

1. まえがき

有限要素法は、支持力解析や斜面安定などの極限解析には適していないとの意見もみられるが、計算手法に十分な注意を払えば、比較的精度の高い結果が得られることを示してきた¹⁾。しかし、解析解との比較を行ってみると、有限要素法の結果は常に大きな支持力の値や高い安全率を与える傾向がみられる。この点を検討するために特殊な有限要素を用いた計算を行い、手法の精度向上をかけたので、その結果を報告する。

2. 計算の手法

計算に際しては、土をモール・クーロンの降伏条件に従う弾塑性体とし、関連流れ則を用いた。実際の計算においては、仮想的な弾・粘塑性理論を用い、通常のくり返し計算の代りに、仮想時間に関する積分を行うことにより、非線形計算の収束をはかっている。降伏条件式を F とすると、粘塑性ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{VP}$ を次式のように表す。²⁾

$$\dot{\epsilon}_{VP} = \delta \left\langle \frac{F}{F_0} \right\rangle \frac{\partial F}{\partial \sigma}$$

ここに、 δ は粘性係数に反対するものであり、時間の逆数の次元を有する。記号 $\langle \rangle$ は、その中の値が正の場合には、その値をとり、 $\langle \rangle$ の中が負の場合には零の値をとる関数を表す。上式のように粘塑性ひずみ速度を与えると、 F の値が正の場合に粘塑性ひずみ速度が発生する。時間が進行すると F の値は徐々に減少し、最終的には F の値はほぼ零となって定常状態に達する。計算においてはこの定常状態での値をくり返し計算の収束値とみなしている。

3. 計算結果

今回解析を行ったのは、図-1に示すような、水平地盤上の帯基礎の支持力解析であり、この図に示されるような要素分割を用いた。解析においては、土の自重および土載荷重を無視しており、支持力係数 N_c に対応するものを求めていることになる。

図-2は、解析の結果から得られた N_c の値をプラントルによる解析解と比較したものである。

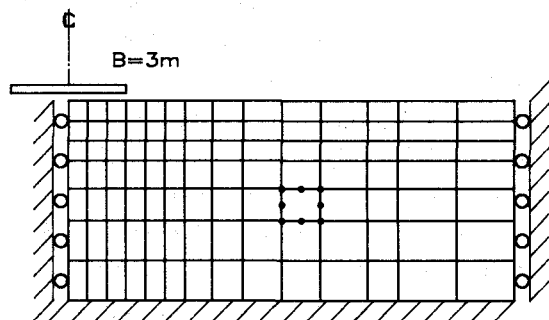


図-1

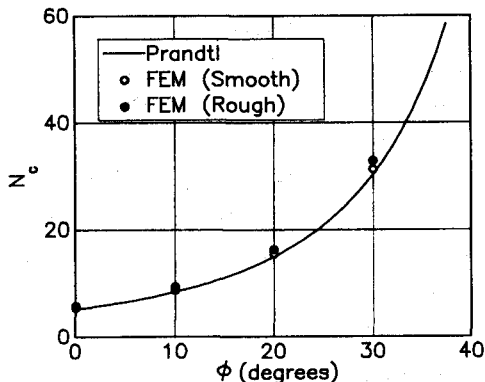


図-2

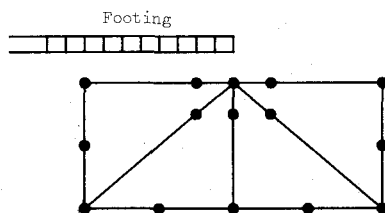


図-3

この図より分るように、FEMの値はプラントルの値とほぼ一致している。しかし、詳細に両者の結果を比較すると、 $\phi=0$ の場合に関して、プラントルの値5.14に対し、FEMでは5.42となり、約5%の誤差が生じている。この原因として支持力解析のような場合には、基礎端部において応力の特異点となるために、図-1のような要素分割では精度の高い解析が不可能となることが考えられる。この点を検討するために、図-3に示すような特異要素を基礎端部に配置して解析を行った。この要素は通常の8節点アイソパラメトリック要素を基本とし、2つの頂点節点と同一座標とし三角形形状にしたものであり、さらに中間節点の一部を通常の中点ではなく1/4の地点に移動したものである。このような要素は、クラックの発生する場合などに用いられているものである³⁾。

図-4は、通常の解析と図-3の特異要素を追加した解析における荷重-沈下曲線と比較したものである。図-4には、プラントルによる値を一乗鎖線で示しているが、特異要素を追加することにより精度が向上し、FEMの結果がプラントルの結果とほとんど一致することが分る。

同様の解析を斜面安定に関しても行った結果を図-5に示す。この結果は、 $\phi=0$ の一般的な単純斜面の安定係数 N_s と斜面の傾斜角 β の関係と Taylor の安定図表と比較したものである。図中の黒丸は特異要素を用いない場合の結果を示したものであるが、 $\beta=90^\circ$ の場合にFEMの結果と Taylor の結果に大きな差がみられる。 $\beta=90^\circ$ の場合には、支持力解析の際に生じた特異点の影響が最も大きく生じると予想される。この点を検討するために、図-6に示すように特異要素を追加した解析を行った。この結果を図-5のX印で示す。この図より分るように、特異要素を追加することにより精度の向上がみられる。

参 考 文 献

- 1) 小林正樹：有限要素法による地盤の安定解析，第18回土質工学研究発表会。
- 2) 小林正樹：有限要素法による地盤の安定解析，港湾技術研究所報告，Vol. 23 No. 1。
- 3) Zienkiewicz, O. C. : The finite element method, third edition, 1977.

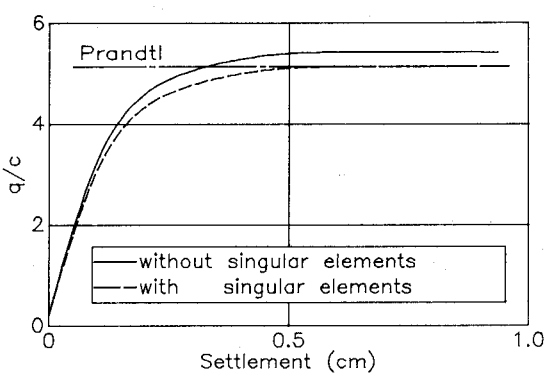


図 - 4

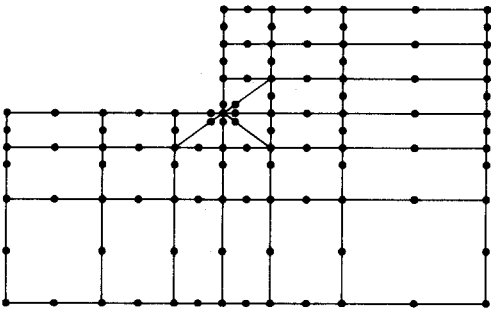


図 - 5

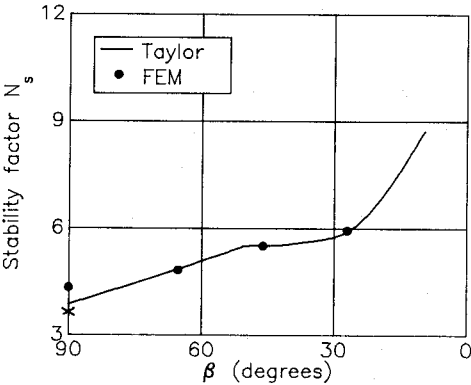


図 - 6