

高速度領域における鋼鉄道橋の衝撃係数の算出

(独) 鉄道・運輸機構 正会員 ○筒井 康平 日本交通技術(株) 正会員 深澤 真
 (独) 鉄道・運輸機構 正会員 古屋 元規 (公財) 鉄道総研 正会員 徳永 宗正

1. はじめに

鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物)¹⁾(以下、鋼標準)では、列車走行による応答の動的な増加分は、静的な荷重の増加に置換して衝撃荷重としてよいこととされており、衝撃荷重の特性値は、列車荷重の特性値に対して、表-1の下側に示す考え方で算出される設計衝撃係数を乗じて算出する方法が示されている。ただし、この式が適用できるのは列車速度が300km/h以下の場合であり、それを超える速度領域については、鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)²⁾(以下、RC標準)に定める算定式を用いるか、詳細なシミュレーション解析により算定するのがよいとされている。本稿では、整備新幹線の構造物を想定し、300km/hを超える速度領域における走行シミュレーションにより算定した衝撃係数について報告する。併せて、RC標準の算定式を援用した方法および鋼標準の算定式から求めた場合との比較についても報告する。

2. 解析モデルの設定

解析の対象は、図-1に示すような79m+105m+79m=265mの3径間連続合成2主箱桁とし、車両と構造物の動的相互作用を考慮した車両走行性の評価を実施した。数値解析には、新幹線車両と鉄道構造物の動的相互作用解析プログラム、(DIASTARSIII)を用いた。解析ケースは、時速30km/hから5km/hずつ速度を向上させ、1000km/hまでの195ケース行った。本稿では、400km/hまでの75ケース分を整理した結果について報告する。

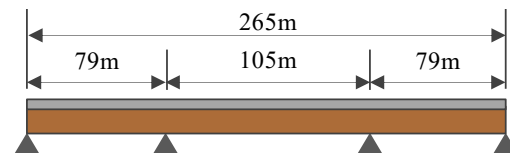


図-1 検討対象のスパン割イメージ

3. 鉄道標準に基づく衝撃係数の算定

表-1にRC標準を援用した方法および鋼標準による衝撃係数の算定方法を示す。鋼標準では適用できる速度が300km/h以下である一方、RC標準では適用速度に条件はない。走行シミュレーションにより算出される衝撃係数は、列車走行に伴う速度効果の衝撃係数 i_α であるため、比較は i_α (鋼標準では $K_a \cdot \alpha$)にて行った。

表-1 RC標準および鋼標準による衝撃係数の算定方法

	算定式(単線時)	適用条件	文字の解説	比較用に用いる値
RC標準の援用	$i = (1 + i_\alpha)(1 + i_c) - 1$ $\alpha = \frac{V}{7.2n \cdot L_b} \quad i_c = \frac{10}{65 + L_b}$	特になし	i_α : 速度効果の衝撃係数 i_c : 車両動揺の衝撃係数 α : 速度パラメータ V : 当該区間を走行する列車の最高速度(km/h) n : 載荷時の部材の基本固有振動数(Hz)	L_b : 各スパンの平均値 88m(※RC標準をそのまま用いると75m) n : 固有値解析から得られた最低次数の値 0.805Hz
鋼標準	$i = K_a \cdot \alpha + \frac{10}{65 + L_b}$ $\alpha = \frac{V}{7.2n_e \cdot L_b}$	$i \leq 0.7$ $V \leq 300\text{km/h}$ $\sqrt{\frac{315}{d}} > \frac{100}{L_b}$	n_e : 上記の n と同じ L_b : 部材に最大活荷重断面面力を生じさせる同符号の影響線の基線長さ(m) K_a : 係数(新幹線は1.0) d : 死荷重によるたわみ量(mm)	L_b : 中央スパンのスパン長 105m n_e : 鋼標準に記載の簡易式 $n_e = 70L_b^{-0.8}$ より算出 1.69Hz

キーワード 高速走行, 衝撃係数, 走行シミュレーション

連絡先 〒231-8315 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計部 設計第一課 TEL: 045-222-9082

4. 走行シミュレーションによる衝撃係数の算出結果

図-2 に、各径間に生じたたわみ量より算出した衝撃係数を示す。320km/h の場合の衝撃係数は、第1 径間で 0.177, 第2 径間で 0.394, 第3 径間で 0.330 であった。図-3 には、主桁の曲げモーメントより算出した衝撃係数を示す。320km/h の場合の衝撃係数は、第1 径間で 0.175, 第2 径間で 0.359, 第3 径間で 0.318, 支点部の負曲げモーメントの衝撃係数は 0.097 および 0.074 であった。

