

竹中技術研究所 正員山下 清
同 正員 加倉井 正昭
同 伴野 松次郎

1. まえがき

砂地盤上基礎の支持力のような土の自重が支配的である問題の解析については、一般に複雑な数値計算を必要とすることもあり、未だ十分に解明されていない。さらに斜面のように境界条件がより複雑な問題に対する合理的な解は、ごく限られた範囲しか得られていない。ところで、最近川井によって提案された離散化モデル(川井モデル¹⁾)を用いた極限解析法は一般化された速度場法として位置付けられ、複雑な境界条件においても破壊メカニズムがある程度予測できる場合には比較的良好な上界値を効率的に求めることができ、近年各種の地盤問題に適用され良好な結果が得られている。しかしながら、土の自重が支配的な場合の解については現在のところ十分に吟味されていないようである。本文は砂地盤上にある底面が粗な帯基礎の支持力について川井モデルによる離散化極限解析を行い、 N_c 値に関して既往の提案値と比較したものである。その結果、本解析で得られた N_c 値は厳密解法より得られた値と比較的良好な対応を示し、この種の問題に対しても本解析法の有効性が判明した。

2. 解析条件

底面が粗い基礎の場合、基礎下に形成されるくさびの底角 ψ については諸説があり、この値により支持力値はかなり変化することが知られている。Meyerhof²⁾、Chen³⁾は、それぞれ極限平衡法、速度場法の立場から支持力値を最小にするくさびの底角を提案している。本解析ではこの2通りの提案に従って ψ を設定した。土の強度定数については、 $\phi' = 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ の4通りとし、 c は数値計算上の制約から微小値を設定した。解析ケース及び解析に使用した定数を表-1にまとめて示す。

過渡域の要素分割については、便法として図-1に示すように $P_1 \sim P_4$ を極とする4つの対数らせんを基調にした。この時各ケースにおける極の位置に関しては、予備解析を行った上で図-1における b 値を表-1のように設定した。図-2に要素分割の例を示す。境界条件は底面は固定、側面および載荷部は上下方向のみ自由とした。破壊条件はクーロンの規準に従うものとし、増分法(山田の方法)による計算を行った。

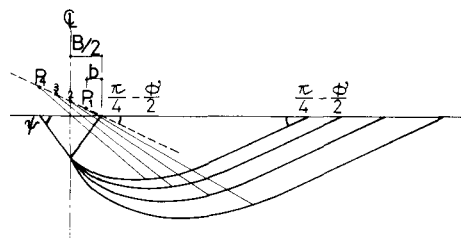


図-1 過渡域のすべり線形状など

表-1 解析ケース

ψ (deg)	ϕ' (deg)	b/B	
Meyerhof (1.2 ϕ')	36	30	0.28~.43
	42	35	0.3 ~ .6
	48	40	0.25~.55
	54	45	"
Chen	45	30	0.3 ~ .45
	50	35	0.3 ~ .6
	54	40	"
	58	45	"

$C = 0.001 \text{ tf/m}^2$, $E = 1500 \text{ tf/m}^2$, $\nu = 0.45$

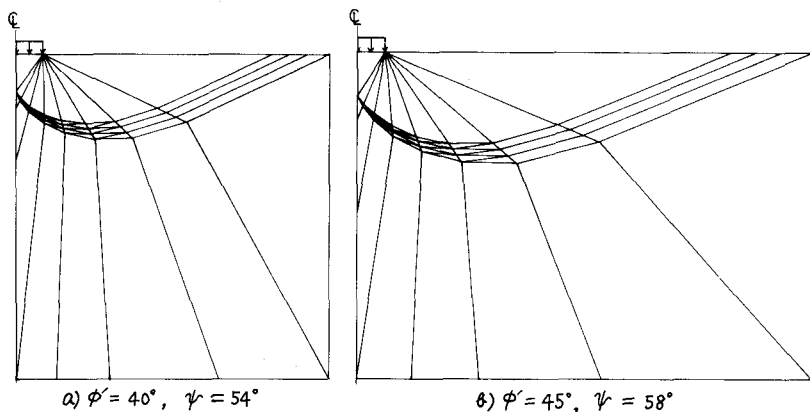


図-2 要素分割の例

3. 数値解析結果と考察

図-3に破壊時のすべり線の例を示す。太線で示したものは破壊メカニズムを形成するすべり線である。このすべり線の過渡域に微少なギャップが見られるが、これは主に過渡域を対数らせんに沿った直線で近似したこと起因すると思われる。なお、このギャップの付近に若干の引張応力(最大 0.4tf/m^2)が発生したが、ごく一部においてであり、支持力計算値に与える影響は無視しうると考えられる。

