

応力径路に着目した砂の降伏特性について

山口大学工学部	正員	村田 秀一
山口大学工学部	正員	○安福 規之
第一工業大学	正員	岡藤 博国
建設省	正員	秋山 基史

1. まえがき 筆者らは、砂の降伏特性を明らかにするため、ゆるづめ砂の粒子破碎領域（高圧域）における砂の降伏曲線の特性について、実験的検討を行ってきた。^{1,2)}この結果より砂の降伏曲線の特性は、応力径路に無関係に、おおむね $dq/dp = G(\eta)$ なる関係で表現できることを明らかにした。本研究は密な状態に締め固めた砂を対象に、0.3~10 MPaの広範な応力域において上記の関係を拡張できるか否かを明らかにしようとするものである。

2. 試料及び実験方法

2.1 試料及び応力径路試験 実験に用いた試料は、粒径を2.0mm~74 μ mに粒度調整した海砂（秋穂砂と称す）で、その主な指数的性質は次の通りである。土粒子比重 $G_s=2.65$,均等係数 $U_c=2.56$, 50%粒径 $=0.48$ mm。本研究では、直径50mm, 高さ130mm, 初期間隙比0.65~0.68（相対密度約90%）の飽和密詰め供試体を用いた。供試体の作製は、ゴム製メンブレンに気乾試料をタンパーで詰め、その後給水飽和するという方法で行った。また三軸試験は許容側圧20MPaの高圧三軸セルを用いて行い、拘束圧0.3~15 MPaの応力域で、各種の多段的応力径路試験を実施した。

2.2 多段的応力径路試験 本研究では、図1に示す6種類の異なる多段的応力径路試験を実施した。¹⁾⁻⁵⁾Bタイプは、p一定型のせん断試験であり、B-0, B-1は、等方的な先行圧密を受けたもので、B-2, B-3は、先行せん断を受けたものである。また、Fタイプは η 一定型のせん断試験であり、F-1は先に等方圧密を、F-2タイプは先に異方圧密（ $\eta \neq 0$ ）を行う試験である。各試験において、等方圧密に約20時間、載荷・除荷各段階に約0.5~2時間を要した。1サイクルの載荷は、4~10段階の応力レベルに分けて応力制御方式で行い、各段階での軸ひずみ速度が0.01%/min以下になったら次の段階に進むとした。ここに、 $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$, $\eta = q/p$ である。

2.3 降伏応力の決定 降伏応力を定めるにあたり高圧域における試験では、従来と同様 $q(\eta) \sim \epsilon$ 、および $p(\eta) \sim \epsilon$ 曲線の最大曲率点を降伏応力点とした。¹³⁾低圧域では高圧域ほど最大曲率点が明瞭でないため、処女供試体の応力ひずみ曲線を基準にして、上述の各曲線からおおむね最大曲率点と考えられる点を求め、降伏応力点とした。ここに、 $q = (\sigma_1 - \sigma_3)$, $\epsilon = 2(\epsilon_1 - \epsilon_3)/3$ である。

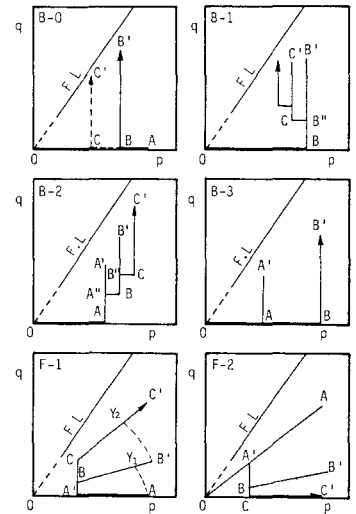


図1 各種の多段的応力径路試験

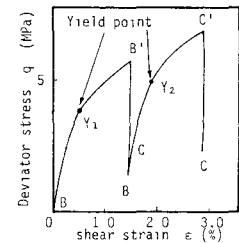


図2 代表的な q と ϵ の関係

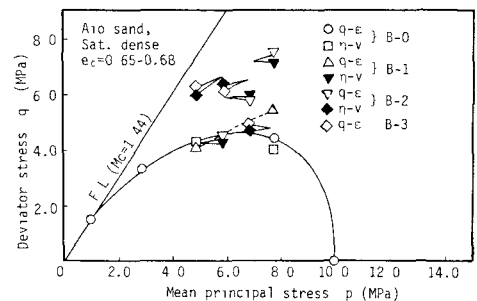


図3 Bタイプの試験より求めた降伏曲線の切片群

3. 降伏曲線の特性

3.1 実験結果

降伏曲線は、従来と同様の方法で定めた。¹⁾⁻³⁾ 図1のF-1タイプの代表的な試験結果を図2に示す。図2より降伏点 Y_1, Y_2 を見出し、 $p \sim q$ 図上で線分 AY_1, BY_2 を引く。これが降伏曲線の一部を与える。図3は、Bタイプの p -一定型多段応力径路の試験を高圧域において行って求めた降伏曲線の切片群を示している。また図4は、Fタイプの η -一定型試験より求めた降伏曲線群である。両図より密詰め供試体においても、従来の結果同様、上述したような種々の曲線から求めた降伏点は、ほぼ一致している。¹³⁾ ただし、低圧域におけるBタイプの試験では、せん断過程における体積膨張により、 p (η) $\sim v$ 曲線から降伏点を求めるのが困難な場合があった。

