

III-353 平面ひずみ圧縮試験によるSilver Leighton Buzzard砂の低拘束圧下での変形・強度特性

東京大学大学院 学生員 ○朴 春植 マックス(株) 神明 進
 東京大学生産技術研究所 正員 龍岡 文夫

はじめに: 豊浦砂の平面ひずみ圧縮試験での内部摩擦角 ϕ_{max} の拘束圧依存性は、 $\sigma_3=0.5\text{kgf/cm}^2$ 以下では殆どない。又、豊浦砂の単調載荷での変形特性に及ぼす拘束圧の影響、ひずみレベル依存性はある程度判明している。これらの法則性が他の種類の砂にもあてはまるものなのかを調べるため、英国のsilver Leighton Buzzard sand (L.B. 砂)を用いて平面ひずみ圧縮試験を行った。

実験方法: 供試体は高さ20cm、幅7.5cm、長さ16cmである。モールド内に空気乾燥L.B. 砂を空中落下させて作製し、一定の負圧で拘束圧を与え、軸変位0.25mm/minでせん断を行った。軸ひずみはLDTによりbedding errorを含まないように局所測定を行った。 ε_3 はギャップセンサーを8個用いて直接測定した。供試体内にせん断層が発生して来ると、この方法では供試体の平均側方ひずみを正確に求められなくなる。本研究では図-1に示すように、ピーク後は体積ひずみ ε_v は一定と仮定して ε_3 を逆算した。

強度特性: 図-1に各拘束圧における応力・ひずみ関係のまとめた。拘束圧が高くなると内部摩擦角 $\phi_{max}=\arcsin\{(\sigma_1-\sigma_3)/(\sigma_1+\sigma_3)\}$ は若干減少してゆく。 ϕ_{max} を拘束圧に対してプロットしたものが図-2である。ここに示している ϕ_{max} は、すべて初期間隙比 $e_{0.05}=0.52$ に対して補正し、供試体中央面に対して応力補正したものである。図中のグリースの種類は、供試体上下面での端面摩擦軽減層に用いたグリースを示す。 $\sigma_3\leq 0.80\text{kgf/cm}^2$ の範囲で若干の ϕ_{max} の拘束圧依存性が見られる。図-3は、 $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ と σ_3 の関係を示している。この結果から、切片 $f_0=0.0797$ 、傾き $m_0=4.9787$ を得る。これを、 $\sin\phi=m_0/(2+m_0)$ 、 $c=f_0/2(1+m_0)^{1/2}$ に代入すれば、 $\phi=45.5^\circ$ 、 $c=0.0163\text{kgf/cm}^2$ を得る。しかし、この c は見かけのものであり、 σ_3 がゼロの時の実際の粘着力はゼロであると考えられる。図-4は、Bolton (1986) が、各種の砂の ϕ_{max} の拘束圧依存性をまとめたものに今回のデータをプロットしたものである。Boltonの経験式では ϕ_{max} の変化量、即ち、 $\Delta\phi_{max}=\log p$ (p は平均主応力)の n 乗に比例するとしている。この n を比較する。その結果、Boltonの経験式から求めた密なL.B. 砂の場合は $n=-10$ 、ゆるい場合は -8.1 、今回の実験では -2.3 である。Boltonの経験式から求めた n の絶対値が、今回の実験結果から求めた絶対値より明らかに大きい。従って、Boltonの経験式を $\sigma_3\leq 0.80\text{kgf/cm}^2$ に適用すると、 σ_3 が小さいほど ϕ_{max} 値を過大評価する。一方で今回で行った拘束圧の範囲では、L.B. 砂の ϕ_{max} は豊浦砂より拘束圧依存性が若干大きいと言える。これは、L.B. 砂と豊浦砂は同じquartzが主体であるが、L.B. 砂は粒子が豊浦砂より約3.8倍大きくやや粗砂であるので、粒子間力 p の作用する接触面が豊浦砂のような細砂より大きい。これが原因であろうが、詳しいメカニズムは不明である。

微小ひずみレベルでの応力・ひずみ関係: 図-5は、各拘束圧におけるせん断ひずみ γ に対する G_{sec} の変化をプロットした結果である。次に、各拘束圧の試験について各ひずみにおける G_{sec} を求め、この $\log G_{sec}\sim\log\sigma_3$ 関係を最小自乗法で直線近似をして、その傾きをべき m で表した。そのせん断ひずみと m との関係を表したのが、図-6である。 $10^{-6}\sim 10^{-5}$ のデータは範囲で表した。これより、 m がひずみの増加とともに増加することから、拘束圧が低くなるほど G_{sec} のひずみレベル依存性が大きくなることが分かる。この結果は、小型平面ひずみ圧縮試験での空気乾燥豊浦砂の結果(安部、1989)と、小名浜砂を用いた空気乾燥空中落下供試体、不飽和締固め供試体の動的中空ねじり試験での結果(Kongら、1986)、同じ空気乾燥浜岡砂の結果(加藤、1990)、豊浦砂の中空供試体を用いた共振法土質試験及び中空供試体を準静的にねじり単純せん断した試験の結果(Iwasakiら、1978)と同じであることが分かった。この図を見ると、ひずみレベル 10^{-6} 以下ではあまり変化していないことが分かる。しかし、L.B. 砂の場合はひずみレベル 10^{-6} 以上では、ひずみの増加による m の変化率は豊浦砂の場合よりも大きい。これは、L.B. 砂の拘束圧 $\sigma_3=0.05\text{kgf/cm}^2$ の時の割線せん断剛性率 G_{sec} の減少の仕方が、他の拘束圧の場合より特に大きくなったことに要因があると考えられる。

