

懸濁型浸透固化処理工法の薬液浸透距離と改良強度の関係

八戸工業大学
八戸工業大学大学院
八戸工業大学大学院

正会員
学生会員
正会員

○橋詰 豊
小山 直輝
金子 賢治

1. はじめに

現有地盤の移動や攪拌の工程を必要とせず、現存している土の隙間に注入材を充填する薬液注入工法（薬液を用いた浸透固化処理工法）は、既設構造物下の地盤改良を可能とし、建設残土を生じない工法としても非常に有効な工法である。薬液注入工法は、その浸透性から、水ガラスを主剤とした溶液型と呼ばれる製品が多く施工されてきた。そのため、耐久性に対する信頼性が低く、仮設的な用途に偏った使い方をされてきた。近年では研究・開発が繰り返され耐久性も向上されてきているものの、要求を満たすものは多いとは言えない¹⁾。一方で地盤の耐震性を増加させるため、耐久性のある注入材に対するニーズが高まっている²⁾。これに伴い、耐久性に優れた高炉スラグを主成分とした微粒子懸濁型地盤改良材が開発され、地盤改良工事に用いられるようになった。しかし微粒子を持つことより浸透性があまり良くないとされ、狭い範囲での使用に限られていた。これらの背景より、近年浸透性に優れた超微粒子懸濁型地盤改良材が開発された。本稿では、超微粒子懸濁型地盤改良材の浸透距離と改良強度、及び浸透性について考察する。

2. 実験概要

実験に用いた注入材は、平均粒径 4 μ m、85%粒径 (G_{85}) 7 μ m の高炉スラグ微粉末を主成分とする懸濁型改良材である。表-1に基本的物性を、表-2に粘度の比較表を示す。非流動化時間が溶液型に比べて格段に長い事もあり現場でのハンドリングは良好で、加えて低粘度であるため、浸透距離を大幅に長くできる可能性がある。地盤材料には各物性値がわかっており、同品質のものが繰り返し入手しやすい硅砂5号を用いた。表-3に物性値を、図-1に粒径加積曲線を示す。また、表-4に相対密度 50%、及び 60%時の密度、間隙率、間隙量を示す。

実験は、供試体作成高さ、薬液注入量を変えながら供試体作成を行い空隙率、弾性波速度の測定後、一軸圧縮試験を行い、一軸圧縮強度を求めた。実験のケースを表-5に示す。供試体の作成は内径 52mm、高さ 2.0m 及び 4.0m の透明の塩化ビニール管を用意し、その中に硅砂5号を落下法にて2m供試体は相対密度 50%、4m供試体は 60%で投入した。供試体は薬液の注入に先立ち、最下部より水を十分に注入し飽和状態にさせたのちに圧力 10~400kPa の範囲で適宜調整しながら薬液を圧入した。また、薬液注入量の最小量は供試体の薬液注入前の間隙量とした。2m供試体（相対密度 50%）での間隙率は 43.8%となり、体積より計算すると 1.86L となる。この間隙量を最小の注入量として定義し、注入開始後、供試体上部の排水口からの流出物が水から薬液に変わった時点（目視で確認）で薬液の圧入を終了し、圧力タンク及びホース内の

表-1 超微粒子懸濁型地盤改良材物性値

初期粘度	3~6 (mPa·s)
非流動化時間	1~3 (日)
サンドゲル強度	0.4~0.7 (MN/m ²)
平均粒径	4 (μ m)

表-2 物質の粘度表 (mPa·s)

物質名	粘度
水 (20℃)	1.0
超微粒子懸濁型地盤注入材	3~6
ニトロベンゼン (20℃)	2.0
灯油 (20℃)	10.0
サラダ油 (20℃)	65.0

表-3 硅砂5号物性値

土粒子の密度	2.603 (g/cm ³)
均等係数	2.13
曲率係数	1.21
平均粒径	0.53 (mm)
最小密度	1.348 (g/cm ³)
最大密度	1.598 (g/cm ³)
最適含水比	15.5 (%)
最大乾燥密度	1.662 (g/cm ³)
D ₁₅	0.34 (mm)

