鉄道橋りょうの振動特性に非構造部材が及ぼす影響度評価

（公財）鉄道総合技術研究所　　正会員　○徳永宗正　曽我部正道

1. 目的　高速鉄道や超高速鉄道における列車運行速度の向上，PRC，SRC 桁等の低剛性桁の普及等により，列車通過時の顕著な共振現象が確認されており，衝撃係数の評価における一層の精緻化[1]が求められている．衝撃係数は部材の固有振動数に大きく支配され，その固有振動数はモード質量とモード剛性のバランスにより変動する力学パラメータである．このうち，設計時の想定値と建設後の実測値を比較すると，質量は比較的差が小さいが，剛性はコンクリート材料のヤング率のばらつきや非構造部材の寄与により実測値が設計値を上回るのが一般的[2)-4)]である．鉄道構造物においては，鉄道システムを構成する要素として軌道部材や防音壁，高欄等の構造物が付帯しており，これら非構造部材が主桁等の主構造に少なからず影響を及ぼす．近年では，積雪対策のために高さの高い路盤コンクリートを採用する例や，また，SRC 構造やスパンの短い単版桁等，本体構造の断面剛性が相対的に小さい場合には，非構造部材の影響は一層大きくなる．本稿では，RC 単版桁および RCT 型桁を対象として，数値解析に基づき非構造部材が固有振動数などの振動特性に及ぼす影響度を評価した．

2. 解析手法　図-1 に，対象とする非構造部材概要を示す．主構造と一体として挙動すると考えられる，軌道スラブ，路盤コンクリート，トラフ，地覆を対象とした．軌道スラブは軌道構造の一部で，レールを締結装置を介して直接支持するプレキャスト製品である．路盤コンクリートは列車荷重を構造物に伝播させる役割を持ち，場所打ちコンクリートにより構造物の全長に渡って配置される．軌道スラブと路盤コンクリートの間には 50mm 程度の CA モルタルによる充填層が敷設される．トラフは電力・信号用のケーブルの敷設やその上部を保守用通路として使用される場所打ちコンクリート部材である．地覆は橋の側端部に配置される保守通路の側壁や防風，防音等の機能を持つ．高欄には，近年採用の多い H 鋼と PC パネルを組み合わせた防音壁など，主構造との一体性が小さいと思われる付帯構造物は検討から除外した．レールは剛性の小ささや締結装置での滑り等を勘案して検討から除外した．

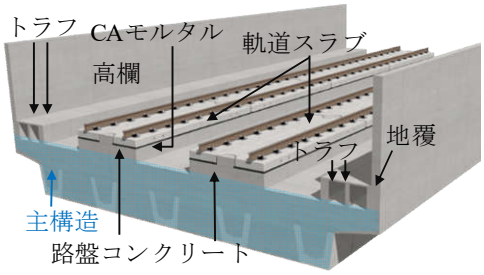
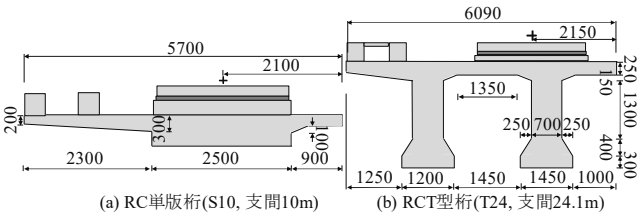
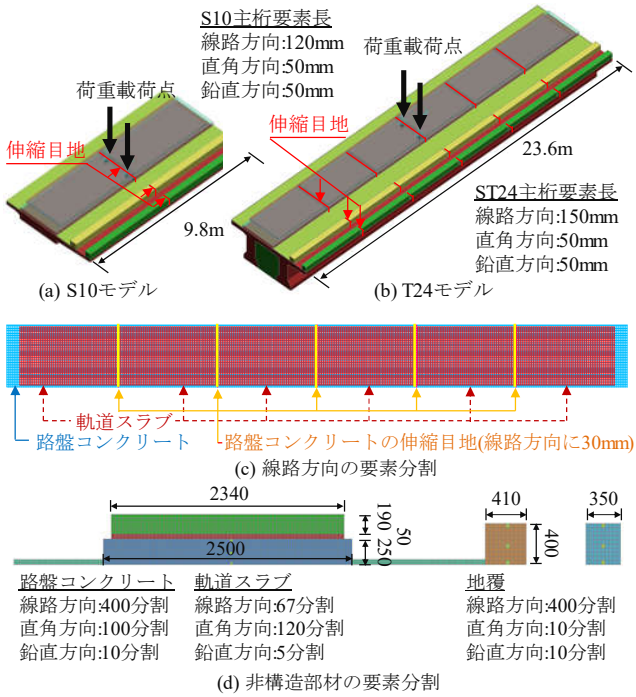


