

固有異方性を有する砂の繰返しせん断変形特性について

東北大学 工学部 (学) 北村健太郎 (正) 柳沢栄司
東北大学 大学院 (学) 大花博重

[1] まえがき 本研究では、大型中空ねじりせん断装置を用い、自然地盤の異方性を再現するように作った固有異方性を有する砂の供試体に対し、最大主応力軸を固定した幾つかの応力経路による繰返しせん断試験を行った。そして繰返し載荷条件が砂のせん断強度、及び変形特性にどのような影響を及ぼすか、またその異方性の影響はどのように現われるのかを実験的に調べた。

[2] 試料及び実験方法 実験には大型中空ねじりせん断装置を用いた。供試体は外径25cm、内径20cm、高さ25cmであり、大きな中空円筒供試体を用いることにより、半径方向のせん断応力とせん断ひずみの不均一性を小さくしている⁽¹⁾。試料は豊浦標準砂($G_s=2.65$, $e_{max}=0.969$, $e_{min}=0.614$)を用い、供試体は多重ふるい落下法⁽²⁾により作成した固有異方性を有するもので、相対密度は73±2.5%の範囲にある。

供試体の鉛直方向、半径方向、円周方向の直応力、及びねじりにより生じるせん断応力をそれぞれ σ_v , σ_r , σ_θ , $\tau_{v\theta}$ とし、それぞれに対応する繰ひずみ、及びせん断ひずみを ϵ_v , ϵ_r , ϵ_θ , $\gamma_{v\theta}$ とする。

供試体はCO₂、脱気水を通して飽和させた後背圧2.00kgf/cm²を与え、等方圧縮して拘束圧を2.30kgf/cm²から3.00kgf/cm²にし、2時間以上圧密した。せん断は、平均主応力 $P=1.0\text{kgf/cm}^2=\text{constant}$ のもと応力制御で排水状態で行った。 β は図-1に示すように、鉛直方向と最大主応力方向のなす角である。また中間主応力の相対的な大きさを示すパラメータ $b=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)$ は $b=0.5=\text{constant}$ に固定されている。図-2は $b=0.5$ の時のモールの応力円を示している。

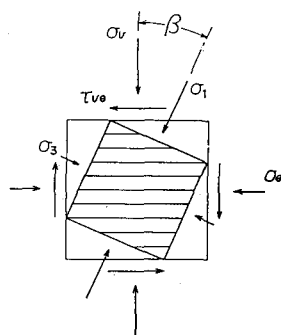


図-1 主応力と堆積面

実験に用いた応力経路は図-3に示すように、初期載荷方向と鉛直軸のなす角 β を0°から90°まで15°間隔で固定した1回繰返しせん断を7経路(Type-a)、さらに β を0°と45°に固定した7回1/4繰返しせん断を2経路(Type-b, c)の計9経路である。なお、全ての実験において繰返し振幅は $\sin\phi=0.4$ である。また比較のために、図-4に示すような β が0°から90°までの15°間隔で、7経路の単調載荷試験の結果を用いた。

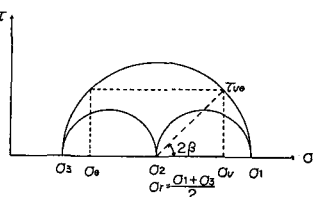
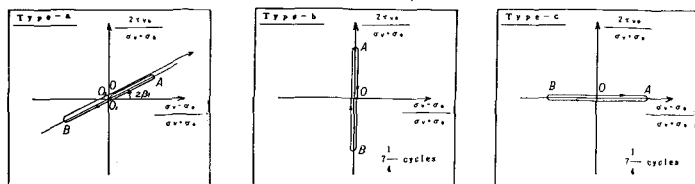


図-2 モールの応力円

[3] 実験結果 まず、Type-aの繰返し載荷と単調載荷の各経路に対して、せん断強度曲線を示したのが図-5である。ここで、せん断強度は最大せん断ひずみ6%に対する応力比 $\sin\phi$ と定義している。2つの曲線形状はほぼ相似であり、繰返しによっても固有異方性は失われないことがこの図よりわかる。しかしせん断強度に関しては、繰返しによる若干の強度低下が見



1回繰返しせん断

単調せん断繰返し

三軸圧縮伸張繰返し

図-3 応力経路図

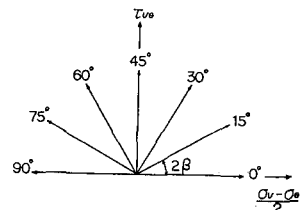


図-4 偏差応力平面上での応力経路

られた。これは Arthur⁽⁴⁾の誘導異方性は強度には影響を及ぼさないという研究結果とは異なる結果となった。

図-6は偏差応力平面に Type-2 の繰返し載荷における1回繰返し後の等せん断ひずみ線と、各最大主応力方向ごとのひずみ増分ベクトルを示したものである。等せん断ひずみ線は全体的に固有異方性の影響により $(\varepsilon_v - \varepsilon_h)/2 \geq 0$ 、つまり圧縮側に大きく膨らんでいる。ひずみ増分ベクトルは各径路において、主応力方向 $\beta = 45^\circ$ と $\beta = 60^\circ$ の間の方向に各主応力方向から偏差していることがわかる。また、 $\beta = 75^\circ$ の径路においてひずみ増分量が最大になっていることもわかる。

