

応答方向転換型免震デバイスを取り付けた実橋脚に関する解析検討

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○羅 休、川西智浩

1. はじめに

著者らは、鉄道構造物への適用を念頭において、図 1 に示すように、列車の走行安全性を確保できる新しい滑り系応答方向転換型免震基礎を提案した¹⁾。このデバイスは、線路直角方向に対し角度 α を持つガイド溝と滑り球により、地震による橋脚の線路直角方向の応答変位を線路方向へ転換することができるとともに、すり鉢状の下方受台によって、地震後の残留変位が小さくなるのが特徴である。また、デバイスの模型を試作して、静的繰返し載荷実験と振動台実験を行い、構造免震と走行安全性の改善効果を確認した。本報では、提案したデバイスを取り付けた実橋脚を対象に、線路方向軌道の拘束影響を考慮した 3 次元数値解析による検討を報告する。

2. 検討概要

検討対象構造物は、図 2 に示す場所打ち RC 杭基礎の壁式橋脚である。橋脚基礎の杭長は 19.5m であり、地盤は主に砂質土と粘土から構成されている。この構造条件に対して、杭頭剛接合と免震デバイス ($\alpha=60^\circ$) 接合の 2 ケースを想定して、構造物の耐震性能および列車走行安全性を検討した。なお、2 ケースの杭体断面は、いずれも設計標準に定められた所要の耐震性能を満足するように最適設計した際の断面である。その結果、剛接合の $\phi 1500\text{mm}$ に対して、デバイス接合は $\phi 1300\text{mm}$ となり、杭径を 15% 程度、鉄筋量を 35% 程度縮減することが可能となる。

本検討の具体手順を以下に示す。

①対象構造物の上部工と基礎を一体でモデル化し、プッシュオーバー解析を行い、荷重-変位曲線を作成して構造物全体の耐震性能を調べる。

②地震動は鉄道の耐震設計標準の L1 地震動と L2 のスペクトル II を用いて、動的解析を行い構造物の応答加速度や変位などを算定する。

③プッシュオーバー解析の結果に基づき、動的解析による橋脚天端の応答変位を用いて、部材の損傷レベルや耐震性能を照査する。

④動解による橋脚天端の応答加速度を用いて、列車走行安全性に係る変位²⁾(角折れと SI(スペクトル強度))を照査する。

杭頭剛接合は 2 次元解析とし、免震デバイスを取り付けた構造物は、幾何学的非線形性を考慮

できる 3 次元解析とし、く体と杭を梁要素とした。なお、橋脚天端の応答が線路直角方向から線路方向への転換する際に、線路方向の軌道拘束の影響は、図 3 に示すように橋台側に等価的な拘束ばねを設けること

