

III-416 粘土と鋼材の相互作用を規定する応力状態

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

1. まえがき

杭の支持力やネガティブフリクションを検討する場合、粘土と鋼材の境界面に作用する応力の評価が問題になる。境界面にせん断応力が作用すると、鋼材に接する粘土に変形が生じる。さらに、境界面上のせん断応力が増し粘土の変形が大きくなると、境界面ですべりが生じる場合と鋼材に接する粘土要素が破壊する場合があります。それぞれの場合で応力状態が異なる。新たに製作した三軸スライスせん断形試験装置を用いて、粘土と鋼材の相互作用特性は境界面における摩擦挙動に加え、粘土要素の挙動に支配されることを示し、その評価法を提案している¹⁾。本文は、境界面ですべりが生じる場合および粘土要素が破壊する場合の試験を行い、それぞれの場合について、相互作用を規定する応力状態の評価法の妥当性を検証したものである。

2. 試験概要

粘土と鋼材の相互作用試験には、粘土と鋼材の摩擦挙動と鋼材に接する粘土の変形挙動の両方を捉えることができ、また、最大主応力面と境界面のなす角(β)を任意に設定することができる三軸スライスせん断型の装置¹⁾を用いた。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。鋼材は構造用鋼材SS41を用い、サンドペーパーで表面を十分滑らかに(最大高さ $R_{max}=0.5\mu m$, 基準長さ $L=0.25mm$)仕上げた。実験は、最大主応力面と境界面のなす角度(β)および拘束圧(σ_3)を変えて行った。

3. 境界面上の応力

3-1. 相互作用を規定する応力条件

図-1に示すように、粘土と鋼材の境界面に垂直応力(σ'_s)、せん断応力(τ_s)が作用すると、粘土要素に変形が生じる。さらに、せん断応力が増大すると、境界面ですべりが生じる場合と粘土要素が破壊する場合がある。すなわち、相互作用特性は境界面の摩擦特性と粘土要素の応力・変形特性に支配される。図-2, 3は、境界面ですべりが生じたケース、および粘土要素の破壊が生じたケースの各々のモールの応力円を、最大主応力面と境界面のなす角(β)毎に示したものである。 ϕ' は粘土の内部摩擦角、 δ' は粘土と鋼材の摩擦角であり、最小主応力点から角度 β で引いた直線とモール円の交点が境界面

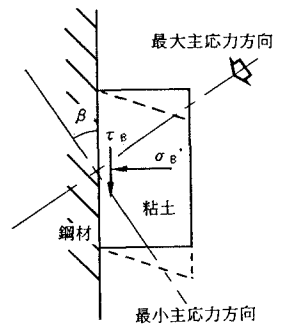


図-1 粘土と鋼材の境界面の応力・変形状態

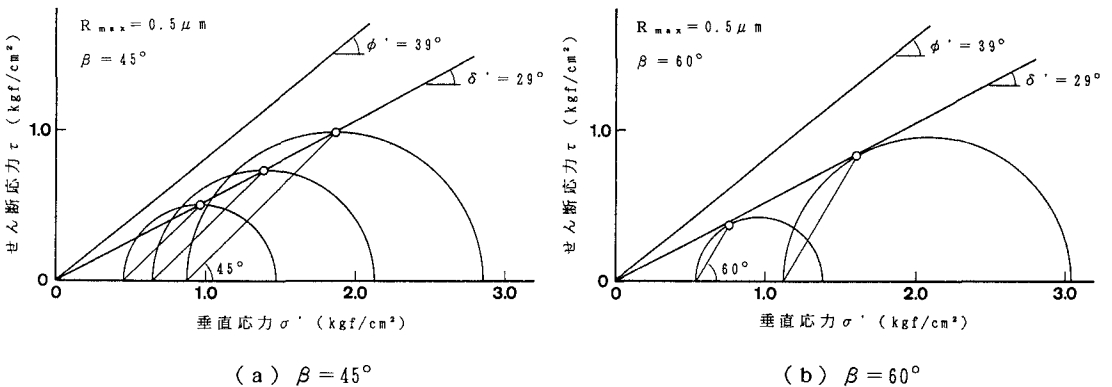


図-2 境界面ですべりが生じたケースのモールの応力円

上の応力（ σ'_B 、 τ_B ）を表す。 $\beta = 45^\circ$ 、 60° のケースでは、境界面上の応力は β に依らず δ' -線上にあり、境界面ですべりが生じた¹⁾。このときの応力状態は δ' -線に規定される。一方、 $\beta = 30^\circ$ の場合、境界面上の応力は原点を通る直線上にあるが、この直線は δ' -線より下方にある。このとき、境界面ですべりは生じず、モール円は三軸スライスせん断試験より別途求めた ϕ' -線にはほぼ接しており、粘土要素が破壊状態にある¹⁾。したがって、応力状態は ϕ' -線に規定される。

