

Ⅲ-B18

杭頭鉛直ばね定数の簡便計算法

(株)ジオトップ 正会員 平山 英喜

1. まえがき

杭頭鉛直ばね定数を手計算で計算する方法として、理論解および簡易ばねモデルの解を修正する方法を、実際の載荷試験の解析に基づいて提案した¹⁾。

本稿では、提案した修正係数の仮定の妥当性を考察し、パラメトリック・スタディでそれを検証する。

2. 簡便計算法の概要

2.1 基本解

図-1に、計算法のモデルを示す。これらのモデルの解は、次の3つのパラメータの関数で与えられる： $K_f = k_f L (\pi D)$ 、 $K_b = k_b A$ 、 $K_p = AE/L$ 。ここに、 L =杭長、 D =杭径、 $A = \pi D^2/4$ 、 k_f =周面せん断地盤反力係数、 k_b =先端地盤反力係数、 E =杭体のヤング率。

杭頭ばね定数の理論解 K_{TH} と、ばねモデルでもっとも精度の良い③の解 K_3 は、各々次のようになる。

$$K_{TH} = \frac{\lambda \tanh \lambda + \gamma}{\gamma \tanh \lambda + \lambda} \lambda K_p \quad (1)$$

ここに、 $\gamma = K_b/K_p$ 、 $\lambda = (K_f/K_p)^{1/2}$ 。

$$K_3 = \frac{a}{1 + r a} K_p \quad (2)$$

ここに、 $a = K_1/K_p$

$K_1 = K_f + K_b$ =モデル①の杭頭ばね定数

$r = (K_1 - K_f/2)/K_1$

=モデル④の[平均軸力]/[杭頭軸力]

2.2 修正解

(1)(2)式は、 $k_f = \text{constant}$ の均質地盤を仮定した解である。杭頭ばね定数に及ぼす地盤の非均質性の影響を、ばねモデル③における杭体圧縮量に着目して、簡潔に考慮する。軸力の平均値を杭中央での軸力値で近似し、図-2に示したB-B型の軸力分布モードでの(2)式の変化を考える。A-A型を仮定している(2)式の変化率から、非均質性の影響に対する補正として、次の修正減少係数 R_{mod} を導入する。

$$R_{mod} = (1 + r a)/(1 + r_{mod} a) \leq 1.0 \quad (3)$$

ここに、 $r_{mod} = (K_1 - K_{fu})/K_1$

K_{fu} =杭頭から杭中央までの K_f

ばねモデルによる(2)式では、さらに杭体と地盤の抵抗を分離している影響がある。これに対して、実際の載荷試験の解析結果¹⁾から、(4)式に示す修正増加係数 I_{mod} を導入する。

$$I_{mod} = 1 + 0.15 a \quad (4)$$

(1)(2)式による基本解を(3)または(4)式で補正し、簡便修正解として次式を用いる。

$$K_{THmod} = R_{mod} K_{TH} \quad (5)$$

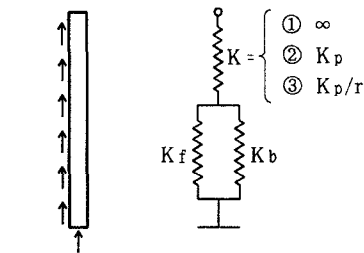
$$K_{3mod} = R_{mod} I_{mod} K_3 \quad (6)$$

3. 修正係数に関する考察

3.1 減少係数 R_{mod}

深さ z における軸力 $Q(z)$ と杭体のひずみ $\varepsilon(z)$ の間には、 $\varepsilon(z) = \sigma(z)/E = Q(z)/EA$ 、の関係がある。したがって、軸力分布は、 k_f の分布だけでなく、杭体のヤング率 E によっても変化する。

図-2の軸力分布は、 $E = \infty$ を仮定したものである。実際の E の値に応じて、軸力の絶対値だけでなく分布モードも図-2のものと異なってくるが、そ



(a)理論解 (b)ばねモデル
図-1 計算法のモデル

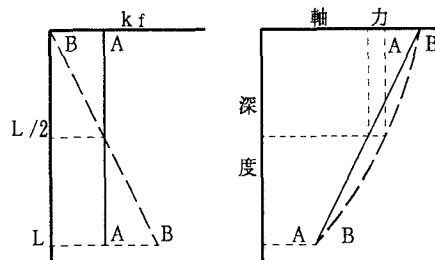


図-2 R_{mod} の導入の際に仮定した軸力分布

キーワード：杭、杭頭鉛直ばね定数、手計算法、数値解析、パラメトリック・スタディ

連絡先：〒541 大阪市中央区高麗橋2-1-10 (株)ジオトップ 基礎研究室 TEL:(06)226-0871 FAX:(06)226-0992

の程度は k_f の分布にも依存する²⁾。図-2の軸力分布の場合、A-A型では「杭中央の軸力」＝「平均軸力」であるが、B-B型では「杭中央の軸力」＞「平均軸力」である。比で定義している(3)式において、分母に安全側の値を用いているので、 R_{mod} による補正は、一般的に安全側になると考えられる。

