粘土-鋼材間の摩擦角

九州大学工学部　学○三倉義教　正　落合英俊
正　林　重徳　正　塚本良道

1. まえがき

粘土と鋼材の摩擦の評価は、鋼矢板や鋼杭を設計する上で重要である。著者らは数年前から粘土と鋼材の摩擦挙動について、考え方を提案するとともにその妥当性について検証してきた。[1)]

それは、粘土と鋼材の摩擦挙動には、a)接触面ですべる場合と、b)鋼材に接した粘土の内部ですべる場合とがあることを考慮し、粘土と鋼材の摩擦を接触面上の応力だけでなく、鋼材に接する粘土の応力状態も併せて考えたものである（図－1，図－2参照）。

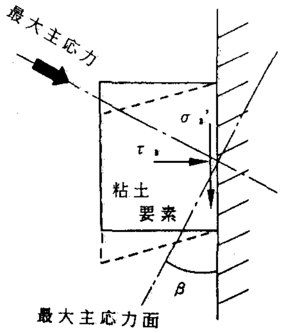

図-1. 鋼材面と粘土内の応力状態

どちらの挙動が起きるかは、①鋼材に接する粘土のせん断に対する応力の限界（図-2中のϕ'-線）、②接触面ですべるための接触面上の応力の限界（図-2中のδ'-線）、③鋼材に接する粘土および接触面上の応力状態(図-2中のモールの応力円および点A)、によって評価することができる。

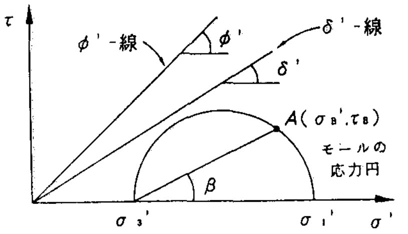

図-2. 図-1の応力状態のτ-σ'平面上での表現

これらの条件のうち、接触面上ですべるための応力の限界（δ'-線）は、接触面上の垂直応力（σ_B'）とせん断応力（τ_B）によって式（1）のように表される。

$$\tau_B = \sigma_B' \tan \delta' \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

ここに、δ'：接触面摩擦角

本研究は、このδ'-線について更に詳しく知るために，鋼材の表面粗さRmax（JIS B 0601）を変えて試験を行ない、それによってδ'-線がどのような影響を受けるかについて調べたものである。

※ 図-2、図-3は、最小主応力の方向が既知の場合について描いてあり、(σ_3', 0) が垂直力が作用している面に関する極（Pole）となっている。α：最大主応力面と粘土のせん断面との間の理論角度、β：最大主応力面と接触面のなす角である。

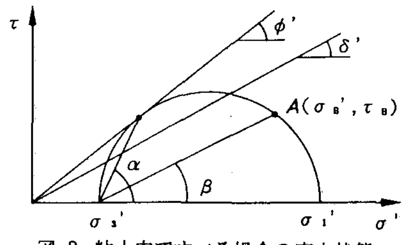

図-3. 粘土内ですべる場合の応力状態

2. 実験の概要

δ'-線を求めるための試験装置には、接触面に対する主応力方向の制御が可能で、接触面の粗さを自由に変えることのできるスライスせん断型摩擦試験装置を使用した。最大主応力面と接触面のなす角βはβ=60° とした。これはβが、最大主応力面と粘土のせん断面との間の理論角度αに近い方が接触面ですべりやすいという判断からである。また、このαは同スライスせん断型摩擦試験装置を用いて求めた鋼材に接する粘土の内部摩擦角ϕ'(＝39°)からα＝45° +39° ／2＝64.5° として求めた。

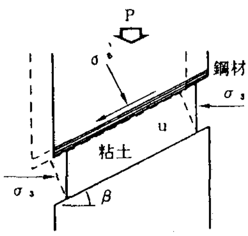

図-4. 試験装置の概略

試験装置の概略を図-4に示す。

その他の試験条件は、拘束圧σ_3=1.0, 2.0kgf／cm^{2}とし、接触面の粗さ

Rmax は 0.2, 0.5 および 3 μmに変化させた。粘土試料には、熊本県白川河口より採取した有明粘土（ρ_s=2.665, W_L=.68.8%, PＩ= 29.3）を用いた。試料は2mmのふるいを通過させ、0.5kgf／cm^2で予圧密し、試験はすべて正規圧密状態で行なった。鋼材は、構造用鋼材SS41を使用し、耐水サンドペーパーを用いて表面粗さの調整を行なった。

