

金沢大学工学部 松本 樹典
大成建設 栗原 勝美
金沢大学工学部 西田 義親

1. まえがき 珪藻泥岩は、珪藻化石を含む軟岩の一種であり、石川県においては能登半島に広く分布している。この珪藻泥岩の持つ特徴として、一たん降伏を生ずると著しい二次圧縮を示すこと、初期降伏応力のひずみ速度効果依存性が大きいことなどが明らかにされている (Sekiguchi et al;1985, 松本他;1984)。

本研究では、ひずみ制御および応力制御による排水せん断試験を行い、珪藻泥岩の初期降伏応力の応力経路依存性およびひずみ速度依存性について調べた。

2. 珪藻泥岩の降伏応力および初期降伏曲面

図-1は、珪藻泥岩の等方圧密試験における平均主応力 p と体積ひずみ ϵ_v の関係を示したものである。図からわかるように、初期載荷段階において平均主応力を増加させていくと 25kgf/cm^2 付近までは直線的に体積ひずみは増加するが、これを超えると急激に体積ひずみの増加が大きくなる。すなわち、降伏が生ずる。降伏後には、体積ひずみは、平均主応力の対数にほぼ比例している。同様な傾向が、次章で述べる排水せん断試験の平均主応力 p と体積ひずみ ϵ_v の関係においてもみられている。したがって、本研究においては、弾性域における $\epsilon_v \sim p$ 直線と降伏後における $\epsilon_v \sim \ln p$ 直線の交点をもって降伏応力を定義することにする。

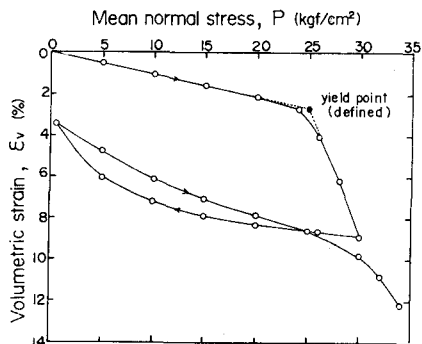


図-1 珪藻泥岩の等方圧密における $p \sim \epsilon_v$ 関係

図-2は、応力比一定の異方圧密試験より求めた珪藻泥岩の破壊点および降伏点を示したものである。実験データは、次式で与えられるカムクレイモデルによる理論降伏曲線ではほぼ近似される。

$$q/p + M \cdot \ln(p/p_c) = 0 \quad (1)$$

ここで、 p は平均主応力、 q は主応力差、 M は限界状態定数、 p_c は先行圧密応力である。ただし、実験データは、 $M=1.96$ 、 $p_c=24.5\text{kgf/cm}^2$ として近似される。

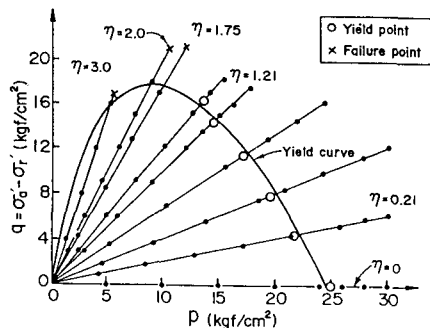


図-2 応力比一定の異方圧密試験によって求めた珪藻泥岩の初期降伏曲面

3. 珪藻泥岩のせん断試験 (a) 変位制御排水せん断試験

まず、6本の供試体に対して変位制御排水せん断試験を行った。図-3は、その応力経路を示している。まず、それぞれ図に示された応力で24時間等方圧密を行い、その後、拘束圧をそのままに保ち、軸ひずみ速度 $0.005\%/min$ で排水せん断試験を行った。

図-4は、変位制御排水せん断試験における主応力差 q と鉛直ひずみ ϵ_z の関係を示したものである。拘束圧 $\sigma'_r=0$ と 5kgf/cm^2 でせん断を行った場合、ひずみ軟化挙動を示している。特に $\sigma'_r=0$ の場合には、非常に明瞭なピークせん断抵抗を示し、鉛直ひずみが約1.7%のところで破壊した後は、主応力差 q は急激に減少している。しかし、このような脆性的な性質は、拘束圧が大きい場合には、みられなくなる。すなわち、拘束圧の増大に伴い、より小さな主応力差で降伏を生ずるように

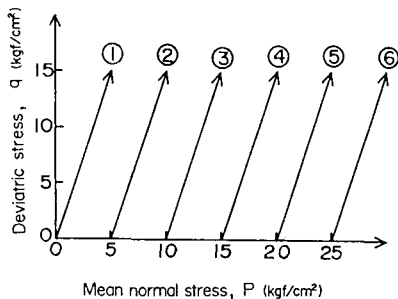


図-3 変位制御せん断試験における応力経路

はなるが、その後は軸ひずみ ε_z の増加に伴いより大きな傾きで主応力差が増大していく。つまり、拘束圧が大きくなる程、珪藻泥岩のひずみ硬化の程度が大きくなっている。図-5 は、各試験における平均主応力 p と体積ひずみ ε_v の関係を示したものである。 $\sigma'_r = 0$ の場合を除けば、 $p \sim \varepsilon_v$ 関係は、2章で述べたような関係があり、この $p \sim \varepsilon_v$ 関係に基づき各せん断試験の降伏応力を求めた。

