

III-47

有限長杭の簡易設計計算式の開発

阪神高速道路公団 正員 大志万和也*
建設省土木研究所 正員 福井 次郎
同 上 越川 裕

1. まえがき

道路構造物の基礎は、地盤との相対剛性、支持機構等の構造特性によって浅い基礎と深い基礎に大別されるが、深い基礎としては従来はケーソン基礎と杭基礎が代表的な基礎であり、それぞれ独自の設計法が確立している¹⁾。しかし近年、大口径場所打ち杭、深礎杭等のような両者の中間に位置するいわゆる有限長杭に分類される基礎が多数施工されるようになってきたため、有限長杭の設計法の不備が問題となってきた。そこで、筆者らはこれまでの弾性床上の有限長梁にモデル化し、多層地盤にも適用可能な計算プログラムを作成した^{2) 3)}。計算方法をこのようにプログラム化した理由は、杭とケーソンの中間に位置する基礎の挙動を精度よく計算するにはコンピュータの使用が不可欠であること、土木構造物の設計計算にかなりコンピュータが使われだしてきたことなどによるものである。しかし、基礎の設計に全面的にコンピュータを利用するのはまだ時期尚早であること、現在の地盤定数の推定精度では設計計算精度のみを良くしてもあまり意味がないことなどを考え合わせると、もう少し簡易な計算手法を開発するのが現実的である。そこで、今回、簡単な系の下で上記プログラムの基本式を展開、近似した簡易計算式を作成することとした。

2. 検討方法

ここでは、 $\beta l = 1 \sim 3$ の有限長の杭基礎を対象に簡易計算式を作成するが、これまでの数値解析による検討の結果、 βl が1に近い場合は基礎底面の地盤バネの影響を無視できないことが判明したので、 βl が1に近いケーソンを対象とした計算式と βl が3に近い杭基礎を対象とした計算式を作成することとした。ケーソンを対象とした場合は、基礎本体を基礎先端の地盤バネを考慮した一部材の弾性床上の梁とし、基礎前面の水平地盤反力係数(以下 k 値)の分布形状は一様分布および三角形分布を想定した(図-1参照)。杭を対象とする場合は、基礎先端は自由、ヒンジ、固定のいずれかとし、基礎本体を二部材の弾性床上の梁とした。基礎前面の k 値の分布形状は一様分布のみとした。基本式の展開、近似の過程については紙面の都合上省略するが、基礎の変形、断面力等は深さの多項式として表わされる。なお、杭を対象とした場合は、設計上の利用を考慮して杭頭ばね定数の計算式を作成することとした。

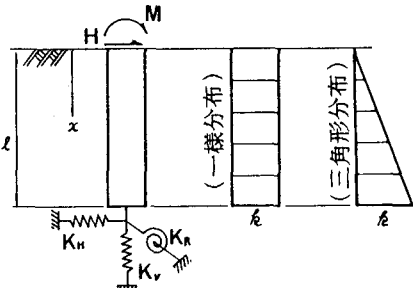


図-1 計算モデル(ケーソン)

3. 検討結果

3.1 ケーソンを対象とした場合

k 値の分布が一様で、水平荷重 H のみが作用する場合のケーソンのたわみ w の計算式を次式に示す。

$$w(x) = \frac{H l^3}{6EI} \left(\frac{\alpha A}{120} \rho^5 + \frac{\alpha B}{24} \rho^4 + \rho^3 - A\rho - B \right)$$

$$\text{ここに、} A = \frac{a_1}{D} \left(\frac{6EI}{l^2} + \frac{3K_H}{l} \right) - \frac{a_2}{D} \left(\frac{6EI}{l^3} - K_H \right), \quad B = -\frac{b_1}{D} \left(\frac{6EI}{l^2} + \frac{3K_H}{l} \right) + \frac{b_2}{D} \left(\frac{6EI}{l^3} - K_H \right)$$

$$a_1 = K_H(\alpha/24 - 1) - \alpha EI/l^3, \quad a_2 = -K_H\alpha/6l - \alpha EI/2l^2$$

$$b_1 = K_H(\alpha/120 - 1) - \alpha EI/2l^3, \quad b_2 = K_H(1 - \alpha/24)/l - \alpha EI/6l^2$$

$$D = a_1 b_2 - a_2 b_1, \quad \rho = x/l, \quad \alpha = k B_H l^4 / EI, \quad B_H: \text{基礎幅}, \quad EI: \text{基礎の曲げ剛性}$$

