

締固めたまさ土のせん断強度に現れる異方性の影響

山口大学大学院 学生員 ○HAM, Tae Gew
 山口大学工学部 正会員 中田幸男 村田秀一
 山口大学大学院 正会員 兵動正幸

1. まえがき 堤防や道路、鉄道の盛土などの人工的に締固めた土構造物の土粒子構造は、その構築過程や応力履歴に起因して異方的であり、この異方性は重力の効果による固有異方性と区別して、一般に応力誘導異方性といわれている¹⁾。土の強度特性が異方性の影響を受けることはよく認識されているものの、実際の設計においては考慮されていない現状にある。しかしながら、近年の性能設計の流れから妥当な強度定数の設定や、個々の室内試験の結果の正確な評価において異方性の影響を考慮することは必要不可欠なこととなってきた。そこで、本研究では締固めた材料のせん断強度に現れる異方性を評価するために、堆積面に対する切り出し角として定義される堆積角 δ が 0° 、 45° 、 90° となるような締固めた供試体を作製し、飽和・不飽和状態において排水排気三軸圧縮試験を実施し、強度特性に現れる異方性とその程度を明確にすることを主眼とした。

2. 用いた試料および供試体の作製方法 本研究で用いた試料は山口県下関市で採集したまさ土の2mmふるい通過分である。表-1にその物性値を示す。三軸圧縮試験に用いる供試体は事前に行った突固めによる締固め試験の結果より求められた最適含水比($w_{opt}=13\%$)において締固め度 $D_c=90\%$ ($\rho_d=1.60\text{g/cm}^3$)になるように(200mm×100mm×200mm)の直方体容器に2kgのランマーを用い突固め、 -20°C の温度で凍らせた後、図-1に示すように堆積面に対する切り出し角として定義される堆積角 δ が 0° 、 45° 、 90° となるようにコアビットを用い直径50mm、高さ100mmの円柱供試体を切り出し作製した。

表-1 用いて試料の物性値

3. 試験方法 三軸圧縮試験は、Bishop ら²⁾の提案したタイプの

Sample	Grain size(mm)	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	Ignition loss(%)	U_c
Shimonoseki	~2.0	2.685	1.738	1.83	7.14

二重セル型の自動計測可能な三軸試験装置を用いて行った。軸変位は、等方圧縮過程とせん断過程とも初期軸ひずみ2.0%までは、非接触変位計(gap sensor)により計測した。まず、三軸圧縮試験装置に供試体をセットし、20kPaの拘束圧を負荷して供試体を自立させ、供試体を解凍させるために8時間以上放置した。不飽和供試体については、この後直ちに等方圧縮試験を行うが、比較のためにこの状態から飽和状態とした供試体についても実験を行った。その際、供試体を飽和化させるために、不飽和供試体に真空圧を30kPa加え通水を行った後、バックプレッシャーを200kPa作用させB値が0.95以上になるように飽和化した。以下、このように飽和化した供試体を飽和供試体、不飽和状態である供試体を不飽和供試体と記す。飽和、不飽和供試体に対して、所定の拘束圧まで応力制御で等方応力を載荷した後、

