

(III-116) 不連続面の変形を考慮した地盤材料の力学的挙動に関する研究

○ 千葉工業大学 学生員 齋藤 麻里子

東京大学 正 員 堀井 秀之, 吉田 秀典, カベレ ペテル

1. はじめに

地盤, 岩盤の特性において力学的強度は, 最も重要な特性の1つである。近年の研究により, 支持力試験などにおいて荷重が最大値を示すのは, すべり面がまだ発達していない状態であり, ピーク後に荷重減少を伴いながら, すべり面が成長し最終的なすべり面が形成されることが明らかになっている。数値解析によってこうした現象を捉える試みがなされているが, ピーク後の解の安定・収束性を確保することが難しく, 特殊なモデルを使わざるを得ない。本研究では, こうした汎用解析コードの大枠を変更することなく, 部分的に接触すべり要素を導入することで, 難解な地盤, 岩盤材料のピーク後の挙動の再現を試みることを目的とする。

2. 接触すべり要素について

前述の通りピーク後の挙動を支配しているのはすべり面に代表される不連続面の進展・成長である。そこでこうした不連続面の変形を考慮するために, 本研究では, 接触すべり要素 (Interface 要素と呼ぶ) を構築し, 汎用解析コードに組み込んで用いた。Interface 要素の構成関係は図1に示す通りである。ある任意の場におけるせん断応力と変位の関係は, ピーク (u^P, τ^P) 迄は比例的で, ピークに達するとある一定の軟化勾配を有して (u^R, τ^R) まで除荷が生じる。これ以降は除荷せず, 変形だけが進むという残留状態に移行する。この要素は厚さを有しないものとし, 法線方向には変形しない。これを任意の接点に導入することで, せん断摩擦すべりを表現することが可能となる。

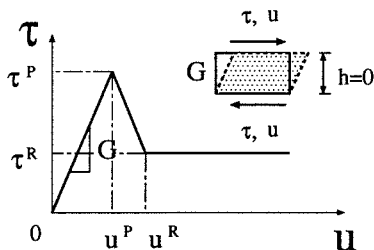


図1 Interface 要素の特性

3. 土圧問題の解析

まず, 受働土圧問題の解析を行った。参考にした実験は小林らによる実験である。実験概要・結果については, 参考文献^{1) 2)}を参照されたい。解析においては, 砂質部分の要素を弾塑性体とし, その構成則としては Drucker-Prager の弾塑性構成則を採用した。解析では, 全要素を弾塑性体としたケース (elast-plasticity), 実験より得られたすべり面に相当する箇所のみ龍岡ら³⁾の提案する手法により決定した軟化構成則 (図2参照) を適用したケース (softening) および Interface 要素を適用したケース (Interface) の, 計3通りの解析を行った。本解析では, 強度特性については実験値を採用し, 変形特性は実験結果と解析結果が合致するような値を採用した。

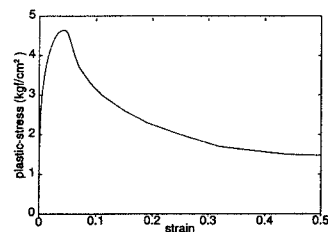


図2 すべり面における軟化構成則

これらを解析パラメータの一覧を表1に示す。以降の解析においても同様の値を用いている。解析は2次元平面ひずみとし, 境界条件としては右側面のX方向, そして底面のY方向の変位を固定した。

表1 解析に用いた入力パラメータ

材料	ヤング率 $E: (kgf/cm^2)$	ポアソン比 ν	内部摩擦角 $\phi: (deg)$	粘着力 $C: (kgf/cm^2)$
砂質部分	200	0.296	44	0.0925
載荷板	2×10^6	0.2		
Interface	200	0.3		

まず, 左側方の計測点で測られた実験の荷重変位曲線を図3に, そして解析のそれを図4に示す。弾塑性構成則及びすべり面相当箇所に軟化構成則を適用したケースにおいては, 材料はピークを示さずに硬化し続けたり, あるいは一端軟化した後, 硬化し始めるなど, ピーク後の挙動を再現することができなかった。一方, すべり面相当箇所に Interface 要素を用いた場合, Interface 要素に適当なパラメータ (本解析では $u^P=0.09cm$, $\tau^P=0.3kgf/cm^2$, $u^R=1cm$, $\tau^R=0.15kgf/cm^2$)

キーワード: 接触すべり要素, 不連続面, 受働土圧試験, 支持力試験

〒113 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL:03-3812-2111 FAX:03-3812-4977

を採用することで、ピーク後の挙動をある程度再現することができた。これより、不連続面が現われるような問題に対しては、Interface要素を導入は有効であると思われる。

