

地震時水平力分散構造における列車通過時のゴム支承の圧縮変位に関する検討

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 山口慎 池田学 谷口望 相原修司
 （独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 鈴木喜弥 藤原良憲 菅原篤

1. はじめに

最近の鋼鉄道橋では、連続桁構造としてゴム支承を用いた地震時水平力分散構造とする例が増えている。列車通過時のゴム支承の挙動に関しては、例えば文献¹⁾に高速走行時の測定結果が報告されているが、測定事例は少なく十分に解明されたとは言えない。特に、ゴム支承を用いた鉄道橋では、桁が弾性支持された状態となることから、列車走行性に対する配慮を十分に行う必要がある。

本論文では、まず列車通過時のゴム支承の鉛直変位を測定した結果を述べ、さらに列車走行シミュレーション解析を行いゴム支承の鉛直変位挙動の列車走行性への影響について検討した結果を述べる。

2. ゴム支承の鉛直変位測定概要

測定した橋梁は、つくばエクスプレス大場川橋梁で、スパン67.7mの単純桁である。主桁は複線1BOX構造であり、曲線半径 $R=820\text{m}$ の曲線桁構造となっている。支承には鉛プラグ入り積層ゴム支承が用いられている。ゴム支承は $1220\text{mm} \times 1220\text{mm}$ ($29\text{mm} \times 6$ 層)を用いており、最大反力は 7282kN である。

図1にゴム支承の鉛直変位の測定箇所を示す。測定は、起点方の支点は上り線側（内軌側）および下り線側（外軌側）、終点方の支点は下り線側のみ行っている。起点方の下り線側のゴム支承には4箇所計測しており、三次元的な挙動も捉えることができるようにしている。ここ

では、主に起点方のゴム支承に着目する。

3. ゴム支承の鉛直変位測定結果

ゴム支承の鉛直変位の測定値には、ゴム支承自体の圧縮変形と桁の鉛直たわみに伴うゴム支承の回転変形が含まれている。そこで、測定変位を平均化することによってゴム支承の圧縮変形量を求めた。各列車速度における起点方ゴム支承の圧縮変形量の最大値を図2に示す。120km/hまでの範囲では速度による影響はほとんど認められず、動的な影響は小さいと考えられる。図には、列車荷重（衝撃は含まない）による圧縮変形量の計算値も記している。この計算値は上下線の支点反力は均等と仮定して算定したものであるが、それでも測定結果は全て計算値より小さい値となっている。また、上下支点の分担比は、上り線（内軌側）通過時は、低速域では0.95:0.05、速度が上がるにつれ概ね6:4~7:3になっているのに対し、下り線（外軌側）通過時は、下り線側のゴム支承でほぼ100%負担する結果となっている。この両者の相違は、下り線通過時には遠心荷重により外側に荷重がかかるようになることが原因と考えられる。

4. 列車走行シミュレーション解析の概要

列車走行シミュレーション解析^{2),3)}により、本橋梁の列車通過時の解析を行った。図3に概念図を示す。本解析では、構造物を平面骨組モデルにモデル化（桁は梁要素、

