

鉄道構造物に対する免震基礎の適用性に関する検討

（その1：異なる杭頭接合による免震効果の検討）

中央復建コンサルタンツ株式会社 正会員 ○目野 豊、本 晴彦
（財）鉄道総合技術研究所 正会員 今村 年成、羅 休

1 はじめに

兵庫県南部地震以後、新しい耐震設計標準（鉄道構造物等設計標準・同解説「耐震設計」）¹⁾が制定され、これにより、特に杭については、大地震時の終局曲げ耐力、せん断耐力および変形性能を確保するため、従来に比べてRC杭の鉄筋量や杭径が増大する結果となっている。そこで、杭頭部の免震化による断面縮小効果について検討を行ってきた^{2), 3)}。本文（その1：異なる杭頭接合による免震効果の検討）では、鉄道の橋梁とラーメン高架橋の設計事例をモデルケースとして試設計により異なる杭頭接合方法の免震効果および設計の合理性を検討し、続く（その2：地震時列車走行安全性に及ぼす免震基礎の影響の検討）では、動的解析を行い横振動に対してSI（スペクトル強度）による照査を実施して、列車走行安全性に及ぼす免震基礎の影響を検討した。

2 検討対象と条件

検討対象の鉄道構造物は、図1と図2に示すような場所打ちRC杭基礎の壁式橋脚とラーメン高架橋である。検討断面について、橋脚の杭長は19.5m、ラーメン高架橋は25.5mであり、地盤は主に砂質土と粘土から構成されている。この断面に対して、表1に示すように杭頭に半剛接合やピン接合を組み合わせ、構造体の耐震性能や部材損傷状況の変化を検討した。検討では非線形スペクトル法を用いるため、まず初めに静的非線形2次元骨組解析を行った。杭頭部材の計算モデルについて、半剛接合では参考文献2)、ピン接合では参考文献4)に提案したモデルを適用した。

3 検討結果

3.1 荷重-変位曲線

Push-Over-Analysisによる橋脚の3ケースでの静的非線形解析結果を図3、ラーメンの3ケースでの結果を図4に示す。橋脚天端の荷重-変位曲線上に、基礎と上部工の最初の降伏（降伏震度 K_{hy} が定まるイベント）、L2地震動による最大応答変位、基礎部材が最大曲げ耐力M点に達した時などの代表的なイベントをプロットしている。降伏震度 K_{hy} は、杭頭部の免震化によって約1~2割低下するものの、いずれもL1地震動に対する設計水平震度 $K_h=0.35$ （G3地盤）は十分上回っており、L1地震時の耐震性能Iを満足している。構造物の等価固有周期について、杭頭剛接合のケース（No.橋1）の等価固有周期 $T_{eq}(=0.695s)$ に対して、半剛接合のケース（No.橋2）では約1割、ピン接合のケース（No.橋3）では約4割増加した。

また、L2地震時の最大応答時の震度についても同様の低下傾向が見られる。その結果、（No.橋1）と（No.橋2）のケースでは、橋脚基部の降伏が生じるが、杭頭剛性の最も

