

III-106

応力履歴を受けた砂の変形特性に及ぼす主応力軸回転の影響

北海道大学大学院 学生員 島屋 進
北海道大学工学部 正会員 三浦 均也
北海道大学工学部 正会員 土岐 祥介
室蘭工業大学 正会員 三浦 清一

まえがき これまで主応力軸回転下における密詰め異方性砂の変形特性について報告してきたが¹⁾²⁾、ここではゆる詰め異方性砂の変形特性、特に応力履歴の影響について調べるために、主応力軸を固定したまません断応力を単調増加させて破壊に至らせる試験、及び、ある最大主応力軸方向の下でせん断し、等方状態に戻して履歴を与えた後、指定した最大主応力軸の方向の下でせん断応力を増加させて破壊に至らせる試験を行った。

試験方法 用いた試料は水洗い後、炉乾燥した豊浦標準砂（ $G_s=2.65$ ， $e_{max}=0.992$ ， $e_{min}=0.625$ ）で、多重ふるい落下法³⁾によって円筒供試体（高さ 200mm，内径 60mm，外径 100mm）を準備した。供試体密度は等方圧密完了時の相対密度がおおよそ $D_{rc}=50\%$ になるよう調節した。なおこのような方法によって作成した供試体は、砂粒子長軸が水平方向に卓越配列する強い初期異方構造を有している。中空円筒ねじりせん断試験装置にセットした供試体は $C\ O_2$ 、脱気水を通して飽和した後、196kPaのバックプレッシャーのもとで等方圧密（ $P_c'=196kPa$ ）した。用いた試験装置は排水条件のもとで軸力、トルク、および内セル、外セルの圧力を独立に制御でき、主応力値、主応力軸の方向は任意に定めることができる。また、変形については軸変位とねじり角に加えて内セルと供試体の体積変化を2つのビュレットを用いて測定し、メンブレン貫入を考慮して各ひずみを算定している。なお、最大主応力軸が鉛直軸となす角度を $2\alpha\sigma'$ と定義しており、応力及びひずみの定義は図-1及び既報⁴⁾⁵⁾を参照いただきたい。

本研究では2種類の試験を実施している。その一つは主応力軸を固定したまません断応力を単調増加させて破壊に至らせる試験で F test と称している。例えば $F\ 120^\circ$ test は最大主応力軸方向 $2\alpha\sigma'=120^\circ$ とする試験である。一方 J test はある最大主応力軸方向のもとで応力比 $(\sigma_1-\sigma_3)/(\sigma_1+\sigma_3)=\sin\phi=0.5$ までせん断した後、等方状態に戻して応力履歴を与え、再びせん断応力を指定した最大主応力軸の方向の下で増加させて破壊に至らせる試験である。例えば $J+90^\circ/150^\circ$ test とは $2\alpha\sigma'=90^\circ$ の方向に $\sin\phi=0.5$ までせん断し、等方状態に戻したあと $2\alpha\sigma'=150^\circ$ の方向にせん断し破壊に至らしめる試験である。なお各試験の応力経路は正規化応力面上で図-2に示ようになる。また各試験とも $p'=(\sigma_1'+\sigma_2'+\sigma_3')/3 \equiv 98kPa$ ， $b=(\sigma_2'-\sigma_3')/(\sigma_1'+\sigma_3') \equiv 0.5$ の条件が常に満たされている。

試験結果及び考察 図-3は F test から得られた応力比～せん断ひずみ関係を示している。破壊強度は図-4に示す ϕ_c で比較すると、密詰め砂で行った

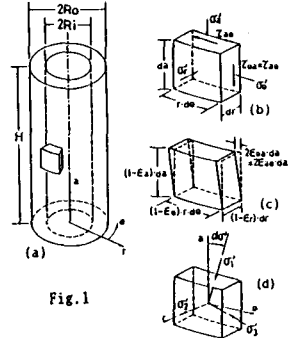


Fig. 1

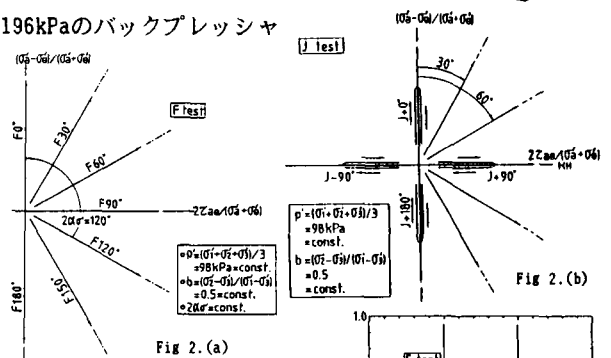


Fig 2. (a)

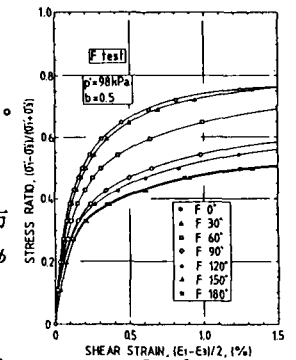


Fig. 3

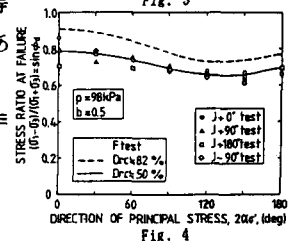


Fig. 4

試験結果と同様に^{1),6)}ゆる詰め供試体においても $2\alpha\sigma' = 120^\circ \sim 150^\circ$ で最小の強度を示している。またせん断ひずみの発生量も強度の最も小さいF150°testで最も大きくなっている。供試体の力学特性が等方的であれば図-3の応力比 $\sim$ ひずみ曲線は一本の線で表されるはずであり、MSP法で作成した供試体の持つ初期構造の影響⁶⁾が強く現れている。