3.2 各応力径路下における降伏曲線群の特性

実験より求めた降伏曲線の勾配 dq/dp と η の関係を応力径路、拘束圧別に整理したものを図5に示す。これらの図より、応力径路さえ規定すれば、密な砂においても、降伏曲線の勾配 dq/dp と η の間にユニークな関係が存在することがわかる。次に図5より得た $dq/dp \sim \eta$ 関係を数値積分して、各応力径路・拘束圧ごとに降伏曲線の形状を描いたのが図6である。¹⁾ この図より、Bタイプの p -一定型試験より得られた降伏曲線の形状は、低圧域と高圧域で多少異なり拘束圧依存性を示すが、応力域を限定すると、応力径路依存性は見られないことがわかる。またFタイプの η -一定型から得られた降伏曲線の形状は、拘束圧依存性・応力径路依存性はほとんど見られず、降伏曲線は低圧域、高圧域に関係なくユニークに決定される。 η -一定型試験より得られる降伏曲線の特性は、高圧域における p -一定型試験のそれと非常によく似ており、少なくとも高圧域においては、密な砂に関しても、降伏曲線は応力径路に無関係にユニークに決定できるという従来の結果をおおむね満足していると考えられる。

謝辞 本研究を進めるにあたり御助言をいただいた佐賀大学三浦哲彦教授ならびに実験に協力していただいた村崎慎一君（九州大学大学院）に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Miura, N., Yasufuku, N. & Yamamoto, T.: Tech. Repts of the Yamaguchi Univ., Vol. 3 (1982)
- 2) Miura, N., Murata, H. & Yasufuku, N.: S&F, Vol. 24 (1984)
- 3) 三浦、山本: 土木学会論文集 No. 326 (1982)
- 4) Poorooshasb et al.: Can. Geotech. Jour. Vol. 4 (1967)
- 5) Tatsuoka, F. & Ishihara, K.: S & F, Vol. 14 (1974)

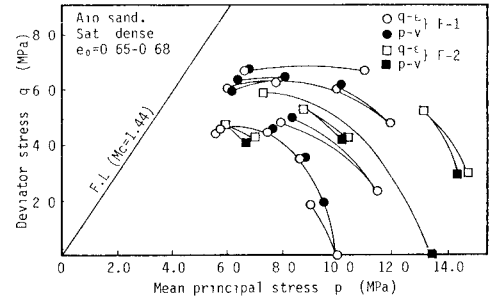


図4 Fタイプの試験より求めた降伏曲線の切片群

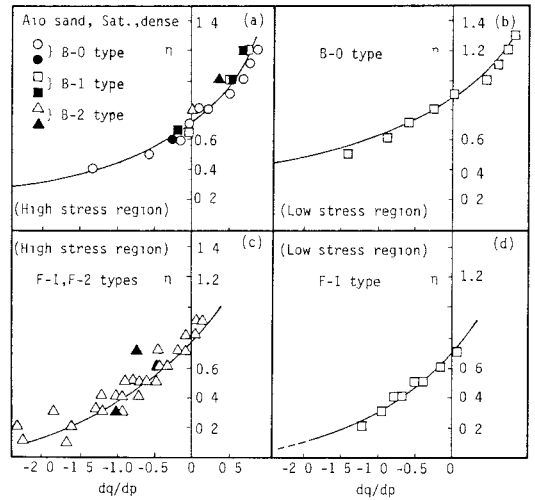


図5 降伏曲線の $dq/dp \sim \eta$ の特性

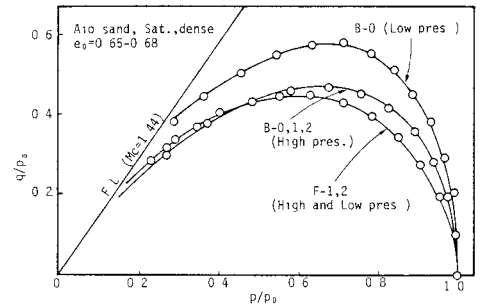


図6 数値積分による正規化降伏曲線の形状