

鉄道橋の免震構造化および地震時の軌道拘束力を考慮した動的挙動

J R東海コンサルタンツ(株) 正会員 岩田 秀治
京都大学 大学院工学研究科 フェロー 家村 浩和
東京工業大学 工学部 正会員 市川 篤司
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 村田 清満
日本鉄道建設公団 設計技術室 正会員 保坂 鐵矢

1. はじめに

鉄道構造物の耐震基準が、都市直下型地震動に対応し最新技術を取り入れた形で、改訂され運輸省から通達された（以下、耐震標準）。¹⁾ 鉄道橋の免震化については、従来からゴム支承・ダンパーなど免震効果のあるものを用いていたが、現在まで基準規定類には明確に「免震設計」という言葉がなく、地震の揺れに「耐える」設計から揺れを「免れる」設計思想は、今回の耐震標準の解説に初めて記述された。その耐震標準を受けて、具体的な形で明確に、免震構造を取り入れていく研究が急務となっている。しかし、鉄道橋では常時・L1地震時に列車走行安定性を確保する必要があり、また軌道構造を動的挙動に評価することに関して未解決な部分があることなど、道路橋で採用されている免震設計と比較して、解決しなくてはならない鉄道固有の問題がいくつかあることも事実である。

以下、免震支承を適用し柔らかく橋桁を支持する鉄道橋の免震構造化及び、従来の固定・可動の橋梁構造で、あまり問題にならなかった軌道構造の拘束力が、構造物に与える影響と、その動的挙動について述べる。

2. 鉄道橋への免震構造化

鉄道橋では、従来からゴム支承に着目し、国鉄時代から免震設計の前段とも言える水平力分散設計が行われてきた（図-1）。免震化へのアプローチとして、耐震標準では、鋼鉄道橋へのゴム支承の適用の拡大を図るとともに、「地震時の水平力分散設計」と「免震設計」と区別し、当面、以下に示すような考え方で設計を行うこととしている。

ゴム支承とダンパー式ストッパーによる水平力分散設計

積層ゴム支承（RB）のせん断変形による水平力分散設計

鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）・高減衰積層ゴム支承（HDR）等の免震支承による水平力分散設計

- ・長周期化と減衰性能による地震時の水平力の低減は行わない。当面、支承の免震性能は設計上の余裕代として考える

免震支承等を用いる免震設計

- ・免震設計の採用を制限はしないが、非線形動的解析などにより免震効果を把握するとともに、減衰定数など材料特性の信頼性の確認等の特別な検討を行う

鉄道橋の免震化には、常時・L1地震時における列車走行安定性をいかに確保するかと、軌道構造が動的挙動にどのように影響するか等の解明が必要である。橋軸直角方向は、移動制限装置などを用い、軌道設備の機能を維持し固定させる。また、橋軸方向は、常時・L1地震動での橋桁の変位を遊間などで吸収、かつレールの座屈防止を図り、列車走行安定性を確保できれば固定拘束の必要はない。この際、列車走行安定性の評価として、ゴムの鉛直剛性、橋桁の剛性を考慮した走行シミュレーションの検証も必要と考える。

