

(10) 自在ボーリングによる地盤改良工法の開発

鹿島建設(株)土木設計本部	正会員 向井 雅志
独立行政法人港湾空港技術研究所	正会員 山崎 浩之
鹿島建設(株)土木設計本部	正会員 相河 清実
ケミカルグラウト(株)	正会員 三原 孝彦
ケミカルグラウト(株)	横尾 充

1. はじめに

「自在ボーリングによる地盤改良工法」は、ケーソン岸壁等の基礎地盤の耐震性能を高めるために、既設構造物を傷めることなく、また、構造物の機能を維持しながら構造物直下の地盤改良を行うために開発した工法である。

1995年の兵庫県南部地震では、公共埠頭のケーソン直下の置換砂やケーソン背面の埋立地盤の液状化・軟化（せん断抵抗の低下）により、岸壁が海側に変位し、背後が大きく陥没するなど、甚大な被害を経験した。

構造物直下の地盤の液状化対策は、新設の構造物であれば、築造前にサンドコンパクションパイル工法などにより液状化対策を比較的容易に行うことができる。しかし、既設構造物直下の地盤を液状化対策するためには、従来工法では、図-1に示すように地盤改良を施工するための仮設構造物を設置したり、構造物の機能を一時的に止めたりして施工する必要がある。本工法を用いれば、図-2に示すように大規模な仮設設備の必要がなく、また、施設を供用しながら地盤改良が施工でき、かつ、工費の削減も可能である。

自在ボーリングは、半径30cm以下の精度で削孔が可能で、位置検知・姿勢制御システムについては、既に実用化を実証している³⁾。本論文は、実用化の最終確認のために、三重県津松阪港香良洲地区で既設護岸堤防直下の自在ボーリングによる地盤改良工事実験を実施し、液状化対策として本工法が有効である事を確認したので報告する。

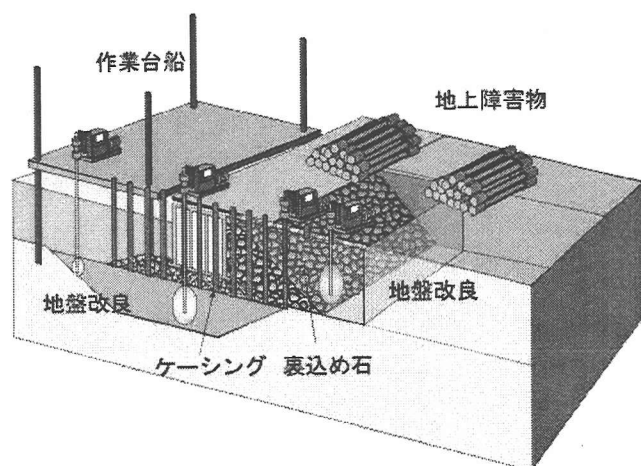


図-1 従来工法による地盤改良

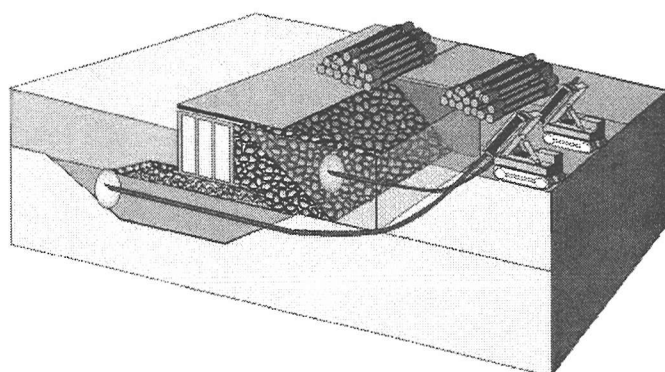


図-2 自在ボーリングによる地盤改良

キーワード：液状化，自在ボーリング，地盤改良，薬液注入，注入固化
連絡先：鹿島建設(株)土木設計本部 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30
tel 03-5561-2184 fax 03-5561-2049 E-mail mukai-masashi@kajima.com

2. 実験概要

本実験の目的は、「自在ボーリングを用いた地盤改良工法」を採用することで、既設構造物直下の地盤改良工事を構造物を傷めたり、構造物の機能を停止したりすることなく確実に施工することが可能で、かつ、液状化対策として本工法が効果的であることを実証することであった。

実海域実証実験は、図-3に示す三重県津松阪港香良洲地区で実施した。本地区では、国土交通省中部地方整備局が護岸改良工事を行っており、施工中の護岸堤防の一面において、写真-1に示す既設護岸堤防直下に自在ボーリングによる地盤改良工事を実施し、既設護岸堤防撤去工事の途中段階で、改良体を掘り出して、出来形や品質等の調査を行い液状化対策としての本工法の実用性を検証した。また、本工法による周辺環境への影響をみるため、地下水の水質や施工中の騒音・振動の調査も併せて行った。