図-1　対象とする非構造部材概要



(a) RC単版桁(S10, 支間10m)　(b) RCT型桁(T24, 支間24.1m)

図-2　対象構造物断面諸元



(a) S10モデル　(b) T24モデル

(c) 線路方向の要素分割

(d) 非構造部材の要素分割

図-3　解析手法

表-1　解析ケース

	主構造	非構造部材			
		路盤ｺﾝｸﾘｰﾄ	CA, 軌道ｽﾗﾌﾞ	地覆	排水勾配
CASE0	考慮	-	-	-	-
CASE1	考慮	考慮	-	-	-
CASE2	考慮	目地無し	考慮	-	-
CASE3	考慮	-	-	考慮	-
CASE4	考慮	-	-	-	考慮

※CASE1, 3は非構造部材の目地無し，目地1箇所，目地3箇所

図-2 に，対象構造物の断面諸元を示す．本稿では，標準設計された新幹線のコンクリート桁から，非構造部材の影響が現れやすい構造物として RC 単版桁(S10，桁長 10.7m，支間 10.0m)を，また比較的影響が現れにくい構造物として RCT 型桁(T24，桁長 24.98m，支間 24.1m)を選定した．

図-3 に，解析手法を示す．3 次元有限要素法[5)]を用いて，主構造および非構造部材のコンクリートを忠実にモデル化した．コンクリートは 8 節点弾性ソリッド要素によりモデル化し，積分点は 1 点とした．CA モルタルおよび目地部のヤング率はそれぞれ 2，0.2 kN/mm^2 とし，それ以外の主構造，非構造部材のヤング率は 28 kN/mm^2 とした．全材料に対し，ポアソン比は 0.2，質量密度は 2.5 t/m^3 とした．目地の線路方向の長さは 30 mm とした．S10 モデルでは主桁の要素数 75739，

キーワード：鉄道運行情報，ビッグデータ，PRC 桁，累積疲労損傷度，共振，複線載荷
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 構造力学研究室　TEL:042-573-7290

非構造部材の要素数 380558 で総要素数 456297，T24 モデルでは，それぞれ 376834，596378，973212 となった．本モデルに対して，**表-1** に示す解析ケースに基づき，支間中央のレール位置に 75 kN の集中荷重を 2 点載荷し，主桁及び各非構造部材の線路方向の応力分布を評価する静的解析を実施した．また，固有値解析により 1 次 (鉛直曲げ)，2 次 (ねじり)の固有振動数を評価した．非構造部材を考慮しないケースでは，質量は考慮し，対象部材のヤング率は 0.01 kN/mm^2 とした．

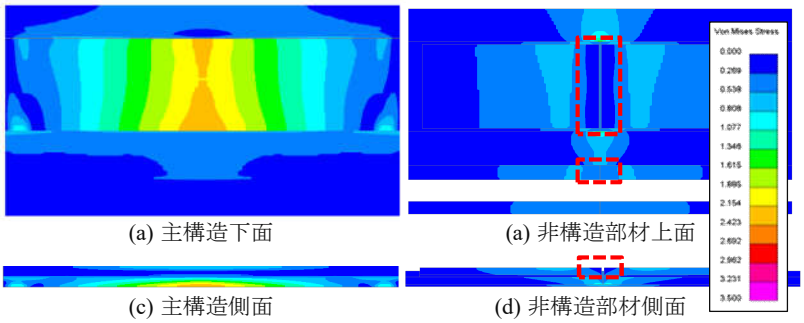


図-4　静的解析による S10 モデルの Von-Mises 応力分布

3. 解析結果　**図-4** に，静的解析結果から得られる，S10 モデルの Von-Mises 応力分布を示す．図から，目地位置付近の非構造部材は応力を負担しない一方，目地が無い排水勾配には応力集中が発生していることが分かる．

図-5 に，主桁最下縁要素および代表的な非構造部材である路盤コンクリートの最上縁要素の線路方向の応力分布を示す．図から，目地位置付近の路盤コンクリートは応力を負担しないこと，非構造部材の目地位置付近の主構造には応力集中が発生[6]し，T 型桁より単版桁の方がその程度が大きいことが分かる．

