

論文・報告

地盤の液状化対策に静的締固め砂杭工法を採用

～川崎臨港倉庫埠頭株式会社新倉庫・事務所新築工事～

Liquefaction Countermeasure Using Sand Compaction Pile Method

田中 康一 *1
Koichi TANAKA

池谷 研一 *2
Kenichi IKETANI

湾岸沿いの埋立地は一般的に地下水位が高く、砂質土を埋め立てた土地では、建物を設計する際に地盤の液状化の検討を行うことが多い。その検討結果により、液状化の可能性が高い場合はその対策を実施するが、本工事においても液状化対策が必要であった。一般に建物の液状化対策の方法を大きく分類すると、建物対策と地盤対策の2つの方法がある。本工事では「静的締固め砂杭工法」を用いた地盤対策が非常に有効であった。ここでは、採用した液状化対策工法と構造計画について報告する。

キーワード：埋立地，地盤の液状化，液状化対策，静的締固め砂杭工法，

1. はじめに

本件は、川崎市の湾岸沿いに建つ、鉄骨造の倉庫・事務所である。建設地は埋立地にあり、表層はゆるい砂地盤が厚く堆積し、地下水位が高いため、液状化を生じる危険性が高い地盤であった。そこで、液状化による建物被害の軽減・防止を目的に「静的締固め砂杭工法」を採用した。その結果、1階床は土間コンクリートの床に変更し、当初予定されていた構造床に比べて基礎工事のトータルコストを抑えることが出来た。ここでは今回採用した液状化対策工法と構造計画について報告する。

2. 工事概要

工事名称：川崎臨港倉庫埠頭株式会社新倉庫・事務所新築工事
建築場所：神奈川県川崎市
建物構造：鉄骨造
軒 高：倉庫棟 14.83m
事務所棟 18.21m
階 数：倉庫棟 地上3階
事務所棟 地上5階
建築面積：6 318.29 m²
延床面積：14 934.32 m²
工 期：2013年11月12日～2014年10月31日

3. 地盤状況

敷地内のボーリング調査の結果、地表から深さ約15mまでがN値2～20程度の緩い細砂主体の埋め土層であり、地下水位は地表から約1.5mと高く、液状化を生じる危険性が高い地盤である。液状化層の下の地盤はN値2～4の粘土質シルト層が約20mの厚さで存在し、これは3t/m²を超える荷重で圧密沈下を生じる層であった。建物重量を支持するために、基礎は地表から70m以深に存在するN値60以上の地層を支持層とする必要があった。

4. 液状化対策

一般に建物の液状化対策としては、下記の2つの方法がある。

- ①建物対策（液状化に耐える剛強な杭基礎構造にする方法）
- ②地盤対策（地盤改良等で液状化を軽減・生じない地盤に造り変える方法）

当該地盤では液状化層が厚く、液状化が生じると地盤の剛性が著しく減少し、地震時の杭の水平変形量が大きくなるため、①建物対策では杭の設計が難しく、基礎構造のコストが増大することが考えられた。そこで②地盤対策が有効であると判断し、既製杭による支持と併用して「静的締固め砂杭工法」による地盤改良を採用し、これを建物下全面に施工した。本工法は、液状化層の緩い砂地盤に締まった砂杭を等間隔で造成することで、砂杭間の地盤の間隙比を減少させて締め固め、地盤強度及び

