

I - B226

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

日本鉄道建設公団	正会員	光木	香
日本鉄道建設公団	正会員	保坂	鐵矢
金沢工業大学	正会員	松浦	章夫
鉄道総合技術研究所	正会員	市川	篤司
パシフィックコンサルタンツ		松尾	仁

1. はじめに

ゴム支承の採用は、橋梁にとって多くの利点を与えるが、鉄道橋の場合では列車の走行に及ぼす影響を十分に検討しておく必要がある。本報告では、ゴム支承を用いた連続合成桁に高速列車が走行・載荷する場合の動的影響を求める実用的なシミュレーション手法を誘導し、実際の設計に対してそれを適用した例を示す。

2. 解析手法の概要

通常の有限要素法解析により、構造物全体の剛性及び質量マトリックスを求める。この際に、支承部ゴムの鉛直及び水平ばね特性は、有限要素法における鉛直部材の換算諸元によって与える。全体構造の中から鉛直成分のみを取り出した縮約マトリックスから固有ベクトル ϕ_i 及び固有振動数 ω_i を計算し、さらに縮約マトリックスから車輪軸の走行軌跡に直接関係する節点のみを取り出し、節点変位内挿関数ベクトル $F(x)$ 、固有ベクトル内挿関数ベクトル $G_i(x)$ を求める。動的たわみベクトルは、(1)式である。

$$y = y_s + \sum_i (f_{di} - f_{si}) \phi_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 y_s は車両の進行とともに変化する静的たわみベクトル、 f_{di} 、 f_{si} は i 次モードに対応する動的及び静的変位である。これらは、桁の i 次減衰定数 ζ_i 、支承部の等価減衰定数 C_{sei} 、等価質量 m_{ei} 、動的節点荷重ベクトル Y_d 及び静的節点荷重ベクトル Y_s を用いて、(2)式で計算される。

$$\ddot{f}_{di} + (2\zeta_i \omega_i + C_{sei}/m_{ei}) \dot{f}_{di} + \omega_i^2 f_{di} = \phi_i^T Y_d / m_{ei} \quad , \quad \omega_i^2 f_{si} = \phi_i^T Y_s / m_{ei} \quad \dots\dots (2)$$

これらから、車輪軸配置に対応する動的移動荷重列 P_{diw} 及び静的移動荷重列 P_{siw} が速度 v で走行する場合に対して、動的節点荷重ベクトル Y_d 及び静的節点荷重ベクトル Y_s が(3)式で表される。

$$Y_d = \sum_i G_i(x_{iw}) P_{diw} \quad , \quad Y_s = \sum_i G_i(x_{iw}) P_{siw} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、車輪軸の配列を s_{iw} 、 i_w 車輪軸の位置 $x_{iw} = vt - s_{iw}$ 、軌道の高低狂い波形関数 $w(x)$ とすると、 i_w 車輪軸の走行軌跡は、 $y(x_{iw}) = y^T F(x_{iw}) + w(x_{iw})$ となり、これが走行車両の強制入力変位となる。

3. 適用例

3.1 適用橋梁及び解析モデルの概要

北陸道 B v の概要図を図-1 に示す。上部工は全長 247.0m、スラブ軌道直結式の 4 径間連続部分合成桁、下部工は S R C 門形ラーメン橋脚 (P4, P6, P7) 及び R C 橋脚 (P5, P8) を想定している。

次に、本橋梁の解析モデルの概要を述べる。節点数は 46、節点間隔は約 6.4m、要素断面積は 0.429~0.512m²、断面 2 次モーメントは 0.656~0.965m⁴、桁部の節点質量は約 65t、ゴム支承のばね定数は、P4, P8 で 2.352 × 10⁶kN/m、P5, P6, P7 で 6.713 × 10⁶kN/m、S R C 門形ラーメン橋脚等価質量は約 300t、及び等価鉛直ばね定数は 7.0 × 10⁶kN/m である。桁部減衰定数は 0.05 として、全体として単線分を考えることとする。

走行する列車は、1 車両 10 自由度（車体の上下、ピッチ、台車の上下、ピッチ及び車輪軸の上下）の 200 系 12 両編成列車として、軌道には過去に得られた空間周波数 f_r に対応する軌道狂いスペクトル密度、 $a \times 10^{-n} / f_r^m$ (a, m, n は軌道狂いパラメータ) から任意波形を抽出して用いる。また、走行面と各車輪との間には軌道の弾性を考慮したばねを挿入し、局部的な段落ち・目違い部には 3 次平滑化曲線を挿入した。

