

地盤変位を受ける RC 杭段落し部の損傷に関する研究 ―静的非線形解析―

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 ○森野 達也, 米澤 豊司, 青木一二三
 鉄道総合技術研究所 正会員 西村 昌宏, 西岡 英俊, 佐名川 太亮

1. はじめに

著者らは、耐震設計における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、前稿¹⁾で示した主鉄筋の段落しの有無をパラメーターとした模型 RC 杭（杭長 3m）を対象として、通常の設計で用いられる静的非線形解析と応答変位法の組合せによる解析を行い、載荷試験結果（荷重変位関係および杭体の損傷程度）との比較を行う。なお、実験ケース名や載荷条件は参考文献 1) を参照されたい。

2. 静的非線形解析によるシミュレーション

解析モデルの概要を図 1 に示す。杭体（杭径 $D=146\text{mm}$ ）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} 値に基づき、載荷幅の補正も考慮して深度 $z(\text{m})$ に応じて設定した。なお、相対密度 90% となる支持層については、同一地盤条件下で実施した小型 FWD の実績から表層 ($D_r=60\%$) の 3 倍となるように設定した³⁾。地盤ばねの上限値となる有効抵抗土圧 p_e は、鉄道耐震標準⁴⁾に準じて設定した。解析に用いた諸数値を表 1 に示す。段落しの位置は、現行では段落しが不可能な $\beta z < 3$ (Y 点剛性で $\beta z=2.56$ 相当) となる浅い位置に設定した。RC 杭の非線形特性については、段落し無し (D4-16 本) と段落し有り (D4-8 本 (GL-1.5m 以深)) と同一配筋の RC 杭の曲げ試験を実施し、図 2 に示すテトラニア型の M- ϕ 関係でモデル化した。段落し有りのケースでは、カットオフ点より下部の部材に図 2 で設定した M- ϕ 関係を適用した。

3. 荷重変位関係の比較

図 3 に実測値の荷重変位関係と解析結果を示す。解析では、地盤の繰返し載荷に伴う残留変位分を考慮することができないことから、模型実験で得られた荷重変位関係に対して、残留変位分を修正した荷重変位関係で解析結果を比較した。また、解析方法については、模型実験で示した載荷サイクル毎に計測した地盤変位と杭頭水平力の実測値を用い、サイクル毎に静的非線形解析と応答変位法の組合せにより解析を行い、載荷点水平変位をそれぞれプロットした。図 3 より、実測結果を再現できたことから、既往の設計手法の妥当性を確認することができた。ただし、解析上では、段落しの有無による有意な差は認められなかった。

4. 杭体の曲げモーメントおよび曲率分布と試験後のひび割れ観察結果との比較

図 4, 5 に鉄筋のひずみ測定値より算出した杭体のモーメント(最大荷重時)とひび割れ分布図、解析によるモーメント

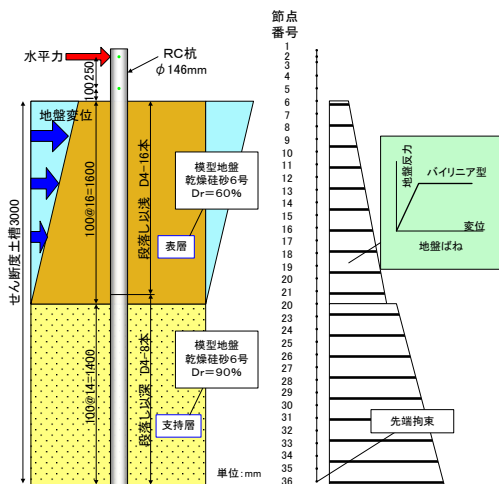


図 1 解析モデルの概要

表 1 地盤条件

	表層	支持層
地盤材料	乾燥砂6号 $D_r=60\%$	乾燥砂6号 $D_r=90\%$
層厚	1.6m	1.4m
単位体積重量 γ	15.2 kN/m ³	16.2 kN/m ³
内部摩擦角 ϕ	39 度	42 度
深度 $z(\text{m})$ での 地盤反力係数 k_h	$k_{h0}=11.8e^{0.5Z}$ (MPa)	$k_{h0}=35.4e^{0.5Z}$ (MPa)

