

三次元斜面安定解析法に関する検討

徳島大学工学部 正会員 小嶋啓介
 徳島大学工学部 正会員 山上拓男
 徳島大学大学院 学生員 ○森野克也
 日本道路公団 大西邦晃

1. まえがき

通常用いられている斜面の安定解析法は、二次元平面ひずみ条件の下で定式化されている。しかしながら実際の斜面は幾何学的形状、材料特性、間隙水圧分布などが三次元的に広がっており、すべり面そのものも三次元的であるため、二次元平面ひずみ条件の仮定は必ずしも合理的ではないと考えられる。また従来の研究結果の中には、二次元平面ひずみ条件を課した場合の安全率は、三次元問題として計算された値より20～30%程度小さくなり、かなり安全側の答えしか得られないとの報告もある。本報告では、三次元問題に適用できるように拡張されたBaker 法¹⁾と、簡易Janbu 法²⁾をいくつかの三次元斜面に適用した結果を考察する。

2. 三次元斜面安定解析法

近年、いくつかの三次元斜面安定解析法が提案されているが、円弧すべりに基づく方法を拡張した場合は、すべり面の断面が同心円状に限定され、斜面が多層からなり、すべり面が屈折する場合に追従できないばかりか、三次元すべり面を導入する意味からも合理的でないと考えられる。ここでは、すべり面を円弧で近似しない次の2種類の斜面安定解析法を対象とし、すべり面の三次元効果などに関する検討を行う。第1の方法は、変分原理から構築されたいわゆるBaker 法を3次元化した方法であり、第2の方法は、非円形すべり面を対象とする分割法として代表的な簡易Janbu 法を3次元化した方法である。Leshchinsky らは対称斜面に限定するものの、すべり面の形状に関する仮定を行わずに、極限つり合状態を満足するすべり線関数の範囲数としての安全率を変分原理から最小化し、許容すべり面として図-1に示すような空間対数螺旋形状を導出した。すべり面は図に示す螺旋の極を原点とする空間極座標を用いて、次のように書ける。

$$\rho = A \exp(-\psi \beta) \sin \alpha \quad (1)$$

$$\psi = \tan \phi / F$$

ここに、 ρ 、 α 、 β ：空間極座標、 A ：極とすべり開始点から決定される定数、 ϕ ：内部摩擦角、 F ：安全率を示している。上式より、すべり面の形状は内部摩擦角と安全率に依存し、強度が異なる土層間ではすべり面が屈折することになる。一方、簡易Janbu 法は任意形状のすべり面に適用できるが、すべり面を事前に与える必要があるため、事前予測計算には適さないと考えられることから、ここでは三次元Baker 法によって算出された最小安全率を与えるすべり面についてのみ簡易Janbu 法を適用することとした。また、コラム側面に作用する内力の作用方向は水平と仮定する簡略法を採用するが、安全率算定式などは省略する。

