

粘土と鋼材の摩擦挙動の解析法

九州大学工学部 学〇三倉義教 正 落合英俊 正 安福規之
正 大嶺 聖 正 塚本良道

1. まえがき

軟弱地盤上に盛土をする場合、地盤は沈下だけでなく側方流動を生じ、盛土周辺の構造物に被害を与えることがある。側方流動の抑止策には鋼矢板工があり、そこでは粘土と鋼材の摩擦挙動が重要になる。著者らはこれまで、粘土と鋼材の摩擦挙動を、スライスせん断型の摩擦試験装置¹⁾を用いて調べ、地盤と鋼材の相対変位が生じる摩擦挙動には、1)近傍粘土が破壊し地盤と鋼材との間に相対変位を生じる場合と、2)接触面ですべりが生じ地盤と鋼材との間に相対変位が生じる場合があることを確かめてきた。今回は、これまで得られた知見をもとに地盤と鋼材の摩擦挙動の表現方法としてFEMに適用する1つの方法を提案する。

2. 摩擦試験の結果

スライスせん断型摩擦試験装置は、粘土と鋼材の接触面に対する主応力方向をできるだけ一定に保ちながらその接触面にせん断応力と垂直応力を発生させ、供試体に単純せん断型の変形をさせる摩擦試験装置である。試験における応力-変形状態を概念的に示したのが図-1である。図中、 τ_B, σ'_B : 接触面上の応力、 β : 接触面法線と主応力方向のなす角、 t : 近傍粘土の厚さ、 γ : 近傍粘土のせん断ひずみ(= W_{s1}/t)、 W_{s1} : 接触面でのすべり変位、である。

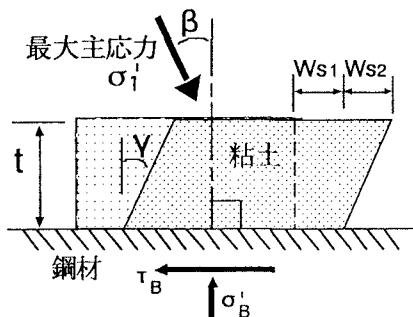


図-1 接触面及び粘土要素の応力変形特性

図-2～図-4に試験の結果を示す。図-2は接触面の粗さを変化させた試験の接触面上の応力比 τ_B/σ'_B と近傍粘土のせん断ひずみ γ 、およびすべり変位 W_{s1} 関係である。図-2

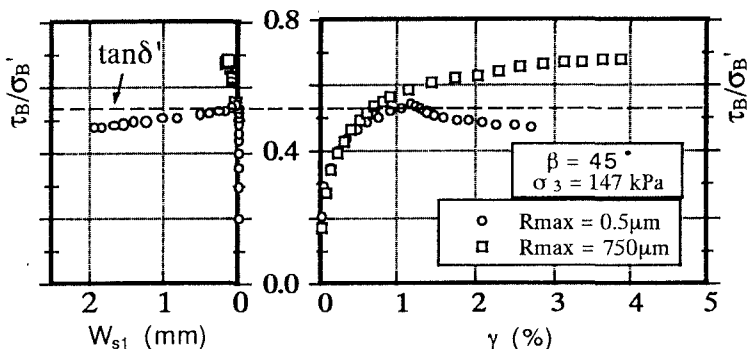


図-2 接触面上の応力比と粘土のせん断ひずみ及び接触面上のすべり変位の関係

(a) から接触面上の応力比が δ' になると接触面ですべりが生じているのが確認でき、また図-2 (b) からは、接触面ですべりが生じるまでは、どちらの摩擦挙動のときも近傍粘土の応力ひずみ関係は一致することが分かる。また、接触面ですべりが起きると近傍粘土の応力比もそれ以上あがらなくなる。

図-3は、主応力方向が異なる試験の接触面上の応力比 τ_B/σ'_B と近傍粘土のせん断ひずみ γ 関係である。図から、主応力方向が変化すると近傍粘土の τ_B/σ'_B - γ 関係が変化することが分かる。同じ試験における最大傾角面上の応力比 $(\tau/\sigma')_{mob}$ と、粘土要素の最大せん断ひずみ γ_{max} (= $\varepsilon_1 - \varepsilon_3$ 、 ε_1 : 最大主ひず

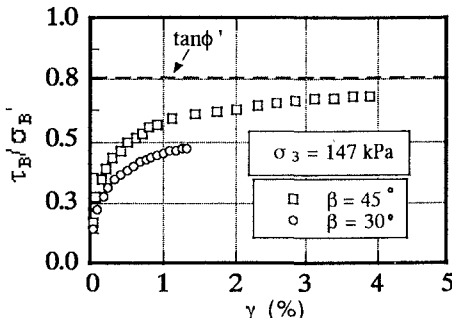


図-3 接触面上の応力比-粘土のせん断ひずみ関係に対する主応力方向の影響

み, ε_3 : 最小主ひずみ) の関係を示したのが図-4である。 $\beta=30^\circ$ の場合には, 供試体の厚さ $t=1\text{ cm}$ であるため, 鋼材との接触面における端面効果が大きくなり, $(\tau/\sigma')_{\text{mob}}$ が, ϕ' よりも大きくなっている。理想的には $(\tau/\sigma')_{\text{mob}}=\tan\phi'$ に漸近し, 正規化出来るものとする。

