

場所打ち RC 杭の沈下量予測に関する検討

(株) 複合技術研究所 正会員 ○鈴木 聡 正会員 矢崎 澄雄
(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 神田 政幸 正会員 千葉 佳敬

1. はじめに

現在、鉄道の基礎構造物の設計基準である「鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物¹⁾」(以下、現行標準と略称する)の改定作業が進められている。改定のポイントの1つに境界状態設計法から性能照査型設計法への移行が挙げられる。したがって、対象とする構造物の要求性能(安全性、使用性、復旧性)に対して、性能照査項目および照査指標を設けて、照査指標の制限値に対して応答値が満足するか否かを確認すること(照査)により設計を行うことになる。杭基礎の設計においては変位量を照査指標とすることがイメージしやすく合理的であると考えられるが、予測可能な沈下量算定モデルの構築、地盤情報(ばらつきも含め)の代表値の決定方法、制限値の決定などブレイクスルーすべき課題が多く存在する。本論文では場所打ち RC 杭の鉛直載荷試験の収集および解析モデルの構築、概算沈下量算定方法に関する検討について報告する。

2. 実施した検討概要

本検討では、現行標準に示される杭の解析モデルおよび地盤反力特性(地盤反力係数、支持力度)の妥当性の検証を、過去に実施された場所打ち RC 杭の鉛直載荷試験データを用いて行った。

具体的には、載荷試験結果から算定した地盤反力特性(地盤反力係数、支持力度)と現行標準に準拠して算定した地盤反力特性を用いて、載荷試験のシミュレーションを現行標準に示される解析モデルで行い、その結果を実測変位量と比較することにより、現行標準の解析モデルおよび地盤反力特性の算定法の妥当性を検証したものである。さらに、杭先端から地盤表面までを中間層と定義して、杭径 D 、中間層の厚さ、地盤条件(平均 N 値)から簡易に杭頭沈下量の予測が可能なノモグラムを作成した。ここで、今回収集した場所打ち RC 杭の鉛直載荷試験結果データは 21 件であり、これらの中から比較的荷重による沈下量が大きく、支持力度特性が明確と判断された表 1 の 10 ケースを用いて解析モデルの検証を行っている。

3. 鉛直載荷試験結果のシミュレーション解析

現行標準に示される杭の解析モデルの概要を図 1 に示す。現行標準では、杭を節点・要素からなる骨組みモデル、地盤反力特性をバイリニアモデルによる節点ばねとして設計を行っている。本検討では、収集した載荷試験データから、地盤ばねを算定した値を図 1 の解析モデルによりシミュレートした。この際、場所打ち RC 杭の諸元についても実際の杭からコア採取して強度試験を行った結果を用いた。

図 2 に解析結果の例を示す。同図には、現行標準により算定した地盤ばねを用いた解析結果についても併記している。載荷試験結果による地盤ばねは、着目点での変位が 10mm 時の地盤反力係数としており、先端支持力度は 0.1D 変位時の杭先端伝達荷重により算定している。したがって、シミュレーションの結果は、概ね変位量 10mm 程度で試験値と交差しており、0.1D 変位時の荷重も概ね一致する結果となっている。

表 1 検討ケース

No	杭径 (m)	杭長 (m)	最大沈下量 (mm)	最大荷重 (kN)	中間層平均 N 値
CASE1	1.20	16.50	120	12300	24.5
CASE9	1.20	39.20	110	12000	11.7
CASE11	1.20	39.00	160	11000	14.9
CASE15	1.20	16.50	26	4800	17.5
CASE16	1.00	19.00	57	6500	23.7
CASE17	1.20	34.43	85	8100	17.0
CASE19	0.80	10.90	85	3500	31.3
CASE20	1.09	7.00	63	10000	28.5
CASE23	1.50	40.00	160	21000	9.3
CASE24	1.27	28.15	138	12000	23.1