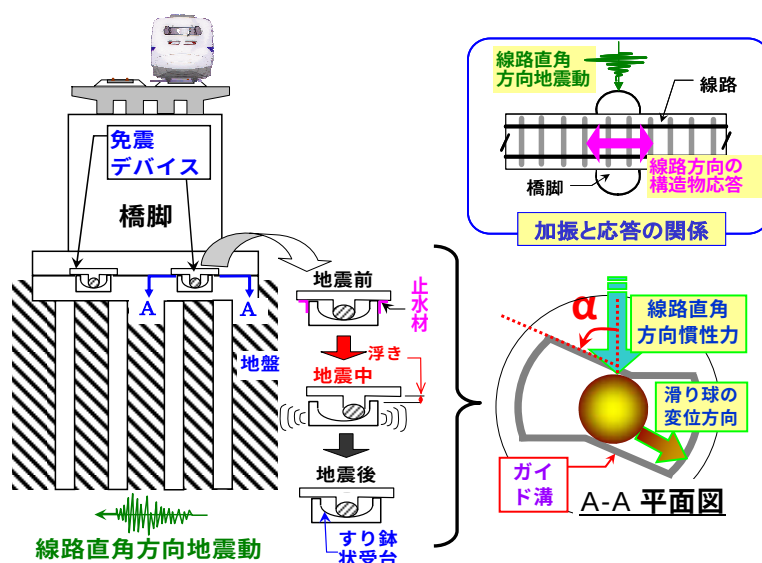


図1 提案した滑り系応答方向転換型免震基礎のイメージ

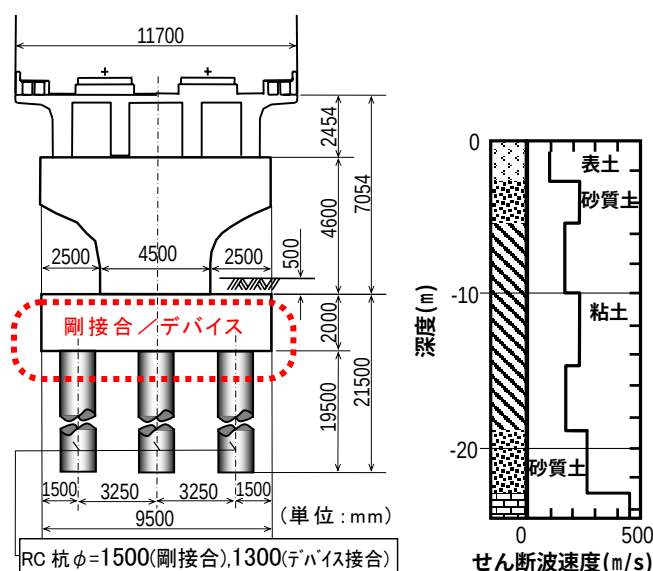


図2 壁式橋脚構造図と地盤条件

キーワード：橋梁、列車走行安全性、免震基礎、応答変位方向、滑り系デバイス

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 Tel: 042-573-7394 Fax: 042-573-5326

により考慮した。

動的解析は、構造物と地盤の相互作用を精度良く評価するために、自由地盤系と構造物系を一体モデル化した時刻歴動的解析手法を用いた。自由地盤部は、地層を水平せん断ばね要素でモデル化した。非線形特性は、骨格曲線に R-O モデル、履歴モデルに Masing 則を用いた。

3. 検討結果および考察

プッシュオーバー解析は、剛接合と免震デバイス接合の両者とも引張杭頭先行降伏パターンで、降伏震度は剛接合に比べてデバイス接合の場合は 3 割程度低いものの、いずれも L1 地震動時の設計震度 ($K_h = 0.35$) (G3 地盤) は上回っており、L1 地震

時における耐震性能 I を満足している。構造物の等価固有周期は、杭頭剛接合の 0.7 秒に対して、デバイス接合では 1.31 秒となった。

杭体の照査結果を表-1に示す。この表から、引抜側杭頭部の損傷レベルは、杭径の小さいデバイス接合は剛接合と同じレベル 2 となった。なお、基礎の安定レベルについて、いずれも基礎の応答塑性率は 5 以下であり、レベル 2 を満足している。

列車走行安全性に係わる変位検討として、L1 地震動と L2 のスペクトル II において、剛接合と免震デバイス接合の場合の橋脚天端の応答加速度から算出した線路直角方向の絶対変位を図 4 に、SI (スペクトル強度) を図 5 に示す。絶対変位は、L1 地震動における免震デバイスと剛接合のピーク値はほぼ同じであるが、スペクトル II の場合では、免震は剛接合より 1 割程度小さかった。L1 およびスペクトル II 地震動における SI は、免震デバイス接合の方が剛接合より 1~2 割程度小さくなった。なお、同図に変位制限標準²⁾に定められた限界 SI も示しており、L1 地震動ではいずれの杭頭接合とも制限値を満足していることが分かる。

