

実杭の水平載荷試験から得られた水平地盤反力係数の非線形特性

鉄道総合技術研究所 正会員 ○笠原 康平 佐名川太亮 西岡 英俊
 新潟大学 正会員 大竹 雄 大木 拓馬

1. はじめに

鉄道構造物における杭基礎の水平荷重に対する設計では、一般的に多質点梁ばね解析モデルを構造解析モデルとして用いられる。この構造解析モデルにおいて基礎と地盤間の相互作用を地盤ばねとしてモデル化するが、地盤や杭の諸元だけでなく杭の施工法も影響するため、その挙動は非常に複雑である。一方で、鉄道構造物の設計においては、基礎の変形量を直接的に照査する体系となったため¹⁾、杭の水平抵抗特性の評価がますます重要となった。特に非線形特性の評価は重要であるが、一般的にはバイリニアモデルが用いられ、地盤反力係数については載荷試験からの推定式であるものの上限値については Broms の式を準用しており¹⁾、載荷試験結果を直接的に反映したものではない。そこで本論文では、実杭の水平載荷試験データを分析し、その非線形特性を評価するとともに、表現可能な非線形評価モデルについて検討を行う。

2. 実杭の水平載荷試験データ

本論文で分析の対象とする載荷試験は、文献 2) の中で示されている実杭の水平載荷試験の中から以下の条件に該当するものとした。

- 1) 半無限長の杭としてとらえることができ、杭径が一定であり、かつ杭頭条件が自由なもの
- 2) 地表面から載荷点までの高さが杭径以下のもの
- 3) 杭頭変位で杭径の 5%まで載荷されているもの

3. 実杭の水平載荷試験データの整理

杭の水平抵抗は比較的地表面付近の地盤反力が支配的となり、一般的には地表面から $1/\beta$ の範囲が主な抵抗範囲と言われている。Terzaghi は第一不動点までの深さの $1/3$ の点での地盤反力係数を用いた弾性床上の梁の解を用いることで、杭全体の水平抵抗挙動を精度よく表現できることを示している。前報では、Chang の検討方法³⁾を参考とし、第 1 不動点の $1/3$ の深さを基準点として地盤反力度～変位関係の非線形特性を評価・モデル化し多質点系梁ばね解析モデルに組込むことで、単杭模型の挙動を精度よく表現できることを示した。そこで本論文でも、弾性解を用いて第 1 不動点の高さ、ならびに基準点における変位量を算出し、Chang の式により逆算された水平地盤反力度との関係を整理した。

結果を図 1 に示す。なお、地盤反力度ならびに変位量については杭径の 1%変位時の値で正規化している。また、地表面から $1/\beta$ の区間が主に砂質土主体と粘性土主体の場合に区別して記載した。

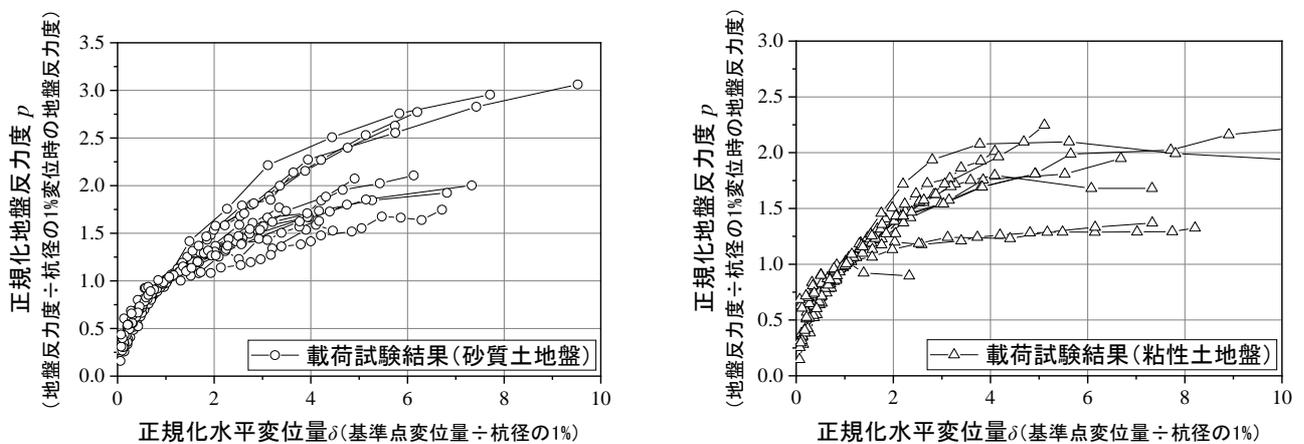


図 1 水平載荷試験から算出された地盤反力度～基準点変位関係

キーワード 杭基礎, 水平抵抗, 変位レベル依存性

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

砂質土主体の場合には変位が増加するに従って地盤反力度も増加するのに対し、粘性土主体の場合には地盤反力度が頭打ちになる傾向が示された。

4. モデル化の検討

前章で示された杭の水平地盤反力と変位の非線形特性に対し、表現に適した非線形モデルを検討した。ここでは Weibull モデルと R0 モデルの2つを選定した。この2つの評価モデルは3つの独立パラメータを有しており、微小な変位から大変位領域まで非線形特性を表現できるのが特徴である。この2つの非線形モデルを対象に載荷試験ケース毎にモデルパラメータの最尤推定値を求めた。そして、試験ケースを地盤種別(砂質土地盤/粘性土地盤)で大別し、それぞれの平均値を算定することにより標準値を得た。なお、最尤推定にあたっては、無情報事前分布に基づく粒子フィルター⁴⁾を用いた。

