

種々の砂の低拘束圧下における液状化変形特性の違い

東京電機大学理工学部 フェロー会員 安田 進

東京電機大学理工学部 学生会員 齋藤 盛文

東京電機大学理工学部 非会員 鈴木 聡司

東京電機大学理工学部大学院 学生会員 深谷 成司

1. はじめに

液状化に伴う構造物の挙動や変形量を調べる目的で、模型振動台実験が行われている。この結果の評価を行う際、その土の様々な特性を把握しておく必要があり、繰返しねじりせん断試験が数多く行われてきている。しかし、振動台実験では模型の高さが1~6メートル程度と制限されるため、実地盤と比較した場合、拘束圧が小さくなってしまいうという問題がある。土の力学的性質は拘束圧に依存するため砂の低拘束圧領域での物性把握が必要である。そのため、低拘束圧下での繰返しねじりせん断試験が用いられるが、これまでにそれほど行われていない。

筆者らは、低い拘束圧下でも精度良く試験できる繰返しねじりせん断試験機を用い、いくつかの土について液状化及び液状化後の変形特性を求めてきているが、今回アルバニー・砂でも実験を行い過去に行われた結果と比較検討を行った。

2. 実験方法

試料にはアルバニー・砂を用いたが、過去に行った豊浦砂、十勝砂と合わせて、比較検討を行った。これらの砂の粒径加積曲線を図1に示す。拘束圧は9.8kPaの等方応力とした。相対密度は豊浦砂で80%・60%・50%、十勝砂では85%・70%、アルバニー・砂では70%・63%で行った。実験装置には中空ねじりせん断装置を用い、供試体作成方法は豊浦砂、アルバニー・砂の場合、空中落下法によってロートから落下する方法を用いたが、その際、一方向に回転させて詰めていくと繰返し載荷時に一方向にずれていき易くなるため、反転する箇所をランダムに変化させた。

十勝砂では、さらにその後、打撃法により外モールドの周囲を均一に打撃し、所定の相対密度になるようにした。次に供試体を9.8kPaの負圧にて自立させ、その後2時間以上二酸化炭素を通した後12時間かけて通水した。B値が0.96以上であることを確認した上で、軸方向変位を固定し、非排水状態で繰返しねじりせん断を行った。繰返し載荷はひずみ速度を0.716%/minとし回転角制御とした。繰返し20回終了後、非排水状態を保ったまま、ひずみ速度が7.16%/minの速度で静的単調載荷を行った。

3. 実験結果

3.1 種々の砂における液状化変形特性についての比較

各砂において、せん断ひずみが両振幅7.5%発生した時の繰返し回数

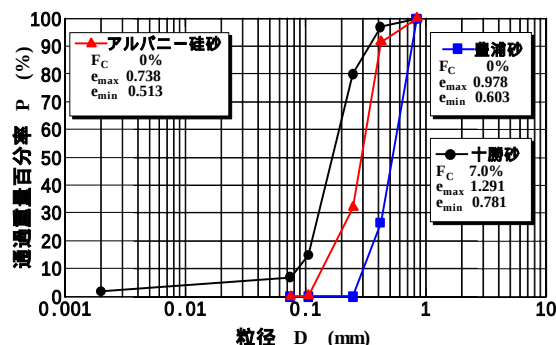


図1 各砂の粒径加積曲線

表1 各砂の液状化強度比

豊浦砂(Fc=0%)		アルバニー・砂(Fc=0%)		十勝砂(Fc=7%)	
Dr(%)	RL	Dr(%)	RL	Dr(%)	RL
50	0.125	63	0.238	70	0.208
60	0.13	70	0.256	85	0.323
80	0.283				

