

列車速度 300km/h を超える高速走行時の鋼トラス橋の動的応答特性の評価

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○北川 晴之
(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 徳永 宗正

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺 勉
(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 池田 学

1. はじめに 橋りょうの設計において部材の動的応答を適切に考慮する必要がある。鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物(鋼合成標準)¹⁾では、この影響を衝撃荷重として設定し、列車荷重に乗じる係数(衝撃係数)の算出方法を定めている。しかしながら、その算定式は 300km/h 以下の適用となっており、それより高速の場合は別途検討することとしている。本研究で対象とする鉄道鋼トラス橋は高速鉄道でも標準的に用いられるが、構造形式が 3 次的に比較的複雑であり、高速域を含む衝撃係数に関する検討事例が非常に少ないのが実態であり、動的な挙動については不明確な点が多い。そこで本研究では、高速鉄道に標準的に用いられるトラス橋を対象に、300km/h を超える高速域の動的応答特性や各種パラメータの影響について数値解析により評価を行った。なお、本研究で対象とした衝撃係数は速度効果の衝撃係数 i_a である。

2. 評価方法 **2.1 対象構造物** 表 1 に対象構造物の構造諸元を示す。高速鉄道で適用されているスパン 100m の鋼トラス橋を対象とした。

2.2 解析手法 図 1 に鋼トラス橋の解析モデルを示す。鋼トラス橋の動的応答特性の評価に用いた解析プログラムは鉄道総研が開発した車両と線路構造物の動的相互作用解析プログラム DIASTARSIII である。上弦材、斜材、下弦材等の主構、縦桁、横桁、横構、支材等を梁要素でモデル化した。トラスの格点間を 10 等分するように節点を設けた。格点部では部材同士を剛結合とした。また、コンクリート床版は主構、縦桁、横桁の剛性に影響することが想定されるが、剛性は考慮せず、質量のみを下弦材、縦桁および横桁を構成する各節点に与えた。さらに橋側歩道、路盤コンクリート、軌道部材等の付属物についても質量のみを各節点に与えた。なお、解析モデルの全体系のたわみ 1 次モードの固有振動数が後述する基本ケースで $70L_b^{-0.8}$ (L_b はスパン)²⁾となるように床版の重量を 20% 程度減少させて調整した。以上のモデル化による鋼トラス橋の節点数は 1179 節点、要素数は 1654 要素となった。

図 2 に車両モデルの概要を示す。車体、台車、輪軸を剛体とした 31 自由度モデルである。列車はこの車両モデルの端部に設けたばねおよびダンパで連結して構成した。本解析では、近年の一般的な高速鉄道車両を想定し、車体の質量は空車相当、車両数は 16 両とした。

解析の減衰モード減衰比は 2%、時刻歴解析の時間刻みは 1msec、解析におけるモード次数は 100Hz 程度までの振動を再現可能な次数とした。

2.3 解析ケース 表 2 に解析ケースを示す。CASE1 を基本ケースとし、鋼トラス橋のたわみ 1 次モード、コンクリート床版の剛性、格点部の結合方法に着目して設定した。固有振動数については、設計標準に示される固有振動数の算定式¹⁾や既往研究の実測等を踏まえて、3 通りの固有振動数を設定した。また、コンクリート床版の剛性を考慮したケース、格点部の結合をピン結合としたケースを設定した。

3. 評価結果 **3.1 固有値解析結果** 図 3 に固有値解析により得られた振動モード形と固有振動数を示す。それぞれ水平 1 次で 1.37Hz、たわみ 1 次で 1.76Hz、ねじりで 3.24Hz、たわみ 2 次で 4.04Hz となった。

3.2 基本ケース (CASE1) の動的応答 図 4 に CASE1 の解析結果を示す。たわみや衝撃係数と列車速度の関係をみると、160km/h に応答ピークが見られる。これは連行移動荷重の速度効果による共振ピークであり、固有

