

薬液注入工法による地盤改良効果の確認調査事例

株式会社東京ソイルリサーチ ○市島 俊, 沼田 俊輔, 三浦 崇志

1. はじめに

液状化対策を目的とした薬液注入工法による改良地盤の設計基準強度は低強度であることが多く、乱れの影響等を極力排除した上で、改良効果を適切に評価する必要がある。一方、改良効果の評価方法として様々な調査方法が提案されているが、調査事例は少なく、地盤の不均一性等から、調査サイトで適用性も異なると考えられる。

本報告は、埋立地盤における薬液注入工法による改良効果を、動的コーン貫入試験及び三軸圧縮試験で確認した事例を紹介し、評価方法としての適用性及び今後の課題を報告する。

2. 調査地盤と地盤改良の概要

図1に地盤改良の断面図を示す。調査地は埋立造成された港湾地域である。護岸背面は人工的に置換した砂質土で構成され、置換砂の液状化対策として、薬液注入工法が施工された。改良体の形状は球状、改良径は陸側がφ2.0m、海側がφ2.5mの2種類である。改良長は6~10m、設計基準強度は改良径によらず、50kN/m²である。

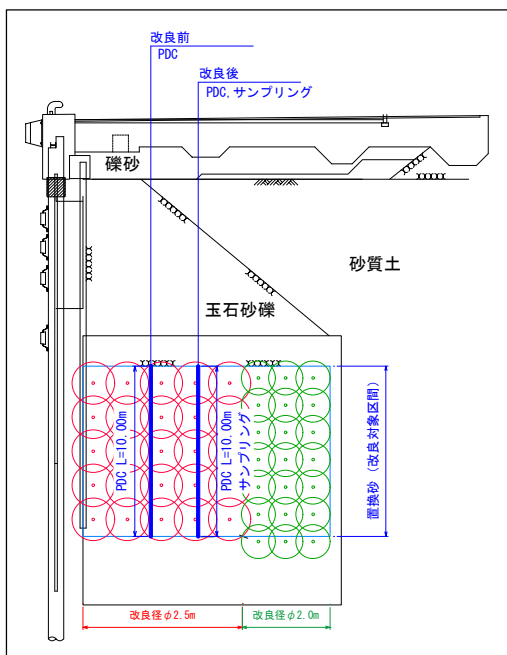


図1 地盤改良の断面図

3. 地盤調査方法

改良効果の評価方法として、動的コーン貫入試験（以下、PDC）、三軸圧縮試験（非圧密非排水）を実施した。

PDCは、1打撃毎の貫入量とともに、地盤中に発生する間隙水圧を測定する試験である。薬液注入後の改良地盤は透水性が低下し、間隙水圧が残留しやすくなるため、改良前より累積過剰間隙水圧比が増加する傾向を示す。本調査では、改良前後のNd値と累積過剰間隙水圧比を

それぞれ比較し、改良効果の確認を行った。ここで、累積過剰間隙水圧比とは、測定した間隙水圧から静水圧を差し引き、有効上載圧で除して表される値である。

三軸圧縮試験は、非圧密非排水条件で実施した。改良効果の確認方法は、図2¹⁾を参考に、試験結果のモール円より破壊包絡線を引き、原点から破壊包絡線に接するモール円を求め、その最大主応力差を推定一軸圧縮強さ（以下、推定qu）として、設計基準強度と比較した。ただし、乱れの少ない試料には礫等が混入していたこと、設計基準強度が比較的低強度であることから、供試体の整形は行わず、原形供試体で試験を実施した。

調査位置は、参考文献2)、3)に準拠し、改良体半径の1/2の円周上にPDC、乱れの少ない試料採取孔を配置し、各々の離隔は同心円上で0.5m以上とした。調査深度は改良長全長とし、深度方向に「上・中・下」に3等分して各区分で評価を行った。