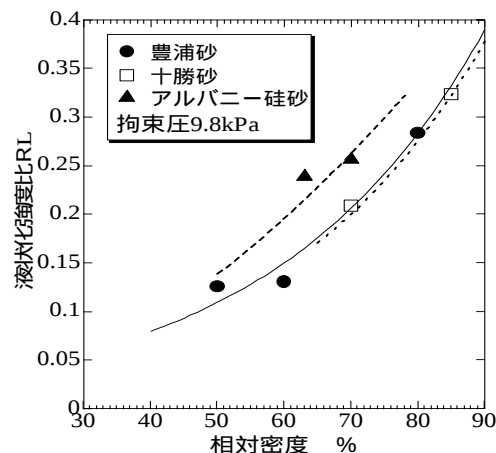


図2 相対密度 - 液状化強度比関係

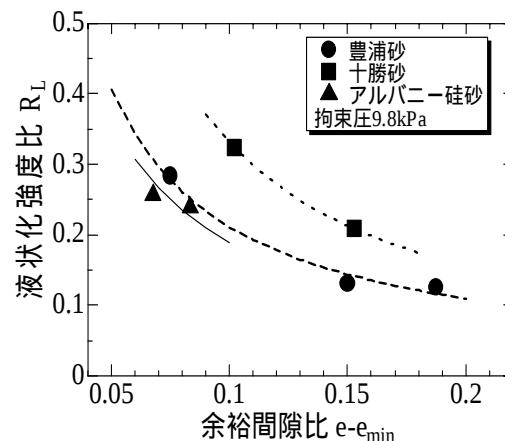


図3 各砂の $e-e_{min}$ - R_L 関係

とせん断応力比をプロットし、液状化強度曲線とした。この液状化強度曲線より繰返し回数が20回時のせん断応力比を読み取り液状化強度比 R_L とした。その結果を表1に示す。すべての砂において、相対密度が小さいものは液状化強度比 R_L も小さく、逆に相対密度が増加すると、液状化強度比 R_L も増加する傾向がみられた。この関係をまとめたものを図2に示す。各砂とも D_r が大きくなると R_L も大きくなったが、同じ相対密度の場合アルバニー-硅砂は豊浦砂や十勝砂より R_L が少し大きくなった。

次に、各砂の余裕間隙比 $e - e_{min}$ と液状化強度比 R_L の関係を図3に示す。 $e - e_{min}$ が小さくなると R_L は増加し、同じ余裕間隙比の場合ではアルバニー-硅砂と豊浦砂は同じような関係となった。

3.2 静的単調載荷時のせん断ひずみ・せん断応力・間隙水圧の関係

アルバニー-硅砂の繰返し載荷後の静的単調載荷のひずみ・応力・過剰間隙水圧の関係を図4に示す。 $F_L < 1$ のものは下に凸となり F_L が小さくなるほど微小抵抗領域 γ_L は大きくなった。

3.3 液状化後のせん断剛性と余裕間隙の関係

静的単調載荷時の $\tau - \gamma$ 関係をバイリニアで近似させ交点を抵抗変曲点とし、抵抗変曲点までの割線勾配をせん断剛性 G_1 とし、 F_L と G_1 との関係をプロットし、 $F_L=1$ 時の G_1 を図から読み取ったものを表2に示す。この G_1 と余裕間隙比 $e - e_{min}$ との関係を図5に示す。この関係にすると全ての砂に共通した曲線で余裕間隙比 $e - e_{min}$ が小さくなるとせん断剛性 G_1 は増加した。

3.4 通常拘束圧との比較

これまでに行われた通常拘束圧での繰返しねじりせん断試験の結果と比較するために、液状化強度比と $F_L=1$ 時のせん断剛性比の関係をプロットしたものを図6に示す。ここでは低拘束圧と通常拘束圧では同じ傾向がみられた。

4. まとめ

低拘束圧下における液状化変形特性について三種類の試料での比較を行った結果、以下の事がわかった。

- (1) 相対密度が増加すると液状化強度比 R_L も増加し、また余裕間隙比 $e - e_{min}$ が小さくなると液状化強度比 R_L は大きくなった。
- (2) 余裕間隙比 $e - e_{min}$ とせん断剛性 G_1 の関係は三種類の砂で同じ傾向を示した。
- (3) 液状化後のせん断剛性は、せん断剛性比と液状化強度比と F_L の関係で表すと、通常の拘束圧と同じ傾向となった。

