

吸水载荷併用型振動締固め工法(テラシステム) の現場展開

佐藤道祐

東洋建設株式会社 技術開発部 (〒101-8463 東京都千代田区神田錦町 3-7-1)

吸水载荷併用型振動締固め工法（以下テラシステムと称する）は、液状化地盤において従来の振動締固め工法（以下SCP工法と称する）施工時に発生する過剰間隙水圧の上昇を強制的に消散させ、拡張効果による密度増大と振動エネルギーの周辺地盤への伝播効率を高めることにより、SCP工法と同等の締固め効果を発揮するのに必要な打設ピッチを広げることができ、工期短縮、コスト削減を図ることを可能にした液状化地盤対策工法である。

キーワード：液状化対策，吸水载荷振動締固め，過剰間隙水圧消散，工期短縮，コスト削減

1. はじめに

液状化対策工法として、①締固め工法、②間隙水圧消散工法、③固結工法、④置換工法、⑤構造的対策が一般的に実施されているが、最も多く実施されているのは、締固め工法である。

振動締固め工法には、バイプロハンマーに直結した振動ロッドにより振動エネルギーを地盤周辺に伝達し、地盤の粒子に繰返しせん断力を付加することによる負のダイレタンシーを励起させ、地盤の高密度化を図る振動棒工法や補給材を土中に強制圧入して振動締固めによる拡張効果と振動エネルギー伝播効果で地盤の高密度化を図るSCP工法がある。

しかし、従来の振動締固め工法ではロッド及びケーシング周辺の排水が速やかになされないため、バイプロハンマーの振動エネルギーの伝播効果が低減し、締固め効率の低下を招いている。*テラシステムは独自のシステムにより以上の問題を解決することにより、従来の振動締固め工法と同程度の締固め効果を発揮するのに必要な施工ピッチを広げることが可能となり、施工数量を削減し、施工費の削減、施工期間の短縮を可能にした新しい地盤改良工法である。*テラシステム：T E R R A (Toyo Earth Reformation Rapid Auto densification) システム

2. テラシステムの概要

(1) テラシステムの締固め概念

テラシステムは、SCP工法による補給材の強制圧

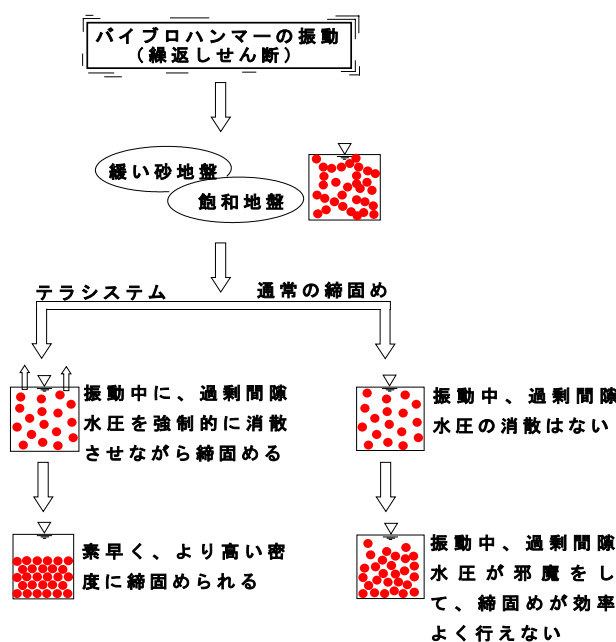


図-1 テラシステムの振動締固め概念

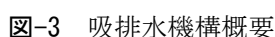
入による拡張締固め効果に加え、打設時に発生する過剰間隙水圧をケーシング先端に取り付けた吸水機構によって強制的に消散させ、振動エネルギーを周辺地盤へ効率的に伝播させ、負のダイレタンシーを励起させることによる地盤の高密度化を図る工法である。加えて、改良機に取り付けてある载荷板により地表面に荷重を载荷し、地表面付近の拘束圧を人為的に増加させることにより、在来工法では効果が得られなかった地表面付近の締固めを可能にした。テラシステムの振動締固めの概念を図-1に示す。

本システムの機能と特徴を図-2に示す.