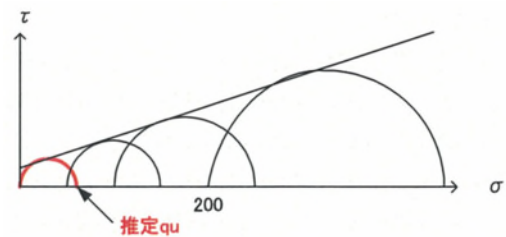


図2 推定一軸圧縮強さquの推定方法¹⁾

4. 調査結果と考察

(1) 動的コーン貫入試験

図3にPDCの測定結果であるNd値、累積過剰間隙水圧比を示す。

改良後のNd値は、全体的に大きくなる傾向が見られ、改良効果（強度増加）が反映されている可能性が示された。ただし、設計基準強度の割に過大な値（Nd≥50や貫入不能）が得られている部分が散見された。この要因としては、改良効果による強度増加分に加えて、薬液が粘着力として作用することで、コーン周面の摩擦力が増加したことによる影響が考えられる。

改良後の間隙水圧は概ね静水圧以上を示し、累積過剰間隙水圧比についても、全体的に正の値となる部分が多かった。間隙水が薬液に置換されることで、透水性が低下したものと考えられる。

図4に全試験地点のNd値、累積過剰間隙水圧比をプロットした全体的な傾向を示す。一部の試験地点で間隙水圧が静水圧より低い、つまり累積過剰間隙水圧比が負の値となる部分が見られた。この結果に対する理論的な説明は困難であり、改良効果指標としての試験適用上の今後の課題である可能性がある。

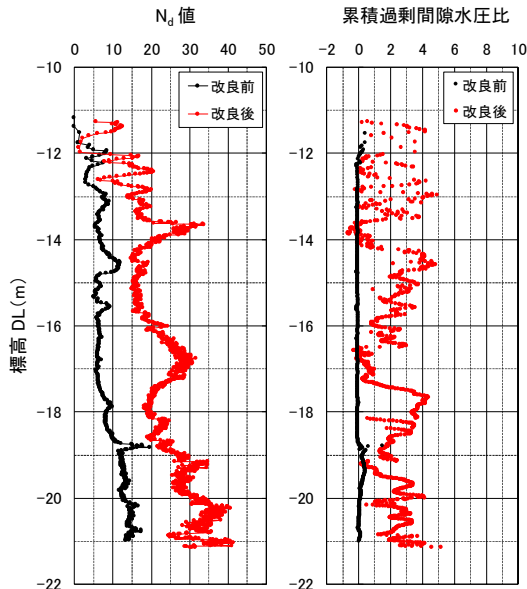


図3 Nd 値, 累積過剰間隙水圧比の測定結果例

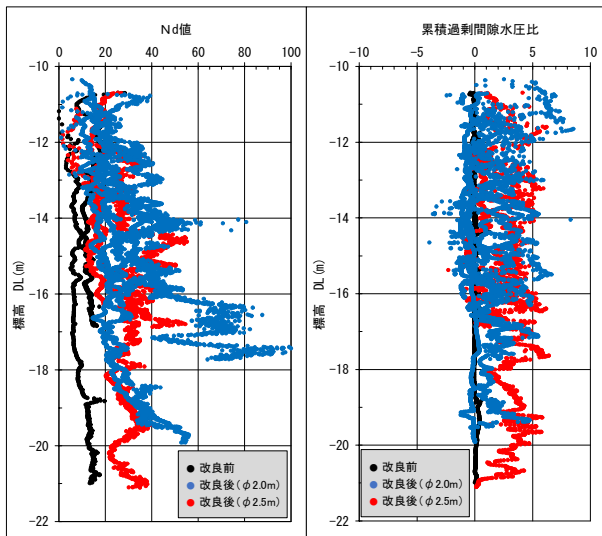


図4 Nd 値, 累積過剰間隙水圧比の全体的な傾向

(2)三軸圧縮試験

表1に推定 q_u と評価結果を示す。推定 q_u は23~268kN/m²とばらつきが大きい、約9割の区間で設計基準強度を上回る結果となった。なお、推定 q_u が設計基準強度未満の区間については、別途実施したシリカ含有量試験で改良効果を確認している。

