

III-14 各基礎形式に共通する基本的設計法

日本国有鉄道 構造物設計事務所

正員 ○森重龍馬

正員 高橋光昭

志村 直

1. はじめに； 本論はくい基礎，ケーソン基礎，直接基礎の安定，応力等の設計諸要素の算定に共通する基本式として，地盤係数 k 値を任意にとり，基礎を有限長の弾性体と考える階差方程式を用いることにより，一見不連続と思われるこれらの基礎形式に対する慣用式に連続性をもたせることができる。また基本式と慣用式との計算値の比から，慣用式の適用限界を求めたり，慣用式による計算値を補正してその適用限界を拡大することも可能となる。

2. 基本式； 各基礎形式に共通する基本式は次の階差方程式とする。

$$O_m = \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)_m = \frac{G_{m+1} y_{m+1} - G_{m-1} y_{m-1}}{2\lambda} \dots\dots\dots (1) \quad S_m = \left(\frac{d^4 y}{dx^4} \right)_m = \frac{G_{m+2} y_{m+2} - 2G_{m+1} y_{m+1} + 2G_{m-1} y_{m-1} - G_{m-2} y_{m-2}}{2\lambda^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$M_m = \left(\frac{d^3 y}{dx^3} \right)_m = \frac{G_{m+1} y_{m+1} - 2G_m y_m + G_{m-1} y_{m-1}}{\lambda^2} \dots\dots\dots (2) \quad K_m y_m = \left(\frac{d^4 y}{dx^4} \right)_m = \frac{G_{m+2} y_{m+2} - 4G_{m+1} y_{m+1} + 6G_m y_m - 4G_{m-1} y_{m-1} + G_{m-2} y_{m-2}}{\lambda^4} \dots\dots\dots (4)$$

図-1に示す基礎の各区分 $0 \sim n$ に対して次の連立方程式をたてる

$$0 \text{ 点 } G_2 y_2 - 4G_1 y_1 + (6G_0 + K_0 \lambda^4) y_0 - 4G_1 y_1 + G_2 y_2 = 0$$

$$1 \text{ 点 } G_1 y_1 - 4G_0 y_0 + (6G_1 + K_1 \lambda^4) y_1 - 4G_2 y_2 + G_3 y_3 = 0$$

$$m \text{ 点 } G_{m-2} y_{m-2} - 4G_{m-1} y_{m-1} + (6G_m + K_m \lambda^4) y_m - 4G_{m+1} y_{m+1} + G_{m+2} y_{m+2} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$n \text{ 点 } G_{n-2} y_{n-2} - 4G_{n-1} y_{n-1} + (6G_n + K_n \lambda^4) y_n - 4G_{n+1} y_{n+1} + G_{n+2} y_{n+2} = 0$$

基礎頂部自由の場合 $M_0 = M$, $S_0 = H$, $M_n = k_v O_n I_b$, $S_n = k_z A' y_n$

$$(2) \text{ 式より } G_1 y_1 - 2G_0 y_0 + G_1 y_1 - \lambda^2 M = 0 \dots\dots\dots (6)$$

$$(3) \text{ 式より } G_2 y_2 - 2G_1 y_1 + 2G_1 y_1 - G_2 y_2 - 2H \lambda^3 = 0 \dots\dots\dots (7)$$

$$(1)(2) \text{ 式より } (1 - \frac{1}{2} \lambda k_v I_b) G_{n+1} y_{n+1} - 2G_n y_n + (1 + \frac{1}{2} \lambda k_v I_b) G_{n+1} y_{n+1} = 0 \dots\dots\dots (8)$$

$$(3) \text{ 式より } G_{n+2} y_{n+2} - 2G_{n+1} y_{n+1} + 2G_{n-1} y_{n-1} - G_{n-2} y_{n-2} - 2k_z A' y_n = 0 \dots\dots\dots (9)$$

基礎頂部固定の場合 $O_0 = 0$, $S_0 = H$, $M_n = k_v O_n I_b$, $S_n = k_z A' y_n$

$$(1) \text{ 式より } G_1 y_1 - G_1 y_1 = 0 \dots\dots\dots (10) \text{ その他は (7)~(9) 式と同じ}$$

ここに G_m ；任意の点 m の基礎の剛性 ($Kg \cdot cm^2$) M ；基礎頂部に働くモーメント ($Kg \cdot cm$)