3．試験の結果と考察

3．1　接触面すべりの判断

試験では接触面での鋼材の変位と粘土の変位を別々に測定し、それらの相対変位を調べた。粘土のせん断ひずみが15%になる前に相対変位が生じた場合を接触面でのすべりと判断した。

3．2　δ'-線の決定

接触面ですべる場合の接触面上の応力の限界線（δ'-線）は、図-5～図-7のように各Rmax ごとに摩擦試験の応力経路を τ-σ'平面上にプロットし、接触面ですべったときの接触面上の応力を式（１）の形で近似して求めた。

3．3　接触面粗さ Rmax の影響

図-5～図-7に、鋼材表面粗さ Rmax をそれぞれ 0.2 μm、0.5 μm、および 3 μmに変化させた試験の結果を示す。接触面と最大主応力面のなす角 β=60°、拘束圧 σ_3=1.0 および 2.0 kgf／cm^2はどれも同じ条件を与えている。

Rmax =0.2, 0.5μmではどちらも δ'=29° であり、違いは見られないのに対してRmax = 3 μmでは δ'=32° に増大している。これはRmax が大きくなると、接触面ですべる際、粘土と鋼材の純粋なすべり摩擦だけでなく鋼材表面の凹凸に噛み合った部分で粘土のせん断が起きるからだと推測される（図-8 参照）。また、Rmax が小さくなると接触面での摩擦の挙動は粘土と鋼材のすべり摩擦が支配し、δ'はほとんど変化しないものと推測される。

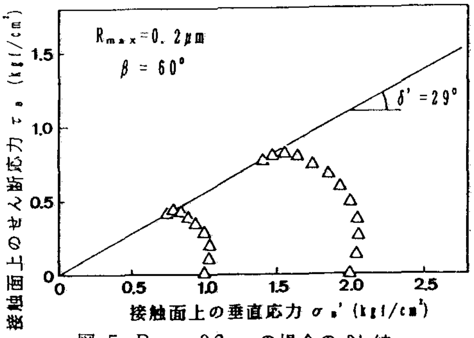

図-5．Rmax=0.2μmの場合の δ'-線

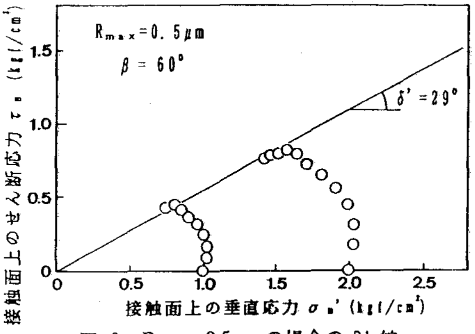

図-6．Rmax=0.5μmの場合の δ'-線

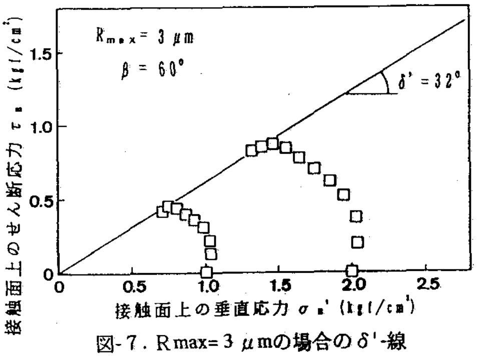

図-7．Rmax= 3 μmの場合の δ'-線

5．まとめ

粘土-鋼材間の摩擦において、接触面上ですべる場合の接触面上の応力の限界（δ'-線）は鋼材の表面粗さRmax の影響を受ける。Rmax が大きいと、接触面摩擦角 δ'は大きくなる。Rmaxを小さくしていくと、接触面摩擦角が変化しなくなる粗さがあると推測される。

図-8．接触面ですべる場合の摸式図

参考文献

1）内田浩平ら，粘土と鋼材の相互作用を規定する応力状態，土木工学会第47回年次学術講演会（1992）pp.872 - 873