列車通過時の残留振動による高架橋健全度評価

東海旅客鉄道株式会社	正会員	〇砂原	啓人
	正会員	竹村	紗織
	正会員	齋藤	修

1. 背景と目的

従来,鉄道構造物においては振動測定による構造 物検査手法が研究されており,重錘打撃により構造 物の固有振動数を求めて,健全度を把握する「衝撃 振動試験」が実用化され,広く活用されている.その 中で,重錘打撃が困難な位置における橋脚の健全 度評価手法はいくつか提案されている.上半¹¹は遠 隔非接触振動測定システム「Uドップラー」を用いた 橋脚健全度評価の検討を行っており,また畑中ら²¹は, 既存の衝撃振動試験を改良して測定作業の効率化 を検討している.丹間ら³¹は,在来線における列車通 過時の残留振動を用いた橋脚の健全度評価を行っ ている.

このように、重錘打撃が困難な橋脚の健全度評価 手法は広く検討されているが、より簡便な方法として、 本研究では東海道新幹線において、列車通過時の 残留振動を利用して、卓越振動数から高架橋の固有 振動数を求めることにより高架橋の健全度評価が可 能であるか検討した。

2. 方法

本研究においては、列車通過時の残留振動と重錘 打撃による方法を比較することで検証を進めた. 重錘 打撃による衝撃振動試験は、30kgの重錘を用いて高 架橋を打撃し、高架橋の5箇所に設置したサーボ式 速度センサより振動波形を測定した. 測定した振動 波形を橋梁下部工健全度診断システム IMPACT III 「衝撃振動試験モード」により FFT 解析し、卓越振動 数を高架橋の固有振動数と特定した. なお、重錘打 撃は複数回行い、同一センサで得られた複数の振動 波形について重ね合わせ処理を行い、解析してい る.

列車残留振動による高架橋の固有振動数の推定 についても、上記の重錘打撃による衝撃振動試験と 同様のセンサを用いた.「微動・列車振動測定モー ド」により列車通過後の振動波形を測定し、その後、 波形表示プログラム Pwave32 により解析を行った.こ の結果から卓越振動数を求め、固有振動数を推定した.Pwave32を用いた測定波形の FFT 解析範囲は、 列車通過1秒後、2秒後、3秒後…の任意の時刻から、 512 個、1024 個、2048 個とデータの選択範囲を変え て解析を行い、重錘打撃による衝撃振動試験で得ら れた固有振動数と比較した.速度センサの設置イメ ージを図1に、振動波形測定・解析条件を表1に示 す.



図1. 速度センサ設置イメージ

3. 結果と考察

列車通過時の残留振動から、データ解析の選択 範囲を変えて得られた卓越振動数の中で、重錘打撃 による固有振動数と比較し、最も固有振動数に近い 値を高架橋ごとに表2に示す、列車残留振動から解 析し、固有振動数を推定したところ、重錘打撃による 固有振動数の値と一致、または近い値が得られること が判明した.また、重錘打撃による振動波形とフーリ エスペクトル図を図3に、列車残留振動波形とフーリ エスペクトル図を図4に示す.

加振方法	振動波形測定	データ解析	サンプリング 周波数(Hz)	データの 重ね合わせ	データ解析個数・範囲
重錘打撃	IMPACTⅢ (衝撃振動試験)	ІМРАСТШ	500	あり	打撃時刻から 2048 個
列車残留振動	IMPACTⅢ (微動・列車振動)	Pwave32	200 または 500	なし	任意の時刻から 512 個・1024 個・2048 個

表1. 振動波形測定とデータ解析の条件

キーワード:固有振動数,IMPACTⅢ,衝撃振動試験,列車通過時の残留振動 連絡先: 〒420-0851 静岡市葵区黒金町 29 番地 東海旅客鉄道(株) 静岡新幹線構造物検査センター Tel:054-282-8116

