

大断面開削トンネル埋戻し土のセメント改良による液状化対策

東日本高速道路（株） 大貫 利文
 東日本高速道路（株） 佐藤 直也
 （株）大林組 正会員 檜垣 久則
 （株）大林組 正会員 ○前田 知就

1. はじめに

近年、地震時に埋戻し部の液状化による地盤沈下や管路施設の浮き上がりといった被害が生じており、埋戻し地盤の液状化対策が求められている。開削工法で構築した地下構造物の埋戻しに、現場で発生した砂質土を用いる場合、現場発生土の粒度特性によっては、地震時に埋戻し地盤の液状化発生が懸念される。本工事では、現場発生土の液状化強度を振動三軸試験により調べた結果、液状化対策が必要であることが判明した。そのため、埋戻し土の液状化対策として、現場発生土のセメント改良を選定したが、必要なセメント添加量を設定するため、添加量を変えて振動三軸試験を実施した。以下に、その試験結果及び大断面開削トンネルの頂部埋戻しに試験施工を行った施工実績について報告する。

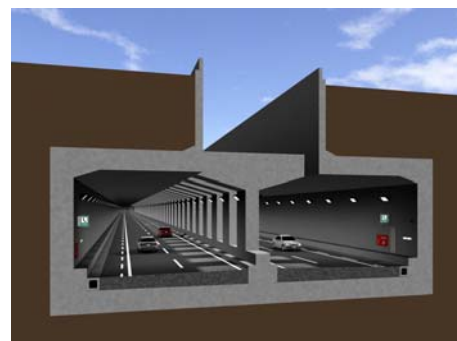


図-1 構造物イメージ図

2. 現場発生土の液状化強度

(1) 試料および試験方法

現場発生土（無対策）で埋戻した場合の液状化強度を調べるために、現場発生土で作成した供試体を用いて「土の繰返し非排水三軸試験方法」（JGS0541）により振動三軸試験を実施した。試料の基本物性として、表-1には、現場発生土の粒度を、図-2には、締固め試験 A-c 法で求めた締固め特性を示す。締固め試験により求められた最適含水比になるように調整した試料を用いて、締固め度を 90%～95%に変えて供試体を作成した。なお、地震応答解析結果により、地震時に埋戻し部に発生するせん断応力比 L は 0.411 であったため、液状化強度比 $R < 0.411$ なら、液状化が生じる恐れがあると判定した。

表-1 現場発生土の粒度

細粒分含有率 Fc (%)	粘土分含有率 Pc (%)	最大粒径 (mm)	平均粒径 D ₅₀ (mm)	10%粒径 D ₁₀ (mm)
28.0	5.0	2.0	0.165	0.015

(2) 試験結果

締固め度と液状化強度比 R の関係を図-3 に示す。液状化強度比 R は、繰返し回数 $N_c=20$ 回で両振幅ひずみ $DA=5\%$ に達する時の応力振幅比として求めた。締固め度 95%以上の締固め状態であっても液状化強度比は平均 $R=0.404$ であり、実施工の施工管理基準値 90%では $R=0.298$ と $R=0.411$ より低いことから、液状化を生じる可能性のある埋戻し材であると判定された。液状化対策としては、現場発生土の有効利用から、埋戻し土のセメント改良とした。次項にセメント改良土での液状化強度試験について示す。

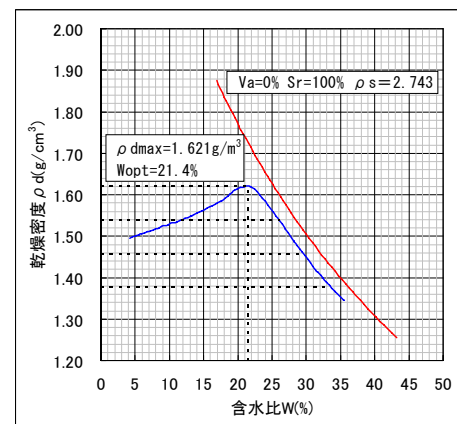


図-2 現場発生土の締固め特性

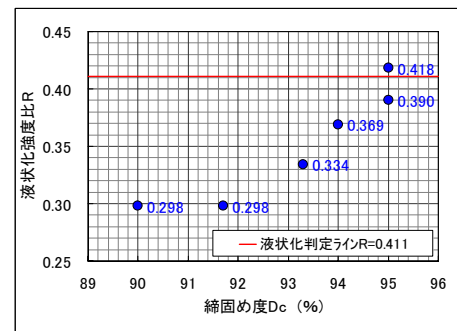


図-3 締固め度と液状化強度比の関係

3. セメント改良土の液状化強度

(1) 試験方法

現場発生土にセメント混合した場合の液状化強度を調べるために、室内でセメント添加量を変えて ($20\text{kg/m}^3, 30\text{kg/m}^3, 40\text{kg/m}^3, 50\text{kg/m}^3$)、振動

