

Ⅳ-420

軌道ばね係数と鉄道車両の各部重量が地盤振動に与える影響

JR東海 技術本部 正会員 三輪 昌弘

1. まえがき

近年、軌道破壊の低減や鉄道沿線の騒音、地盤振動の改善を目的とした、軌道の低ばね係数化に関する研究や現地試験がなされ、一定の効果が確認されている。その反面、軌道の低ばね係数化にともなう短所として、レール拘束力の低下によりレール振動が増大し、総合音に対する影響は少ないもののレール近傍音がいくらか増加することも同時に報告されている。本稿では、軌道と車両の境界問題としてこれらの相互作用に着目し、軌道の極端な低ばね化が、一部の地盤条件下で特定周波数域の振動を増大させる場合があることを述べる。ここでは4種類の軌道ばね係数を考え、車両のばね下、ばね間重量、あるいは軸重と振動周波数との関係を在来線における実測結果から考察する。そして、軌道の低ばね化効果を振動モデルの数値解析によって予測する場合、移動するスタティックな列車荷重列による起振に着目するのみでは必ずしも十分ではなく、軌道と車両が連成した振動系に着目することの必要性を明らかにする^{例えは1,2)}。

2. 軌道条件

試験軌道はラーメン高架橋区間に敷設され、当該箇所の運転最高速度は120 km/hである。種類は、有道床弾性まくらぎ+低ばね係数パラストマットの有道床軌道（以下、A 軌道）、防振スラブ形式の直結軌道（B 軌道）、弾性まくらぎ直結形式（C 軌道）、けた式スラブ形式（D 軌道）で、いずれも高架橋1ブロック以上の延長を確保した。これらの軌道ばね係数の実測値を表-1に示す。D 軌道は単純梁構造であるため、支間中央部（中）と端部（端）それぞれの値を示している。A 軌道とB 軌道のばね係数では実に5倍以上の違いがあり、振動周波数に関する寄与を明確にするうえで非常に有利である。

表-1 試験軌道の軌道ばね係数

軌道種類	軌道ばね係数(MN/m)
A 軌道	25
B 軌道	134
C 軌道	45
D 軌道(中)	52
D 軌道(端)	82

3. 試験結果

測定結果の一例として、311系電車を被験車両とした場合について述べる。関係する主な車両諸元を表-2に示す³⁾。ただし、ここでは編成の中で軸重が最大となる車両の値を選んでいる。

表-2 被験車両の主要諸元（重量については1台車あたり）

車種	台車形式	軸距 (mm)	軸重 (kN)	軸ばね上下ばね係数 (kN/m/片側)	ばね間重量 (kN)	ばね下重量 (kN)
311系	C-DT56	2,100	106.5	1,340	33.6	27.54

図-1に、速度83~117（平均102）km/hの8列車平均の、高架橋柱下部位置および12.5 m離れた位置での地盤の振動レベルと、それぞれの1/3 oct周波数分析結果を示す。縦軸1目盛りは10 dBで、高架橋柱と地盤とでベースラインのレベル値は一致させてある。高架橋柱下部では、軌道ばね係数の一番低いA 軌道がO.A 値で最も低く、軌道ばねが高くなるにしたがって順にO.A 値も増加しており、低ばね化の効果が現れている。しかし、地盤に至るとA 軌道のO.A 値が、わずかな差ではあるが逆に最大となっている。地盤における卓越周波数を調べると、1番目の12.5 Hz付近のピークではなく、2番目の31.5 Hz付近のピークが逆転の原因であることが理解される。高架橋柱においても同様に、O.A 値にはあまり影響を与えていないまでも、31.5 Hz前後でA 軌道の値が他を上回っている。この付近の地盤特性は、高架橋柱から地盤12.5 m地点に振動が伝播する過程で、10~16 Hz帯で見かけの増幅作用がみられるものの、いま問題としている31.5 Hz付近では一定の減衰が図-1の比較から読みとれる。

キーワード：軌道ばね係数、地盤振動、車両ばね下重量、相互作用、境界問題

連絡先：〒103 東京都中央区八重洲1-6-6 TEL 03-3274-9569 FAX 03-3274-9570

高架橋柱下部について、全軌道の周波数毎の平均値を縦軸の原点にとり、これと各軌道との差をプロットしたものを図-2に示す。高架橋床版から高架橋柱下部までの伝達関数が、測定箇所にかかわらず等しいと仮定すれば、グラフで下に位置するほど防振性能に優れていることを表している。

