

### 乾燥砂を用いた繰返し定体積一面せん断試験による液状化実験

舞鶴高専 建設システム工学科 正会員 ○加登 文学  
京都府 田中 光典

#### 1. はじめに

砂質土の液状化特性を知るためには、一般的に三軸圧縮試験機が用いられるが、等方応力状態で繰返し载荷するため、実際の地盤の応力状態と異なる等の問題がある。一方、一面せん断試験による液状化試験は古くは三笠ら<sup>1)</sup>による試みがあり、近年の試験機の高度化とともに複数の研究機関<sup>2),3),4)</sup>で一面せん断試験による液状化実験が実施されている。本研究では、乾燥砂を用いて実施した応力比一定の繰返し定体積一面せん断試験と、せん断変位漸増試験による液状化実験の結果について報告する。

#### 2. 実験方法

実験に使用した試料は、京都府舞鶴市で採取した由良川河口砂州の砂(以下、由良川砂:  $\rho_s=2.671\text{g/cm}^3$ ,  $e_{\text{max}}=1.053$ ,  $e_{\text{min}}=0.698$ ,  $D_{50}=0.31\text{mm}$ ,  $U_c=2.06$ )と豊浦砂( $\rho_s=2.636\text{g/cm}^3$ ,  $e_{\text{max}}=0.922$ ,  $e_{\text{min}}=0.605$ ,  $D_{50}=0.17\text{mm}$ ,  $U_c=1.50$ )である。また、用いた一面せん断試験機は垂直力下面载荷・上せん断箱可動型で、垂直力、せん断力载荷装置の形式は電動モータで、加圧板は加圧軸に剛結されている。下せん断箱が固定されており、せん断時はガイドローラが動いて反力板と荷重計の位置は変化せずに、上せん断箱のみが水平方向に可動する。反力板側で垂直力を測定するため、せん断面上の垂直応力が測定できる構成となっている。

まず、液状化強度曲線を描くために、繰返し非排水三軸試験および繰返し定体積一面せん断試験を、緩詰めおよび密詰めの供試体に対して行った。三軸試験では飽和状態、一面せん断試験では乾燥状態で実験を行った。供試体は、緩詰めでは空中落下法、密詰めではタンピング法で作製した。三軸試験は、有効拘束圧  $\sigma'_c=50\text{kN/m}^2$  とし、载荷速度  $0.1\text{Hz}$  で繰返しせん断を行い、一面せん断試験は、垂直応力  $\sigma_{v0}=100\text{kN/m}^2$  で圧密後、载荷速度  $0.005\text{Hz}$  で繰返しせん断を行った。次いで、一面せん断試験機を用いてせん断変位振幅漸増試験を実施した。繰返しせん断変位は、第一波目のせん断変位片振幅を  $\pm 5.0 \times 10^{-3}\text{mm}$  とし、二波目以降を順次  $1.2$  倍間隔で、せん断変位両振幅が  $1.0\text{mm}$  に達するまで漸増させ、 $1.0\text{mm}$  到達後は一定振幅とした。なお、载荷周期は  $60$  秒で行った。

#### 3. 実験結果と考察

一面せん断試験による緩詰め供試体に対する応力比一定繰返し試験の結果を図1~3に示す。せん断応力比 ( $\tau/\sigma_v$ ) は  $0.2$  である。これらの図より、一面せん断試験では三軸試験で見られるような圧縮側と伸張側でのひずみの偏りが見られず、両側に均等に変位が発生していること、繰返し回数の増加とともに垂直応力比が低下しており、液状化状態に至っていることなどがわかる。豊浦砂と由良川砂の繰返し定体積一面せん断試験および繰返し三軸試験より得られた液状化強度曲線を図4に示す。

