

埼玉大学大学院 学員 ○ 山下知之

埼玉大学工学部 正員 風間秀彦

1. まえがき 粘土の力学的異方性は主応力の回転と構造異方性に起因していることは周知のとおりである。異方性の程度はこの2つの他に土の種類、応力履歴、せん断時の応力状態、透水係数、せん断速度などにも左右されることが考えられる。そこで本報告は、粘土のせん断異方性に影響を及ぼす要因を明らかにするために、正規圧密粘土について圧密圧力、ひずみ速度、透水係数などが強度の異方性にどのように影響するかを明らかにすることを目的とし、これらの要因について実験的に検討、および考察を加えたものである。

2. 試料および実験方法 実験に用いた粘土は性質の異なる2種類の沖積粘土(志木:砂分0.8%, PI=68、日本橋:砂分53%, PI=25)とカオリン(ASP100)である。この試料を0.42mmふるいで裏ごし、液性限界の約2倍のスラリー状にしてモールド($\phi 25 \times 30$ cm)に入れ、 1 kgf/cm^2 の圧力で一次元的に再圧密した。再圧密した試料の鉛直方向と三軸試験の圧縮方向のなす角を θ として、 $\theta = 0^\circ$ と 90° になるように直径3.5cm、高さ7.0cmの供試体を切り出した。実験は側圧一定の圧密非排水三軸圧縮試験(CIU)であり、圧密圧力 $\sigma_3 = 1, 2, 4, 6, 8 \text{ kgf/cm}^2$ で24時間等方圧密を行った後、ひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 2.3 \times 10^{-3}, 2.3 \times 10^{-2}, 0.23, 1.0 \text{ \% / min}$ でそれぞれ圧縮した。なお、圧密を促進させるためにペーパードレーンを併用し、実験は恒温室内で行った。

3. 実験結果、および考察 強度異方性の一例として、日本橋粘土のひずみ速度 $2.3 \times 10^{-2} \text{ \% / min}$ の場合を図-1に示した。全応力では異方性が明瞭に認められるが、有効応力ではごくわずかな、ないしは無視し得る程度である。Duncanら¹⁾の過圧密粘土の報告でもほぼ同様な結果である。しかし、構造的には正規圧密粘土より過圧密粘土の方が初期構造が保持されやすいため異方性が顕著と考えられる。3種類の試料について $\theta = 0^\circ$ と 90° の強度比を側圧/再圧密圧力に対して示したのが図-2である。それぞれ2本の線は2種類のひずみ速度である。側圧の増加に伴い異方性が減少する。これは等方圧密圧力が大きくなるにつれて初期の構造が次第にランダム化²⁾するためである。圧密降伏応力の3~4倍の応力で圧密すると異方性は失われるといわれるが、図からわかるように試料によってその値は大きく異なり、粘土分が多いほどその値は小さくなる傾向がある。一方、せん断過程の応力経路図を図-3に示した。ひずみ速度が大きいと当然強度は大きく、間隙水圧は小さい。また、間隙比が同じにもかかわらず 90° サンプルは 0° より透水性が良いために間隙水圧が常時大きい。これは透水係数が間隙水圧の伝達に関与しているためと思われるが、測定上の時間的遅れの問題もあるかもしれない。いずれにせよ、これらの傾向は側圧が小さいほど初期の構造が保持される割合が大きいために間隙水圧の異方性が著しくなる。

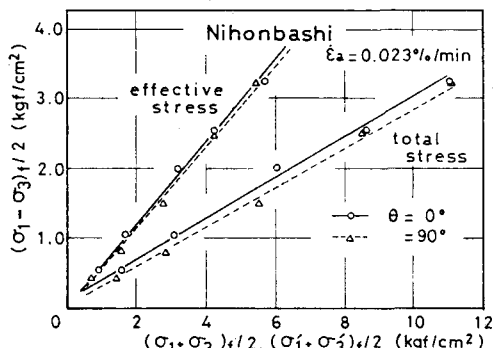


図-1 強度異方性

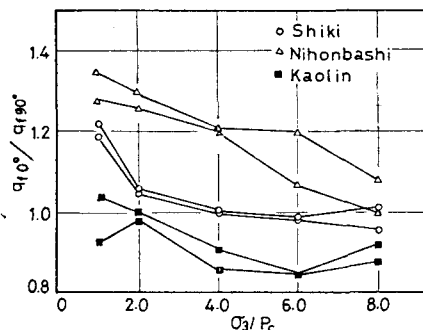


図-2 側圧と強度異方性

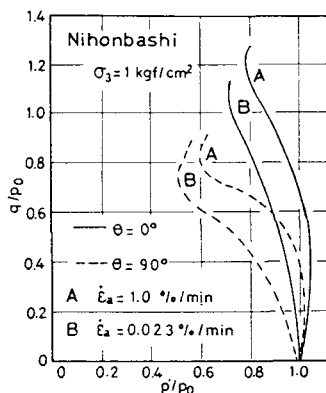


図-3 応力経路図

次にひずみ速度の影響を考える。図-4はひずみ速度と強度異方性の関係、図-5は同様に $\theta = 0^\circ$ の軸差応力と間隙水圧の関係である。 $\sigma_3 = 1 \text{ kgf/cm}^2$ の場合はひずみ速度の増加に伴い強度異方性は高まる傾向にあるが、側圧が大きくなるとその影響はあまりないようである。これに対し図-5ではひずみ速度が大きくなると間隙水圧は急激に減少、また強度は増加する点がある。間隙水圧は時間的遅れのためであり、強度は変形が追従できないからと考えられる。この強度増加について一般に不攪乱の粘土に対してはひずみ速度が大きくなるにつれ強度が大きくなるといわれているが、繰り返した試料ではあまり影響がないという報告³⁾もあり、図-4 ひずみ速度による異方性の影響