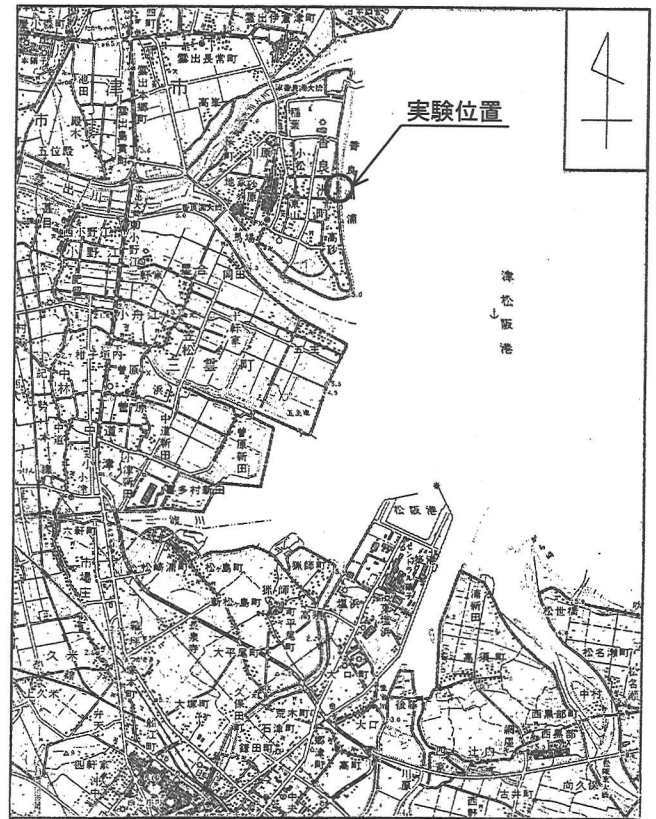


図-3 実験場所

3. 地盤改良工法の選定

液状化対策としての地盤改良工法は各種あるが、本実験では薬液注入工法を採用する。薬液注入工法は、耐久性のある薬液の開発により、近年、液状化対策として用いられるようになってきた。特に、施工条件の制約を受ける既設構造物直下の液状化対策に有効であり、今後さらに施工事例の増加が見込まれる。薬液注入工法による液状化防止メカニズムは以下のように考えられる。

薬液を土中に注入することにより土粒子間の土中水がゲル化した薬液により置換されるため、

- ① 土粒子間に粘着力が付加されるため土粒子の骨格が崩れにくくなり、過剰間隙水圧の上昇が抑制される事により有効応力の低下が抑制される。
- ② 間隙水がゲルに置き換わったことから、見かけ上間隙が少なくなり密な砂の状態に近づいたことになり、このことによっても液状化は抑止される。
- ③ 間隙に水がないことから想定以上の外力が作用しても、変形は発生するが、完全な液体状にはならないと考えられる。

以上の3つの効果により液状化抵抗を高める。

今回の実験の薬液注入工法は、緩い砂層に対して水ガラス系の薬液を注入し、砂粒子間の水と置き換えながら浸透固結させる工法である。そのため、過剰間隙水圧の上昇が抑えられると共に、薬液により粘着力が増加するため、地盤のひずみレベルを小さく抑える事が可能となり、その結果、液状化抵抗を高める効果がある。



写真-1 既設護岸堤防

4. 地盤改良工事計画

薬液注入による地盤改良は、図-4に示すように平面範囲は長さ6.5m、幅4.5mとし、改良深度はT.P. ±0.0m～-3.0mをカバーする範囲に改良体を配置するものとし、径2.5mの改良体を上段に6個、下段に2個施工する。改良率は100%とし、注入ピッチは2.0mとする。地盤改良工事は、図-5と写真-2に示すように、計画改良位置から水平距離約40m離れた護岸背面側の地上（T.P.+2.3m）に自在ボーリング機械を設置し、曲線削孔後に薬液注入をして改良体を施工する。

薬液注入に用いる材料は、地盤への浸透性が良く、長期耐久性のある中酸性水ガラス系の薬液を使用し、注入率は40.5%（砂の間隙率45%）とする。

改良体の設計基準強度は、液状化対策のための目安となる一軸圧縮強さで $q_{uck}=100\text{kN/m}^2$ とし¹⁾²⁾、配合強度は、薬液の浸透状況のばらつきを考慮して設計基準強度の2倍の $q_{ul}=200\text{kN/m}^2$ とし、シリカ濃度は、施工前に現地砂を採取し事前配合試験を行い7.4%とする。