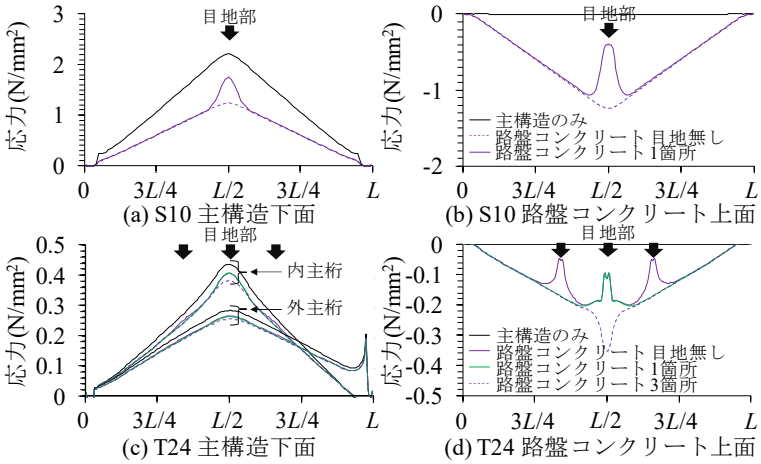


図-5　静的解析による線路方向応力分布

図-6 に，固有値解析結果により得られた固有振動数を示す．単版桁および T 型桁の 1 次の固有振動数はそれぞれ，路盤コンクリートの寄与により +50%，+8.5%，さらに軌道スラブの寄与で+43%，+3.5%，地覆の寄与により+11.5%，+1.6%，排水勾配の寄与で+5.4%，+1.4%増加しており，非構造部材の断面が相対的に大きい S10 の方が，固有振動数の増加率が高いことが分かる．また，1 次固有振動数は目地数の増加と共に減少しており，目地が無い場合と比較して，固有振動数増加率が 20%程度低下する一方，2 次固有振動数に及ぼす影響は小さいことが分かる．

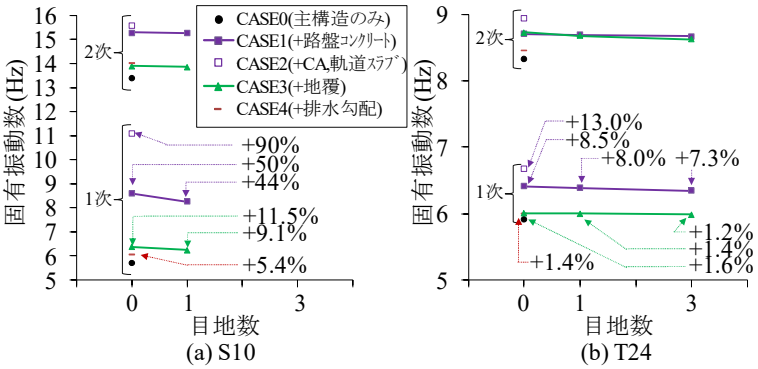


図-6　固有値解析による固有振動数

4. まとめ　本稿では，RC 単版桁および RCT 型桁を対象として，非構造部材が固有振動数などの振動特性に及ぼす影響度を評価することを目的に数値解析を実施し以下の結論を得た．①目地位置付近の非構造部材は応力を負担しない一方，非構造部材の目地位置付近の主構造には応力集中が発生し，T 型桁より単版桁の方がその程度が大きい．②単版桁および T 型桁の 1 次の固有振動数はそれぞれ，路盤コンクリートの寄与により+50%，+8.5%，さらに軌道スラブの寄与で+43%，+3.5%，地覆の寄与により+11.5%，+1.6%，排水勾配の寄与で+5.4%，+1.4%増加しており，非構造部材の断面が相対的に大きい単版桁の方が，固有振動数が増加率は高い．③1 次固有振動数は目地数の増加と共に減少しており，目地が無いが場合を比較して，固有振動数増加率が 20%程度低下する一方，2 次固有振動数に及ぼす影響は小さい．

参考文献　1) 曽我部正道，松本信之，藤野陽三，涌井一，金森真，宮本雅章：共振領域におけるコンクリート鉄道橋の動的設計法に関する研究．土木学会論文集，Vol.724，pp.83-102，2003．　2) 進藤良則，千葉寿，山洞晃一，石徳隆行：新幹線新規開業区間における単純PC桁のたわみ測定結果に関する考察，プレストレストコンクリート技術協会，第20回シンポジウム論文集，pp.203-208，2011．　3) 下津達也，水谷哲也，舟竹弘次，進藤良則：北陸新幹線の桁たわみ測定結果に関する考察，鉄道工学シンポジウム論文集，No.19，pp.59-66，2015．　4) 徳永宗正，曽我部正道，後藤恵一，中田裕喜：加速度・ひずみ測定に基づく鉄道 PC 桁の実剛性推定，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.2，2012．　5) Hallquist, J. O.：LS-DYNA User's Manual, Livermore Software Technology Corporation, 2001. 6) ヘンサルピソット，石川敏之，河野広隆，服部篤史：鉄筋コンクリート壁式防護柵のスリットが鋼桁に生じる応力に与える影響コンクリート工学論文集，Vol.24，No.3，pp.113-121，2013.