

高速列車走行による開床式鉄道トラス橋の剛性評価に関する研究

株式会社トーニチコンサルタント 正会員 服部洋介
 芝浦工業大学 正会員 松浦章夫
 芝浦工業大学大学院 学生員 ○吉田 亮
 芝浦工業大学大学院 学生員 加賀谷綾

■ 序論

開床式下路鉄道トラス橋は通常、走行する列車荷重をレール、まくら木を介して直接に支える縦桁と、下横構などの床組構造、及び主構から構成される。

このような鉄道トラス橋の設計では、一般に床組自体の剛性を無視し、格点を摩擦のないピン接合として応力やたわみの照査が行われる。しかし実際には格点にガセットが用いられ、剛結に近い構造となっており、また、床組構造の全体剛性に与える影響が全くないとは考えられない。そこで本研究では、構造物及び車両の両者に3次元モデルを用いて、鉄道車両がある速度で構造物上を移動するときの構造物と車両の動的相互作用を精度よく求め、床組構造が全体剛性に及ぼす影響を検討する。

■ 鉄道車両の運動解析と有限要素法の連成

構造物の応答と鉄道車両の運動を連成させた場合、通常の有限要素法では、節点間を移動する荷重を直接的に扱うことは不可能である。従って本研究の解析手法では、軌道を表す要素に作用する車両の輪重、横圧及びねじりモーメントを、節点荷重及び節点モーメントとして要素を構成する2つの節点に配分する方法を採用し、節点間を移動する荷重に関する問題の解決を図った。要素の車輪軸位置に作用する鉛直方向荷重 P 、水平方向荷重 Q 及びねじりモーメント T は各輪重、各横圧の合力として定義され、次のように表される。

$$\begin{aligned} P &= -P_A - P_B \\ Q &= Q_A - Q_B \\ T &= -P_A R_{DA} - P_B R_{DB} - QR_{LV} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで図-1に示すように、 P_A 、 P_B は輪重、 Q_A 、 Q_B は横圧であり、 R_{DA} 、 R_{DB} 、 R_{LV} は部材中立軸とA側、B側レールとの距離を表す。次に、 P 、 Q 及び T を分配するために使用する形状関数を以下のように設定する。

$$\begin{aligned} F_i(x_p) &= 2x_p^3 - 3x_p^2 + 1, & S(x_p) &= -x_p + 1 \\ M_i(x_p) &= x_p^3 - 2x_p^2 + x_p, & M_j(x_p) &= x_p^3 - x_p^2 \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)の x_p は要素端点から車輪軸位置までの距離 x_{nw} と荷重が作用する要素の長さ L の比 ($= x_{nw}/L$ ($0 \leq x_{nw} < L$)) である。式(1)、(2)より、要素に作用する鉛直方向、水平方向荷重及びねじりモーメントを、形状関数を用いて節点 i 、 j に作用する節点荷重、節点モーメントに変換する。それらはベクトルの形で式(3)のように与えられる。

$$\begin{aligned} f_i &= \{0 \quad F_i(x_p) \cdot Q \quad F_i(x_p) \cdot P \\ &\quad S(x_p) \cdot T \quad -M_i(x_p) \cdot PL \quad M_i(x_p) \cdot QL\}^T \\ f_j &= \{0 \quad (1-F_i(x_p)) \cdot Q \quad (1-F_i(x_p)) \cdot P \\ &\quad (1-S(x_p)) \cdot T \quad -M_j(x_p) \cdot PL \quad M_j(x_p) \cdot QL\}^T \end{aligned} \quad (3)$$

