

III-404 関西国際空港埋立材料の強度・変形特性

—強度の拘束圧依存性が地盤の基礎支持力に及ぼす影響—

関西国際空港(株) 布施洋一 ○高橋 昇
(株)フジタ 福島伸二 香川和夫

1. まえがき

関西国際空港の人工島は最大粒径 $D_{max}=300\text{mm}$ 程度の土砂で埋め立てられている。著者は人工島内に建設される空港諸施設の基礎の安定性を検討するために必要な埋立材料の強度・変形特性を超大型三軸圧縮試験により調べ、この材料の破壊包絡線は曲線形状をしておりこれを直線近似すると大きな粘着力成分が現れることが明らかになった¹⁾。ここでは強度の拘束圧依存性が地盤の支持力算定に及ぼす影響を分割法による支持力計算法により調べた結果を報告する。

2. 分割法による支持力計算法

Charles, J.A. and Soares, M.M. (1984)²⁾、松本・渡辺(1987)³⁾は斜面の安定解析において材料強度の拘束圧依存性を考慮するために分割法を適用している。両者とも強度の拘束圧依存性はべき関数(3式)で与えているが、斜面の安定問題では強度の拘束圧依存性の影響が大きいことを示している。

地盤の支持力算定に及ぼす強度の拘束圧依存性の影響を調べるために今泉・山口(1986)⁴⁾の方法を参考にして図-1に示すような基礎の一端を通る円弧すべり面(ABCD)と傾き $\varepsilon (=45^\circ + \phi/2)$ の直線すべり面(DE)からなる破壊型式に対して分割法を適用して支持力計算を行う。分割片に作用する力の多角形の鉛直方向のつり合い式はBishop法($\Delta V=0$)による静定化仮定により求めた。

埋立材料の軸ひずみ $\varepsilon_a=15\%$ 時のMohrの応力円を図-2に示してある。この図から分かるようにMohrの応力円を包絡線は拘束圧とともに勾配が減少する曲線になり、これを一本の直線

$$\tau_r = c + \sigma_N \cdot \tan \phi \quad (1)$$

で近似すると見掛けの粘着力が現れる。これを図中にあるように複直線

$$\tau_r = \sigma_N \cdot \tan \phi \quad (2-1)$$

$$\tau_r = c + \sigma_N \cdot \tan \phi \quad (2-2)$$

で近似するか、あるいは図-3に示すようにべき関数

$$\tau_r = A \cdot (\sigma_N)^B \quad (3)$$

で近似するほうが強度の拘束圧依存性を考慮できる。そこで分割片に作用するせん断抵抗力 $\Delta T = \tau_r \cdot \Delta s$ のうちせん断強度 τ_r はべき関数あるいは複直線で与える必要がある。ここではべき関数を用いると支持力算定式が複雑な形になるので地盤材料の強度の拘束圧依存性を考慮するためのせん断強度として複直線法を採用した。すべり円の中心点Oに関する抵抗モーメント： $M_R = \sum \Delta T \cdot R$ とすべりモーメント： $M_s = \sum (\Delta Q + \Delta W) \cdot l_x + \sum \Delta W \cdot l_x$ のつり合い

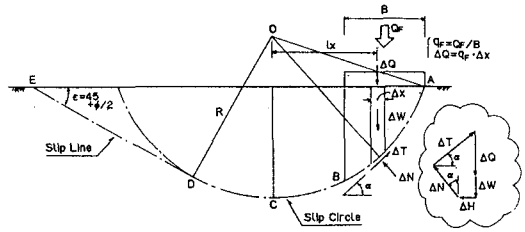


図-1 分割法による支持力計算

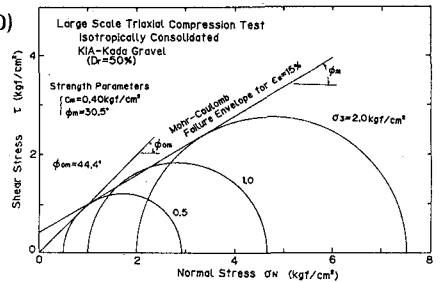


図-2 Mohrの応力円 ($\varepsilon_a=15\%$)

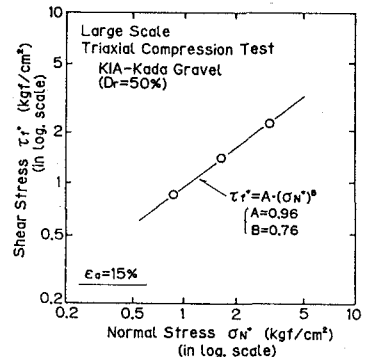


図-3 べき関数近似¹⁾

$$(\tau_r = A \cdot (\sigma_N)^B)$$

から支持力 q_F を求めると次式になる。

$$q_F = \{R \cdot (CW1 + CW2) - WLX\} / (XLX - R \cdot DX) \quad (4)$$

$$\begin{cases} CW1 = \sum_{\alpha} (c \cdot \Delta x + \Delta W \cdot \tan \phi) / \cos \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi) \\ CW2 = \sum_{\epsilon} (c \cdot \Delta x + \Delta W \cdot \tan \phi) / \cos \epsilon (1 + \tan \epsilon \cdot \tan \phi) \\ WLX = \sum_{\beta} \Delta W \cdot l_x, \quad XLX = \sum_{\gamma} \Delta x \cdot l_x \\ DX = \sum_{\alpha} \Delta x \cdot \tan \phi / \cos \alpha \cdot (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi) \end{cases}$$

