

## 弾性支承を用いた桁の列車走行性に関する検討

鉄道総研 正会員○曾我部正道 鉄道総研 正会員 松本 信之  
 鉄道総研 正会員 村田 清満 鉄道総研 フェロー 涌井 一

1. はじめに 列車通過による構造物の変位・変形量は動的な軌道の狂いとして車両の振動を励起するため、走行安全性や乗り心地確保の観点から、現行設計標準には使用限界状態と位置づけられた桁のたわみ、角折れ、目違いの制限値が定められている。一方、近年、鋼鉄道橋におけるゴム支承の適用拡大や、鋼橋及びコンクリート橋におけるLRB等の適用事例が見られるようになってきた。こうした支承を用いた場合、桁本体のたわみとともに支承の弾性変形もまた、列車の走行性に影響を及ぼすと考えられるが、現行標準ではこれら両者の連成の影響を考慮して照査する規定とはなっておらず、走行シミュレーション解析等特別な検討を適用橋梁毎に行っているのが現状である<sup>1)</sup>。そこで本研究では、弾性支承を用いた桁のたわみ量の制限値について走行シミュレーション解析を実施し、その影響度を定量的に評価することとした。

2. 解析手法 (1) 車両モデル 図-1に車両モデルの概念図を示す。本検討では、車両の力学モデルに、剛体質点とした車体(5自由度)・台車(5自由度)・輪軸(2自由度)をバネ・ダンパで結合した車両モデルを用いた。ただし本検討では鉛直方向についてのみの検討となっている。

(2) 構造物モデル 図-2に構造物モデルの概念図を示す。構造物モデルには、現行標準との整合性を考慮して以下の簡易なモデルを用いた。桁のたわみ形状は、スパン長  $L_b$  を半波長とし、くぼみ量  $y$  を片振幅とする、振動しない剛な半正弦波くぼみとしてモデル化した。ただし、桁端部における曲率の不連続部には、桁端前後計 3.0mの区間にレール剛性と支持剛性を考慮した緩衝区間を挿入した。式(1)に桁端折れ角の緩和曲線を示す<sup>2)</sup>。

$$x \leq L_c \quad y = \frac{\theta}{4\beta} e^{\beta(x-L_c)} \{\cos \beta(x-L_c) + \sin \beta(x-L_c)\}, \quad x \geq L_c \quad y = \frac{\theta}{4\beta} e^{-\beta(x-L_c)} \{\cos \beta(x-L_c) - \sin \beta(x-L_c)\} + \theta(x-L_c) \quad (1)$$

ここに、 $L_c$ は緩衝区間の長さ、 $\theta$ は端部の折れ角、 $x$ は緩衝区間上の座標である。一方、弾性支承による支承部の変形量についても、従来の目違い量の検討を行った解析方法と同様に、ある一定の変形量に対するレール剛性と支持剛性を考慮した緩和曲線でモデル化した。式(2)に目違いの緩和曲線を示す<sup>2)</sup>。

$$x \leq L_c \quad y = \frac{h}{2} e^{\beta(x-L_c)} \cos(x-L_c), \quad x \geq L_c \quad y = \frac{h}{2} e^{-\beta(x-L_c)} \cos(x-L_c) - h \quad (2)$$

ここに、 $L_c$ は緩衝区間の長さ、 $h$ は目違い量、 $x$ は緩衝区間上の座標である。これらたわみによる桁端折れ角と目違いとを重ね合わせて弾性支承を有する桁上の軌道形状とした。

複数スパンが連続する場合には、図に示した半正弦波くぼみを繰り返し用いて構造物モデルとした。複数スパンの影響を考える場合、たわみによる桁と桁との連続部の影響についても考慮する必要があるが、複数連スパンの検討を行う場合には、第3スパンのたわみ量、支承部の変形量を4種類に分けて解析することとした。

(3) 評価指標 列車走行性の制限値は、走行安全性及び乗り心地から定められる。現行標準では前者に対しては輪重減少率で25%、後者についてはJanewayの乗り心地係数で1.5とが定められている。