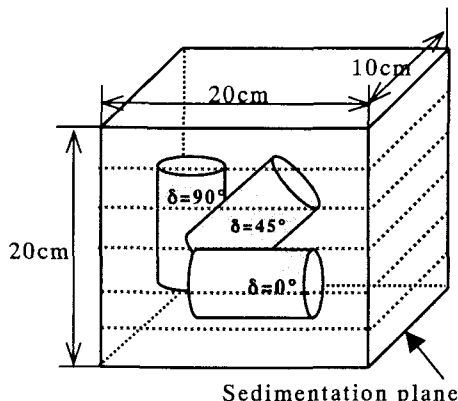


図-1 供試体の堆積角の概略図

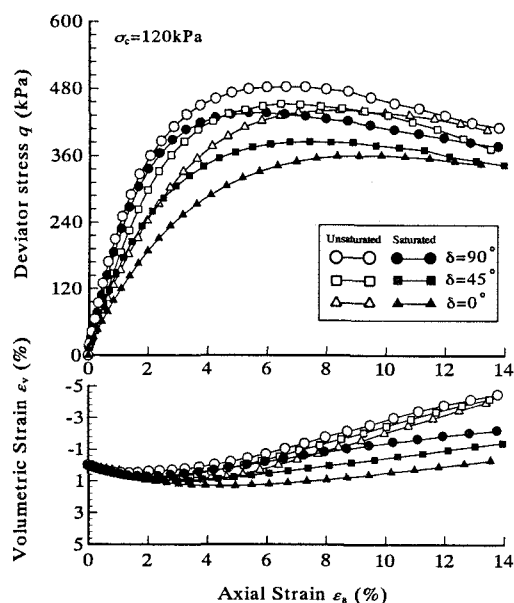


図-2 排水三軸試験による応力・ひずみ関係

1時間経過させた。その後、側圧一定軸ひずみ速度 0.1mm/min で排水せん断試験を行った。

4. 試験結果および考察 図-2 は拘束圧 120kPa において飽和、不飽和供試体を用いて行った三軸せん断試験の結果を軸差応力 q 、体積ひずみ ε_v の関係で表したものである。図より、飽和、不飽和供試体ともに軸差応力と軸ひずみとの関係においては、堆積角 δ の 0° から 90° への増加に伴い、ピーク強度も増加することがわかる。また、堆積角 δ が大きいほど脆性的な挙動を示し、明確なピークが現れる。体積ひずみと軸ひずみとの関係においては、不飽和供試体は堆積角 δ によらずいずれも収縮から膨張傾向に転じる挙動を示しているのに対し、飽和供試体においては収縮から膨張に転じる変相点が現れる軸ひずみ量が大きくなっている。図-3 に全試料においてのピーク時の応力比 η_{peak} と平均主応力 p との関係で示す。ここで、平均主応力 p と軸差応力 q 、応力比 η は次式より求まる。

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_3) \quad \cdot \quad (1) \quad q = \sigma_1 - \sigma_3 \quad \cdot \quad (2) \quad \eta = \frac{q}{p} \quad \cdot \quad (3)$$

ここで、 σ_1 は最大主応力、 σ_3 は最小主応力である。

図より、全試料において堆積角 δ の 0° から 90° への増加に伴い、 η_{peak} が増加しており、堆積角 δ による強度異方性が確認された。同じ拘束圧において飽和、不飽和供試体を比較すると、不飽和供試体の η_{peak} が高い値を示し、ピーク強度にサクシヨンの影響が現れることが考えられる。さらに、 p の増加に伴い急激に η_{peak} が減少し、それに伴い、堆積角 δ による η_{peak} の減少幅も小さくなっていることがわかる。これは、拘束圧の増加に伴い粒子構造のより大きな変化により、堆積角の影響が消失されることを意味する。図-4 に全試料の粘着力 c およびせん断抵抗角 ϕ と堆積角 δ の関係を示している。せん断抵抗角 ϕ は飽和、不飽和供試体ともに堆積角 δ の増加に伴いその値が増加しており、その増加の程度は飽和度によらず同程度である。飽和供試体における粘着力 c は堆積角 δ によらずほぼ同等の値を示しているのに対し、不飽和供試体においては δ が 0° から 90° への増加にともない粘着力 c が顕著に増加していることがわかる。土中のサクシヨンの存在は見かけの粘着項が増加したのと同様な効果を持つことは知られており³⁾、サクシヨンによる見かけの粘着力に異方性が現れることが明らかにされた。

5. 結論 三軸圧縮試験結果より、飽和度の違いによらず、いずれの試料においても、小さい拘束圧においては強度特性に明確な堆積角 δ の依存性が現れるのに対し、拘束圧の増加に伴い、その異方性の程度が低減することが明らかにされた。また、締固め材料において、せん断強度特性に現れる異方性の程度は飽和時より、不飽和時において顕著に現れることと、これは主として見かけの粘着力として現れることが明らかにされた。

《参考文献》 1) Casagrand, A & Carillo, N.: Shear failure of anisotropic materials, *Proc Boston Society of Civil Engrs.* Vol. 31, pp. 74-87, 1944. 2) Bishop, A. W and Donald, I. B.: The experimental study of partly saturated soil in the triaxial apparatus, *Proc. 5th Int. Conf. SMFE*, Vol. 1, pp. 13-21, 1961. 3) Fredlund, D. G., Morgenstern, N. R. & Widger, R. A.: The shear Strength of Unsaturated, *Can. Geotech. J.* 15, No. 15, pp. 313-321, 1978.

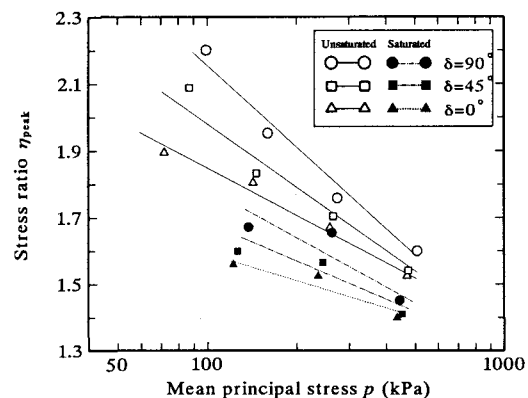


図-3 ピーク時の応力比 η_{peak} と p の関係

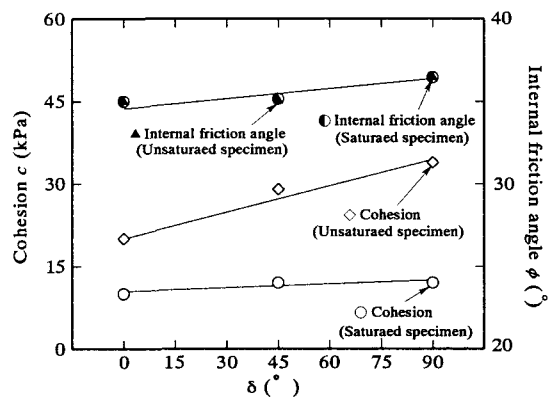


図-4 堆積角 δ と粘着力 c およびせん断抵抗角 ϕ