

# 粒子配向性を考慮した砂の液状化特性

地盤工学研究室 LE HOANG KIM

指導教員 豊田 浩史

## 1.背景及び目的

一般的に、土粒子がある種類の堆積方法によって自然地盤を形成し、その地盤は異方性を有する。また、液状化強度に影響を与える要因として、密度や年代効果、粒子配向性による異方性などが考えられる。密度や年代効果が液状化に与える影響については、様々な検討が行われているが、異方性が液状化に与える影響は、検討結果が少なく、あまり明らかになっていない。そこで、本研究では液状化に与える異方性の影響を調べるため、特に砂粒子の配向性に着目した検討を行う。

## 2.試験方法

本研究では、豊浦砂を試料として用い、水中落下法で粒子配向のある供試体を作製した。そして、配向は $0^\circ$ 、 $45^\circ$ と $90^\circ$ の3つのケースで検討した。豊浦砂の長さ(  $L$  )と幅(  $W$  )の比率  $L/W$  が 1.0 から 1.6 に分布し、 $L/W$  の平均値が約 1.5 であるため、砂粒子はやや扁平で細長い形で構成されている<sup>(1)</sup>。

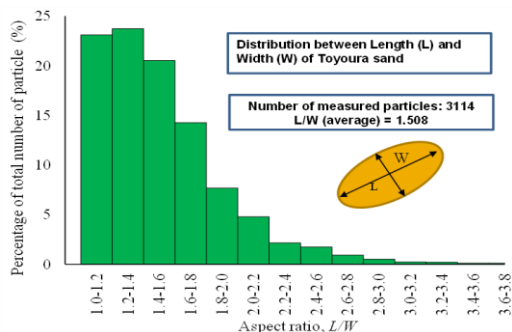


図-1 豊浦砂の長さ(  $L$  )と幅(  $W$  )の粒子形状

### 2.1.単調せん断試験

本研究では、せん断強度特性を求めると

め、単調圧縮試験及び単調伸張試験を行った。単調せん断試験は三軸試験装置で実施し、せん断強度に与える圧縮と伸張の影響を検討した。

### 2.2.ベンダーエレメント試験 (BE 試験)

本研究では、図-2 に示すように、キャップ及びペDESTAL中央に送受信用 BE を設置した。試験中に適宜、せん断波を送信して供試体中を伝播する波を測定し、せん断波速度  $V_s$  を求めた。また、せん断波速度  $V_s$  から初期せん断剛性率  $G_0$  を求めた。せん断波の伝播速度  $V_s$  と初期せん断剛性率  $G_0$  は次式より算出した<sup>(2)</sup>。

$$V_s = L / \Delta t$$

$$G_0 = \rho_t V_s^2$$

$V_s$ : せん断波速度(m/s),  $L$ : BE 間距離(mm),  
 $\Delta t$ : せん断波到達時間(msec),  $G_0$ : 初期せん断剛性率(kPa),  $\rho_t$ : 湿潤密度( $g/cm^3$ )である。 $L$  は、キャップとペDESTALの BE 先端間距離をとる tip-to-tip 法を、 $\Delta t$  は送受信波形の立ち上がり点を結ぶ start-to-start 法を用いた。

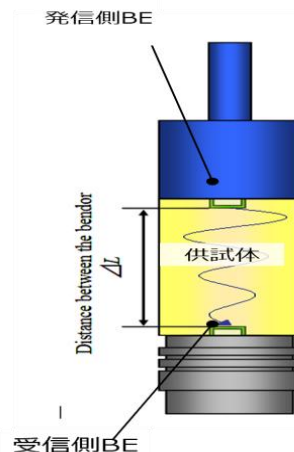


図-2 ベンダーエレメント装置



### 3.2.せん断剛性率特性

ベンダーエレメントで測定した初期せん断剛性率  $G_0$  を図-7 に示す。配向が  $0^\circ$ 、 $45^\circ$  と  $90^\circ$  の順番に  $G_0$  が  $55\text{MPa}$  から  $62\text{MPa}$  に変化し、大きくなる傾向となった。