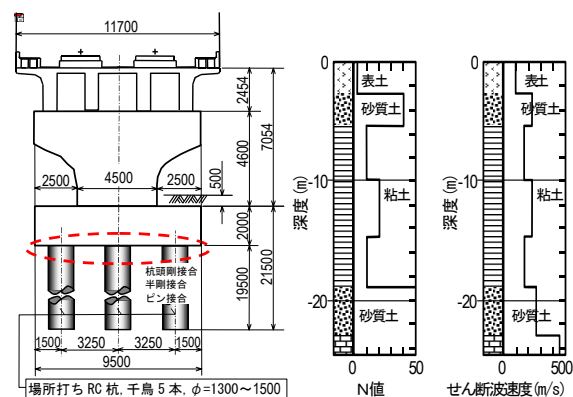


図1 壁式橋脚の構造図と地盤条件

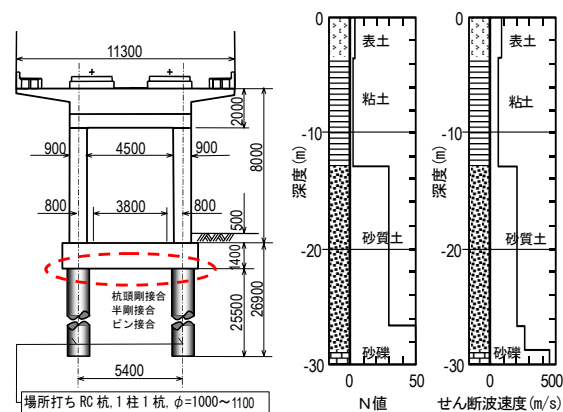


図2 ラーメン高架橋の構造図と地盤条件

表1 構造物と杭頭接合タイプの組合せ

ケース	構造物	杭頭接合タイプ	杭径 (mm)
No.橋1	橋脚	剛接	1500
No.橋2		半剛接	1300
No.橋3		ピン接	1300
No.ラ1	ラーメン高架橋	剛接	1100
No.ラ2		半剛接	1000
No.ラ3		ピン接	1000

キーワード 免震基礎、杭頭半剛接合、杭頭ピン接合、合理化設計

連絡先 〒533-0033 大阪府大阪市東淀川区東中島4-11-10 中央復建コンサルタンツ(株) Tel 06-6160-2312

低い（No.橋3）のケースでは生じない。これも杭頭免震化の効果の一つといえる。L2地震時の最大応答変位（スペクトルⅡ応答変位）は、杭頭部を改良することによって約2～4割程度増加するものの、いずれも基礎の応答塑性率は安定レベル2を満足している。

図4に示すラーメン高架橋の全体剛性は橋脚より低いため、各ケースの降伏震度は橋脚より約2～3割低下するが、いずれもL1地震動に対する設計水平震度 $K_h=0.4$ （G5地盤）は上回っており、ラーメン高架橋の等価固有周期は、いずれも同種類の杭頭接合を持つ橋脚と比べると約5割増ほど延びており、これは地盤の弱さおよび柱の低剛性によるものと考えられる。また、杭頭剛接合のケース（No.ラ1）の柱上部の降伏状況は、杭頭部の改良によって緩和されることも免震効果の一つである。

3.2 部材の照査

全ケースに対するL2地震応答時における杭体の照査結果を表2に示し、いずれも損傷レベル2以内となっており、目標とする耐震性能Ⅱを満足していることが判明した。橋脚（No.橋2、No.橋3）とラーメン高架橋（No.ラ2、No.ラ3）のいずれものケースにおいて、杭頭剛接合のケース（No.橋1、No.ラ1）と比べて杭体断面積を2～3割程度で縮減しても、杭頭接合部の免震化により部材の損傷制御ができることを把握した。

4 まとめ

免震基礎の適用を目指し、鉄道の橋梁とラーメン高架橋をモデルケースとした試設計を実施した。その結果、杭頭接合部を免震構造とすることにより杭径や鉄筋量の減少により10～20%のコスト削減が可能であることが把握できた。特に、参考文献2)に提案した半剛接合による免震基礎では地中部と接合部でバランスの良い杭体の経済設計が可能となることが確認できた。

<参考文献>

- 1) (財)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)，1999年9月。
- 2) 神田政幸，濱田吉貞，山東徹生，青木一二三：密帯鉄筋RC杭頭接合構造の変形性能のモデル化，土木学会第60回年次学術講演会概要集，pp.961-962，2005年9月。
- 3) 羅休，濱田吉貞：異なる杭頭接合条件を有する構造物の耐震性能に関する検討，第40回地盤工学会年次研究発表会講演集，CD-ROM，No.860，2005年7月。
- 4) 田蔵他：建設コストの低減と耐震性能の向上を目的とした新杭頭接合工法の研究開発，第26回地震工学研究発表会講演論文集，pp.881-884，2001年8月。

