

三重管高圧噴射工法を用いたステップ改良の地盤改良効果に関する検討

ステップ改良 軟弱粘土 トラフィカビリティー

大阪市交通局  
大成・青木あすなろ・不動・松村 JV  
間・大林・東亜・森・中林 JV  
地域 地盤 環境 研究所

山口博章  
正会員 福田宏之  
野村 浩  
国際会員○長屋淳一

1. はじめに

開削工事において軟弱粘土地盤を掘削する場合、重機走行のトラフィカビリティーを確保するために地盤改良が必要となる。しかし、大阪市地下鉄8号線緑橋工区および今里工区では、掘削構内に埋設されている巨大な埋設管(下水シールドφ4300)等が存在し、通常のセメント混合処理が行うことができない状態にあった。これらの埋設管を安全に防護するためには埋設管下部の改良が必要であったため、軟弱粘土地盤に対する改良として三重管高圧噴射工法を用いたステップ改良を用いた。ステップ改良とは三重管高圧噴射工法を用いて円板状の改良体のある一定間隔で造成するものである。この工法を用いるに際して、板状の改良体の造成時に改良体間の粘土を攪乱し、強度低下が生じてしまうことが懸念された。そこで、改良前後における改良体間の粘土の強度変化を調べ、ステップ改良による改良体間粘土への影響を検討した。また、FEM 解析によりステップ改良による改良効果のメカニズムを把握し、効果的な改良ピッチについて検討を行った。

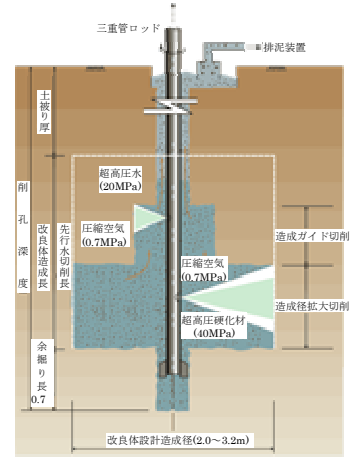


図-1 三重管高圧噴射工法の概要

2. ステップ改良の概要

図-1に三重管高圧噴射工法の概要図を示す。三重管高圧噴射工法は、改良深度まで三重管ロッド先端にモニターを装着し、計画深度まで削孔後、上段ノズルから圧縮空気を添わせた超高压水と下段から圧縮空気と超高压スラリーを噴射させながら回転、引上げし、発生するスライムを排出して大口径の円柱状の改良体を造成する工法である。ステップ改良とはトラフィカビリティー確保のために三重管高圧噴射工法を用いて円板状の改良体のある一定間隔で板状に造成するものである。

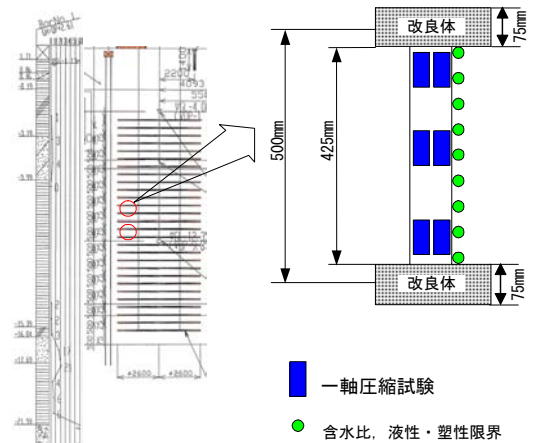


図-2 サンプリング位置と試験項目

3. 改良体間における粘土の土質試験

改良体間粘土の強度変化を検証するために大阪市地下鉄8号線今里工区の開削現場においてステップ改良前後における沖積粘土のサンプリングを行い、含水比試験、液性・塑性限界試験および一軸圧縮試験を行った。図-2にサンプリング位置と試験項目を示す。

改良後のサンプリングは地上からのボーリングで改良体をコア抜きした後にシンウォールサンプリングを行った試料と試験実施深度まで掘削した時点で掘削構内においてブロックサンプリングを行った試料を用いた。サンプリング深度はOP-7.0~-8.0mとOP-9.5~-10.5mの2深度であり、一軸圧縮試験用試料は上、中、下の3箇所で、含水比、液性限界、塑性限界試験用試料は深度方向に5cmピッチで行った。サンプリングを行った粘土は、自然含水比