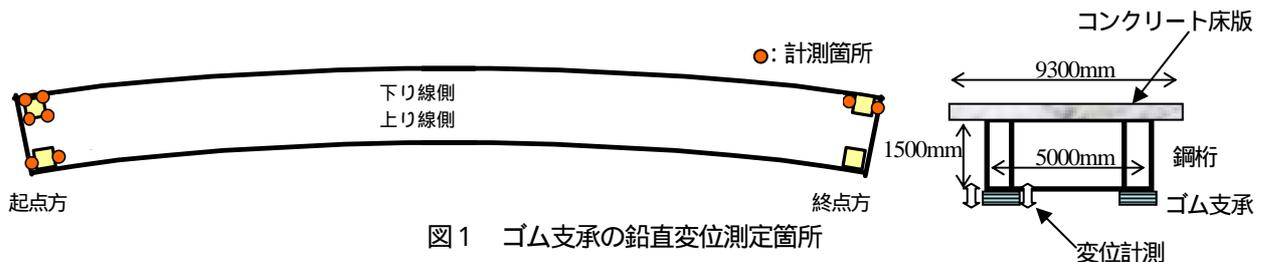


図1 ゴム支承の鉛直変位測定箇所

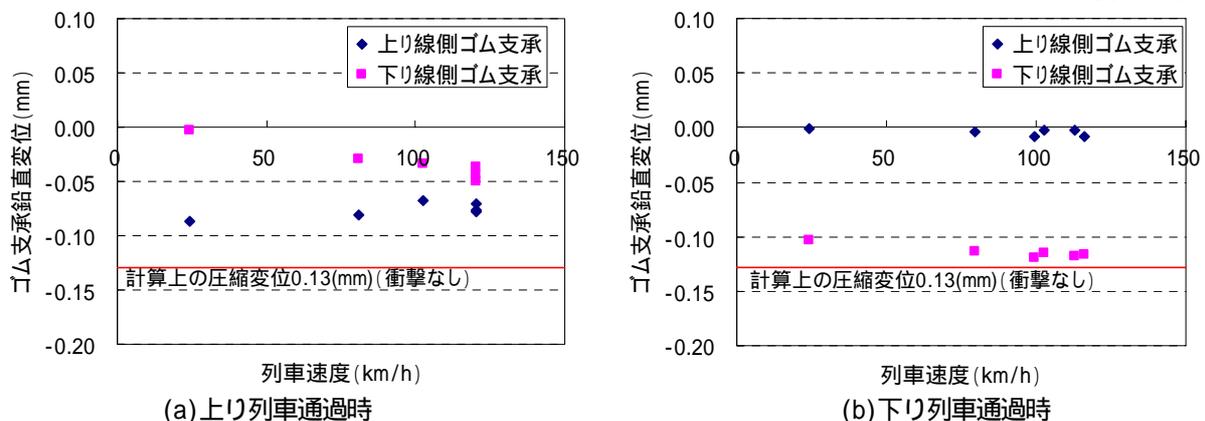


図2 ゴム支承の圧縮変形による鉛直変位の最大値

キーワード：地震時水平力分散構造，鉛プラグ入り積層ゴム支承，実橋測定，列車走行性

連絡先：（財）鉄道総合技術研究所 鋼・複合構造（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 TEL042-573-7280）

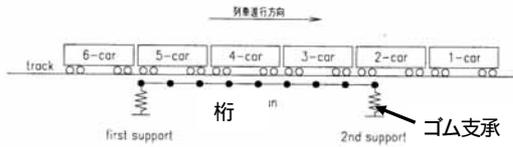
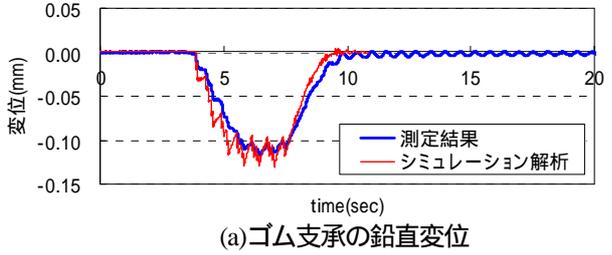
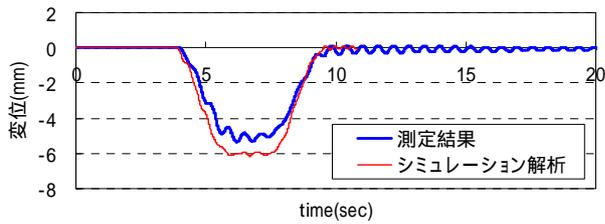


図3 列車走行シミュレーション解析の概念図



(a) ゴム支承の鉛直変位



(b) 桁の鉛直たわみ（桁端から11.4mの位置）

図4 シミュレーション解析と測定結果の比較
（下り線列車速度116km/h）

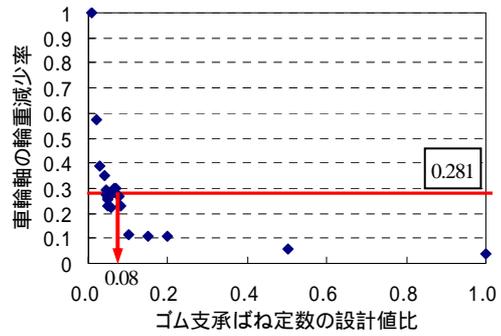
ゴム支承はばね要素)し、それ上をばね・マスモデルにモデル化した車両が等速度で走行する際の構造物と車両の動的相互作用を考慮している。詳細は文献2)による。