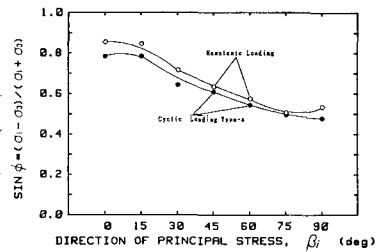


図-5

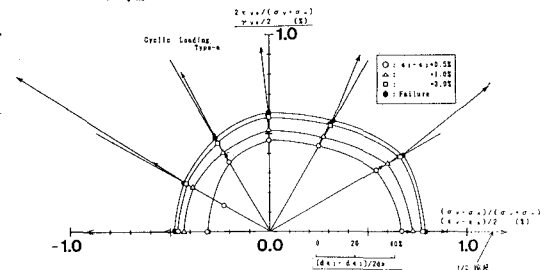


図-6

次に、Type-b と Type-c の繰返し載荷による応力-体積ひずみ関係を示したのが図-7, 8 である。繰返し載荷の初期においてひずみが収縮方向へ大きく生じるが、2回目以降の繰返しではひずみの生じたが次第に小さくなっていること、また繰返しにより体積ひずみが収縮方向へ蓄積されていくこともわかる。Type-c の三軸繰返しよりも Type-b の単軸せん断繰返しの方が、ひずみの蓄積が大きいことは図-7, 8 の比較よりわかる。

最後に、図-9, 10 に単調載荷と Type-2 の1回繰返し後における応力-ダイレイタンス-関係を示す。図-9 の単調載荷では Rowe の最小エネルギー線⁽⁵⁾をはさんで両側に分かれているが、これは Rowe の研究結果ともほぼ一致している。

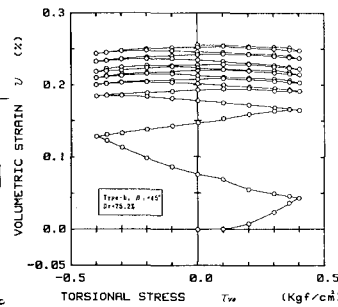


図-7

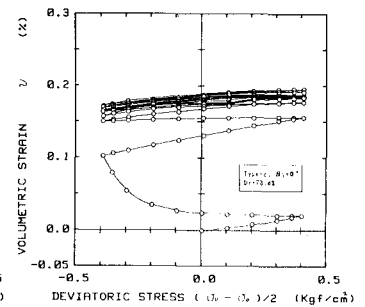


図-8

図-10の繰返し載荷においては、Rowe の最小エネルギー線⁽⁵⁾にはおいていないもののその傾きはほぼ同じとなっている。また主応力方向の違いによる差異はほとんど認められない。

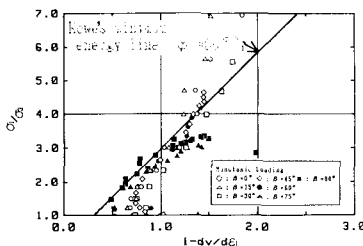


図-9

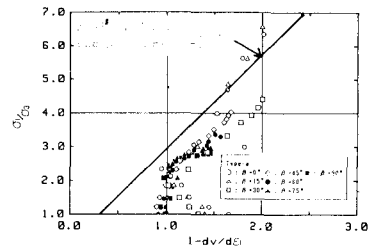


図-10

[4] まとめ

以上の結果より、繰返し荷重が加わった時の固有異方性を有する砂の変形挙

動の重要な特徴として、繰返しによる体積ひずみの蓄積が挙げられる。しかも、三軸圧縮伸張繰返しよりも単軸せん断繰返しの方が、ひずみの蓄積が大きい。つまりこの実験を非排水状態で行ったとすれば、単軸せん断繰返しの方がより過剰間隙水圧の上昇が大きく、液状化抵抗がかなり弱くなることがわかる。

[5] 参考文献

- (1) Hight et al (1983); Geotechnique Vol. 33 pp 355~383
- (2) Miura et al (1982); Soil and Foundation Vol. 22 No. 1 pp 61~77
- (3) 加藤・大花 (1987); 第42回土木学会年次学術講演要集
- (4) Arthur et al (1977); Geotechnique Vol. 27 pp 13~30
- (5) R.W. Rowe (1962); Proc. Royal Soc, London, Series A.