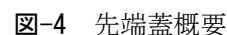
- ① 吸水効果(過剰間隙水圧消散効果)
- ② 補給材供給及び突固め効果
- ③ 載荷効果

テラシステムは、従来の振動締固め時に発生する過剰間隙水圧を振動ロッド先端に取り付けた吸水機構によって強制的に消散させ、振動エネルギーを周辺地盤へ効率的に伝播させることにより地盤の高密度化を図る。

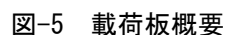


- 振動ロッド先端部に吸水部を設置している。
- 負圧により吸水された間隙水は、真空室を通り圧気室まで運ばれ、次に吸気を圧気に変えることによって外部に排出される(図-3 参照)。
- 吸水装置は両側に設置してあり、作動サイクルをずらすことにより、どちらか一方は常に吸水する。
- 吸水部は目詰まりによる吸水効果の低下を防止するため、ストレーナのメッシュを大きくし(1.5~6mm) 細粒分も吸水と同時に吸い上げる。そのため、吸水中の泥溜部には 20~30 リットル/min 程度の水を注水し、泥水を攪拌させながら吸水する。また、改良直後の吸水部は常にジェット水で洗浄し目詰まりを防止し、最適な吸水能力を発揮できる。

外部からロッドを介して土中内に補給材を投入し杭芯部の締固めを行う。ロッド引抜時に先端に設置している突固め蓋が開き、管内を圧気して強制的に補給材を排出し、打戻し時に蓋が閉じて補給材を締固める(図-4 参照)。締固め時に杭の拡径が行われ周辺地盤の密度増大を図る。また、改良地盤内に粘土層が混在している場合でも、砂杭を造成し地盤をゆるめない。



改良機に取り付けてある載荷板により、地表面に荷重を載荷できる。載荷板により地表面付近の拘束圧を人為的に増加させることにより、在来工法では効果が得られなかった地表面付近の締固めが可能である。



