

非円形すべり面理論を用いた斜面上直接基礎の支持力解析

徳島大学工学部	正	山上 拓男
阪神コンサルタンツ	正	○植田 康宏
サン土木コンサルタント	正	前田 史男

1. まえがき

地盤の極限支持力を求める方法として、塑性理論に立脚するもの、および分割法などの極限つりあい法を利用するものがある。複雑な土性を示す地盤の支持力計算には、もっぱら分割法が用いられている。分割法は元来、斜面安定解析に対して展開された手法であるが、支持力計算にも容易に適用可能である。両者の相違は、斜面問題では未知数が安全率 F であるのに対し、支持力問題ではそれが極限支持力 Q_f となる点である¹⁾。支持力計算に際し、従来安全率算定式は簡便分割法、Bishop法¹⁾およびJanbu法²⁾などが用いられてきた。しかしながら、これらの手法は仮定すべり面形状が円弧、対数らせん線、円弧と直線、および対数らせん線と直線の組合せに限定され、しかもすべり面位置は固定されたものであった。一方、筆者らはこれまで、斜面安定問題において、安全率算定式にJanbu法、Morgenstern-Price法、そしてSarma法などの非円形すべり面理論を採用し、数値計画法と結びつけた臨界すべり面探索法を展開してきた^{3)~6)}。本報告は、これらを利用して、与えられた地盤の極限支持力およびそれを与えるすべり面を決定する方策を述べるとともに、斜面上直接基礎の支持力問題への適用例を示すものである。

2. 非円形臨界すべり面探索法の支持力問題への応用

図1は斜面上直接基礎の模式図を示したものである。図中、 Q は上載荷重(tf/m^2)、折線は任意の仮定すべり面、鉛直線はすべり土塊のスライス分割線を表す。斜面問題では、 Q が既知であることより、これら分割線の位置を固定した状態ですべり面と分割線の交点の y 座標 y_i を変化させながら、最も小さい安全率を与える y_i の組合せを探索し、それを臨界すべり面とするものであった。その際探索手法として数値計画法の助けを借りたわけである。一方、支持力問題は図1に示される斜面の極限支持力 Q_f とそれを与えるすべり面を求めることである。これは、上載荷重を有する斜面において、安全率 $F=1$ となる荷重強度 Q_f とそのときのすべり面を決定せよ、といった問題に置き換えられる。そこでまず、載荷重 Q を適当に与えて、斜面問題で展開された臨界すべり面探索法を用い、最小安全率と臨界すべり面を求める。以下この過程を、 Q の幾つかの値について繰り返せば、各 Q の値に対して、それぞれ最小安全率 F とそれを与えるすべり面が決定される。ただし、 Q の値は求まった安全率が1をはさむように選ぶものとする。次に、 Q とそれに対する F を図2に示す $Q \sim F$ 図上にプロットし、それらを滑らかな曲線で結んでやる。すると、その曲線と $F=1$ との交点の横軸の読みが求めるべき極限支持力 Q_f となるのである。この様子が図2に図解されている。また、必要とあらばそのときのすべり面は、載荷重を Q_f として再度臨界すべり面探索を行うことによって決定される。

3. 適用例

ここで用いた臨界すべり面探索法は、非円形すべり面理論として最も精度が高いとされているMorgenstern-Price法とシンプレックス法を組合わせたものである。

問題は、本手法の妥当性を検証するため、日下部⁷⁾と同じものを採用した。図3に斜面形状を示す。図中、 B は基礎幅、 α は斜面肩幅と基礎幅の比、 β は斜面勾配を表す。日下部は α 、 β の値を種

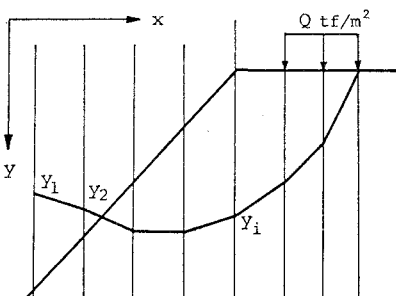
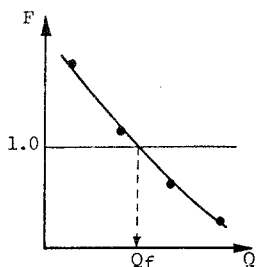