キーワード 埋戻し土、セメント改良、液状化強度、振動三軸試験、一軸圧縮強度

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組東京本社 TEL 03-5769-1317

三軸試験を実施した。供試体は、「安定処理土の静的締固めによる供試体作成方法」(JGS0812)に準拠し、含水比調整を行った現場発生土にセメント(高炉B種)を混合し、締固め度は90%で作成した。養生は、気中にて28日間とした。なお、既往の文献¹⁾で一軸圧縮強度と液状化強度の関係が示されており、固化反応が進み振動三軸試験に供し難い供試体については、一軸圧縮試験を行い、振動三軸試験結果との相関をとることとした。

(2) 試験結果

室内でセメント混合した供試体による振動三軸試験結果を図-4に示す。添加量 20kg/m^3 で $R=0.416$ 、添加量 30kg/m^3 で $R=0.913$ となった。添加量 40kg/m^3 、 50kg/m^3 の供試体については、固化反応が進んでいたため、一軸圧縮試験のみ実施した。セメント添加量と一軸圧縮強度の関係を図-5に示す。添加量 20kg/m^3 で必要液状化強度比以上となるため、この時の平均一軸圧縮強度 53.4 kN/m^2 あれば液状化しないと判断できる。一方、既往の文献¹⁾では、(現場/室内)強さ比が $1/1.1\sim 1/2.2$ とかなりの幅がある。また、セメント添加量と現場における一軸圧縮強度の関係は、混合方法や投入法などの施工条件に大きく依存するため、試験施工を行い添加量の妥当性を検証することとした。なお、地盤改良におけるセメント最低添加量は、一般に 50kg/m^3 であるが、今回の改良の目的は、液状化防止であり、必要以上に埋戻し土の強度発現が起こらないようにするため、試験施工による添加量は、施工のバラツキを考慮し 30kg/m^3 とした。

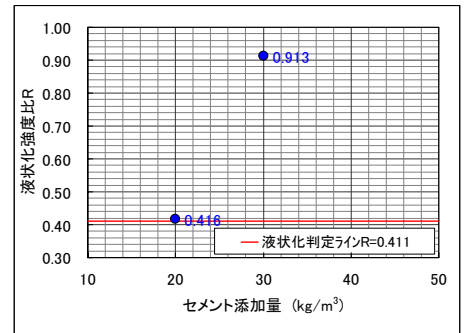


図-4 セメント添加量と液状化強度比の関係(室内)

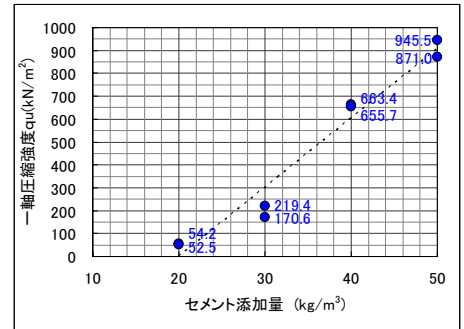


図-5 セメント添加量と一軸圧縮強度の関係(室内)



写真-1 移動式土質改良機によるセメント混合状況

(1) 施工方法

埋戻しに用いる現場発生土に所定量 (30kg/m^3) のセメントを添加し、移動式土質改良機(写真-1)を用いて、セメント混合土を作成した。混合土をモデル施工ヤードにて 30cm 厚に撒き出し、最適含水比となるように水分量を調整しながら、転圧機械 (10 t タイヤローラー) で締固め度 90%以上となるように埋戻しを行った。

(2) 試験施工結果

モデル施工ヤードにて採取した 28 日養生の供試体を用いて振動三軸試験を行った結果、液状化強度比 $R=0.494$ と室内試験結果よりは小さいものの、目標値 ($R=0.411$) 以上となり必要液状化強度比を満足することを確認した。

5. まとめ

大断面開削トンネルの埋戻し土の液状化強度について、現場発生土で締固め度 90%~95%とした供試体で振動三軸試験を実施した結果、95%であっても必要液状化強度比を下回っていた。このため、現場発生土のセメント改良による液状化対策を選定し、室内でセメントを混合した供試体 (28 日養生) にて振動三軸試験を実施した結果、室内でのセメント添加量 20kg/m^3 で必要液状化強度比以上となった。そこで、実施工でのバラツキを考慮して、セメント添加量を 30kg/m^3 として実現場にて試験施工を行い、施工ヤードから採取した供試体 (28 日養生) で振動三軸試験を実施した結果、必要な液状化強度比を満足した。これにより、一般のセメント最低添加量 50kg/m^3 より少ない添加量 30kg/m^3 という現場配合で必要な液状化強度が得られることが実現場にて確認できた。

今後の課題として、実施工におけるセメント改良土の長期養生による強度特性の経時的変化について把握するために、長期養生後の強度についても調べる必要があると考えている。

謝辞： 本検討に際し、東京大学生産技術研究所 古関教授にご助言を頂き、深くお礼申し上げます。

参考文献 1) (財)沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック (改訂版), 1997. 8