*1 川田工業(株)建築事業部設計部設計一課 係長

*2 川田工業(株)建築事業部設計部 次長

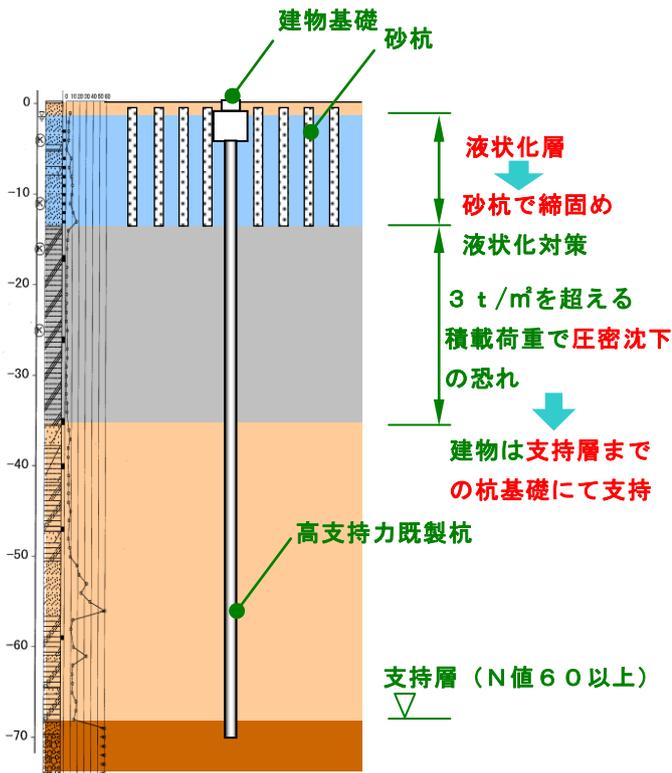


図1 液状化対策と建物基礎概要図

剛性を増加させる工法である。

施工方法は、ケーシング管を所定の位置まで貫入させて砂材を投入し、ケーシング管を細かく上下にウェービングして砂を地中に排出しながら押し上げて所定の杭径を築造し、杭の周囲の地盤を締固める。無振動で締固めを行うことができ、周辺環境へ与える影響が少ない工法である。

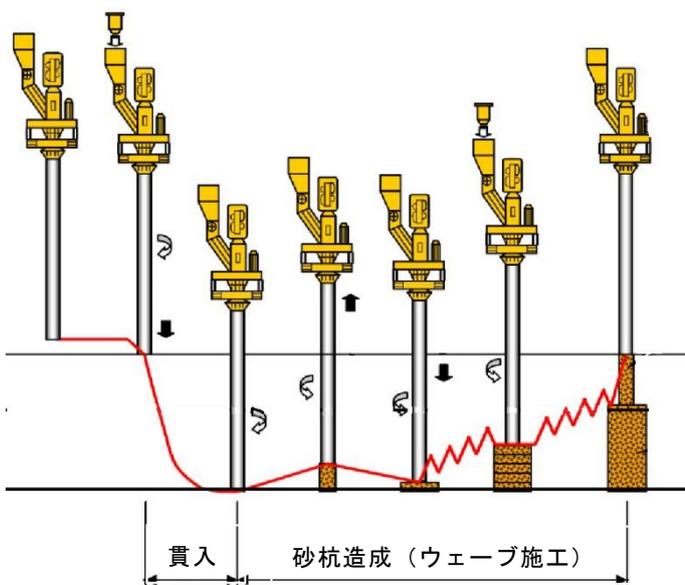


図2 静的締固め砂杭工法の施工手順

5.1 階床の構造計画

「静的締固め砂杭工法」で、建物下全面を地盤改良することにより、液状化の発生を抑えることが出来ることから、1階床は構造床から、土間コンクリート床に変更した。その結果、「地盤改良」の工事項目は増えたが、躯体数量や杭本数が減少したことで、基礎工事費を削減できた。また、砂杭の液状化を軽減・防止させる効果により、地震時の1階部分の水平変形量を小さくする効果も得た。

