

液状化を考慮した拘束条件における砂質土の応力-ダイレイタンスー関係

新潟大学工学部 正会員 保坂 吉則
 北海道大学大学院 三浦 高義

1. はじめに

砂質土のダイレイタンスー特性は、液状化時の有効応力挙動と密接に関係している。一方、液状化における大変形は有効応力が非常に小さくなった時に生じてくる。したがって、液状化における有効応力挙動と変形挙動を予測するためには低拘束圧下における応力-ダイレイタンスー挙動を把握する必要があると考えられる。

本研究では、初期拘束圧から除荷を行った砂供試体における三軸排水せん断試験を実施し、その応力-ダイレイタンスー特性に及ぼす拘束圧の影響を検討すると共に、ダイレイタンスー挙動が大きく異なるきれいな砂と細粒分を含む砂とを比較することによって液状化挙動との関係について考察した。

2. 実験方法

三軸排水せん断試験に用いた試料は豊浦標準砂、およびこれと新潟県加茂産の粘土を一定の割合で混合した試料(試料 TK30 と呼ぶ)の2種類で、それぞれの物理特性を表1に示す。細粒分を多く含む試料 TK30 は豊浦砂に比べて圧縮性が高い。

表1 試料の物理特性

試料	豊浦砂	試料 TK30
土粒子密度	2.643 g/cm ³	2.633 g/cm ³
細粒分含有率	0.9%	25.2%
粘土分含有率	0.0%	13.6%
均等係数	1.5	79
10%粒径	0.12 mm	2 μ m
圧縮指数 C_c	0.127	0.0386
膨張指数 C_s	0.0139	0.0123

両試料について、まず供試体(直径 50mm, 高さ 100mm)を空中落下法により所定の密度で作製し、飽和後、98kPa の等方な有効拘束圧で正規圧密を行なった。続いて、液状化時の有効応力の低下を想定し、49 kPa ならびに 20 kPa まで除荷した後排水せん断試験を行なった。ここで、液状化時には定体積で間隙比が変化しないことを考慮し、除荷後の間隙比が初期圧密時(98kPa) とほぼ等しくなるように図1の模式図にしたがって余圧密を与えてから除荷を行なった。ここで圧密特性は各試料毎の C_c , C_s (表1) に従うものと仮定して余圧密応力を計算で求めた。ただし、試験での実際の間隙比は供試体によって多少ばらつきがあった。三軸排水せん断試験は、側圧一定の圧縮および伸張の単調載荷を実施し、0.1%/min のひずみ速度制御とした。

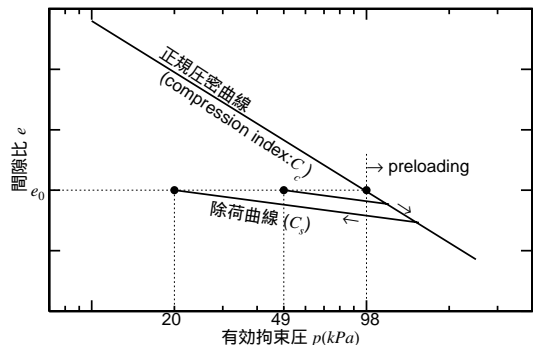


図1 液状化を考慮した拘束圧除荷の模式図

3. 排水せん断試験結果

豊浦砂および試料 TK30 の三軸排水圧縮試験の結果を図2および図3に示す。異なる拘束圧の実験を比較するため、応力軸はせん断応力比 q/p' とした。体積ひずみの拘束圧の影響を見ると既報¹⁾と同様に低拘束圧になるほど体積収縮、すなわち負のダイレイタンスーが小さくなる傾向が見られたが、大ひずみ領域にはいつて砂と細粒分を含む土との違いが生じた。砂では軸ひずみが2~3%以降で体積膨張に転ずるのに対して、細粒分を含む土では10%前後の大ひずみ領域に至っても一方的に体積収縮の傾向にあった。

応力比-ひずみ関係では細粒分を含む砂において拘束圧の影響が顕著に現れている。拘束圧が低い供試体ほど相対的に降伏点が高くなっており、弾塑性の境界が明確に現れている。一方豊浦砂では詳細に見ると TK30 と同様な傾向が見られるが、その影響はあまり大きくない。

4. 応力-ダイレイタンスー関係

実験結果から応力-ダイレイタンスー関係を求めて比較を行った。

キーワード: 液状化, ダイレイタンスー, 拘束圧, 三軸試験, 細粒分

連絡先 (〒 950-2181 新潟市 五十嵐2 の町 8050 番地 ・ TEL 025-262-7032 ・ FAX 025-262-7021)

