

広範な応力域におけるシリカ砂の排水せん断特性

山口大学大学院 学生会員 ○加登文学

山口大学 正会員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一

（株）竹中土木 正会員 原田孝行

1. まえがき 砂のような粒状材料に対し様々な圧力域において室内試験を行うと、圧縮特性やせん断特性などの力学特性に変化が生じることが知られている。特に拘束圧の増加に伴う圧縮性の増加、負のダイレイタンスの増加、さらにせん断強度の低下などの変化は工学的に重要な問題であり、これまで多くの研究が正規圧密砂を対象に成されてきた（例えば三浦他¹⁾）。そこで本研究では、正規圧密及び粒子破碎を起こすような圧密履歴を受けた砂のせん断特性を明らかにすることを目的として、一連のシリカ砂を用いて行った広範な応力域における圧密過程の異なる排水せん断試験の結果について考察する。

2. 試料および試験方法 本研究では、粒子が破碎し始める応力や粒子破碎の程度が把握しやすいという理由から、比較的堅固なシリカ砂を 1.4~1.7mm に粒度調整したもの ($G_s:2.639, e_{max}:0.881, e_{min}:0.699$) を用いた。直径 50mm、高さ 100mm の円筒形の供試体を作成し、正規圧密供試体に対するせん断試験および先行圧密圧力 40MPa の過圧密せん断試験を低、中及び高压三軸圧縮試験機を用いて行った。

3. シリカ砂の排水せん断特性 図1は広範な応力域において正規圧密状態で行った排水せん断試験の結果を主応力比-軸ひずみ-体積ひずみ関係にまとめたものである。1.5MPa までの主応力比-軸ひずみ関係においては明確なピークがみられる。10MPa 以上の結果ではピークは現れず、残留強度が最大強度となっている。軸ひずみ-体積ひずみ関係をみると、1MPa までは膨張挙動を示し、1.5MPa 以上の拘束圧においては収縮一方の挙動となる。このようにピーク強度の現れ方とダイレイタンスの生じ方に拘束圧依存性が確認された。図2はピーク時および定常状態時 ($\varepsilon_a=20\%$) のセカントアンクルとその強度を発揮した時の平均有効主応力 p との関係である。ピーク時のセカントアンクル ϕ'_{peak} は p の増加に伴い、ほとんど変化しない領域 ($p < 1\text{MPa}$) から、徐々に低下する領域 ($1 < p < 10\text{MPa}$)、そして最小 ($p = 10\text{MPa}$) となった後、再び増加する領域 ($10\text{MPa} < p$) が現れることがわかる。定常状態時のセカントアンクル ϕ'_{crit} は p の大きさによらずほぼ一定の値となるといえる。また、過圧密状態の ϕ'_{peak} はおおむね正規圧密状態の結果に比べ高いことが確認された。図3はピーク時の ϕ' と定常状態時の ϕ' との差 ($\phi'_{peak} - \phi'_{crit}$) と圧密降伏応力 p_y で正規化された平均有効主応力 (p/p_y) との関係である。圧密過程の違いによらず $p/p_y=1$ までの $\phi'_{peak} - \phi'_{crit}$ の値は減少する傾向がみられ、 $p/p_y=1$ 以降 $\phi'_{peak} - \phi'_{crit}$ の値は増加する傾向が認められる。このことから、砂のせん断強度の拘束圧依存性が p_y に関連づけられることがわかる。図4はせん断試験における間隙比の変化について平均有効主応力との関係を示したものである。低圧域に

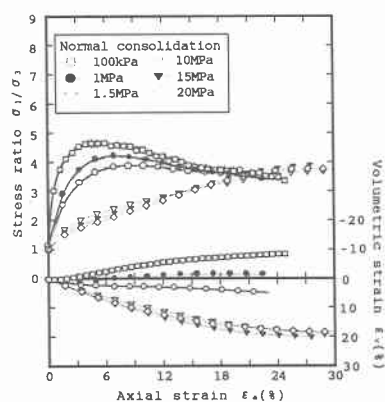
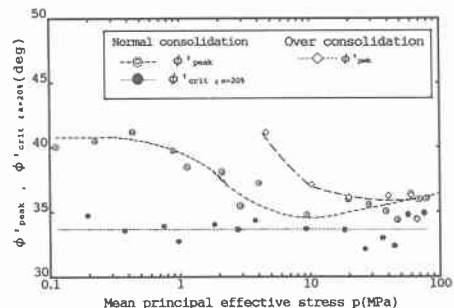
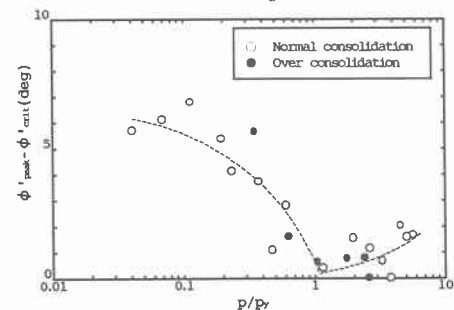