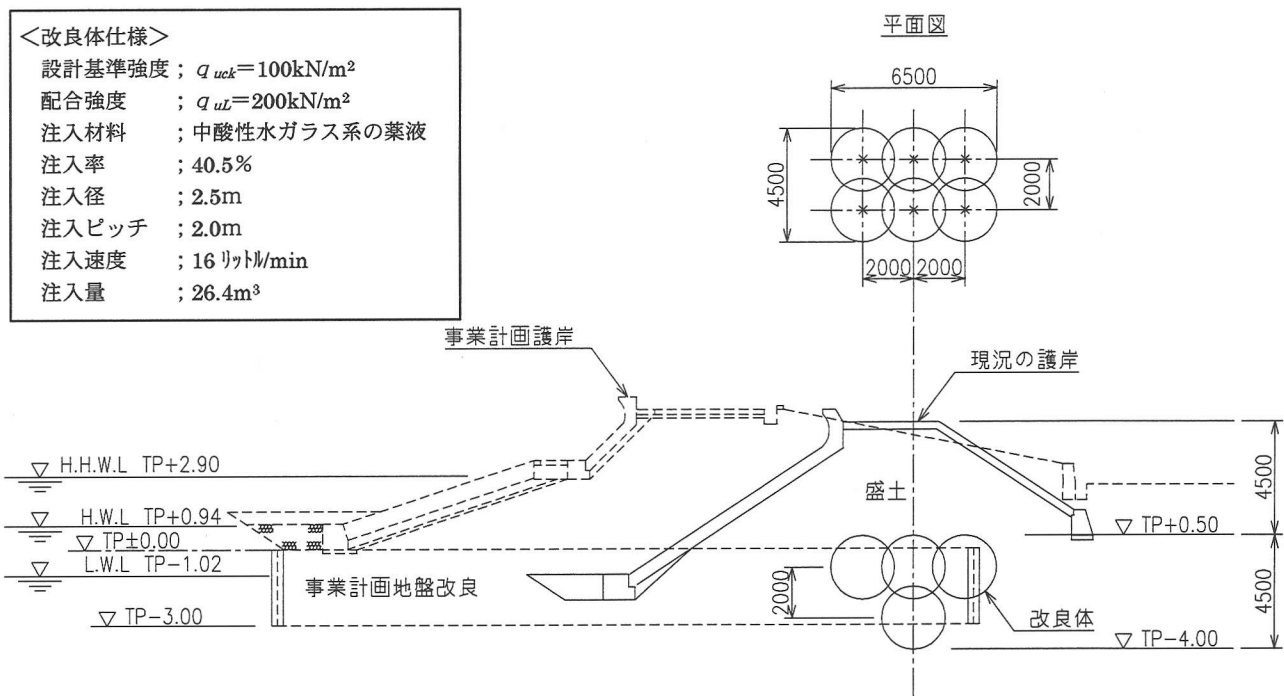


図-4 地盤改良範囲と改良体仕様

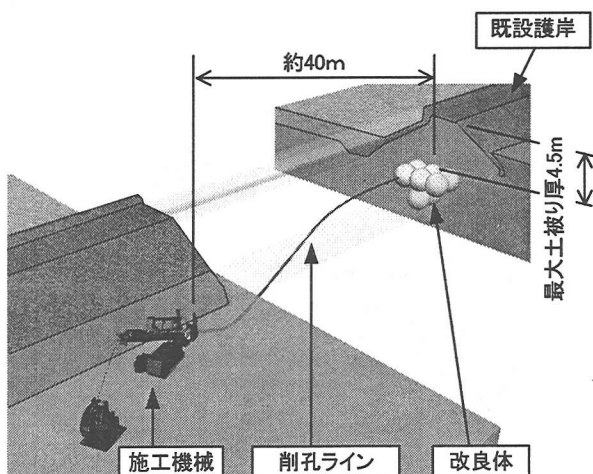


図-5 自在ボーリングによる地盤改良工法



写真-2 施工状況

5. 施工方法

<施工機械>

自在ボーリング機械（写真-3）は、配管敷設用の機械に、削孔径・位置制御システムの改良，薬液注入システムの機能を加えたものである。削孔ロッドは径を小さくすることにより小さな曲率で削孔が可能である（写真-4）。

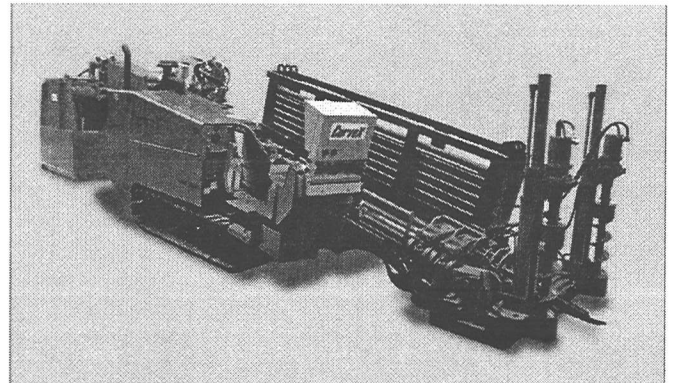
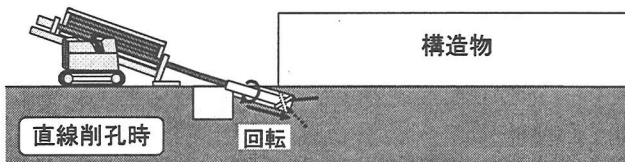