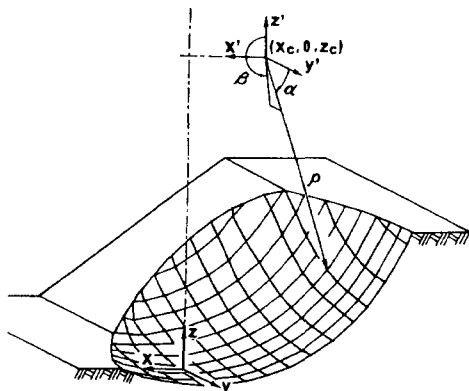


図-1 Baker法によるすべり面

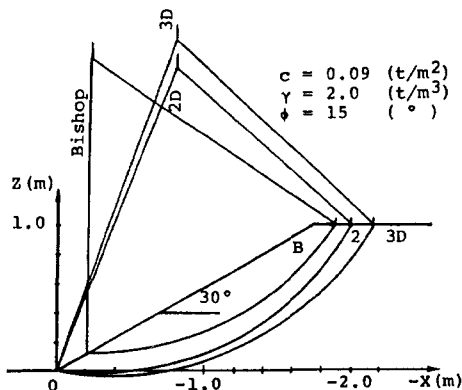


図-2 各解析法によるすべり面の断面形状

3. 数値解析結果

計算対象は図-2に示すような単純対称斜面であり、斜面形状、地盤物性定数なども同図に示す通りであり、簡単のために間隙水圧の影響は考慮しない。同図には、二次元平面ひずみ条件を仮定した場合のBaker法ならびにBishop法によるすべり面の形状と、三次元Baker法によって算出されたすべり面の対称面における断面図を示す。また、表-1は、それぞれの方法で得られたすべり面の極の位置と安全率である。二次元解析結果では、Baker法によるすべり面はBishop法に比較してやや大きめに与えられるが、安全率ではほとんど差が認められない。一方、三次元解析結果では二次元のBishop法による安全率に比較して、Baker法で約1.16倍、簡易Janbu法で1.23倍といずれも大きめに算出されている。簡易Janbu法で安全率が大きくなるのは、同解析法においてはすべり面をただ一つに仮定していること、またコラム間内力の作用方向を水平と単純化していることによるものと考えられる。図-3は三次元Baker法によって得られたすべり面の鳥瞰図であるが、二次元解析における円筒形状とはかなり異なったすべり面であるといえる。表-2は斜面勾配および物性定数の異なる3種類の斜面において、簡易Janbu法とBaker法の三次元安全率と二次元安全率の比を比較したものであるが、どの斜面においても三次元安全率は二次元の20~30%程度大きく、いわゆる三次元効果はどのような斜面においても認められることがわかる。また、表-2には L/H と L/D (L :すべり面の半幅、 H :斜面高さ、 D :すべり面の深さ)を併せて示すが、各斜面において L/H は大きく変化するものの、 L/D は1前後であり、三次元効果は L/D によって概ね表すことができるものと考えられる。

4. あとがき

ここで示した2種類の三次元斜面安定解析法によって計算された安全率は、一般的に採用されているBishop法による二次元安全率に比較して、10から20%程度大きく、従来から言われているように二次元安全率は安全側の値であることが確かめられた。しかしながら、本報告で扱った三次元すべり面は、空間対数螺旋のみであり、いま一つの許容すべり面である円筒型螺旋面と空間対数螺旋を連結させた形状についても同様の検討を行う必要があると考えられる。さらに、多層斜面ならびに間隙水圧を考慮できるように拡張し、実際の崩壊事例などに適用し、三次元すべり面の影響を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 鶴飼恵三, 細堀建司(1988):「簡易Janbu法, 簡易Bishop法およびSpencer法の三次元への拡張」, 土木学会論文報告集, 第394号/III-9, pp.21-26.
- 2) Leshchinsky, D. and Baker, R. (1987): "Three-dimensional slope stability: end effects," Soils and Foundations, Vol.26, No.4, pp.98-110.

表-1 各解析法による極の位置と安全率

		X_c	Z_c	F_{min}
2-D	Janbu	-0.800	2.076	1.00
	Baker	-0.800	2.076	1.00
	Bishop	-0.230	2.030	1.02
3-D	Janbu	-0.800	2.262	1.23
	Baker	-0.800	2.262	1.16

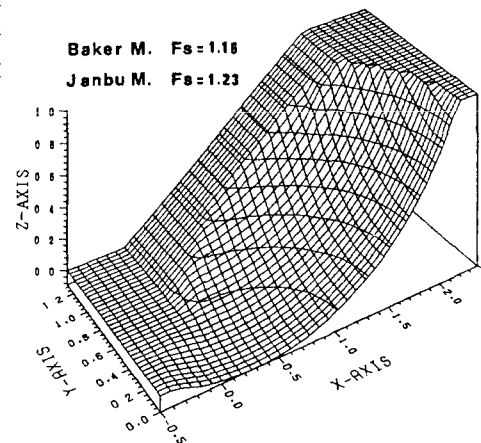


図-3 三次元Baker法によるすべり面

表-2 代表的な斜面の三次元効果

	Janbu F_{3D}/F_{2D}	Baker F_{3D}/F_{2D}	L/H	L/D
斜面a*	1.19	1.30	3.40	1.24
斜面b*	1.23	1.16	0.92	0.96
斜面c*	1.32	1.38	0.82	1.00

* a: $c = 0.35 \text{ ttf/m}^2$, $\phi = 0.1^\circ$, 斜面勾配 $= 30^\circ$

b: $c = 0.092 \text{ ttf/m}^2$, $\phi = 15.0^\circ$, 斜面勾配 $= 30^\circ$

c: $c = 0.391 \text{ ttf/m}^2$, $\phi = 0.0^\circ$, 斜面勾配 $= 60^\circ$

斜面高さはいずれも1.0m