

損傷抑制型結合方式を用いた杭基礎構造の適用拡大について

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

1. はじめに

損傷抑制型結合方式¹⁾を用いた杭基礎構造について、解析・実験により実構造物への適用に向けた検討が行われており、既往の研究²⁾では、模型実験およびその再現解析から、一般的な構造解析モデルで地震時挙動を再現できることを確認している。そこで、杭径などのパラメータを変更した試設計を行い、損傷抑制型結合方式の適用拡大に向けた検討を示す。

2. 静的非線形解析による試設計

(1) 試設計の条件

解析対象は図1に示す概略図を基本条件とし、パラメータを変更し解析を行う。パラメトリックスタディの解析ケースを表1に示す。解析ソフトは一般的な鉄道構造物の設計に用いられる静的非線形プログラムJRSNAPである。なお、表1に示す ρ_m は引張鉄筋の材料強度のばらつきの影響を評価する修正係数、 α_f は基礎の支持力のばらつきを評価する修正係数である。

(2) 試設計結果

表1に示すパラメータを変更した試設計のうち、杭頭無損傷となるケース、杭頭部ヒンジとなるケースの一例を表2に示す。

杭頭ヒンジとすることで、杭全長に軸方向鉄筋比が3.0%から1.0%へ低減できることを確認した。また、実施工において軸方向鉄筋比3.0%は配筋が困難であることから、杭径を大きくする必要がある。杭頭ヒンジを許容することで、杭径の拡大を防ぐことができ、更なるコスト低減の可能性を確認した。

各構造条件を変更させた場合の検討結果では、軸方向鉄筋量のみを変化させた場合、鉄筋量を減少させるにしたがって、杭頭無損傷から杭頭ヒンジへ変化し、更に杭頭の鉄筋量を減少させた場合、軸方向鉄筋の引張軸力が超過し、設計を満足しなくなることを確認した。

次に杭径のみを変化させた場合、軸方向鉄筋量の減少と同様に杭径を小さくすることで杭頭部の曲げ耐力を低下させることができ、杭頭部の損傷を誘発することが可能である。同一鉄筋比の場合では杭径を小さくすることで杭頭ヒンジによるコスト低減が可能であるものの、軸方向鉄筋の引張軸力の超過で照査を満足できない場合がある。

支持層の根入れ長を変化させた場合、根入れ長が短い場合は降伏する水平震度が低下することで断面力を小さくできるが、押込み時に降伏が生じる可能性が高くなる。根入れ長が長い場合は、最大応答震度が増加し、杭頭引張軸力が大きくなるため、高軸引張による杭頭軸方向鉄筋が降伏に至ることを確認した。

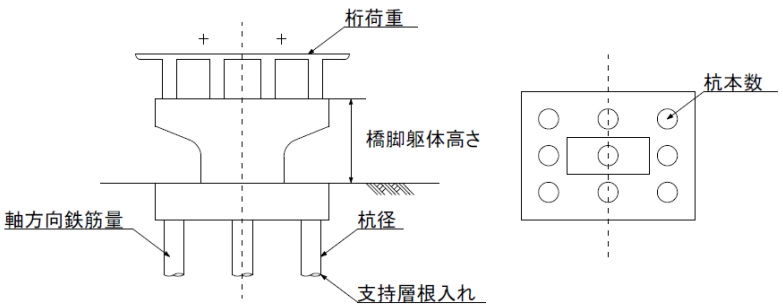


図1 解析対象の概略図

表1 パラメトリックスタディの解析ケース

		パラメータ	試算パラメータ	
			パラメータ範囲	パラメータ数
構造条件	上部工	桁荷重[kN]	3,000～30,000	4
		後脚躯体高さ[m]	7.0, 14.0	2
	杭基礎	杭径[mm]	φ 800, φ 1,100, φ 1,500	3
		杭配置	格子, 千鳥	2
		支持層根入れ(杭長)	1～3D	3
		軸鉄筋比(杭頭) [%]	1.0～3.5	21
		軸鉄筋比(地中) [%]	1.0～3.5	
	地盤条件	地盤種別 ³⁾	G3, G5	2
設計条件	ρm	1.0, 1.2	2	
	αf	1, 2	2	

キーワード：損傷抑制型結合, 杭構造, 静的解析, 動的解析

連絡先：〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33 JR 東海 技術開発部 TEL 0568-47-5370

