

Ⅲ-A229 補強砂地盤の支持力破壊の数値解析

東洋建設土木本部 正会員 ○ 小竹 望
 明治大学農学部 正会員 田中 忠次
 東京大学工学部 正会員 龍岡 文夫

はじめに 補強した密な砂地盤の支持力破壊を、ひずみの局所化を考慮した非線形弾塑性FEMにより解析した。解析による荷重～沈下量関係とせん断帯の発生状況を実測と比較することにより、解析の適用性を検討した。

解析概要 フーチング直下に線状の引張補強材を水平に配置した密な豊浦砂($D_r=80\sim 86\%$)の模型水平地盤の平面ひずみ支持力実験¹⁾を解析対象とした(図-1)。実験では、補強材の長さ L 、層数 n などを変化させた種々の補強パターンについて、底面が粗で剛なフーチングに鉛直荷重を作用させ、荷重～沈下量関係に加えて拘束面(ε_2 面)での地盤変位などが計測された。この数値解析シミュレーションとして、豊浦砂のせん断強度の異方性、 ϕ の拘束圧依存性、ひずみ軟化、せん断帯の発生を考慮できる動的緩和法による弾塑性FEM解析²⁾を適用した。解析モデルは、フーチング近傍を要素サイズ $1.0\times 1.0\text{cm}$ の平面要素でメッシュ分割し(節点数:581)、底面・側面境界をそれぞれ水平・鉛直ローラーとする対称モデルとした(図-2)。りん青銅製の補強材(幅 0.3cm 、厚 0.05cm)は梁要素でモデル化した。補強材のヤング率は $E=1.22\text{E}+8\text{kN/m}^2$ 、補強材1層(24本)の断面積、断面2次モーメントは単位奥行きあたりに換算してそれぞれ $A=9.0\text{E}-3\text{cm}^2$ 、 $I=1.875\text{E}-6\text{cm}^4$ とした。初期応力については、鉛直応力を $\sigma_{vo}=\gamma_d\cdot h$ 、水平応力を $\sigma_{ho}=K_0\cdot\sigma_{vo}$ とした。ここで、 $\gamma_d=15.9\text{kN/m}^3$ 、 h :深さ、 $K_0=0.34$ である。荷重は、フーチング底面に相当する節点列に対して水平方向変位を拘束し、鉛直方向変位を与える変位制御で作用させた。変位増分をフーチング幅の 0.01% となる 0.001cm/step とし、収束条件を力およびエネルギーのノルムについて $1.0\text{E}-6$ 以下とした。補強材長($L/B=1$)と補強材上下間隔($d/B=0.3$)を一定にして補強材層数を $n=1\sim 5$ (補強深さを $D_r/B=0.3\sim 1.5$)と変化したGroup-a、補強材層数($n=3$)と補強材上下間隔($d/B=0.3$)を一定にして補強材長を $L/B=1\sim 6$ と変化したGroup-b、および無補強の場合について解析した。

荷重～沈下量関係: 正規化した荷重($N=2q/\gamma_d\cdot B$)～沈下量(S/B)関係をGroup-a, bについてそれぞれ図-3に示す。FEM解析結果の方が実験結果より初期剛性とピーク荷重 N_r が大きく、ピーク時沈下量 S/B が小さい傾向がすべてのケースでみられる。この原因として、実験ではフーチング底面のベディングエラーが多少あること、FEM解析では線状補強材の3次元効果や相対変位を考慮していないことなどが考えられる。しかし、補強層数 n と補強材長 L が補強効果に与える影響については、FEM解析結果は実験結果とほぼ同様な傾向を示している。すなわち、Group-aのFEM解析では、 n を多くするに従って初期剛性、 N_r 、 S/B が大きくなる傾向が実験と同様に明瞭に認められる。また、Group-bでは、 L/B が増加しても初期剛性と N_r の増加が比較的小さく、FEM解析では $L/B\geq 2$ 、実験では $L/B\geq 3.5$ で補強効果に変化がないことを示している。

最大せん断ひずみの発生状況: 実験およびFEMで得られた最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}(=\varepsilon_1-\varepsilon_3)$ のコンターを代表的なケースについてそれぞれ図-4、5に示す。両者を比較すると実験で確認された破壊モードがFEM解析により良く再現されていると言える。すなわち、a) 無補強の場合には、フーチング端部からせん断帯が発生し、フーチング直下に主働楔が形成される。b) この領域に補強材を配置するとせん断帯の発生が補強材の拘束効果によって抑制される。 $L/B=1$ のとき、補強領域内部の $\gamma_{\max}$ は小さく、補強領域が剛体挙動を示す。そのため、補強領域の側面に沿ってせん断帯が形成され、最下層に到達するとさらに補強領域直下に主働楔が形成される。c) $L/B=2$ のとき、補強材の剛性による荷重の分散とともに、補強材の拘束効果によってせん断帯の発達が遮られるため、 $\gamma_{\max}$ が広範囲に分散している。 $L/B=1$ のときと同様にフーチング直下の補強領域は $\gamma_{\max}$ が小さく、補強領域直下に主働楔が形成される。

