

砂の強度異方性に与える拘束圧の影響

山口大学工学部 正 員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一
山口大学大学院 学生員 ○足立 剛 児玉 信

1.はじめに 主応力の作用方向に着目した研究は従来から多く行われており、主応力の作用方向によって応力ひずみ挙動が異なることが明らかにされている。これらの研究¹⁾²⁾の多くは、500kPa 以下の比較的低い拘束圧におけるものであった。しかしながら、自然地盤は地表面付近の低拘束圧から構造物直下における高拘束圧まで広範囲におよんでいる。そこで本研究では、30kPa から 4MPa までの広範囲の拘束圧域において初期構造異方性を有する砂に対して三軸圧縮実験を行い、砂の強度異方性に与える拘束圧の影響について検討するものである。加えて等方および異方圧密試験を行い砂の強度異方性との関連性についての検討も行った。

2.試料および実験方法 用いた試料は秋穂砂 ($G_s=2.63$, $e_{\max}=0.96$, $e_{\min}=0.58$) である。まず、気乾状態の試料をプラスチック製の容器 (28×18×19cm) に相対密度 $Dr=70\%$ を目標として多重ふるいを用いて空中落下させる。その後、浸水、脱水、凍結させることによって試料ブロックを作成する。この試料ブロックから、三軸供試体の水平面と堆積面 (試料作成時の水平面) とのなす角 $\delta=0^\circ$ および $\delta=90^\circ$ の2種類の円柱型供試体をダイヤモンドソーとコアビットを用いて作成する (図-1 参照)。実験は、この2つの供試体に対して30kPa から 4MPa までの広範囲の拘束圧域において側圧一定排水三軸圧縮試験と応力比一定の等方および異方圧密試験を行った。

3.実験結果と考察 図-2 は、拘束圧の増加に伴う強度の変化を明らかにするため、各実験におけるピーク時の応力状態から求めたセカントアングル ϕ_s と p の関係を示したものである。図中にダイレイタンスー増分が 0 となる応力状態 $\phi_M=34.6^\circ$ の値も示している。いずれの δ の結果についても、拘束圧の増加に伴い強度が低下していることがわかる。また、 $\delta=0^\circ$ と $\delta=90^\circ$ の ϕ_s の差は、 $p=0.1\text{MPa}$ 程度までは約 6° であるが、 $p=4\text{MPa}$ 以上の結果では 0 となっていることもわかる。

図-3 は、図-2 における $\phi_s (\delta=90^\circ)$ を $\phi_s (\delta=0^\circ)$ で除したものと p の関係を示したものである。 $\phi_s (\delta=90^\circ) / \phi_s (\delta=0^\circ)$ は、 $p=0.2\text{MPa}$ 以下では 0.9 程度となり、龍岡、朴ら³⁾の豊浦砂の結果とほぼ同じ値を示している。また、 $\phi_s (\delta=90^\circ) / \phi_s (\delta=0^\circ)$ は $p=0.2\text{MPa}$ から徐々に増加し $p=4\text{MPa}$ 付近で 1.0 程度になっていることがわかる。加えて、セカントアングル ϕ_s は、 δ によらず $p=0.2\text{MPa}$ から $p=4\text{MPa}$ の間で低下し、強度異方性の変化と類似の傾向を示していることがわかる。

図-4(a)は、 $\delta=0^\circ$ の供試体に対して行った $\eta=0.0, 0.5, 1.0$ 一定の圧密試験結果について、間隙比 e と $\log p$ との

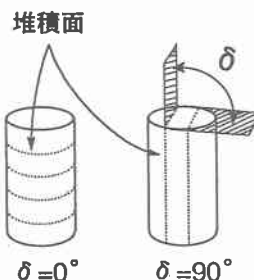


図-1 $\delta=0^\circ$ および $\delta=90^\circ$ の供試体

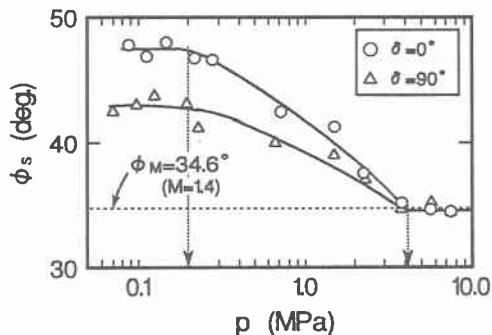


図-2 $\phi_s - p$ 関係

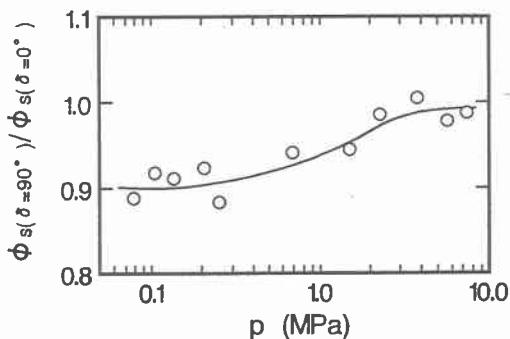


図-3 $\phi_s (\delta=90^\circ) / \phi_s (\delta=0^\circ) - p$ の関係

関係を示したものである。図中には図-4(b)の方法で求めた折れ曲がり点 p_y を各 η に対して矢印で示している。いずれの $e-\log p$ 曲線においても、ある p から勾配が急増していることがわかる。その $e-\log p$ 曲線に現れる p_y は、 $\eta=0.0$ で 3MPa、 $\eta=0.5$ で 2.6MPa、 $\eta=1.0$ で 1.9MPa となり η の増加に伴い減少していることがわかる。