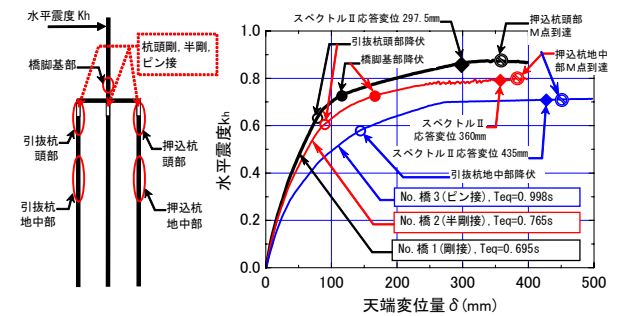


図3 橋脚における静的非線形解析の結果

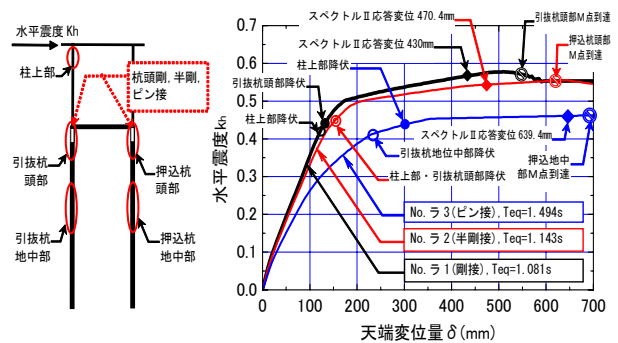


図4 ラーメンにおける静的非線形解析の結果

表2 L2地震（スペクトルⅡ）応答時における杭の照査結果

ケース	照査部位		応答値			制限値	安全率	損傷 レベル
			軸力(kN)	曲げモーメント (kN・m)	曲率φd (1/m)	φm, φcu (1/m)	φd/ φm(φcu)	
No.橋1	引張側	杭頭部	-6425	-574	-0.0286	-0.0466	0.614	2
		地中部	-6349	661	0.0156	0.0444	0.351	2
	押込側	杭頭部	12453	-5970	-0.0114	-0.0205	0.556	2
		地中部	11892	5819	0.0039	0.0182	0.214	1
No.橋2	引張側	杭頭部	-5695	-1347	-0.047	-0.0823	0.571	2
		地中部	-5666	1332	0.0204	0.055	0.371	2
	押込側	杭頭部	11241	-3911	-0.0347	-0.0479	0.724	2
		地中部	11299	4376	0.027	0.0277	0.975	2
No.橋3	引張側	杭頭部	-4074	1438	0.0019	0.0551	0.034	1
		地中部	-4017	2668	0.0217	0.0549	0.395	2
	押込側	杭頭部	9904	1840	0.0006	0.0361	0.017	1
		地中部	9981	5057	0.0337	0.0361	0.934	2
No.ラ1	引張側	杭頭部	-1773	-1510	-0.0317	-0.0568	0.558	2
		地中部	-1710	415	0.011	0.0606	0.182	2
	押込側	杭頭部	5849	-2681	-0.0178	-0.0332	0.536	2
		地中部	5970	1674	0.004	0.0284	0.141	1
No.ラ2	引張側	杭頭部	-1577	-1539	-0.0667	-0.1279	0.522	2
		地中部	-1489	636	0.0156	0.0598	0.261	2
	押込側	杭頭部	5646	-2160	-0.0468	-0.0708	0.661	2
		地中部	5761	1690	0.009	0.0326	0.276	2
No.ラ3	引張側	杭頭部	-621	629	0.0022	0.0418	0.053	1
		地中部	-559	1630	0.0328	0.0418	0.785	2
	押込側	杭頭部	4692	-750	-0.0008	-0.0418	0.019	1
		地中部	4800	2116	0.0363	0.0418	0.868	2