エッジと呼ばれる爪を付けるのが一般的であり、回転をうけて貫入補助の用に供される。

(e) 材料砂供給装置

ケーシングパイプ内に材料砂を供給するための装置として、ケーシングパイプ上部に接続した材料砂供給口としてのホッパーと、ホッパー位置まで材料砂を持ち上げる容器であるバケットが装備される。

(f) その他の設備

その他の設備としては、圧縮空気を製造・送るための設備、電動モーター等のための電気設備、各種計器などの施工管理設備、バケットへの砂投入のためのトラクターショベルなどがある。

(2) 施工方法

施工手順は図-2に示すように貫入・造成時ともφ400mmのケーシングパイプを回転させながら強制昇降装置によって施工を行う。同図の過程④～⑤の引抜きと打戻し（ウェーブ施工）を行い、φ700mmのよく締まった砂杭を造成し周辺地盤を締め固めるという改良原理は、従来のSCP工法と同様である。ただし、従来の振動式SCP工法が1サイクルで約1mの造成長に対し、本工法は、基本50cm引抜き、30cm打戻しの20cmの造成と細かい施工となる。

(3) 施工管理

図-6は、本工法の施工管理システムCONOS：（Composer Numerical Operation Supporting System）の構成を示している。ケーシングパイプの先端深度を示す深度計とケーシングパイプ内の砂面の深度を示す砂面計による検出値をもとに、設計杭径を

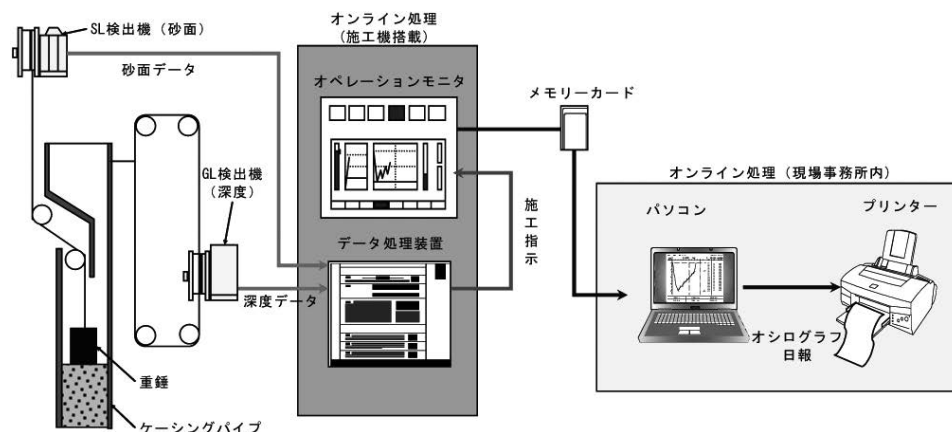
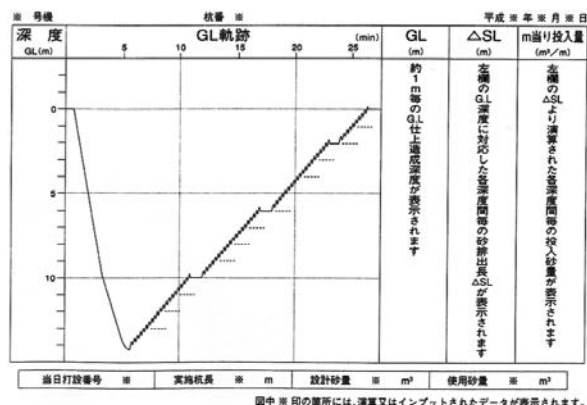


図-6 施工管理システムCONOSの構成



図—7 本工法施工記録例

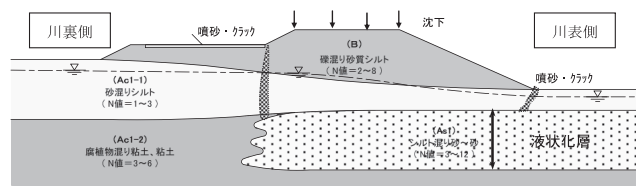
満足する使用砂量と打戻し量の制御が全自動で行われる。一日の施工データは、作業終了後、現場事務所で出力・管理するオフラインシステムを採用している。施工記録例を図—7に示す。

4. 適用事例

(1) 河川堤防

①概要

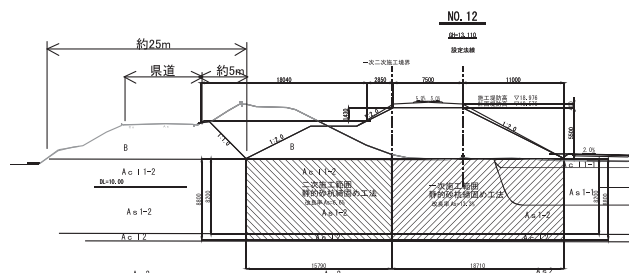
平成19年7月に発生した新潟県中越沖地震により信濃川左岸・長岡市町軽井地区の河川堤防が被災した。被災状況を図—8に示す。災害復旧事業の一環で、既設堤防の撤去と新設築堤盛土および堤防下基礎地盤の液状化対策が実施された^{1), 2)}。地盤改良工は現堤防の開削可能時期の関係で、出水期（～10/31）に現堤



