

(株) 神P製鋼

正会員

豊島 史郎 ○

中面 宏

渡田 凱夫

1. まえがき 表面に帯荷重を受ける地盤・斜面の極限支持力については、剛塑性理論の上界定理を用いて仮定されたすべり線に対する極限荷重を求める手法が用いられている。一方、複雑な地盤・境界条件を対象とする場合や破壊現象としてとらえる場合には有限要素法が用いられており、実挙動にそくした土の構成方程式に関する研究がなされている。しかし、これらの構成方程式を用いても既往の有限要素法では表現と難い現象が報告されている。通常用いられている有限要素法は変位の連続性(適合条件)を基準とする変位モデルであり、変形過程において不連続性が卓越する(特に局所的に卓越する)場合には、これらの要素を用いて現象を表現することは困難であると思われる。平衡条件を基準とする平衡モデルは適合条件を強制しないため、これらの現象を把握する手法として適切であると考えられる。ここでは、著者により示された平衡モデルを用いて支持力解析を行ない、既往の有限要素法による結果との比較検討を行なう。

2. 平衡モデル ハイブリッド型コンプリメンタリエネルギ原理の汎関数は(1)式で表わされる。ここで、要素が平衡条件を完全に満たすようにラグランジの未定定数として表わされる境界変位 μ_i を要素境界で独立な剛体変位場で与え(ハイブリッドストレスモデルでは区分的に連続な変位式を用いるため表面力の連続性が完全には満たされない)、系が正則となるように定式化すれば、結果的に定要素の剛性行列を変数変換することにより、平衡モデルが作成される。

$$\Pi = \sum (B(\alpha_{ij}) dv - \sum (\mu_i (T_i^T + T_i^B) ds - \{T_i u_i ds \quad (1)$$

ここに $B(\alpha_{ij})$:コンプリメンタリエネルギ, T_i^T, T_i^B :要素 i の表面力, u_i :境界条件である。

なお、紙面の都合上、詳細な説明は省略する。

3. 解析結果 Fig. 1は半無限地盤が帯荷重を受ける支持力問題である。(a)の左側はZienkiewiczらによる塑性域の進展図であり、右側は本法のそれである。

(b)は主応力線図であり同様にPrandtlとHillのすべり線を示してある。(c)は変位追跡図と荷重変位曲線である。

(a)図より荷重が比較的小さい場合には塑性域の進展はZienkiewiczのものと差はないが、大きくなると異なるようである。(c)図のすべり線の形状と比較すれば、本法の場合、(a)(c)上にすべり線との対応関係が見いだせると思われる。

Fig. 2は斜面の支持力問題である。斜面の場合、法勾配・荷重位置により崩壊形式が異なり、法勾配がゆるやかな場合には局すべり現象、急な場合には円弧すべり現象が生じることがわがっている。ところで、有限要素法でこれらの問題を解析すると、局すべり現象をうまく表現することができないとの報告がある。

ここでは法勾配がゆるやかな斜面の支持力問題をとりあげ、既往の研究結果との比較検討を行なう。(a)は文献(5)による実験により観測されたクラックと剛体バネモデルによるすべり線であり、(b)は有限要素法による安全率の

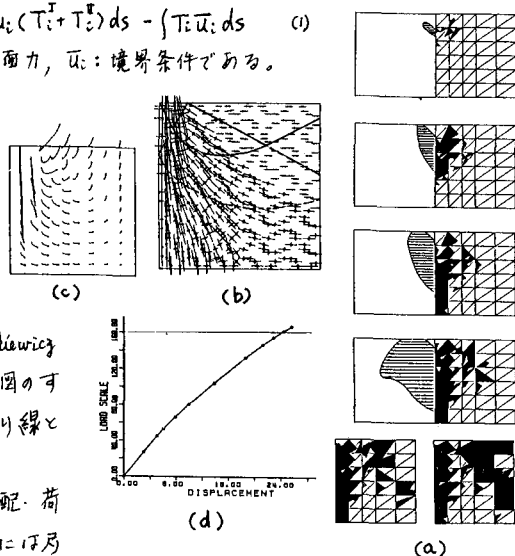
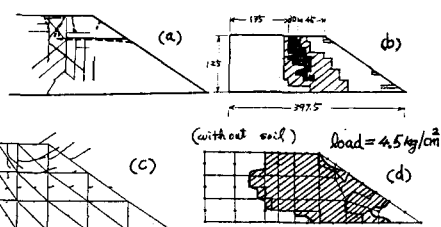


Fig.1 A Strip Foundation



分布を引用したものである。本法による塑性域進展図(c), 変位追跡図(c)に示す。解析に際しての物理定数は文献⁵⁾と同値とし、引張力の考慮は行っていない。

ヤング率 $E = 60 \text{ kg/cm}^2$, ポアソン比 $\nu = 0.35$, 土の単位体積重量 $\gamma = 0.0016 \text{ kg/cm}^3$, 内部摩擦角 $\phi = 25^\circ$, 粘着力 $c = 0.25 \text{ kg/cm}^2$ である。なお、要素特性の検討が主眼であるため、

