

鉄道複線コンクリート桁の共振時挙動

鉄道総研 正会員 ○後藤 恵一 鉄道総研 正会員 渡辺 勉

鉄道総研 正会員 松岡 弘大 鉄道総研 正会員 上半 文昭

1. 目的

近年、一部の鉄道コンクリート桁において、車両走行時の共振に伴う大きなたわみの発生が確認されているが、ねじれ成分を含めた共振発生時の桁の3次元動的挙動については十分な知見が得られていない。また、桁上で車両がすれ違う場合の挙動の検討はほとんど行われていない。そこで本研究では、鉄道複線コンクリート桁を対象として、単線載荷時及び複線載荷時の桁の3次元動的挙動を数値解析に把握することを目的とする。

2. 検討方法

本検討では、スパン 29.2m の新幹線 PRC 桁（4 主 I 形桁）を対象とした。図 1 に解析モデルを示す。桁の動的挙動を検討するために、その形状寸法・各コンクリート部材を詳細にモデル化した。表 1 に各コンクリート部材の材料諸元を示す。各コンクリート部材は全て線形の 8 節点のソリッド要素（1 積分点）でモデル化した。コンクリート中の鉄筋及び PC 鋼材についてはモデル化していない。軌道質量及び防音壁重量は分布質量として路盤コンクリート上及び地覆コンクリート上の節点に付加した。境界条件としては、支承位置をピン及びローラーとした単純支持を仮定した。減衰は Rayleigh 減衰を仮定し、基本固有振動数に対して 2.0%を与えた。

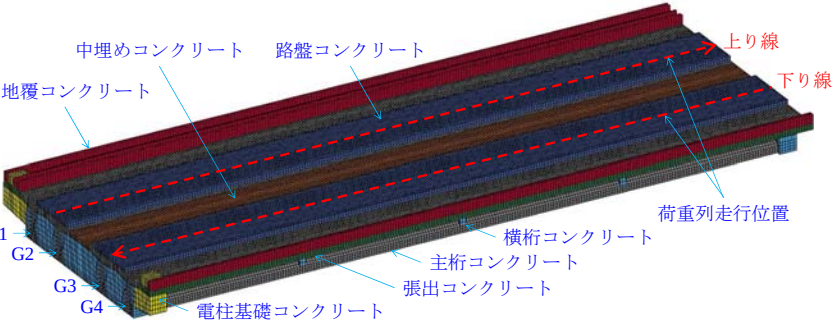


図 1 解析モデル

表 1 解析に用いた材料諸元（コンクリート部材）

部材	弾性係数 (GPa)	ポアソン比	重量密度 (kN/m ³)	備考
主桁	31.0	0.2	24.5	$f_{ck}=40\text{MPa}$ 相当
張出・横桁・中埋め	28.0	〃	〃	$f_{ck}=30\text{MPa}$ 相当
その他	25.0	〃	〃	$f_{ck}=24\text{MPa}$ 相当

図 2 に車両走行を表現するために用いた荷重列モデルを示す。本研究では、この軸配置と車両速度から計算される座標位置の節点に、時刻歴節点力を入力することで車両走行を疑似的に表現した（荷重列の走行位置は図 1 参照）。

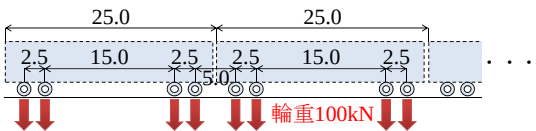


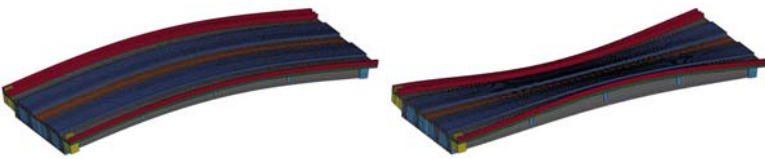
図 2 荷重列モデル（新幹線軸配置 12 両分）

表 2 固有値解析結果

Mode	モード形状	固有振動数 (Hz)	共振速度(km/h)			
			1 次	2 次	3 次	4 次
1	1 次曲げ	2.97	267.5	133.8	89.2	66.9
2	1 次ねじれ	4.58	429.8	214.9	143.3	107.5
3	2 次曲げ	10.36	932.2	466.1	310.7	233.1
4	2 次ねじれ	12.16	1094.4	547.2	368.4	273.6