4. 支持力問題の解析

本章では前章でInterface要素の妥当性が検証されたものとし、Interface要素を用いて支持力問題の解析を行った。比較実験の詳細は文献⁴⁾を参照されたい。境界条件は、左右側面のX方向、そして底面のY方向の変位を固定し、変位制御で中央部の上方から载荷を行った。

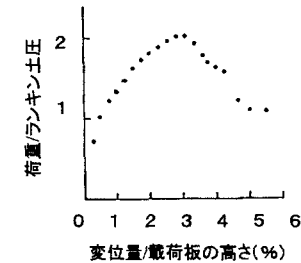


図 3 実験より得られた荷重変位曲線

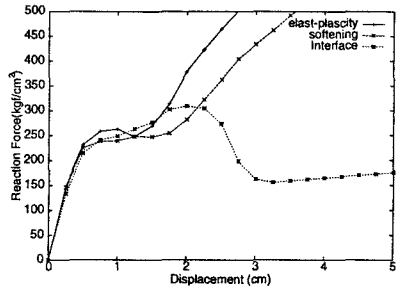


図 4 解析より得られた荷重変位曲線

本解析ではInterface要素を図5における左右すべり面(太線部分)、および砂質部分と載荷板の間に採用した。尚、左右のすべり面(Interface要素)において異なる特性値(強度)を用いることで、片方にすべりやすいようにした。表2に強度を小さくした方(すべりやすくした方)のInterface要素の特性値を示す。強度が大きい値はこの値の5倍としている。

図6に、解析結果及び実験結果(exp)の荷重変位曲線を示す。図より、適当なInterface要素の特性値を用いることですべり面の進展状況を再現できることがわかる。

表 2 Interface要素の特性値

Inte face	τ^p (kgf/cm ²)	u^p ($\times 10^{-4}$ cm)	G (傾き)	τ^R (kgf/cm ²)	u^R ($\times 10^{-3}$ cm)
1	$0.5\tau_2^p$	$0.25u_2^p$	$1.4G_2$	$0.5\tau_2^R$	$0.25u_2^R$
2	$\tau_2^p = 0.08$	$u_2^p = 2.8$	G_2	$\tau_2^R = 0.078$	$u_2^R = 5.6$
3	$1.25\tau_2^p$	$1.25u_2^p$	G_2	$1.25\tau_2^R$	$1.25u_2^R$

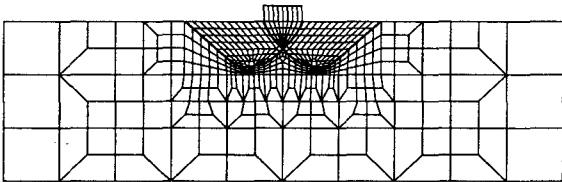


図 5 有限要素解析メッシュ

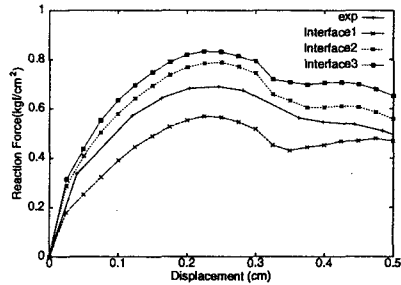


図 6 荷重変位曲線

5. まとめ

以上の解析結果により、すべり面箇所に適度な特性値を有するInterface要素を採用することは有効であると言える。またピーク前の挙動だけでなくピーク時の変位、ピーク後の挙動を再現し、解の安定・収束性を確保できることがわかった。しかしながら本解析は、実験より得られたすべり面あるいは最大せん断ひずみ分布よりすべり面箇所を決定しInterface要素を導入しているため、すべり面の進展過程が不明である場合はその箇所を類推せざるを得ない。この場合、どうやって類推するかという課題が生じる。またInterface要素の特性値の決定に関して、本解析ではパラメトリックスタディで決定しており客観的な決定になっていない。

今後はこうしたInterface要素の導入箇所やパラメータに関して客観的な決定方法を考える必要があると思われる。

参考文献

- 1) 小林慶夫・湯浅鉄史：“平面ひずみ受働土圧状態の密詰め砂に生じるすべり面” 第20回土質工学研究発表会, 1985.
- 2) 小林慶夫・湯浅鉄史：“平面ひずみ受働土圧状態の密詰め砂に生じるすべり面(その2)” 第21回土質工学研究発表会, 1986.
- 3) 龍岡文夫他：“初期せん断された砂の応力・ひずみ関係の定式化” 第46回年次学術講演会, 1991.
- 4) 西川昌宏：“砂地盤支持力試験における変形局所化の計測” 東京大学卒業論文, 1994.