

名古屋大学
Purdue Univ.

正員 ○ 水野 英二
W. F. Chen

1. はじめに

近年、構造物と地盤との相互作用問題が構造工学の分野で台頭するにつれ、地盤材料力学モデルの適応性に関する評価が一つの重要な課題となってきた。そこで、本研究では特に塑性理論に基づく地盤材料の構成法則¹⁾を取り上げ、その土工学における境界値問題への応用を試みる。

2. 地盤材料の塑性力学モデル

ここでは、次の三種類の塑性力学モデルを取り上げる：従来の Coulomb モデル等をスムーズな曲面で置換えた Drucker-Prager 完全塑性モデル (D-P モデル)、Fig. 1 および Fig. 2 に示されるような、塑性体積ひずみの影響をひずみ硬化則に取り入れた D-P モデルタイプの Plane Cap モデル (P-C モデル)、Elliptic Cap モデル (E-C モデル)。P-C モデルは、一般に岩盤材料に、E-C モデルは土質材料に用いられる。

3. 塑性力学モデルの応用例²⁾

上述の三種類の塑性力学モデルを用いて、フーチング荷重を受ける地盤の逐次破壊挙動を有限要素法により、平面ひずみ状態のもとで解析した。ここでは、Fig. 3 に示されるように、フーチング幅は 3.14 m とし、地盤モデルはフーチング中央より左右に 7.32 m、また深さ方向に 3.66 m を解析の対象とした。フーチングは柔性かつその底面はなめらかと仮定した。地盤モデルの鉛直および水平境界条件と有限要素の分割は、Fig. 3 に示されている。地盤材料定数は、ヤング率 $= 2.07 \times 10^5$ KPa、ポアソン比 $= 0.3$ 、内部摩擦角 $= 20^\circ$ 、粘着力 $= 69$ KPa である。また Cap モデルのひずみ硬化則 $[\epsilon_{xx}^p = W(e^{\beta \epsilon_{xx}^p} - 1)]$ 、ここで ϵ_{xx}^p は塑性体積ひずみのパラメータ W 、 D はそれぞれ、 0.003 、 $1.26 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$ を用いた。すは初期値として、 -321 KPa である。E-C モデルの場合、形状パラメータ R は 4 である。

4. 解析結果

解析結果として、フーチング荷重-変形曲線および地盤の崩壊時における速度場をそれぞれ示す。

4.1. フーチング荷重-変形曲線

Fig. 4 に示されるそれぞれの曲線は、関連流動則、および非関連流動則 (塑性ポテンシャル関数として von Mises タイプを仮定) に従う D-P 完全塑性モデル、P-C モデル、E-C モデルより解析された荷重-変形曲線である。関連、非関連流動則に従う D-P モデルによつて予測される曲線は、ともにフーチング荷重 276 KPa までは同様の挙動を示す。これはすべての地盤要素の応力状態がまだ弾性域にあるためである。関連流動則に従う場合には、1036 KPa の荷重で急激な剛性の低下を示し、1091 KPa の荷重で極限状態に達する。一方、非関連流動則に従う場合には、荷重 276 KPa より徐々に、異なった挙動を示し、980 KPa の極限荷重まで非線形挙動を示す。P-C モデル

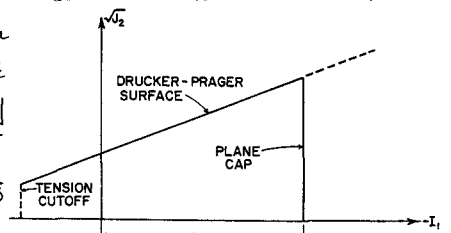


Fig. 1 Plane Cap Model

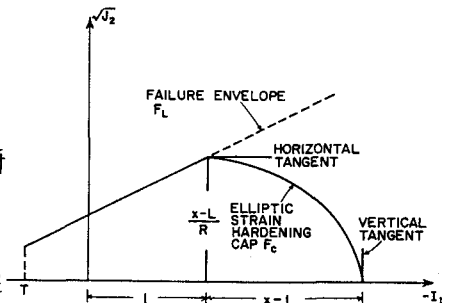


Fig. 2 Elliptic Cap Model

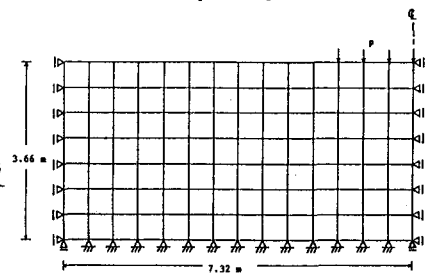


Fig. 3 Analytical Model

より予測される曲線は、276 KPaの荷重で、D-Pモデルによる曲線より離れ始め、960 KPaの荷重にて極限状態に達する。一方、E-Cモデルによる曲線は、P-Cモデルのそれより先に193 KPaの荷重にて離れ始める。これは、 $I_1 - \sqrt{I_2}$ 平面の $-I_1$ 側における初期弾性域がP-Cモデルのそれより狭いことによる。荷重-変形曲線は最終的に関連流動則に従うD-Pモデルの曲線に漸近してゆくことがわかる。また、以上塑性力学モデルによって得られた耐力力は、古典的手法である極限解析法により求められるPrandtlの解と非常によく一致していることがわかる。

