

損傷抑制型杭頭結合方式を用いた杭基礎構造の地震時挙動に関する数値実験

中央大学 学生会員 ○沼尾 健太郎 正会員 西岡 英俊
 鉄道総合技術研究所 正会員 佐名川 太亮 正会員 村田 和哉
 東海旅客鉄道株式会社 正会員 岩田 秀治 正会員 高橋 佑斗

1. はじめに

復旧性の観点から、橋脚の設計においては上部構造物を先行して塑性化させるのが一般的である。しかしながら構造計画上、降伏震度が高い上部構造物の形式を選定しなければならない場合には基礎の降伏震度を上部構造物より高くするため、基礎寸法や鉄筋量の増大に伴う建設コストの増加が課題となる。損傷抑制型杭頭結合方式は、杭頭結合部を積極的に塑性化させてエネルギー吸収を行う構造形式である¹⁾。これは一般的に用いられている杭頭剛結方式と比べ、地震時の杭の曲げモーメントを低減できる特徴があり、上述したような設計条件での基礎の建設コスト低減が期待できる。

このような損傷抑制型杭頭結合方式に関する研究開発として、これまで3×2列群杭の大型模型振動実験^{2),3)}とその再現解析⁴⁾において、柱基部と杭頭部のそれぞれが単独に損傷する2ケースの比較に基づく検討が行われているが、これらでは模型製作の都合上、固有振動数の違いによる共振特性の違いが除外できておらず、柱基部と杭頭部が両方塑性化するケースも実施できていなかった。そこで、本研究では、柱基部と杭頭部の両方が塑性化するケースを追加するとともに、それらの固有振動数および降伏震度を一致させた数値実験を実施し、杭頭部の塑性ヒンジ化が地震時挙動に及ぼす影響を直接的に評価する。

2. 数値実験の概要

本研究では、大型模型振動実験^{2),3)}の再現解析⁴⁾で用いられた骨組解析モデルをベースとする(図-1)。なお、ベースとなる再現解析では、図-2に示すように杭頭損傷を許容した場合の杭の最大曲げモーメント分布や、橋脚全体の動的挙動を概ね評価できることが確認されている。

本研究では、まず「柱基部と杭頭部の両方を塑性化させるケース(ケースA)」を、再現解析の柱基部損傷モデルに対して杭頭部にも塑性ヒンジ(非線形要素, 図-1の×印)を用いたモデルを基本ケースとし、入力する地震波は、振動実験およびその再現解析で用いた「内陸活断層による直下型のレベル2地震動」および「2Hz400gal 正弦波」とした。ただし、杭頭部の塑性ヒンジの強度については、再現解析の条件では杭頭部の損傷が生じなかったことから、強度を0.1倍刻みでパラメトリックに低減させて杭が先行して塑性化した条件(再現解析での強度の0.3倍)を基本ケースとした。

また、基本ケースである「ケースA:柱基部塑性ヒンジ+杭頭部塑性ヒンジ」との比較対象として、ケースAの各塑性ヒンジを線形要素に置き換えた「ケースB:柱基部塑性ヒンジ+杭頭部線形」、「ケースC:柱基部線形+杭頭部塑性ヒンジ」および「ケースD:柱基部線形+杭頭部線形」を行った(表-1)。当然ながらケースA~Dで初期の固有振動数自体は同一である(上部構造物3.3Hz, 地盤8.2Hz)。