この傾向の原因として、粒子の並び方が考えられる。図-8 に示すように、配向  $90^\circ$  のケースは配向  $0^\circ$  のケースより接点数が少ない。これにより粒子の弾性領域が大きくなるので、せん断波速度が大きくなり、初期せん断剛性率も大きくなると考えられる。

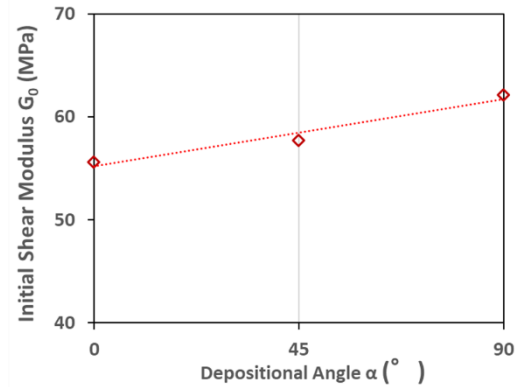


図-7 せん断剛性率の変化

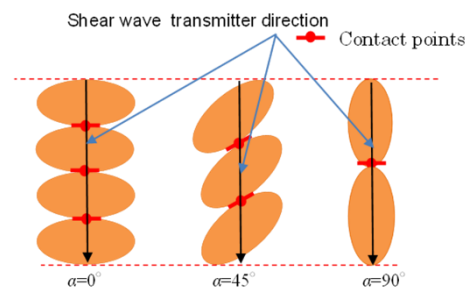


図-8 供試体内にせん断波

### 3.3.液状化強度特性

図-9 に示すように、粒子配向  $90^\circ$  と  $45^\circ$  の供試体は、粒子配向  $0^\circ$  の供試体より液状化までの繰返し回数  $N_c$  が多い。図の液状化強度曲線の傾きは、配向  $45^\circ$  と  $90^\circ$  が似ており、配向  $0^\circ$  より大きな傾きである。

液状化試験では、粒子配向角が大きくなると液状化強度も増加する結果となった。しかし、図-10 に示すように、再液状化試験を行うと、再液状化強度が低下する結果となった。

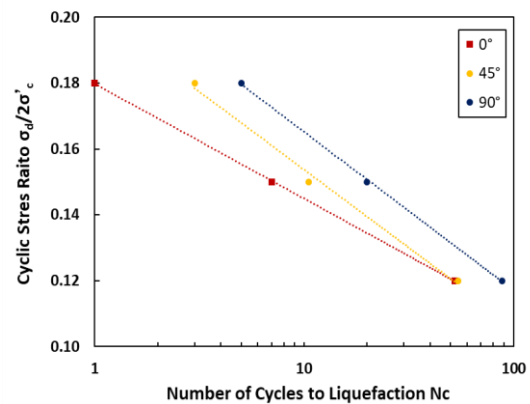


図-9 液状化曲線

### 3.4.配向性の測定結果

図-11、図-12、図-13 にそれぞれ液状化前、液状化後、再液状化後の粒子配向分布図を示す。液状化前に、各配向ケースに応じた分布が分かる。

配向  $0^\circ$  の場合： $0^\circ$ - $30^\circ$  周辺と  $150^\circ$ - $180^\circ$  周辺に粒子が密集した。

