

On the Share of Lateral Reaction between Base and Side Pressure in Deep Foundatio

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2012-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 鳥海, 勲, TORIUMI, Isao メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/4951

水平力をうける深い基礎の盤反力と変位計算法

鳥 海 勲*

On the Share of Lateral Reaction between Base and Side Pressure in Deep Foundation

Isao TORIUMI

(Received 30 March, 1966)

The method to get the base shear, distribution of side pressure, the share between above two and moreover the shift of base and the distribution of shear deformation of deep foundation is prepared for various ground such as one in which bearing layer is covered with soft layers.

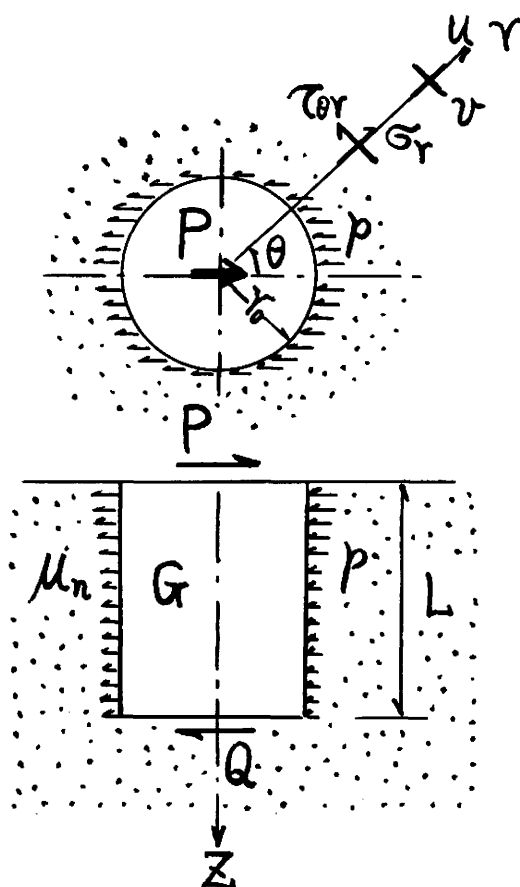
For that, a deep cylindrical foundation is sliced in many rings and one disk at the bottom and every adjoining ring which is affected by the side reaction of surrounding ground is connected with shear rigidity.

1 は し が き

構造物は基礎（地下部分全体）を通じて周辺の地盤と力の受け渡しをおこなう。水平動では基礎底面でのせん断力と基礎周辺の側圧が発生する。この底面せん断力と側圧との比率などは地盤条件や基礎と地盤の剛比などに関係する。この種の問題は、たとえば不平衡力を発生する機械の基礎、あるいは地震時の構造物基礎などに必ず出現するものであるが、現在のところ基礎が地表に設置された場合については振動解¹⁾があるが、基礎が地下に埋設された場合は容易に解けない。

この場合の解明の第一段階として静的に水平力が基礎頂部（地表）に作用した場合を計算することにしたが、そのさい、はっきりした一つのねらいがあった。地盤は均質なものでなく、たいてい軟かい表層があって堅い基盤層となる。また、中間層の存在する場合もある。基礎が浅く、ほとんど地表に設置される場合には深いところにある基盤層はあまり影響を与えないであろうが、深い基礎となり中間層を抜き、直接基盤層に設置されるとなると層の存在は無視できない。このような地盤条件に適用出来るような計算方式がほしい。

そこで円筒状基礎を水平に輪切りにし、各エレメントのリングは周辺の地盤と側圧で接触する。リングは



図—1 水平力をうける深い基礎

* 教授

セン断剛性でお互いに接続する。基礎底面ではリングは円板となりセン断力で地盤と接触すると考えた。そのためには、あらかじめ半無限体内部にリングおよび円板状荷重が単独にある場合の変位および応力分布の計算をしておく必要がある。

本報告はこの単独のリングおよび円板の動き、その結果を利用して、その集合としての深い基礎の計算法をのべている。この計算法を使って単層、基盤層設置基盤層根入れおよび中間層のある場合について深い基礎深度方向の水平変位、側圧分布および底面セン断力と側圧の分擔比などの性質を検討したものはすでに発表した²⁾。

記号： 円筒座標をとる。

Z : 深さ方向座標
z : Z/r₀
L : 深さ
l : L/r₀
r₀ : 半径
G : 剛性率

μ_n : 第 n 層地盤の剛性率

P : 基礎頂部に作用する水平力

Q : 基礎底面のセン断力

p : 深さ z において半径 r₀ まわりに積算された側圧 (引張りも考えている)