3. 軌道の拘束力が免震効果に及ぼす影響とその動的挙動

軌道の拘束力は、少なくとも固有周期などの構造物の特性に影響を与え、その拘束力の大きさにより免震効果を促進する働きと打ち消す働きの双方の作用が考えられる

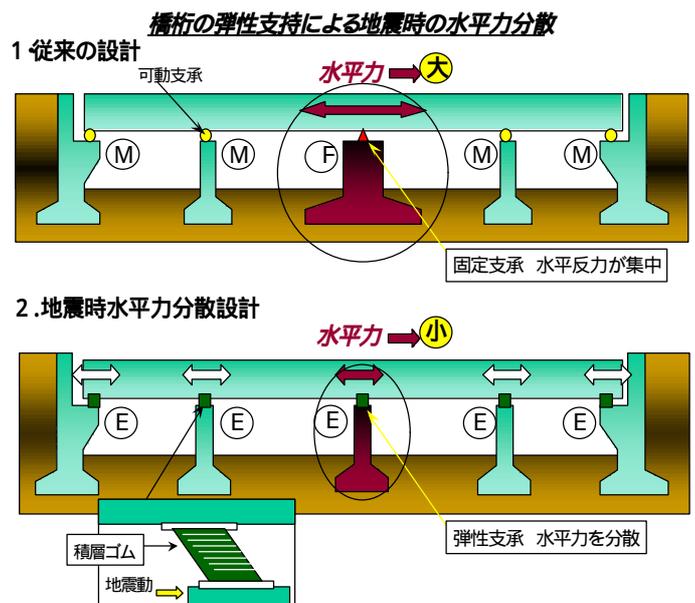


図-1 水平力分散設計の利点

キーワード : 免震構造, 鉄道橋, 耐震設計, 列車走行安定性, 軌道拘束力

連絡先 : J R東海コンサルタンツ(株) 〒460-0008 名古屋市中区栄 2-5-1 Tel:052-232-4125, Fax:052-232-4129

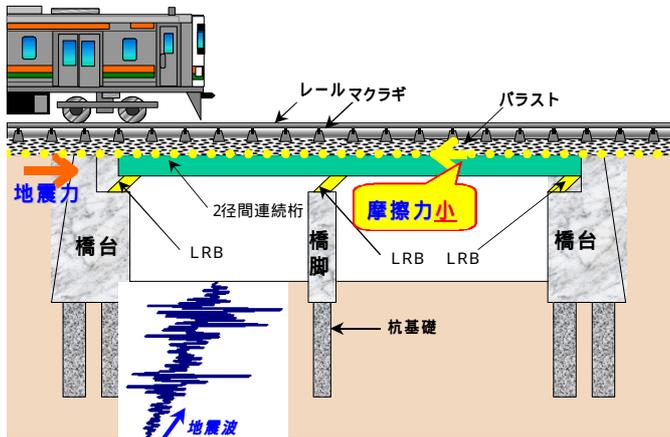


図 - 2 免震効果が付加される場合（摩擦力小）

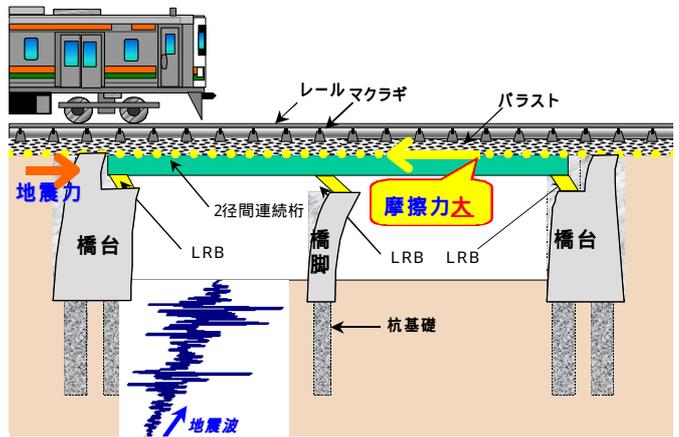


図 - 3 免震効果が減少される場合（摩擦力大）

(図 2, 3). 図 5 は, 図 4 の非線形動的解析モデルにおいて, 拘束力を摩擦力と仮定し変化させた時の支承の相対変位と橋脚の加速度応答値である. 支承の相対変位は, 軌道の拘束力が 1.0tf/m 程度までは顕著に, その後は微量に減少すること, また, 橋脚の加速度応答値は, 2.0tf/m 程度まで減少し, その後増加する. このように軌道構造が動的挙動におよぼす影響は大きい. 一般に 2.0tf/m 程度以上でレールはレール締結装置から滑る構造になっているが, 何らかの条件で軌道構造が強固に拘束されることや, 遊間の目詰まりなどもあるため, 免震効果を発揮できるように構造細目など配慮する必要がある.