配向  $45^\circ$  の場合： $45^\circ$ - $70^\circ$  のあたりに粒子が密集した。

配向  $90^\circ$  の場合： $90^\circ$  周辺に粒子が密集した。

表-1 に、オリエンテーション V.M. の値は各ケースで 30% 程度となった。

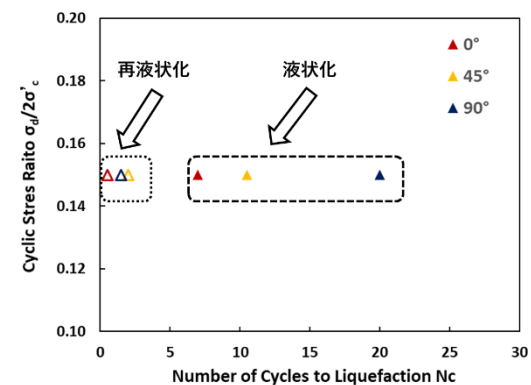


図-10 再液状化結果

表一 試験前の配向特性値

Orientation Angle (°)	Number of Particles	$\phi$ (°)	V.M.(%)
0°	366	2.6	27.7
45°	392	62.3	31.6
90°	396	85.6	37.6

液状化後の測定結果から、粒子配向の変化が見られる。0°、45°、90°のすべてのケースで、粒子配向が90°あたりに多く分布している。すなわち、粒子が立つ傾向となった。

また、再液状化後にも、子配向は80°-100°あたりに密集する結果となった。しかし、再液状化強度は低下したため、再液状化のメカニズムを、粒子配向性の観点のみからは説明できない。

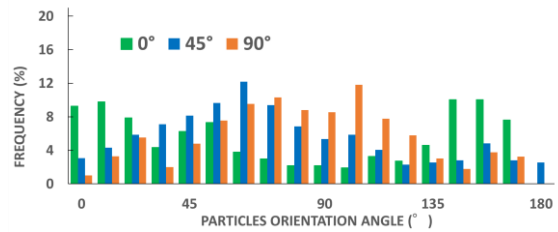
#### 4.まとめ

複数の試験結果を表一2にまとめる。本研究で得られた結論は以下となる。

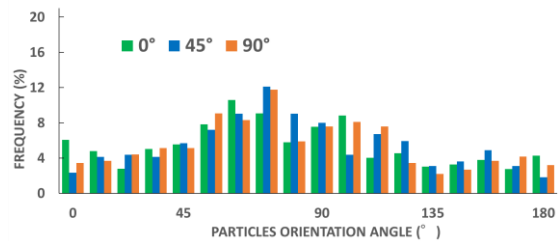
- 1) 水中落下法で供試体の粒子配向性はある程度調整できる。
- 2) 配向角が大きいと液状化強度も大きい。これは $G_0$ と同じ傾向だが、圧縮せん断強度とは逆傾向である。
- 3) 液状化により、粒子配向角は大きくなったが、再液状化強度は液状化強度より低下した。液状化前後の供試体をせん断強度試験、LSS試験により詳細に検討する必要がある。

#### 参考文献：

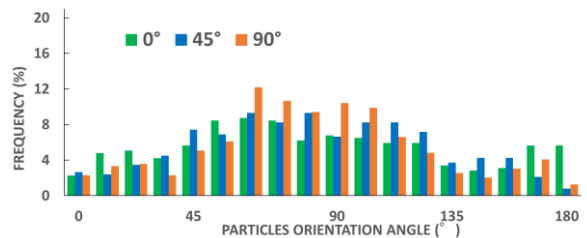
- (1) (公社)地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説-二分冊の1, pp.195-225, 2009.
- (2) (公社)地盤工学会：地盤材料の方法と解説-二分冊の2, pp.730-736, 2009.
- (3) Le Ngoc Bao : Evaluation of mechanical properties of mica-mixed sand considering inherent anisotropy, Nagaoka University of Technology, 2020.



図一11 液状化前の粒子分布



図一12 液状化後の粒子分布



図一13 再液状化後の粒子分布

表一2 配向性による特性値の変化

実施試験	求まる特性	配向性により変化傾向		
		0°	45°	90°
単調圧縮	圧縮強度			↘
単調伸張	伸張強度			↗
ベンダーエレメント	せん断剛性率			↗
液状化	液状化抵抗値			↗
再液状化	再液状化抵抗値			↘ 要検討