

液状化を想定した応力 - ひずみ関係における拘束圧低下の影響

新潟大学大学院 学生会員 呉 昌紀
新潟大学工学部 正会員 保坂 吉則

はじめに

液状化の有効応力解析において精度の良い変形予測を行うためには、応力～ひずみ関係の適用方法がひとつのポイントになる。一方、液状化が等体積条件下で徐々に有効応力が低下していく現象であることを考えると、この2つの条件が繰返しせん断時の応力～ひずみ関係に及ぼす影響を把握する事が重要となる。そこで、本研究では液状化過程を想定し、初期圧密後の間隙比と等しくなるように拘束圧を低下させた条件下での繰返し排水三軸試験によって応力比～ひずみ関係を求めて検討した。また、試験より得られた結果と液状化挙動との比較を行った。

試験方法

試験に用いる試料は豊浦標準砂、及び標準砂と加茂産の粘土とを 7:3 の割合で混合したものである。以後、標準砂を試料 S、粘土分を含むものを試料 TK30 とする。その物理特性は表—1 に示す。供試体は直径 50mm、高さ 100mm であり、空中落下法により作製し、背圧をかけて飽和させた後 98kPa で等方圧密を行ったものを液状化初期条件とし、これと、49 及び 20kPa まで除荷した条件の3通りの拘束圧でそれぞれ排水せん断試験を行った。このとき拘束圧 98kPa の間隙比と等しくするために圧縮・膨張特性を用いて図 - 1 のように圧密・除荷を行った。繰返し排水三軸試験は側圧一定、ひずみ速度 0.1(%/min)で軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$ の1サイクルを図 - 2 の様に手動制御で行った。圧縮側より試験を開始する場合を case1、伸張側より試験を開始する場合を case2 とする。試料 S では case1 のみ、試料 TK30 では case1、2 を実施した。各試験の初期間隙比を表—2 に示す。

試験結果及び考察

拘束圧の影響を評価するためにせん断応力比～せん断ひずみ関係について検討を行った。せん断応力比は次式により求めている。

$$\sigma_d / 2 \sigma'_m = \sigma_d / 2 (\sigma'_c + \sigma_d / 3)$$

σ_d : 軸差応力、 σ'_m : 平均有効主応力、 σ'_c : 拘束圧

図—3 に試料 S における case1 の結果を示す。図より試料 S において、初期圧縮過程では拘束圧 98、49kPa の履歴曲線はほぼ同様の傾向を示した。拘束圧 20kPa は若干の違いを示し、初期の圧縮過程においては塑性変形の発生する応力レベルが他の拘束圧の場合より高い値を示し、履歴ループが大きいことがわかる。伸張過程でも拘束圧 20kPa は 98、49kPa より若干高い応力比である。終期の圧縮過程では拘束圧に依らず同様の傾向を示している。

表—1 物理特性

試料	S	TK30
土粒子密度 ρ_s	2.643	2.633
圧縮指数 C_c	0.0386	0.1271
膨張指数 C_s	0.0123	0.0139

表—2 各試験初期間隙比

	S	TK30	
拘束圧	case1	case1	case2
98kPa	0.789	0.757	0.748
49kPa	0.826	0.725	0.755
20kPa	0.835	0.774	0.756

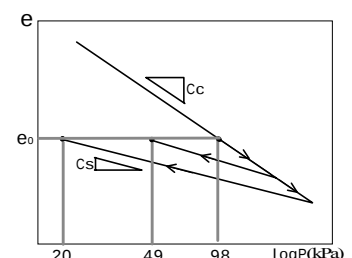


図 - 1 供試体圧密・除荷模式図

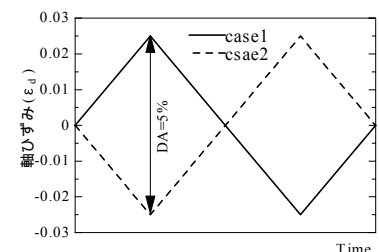


図 - 2 排水せん断載荷模式図

キーワード：液状化、応力 - ひずみ関係、拘束圧、細粒分、三軸試験

連絡〒950-2181 新潟市五十嵐二の町 8050 番地 新潟大学工学部建設学科 TEL025-262-7032、FAX025-262-7021

図 - 4 に細粒分を含んだ TK30 の case1 の結果を示す。図から TK30 においては、初期圧縮過程で拘束圧低下に伴った段階的な変化が履歴曲線にみられ、拘束圧低下に伴って高い応力比で塑性変形が発生するようになり、この傾向は試料 S より顕著であった。伸張過程では圧縮過程ほど顕著な変化はみられないが同様の傾向を示している。伸張ピーク後は拘束圧に依らずほぼ同一傾向の履歴カーブを示した。試料 S では若干の、TK30 では顕著な拘束圧低下による応力比～ひずみ関係変化がみられたが、これは細粒分を含んだことによる圧縮特性の変化の影響であると考えられる。応力～ひずみ関係が拘束圧に依存していないとすれば、拘束圧に依らず履歴曲線は同一のループを描くはずであるが、拘束圧低下による応力比～ひずみ関係に明確な影響がみられたことから、これは拘束圧変化によりダイレイタンス特性が変化しひずみ硬化(軟化)現象に影響し弾性限界値が変化したためであると考えられる。