K_m ；——の基礎の全巾に対する H ；——，—— 水平力 (Kg)

水平地盤係数 (Kg/cm^2) k_v ；基礎底面に対する鉛直地盤係数 (Kg/cm^2)

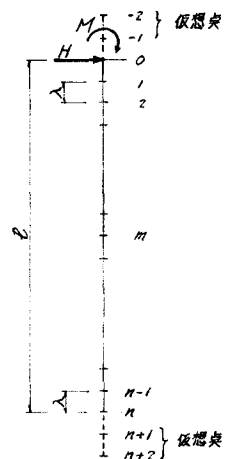
y_m ；任意の点 m の水平変位量 (cm) I_b ；基礎底面の断面二次モーメント (cm^4)

O_m ；——の傾斜角 (ラジアン) k_z ；基礎底面に対するせん断地盤係数 (Kg/cm^2)

M_m ；——のモーメント ($Kg \cdot cm$) O_n ；基礎底面の傾斜角 (ラジアン)

S_m ；——のせん断力 (Kg) A' ；基礎の有効支持面積 (cm^2)

図-1



ℓ ; 基礎の根入深さ (cm) λ ; 区分央間の深さ ℓ/n
 n ; 区分央の数

図-2

(8)式は基礎底面の地盤反力の最小値 $P_{min} = \frac{N_n}{A_n} - k_r \frac{B}{2} \theta_n > 0$ の場合にのみ用いられ $P_{min} < 0$ の場合は $M_n = k_r \theta I_b$ において I_b を有効支持面積 A' の断面二次モーメント I_b' , M_n を A' の中心に対するモーメント M_n' にかえる。

(9)式において S_n が基礎底面の水平極限支持力を示す(11)式による値よりも大きくなるときは(11)式による値を S_n とする。

$$S_n = N_n \tan \delta + A'c \text{----- (11)}$$

ここに N_n ; 基礎底面の地盤に対する有効鉛直力 (K_g) A_n ; 基礎底面積 (cm^2)
 δ ; 基礎底面と地盤との摩擦角 c ; 基礎底面と地盤との粘着力 (K_g/cm^2)

水平地盤反力 P_n が地盤の弾性領域をこえる場合は、弾性領域をこえた部分の変位に対して地盤反力は増加しないものとする。弾性領域の限界における地盤反力は一応地盤の受働土圧をとることにする。

3. 基礎形式と基本式; くい基礎とケーソン基礎とは基本式において主として基礎の剛度が関係する範囲の区分であり、ケーソン基礎と直接基礎とは基本式において基礎を剛体として扱うことのできる範囲内の区分で主として基礎の根入深さと基礎の底面中とが関係するといことができる。

基礎の剛度と設計諸要素との関係を示す一例として円断面 RC 基礎の頂部に水平力が作用した場合の基礎各部の地盤反力度が基礎の剛度に対応して変化する状況を示すと図-3(a)のようになり、剛度の小さい間は基礎を半無限長の弾性体とするくい基礎の慣用式による値と一致しているが、剛度が大きくなるにつれて基礎を剛体と考える慣用式による値と一致してくる。

基礎が剛体と考えられる範囲内において、基礎の根入深さ ℓ と基礎の底面幅 B との比 ℓ/B が、基礎の設計諸要素によらば影響を示す一例として円形基礎の頂部に水平力が作用した場合の基礎各部の地盤反力度が基礎の ℓ/B に対応して変化する状況を示すと図-3(b)のようになり、 ℓ/B が小さくなるにつれて、地盤反力度の分布状態がケーソン基礎に対するものから直接基礎に対するものに変化して行くのが明かとなっている。

