I−16　　抗基礎ラーメンの杭長の影響について

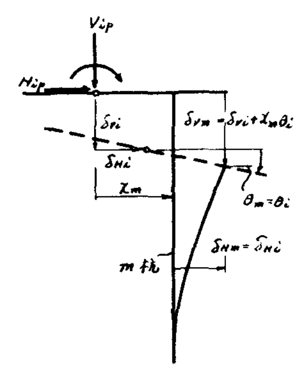
信州大学工学部　正　長　尚
信州大学工学部　正　○傳田正直
鉄　建　建　設　正　坂口稔

（1）　まえがき

先に筆者の一人（長）は基礎の条件を考慮に入れたラーメンの解法を，たわみ角法を用いて提案したが，その際杭基礎の杭長は無限長という仮定を設けた．本文では，杭長が有限長の場合の一般基本式の誘導，さらに杭長を無限長として扱える範囲についての若干の検討を行なったので報告する．

（2）　有限長杭基礎ラーメンの基本式の誘導

i基礎のm杭の深さuにおける横方向変位（$w_m(u)$），回転角（$\frac{dw_m(u)}{du}$），曲げモーメント（$M_m(u)$）およびせん断力（$S_m(u)$）は，Changの式，$\frac{d^4 w_m(u)}{du^4} = -k_H \cdot D_m \cdot u$ より，次のように求まる．



図−1

$$w_m(u) = e^{-\beta_m u}(A\sin\beta_m u + B\cos\beta_m u) + e^{\beta_m u}(C\sin\beta_m u + D\cos\beta_m u)$$

$$\frac{dw_m(u)}{du} = \beta_m e^{-\beta_m u}\{A(\cos\beta_m u - \sin\beta_m u) - B(\cos\beta_m u + \sin\beta_m u)\} + \beta_m e^{\beta_m u}\{C(\cos\beta_m u + \sin\beta_m u) + D(\cos\beta_m u - \sin\beta_m u)\}$$

$$M_m(u) = 2\beta_m^2 \cdot E_m I_m e^{-\beta_m u}(-A\cos\beta_m u + B\sin\beta_m u) + 2\beta_m^2 E_m I_m e^{\beta_m u}(C\cos\beta_m u - D\sin\beta_m u)$$

$$S_m(u) = 2\beta_m^3 E_m I_m e^{-\beta_m u}\{A(\cos\beta_m u + \sin\beta_m u) + B(\cos\beta_m u - \sin\beta_m u)\} + 2\beta_m^3 E_m I_m e^{\beta_m u}\{C(\cos\beta_m u - \sin\beta_m u) - D(\cos\beta_m u + \sin\beta_m u)\}$$

ここで，$\beta_m = \sqrt[4]{\frac{k_H \cdot D_m}{4E_m I_m}}$．次に，上式中の定数A，B，C，Dは，$u=0$ のとき $w_m = \delta_{Hm}$，$\frac{dw_m}{du} = -\theta_m$，$u = l_m$ のとき $w_m = 0$，$M_m = 0$ なる境界条件から求める．

杭頭は剛性の大なるフーチングに埋め込まれるから，杭頭の水平変位と回転角はi基礎の水平変位と回転角に等しい（図−1参照）．故に，$\theta_m = \theta_i$，$\delta_{Hm} = \delta_{Hi}$，また杭頭の沈下量を δ_{vm} とすると，図−1より $\delta_{vm} = \delta_{vi} + x_m\theta_i$，垂直力 $V_m = f_m(\delta_{vi} + x_m\theta_i)$ となる．

よってi基礎全体のモーメント（M_{ip}），水平力（H_{ip}）および垂直力（V_{ip}）は次のとうり．

$$M_{ip} = \sum_m M_m = k_{ip}(2\varphi_i + \psi_{Hi} + \alpha_1\psi_{vi}),\quad H_{ip} = \sum_m S_m = \alpha_2\varphi_i + \alpha_3\psi_{Hi},\quad V_{ip} = \sum_m V_m = \alpha_4\varphi_i + \psi_{vi}$$

ここに，

$$k_{ip} = \frac{1}{4E_0K_0}\sum_m\left[\frac{2E_mI_m\beta_m\{-2(\sin^2\beta_m l_m - \cos^2\beta_m l_m) - e^{-2\beta_m l_m} - e^{2\beta_m l_m}\}}{e^{-2\beta_m l_m} - e^{2\beta_m l_m} + 4\sin\beta_m l_m \cdot \cos\beta_m l_m} + f_m x_m^2\right],$$

$$\psi_{Hi} = \frac{-2\delta_{Hi}}{k_{ip}}\sum_m\left[\frac{E_mI_m\beta_m^2(e^{-2\beta_m l_m} - e^{2\beta_m l_m} - 4\sin\beta_m l_m \cdot \cos\beta_m l_m)}{e^{-2\beta_m l_m} - e^{2\beta_m l_m} + 4\sin\beta_m l_m \cdot \cos\beta_m l_m}\right],$$

$$\psi_{vi} = \sum_m f_m\delta_{vi},\quad \alpha_1 = \frac{\sum_m f_m x_m}{k_{ip}\sum_m f_m},\quad \alpha_2 = -\sum_m\frac{E_mI_m\beta_m^2}{E_0K_0}\left[\frac{e^{-2\beta_m l_m} - e^{2\beta_m l_m} - 4\sin\beta_m l_m \cdot \cos\beta_m l_m}{e^{-2\beta_m l_m} - e^{2\beta_m l_m} + 4\sin\beta_m l_m \cdot \cos\beta_m l_m}\right],$$

