

山口大学大学院 学生会員 植木卓
 山口大学大学院 正会員 吉本憲正
 山口大学大学院 正会員 兵動正幸
 山口大学大学院 正会員 中田幸男
 山口大学大学院 正会員 神田浩彰

1. はじめに

構造物を建設する際に地盤の安定性の評価を行う必要がある。一般的には、物理探査、試料のサンプリング、室内試験などを行う必要があり、多くの時間とコストを要する。また、サンプリングの際に生じる応力解放の影響で原位置と同じ条件下で室内試験を行うことが難しいなどの問題もある。このことを踏まえ、原位置でせん断試験を実施し、かつ、安定性の評価が行える手法が開発できれば、大幅な時間とコストの縮減がはかれると考えられる。そこで、原位置でのせん断試験および地盤の安定性の評価が可能なシステムの開発を目指し、室内において提案する装置の検証を行った。

2. 開発する試験機の概要

原位置でオンライン地震応答実験を行うために、コンピュータによる地震応答解析と、せん断試験を原位置で行う必要がある。そのため図-1に示すようなシステムを考え、開発に向けて検討を進めている。特徴としては、ケーシングの内部に積層リングを内蔵しており、土試料は中空円筒形となっており、この試料にトルク力を載荷し、 K_0 条件下でねじりせん断試験が行える構造となっている。また土試料の下部にベントナイト泥水により不透水層を形成する事で、非排水条件を満足できるように考えている。

中空ねじり試験において、 K_0 条件でのせん断が、提案する試験機の供試体の応力条件と酷似しているため、中空ねじり試験の結果と比較し、得られた結果の特徴について把握することとした。そこで図-2のような積層リング内蔵モールドを使用し、 K_0 圧密を行い、ねじりせん断試験を実施し、検討を進めた。積層リングを採用することにより、供試体となる土試料が要素的にせん断されることを期待している。また積層リング間には摩擦が生じるので、組み立てる際には、アクリルリング間に多量のグリスを塗り、積層リング間の摩擦を低減させている。

3. 定圧条件下における静的単純ねじりせん断特性

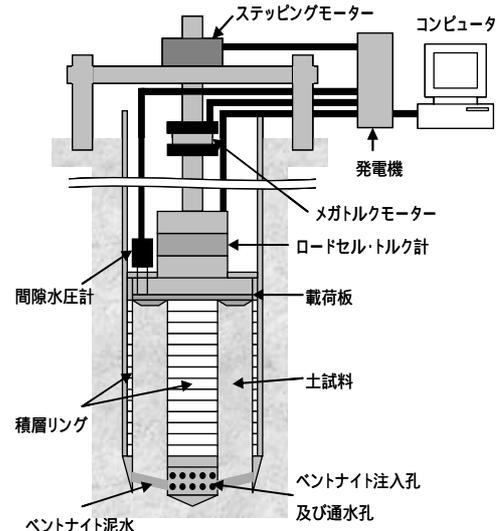


図-1 原位置せん断試験装置概念図

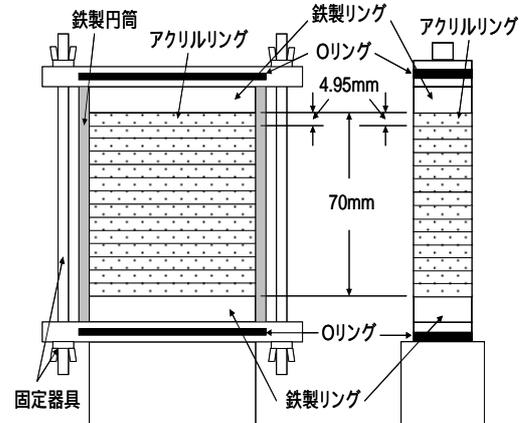


図-2 積層リング内蔵モールド

表-1 試験条件

試験条件	本研究	Pradhanら (1988)
供試体作製方法	空中落下法	
外径(cm)	7	10
内径(cm)	3.5	6
高さ(cm)	7	20
せん断ひずみ速度(%/min)	0.1	0.2

本研究では、相対密度が80%となるように供試体を作製し、 K_0 圧密した後に上載圧を一定に保ちつつ、試験を行った。また比較する試験結果として、Pradhanら¹⁾の結果を用いた。本研究と Pradhan らの試験条件は表-1 に示す通りである。図-3(a)、(b)に $\sigma_v=50$ 、200kPaの時の結果を示す。