3.2 解析結果と考察

図-2 の上段に、走行速度 250km/h、軌道狂いを考慮しない場合の 1 両目の後部台車前輪軸の輪重減少率の時刻歴応答波形を示す。このように、桁のたわみによる車体の上下動に伴う輪重変動が優勢ではあるが、P4 に進入する瞬間に鋭い輪重減少が発生しているのが見られる。しかし、輪重減少率の最大値は 0.053 であり走行上の問題はない。同図下段に軌道狂いを考慮した場合の同条件下における結果を示す。軌道狂いパラメー

キーワード：ゴム支承、連続合成桁、車両走行性

〒100 東京都千代田区永田町 2-14-2 Tel 03-3506-1860 Fax 03-3506-1891

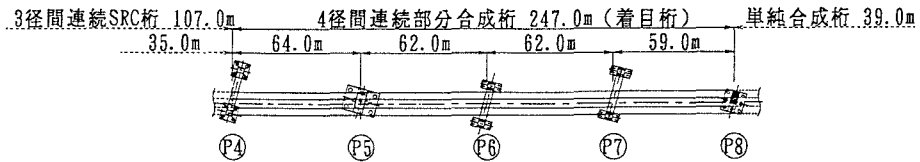


図-1 北陸道 Bv の概要図

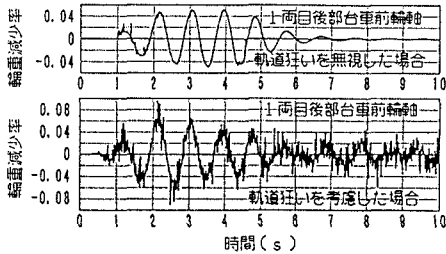


図-2 輪重減少率の時刻歴応答波形

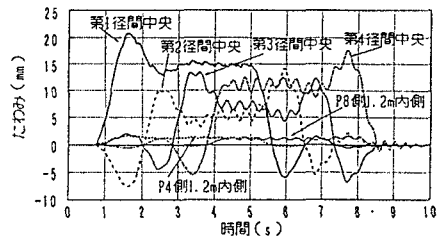


図-3 たわみの時刻歴応答波形

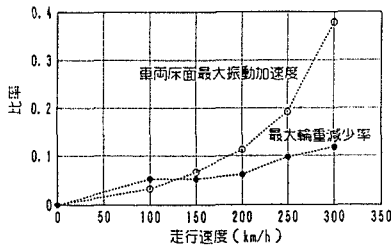


図-4 車両床面の最大振動加速度

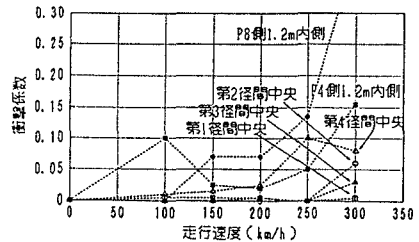


図-5 たわみの動的増加率（衝撃係数）

タは $\alpha = 1$, $n = 9$, $m = 3$ とした。このように橋端部通過時の輪重変動は軌道狂いによる輪重変動の中に含まれ、両者の差は明確に判別できない。図-3 に同条件における桁のたわみの時刻歴応答波形を、図-4 に走行速度 100～300km/h における車両床面の最大振動加速度、最大輪重減少率、図-5 に桁のたわみの最大値を走行速度ゼロの値に対する割合で整理した結果を示す。最大振動加速度及び最大輪重減少率は速度増加とともに大きくなり、振動加速度は 300km/h 走行時に 0.379g とかなり大きい、作用時間は極めて小さく波形のピークは平均的には 0.2g 程度である。車両の走行安全の指標の一つである最大輪重減少率は 0.118 と、通常限界値とされる 0.25 よりも小さい。一方、桁のたわみに関しては、ゴム支承桁の特性を顕著に表す桁端の目違い、すなわち P4 及び P8 直上のたわみには速度の効果はほとんど見られなく、ここにはその波形表示を省略したが、最大で 0.4mm であった。この値は現行設計標準の 1.5mm (260km/h) よりもかなり小さい。また、各径間中央のたわみは径間によって異なるが、走行速度による増加傾向が見られる。第4径間では、300km/h 走行時に衝撃係数 0.155 が現れている。

4. あとがき

支承部にゴムを用いた連続桁に高速列車が走行载荷する場合の動的影響を求める実用的なシミュレーション手法を誘導し、実際の概略設計で設定された諸元を用いた適用例を示したが、ここでは、鉛直面内における運動のみに限定している。実際の設計に当たっては、支承ゴムの弾性定数等を適切に評価する必要がある。今後、鋼桁のように桁重が軽量である場合、水平方向あるいはねじれなどの影響が大きい場合などに関して、このような車両走行性との関連性を中心にさらに検討していく必要がある。

参考文献 樽本・元井・松浦, 弾性支承桁と高速走行性車両との動的相互作用, 中部支部研究概要集 平成9年3月