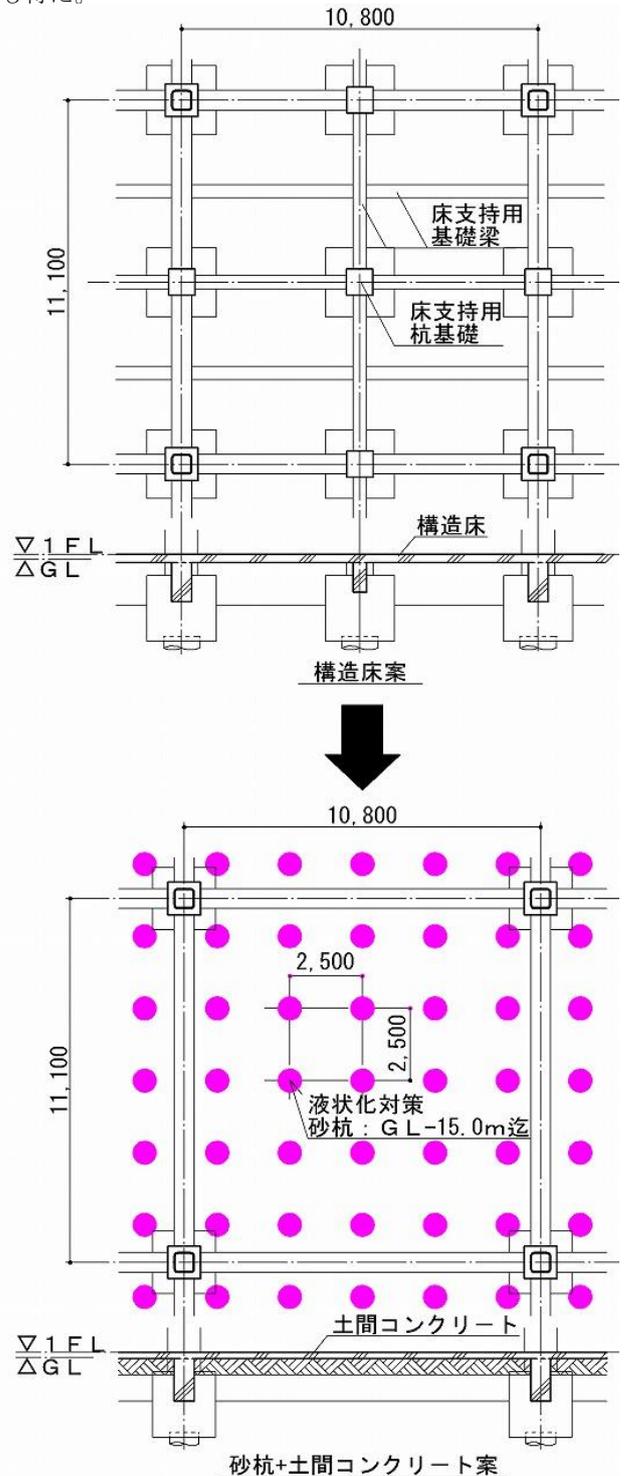


図3 1階床の構造計画

6.砂杭の設計条件と仕様

地盤改良の設計目標には、中地震時（震度 5 強程度）には液状化を起こさないこと（液状化安全率 $FL > 1.0$ ）、大地震時（震度 6 強程度）は「建築基礎のための地盤改良設計指針案（日本建築学会）」に準拠して地表面動の変位 D_{cy} の上限値を設定した。検討方法としては、全ボーリングデータについて地盤改良後の N 値を計算し、液状化判定を行い、設計条件を満たすように砂杭の仕様を決定した。砂杭を施工して地盤改良をすることで地盤の強度が増加するので、ボーリングの N 値が増加する（図 4）。検討した結果、砂杭径は $\phi 700$ 、施工長さは 15m、砂杭の配置は 2.5m ピッチとし、液状化する細砂層を全て改良することに決めた。余改良として建物の外側から砂杭長の約半分の距離までの範囲についても砂杭を配置した。建物が隣地境界に近く、十分な余改良範囲を確保出来ない場所は、外周部に透水性の高い単粒度砕石を材料とした砕石杭を採用して過剰間隙水圧の消散を図った。また、隣地境界際に建物があり、余改良の範囲が全く確保できない場所については、外周部にシートパイルによる遮蔽壁を非液状化層の深さまで配置することで、液状化した周辺地盤の過剰間隙水圧の影響が建物直下に及ぶことを防いだ。以上を考慮して砂杭の配置を計画した結果、砂杭の総本数は 1291 本となった。