4. まとめ

今後、実用化に向けた課題として、実物大の提案デバイスの確認、施工性、耐久性および桁支承部への適用などを検討したい。

謝辞：数値解析では、中央復建コンサルタンツ(株)の目野豊氏、今村年成氏、本晴彦氏のご協力を得ました。ここに、感謝の意を示します。

参考資料：

- 1) 羅休、川西智浩、太田剛弘：滑り系デバイスによる応答方向変換型免震基礎に関する実験的な検討、第 63 回土木学会年次学術講演会、CD-ROM、No. I、1229-1230、2008 年 9 月
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 (変位制限)、(財)鉄道総合技術研究所、2006 年、2 月

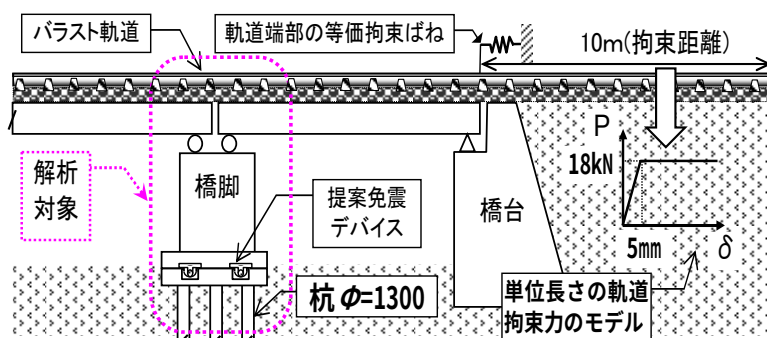


図3 線路方向の軌道拘束の計算モデル図

表-1 L2地震 (スペクトルII) 応答時における杭の照査結果

杭頭接合	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φ d (1/m)	曲率 φ m, φ cu (1/m)	φ d/ φ m (φ cu)	
剛接合 (φ 1500)	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
デバイス接合 (φ 1300)	引張側	杭頭部	1447	-1052	-0.0066	-0.0201	0.327	2
		地中部	1910	823	0.0019	0.0184	0.105	1
	押込側	杭頭部	8381	-2142	-0.0023	-0.0192	0.117	1
		地中部	7692	1741	0.0011	0.0184	0.059	1

注：デバイス接合の曲率制限値は転換角度αに基づくベクトルの分解結果である。

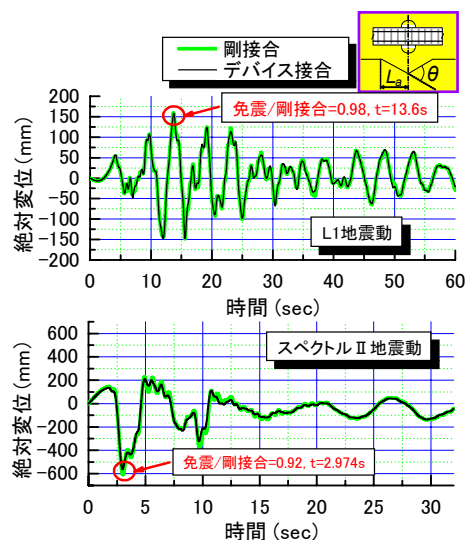


図4 角折れ照査用の絶対変位の比較

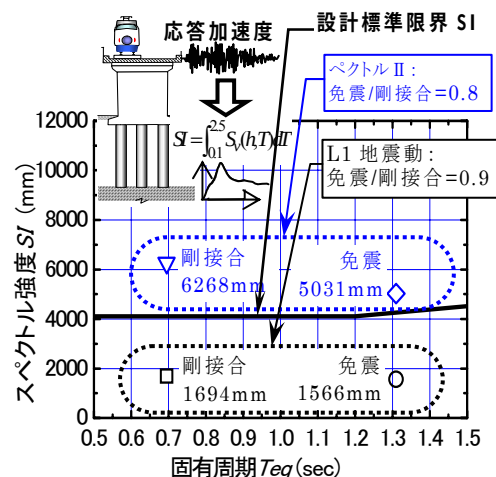


図5 振動変位照査用のSIの比較