U : 深さ z における基礎の水平変位

2 水平力をうける深い基礎の計算

側圧反力をうけるセン断変形の式は

$$G\pi r_0^2 \partial^2 U / \partial Z^2 = -k\mu_n U \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし、k は式(6)で与えられるリングの水平反力係数である。

式(1)を変形して

$$\partial^2 U / \partial z^2 = -\mu_n / G\pi \cdot k U \quad \dots\dots\dots(2)$$

式(2)は各層 n について成立し、その解 U は式(3)で求められる。

$$\begin{aligned} U = & A_n e^{\alpha_n z} (1 + C_1 e^{-\nu z} + C_2 e^{-2\nu z} \\ & + \dots\dots + C_m e^{-m\nu z} + \dots\dots) + B_n e^{-\alpha_n z} \\ & (1 + D_1 e^{-\nu z} + D_2 e^{-2\nu z} + \dots\dots \\ & + D_m e^{-m\nu z} + \dots\dots) \quad \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

ただし、

$$C_m = \beta_n / m\nu (m\nu - 2\alpha_n), \quad D_m = \beta_n / m\nu (m\nu + 2\alpha_n)$$

別途、誘導した式(6)を使って

$$\begin{aligned} \mu_n / G\pi \cdot k &= \mu_n / G\pi \cdot (11 - 5.8e^{-0.41z}) \\ &= \alpha_n^2 + \beta_n e^{-\nu z} \end{aligned}$$

本関係式より α_n , β_n および ν が与えられ、 C_m , D_m が決定する。各層の未定係数 A_n , B_n は次のごとき境界および接続条件により決定される。

- 1) $z = 0$ にて $G\pi r_0 \partial U / \partial z = P$
- 2) 各層の接続面にて、基礎円筒のセン断力および変位連続の条件
- 3) $z = 1$ にて $U = -0.875\gamma G / \mu_n \cdot \partial U / \partial z$

ただし、第3の条件は基礎底面の円板がセン断力により地盤と接続し、それにより地盤も歪み、円板が水平変位する条件で別途誘導された式(13)により示されたものである。

本計算法によれば層が一つ増すごとに未定係数が2つ増すだけで処理される。しかし、地盤各層の剛性率および基礎そのものの剛性率が剛比としてパラメータとなる。

このようにして (各層の層深度および厚) 地盤条件および基礎の条件のことなるそれぞれの場合につき、円筒基礎の水平変位分布がまず計算される。次に側圧分布は

$$p = -k\mu_n U(z) \quad \dots\dots\dots(4)$$

により求められる。この p を基礎全深度にわたって積算して全側圧量が算出される。

また、基礎底面の全セン断力は式(13)式により求められる。

3 側圧の発生する地下のリングの水平変位

タイやウエルの水平地盤反力係数 K_H として Palmer, Cummig および Chang により図—2 に示すごとく種々の型式が便宜的に与えられている。ここではこの水平反力係数に相当するものを半無限体内にあるリングの水平変位の計算より誘導した。その結果

$$K_H = k(z) \cdot \mu_n \quad \dots\dots\dots(5)$$

となり、

$$k(z) = 11 - 5.8e^{-4.1z} \quad \dots\dots\dots(6)$$

で示される。k は深さ $z (= Z/r_0)$ の関数となり、同じ深さ Z でも基礎半径 r_0 により k は変ることとなる。

解法の方針は集中荷重に対する K.Girkmann³⁾の方法を拡大適用した。図—4 の計算順序に示すごとく、

- 1) 全無限体中で $z = 0$ 面において境界条件
 $z = 0 : w = 0, \sigma_r = -p_0 / (r/r_0)^2 \cdot \cos\theta$