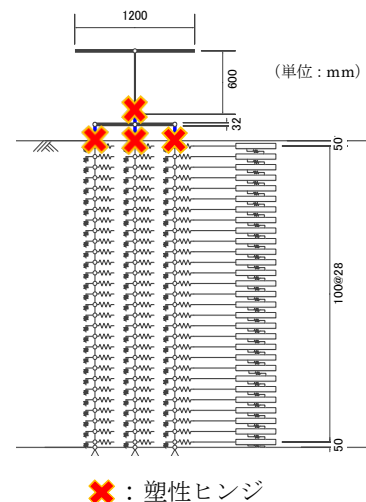


図-1 骨組みモデルの概要

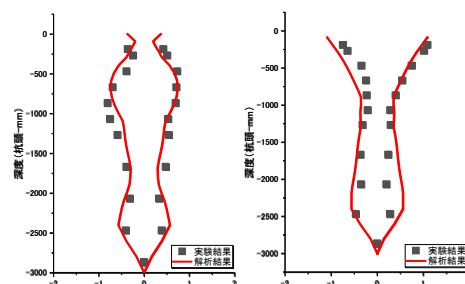


図-2 最大曲げモーメント分布図³⁾

表-1 モデルケース一覧

ケースA	柱基部塑性ヒンジ + 杭頭部塑性ヒンジ
ケースB	柱基部塑性ヒンジ + 杭頭部線形
ケースC	柱基部線形 + 杭頭部塑性ヒンジ
ケースD	柱基部線形 + 杭頭部線形

キーワード：損傷抑制型杭頭結合方式、動的解析、骨組解析

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 基礎・地下構造研究室 TEL 03-3817-1804

3. 解析結果

内陸活断層による直下型のレベル2地震動入力時の天端加速度及び変位の時刻歴波形を図-3に、2Hz400gal正弦波入力時の天端加速度及び変位の時刻歴波形を図-4に示す。杭最大曲げモーメント分布を図-5に示す。

ケースB→A またはケースD→C（実線同士または点線同士）に注目し、杭頭部の塑性化の有無による影響を見ると、天端の応答（図-3, 4）は変化しなかったのに対し、図-5をみると杭頭部が塑性化することで、杭頭部最大モーメントで低減し地中部モーメントは増加した。

逆に、ケースC→A またはケースD→B（同色系同士）で柱基部の塑性化による影響を見ると、天端の応答は大きく変化しているのに対し、杭体最大曲げモーメントの分布傾向は概ね一致した。

以上より、天端の応答は柱基部の塑性化が支配的であり、杭体モーメントの分布傾向は杭頭部の塑性化が支配的であることが確認できる。

4. おわりに

固有振動数を一致させることで共振特性の違いを除外した数値実験により、杭地中部が塑性化しない限り杭頭部の塑性化が上部構造物の応答に悪影響を及ぼす可能性は低く、杭頭部の最大曲げモーメントの低減効果が期待できることが確認できた。なお、杭の地中部モーメントが増加するため、杭体設計の合理化が期待できるかどうかは元々の杭体断面力分布形状に応じてケースバイケースとなると考えられる。ただし、地中部のモーメント増加の程度は比較的小さく、想定外の荷重が基礎に作用した場合でも、破壊メカニズムが大きく変化する懸念は小さいと想定される。

今後は、地盤条件や地盤の固有周期との関係などに着目した数値実験を追加し、本工法による杭体設計の合理化が期待できる条件を明確化していきたい。

参考文献

- 1) 岩田秀治, 鈴木亨, 伊藤太郎, 西岡英俊: 杭頭部の半剛結化の載荷実験, 土木学会第72回年次学術講演会, 2019
- 2) 村田和哉, 佐名川太亮, 西岡英俊, 岩田秀治, 鈴木亨, 高橋佑斗: 杭頭部の損傷を模擬した大型橋脚模型の振動実験 その1 (実験概要), 土木学会第74回年次学術講演会, 2019
- 3) 佐名川太亮, 村田和哉, 西岡英俊, 岩田秀治, 鈴木亨, 高橋佑斗: 杭頭部の損傷を模擬した大型橋脚模型の振動実験その2 (実験結果), 土木学会第74回年次学術講演会, 2019
- 4) 佐名川太亮, 村田和哉, 西岡英俊, 岩田秀治, 鈴木亨, 高橋佑斗: 損傷抑制型結合方式を用いた杭基礎構造の地震時挙動その3 模型振動実験の再現解析, 土木学会第74回年次学術講演会, 2019