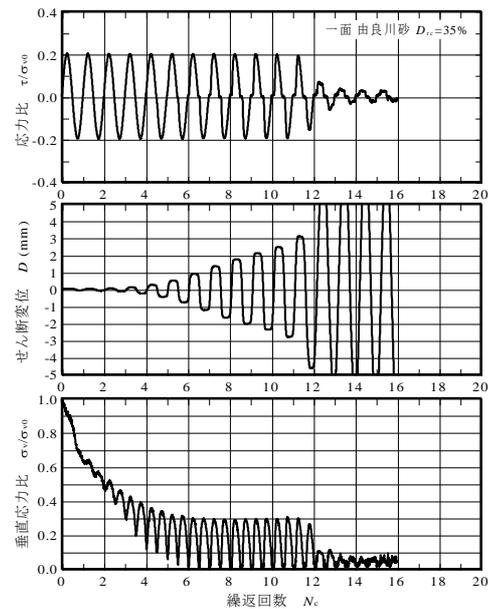


図1 繰返し一面せん断試験結果

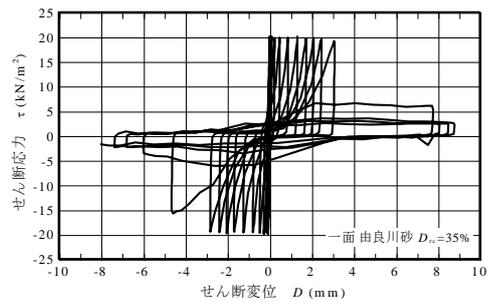


図2 せん断応力-せん断変位関係

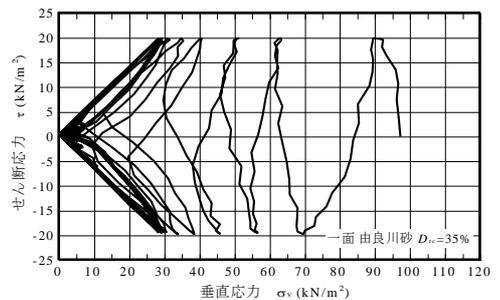


図3 応力経路図

キーワード 一面せん断試験, 液状化, 乾燥砂, 変位振幅漸増

連絡先 〒625-8511 京都府舞鶴市宇白屋 234 舞鶴高専建設システム工学科 加登文学 TEL 0773-62-8895

図より、緩詰め供試体においては三軸と一面の結果は近い位置にあるが、一面の方が曲線の勾配が急であり、応力比の違いに対して敏感であるといえる。一方、密詰めでは三軸に比べて、一面の結果はかなり左に寄っている。これは一面せん断試験ではせん断面が固定されており、変形が局所的になっているためではないかと考えられる。

次に、変位振幅漸増試験の結果を図5～7に示す。由良川砂の結果で

(a)に緩詰め、(b)に密詰めを示す。緩詰めでは変位振幅の増加とともにせん断応力比がいったん上昇するが、ピークを迎えて、変位は大きくなっているにもかかわらず応力比は減少する挙動となった。またこのときの垂直応力比は細かく振動しながらも一貫して減少していき、ゼロに至り完全に液状化状態になっている。一方、密詰めでは変位振幅の増加とともに最大の変位振幅に至るまで応力比が増加し続けている。垂直応力比も35回から40回辺りでは変位を与えることで大きく回復しており、ダイレイタンスの影響が強く現れている。しかしながら、25回から30回辺りでは変位の漸増に伴う応力の増加の傾向がいったん小さくなっており、漸増の設定次第では応力を回復させずに液状化状態に至る可能性もあるといえる。

4. まとめ

本研究では、乾燥砂を用いて繰返し定体積一面せん断試験を実施し、砂質土の液状化特性の把握に対する適用性について検討した。その結果、飽和砂を用いた三軸試験と同様に液状化強度曲線が描け、

液状化強度を定義できることを示した。また、変位振幅漸増試験の結果より、変位振幅の与え方により密詰め砂でも応力の回復を示さずに液状化に至る可能性があることを示した。

<参考文献>1) 三笠,岸本,望月:砂のくりかえしせん断の実験,土木学会第22回年次学術講演会,第三部,pp.8-1~8-4,1967. 2) 住,大島,高田:一面せん断試験による砂質土の繰返し定体積せん断特性,土木学会第53回年次学術講演会,3-A72,pp.142-143,1989. 3) 石川,望月,藤:一面せん断試験機を用いた液状化試験方法の開発,第42回地盤工学研究発表会,pp.427-428,2007. 4) 紙谷,長谷川,本郷:繰返し定体積一面せん断試験の液状化試験への適用性に関する研究,土木学会第62回年次学術講演会,3-314,pp.627-628,2007.

