

PSIII-22

弾塑性FEMによる斜面及び地盤構造物の全体安全率の計算

群馬大学 学○小林謙一、正 鶴飼恵三

1. まえがき

斜面や構造物を有する地盤を安全に設計するために、強度安全率にもとづいた全体安全率を計算することが多い。たとえば斜面の問題では、多数のすべり面を想定し最小の全体安全率を計算する。この場合、すべり面形状は円弧と仮定する場合が多いし、不均質性や間隙水圧分布が複雑になると計算も面倒になる。また、力学的な釣合も一部満たされないのが普通である。ジオテキスタイルで補強された斜面では問題はさらに複雑となる。いろいろな破壊形態を想定した上で対応する安全率を求める必要がある。ジオテキと土との相互作用も考慮せねばならぬし、両者の設計安全率が異なることもある。さらに剛擁壁の設計では、滑動、転倒、基礎の支持力、擁壁の破壊について別々に検討せねばならないし、設計安全率も各々で異なるのが普通である。このように、従来の安定計算法には多くの問題点が内在しているように思われる。一方、本報告で示される弾塑性FEMに基づく方法（せん断強度低減法）^{1), 2), 3)}はこのような問題点を原理的にはすべて解決できる。

2. せん断強度低減法の考え方

地盤と構造物は弾完全塑性材料と仮定する。図.1のように地盤と構造物が一体化した領域を考える。この領域をメッシュ分割する。地盤と構造物の接触面には必要に応じてジョイント要素などを用いて精度の向上を計ることができる。地盤と構造物の降伏条件及び塑性ポテンシャルとしていろいろなものを使うことができるが、ここでは簡単のため、モール・クーロン規準（ $\phi = 0$ のときはトレスカ規準になる）を降伏条件及び塑性ポテンシャルとして用いる。2次元状態を想定するが、3次元への拡張も容易である。仮想的なせん断強度として次式を想定する。 $\tau_F = (c' + \sigma' \tan \phi') / F$ 、 F を小さくとれば、図.1の領域は弾性状態となる。そののち F を段階的に大きくして行き、最終的な破壊に至ったときの F の値を図.1の領域の全体安全率とする。このとき構造物や接触面での F の値を一定のままにしておくことも可能である。変形は、弾性係数 E 、 ν とダイレイタンス角 ψ によって表示する。ただし、 ψ も $\tan \psi / F$ で変化させる。斜面及びジオテキを有する斜面への適用は文献^{1), 2)}に詳しいので、ここでは図.2のような擁壁を有する地盤を想定し計算例を示す。

3. 計算例

図.3に図.2のメッシュ分割を示す。必要に応じて、分割を細くしたり、壁と土との間にジョイント要素などを設けることができる。計算は次の4つのケースについて行った。

①地盤の粘着力 $c=1\text{tf/m}^2$ 、摩擦角 $\phi=20^\circ$ 、単位体積重量 $\gamma=1.6\text{tf/m}^3$ 、ヤング係数 $E=2000\text{tf/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、ダイレイタンス角 $\psi=20^\circ$ 。擁壁については、 $c=10000$ 、 $\phi=0^\circ$ 、 $\gamma=2.4$ 、 $E=50000$ 、 $\nu=0.167$ 、 $\psi=0^\circ$ （単位は同上）とした。擁壁の材料に応じて、降伏条件と塑性ポテンシャルを変えることができるが、ここでは、擁壁もモール・

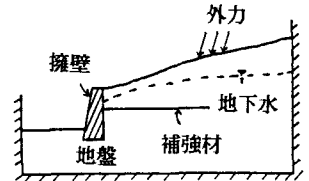


図. 1 全体安全率を求める地盤領域の例

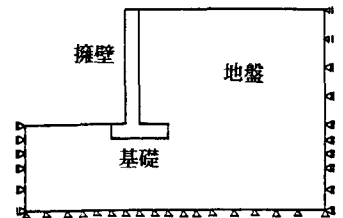


図. 2 擁壁を有する地盤の例

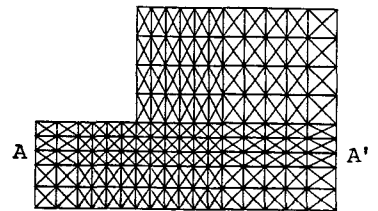


図. 3 図. 2のメッシュ分割

クーロン規準に従うものとした。このケースでは、擁壁の c が大きいので擁壁は破壊しない。全体安全率は1.2となった。ただし、小数点1ケタまで求めた、有効数字をさらに上げることも可能である。その場合には、安全率はより大きくなる。図.4は破壊直前の最大せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ の分布図である。擁壁のまわりに $\dot{\gamma}$ の大きな領域が生じ、擁壁が滑り出し破壊をする様相を呈している。

