

III-58

杭周のアーチ作用と先端支持力

東京電機大学 正員 山口 柏樹

1. はじめに

地盤中に杭を連続的に押込んで行くとき、均一地盤であっても支持力は深さに比例して増すということはない。すなわち押込力の増し方は段々と減じ、杭径の15~30倍の深さで増加率はほぼ0になる。これはサイロ中にみられる鉛直応力の傾向が杭周にも生ずるためとされている。筆者も以前、この種の問題を論じたことがあるが、2次元考察に止まった。またBerezantzer等は破壊が杭周の水平面に関するすべりに由るとして解析しているが、その結論では摩擦角が小さいほど支持力が定値となる限界深さが大きくなる。これはVesicの実験と合わない。本文では杭軸をふくむ鉛直面内での破壊が卓越するとして杭周のアーチ作用を解析し、支持力の深さに関する変化を調べ、VesicやKeriselの実験値と対比している。

2. 杭周の応力

杭が連続的に貫入して行くとき、杭先端に出来る塑性域(de Beer, Meyerhofのパターン)を包絡する形の環状塑性域(半径b)が出来るとし、その外周は非塑性剛体域とみる(図-1(a))。Z, Z+d Zとa, b間に囲まれるドーナツ状土部分(b)図の(点線)域)に働く力の釣合式をつくると

$$\pi(b^2 - a^2) d\sigma_z / dz + 2\pi b \mu K_0 \sigma_z = 2\pi a \mu_s \sigma_{ra} + \pi(b^2 - a^2) \gamma \quad (1)$$

ただし上下面のせん断応力は無視している。水平面に関する応力釣合式は

$$d\sigma_r / dr + (\sigma_r - \sigma_\theta) / r = 0 \quad (2)$$

であるが、(a)図の変形特性からみて $d\epsilon_r \neq 0$, $d\epsilon_\theta \neq 0$ としてよいのでCoulomb-Mohr型塑性ポテンシャルについて関連流れ則を適用すれば $\sigma_r \neq \sigma_\theta$ (Kármán-Haasの仮定) が成立つことがわかる。したがって(2)より $\sigma_{ra} = \sigma_{rb} = K_0 \sigma_z$ が得られる。よって(1)は

$$d\sigma_z / dz + 2(\mu b - \mu_s a) / (b^2 - a^2) K_0 \sigma_z = \gamma \quad (3)$$

Z=0で $\sigma_z = 0$ の下で(3)より σ_z を求めると

$$\sigma_z = \gamma / \beta (1 - e^{-\beta z}) \quad ; \quad \beta = 2(\mu b - \mu_s a) / (b^2 - a^2) K_0 \quad (4)$$

3. アーチ作用

(4)で $Z \rightarrow 0$ とすると $\sigma_z \neq \gamma_z$ が成立つ。他方、 σ_z の増し方が、一定になる目安として $d\sigma_z / \gamma dz = e^{\beta z} = 0.1$ となるZを限界深さとみなし Z_c で表わすなら $Z_c = 2.3 / \beta$ となる。ここで、 $K_0 = 1 - \sin \phi'$, $\mu = \tan \phi'$, $\mu_s = \lambda \tan \phi'$ ($\lambda \leq 1$), $D = 2a$ とおくと

$$Z_c / D = 0.575(b/a - a/b) / (1 - \sin \phi') \tan \phi' (1 - \lambda a/b) \quad (5)$$