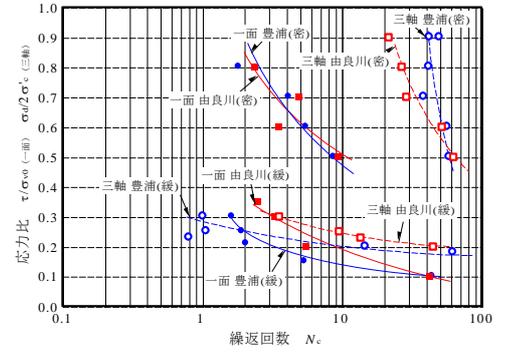


図4 液状化強度曲線

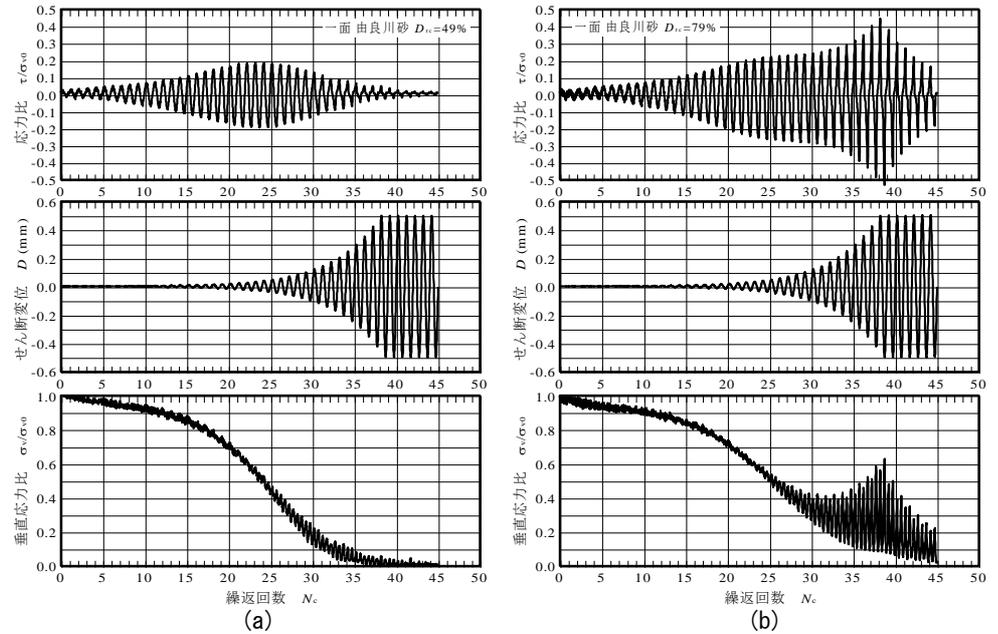


図5 変位振幅漸増試験結果

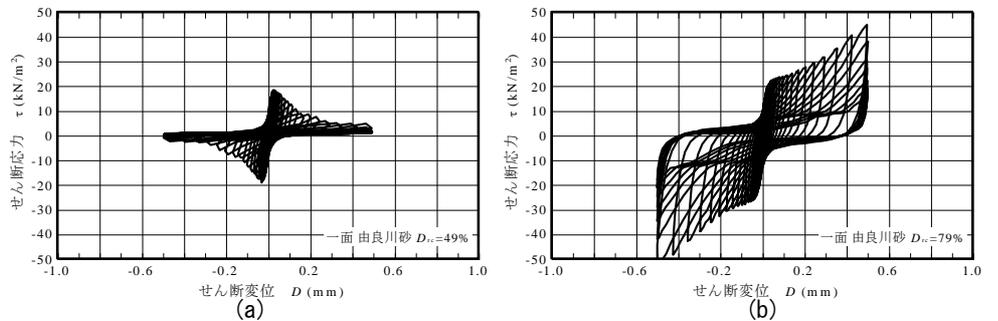


図6 変位振幅漸増試験によるせん断応力とせん断変位の関係

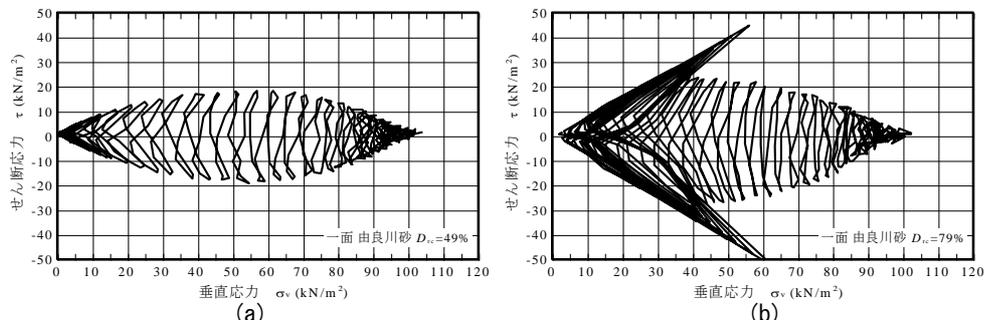


図7 変位振幅漸増試験による応力経路図