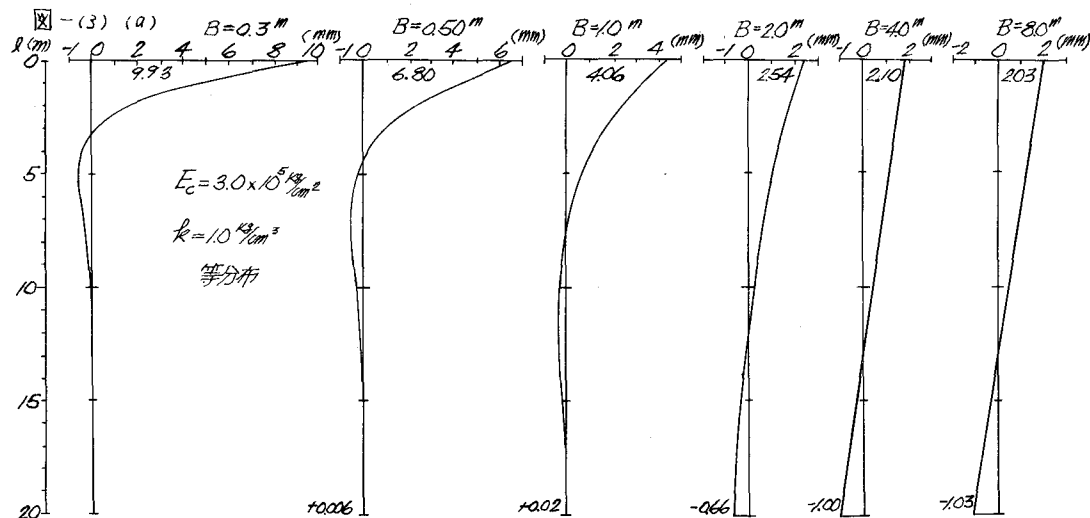


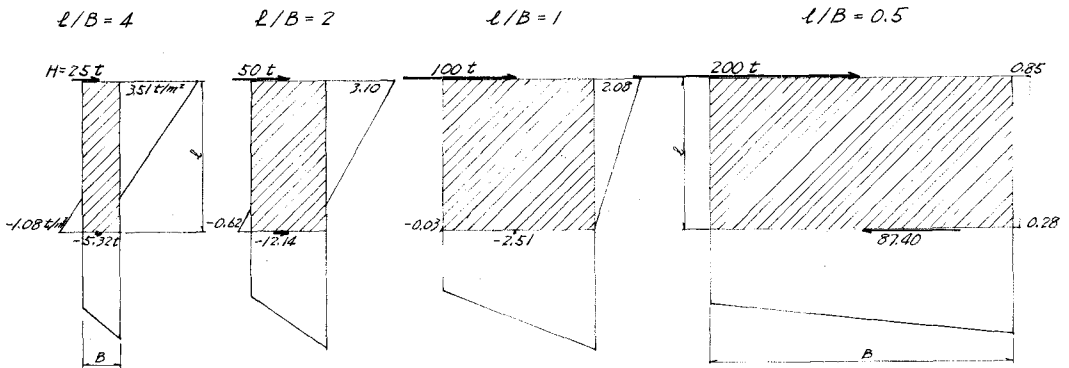
図-3 (b)

円形断面

$H = 10 \text{ t/m}$

$l = 10 \text{ m}$

$K = 3$



4. 設計諸要素に対する基本式と慣用式との比； 設計諸要素に対する基本式と慣用式との計算値の比を、基礎の剛度または形状の変化に対応して図表化することにより、各基礎形式の慣用式の適用される限界、いかえれば設計上からの基礎形式の区分点を定量的に定めることや、また慣用式に対する補正係数として両式の計算値の比を用いることにより慣用式の適用範囲を拡大することもできる。

両式による計算値の比は、基礎に加わる荷重の種別（水平力 H またはモーメント M ）、基礎頂部の拘束条件（自由か固定か）、対象とする設計諸要素（基礎頂部の水平変位量 δ 、最大地盤反力度 P_{max} 、基礎最大モーメント等）、地盤係数 k 値の分布形状（等分布、等変分布、不連続分布等）等によって異ってくる。この比についての図表化をそれぞれの条件について行っているがこれらのうちの1部を図-4、図-5に示す。

図-4は主として基礎の剛度 βl が関係するくい基礎とケーソン基礎に関するもののうちの水平地盤係数 k_h が等分布および等変分布で基礎頂部が自由な場合の水平荷重による基礎頂部の水平変位量、および基礎に生ずる最大モーメントに対する両式の比 α_δ および α_m を示したものである。この場合 α_δ および α_m が 0.90 以上（誤差 10% 以内）を慣用式の適用範囲とすれば、水平変位量 δ については地盤係数 k_h が等分布の場合でくい基礎は $\beta l > 2.3$ (RC 円形断面, $k_h = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ の場合, $l/B > 8.7$)、ケーソン基礎は $\beta l < 2.1$ ($l/B < 7.2$) となり、基礎に生ずる最大モーメント M についてはくい基礎は $\beta l > 2.4$ ($l/B > 9.5$)、ケーソン基礎は $\beta l < 2.6$ ($l/B < 11$) となる。