図-4に強度の拘束圧依存性がなく($\phi =$ 一定)、粘着力のない($c=0$)場合の上式により計算した支持力 $q_F (= \gamma BN\gamma/2)$ の特性を調べるために支持力係数 N と内部摩擦角 ϕ の関係を示してある。これよりこの分割法による支持力は理論的に求められたChen, W.F. (1975)の $N\gamma \sim \phi$ 関係⁵⁾とTerzaghiの $N\gamma \sim \phi$ 関係⁶⁾の間にあり、どちらかといえば前者の関性に近いことがわかる。

図-5には強度の拘束圧依存性が支持力に及ぼす影響をみるために、破壊包絡線を一本の直線($\tau_f = c + \sigma_N \cdot \tan \phi$)で近似した場合と複直線

$$\tau_f = \sigma_N \cdot \tan \phi \quad (\sigma_N \leq \sigma_{NR}) \quad (5-1)$$

$$\tau_f = c + \sigma_N \cdot \tan \phi \quad (\sigma_N > \sigma_{NR}) \quad (5-2)$$

で近似した場合の支持力と基礎幅 B の関係を示してある。ここで $\sigma_{NR} (= c / (\tan \phi_0 - \tan \phi))$ は複直線近似における両直線の交点の垂直応力である。また基礎の範囲 $A \sim B$ の間では σ_{NR} は分からないので(5-2)式を用いて計算した(この区間は基礎直下にあたるので垂直応力は $\sigma_N > \sigma_{NR}$ になるものと考えられる)。この図から基礎幅が $B=5m$ 以下では強度の拘束圧依存性の影響が現われるが、これ以上の基礎幅ではこの影響は小さい。これは基礎幅の大きさによりすべり面の深さが異なり、基礎幅が小さいとすべり面が浅くすべり面上の垂直応力 σ_N が低いので見掛けの粘着力を考慮するかどうかで支持力に差が生じるためと考えられる。

3. あとがき

強度の拘束圧依存性が地盤の支持力算定のに及ぼす影響を分割法による支持力計算法により調べた結果以下のことが明らかになった。基礎幅が小さい場合には支持力計算には強度の拘束圧依存性を考慮する必要があるが、基礎幅がある程度以上大きい場合には破壊包絡線を直線近似して見掛けの粘着力が現れても支持力に及ぼす影響は小さいといえる。このことはすべり面上の垂直応力が比較的低い斜面安定問題のように強度の拘束圧依存性の影響が大きい場合と異なっている。

参考文献

- 1) 布施洋一・高橋 昇・福島伸二・香川和夫・桜井雅夫・川高久夫：関西国際空港埋め立て材料の超大型三軸圧縮試験による強度・変形特性、第26回土質工学会研究発表会、1991。
- 2) Charles, J.A. and Soares, M.M.: Stability of Compacted Rockfill Slopes, Geotechnique, Vol. 34, No. 1, pp61-70, 1984.
- 3) 松本徳久・渡辺和夫：ロック材のせん断強度、土と基礎、Vol. 35, No. 12, pp49-54, 1987.
- 4) 今泉繁良・山口柏樹：分割法による地盤の支持力計算法、土質工学会論文報告集、Vol. 26, No. 2, pp143-150, 1986.
- 4) Chen, W.F.: Limit Analysis and Soil Plasticity, Elsevier, pp 246, 1975.
- 5) 土質工学会編：土と基礎実用数式・図表の解説、第5章支持力, pp93, 1987.

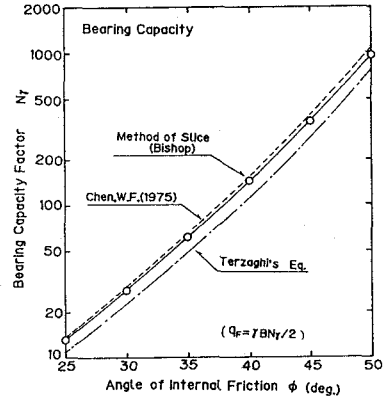


図-4 分割法による支持力係数($N\gamma$)と内部摩擦角(ϕ)の関係

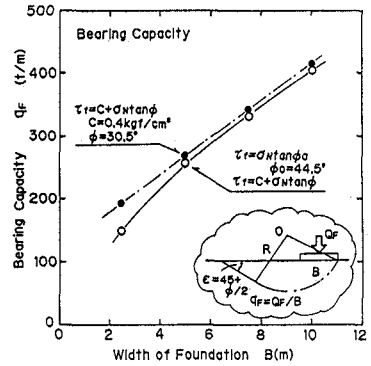


図-5 強度の拘束圧依存性が支持力に及ぼす影響