

地盤変位によるRC杭段落し部の損傷に関する検討 —その2 静的非線形解析—

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

1. はじめに

筆者らは、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、「その1」<sup>1)</sup>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)に対する静的模型載荷実験に対して静的非線形解析を行い、模型実験後の杭体のひび割れ観察結果との比較を行う。なお、実験ケース名や載荷条件は「その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

解析モデルは、鋼管杭に対するシミュレーション<sup>2)</sup>と基本的に同様の水平地盤抵抗をバイリニア型の地盤ばねでモデル化した骨組み解析モデルであり、模型実験での地盤条件に合わせて表1の値に変更している。

RC杭の非線形特性は、段落し無しのケース(Case-3)と同一配筋のRC杭(φ202mm, D6-16本)の曲げ試験を再現できるようにテトラリニア型のM-φ関係でモデル化した(図1)。段落し有りのケース(Case-4)は、鉄筋のカットオフ点(GL-2.0m)より下部の抵抗モーメントを半減させてモデル化した。

3. 地盤変位載荷のシミュレーション

地盤変位載荷終了時の杭体の曲げモーメントと変位分布を図2に示す。定性的には、深い位置でモーメントが大きくなるとともに、段落し有り(Case-4)方がモーメントが小さくなる傾向が解析上も表現できている。地盤変位と杭体の変位分布を比較すると、段落しの有無によらず、地盤変位の急変点である支持層上面付近の杭体の損傷によって地盤変位に追随するように杭体に変形していることがわかる。

なお、杭体の塑性化を生じない鋼管杭に対する同様の検討では、地盤反力係数 $k_h$ を1/3に低減した方が地盤変位載荷時の断面力を精度良く評価できている<sup>2)</sup>。本事例についても同様に $k_h$ を1/3に低減した結果を図2中に点線で示したが、低減前と大きな差は見られなかった。これはRC部材の塑性化により、地盤反力係数の影響を受けにくくなったものと考えられる。

表1 解析に用いた地盤条件

	表層	支持層
地盤材料	乾燥珪砂6号 $D_r=60\%$	粒調砕石M40 D値90%
層厚	2.4m	0.6m
単位体積重量 $\gamma$	15.2kN/m <sup>3</sup>	20.0kN/m <sup>3</sup>
内部摩擦角 $\phi$	39度	49度
深度z(m)での地盤反力係数 $k_h$	$k_h=11.8e^{0.5z}$ (MPa)	$k_h=59.0e^{0.5z}$ (MPa)

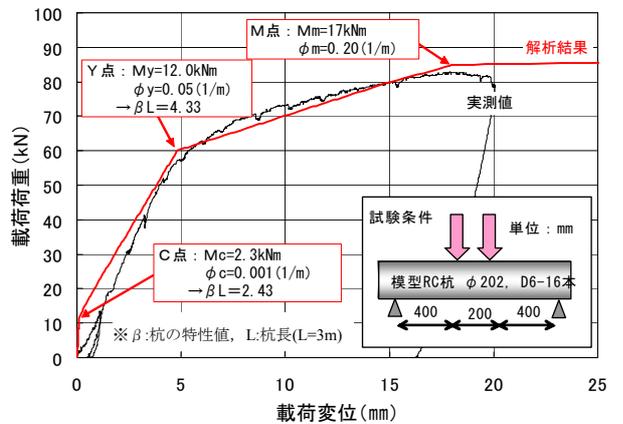
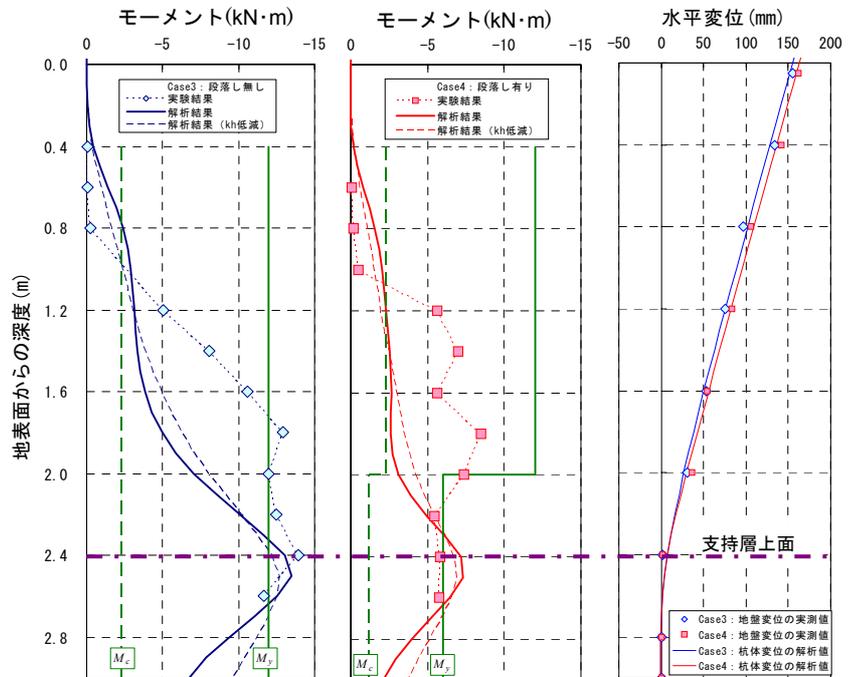


