

異方圧密砂の降伏特性について

山口大学大学院○学生員 小西義夫 山口大学工学部 正員 兵動正幸
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

1. まえがき

弾塑性モデルを用いて、砂の応力ひずみ関係を精度よく予測するためには、硬化関数及び塑性ポテンシャル関数とともに降伏関数が明確に定義されなければならない。一般に降伏曲線はせん断履歴依存性を示すとされているが、それを実験の見地から定量的に評価した例はみられない。そこで本研究では、このような見地から異方圧密を受けた砂の降伏曲線の特性を、せん断履歴に注目して明らかにしようとするものである。

2. 試料及び実験方法

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である（以下秋穂砂と称す）。その主な指数的性質は次の通りである。土粒子比重 $G_s=2.65$ 、初期密度 $1.58\sim 1.62$ (g/cm³)、初期間隙比 $0.64\sim 0.68$ 、相対密度 $81.1\sim 89.8$ (%)。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。目標とした供試体の直径及び高さはそれぞれ5.0cm, 12.0cmである。上述の供試体を用いて、異方圧密を受けた砂を対象に多段的三軸試験を実施した。

多段的応力径路試験 本研究では、図1のa)～d)に示すように、B点まで異方圧密後、それぞれの応力径路下で、せん断試験を行った。ここで異方圧密は、 K_0 圧密に近い応力比($\eta=0.8$)を想定して行った。図1に示す様にTypeE-1～E-3は、最初に $\eta=0.8$ の応力比でB点まで異方圧密を行い、各々異なった方向に、十分塑性変形が生じるまでせん断履歴を与える。その後、B点まで除荷し1～10の各応力径路でせん断試験を行った。TypeE-4は、 $\eta=-0.8$ の応力径路に沿ってE-4点まで異方圧密を行う。その後C点まで除荷し、1～7の各せん断試験を行った。実験はすべて応力制御方式で行い、その具体的な方法は、参考文献1)に詳しい。以上のような試験を行うことにより、図1中のE-1～E-4に対応する降伏曲線の形状を調べた。ここで、 $\eta=q/p$ である。**降伏応力の決定方法**¹⁾ 降伏応力を定めるために、本研究では $\eta-\kappa$ 関係を適用した。すなわち、基本的には実験で得られた $\eta-\kappa$ 曲線の最大曲率点と考えられるところを降伏応力点とした。ここで W は全仕事、 κ は諸戸らの示した状態量²⁾で、 W を p で除し正規化したものであり次式で表される。(図2参照)

$$\kappa = \int dW/p = \int dv + \eta d\epsilon \quad (1)$$

3. 降伏曲線の形状

図3a)～d)は、それぞれ図2に示したE-1, E-2, E-3, E-4点に対応する降伏曲線の形状を示したものである。図3に示す様に異方圧密を受けた降伏曲線は、まず p 軸を軸として異方圧密径路方向に傾いた円形の形状をしている。また、せん断履歴を受けた方向に降伏曲線が若干移動した形状を呈していることもうかがえる。図c), d)において、E-3, E-4点は同じ応力状態にもかかわらず降伏曲線の形状は著しく異なるものとなった。このことから降伏曲線の形状は、特に異方圧密径路の方向に大きく依存したものであることが理解できる。

4. 降伏曲線の特性

せん断履歴を受けた降伏曲線の特性 実験的に求めた降伏曲線(図3)の勾配 dq/dp を求め、その点の応力比 η との関係で整理したのが図4である。これらの曲線は、 $dq/dp=-\infty, \infty$ となる $\eta_{01}\sim\eta_{04}$ を漸近線とする双曲線として近似できそうである。図4から、 $dq/dp=0$ となる η の値が圧縮側に異方圧密を受けたTypeE-1, E-2, E-3では概ね近い値となっているが、伸張側に異方圧密を受けたTypeE-4では、TypeE-1, E-2, E-3に比べてかなり低い値をとることがわかる。また、 $dq/dp=-\infty, \infty$ となる η_0 の値がTypeE-1～E-4で、 $\eta_{01} > \eta_{02} > \eta_{03} > \eta_{04}$ となる。これらのことから降伏曲線の特性は、異方圧密径路とせん断履歴に依存することが理解できる。**等状態量曲線と降伏曲線の比較** 図5では、式(1)で示した状態量 κ に基づき得られた等状態量曲線と、実験的に求めた降伏曲線(図3)を正規化して比較したものである。この図から等状態量曲線の形状は、せん断履歴依存性を示すだけでなく、降伏曲線の形状におおむね対応していることがわかる。このことは、降伏曲線が異方圧密径路や、せん断径路履歴依存性を有することを間接的に示すものであり、等状態量曲線を描けば近似的に降伏曲面の決定が可能であることを示すものである。また、誘導異方性を取り入れた構成則を検討する上で、このような状態量がひとつの硬化パラメーターとして利用できることを示唆している。

参考文献 1)村田・兵動・安福：低・高圧下における密な砂の降伏特性，土木学会論文集，No. 382, pp. 183～192, 1987. 2)諸戸・河上：砂の変形における状態関数，土質工学論文集，No. 229, pp. 77～86, 1974.

