

# 60. 液状化防止対策 テラシステム

東洋建設(株)：\*伊佐野 隆、佐藤 道祐  
佐藤 毅

## 1. はじめに

我が国の経済基盤である大都市部は、港湾の埋め立て地や河川に堆積した沖積低地に位置している。このような場所で巨大地震が発生すると、飽和した緩い砂地盤は液状化し、その上部に建設された構造物やライフライン施設には大きな被害が及ぼされる。

テラシステムは、液状化対策として開発された工法である。今回は、室内実験および金沢と西宮においての実機による実証実験における成果を報告する。

## 2. 工法概要

### (1)液状化対策工法の中のテラシステムの位置づけ

『テラシステムは密度増大、有効応力の増大を原理とする振動締固め工法である。』

液状化対策工法の中のテラシステムの位置づけとしては、図-2.1に示すサンドコンパクション工法・振動棒工法と同様の位置に分類される工法である。この分類にある工法は、細粒分の少ない緩い飽和砂地盤の液状化対策工において最も多くの施工実績を有している。

### (2)テラシステムの特徴

『TERRA (Toyo Earth Refor mation Rapid/Auto densification) System (吸水・載荷併用型振動締固め工法)は、中空円筒鋼管の先端に吸水機構を設け、強制的に過剰間隙水圧の消散を図ることが第一の特徴である。』

それ以外に、複数の砂供給孔から鋼管内部への補給材の供給・鋼管先端の閉閉蓋による補給材の突固め・載荷板による地表面付近の締固め・固定式土砂ホッパーによる補給材の安定供給を特徴としている。