–280–

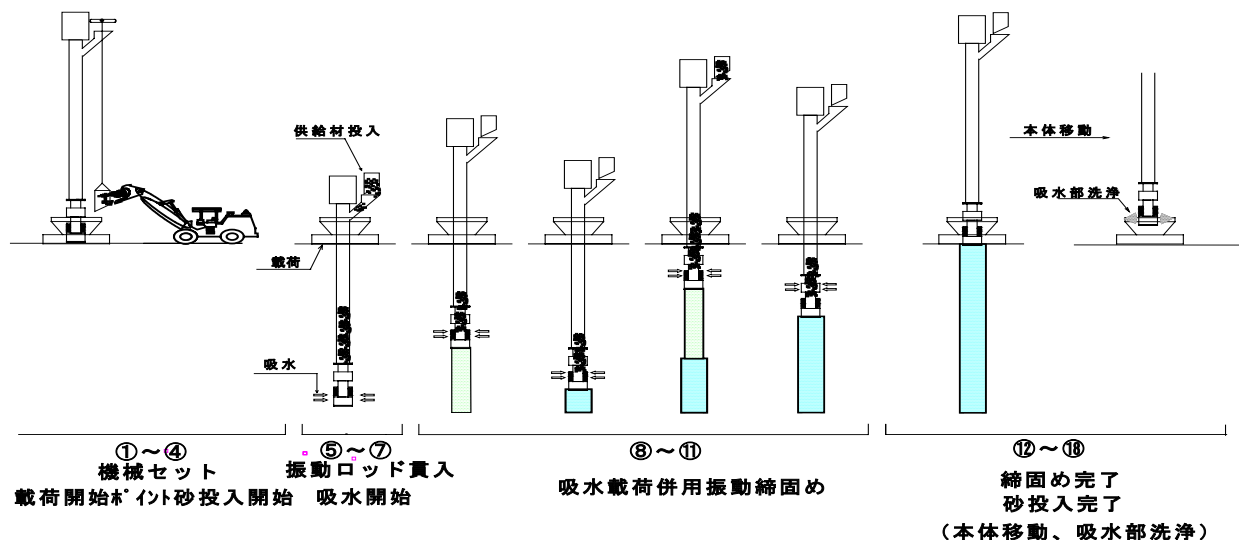


図-6 テラシステムの施工手順

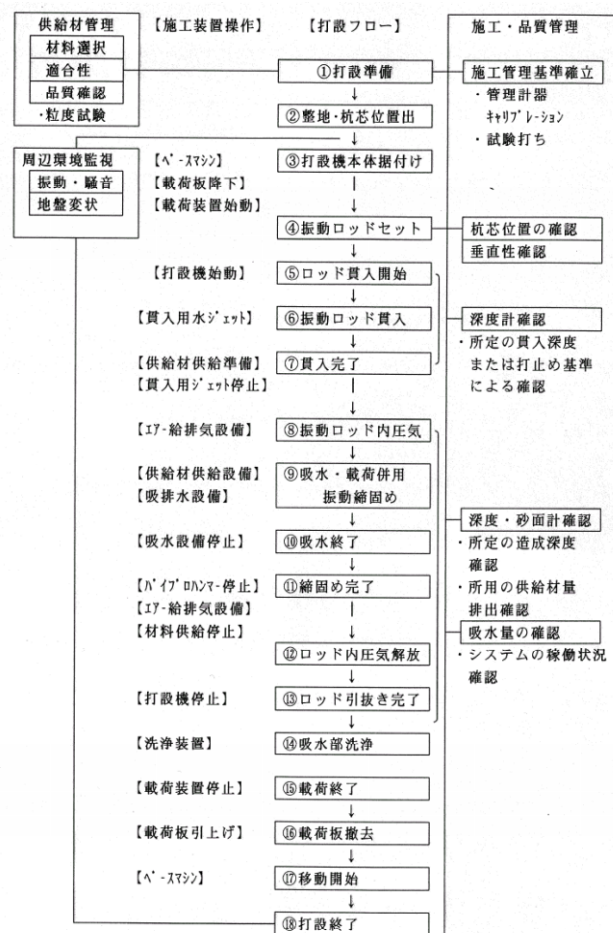


図-7 施工フロー

(3) 施工方法

テラシステムの施工手順及び施工フローを図-6、図-7に示す。

打設の前に補給材の品質確認（粒度分布等）及び、周辺環境のチェック（振動騒音、地表地盤の状況等）を行う。また、当初計画の施工ピッチでの強度増

加の確認等の試験打ちを行う。そのときに、管理計器類のキャリブレーション及び補給材の体積変化率等の確認も行う。

a) 機械セット

施工カ所の杭芯に振動ロッドの打設口が来るように載荷板をセットし、必要に応じて載荷を行い、ケーシングを打設口にセットする。供給ホッパーに砂の補給を開始する。

b) ケーシング貫入

ケーシングを貫入する。ケーシング内にポイント砂（補給材）を充填する。地盤が締まっているときには貫入補助用の水ジェットを使用する。

c) 吸水載荷振動締固め

所定の深度にケーシング先端が到達すると、吸水を開始する。ケーシングは所定のサイクルで引上げ、打戻しを繰り返し行い、吸水振動締固めを行う。吸水された余剰水は、ケーシングに取り付けてあるタンクに貯留され、定期的に外部へ放出される。

ケーシング内の補給材は、ケーシング引き上げ時にケーシング内の圧気により土中へ強制的に排出される。排出された補給材は、ケーシング先端の突き固め用蓋（図-4 参照）により、ケーシング打戻し時に突き固められ拡径を行う。補給材は常時補給ホッパーによりケーシング内に補給される。また、外部に排出される吸水量を記録し、状況によっては吸水ストレーナの交換を行う。

杭の造成状況は排出されるときに砂面計により記録される。同時にケーシング先端部の動きは、深度形により記録される。

④ 締固め完了

液状化層の改良が完了すると吸水を終了する。補給材の補給はケーシング引上げ完了までに行い、深度計にて現地盤までの改良を確認後、ケーシング内の圧気を解放し、ケーシングを引上げる。ケーシングを引上げながら、先端の吸水部の洗浄を行い、載荷を終了し、載荷板を引上げ、次の打設位置へ移動する。

