

推定精度を向上した杭の軸方向ばね定数の提案

(独)土木研究所 CAESAR 非会員 七澤 利明

三谷セキサン(株)(元 CAESAR 交流研究員) 非会員 北浦 光章

(独)土木研究所 CAESAR 正会員 西田 秀明, ○河野 哲也

1. はじめに 道路橋の杭基礎は、一般にフーチングに作用する外力に対し、杭軸方向ばねと杭軸直角方向ばねで支持された弾性床上の梁モデル又はラーメンモデルからなる構造物として設計されている。このうち、杭軸方向ばねについて、道路橋示方書下部構造編¹⁾(以下、道示と呼ぶ)では杭頭に設定するばね定数(以下、杭の軸方向ばね定数 K_v と呼ぶ)として杭施工法別に杭体の軸剛性ばねと根入れ比の関係に着目した推定式が示されている。本式は比較的簡易に K_v を評価できるものの、杭先端地盤等の影響が大きくなる場合には推定精度が低くなる傾向がある。そこで、杭先端地盤等の影響が相対的に大きい場合にも一定の推定精度を確保することを目的として、地盤の影響を直接的に考慮することができる K_v の推定式を提案した。

2. 軸方向ばね定数 K_v 式の提案 前述の道示における推定式は式(1)の通りである。

$$K_v = aE_p A_p / L \quad (1)$$

ここに、 K_v : 杭の軸方向バネ定数(kN/m), E_p : 杭のヤング係数(kN/mm²), A_p : 杭の純断面積(mm²), L : 杭長(m), a : 補正係数で杭施工法別に根入れ比との関数で与えられたものである。

式(1)における補正係数 a は、杭の鉛直載荷試験における杭頭荷重-杭頭沈下量から施工法ごとに評価した実測 K_v に合うように逆算されたものである。すなわち、杭先端地盤の影響は式(1)中に陽に示されていないものの、鉛直載荷試験に基づいて逆算された補正係数 a に含まれていると考えられる。ただし、杭先端地盤が K_v に与える影響は杭長や杭の軸剛性によって変化するために厳密に言えば補正係数 a は一律ではなく、条件によっては推定精度は低くなる。この課題を解決するため、中谷らは杭体と杭先端の寄与分を分離し、当該地盤の杭先端地盤の影響を考慮した K_v の評価式(式(2))を提案した²⁾³⁾。式(2)は、弾性係数及び断面積が深度方向に一定である長さの杭の杭頭に荷重が作用するとき生じる杭頭変位の理論式から求められたものである。

$$K_v = 1 / \left\{ \frac{L}{2E_p A_p} (1 + \gamma_y) + \xi \frac{4\gamma_y}{\pi D_p^2 k_v} \right\} \quad (2)$$

ここに、 D_p : 杭先端の径(m), k_v : 杭先端における鉛直方向地盤反力係数(kN/m³), ξ : 杭先端変位量算出のための補正係数, γ_y : 杭頭降伏時の先端伝達率であり、本式の分母の第1項が杭体変形、第2項が杭先端変位にそれぞれ該当する。ここで、杭頭降伏時の先端伝達率 γ_y とは、杭頭に作用する荷重とその荷重によって生じる杭頭変位の関係から降伏と判定される点(杭頭降伏時)において杭先端に作用している荷重 P_{py} と杭頭に作用している荷重 P_{oy} の比 (P_{py}/P_{oy}) のことであり、杭頭降伏時における先端支持力への依存度を示す指標である。 γ_y は杭の鉛直載荷試験を実施すれば求めることができるが、実務上全ての杭で載荷試験を実施することは困難であるため、中谷らは載荷試験を実施せずに支持力推定式から γ_y を求める方法として次式を提案している。

$$\gamma_y = X \left(R_{pd} / R_{ud} \right) + Y \quad (3)$$

ここに、 R_{pd} : 支持力推定式から求めた先端支持力(kN), R_{ud} : 支持力推定式から求めた極限支持力(kN), X, Y : 補正係数である。ここで、式(3)は、杭頭変位が杭径の10%に達した時の先端伝達率から得られた実測 γ_y と道示に示される支持力推定式を用いて得られる杭頭変位レベルが杭径の10%となるとき先端伝達率 γ_{10} との関係により求められた回帰式である。

しかし、この式では周面摩擦力が深度方向に一定に分布するという仮定が含まれており実測の推定精度に限界があること、また、条件によっては先端伝達率がマイナスとなるなど、回帰式としての問題を有していた。そこで筆者らは、式(2)を基本としつつ、新たに杭体変形に対する補正を行う式(4)を提案した。以降、式(4)を提案式と呼ぶ。

キーワード 道路橋基礎, 杭基礎, 軸方向ばね定数

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 独立行政法人土木研究所 TEL 029-879-6773

$$K_v = 1 / \left\{ \frac{L}{2E_p A_p} (1 + \gamma_y - \zeta) + \xi \frac{4\gamma_y}{\pi D_p^2 k_v} \right\} \quad (4)$$

ここに、 ζ : 杭体収縮量算出のための補正係数、 ξ : 杭先端変位量算出のための補正係数である。 ζ 及び ξ の補正係数は、杭体変形量及び杭先端変位量のそれぞれについて、杭の鉛直載荷試験から得られた杭頭荷重－杭頭変位関係より評価した実測値に対する推定値の比の幾何平均が1.0となるように求めた。また、式(2)と同様、杭頭降伏時の先端伝達率についても式中含まれているが、この推定式は式(3)における補正係数 γ を零とした回帰式から導出することとし、回帰式の傾きを補正係数 X とした。これらの補正係数を表-1に示す。