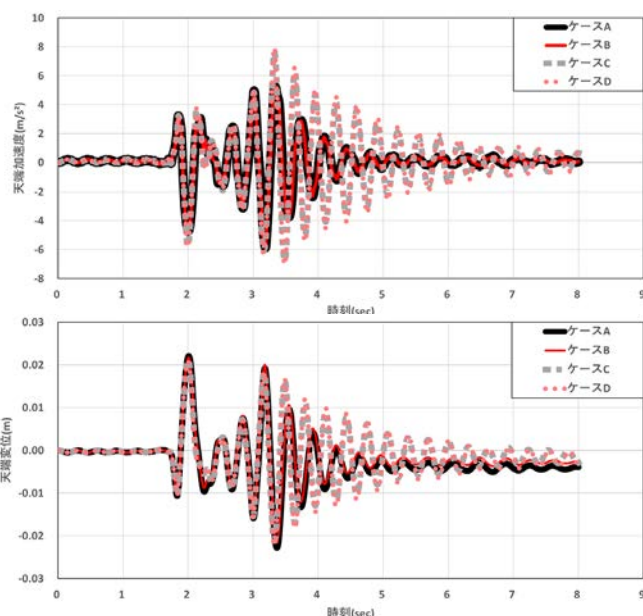


図-3 レベル2地震動入力時の

天端加速度及び変位の時刻歴波形

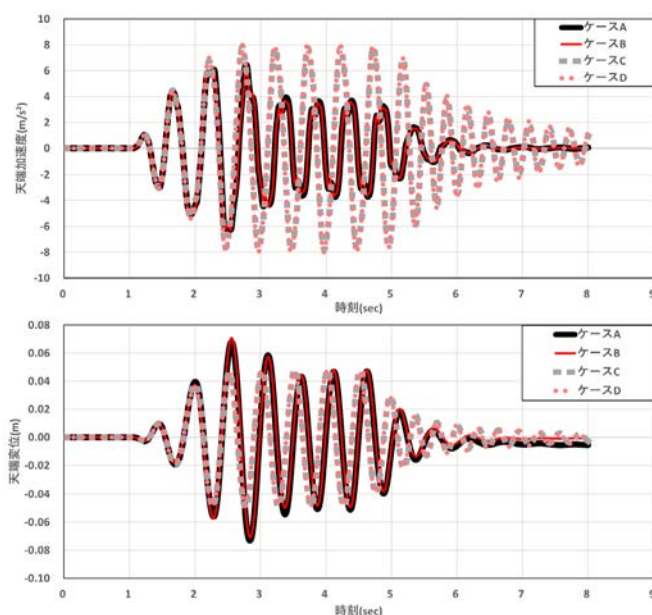
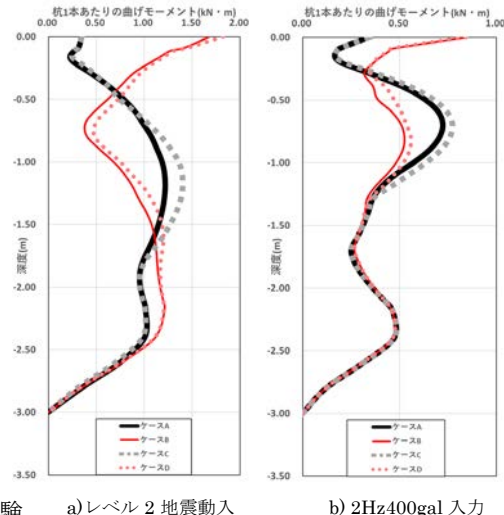


図-4 2Hz400gal 正弦波入力時の

天端加速度及び変位の時刻歴波形



a) レベル2地震動入

b) 2Hz400gal 入力

図-5 杭最大曲げモーメント分布