写真-3 自在ボーリング機械

<自在ボーリングによる削孔・注入のしくみ>

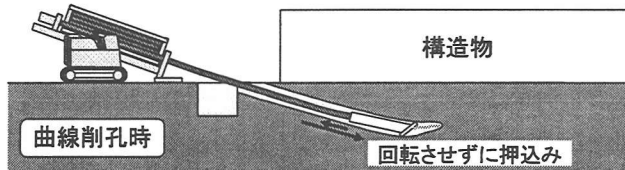
(1) 直線削孔時

ロッドを回転させながら押し込み、斜孔部を削孔する。



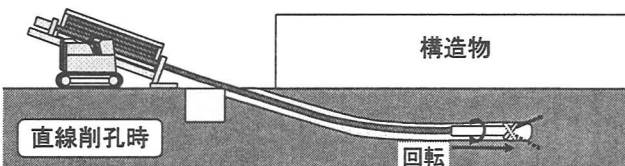
(2) 曲線削孔時

先端ビットの傾斜面を曲げる方向に調整し、ロッドの回転をとめて押し込み、曲線部を削孔する。



(3) 直線削孔時

ロッドを回転させながら押し込み、水平部を削孔する。



(4) 地盤改良時

薬液注入と削孔を繰り返して、地盤改良を行う。

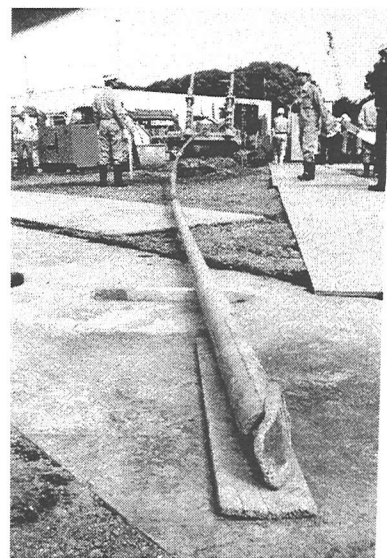
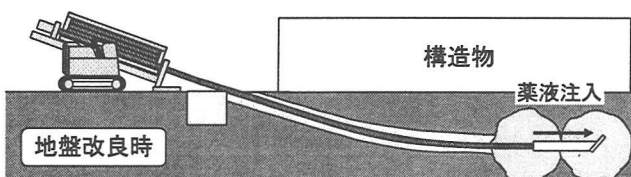


写真-4 先端ビット及びロッド

<削孔位置の確認方法>

削孔位置の確認には、独自の位置検知・姿勢制御システムにより、半径 30cm 以下の精度で正確な削孔が可能である。

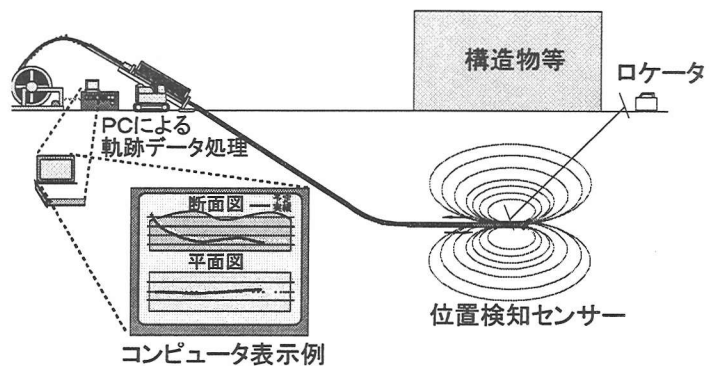


図-6 位置計測方法

6. 調査・試験内容

調査・試験内容は、施工前、施工中及び施工後に表-1に示す項目を実施した。また、図-7には、それらの調査位置を示す。

表-1 調査・試験項目一覧

No	項目	方法	数量	時期
1	改良体形状	目視確認、寸法測定	6改良体	施工後
2	改良体品質	一軸圧縮試験	3カ所	施工後
		標準貫入試験・現場透水試験	1カ所	施工前
			1カ所	施工後
		繰返し非排水三軸試験	3カ所	施工前
3カ所	施工後			
3	騒音・振動	指示騒音計、振動レベル計	各1カ所	施工中
4	水質試験	pH測定 ^{注1)}	6カ所	施工前 施工中 施工後
		その他の水質検査	6カ所	施工前 施工中 施工後

