杭の慣性力設計と応答変位法に用いる水平地盤反力係数に関する一考察

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 〇青木一二三,米澤 豊司,清田三四郎 鉄道総合技術研究所 正会員 西岡 英俊,西村 昌宏,神田 政幸

1. はじめに

筆者らは,耐震設計での杭体設計の合理化を目的とし,特に応答変位法での段落しの設計手法について検討を行っている.本稿では,模型鋼管杭に水平力(慣性力に相当)とせん断土槽による地盤変位のそれぞれを作用させた 模型載荷実験¹⁾を対象として,静的非線形解析によるシミュレーションを行い,特に杭の水平地盤反力係数に着目 した考察を行う.

2. 静的非線形解析の解析モデルと解析条件

解析モデルの概要を図1に示す. 杭体(杭径 D=216mm) を骨組みモデルとし,水平地盤抵抗をバイリニア型の地盤ば ねでモデル化する. 地盤ばねの初期剛性となる水平地盤反力 係数 k_h は,別途実施した直径 300mmの深度別の水平平板載 荷試験²⁾での k_{h30} 値(図2)に基づき,載荷幅の補正も考慮 して深度 z(m)に応じて以下のように設定した. なお,相 対密度 90%となる支持層については,模型地盤作成時に実施 した小型 FWD での比較から,表層($D_r=60\%$)の3倍となる ように設定した. なお,深度 z=0.5mにおける k_h に対する, 杭の特性値を求めると, $\beta=0.67$ (1/m)となる.

 $k_{\rm h30}(z) = 10.0 \times e^{0.5z}$ (MN/m³) (1)

$$k_{\rm h} = (D / 0.3)^{-1/2} \times k_{\rm h30} = 1.18 k_{\rm h30}$$
 (MN/m³) (2)

一方,地盤ばねの上限値となる有効抵抗土圧力度 p_eは,鉄 道耐震標準³⁾に準じて以下の式で設定した.

 $p_{e}(z) = \alpha \gamma z K_{p} = \alpha \gamma z \tan^{2}(45 + \phi/2)$ (kN/m²) (3) ここで, D: 杭径 (m), α : 杭の形状係数 (α =3), γ : 土 の単位体積重量 (kN/m³), K_{p} : 受働土圧係数, ϕ : 深さ z で の内部摩擦角 (度) であり, 具体的な値を**表1**に示す.

作用のモデル化については、慣性力載荷時は杭頭部に水平 力を作用させ、地盤変位載荷時は設計実務での応答変位法と 同様に地盤ばねを介して(地盤ばねの非線形化を考慮しなが ら)杭体に作用させた.

水平地盤反力係数に着目する本検討では、上述の地盤ばね を用いる基本ケースを解析ケースAとし、パラメータースタ ディの一つとして地盤反力係数を1/3に低減させた場合を解 析ケースBとして、両者で模型実験のシミュレーションを行 ない、その結果を比較する.この解析ケースBは、載荷面積 が広くなって寸法効果(載荷幅依存性)により、見かけ上の 地盤反力係数が低下した状態を模擬したものである.





図2 水平地盤反力係数 k₃₀ の深度分布

表1 地盤条件

	表層	支持層
相対密度 <i>D</i> ,	60%	90%
単位体積重量 γ	15.2kN/m ³	16.2kN/m³
内部摩擦角φ	39 度	42 度

キーワード 杭,応答変位法,地盤反力係数,静的非線形解析

連絡先 〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部 設計技術部 TEL:045-222-9082

3. 慣性力載荷時のシミュレーション

慣性力載荷時の載荷点における荷重~変位関係を図3に,杭 体の曲げモーメント分布を図4に示す.ここに,図中に示す CASE1,2や変位の値は,模型載荷実験¹⁾におけるものであり, 後に示す図5についても同様である.解析ケースAが杭頭での 荷重~変位関係,曲げモーメント分布ともに実験結果をよく表 現できていることがわかる.一方,地盤反力係数を1/3に低減 した解析ケースBは,荷重~変位関係では同一荷重に対して変 形を過大評価しており安全側の評価となっているが,杭体の曲 げモーメントは過小評価で危険側の評価となっている.

4. 地盤変位載荷時のシミュレーション

地盤変位載荷時の杭体の曲げモーメント分布を図5に示す. 慣性力載荷時とは逆に,解析ケースBは実験結果をよく表現できているが,解析ケースAでは曲げモーメントを過大評価しており安全側となるものの不経済的となる可能性がある.また,図6に示すように,杭体の変位分布は両者。 でほとんど差がないが曲げモーメントの違いは大きい.

5. おわりに

本検討により,慣性力載荷を表現できる水平地盤反力係 数に比べて,地盤変位載荷を表現できる水平地盤反力係数 が低い値になっていることが確認できた.これは杭が大き くたわむ慣性力載荷時に比べて,地盤変位載荷時の方が杭 体の広い範囲で地盤抵抗を受けることによる載荷幅依存 性の影響と考えられる.ただし,本検討では杭体線形の条 件を対象としており,杭体の非線形性も考慮するとより複 雑な挙動となることが想定される.



図3 慣性力載荷時の荷重と変位の関係



(a) 載荷点変位 10mm 時

(b) 載荷点変位 40mm 時

図4 慣性力載荷時の曲げモーメント分布



参考文献

1) 清田,米澤,青木,西岡,坂本,神田,飯島:模型鋼管杭を用いた静的載荷実験による水平地盤反力特性の比較,土木学会第64回年次講演会,2009.9 (投稿中) 2) 鈴木,太田,神田,西岡,近藤:深さの異なる水平地盤反力係数に着目した模型土槽内水平平板載荷実験,土木学会第64回年次講演 会,2009.9(投稿中) 3)鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, pp.275, 1999.