

杭頭接合部の塑性変形を許容した鉄道橋脚の試設計例

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正員 ○西岡 英俊* 正員 青木一二三*
 鉄道総合技術研究所 正員 神田 政幸** 正員 濱田 吉貞**

1 はじめに

杭基礎を有する鉄道橋梁の耐震設計においては多くの場合、杭部材と同様に評価した杭頭接合部の断面設計によって杭径が決定するため、杭の大径化による建設コスト増が問題となっている。これに対して筆者らは、地震時の杭本体への作用や損傷を軽減させるため、杭頭接合部の塑性ヒンジ化を積極的に許容する構造について実験的研究を行ってきた^{1), 2)}。本研究は、杭頭部を細径にして帯鉄筋を密に配置することで高いヒンジ効果を期待する方法について、鉄道橋脚の設計事例をモデルケースとして試設計を行い、その結果について比較検討を行うものである。

2 試設計の方法および対象構造物

試設計は、図1に示すような場所打ちRC杭基礎の新幹線鉄道壁式橋脚の設計事例（No.1）を元に、杭頭の細径化・帯鉄筋増の改良を加え、所要の耐震性能（表1）を保持しうる限り杭を小径化した（No.2）。その際、施工性を考慮して杭頭部と地中部で主鉄筋量・配置形状を同一とし、杭頭部と地中部でかぶりを変化させる（地中部：140mm³⁾、杭頭部：主鉄筋径）という条件の下で試設計を行った。設計計算は非線形スペクトル法による静的非線形2次元骨組解析によることとし、改良した杭頭部のモデル化は、通常のRC部材の変形モデルに密な帯鉄筋による周面拘束効果を期待したコンクリートの圧縮強度の割増し⁴⁾を考慮した変形モデルとした。さらに接合部改良の効果を検証するため、杭地中部がNo.1、杭頭接合部がNo.2と同じ断面諸元のケース（No.3）についても設計計算を行った。試設計の杭の断面諸元を表2に示す。地盤条件は表層地盤の固有周期が0.318秒（G3地盤）で、杭長は18mである。また解析は基礎が先行降伏となる線路直角方向について行った。

表1 目標とする耐震性能

設計地震動		L1地震動	L2地震動
目標とする耐震性能		耐震性能Ⅰ	耐震性能Ⅱ
部材の 損傷レベル	く体	1	3
	フーチング	1	1
	杭部材	1	2
基礎の安定レベル		1	2