$\sigma_v=50$ kPa の場合では、大ひずみレベルでは既往の結果と比べて大きな値を示すが、微小ひずみレベルでは近い値を示すことが明らかになった。 $\sigma_v=200$ kPa の場合は、50kPa と同様に、微小ひずみレベルでは近い値を示し、大ひずみレベルでも、50kPa の時に比べると既往の結果に近い値を示すことがわかる。これは拘束圧が大きいほど、積層リング間の摩擦が土のせん断応力に比べて小さくなるため、200kPa において既往の結果に近い値を示したと考えられる。体積ひずみに関して、微小ひずみレベルでは近い値を示し、大ひずみレベルでは差が生じる。200kPa に比べ、50kPa の方に差が見られるのは先ほど述べた、摩擦が原因と考えられる。また写真-1 の(a)、(b)を見ると、供試体上部のみ、せん断変形が生じていることがわかる。これより微小ひずみレベルでは土試料全体にせん断変形が生じるので、近い値を示すが、大ひずみレベルでは土試料の上部のみにせん断変形が生じたために、結果に違いが現れたと考えられる。ピーク時のせん断応力から算出したせん断抵抗角と初期間隙比の関係性を比較した結果を図-4 に示す。拘束圧が大きいほど、比較する結果に近い値を示していることがわかる。これは、土のせん断応力に比べて積層リング間に生じる摩擦力が小さくなるため、200kPa において近い値を示したためと考えられる。

4. 定体積条件下の繰返しねじりせん断特性

相対密度 30、60、80%となるように供試体を作製し、 K_0 圧密後に鉛直方向の変位を拘束して、繰返しせん断試験を行った。せん断速度は一定で、応力振幅は正弦波波形で与えて制御している。ここでは石原らの²⁾結果を用いて試験結果と比較する。石原らの試験条件を表-2 に示す。相対密度は30%となるように作製し、 K_0 圧密を行い、供試体の拘束条件は鉛直変位を拘束している。試験結果の代表例とし