これらの置換作業を行い、最終的に得られた各々の荷重を各々の節点に対して足し合わせたものが構造物の強制入力となる。

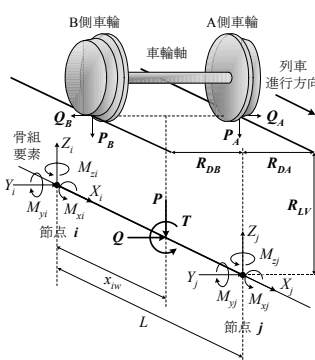


図-1 車輪・レール間モデル

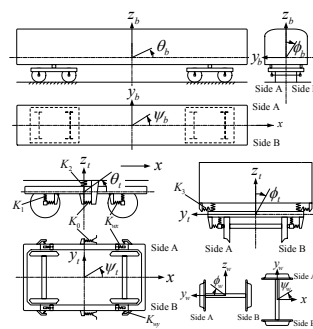


図-2 車両の三次元力学モデル

■ 車両の力学モデル

本研究で用いる車両モデルは、1車両あたり31自由度を有する3次元モデルとし、1つの車体、2つの台車枠、4つの車輪軸で構成されている。図-2に車両の三次元力学モデルの概要図を示す。車体、台車枠の自由度は、それぞれ重心位置で上下、左右方向、ローリング、ピッチング、ヨーイングの5自由度を有し、車輪軸は重心位置で上下、左右方向、ローリング、ヨーイングの4自由度を有する。

■ 解析対象橋梁と解析モデル

解析対象橋梁には、図-3に示すS橋梁を選定した。支間長180m、複線三径間連続溶接下路トラスである。解析モデルは図-4に示すように、複線分を考慮した立体骨組みモデルとし、総節点数128、総要素数329で構成される床組を考慮したモデルと、総節点数86、総要素数215で構成される主部材のみのモデルの2種類を作成し比較・検討を行う。

走行する列車は高速鉄道車両6両編成として下り線を走行するものとする。軌道狂いを考慮する場合においては、過去に得られた空間周波数に対応する軌道狂いスペクトル密度から高低狂い、水準狂い及び通り狂いを抽出して与えた。

キーワード 動的相互作用、高速鉄道、トラス橋

連絡先 〒108-8548 東京都港区芝浦3-9-14 芝浦工業大学工学部土木工学科 TEL 03-5476-3047

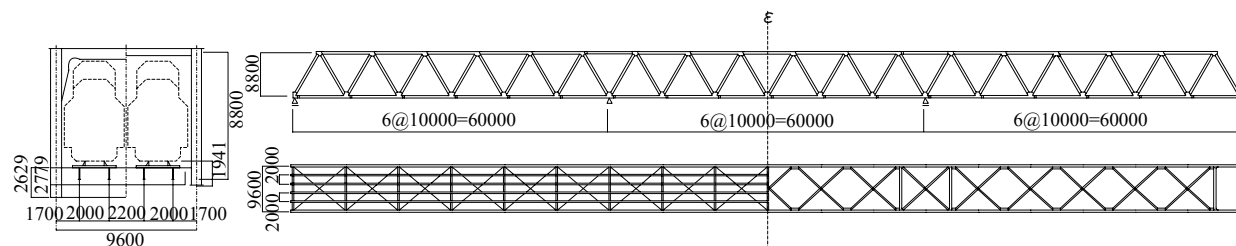


図-3 解析対象橋梁 S 橋梁

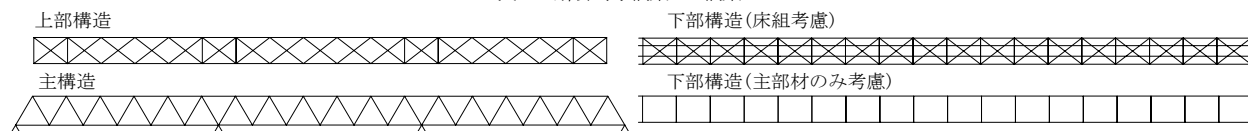


図-4 三次元解析モデル

■ 解析結果と考察

解析モデルは複線であり実際には本解析結果以上にたわむことが予測される。また、速度変化によるたわみ量の変化はそれほどないが、床組を考慮したモデルと設計実務で主に用いられる主部材のみのモデルとでは、その最大値に約6割から7割の差がみられる。

