

三軸スライスせん断による粘土-鋼材間の摩擦挙動

九州大学工学部 学○内田浩平 正 落合英俊
正 林 重徳 正 梅崎健夫
学 高橋一太

1. まえがき

矢板や杭などの構造物と土の相互作用の評価は重要な課題である。本研究の目的は、粘土-鋼材間の摩擦挙動および鋼材に接する粘土のせん断挙動を明らかにし、その評価法を確立することである。このような挙動に影響を及ぼす要因として、鋼材の表面粗さに支配される粘土-鋼材間の摩擦特性、粘土のせん断特性、および主応力面と粘土-鋼材境界面のなす角が挙げられる。そこで、境界面上の有効応力とすべり変位および粘土のせん断変位を測定できる三軸スライスせん断装置を開発・製作した。上記要因を変化させた実験結果に基づき、摩擦挙動のメカニズムとその評価法を検討した。

2. 試料・鋼材および実験概要

2-1. 試料・鋼材

粘土は、熊本県白川河口より採取した有明粘土($G_s=2.66$, $W_L=68.8\%$, $I_p=29.3$)を用いた。2mmのふるいを通過させた試料を 0.5kgf/cm^2 で予圧密した。供試体は直径5cmの円柱に成形した後、所定の角度で厚さ1cmに切出した。鋼材は構造用鋼材SS41を用い、サンドペーパーで表面を最大高さ $R_{max}=0.5\mu\text{m}$ 、基準長さ $L=0.25\text{mm}$ (JIS B 0601)に仕上げた。

2-2. 試験装置および試験方法

試験装置の概要を図-1に示す。ベDESTALには $D_{50}=0.18\text{mm}$ の標準砂を貼った粗度板を取付けて、供試体下部ではすべりが生じないようにした。キャップ表面に鋼材を取付けて、拘束圧および主応力面と境界面のなす角を変えた摩擦試験を行った。バックプレッシャー 2kgf/cm^2 を負荷し等方圧密させた後、正規圧密状態の供試体を非排水せん断した(軸圧縮速度 $0.07\%/min$)。間隙水圧は、供試体下部中央および供試体周囲のろ紙を介して測定した。また、クリップゲージにより、供試体のせん断変位と境界面上のすべり変位を測定できる。なお、キャップおよびベDESTAL表面に標準砂を貼った粗度板を取付けて、表面が極端に粗い場合に対応する試験(粘土のせん断試験に相当)も行った。

2-3. 応力およびひずみの算定式

供試体の応力・変形状態を図-2に示す。境界面上の垂直応力 σ_B' 、せん断応力 τ_B 、せん断ひずみ γ_{max} 、粘土-鋼材境界面のすべり変位 S_s を次式により算定した。