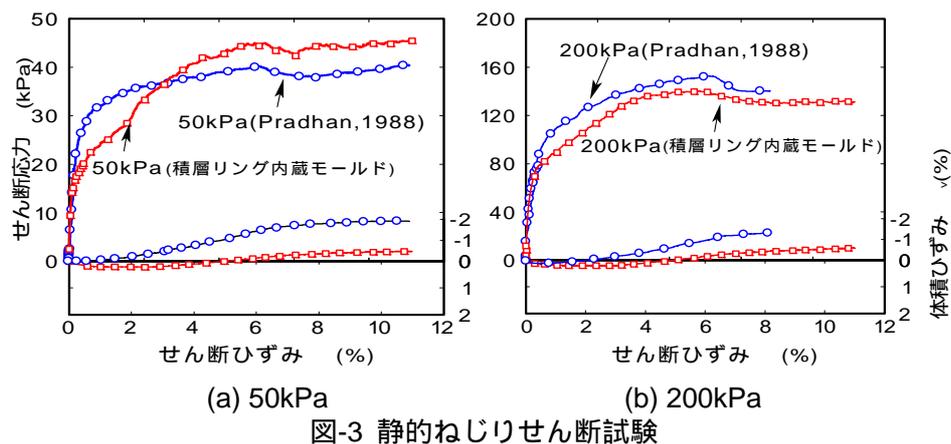


図-3 静的ねじりせん断試験



写真-1 積層リング内蔵モールドの写真

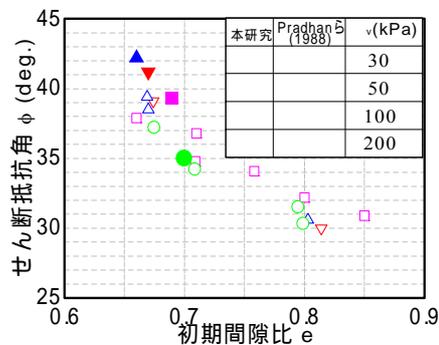


図-4 せん断抵抗角の比較

表-2 試験条件

試験条件	本研究	石原ら (2003)
供試体作製方法	空中落下法	
外径(cm)	7	10
内径(cm)	3.5	6
高さ(cm)	7	10

て、本研究の相対密度が 60% でせん断応力比が 0.16 の時の応力振幅比の時刻歴を図-5、せん断ひずみの時刻歴を図-6、鉛直全応力減少比の時刻歴を図-7、さらに石原らの結果と比較した液状化強度曲線を図-8 に示す。図-5 より、応力振幅比一定の正弦波で載荷が出来ていることがわかる。図-6 より、載荷初期は、ほとんどせん断ひずみが生じず、あるところから急激にせん断ひずみが大きく生じていることがわかる。図-7 より、繰返しせん断の進行に伴い鉛直全応力も徐々に減少し、減少比が 0.9 付近から、せん断ひずみが急激に生じており、液状化が生じていることがわかる。これらの一連の挙動より、典型的な砂の液状化が生じており、提案する試験装置でも、液状化現象が捉えられる事が理解できる。図-8 の液状化強度曲線では、石原らの結果と本研究で行った結果を比較した。回数の少ないところでは、既往の研究結果より少し応力比が高めに出ていることが認められるが、既往の研究結果に概ね近い値を示していることわかる。液状化現象は、鉛直全応力の減少比が 0.9 以上に至った後、せん断ひずみが顕著に発生するという形で生じる。このことと、静的試験において微小なひずみレベルで、既往の研究結果と近い値を示した事実から、動的試験の結果が既往の試験結果と近い値を示したものと考えられる。

5 . 結論

本研究では、システムの開発を目指し、土要素の応力条件が比較的類似している中空ねじり試験の K_0 条件下のものと比較し、室内において提案する装置の検証を行った。静的試験では微小ひずみレベルにおいて、要素試験に近い結果を示し、大ひずみレベルでは要素試験の値と差が生じた。原因として、微小ひずみレベルでは、全体にせん断変形が生じ、大ひずみレベルでは上部にのみ、せん断変形が生じているからと考えられる。液状化現象が微小ひずみ領域における有効応力の低下に支配されるため、既往の研究結果と同程度の値が得られたと考えられる。したがって、オンライン地震応答実験のような動的な問題において、提案する機構は適用性が高いと考えられる。

<参考文献>1) Tej B.S.Pradhan , Fumio Tatsuoka and Noriyuki Horii : “STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF SAND IN TORSIONAL SIMPLE SHEAR” , SOIL AND FOUNDATIONS Vol.28 , No.3 , Sept. 1988

2)石原弘樹・古林篤・永瀬英生・清水恵助・廣岡明彦・福島英晃・篠崎友利:”載荷盛土工法および地下水位低下工法により過圧密履歴を与えた場合の砂地盤の液状化強度特性”第 38 回地盤工学研究発表会 pp.475-476 , 2003 年 7 月

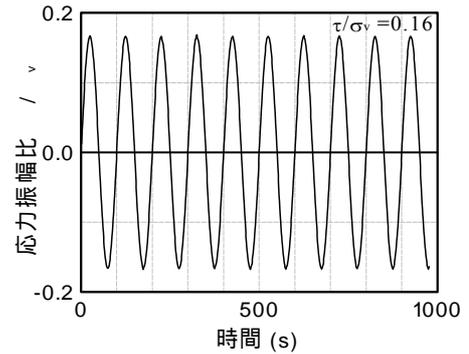


図-5 応力振幅比の時刻歴

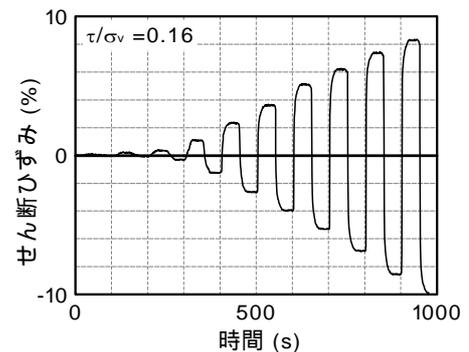


図-6 せん断ひずみの時刻歴

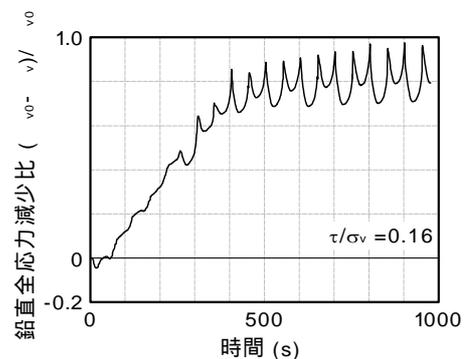


図-7 鉛直全応力減少比の時刻歴

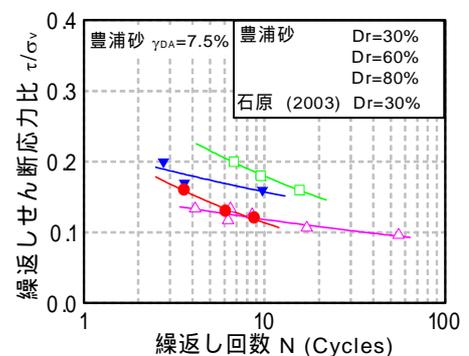


図-8 液状化強度曲線