注1)：測定は「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」（昭和49年建設省）による。

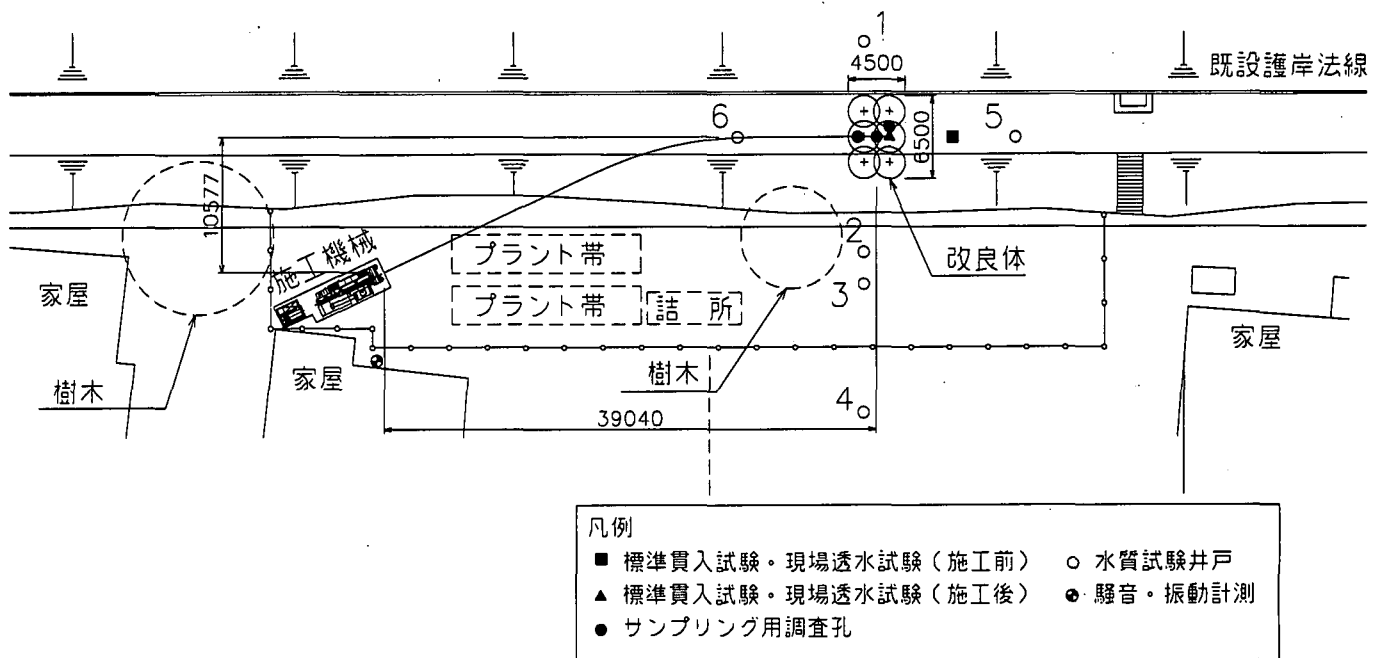


図-7 調査・試験位置

7. 調査・試験結果

<改良体形状>

改良体は、平面形状は上段の改良体の半分を露出させて、形状・寸法の測定を行い、深さ方向の形状については、改良体を露出させて寸法計測による出来形確認が困難なため、バックホウでの掘削時の目視観測、

簡易サウンディングや一軸圧縮強さの鉛直分布等から推定した。改良体の出来形測定結果を図-8に示す。
 形状の特徴としては、改良体の上部は6球体が一体となった平坦な形状となっているが、平面的には計画範囲を満足している。改良体の上部が平坦になっている原因は、地盤の透水性が鉛直よりも水平方向に卓越していることや、上部の位置が地下水の変動部にあたることが考えられる。

