

振動計測結果に基づく新幹線高架橋の振動特性に関する一考察

北海道大学大学院工学研究科 学生員 ○土屋 健司
 北海道大学大学院工学研究科 学生員 金谷 武伸
 北海道大学大学院工学研究科 正 員 蟹江 俊仁
 大阪府立工業高等専門学校 正 員 小幡 卓司

1. はじめに

近年、道路交通、鉄道等の陸上交通輸送の高速化が進んでいる。これは、航空産業と、価格・移動時間の面で常に熾烈な競争を展開しているためであり、陸上交通輸送のさらなるシェア拡大を目指すためには、移動時間の短縮、つまり車両の高速化が求められているからである。一方で、高速走行に伴い、環境振動の増加が懸念されており、高速化による振動特性の変化が考えられる。本研究では、新幹線車両が通過する高架橋に振動加速度計を設置し、車両の高速走行が構造物に与える振動特性に関して論ずることとする。

2. 計測概要

測定高架橋は、PC単純桁の連続高架橋であり、周辺地盤は地下約30mの支持層(N=50)まで非常に軟弱な地盤(N=5程度)が続いている。そのため、基礎は大口径のベント杭(Φ1500)で支持されている。構造物に取り付けた振動加速度計は6つで、それぞれ橋脚と桁に設置した。3P付近の地盤にも加速度計を設置した。また、サンプリング周波数は5000Hzとし、測定方向は橋軸方向をx、鉛直方向をzとした。図1に測定箇所の詳細を、表1に計測ケースを示す。

3. 計測結果

3-1 起振周波数

車両速度に依存する起振周波数として次の3つが知られている。①車両長(25m)による振動、②車両長と台車間距離(17.5m)の相互作用による振動、③車軸間距離(2.5m)による振動の3つである¹⁾。それぞれ固有の波長λが存在し、車両の秒速(m/s)をλで割ることで、振動数を求めることができる。case3(313km/h)の起振周波数を表2に示す。これらの周波数に加え、軌道自身の不陸などに起因してもたらされる起振周波数は、車両の走行速度に依存すると考えられる。このため、計測された振動加速度データのフーリエスペクトルをとった後、

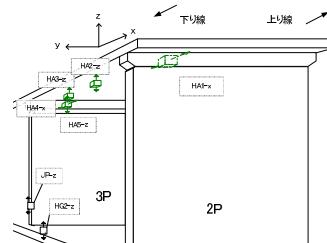


図1 測定箇所

表1 計測ケース

Case 番号	速度
Case1	239 km/h
Case2	308 km/h
Case3	313 km/h

表2 case3(313km/h)の起振周波数

	時速(km/h)	秒速(m/s)	波長λ(m)	周波数(Hz)
①	313	86.94	25.0	3.48
②			8.54	10.2
③			2.50	34.8

周波数については車両の走行速度 313 km/h のケース(case3)を規準に正規化することとした。case1, case2, case3の主桁L/4点鉛直方向振動の速度換算フーリエスペクトルを図2に示す。図から明らかなように、速度換算した周波数を適用することで、卓越周波数の一致点がいくつか見られる。例えば表2の振動数を灰色の線(①~③)で図2中に示すと、3つともに卓越が見られる。

3-2 桁固有振動数

両端支持の単純ばりとして考えると、桁の固有振動数は下式で求められる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2$$

これを解くと、1次モード(n=1)、2次モード(n=2)および3次モード(n=3)の固有振動数は、それぞれ f=6.6(Hz), f=26.3(Hz), f=59.2(Hz)となる。ここで、上記の結果はヤング係数や密度、断面二次モーメントの有効幅等の仮定による概算値であり、真の値とは異なることも考えられる。このため、主桁4/L点と桁下支承付近の鉛直方向のコヒーレンスをとって図3に示した。図より明らかに24Hz付近と59Hz付近の相関が高く、上記に示した固有振動数周辺に、真の桁の固有振動数が存在するものと思われる。ここで、図2に桁の固有振動数を太い点線で示すと、1次モードでは卓越が見られ

キーワード 環境振動, フーリエスペクトル, 固有振動数, 振動特性

連絡先 〒060-0808 北海道札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL011-706-617

ないが、2次モード、3次モード付近では卓越が見られる。

3-3 圧縮波とせん断波

本橋脚は軟弱地盤上に造成されており、車両の通過とともに橋脚と基礎の間を伝わる圧縮波とせん断波の存在が考えられる。その伝播速度は一般的に次のように知られている。

$$\begin{aligned}
 \text{圧縮波} \cdots v_p &= \sqrt{\frac{E}{\rho}} & \text{せん断波} \cdots v_s &= \sqrt{\frac{G}{\rho}} \\
 \text{ただし、ここで剛性率 } G &= \frac{E}{2(1+\mu)}
 \end{aligned}$$

上式と図4のような本高架橋のモデルから、表3のような固有振動数が得られた。これらの振動数は80-100Hz付近に集中しており、車両の高速化とともにこの周波数帯での振動が顕著に見られる(図2)ようになる原因のひとつと考えられる。