第2径間中央の速度別ねじり角最大値を図-6に示す。床組を考慮するモデル、主部材のみのモデルどちらも非常に小さい値を示しており走行安全に対する悪影響はないと考えられる。図-7には第2径間中央の動的増加率を示した。主部材のみ考慮したモデルは、速度260km/hで車両と桁の共振によるピークを迎えている。それに対し床組を考慮したモデルでは、衝撃係数が徐々に増加する傾向が見られ、速度360km/h以上で車両と桁の共振によるピークが表れると予測される。また、いずれのモデルにおいてもその値は小さく、走行安全に対する悪影響はないと考えられる。

1両目後台車前輪軸の脱線係数の最大値を走行速度別に図-8に示す。床組を考慮したモデル、主部材のみ考慮したモデルのいずれのモデルにおいてもA側車輪とB側車輪とではほとんど変化が見られない。床組を考慮したモデルが主部材のみのモデルに比べ大きな値を示しているが、限度値である0.8を大きく下回っている。

1両目後部の車体左右及び上下振動加速度の速度別最大値を図-9に示す。車体左右振動加速度はどちらのモデルの値にもほとんど変化や違いが見られない。しかし、車体上下振動加速度をみると、速度が増すにつれ大きな差が見られる。最も大きな値を示している速度300km/hにおいて、床組を考慮したモデルでは乗り心地係数1.5を満たす値を示しているのに対し、主部材のみ考慮したモデルでは乗り心地係数2.0を満たす値となっている。

図-5でも示したように、桁の上下方向の変化に対し、床組は大きな効果を示していることがわかる。また、走行速度の変化によるたわみ量の変化はそれほど見られなかったが、車体上下振動加速度は大きく変化していることより、乗り心地の照査には、たわみだけでなく車体上下振動加速度を検討することが必要であると考えられる。

■ まとめ

開床式の鉄道トラス橋は、一般の設計実務において、列車荷重は軌道→縦桁→横桁→トラス主構→支承の順にカスケード的に伝達されると仮定している。しかし、実際には、縦桁は横桁、下横構などを介して下弦材に応力の一部を伝達して、車両の走行によるトラス全体の剛性が増加し、それが実際のたわみ量の評価に比較的大きな影響を与えていることが、今回の解析結果から推測された。ただし、縦桁の剛性を積極的に使う場合は、主構や床桁、縦桁などの相互の力の伝達を十分に考慮する必要がある。

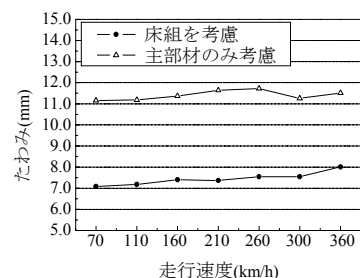


図-5 第2径間中央たわみ最大値

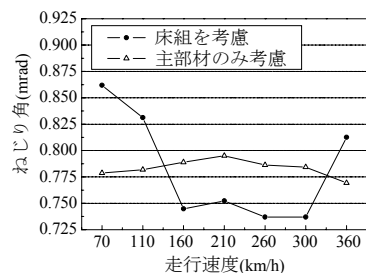


図-6 第2径間中央ねじり角最大値

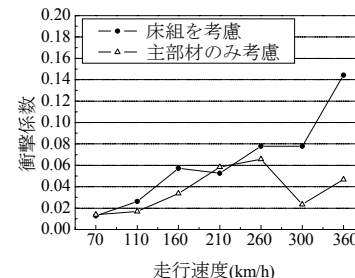


図-7 第2径間中央動的増加率

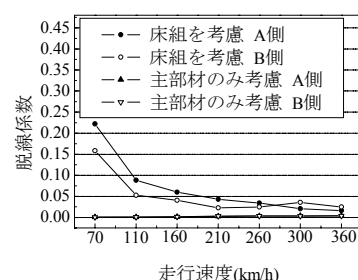


図-8 脱線係数最大値

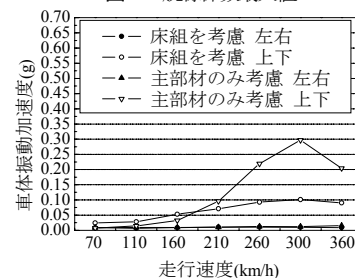


図-9 車体振動加速度最大値