

礫質土の耐液状化性能に関する実験的研究 —繰返し三軸強度比 R_L と締固め度 D_c の相関性について—

株式会社エース 正会員 ○前田 賢
株式会社エース 正会員 島田 茂
株式会社エース 福井 英人
立命館大学教授 フェロー 建山 和由

1. はじめに

東海・東南海・南海地震や首都圏直下型地震等予想される地震は、大きな加速度や長い継続時間が想定されている。このため、管路の地中埋設工事等において、狹隘で十分に埋戻し土を締め固めることができない場合には、液状化対策が求められる。

礫質土の液状化に関して既往の示方書や指針では、 $D_{50} \leq 10\text{mm}$ かつ $D_{10} \leq 1\text{mm}^1$ である場合には液状化を起こす可能性があり、液状化対策として締固め度 $D_c \geq 90\%$ 以上の確保²⁾等が示されている。しかし、下水道管渠埋戻しは人力で転圧する場合もあり、この場合、 $D_c \geq 90\%$ 以上の確保が難しいこともある。このため、埋戻し土として使用されている礫質土の液状化特性を解明して、耐液状化性能の向上を図ることが求められている。

本研究では、礫質土の繰返し三軸強度比 R_L と締固め度 D_c との関係、液状化を発生させない締固め度 D_c 等、礫質土の耐液状化性能について、実験結果に基づき考察を行なったので報告する。

2. 研究の概要

2.1 試験試料

本研究では礫径、粒子形状と粒度組成の違いによる耐液状化への影響を確かめるため、下記の試料-1～3の3種類を用いた。

試料-1 C-40 を目開き 9.5mm のふるいを通過した試料
試料-2 C-40 を目開き 19mm のふるいを通過した試料
試料-3 川砂

2.2 試験方法

試験方法は、各材料の液状化特性の違いを確認するため、以下の試験を実施した。

- (1) 土の繰返し非排水三軸試験(JGS 0541)
- (2) 土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験(JGS 0524)

3. 繰返し三軸強度比 R_L と締固め度 D_c

実験の結果、繰返し三軸強度比 R_L と締固め度 D_c との関係を図-1に示す。この図より、 R_L と D_c には、既往の研究³⁾で見られたのと同じく、強い相関性があることが確認された。 R_L と D_c との関係は、各試料毎に直線で近似することができ、以下に示すとおり、いずれの試料についても相関係数 98%以上が得られた。

試料-1 : $R_L = 0.0239D_c - 1.75$ (相関係数 : 0.9885)

試料-2 : $R_L = 0.0989D_c - 8.20$ (相関係数 : 0.9996)

試料-3 : $R_L = 0.0196D_c - 1.66$ (相関係数 : 0.9957)

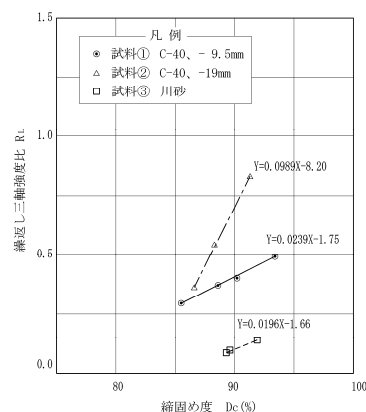


図-1 繰返し三軸強度比 R_L ～締固め度 D_c

4. 液状化をしない締固め度 D_c と材料選定

前節の結果を利用し、液状化をしない締固め度 D_c の算定と材料選定を行う。まず、設計条件を仮定し、次に道路橋示方書⁵⁾に準拠して算定を行う。

・レベル2地震動を想定する場合

(1) 液状化をしない繰返し三軸強度比 R_L の算定

i) 設計条件の設定

- ・場所：京都市内を想定
- ・設計深度：GL-3m
- ・地下水位：GL-1m
- ・地盤種別：3種地盤
- ・設計地震動：レベル2(タイプ2)
- ・埋戻し材料：試料-1、2、3
- ・湿潤単位体積重量 γ_t : 18 kN/m³
- ・ $I_p = 0\%$

キーワード：液状化, 礫質土, 繰返し三軸強度比, 締固め度

連絡先 〒540-0036 大阪市中央区船越町1丁目3番4号 株式会社エース TEL 06-6755-4558

ii) 算定結果

前項条件で、道路橋示方書 5¹⁾ に基づいて算定すると

- ・設計水平震度の標準値 $k_{hgl0}=0.60$
- ・地震時せん断応力比 $L=0.910$ となり
- ・動的せん断強度比 $R=c_w \cdot R_L=2.0 \times R_L$
- ・液状化に対する抵抗率 $F_L=R/L=1.0$ とすると
- ・繰返し三軸強度比 $R_L=0.455$