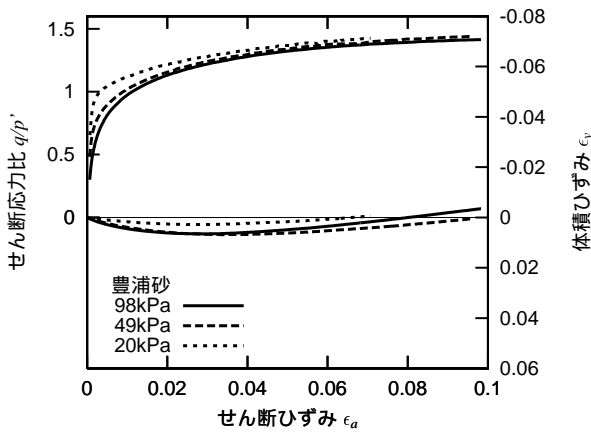


図2 豊浦砂の排水圧縮せん断試験結果

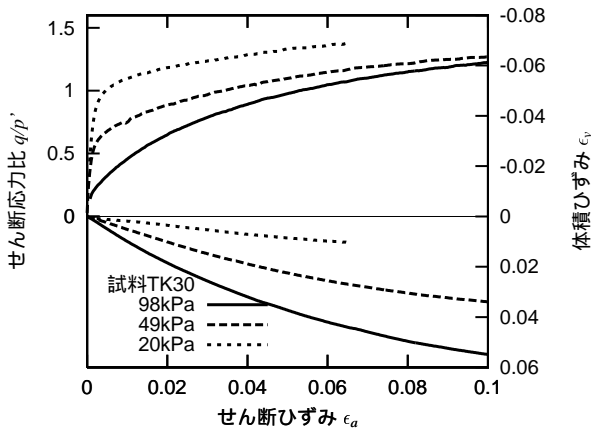


図3 試料 TK30 の排水圧縮せん断試験結果

この関係は一般的に応力比とひずみ増分比で示され、その量の間に関係があることが知られている。ここでは応力比を q/p' とし、体積ひずみ増分 $d\varepsilon_v$ とせん断ひずみ増分 $d\gamma$ の比を横軸にとって検討した。

図4に豊浦砂、図5に試料 TK30 の応力-ダイレイタンスー関係を、伸張試験の結果も併せて示す。豊浦砂では拘束圧に依らずほぼ線形な関係であることがわかる。伸張試験では拘束圧毎に若干のずれが見られた。

細粒分を含む試料 TK30 では拘束圧毎にその関係が大きく異なった。正規圧密な 98kPa 条件では豊浦砂と同様にほぼ直線関係であるが、拘束圧が小さくなるほど直線上に乗ってくる区間が応力比の高い部分だけであり、応力比が低い部分ではひずみ増分比がほぼ一定値をとる傾向となった。また、拘束圧が低い条件ほどひずみ増分比はゼロに近い。このことは、載荷の初期における体積ひずみ増分が小さいことを示している。

低拘束圧条件の応力-ダイレイタンスー関係が線形な区間と一致する点に着目してみる。このときの応力比を図3で参照すると、おおむね試料が弾性的な挙動から塑性的な挙動に移る、いわゆる降伏点に近いことがわかる。このような応力-ダイレイタンスー関係

係から液状化時の有効応力パスを考えてみる。初期圧密応力付近ではひずみ増分比が大きいため体積ひずみ増分が大きく、有効応力の低下が著しいが、有効応力が低下するとひずみ増分比がゼロ付近に移動するため有効応力の変動が小さくなる、あるいは回復するという挙動が予測される。このことは実際の液状化試験のパスとうまく対応するものと考えられる。

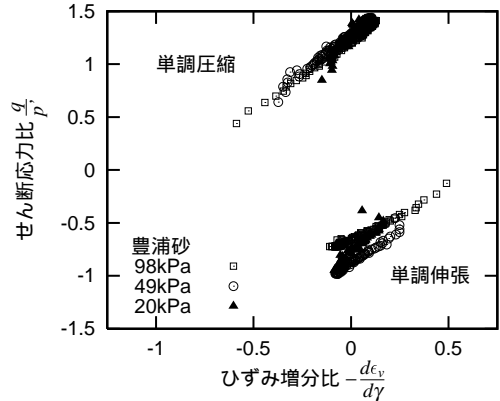


図4 豊浦砂の応力-ダイレイタンスー関係

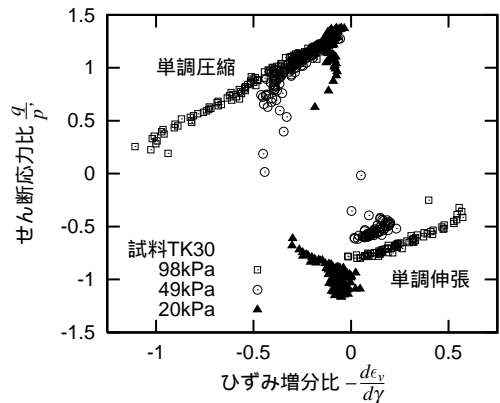


図5 試料 TK30 の応力-ダイレイタンスー関係

5. まとめ

液状化を考慮して、初期圧密後に除荷を行った試料の三軸排水せん断試験を実施し、応力-ひずみ関係ならびにダイレイタンスー特性について検討を行った。その結果、細粒分を含む砂では拘束圧低下に伴って降伏点応力比が高くなるとともに体積収縮量が小さくなることがわかった。また、その応力-ダイレイタンスー関係は、降伏点応力比以下では線形とならず、拘束圧が小さいほどひずみ増分比がゼロに近い値となった。豊浦砂では、細粒分を含む砂と同様な拘束圧低下の影響が見られるが、その差異は非常に小さかった。

<参考文献>

1) 保坂, 高瀬: 「拘束圧低下時の砂質土のダイレイタンスー特性と液状化時の有効応力挙動の関係」第35回地盤工学研究発表会講演集, Vol.1, pp.755-756, (2000)