図1 斜面上直接基礎の支持力解析

図2 $Q \sim F$ 関係

々変化させて、上界値計算により極限支持力を求めている。筆者らも、彼の行った全てのケースについて、極限支持力を求めた。表1にその結果を示す。また、図3に一例として $\alpha = 1.0$ 、 $\beta = 45^\circ$ 、 $c = 5.0 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi = 30^\circ$ 、 $B = 3.0 \text{ m}$ 、 $\gamma = 1.667 \text{ tf/m}^3$ ($c/\gamma B = 1.0$) の場合の結果を示す。(a)図は載荷重 70 tf/m^2 、 75 tf/m^2 、 80 tf/m^2 とした場合の各臨界すべり面である。図中細線は初期すべり面を表す。(b)図は $Q \sim F$ 関係で、これより極限支持力は $Q_f = 76.5 \text{ tf/m}^2$ と求まる。表1より、いずれの解析例においても本手法による極限支持力値は日下部のそれと比較して小さめの値となっている。日下部の結果が上界値計算に基づくものであることを考慮すると、本解析結果は妥当な Q_f を与えているものと思われる。しかし、各載荷重に対する臨界すべり面は、図4(a)にその一例をみたように、初期すべり面からほとんど移動しておらず、形状も載荷左端直下で急激に勾配の変化する不連続なものとなっている。この傾向は、初期すべり面位置を変えても同様であり、全ての解析例について共通した現象であった。また、解析例の中には設定した初期すべり面によっては、臨界すべり面探索がうまく実行されない場合も生じた。このような問題が起こり得る一つの可能性は、臨界すべり面探索の際に用いた最適化手法に求められよう。すなわち、今回用いたシンプレックス法は、図1に示す鉛直線上でのすべり面位置をそれぞれ独立に変化させて目的関数 F の最適化を行うものであった。それゆえ、探索途中において滑らかな曲面を仮定したすべり面が仮定される可能性を十分に秘めているのである。その結果、図4(a)に一例をみたように載荷端直下において勾配が急激に変化するすべり面が探索されるのであろう。このような難点は、常に滑らかな曲面を仮定しつつ臨界すべり面を探索する手法を導入することによって解消できる可能性もあり、目下この観点からの検討が進められている。

4. むすび

本報告では、斜面問題に対して展開した臨界すべり面探索法を応用し、地盤の極限支持力を決定する一方策を論じた。そして、日下部による上界値計算との比較を通して、極限支持力値については満足できる解を与えることが判明した。しかし、探索されたすべり面については、滑らかさを欠く形状であることや初期すべり面からほとんど移動していないこと、また臨界すべり面探索が行えない場合もあり得ることなどが知られた。これらについては今後、検討していかなければならない問題点である。

【参考文献】

- 1) 今泉・山口：土質工学会論文報告集，Vol. 26，No. 2，pp. 143-150，1986.
- 2) Hansen, J.B.: Bulletin No. 21, The Danish Geotechnical Institute, Copenhagen, Denmark, pp. 5-9, 1966.
- 3) 山上・植田：地すべり，Vol. 22，No. 4，pp. 8-16，1986.
- 4) 山上・植田：昭和61年中四国土木学会，pp. 241-242.
- 5) 山上・植田：6th ICONMIG, 1988 (投稿中)
- 6) 山上・植田・前田：昭和63年中四国土木学会 (投稿中)
- 7) 日下部：土と基礎，Vol. 33，No. 2，pp. 7-12，1985

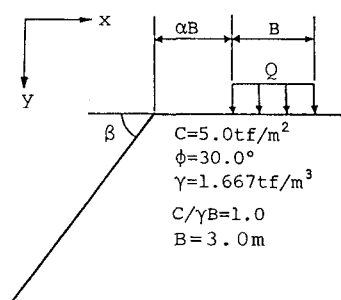


図3 解析断面

表1 解析結果

β	α	Q_f	上界値
30°	0	75.0	91.22
	1	112.5	121.93
45°	0	51.5	56.98
	1	76.5	84.93
60°	0	33.2	35.32
	1	49.0	54.87

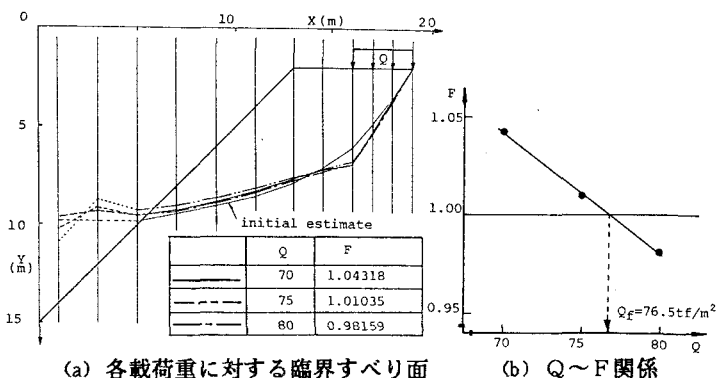


図4 解析結果 ($\alpha=1$, $\beta=45^\circ$)