各図に、固有値解析により得られる各固有振動モードの共振速度を緑矢印で示す。共振速度は $V = 3.6L_v f_i$ (km/h) により与えられるものであり、車両長で 25m, f_i は固有値解析より得られる各固有振動モードの固有振動数である。共振速度 (緑矢印) の位置に着目すると、鉛直 1~3 次の固有振動数に対する共振速度時 ($3.6 \times L_v \times 0.805 = 72$ km/h, $3.6 \times L_v \times 1.28 = 115$ km/h, $3.6 \times L_v \times 1.57 = 141$ km/h) において衝撃係数が大きくなっており、これらの振動モードが励起されていることが確認できる。このときの衝撃係数の増加が 0.1 程度以下である。これらの速度領域では、1 列車毎の繰り返し载荷による連行共振により応答が増大することとなる。特に、鉛直 4 次までの振動モードに対する連行共振速度は設計列車速度である 320km/h よりも低いことから、衝撃係数の算定においてはこれらの振動モードを適切に評価する必要があることがわかる。中央径間においては 2 次の固有振動数に対する共振速度において反応が無いことから整合的である。第1 径間と第3 径間を比較すると、共振時には退出側である第3 径間を通過するまでに振動が伝わることにより、第3 径間側の応答が大きくなる傾向が確認できる。

表-2 に、走行シミュレーションの結果と、各標準から算出した衝撃係数を示す。RC 標準を援用した方法と比較すると小さい値となった一方、第2 径間中央および第3 径間中央については、鋼標準より算出した値を上回る結果となった。

5. おわりに

現状、鋼標準の算定式は 300km/h 以上の速度領域では適用外であるが、本稿で報告したような知見が蓄積されることで、高速

速度領域においても簡易な手法で衝撃係数を算定できるよう、さらに知見を増やしていく必要があると考える。

参考文献

- 1) 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) 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。

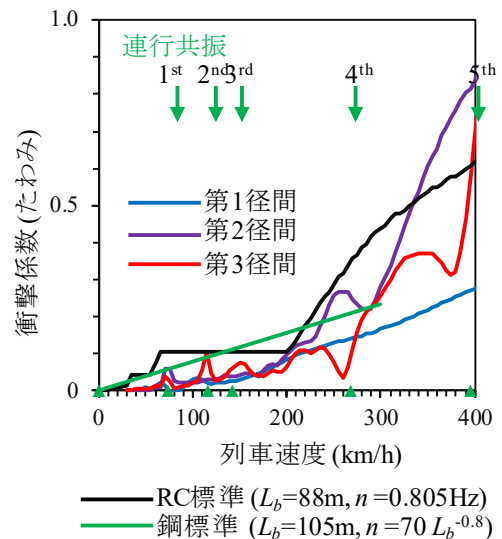


図-2 たわみによる衝撃係数

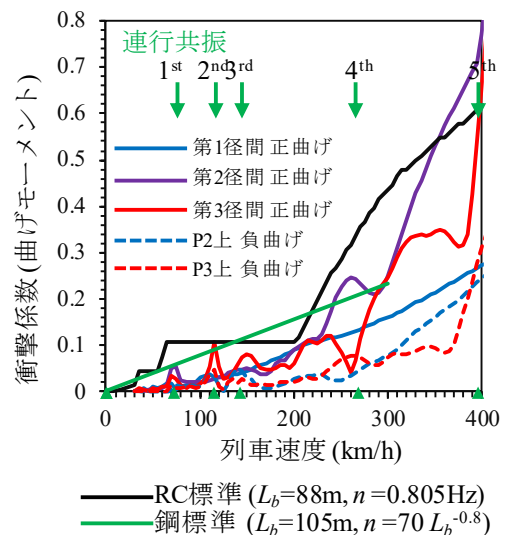


図-3 曲げモーメントによる衝撃係数

表-2 衝撃係数の算出結果比較 (320km/h の場合)

主桁着目点	鋼標準 $K_a \cdot \alpha$	RC 標準 援用 i_a	走行シミュレーション	
			曲げ モーメント	たわみ
S1 端支点	0.250	0.478	-	-
第1 径間中央			0.175	0.177
P2 中間支点			0.097	-
第2 径間中央			0.359	0.394
P3 中間支点			0.074	-
第3 径間中央			0.318	0.330
S2 端支点	-	-	-	-