図-5はF120°testおよび $2\alpha\sigma' = 120^\circ$ で破壊に至らしたJtestの履歴を与えた後の応力比 $\sim$ せん断ひずみ関係を示している。図から明らかなように履歴を与えた時の最大主応力軸方向と、それに引き続く載荷時の最大主応力軸方向との差が大きくなるにつれ、せん断初期においてひずみの発生量が大きくなっている。またこの最大主応力軸方向の差が大きくなると、Ftestよりも大きなひずみを発生するようになる。しかし、せん断初期においてこのように変形に違いが生じても破壊強度には差がなく、今回報告した実験条件では応力比 $\sin\phi = 0.5$ 程度の応力比では図-4に示すように破壊強度にまで影響を及ぼさないことが確認された。

図-6はFtest、およびJtestの履歴を与えた後のせん断過程における最大主応力軸方向とせん断ひずみ増分率との関係を示したものである(J-90°/A°testはJ+90°/A°testとして示してある)。これらの図から履歴を与えたときの最大主応力軸方向に対してはせん断初期に高い剛性を示すが、両者の主応力軸方向の差が大きくなるにつれて剛性は次第に低下し、ついにはFtestの剛性を下回るようになることが分かる。しかし応力比が高くなると初期に剛性の高いものほど急激に剛性を失っており、この傾向は履歴を受けた方向が伸張方向に近いほど顕著になるようである。

図-7はJ $\pm 90^\circ$ testの履歴を与えた後のひずみ経路を示したもので、Ftestのそれを同図中に破線で示してある。この図からひずみはFtestと比較してみると、初めのうちは履歴を与えた時の最大主応力軸方向から遠ざかるように発生していることが分かるが、これは変形がこの方向には進行しにくくなっていることを示しており、履歴を与えたときの最大主応力軸方向でせん断初期における剛性が高くなっていることを示すと考えられる。

図-7はJ $\pm 90^\circ$ testの履歴を与えた後のひずみ

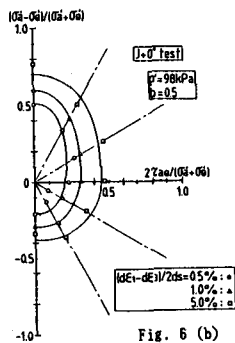


Fig. 6 (b)

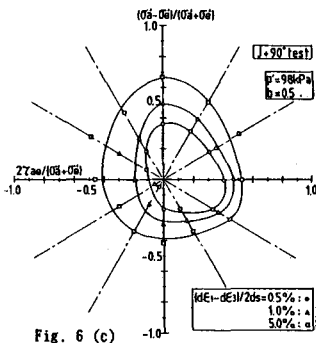


Fig. 6 (c)

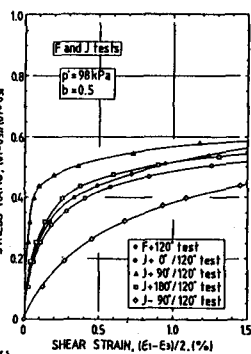


Fig. 5

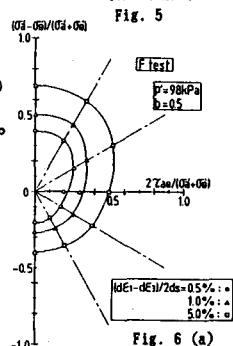


Fig. 6 (a)

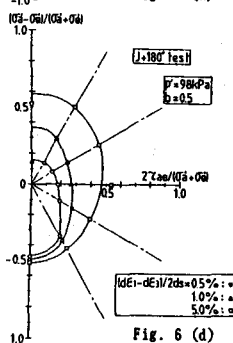


Fig. 6 (d)

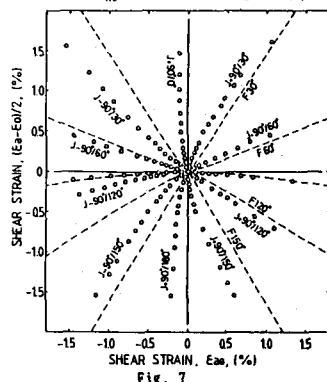


Fig. 7

あとがき 応力履歴を受けた砂は、せん断初期において変形に違いが生じても破壊強度には差がなく、今回報告した実験条件では応力比 $\sin\phi = 0.5$ 程度の応力比では破壊強度にまで影響を及ぼさない。また、応力履歴を受けた砂はその受けた応力の最大主応力軸方向に対してはせん断初期に高い剛性を示し、変形もこの方向には進行しにくくなることなどが分かった。最後に実験及びデータ整理に協力を頂いた、金内 隆宣君、柴原 正之君に深く感謝します。

(参考文献)

- 1) 三浦ら、(1986):第21回土質工学研究発表会、pp.289-292
- 2) 三浦ら、(1986):北海道支部技術報告集、第26号、pp.95-104
- 3) Miuraら、(1982):S & F.VOL.22, No.1, pp.61-77
- 4) 三浦ら、(1985):北海道支部技術報告集、第25号、pp.13-22
- 5) Miuraら、(1986):S & F.VOL.26, No.1, (in prerr).
- 6) 三浦ら、(1985):第20回土質工学研究発表会、pp.283-286)