図-4に2種のくさびの底角 ψ に対する支持力係数 N_ψ の計算値を示す。Meyerhof²⁾によれば $\phi' = 30^\circ, 45^\circ$ について ψ が ϕ' から $\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}$ の範囲で N_ψ 値は最小値に対してそれぞれ36%, 17%変化することが報告されているが、本解析の範囲では各 ϕ' に対する N_ψ 値は殆ど変わらなかった。

図-5は $\phi' = 30^\circ \sim 45^\circ$ に対して、 N_ψ の計算値と既往の提案値をプロットしたものである。ここでHansen他⁴⁾の値はLundgren他⁵⁾が示したKötter式を用いて地盤内に逐次すべり線網を組み立てる特性曲線法によって求めた値である。山口他⁶⁾の方法も同様なものであるが、基礎下のくさびの仮定が異なる。即ち、前者が基礎端を通るすべり線のうち、基礎の中心軸と $\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}$ で交わるものをくさびの側面とみなすのに対して、後者は実験事実をふまえて基礎下に剛な二等辺三角形のくさびを考えている。これらはいわゆる厳密解法といわれるものである。代表的な近似解法であるTerzaghiの値⁷⁾は、これらの値に対して10~35%大きめの値を示している。また通常の変位場によるChen³⁾の値は50~80%過大な値を示している。一方、本解析値は $\phi' = 30^\circ, 35^\circ$ においてTerzaghi値と一致し、 $\phi' = 40^\circ, 45^\circ$ については、Terzaghiと山口他⁶⁾の中間に位置しており、今回の要素分割が比較的簡単であることを考慮すれば良い上界値が得られたと考えられる。従って、より複雑な境界条件における同種の問題に対しても、適切な要素分割を行うことにより実用上十分な精度の上界値が得られるものと推察される。

なお本解析に際して御指導下さいました東大生研川井忠彦教授、(株)協和コンサルタンツ竹内則雄氏、また支持力論について御教示戴きました東工大木村孟教授に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 川井忠彦(1980) 物理モデルによる連続体力学諸問題の解析, 生研セミナーテキスト。
- 2) Meyerhof(1955) Influence of Roughness of Base and..., Geotechnique, Vol.5.
- 3) Chen(1975) Limit Analysis and Soil Plasticity.
- 4) Hansen & Christensen(1969) Theoretical Bearing Capacity..., ASCE, SM6.
- 5) Lundgren & Mortensen(1953) Determination by the theory..., the 3rd ICSMFE.
- 6) 山口, 木村, 藤井, 有藤(1977) 連心載荷装置による支持力実験(第5報), オート工学会研究発表会。
- 7) 山口 柏樹(1976) 土質力学。

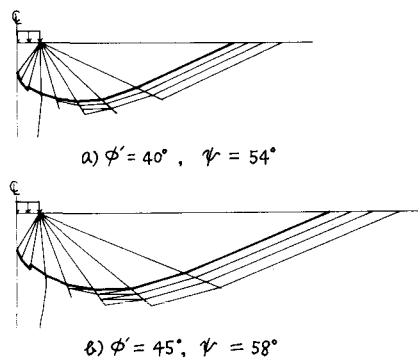


図-3 破壊時のすべり線

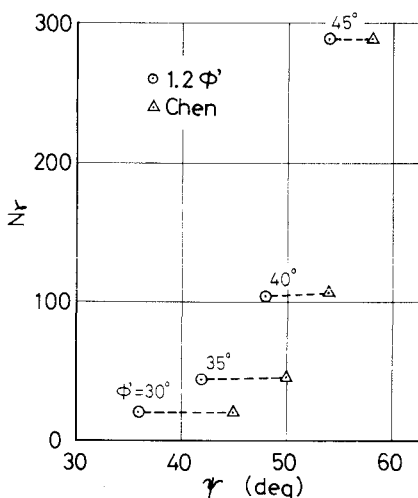


図-4 くさびの底角 ψ と N_ψ の計算値

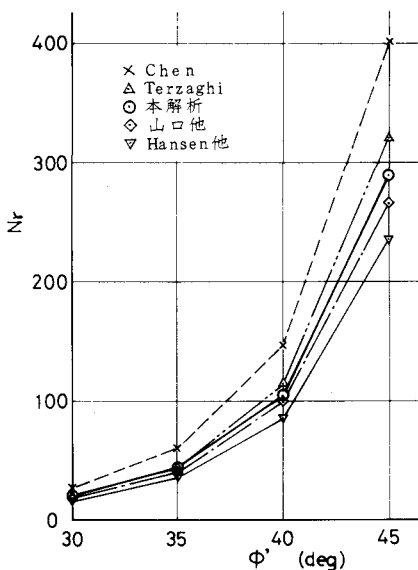


図-5 N_ψ の計算値と既往の提案値