くい基礎、ケーソン基礎の慣用式の適用範囲外にある剛度の基礎にも慣用式による δ または M の値をこの図表に示す α_δ , α_m により補正すれば、有限長の弾性体としての複雑な計算を行った場合と同様の値を慣用式から容易に求めることができる。

図-5は基礎を剛体として扱い主として基礎の根入深さ l と基礎の幅 B との比 l/B が関係するケーソン基礎と直接基礎とに対するものの例であり、基礎の形状は円形および長方形とし、水平地盤係数 k_h は等分布、 k_h に対する鉛直地盤係数 k_v 、およびせん断地盤係数 k_s の比 $K_1 = \frac{k_v}{k_h}$, $K_2 = \frac{k_s}{k_h}$ をそれぞれ 1/30, 1/3 とした場合の基礎の底面の抵抗モーメント M_k と基礎底面中心に対する転倒モーメント M_o との比 $\beta = \frac{M_k}{M_o}$ を示したものである。 $\beta = 0.9$ 以上（誤差 10% 以内）を慣用式の適用範囲とすれば、水

平力が作用した場合、円形断面 $K_r=10$ の場合直接基礎は $l/B < 0.4$ となる。またケーソン基礎のうち $l/B > 2.4$ では底面の抵抗モーメント M_R を無視する物部式と同様の考え方によってもよいことがわかる。

図-4 基礎頂部の水平変位量と剛度との関係 基礎の最大曲げモーメント量と剛度との関係

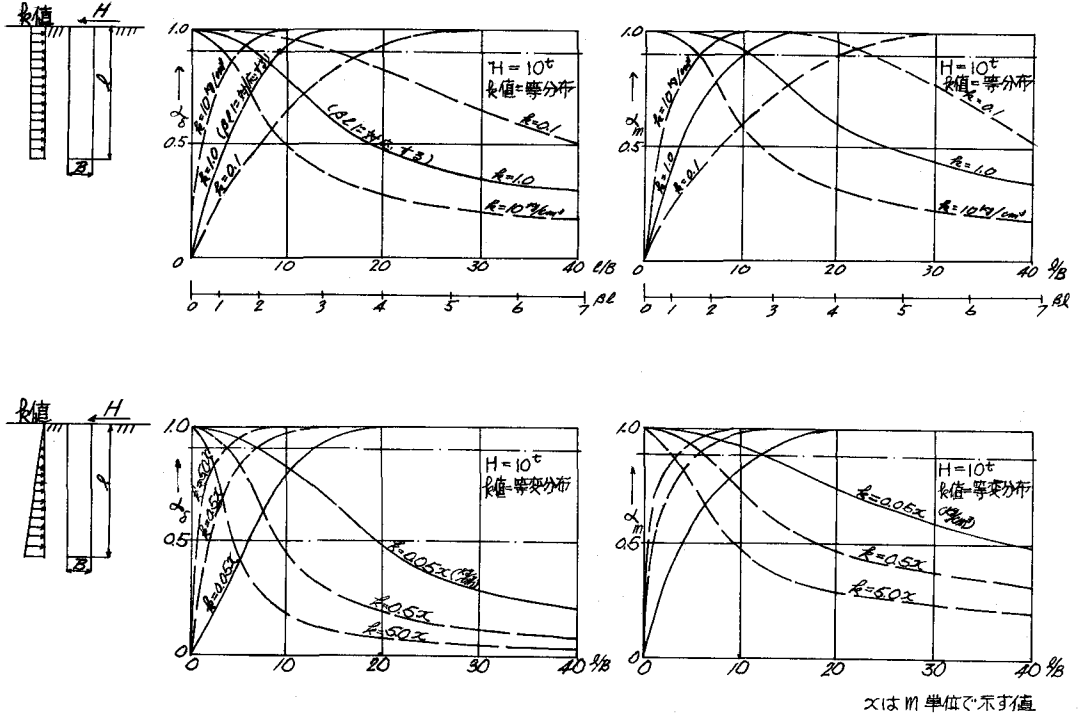


図-5 剛体基礎の転倒モーメントに対する底面抵抗モーメントの負担比