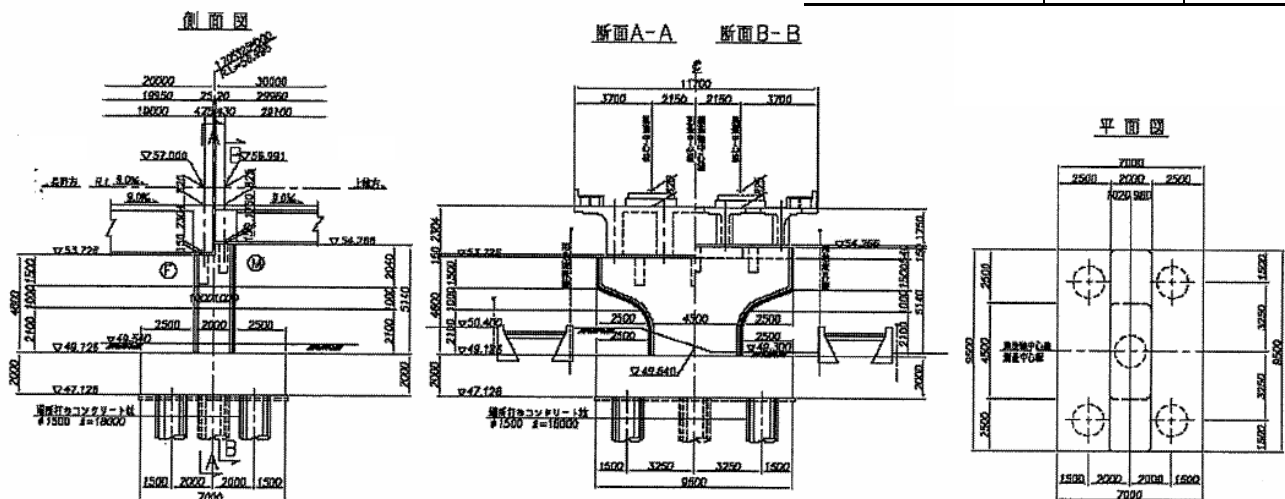


図1 試計算の対象構造物の概要

表2 各試設計解析ケースにおける杭の断面諸元 ($f'_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, $f'_{sy}=390 \text{ N/mm}^2$)

設計No.	接合部1D区間断面			杭地中部断面		
	杭径mm	主鉄筋	帯鉄筋	杭径mm	主鉄筋	帯鉄筋 (2D以深)
No.1	1500	D32-24本	D25@125mm	1500	D32-24本	D25@125mm (D19@150mm)
No.2	884	D32-16本	D32@96mm	1100	D32-16本	D25@125mm (D25@150mm)
No.3	884	D32-16本	D32@96mm	1500	D32-24本	D25@125mm (D19@150mm)

Key Words : 場所打ち杭, 耐震設計, 杭頭接合部, 静的非線形解析

* 〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1 横浜アイランドタワー

Tel.045-222-9082 Fax.045-222-9102

** 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

Tel.042-573-7261 Fax.042-573-7248

3 解析結果

各ケースでの静的非線形解析の結果を図2に示す。降伏震度 K_{hy} は杭頭部を改良することによって2~3割低下するものの、いずれもL1地震に対する設計水平震度 $K_h=0.304$ は十分上回っており、L1地震時における耐震性能Iを満足している。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あるが、これは逆に橋脚基部の降伏がNo.1では生じるが、杭頭改良後（No.2,3）では生じない結果となっており、これも接合部改良の効果の一つといえる。L2地震時の最大応答変位 δ_{max} は、杭頭部を改良することによって1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。次にL2地震応答時における杭の断面照査結果を表3に示す。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わかる。また、接合部を改良したNo.2,3の杭頭部の曲率の制限値 ϕ_m が従来設計のNo.1に比べ非常に大きく、杭頭部での変形性能に優れていることがわかる。各ケースを詳細に比較すると、引張側の杭頭部で杭の断面諸元が決定しているNo.1に対して杭頭部のみに細径化・帯鉄筋増の改良を加えたNo.3は、押込側と引抜側の両方の杭頭部で大きい変形性能を発揮した結果、どちらも地中部の損傷レベルが1となっており、杭頭部の塑性ヒンジ化によって地中部への作用伝達が低減される効果が確認できる。さらに、杭径全体も小径化したNo.2では、No.3に比べて杭全体での変形性能を十分に発揮した最適設計になっていることがわかる。

4 まとめ

鉄道橋脚における耐震設計では、杭頭接合部における所要断面によって杭径が決定するのが一般的であるが、接合方法を改良し、杭頭接合部の塑性域での変形性を高めることによって、杭径を縮小（本研究では $\phi 1.5\text{m} \rightarrow 1.1\text{m}$ ）しても同等の耐震性能を確保できることが明らかとなった。特にL1地震時の安全率に余裕があるような場合は、杭頭接合部の構造を変形性能の高いものとするすることで、より合理的で経済的な杭基礎の耐震設計が可能となると考えられる。

