開床式鉄道橋の振動特性に関する考察

（財）鉄道総合技術研究所　正　○松本　光矢　　正　曽我部　正道　　正　渡辺　勉　　正　谷村　幸裕

1. はじめに　騒音対策上問題のない山間部などでは，開床式高架橋が建設されている．この構造形式は，従来の鉄道高架橋に見られる張出し部および線間の床版，さらには高欄（防音壁）を省略し，ダクトについては主梁と独立させ，それ自体を梁としている．この形式の構造物については，非構造部材がほとんどないため，剛性の低下が懸念されるが，具体的な検討・研究が行われていないため，その性状についてはまったく把握されていない．

そこで本検討では，開床式鉄道橋を対象とし，構造物の基本的動的性状を明らかにする[1),2)]．

表-1　検討対象橋りょう

構造物名	スパン（m）	構造形式	桁高（m）	中間横桁本数	ヤング係数（kN/mm^2）	断面二次モーメント（m^4） 路盤無	断面二次モーメント（m^4） 路盤有
T1	15	RCT形桁	1.45	1	25.0	0.458	0.638
T2	20	RCT形桁	2.05	1	25.0	1.238	1.668
T3	25	RCT形桁	2.65	2	25.0	2.839	3.423
T4	30	PC箱形桁	2.60	2	31.0	2.078	2.719
T5	35	PC箱形桁	3.10	3	31.0	3.235	4.156

写真-1　開床式橋りょう（L=15m）

2. 検討方法　開床式鉄道高架橋の基本的動的性状を明らかにするために，現地調査によるたわみの測定結果と数値解析による結果について比較，検討を行った．前述のとおり，開床式橋には張出し部および線間部にスラブがなく，主桁を端横桁，中間横桁で接続した形状となっている．**表-1** に対象橋りょうの一覧を示す．**写真-1** に対象橋りょうの例として RC 桁（L=15m）を示す．また，**図-1** に同構造物の断面図を示す．

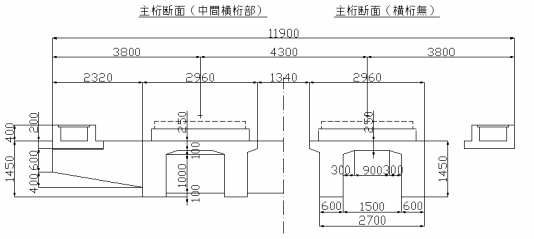

図-1　開床式橋りょう断面図（L=15m）

2.1 現地測定　桁のたわみ測定は，リング式変位計により，桁の支間中央のたわみを測定した．なお本測定においては，支承部の沈下量は十分小さいものと判断し測定しておらず，支間中央の地表面を基準にした変位量を測定した．対象列車は特急車両（130km/h 程度）と貨物車両（90km/h 程度）であった．

2.2 数値解析　数値解析には，車両を非振動の定荷重列とみなす線路構造物の汎用構造解析プログラム DIARIST（Dynamic and Impact Analysis for Railway Structure）を用いた．構造物はすべて線材のはり要素であり，列車の軸重は乗車率，積載率ともに 100%とした．**図-2** に列車荷重と解析モデルの例を示す．桁の支承部は単純支持とし，減衰定数は全ての構造物で 2%とした．

3. 検討結果　**3.1 固有振動数**　**表-2** にたわみ測定と数値解析から得られた固有振動数を示す．たわみ波形から算出した固有振動数については，列車荷重除荷後の残留波形から求めた．たわみ波形では L＝15m の RC 桁の固有振動数は特定することができなかった．数値解析を行うにあたって，主桁の断面 2 次モーメントについては，路盤を考慮していない断面と考慮した断面でそれぞれ固有振動数を算出した．たわみ測定から得られた固有振動数は，路盤の断面を考慮していない