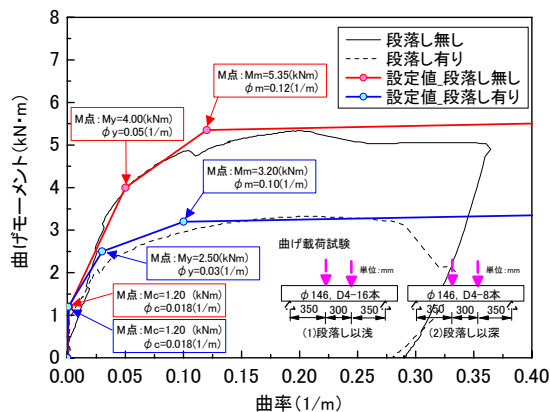


図 2 曲げ試験シミュレーション結果

メント図を並べて示す。モーメントおよび曲率分布が GL - 0.6m 付近と GL - 1.6m 付近の 2 箇所にピークを示す傾向は、模型実験結果のクラック開口幅とよく一致している。なお、本検討ではモーメント分布範囲が杭全長に及んでおり、著者らが実施した模型実験結果⁵⁾より広い範囲にモーメントが発生するケースについても、本設計手法で評価可能であることを確認した。段落し有りのケースについては、段落し部の損傷に伴い、モーメントが低減する傾向も実験結果と一致している。また、段落し有りのケースにおける杭体の損傷程度は、段落し無しのケースと比較して、段落し位置(カットオフ点)直上区間の損傷が軽減され、層境 (GL - 1.6m)での損傷が大きい。

ただし、段落とし部近傍での局所的な破壊は生じておらず、実験後のクラック発生状況からすると圧縮側コンクリートの圧壊までには至っていないことから、Y 点から M 点の中間程度まで荷重できたものと考えられる。

5. おわりに

本検討により、段落としの有無によらず、荷重変位関係や損傷程度に有意な差は無く、常の設計で用いられる静的非線形解析と応答変位法の組合せにより、試験結果(荷重変位関係および杭体の損傷程度)が評価可能であることが確認できた。これらのことから、既往の設計手法を用いても、段落とし位置近傍での損傷を許容した設計が可能であることを確認した。ただし、本実験ではコンクリートの圧壊に至るまでの損傷レ

ベルには至っていないことから、上記の知見は概ね M 点までの範囲で成立するものと考えられる。よって、具体的な設計を行う上では、段落とし部近傍での損傷レベルは M 点以内であることは照査することが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 佐名川, 地盤変位を受ける RC 杭段落し部の損傷に関する研究 — 模型実験 —, 土木学会第 65 回年次講演会, 2010.9 (投稿中)
- 2) 鈴木, 大田, 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水平平板載荷試験, 土木学会 64 回年次講演会, 2009.9
- 3) 青木, 米澤, 清田, 西岡, 西村, 神田: 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, 土木学会 64 回年次講演会, 2009.9
- 4) 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.
- 5) 米澤, 清田, 青木, 西岡, 西村, 川西: 地盤変位による RC 杭段落し部の損傷に関する検討, 土木学会 64 回年次講演会, 2009.9