となり、 $R_L=0.455$ 以上あればレベル 2(タイプ 2)地震動で液状化しないと考えられる。3 節の式に $R_L=0.455$ を代入すると、 D_c の算定結果は以下のとおりとなる。

- ・試料-1 : $D_c=93$ %以上
- ・試料-2 : $D_c=88$ %以上
- ・試料-3 : $D_c=108$ %以上(実験値の範囲外になる)

以上の様に、想定する地震等により R_L が決まれば、液状化しない材料と D_c を求めることができる。ただし、指針に示されている $D_c \geq 90\%^2)$ 以上で施工をした時でも選定材料によっては試料-1、3 の様に液状化の恐れがあるので注意する必要がある。特に、試料-3 は、耐液状化の埋戻し材料としては望ましくないと考えられる。

5. 考察

5.1 試料-1 と 2 の違いについて (粒度特性)

試料-1 と試料-2 は、同じ C-40 を用いた試料であるが、3 節の図-1 から繰返し三軸強度比 R_L と締固め度 D_c との関係に大きな違いが生じている。そこで、粒子のつまり具合について間隙率 n に着目して図-2 に整理した。間隙率 n が小さくなると R_L は大きくなる傾向が確認される。しかし、試料-1 と試料-2 では、ほぼ同じ間隙率であっても R_L に大きな違いが生じている。このことから、粒子のつまり具合以外に、例えば、粒度特性の中で粗骨材 ($\phi 9.5\text{mm} \sim \phi 19\text{mm}$) が影響を与えていると考えられる。骨格となる骨材とマトリックスとなる砂や細骨材とのバランスが影響していると予想される。

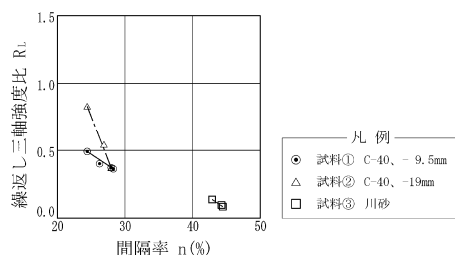


図-2 繰返し三軸強度比 R_L ～ 間隙率 n

5.2 試料-1 と 3 の違いについて (CD 三軸試験結果)

図-3 に締固め度 D_c を変化させた時の内部摩擦角 ϕ_d の関係を示した。材料が同じであれば ϕ_d は、 D_c の大きさにほとんど影響されずほぼ一定の値をとる。試料-3 は、川砂の洗い砂であるので、粒子が丸くしかも分級された粒度分布をしている。一方、試料-1 は、碎石であるので、粒子が角ばっている。このことから、粒子が丸く分級された粒度分布の材料は、内部摩擦角が小さくなり、繰返し三軸強度比 R_L が低くなる要因の一つと考えられる。

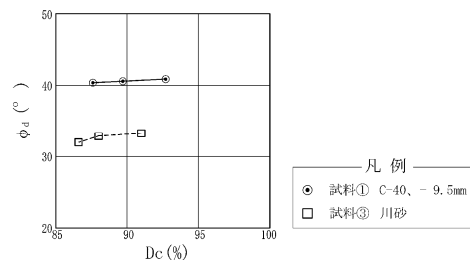


図-3 内部摩擦角 ϕ_d ～ 締固め度 D_c

6. おわりに

本研究は、礫質土の繰返し三軸強度比 R_L と締固め度 D_c の間には強い相関性があることを確認し、礫質土の耐液状化性能の向上に有用なことを報告した。

本研究で確認されたことは、下記のとおりである。

- (1) 礫質土の繰返し三軸強度比 R_L と締固め度 D_c の間には強い相関性がある。
- (2) 想定地震等により R_L が決まれば、液状化をしない材料と D_c を定量化でき、液状化を起こさない施工が可能となる。
- (3) 液状化は粒子のつまり具合以外に、骨格となる骨材とマトリックスとなる砂や細骨材とのバランスが影響するものと予想される。
- (4) 粒子が丸く分級された粒度分布の材料は内部摩擦角が小さくなり、 R_L が低くなる要因の一つと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書 (5耐震設計編)・同解説, pp. 134～137, 2012.
- 2) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 —2014年版—, 2014.
- 3) 島田 茂・今堀嘉一・建山和由：リブ付塩ビ管防護材の液状化防止を目的とした締固め度 (D_c 値) の定量化に関する研究, 第44回下水道研究発表会, pp181～183, 2007.