3-4 橋脚上部から橋脚下部への振動の伝播

図5と図6はcase3における3Pの橋脚上部、下部、橋脚付近の地盤の3点における時系列応答波形とフーリエスペクトルである。縦軸はそれぞれの最大値によって正規化している。図より、振動加速度は橋脚上部から下部に伝わることで約半分に低減していることがわかる。また周波数特性を見ると、70-80Hz付近の振動は著しく低減しているが、60Hz付近はあまり変化がない。橋脚下部と橋脚付近の地盤の振動とを比較すると、振動加速度も卓越周波数もあまり変化がないことがわかる。一般的にこれらの高周波は遠方に伝播しにくいことが知られているが、橋脚から地盤へ伝わる過程で残留する振動が確認されたために、今後さらに検討する必要があると考えられる。

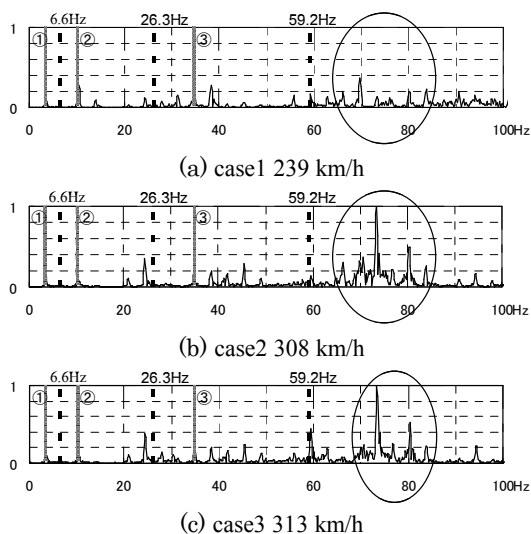


図2 主桁L/4点鉛直方向313km/h換算フーリエスペクトル

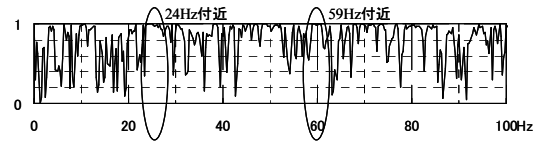


図3 主桁L/4点と桁下支承付近鉛直方向コヒーレンス

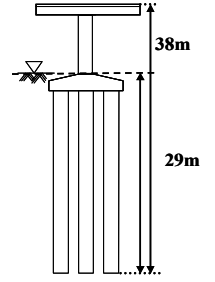


図4 高架橋モデル

表3 圧縮波とせん断波

ヤング係数(E)	2.3 × 10 ¹⁰ (N/m ²)	
密度(ρ)	2.5 × 10 ³ (kg/m ³)	
ポアソン比(ν)	0.2	
	圧縮波	せん断波
速度(m/s)	3.0 × 10 ³	2.1 × 10 ³
長さ(m)	L=38 L=29	L=38 L=29
振動数(Hz)	79.8 101	56.4 78.3

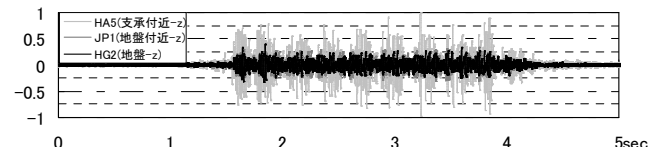


図5 case3:3Pにおける振動加速度時系列応答波形

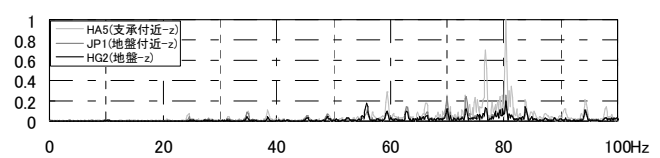


図6 case3:3Pにおけるフーリエスペクトル

4. まとめ

- 以上より、本研究の知見を整理すると次のようになる。
- ・ 現在知られている車両による3つの起振周波数が計測を通して確認できた。
 - ・ 他にも車両速度に依存して持ち込まれる振動数が存在するが、現時点で明確な原因を特定するには至っていない。
 - ・ 桁の鉛直方向のフーリエスペクトルとコヒーレンスにより、高架橋の振動モードに対応した応答が見られた。車両の走行によって持ち込まれる振動が、これらの振動モードと共振し、より大きな振動になってあらわれていると考えられる。
 - ・ 特に80Hz付近は圧縮波とせん断波が、橋脚と基礎を伝わるためだと考えられ、高速になるほど顕著に見られるため、注意が必要である。
 - ・ 橋脚の上部の振動は下部ではおよそ半減する。特に70-80Hzの高周波の低減が明らかだが、60Hz付近の振動に関してはそれほど低減しておらず、これらの振動が地盤中をどのように伝わるか今後検討する必要がある。

参考文献

1) 横山秀史, 芦谷公稔, 岩田直泰: 新幹線高速走行時の地盤振動特性と速度依存性評価法, 鉄道総研報告(2006)