図—8 中越沖地震による液状化被害状況（町軽井地区）

表—1 工事概要

工事名	信濃川町軽井堤防災害復旧その1およびその2工事
工事内容	(その1工事) 地盤改良工（本工法）5,026本、他 (その2工事) 地盤改良工（本工法）5,042本、他
改良仕様	(一次施工) 改良率 $a_s = 13.3\%$ 、砂杭径 $\phi 700$ 、改良ピッチ $\square 1.7$ m (二次施工) 改良率 $a_s = 6.6\%$ 、砂杭径 $\phi 700$ 、改良ピッチ $\square 2.4$ m
平均改良長	(その1工事) $L = 8.3 \sim 10.3$ m (その2工事) $L = 5.6 \sim 10.7$ m
工期	平成20年1月～平成21年3月



図—9 標準断面図

防法先部（一次施工）を、非出水期（11/1～）に現堤防掘削撤去部直下（二次施工）の2段階施工を実施した。表—1に工事概要、図—9に標準断面図を示す。改良範囲は全線にわたり県道や民家に近接し、道路交通や周辺の住民に対する振動・騒音の影響が懸念された。そのため、本工法が採用された。設計に関しては、河川堤防設計指針および河川構造物の耐震性照査指針に準じ液状化判定が実施され、目標値を満足するよう改良仕様が設定された。

②施工状況

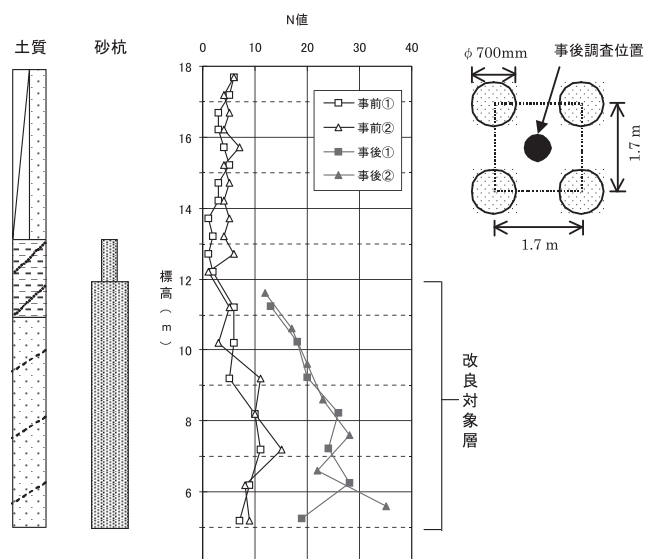
地盤改良範囲は県道や民家に近接しており、特に二次施工時は県道までの最短離隔が約5m、民地境界までが約25mと極めて狭かった。また、工期短縮のため合計11台にて施工を実施した。施工状況を写真—3に示す。施工機の静粛性は非常に高く、近隣住民や県道利用者からの苦情もなく、無事施工を終了した。



写真—3 施工状況（町軽井地区）

③改良効果

図—10に本工法の改良効果（改良前・改良後の標準貫入試験結果）を示す。これより、本工法の改良効果がN値上昇で明確に発現しており、改良目標値を満足する結果であった。

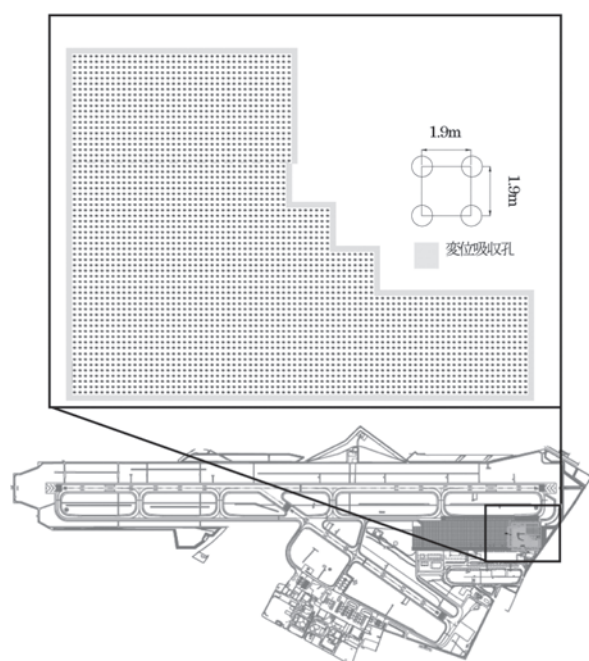


図—10 本工法による締固め改良効果

(2) 空港施設

①概要

2011年東北地方太平洋沖地震は東北地方、関東地方に甚大な被害を及ぼした。ここでは、地震により被災した空港施設に対し本工法により復旧した事例を紹介する。仙台空港にて地盤改良工を行っていなかったターミナル地区のエプロン部について液状化による沈下等の被害が生じたため、空港が閉鎖される夜間に舗装を取り壊し、本工法による地盤改良工が実施された³⁾。施工平面図を図—11に、工事概要を表—2に示す。改良仕様に関しては、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に準じ液状化判定を実施し、改良後N値を