図-2.2にシステム概念図、図-2.3に吸水・排水サイクル図、写真-2.1にロッド先端吸水機構、写真-2.2に載荷板兼用固定式土砂ホッパーを示す。

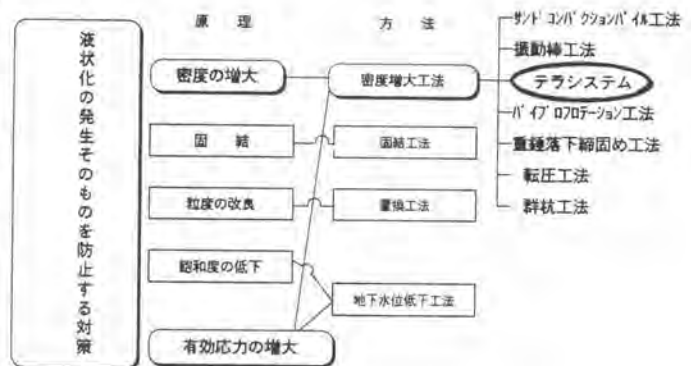


図-2.1 液状化対策工法の中のテラシステムの位置づけ

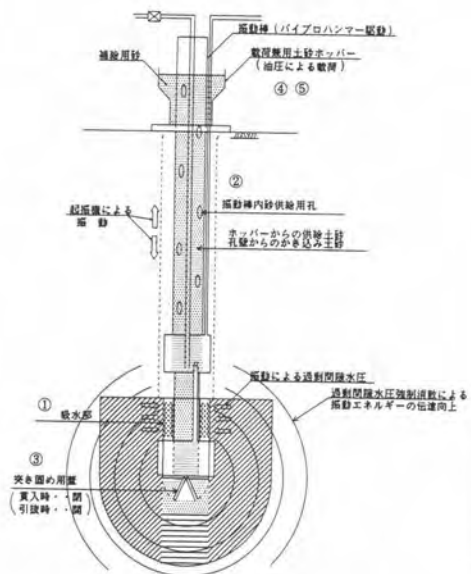


図-2.2 システム概念図

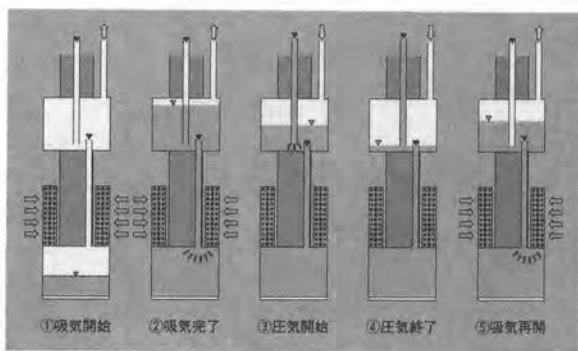


図-2.3 吸水・排水サイクル図



写真-2.1 ロッド先端吸水機構



写真-2.2 載荷板兼用固定式土砂ホッパー

### (3) テラシステムの地盤締固めメカニズム

バイプロハンマーの振動によりロッド周辺の間隙水圧は上昇する。この時発生する過剰間隙水圧を先端のストレーナーからの吸水により強制的に消散させることにより振動エネルギーを広範囲に効率よく伝達できるので、従来の振動締固め工法と比較して、地盤をより素早く、より高い密度に改良できる。

図-2.4に地盤締固めメカニズムを示す。

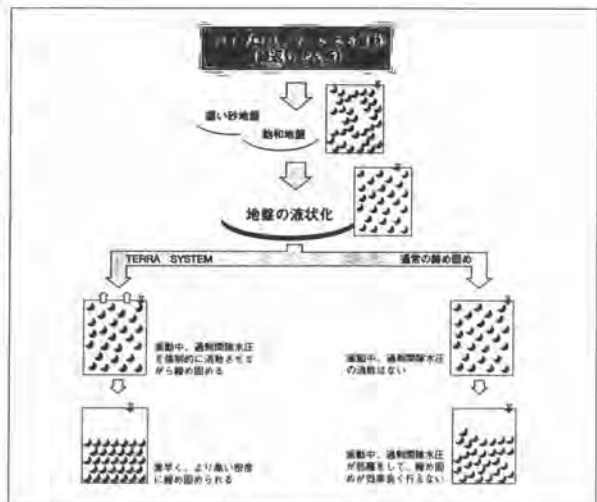


図-2.4 地盤締固めメカニズム

### (4) 本工法と従来工法との比較

本工法と従来の振動締固め工法の比較を、表-2.1テラシステム・従来工法比較表に示す。

表-2.1 テラシステム・従来工法比較表

(丸番号は、図-2.2 システム概念図の番号に対応)

比較項目	テラシステム	従来工法
①吸水機構	過剰間隙水圧の強制消散により振動エネルギーの伝搬が広範囲に渡り、改良範囲の拡張が見込める。	間隙水圧が自然消散であり、左記の効果が得られない。
②砂供給孔付き中空鋼管	土砂ホッパーからの補給材の他、地盤中の土砂も供給材として使用可能である。	砂供給孔がないため、鋼管上部より投入地盤中の土砂の補給が得られない。
③鋼管先端の開閉蓋	補給材を突固めることにより、周辺地盤への振動伝搬・高密度化・コンパクション効果により粘性土を挟む場合も対応可能である。	同左
④載荷板	地表に載荷することにより、地表面付近も十分に締固めることができる。	表層部の乱れにより、地表面付近はゆるむ傾向がある。
⑤固定式土砂ホッパー	固定式で、上下しないため安定した砂の補給と安全施工ができる。	砂供給用スキップバケットの上下により十分注意して施工する必要がある。