なお、本研究は文部科学省が推進している大都市大地震軽減特別プロジェクトの一環として行ったものである。関係各位に感謝するしだいである。

【参考文献】(1) 安田進・稲垣大浩・長尾和之・山田真一・石川敬祐：液状化を含む軟化時における種々の土の変形特性、第40回地盤工学研究発表会、No.263,2005。

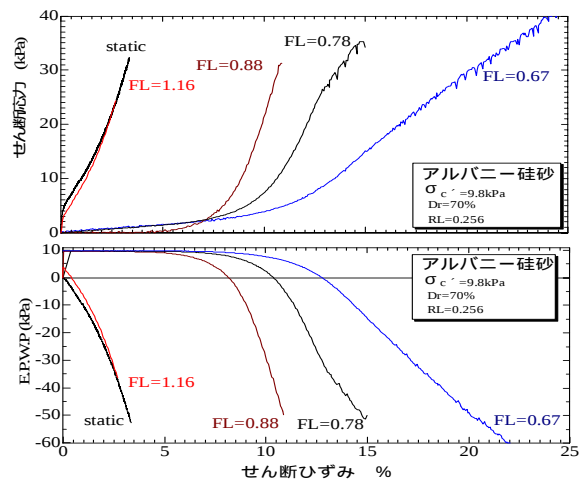


図4 液状化後のせん断応力及び間隙水圧とせん断ひずみ関係

表2 $F_L=1$ 時の各砂の G_1

豊浦砂		十勝砂		アルバニー-硅砂	
D_r (%)	G_1 (kPa)	D_r (%)	G_1 (kPa)	D_r (%)	G_1 (kPa)
60	19	70	10.1	63	100
80	90	85	17	70	110
50					

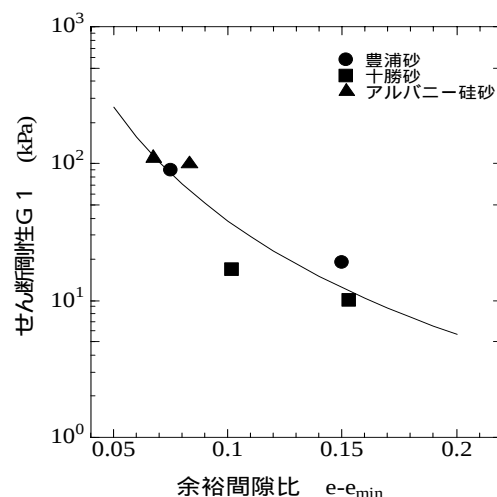
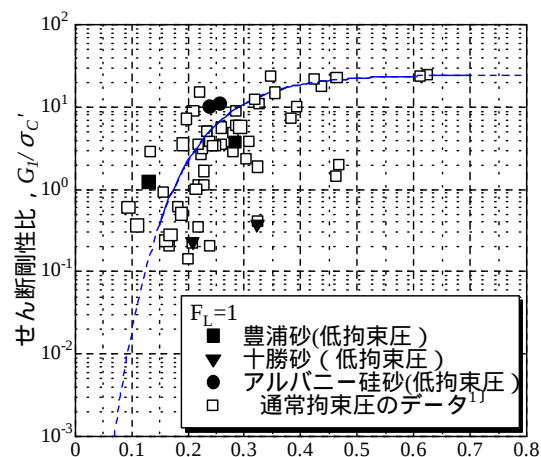


図5 $F_L=1$ 時の各砂の $e - e_{min} - G_1$ 関係



液状化強度比、 R_L ($\gamma_{DA}=7.5\%$, $N_L=20$)
図6 液状化強度比 - せん断剛性比関係