

III-113 一般支持力係数の理論的背景について

東京電機大学理工学部 正会員 ○ 山口 柏 樹
愛知工業大学工学部 正会員 成 田 国 朝

1. はじめに

一般支持力式として B.Hansen が提案したものは

$$q_f = c N_c s_c i_c d_c + p_0 N_q s_q i_q d_q + 1/2 \cdot \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma \quad (1)$$

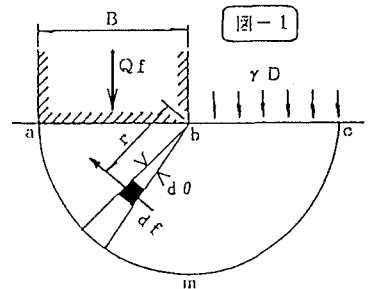
のように表される¹⁾。 s_c, s_q, s_γ は形状係数、 i_c, i_q, i_γ は傾斜係数、 d_c, d_q, d_γ は深さ係数といわれる。形状係数は載荷面平面形状の影響を、傾斜係数は斜め荷重に対する低減特性を、深さ係数は根入れによる支持力増大の効果を表すもので、式(1) は設計面で実用性の高い支持力式として知られている。これら諸係数(一般支持力係数)については半実験的手法で提示されているのが現状であるため研究者によって異なる形をとる。そして誘導あるいは提案の過程について、ほとんど説明が加えられていない。本報告では一般支持力係数の幾つかについて土質工学理論の立場から検討を加え、その物理的意味づけを行うものとするものである。

2. s_q について

$p_0 = \gamma D$ (D は根入れ長) の長方形基礎が砂質地盤にある時、側方鉛直面上の摩擦抵抗のため帯基礎の抑え荷重に関する支持力成分がどのくらい大きくなるかを表す係数が s_q である。DeBeer は多数のモデル試験を行った結果

$$s_q = 1 + (B/L) \tan \phi \quad (2)$$

を帰納した²⁾。ここに B, L は基礎の短辺、長辺長である。以下、式(2)の理論的背景を述べよう。図-1 は長辺に直交する鉛直側面図であり、三次元破壊域は二次元に比べて小さいこと、並びに載荷重による応力分散域はそれ程大きくないことを考慮して半円 $amcb$ と仮定する。さて二次元状態での土中鉛直応力 σ_0 は $\sigma_0 = \gamma D + \beta \gamma D N_q$ の形で与えられる。 β は1を超えることはなく、また場所的に変化するが、以下平均的にみて $\sigma_0 \cong \beta \gamma D N_q$ と仮定する(β_m は定数)。面素 $dA = r dr d\theta$ に働く摩擦抵抗 df は動径に直角方向にあり、大きさは $K_0 \sigma_0 \tan \phi \cdot dA$ 、この力による支持力寄与分 Q_f は $Q_f \cdot B/2 = 2 \int df \cdot r$ で与えられる(2は両サイド分を表す)。



$$Q_f = 4\pi \beta_m B^2 D K_0 \gamma \tan \phi \cdot N_q/3 \quad (3)$$

全支持力は $Q_f + \gamma D N_q B L$ であるので平均支持圧力(三次元支持力)が

$$q_f = \frac{Q_f + \gamma D N_q B L}{B L} = \gamma D N_q \left(1 + \frac{4\pi K_0 \beta_m}{3} \cdot \frac{B}{L} \tan \phi \right) \quad (4)$$

のようになる。上式の $4\pi K_0 \beta_m/3 \cong 2\beta_m$ ($\beta_m < 1$) であるが $\beta_m = 0.5$ とすると式(2)の形になる。なお軸対称塑性問題を周応力 σ_θ が r, z 面の最小主応力 σ_3 に等しいとする Karman-Haar の仮定により解いた結果³⁾ を式(2)の $s_q(B=L) =$

$1 + \tan \phi$ と比べると、右表左部分のようになる。

s_c については 式(2)と対応原理: $N_c \cdot s_c = (N_q \cdot s_q - 1) \cot \phi$ (ただし $N_c = (N_q - 1) \cot \phi$) より

ϕ	$N_q(\text{円})$	$N_q(\text{帯})$	比	$1 + \tan \phi$	$N_c(\text{円})$	$N_c(\text{帯})$	比
0°	1.0	1.0	1.0	1.0	5.69	5.14	1.11
10°	2.78	2.47	1.13	1.18	10.0	8.35	1.19
20°	8.4	6.4	1.31	1.36	20.3	14.8	1.37
30°	30.0	18.4	1.63	1.58	50.3	30.1	1.68

$$s_c = 1 + (B/L) \cdot (N_q/N_c) \quad (5)$$

前と同様に、軸対称塑性解による $N_c(\text{円})$ を $N_c(\text{帯})$ と比べたものが前表の右半分である。この比は式(5)における $s_c(B=L) = 1 + N_q/N_c \approx 1.2(0^\circ) \sim 1.6(30^\circ)$ に対応する。