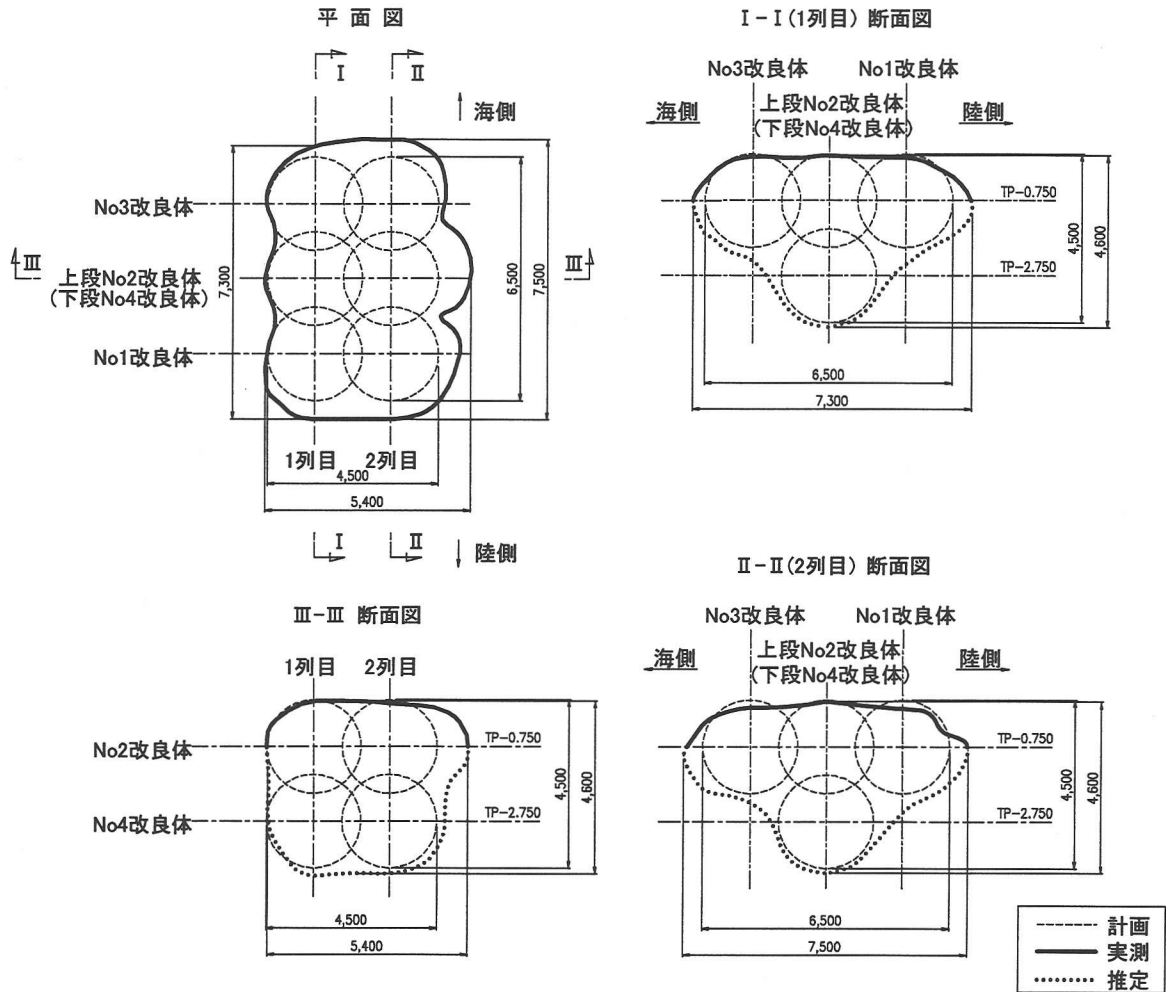
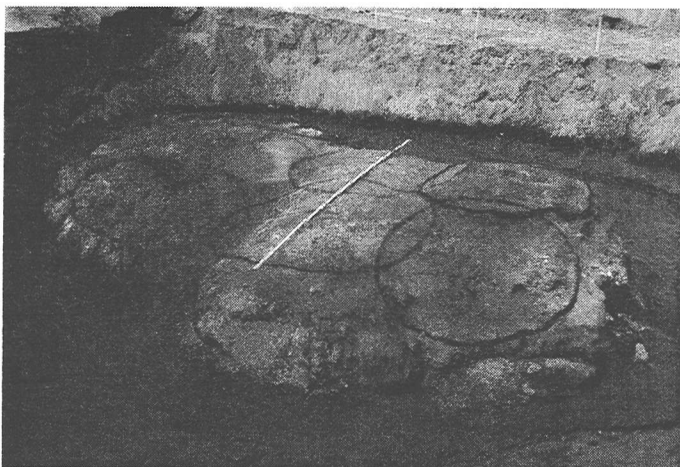
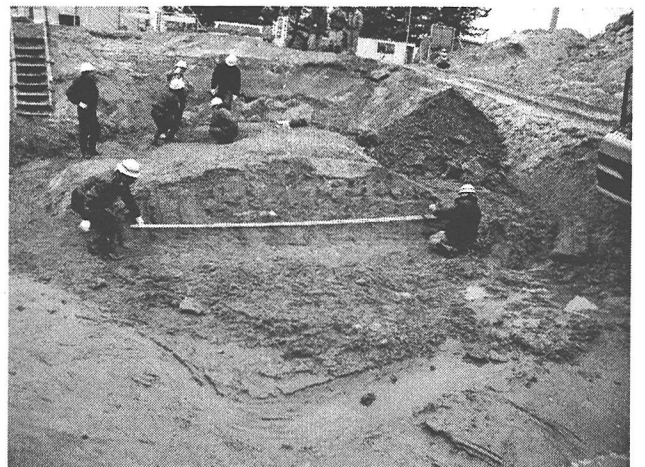


図-8 改良体出来形測定結果 (単位:mm)



改良体平面形状(右が海側)



