

石灰処理した掘削改良土の液状化強度特性

大阪ガスエンジニアリング 正 小川安雄 正 濱田耕一

オージーロード 大森和男 細谷耕一 小川一夫

日建設計中瀬土質研究所 正○大石幹太 正 大野雅幸 フェロー 角南進

1. はじめに

掘削土リサイクルプラントで製造した改良土（以下、SR 土）は、工事で発生した掘削土砂に石灰を混合して再利用を可能としたものである。これまでに SR 土には、路床・路盤材としての利用や山砂の代替として管路の埋戻しなどに用いられてきた実績がある。近年、地震時の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災が生じており、埋戻し地盤の液状化対策が必要不可欠となっている。そこで、SR 土の液状化強度特性を調べ、埋戻し材としての地震時の液状化抵抗性能の評価・検討を行った。

2. 検討方法

（1）検討方針：SR 土は、予め礫、砂質土、粘性土の土質種別に分別した掘削土をブレンドし、これに全体重量の 0.5% 程度の生石灰を混合して製造している。生石灰の添加量は一般的な石灰処理度と比べて少ないが、これは埋戻し後の再掘削が困難になるほどに固結することを避けるためである。上記のような製造方法により比較的品質（粒度）は安定しているが、掘削土は工事現場ごとにその土質が異なるため、ある程度粒度にばらつきが生じてしまうことは避けられない。そこで、SR 土の粒度範囲を考慮して液状化抵抗性能を検討した。

（2）試験条件：SR 土の液状化強度を求めるため、粒度及び密度をパラメータとして繰返し非排水三軸試験を行った。図 1 は、2002～2005 年度のプラントの品質管理データから得られた SR 土の粒度範囲である。本検討においては、粒度範囲の上限及び下限をパラメータとして設定した。上限・下限粒度の粒度調整試料は、ふるい分けした SR 土の各粒径試料を所定の重量比で配合することで作製した。なお、下限粒度については、粒径 19mm 以上の土粒子を図 1 に示すように 9.5～19mm 粒径に置換えた。供試体密度条件は、路床土の一般的な施工管理条件である締固め度 $D_c = 90\%$ を基本とし、上限粒度については 95% の条件でも試験を行った。図 2 は締固め試験 A 法で求めた、粒度調整試料の締固め特性である。上限及び下限粒度の最大乾燥密度・最適含水比は、それぞれ $1.900 \text{ g/cm}^3 \cdot 11.5\%$ 、 $1.986 \text{ g/cm}^3 \cdot 10.5\%$ である。

液状化試験の供試体寸法は、SR 土の粒径範囲が広く礫分も含まれることから、直径 10cm、高さ 20cm とした。供試体は、粒度調整試料を最適含水比程度に含水比調整した後、モールドを用いて 4 層の静的締固めにより作製した。供試体の飽和は二重負圧で行い、通水後 196 kPa の背圧を与えた。その後拘束圧 49 kPa で 2 時間等方圧密し、0.1Hz の正弦波で繰返し载荷した。なお、B 値は全ての供試体で 0.98 以上であった。表 1 に各ケースの試験条件を示す（ D_c 、 ρ_d は供試体平均値）。

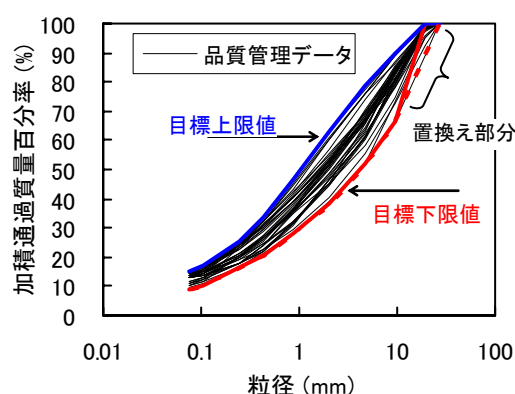


図 1 粒度条件の設定

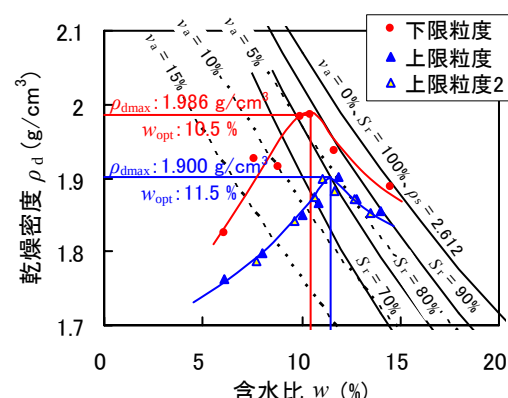


図 2 粒度調整試料の締固め特性

表 1 液状化試験の条件

粒度	D_{50} (mm)	F_c (%)	締固め度 D_c (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)
下限	4.0	10.7	90.2	1.791
上限	1.0	15.1	90.1	1.712
上限 2	1.0	15.9	94.7	1.799

