地盤強度の非線形強度特性を考慮した寸法効果が極限支持力に与える影響

長岡技術科学大学大学院	学生会員	○朝妻	涼,	NGUYEN L	E DU	「, 保科	隆
長岡技術科学大学	正会員			大塚	悟,	磯部公	_

1. はじめに

地盤上に構造物基礎を設計する際には地盤の極限支 持力を適切に評価する必要がある.地盤の極限支持力 を求める簡易計算方法はTerzaghi により極限平衡法に 基づく支持力式が提案されており,現在でも設計で広 く適用されている.しかし,Terzaghi の支持力式にお ける係数に関しては幾つかの方法が提案されているも のの,各々の方法の精度に関する検討は十分に行われ ていない.

これまでに模型実験を用いた支持力係数に関する実 証的研究は重力場や遠心場で多数実施されてはいるが、 模型規模による寸法効果や傾斜荷重の影響について有 効な結論を導くまでには至っていない.

また, Tatsuoka et al.1)は豊浦砂のせん断強度が拘束圧 に依存して変化することを指摘しているが,これまで の剛塑性有限要素解析では粘着力とせん断抵抗角(内 部摩擦角)のみで地盤の強度を表現した.

Drucker-Prager 規準を適用しているため、上述の現象 を考慮していない.

そこで、本研究では高次降伏関数型を用いた地盤強 度の拘束圧依存性を取り入れた剛塑性構成式を開発し、 基礎幅や荷重傾斜角度による極限支持力への影響をを 評価することを目的とする.

2. 剛塑性構成式

2.1 剛塑性構成式の導出

拘束圧(応力レベル)に対する地盤強度の非線形性 に対して式(1)の高次降伏関数を導入する. I_1 は応力テ ンソル σ (以下,応力と省略)の第一不変量, J_2 は偏差 応力テンソルs(以下,偏差応力と省略)の第二不変 量である.ここでn,a,bは材料特性を表す係数で あり,引張応力を正と定義する.

$$f(\sigma) = aI_1 + \sqrt{J_2} - b = 0$$
 (1)

る. ここに λ はひずみ速度の大きさを表す係数, $\dot{\mathbf{e}}$ (= $\sqrt{\dot{\mathbf{\epsilon}}:\dot{\mathbf{\epsilon}}}$) は等価ひずみ速度, Iは単位テンソルである.

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \lambda \frac{\partial f(\boldsymbol{\sigma})}{\partial \boldsymbol{\sigma}} = \frac{a\mathbf{I} + nJ_2^{n-1}\mathbf{s}}{\sqrt{3a^2 + 2n^2(b - aI_1)^{2-\frac{1}{n}}}} \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}$$
(2)

ここで、体積ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_v$ は式(2)より等価ひずみ速度 と次の関係にある.

$$\dot{\varepsilon}_{v} = tr\dot{\varepsilon} = \frac{3a}{\sqrt{3a^{2} + 2n^{2}(b - aI_{1})^{2 - \frac{1}{n}}}}\dot{e}$$
(3)

偏差応力と応力の第一不変量が、ひずみ速度の関数と して表されることから、次の構成関係が得られる.

$$\boldsymbol{\sigma} = \left[\frac{1}{n} \left(\frac{9a^2}{2n^2} \left(\frac{\dot{e}}{\dot{\varepsilon}_v} \right)^2 - \frac{3a^2}{2n^2} \right)^{\frac{1-n}{2n-1}} \left[3a \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\varepsilon}_v} - a\mathbf{I} \right] \right] + \frac{1}{3} \left[\frac{b}{a} - \frac{1}{a} \left(\frac{9a^2}{2n^2} \left(\frac{\dot{e}}{\dot{\varepsilon}_v} \right)^2 - \frac{3a^2}{2n^2} \right)^{\frac{n}{2n-1}} \right] \mathbf{I}$$
(4)

2.2 パラメータの設定

図-1 に Tatsuoka et al.の実験¹⁾によって明らかとなった豊浦砂のせん断強度と拘束圧の関係を示す.各拘束 圧で得られたせん断抵抗角を元に応力の第一不変量と 偏差応力



Ш-18

キーワード 剛塑性構成式,非線形強度特性,極限支持力解析,寸法効果,拘束圧依存性

連絡先 〒940-2137 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学環境防災研究室 TEL. 0258-46-6000

の第二不変量から成る応力空間にプロットし、このプ ロットを通るように*n*、*a*、*b*を決定した.

3. 水平地盤の極限支持力解析

地盤の拘束圧の低圧域および高圧域で Drucker-Prager 基準は強度を過大評価する問題がある.これは本来, 地盤のせん断強度は土質による拘束圧に対して非線形 な強度特性を有するのに対して,線形の強度式を適用 して強度を評価することに起因する.そのため,強度 の非線形性を安定性評価に取り入れることは工学的に 重要である.そこで,提案する剛塑性構成式(4)が拘束 圧依存性による効果を評価可能であることを明らかに するために,日本建築学会²⁾(AIJ)により求まる水平 地盤の極限支持力と比較する.

図-2 に水平地盤モデルを示す.解析ケースとして基 礎幅を1,3,10,30,100mと変更した計算を実施し た. 図-3 に Drucker-Prager 基準に基づく剛塑性構成式 (以下, DP と表記)と開発した剛塑性構成式(4)を用い た解析結果(以下, HO と表記)ならびに Myerhof と AIJ に基づく結果を比較したものを示す. Myerhof と DP の極限支持力はほぼ一致する結果が得られたが, AIJ に よる極限支持力とは大きく異なる結果が得られた.こ れは AIJ における極限支持力は寸法効果を評価した補 正係数を考慮しているためである.対して、拘束圧依 存性による影響を評価するHOによる極限支持力はAIJ で得られた極限支持力に一致する結果が得られている ことがわかる.また,図-4にDPならびにHOから得 られた等価ひずみ分布と変形図(変位速度に任意の時 間を乗じたもの)を示す.両者を比較すると,DPに比 べて HO で得られた等価ひずみ速度分布が小さくなる 結果が得られていることがわかる.以上のことから, 本剛塑性構成式を用いることで、拘束圧依存性による 影響を合理的に評価できていると考えられる.

4. 結論

本研究では高次降伏関数に基づく剛塑性構成式を用 いた極限支持力解析手法を開発した.本解析手法は地 盤の拘束圧による地盤の非線形強度特性がある極限支 持力問題を合理的に評価できる利点がある.また,水 平地盤の極限支持力問題を通して,寸法効果を考慮し た AIJ で得られた極限支持力と本解析手法で得られた 極限支持力が一致する結果が得られており,本解析手 法を用いることで,拘束圧依存性による効果を合理的 に評価し、かつ、この効果による極限支持力を適切に 評価できることを明らかにした.

参考文献

- Tatsuoka,F.Sakamoto, M. Kawamura, T.andFukushima, S.:Strengthand deformation characteristics of sand in plane strain compression at extremely low pressures, Soil and Foundations, Vol.26, No.1, pp.65-84, 1986
- 2) AIJ(日本建築学会)



RPFEM (HO) B=10m 図-4 等価ひずみ分布と変形図