図1 応力ひずみ関係

図2 ϕ' と p との関係図3 ($\phi'_{peak} - \phi'_{crit}$) と (p/p_y) との関係

おける間隙比は増加傾向を示しているのに対し 3MPa 以上の応力域では減少つまり圧縮傾向を示していることがわかる。また試験終了時の間隙比と平均有効主応力との関係はこの図中にほぼ直線で近似でき、その勾配は等方圧縮試験の高圧域におけるそれとほぼ等しいといえる。これは Casagrande らによって示された定常状態線と同じものと考えられる。そしてこの線と各拘束圧の間隙比との差は、ダイレイタンシー挙動を示すものといえる。つまり、収縮側にあるときには、正の値であり、膨張側にあるときには負の値を示すことになる。図 5 に示すように Been ら²⁾に習い、この直線と間隙比との差を状態パラメーター ψ と定義した。図 6 は状態パラメーターと平均有効主応力との関係である。正規圧密、過圧密ともに右上がりの傾向を示しているが、正規圧密の状態パラメーターの値は p が 10MPa 付近でほぼ一定となる。過圧密では 30MPa を超えた辺りから一定となることがわかる。その一定となるときの状態パラメーターの値は 0.25 であった。図 7 は $(\phi'_{peak} - \phi'_{crit})$ と ψ との関係を示したものである。圧密条件によらずピーク時のセカントアングルから残留時のセカントアングルを引いた値は状態パラメーターの値が増加するにつれて、低下する傾向を示している。しかし過圧密の結果は正規圧密の結果とは異なり ψ がやや低い値から減少し始める傾向を示している。図 8 は粒子破碎を表す指標である修正比表面積増加量 $\Delta S'$ と平均有効主応力との関係である。1MPa 付近から粒子破碎が顕著に生じ始めることを示している。1< p <10MPa の応力域では破碎した細かい粒子によって間隙が埋められるため、せん断中の体積変化は圧縮傾向を示し、 ϕ'_{peak} が低下すると考えられ、10MPa< p の応力域では間隙が非常に小さい状態となり、それ以上圧縮が進行しなくなるため ϕ'_{peak} は増加すると考えられる。

4.まとめ 本研究ではシリカ砂を用いて行った、広範な応力域における圧密過程の異なる排水せん断試験の結果について考察した。その結果以下のような結論を得た。

1. ピーク時のセカントアングルの拘束圧依存性が確認され、 ϕ'_{peak} が低下する応力域は正規圧密状態に比べ過圧密状態のほうが高い。また、正規圧密砂のせん断強度の拘束圧依存性は p_y に関連づけられる。
2. 状態パラメーターの値は平均有効主応力の増加とともに増加し p_y 付近からほぼ一定の値となる。
3. 砂の排水せん断強度の拘束圧依存性やダイレイタンシー特性と粒子破碎は密接な関係がある。

<参考文献>

- 1) 三浦哲彦他(1977): 砂のせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響, 土木学会論文集, 第 260 号, pp.109-118
- 2) Been, K. & Jefferies, M. G. (1985): A state parameter for sands, Geotechnique 35, No. 2, pp.99-112

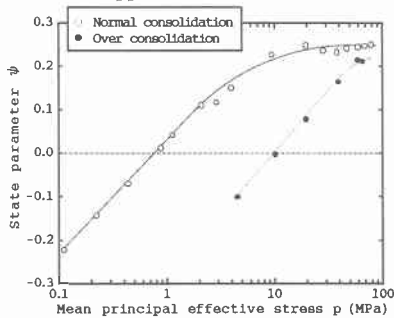


図 6 ψ と p との関係

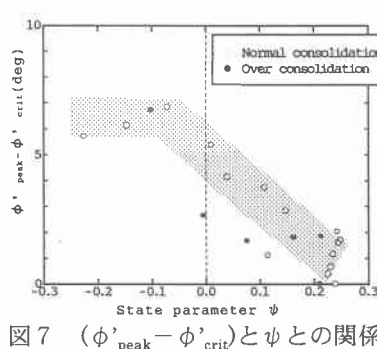


図 7 $(\phi'_{peak} - \phi'_{crit})$ と ψ との関係

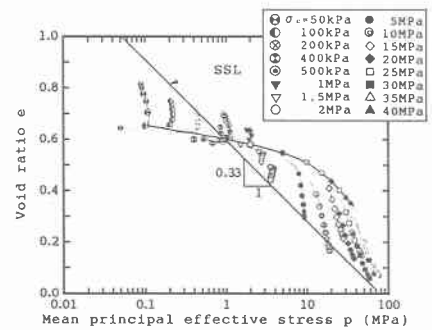


図 4 せん断中の間隙比の変化

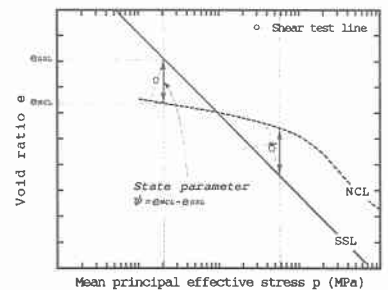


図 5 状態パラメーターの定義

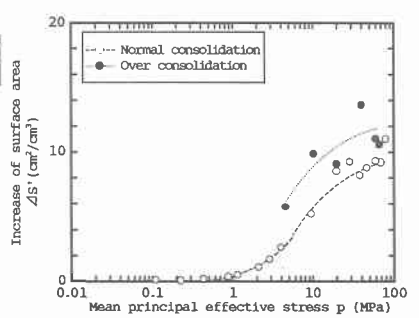


図 8 $\Delta S'$ と p との関係