

締固めたまさ土の強度・ダイレイタンシー特性に現れる異方性

山口大学大学院 学生会員 HAM Tae Gew
 山口大学工学部 正 会 員 中田幸男 村田秀一
 山口大学工学院 正 会 員 兵動正幸

1. はじめに 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⁾。応力誘導異方性を念頭においた締固め土の強度とダイレイタンシーに関する研究は鬼塚ら²⁾によって行われ，有益な情報を提供している。しかし，実際の設計・施工に当たっては，未だに不明な点がまだ多く残されているのが現状にあるといえる。そこで，本研究では盛土材料としてよく用いられるまさ土を対象に，飽和，不飽和状態において排水三軸圧縮試験を行い，せん断強度およびダイレイタンシー特性に現れる異方性とその程度を詳細に調べることを目的とした。

2. 用いた試料の物性値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広島型まさ土の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 $D_c=90\%$ ($\rho_d=1.60g/cm^3$)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℃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 用いた試料の物性値

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

3. 試験方法 自動計測可能な三軸圧縮試験装置を用いて一連の実験を行った。この装置は Bishop ら³⁾の提案した

タイプの二重セル型の三軸試験装置となっている。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。全供試体に対して，所定の拘束圧まで応力制御で等方応力を載荷した後，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。

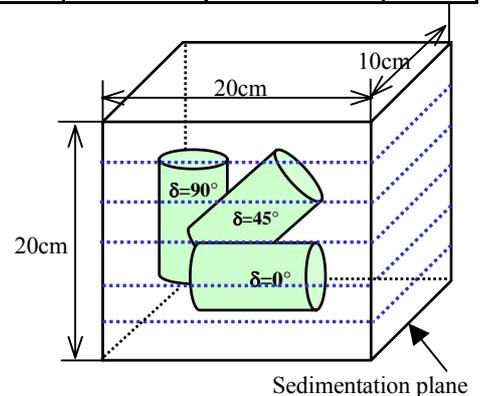


図-1 供試体の堆積角の概略図

4. 強度・ダイレイタンシー特性に現れる堆積角および飽和度の影響

図-2に全試料においてのピーク時のセカントアングル ϕ_{peak} と平均主応力 p との関係で示す。セカントアングルは次の式によりもとめることができる。

$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} \right) \dots \dots \dots (1)$$

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，同じ拘束圧下において飽和，不飽和供試体の結果を比較してみると不飽和供試体

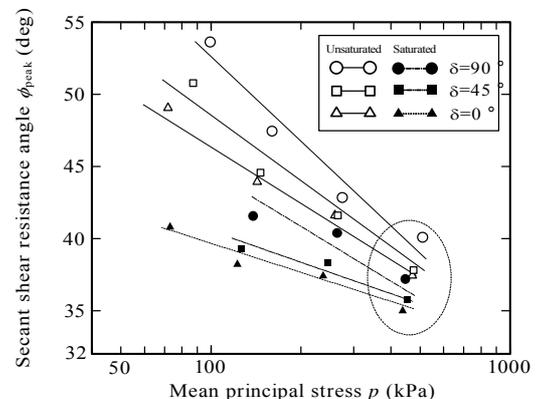


図-2 ピーク時のセカントアングル ϕ_{peak} と平均主応力 p の関係

キーワード：締固めたまさ土，異方性，堆積角，ダイレイタンシー特性，飽和度

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 TEL：0836-85-9344 URL：http://geotech.civil.yamaguchi-u.ac.jp

の ϕ_{peak} の方が大きい値を示している。これは、飽和度の低下によるサクシヨンの存在が強度増加に寄与しているからであると推察される。また、飽和、不飽和ともに全試料において p の増加に伴い急激に ϕ_{peak} が減少し、それに伴い堆積角 δ による ϕ_{peak} の減少幅も小さくなっている。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-3にある δ でのピーク時と体積一定状態におけるセカントアングルの差（ $\phi_{peak} - \phi_{cv}$ ）を $\delta=90^\circ$ での（ $\phi_{peak} - \phi_{cv}$ ）で正規化したものと堆積角 δ との関係を示す。ここで（ $\phi_{peak} - \phi_{cv}$ ）はピーク時におけるダイレイタンスによる強度増加とみなすことができる。いずれの試料においても堆積角 δ が小さくなると $[\phi_{peak} - \phi_{cv}(\delta)] / [\phi_{peak} - \phi_{cv}(\delta=90^\circ)]$ は小さくなっていることがわかる。また、図-4にはある δ での $-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak} / [-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak}(\delta=90^\circ)]$ と堆積角 δ との関係を示している。ここで、 $-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak}$ はダイレイタンスによるひずみ増分比であり、本研究においては各供試体の平均値を示している。いずれの試料においても堆積角 δ が小さくなると $-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak} / [-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak}(\delta=90^\circ)]$ は小さくなっており、図-3においてのピーク時におけるダイレイタンスによる強度増加と似たような傾向を示している。これらの結果は、限られた飽和度、締固め度という限定はあるものの、少なくとも破壊時の状態については締固めた材料においても砂と同様に強度特性および変形特性にも堆積角 δ の影響が顕著に現れることを意味する。また、図-4において、飽和、不飽和供試体ともに拘束圧が増加すると $-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak} / [-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak}(\delta=90^\circ)]$ は小さい値を示しており、変形特性は拘束圧に依存していることが確認される。同じ拘束圧下においての飽和、不飽和供試体を比較すると破壊時における変形特性には明瞭な差は見られない。図-5は、ピーク時と体積一定状態におけるセカントアングルの差（ $\phi_{peak} - \phi_{cv}$ ）とピーク時のひずみ増分比 $-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak}$ との関係を示したものである。図中に小田ら⁴⁾によって求められた豊浦砂のデータと、宇部まさ土のデータ⁵⁾についても共に示している。堆積角、飽和度、供試体の作製方法などが異なってもピーク時のダイレイタンスによる強度増加とダイレイタンスによるひずみ増分比には一定の関係があることがわかる。このことは締固めた材料においても砂と同様にピーク時のセカントアングルの差と残留時のセカントアングルの差はダイレイタンスに支配されていることを意味する。

