

二層地盤上における基礎の支持力解析

鹿児島大学大学院 学生員 田畑 賢児
鹿児島大学 正会員 北村 良介

鹿児島大学 正会員 山本 健太郎
西松建設 正会員 楠田 弘治

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。このような二層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が多い。本研究では、上層砂層、下層粘土層で構成される二層地盤上の浅い基礎の支持力問題に対して、極限解析法の一つである上界法を適用し、その解析結果について考察を行う。

2. 既存研究

二層地盤の支持力に関しては、実験結果に基づき、極限釣合い法から算出し、砂層中の破壊にパンチ破壊を考慮した Meyerhof¹⁾の提案式がある。Meyerhof は実験値からパンチせん断係数 K_p を求め、砂層の深さ方向への広がりを受動土圧の傾きの平均角 δ で表現している。山口²⁾の分散破壊モードの概念は二層地盤における簡易な支持力算定法としてよく用いられている。この算定法では、砂柱側面の傾角 α は砂や粘土の強度によらず一定値 $\alpha \approx 30^\circ$ としている。岡村³⁾は遠心模型実験から得られた地盤の変形状態に基づく破壊メカニズムを提案している。ここで、砂柱側面の傾角 α は、地盤の強度や砂層厚さに応じて変化すると仮定されている。一方、Michalowski⁴⁾は、上界法を用いて二層地盤の支持力を算出している。

3. 解析手法

本研究では、Michalowski らの提案した破壊メカニズムを参考にして、上層砂層、下層粘土層で構成される二層地盤に対して、上界法を適用した極限解析を行う。破壊メカニズムについては図-1 に示すような 4 つの異なる領域から構成されている。ここで、 B : 基礎幅、 D : 根入れ深さ、 t : 砂層の厚さ、 h : 破壊メカニズムの深さ、 α : 砂柱側面の傾角、 V_i : 運動力学的に可容な速度ベクトル、 $[V]$: 不連続線に沿う速度の不連続ベクトルである。このとき、帯基礎における極限支持力は次式のように表される。

$$\frac{q_0(\xi, \eta)}{c} = N_c(\xi, \eta) + GN_r(\xi, \eta), \quad G = \frac{\gamma B}{2c} \quad (1)$$

$$N_c(\xi, \eta) = \frac{2 \cos(\phi + \beta) \cos(\alpha + \beta - \delta) \cos \xi \cos \eta}{\sin \delta \cos \alpha \cos \phi} \left\{ \tan \xi + 2(\pi - \xi - \eta) + \tan \eta \right\} \left(\frac{D}{B} \right)$$

$$N_r(\xi, \eta) = \left[\frac{2 \sin(\beta - \delta) \cos^2(\phi + \beta)}{\sin^2 \delta \cos \alpha \cos^2 \phi} \left\{ \sin \alpha \sin(\beta - \delta) - \cos \xi \cos \eta \cos(\alpha + \beta - \delta) \right\} \right. \\ \left. + \frac{2 \cos \xi \cos(\beta - \delta) \cos(\phi + \beta - \delta - \eta)}{\sin^2 \delta \cos^2 \phi} \left\{ \sin \beta \cos(\phi + \beta) + \sin \delta \cos \delta \cos \phi \right\} \right] \left(\frac{D}{B} \right)^2$$

上式において、 α 、 β 、 δ は破壊メカニズムの幾何学的条件から決められる。解析に当たり、基礎幅 B に対する基礎底面からの上層砂層の厚さ比 $(t-D)/B$ を 0.0~4.0、砂層の内部摩擦角 ϕ を 30, 35, 40° に変化させた。また、基礎幅 B に対する根入れ深さ D の比 $D/B=0.00, 0.75$ と変化させ、砂層の単位体積重量 $\gamma=17.5 \text{ kN/m}^3$ 、下層粘土地盤の見かけの粘着成分 $c=98.0 \text{ kN/m}^2$ 、砂層における見かけの粘着成分 $c=0 \text{ kN/m}^2$ 、粘土層の内部摩擦角 $\phi=0^\circ$ と仮定している。弾塑性有限要素解析については、せん断変形に伴う体積変化であるダイラテンシー特性を重要視し、関

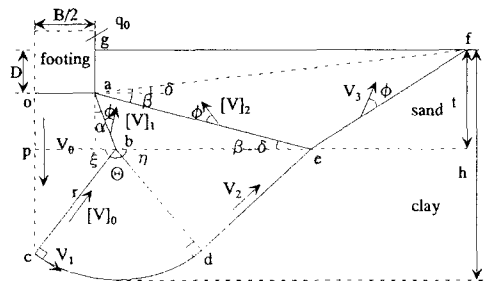


図-1 破壊メカニズム

連流動則を導入した Drucker-Prager モデルを適用した。計算方法としては、基礎底面に接する節点を鉛直下方へ段階的に変位させ、おおよそ収束してきている時の荷重を極限支持力として評価している。