改良体断面形状(海側2つの改良体の上半分の断面)

写真-5 改良体出来形

<改良体品質>

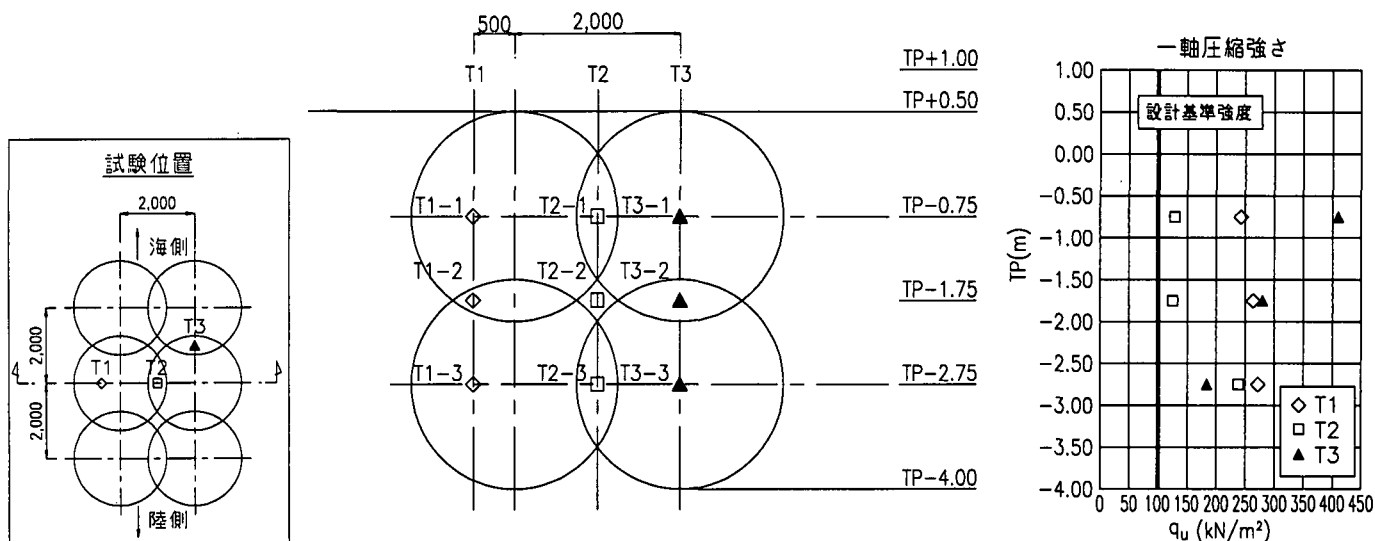


図-9 一軸圧縮試験結果

改良土の一軸圧縮強さは、図-9に示されるように $q_v = 125 \sim 411 \text{ kN/m}^2$ の範囲にあり、平均で $q_v = 238 \text{ kN/m}^2$ となり、平均強度では、配合強度 $q_{ul} = 200 \text{ kN/m}^2$ を、また、最小の強度でも設計基準強度 $q_{uck} = 100 \text{ kN/m}^2$ を満足する結果となった。

改良土の液状化抵抗は、図-10に示されるように、無改良土の2倍以上になった。また、地盤の透水係数は、改良前は $k_v = 4.3 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ であったものが、改良後は $k_v = 5.5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ と1/100に低下し、液状化抵抗や地盤の透水係数の結果からも改良効果が確認された。

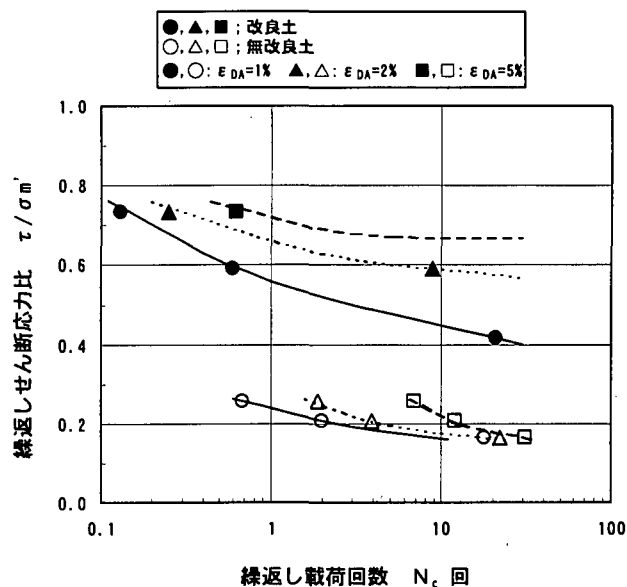


図-10 改良土と無改良土の液状化抵抗曲線

<騒音・振動調査>

施工時における近隣家屋への騒音・振動の影響を調査するため、自在ボーリング機械から約6m離れた敷地境界地点で指示騒音計及び振動レベル計で計測した結果、騒音が最大77dB、振動が最大56dBで、特定建設作業の基準値である騒音85dB、振動75dBを越える値は観測されず、周辺環境に対して十分な安全性を確認した。

