

III-270

せん断履歴を受けた異方圧縮砂の降伏特性について

山口大学工学部 ○正員 安福規之 正員 村田秀一 正員 兵動正幸

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、硬化特性、ストレスダイレタンシー特性と共に降伏特性が明確に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、それを実験的見地から評価した例は少ないようである。そこで本研究ではこのような見地から、異方圧縮を受けた砂の降伏曲線の特性を、圧縮後の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 $2.0\text{mm}\sim 74\mu\text{m}$ に粒度調整した海砂である。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 $1.58\sim 1.62(\text{g}/\text{cm}^3)$, 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、異方圧縮後、せん断履歴を与え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点まで異方圧縮後、それぞれの応力径路下でせん断試験を行った。ここで異方圧縮は、 K_0 値に近い応力比($\eta=0.8$)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点まで異方圧縮を行い、E-1~E-3の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の各応力径路で再び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点まで異方圧縮を行う。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点に対応する降伏曲線の形状を調べた。ここで、 $\eta=q/p$, $p=(\sigma_0+2\sigma_r)/3$, $q=\sigma_0'-\sigma_r'$ 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 $\eta-\kappa$ ($=\int dv+\eta de$)関係を適用した。経験的ではあるが、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(図2参照)。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る。

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に示す様に異方圧縮を受けた降伏曲線は、1) p 軸を軸として異方圧縮径路方向に傾いたキャップ型の形状であること、また図a)~c)を比較した場合、2) 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がうかがえる。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り、降伏曲線の異方圧縮径路依存性の著しいことが理解できる。

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、 $dq/dp=\infty$ 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、伸張側に異方圧縮を受けたTypeE-4では、 $dq/dp=0$ となる η の値が圧縮側に異方圧縮を受けたTypeE-1, E-2, E-3に比べてかなり異なることや、 $dq/dp=\infty$ となる η_0 の値がTypeE-1~E-4で、 $\eta_{01}>\eta_{02}>\eta_{03}>\eta_{04}$ となることなどがわかる。これらのことから降伏曲線の特性は、異方圧縮径路はもちろんせん断履歴にも依存して変化することが理解できる。

等 ψ 曲線と降伏曲線の比較 図5は、図中に示すパラメータ ψ を用いて描いたE-2タイプ試験の代表的な等 ψ 曲線である。等 ψ 曲線は、 p - q 空間において相似的に広がり、またその形状は降伏曲線のそれと類似したものとなっている。図6は、E-1, E-2, E-3タイプの試験から得られる等 ψ 曲線と降伏曲線を正規化し比較検討したものである。この図から、等 ψ 曲線と降伏曲線との対応は比較的良好、等 ψ 曲線を用いれば降伏曲線の特性をうまく評価できそうである。また、このことは、誘導異方性を取り入れた構成則を検討する上で、このようなパラメータが硬化パラメーターとして有効であることを示唆している。最後に、本研究において実験を熱心に行ってくれた卒論生小西義夫君(現・山大学院)と大木公明君(現・宇部市)に感謝致します。

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.