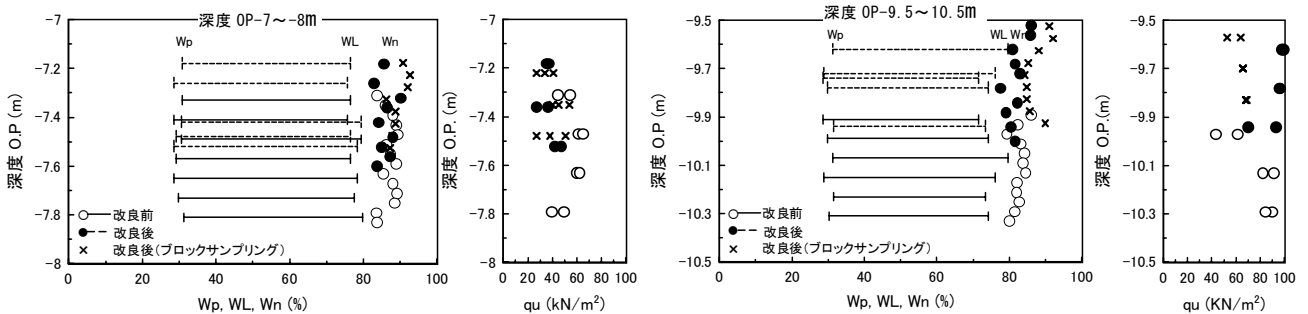


図-3 物理特性および一軸圧縮強度の比較

Study of soil improvement effect by step method using triple tube jet grout method.

H.Yamaguchi (Osaka Municipal Transportation Bureau), H.Fukuda(Taisei・Aokiasunaro・Fudo・Matsumura JV), H.Nomura (Hazama・Oobayashi・Toa・Mori・Nakabayashi JV), J.Nagaya(Geo-research Institute)

が液性限界よりも大きく、非常に鋭敏な粘土である ( $q_u=40\sim 90\text{kN/m}^2$  程度)。図-3に改良前後における物理特性および一軸圧縮強度の比較図を示す。試験結果より改良前後における自然含水比  $w_n$ 、塑性限界  $w_p$ 、液性限界  $w_L$  にほとんど変化はなく、粘土の物理的な変化は認められない。また、改良前後における強度変化は、0P-7~8mの粘土では、強度低下が生じる傾向が見られるが、試験上のばらつきの範囲内であり、改良工による改良体間粘土の顕著な強度低下は生じないと考えられる。これは、超高压噴射による地盤の切削時において円盤状に拡張するように粘土を切削し、改良体上下面には粘土を攪乱するような大きな負荷が作用しないためであると考えられる。

#### 4. FEM解析による改良効果の検討

ステップ改良による地盤改良効果のメカニズムと効果的な改良ピッチを検討するためにFEM解析を実施した。地盤モデルとして弾塑性モデル(カムクレイモデル)、改良体はビーム要素とし、地盤の土質パラメータは土質試験を行った大阪市地下鉄8号線今里工区の沖積粘土地盤を想定し、地表面付近の地盤は重機走行の繰返し荷重による乱れを仮定して圧縮指数、膨潤指数を2倍の値に設定した。表-1に地盤の土質パラメータ、表-2に改良体のパラメータを示す。載荷荷重は、小型湿地ブルの接地圧相当 ( $35\text{kN/m}^2$ ) とした。また、改良ピッチによる改良効果への影響を検討するために改良ピッチ 0.25, 0.5, 1.0m および無改良のケースについて解析を行った。図-4に解析結果におけるせん断応力分布を示す。軟弱粘土地盤において重機走行が不能になる場合、①繰返し走行荷重の載荷、②地盤の攪乱による強度低下、③重機端部におけるせん断応力、せん断ひずみの発生、④粘土の破壊による重機の沈み込みにより生じると考えられる。図-4よりステップ改良は板状の改良体が軟弱粘土地盤に生じるせん断変形に対する抵抗体として作用し、せん断変形の深部への伝播がさえぎられていることがわかる。すなわち、地盤内に板状の改良体を造成することにより、重機荷重によるせん断応力を遮断し、応力を分散させることにより重機の沈み込みを抑制することができる。図-5に改良ピッチと重機直下の沈下量を示す。ステップ改良を行ったとしても掘削底面から最上段の改良体までの粘土は、重機荷重により攪乱されて大きな変形が生じてしまうことは避けられないが、改良体以深は改良体で変形が抑制され重機の沈み込みは生じない。つまり、重機が沈み込んでも走行可能な限界高さ(50cm程度)の改良ピッチが必要であるとすると、図-5より50cmピッチの改良幅が適正であると考えられる。