表 1 対象構造物の構造諸元

構造形式	複線下路トラス コンクリート床版道床式
主構中心間隔	11.0m
スパン	101m (12.7+6@12.6+12.7)
設計年	1973 年

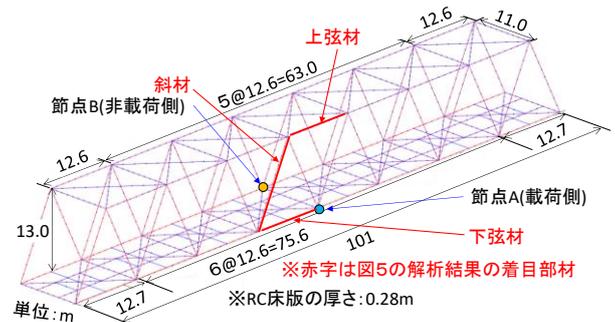


図 1 鋼トラス橋の解析モデル

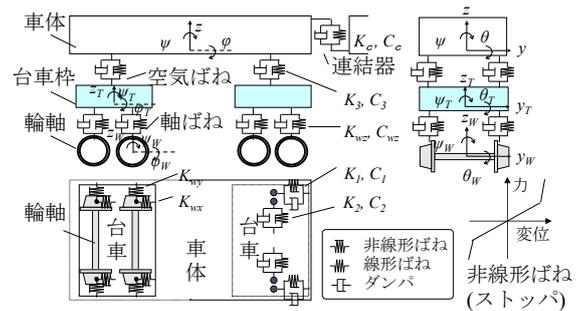


図 2 車両モデルの概要

表 2 解析ケース

CASE	たわみ 1 次 固有振動数(Hz)	コンクリート床版の 剛性	格点部の 結合方法
1	1.76(=70Lb ^{-0.8})	非考慮	剛結合
2	2.14(=85Lb ^{-0.8})	非考慮	剛結合
3	1.38(=55Lb ^{-0.8})	非考慮	剛結合
4	1.47	非考慮	ピン結合
5	2.57	考慮	剛結合

※列車速度は 50~500km/h で 10km/h 刻み

※※衝撃係数算出時には 50km/h を静的応答とみなした

近年の一般的な高速鉄道車両を想定し、車体の

キーワード 鋼鉄道橋、鋼トラス橋、高速走行、共振、衝撃係数

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 南館 213 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL: 042-573-7290

