

単杭の沈下解析における双曲線フィッティング係数

(財)大阪土質試験所 正会員 平山 英喜  
(株)武智工務所 正会員 ○山下 啓明

1. まえがき

杭の沈下の数値解析のうち、非線形解析でもパソコンで容易に計算可能な方法として、荷重伝達法と簡易化BEMがある。単杭に対しては、より簡潔で、近似理論解との関連も明確な荷重伝達法のほうが、より実用的である。しかし、群杭への適用も考慮すると、簡易化BEMのほうが一般性が高い。非線形解析に用いる応力-ひずみ関係としては、インプット定数決定や群杭の杭-土-杭間相互作用算定の観点から双曲線型のものが、簡潔で適用性が高い<sup>1)</sup>。簡易化BEMで単杭の双曲線型の非線形解析を行う場合に導入する双曲線フィッティング係数 $R_{fs}$ としては、0.5以下の値を用いればよいという提案<sup>2)</sup>があるが、解析条件に応じた適切な値に関しては明確でない。

$R_{fs}$ の物理的意味についてはすでに報告<sup>1)3)</sup>したが、本稿では近似理論解との対比により、 $R_{fs}$ の値について考察した結果を報告する。

2.  $R_{fs}$ の物理的意味

単杭の場合の周面摩擦抵抗に関して、杭-土接触面(またはそのごく近傍)ですべり面が発生するまでは、接触面だけでなくかなりの範囲の周辺の地盤が関与する。杭周辺の地盤の変形条件として杭軸を中心とした同心円筒モデルを、また変形特性として図-1に示した双曲線型のせん断応力-せん断ひずみ関係

$$\tau = \gamma / (a + b\gamma) \quad (\tau \leq \tau_f = R_f/b) \quad (1)$$

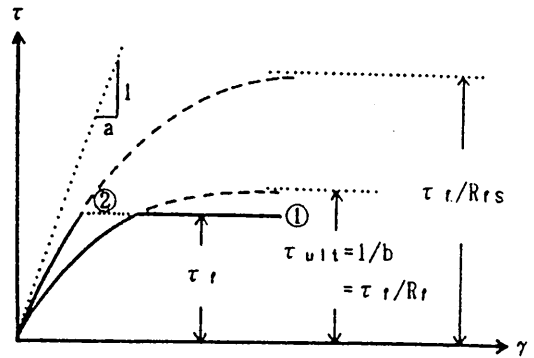
を仮定する。これらの条件のもとで $r_0$ から $mr_0$ ( $r_0$ =杭半径)までの地盤の平均剛性を求めると、その平均的なせん断応力-せん断ひずみ関係も図-1に示したように双曲線型となるが、漸近値は(1)式の漸近値の $(1+m)/2$ 倍となる。すなわち、

$$R_{fs} = 2R_f / (1+m) \quad (2)$$

となる<sup>1)3)</sup>。

3. t-z関係の近似理論解

杭周辺の地盤の変形条件および変形特性として2.と同じ仮定のもとに、次の周面摩擦抵抗-杭変位(t-z)関係が得られる<sup>1)3)</sup>。



- ① 実際の土の応力-ひずみ関係：  
 $\tau = \gamma / (a + b\gamma)$ ,  $\tau \leq R_f/b = \tau_f$
- ② 杭接触面での見かけの応力-ひずみ関係：  
 $\tau = \gamma / (a + B\gamma)$ ,  $\tau < \tau_f$   
ここに  $B = 2b / (1+m) = R_{fs} / \tau_f$

図-1 土および接触面での見かけのせん断応力-せん断ひずみ関係

$$Z = CF \log \{ (R-F) / (1-F) \} \quad (3)$$

ここに、 $Z = z / r_0$ 、 $r_0$ =杭半径、 $C = a/b = \tau_{ult} / G_1$ 、 $G_1 (= 1/a) =$ 初期せん断弾性係数、 $F = t/b = t / \tau_{ult} = R_f t / \tau_f$ 、 $R = r_m / r_0$ 、 $r_m =$ 周辺地盤のせん断ひずみがゼロと見なせる杭中心からの距離。

$r_m$ に関しては、線形の場合の(3)式( $F=0$ )と線形FEM解析との比較等により、次の関係が提案されている<sup>4)</sup>。

$$r_m = 2.5L\rho(1-\nu) \quad (4)$$

ここに、 $L =$ 杭長、 $\nu =$ 土のポアソン比、 $\rho =$ 非均質係数= $G$ (杭中央)/ $G$ (杭先端)。

(1)式のタイプの構成式による非線形FEM解析の事例<sup>5)</sup>によると、(4)式は非線形の場合でも妥当な結果を与えた。一般的な $R$ の範囲<sup>4)</sup>( $e^3 \sim e^5 = 20 \sim 148$ )において、(3)式の $t-z$ 関係は $F < 0.8$ ではあまり非線形性を示さないで、杭自体の圧縮が無視しうる一般的な場合に対して(3)・(4)式による結果は(1)式を用いた非線形FEMによる結果にはほぼ対応するものと考えられる。そこで、(3)・(4)式による $t-z$ 関係をベースに $R_{fs}$ を検討する。

