

混合構造を適用した鉄道橋の衝撃係数

鉄道・運輸機構 ○正会員 横山 秀喜, 正会員 筒井 康平
 鉄道総合技術研究所 正会員 斉藤 雅充, 正会員 徳永 宗正, 正会員 八幡 太一

1. はじめに

混合構造は、異種材料である鋼とコンクリートを、直列結合して一体化した構造形式である。本構造は、道路橋での適用事例があるものの、これまで鉄道橋へ用いた事例はない。現在、重量の違いを生かした不均等スパン割への適用や経済化を期待して、混合桁を用いた鉄道橋の検討を進めている。設計上の課題の1つとして、衝撃係数の算定方法が挙げられる。鉄道橋では、鋼桁は鋼標準⁽¹⁾、コンクリート桁はRC標準⁽²⁾と、それぞれ衝撃係数の算定式や適用条件が異なっており、混合桁にどちらの方法を用いるべきか定まっていない。

本稿は、3径間連続混合桁(図-1)について各標準により算出した衝撃係数と、列車走行シミュレーションにより確認したたわみや断面力(曲げモーメント)より算出した衝撃係数を比較し、設計の妥当性をまとめた。



図-1. 混合桁のイメージ図



図-2. 合成桁のイメージ図

2. 検討モデルの設定

検討に用いた3径間連続混合桁は、新幹線構造物（列車速度 $V=260\text{km/h}$ ）にて実績がある支間比率 $0.44 : 1 : 0.44$ の3径間連続合成桁(図-2)の側径間をPC桁とした構造を用いた(図-1)。本理由に関しては、別報を参照されたい⁽³⁾。列車走行に伴う衝撃係数は、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)を用いた走行シミュレーションによって算出し、列車速度 $V=260\text{km/h}$ で評価した。混合桁の走行シミュレーションは、 $30\text{km/h} \sim 550\text{km/h}$ までの96ケースを実施した。なお、比較のため合成桁においても同様のケースを実施している。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 $i\alpha$ であるため、比較は $i\alpha$ （鋼標準では $Ka \cdot \alpha$ ）にて行った。

3. 鉄道標準に基づいた衝撃係数の算定

各標準における算定式と適用条件、算定値を表-1に示す。RC標準の衝撃係数算定式は、動的シミュレーションの結果を反映しており、実測値や解析値を基に定められた速度パラメータ α の1次式で近似する従来の

表-1. 各鉄道標準に基づく衝撃係数の算定式等

	算定式(単線時)	適用条件	記号の意味
RC標準	$i = (1 + i\alpha)(1 + ic) - 1$ $\alpha = \frac{V}{7.2n \cdot Lb} \quad ic = \frac{10}{65 + Lb}$ 側径間: $i\alpha = 1.210 (i = 1.405)$	列車速度や桁の剛性等に関しては、特に無し (汎用性が高い)	$i\alpha$: 速度効果の衝撃係数 RC標準: 速度パラメータ α および車両形式、車両長、部材のスパンを用いて、ノモグラム(動的シミュレーション結果)から算定 鋼標準: 速度パラメータ α の一次式から算定 ic : 車両動揺の衝撃係数 V : 当該区間を走行する列車の最高速度 (260km/h) $n(ne)$: 載荷時の部材の基本固有振動数 (Hz): 固有値解析より算出 RC標準 (n): 1.077Hz, 鋼標準 (ne): 1.034Hz, ※鋼標準簡易式 $Lb^{-0.8}$ を用いた場合 (ne): 1.629Hz Lb : 部材に最大活荷重断面力を生じさせる同符号の影響線の基線長さ(m) 鋼標準 Lb : 110m, 変位制限標準性能照査の手引き ⁽⁴⁾ Lb : 50m(側径間), 75m(中央径間, 中間支点) Ka : 係数(新幹線は1.0) d : 死荷重によるたわみ量 (mm)
鋼標準	$i = Ka \cdot \alpha + \frac{10}{65 + Lb}$ α の式は RC 標準と同様 側径間: $Ka\alpha = 0.723 (i = 0.811)$ ※簡易式 $Lb^{-0.8}$ での算定 $Ka\alpha = 0.202 (i = 0.260)$	$i \leq 0.7$ $V \leq 300\text{km/h}$ $\sqrt{\frac{315}{d}} > \frac{100}{Lb}$	

キーワード 鉄道, 混合構造, 走行シミュレーション, 衝撃係数

連絡先 〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町6-50-1 横浜アイランドタワー 鉄道・運輸機構 TEL045-222-9082