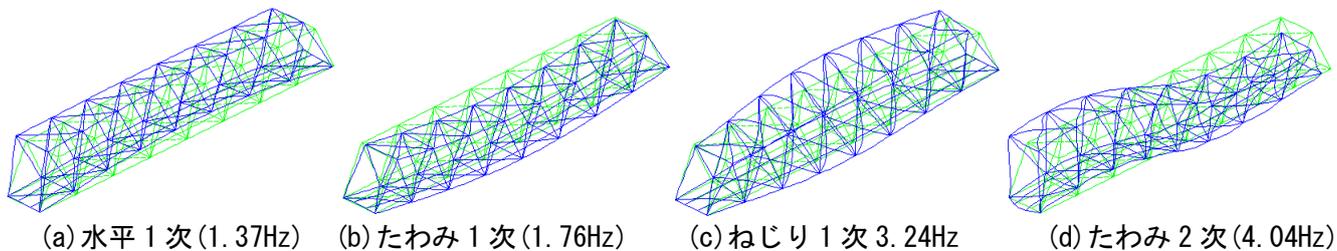


図3 振動モード形と固有振動数

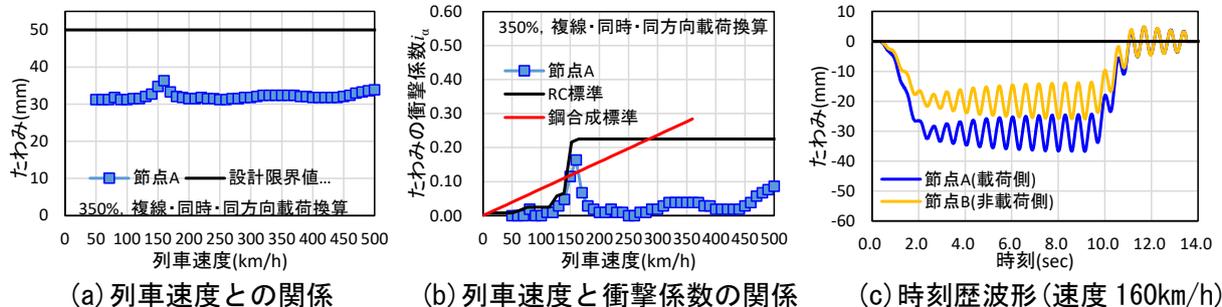


図4 基本ケース(CASE1)のたわみに関する解析結果

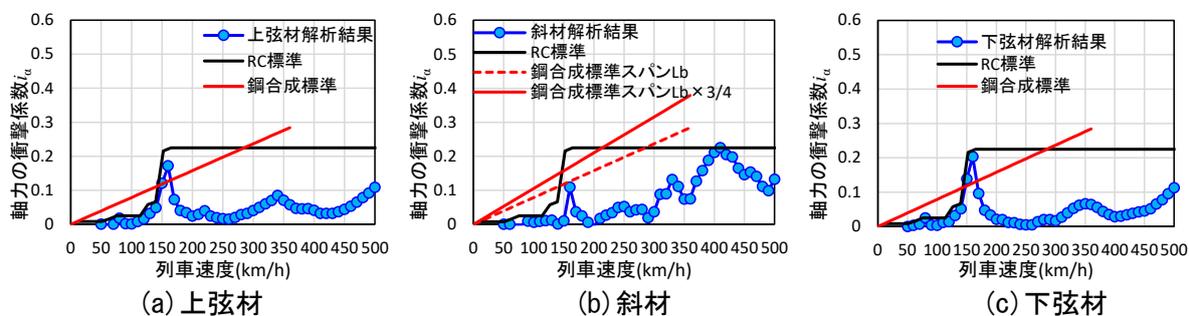


図5 基本ケース(CASE1)の主構(スパン中央付近の部材)の軸力に関する衝撃係数

振動数 1.76Hz と車両長 25m から決定($1.76 \times 25 \times 3.6 = 158.4 \text{ km/h}$)される。

図5にCASE1における主構の軸力の衝撃係数を示す。各部材ともたわみと同様に 160km/h にピークが見られる。斜材については 400km/h 付近にもピークが見られる。これは、斜材単独の振動モードの影響が考えられる。図4(b)および図5には設計標準^{1),3)}で算定される衝撃係数を合わせて示した。これより、主構の衝撃係数は鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート標準(RC標準)³⁾に基づく設計衝撃係数に概ね包含されること、鋼・合成標準の設計衝撃係数と比較すると、スパン 100m のトラスでは 1 次共振ピークの世界で超える部分もあるが、新幹線の一般的な速度 260km/h で設計している場合は鋼・合成標準の設計衝撃係数で評価可能であることがわかる。また、斜材の設計衝撃係数の算定時の L_b の取り方については、鋼・合成標準ではスパンの 3/4 としているが、スパンをそのまま用いても評価できる可能性があることなどがわかる。

3.3 各種パラメータの影響 図6に各種パラメータの影響を示す。格点部の結合方法が剛結合からピンになると共振ピークが 20km/h 程度低速側に移動すること、コンクリート床版の剛性を考慮すると、共振ピークが 160km/h から 230km/h に高速側にシフトすることなどがわかる。

4. まとめ 本研究ではスパン 100m のトラス橋を対象に数値解析的な評価を行った。本検討の範囲では、鋼・合成標準よりコンクリート標準の衝撃係数の算定式の方が鋼トラス橋の主構の衝撃係数を精緻に算定できることがわかった。鋼・合成標準の設計衝撃係数は共振ピークにおいて解析の衝撃係数が超えており、鋼・合成標準の適用性についてはさらに対象橋梁を増やすなどして検討を深度化させていく予定である。

参考文献 1) 国土交通省監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物），丸善，2009

2) 市川篤司他：鋼鉄道橋の設計に用いる衝撃係数の見直し，鉄道総研報告，Vol.2, No.11, pp.16-22, 1988

3) 国土交通省監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），丸善，2004

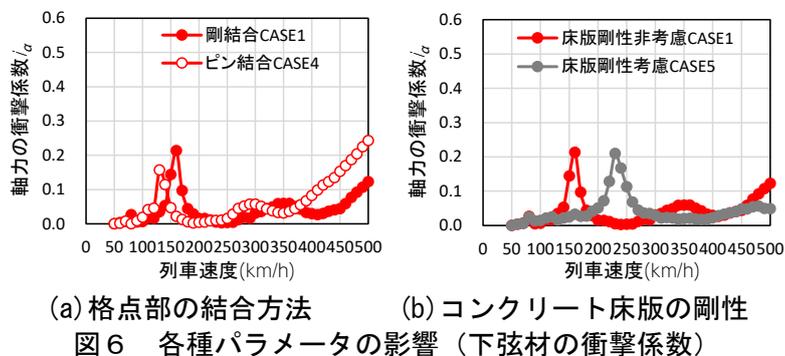


図6 各種パラメータの影響(下弦材の衝撃係数)