表-1 地盤の土質パラメータ

土質パラメータ	最上段RJP 以深	地表面付 近の地盤
圧縮指数	$\lambda$	0.434
膨潤指数	$\kappa$	0.0434
破壊応力比	M	1.3
ポアソン比	$\nu$	0.45
静止土圧係数	$K_0$	0.5
間隙比	e	2
過圧密比	OCR	1
単位体積重量	$\gamma$	1.6

表-2 改良体のパラメータ

改良体パラメータ	解析に用いた値	
弾性係数	E	500 MN/m <sup>2</sup>
断面積	A	0.075 m <sup>2</sup> (t=75mm)
断面2次モーメント	I	$3.516 \times 10^{-5}$ m <sup>4</sup>

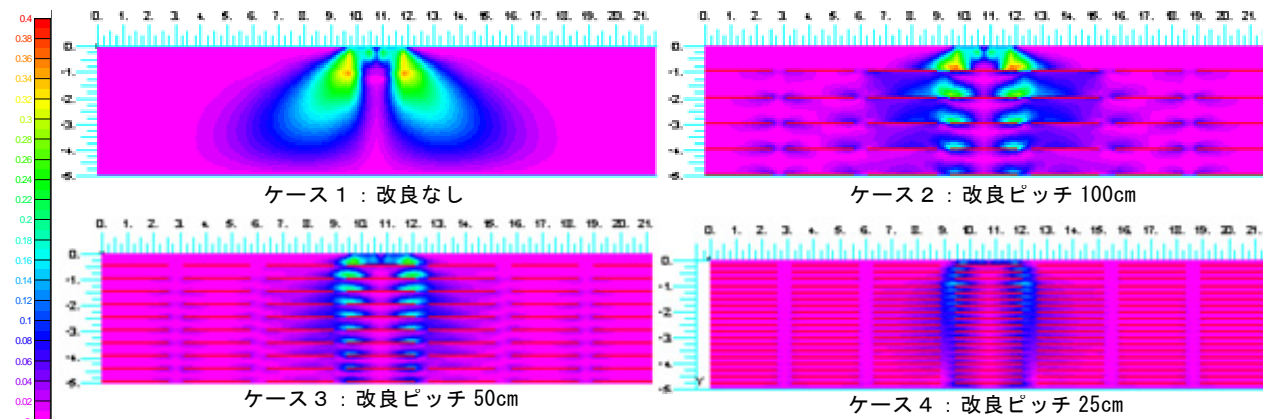


図-4 せん断応力分布

#### 5. まとめ

- 1) ステップ改良における改良体間粘土は改良体造成時の攪乱による強度低下が懸念されたが、試験結果より顕著な強度低下は生じなかった。これは、超高压噴射による地盤の切削は、円盤状に拡張するように粘土を切削し、改良体上下面には粘土を攪乱するような大きな負荷が作用しないためであると考えられる。
- 2) ステップ改良は、地盤内に板状の改良体を造成することにより、重機荷重によるせん断応力を遮断し、応力を分散させることにより重機の沈み込みを抑制し、トラフィカビリティを確保できる。
- 3) ステップ改良においては重機走向に支障がない程度の沈下量に抑えられる50cmピッチが効果的な改良ピッチであると考えられる。
- 4) ステップ改良により巨大な埋設管の下部を改良し、吊防護を行い、埋設管への影響なく安全に掘削工事を行うことができた。

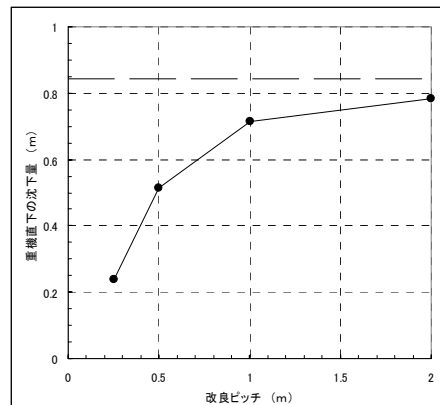


図-5 改良ピッチと沈下の関係