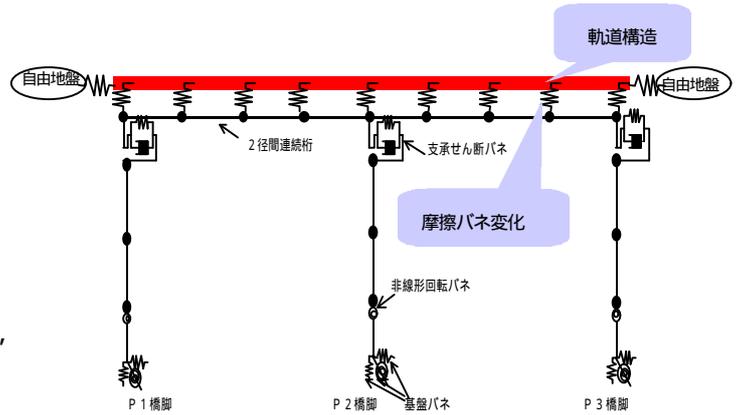


図 - 4 非線形動的解析モデル

- ・構造: 単線 2 径間連続桁, RC 橋脚
- ・解析方法: 非線形動的解析 (時刻歴)
- ・入力地震波: 新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料 (平成 8 年 3 月): G_{max} 波
- ・支承部: 鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB)
 $300 \times 300\text{mm}$, ゴム厚 $6\text{mm} \times 6$ 層, 鉛プラグ $4 - 40$ $G = 8\text{kgf/cm}^2$,
 等価剛性 280tf/m , 降伏荷重 4250kgf/cm^2 ,
 1 次剛性 1600kgf/cm^2 , 2 次剛性 10300kgf/cm^2 , 等価減衰定数 0.24

4. 鉄道免震橋の今後の課題

- (1) 多様な軌道種類を考慮した動的挙動の把握と, 列車走行安定性と免震効果を定量的に解明する必要がある.
- (2) 鋼板巻きなど部材レベルでの補強に加え, 基礎構造も含んだ構造系全体の耐震性能の向上を図る補強として既存構造物への免震化 (レトロフィット) も重要課題である.
- (3) 鉄道固有の列車走行安全性を確保しつつ, L1 地震動レベルまで拘束するが, L2 地震動以降においては, 免震効果を発揮させる鉄道用の移動制限装置の開発も重要である.

5. あとがき

軌道構造の影響を含めて, 理想的な鉄道橋の免震構造化には, まだ解明しなくてはならない課題もあるが, 今後, 研究・検討を重ね, 免震鉄道橋が本格的に採用できるよう, 鉄道構造物の耐震性能の向上・高性能化に努めたい.

最後に, 列車走行安定性に関しては芝浦工業大学 松浦章夫教授に, 免震構造の動的挙動に関しては東京工業大学 川島一彦教授にご指導を頂き, また, 多くの方々にご支援, ご協力を頂きました. ここに深く感謝の意を称します.

【参考文献】

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 (耐震設計), 運輸省鉄道局監修, (財)鉄道総合技術研究所編, 平成 11 年 10 月
- 2) 岩田秀治, 市川篤司, 保坂鐵矢: 鉄道橋の免震構造化の取り組みと課題, 土木学会 地震工学委員会 減震・免震・制震小委員会「橋梁と地下構造物の免震・制震」講習会, pp.181 ~ 190 1999.5

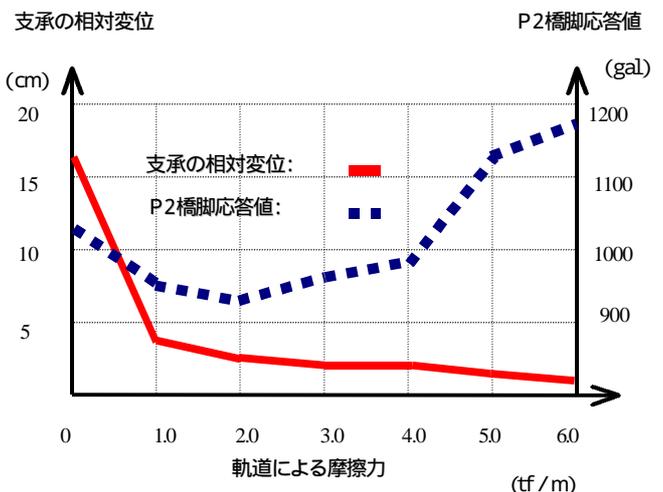


図 - 5 軌道構造の拘束力の影響と構造系の免震効果

<解析結果>
 軌道構造等による摩擦力が免震効果を促進する場合
 拘束力が 1 軌道延長単位長さあたり 2tf/m 程度以下であれば, 免震支承等の免震効果に加え, 拘束力が摩擦減衰効果となり, より免震性が増大する. また, 2 ~ 4.5tf/m ではその影響は均衡状態であると考えられる.
 軌道構造等による摩擦力が免震効果を打ち消す場合
 拘束力が 1 軌道延長単位長さあたり 4.5tf/m 程度以上の場合, 拘束力が大きすぎ上部工が固定化される状態になる. この場合免震支承等による免震効果は十分に発揮されない