* 前土木研究所基礎研究室長

図-2, 図-3に上式で計算した基礎頭部変位と厳密解を比較した結果を示す。図からわかるように βl が約2以下であれば実用上十分な精度を有していることがわかる。

3. 2杭基礎を対象とした場合

杭の場合の杭頭ばね定数の簡易計算式を表-1に示す($\alpha=4(\beta l)^4$)。なお、杭基礎を対象とした場合もケーソンと同様、基礎を一部材として簡易式を作成しようと試みたが、計算精度が良くなかったため、二部材として作成することとした。

杭先端条件を固定およびヒンジとした場合の簡易式の精度を照査した結果を図-4, 図-5に示す。図からわかるように βl が約3以下であれば実用上十分な精度を有していることがわかる。

4. あとがき

有限長杭の場合のたわみ、断面力の計算式は道路橋示方書に表で示されている。しかし、この表は厳密解をそのまま示したものであるため、計算式が指数関数と三角関数が組合わさった形をしており使いづらいという欠点があった。

今回開発した簡易計算式は、係数の計算はやや複雑であるが、多項式という形で計算することができるため、非常に使い易くなったのではないかとと思われる。

〔参考文献〕1) 道路橋示方書Ⅳ下部構造編: 日本道路協会, 昭和55年5月

2) 塩井, 福井, 清水: 有限長杭の設計計算プログラムの開発, 第16回土質工学研究発表会, 255, 1981

3) 浅沼, 福井: 有限長杭の設計方法に関する一提案, 土木技術資料 25-8, 1983

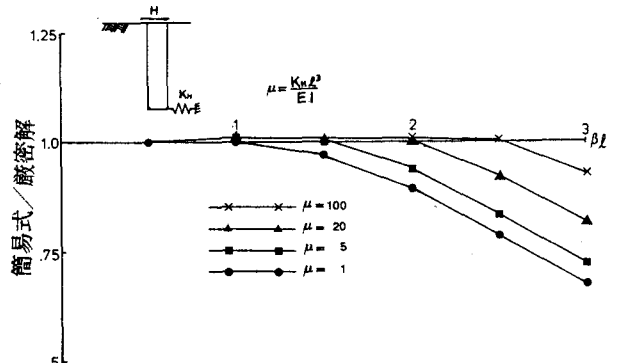


図-2 簡易式の計算精度(ケーソンの場合 その1)

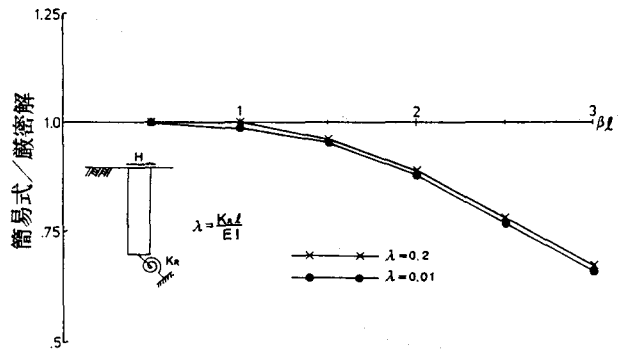


図-3 簡易式の計算精度(ケーソンの場合 その2)