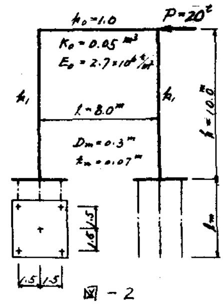
$$\alpha_3 = \frac{-2k_{ip}\sum_m E_mI_m\beta_m^3\{2(\sin^2\beta_m l_m - \cos^2\beta_m l_m) - e^{-2\beta_m l_m} - e^{2\beta_m l_m}\}}{\sum_m E_mI_m\beta_m^2\{e^{-2\beta_m l_m} - e^{2\beta_m l_m} - 4\sin\beta_m l_m \cdot \cos\beta_m l_m\}},\quad \alpha_4 = \frac{\sum_m f_m x_m}{2E_0K_0}.$$

ここで，k_{ip}は杭基礎ラーメンの基礎の剛比である．

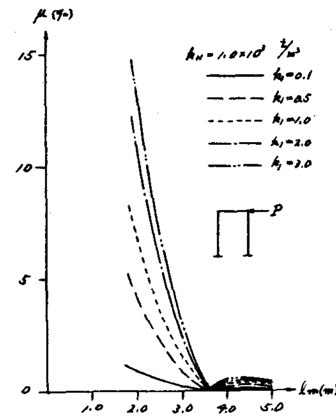
以上の基礎の基本式を用いて，たわみ角法により弾性方程式を作り杭基礎ラーメンを解く．

（3） 計算例

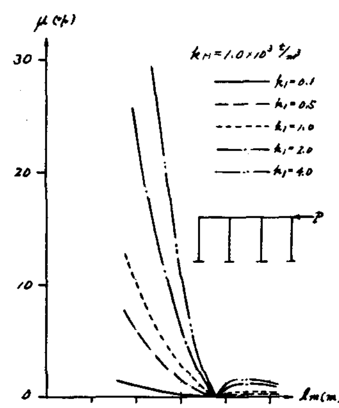
図－2に示すような鉄筋コンクリート門形ラーメン（杭配置は通常用いられる範囲の一例）について計算し，断面力に与える杭長の影響を，基礎と柱との節点のモーメントについて，その影響度（$\mu = \left|\frac{M(l=l_m)-M(l=\infty)}{M(l=\infty)}\right| \times 100\%$）を求め，代表的なものを図示したのが図－3である．計算には，$k_H = 1.0\times10^3$（t/m³），$E_m = 2.7\times10^6$（t/m²），$D_m = 0.3$（m），$I_m = 3.653\times10^{-4}$（m⁴），$\beta_m = 0.5251$（m⁻¹），$l_m = 2.0,\ 3.0,\ 3.2,\ 3.4,\ 3.6,\ 3.8,\ 4.0,\ 5.0,\ 10.0,\ 20.0,\ 50.0$（m）（$l_m = 50.0$を無限長として計算），$f_m = 1.0\times10^4$（t/m），$x_m = \pm1.5,\ 0.0$（m），$k_1 = 0.1,\ 0.5,\ 1.0,\ 2.0,\ 3.0$の値を用いる．この結果を図－3に，また3径間（$D_m = 0.3$（m），$k_H = 1.0\times10^3$（t/m³））についての結果を図－4に示す．図－3および図－4において，$l_m = 3.6 \sim 3.8$（m）で$\mu \fallingdotseq 0\%$となっているが，これはモーメント（M_{ip}）式中のφ_i，ψ_{Hi}の値が$l_m = 3.6$（m）と$l_m = \infty$とでほとんど等しくなっているためである．



図－2



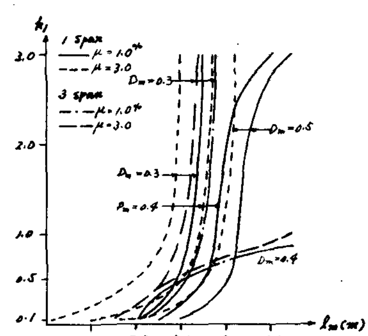
図－3



図－4

（4） 杭長を無限長と考えてよい範囲

実際設計に用いられる範囲の，$k_H = 1.0\times10^3$（t/m³）あるいは$k_H = 2.0\times10^3$（t/m³）について，1径間では$D_m = 0.3,\ 0.4,\ 0.5$（m），3径間では$D_m = 0.3,\ 0.4$の場合について計算した．その結果を影響度が大きい$k_H = 1.0\times10^3$（t/m³）の場合について，影響度（μ）が1（%），3（%）以下になる杭長（l_m）と柱の剛比k_1の関係を図－5に示す．実際設計上用いられるのは多くの場合，$k_H \geqq 1.0$（kg/cm³），$D_m = 0.3 \sim 0.4$（m）程度であることを考え，さらに誤差を3（%）まで許すものとすると図－5からわかるように3～4（m）以上の杭では無限長の杭として解いても良いと思われる．



図－5

（5） あとがき

ここで述べた杭長の影響を吟味する計算例はある特定の状態についてのものであるから，これをもって全ての場合，上記の結論を適用することはできないが，しかし一般的に杭長として極端に短かいものでなければ杭長を無限長と扱って問題はないと思われる．さらに，この点については多くの計算例について検討を進めて確認するつもりである．

参考文献：長 尚，基礎の条件を考慮したラーメンの解法