### 3. 施工機械

テラシステムに使用する施工機械はクローラ式サンドパイル杭打機をベースマシンとし、吸水システムのある専用ロッド・載荷装置・その他の付帯装置を搭載している。

#### ①ベースマシン

- ・クローラ式サンドパイル打設機

#### ②吸水・載荷併用振動締めシステム

- ・パイプロハンマー
- ・振動ロッド
- ・吸水・排水装置
- ・載荷装置
- ・発電機
- ・コンプレッサー
- ・真空ポンプ他

#### ③付帯設備

- ・トラクターショベル
- ・水槽
- ・水ジェット他

図-3.1に施工機械の仕様・規格を示す。

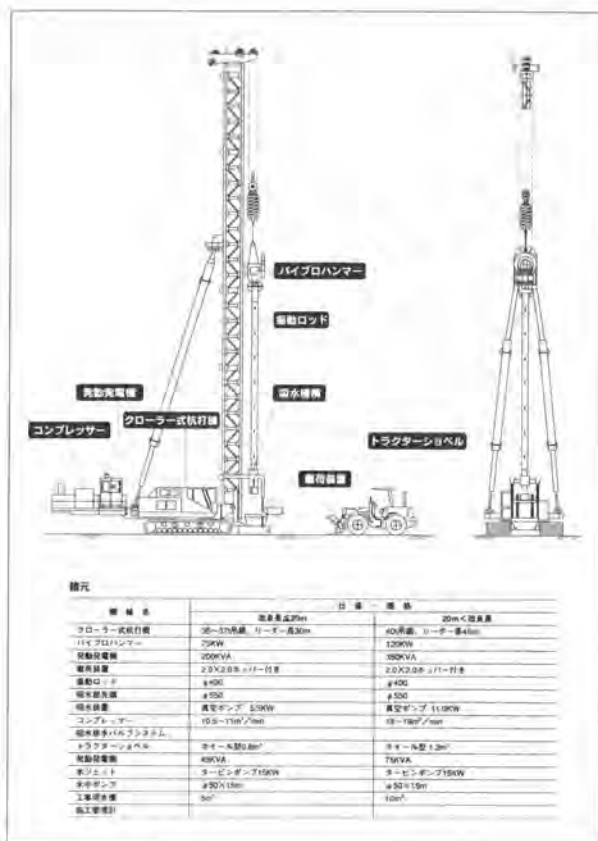


図-3.1 施工機械の仕様・規格

### 4. 施工手順

テラシステムの施行サイクルを以下に示す。

#### ①機械セット

改良機を所定の位置に移動し、ロッドの鉛直性を確認しながらロッドおよび載荷板をセットし、供給材をホッパーに投入する。

#### ②振動ロッド貫入

鉛直性を確保しながら、ロッドを所定深度まで貫入する。吸水部が地下水位面に到達した時点で吸水を開始する。供給材は常時補給する。貫入時、表層が硬い場合は貫入補助として、ウォータージェットを使用する。

#### ③吸水・載荷併用振動締め

ロッドが所定深度まで達すると、ロッドの引抜き・再貫入を繰り返し振動締めを行う。標準サイクルは3m引抜き・2m再貫入を繰り返し、加振時間は1m当たり10秒とする。砂杭の締め具合（杭間強度）の目安は、パイプロハンマーの電流値で確認する。

#### ④吸水完了

ロッド先端が、地下水位面を越えると、吸水を終了する。

⑤縮固め完了

現地盤までの必要な供給材の補給を行いながら、載荷振動縮固めを行う。ウォータージェットにて貫入補助を必要とする表層地盤では、通常施工を行うと強度増加が大きくなりすぎ、次の砂杭の貫入が不能となる場合があるので、表層付近の施工方法は十分検討する必要がある。

⑥ロッド引き抜き完了

現地盤までの縮固めが終了するとロッドを引上げる。

⑦載荷板引上げ・移動開始

載荷板を引上げ、次の施工位置へ移動する。吸水部の目詰まり状況によっては、洗浄もしくは交換する。

図-4.1にテラシステム施工フロー図を示す。

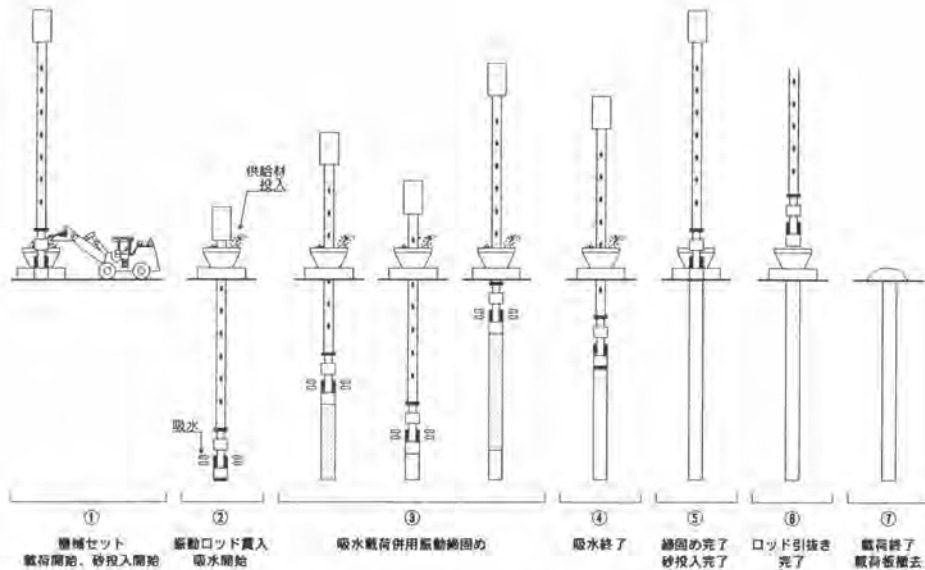


図-4.1 テラシステム施工フロー図

## 5. 設計手順

テラシステムの設計手順は、以下のように行う。(図-5.1 設計手順参照)