3. 摩擦挙動のモデル化

2.で述べたことを踏まえ, 粘土と鋼材の相互作用を, 接触面での挙動と近傍要素の挙動とに分けて表現することを考える。鋼材と粘土をモデル化したビーム要素と2次元アイソパラメトリック要素との間に, 図-5のように2つのジョイント要素を挿入する。ビーム要素に近いほうのジョイント要素は, 接触面の挙動を表現させ, 厚さ $t=0$ とし, もう一方は接触面近傍の粘土の挙動を表現させ, 厚さ $t\neq 0$ とする。以下各々ジョイント要素A, ジョイント要素Bと呼ぶ。

ジョイント要素Bを作る理由としては, 接触面近傍の粘土要素に薄層の2次元アイソパラメトリック要素を用いると, 解析上解の収束に問題が生じる場合があるからである。

ジョイント要素Aは, 図-6のように接触面上のせん断応力と接触面での粘土と鋼材の相対変位関係を剛・塑性でモデル化し, ジョイント要素Bは, 図-7のように最大傾角面上の応力比と最大せん断ひずみ関係を双曲線でモデル化する。双曲線に関しては, 漸近線 $\tan\phi'$, 初期接線勾配 $k_{\phi'}$, せん断ひずみ γ の関数とし, 更に k_{β} は, 主応力方向と接触面法線とのなす角 β の関数とする。この $(\tau/\sigma')_{\text{mob}}-\gamma$ 関係から, β を関数とし

て $\tau/\sigma'_{\text{mob}}-\gamma$ 関係を求め, 更に要素の厚さ t から $\tau-W_s$ 関係を求める。このとき β が重要になるため, 接触面上の応力状態から近傍粘土に働く主応力の方向を決定する方法が必要である。

4. まとめ

δ の値を求めるためには単純せん断型の摩擦試験を行えばよいが, 粘土の $(\tau/\sigma')_{\text{mob}}-\gamma$ 関係は, 主応力の方向が既知である必要があるため, スライスせん断型の摩擦試験を行なう必要がある。今後はこれを実際に解析に適用する予定である。

5. 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概要集, pp773-776

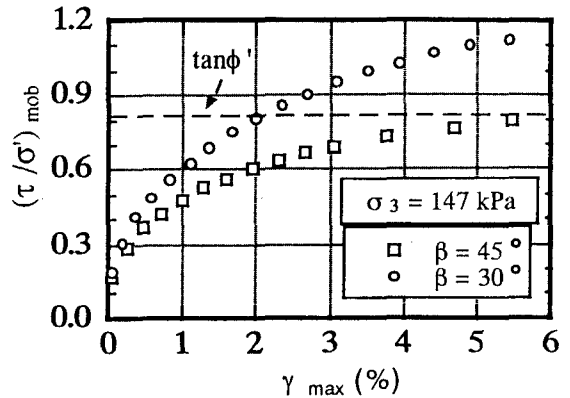


図-4 最大傾角面上の応力-最大せん断ひずみ関係

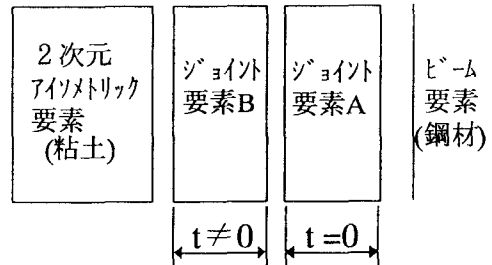


図-5 ジョイント要素の挿入

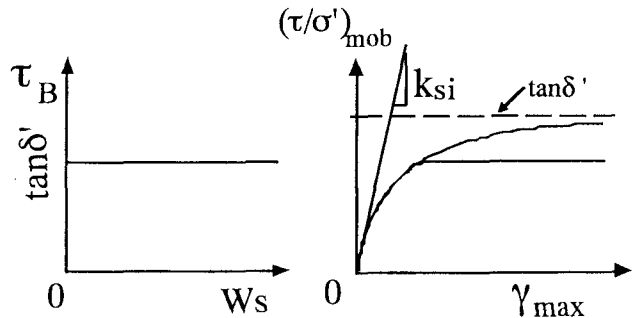


図-6 ジョイント要素Aのモデル化 図-7 ジョイント要素Bのモデル化