

## 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）

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

### 1 はじめに

2004 年の中越地震による営業運行中の新幹線の脱線事故は社会に大きな衝撃を与えた。このような地震時の横振動変位（水平横方向の振動変位）は列車の走行安全性に大きな影響を及ぼすため、鉄道構造物の設計においてはこの影響を慎重に考慮する必要がある。地震時の列車の応答は構造物の形式、固有周期、地盤の性状など様々な要因に左右されるため、走行安全性の照査にエネルギー的な観点からスペクトル強度  $S I$  (Spectral Intensity) が用いられる<sup>1),2)</sup>。本検討では、前文（その1：異なる杭頭接合による免震効果の検討）に示した試設計例の中の橋梁とラーメン高架橋を対象に、構造物の動的解析と列車走行シミュレーションを実施し、 $S I$ による照査を行い、列車走行安全性に及ぼす免震基礎の影響を把握した。

### 2 検討の概要

図1に示すように検討の際、まず基盤の地震動を入力して、地盤・基礎・上部構造物を一体化した動的解析を行い、構造物天端の加速度の応答波を求めた。次に、この加速度の応答波による速度応答スペクトルを求め、その応答速度の周期成分を積分して応答  $S I$  を算出した。また、同じ構造物天端の加速度の応答波を用いて、列車走行シミュレーションを行い、限界  $S I$  を求めた後、応答  $S I$  との比較によって列車走行安全性を評価した。

なお、本検討で求められた免震基礎を用いる構造物の限界  $S I$  と現行照査法との整合性を把握するために、最近発行した変位制限標準<sup>4)</sup>に定められている限界  $S I$  との比較も行った。

### 3 動的解析および列車走行安全性の照査

前文（その1）で求められた検討対象の構造物の等価固有周期および基盤入力地震波の一覧を表1に示す。検討にあたって、各ケースにおいて鉄道の耐震設計標準に定めたL1からL2までの3波、さらに振幅を調整した2波（1.5倍L1、0.5倍スペクトル）の地震波を用いて構造物天端の加速度応答を算出した。部材の非線形特性は、前文（その1）で用いられた特性と同じものを使用した。なお、部材の内部減衰定数は、く体および杭部材を3%、相互作用ばねを10%、自由地盤ばねを3%に設定した。

限界  $S I$  の算定に適用した列車走行シミュレーションは、車体-台車-輪軸間の相互作用を厳密に考慮して行った。安全限界判定基準として車輪がレール上に乗り上がり線路直角方向の水平相対変位70mmを用いた<sup>3)</sup>。

表1に示す各ケースの構造物の等価固有周期毎に、各地震動に対する限界  $S I$  の計算結果と現行設計標準の限

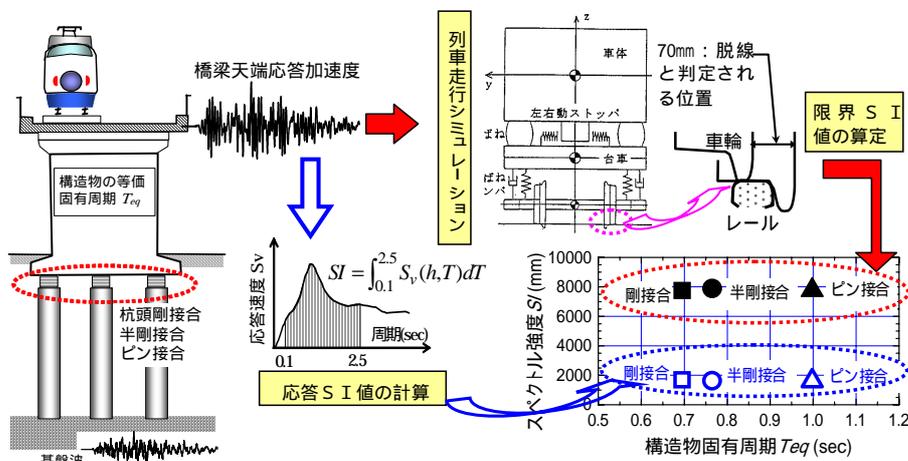


図1 地震動に対する免震基礎の列車走行安全性の照査フロー

表1 検討対象と入力地震波

ケース	構形式	杭頭接合タイプ	等価固有周期 $T_{eq}$ (Sec)	基盤の設計地震波
No.橋1	橋脚	剛接	0.695	L1 1.5倍L1 0.5倍スペクトル スペクトル スペクトル
No.橋2		半剛接	0.765	
No.橋3		ピン接	0.998	
No.ラ1	ラーメン	剛接	1.081	
No.ラ2		半剛接	1.143	
No.ラ3		ピン接	1.494	

キーワード：免震基礎，地震時列車走行安全性，スペクトル強度，列車走行シミュレーション

連絡先：〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38

Tel: 042-573-7394

Fax: 042-573-5326

界S I線、およびその元となる 11 波の代表的な地震波による限界S I線（薄い線）を図 2に一緒に示した。L1 地震動に対して、ケース（No.ラ 3）（杭頭ピン接合）の限界S I (=9746mm)は、（No.ラ 1）（杭頭剛接合）や（No.ラ 2）（杭頭半剛接合）の限界S Iより約 6 割大きいが、他の地震動に対して、各ケースにおける杭頭接合構造の違いによる限界S Iのばらつきが小さいことが示されている。特に、