表-2　固有振動数

構造物名	スパン（m）	固有振動数（Hz） 解析値 路盤無	固有振動数（Hz） 解析値 路盤有	固有振動数（Hz） 測定値
T1	15	7.56	8.54	－
T2	20	6.55	7.20	8.16
T3	25	5.65	5.95	7.55
T4	30	4.39	4.74	5.66
T5	35	3.89	4.18	6.4

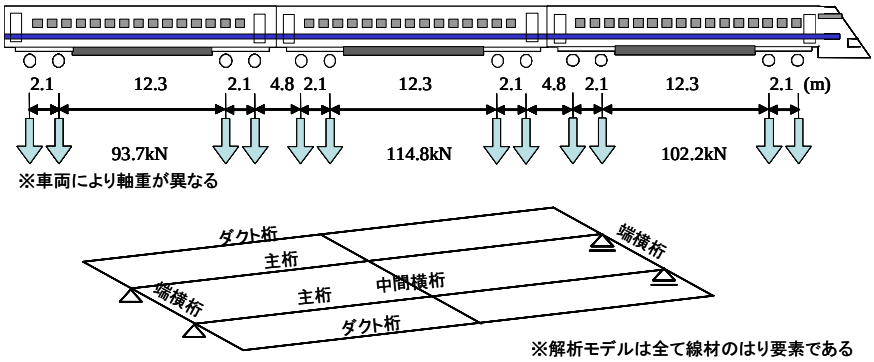

図-2　列車荷重と解析モデル

キーワード　開床式橋りょう，　剛性低下，　固有振動数，　荷重分配率，
連絡先　〒185-8540　東京都国立市光町 2-8-38　（財）鉄道総合技術研究所　Tel(042)573-7281

場合の解析結果に対して，約 1.2～1.7 倍程度の値となった．また，路盤の断面を考慮した場合の解析結果対しては，約 1.1～1.5 倍程度の値となった．

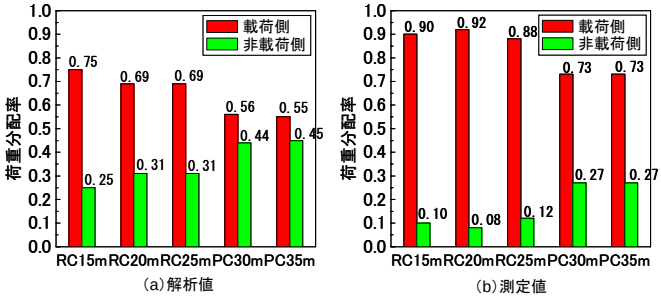

図-3　特急車両走行時の荷重分担率

3.2 たわみ　本検討では，まず中間横桁の剛性と荷重分配率について整理を行い，その後，主桁の剛性について検討を行った．

図-3 に各桁の荷重分配率を示す．荷重分配率とは，列車荷重の載荷側，非載荷側それぞれの桁のたわみを，両者の合計で割った値を表している．図中の解析値は，路盤の断面を考慮していない場合の剛性を使用した解析結果である．列車荷重の載荷側と非載荷側のたわみを示しているが，測定値と解析値を比較した場合，荷重分配率に大きな開きがあることがわかる．特急車両と貨物車両で若干のばらつきはあったが，RC 桁においては，解析で 7：3 程度，測定で 9：1 程度，PC 桁においては，解析で 6：4 程度，測定で 7:3 程度になっていた．荷重分配には中間横桁が大きく寄与していると考えられる．解析モデルでは，中間横桁を全断面有効とし，主桁との接合は剛結としており，接合部分は剛域として取り扱っているが，これが実態を表現できていない可能性もある．詳細は今後さらに検討が必要と考えられるが，本検討では中間横桁の剛性を補正することにより，荷重分配を表現することを試みた．その結果，PC 桁では中間横桁の剛性が，100 分の 1 程度，RC 桁では 1000 分の 1 程度とした場合，測定値とほぼ同じような荷重分配率を示す結果となった．

