

## 固有異方性が砂の繰返しせん断挙動に及ぼす影響 The Effect of Inherent Anisotropy on Cyclic Shear Behavior of Sand

○西岡大地・上田恭平・渦岡良介

○Daichi NISHIOKA, Kyohei UEDA, Ryosuke UZUOKA

Since the 1970s, studies on inherent anisotropy of sand have been conducted, and it is known that the inherent anisotropy affects the deformation and strength properties of sand. However, there are few experimental examples of cyclic shear tests including an unloading process, and it needs to be verified. In this study, the effect of inherent anisotropy on the undrained cyclic shear behavior of sand was examined. It was found that the effect of inherent anisotropy was recognized in the effective stress path and in the time history of shear strain. Specifically it was found that the rate of decrease in effective stress and increase in shear strain increased as the deposition angle increased. So, the effect of inherent anisotropy was also recognized in the liquefaction strength curve.

### 1. はじめに

1970年代より行われている砂の固有異方性に関する研究により、固有異方性が砂の変形・強度特性に影響を与えることが報告されている<sup>1)</sup>。さらに近年では、固有異方性を考慮した構成式が提案されており<sup>2)</sup>、その適用性について報告されている<sup>3)</sup>。しかし除荷過程を含めた繰返しせん断挙動については、ここでは検証されていない。これは、固有異方性に着目した砂の繰返しせん断挙動に関する研究例が少なく、検証するだけの材料が不足しているためである。そのため本研究では、堆積角度を変えて固有異方性を再現した供試体を用いて中空ねじり試験を行い、固有異方性が砂の非排水繰返しせん断挙動に与える影響について調べた。また、固有異方性を考慮した有効応力解析により中空ねじり試験を再現し、固有異方性の影響を評価することを目的とする。本報告では、中空ねじり試験の結果を主に伝え、有効応力解析についてはポスター発表の場で報告する。

### 2. 中空ねじり試験

#### 2.1 実験方法

中空ねじり試験には京都大学防災研究所土質実験室の振動試験システムを用いた。高さ 100 mm、外径 100 mm、内径 60 mm の凍結供試体を作製するにあたり、発砲ポリスチレン製の容器に珪砂 6 号を空中落下法で堆積させた後に脱気水を注入し凍結させた。その後、容器を分解して凍結させた珪砂 6 号を取り出した。取り出した珪砂 6 号を所定の角度  $\alpha^\circ$  に傾けて (図 1) 成型し、モールド等

を用いて直径 100 mm、高さ 100 mm の円柱型の凍結供試体を作製した (図 1)。(ここに、角度  $\alpha$  は砂の堆積角度に相当する。)円柱型の凍結供試体に、モールドと直径 60 mm の穴の開いたカラーを取り付け、カラーに空いた穴に沿って中空部を成型し、中空円筒型の供試体を作製した (図 2)。また作製途中で適宜、再凍結させることで、凍結供試体の融解による乱れの影響を小さくした。

以上のように作製した凍結供試体を用いて、せん断応力比と堆積角度を変えて全 9 ケースの非排水繰返しせん断試験を行った。実験条件は表 1 に示す。

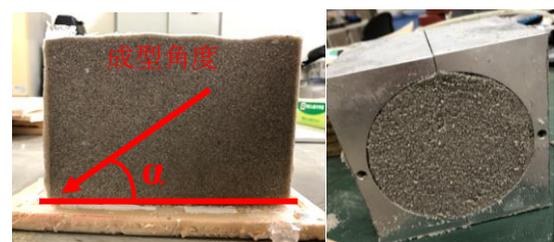


図 1 堆積角度  $\alpha^\circ$  の凍結供試体  
(左) 成型前 (右) 円柱型に成型後



図 2 中空部成型の様子  
(左) カラー取り付け後 (右) 中空部成型後

表1 実験条件

ケース番号 (堆積角度 $\alpha^\circ$ )	相対密度 Dr %	B 値	CSR
1 (0)	91.5	0.822	0.22
2 (0)	91.0	0.859	0.24
3 (0)	90.9	0.810	0.28
4 (45)	91.8	0.835	0.22
5 (45)	88.3	0.801	0.24
6 (45)	92.5	0.835	0.28
7 (90)	89.9	0.826	0.22
8 (90)	92.6	0.810	0.24
9 (90)	88.6	0.807	0.28

2.2 実験結果

CSR0.28 で非排水繰返しせん断を行った, ケース 3 (0), ケース 6 (45), ケース 9 (90)の結果を示す. 以上の3 ケースでは相対密度やB 値の差が小さいため, 堆積角度に応じた固有異方性の液状化強度への影響を比較できる. 3 ケースにおいて繰返しせん断回数が 5 回までの有効応力経路を示す (図3). 堆積角度ごとの有効応力経路を比較すると, 堆積角度が大きくなるにつれて, 有効応力の低下量が大きくなっている. これらの結果から, 堆積角度に応じた固有異方性の影響が, 有効応力経路に表れることがわかった.