表 2 杭頭無損傷と杭頭 1 ヒンジの構造条件

pm	af	杭径	杭配置	支持層 根入れ	杭頭 鉄筋比	地中 鉄筋比	最大 応答震度	杭頭部	杭地中部	高軸引張	判定
							khmax	曲げ	曲げ		
								損傷レベル	損傷レベル		
1.0	1	φ 1500mm	3-3-3	2D	1.0%	1.0%	1.657	2	1	OK	杭頭ヒンジ
1.2	1						1.755	2	1	OK	
1.0	2						1.770	2	1	OK	
1.2	2						1.826	2	1	OK	
1.0	1				3.0%	3.0%	1.786	1	1	OK	無損傷
1.2	1						1.811	1	1	OK	
1.0	2						1.961	1	1	OK	
1.2	2						1.959	1	1	OK	

以上のことから、杭頭ヒンジとした杭体設計の合理化を図るためには、軸方向鉄筋量、杭径、根入れ長を適切にコントロールする必要があります、一般的な設計より難易度が高くなる。

3. 動的非線形解析による試設計

2で検討したケースのうち、表3に示す6ケースについて動的非線形解析を行い、静的解析結果との比較を行った。解析ソフトはDYNA2Eを用い、解析ソフトによる差が生じないように静的解析についても同様のソフトで検討を行った。

検討結果の一例を図2に示す。静的解析と動的解析の結果を比較すると、変形モードや断面力分布形状には明確な差はなく、また応答変位量や断面力の値についても概ね一致することを確認した。しかし、静的解析と動的解析では損傷箇所が異なるケースがみられた。これは、地震動が複数

表 3 動的非線形解析の解析ケース

ケース	杭径	杭配置	支持層 根入れ	橋脚 躯体高さ	桁荷重	杭体軸方向鉄筋		損傷モード
						杭頭	地中	
①	φ 1100mm	3-3-3	3D	7.0m	5000kN	D25-28	D51-12	杭頭ヒンジ
②	φ 1500mm	2-1-2	2D	7.0m	5000kN	D35-28	D51-20	杭頭ヒンジ
③	φ 1500mm	3-3-3	2D	7.0m	5000kN	D29-28	D29-28	杭頭ヒンジ
④	φ 1500mm	3-3-3	2D	7.0m	5000kN	D51-28	D51-28	無損傷
⑤	φ 1500mm	3-3-3	2D	7.0m	5000kN	D35-28	D51-28	杭頭ヒンジ
⑥	φ 1500mm	3-3-3	2D	7.0m	5000kN	D51-28	D51-28	無損傷

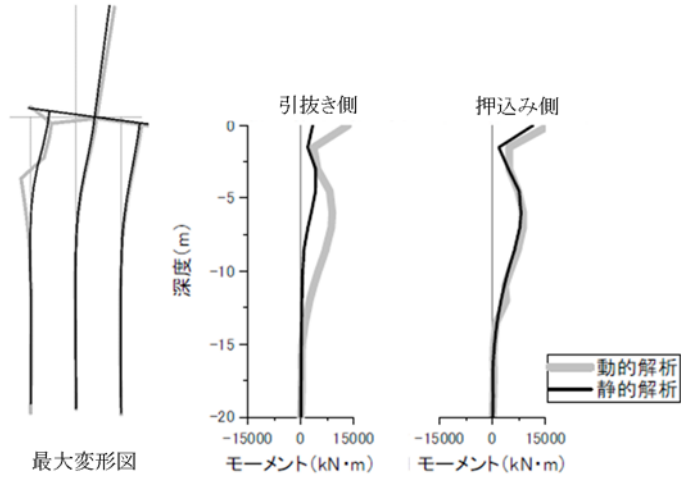


図 2 静的解析と動的解析の比較（ケース 2）

回作用することにより、1 波目が杭頭で損傷した場合、2 波目では断面力分布図が変化するためと考えられる。そのため、構造物の全体的な挙動を把握する目的として静的解析を用いることは問題ないが、復旧性の観点から杭体の損傷箇所を厳密に把握するためには動的解析による照査が必要であると考えられる。

4. まとめ

損傷抑制型結合方式を用いた杭基礎構造の適用拡大に向けて検討を行った。一般的な設計と比較し、静的解析および動的解析によることで難易度があがるが、杭体の鉄筋量を大幅に低減できるなど低コスト化が図れる。別途、杭体の構造諸元を最適とするため多大なパラメトリックスタディを実施し、動的解析による評価を回避できるような検討も行っており、今後更なる展開を試みていく。

最後に、本研究を進めるにあたり、合理的な杭構造に関する検討委員会（委員長：龍岡文夫東京大学名誉教授、副委員長：石田哲也東京大学大学院教授）において貴重なご指導を賜り、委員各位に感謝の意を示します。

参考文献

1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物），2012.1.
2) 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.
3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），2012.9.