表2. 重錘打撃による固有振動数と列車残留振動により得られた固有振動数の比較

	上部センサ	下部センサ	甘林	卓越振動数(Hz)		L. HO	測定	サンプ	
高架橋名	の高さ	の高さ	を使いず	衝撃振動	列車残留振動	列車残留振動	シアクリのシアン	対象	リング
	(GL-m)	(GL-m)	ルシエし	(重錘)	(上部センサ)	(下部センサ)	故直位直	列車	周波数
A	5.0	0.3	直接	2.930	2.930	2.930	下り側	上り	200
В	5.1	0.3	直接	3.780	3.710	3.710	下り側	上り	200
C 1 セット	4.8	0.3	直接	3.113	3.174	3.174	上り側	下り	500
C 2 セット	4.8	0.3	直接	3.174	3.174	3.174	上り側	下り	500
D4セット	6.6	0.3	杭	2.563	2.563	2.563	上り側	下り	500
D5セット	6.7	0.3	杭	2.563	2.563	2.563	上り側	下り	500
E6セット	4.5	0.3	ベノト杭	4.761	4.671	4.671	下り側	上り	500
E 7 セット	4.5	0.3	ベノト杭	5.188	5.249	5.127	下り側	下り	500



Max = 0000 (Kine Sec) 42 550 (b) 図3. 高架橋 D の衝撃振動試験結果

今回の検討では,列車残留振動のデータ解析個 数を512 個,1024 個,2048 個の3ケースに変化させ て解析を実施したが,卓越する振動数に大きな差は 見られなかった.

しかし、データの選択範囲により卓越する振動数 は異なる値となった.具体的には、①列車通過直後 の波形を選択すると、列車の車軸間隔と通過速度に 依存する周波数が卓越し、また、②列車通過時刻か らある程度時間が経過した部分のデータを選択する と、他の成分が卓越し、重錘打撃による固有振動数 を得ることができなかった.したがって、表2の列車残 留振動による卓越振動数のほとんどが、図4に示す 上記①と②の範囲の中間を選択して解析した結果で ある. 今回の検討では、重錘打撃による固有振動 数と同値を得うる明確なデータ選択範囲を決定する には至らなかったが、列車通過から概ね1~3秒後の データを選択したケースでは、重錘打撃による固有 振動数とほぼ同じ値を得られた.

センサの設置位置に関しては、センサと反対側の 線路を列車が通過したケースの多くで、重錘打撃に よる固有振動数と近い値が得られた.

また,列車残留振動から固有振動数を推定するに あたり,下部センサと上部センサで,ほぼ同じ値が得 られることが判明した.これは上部にセンサを設置で きない場合に,下部センサのみで健全度評価が可能 であることを示唆している.

高架橋の形式・高さと列車残留振動から求めうる固



図4. 高架橋 D の列車残留振動試験結果

有振動数の関係については、今後測定箇所を増やし、検討を継続する予定である.

4. まとめ

本研究の主な成果は以下の2点である.

- i. 列車残留振動により高架橋の固有振動数の推定を試みたところ、データの選択範囲に留意すれば、重錘打撃による衝撃振動試験で得られた固有振動数の値と一致、または近い値が得られることが判明した。
- ii. 高架橋下部(GL0.3m)にセンサを設置した場合 にも高架橋上部のセンサと同じ結果が得られる ことが判明した.

高架橋の形式,通過列車の形式・速度により固有 振動数が得られるデータ選択範囲が異なるので,今 後もデータ測定・解析を行い,条件の絞込みを行っ ていく.

参考文献

- 上半文昭,遠隔非接触振動測定による河川橋脚検査に 向けた基礎検討,土木学会第63回年次学術講演会概 要集,第VI部 6-070,pp.139-140,2008.
- 畑中ら、衝撃振動試験の改良に関する一考察,土木学 会第64回年次学術講演会概要集,第IV部 IV -358,pp.713-714,2009.
- 丹間ら,列車振動による高架橋の健全度評価について, 土木学会第61回年次学術講演会概要集,第IV部 4-362,pp.721-722,2006.