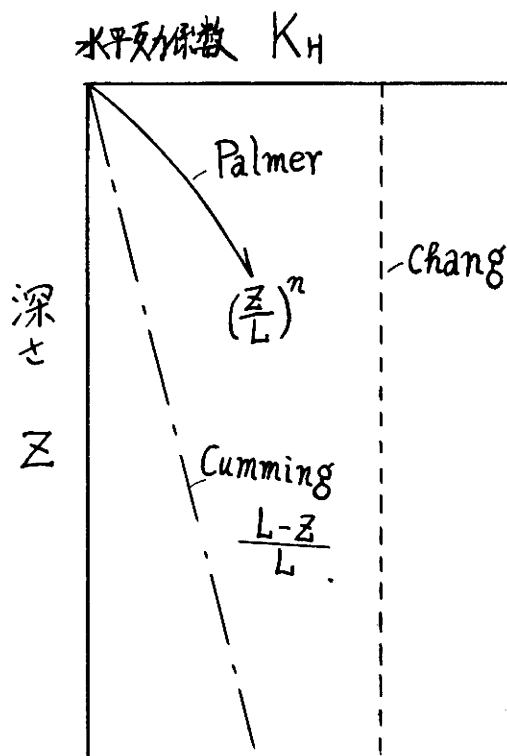


図-2 地盤の水平反力係数

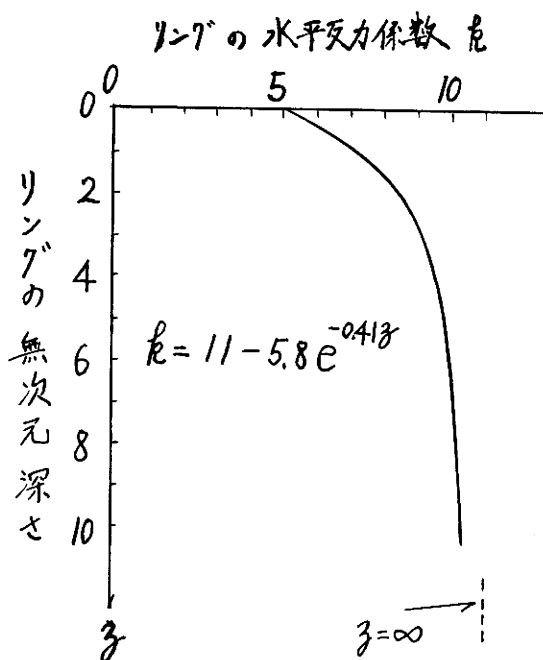


図-3 リングのうける水平反力係数

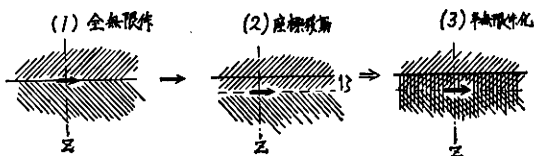


図-4 計算順序

を満足する解を求め、

2) その解を垂直に \$\zeta\$ だけ座標移動し(その解に'をつける)

3) 2の解は \$Z=0\$ 面で自由表面の条件を満足しないから、これを満足するように中和解を付加する。(その解に''をつける)

4) 2) + 3) が半無限体内 \$\zeta\$ にリング状水平力が作用したときの解となる。ただし、着力点領域における各種の性質を検討し中和解のためにあまり不自然になっていないことを確認しておく必要がある。

このようにして求めた解はたとえば \$r\$ 方向の変位 \$u\$ については、

$$\begin{aligned}
 u &= u' + u'' \\
 &= p_0 r_0^2 \cos \theta / 4\mu (2\lambda + 3\mu) \cdot \\
 &\int_0^\infty \left[\left\{ 2(\lambda + 3\mu) - (\lambda + \mu)\alpha(\zeta - z) \right\} \right. \\
 &\quad \left. J_0(\alpha r) + (\lambda + \mu)\alpha(\zeta - z) J_2(\alpha r) \right] e^{-\alpha(\zeta - z)} d\alpha \\
 &+ p_0 r_0^2 \cos \theta / 4\mu (2\lambda + 3\mu) \cdot \int_0^\infty \\
 &\quad \left[\left\{ \left(2(\lambda + 3\mu)^2 / (\lambda + \mu) + \mu\alpha\zeta \right) - z \left(\alpha(\lambda + 3\mu) \right. \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - 2\alpha^2(\lambda + \mu)\zeta \right) \right\} J_0(\alpha r) + \left\{ (-2\mu^2 / (\lambda + \mu) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - \mu\alpha\zeta) + z \left(\alpha(\lambda + 3\mu) - 2\alpha^2(\lambda + \mu)\zeta \right) \right\} \right. \\
 &\quad \left. J_2(\alpha r) \right] e^{-\alpha(\zeta + z)} d\alpha \quad \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

