

753 埋込み節杭の荷重-沈下解析 (その2: 荷重伝達法解析に基づく修正定数算定式)

㈱ジオトップ 正会員 平山 英喜
 ㈱ジオトップ 正会員 ○ 金井 重夫
 ㈱ジオトップ 正会員 木原 律子

1. まえがき

本稿では、(その1)で対象とした載荷試験に対して、まず、統計解析で求めた回帰直線式でN値からインプット定数を求め、線形および非線形の荷重伝達法で荷重-沈下関係を解析し、実測値を比較して考察する。次に、定数算定式を修正し、それを用いて再解析し、修正式が安全側の上限に対応する実用的な式であることを示す。

2. 解析方法

解析対象は、(その1)の統計的解析のデータベースの基の載荷試験結果である。厚い腐植土層を含む地盤条件のものは対象外とし、17件の試験結果を対象とする。

荷重伝達関数は、(その1)の(1)(2)式で示した修正型の双曲線による非線形のもの、(3)(4)式による線形のものを用いる。

解析は、Kondner型双曲線の荷重伝達関数に対する1次元FEMプログラム¹⁾を、上記の両モデルも計算できるように改良したもので行う。

各インプット定数は、(その1)の表-2に示した回帰直線式に、要素および先端の平均N値を代入して決める。Rに関しては、平均約0.9で1/3のデータで生じている。しかし、このような高い値では、極限に近い状態でしか荷重-沈下関係に影響しない。ここでは、全要素の周面抵抗に対して一律0.95を与える。

表土層に関しては、N値が無かったりばらつきが大きい場合が多いので、実際には無視するのが安全側の仮定である。ここでの解析は、試験結果と比較して定数算定式の特徴を考察するのが目的なので、表土層が厚く、配置されたはずみ計からその層の定数の実測値が得られている7件については、実測値による値をそのままインプットとして用いる。

杭体のヤング率は、PHC杭の 4.0×10^5 [kgf/cm²]を基に、節部径の円の断面積に対する等価値としてφ500-400、φ440-300に対して、各々 1.6×10^5 [kgf/cm²]、 1.3×10^5 [kgf/cm²]を与える。

3. 解析結果とその考察

まず、荷重-沈下関係の実測と計算の比較例を図-1に示す。この例は、杭長・地盤抵抗・実測と計算の一致度が、全体の平均値に近いものである。

図-1において、杭頭沈下量1cmでの荷重から、杭頭ばね定数 K_v [tf/cm]として K_v (実測)、 K_v (計算:線形)、 K_v (計算:非線形)の値が求められる。全ケースに対する K_v (実測)と K_v (計算)の比較を、図-2(a)に示す。

また、図-1の例において、同一荷重での(実測沈下量、非線形計算沈下量)のデータが11個得られる。全ケースについて、両者を比較したものを図-3(a)に示す。なお、第1限界荷重(降伏荷重)での沈下量の範囲は1.02~2.22 [cm] (平均1.59 [cm])、その1/2の荷重での沈下量は0.31~0.75 [cm] (平均0.43 [cm])である。

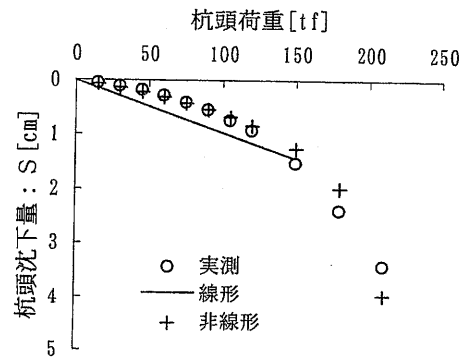
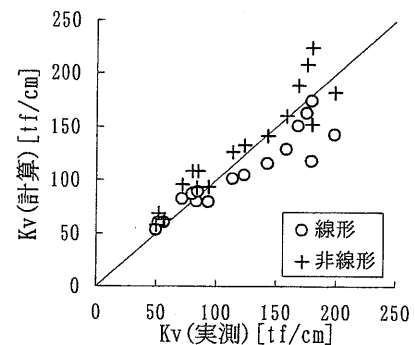
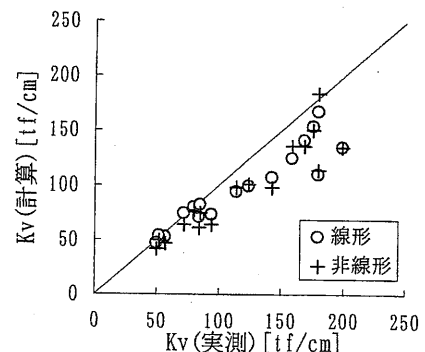


図-1 荷重-沈下関係の実測と計算の比較例



(a) 回帰式((その1)表-2)による計算



(b) 修正算定式(表-1)による計算

図-2 実測と計算の杭頭ばね定数の比較

¹⁾ "Load-settlement analysis of bored precast nodular piles (Part 2: modified parameters based on analysis with load-transfer methods)", H. Hirayama, S. Kanai & R. Kihara (GEOTOP Corp.)