- ① 対象地盤の液状化強度を判定する。
- ② 対象地盤が液状化すると判定された場合、所定の液状化強度 ( $F_{li} \geq 1.0$ ) になるような、必要N値を算出する。
- ③ ②の必要N値を満たす改良ピッチを、これまでの実証実験から得られた図-5.2の改良ピッチ算定図より求める。

テラスシステムの設計により求めた改良ピッチは、事前検討による目標値であることから、実施工においては必要N値を満足する改良ピッチを、試験施工により決定する。

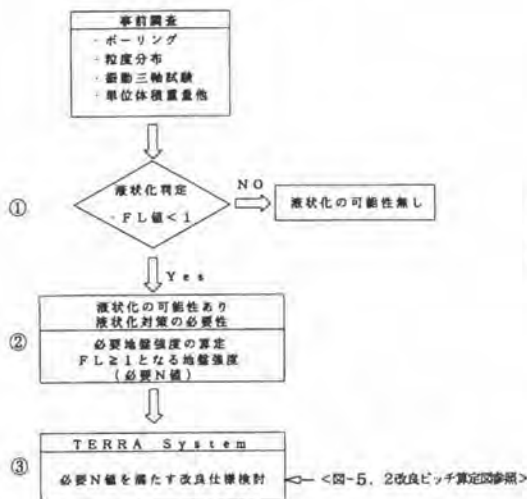


図-5.1 設計手順

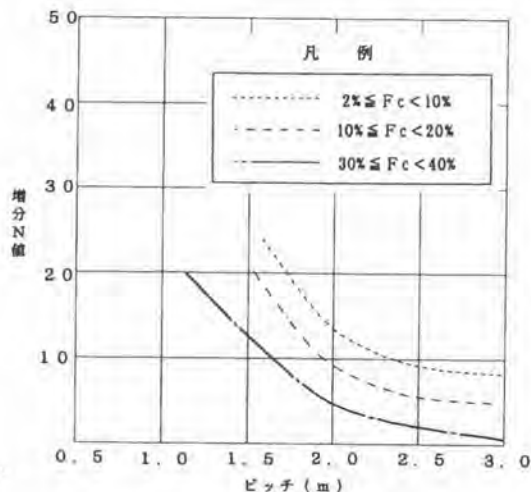


図-5.2 改良ピッチ算定図

## 6. 作業能率

(1) 1日当たりの施工本数

$$Q = \frac{60 \times T \times E}{C_m}$$

Q : 1日当たり施工本数 (本/日)

T : 打設機の標準運転時間 (6.1時間)

E : 現場作業効率 (普通0.7, やや悪い0.6)

C<sub>m</sub> : 1本当たりのサイクルタイム (分/本)

(2) 1本当たりのサイクルタイム

$$C_m = \frac{L1}{V1} + \frac{L2}{V2} + t$$

C<sub>m</sub> : 1本当たりのサイクルタイム (分/本)

L1 : 貫入長 (m)

V1 : 貫入速度 (m/分) V1=3.0m/分

(表層部がN値10を越える場合は別途考慮)

L2 : 改良長 (m)

V2 : 改良速度 (m/分) 1.2m/分標準

t : 移動、杭芯出し、ストレーナー洗浄、

取り替え時間等 t=4.0分

## 7. おわりに

1964年の新潟地震以来、砂地盤の液状化問題が注目されはじめ、昨年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、多くの人命が奪われ、構造物やライフライン施設に大きな被害が発生した。

テラスシステムはこのような状況のなか、液状化対策工法として開発され、従来工法に比べ改良範囲を広げることができる示唆が得られたため、今後、同工法の実績づくりに向けて、努力を続ける所存である。