なお、本橋梁は曲線桁であるが、測定ではねじれの影響は小さいものであった。そのため、平面モデルでも実挙動をほぼ再現できると考えられる。桁剛性は、文献4)の検討結果をもとにスパン中央のたわみや断面内のひずみ分布をほぼ再現できる値を用いた。また、ゴム支承は、測定結果では下り線通過時に下り線側の支承のみで受ける挙動を示していたことから、ゴム支承1基分のばね特性を設定した。なお、鉛プラグ入り積層ゴム支承の圧縮ばね定数は設計値より高めの値を示すことから、解析では設計値の2倍のばね定数に設定した。列車は、標準的な通勤用電車の諸元をもとに、測定列車の軸配置と軸重に合わせた。

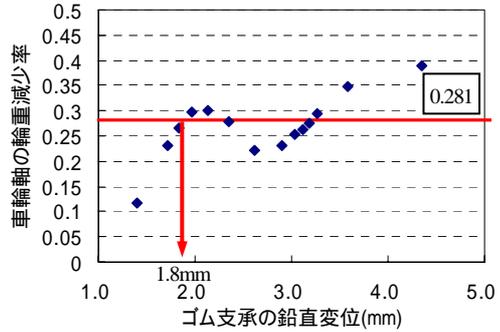
5. ゴム支承の鉛直変位の列車走行性への影響

列車速度120km/hにおける測定結果と解析結果の比較を図4に示す。ゴム支承の鉛直変位と桁の鉛直たわみはほぼ実挙動に一致しており、解析の妥当性が確認できる。なお、ゴム支承の鉛直変位波形は解析の方が凹凸が大きく現れているが、これはモデル化上車輪の通過に伴う影響が直接的にゴム支承に作用するためである。

次に、ゴム支承のばね定数を種々設定し、列車通過時のゴム支承の圧縮変形量を変化させて、列車走行性への影響について検討を行った。このような場合の列車走行性の評価には、一般に輪重減少率が用いられる。輪重減少率とは、静的な輪重に対する輪重抜けの割合であり、



(a) ゴム支承のばね定数と輪重減少率の関係



(b) ゴム支承の鉛直変位と輪重減少率の関係

図5 ゴム支承鉛直変位の列車走行性への影響

この値が大きいほど走行安全性が低下する。輪重減少率の限度値としては従来より0.281（A限度値）が用いられており、本解析でもこれを適用する。列車速度は120km/hに設定した。

図5に、解析結果の各車輪軸の輪重減少率の最大値を整理して示す。横軸は、(a)ゴム支承のばね定数の設計値に対する比、(b)ゴム支承の鉛直変位をとっている。図より、本橋梁の場合、ゴム支承のばね定数が設計値の0.08倍、列車通過時のゴム支承の鉛直変位では1.8(mm)まで所要の走行安全性を満足できることがわかる。測定結果ではゴム支承の鉛直変位は最大0.1(mm)程度であることから、本橋梁では列車走行性に関して十分に余裕があると考えられる。

6. まとめ

本橋梁の列車通過時のゴム支承の鉛直変位は非常に小さく、列車走行性への影響は小さいものと考えられる。また、シミュレーション解析より、ゴム支承の列車通過時の鉛直変位が2mm程度まで列車走行性を確保できることを確認した。

[参考文献]

- 1) 池田他：地震時水平力分散構造における列車通過時のゴム支承の鉛直変位の測定，第59回土木学会年講，2004.9
- 2) 光木他：ゴム支承を用いた連続合成桁の高速車両走行性に関する研究，第52回土木学会年講，1997.9
- 3) 池田他：ゴム支承を適用した連続鋼トラス橋の列車走行性に関する検討，第56回土木学会年講，2001.9
- 4) 藤原他：鋼鉄道橋の非合成部材の合成効果に関する測定（その2），第60回土木学会年講（投稿中），2005.9