となり、これらを \$\lambda = \mu\$ (\$\lambda, \mu\$ 地盤の Lamé の常数, \$\lambda = \mu\$ はポアソン比 \$1/4\$ となる。 \$\lambda_n, \mu_n\$ とすべきであるが、略示してある) としてとけば、リングと地表の間の点では \$\xi = \zeta - z\$ と表示して、たとえば、 \$\sigma_r\$ は

$$\begin{aligned}
 \sigma_r(r_0, \theta, \xi) &= p_0 \cdot \cos \theta / 5 \left[\left\{ -5r_0 / (\xi^2 + r_0^2)^{3/2} \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + 6\xi^2 r_0 / (\xi^2 + r_0^2)^{5/2} - 3\xi r_0^2 / 2(\xi^2 + r_0^2)^2 \cdot \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. F(2, 1/2, 3; r_0^2 / \xi^2 + r_0^2) \right\} + \left\{ -7r_0 (\xi^2 + r_0^2)^{3/2} \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + 3\xi \zeta r_0 / (\xi^2 + r_0^2)^{5/2} + 12\xi z r_0 / (\xi^2 r_0^2)^{5/2} \right\} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -24zr_0/(\xi^2+r_0^2)^{5/2} \left\{ 1-5r_0^2/4(\xi^2+r_0^2) \right\} \\
& + \left\{ (\xi^2+r_0^2)^{1/2} - \xi \right\}^2 / r_0^3 (\xi^2+r_0^2)^{1/2} + 3\zeta r_0^2 \\
& / 4(\xi^2+r_0^2)^2 \cdot F(2, 1/2, 3; r_0^2/\xi^2+r_0^2) - 3r_0z \\
& / (\xi^2+r_0^2)^2 \cdot F(2, 1/2, 3; r_0^2/\xi^2+r_0^2) + 12\zeta z r_0 \\
& / (\xi^2+r_0^2)^{5/2} \} \dots\dots\dots (8)
\end{aligned}$$

着力点のリング外周 ($r=r_0$, $Z=\zeta$) においては
(8)式等を計算してみると

$$\sigma_r = -p_0 \cos \theta, \quad \tau_{rz} = 0.4p_0 \sin \theta$$

となる。これを円周上で ($\theta=0$) 加圧方向に集積し
て側圧 p は

$$\begin{aligned}
p &= \int r=r_0 (\sigma_r \cos \theta - \tau_{rz} \sin \theta) r d\theta \\
&= 1.4\pi r_0 p_0 \dots\dots\dots (9)
\end{aligned}$$

また、リング上で変位 $U(\theta=0)$ はいずれの点でも
ほとんど同じとなり

$$\begin{aligned}
U &= u \cos \theta - v \sin \theta \\
&= 0.85\eta p_0 r_0 / \mu_n \dots\dots\dots (10)
\end{aligned}$$

を得る。この側圧 p およびリングの変位係数 η を着力
点のリングの点だけでなくその上・下位置における動
きまで計算して図示すると図-5のごとくなる。

図-5の右図に示すごとく $r=r_0$ における側圧 p

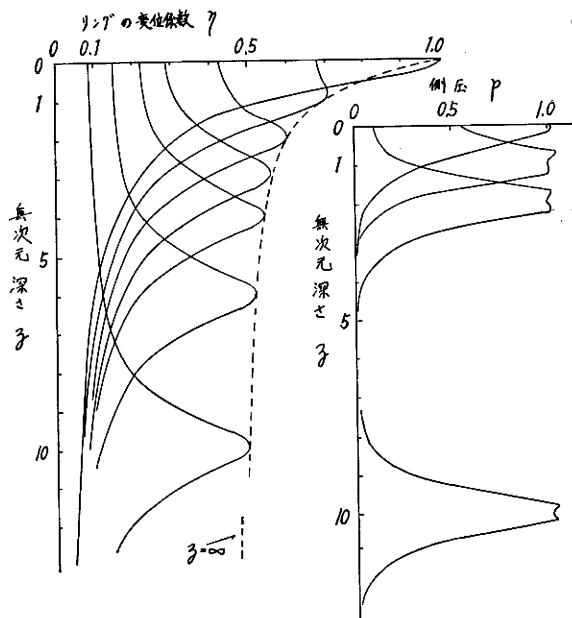


図-5 リングによる水平変位及び側圧分布

の分布はリング付近に集中している。また、このリン
グの上下2面のリング内せん断力の和はいずれも大体
零となる。

$$\int_F (\tau_{rz} \sin \theta + \tau_{rz} \cos \theta) \cong 0 \quad (F = \pi r_0^2)$$