キーワード 発生土、リサイクル土、石灰処理、液状化強度

連絡先 〒102-8117 東京都千代田区飯田橋 2-18-3 (株) 日建設計中瀬土質研究所 Tel:070-5450-5140

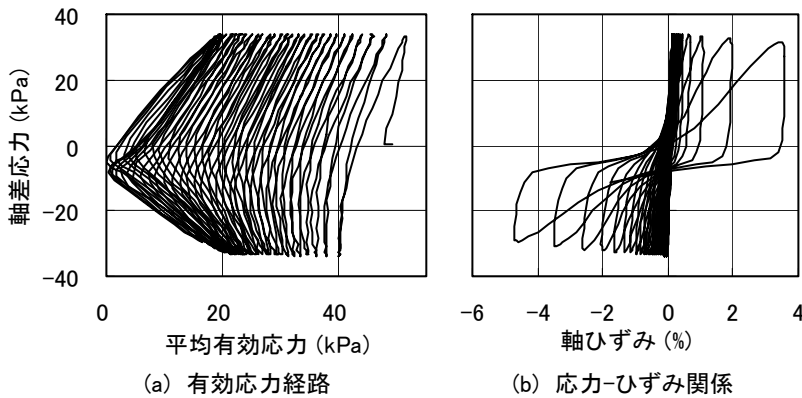
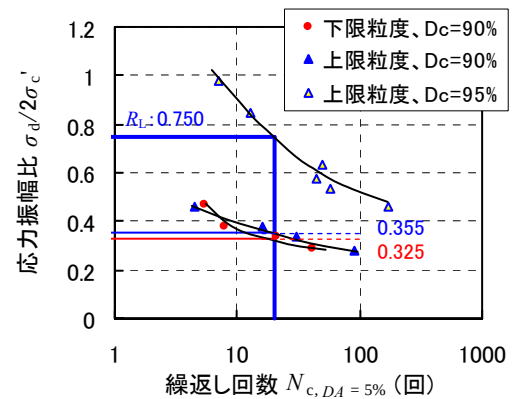
図3 液状化試験結果（上限粒度・ D_c :90%、応力比:0.335）

図4 液状化強度曲線

3. 試験結果

図3に液状化試験結果の例として、上限粒度・ $D_c = 90\%$ で応力比0.335のときの有効応力経路および応力-ひずみ関係を示す。繰返し载荷に対する変形は、徐々に伸張側が卓越していく様子が分かる。また、有効応力がほぼ0となりいわゆる液状化した後も急激なひずみの増加はなく、ある程度せん断剛性が保たれている。

図4は液状化強度曲線である。液状化強度は、繰返し回数 $N_c = 20$ 回で両振幅軸ひずみ $DA = 5\%$ に達する時の応力振幅比として求めた（以下、繰返し三軸強度比 R_L ）。下限粒度・ $D_c = 90\%$ と上限粒度・ $D_c = 90\%$ の繰返し三軸強度比は、それぞれ0.325と0.355と求められた。図3に示すように、同一締固め条件では、上限、下限粒度の液状化強度曲線には顕著な違いが見られず、液状化強度に与える粒度の影響は小さいと言える。一方、同一粒度条件で締固め度が異なる上限粒度・ $D_c = 90\%$ と上限粒度・ $D_c = 95\%$ を比較すると、繰返し三軸強度比が0.355から0.750と2倍以上増加しており、密度の影響が大きいことが分かる。

図5は、自治体で用いられている下水道管渠の埋戻し材（砂質土）の液状化強度¹⁾と比較したものである。SR土の液状化強度はこれらと比較して、締固め度90%の条件で1.5倍以上、締固め度95%では3倍程度の繰返し三軸強度比を示しており、一般的な埋戻し材よりも液状化抵抗性能が高いことが分かる。

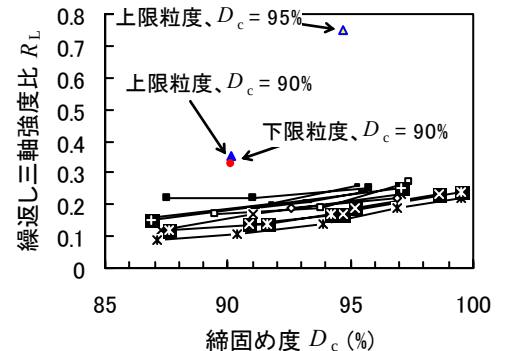


図5 一般埋戻し材との比較

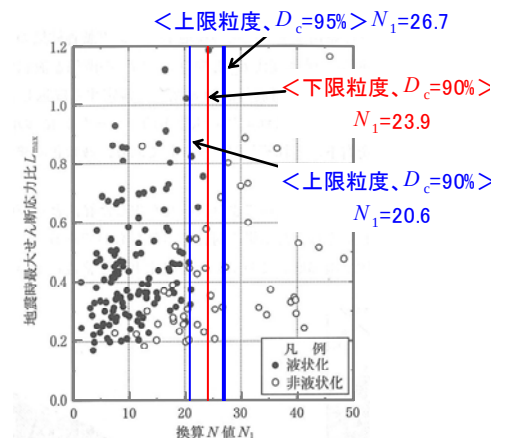


図6 換算N値による評価（文献2）に加筆）

図6は兵庫県南部地震を含む既往7地震における145の液状化地点、71の非液状化地点のボーリングデータの事例である²⁾。SR土の換算N値 N_1 は試験で求めた繰返し三軸強度比を基に、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編の液状化強度算定式による $R_L \sim N_1$ 関係から推定した。同図の事例では N_1 が25程度以上あれば大規模な地震動でも液状化していないことから、上限粒度・ $D_c = 95\%$ の条件では大規模地震でも液状化の可能性が低いと考えられる。 $D_c = 90\%$ の場合、 L_{max} が0.4程度以下、すなわちレベル1地震動程度であれば液状化の可能性が低いと考えられる。

4. まとめ

SR土の液状化強度特性について、以下の知見が得られた。

- ・SR土の液状化強度は、締固め度90%で0.33～0.36、95%では0.75と求められた。
- ・SR土は実際に用いられている埋戻し材と比べても高い液状化強度を有している。
- ・締固め度95%の条件であれば、地震動規模によらず埋戻し地盤の液状化の可能性はきわめて低いと考えられる。

参考文献: 1) 下水道管路埋戻し材料の繰返し強度特性に関する実験報告書、土木研究所資料第3701号、平成12年8月。2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、pp.358-359、2002。