3-2. 境界面上の応力の評価式

境界面ですべりが生じるか粘土要素が破壊するかは、

応力状態と最大主応力面と境界面のなす角（ β ）に依存する。 ϕ' -線、 δ' -線、および ϕ' -線に接するモール円（図-4）によって規定される θ_{min} 、 θ_{max} を用いると、境界面ですべりが生じるときの β （ $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ ）の範囲は $\theta_{min} \leq \beta \leq \theta_{max}$ 、粘土要素が破壊するときの β の範囲は $0^\circ \leq \beta \leq \theta_{min}$ 、 $\theta_{max} \leq \beta \leq 90^\circ$ であることがモール円の幾何関係より求められる。なお、本試験の $\phi' = 39^\circ$ 、 $\delta' = 29^\circ$ では、 $\theta_{min} \approx 40^\circ$ 、 $\theta_{max} \approx 80^\circ$ である。また、境界面ですべりが生じる場合、および粘土要素が破壊する場合の境界面上の応力の評価式が次の様に求められる。

①境界面ですべりが生じる場合（ $\theta_{min} \leq \beta \leq \theta_{max}$ ）

$$\sigma'_B = \frac{\tan \beta}{\tan \beta - \tan \delta'} \sigma'_3, \quad \tau_B = \frac{\tan \beta \tan \delta'}{\tan \beta - \tan \delta'} \sigma'_3$$

②粘土要素が破壊する場合（ $0^\circ \leq \beta \leq \theta_{min}$ 、 $\theta_{max} \leq \beta \leq 90^\circ$ ）

$$\sigma'_B = \frac{1 - \sin \phi' + 2 \sin \phi' \cos^2 \beta}{1 - \sin \phi'} \sigma'_3, \quad \tau_B = \frac{\sin \phi' \sin 2\beta}{1 - \sin \phi'} \sigma'_3 \quad (2)$$

3-3. 境界面に作用するせん断応力

境界面に垂直応力 $\sigma'_B = \sigma'_n$ が作用しているときに、境界面で発揮されるせん断応力の最大値について考察する。境界面に作用するせん断応力は、式(1)、(2)より次式で表される。

①境界面ですべりが生じる場合（ $\theta_{min} \leq \beta \leq \theta_{max}$ ）

$$\tau = \sigma'_n \tan \delta' \quad (3)$$

②粘土要素が破壊する場合（ $0^\circ \leq \beta \leq \theta_{min}$ 、 $\theta_{max} \leq \beta \leq 90^\circ$ ）

$$\tau = \frac{\sin \phi' \sin 2\beta}{1 - \sin \phi' + 2 \sin \phi' \cos^2 \beta} \sigma'_n (< \sigma'_n \tan \delta') \quad (4)$$

すなわち、図-5に示すように、同じ垂直応力（ σ'_n ）のもとでも、粘土要素の応力状態すなわち最大主応力面と境界面のなす角（ β ）により、境界面で発揮される最大のせん断応力は異なる。

5. まとめ

①境界面ですべりが生じる場合、および粘土要素が破壊する場合の応力状態を検討し、その評価法の妥当性を検証した。

②同一の垂直応力のもとでも、境界面ですべりが生じる場合と粘土要素が破壊する場合で、境界面に作用するせん断応力は異なる。境界面ですべりが生じる場合は δ' 、粘土要素が破壊する場合は ϕ' と β に依存する。

【参考文献】1)内田ら：粘土と鋼材の相互作用特性, 第27回土質工学研究発表会, 1992.

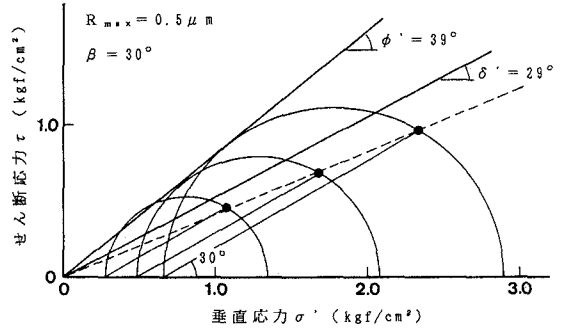


図-3 粘土要素が破壊したケースのモール円（ $\beta = 30^\circ$ ）

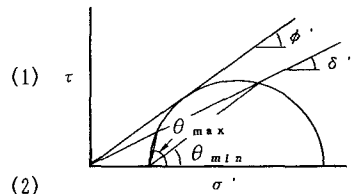


図-4 θ_{min} 、 θ_{max} の規定法

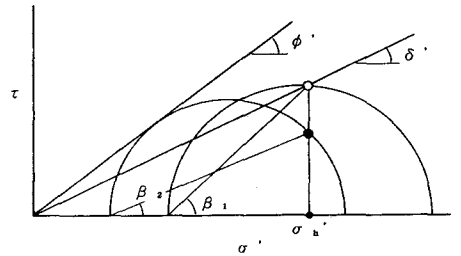


図-5 粘土要素の応力状態による境界面の最大せん断応力の違い