5. まとめ 本研究では、締固めたまさ土を用い、飽和、不飽和状態において排水三軸試験を行い、強度・変形特性に現れる異方性を調べた。その結果、締固めた材料においても砂と同様にピーク時のセカントアングルの差と残留時のセカントアングルの差はダイレイタンスに支配されてい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) 鬼塚克忠, 林重徳, 吉武茂樹, 大石英隆: 締固め土の圧縮及び強度異方性について, 土質工学会論文報告集, Vol. 19, No. 3, pp. 113-123, 1979. 3) 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. 4) Oda, M. & Koishikawa, I. & Higuchi, T.: Experimental study of anisotropic shear strength of sand by plane strain test, *Soil and Foundation*, Vol. 18, No.1, pp. 25-38, 1978. 5) Nakata, Y., Hyodo, M. & Murata, H.: Single particle crushing and mechanical behaviour of decomposed granite soils, *Proceedings of the international symposium on problematic soils, IS-TOHOKU 98. SENDAI, JAPAN.* pp. 497-483, 1998.

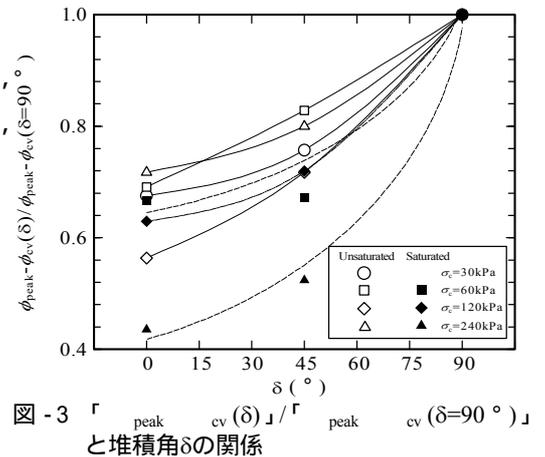


図-3 「 $\phi_{peak} - \phi_{cv}(\delta)$ 」/ $\phi_{peak} - \phi_{cv}(\delta=90^\circ)$ と堆積角 δ の関係

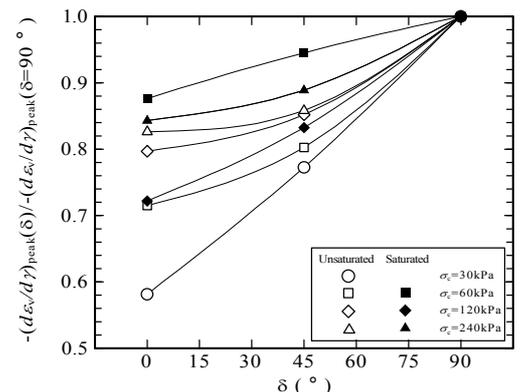


図-4 ある δ での $-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak}$ 」/ $\delta=90^\circ$ での $-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak}$ と堆積角 δ の関係

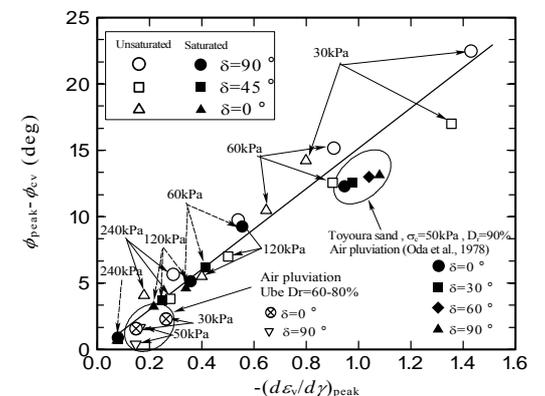


図-5 ($\phi_{peak} - \phi_{cv}$)と $-(d\varepsilon_v/d\gamma)_{peak}$ との関係