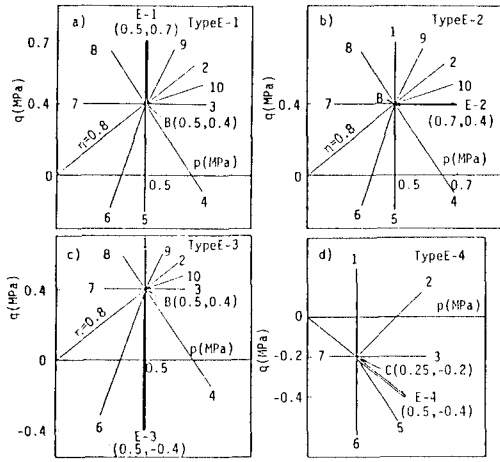


図1 各試験の応力経路

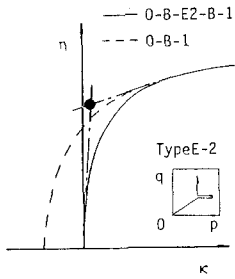


図2 降伏応力の決定方法

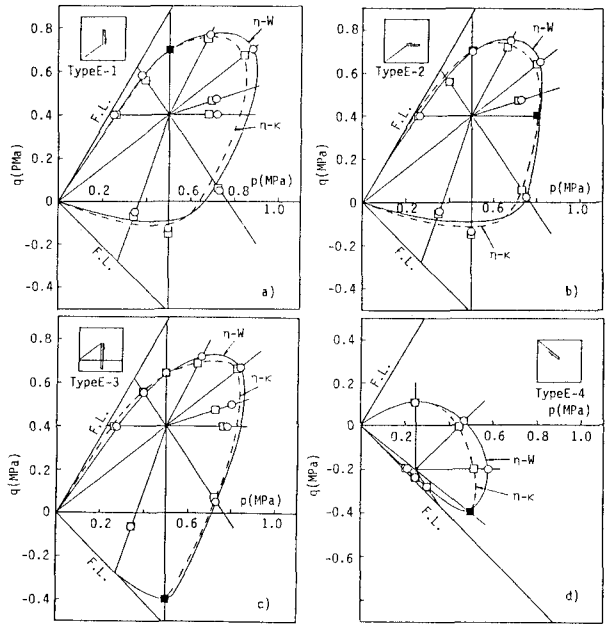


図3 各タイプの試験から得られた降伏曲線の形状

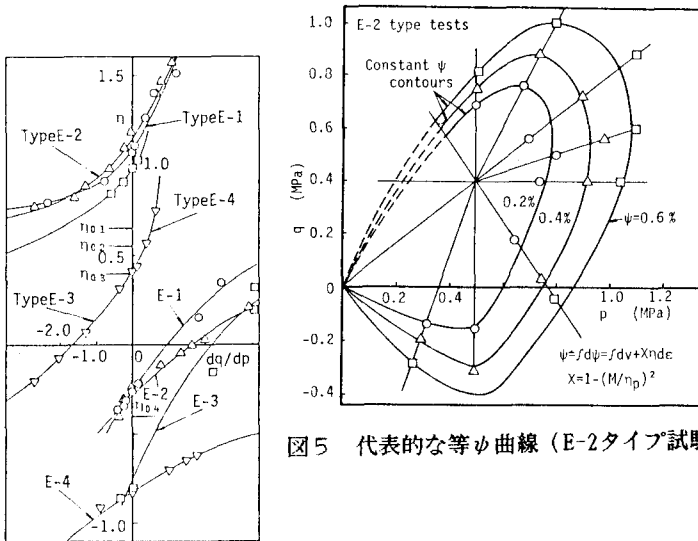


図4 降伏特性の比較

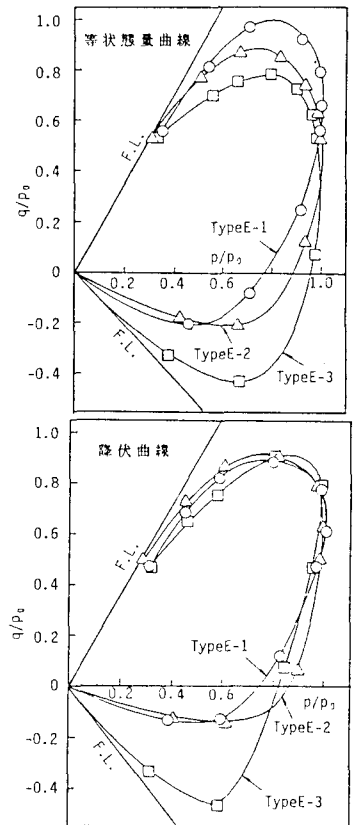


図6 等ψ曲線と降伏曲線の比較