<水質調査>

水質調査は、pH、塩分濃度、シリカ含有量等を薬液の注入前、注入中及び注入後に図-11に示す6ヶ所の観測井で観測したpHの観測結果を図-12に示す。薬液を注入することにより周囲の地下水に大きなpH（注入前6.0～7.6、注入後6.1～7.6）の変化を与えないことを確認した。なお、「薬液注入工法による建設工事に関する暫定指針」におけるpHの管理基準値は5.8～8.6である。

また、その他の調査項目についても薬液注入により、地下水に大きな変化を与える事が無く、本工法による地下水に対して十分な安全性を確認した。

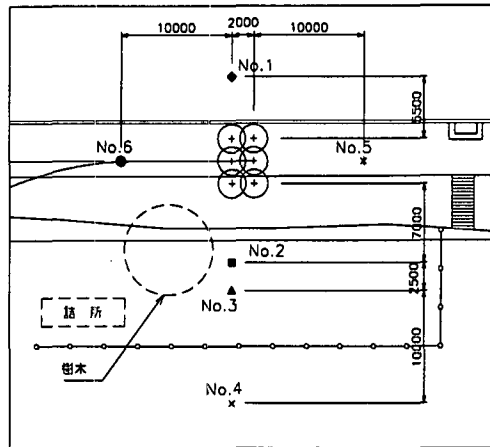


図-11 観測井位置

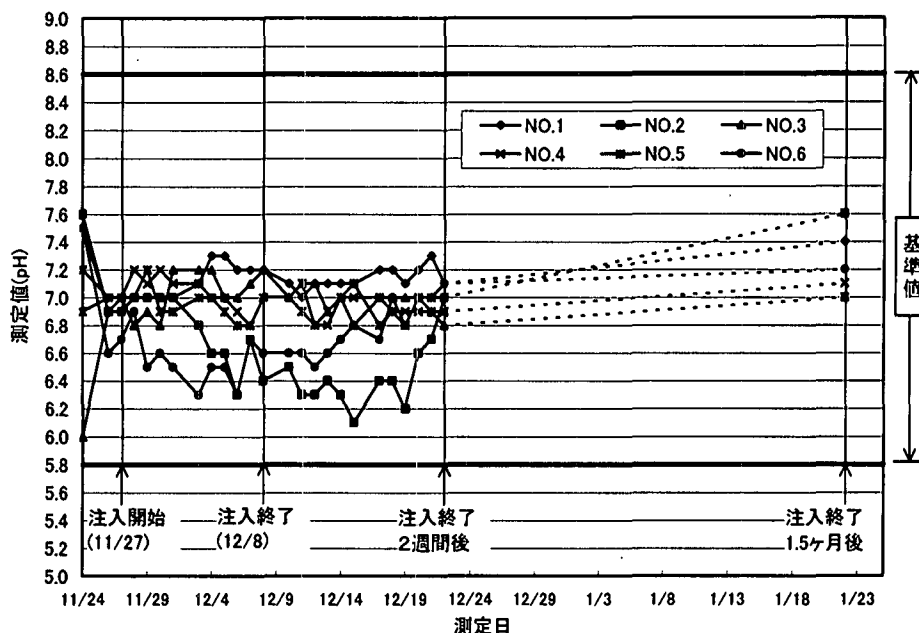


図-12 pH測定結果

8. まとめ

今回の実海域実証実験において、自在ボーリングによる地盤改良工法は、既設護岸を全く傷めることなく、また、護岸の機能を損うことなく、護岸直下の地盤改良が確実に施工できることを確認した。また、臨海部における緩い砂質地盤における曲線削孔、及び薬液による地盤への注入固化の実用化に対して十分な成果が得られ、既設構造物直下の液状化対策として有効な工法として実証できた。

今後は、ケーソン岸壁直下、下水処理場、ポンプ場等の躯体直下、橋梁基礎直下、石油タンク等直下、工場建屋直下、既設滑走路直下等の地盤の液状化対策として、実際の工事に適用していく予定である。

なお、今回の実海域実証実験を実施するにあたり、実験海域の場所を提供して頂いた国土交通省中部地方整備局、並びに関係者各位に誌面を借りて感謝の意を表す次第です。

【参考文献】

- 1) 山崎浩之・前田健一・高橋邦夫・善功企・林健太郎：溶液型注入固化材による液状化対策工法の開発，港湾技研資料，No.905，1998
- 2) 沿岸開発技術研究センター：事前混合処理工法技術マニュアル，1999
- 3) 山崎浩之・相河清実・横尾充：自在ボーリングを用いた地盤改良工法の開発，第56回土木学会講演概要集，VI-330，2001