

鉄道鋼合成連続桁への衝撃係数の簡易算定法の適用性に関する検討

鉄道総研 正 ○後藤 恵一 鉄道・運輸機構 正 下津 達也 鉄道総研 正 曾我部 正道
 鉄道・運輸機構 正 進藤 良則 鉄道総研 正 渡辺 勉 鉄道総研 正 松岡 弘大

1. 目的 鉄道的高速化と桁の低剛性化により、共振の発生を許容した設計を行う事例が増加している。近年、連続桁についても、数値解析により動的応答に関する速度依存性の現象解明が行われ¹⁾、衝撃係数の簡易算定法も提案されている^{1), 2)}。一方で、上記の簡易算定法に関する検討事例は十分であるとは言えず、また、実測との比較・検証についてはほとんど実施されていない。そこで本研究は、実測および実測に基づく数値解析により、鉄道鋼合成連続桁に対して衝撃係数の簡易算定法²⁾の適用性に関する検討を実施した。

2. 検討方法 (1)対象橋梁 表-1に対象橋梁とその平均的な断面諸元を示す。対象橋梁は2~4径間の鋼合成連続桁である。No.3橋梁は中間橋脚がラーメン構造となっている。また、非合成構造であるため、他の橋梁と比べて断面2次モーメントが小さくなっている。

表-1 対象橋梁と平均的な断面諸元 (設計)

No.	橋梁種別	スパン長 (m)	弾性係数 (kN/mm ²)	断面2次 (m ⁴)	重量 (kN/m)
1	鋼合成2主箱桁	87.5*+82.0+76.0+63.7	200	1.641	320.8
2	鋼合成1主箱桁	103.3*+64.0*+60.0*	200	1.577	302.5
3	鋼合成2主U型桁	29.2*+49.2**	200	0.249	277.6

*リング式変位計による測定, **ビデオ式変位計による測定

(2)測定方法 図-1に測定概要図を示す。桁下測定が可能な場合はリング式変位計 (OU-30) を、道路や河川等で桁下測定が困難な場合はビデオ式変位計

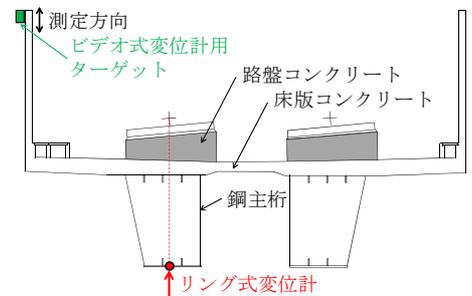


図-1 測定概要図 (No.3橋梁)

(XG-7000) を用いた。橋軸方向の測定位置は設計上の最大たわみ発生箇所とした。また、リング式変位計では主桁を、ビデオ式変位計では防音壁に設置したターゲットを測定した。サンプリング周波数はリング式変位計で 200Hz、ビデオ式変位計で 25Hz を基本とした。走行車両は平均軸重 111kN の 25m 車両、走行速度は 170km/h~260km/h であった。

(3)解析方法 図-2に橋梁および車両の解析モデルを示す。桁は全て梁要素でモデル化した。下部工については考慮せず、支承部がゴム支承の場合はばね要素でモデル化し、鋼製支承の場合 (No.3橋梁の中間橋脚のみ) は単純支持とした。要素は全て線形とし、その断面諸元は設計図書を基に入力した。減衰比は全ての橋梁に対してモード減衰比として 2.0% を適用した。車両の解析モデルは車体、台車、輪軸を剛体と仮定し、各々をばねとダンパで結合したマルチボディモデルを用いた。本研究では、車輪を一定勾配の円錐踏面と鉛直フランジで表した鉛直フランジモデルとし、鉛直方向には Hertz の接触ばねを、水平方向には線形クリープ則とレール小返りばねを用いて、車輪とレール間の動的相互作用を算出した。

解析は2ステップで実施した。1ステップ目として、設計値の曲げ剛性および重量を実構造物相当に補正した。具体的には、最大たわみで曲げ剛性を補正後、重量を補正することで時刻歴波形および固有振動数を測定結果に近づけた。次に、2ステップ目として補正した解析モデルを用いて衝撃係数を算出した。衝撃係数は列車速度 30km/h のたわみを静的たわみと仮定して算出した。また、列車速度は 5km/h 刻みとした。車両両数は、補正時には測定時の車両両数 (10両または12両) とし、衝撃係数算出時には12両とした。