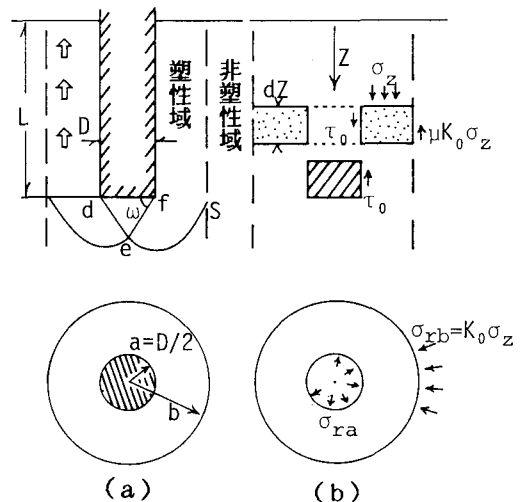


図-1 キースケッチ

図-1(a)において二等辺三角形defの底角 $\omega = \pi/4 + \phi'/2$ とし、fを極かつdeを初期動径とする対数らせんが、杭先水平面を切る点をSとする。これによって塑性域の外半径bが決るとすれば b/a は直ちに計算出来、(5)から Z_c が知られる。その結果は表-1に示す通りであって、 Z_c に与える λ の影響は小さい。この Z_c/D は ϕ' とともに増加するが17~40の値は実測傾向と合っている（1. 参照）。

4. 先端支持力

貫入長がLである杭の先端支持力 q_f は

$$q_f = \gamma a S_Y N_Y + p_0 S_q N_q \quad (6)$$

であり、円基礎の場合 $S_r = 0.6$ ， $S_z = 1 + \mu$ ，また p_0 は(4)で $Z=L$ としたものである。ゆえに(6)より

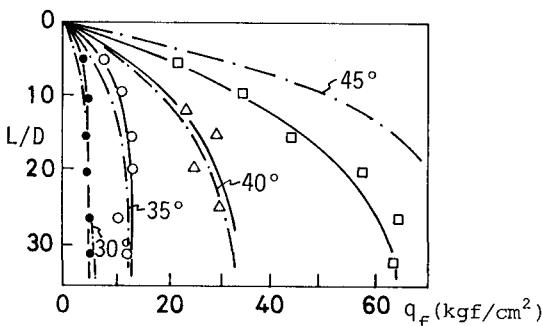
$$q_f = \gamma L \{ 0.3 (D/L) N_Y + ((1+\mu)/\beta L) (1 - e^{-\beta L}) N_q \} \quad (7)$$

ここで $N_q = \sec \phi' \cdot \tan \omega \cdot \exp \mu (3\pi/2 - \phi')$ ， $N_r = 2(N_q + 1) \tan \phi'$ ， β 中の b/a に表-1の値を用いれば q_f が計算出来る。その結果は表-2のようである。

図-2はVesicの行った大型土槽内にセットした均一砂地盤に関するモデルテストの結果を(7)で計算比較したものである。彼のテストにおける ϕ' の値は明示されていないので直接的比較は出来ないが傾向的には合っていると云えよう。また図-3(a),(b)はKeriselが大型土槽内で行ったテスト値との対比である。Keriselは q_c （コーン指数）のみを示しているので q_c と ϕ' は $q_c = 5N$ ， $\phi' = \sqrt{20N} + 15$ によって関連づけた。

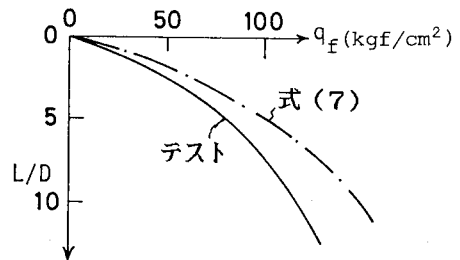
表-2 $q_f / \gamma L$

$L/D \backslash \phi'$	30°	35°	40°	45°
5	27.7	57.6	129.7	329.2
10	20.7	44.5	104.4	286.6
20	13.2	29.5	74.3	227.0
30	9.21	21.3	56.6	187.0

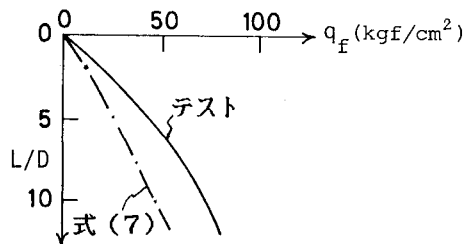


●：ゆるい、○：中、□：密、△：湿砂
— · — · — (7) による計算値

図-2 Vesicのテストとの比較



(a) $q_c = 200 \text{ kgf/cm}^2$ ($\phi' \approx 43^\circ$)



(b) $q_c = 100 \text{ kgf/cm}^2$ ($\phi' \approx 35^\circ$)

図-3 Keriselのテストとの比較