$$\sigma_B' = \sigma_h' + \Delta\sigma \cos^2 \beta \quad (1)$$

$$\tau_B = \Delta\sigma \sin \beta \cos \beta \quad (2)$$

$$\gamma_{max} = S_B / H \cos \beta \quad (3)$$

$$S_s = S_H / \cos \beta - S_B \quad (4)$$

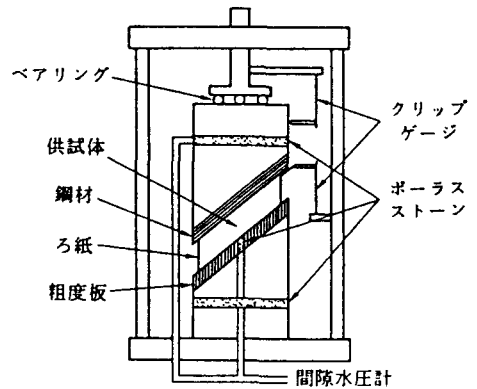


図-1 試験装置の概要

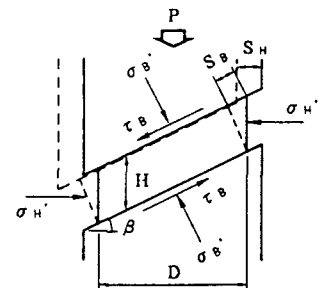


図-2 供試体の応力・変形状態

ただし, σ_n' : 拘束圧,

$\Delta \sigma (= P / (1/4 \cdot \pi \cdot D^2))$: 载荷応力,

P : 载荷重,

D : 供試体の直径,

H : 供試体高さ,

β : 最大主応力面と境界面のなす角,

S_B : セン断による変位,

S_H : キャップの水平変位,

である。

3. 摩擦特性の評価法

境界面のすべり変位と境界面上のせん断応力の関係を図-3に示す。表面が極端に粗い場合は粘土のせん断試験に相当し、境界面ですべりは生じない。一方、表面が滑らかな場合 ($R_{max}=0.5\mu\text{m}$) には、境界面上のせん断応力が最大に達した後すべりが生じる。図-4に境界面上のせん断応力、間隙水圧およびせん断ひずみの関係を示す。表面の粗さに依らず、せん断応力、間隙水圧とも境界面上のせん断応力が最大に達するまではほぼ同一の挙動を示す。しかし、表面が滑らかな場合、すべりが生じるとせん断応力、間隙水圧はほぼ一定となる。このことは、図-5に示した境界面の応力経路によっても明かである。表面が滑らかな場合、境界面上の応力比 τ_B/σ_B' が最大となったとき境界面ですべりが生じる。このときの境界面上の垂直応力とせん断応力は、拘束圧、主応力面と境界面のなす角に依らず、式(5)で表される。

$$\tau_B = \sigma_B' \tan \delta' \quad (5)$$

ここで、 δ' は粘土-鋼材間の摩擦角である。 δ' は鋼材の表面粗さに支配され、表面が粗くなると ϕ' に漸近する。すなわち、式(5)は境界面上の応力の規準線である。境界面上の応力が規準線に達するまでは粘土のせん断特性に支配され、規準線に達すると境界面ですべりが生じる。

4. まとめ

開発した三軸スライスせん断装置を用いて、粘土-鋼材間の摩擦挙動のメカニズムを捉えることができた。それに基づき、摩擦挙動の評価法を提案した。

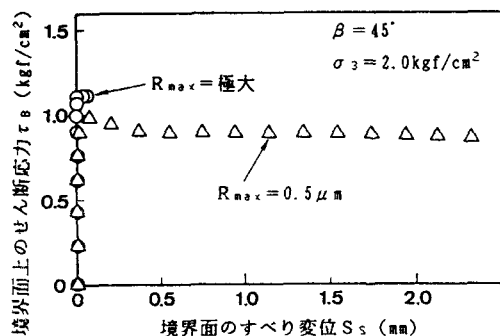


図-3 境界面のすべり変位とせん断応力の関係

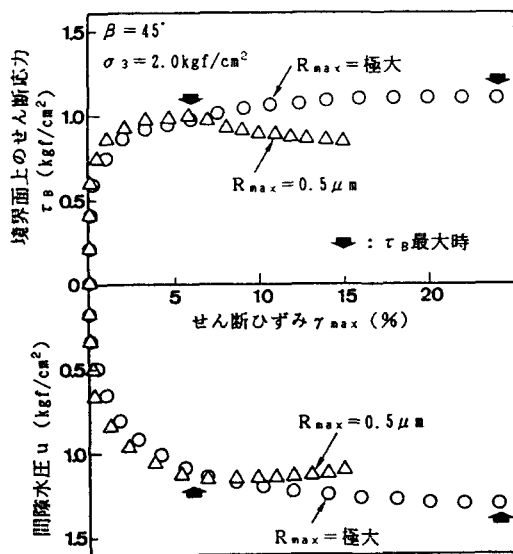


図-4 境界面上のせん断応力、間隙水圧およびせん断ひずみの関係

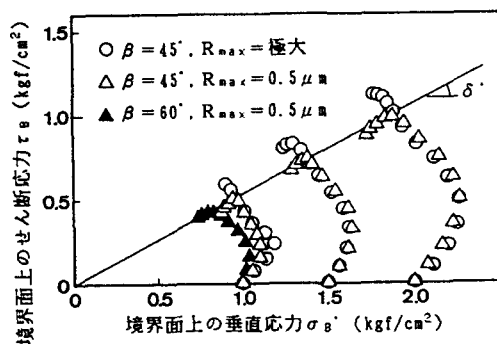


図-5 境界面上の応力経路