また, ケース 3 (0), ケース 6 (45), ケース 9 (90)のせん断ひずみ時刻歴を示す (図4). 堆積角度ごとで比較すると, 堆積角度が大きくなるにつれて, せん断ひずみが増加する割合が大きくなっている. このことから, 堆積角度に応じた固有異方性の影響が, せん断ひずみの増加する割合に表れることがわかった. 全9 ケースの液状化強度曲線 (図5) を比べると, 堆積角度  $0^\circ$  における液状化強度が堆積角度  $90^\circ$  のそれより比較的高いということがわかった. また, 堆積角度  $45^\circ$  における液状化強度は堆積角度  $90^\circ$  のそれとあまり変わらないことがわかった. この傾向は, CSR が小さくなる程表れている.

参考文献

- 1) 小田匡寛ら: 砂の異方性に関する基礎的研究 (その 1), 土と基礎, 18-8(151), pp.15-21, 1970.
- 2) Ueda K. et al.: Constitutive modeling of inherent anisotropy in a strain space multiple mechanism model for granular materials, *Int J Numer Anal Methods Geomech*, 43, 708-737, 2019.

- 3) Ueda K. et al.: Noncoaxiality considering inherent anisotropy under various loading paths in a strain space multiple mechanism model for granular materials. *Int J Numer Anal Methods Geomech*, 1-28, 2020.

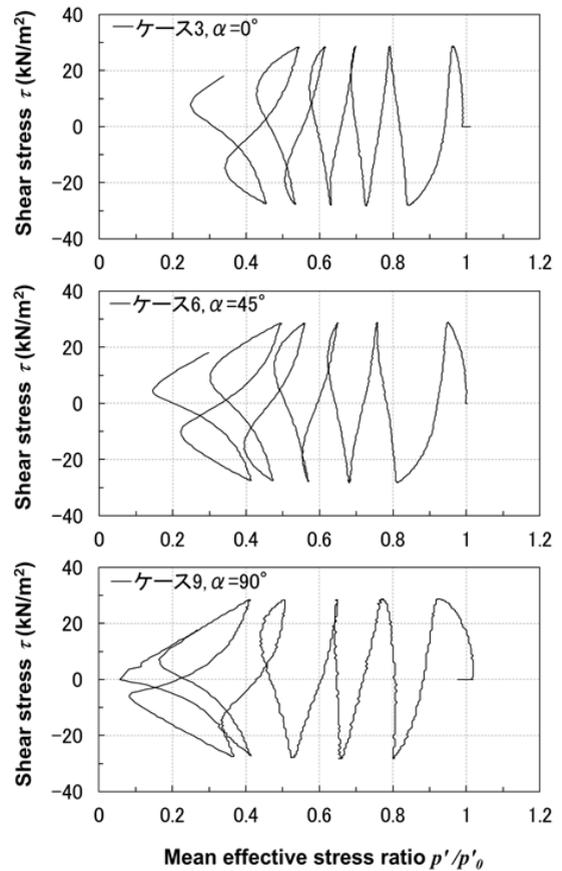


図3 有効応力経路 (CSR=0.28)

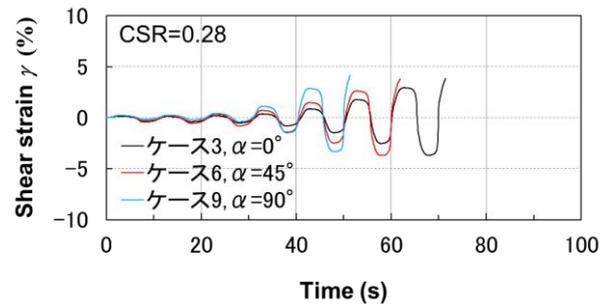


図4 せん断ひずみ時刻歴

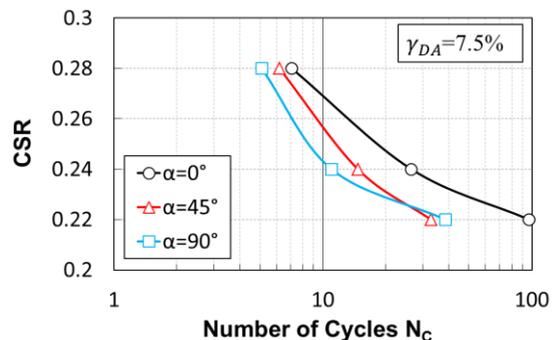


図5 液状化強度曲線