表-1 杭頭ばね定数

	K_1	K_2	K_3	K_4
固定	$\frac{6EI}{l^3} \frac{2 + \frac{\alpha}{15} + \frac{\alpha^2}{8550}}{1 + \frac{\alpha}{420} + \frac{\alpha^2}{900000}}$	$\frac{2EI}{l^2} \frac{3 + \frac{\alpha}{30} + \frac{\alpha^2}{30600}}{1 + \frac{\alpha}{420} + \frac{\alpha^2}{900000}}$	$\frac{2EI}{l^2} \frac{3 + \frac{\alpha}{30} + \frac{\alpha^2}{22100}}{1 + \frac{\alpha}{420} + \frac{\alpha^2}{900000}}$	$\frac{2EI}{l^2} \frac{2 + \frac{\alpha}{105} + \frac{\alpha^2}{150000}}{1 + \frac{\alpha}{420} + \frac{\alpha^2}{900000}}$
ヒンジ	$\frac{6EI}{l^3} \frac{1 + \frac{\alpha}{6} + \frac{\alpha^2}{2130}}{2 + \frac{\alpha}{105} + \frac{\alpha^2}{150000}}$	$\frac{2EI}{l^2} \frac{3 + \frac{\alpha}{10} + \frac{\alpha^2}{6500}}{2 + \frac{\alpha}{105} + \frac{\alpha^2}{150000}}$	$\frac{2EI}{l^2} \frac{3 + \frac{\alpha}{10} + \frac{\alpha^2}{5280}}{2 + \frac{\alpha}{105} + \frac{\alpha^2}{150000}}$	$\frac{2EI}{l^2} \frac{3 + \frac{\alpha}{30} + \frac{\alpha^2}{28000}}{2 + \frac{\alpha}{105} + \frac{\alpha^2}{150000}}$
自由	$\frac{6EI}{l^3} \frac{\frac{\alpha}{6} + \frac{\alpha^2}{177} + \frac{\alpha^3}{89100}}{1 + \frac{\alpha}{12} + \frac{\alpha^2}{4320} + \frac{\alpha^3}{10200000}}$	$\frac{2EI}{l^2} \frac{\frac{\alpha}{4} + \frac{\alpha^2}{350} + \frac{\alpha^3}{305000}}{1 + \frac{\alpha}{12} + \frac{\alpha^2}{4320} + \frac{\alpha^3}{10200000}}$	$\frac{2EI}{l^2} \frac{\frac{\alpha}{4} + \frac{\alpha^2}{339} + \frac{\alpha^3}{232000}}{1 + \frac{\alpha}{12} + \frac{\alpha^2}{4320} + \frac{\alpha^3}{10200000}}$	$\frac{2EI}{l^2} \frac{\frac{\alpha}{6} + \frac{\alpha^2}{1150}}{1 + \frac{\alpha}{12} + \frac{\alpha^2}{4320}}$

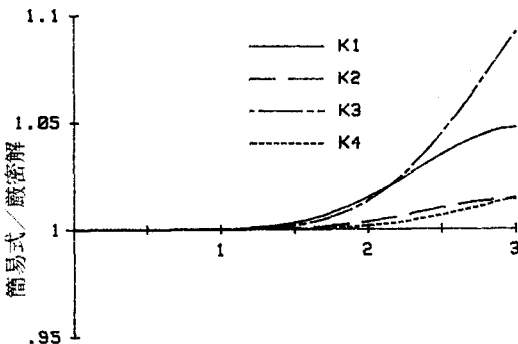


図-4 簡易式の計算精度(杭先端 固定)

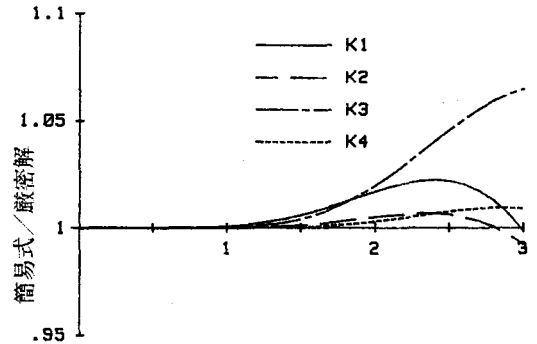


図-5 簡易式の計算精度(杭先端 ヒンジ)