次に、TK30 の 98kPa 正規圧密供試体の液状化試験を実施した結果との比較を行う。これをみると液状化の進行にしたがってせん断ひずみ両振幅 1%未満程度から 4～6%程度の大きなせん断ひずみが伸張側から発生しているのでこの 1 サイクルを取り出し、TK30 の case2 の結果と併せて図 - 5 (a) に示す。また、同図記載範囲の液状化試験結果での有効応力経路を図 - 5 (b) に示す。図 - 4 と同様に、最初の载荷方向では拘束圧低下により応力比～ひずみ関係にも顕著な変化がみられるが、その後逆方向へ荷重が移り、繰返し状態になると拘束圧の影響はそれほどみられなくなっていくのがわかる。これは繰返し履歴の効果が拘束圧変化の影響よりも大きいためであると考えられる。図 - 5 (a)、(b) をみると液状化試験結果はそれまで生じたひずみ履歴の影響があるため排水試験結果と初期から対応させることは出来ないが、伸張側ピーク付近における液状化時の平均有効応力はおおよそ 30kPa であり、その履歴曲線が排水試験の拘束圧 49、20kPa との中間ほどに位置している事と、圧縮側ピーク付近でも、平均有効応力が 25kPa ほどで、拘束圧 20kPa の曲線に近くそれぞれの拘束圧を対応させると良い関係を示した。

まとめ

液状化試験と対応させるため初期間隙比を等しくなるように拘束圧を変えて繰返し排水三軸試験を行った結果、応力比～ひずみ関係から標準砂より粘土分を含ませた場合に拘束圧低下時による影響が強くみられ、拘束圧の低下に伴って高い応力比で塑性変形が発生する事が明らかになった。拘束圧低下による影響より繰返し履歴による応力比～ひずみ関係に対する影響が大きい事がわかった。また、液状化試験結果と対応する拘束圧を比較し良好な関係が得られた。

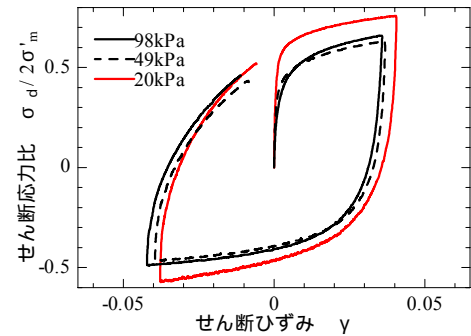


図 - 3 応力～ひずみ関係(S case1)

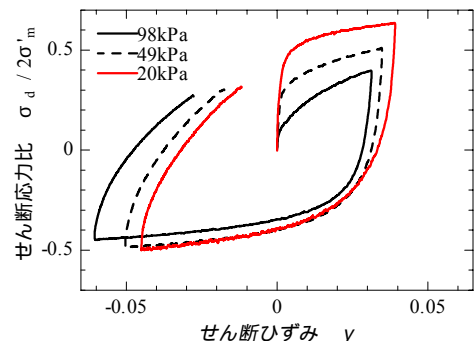


図 - 4 応力～ひずみ関係(TK30 case1)

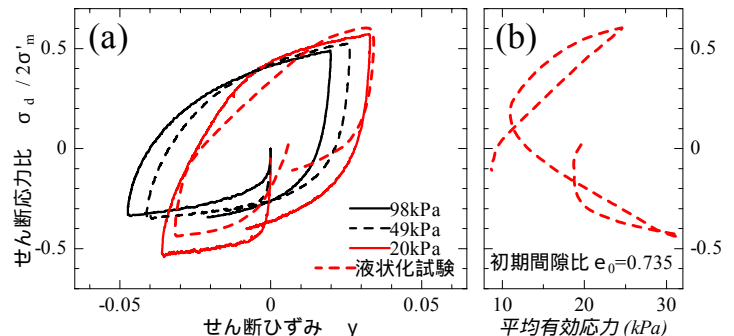


図 - 5 応力～ひずみ関係(TK30 case2)