図-6 は、このようにして求めた各せん断試験の降伏応力を示したものである。ただし、 $\sigma'_r = 0$ と 5 kgf/cm^2 の場合には、降伏を生ずる前に破壊している。図中には、先述した応力比一定の異方圧密試験によって求めた初期降伏曲線も合せて示している。図より、変位制御排水せん断試験における初期降伏曲面は、応力比一定の異方圧密試験により得られる降伏曲線に比べて、かなり拡大していることがわかる。この原因としては、応力経路の違いによるためと、変位を制御してせん断を行ったことによるひずみ速度効果によるための2つが考えられる。初期降伏曲面の拡大がそのどちらかに起因するかを調べるため、さらに2本の供試体に対して、ひずみ速度が小さいと考えられる応力制御による排水せん断試験を行った。

⑥ 応力制御排水せん断試験 図-7 は、応力制御排水せん断試験による降伏点を応力経路上に示したものである。各試験 (B1, B2) において、それぞれ 17 および 20 kgf/cm^2 で 24 時間等方圧密した後、24 時間ごとに軸圧を 2 kgf/cm^2 づつ増加することで応力制御による排水せん断試験を行った。図からわかるように、降伏点は、ほぼ応力比一定の異方圧密試験より得られた降伏曲線上に位置している。すなわち、応力経路が異なるにもかかわらず、ひずみ速度が小さいと考えられる応力制御で行った応力比一定の異方圧密試験と今度のせん断試験によって得られた降伏曲線はほぼ一致しているものと判断される。一方、図-6 と図-7 を比べると、 20 kgf/cm^2 で等方圧密した後でせん断を行った2つの試験 (⑤とB2) の応力経路は、ほぼ一致していることがわかる。しかし、ひずみ制御せん断試験における降伏点は、応力制御せん断試験によるものよりも明らかに拡大した位置にある。以上の結果より、変位制御排水せん断試験において降伏曲線が拡大した原因は、応力経路の違いによるためではなく、変位を制御してせん断を行ったことによるひずみ速度効果によるためと判断される。

参考文献 Sekiguchi et al(1985); Characterization of a diatomaceous mudstone by elasto-plasticity, Proc. 5th ICONMIG, Vol.1, pp.437-444.

松本 他 (1984); 珪藻泥岩の弾・粘塑性圧密, 第19会土質工学会, pp.251-252.

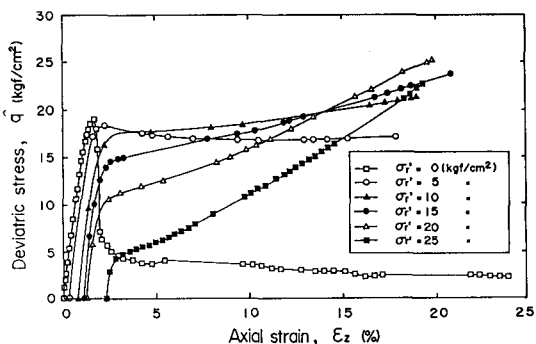


図-4 ひずみ制御せん断試験における $q \sim \varepsilon_z$ 関係

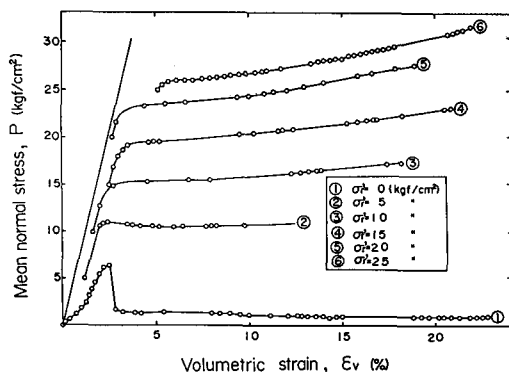


図-5 ひずみ制御せん断試験における $p \sim \varepsilon_v$ 関係

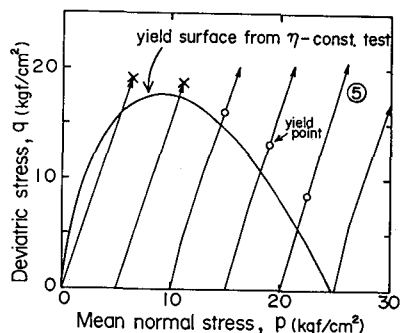


図-6 ひずみ制御せん断試験における破壊点および降伏点

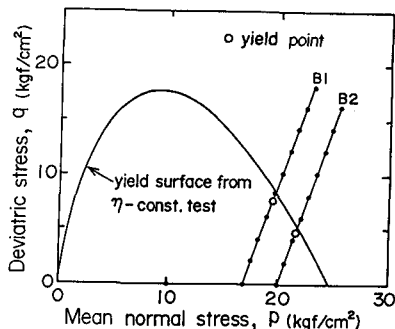


図-7 応力制御せん断試験における降伏点