

粒子配向性が三軸試験による液状化強度におよぼす影響

長岡技術科学大学大学院
長岡技術科学大学大学院

○高縁 心
豊田浩史

1. はじめに

砂地盤は、粒子形状や粒子間接触状態に大きく依存して力学特性が変化する。なかでも粒子配向性は、せん断変形時の滑動方向を支配し、液状化強度に影響する要因として注目されている。既往の研究では、任意の配向角を与えた試料を対象とした要素試験により、配向角が圧縮強度や液状化強度に与える影響が示されている¹⁾²⁾。しかし、これらの研究の多くは、配向角を制御した供試体の比較に留まっており、ランダムな配向状態と比較した研究は十分とはいえない。

一般に実地盤は過去の応力履歴や堆積環境の違いにより、粒子配向性が必ずしも一方向に揃っていない。そのため、配向性が液状化強度へ寄与する程度を適切に評価するには、人工的に与えた配向角とランダム配向状態との比較が不可欠である。実地盤の液状化予測精度向上のためには、粒子配向性の効果を定量的に評価する研究が求められている。

本研究では、配向角 0°、45°、90°における供試体と、粒子配向性の集中をなくしランダム化した供試体を準備し三軸試験により強度特性の比較を行う。

2. 試験概要

砂供試体試料は、漏斗堆積法を用いて作製した。また、任意の配向角毎に供試体を作製するため金属モールド(図-1)を採用し、ここに配向角をランダムにするため、スティッキングメソッド(以下、SM)を行った。

手順は以下に示す。なお、試料には豊浦砂を用いた。豊浦砂の粒径加積曲線及び物性値を図-2に示す。

2.1 供試体作製

1) 試料ブロックの作製に関しては金属モールド

を用いた(図-1)。モールドは6つの分離した金属プレートで構成された長方形の容器である。フレームを用いてモールドの角度を調整することが可能で、これらを用いて 0°、45°、90°の堆積角度を再現した。

- 2) 供試体作製方法は、空中落下法(AP)を採用し、全供試体相対密度を $D_r=60\%$ とした。
- 3) 一層当たり約 500g の豊浦砂をモールドに堆積させ、金属棒で 150 回ずつ均等に表面を突く作業を行う。図-3(これにより堆積させた砂粒子の配向角の偏向性を排除する。)

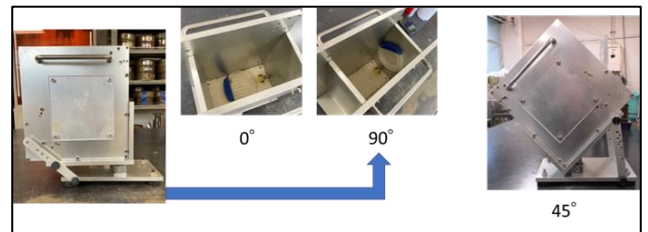


図-1 モールド組み立て

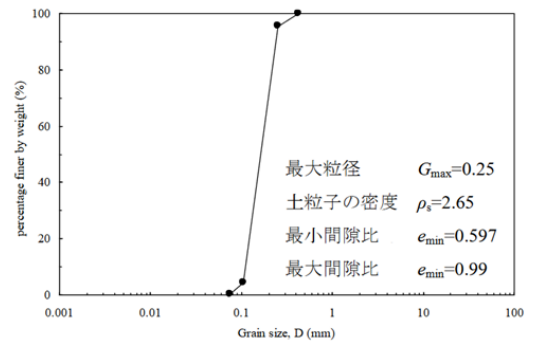


図-2 豊浦砂の粒径加積曲線



図-3 金属棒で突いた試料

4) 試料ブロックを真空ポンプで脱水し，マイクロ스코プで配向性を撮影した後，高さ 125 mm，直径 50 mm の円柱状に成形して，メンブレンを被せて，試験機に設置した．(図-4)

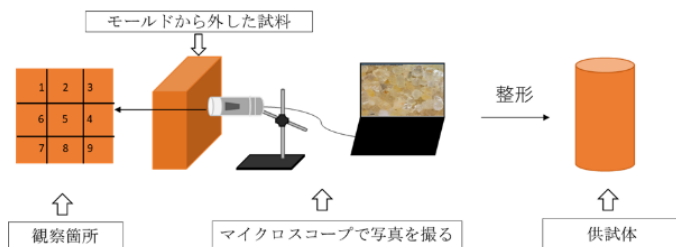


図-4 マイクロ스코プによる撮影方法

2.2 三軸試験

供試体の飽和度を高めるために，二重負圧，通水，予圧を行う．供試体が十分に飽和されたことを確認した後，供試体内部に背圧を載荷し，平均有効主応力 $p' = 50$ kPa で圧密を行った(1時間)．その後 BE 試験，圧縮強度試験及び液状化試験を行う．