(4) テラシステムの設備構成

テラシステムの主要な機械装備を表-1 に施工機械の姿図を図-8 に示す。

表-1 主要な機械装備

機械設備名称	仕様・規格	用途
クローラー式 サンドパイル打設機	リーダ式 40t 吊	ベースマシン
パイプロンマー	120KW	貫入用
発動発電機	400KVA	動力
空気圧縮機	19m ³ /min	管内圧気
载荷装置	2.0×1.6m ホッパー	地表面载荷
振動ロッド	鋼管 φ 400	振動締固め
吸水部先端	鋼管 φ 560	間隙水压消散
吸水装置	真空ポンプ 22KW	同上
吸排水バルブセット		吸排水切替
空気槽	7kg/cm ³ ・3m ³	圧縮空気貯留
トラクターショベル	ホイール式 1.2m ³	補給材投入
多段式ポンプ	φ 100mm 22KW	洗浄用
水槽	10m ³	水貯留
水中ポンプ	φ 50mm 5m 0.4KW	洗浄用
施工管理計	4ペン式深度・砂面他	施工管理

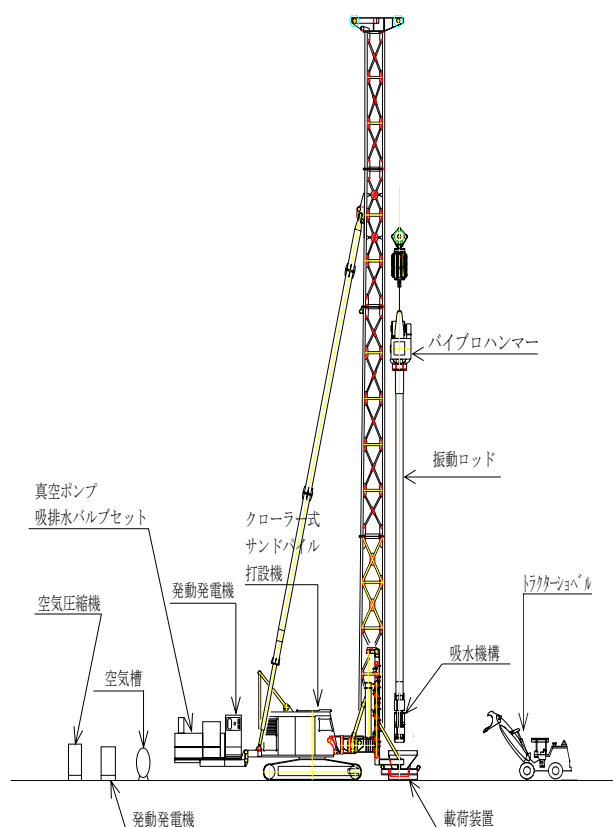


図-8 テラシステム施工機全景

テラシステムは、SCP工法の施工機械に吸排水用の真空ポンプ及び载荷装置を取り付け、装置はベースマシンの架台の上に搭載している。

3. テラシステムの効果

(1) 調査概要

実工事で確認されたテラシステムの効果について述べる。

本報告は、平成8年度新技術活用パイロット事業として、運輸省第三港湾建設局発注の尼崎地区護岸地盤改良工事として施工された実績に基づくものである。

a. 場所 尼崎西宮芦屋港尼崎地区岸壁

b. 時期 平成9年1月～平成9年3月

c. 実験方法

岸壁背面部の液状化防止対策として、テラシステム施工に先立ち、従来工法と比較を行うために、従来工法のSCP工法とテラシステムで施工し、同一地盤における両工法の改良効果・施工性について比較検討を行った。

(2) 調査結果

a) 吸水効果(過剰間隙水压消散効果)