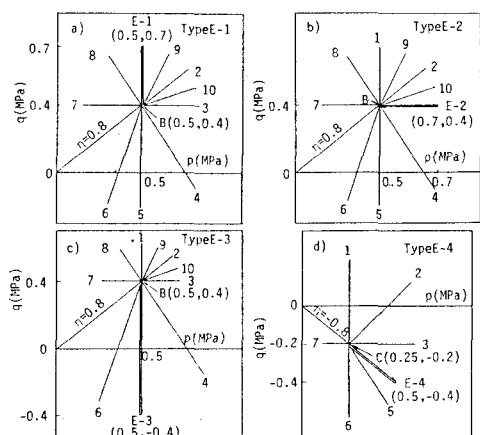


図 1 各試験の応力経路

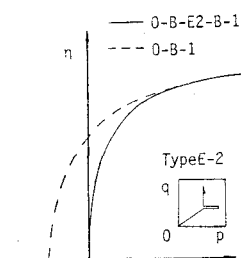


図 2 降伏点決定方法

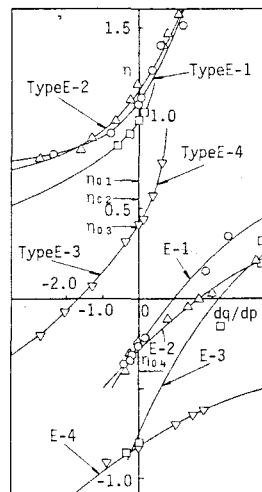


図 4 各種 $dq/dp - \eta$ 特性

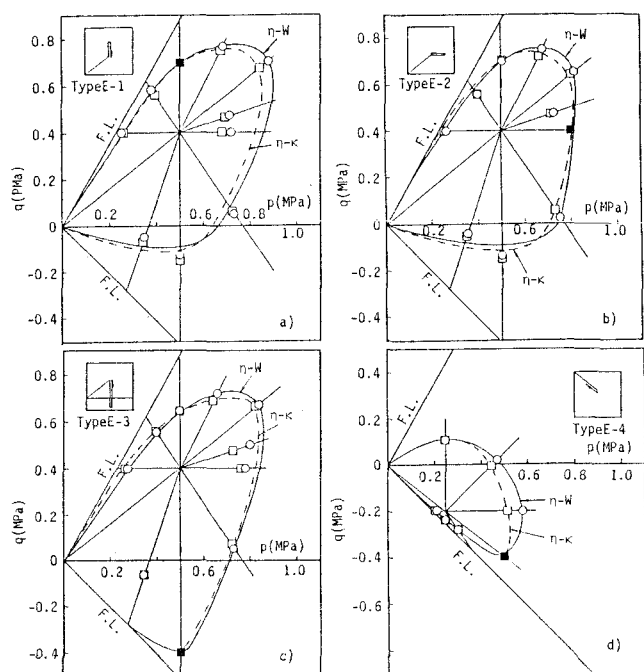


図 3 各種降伏曲線の形状

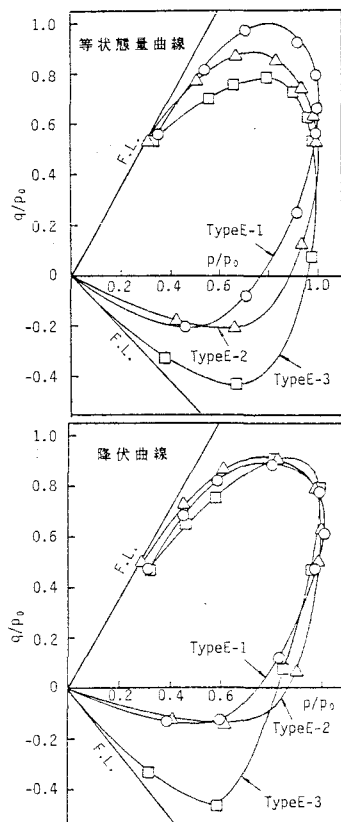


図 5 正規化した等状態量曲線と降伏曲線の形状