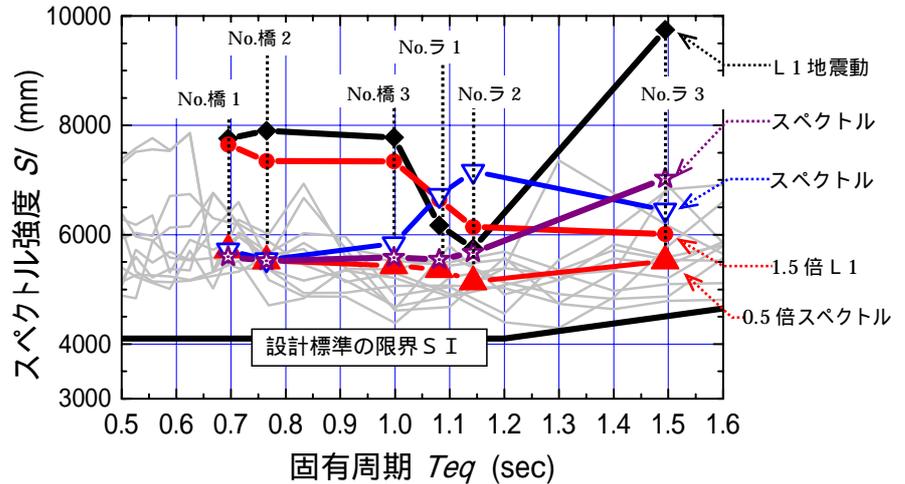


図2 本検討による限界S Iと設計標準の限界S Iとの比較

短周期側の橋梁において、全ての地震動に対して杭頭接合の違いによる限界S Iの変化がほとんど見られない。また、本検討で得られた限界S I値は設計標準の限界S I線よりはるかに高いことから、免震基礎の列車走行安全性照査には現行設計標準の限界S Iを用いることが安全側であることが分かった。

応答S Iについては、各ケースの構造物の等価固有周期毎に、L1 地震動に対する応答S Iと、設計標準<sup>4)</sup>の限界S I線をプロットした照査図を図 3に、図 4には、L1 を超える地震動を各種想定し、応答S Iを求めて比較した結果を示す。図 3に示すように、L1 地震動に対して、橋梁における杭頭接合の違いによる変化はほとんど見られなく、全検討ケースにおいて応答S Iは限界S Iより低いことから、列車走行安全性を満足していることが把握できた。図 4によって、L1 を超える地震動に対して、各検討ケースの走行安全性の照査結果を考察すると、地震動のレベルの上昇に伴い応答S Iが大きくなり、列車走行安全性上の問題が生じることが示されている。

4 まとめ

地震時列車走行安全性に及ぼす免震基礎の影響を検討するために、前文（その 1）の試算で用いた橋梁とラーメン高架橋モデルを対象に、5 種類の地震動を用いて、詳細な動的解析と列車走行シミュレーション解析を行い、横振動に対してS I値による照査を実施した。その結果、杭頭を免震化したことによる列車走行安全性への影響は、従来の剛接合に比べてあまり変わらないことが判明した。ただし、横振動以外の角折れや目違いに対する照査は厳しくなる場合があることに注意する必要がある。

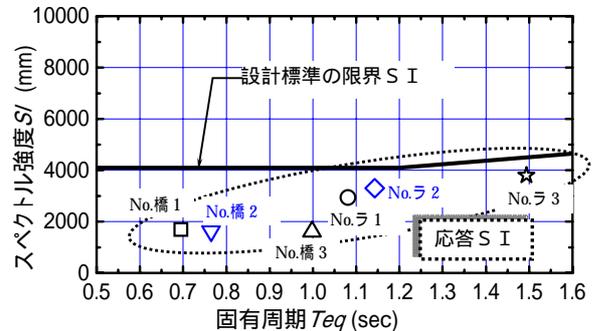


図3 L1 地震動に対する列車走行安全性照査結果

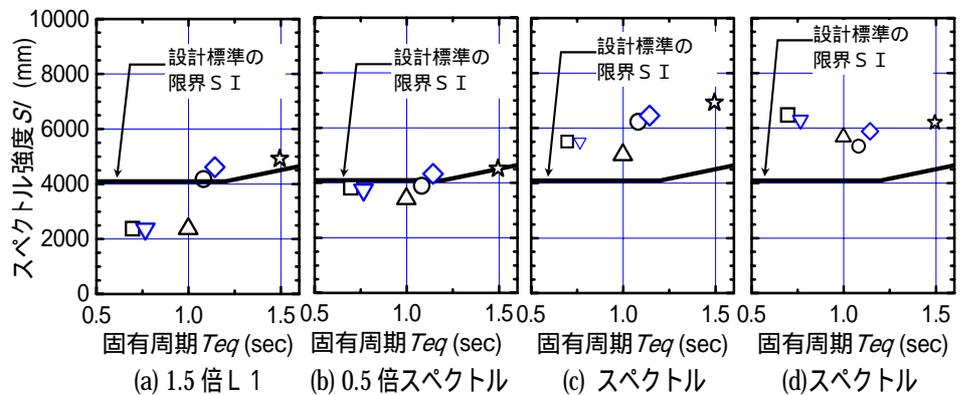


図4 L1 を超える地震動に対する列車走行安全性照査結果

< 参考文献 >

- 1) 羅休：スペクトル強度による地震時列車走行性の簡便照査法、鉄道総研報告、Vol.16、No.3、pp.31-36、2002 年 3 月。
- 2) LUO Xiu：Study on Methodology for Running Safety Assessment of Trains in Seismic Design of Railway Structures, Journal Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 25, Elsevier Science Ltd., pp.79-91, 2005.3.
- 3) 宮本岳史、石田弘明、松尾雅樹：地震時の鉄道車両の挙動解析（上下、左右に振動する軌道上の車両運動シミュレーション）、日本機械学会論文集（C編）、64 巻 626 号、pp236-243、1998 年 10 月。
- 4) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（変位制限）、2006 年 2 月。