3. s_γ について

$$s_\gamma = 1 - 0.4(B/L) \quad (6)$$

が経験値としてよく用いられている⁴⁾。Meyerhof は帯載荷時には ϕ_p を、方形(円形)載荷時には ϕ_t を使い、 $B \times L$ の基礎では $\phi = \phi_t(1.1 - 0.1B/L)$ (ただし $\phi_p = 1.1\phi_t$) を用いるとしている⁵⁾。ここでは円基礎のすべり方向に x 軸、直交方向に y 軸をとったとき $y=0$ では $\phi_p = \phi_o$ 、 $y=R$ で ϕ_t が働き、 ϕ の y 方向の変化が直線的であるとする(図-2)。このとき $dA = 2x \cdot dy$ 部分の支持力は $dQ = \gamma N_\gamma(\phi_y) x dy$ で表される。ただし

$$N_\gamma(\phi_y) = 2 \{ \exp(\pi \tan \phi_y) \tan^2(45^\circ + \phi_y/2) + 1 \} \tan \phi_y \quad (7)$$

以上により求めた全支持力 Q を

$$Q = s_\gamma \cdot \pi R^2 \gamma N_\gamma(\phi_o) \quad (8)$$

のように表せば、 $s_\gamma(\phi_o)$ は 30° で 0.724、 35° で 0.698、 40° で 0.667、 45° で 0.631 となる。 s_γ が ϕ に対して低下することは鵜飼も塑性解によって確かめている⁶⁾。

4. i_c, i_q, i_γ について

図-3(a)は対数線すべり線法⁷⁾によって計算した傾斜荷重に対する N_{qi} と N_q (鉛直荷重)の比を実線で示した。 ϕ の値によらずほぼ1本の曲線で表せるが、これは●印で示した $(1 - \tan \delta)^2$ で近似される。すなわち鉛直荷重を P_v 、水平荷重を P_h とすると

$$i_q = (1 - \tan \delta)^2 = (1 - P_h/P_v)^2 \quad (9)$$

図-3(b)は同じく傾斜時の $N_{\gamma i}$ と N_γ の比であって、●印の $(1 - \tan \delta)^3$ で近似されることが分かり

$$i_\gamma = (1 - \tan \delta)^3 = (1 - P_h/P_v)^3 \quad (10)$$

となる。他方、B.Hansen は粘着力のある場合も含めて

$$i_q = \left(1 - \frac{P_h}{P_v + c B L \cot \phi}\right)^2 \quad (11)$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{P_h}{P_v + c B L \cot \phi}\right)^3 \quad (12)$$

を与えている。 c がある場合、 $c \cot \phi$ の内部圧力が現われるから、砂地盤に粘着力を含ませるには表面に $c \cot \phi$ の一様垂直圧力を考えればよい。したがって P_v の代わりに $P_v + c B L \cot \phi$ となって式(9)、(10)は式(11)、(12)に帰着する。対応原理: $N_c \cdot i_c = (N_q \cdot i_q - 1) \cot \phi$ を仮定すると、 $i_c = i_q + (i_q - 1)/(N_q - 1)$ となるが、 $\phi > 20^\circ$ ($N_q > 6.4$) では $i_c \approx i_q$ となる。

参考文献: 1) Vesic, A.S. (1975): Found. Eng. Handbook, p.130. 2) DeBeer (1970): Geotechnique 20, 4, p.387. 3) 山口柏樹・木村孟・寺師昌明(1968): 第3回土質工学研究発表会, p.333. 4) Terzaghi, K. (1943): Theor. Soil Mech., p.134. 5) Meyerhof, G.G. (1963): Canad. Geotech. Jour., 1.1, p.16. 6) 鵜飼恵三(1987): 土質工学会論文報告集, 27, 4, p.204. 7) 成田国朝・山口柏樹(1988): 第23回土質工学研究発表会。

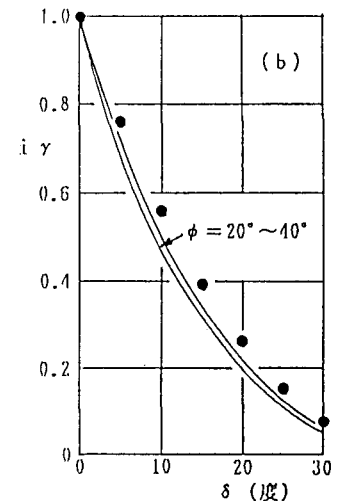
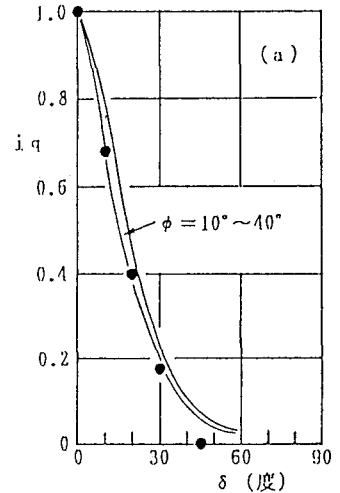
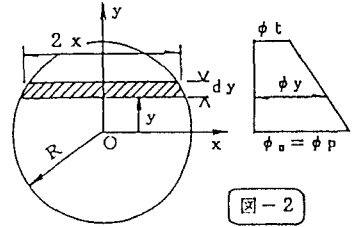


図-3 砂地盤の傾斜係数