

二層粘性土地盤上の剛性基礎の支持力解析

鹿児島大学 学生会員 小川 信考
 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

1. はじめに

均一地盤上の浅い基礎に対する支持力や破壊メカニズムは、Terzaghi の研究以来、現在までかなり明らかにされている。しかし、埋立地盤あるいは表層等を改良した地盤、さらには自然地盤でも強度が層状に変化していることが多い。このような多層系地盤における極限支持力や破壊メカニズムについては、均一地盤に比べると未解明なものも多く、多層系地盤の極限支持力に関しては均一地盤と異なり、明確な理論解は得られていない。

本論文では、二層粘性土地盤（上層と下層が固い粘土層と軟らかい粘土層の組み合わせから構成される）上の剛性基礎の極限支持力を非線形弾塑性有限要素解析により求めることを目的としている。そして、様々な地盤条件に対する極限支持力のみならず、基礎直下での垂直並びにせん断応力分布も評価し、その解析結果について考察を行った。なお、二層粘性土地盤上の剛性基礎の極限支持力に関する主な解析的研究としては、上界法や数値極限解析を用いた Chen¹⁾と Merifield et al.²⁾の研究が挙げられる。

2. 解析条件

以下の解析条件に対して有限要素解析を実施した。強度パラメータとして、上層と下層における粘性土の非排水せん断強度比 (c_{u1}/c_{u2}) を $c_{u1}/c_{u2}=0.25, 0.33, 0.40, 0.50, 0.57, 0.67, 0.80, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00$ の 16 ケースと変化させた。また、幾何学条件として、基礎幅 B に対する上層粘性土の厚さ比 H/B を $H/B=0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0$ 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 3) にゆづるものとする。

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 ($H/B=1.0$) 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 とともに固定とした。基礎の厚さは $0.2B$ とし、7029 個の節点、3414 個の 6 節点 3 角形要素で形成した。基礎端周辺においてメッシュを細かくすることも実施した。図 - 2 には、有限要素解析からの q_b/c_{u1} と無次元化された垂直変位との関係を示す (q_b : 基礎の base における単位面積当たりの鉛直荷重)。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 $c_{u1}/c_{u2}=2.50$ と上層粘性土が適度に固い場合での H/B を変化させた時の結果である。これを見ると、 H/B の増加とともに q_b/c_{u1} が大きくなるのがわかる。次に、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 c_{u1} 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

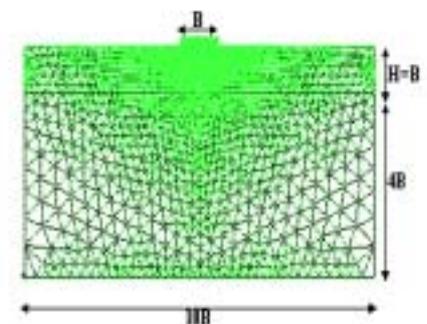


図 1 典型的な有限要素メッシュ ($H/B=1.0$)

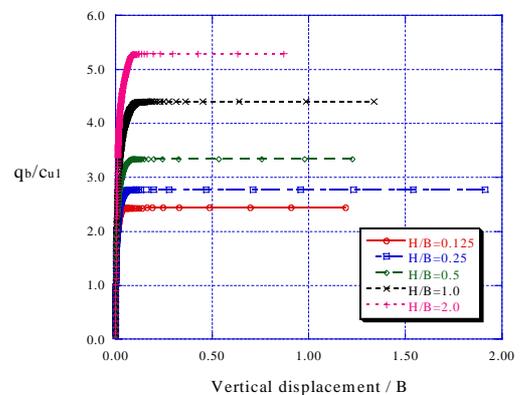


図 - 2 q_b/B と無次元化された垂直変位の関係 ($c_{u1}/c_{u2}=2.50$)

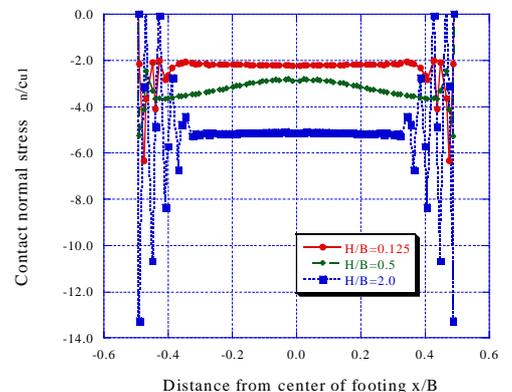


図 - 3 基礎直下での垂直応力分布 ($c_{u1}/c_{u2}=2.50$)

中心からの距離を示す。図中の直線は、基礎と地盤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。図 - 3, 4 を見ると、すべてのケースともに基礎端周辺において応力の変動が著しいことがわかる。垂直応力は引張りを正とし、せん断応力は時計回りを正としている。図 - 3 の $H/B=0.125, 2.0$ の時には、基礎の中心周辺において、垂直応力分布がほぼ一様となる傾向が見られた。そのことと対応して、図 - 4 の $H/B=0.125, 2.0$ の時には基礎端周辺において基礎中心に向かうせん断応力が見られた。また、図 - 3 の $H/B=0.5$ の時には基礎端周辺を除いて、基礎中心における垂直応力が最小となる傾向が見られた。そのことと対応して、図 - 4 の $H/B=0.5$ の時には基礎の中心を境として、基礎端に向かうせん断応力が見られた。 $H/B=2.0$ の場合には上層粘性土内でのみ破壊が生じ、 $H/B=2.0$ における基礎直下での垂直並びにせん断応力分布は均一粘性土地盤での応力分布に類似していた。なお、 $H/B=0.125, 0.5, 2.0$ の時の q_b/c_{u1} はそれぞれ、図 - 2 からわかるように 2.44, 3.34, 5.29 であった。なお、均一粘性土地盤に対しては $q_b/c_{u1}=5.29$ が得られ、Prandtl の厳密解との誤差は 2.9% であった。

