上層砂質土 下層粘性土からなる二層地盤上の剛性基礎の有限要素解析

鹿児島大学 正会員 山本 健太郎

鹿児島大学 正会員 北村 良介

<u>1. はじめに</u>

山本ら¹⁾はこれまで、粘性土上に砂質土を有する二層地盤に対して極 限解析法の一つである上界法を用いて、支持力式を提案した。しかし、 設定した破壊メカニズムは内部摩擦角 が大きい場合や全般せん断破壊 形式を示す地盤条件に対しては、比較的精度の良い近似解を得ることが できたが、全般的にある程度の誤差を含んだものであると考えられる。 ゆえに、二層地盤のような基礎幅 B に対する砂質土層の厚さ比 H/B や砂 質土と粘性土の強度パラメータにより、破壊メカニズムが複雑に変化す る問題に対しては、破壊メカニズムを設定する上界法よりも、厳密な近 似解を得たい場合には有限要素法が有効だと考えられる。本論文では、 粘性土上に砂質土を有する二層地盤上の剛性基礎の極限支持力並びに、 基礎直下と粘性土表面上に作用する垂直とせん断応力分布を精度良く求 めることを目的に、有限要素解析の適用を試みた。

<u>2. 解析条件</u>

実務上での興味の対象となる解析条件に対して有限要素解析を実施した。上層砂質土(=20 kN/m³)の内部摩擦角 を 30, 35, 40 ° の 3 ケース、基礎幅 B に対する上層砂質土の厚さ比 H/B を 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 の 8 ケース、下層粘性土の非排水せん断強さ *c*_u=10, 30, 50, 70, 90 kN/m² の 5 ケースと変化させた。有限要素解析の詳細に関しては、参考文献 2)にゆずるものとする。

3. 解析結果と考察

図 - 1 には有限要素解析で用いた典型的な有限要素メッシュの一例 (H/B=1.5)を示す。左右端の境界条件は x: 固定, y: 自由とし,下端の境 界条件は x, y ともに固定とした。基礎の厚さは 0.2B とし、8295 個の節点、 4050 個の 6 節点 3 角形要素で形成した。解の精度の検証としては、均一な 粘性土地盤に対して $q_b/c_u=5.29(q_b:$ 基礎の base における単位面積当たりの 鉛直荷重)が得られ、Prandtlの厳密解 $q_b=(2+)c_u=N_cc_u$ との誤差は 2.9%で あった。よって、十分な精度を有していると考えられる。図 - 2 には、 有限要素解析からの q_b / B と無次元化された垂直変位との関係を示す。 解析ではより正確な極限鉛直支持力を求めるために、multi-increment steps を用いた。図 - 2 は と H/B が一定で、 c_u / B を変化させた時の結 果である。これを見ると、垂直変位が増加するに従い、荷重が収束する 様子がわかる。そして、 c_u / B の増加とともに q_b / B が大きくなること もわかった。

図 - 3,4 には有限要素解析から得た基礎直下での垂直並びにせん断応 力分布を示す。縦軸には B で無次元化された応力,横軸には基礎幅 B で無次元化された基礎中心からの距離を示す。図中の直線は、基礎と地盤



 Δ - 2 qb/ B C無人儿にとれた並 直変位の関係(= 35°, H/B=1.0)



図 - 3 基礎直下での垂直応力分布 (=35°, H/B=1.0)



との境界面において3つの節点を有する3角形要素の積分点における垂 直またはせん断応力の値を結んだものである。垂直応力は圧縮を正とし、 せん断応力は時計回りを正としている。図 - 3,4を見ると、cu/ Bが大 きくなると破壊領域が上層砂質土中に限定されるので、基礎直下での垂 直並びにせん断応力分布は均一な砂質土地盤での応力分布に類似してく ることがわかる。図 - 3 の c_n/ B=0.5 の時には、基礎の中心周辺におい て、中心での垂直応力が少し小さくなる傾向が見られた。そのことと対 応して、図 - 4 の c_u/ B=0.5 の時にのみ、基礎の中心周辺において基礎 端に向かうせん断応力が見られた。なお、図-4 での基礎の中心周辺にお いて基礎端に向かうせん断応力は、c_u/ B が小さい時のみに作用し、基礎 からの荷重を分散させることをより有効的にしていると考えられる。図 - 5,6には有限要素解析から得た粘性土表面上での垂直並びにせん断応 力分布を示す。垂直応力の縦軸は上層砂質土の自重 (D)を差し引き、 c_uN_cで無次元化した。一方、せん断応力の縦軸は下層粘性土の非排水せ ん断強さ(cu)で無次元化した。垂直並びにせん断応力分布ともに、横軸に は基礎幅Bで無次元化された基礎中心からの距離を示す。図中の直線は、 上層砂質土と下層粘性土との境界面直下における 3 つの節点を有する 3 角形要素の積分点における垂直またはせん断応力の値を結んだものであ る。図 - 5 を見ると c_n/ B=0.5 の時には、基礎中心での正規化された垂 直応力(_n- D)/(c_uN_c)が 1 以上となり、破壊面が下層粘性土にも及ん でいると考えられる。図 - 5,6から c₁/ Bが増加するにつれて、粘性 土表面上での垂直並びにせん断応力が作用する領域が減少することが わかる。このことは、c_u/ B が小さい時には、上層砂質土が基礎から の荷重を分散させるのに有効的であることを示す。図 - 6 を見ると、 せん断応力分布のパターンは cu/ B=0.5 の時のみ異なることがわかる。 c_n/ B=0.5 の時のせん断応力は、基礎の中心周辺では基礎端に向かっ て作用しているが、基礎端周辺では基礎の中心に向かって作用してい る。このことは図 - 4 の cu/ B=0.5 の時にのみ、基礎の中心周辺にお いて基礎端に向かうせん断応力が見られることと対応しているものと 考えられる。なお、応力分布の形状がジグザグとなる傾向が著しいが、 これは積分点の応力を抽出し、それらが3角形要素の幾何学条件や有限 要素による連続体の離散化の影響などを敏感に受けるためである。

図 - 7 には =35°に対する有限要素解析から得た q_b/ B~H/Bを示す。 これを見ると H/B の増加につれて、均一砂質土地盤に対して得られる q_b/

B に収束する様子がわかる。図中の数値である 19.89 は =35°の均一 砂質土地盤に対して得られた qb/ B である。また、cu/ B=4.5 で H/B=0.125 の時に、19.89 よりも大きい qb/ B を得た。図 - 8 には有限要 素解析からの限界深さ H/B~cu/ B を示す。ここでの限界深さ H/B は、下



図 - 5 粘性土表面上での垂直応力 分布 (= 35°, H/B=1.0)



図 - 6 粘性土表面上でのせん断応 力分布 (= 35°, H/B=1.0)



層粘性土の強度パラメータである cuが支持力に影響を与えない深さのことを指す。

【参考文献】 1) Yamamoto, K. and Kim, D.: Bearing capacity of spread foundations on sand overlying clay, *Lowland Tech. Int.*, 6(2), pp.33-45, 2004. 2) 山本健太郎: 偏心及び傾斜荷重を受けた砂地盤上の剛性基礎直下での接地圧分布について, 第49回地盤工学シンポジウム論文集, pp.353-360, 2004.11.