

701 埋込み節杭の荷重-沈下解析(その4:簡易化BEMによる非線形解析)

(株)ジオトップ 正会員 平山 英喜

1. まえがき

(その1~3)¹⁾で、線形および双曲線型非線形の荷重伝達法のインプット定数の統計的解析と、それに基づく解析について報告した。本報では、群杭解析への適用性を考慮して、双曲線型非線形簡易化BEMによる解析のためのインプット定数算定式について考察する。また、その算定式を用いた解析により、妥当性を検証する。

2. 解析法

荷重伝達法と簡易化BEM(Mindlin解を利用した弾性解法)は、地盤抵抗をばねモデルで表して比較すると、図-1のように表される²⁾。すなわち、荷重伝達法では、連続体としての地盤によって生じる杭体要素間の相互作用を、直接的には考慮しない。杭体のひずみ分布の実測値から逆算したばね抵抗値を用いれば、要素間相互作用を含んだ形になっている。同心円筒モデルを用いて、準理論的にはばね抵抗値を算定する場合、軸対称FEM解析(すなわち、連続体解析)による杭頭ばね定数とほぼ一致するように、影響半径 r_m を設定する³⁾。この r_m は実際よりも大きく、これにより要素間相互作用が間接的に考慮される。要素間相互作用を含んだ形のばね抵抗値を用いると、単杭の沈下解析に関しては、荷重伝達法は簡易化BEMに比べてずっと簡単で、精度的にもほとんど差はない²⁾。

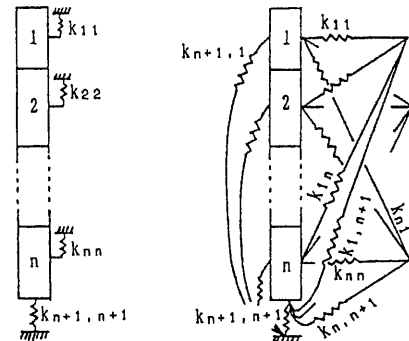
しかし、群杭の沈下解析で、杭-土-杭間の相互作用による影響を検討する場合には、実測値も非常に少なく、三次元FEM解析と対応させて連続体としての地盤の影響を考慮するのも容易ではない。そのため、連続体としての地盤の影響は、Mindlin解を利用して検討するのが一般的である。しかし、杭間の地盤の弾性定数を一定と仮定する通常の簡易化BEM解析では、特に杭間隔や沈下レベルが大きい場合に、相互作用の影響を過大評価することが指摘されている⁴⁾。そこで、土の応力-ひずみ関係をKondner型双曲線と仮定し、杭の沈下に伴う杭周辺地盤のひずみ分布を考慮した平均的な弾性定数を用いる、非線形解析法を提案した⁵⁾。

本報では、この双曲線型簡易化BEMで、(その2)¹⁾を対象とした17件の載荷試験を解析する。

3. インプット定数

双曲線型ばね抵抗を用いた荷重伝達法のインプット定数算定式に関しては、載荷試験結果の統計的解析と非線形解析に基づき、安全側のほぼ上限を与える式として、表-1にまとめた算定式を求めた¹⁾。

一方、双曲線型簡易化BEMでの地盤に関するインプット定数は、周面および先端抵抗に関する初期接線ヤング率 E_i 、応力漸近値(周面 f_{ult} ・先端 q_{ult})、双曲線フィッティング係数(周面 R_f : 周面抵抗応力の上限値 $= R_f f_{ult}$)、



(a) 荷重伝達法 (b) 簡易化BEM

図-1 荷重伝達法と簡易化BEMのばねモデルによる比較

ポアソン比 ν である。

$f_{ult} \cdot q_{ult} \cdot R_f$ は、荷重伝達法に対する表-1の式と、次のように直接対応する。

$$f_{ult} = 1/b_f \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$q_{ult} = 1/b_b \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$R_f = R \quad \dots\dots\dots(3)$$

しかし、 E_i の方は表-1のばねの初期接線勾配 $1/a_f \cdot 1/a_b$ とは直接は対応しない。そこで、同心円筒モデルと剛円板モデルに対する考察に基づいて提案されている式³⁾を用いて、両者の関係を表すと、次のようになる。

$$\frac{1}{a_f} = \frac{1}{r_o \ln(r_m/r_o)} \frac{E_i}{2(1+\nu)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{1}{a_b} = \frac{2E_i}{\pi(1-\nu^2)r_o} \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 r_o =杭半径、 ν =地盤のポアソン比、 r_m =影響半径 $=2.5 L \rho(1-\nu)$ 、 L =杭長、 ρ =不均質係数 $= (L/2$ での地盤剛性) $/(L$ での地盤剛性)。

表-1の基となったデータベースの上記定数の平均値は、 $r_o=23.5$ [cm]、 $L=1330$ [cm]、 $\rho \approx 2/3$ である。ポアソン比の影響は大きくないので、 $\nu=0.45 = \text{constant}$ とする。各数値を(4)(5)式に代入すると、次の関係式を得る。

$$E_i = 94 \times 2.90(1/a_f) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$E_i = 29.4(1/a_b) \quad \dots\dots\dots(7)$$