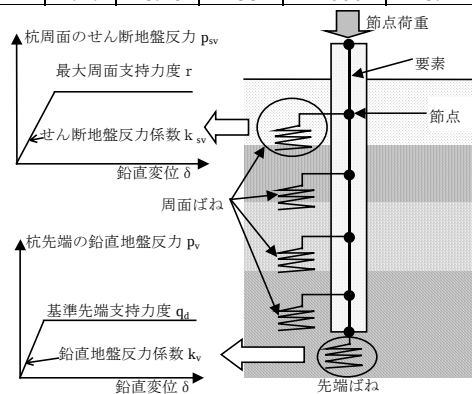


図 1 解析モデル概要

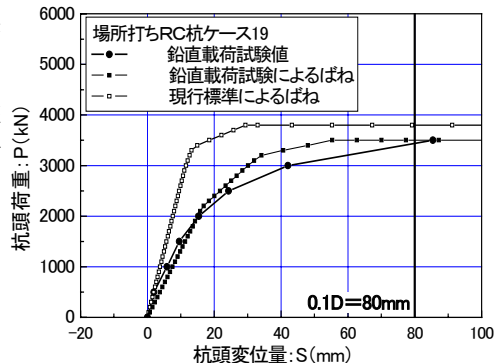


図 2 case19 の解析結果

キーワード：設計基準、性能照査型設計、杭基礎、場所打ち RC 杭

連絡先：〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 4-6-9 ロックフィールドビル 6F Tel 03-5276-5276 Fax 03-5276-5309

図3に、全10ケースの解析結果を沈下量レベル毎の予測精度として整理した結果を示す。

同図は、载荷試験の杭頭沈下量 δ が10mm時の杭頭荷重に対する解析値の杭頭沈下量 δ_{T10} を用いて、評価値 $\Delta = (\delta_{T10} - \delta) / \delta$ と定義したもので、評価値 Δ がマイナスであれば、実際より小さな値を予測し、プラスであれば大きな値を予測することになる。また、図3は評価値 Δ と杭の支持力 Q （杭先端の基準先端支持力 Q_p +最大周面支持力 Q_f ）に対する杭先端支持力の Q_p の比 Q_p/Q の関係を表している。 Q_p/Q は杭長が短いほど1.0に近づき、また長い杭や摩擦杭はゼロに近づくことになる。このような整理を $\delta=5, 10, 20, 40$ mmおよび10%Dについてそれぞれ行った。その結果得られた平均値の比較を図4に示す。これより、载荷試験データによるばねを用いた場合には、杭頭沈下量が40mm程度未満では解析値が試験値よりも大きな沈下量となるのに対し、

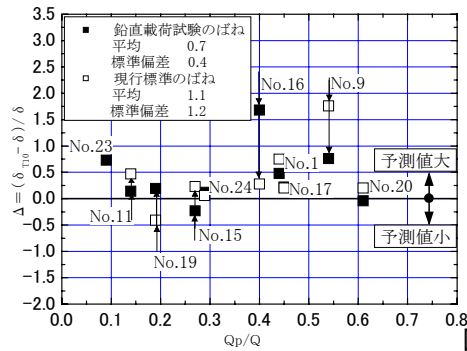


図3 Δ - Q_p/Q の関係 ($\delta=10$ mm)