手法である鋼標準の算定式に比べ、汎用性が高いという特徴がある。

4. 混合構造の列車走行による衝撃係数

列車走行に伴う主桁支間部のたわみおよび曲げモーメントから算出した速度効果に伴う衝撃係数（以下、「衝撃係数」と呼ぶ）を図-3に示す。260km/hの場合の側径間のたわみの衝撃係数は0.260，中央径間のたわみの衝撃係数は0.050であった。260km/hの場合の側径間の主桁正曲げモーメントの衝撃係数は0.202，中央径間の主桁正曲げモーメントの衝撃係数は0.047，支点部の負曲げモーメントの衝撃係数は0.059であった。

固有値解析の結果，検討した550km/hまでの領域では，鉛直5次モードまでが共振速度($V(\text{km/h})=3.6L_v f_i$ ，車両長 $L_v=25\text{m}$ ， f_i :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)であることが確認できた(図-3 緑矢印)。

衝撃係数に着目すると，中央径間(第2径間)では列車速度に対して局所的に大きくなる場合が少なく，列車速度の増加とともに徐々に大きくなる傾向が確認できる。

一方，側径間(第1,3径間)では鉛直2~6次の固有振動数に対する共振速度時において衝撃係数が大きくなっており，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していることがわかる。特に，鉛直2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260km/hよりも低いことから，衝撃係数の算定で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。

第1径間と第3径間を比較すると，第3径間の衝撃係数が大きい。これは，第1径間および第2径間を通過した際の振動が第3径間に伝わり，応答が大きくなるためである。

5. 衝撃係数の比較

解析結果から得られた衝撃係数および設計標準に準じて算定した衝撃係数を表-2示す。合成桁と混合桁を比較すると，衝撃係数は混合桁の方が小さくなる傾向にあることが分かる。これは混合桁の固有振動数が合成桁に比べ大きくなったためと考えられる⁽³⁾。

衝撃係数の設計値と比較すると，走行シミュレーションによる値は，著しく低めであることが分かった。これは，設計では連続桁に対して，安全側の評価のために影響線スパンを連行共振しやすいスパンに置き換えるため，設計値が大きくなっていることによる。

6. おわりに

混合桁の衝撃係数を算定する際は，各標準で算定した値を用いれば安全側の設計となることが確認できた。しかし，適用する速度領域(特に低速域)によっては，シミュレーションから得られた値と大きな差が見られた。そのため，衝撃係数を正確に算定する際は，走行シミュレーションを併用することが望ましいと考える。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物，鉄道総合技術研究所，平成21年7月
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，鉄道総合技術研究所，平成16年4月
- 3) 谷田ら，鋼鉄道橋の混合構造化による列車走行性能について，令和3年9月，第76回年次学術講演会
- 4) 鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限 性能照査の手引き，鉄道総合技術研究所，令和2年11月

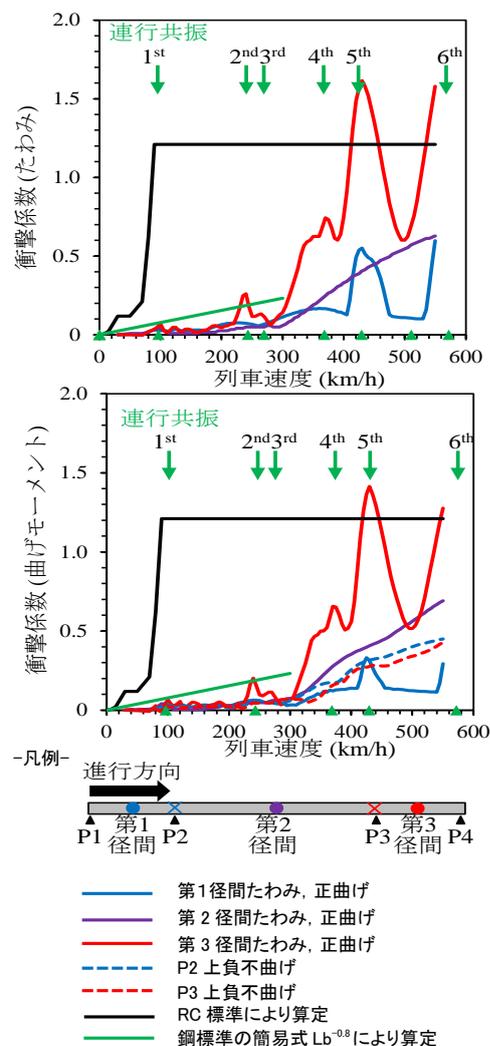


図-3. 解析による衝撃係数の値

表-2. 衝撃係数一覧

		走行シミュレーション		RC標準	鋼標準
		合成	混合		
たわみ	第1径間	0.179	0.076	1.210	0.723
	中央径間	0.089	0.050	0.452	0.317
	第3径間	0.538	0.260	1.210	0.723
正曲げモーメント	第1径間	0.182	0.063	1.210	0.723
	中央径間	0.135	0.047	0.452	0.317
	第3径間	0.478	0.202	1.210	0.723
負曲げモーメント	P2	0.098	0.059	0.452	0.221
	P3	0.146	0.049	0.452	0.221