3. 検討結果

表 2 に固有値解析の結果を、図 3 に代表的なモード形状を示す。表 2 から、通常の新幹線の営業速度範囲では、1 次曲げモードに対する 1 次共振、1 次ねじれモードに対する 2 次共振が発生するため、荷重列を用いた動的解析はこの車両速度により実施した。



(a) Mode1 : 2.97Hz（1 次曲げ） (b) Mode2 : 4.78Hz（1 次ねじれ）

図 3 代表的なモード形状

図 4～図 6 に車両速度 100km/h、215km/h、270km/h での単線（上り線）載荷時の G1 及び

キーワード：鉄道、複線載荷、動的応答、共振、荷重分担、数値解析

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

G4 桁の変位波形と最大変位時の各桁の荷重分担(変位分担)を示す。本研究の荷重分担は、当該主桁の変位を4主桁の合計変位で除したものとした。車両速度 100km/h は動的応答が比較的小さくなる場合の例として示した。図 5 より、1 次ねじれモードに対する 2 次共振速度では、ねじり成分は卓越せず、車両速度 100km/h 時とほぼ同様の荷重分担及びねじり量であることが確認できる。

また、図 6 より、1 次曲げモードに対する 1 次共振速度では、載荷側である G1 桁と同等の変位が非載荷側の G4 桁にも生じていることが分かる。

図 7 に、車両速度 270km/h で上下線の車両

が当該桁に同時に進入した場合(複線同時載荷)の、G1 桁の変位波形を示す。図中には、片線ずつ載荷した場合の波形及びそれを単純に足し合わせた波形(単線(上下))も示している。図より、共振発生時には上下線で同等の変位が発生するため、単線載荷時の約 2 倍の最大変位が発生していること、単線載荷時の応答の重ね合わせにより複線載荷時の応答が表現できることも分かる。

図 8 に、上り線側の車両が桁を通過した直後に、下り線側の車両が桁に進入した場合(単線すれ違い載荷)の、G1 桁の変位波形を示す。上り線側通過後の残留波形の影響により、下り線側通過時には、見掛け上、桁の応答が共振によりさらに増幅されているように見える。本検討においては、最大変位は単線載荷時の約 1.2~1.3 倍に達した。このように、完全に複線載荷とならない場合でも、共振発生時には単線載荷時を超えるような応答が生じる可能性があることが分かった。

4. まとめ

①検討対象桁では、共振発生時には単線載荷であっても非載荷側の主桁にも載荷側の主桁と同程度の応答が生じること、ねじり成分は卓越しないことを示した。②共振発生時には、単線すれ違い載荷により単線載荷時を超えるような応答が生じる可能性があることを示した。

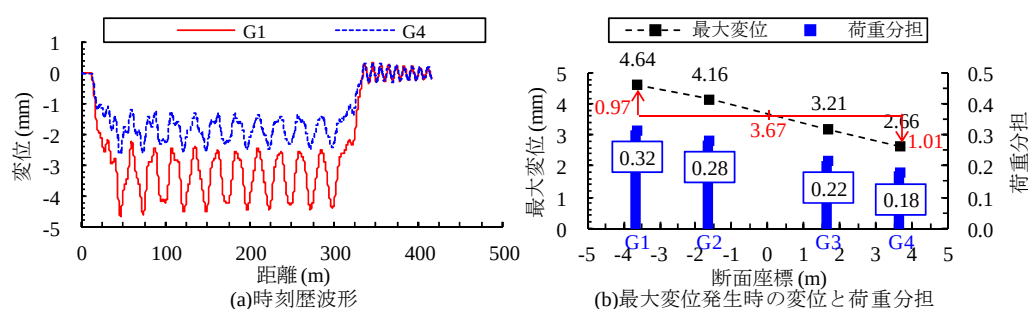


図 4 単線(上り線)載荷時の G1・G4 桁の変位波形と荷重分担(車両速度: 100km/h)