4.  $R_{fs}$ の値の考察

(3)式の  $t-z$  (または  $F-Z$ ) 関係を、3定数双曲線

$$F = Z / (A + BZ) \quad (F < R_f) \quad (5-a)$$

$$\text{すなわち } Z / F = A + BZ \quad (5-b)$$

で近似する場合の  $B$  (すなわち  $R_{fs}$ ) の値を検討する。まず、(4)式により  $r_m$  を算定して  $R$  を決める。次に、(3)式で  $F (= 0 \sim R_f)$  の値に対する  $Z$  および  $Z/F$  の値を計算する。図式的には、それらを(5-b)式に従い ( $Z, Z/F$ ) 座標にプロットした時の切片と傾きから  $A$  および  $B$  が決められる。 $A$  の値は

$$A = dZ / dF |_{z=0} = C \log R \quad (6)$$

であるが、 $B$  の値は対象とする  $Z$  (すなわち  $F$ ) のレベルに依存する。

そこで、 $B$  の  $F$  依存性を解析的に検討してみる。割線係数としての  $B$  の値  $B_{sec}$  は、(3)・(6)式より次式で与えられる。

$$B_{sec} = (Z/F - A) / Z \\ = \frac{\log \{ (R-F) / (R-RF) \}}{F \log \{ (R-F) / (1-F) \}} \quad (7)$$

$R=20, 50, 80, 110, 140$  の場合の(7)式の関係を図-2に示す。この図には  $F=1.0$  まで示してあるが、 $F \geq R_f$  のラインは接触面ですべり面が発生するのでカットされる。この図から  $B_{sec}$  (すなわち(3)式を(5-a)式で近似する場合の  $R_{fs}$  の値) に関して次のことが分かる。

- ①  $F < 0.8$  では、 $R_{fs}$  の値はほぼ一定と見なせるので、(5-a)式による(3)式の近似度は、特に(1)式で  $R_f < 1.0$  の場合、かなり高い。
- ②  $R$  が大きくなると、 $R_{fs}$  は小さくなる。これは(2)式で  $m$  が大きくなることと対応している。ただし、 $R$  も  $m$  も影響範囲を定めるパラメーターであるが、各々の解析法におけるものであり、実際の影響範囲そのものではない<sup>1)3)</sup>。

$R_{fs}$  の決定は、解析条件に応じて(4)式で  $R$  を求め、(7)式または図-2を用いればよい。その際、設計荷重に対応して  $F=1/3 \sim 1/2$  での値を用いればよい。一般的には  $0.2 \sim 0.4$  となる。ただし、これはあくまでも、ある水平層の初期状態が均質であるという条件のもとで(1)式を用いた非線形 FEM 解析とほぼ同じ結果を得るための値である。したがって、杭設置による杭周辺地盤の特性の変化を考慮する場合は、 $R$  を小さくする<sup>6)</sup>、すなわ

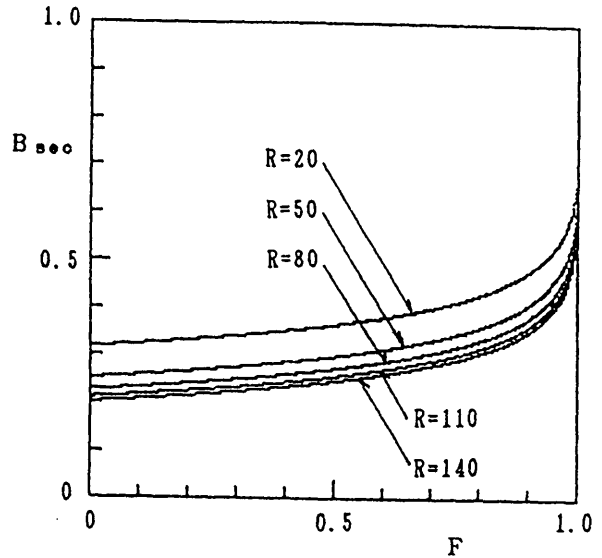


図-2 (7)式による  $F - B_{sec}$  関係

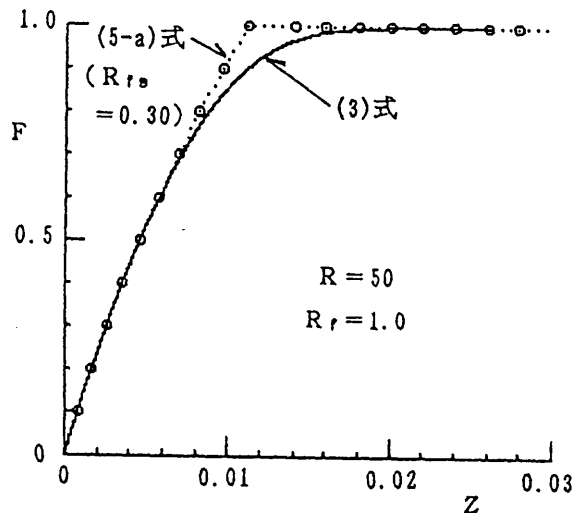


図-3 (3)式と(5-a)式の比較例

ち  $R_{fs}$  を大きくするほうが良い。

例として、 $R=50, R_f=1.0$  の場合<sup>3)</sup>の(3)式と(5-a)式 ( $R_{fs}=0.30$ ) を比較した結果を図-3に示す。

参考文献 1)平山(1990):“杭の沈下解析法と構成式”,土と基礎, Vol. 38, No. 7, pp. 51-56 2)Poulos (1989):“Pile behaviour - theory and application”, Geotech., Vol. 39, No. 3, pp. 365-415 3)平山・山下(1990):“単杭の沈下解析における荷重伝達法と簡易化境界要素法の比較”,第25回土質工学研究発表会, pp. 1337-1340 4)Randolph & Wroth (1978):“Analysis of deformation of vertically loaded piles”, Proc. ASCE, Vol. 104, No. GT12, pp. 1465-1488 5)Hirayama(1991):“Pile-group settlement interaction considering soil non-linearity”, Proc. 7th Conf. of IACMAG, Cairns, Balkema(to be published) 6)Yamashita et al. (1989):“Settlement analysis of large-diameter bored pile groups”, Proc. 12th ICSMFE, Vol. 2, pp. 1079-1082