2.3 ベンダーエレメント (BE) 試験

本研究で実施する BE 試験は，供試体内部に上部のキャップから sin 波を発信し，ペダスタルで受信する．この時の供試体内部の波の伝播速度と砂の湿潤密度から以下の式のように，初期せん断剛性率を求めることができる．

$$G_0 = \rho_t \times V_s^2 \times 10^{-3}$$

ここで， G_0 ：初期せん断剛性率(MPa)， ρ_t ：湿潤密度(g/cm^3)， V_s ：せん断波速度(m/s)とする．本研究では，せん断波速度の測定のために，入力波と受信波から，せん断波の到達時間を判定する TD 法を用いる．また，受信波の立ち上がり点の読み取り位置は，start-to-start 法⁴⁾によるものを利用して，せん断波到達時間とする．

3. 実験結果

3.1 0°供試体と乱した供試体の配向角測定

配向性 0° 供試体の配向角と乱した SM0° 供試体の配向角の角度測定³⁾を行い，まとめたグラフを図-5 及び図-6 に示す．

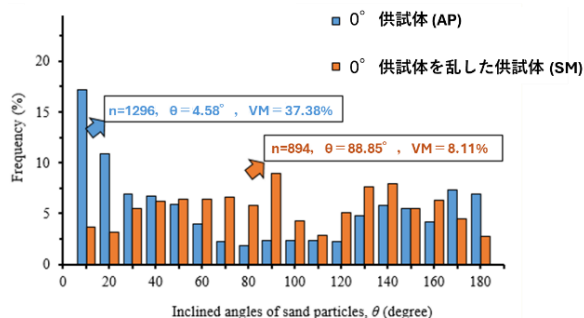


図-5 粒子配向分布図

(配向 0°，乱した 0° 供試体)

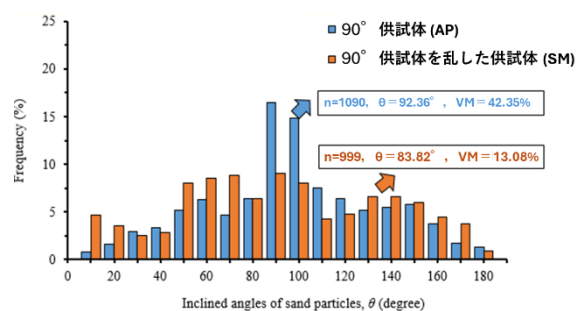


図-6 粒子配向分布図

(配向 90°，乱した 90° 供試体)

粒子配向分布図は，横軸に測定した粒子角度 (0°～180°)を，縦軸にその角度における粒子の集中度 VM (%) を示している．

図-5 の 0° と SM0° の比較では VM が 37.38% から 8.11% へ減少していることから SM 処理により配向角が乱れていることが確認できる．また，図-6 の 90° と SM90° の比較からも VM が 42.35% から 13.08% へ減少していることやグラフの概形から SM 処理により配向角が乱れていることが確認できる．

以上，図-5 及び図-6 に示した粒子配向分布図から，任意の配向角の供試体と乱した供試体では配向角にばらつきが確認された．

3.2 圧縮強度試験

図-7 に圧縮強度試験結果を示す。

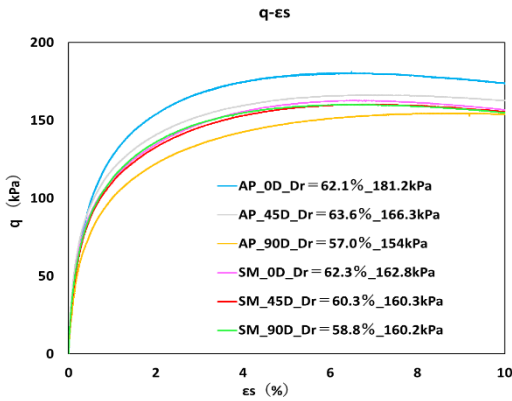


図-7 q - εs 関係
(AP&SM_0°, 45°, 90°)