図-5 は、 $\delta=0^\circ$ と $\delta=90^\circ$ 両供試体から得られた p_y の応力状態を $p-q$ 空間に示したものである。図中には、(1)式で表される全仕事量 W と $\log p$ の関係および(2)式で表される状態量 κ と $\log p$ の関係から得られる p_y の応力状態も示している。また、 p_y の値を(3)式で示される修正 Cam-clay モデルの降伏曲面で近似した曲面も図示している。

$$W = \int dW = \int (pd\epsilon_v + qd\epsilon_s) \quad (1)$$

$$\kappa = W/p \quad (2)$$

$$f = p^2 - pp_0 + q^2/M^2 = 0 \quad (3)$$

加えて、各三軸試験結果から得られたピーク時の応力状態のプロットを結んだ曲線（以後ピーク応力線と称する）と、ダイレイタンス増分が 0 の応力状態に対応する $M=1.4$ の直線を示している。これらの p_y の結果は、幅を持ってプロットされているものの降伏曲面と類似の形状をしている。また、図-4(b)に示す方法で求めた p_{yI} や p_{yII} の応力状態も示しているが、 p_{yII} についても p_y 同様な傾向を示していることがわかる。この図から、 p_{yII} を近似する降伏曲面とピーク応力線が交わる応力点は、 $p=4\text{MPa}$ 付近であり、 ϕ_s が ϕ_m と一致する応力状態、そして、強度異方性が消失の応力状態にほぼ一致していることがわかる。今回用いた p_y に関連するパラメーターは、曲線を 2 直線で近似することなどから客観性に欠ける点があるものの、降伏曲面を通して強度異方性の変化との対応が認められたことを考慮すると、強度の拘束圧依存性を論議する上で有用性の高いパラメーターであると言える。

4. あとがき 本研究では、30kPa から 4MPa までの拘束圧域において実験を行い、砂の強度異方性について検討した。その結果、広範囲の拘束圧域において、強度異方性の程度が一定である領域、減少する領域、消失する領域とが存在することが明らかになった。

<参考文献> (1) Oda, M. (1979): "Initial fabrics and relations to mechanical properties of granular material," Soil and Foundations, Vol. 12, No. 1, pp17-36 (2) Lam, W. K. and Tatsuoka, F. (1988): Effects of initial anisotropic fabric and σ_2 on strength and deformation characteristics of sand, Soils and Foundation, Vol. 28, No. 1, pp89-106 (3) 砂の変形、強度特性の異方性 I, -要素試験における強度異方性-, 土と基礎, 講座「地盤の異方性」, Vol. 41, No. 7, pp79-87, 1993

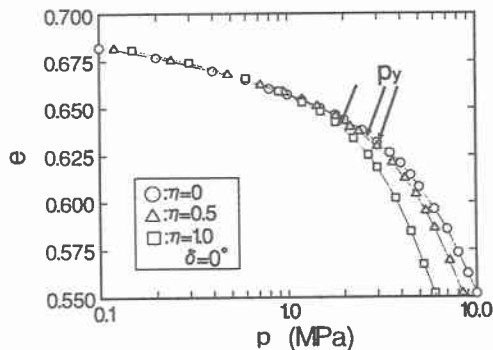


図-4(a) $e-\log p$ 関係

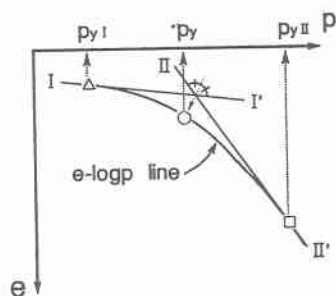


図-4(b) p_y の決定方法

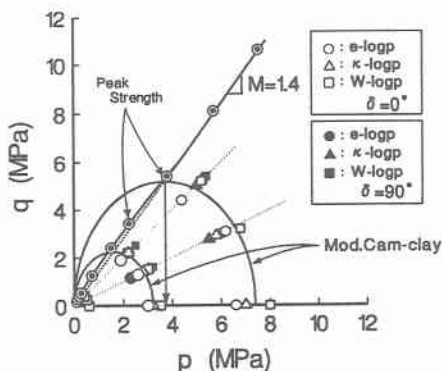


図-5 $p-q$ 空間における p_y の応力状態