それでリングは近似的に側圧だけで力の受け渡しをし
ているとみることが出来る。

それで近似的リングの水平反力の係数を次のごとく
とる。

$$\begin{aligned}
K_H &= \text{式(9)/式(10)} = 1.4\pi r_0 p_0 / 0.85\eta p_0 r_0 / \mu_n \\
&= 5.18 / \eta \cdot \mu_n \\
&= k \cdot \mu_n \dots\dots\dots (11)
\end{aligned}$$

このリングの水平反力係数 k を各深度にあるリングに
つき計算すると前出の図-3のごとき曲線となり、そ
れを近似式で示すと式(6)となる。

4 セン断力がはたらく地下の円板の水平変位

この解は3と類似の方法で求められた。すなわち、
全無限体において

$$\begin{aligned}
z=0 \text{ にて } W &= 0 \\
\tau_{rz} &= -q_0 \cos \theta \quad (0 < r \leq r_0) \\
&= 0 \quad (r_0 < r) \\
\tau_{z\theta} &= q_0 \sin \theta \quad (0 < r \leq r_0) \\
&= 0 \quad (r_0 < r)
\end{aligned}$$

ただし、 $2q_0 = Q / \pi r_0^2$

の境界条件で変位および応力の解を求め、以下図-4
に示す順序に従って半無限体中の解を求める。

ポアソン比 $1/4$ の場合、円板と地表との間の変位
 $U(\theta=0)$ は

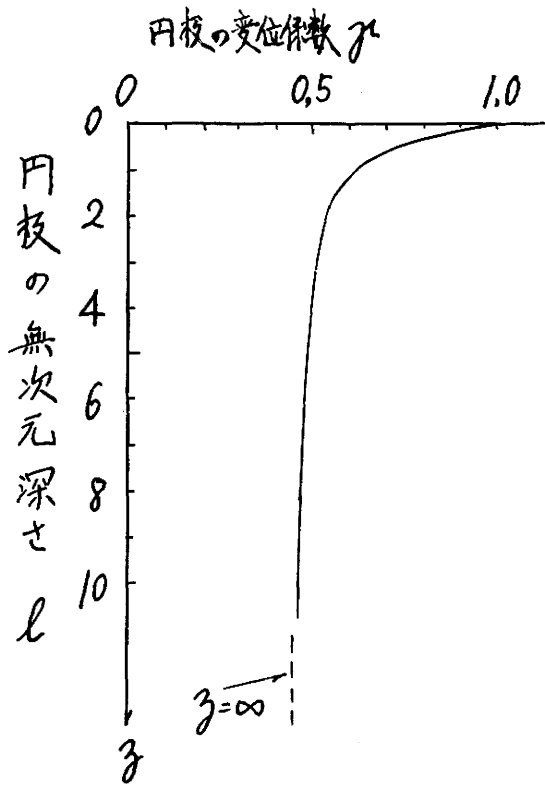
$$\begin{aligned}
U(r, \theta=0) &= r_0 q_0 / 12\mu_n \left[10 \{ (\zeta - z)^2 + r_0^2 \} \right. \\
& - (\zeta - z) / r_0 - 2(\zeta - z) \left[\{ (\zeta - z)^2 + r_0^2 \}^{1/2} \right. \\
& - (\zeta - z) \left. \right] / r_0 \{ (\zeta - z)^2 + r_0^2 \}^{1/2} \\
& + 11 \left[\{ (\zeta + z)^2 + r_0^2 \}^{1/2} - (\zeta + z) / r_0 \right. \\
& - 4(\zeta + z) \left[\{ (\zeta + z)^2 + r_0^2 \}^{1/2} - (\zeta + z) \right. \\
& \left. \left. \left[r_0 \{ (\zeta + z)^2 + r_0^2 \}^{1/2} + 4r_0 \zeta z / \{ (\zeta + z)^2 \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. + r_0^2 \}^{3/2} \right] \right] \right] \dots\dots\dots (12)
\end{aligned}$$

となり、円板そのものの変位は式(13)で表わされ
る。

$$U(r=0, \theta=0, Z=\zeta) = -0.875 r_0 Q / \mu_n \pi r_0 \dots\dots\dots (13)$$

その円板深度による変化は変位係数 η により図-6に

示すごとくである。



図—6 深度による円板変位の変化

参考文献

- 1) I. Toriumii, Y. Sato & R. Yamaguchi ;
"Vibrations in Foundation, Structure and in its Vicinity on the Elastic Ground" The 2nd WCEE ,(1960)
- 2) 島海 : 「土と基礎」 12, 366 (1964)
- 3) K. Girkmann ;
Ingenieur-Archiv, XI, 415 (1940)

(昭和41年3月30日受理)