構成方程式には簡単な関連流れ則に基づく Drucker-Prager を用いた。ただし、(b)で用いられている構成方程式は松岡によるものであり本法と直接比較できない。その

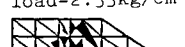
- (1) EXPERIMENT (REF.5)
- (2) R.B.S.M. (REF.5)
- (3) PRESENT WITH SOIL WEIGHT
- (4) PRESENT WITHOUT SOIL WEIGHT
- (5) F.E.M. INT(3,3)
- (6) F.E.M. INT(2,2)

ため8節点アイソパラメトリック要素(積分点 3×3)を用いて Drucker-Prager の構成方程式により解析した塑性領域図(c)に示す。本法による(c), (c)の図からは必ず昇動が見受けられるが、剛体バネモデルを除く他の解法(c), (c)からは必ず昇動が見受けられず、突挙動とかけ離れた結果となっている。(g)は荷重変位曲線であり、文献より実験における極限支持力は 3.11 kg/cm^2 と報告されている。本法のそれは 3.134 kg/cm^2 であり一致度は良好である。(h)は地盤内の A, B 点における土圧である。A 点では多少なりとも実験データの様相がうかがえるが、B 点ではその対応づけは困難である。この理由は構成方程式にあると考えられる。土などの粉粒状体の応力歪関係は関連流れ則では説明できない Drucker-Prager の構成方程式はあまりにも簡単であるためである。(h)は斜面土の垂直変位を示したものである⁵⁾、本法の結果は既往の実験結果を大局的に再現していると思われる。

load = 1.53 kg/cm^2



load = 2.33 kg/cm^2



load = 2.76 kg/cm^2



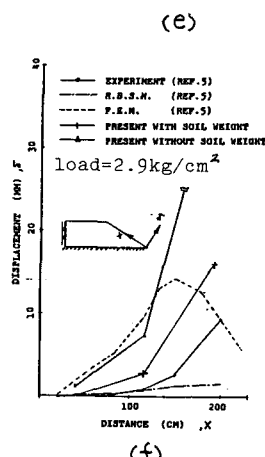
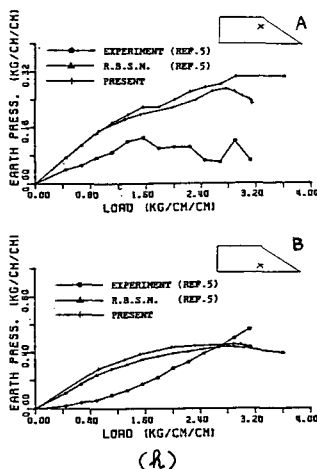
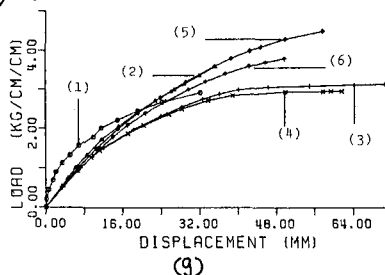
load = 3.00 kg/cm^2



load = 3.07 kg/cm^2



load = 3.12 kg/cm^2



4. 結 言

以上のように、本法は簡単な構成方程式を用いたにもかかわらず、既往の実験結果を大局的に再現できている。通常用いられている要素は適合条件を強制しているため、不連続現象を表現するのは困難であり、平衡モデルはそれを強制しないためと考えている。

5. 謝 辞

本研究を行うにあたり、貴重な御助言をいただいた東大・川井忠彦教授、竹内則雄助、広大・近藤一夫助に、プログラム化において御協力いただいた三井造船野村次氏、東芝・中久保亨氏に、また実験データの引用を御許し下さったフジタ工業渡田光敬氏に深謝の意を表します。

6. 参考文献

- 1) 豊島良郎, 中西宏, 渡田光敬 '平衡条件を満足する一つの離散化手法について' JSSC ミニックスシンポジウム 5日, 7月 1981年
- 2) R.C. Zienkiewicz, S. Vailippa, J.P. King 'Elasto-Plastic Solutions of Engineering Problems Initial Stress Finite Element Approach' Int. J. Num. Meth. Engng. vol 1 (1969) 75-100
- 3) 松岡元, 香川和夫, 中井照夫 '土のダイラタンシーを考慮した地盤の有限要素解析' 土木学会論文報告集 266号 1977年 10月 p75
- 4) 最上武雄 編集 '土質力学' 土木学術集, 技報堂
- 5) 竹内則雄, 渡田光敬, 川井忠彦 '新離散化モデルによる地盤基礎の極限解析 その7' 生産研究 vol 33, 1/7