3. 解析結果 (1) 単連の桁に関する検討 図-3に弾性支承が単連の桁の列車走行性に及ぼす影響を示す。桁のたわみ量

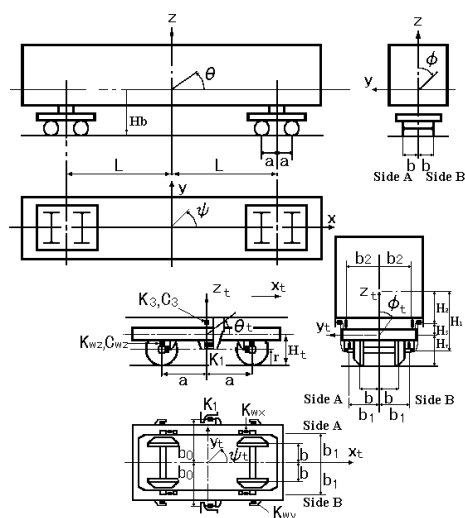


図-1 車両モデル

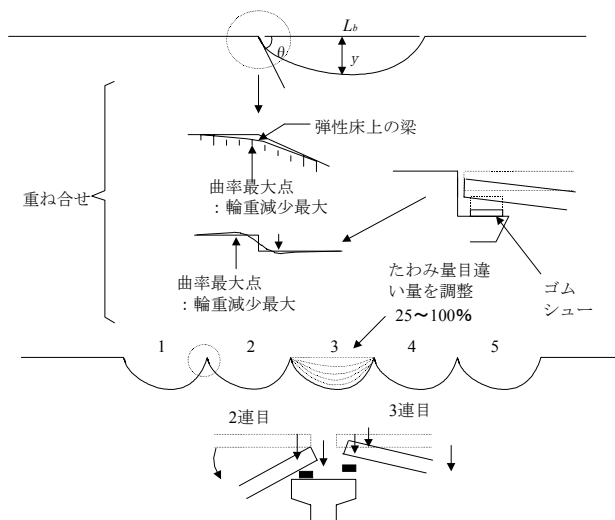


図-2 構造物モデル

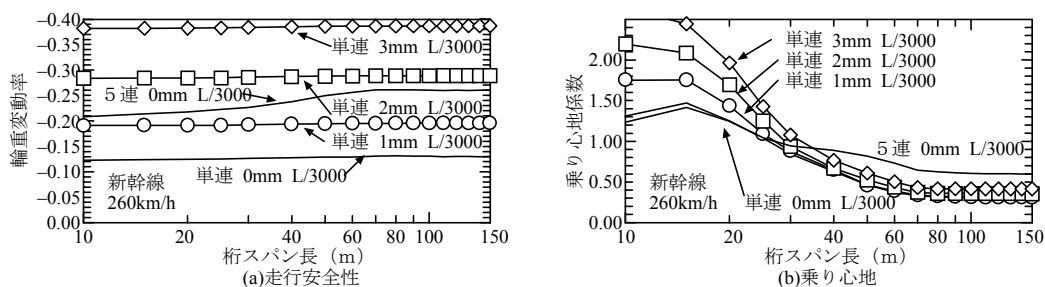


図-3 弾性支承が単連の桁の列車走行性に及ぼす影響

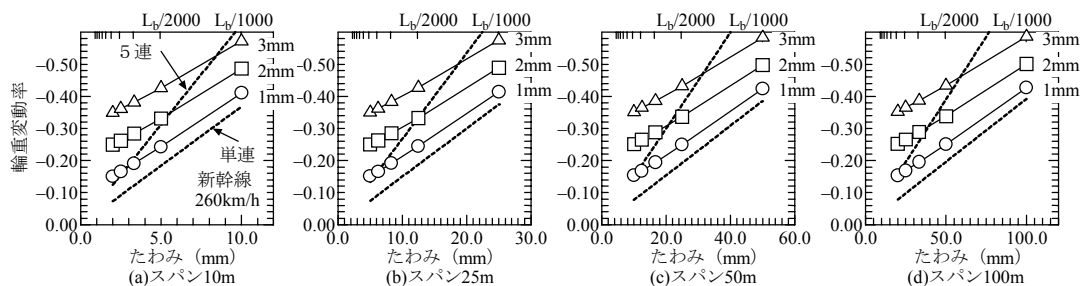


図-4 各スパン毎に定まる走行安全性の限度値

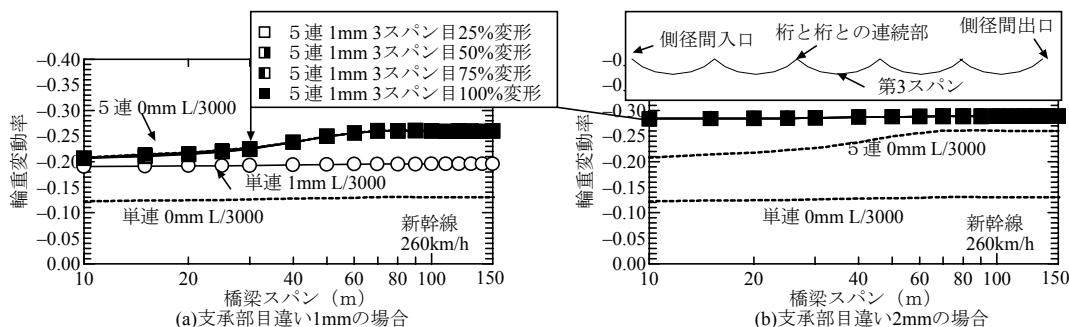


図-5 弾性支承が複数連の桁の走行安全性に及ぼす影響

を設計上、通常生じ得るレベルである  $L_b/3000$  に固定し検討した。同図(a)に示す走行安全性では支承変形量が  $2\text{mm}$  になると、スパン長によらず応答値が2倍となることが分かる。同図(b)に示す乗り心地は短スパンの桁で厳しい結果となった。これは、乗り心地基準が高周波数の応答に対して厳に設定されていることにも起因しているが、実設計では問題とならない範囲にある。

図-4に各スパン毎に定まる走行安全性の限度値を示す。弾性支承を有する桁の列車走行性は、実際には、各スパン毎に桁のたわみ量と支承の変位量の2種類のパラメータから定められる。

(2) 複数連の桁に関する検討 図-5に弾性支承が複数連の桁の走行安全性に及ぼす影響を示す。桁と桁との連続部では桁がたわんだ時に支承も変形するものとし、第3スパンにおいてたわみ量及び変形量を変化させて解析した。解析の結果、目違い  $1\text{mm}$  の場合、桁と桁との連続部を通過する場合の応答が支配的で、第3スパンの桁の変形量による違いは殆どなかった。