以上(1)~(3)(6)(7)式より、表-1に対応する簡易化BEMの算定式は、表-2(a)のようにまとめられる。

また、微小ひずみでの弾性定数に関する既往の相関式をまとめると、 E_i の平均値は、近似的に次式で与えられる⁶⁾。

$$E_i = 140 N[\text{kgf/cm}^2] \quad \dots\dots\dots(8)$$

(8)式を用いた単杭・群杭の解析結果は、実測値とよい対応を示した⁵⁾。安全側のほぼ上限に対応する式から

表-1 双曲線型荷重伝達法に対する修正算定式¹⁾

周	$1/a_f$ [kgf/cm ³]	砂質土: $0.13N+0.35$ 粘性土: $0.20N+0.50$
	$1/b_f$ [kgf/cm ²]	砂質土: $0.050N+0.40$ 粘性土: $0.045N+0.30$
面	R	0.95
先端	$1/a_b$ [kgf/cm ³]	$1.7N$
	$1/b_b$ [kgf/cm ²]	$2.0N$

表-2 双曲線型簡易化BEM⁵⁾に対する算定式
(a) 表-1に対応する算定式

周	E_i [kgf/cm ²]	砂質土: $35N+95$ 粘性土: $55N+136$
	f_{ult} [kgf/cm ²]	砂質土: $0.050N+0.40$ 粘性土: $0.045N+0.30$
面	R_f	0.95
先端	E_i [kgf/cm ²]	$50N$
	q_{ult} [kgf/cm ²]	$2.0N$
	ポアソン比 ν	0.45
(b) E_i の平均値算定式 ⁶⁾		
	E_i [kgf/cm ²]	$140N$

求めた(6)(7)式に基づく算定式と比較するために、(8)式を表-2(b)に示す。

本報の解析では、表-2(a)の算定式を用いる。さらに、 E_i の算定式として表-2(b)、すなわち(8)式、を用いた解析も行う。この場合、 E_i 以外は表-2(a)と同じである。なお、杭体のヤング率は、荷重伝達法の場合¹⁾と同じである。

4. 解析結果とその考察

まず、表-2(a)の算定式による簡易化BEMによる計算結果を、表-1の算定式による荷重伝達法による計算結果と比較してみる。図-2は、17件の各載荷試験における同一荷重での両者の計算杭頭沈下量の関係をまとめたものである。両者の差違の程度は、(4)式に含まれる定数の平均値からのずれに影響されるが、非線形解析にもかかわらず、全体的に非常に良く対応しているといえる。

図-3は、表-2(a)の算定式による簡易化BEMによる計算結果を、実測値と比較したものである。図-2の結果から当然であるが、表-2(a)の算定式も、安全側のほぼ上限に対応するものであることが分かる。

一方、図-4は、表-2(b)の算定式による簡易化BEMによる計算結果を、実測値と比較したものである。この図から、(8)式は、 E_i の値の平均的な算定式として、ほぼ妥当なものと考えられる。

5. まとめ

①手計算法¹⁾②荷重伝達法¹⁾に続いて、③簡易化BEMによる荷重-沈下解析についてまとめた。単杭の杭頭ばね定数を求める場合は①または②、単杭の載荷試験を解析する場合は②または③、群杭の沈下を検討する場合は③、と目的に応じて利用することができる。簡易化BEM解析に用いるインプット定数算定式を、表-2にまとめた。

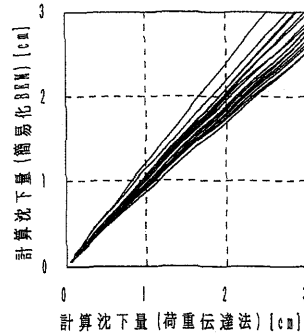


図-2 簡易化BEMと荷重伝達法による計算結果の比較
(表-2(a)および表-1の算定式による)

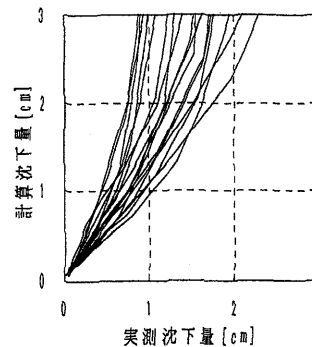


図-3 簡易化BEMによる計算結果と実測値の比較
(表-2(a)の算定式による)

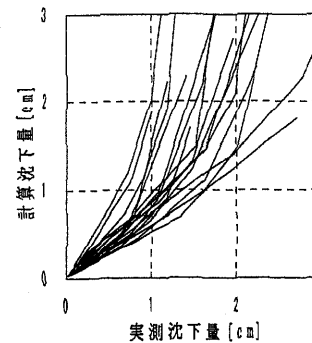


図-4 簡易化BEMによる計算結果と実測値の比較
(表-2(b)の算定式による)

参考文献

- 1) 平山英喜・金井重夫・木原律子:埋込み節杭の荷重-沈下解析(その1~3),第32回地盤工学研究発表会講演集,pp.1507-1512,1997.
- 2) 平山英喜・山下啓明: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(その2),土木学会第45回年講III,pp.1042-1043,1990.
- 3) Randolph,M.F. and Wroth,C.P.: Analysis of deformation of vertically loaded piles, *Jour. of the Geotech. Eng. Div., ASCE*, Vol. 104, No.GT12, pp.1465-1488, 1978.
- 4) Poulos,H.G.: Modified calculation of pile-group settlement interaction, *Jour. of the Geotech. Eng. Div., ASCE*, Vol.114, No.GT6, pp.697-706, 1988.
- 5) Hirayama,H.: Pile-group settlement interaction considering soil non-linearity, *Computer Method and Advances in Geomechanics, Beer, Booker & Carter (eds), Balkema*, pp.139-144, 1991. または、土と基礎, Vol.38, No.7, pp.51-56, 1990.
- 6) Hirayama,H.: Secant Young's modulus from N-value or α considering strain levels, *Pre-failure Deformation of Geomaterials, Shibuya, Mitachi & Miura (eds), Balkema*, pp.247-252, 1994. または、第23回土質工学研究発表会講演集,pp.1277-1280, 1988.