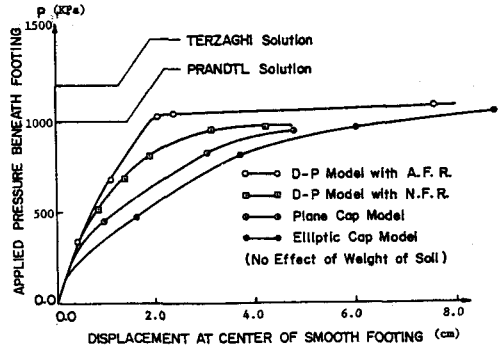


Fig. 4 Load-Displacement Curves

4.2. 極限状態における速度場

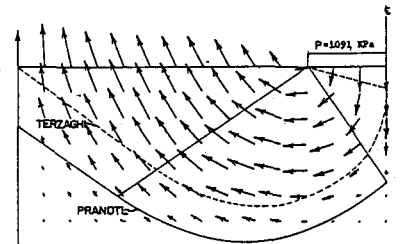
それぞれの塑性力学モデルにより求められ極限荷重時における速度場がFig. 5および6に示されている。図中の破線および実線は、それぞれTerzaghi, Prandtl速度場のメカニズムを示す。関連流動則に従うD-Pモデルによる速度場 (Fig. 5-a) はPrandtlのそれとよく一致しているが、過度なDilatancyが予測される。一方、非関連流動則によるもの (Fig. 5-b) は、Terzaghi速度場のメカニズムとよく一致し、Dilatancyの発生はみられない。P-Cモデルによる速度場 (Fig. 6-a) は、Terzaghiのそれとよく一致しているが、多少のDilatancyが発生しているのがわかる。また、E-Cモデルによるもの (Fig. 6-b) は、Prandtl速度場のメカニズムとよく一致している。ここでは、非関連流動則のものと同様、Dilatancyの発生はみられない。

5. 結論

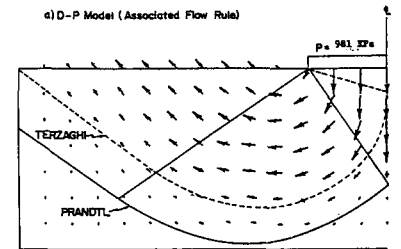
本研究では、一解析例を通して塑性力学モデルの地盤境界値問題への適応性について検討を行なった。用いた三種類の塑性力学モデルは、ともに従来の極限解析法とよく一致する解を与えることがわかった。地盤材料の複雑性、および実験より求められる材料定数と力学モデルパラメータの不確性を考慮すれば、塑性力学モデルは比較的簡潔なものにとどめる一方、それら塑性力学モデルを応用した実際の問題を数値解析的観点より、さらに検討することが望ましい。

参考文献

1. Chen, W. F., "Plasticity in Soil Mechanics and Landslide," *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol. 106, No. EM3, Proc. Paper 15460, June, 1980, pp. 443-464.
2. Mizuno, E., "Plasticity Modeling of Soils and Finite Element Applications," Ph.D. Thesis, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, Ind., December 1981.
3. Zienkiewicz, O. C., Humpherson, C., and Lewis, R. W., "Associated and Non-Associated Visco-Plasticity and Plasticity in Soil Mechanics," *Geotechnique*, 25, No. 4, 1975, pp. 671-689.

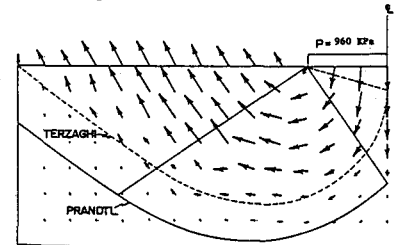


a) D-P Model (Associated Flow Rule)

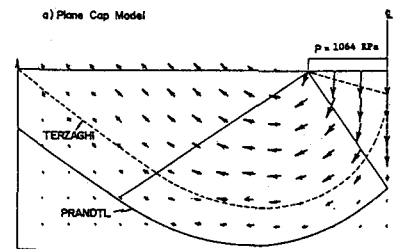


b) D-P Model (Non-associated Flow Rule)

Fig. 5 Velocity Field



a) Plane Cap Model



b) Elliptic Cap Model

Fig. 6 Velocity Field