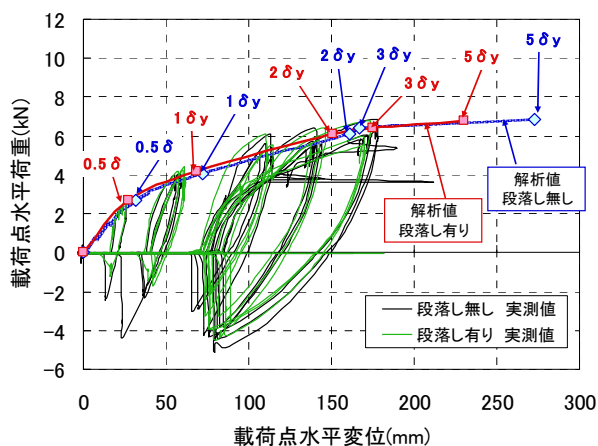


図3 荷重変位関係

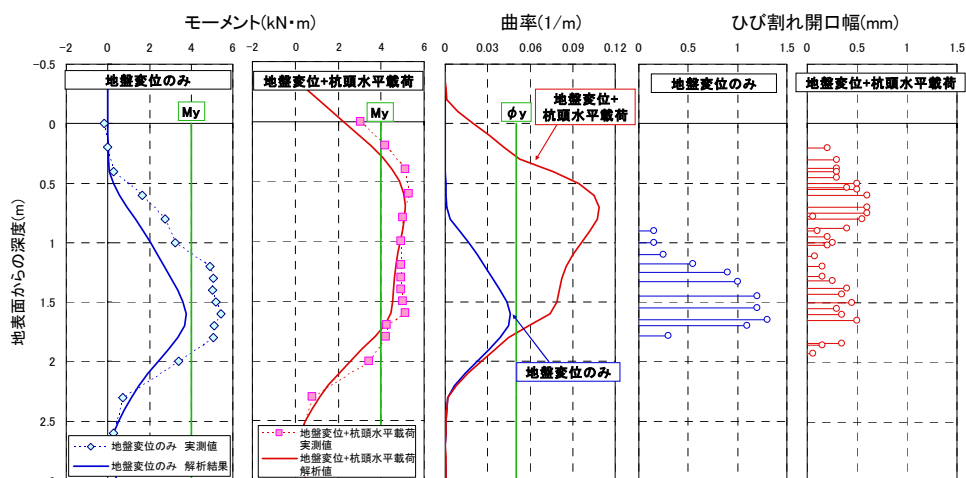


図4 曲げモーメント分布・曲率分布・ひび割れ幅(段落し無し)

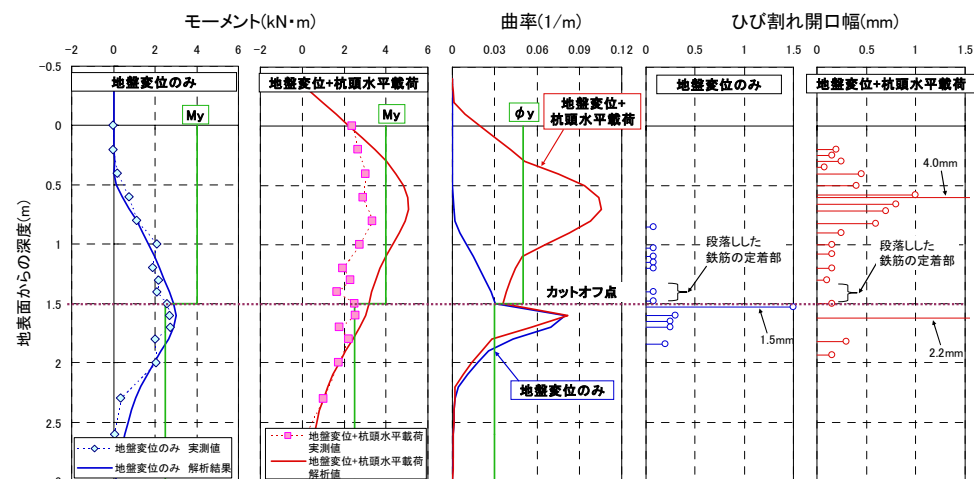


図5 曲げモーメント分布・曲率分布・ひび割れ幅(段落し有り)