図-7 の結果から圧縮強度は 0°が最も大きく、45°, 90°の順に低下した。これは粒子配向角の違いにより、主応力方向に対するかみ合わせ状態が変化したためと考えられる。

SM 法によるランダム配向供試体は、0°と 90°の中間的な強度を示した。以上より、粒子配向角は圧縮強度に明確な異方性を与えることが確認された。

3.3 BE 試験

図-8 に BE 試験結果を示す。

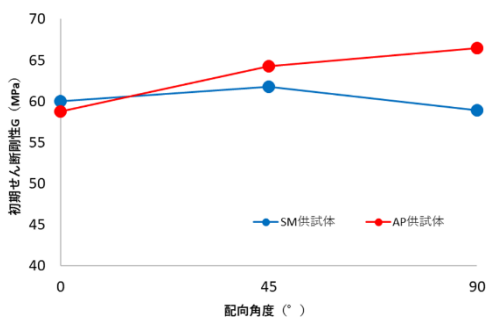


図-8 BE 試験結果

BE 試験より得られた初期せん断剛性の結果をみると、配向性を保持した AP 供試体では、配向角の増加に伴い剛性が増加する傾向が確認された。特に 90°において最も大きな値を示し、粒子

配向に起因する剛性の異方性が明瞭に表れた。

一方、SM 法により作製した供試体では、配向角による剛性の顕著な増減は認められず、45°付近でやや高い値を示すものの、全体として大きな差は確認されなかった。これは、SM 処理により粒子配向性が乱され、粒子配向性がランダム化されたことで、配向に起因する剛性率異方性が低減されたためと考えられる。

以上より、粒子配向性は初期せん断剛性にも影響を与えること、ならびに SM 法はその異方性を低減させる効果を有することが示された。

3.4 粒子配向毎の液状化強度試験

図-9 に液状化強度曲線を示す。

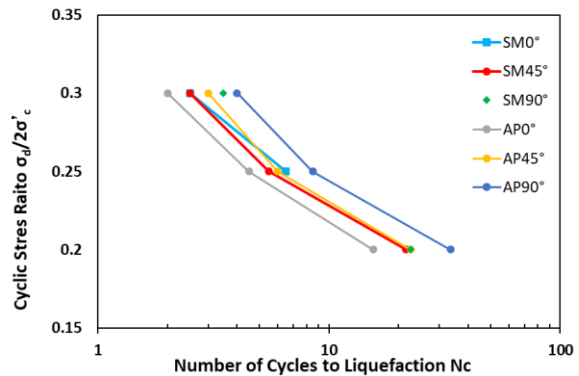


図-9 液状化強度曲線
(AP&SM_0°, 45°, 90°)

配向性を有する供試体 (AP) では、90°が最も高い液状化強度を示し、次いで 45°, 0°の順となった。一方、SM 供試体では各角度間の差は小さく、概ね中間的な値を示した。

以上より、粒子配向角は液状化強度にも明確な異方性を与えること、SM 法によりその異方性が低減されることが確認された。

4. 結論

本研究より、粒子配向角は圧縮強度および液状化強度の双方に明確な異方性を与えることが確認された。圧縮強度は 0°が最大となる一方、液状化強度は 90°が最大となり、液状化強度特性

は配向角に依存して逆転傾向を示した。また、SM 法により作製した供試体では配向分布のばらつきが確認され、力学特性は概ね中間的な値を示した。さらに、BE 試験の結果より、SM 法により乱した供試体では、配向角を有する供試体間で確認されたような初期せん断剛性の明確な差は認められなかった。すなわち、粒子配向性を乱すことで剛性の異方性が低減され、等方的な試料の力学挙動を示すことが確認された。

参考文献

- 1) 藤原涼, 三軸試験を用いた液状化による砂粒子配向性の変化, 長岡技術科学大学工学研究科修士論文, 2022.
 - 2) Ladd, R. S.: Specimen preparation and liquefaction of sands, *Journal of Geotechnical Engineering*, 100(10), 1180-1184, 1974.
 - 3) Curry: The Analysis of Two-Dimensional Orientation Data, *The Journal of Geology*, Volume 64, Number 2, 1956.
 - 4) 川口貴之, 三田地俊之, 澁谷啓, 佐野侑房: 室内バンダーエレメント試験によるせん断弾性係数 G の評価, *土木学会論文集*, No.694/III-57, pp. 195-207, 2001.
-