この結果とは一致しない。しかし、ひずみ速度はこの急変点より遅いひずみ速度でせん断する必要があることはいうまでもない。この図からそれぞれの側圧に対して急変点のひずみ速度を求め、圧密後の透水係数 k との関係で表わしたのが図-6である。図中の実線は強度、破線は間隙水圧の分布範囲を示している。その結果、間隙水圧は試料にかかわらず同じ範囲に分布するが、強度は試料による差があるために分布範囲が広い。したがって、この曲線より左上の部分は適切な透水係数とひずみ速度の組合せの範囲であり、右下の部分はひずみ速度が強度や間隙水圧に影響する範囲といえる。そして、前述の理由により限界ひずみ速度は強度と間隙水圧では一致しない部分がある。一方、八戸らは間隙水圧と ϕ' の変化から $k = 6 \times 10^{-3} \text{ cm/min}$ では $\dot{\epsilon} \leq 1\%/\text{min}$ 、 $k = 6 \times 10^{-7} \text{ cm/min}$ では $\dot{\epsilon} \leq 8 \times 10^{-3}\%/\text{min}$ にすべきと述べており、これはいずれも図-6の曲線の延長上に位置する。以上は破壊時であるのでせん断初期の状態をみる。ひずみが1%のときの透水係数と間隙水圧の関係を表したのが図-7である。同じ透水係数でも 0° と 90° では間隙水圧の発生に差が生じ、破壊時よりも明瞭な差があり、その遅れは透水係数の低いものほど著しい。

4. まとめ ①等方圧密を受けると異方性は失われていくが、その失われ方は粘土の種類によって異なり、粘土含有量の多いものほど小さい等方圧密圧力で異方性が失われる傾向がある。②強度・間隙水圧の異方性の程度は応力レベル、圧密方法、構造などに左右されるのみでなく、透水係数やひずみ速度にも影響される。③したがって、適切な強度や間隙水圧を評価するためのせん断速度は透水係数との関係において決める必要があり、その関係を表わした図が得られた。

参考文献 1) Duncan, J.M. and H.B. Seed : Proc. ASCE, Vol. 92, SM5, PP. 21-50, 1966 2) 風間他 : 第39回土木学会年講, P. 241, 1984, 3) 北郷他 : 第23回土木学会年講, P. 91, 1968 4) 八戸他 : 第25回土木学会年講, P. 167, 1970

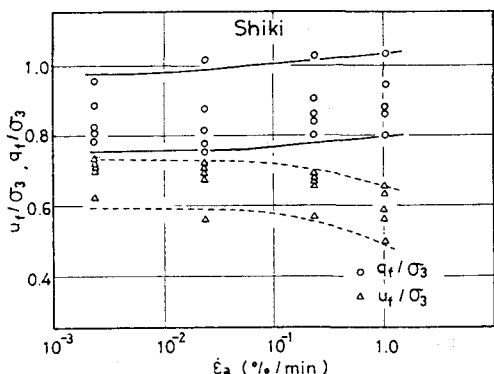
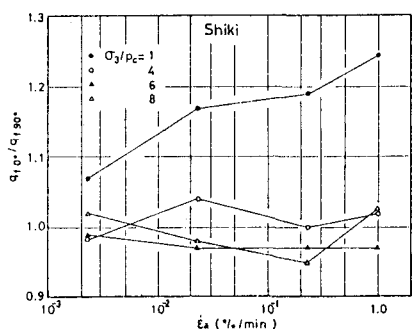


図-5 $\dot{\epsilon}$ と強度、間隙水圧の関係

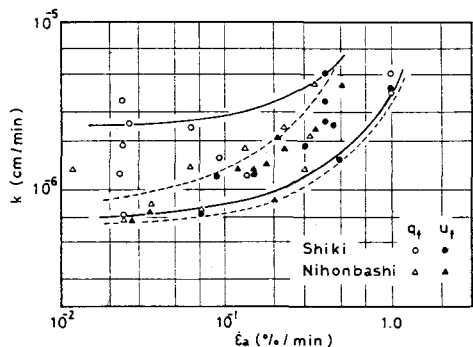


図-6 ひずみ速度と透水係数

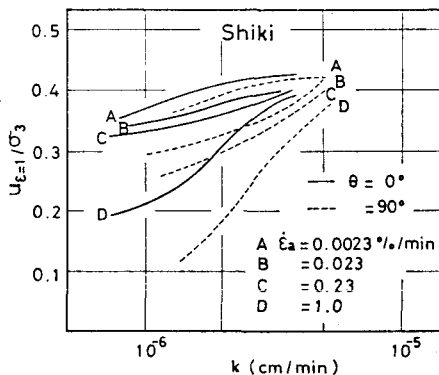


図-7 k と初期間隙水圧との関係