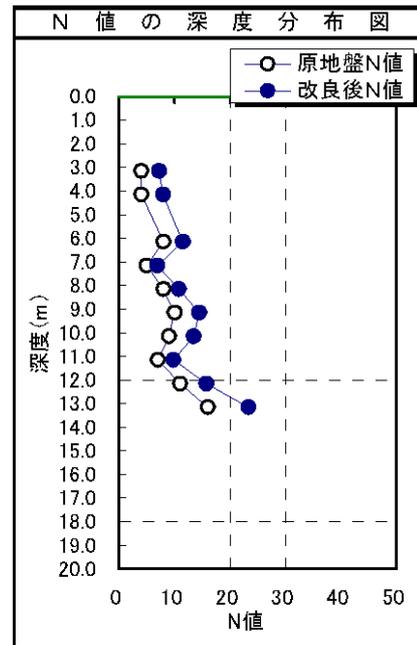


図 4 ボーリング N 値の変化量

このように大量の砂杭を造成すると周辺地盤への地盤変位の影響があるため、オーガで土を緩めて造る変位緩衝孔（ $\phi 500$ ，1m ピッチ）を外周部に配置することで施工時の変位を吸収した。

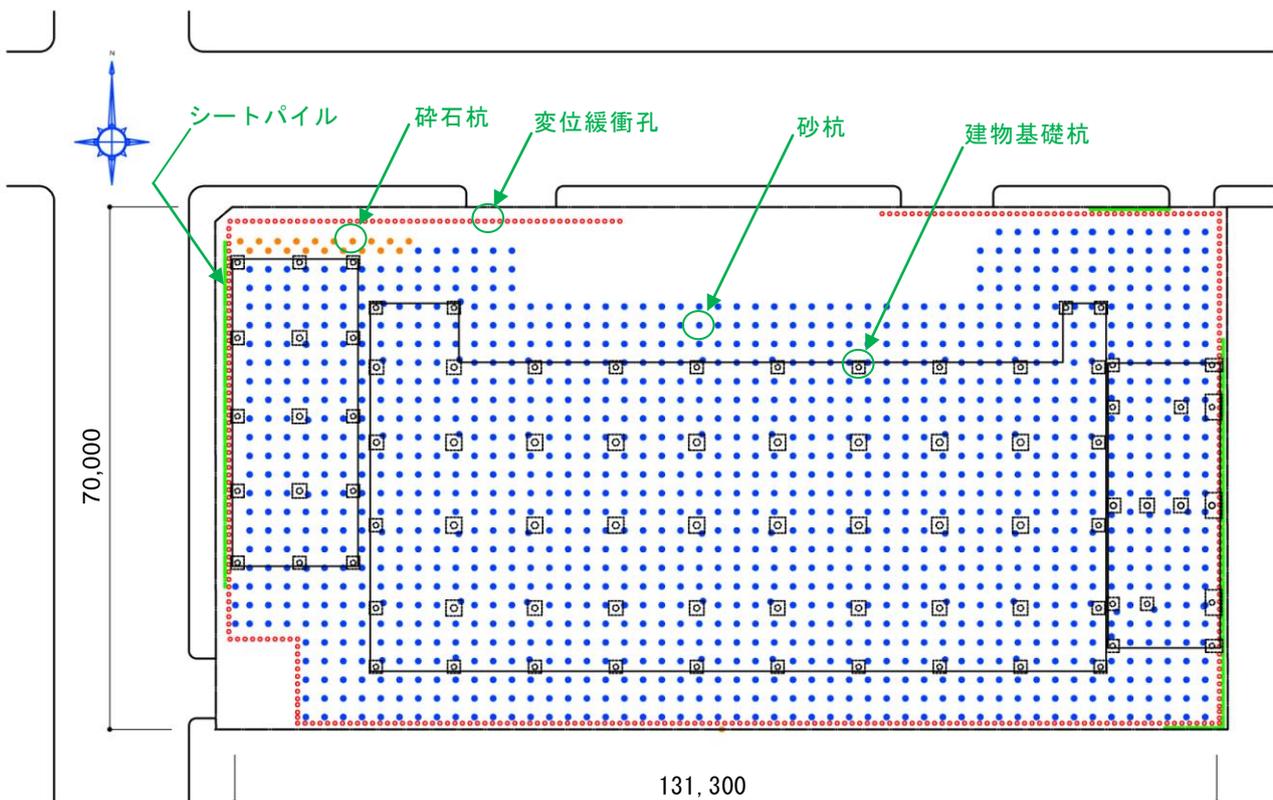


図 5 砂杭の配置図

7. 施工結果

埋土は緩くて一様な細砂層であり、地中障害はほとんど無かったため順調に施工出来た。一箇所あたりの施工時間は予想よりも短く、15mの砂杭を30分程度で造成出来たため、予定工期内で工事を進めることが出来た。

なお施工は、道路・隣地境界付近から開始して、そこから遠ざかる順序で打設し、周辺地盤への地盤変位の影響を低減させた。



写真1 静的締め砂杭工法の工事状況



写真2 砂杭の施工後の状況

8. 改良効果の確認