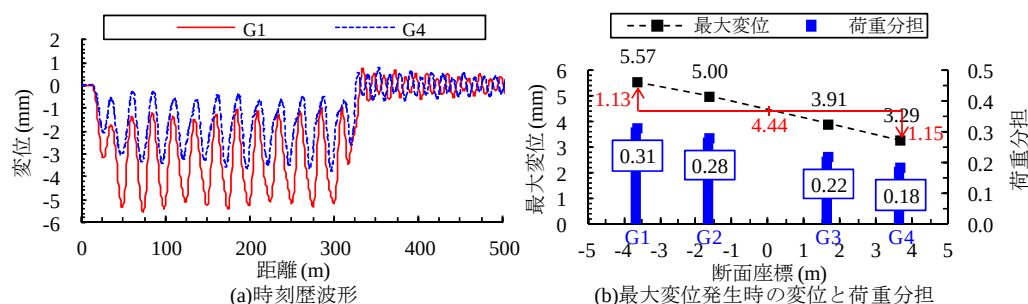


図 5 単線(上り線)載荷時の G1・G4 桁の変位波形と荷重分担(車両速度: 215km/h)

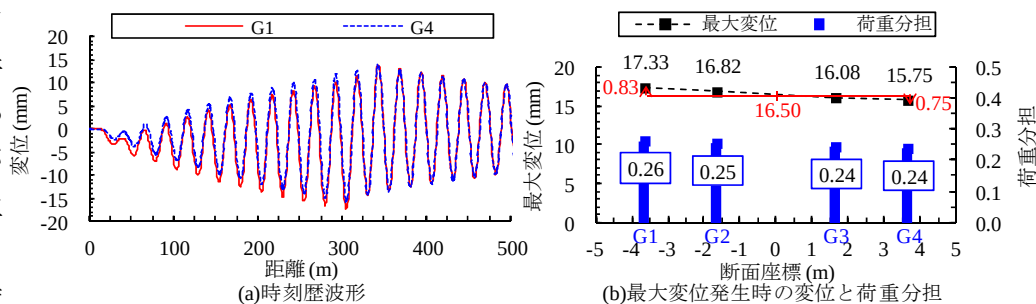


図 6 単線(上り線)載荷時の G1・G4 桁の変位波形と荷重分担(車両速度: 270km/h)

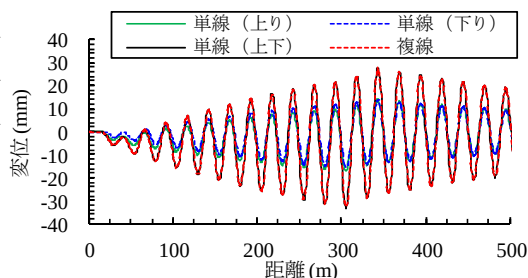


図 7 複線同時載荷時の G1 桁の変位波形
(車両速度: 270km/h、同時載荷)

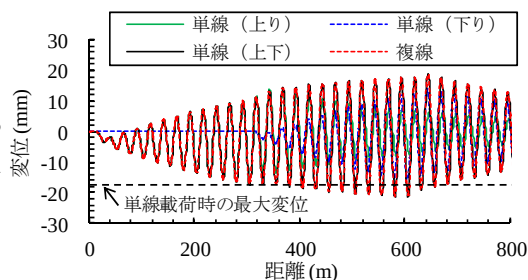


図 8 単線すれ違い載荷時の G1 桁の変位波形
(車両速度: 270km/h、すれ違い距離: 300m)