吸水時の過剰間隙水压消散の状況を図-9 に示す。ロッド近傍に発生する過剰間隙水压を吸水により消散する。

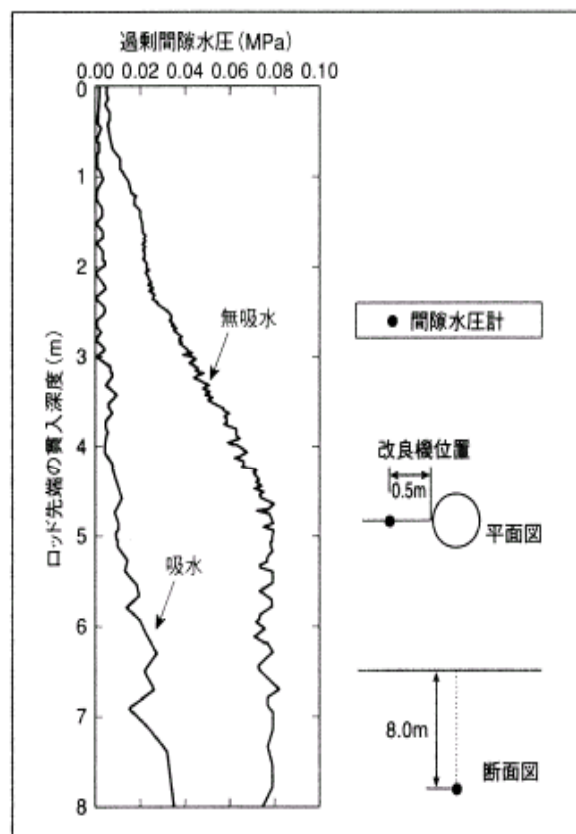


図-9 振動ロッド近傍の過剰間隙水压の挙動

締固め時に吸水を行った場合と無吸水の場合の改良後の杭間N値の調査結果を図-10に示す。吸水を行った方が無吸水の場合より強度の増加が大きいことが判る。間隙水压の消散による締固め効果の向上が確認された。

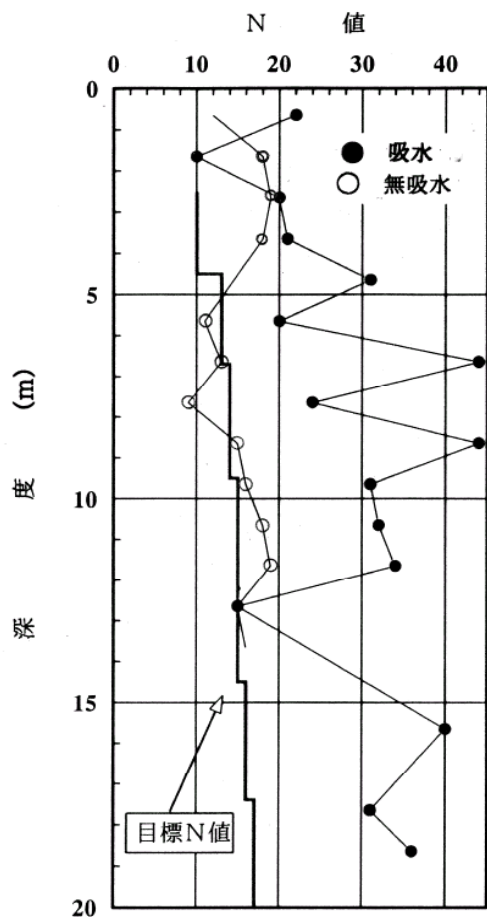


図-10 吸水・無吸水による効果の比較

b) 荷重効果

一般に土被りがあまり大きくない表層付近は締固めを十分に行うことができず、改良効果も低い。本システムに取り付けてある載荷板により表層付近の地盤が締固められているのが判る。図-11に荷重・無荷重の時の地盤の強度増加の状況を示す。