3. 検討結果 (1)補正結果 図-3~図-5に、測定結果と解析結果の時刻歴波形の比較を示す。各橋梁とも

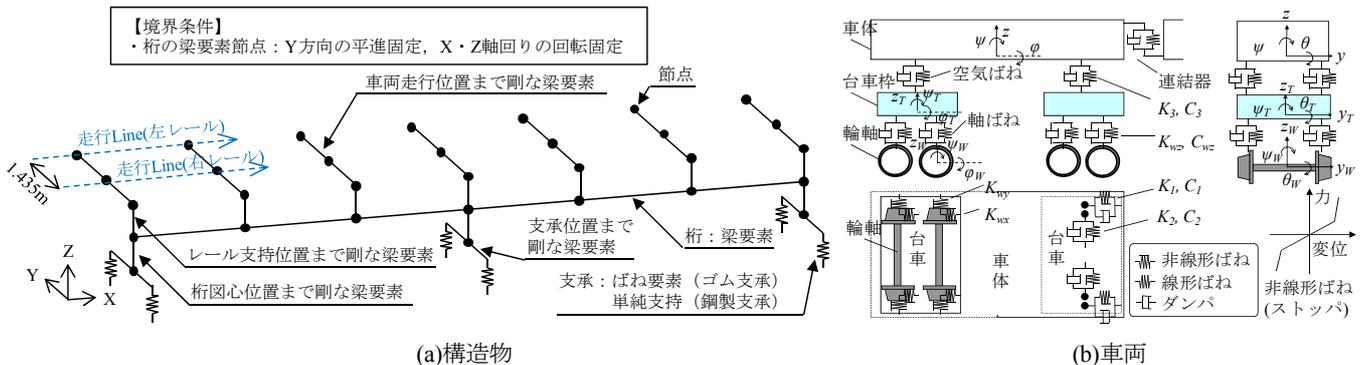
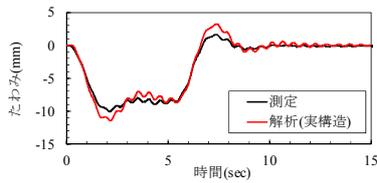
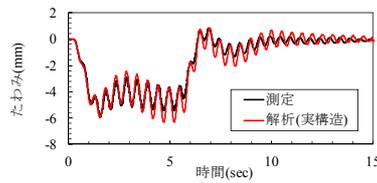


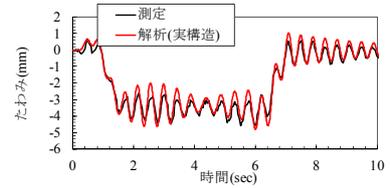
図-2 解析モデル



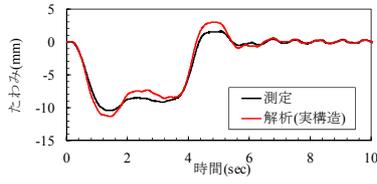
(a)列車速度 170km/h



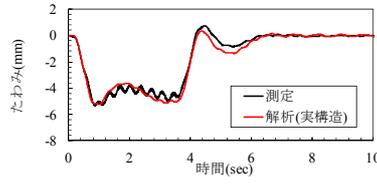
(a)列車速度 170km/h



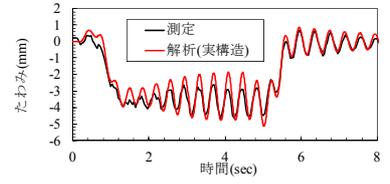
(a)列車速度 200km/h



(b)列車速度 260km/h



(b)列車速度 260km/h



(b)列車速度 240km/h

図-3 時刻歴波形 (No. 1, 第1スパン)

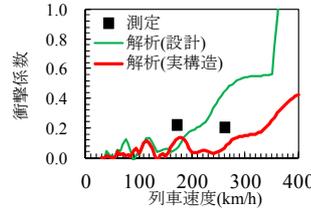
図-4 時刻歴波形 (No. 2, 第3スパン)

図-5 時刻歴波形 (No. 3, 第2スパン)

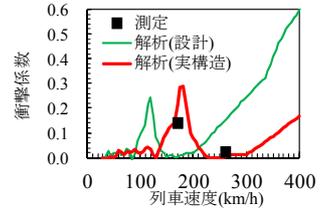
表-2 固有振動数の比較と補正倍率

No.	橋梁種別	固有振動数(Hz)			測定 減衰比 (%)	補正倍率	
		解析 (設計)	解析 (実構造)	測定		曲げ剛性 EI	重量 D
1	鋼合成2主箱桁	0.83	1.29	1.33	0.8	1.7	0.7
2	鋼合成1主箱桁	0.88	1.33	2.10	0.7	2.1	0.9
3	鋼合成2主U型桁	1.43	2.51	2.50	2.1	2.4	0.8