表-4 地盤材料設定相対密度と諸量

設定相対密度		密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)	間隙量 (L)
50%	50%	1.462	43.8	1.86
	60%	1.488	42.5	3.64

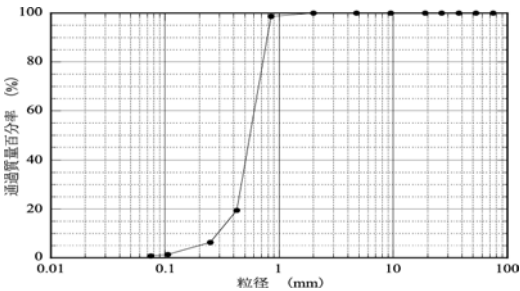


図-1 硅砂5号の粒径加積曲線

表-5 実験ケース

番号	圧入高さ	注入量	養生条件
2m-5L-cyc01	2m	5 L	20℃
2m-5L-cyc02			
2m-5L-01			
2m-5L-02			
2m-5L-03			
2m-min-01		最小量	
4m-5L-01	4m	5 L	7℃以上
4m-5L-02			
4m-5L-03			

キーワード 懸濁型薬液注入工法, 改良強度, 浸透距離

連絡先 〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1 八戸工業大学防災技術社会システム研究センター TEL0178-25-3111 (内 2657)

薬液残量から注入量を計算して管理した。養生は一部を除き20℃の恒温室内で7日養生とした。4m 供試体の内、恒温室内への移動が不利と考えられる供試体はその場で水道宅地内配水管用の凍結防止ヒーターを巻立て7℃以上に保った状態で7日間養生した。終了後は約10cmに切断、切断面を研磨調整後に塩化ビニール管の皮剥き(脱型)を行った。なお地盤材料に対する注入材のグラウトレリティー比 $GR(D_{15}/G_{85})$ は48.6であり、十分浸透改良が可能であると判断できる。

3. 実験結果

作成した供試体の密度と作成位置の関係について図-2に示す。相対密度50%供試体の下端部において密度が高くなっているが、これは間隙水や薬液の圧入時に注入圧力により地盤材料が圧縮、又は骨格構造が再構築されたためと考えられるが、その他については若干のばらつきはあるもののほぼ一様な密度分布だと言える。

図-3に供試体作成高さで一軸圧縮強さの関係を示す。多少のばらつきはあるものの、作成時の高さが高くなるにつれて一軸圧縮強さが下がっている。図-4に2種の注入量による一軸圧縮強さの分布を示す、同時に弾性波速度の分布も併記する。注入量が少ない場合、間隙量の約2.5倍である5Lを注入した場合に比べて、作成高さ130cm以下の注入口に近い側である供試体下部において改良効果が薄く、注入量の差がこの部分に大きく現れた。逆に薬液が浸透している範囲ではその量にかかわらず同様の強度発現が見込める事が言える。この現象は土の間隙や土粒子の大きさに比べて、薬液粒子径が非常に小さいため、本試験程度の間隙比や薬液注入量の条件では、改良材の目詰まりによる浸透性の低下はみられないと推察でき、ゲルタイム(非流動化時間)を長く調整する事によって浸透距離や改良範囲を長く設定する事が可能と言える。また、弾性波速度については注入量による大きな違いはみられない。高さ4mの供試体の4m5L01供試体は他の2本に比べて全体的に強度の発現が良く高さ320cmの供試体でも200kN/m²近くの一軸圧縮強さある。これらの中で4m5L03供試体の300cm位置が最小で約50kN/m²程度である。

液状化防止を目的としての浸透固化処理工法と考えると、その設計基準強度 q_{uck} は、液状化安全率 $F_L=1$ となる液状化強度比 $RI_{20.5\%}$ と改良土の一軸強さ q_u の関係から設定するとされている³⁾。繰返し三軸圧縮試験を行わない場合の設計基準強度の設定法として関係図が示され、その関係より $RI_{20.5\%}=0.3\sim0.6$ に対応する50~100kN/m²の値が設計基準強度として採用されている。本研究での実験結果では4mの長尺供試体でも最小値が50kN/m²以上のため、薬液注入による液状化対策工として十分な補強効果が得られると考えることができる。