図1 曲げ試験のシミュレーション結果



(a) 段落し無し (b) 段落し有り (c) 変位分布

図2 地盤変位載荷終了時のモーメント・変位分布図

キーワード 杭, 杭の水平抵抗, 場所打ち杭, 段落し, 応答変位法, 地盤変位

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

4. 地盤変位載荷後の水平載荷時の荷重変位関係

模型実験は図2(c)の地盤変位を保持したまま水平載荷を行っており、解析結果として地盤変位を考慮した場合と考慮しない場合の両者を図3に示す。なお、解析上では段落しの有無での荷重変位関係の差分は1%以下であり、模型実験同様に有意な差は認められなかった。地盤変位を考慮するか否かの解析上の違いは、特に初期剛性の低下として影響が表れた。また、地盤変位と杭頭水平力の載荷方向の組合せの違いについては、模型実験では逆位相側の方が大きな抵抗(20mm付近で2割程度)を示したのに対して、解析では逆位相側の方が弱く評価される結果となった。これは、本解析では地盤ばねの非線形特性を降伏以降に一定の上限值となる弾完全塑性モデルとしており、地盤変位載荷により一旦塑性化した地盤ばねがその後の杭頭水平力載荷に対する地盤反力の増加が表現できていないためと考えられる。

5. 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

最大載荷時(杭頭水平力=-13kN時)の杭体の曲げモーメントおよび曲率分布を図4に示し、模型実験後の杭体のひび割れ観察結果を図5に示す。GL-1.4m以浅は解析上は段落しの有無によらず、同様のモーメント分布となり、それより深部の分布は図2とほぼ同様である。モーメントおよび曲率分布がGL-0.8m付近とGL-2.4m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の分布形状とよく一致している。段落しの有無による大小関係についても、段落し有りのケースで段落し位置(カットオフ点)の直上区間(GL-1.6~2.0m)の損傷が軽減され、支持層上面(GL-1.6~2.0m)付近に損傷が集中するという傾向は、ひび割れ調査結果と同一である。また、支持層上面付近の損傷が集中している範囲については、段落し有りのケースでも鉄筋の破断等には至っておらず、解析上の応答曲率(降伏曲率 $\phi_y$ の2.5倍程度)で想定される損傷程度と概ね一致している。なお、カットオフ点の上方は段落した鉄筋の定着部であり、この区間の損傷が軽減された本実験の結果は一般的な橋脚の段落し部が損傷する場合に定着部の剥落を伴うことと大きく異なる傾向である。