解析結果が測定結果を良く再現できていることが分かる。また、表-2 に測定結果と解析結果の固有振動数の比較および算定した補正倍率を示す。測定の固有振動数はFFTでの卓越振動数を、解析の固有振動数は固有値解析結果(1次モード)を記載した。No.2橋梁の固有振動数は一致していないが、時刻歴波形は概ね一致していることから、測定の卓越振動数は高次のものであると推測される。固有値解析結果では、2次モードが1.99Hzであり、このモードが測定で卓越していると判断される。曲げ剛性の補正倍率について、全ての橋梁で1.5を上回る結果となった。これは路盤コンクリート等の非構造部の影響や設計と実構造物間のコンクリート強度の違いによるものである。重量については、1~2割程度軽くなる傾向にあった。これは設計時に見込み重量として安全側の設計を行っているためである。図-6、図-7に列車速度と衝撃係数の関係例を示す。測定の衝撃係数は補正後の解析結果(列車速度30km/h)から算出した。図より、曲げ剛性の増加に伴う共振ピークのシフトを確認できるとともに、解析が動的応答の速度依存性を良く表現できていることが分かる。

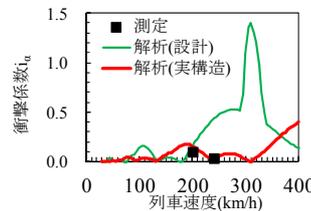


(a)第2スパン

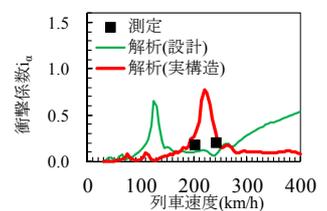


(b)第3スパン

図-6 列車速度と衝撃係数の関係例 (No. 2 橋梁)



(a)第1スパン



(b)第2スパン

図-7 列車速度と衝撃係数の関係例 (No. 3 橋梁)

表-3 解析結果と簡易算定法の比較

No.	解析(設計)		解析(実構造)		簡易算定法 ²⁾			
	固有振動数(Hz)	衝撃係数 i_a	固有振動数(Hz)	衝撃係数 i_a	固有振動数(Hz)	算定用スパン(m)	速度パラメータ α	衝撃係数 i_a
1	0.83	0.44	1.29	0.17	0.58	75	0.825	0.58
2	0.88	0.44	1.33	0.29	0.65	75	0.740	0.53
3	1.43	0.65	2.51	0.77	1.08	25	1.339	5.23

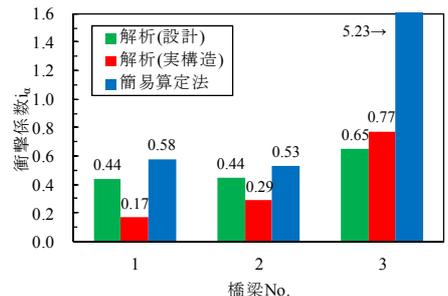


図-8 衝撃係数 i_a の比較

(2)簡易算定法の適用性検討

表-3 に解析結果と簡易算定法の比較を、図-8 に衝撃係数の比較を示す。衝撃係数は列車速度30km/h~260km/hの間で最大となる値を抽出した。表および図より、簡易算定法による衝撃係数は解析結果を安全側に包絡できていることが確認できる。一方で、No.3橋梁については、過度に安全側の評価となっている。これはNo.3橋梁が短スパン長の径間を有するためである。簡易算定法では35m以下のスパン長を含む場合、衝撃係数を大きく算出することから、このような短スパン長の径間を有する連続桁に対しては動的相互作用解析を実施するのが良いと考えられる。

4. まとめ

実測に基づく数値解析により、鉄道鋼合成連続桁に対して衝撃係数の簡易算定法の適用性に関する検討を行った。①解析により連続桁の動的応答を精度よく表現できた。②簡易算定法は解析結果を安全側に包絡できた。③35m以下のスパン長を有する連続桁の場合、簡易算定法は過度に安全側の衝撃係数を算出する可能性が確認された。

参考文献

- 1) 宇野, 曾我部, 谷村, 金森: 高速列車走行による鉄道連続桁の動的応答性状に関する研究, 構造工学論文集, Vol.53 A, pp.67-76, 2007.
- 2) 鉄道総合技術研究所: 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, 研友社, 2006.