4. おわりに

本研究では、超微粒子懸濁型地盤改良材の浸透性と改良強度、薬液注入量、効果等について検討を行った。圧入高さが増すほど相対的な強度は低くなるものの、3.0m くらいまでであれば、一軸圧縮強さのみの判断でも液状化対策効果が期待できることがわかった。さらに注入材料による土粒子間隙の置き換えによる液状化防止効果も期待でき、この効果の部分を定量的に把握する事ができればさらに効率的な設計をする事ができる。また、既発表研究⁴⁾によると多少の扁平はするものの球状の固結体を形成するとされており、本研究結果か

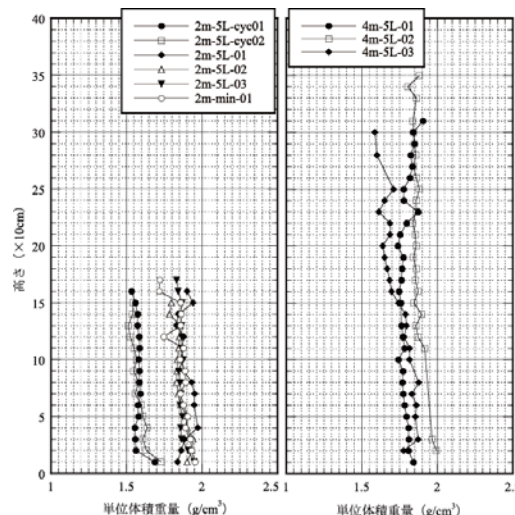


図-2 供試体作成高さとの関係

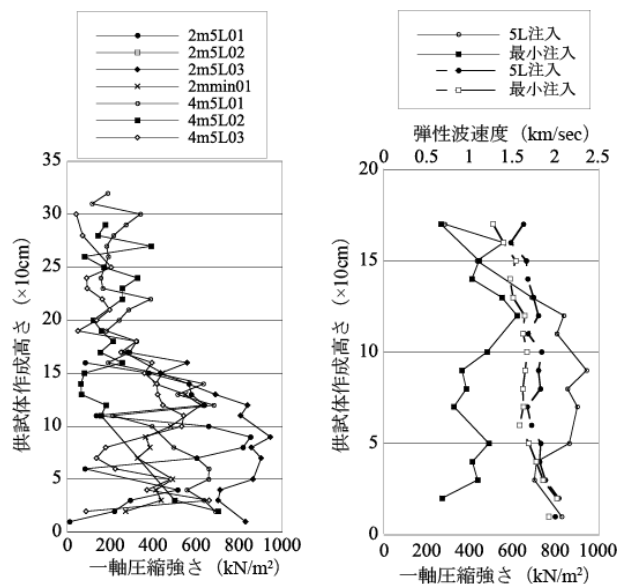


図-3 供試体作成高さとの関係
図-4 供試体作成高さとの関係

ら、直径6.0mで体積113.04m³の改良体が形成されることとなる。仮に施工上のオーバーラップ部を1m確保した場合でも縦横、深さ方向に5m置き施工が可能になり、施工手間の省力化および経済性の向上が期待できる。今後の課題として、薬液の強度(サンドゲル強度)、注入量及び使用地盤材の粒径等の違いによる影響を検討する必要がある。またさらに高さのある供試体についての検討や、本実験で行った様な一次元的な実験だけでなく、試験水槽や現場試験で行うような三次元的な実験検証も検証する必要がある。

参考文献

- 1) 小池裕之ほか：超微粒子懸濁型地盤改良材の注入試験，土木学会第59回年次学術講演会，pp.1085{1086，2004.9.
- 2) 山田岳峰：地盤改良-液状化対策としての固化系地盤改良工法-，土と基礎，Vol.51，No.2，pp.27-29，2003.
- 3) 財団法人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，pp50，2009.6
- 4) 櫻井康一ほか：懸濁型地盤注入材の砂地盤への浸透の可能性，平成25年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，2014.3