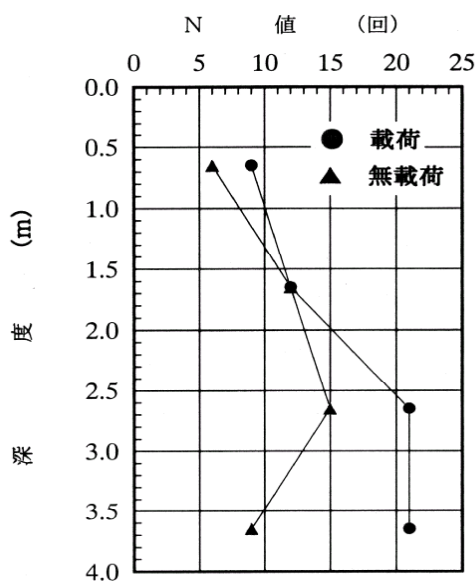


図-11 荷重・無荷重の地盤の強度増加状況

c) 改良効果

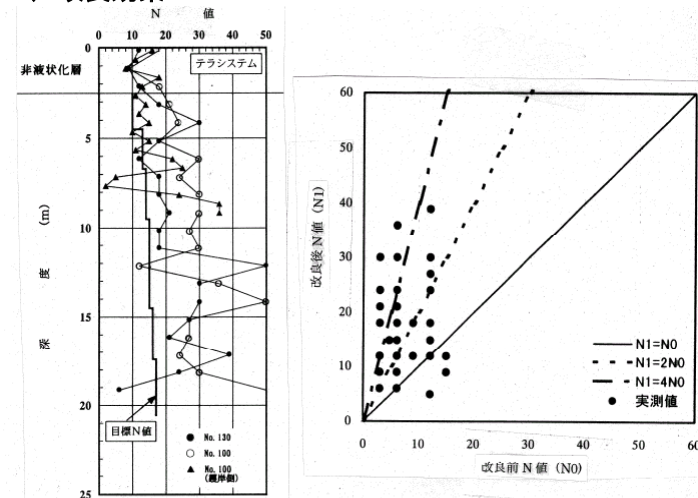


図-12 現地盤と改良後地盤の強度相関

テラシステムで施工した液状化地盤の強度増加の調査結果を図-12に示す。多少のばらつきはあるものの現地盤のN値が10未満のものでは、細粒分含有率によるが改良後のN値が改良前に比べ2～4倍程度に増加している。

d) 従来工法との比較

テラシステムとSCP工法の強度増加の比較を図-13に示す。

細粒分含有率30%未満ではテラシステムの強度増加が大きいことが判る。また、同一ピッチで施工した場合も同様のことがいえる。

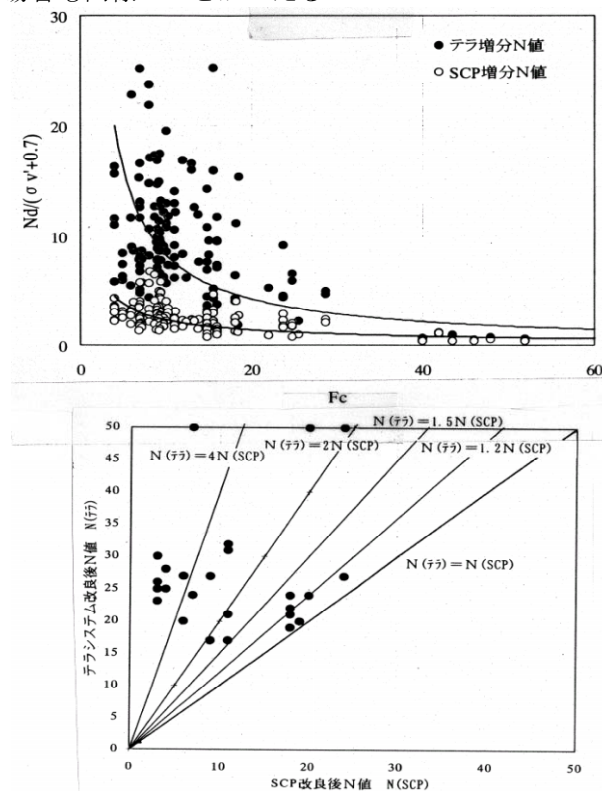


図-13 SCP工法との比較

e) 騒音・振動

SCP 及びテラシステムの施工中の騒音・振動は、ばらつきはあるが、おおむね両工法とも大差はない。

(計測位置は施工場所から 20m 離れた地点)