表3 L2地震応答時における杭の照査結果（線路直角方向）

試設計ケース		No.1				No.2				No.3			
照査部位		引張側		押込側		引張側		押込側		引張側		押込側	
		杭頭部	地中部	杭頭部	地中部	杭頭部	地中部	杭頭部	地中部	杭頭部	地中部	杭頭部	地中部
応答値	軸力Nd(kN)	-5537	-5499	11201	10954	-2612	-2535	8453	8491	-3142	-3047	8976	9091
	曲げモーメントMd(kN・m)	-635	612	-5413	4790	-649	695	-1689	2169	-467	960	-1609	4043
	曲率 ϕ d(1/m)	-0.0195	0.0160	-0.0045	0.0030	-0.2278	0.0565	-0.2034	0.0043	-0.5886	0.0012	-0.4850	0.0023
照査指標	ϕ_m, ϕ_{cu} (1/m)	-0.0229	0.0223	-0.0233	0.0174	-0.2385	0.0922	-0.2412	0.0515	-0.6317	0.0164	-0.5941	0.0180
照査式	$\phi_d / \phi_m, \phi_{cu}$ (1/m)	0.85	0.72	0.19	0.17	0.95	0.61	0.84	0.08	0.93	0.08	0.82	0.13
損傷レベル		2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1

【参考文献】

1) 濱田・神田・山東・青木:塑性ヒンジ化を許容する場所打ち杭の杭頭接合部の実験, 土木学会第59回年次学術講演会 V-426, 2004.9.
2) 青木・山東・神田・濱田:杭頭接合部を改良した場所打ち杭の模型水平載荷実験, 土木学会第60回年次学術講演会, 2005.(投稿中)
3) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物, 丸善, 2000.6
4) 神田・濱田・山東・青木: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, 2005(投稿中)

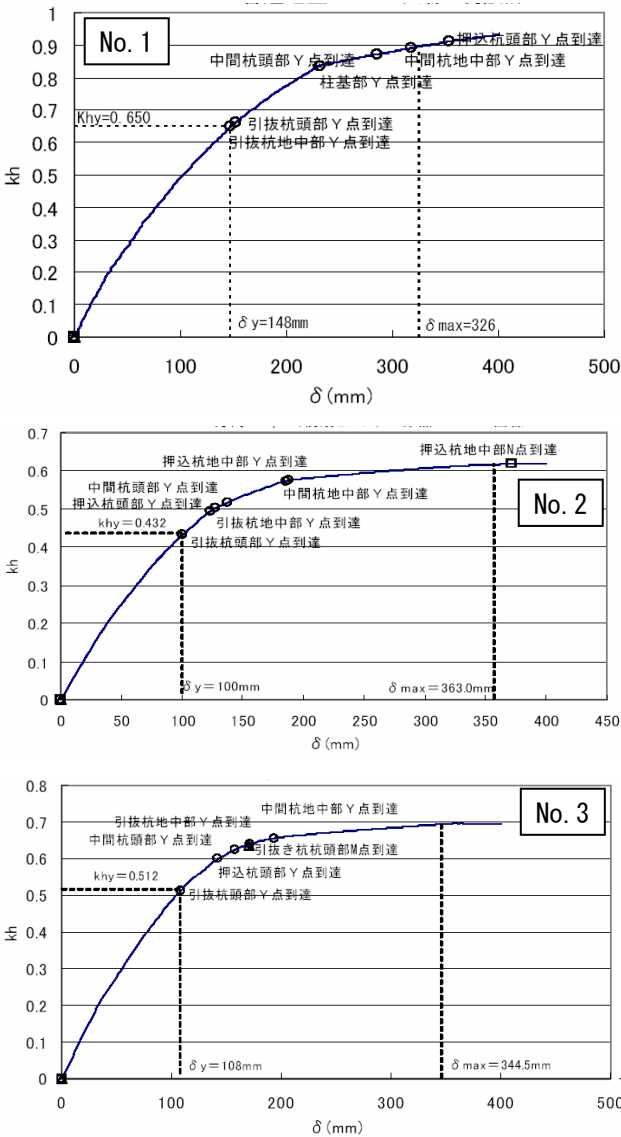


図2 水平震度－橋脚天端変位の関係