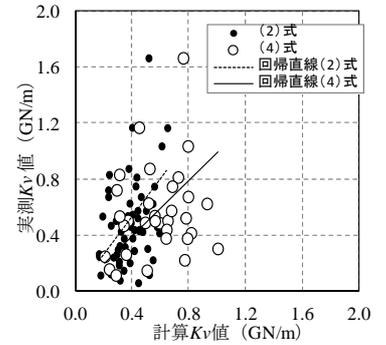
3. 実測値と推定値の比較検討 図-1は中掘り杭と場所打ち杭について、杭の載荷実験により得られた実測 K_v と式(2)および提案式(4)から求めた計算値を比較したものである。また、道示に記載されている7工法について、載荷実験から求められる K_v と式(2)、提案式による K_v の比(モデル誤差)に関するバイアスと変動係数を表-2に示す。図-1および表-2より、提案式により求めた場合は式(2)により求めた場合よりもバイアスが1に近づいており、杭体収縮量を実際と合わせて評価できることから、平均的な値を推定できるようになったことが分かる。また、変動係数を見てみると、データ数が少なく評価の信頼性が相対的に低いパイロハンマ工法を除けば、提案式は式(2)よりもやや小さくなっている。以上から、杭体収縮量の影響を考慮したことにより、推定精度が向上したものと考えられる。なお、場所打ち杭については杭体収縮量の影響を考慮したことによりバイアスは大きく改善されたものの、変動係数はほとんど変化がない。また、提案式を用いた場合にもバイアスは1.14、変動係数は0.60であり、他工法に比べると推定精度は低い。これは場所打ち杭については、杭先端地盤や周辺地盤の地盤抵抗のばらつきが大きく、杭先端の沈下量や杭体収縮量を精度よく評価することが難しいことを示している。場所打ち杭については、今後、地盤抵抗が確実に発揮されるような施工管理方法の開発、その施工管理を行った杭の変形性能を評価するための載荷試験結果の蓄積、さらに載荷試験結果の分析に基づく地盤抵抗の評価が期待される。

これは場所打ち杭については、杭先端地盤や周辺地盤の地盤抵抗のばらつきが大きく、杭先端の沈下量や杭体収縮量を精度よく評価することが難しいことを示している。場所打ち杭については、今後、地盤抵抗が確実に発揮されるような施工管理方法の開発、その施工管理を行った杭の変形性能を評価するための載荷試験結果の蓄積、さらに載荷試験結果の分析に基づく地盤抵抗の評価が期待される。

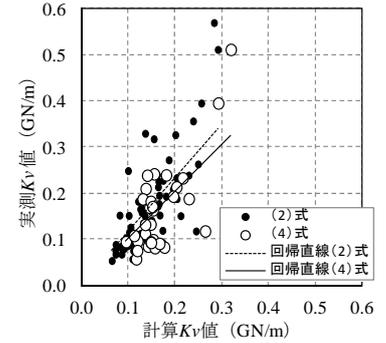
これは場所打ち杭については、杭先端地盤や周辺地盤の地盤抵抗のばらつきが大きく、杭先端の沈下量や杭体収縮量を精度よく評価することが難しいことを示している。場所打ち杭については、今後、地盤抵抗が確実に発揮されるような施工管理方法の開発、その施工管理を行った杭の変形性能を評価するための載荷試験結果の蓄積、さらに載荷試験結果の分析に基づく地盤抵抗の評価が期待される。

4. おわりに 道路橋杭基礎の設計に用いる

軸方向ばね定数 K_v について、杭体変形と杭先端変位を考慮した推定式を提案するとともに、式(2)に比べて推定精度が向上することを検証した。**参考文献** 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編，2012.3. 2) 中谷昌一，白戸真大，河野哲也，井落久貴，野村朋之：性能規定体系における杭の安定照査に関する研究，土木研究所資料，第4036号，2007.1. 3) 中谷昌一，白戸真大，横幕清：杭の軸方向の変形特性に関する研究，土木研究所資料第4139号，2009.3.



(1)場所打ち杭工法



(2)中掘り杭工法

図-1 実測と推定 K_v の比較 (中掘り杭工法)

表-1 補正係数 X 、 ζ 及び ξ

杭工法	X	ζ	ξ	
			砂質土 れき	粘性土
打込み杭 (打撃工法)	0.89	0.08	0.22	0.42
打込み杭 (パイロハンマ工法)	0.98	0.23	0.46	
場所打ち杭工法	0.62	0.19	0.63	0.47
中掘り杭工法	0.76	0.09	0.30	
鋼管ソイルセメント杭工法	0.72	0.38	0.31	
回転杭工法	0.78	0.28	0.40	
プレボーリング杭工法	0.69	0.02	0.20	

表-2 杭の軸方向ばね定数 K_v のモデル誤差に関する統計量の比較

杭工法	式(2)			式(4)		
	λ	COV	n数	λ	COV	n数
打込み杭 (打撃工法)	1.29	0.39	90	0.99	0.37	29
打込み杭 (パイロハンマ工法)	1.11	0.14	4	0.97	0.33	4
場所打ち杭工法	1.40	0.64	59	1.14	0.60	33
中掘り杭工法	1.12	0.36	87	0.97	0.37	33
鋼管ソイルセメント杭工法	1.12	0.27	24	1.00	0.26	12
回転杭工法	1.38	0.38	20	1.03	0.34	20
プレボーリング杭工法	0.78	0.29	39	0.98	0.30	13

* λ : バイアス COV: 変動係数 n数: データ数