図—11 施工平面図

表—2 工事概要

工事名	仙台空港エプロン（災害復旧）地盤改良外工事	
工事内容	舗装取壊工一式	
	地盤改良工（本工法）	3,422本
	変位緩衝孔	295本
改良仕様	改良率 $as = 10.7\%$, 砂杭径 $\phi 700$, 改良ピッチ $\square 1.9\text{m}$	
平均改良長	($\phi 400$) : $L = 2.3\text{m}$, ($\phi 700$) : 6.8m	
工期	平成23年7月～平成24年2月	

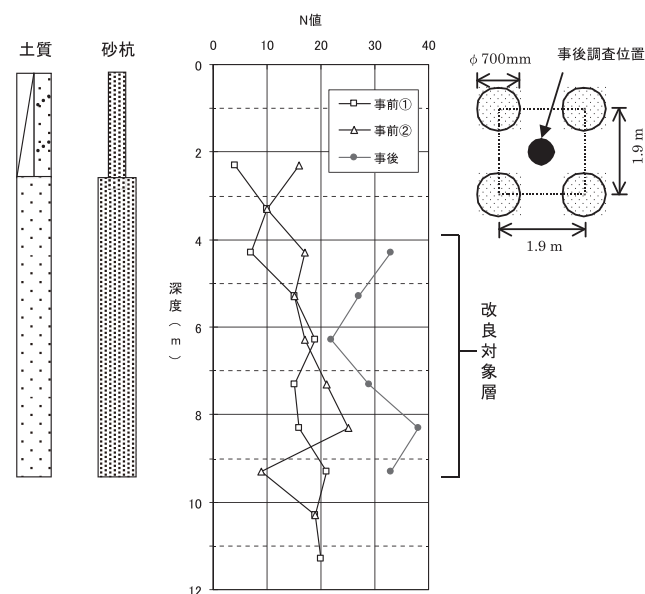
評価し決定されている。

②施工状況

同工事は空港供用中の工事である。また、供用中の仙台空港制限区域内の施工であるため、航空法、航空保安業務処理規定、仙台空港制限区域安全管理規定およびその他の関係法令を遵守しなければならない。制限表面に掛かる箇所の作業時間は21時30分から翌朝6時30分となるため、地盤改良の施工は夜間となり、



写真—4 夜間施工状況（仙台空港）



図—12 本工法による締固め改良効果

昼間は施工機を制限表面に掛からない箇所に退避させておく必要があった。写真—4に施工状況を示す。また、改良後の調査結果では図—12より本工法の締固め効果によるN値増加が確認され、改良目標値を満足する結果であった。

5. おわりに

本工法「SAVE コンポーザー」は、液状化対策として効果が確認され、環境影響が小さくかつ経済的な工法である。ただし、施工機に大型の三点式クローラクレーンを装備しているため、施工ヤードが狭隘の場合や既設構造物を対象とした厳しい施工条件での適用には困難が伴う。近年、砂に流動性を付与して圧送可能な状態にし、圧入を小型施工機で行うことで、狭隘地や既設構造物を対象とする施工を可能にした「砂圧入式静的締固め工法（SAVE-SP 工法）」も開発・実用化されている⁴⁾。設計段階にて地盤条件や施工条件、周辺環境等を把握し、これら工法 SAVE コンポーザーを適切に選定することが、確実かつ経済的な施工をする上で重要である。

最後に、本稿を纏めるにあたりご協力をいただきました関係者の皆様に謝意を表します。

J C M A

《参考文献》

- 1) 片野智博：新潟県中越地震・信濃川堤防復旧工事における液状化対策工の事例，基礎工 Vol.35, pp.81-83, 2007.
- 2) 安藤滋郎ほか：静的締固め砂杭工法（SAVE コンポーザー工法）による河川堤防の液状化対策事例報告，北陸地方建設事業推進協議会 平成 21 年度建設技術報告会報文集，pp.13-16, 2009.
- 3) 原田健二，安藤滋郎，今井優輝：液状化対策としての砂杭による締固め工法—サンドコンパクションバイブル工法の変遷と災害復旧工事への適用—，土木施工 Vol.53, pp.58-62, 2012.
- 4) SAVE-SP 工法研究会：SAVE-SP 工法設計・施工マニュアル（平成 25 年度版）

【筆者紹介】

竹内 秀克（たけうち ひでかつ）
 (株)不動テトラ
 地盤事業本部 技術部 設計課
 主任研究員



森鼻 章治（もりはな しょうじ）
 (株)不動テトラ
 地盤事業本部 技術部 設計課



新川 直利（しんかわ なおとし）
 (株)不動テトラ
 地盤事業本部 技術部 設計課
 課長