参考文献: 1) Huang and Tatsuoka: Bearing Capacity of Reinforced Horizontal Sandy Ground, Geotextiles and Geomembranes 9 (1990) 51-82. 2) Kotake, Tanaka, Tatsuoka, and Yamauchi: Numerical Simulation of Strain Localization and Failure in Reinforced Sand, IS-Nagoya, 1997 (to appear)

キーワード: 支持力、補強土、FEM、せん断帯、平面ひずみ

〒101 東京都千代田区一ツ橋 2-6-3 TEL 03-5210-4835 FAX 03-5210-4841

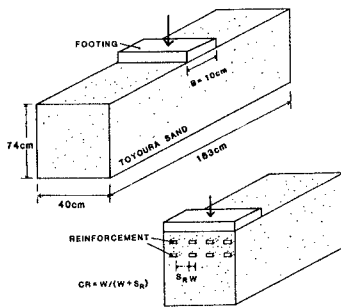


図-1 支持力実験概要図¹⁾

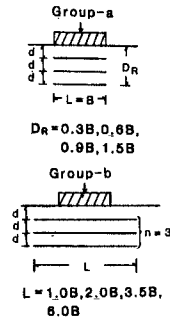


図-2 FEMメッシュ図

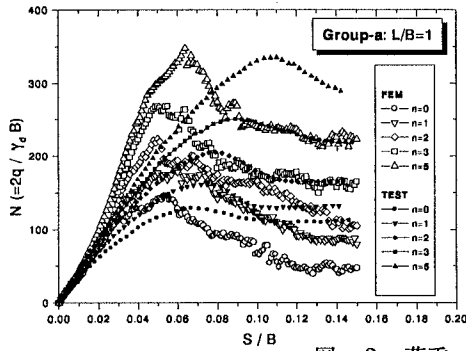
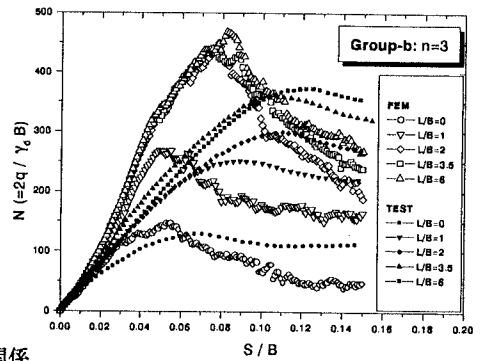
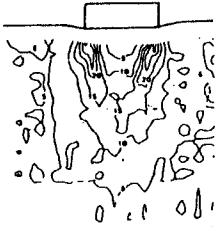


図-3 荷重～沈下量関係



a) 無補強 $S/B=0.07$



b) 補強
 $L/B=1$
 $n=3$
 $S/B=0.09$



c) 補強
 $L/B=2$
 $n=3$
 $S/B=0.11$

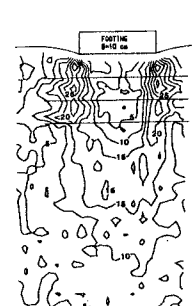


図-4 最大せん断ひずみ γ_{max} コンター図（実験）

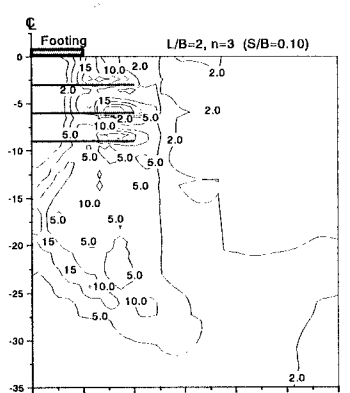
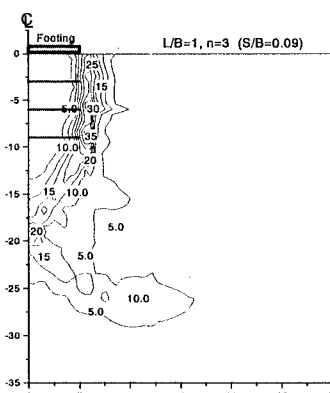
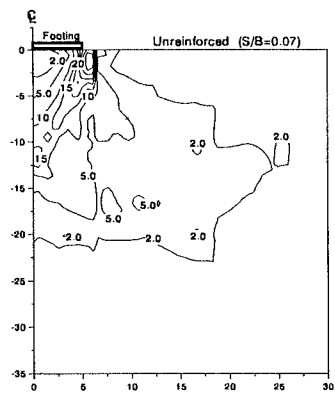


図-5 最大せん断ひずみ γ_{max} コンター図（FEM）