表1 推定 q_u と評価結果

| 【改良後】: ϕ 2.5m | | | | 【改良後】: ϕ 2.0m | | | | |
|--------------------|------|-------------------------------|----|--------------------|------|-------------------------------|-----|---|
| 対象区間 | 試験区分 | 推定 q_u (kN/m ²) | 評価 | 対象区間 | 試験区分 | 推定 q_u (kN/m ²) | 評価 | |
| ①区間 | 上 | 60 | ○ | ①区間 | 上 | 268 | ○ | |
| | 中 | 52 | ○ | | ④区間 | 中 | 171 | ○ |
| | 下 | 48 | × | | | 下 | 83 | ○ |
| ④区間 | 上 | 52 | ○ | ②区間 | | 上 | 112 | ○ |
| | 中 | 100 | ○ | | ⑤区間 | 中 | 159 | ○ |
| | 下 | 144 | ○ | | | 下 | 185 | ○ |
| ⑥区間 | 上 | 23 | × | ③区間 | | 上 | 61 | ○ |
| | 中 | 46 | × | | ⑥区間 | 中 | 63 | ○ |
| | 下 | 64 | ○ | | | 下 | 244 | ○ |

【評価】 ○: 推定 q_u \geq 設計強度 ×: 推定 q_u < 設計強度

図5に全てのモールの応力円を改良径ごとに重ね描きしたグラフを示す。データ数が異なるが、推定 q_u は改良径 ϕ 2.0mで141kN/m², ϕ 2.5mで約75kN/m²となり、前者の

方が約1.5倍大きい。このことから、改良径が小さい方が強度発現を得やすい可能性がある。

深度方向の推定 q_u に着目すると、「下」区間が上・中区間よりも小さくなる傾向がある。この要因としては、調査地盤は、改良対象の下位に改良対象外の砂層が連続することから、下方へ薬液の逸走(リーク)が発生しやすい地盤条件である可能性が考えられる。

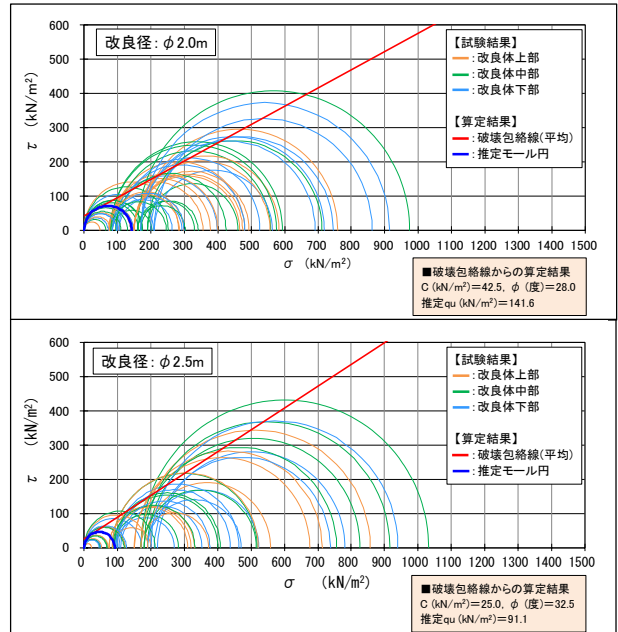


図5 改良径ごとのモール応力円

5.まとめと今後の課題

本報では、薬液注入工法による改良効果を2種類の地盤調査方法で評価した。以下に得た知見を記す。

- ① 改良前後の Nd 値や残留間隙水圧, 累積過剰間隙水圧比から改良効果の可能性が示された。三軸圧縮試験による推定 q_u は、概ね設計基準強度を満たすことを確認した。
- ② 改良後の PDC では、コーン周面の摩擦力増加の影響と考えられる過大な Nd 値や理論的な説明が困難な過剰過剰間隙水圧比の傾向が見られ、改良効果指標としての今後の課題と考えられる。
- ③ 推定 q_u は、改良径が小さい方が大きく、相対的に強度発現を得やすい可能性がある。
- ④ 下方区間の推定 q_u は、それ以浅の区間より相対的に低く、地盤条件によっては、下方へ薬液の逸走が発生しやすい可能性がある。

《引用・参考文献》

- 1) (一社)日本埋立浚渫協会: 埋立地の地盤改良に関する検討報告書, p. 10, 2016. 9
- 2) 国土交通省: 薬液注入工法による地盤改良工事に係る地盤改良効果の調査方法等について, 平成29年8月
- 3) (一財)沿岸技術研究センター: 浸透固化処理工法技術マニュアル (改訂版), 令和2年7月