4. 解析結果の比較

解析結果を砂層の内部摩擦角 ϕ 、基礎幅 B に対する根入れ深さ比 D/B ごとにまとめ、 $D/B=0.00$ の場合を図-2(a), (b), (c)、 $D/B=0.75$ の場合を図-3(a), (b), (c)に示した。横軸は、基礎幅 B に対する基礎底面からの上層砂層の厚さ比 $(t-D)/B$ 、縦軸は極限支持力 q を γB で正規化したものである。図-2 を見ると提案したモデルによる解析結果は、岡村らの式と良く一致していることがわかる。弾塑性 FEM による結果と比べても $(t-D)/B$ が 1.0 以上では良く一致している。Meyerhof の式の解析値を見みると、他の解析値と比べて $q/\gamma B$ を過小に評価していることがわかる。

図-3 を見ると(a), (b)において $(t-D)/B$ が 2.5 以上になると本解析結果と岡村らの式との差は、やや大きくなるものの、比較的一致していることがわかる。図-3 は根入れを考慮したケースであるが、本解析結果と弾塑性 FEM による結果とはあまり一致していないことがわかる。これは、FEM における支持力算出の考慮の仕方にも多少関係があると考えられる。また、図-2, 3 を通して、本解析結果と山口の式を用いた結果は $(t-D)/B$ が大きくなるにつれて、本解析結果が山口の式を用いた結果よりも $q/\gamma B$ を過大に評価し、差が大きくなっている。Meyerhof の式を用いた結果は、この図においても他の提案式と比べて $q/\gamma B$ を過小に評価していることがわかる。以上の結果をまとめると、本解析は根入れがない場合においては、精度良く $q/\gamma B$ を評価できるものと考えられる。根入れを考慮した場合においては、 $(t-D)/B$ が小さければ、比較的良く $q/\gamma B$ を評価しているが、全体的に見ると本解析結果は、他の提案式と比べて少し過大に $q/\gamma B$ を評価する傾向があることがわかる。

5. 終わりに

本研究では、二層地盤の支持力に関する解析を行った。遠心模型実験での結果に基づく岡村らの提案式を用いて、解を得るのは可能であるが、上界法と比べると計算に用いるパラメータが複雑である。一方、上界法では、少ないパラメータで比較的精度の良い極限支持力を求めることができる。また、理論的背景も明解である。しかし、地盤条件によっては、他の提案式と比べると多少、支持力を大きく評価してしまうことから、破壊メカニズムにおける砂柱側面傾角 α の算出に対して精度を高める必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) Meyerhof, G.G.: Ultimate bearing capacity of footings on sand layer overlying clay, Can. Geotech. J., 11(2): 223-229, 1974.
- 2) 山口柏樹：土質力学（全改訂）、技報堂出版、257-273, 1984.
- 3) Okamura, M., Takemura, J. & Kimura, T.: Bearing capacity predictions of sand overlying clay based on limit equilibrium method, Soils and Foundations, 38(1): 181-194, 1998.
- 4) Michalowski, R.L. and Shi, L.: Bearing capacity of footings over two-layer foundation soils, J. of geotechnical Eng., ASCE, 121(5): 421-428, 1995.

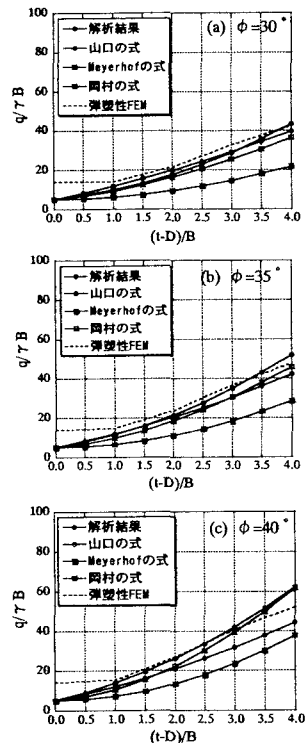


図-2 解析結果の比較 ($D/B=0.00$)

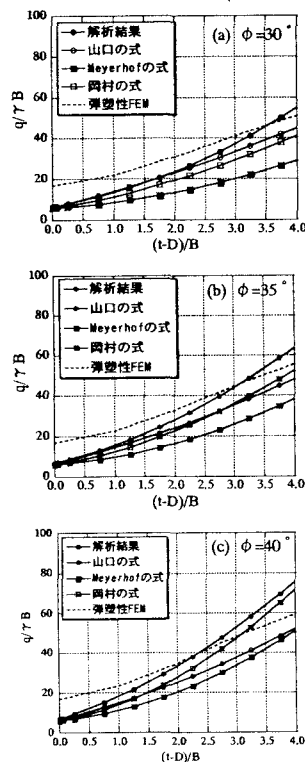


図-3 解析結果の比較 ($D/B=0.75$)