

群馬大学 (学) 細堀建司 (正) 稿 飼 恵 三

(正) 永 頼 英 生 (正) 横 戸 源 則

1. まえがき 筆者らは、これまで粘性土から成る単純斜面に対して、3次元的に解析することを試みてきた。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ この結果、変分計算を用いることによって最も危険な3次元すべり面形状と、そのときの最小安定係数を求めている。本報告では、変分法を底部破壊のケースにも適用し、計算を行なった。また前報の斜面先破壊の計算結果と合わせ、すべり面の深さを表すパラメーター $L/\Delta R$ を導入することにより、3次元破壊の端面効果を、統一的に表示することを試みた。

2. 変分法による底部破壊の解析 変分法による詳細な計算方法については、既に報告しており⁽¹⁾⁽²⁾ 底部破壊の場合でも同様であるので、ここでは概略を述べる。すべり面形状は、ある回転軸をもった回転体であるとし、図-1のように中央の円筒面(I)、端部の鉛直平面(Ⅲ)をもつ。そして(I)と(Ⅲ)をなめらかに連続するような曲面(Ⅱ)を変分計算によって定めてやり、この形状から安定係数 N_s を算定する。曲面形状は次式によって数値積分することにより求められる。

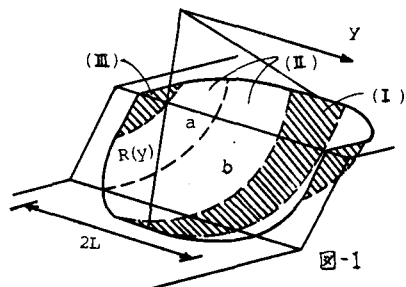
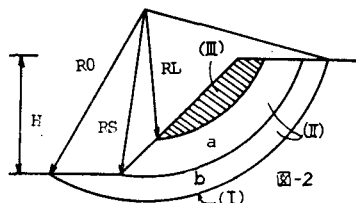


図-1, 2 の a の部分に対して

$$y = \int_R^{R_s} \frac{N_s R + C}{\sqrt{f^2 - (N_s R + C)^2}} dR \quad \text{----- (1)}$$

b の部分に対して

$$y = \int_R^{R_0} \frac{N_s R + C}{\sqrt{f^2 - (N_s R + C)^2}} dR \quad \text{----- (2)}$$



ここで N_s は安定係数、 C は定数、 f 、 R はすべり土塊の抵抗モーメントに関する変数、 g 、 R は滑動モーメントに関する変数と共に R の関数である。 R_s 、 R_0 は図-2 に示したような回転体の半径。式 (1) (2) を積分してすべり面形状を求めた一例を図-3 に示す。すべり面は対称であると仮定したため片側のみの形状を示した。実線は斜面勾配 $\beta = 15^\circ$ 、破線は $\beta = 30^\circ$ のケースで各々、崩壊幅の $1/2$ の長さを斜面高さで割った値 $L/H = 2, 4$ について図示してある。これらは最小安定係数が得られたときのすべり面形状であるから、均一な粘土斜面において最も危険なすべり面形状を与えることになる。2次元解析においては勾配がゆるい程深いすべりが起こりやすくなることがわかっているが、ここでも $\beta = 15^\circ, 30^\circ$ を比較してみても、 15° の方がすべりが深いことが確認できる。また $L/H = 2, 4$ を比較した場合、崩壊幅が小さくなると、すべり面が浅くなることわかる。これは幅が小さくなるとすべり土塊の体積が小さくなるため、端面の抵抗の影響が増大し、これを回避するためにすべり面が浅いてくるためと考えられる。