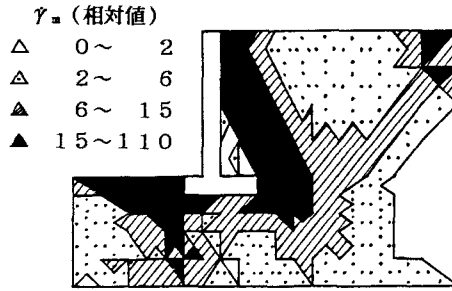


図. 4 破壊直前の $\dot{\gamma}$ の分布図（ケース①、すべり出し破壊）

②ケース①のデータの内、擁壁の c を 10 tf/m^2 に下げた場合。この場合、図.5に見られるように、擁壁の付け根付近が折れ、裏込土が左斜め下方に滑り出す様相を呈している。安全率は1.0と計算された。 $\dot{\gamma}$ の分布図を図.5に示す。擁壁は基礎部左端で破壊しているのがわかる。

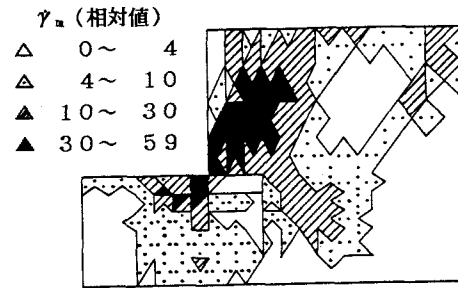


図. 5 破壊直前の $\dot{\gamma}$ の分布図（ケース②、擁壁自体の破壊）

③ケース①で、擁壁に基礎部の広がり無く、根入れが1mのみである場合。この場合には転倒が生じる。図.6に破壊直前の $\dot{\gamma}$ の分布図を示す。擁壁の右側の左下部に $\dot{\gamma}$ の大きな領域がみられる。安全率は1.0になった。

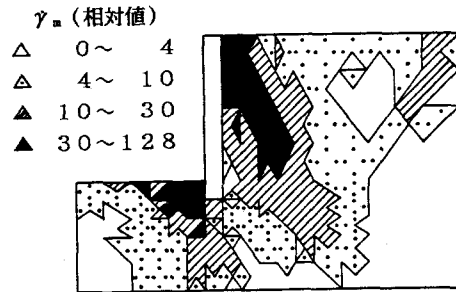


図. 6 破壊直前の $\dot{\gamma}$ の分布図（ケース③、転倒）

④擁壁下面より1m以深(図.3のA-A'線より下)の地盤が粘性土である場合。すなわち、粘性土地盤の $c=3$, $\phi=0$ とし、他の値はケース①のデータと同一である場合の計算結果を図.7に示す。この場合には、擁壁基礎部の支持力破壊の様相を呈している。安全率は1.0になった。

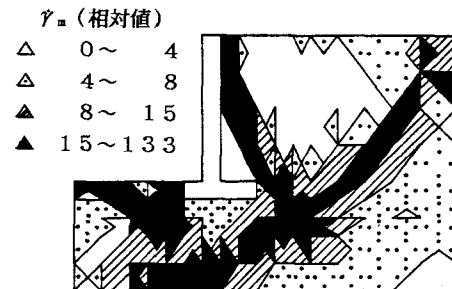


図. 7 破壊直前の $\dot{\gamma}$ の分布図（ケース④、支持力破壊）

4. あとがき

本報告で示した方法により、擁壁と地盤が一体となった領域の全体安全率と破壊直前の $\dot{\gamma}$ の分布図を簡単に求めることができることを示した。即ち、擁壁の滑動・転倒、擁壁自体の折損、支持力破壊の状態を結果的に表示しうることが示された。この方法を用いれば、従来のように、安全率を求めるために前もって破壊の状態を仮定する必要はない。

研究に際して、榎戸源則教授、井田寿朗技官に大変お世話になった。記して謝意を表します。

（参考文献）

- 1) 鶴飼・井田: 第24回土質工学研究発表会(1989)
- 2) 鶴飼・小林: 第24回土質工学研究発表会(1989)
- 3) 松井・San: 補強土の国際シンポジウム(福岡)(1988)。