図 - 5 には $H/B=0.125, 0.5, 2.0$ の時の $q_b/c_{u1} \sim c_{u1}/c_{u2}$ 関係を示す。赤い線が有限要素解析からの q_b/c_{u1} を表し、青い破線は Chen (1975)¹⁾ によって導かれた、円弧すべり破壊メカニズムを仮定し、上界法から得られた上界値を示す。これらを見ると、全般的に(a) $H/B=0.125$ の $c_{u1}/c_{u2} < 1.00$ において Chen (1975) の上界値は q_b/c_{u1} を大きく評価する傾向があると考えられる。このことは H/B が小さく、 $c_{u1}/c_{u2} < 1.00$ の場合、上層粘性土における絞り出し破壊と基礎端周辺での局所せん断破壊が卓越し、円弧すべり破壊メカニズムでは実際のメカニズムを適切に表すことができないためである。上記のケースを除くと、(a) $H/B=0.125$, (b) $H/B=0.5$, (c) $H/B=2.0$ ともに有限要素解析からの q_b/c_{u1} は Chen (1975) による上界値よりも少し小さくなり、比較的良好一致を示すことがわかった。また、有限要素解析からの q_b/c_{u1} は Merifield et al. による結果²⁾ と比較すると、数値極限解析からの下界値と上界値で挟み撃ちにされ、下界値と上界値の平均値よりも全般的に、少し大きい値を示した。

4. 終わりに

本解析手法により、二層粘性土地盤上の剛性基礎の妥当な極限支持力を得ることができたと考えられる。また、基礎直下での垂直並びにせん断応力分布は H/B と c_{u1}/c_{u2} に依存し、大きく変化することも確認できた。

【参考文献】 1) Chen, W. F.: *Limit analysis and soil plasticity*, Elsevier, Amsterdam, 1975. 2) Merifield, R. S., Sloan, S. W. and Yu, H. S.: Rigorous plasticity solutions for the bearing capacity of two-layered clays, *Geotechnique*, 49(4), pp.471-490, 1999. 3) 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.

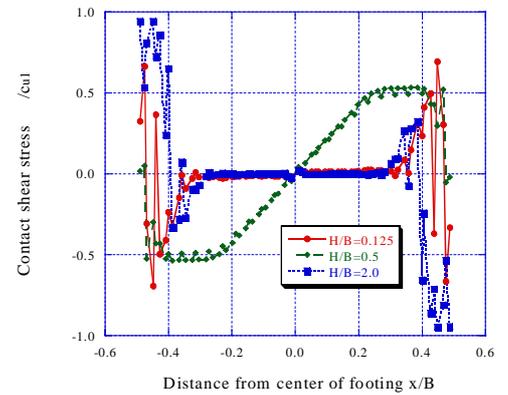


図 - 4 基礎直下でのせん断応力分布 ($c_{u1}/c_{u2}=2.50$)

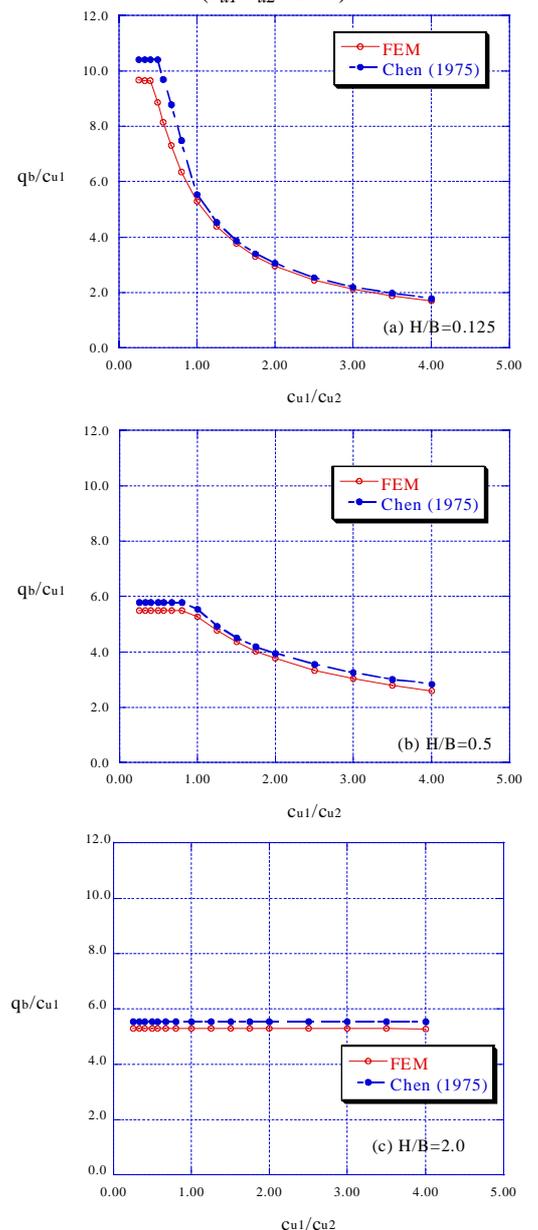


図 - 5 $q_b/c_{u1} \sim c_{u1}/c_{u2}$ 関係