地盤改良後の品質管理としては、改良効果の確認を目的とする施工後ボーリング調査と土質試験を4カ所実施した。ボーリング調査は、砂杭から最も離れた位置にて液状化層の深さで実施した（図6）。土質試験は標準貫入試験を行った全ての位置に対して試料を採取して実施した。測定したN値と土質試験の結果を用いて液状化判定を行い、全ての調査箇所設計目標値を満足していることを確認した。

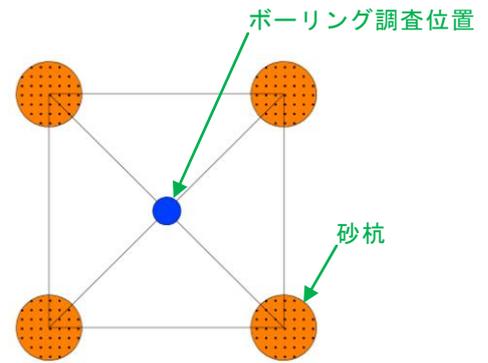


図6 ボーリング調査位置

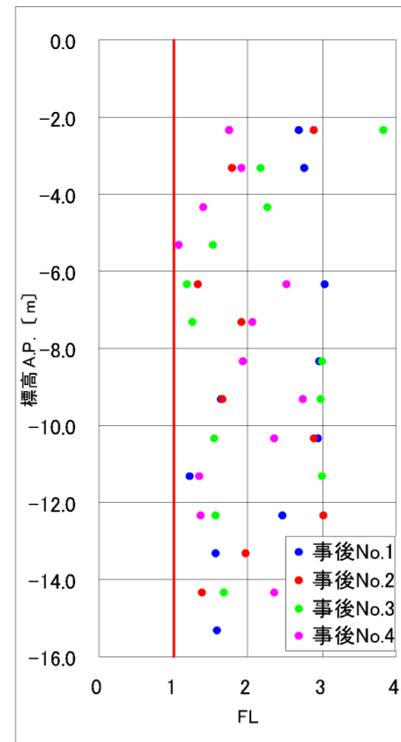


図7 中地震時の液状化判定結果

9. まとめ

液状化の恐れのある地盤の対策としては、建物対策か地盤対策が採用される。地盤の状況や計画している建物の仕様により、必要であればコスト比較を行い、どちらの対策が有効か決定される。今回は地盤対策の「静的締め砂杭工法」を選択し、既成支持杭を併用して基礎構造を計画した結果、経済設計することが出来、工事も予定工期内で完了することが出来た。本件が液状化地盤での設計・施工において、今後の参考になることを期待する。