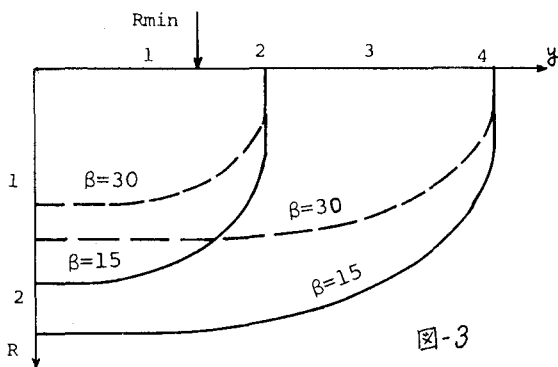
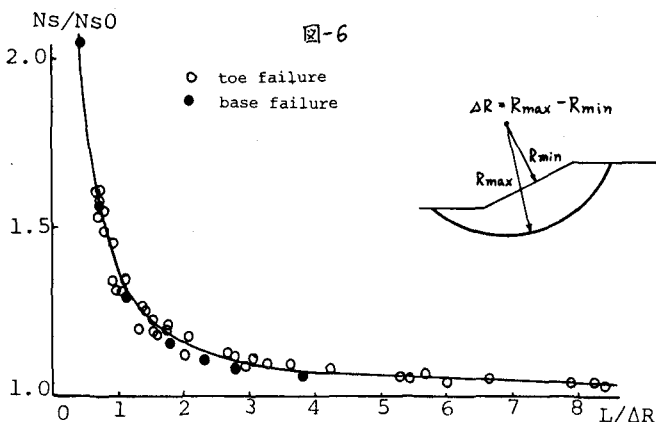
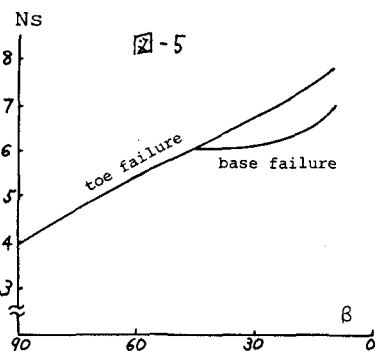
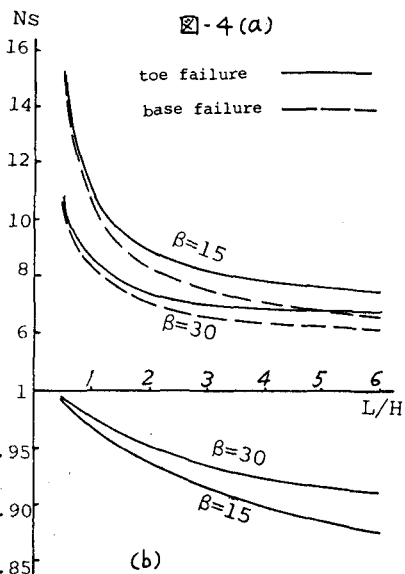


図-4 (a) は $\beta = 15^\circ, 30^\circ$ のケースについて安定係数を計算した結果である。実線は斜面先破壊を仮定して計算した最小安定係数 $Ns(\text{先})$ 、破線は底部破壊まで考慮した場合の最小安定係数 $Ns(\text{底})$ である。何れのケースも斜面勾配が小さいため底部破壊による安定係数の方が小さくなっているが、崩壊幅を表す L/H が大きくなるに従って両者の値は近くなることがわかる。図-4 (b) は $Ns(\text{底})$ を $Ns(\text{先})$ で割った値を示しているが、実際に3次元解析が必要となる $L/H = 1$ 以下を考えると両者の差は2~3%となり、底部破壊を考慮する必要性は少ないといえる。ただしこれは安定係数の値についてであり、すべり面の位置は多少異なることに注意すべきである。

Taylor の安定図表に見られるように、均一な粘土斜面を2次元で解析すると勾配がゆるい場合、無限に深いすべり面が最小安定係数を与えるという結果を得る。実際には地盤の不均一性からそのような破壊は起こらないが、すべり面の3次元性からもこのことはいえる。図-5 は $L/H = 6$ のケースについて Ns と β の関係を示したものである。 β の小さな場合でも最も危険なすべり面の位置が存在し、そのときの安定係数が各 β に対して得られる。

3. 安定解析における端面効果 3次元解析における端面の効果をより簡潔に統一的にまとめたのが図-6 である。3次元安定係数 Ns を同じすべり面位置における2次元安定係数 Ns_0 で割りその増加率を求め、この値を $L/\Delta R$ に対してプロットしたものである。 ΔR はすべり面の円筒部分の半径 R_{max} と、地表面までの最短距離 R_{min} の差、すなわち $\Delta R = R_{\text{max}} - R_{\text{min}}$ である。図からわかるように、 $(Ns/Ns_0) \sim L/\Delta R$ 曲線は、斜面先破壊でも底部破壊でも大きな差はなく、さらに斜面勾配に無関係にほぼ一つの曲線で表すことができる。ところで一般に破壊が、

2次元状態と仮定できない場合に3次元解析が必要となるが、この図によれば $L/\Delta R$ によってほぼ一意的にこの決定ができる。すなわち $L/\Delta R \geq 3$ の場合には Ns と Ns_0 の違いは10%以内であり、 $L/\Delta R$ によって大きく変化することはない。一方、 $L/\Delta R < 3$ のケースでは端面効果、すなわち3次元効果が大きくなることがわかる。



〈参考文献〉

- 1) UGAI, K. (1985): "THREE-DIMENSIONAL STABILITY ANALYSIS OF VERTICAL COHESIVE SLOPES", S&F, Vol. 25, No. 3, PP. 41~48
- 2) 細坂, 鶴飼 (1985): 不均質粘土斜面の三次元安定解析, 第20回土質工学研究発表会
- 3) 鶴飼, 志三 (1985): 粘性土斜面の三次元安定解析, 土木学会論文集, 第364号/Ⅲ-4
- 4) 鶴飼, 細坂 (1985): 変分法による粘土斜面の三次元安定解析 (I) (II), 土木学会, 第12回関東支部技術研究発表会