軌道ばね係数を k_1 、台車軸ばね係数を k_2 、車両ばね下の1車輪あたり質量を

m_1 、1車輪あたり中間質量を m_2 、軸重の半分すなわち輪重の質量換算値を M とするとき、各々に対して式(1)～(3)で計算される固有振動数を表-3に示す。

$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1}{m_1}} \quad (1), \quad \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{2} \frac{k_2}{m_2} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{(k_1 + k_2)m_2 + k_2 m_1}{m_1 m_2} \right)^2 - 4 \frac{(k_1 + k_2)k_2 - k_2^2}{m_1 m_2}}} \quad (2), \quad \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1}{M}} \quad (3)$$

図-2と表-3の比較より、表-3のばね下の関係する固有振動数が図-2の卓越周波数とおおよそ一致していることがわかる（ただし、C軌道については不明確である）。ばね間+ばね下では、このような関係はあまり明解ではない。軸重については、荷重列の移動による加振力として大きな役割をはたしているが、軌道ばねとの組合せで構成される振動系としての影響は特に認められない。

4. まとめと今後の課題

車両のばね下重量が、地盤振動に一定の影響を及ぼすことが現地試験によって確認された。軌道ばね係数の低下は、構造物音や保守量の低減などのメリットがあるが、極端な場合は他方で地盤振動の微増を伴うこともあり得る。特に、有道床弾性まくらぎと低ばね係数バラストマットを併用するような場合には、周囲の地盤の振動伝播特性を調べ、低ばね化による得失を考慮した方がよい。

ここでは在来線の場合を述べたが、今後、新幹線

に関しても同様の現象が生じているのかを確認する予定である。特に、300X新幹線試験では車両ばね下重量等の変更試験が計画されており、さらに興味深い結果が導き出せることに期待を寄せている。

参考文献

- 1) 三浦：低ばね係数軌道の防振特性解析，鉄道総研報告 Vol. 4 No. 12, 1990
- 2) 吉岡・芦谷：軌道の支持ばね係数低下が地盤振動低減に与える効果，鉄道総研報告 Vol. 5 No. 9, 1991
- 3) 鉄道車両のダイナミクス研究分科会成果報告書，日本機械学会，1991

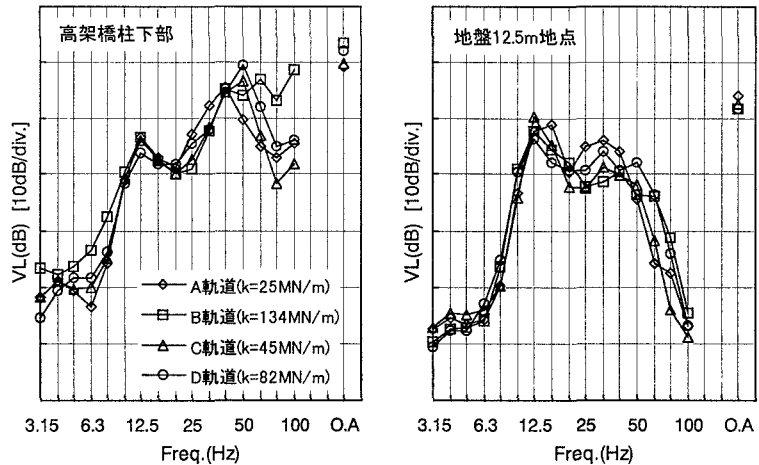


図-1 高架橋柱下部（左）と地盤 12.5m 点（右）の振動レベル

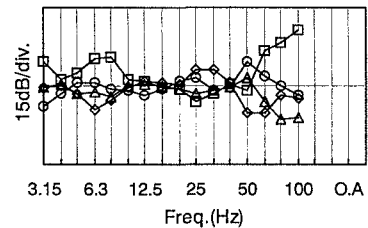


図-2 高架橋柱下部の軌道の違いによる振動レベル差

表-3 車両各部の重量と軌道ばねで構成させる振動系の固有振動数(Hz)

	A 軌道	B 軌道	C 軌道	D 軌道(中)	D 軌道(端)
ばね下	30	70	41	44	55
ばね間+ばね下	22	50	29	31	39
軸重	11	25	15	16	20