一方、目違い  $2\text{mm}$  で桁単連  $L_b/3000$  の輪重変動率の応答値は、5連の目違い無しの応答値を超えている。目違いが  $2\text{mm}$  の場合は、両側径間の入口と出口の弾性支承上を通過する場合の応答が支配的で、また、第3スパンの桁の変形量による違いは殆どなかった。なお、乗り心地については図-3同様、短スパン以外影響が見られなかった。

鉄道橋の支承の列車荷重による設計変形量は、 $1\text{mm}$  以内となる場合が多いようであるが、鋼橋の場合、横桁のたわみを含め比較的厳密な取り扱いがなされている。一方、コンクリート橋の場合、支承部の変位量の検討は省略され、桁のたわみ量の制限値のみが検討されている。本検討の結果に加え、桁のたわみの実測値やこれまでの支承の実績なども考慮すると、 $0.5\text{mm}$  程度までの支承部の変形量であれば、支承の影響の検討を省略しても良いと考えられるが、今後、こうした設計上の取り扱い等についても整理しながら新たな基準を整備して行く必要がある。

5. まとめ 弾性支承を用いた桁の列車走行性について数値解析により検討を行い、その影響度を定量的に評価した。現在、設計標準の性能照査型設計法への改訂作業が進められているが、本検討に基づき新技術を導入した支承に対応できるような評価方法として行きたいと考えている。また、水平方向角折れと目違いの連成などの問題についても、橋軸直角方向の免震設計等を視野に入れ、検討していきたいと考えている。

参考文献 1) 光木香, 保坂鐵矢, 松浦章夫, 市川篤司, 松尾仁: 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, 土木学会第52回年次学術講演会, 1997. 2) 佐藤裕, 平田五十: 構造物の変位とスラブ軌道, 鉄道技術研究報告, No. 801, 1972