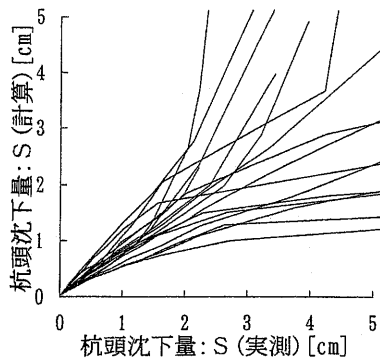
図-2 (a)から、 K_v の計算値は、ほぼ次の範囲に分布していることが分かる。

線形解析： $K_v(\text{計算}) = (0.9 \pm 0.2) K_v(\text{実測})$

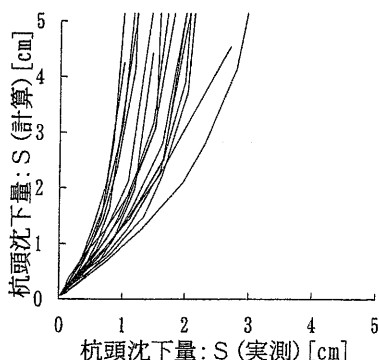
非線形解析： $K_v(\text{計算}) = (1.1 \pm 0.2) K_v(\text{実測})$

線形解析が平均的に 10%程度小さい K_v 値を与える要因として、 k 値が杭体の各点での沈下量が 1[cm]の時の値であることが挙げられる。線形解析において、杭頭沈下量 1.00[cm]の時の杭先端沈下量の範囲は、0.34~0.90[cm] (平均 0.69[cm])となっており、 K_v 値の大きいものほど小さい傾向がある。したがって、杭体の各点での沈下量から決められた k 値を用いて K_v 値を計算すると、安全側の値を与えることになる。一方、非線形解析では、杭体の各点での沈下量に対応する接線係数を用いるので、そのような問題は生じない。

非線形解析が平均的に 10%程度大きい K_v 値を与える原因を検討するために、回帰式の k と、回帰式の a 、 b から $1/(a+b)$ で計算した $k(a, b)$ の比を、 N 値の関数として比較してみた。その結果、非線形解析で用いる a 、 b から計算した $k(a, b)$ は、線形解析で用いる k より約10%大きいことが分かった。図-3 (a)において、沈下量の大きい部分で半数程度のデータが急勾配になって極限状態に近づいているので、 $1/b$ に関してはほぼ平均的な値になっていると考えられる。 $1/a$ のデータは、(その1)に示したように、ばらつきが最も大きい。周面抵抗では、 $+2\sigma$ を超えるデータが各2個見られる。先端抵抗では、切片がマイナスになっていることから、いくつかの値がかなり大きめの値になっていると考えられる。



(a) 回帰式 ((その1)表-2) による計算



(b) 修正算定式 (表-1) による計算

図-3 実測と非線形計算の同一荷重での沈下量の比較

以上のことから、 $1/a$ の回帰式が全体的な傾向よりもかなり大きい値を与えるものになっていることが、 $k(a, b) > k$ の要因として挙げられる。

4. 定数算定式の修正と再解析

回帰式による解析結果から、次のことが分かった。

- ① $K_v(\text{計算})/K_v(\text{実測})$ は、 $\pm 20\%$ 程度ばらつく。
- ② 線形解析の k は、杭体圧縮に起因して安全側である。
- ③ 非線形解析の定数、特に $1/a$ は、大きめである。

上記①を参考に、安全側の上限として、線形・非線形解析ともに、 $K_v(\text{計算}) = (0.8 \pm 0.2) K_v(\text{実測})$ 、となるように定数算定式を修正する。

k に関しては、上記②の理由により、(回帰直線 $-\sigma$)まで低下させずに、 $-\sigma/2$ 程度低下させる。また、砂質土と粘性土でほとんど同じなので、(その3)で説明する手計算での利便性を考慮して、両者を同じものとする。

$1/b$ に関しては、ばらつきの程度を考慮して、下限に近い(回帰直線 $-\sigma$)程度とする。 $1/a$ は、上記③の理由により、回帰直線にとらわれずに、全体的な分布の傾向をより良く表せる式とする。

以上の方針のもとで、線形解析と非線形解析の K_v の計算値が、平均的にほぼ同じなるように k と $k(a, b) = 1/(a+b)$ の関係を検討した。前章で述べたように、線形計算における杭先端沈下量が、杭先端沈下量の平均約70%であることを参考にして、 $k/k(a, b)$ の値を、先端抵抗では $1.0/0.7=1.4$ 、周面抵抗では $1.0/0.85=1.2$ 程度になるように、 k 、 $1/a$ 、 $1/b$ 間の関係を調整した。その結果、表-1にまとめた修正算定式を決めた。

表-1の修正算定式を用いて、再度、解析を行った。その結果を、回帰式による結果と対比して図-2 (b)、図-3 (b)に示す。

図-2 (b)は、ほぼ目標通りの結果が得られたことを示している。図-3 (b)から、非線形解析の計算沈下量は、すべてのケースの全沈下量において、実測沈下量とほぼ同じか大きくなっていることが分かる。

5. まとめ

荷重伝達法解析に基づいて回帰式を修正した表-1の算定式は、安全側のほぼ上限を与えるものである。

表-1 修正算定式

周面	$1/a_r$ [kgf/cm ³]	砂質土: 0.13N+0.35 粘性土: 0.20N+0.50
	$1/b_r$ [kgf/cm ²]	砂質土: 0.050N+0.40 粘性土: 0.045N+0.30
	k_r [kgf/cm ³]	0.045N+0.23
	R	0.95
先端	$1/a_b$ [kgf/cm ³]	1.7N
	$1/b_b$ [kgf/cm ²]	2.0N
	k_b [kgf/cm ³]	1.3N

参考文献

- 1) Hirayama, H.: Load-settlement analysis for bored piles using hyperbolic transfer functions, Soils and Foundations, Vol. 31, No. 1, pp. 55-64, 1990.