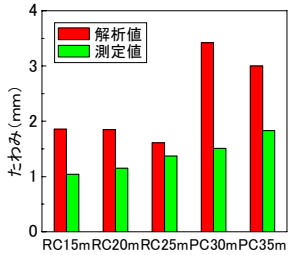

図-4　中間横桁剛性の補正結果

表-3　主桁剛性の補正値

構造物名	スパン(m)	構造形式	補正係数
T1	15	RCT形桁	2.0
T2	20	RCT形桁	1.7
T3	25	RCT形桁	1.3
T4	30	PC箱形桁	2.1
T5	35	PC箱形桁	2.0

次に桁のたわみについて，前述の補正方法にしたがった解析値と測定値の比較を行った．**図-4** に結果を示す．この図から，解析値はたわみを過大に評価していることがわかる．これは，軌道等の非構造物材の影響である考えられるため，主桁の剛性に対して補正を行った．**表-3** に結果を示す．主桁の剛性は T1，T2，T4，T5 ではほぼ同程度の補正係数となったが，T3 については 1.3 程度となり，他の桁に比べ小さな値になった．

図-5 に中間横桁と主桁の両部材の剛性を補正した場合の，列車荷重の載荷側の解析結果と測定値のたわみの時刻歴波形を示す．解析結果は実測によるたわみの時刻歴波形とよい一致を示した．ただし，貨物車両の場合は，貨車の軸重が積荷により左右されるため，解析時の軸重と実際の軸重に差があったと考えられえる．また，**図-6** に列車荷重の非載荷側の桁のたわみの時刻歴波形を示す．これを見ると，列車の通過直前と通過直後で測定値と解析値に差が出ていることがわかる．この原因として，桁のねじれが発生しているか，橋りょう全体が傾いていることが考えられるが，詳細については検討を進める必要がある．

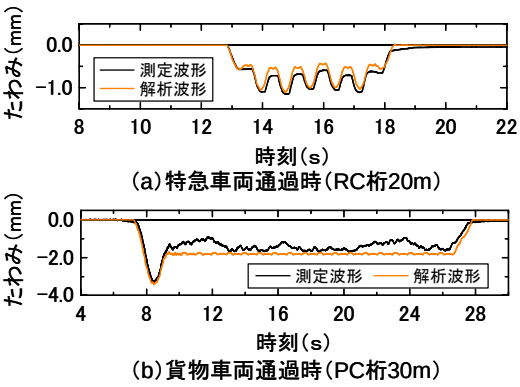

図-5　たわみの時刻歴波形（載荷側）

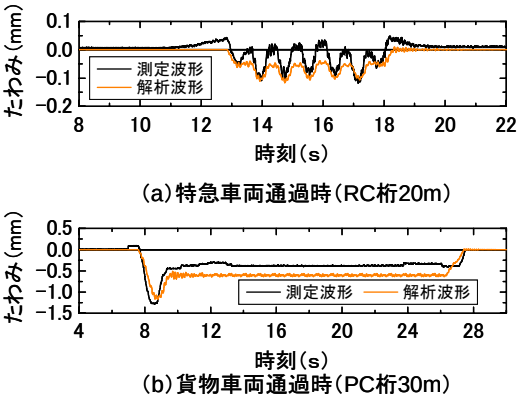

図-6　たわみの時刻歴波形（非載荷側）

4. まとめ　本検討では，開床式鉄道高架橋に着目し，構造物の基本的動的性状を明らかにした．得られた知見について以下に示す．①測定された各構造物の固有振動数は，路盤の断面を考慮した場合の解析値に対して，約 1.1～1.5 倍程度の値となっていた．②開床式橋りょうにおいて，たわみ測定の結果から，荷重分配率は RC 桁で 0.92：0.08～0.88：0.12，PC 桁で 0.73：0.27 となった．③数値解析の結果，主桁の剛性は 1.3～2.1 倍程度となった．

参考文献　1)鉄道総合技術研究所：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　2)宇野匡和，曽我部正道，谷村幸裕，金森真：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，構造力学論文集，Vol.53A，pp.67-76，2007