図2に標準パラメータを用いた Weibull モデルならびに R0 モデルと試験結果とを比較した結果を示す。Weibull モデルでは砂質土・粘性土両方の挙動を表現することができるが、粘性土での挙動を R0 モデルでフィッティングした場合には、乖離が大きくなっている。これは、R0 モデルは指数関数モデルをベースとしており、変位の増加に伴って地盤反力度が増加し続ける評価式となっているためである。

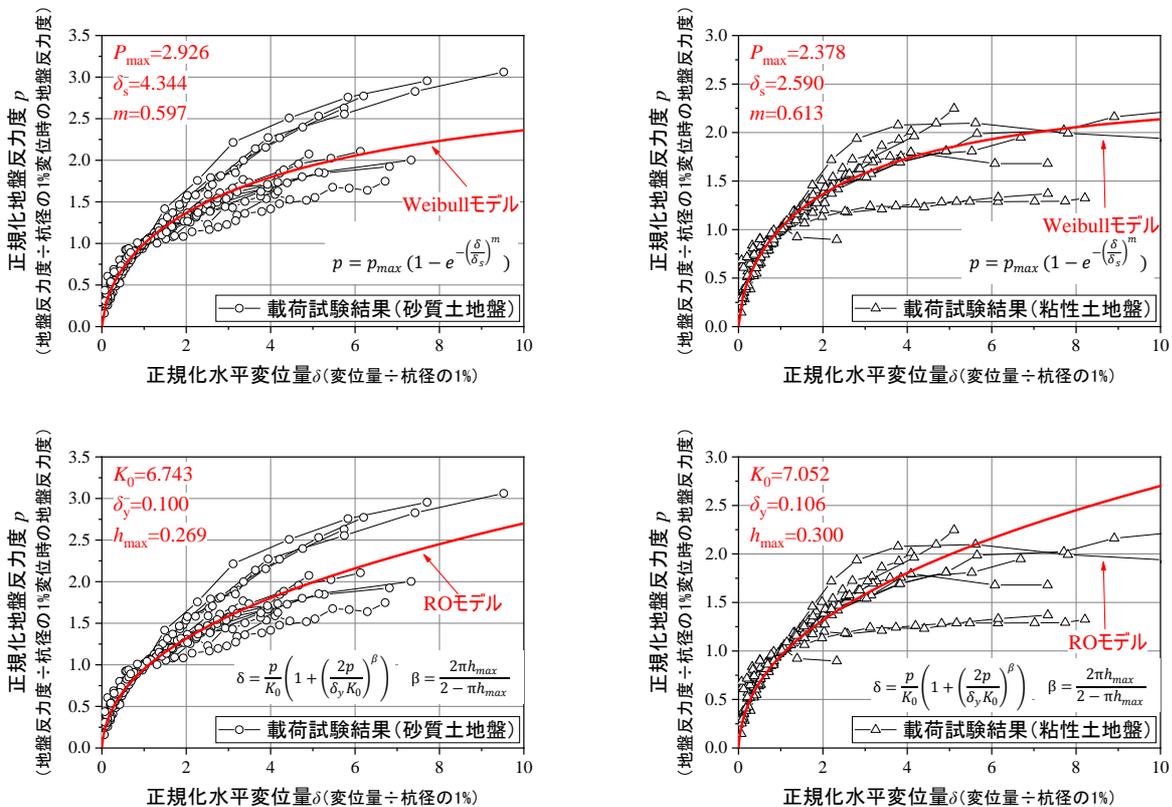


図2 標準パラメータを用いた Weibull モデルならびに R0 モデル

5. まとめ

本研究では、実杭の載荷試験データを基に杭の水平地盤反力度～変位関係の非線形特性について分析し、Weibull モデルならびに R0 モデルを対象として標準パラメータを推定した。今後は、骨格曲線だけでなく繰返し載荷における履歴曲線での比較を行う予定である。また、前報のように、多質点系梁ばね解析モデルを用いた逆解析を行い、杭全体の水平抵抗特性の再現性についても検証を行う予定である。

参考文献: 1) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物, 2012. 2) 岡原美知夫, 高木章次, 中谷昌一, 田口敬二, 坂本昭夫: 載荷試験データによる杭の水平抵抗特性に関する調査, 土木研究所資料第 2721 号, 1989. 3) Chang, Y.L.: Discussion on “Lateral pile loading tests” by Feagin, Transaction, ASCE, Vol.102, pp.272-278. 4) 土木学会構造工学委員会: 既設構造物を対象とした安全性評価小委員会報告書, 2017.