6. おわりに

本検討により、比較的深い位置での地盤変位による損傷程度が、杭頭での荷重変位関係に及ぼす影響は小さく、その損傷程度も局所的に集中するようなことは無いことが確認された。また、既往の地盤ばねを用いた骨組み解析モデルで概ね表現可能であることが確認できた。

以上から、応答変位法による設計では、杭体の地中部にある一定の損傷を許容した経済的な設計が可能と考えられる。

参考文献

- 1) 飯島,清田,米澤,青木,西岡,坂本,神田: 地盤変位によるRC杭段落し部の損傷に関する検討-その1 静的模型載荷実験-, 土木学会第64回年次講演会, 2009.9 (投稿中)
- 2) 青木,清田,米澤,西岡,坂本,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, 土木学会第64回年次講演会, 2009.9 (投稿中)

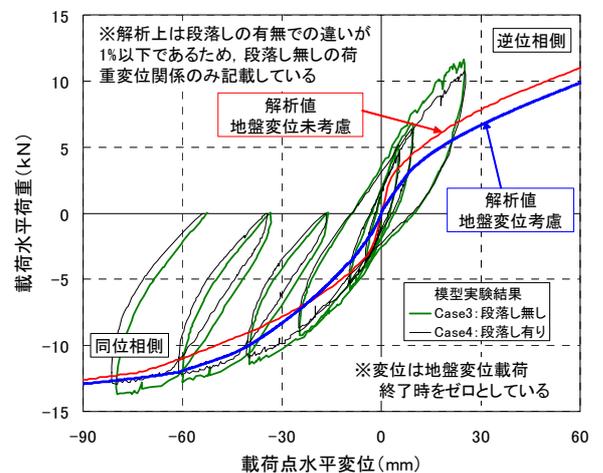


図3 杭頭水平載荷時の荷重変位関係

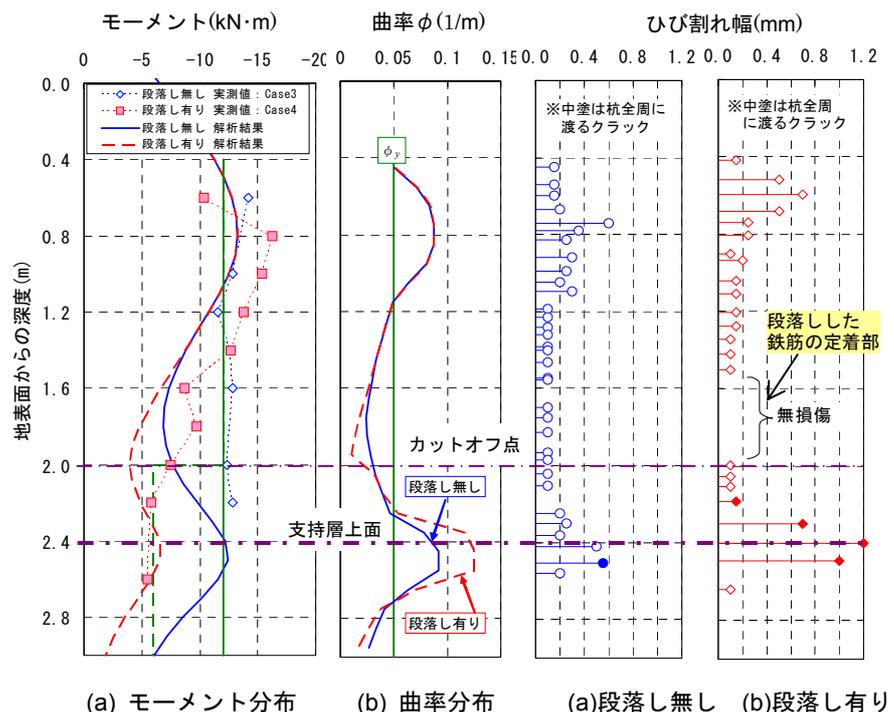


図4 最大荷重時のモーメント・曲率分布 図5 ひび割れ観察結果