騒音 SCP 90～92db テラシステム 90db

振動 SCP 70～75db テラシステム 65～80db

f) 周辺構造物への影響

ケーソン法線測量及び水準測量の結果を下記に示す。

＜水準測量＞

SCP : 最大沈下量 約-1.5cm(沈下)

テラシステム : 最大沈下量 約-1.8cm(沈下)

＜法線測量＞

SCP : 最大引込み量 約-2.3cm
(陸側へ引込み)

テラシステム : 最大引込み量 約-2.0cm
(陸側へ引込み)

両工法ともケーソンが沈下し、陸側へ引込まれるように変形する。これは護岸背面の埋立土の締固めによる地盤沈下と裏込め石下の置換砂の締固めによる沈下にあると考えられる。沈下量及び引込み量はわずかであり、護岸構造物に大きな影響を与えていないと考えられる。

地表面の変位は傾斜計に最も近づいた1.5mの場合の変形が約145mmと最も大きく、距離が離れるに従って変形は小さくなる。さらに変形量はばらつきはあるが、傾斜計から10m離れると変形はほとんど0mm～10mmしか発生していない。

(3) 実験成果まとめ

本工事で液状化地盤におけるテラシステムの優位性が確認できた。

- ①吸水及び突固め効果による地盤強度の増加の割合が大きい。
- ②目標強度に対する施工ピッチが従来工法より広くできる。
- ③表層载荷により土被りの薄い地表面付近も強度が増加する。
- ④施工時に周辺地盤は杭の打設方向に引き込まれ、すり鉢状に沈下をする。地表面の変位は打設位置から 10m 離れた位置で最大 10mm 程度である。
- ⑤振動及び騒音は従来工法と同程度である。

(4) コスト比較

従来工法とテラシステムのコスト、施工期間の比較を行う。

【検討条件】 施工ピッチ：前章記述パイロット工事実績

施工ピッチ SCP 2.25m
テラシステム 3.00m

打設長 どちらも 15m とする。

施工面積 3,000 m²

材料 SCP $0.7^2 \times \pi / 4 \times 15 \times 1.4 = 8.1 \text{ m}^3$ /本

テラシステム $0.8^2 \times \pi / 4 \times 15 \times 1.4 = 10.6 \text{ m}^3$ /本

【施工金額】

1 本当たりの施工金額の比率(材料費含む)

打設費(平成 14 年度運輸省積算基準に準ずる)

SCP:テラシステム=1.0:1.42

1 m²当たり施工金額の比率

SCP:テラシステム=1.0:0.80

【施工期間】

施工数量 3000 m²に対して

SCP:テラシステム=1.0:0.56

施工期間

SCP:テラシステム=1.0:0.60 となる。

テラシステムは従来工法に吸水载荷システムを付加することにより、目標強度に対して従来工法より施工ピッチを拡げることが出来るため、施工本数が少なく済み、施工金額の削減及び施工期間を短縮することが出来る。

4. おわりに

従来工法に吸水载荷システムを付加したテラシステムは従来工法の問題点を解消し、より広いピッチでの振動締固めを可能とした。その結果、施工本数を低減し、コストの削減及び施工期間の短縮が可能となることが確認された。また、本工法は平成 10 年度の運輸省民間技術評価制度の指定課題「液状化対策工法」において評価証を取得している。また、本工法は国土交通省中部地方整備局平成 14 年度津松阪港三雲地区護岸(改良)築造工事において受注後 VE として採用された。今後は、テラシステムの施工性の向上を目指すとともに、補給材に対しても建設発生土を有効利用できるシステムに改良改善を行い、環境に配慮しつつ社会のニーズに応えていきたい。

参考文献

1) 阪井田茂, 川瀬 洋, 伊佐野隆: 吸水载荷併用振動締固め工法による液状化対策と改良効果, 土木学会第 53 回年次講演会概要集, p. 542-p. 543, 1998