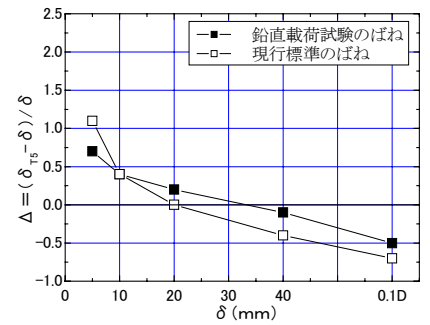


図4 ばねごとの Δ の平均値の比較

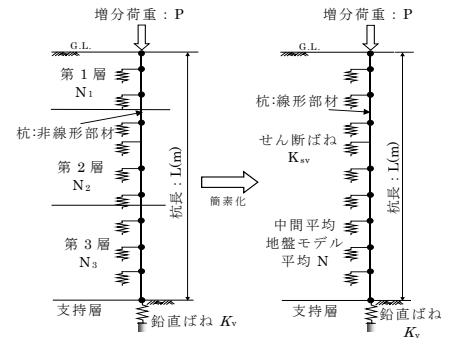


図5 ノモグラム作成用解析モデル図

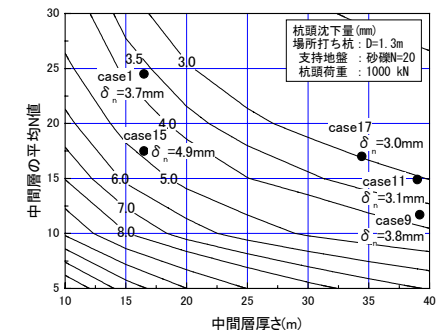


図6 ノモグラム(杭頭荷重 1000 kN)

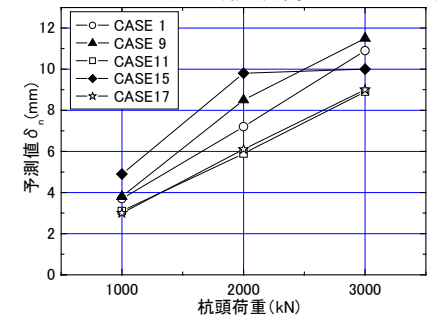


図7 ノモグラム予測値

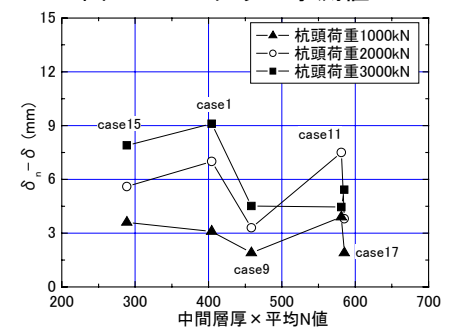


図8 実測沈下量と予測沈下量の比較

これらのことから、現行のバイリニアによる地盤ばねモデルでは、現行標準によった場合には20mm程度までは比較的現実的で安全側の結果を与えるが、20mm以上では予測精度は劣り、更に危険側となるものと予測される。

4. 杭の沈下量予測ノモグラム

現行標準によった場合、杭頭沈下量20mm程度までは予測値として妥当と判断されたことから、簡易に杭頭沈下量を予測できるノモグラムを作成した。

図5にノモグラムの作成に用いた解析モデルの概要を示す。

解析モデルは互層地盤を中間層平均地盤モデルとしたもので、中間層の厚さ、平均 N 値および杭径 D をパラメーターとして解析を行った。

図6に作成したノモグラムの例として $D=1.3$ mの杭頭荷重1000kNのケースを示す。同図中には表1に示したケースのうち $D=1.2$ mのケースについてプロットしている。また同様に杭頭荷重2000, 3000kNのノモグラムについてもプロットを行った。その結果得られた荷重ごとの予測値 δ_n を図7に示す。

図8には、ノモグラムにより求めた予測値 δ_n と実測による沈下量 δ との比較を示す。ここで縦軸は δ_n と δ との差とし、横軸は表1の中間層厚と平均 N 値を乗じた値とした。同図から全てのケースで $1 < \delta_n - \delta < 10$ となっており、ノモグラムによる予測値が安全側で、比較的妥当な範囲にあると判断できる。

5. おわりに

以上の検討結果から、杭頭沈下量20mm以下については、現行基礎標準による地盤反力特性および解析モデルが妥当であることが確認された。ただし、杭頭沈下量20mm以上については、より精緻な予測を行う場合には、地盤ばねを非線形モデルとする必要があると考えられる。

現在、場所打ち杭以外の杭種についても同様の検討を行っており、また、地盤ばねの非線形モデルに対しても今後検討を行う予定である。これらの結果を設計標準に反映させて、合理的な性能照査型設計法を提案したい。

<参考文献>

- 1) (財)鉄道総合技術研究所編, 鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎・抗土圧構造物), 平成12年6月