まとめ: (1)L.B. 砂の場合、内部摩擦角 ϕ_{max} の $\sigma_3\leq 0.80\text{kgf/cm}^2$ での拘束圧依存性は、豊浦砂よりもやや大きく見かけの粘着力があるように見える。しかし、その変化は緩やかであることが分かった。(2)L.B. 砂における剛性

率のひずみレベル依存性に対する応力レベルが及ぼす影響を知ることができた。即ち、拘束圧が小さくなるほど剛性率のひずみレベル依存性が大きくなることが分かった。

参考文献：(1)朴春植(1990)：“平面ひずみ状態での砂の変形・強度特性の異方性” 東京大学大学院修士論文。(2)安部文洋(1989)：“微小ひずみレベルにおける平面ひずみ圧縮での砂の変形特性” 東京大学大学院修士論文。(3)Bolton, M.D.(1986)：“The strength and dilatancy of sands,” *Geotechnique* 36, No.1, 65~78。(4)Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Takagi, Y.(1978)：“Shear moduli of sands under cyclic torsional shear loading,” *Soils and Foundations*, Vol.18, No.1, pp.39~58。(5)Kong, Pradan, 龍岡, 田村(1986)：“極低圧下での砂の動的変形特性Ⅱ,” *生産研究*, Vol.38, No.2, pp.24~27。(6)加藤, 若狭, スポット, 龍岡, 村田, 館山(1990)：“砂の低拘束圧繰返しねじりせん断変形特性” 土質工学会, 岡山

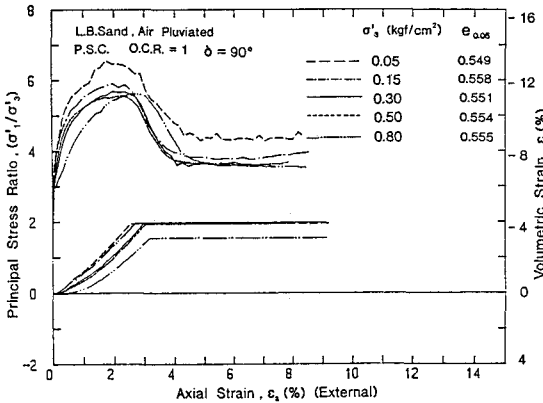


図-1 応力・ひずみ関係

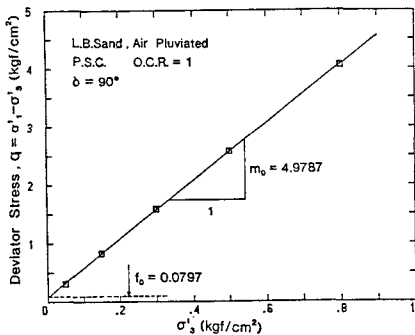


図-3 (σ₁ - σ₃)ₘₐₓ と σ₃ の関係

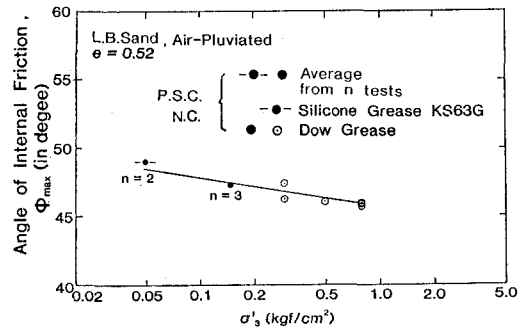


図-2 拘束圧に対する φₘₐₓ の関係

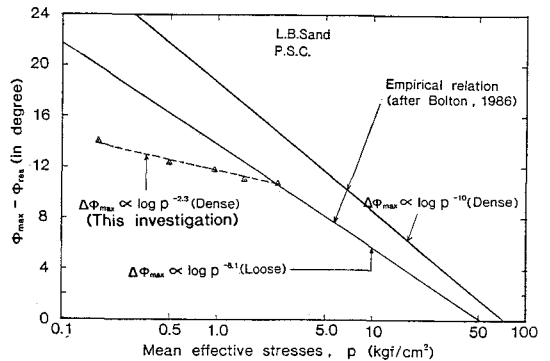


図-4 Boltonの経験式との比較

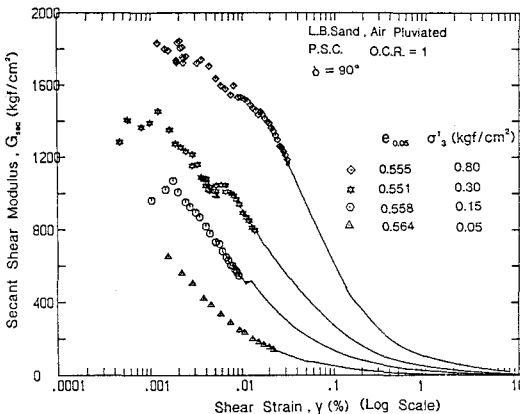


図-5 各拘束圧における γ に対する Gₛₑ の変化

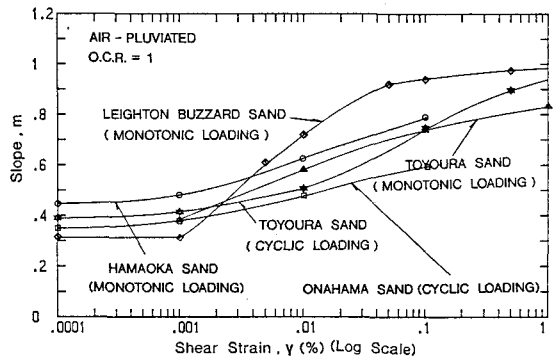


図-6 各実験における γ と m の関係