3.2 増加係数 I_{mod}

(4)式の I_{mod} の妥当性について検討するため、(1)式と(2)式から、 $(K_{TH}/K_3-1)/a$ の値を a 、 $K_f/(K_f+K_b)$ をパラメータとして計算する。その結果のまとめを、図-3に示す。この図から、 $K_f/(K_f+K_b) > 0.6$ ならば、(4)式の I_{mod} は広範囲の a に対して安全側であることが分かる。したがって、いわゆる摩擦杭であれば、(4)式は妥当なものといえる。

ただし、 $a > 1.5$ または $K_f < K_b$ の場合は、一般的に危険側になるので、留意する必要がある。

4. パラメトリック・スタディ

種々の条件における修正係数の妥当性を検討するため、(5)(6)式と1次元FEMを用いた荷重伝達法による計算値を、パラメータを変化させて比較する。

基準条件として、次のものを採用する： k_f の平均値＝ $1[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 、 $k_b=10[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 、 $L=10[\text{m}]$ 、

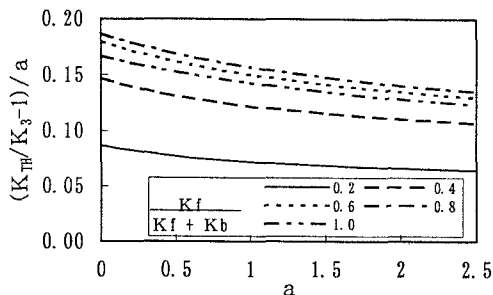


図-3 $(K_{TH}/K_3-1)/a$ と a の関係

$D=0.5[\text{m}]$ 、 $E=1.6 \times 10^5[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ （すなわち、 $K_f=157.1[\text{tf}/\text{cm}]$ 、 $K_b=19.6[\text{tf}/\text{cm}]$ 、 $K_p=314.2[\text{tf}/\text{cm}]$ ）。これらのパラメータの一部のみを、以下のように変化させる。

① k_f の深さ方向の分布： $K_f=\text{constant}$ のもとで、 k_f を深さ z の1次関数とする。 $k_f(L/2)=1[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ として、非均質係数 $\rho=k_f(L/2)/k_f(L)$ の値を1/2, 2/3, 1, 2に変化させる。

② 杭体ヤング率 E ：①の $\rho=2/3$ のケースにおいて、 E を基準値の1/2, 2倍にする。

③ 杭長 L ： $\rho=2/3$ 、 $K_f=\text{constant}$ の条件のもとで、 L を基準値の2, 1/2倍にする。

④ 周面抵抗寄与率 $R_f=K_f/(K_f+K_b)$ ： $\rho=2/3$ 、 $K_f+K_b=\text{constant}$ の条件のもとで、 R_f の値を1/2, 1/4倍にする。

以上の結果を、1次元FEMによる計算値 K_{FEM} との比較を含め、表-1にまとめる。なお、②③はパラメータ K_p の変化に応じて同じ結果になるので、共通にしてまとめている。

実際の17件の載荷試験に対する解析において、(5)(6)式はともに平均0.99 K_{FEM} の値を与えた¹⁾。3.2で説明したように、 $a > 1.5$ または $K_f < K_b$ の場合の(6)式を除き、一般的に上記の精度が得られることが分かる。なお、 k_f が深さとともに減少する①の $\rho=2$ のケースでは、少し安全側の程度が大きくなっている。これは、(3)式に示したように、 $R_{mod} > 1$ の場合は、安全側の仮定として $R_{mod}=1.0$ としているためである。

参考文献

- 1) 平山英喜ほか：埋込み節杭の荷重-沈下解析(その3)、第32回地盤工学研究発表会、1997。
- 2) Rajapakse, R.: Response of an axially loaded-elastic pile in a Gibson soil, Geotechnique, Vol. 40, No. 2, pp. 237-249, 1990.

表-1 簡便計算法と1次元FEMによる杭頭鉛直ばね定数の計算値の比較（◎は同一条件の解）

計算条件		計算定数	K_{TH} (1)式	K_3 (2)式	a	R_{mod} (3)式	K_{THmod} (5)式	K_{3mod} (6)式	K_{FEM}	$\frac{K_{THmod}}{K_{FEM}}$	$\frac{K_{3mod}}{K_{FEM}}$
①	$\rho=1/2$		147.0	134.6	0.563	0.913	134.2	133.3	135.0	0.994	0.987
	◎ $\rho=2/3$		"	"	"	0.955	140.3	139.4	141.3	0.993	0.987
	$\rho=1$		"	"	"	1.000	147.0	146.0	147.0	1.000	0.993
	$\rho=2$		"	"	"	"	"	"	152.2	0.966	0.959
② & ③	$E:1/2$ 倍	$L=20\text{m}$	127.2	108.7	1.125	0.929	118.1	118.0	119.0	0.992	0.992
	◎ E :基準値	$L=10\text{m}$	147.0	134.6	0.563	0.955	140.3	139.4	141.3	0.993	0.987
	$E:2$ 倍	$L=5\text{m}$	160.2	152.8	0.281	0.974	156.0	155.1	156.7	0.996	0.990
④	◎ $R_f=0.889$		147.0	134.6	0.563	0.955	140.3	139.4	141.3	0.993	0.987
	$R_f=0.444$		132.5	122.9	"	0.979	129.7	130.5	129.1	1.005	1.011
	$R_f=0.222$		123.3	117.8	"	0.990	122.0	126.4	121.5	1.004	1.040