

新幹線車両の走行に伴う構造物の振動特性分析

Vibration characteristics of viaduct due to high-speed operation of shinkansen

北海道大学工学部国土政策学コース ○学生員 土屋 健司(Takeshi TSUCHIYA)

北海道大学大学院工学研究科 正 員 蟹江 俊仁(Shunji KANIE)

北海道大学大学院工学研究科 正 員 赤川 敏(Satoshi AKAGAWA)

北海道大学大学院工学研究科 正 員 内藤 孝和(Takakazu NAITO)

北海道大学大学院工学研究科 学生員 金谷 武伸(Takenobu KANAYA)

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、高速走行化に伴い、環境振動の増加が懸念されており、高速化による振動加速度の増大や、卓越周波数の高周波シフトなどの可能性が考えられる。

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、新幹線車両の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. 測定方法と測定条件

測定を行った高架橋は、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、基礎は大口径のベノト杭(φ1500)で支持されている。

また、測定地点周辺は農地が広がり、人や車の通行が少なく、新幹線車両の振動データを純粋に得るのに適していると考えられる。

構造物に取り付けた振動加速度計は 5 つで、それぞれ橋脚と桁に設置した。サンプリング周波数は 5000Hz で、測定方向は橋軸方向を x、鉛直方向を z とした。桁では鉛直方向、橋脚では橋軸方向と鉛直方向で測定を行った。図-1 に測定箇所を、表-1 に検証車両を示す。

3. 車両速度と卓越振動数

車両速度に起因する振動で、原因がわかっているものは 3 つ存在する。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。313km/h(case3)の車両が持ち込む 3 つの振動数を、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、周波数については車両の走行速度 313km/h のケース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図を図-2 に示す。

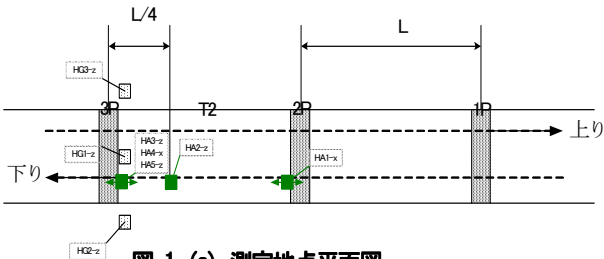


図-1-(a) 測定地点平面図

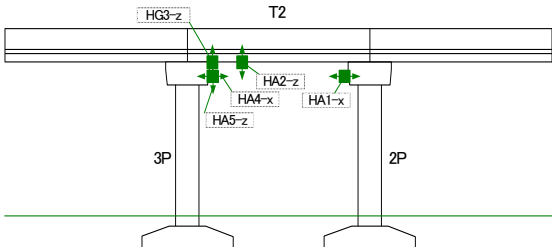


図-1-(b) 測定地点側面図

表-1 検証車両

番号	速度	方向	編成
case1	239km/h	下り	8 両
case2	308km/h	下り	8 両
case3	313km/h	下り	8 両

表-2 車両速度に起因する振動数

	時速(km/h)	秒速(m/s)	波長 λ (m)	周波数(Hz)
①	313	86.94	25	3.48
②			8.54	10.18
③			2.5	34.78

図-2 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 の振動数を点線で図-2 中に示すと、3 つとも卓越が見られる。この他、24Hz 付近や 39Hz 付近でも一致が見られ、車両速度に起因する振動であることがわかる。

したがって、今回の計測では低い周波数(40Hz 以下)の振動の大部分が車両速度による振動であると考えられる。一方、高周波(65～80Hz)付近は卓越が見られるものの、3 つの一致は見られず、固有振動数の影響が強いと考えられる。

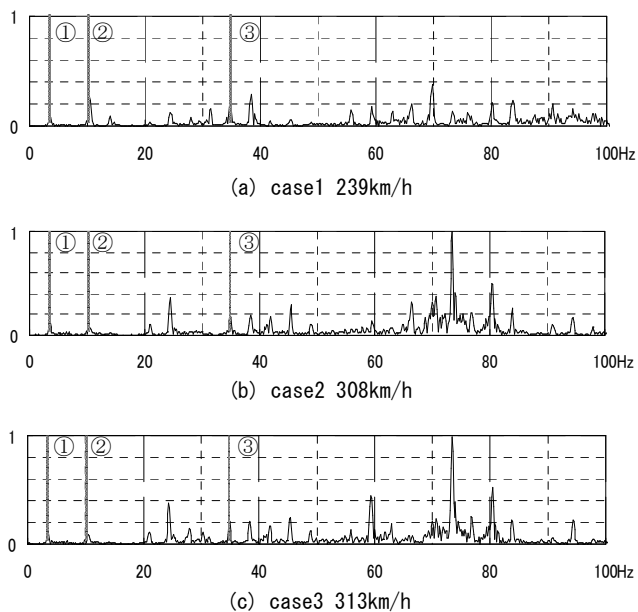


図-2 主桁 L/4 点鉛直方向フーリエスペクトル

4. 桁固有振動数

桁の固有振動数を求める．桁のたわみを v ，角振動数を ω として，

$$EI \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0$$

$$v = \phi(x)e^{i\omega t} \text{ とおくと}$$

$$EI \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - \omega^2 \rho A \phi = 0$$

$$c^2 = \frac{EI}{\rho A}, \beta^4 = \frac{\omega^2}{c^2} \text{ とおくと}$$

$$\frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - \beta^4 \phi = 0$$

これより

$$\phi = C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x + C_3 \cosh \beta x + C_4 \sinh \beta x$$

両端支持の単純ばりとして考えると

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

ここで，E：コンクリートの弾性係数

I：桁の断面二次モーメント

ρ ：桁の密度

A：桁の断面積

L：桁の長さ

したがって，

$$1 \text{ 次モード}(n=1) \cdots f=6.0(\text{Hz})$$

$$2 \text{ 次モード}(n=2) \cdots f=24.0(\text{Hz})$$

$$3 \text{ 次モード}(n=3) \cdots f=54.0(\text{Hz})$$

5. 固有振動数と卓越振動数の関係

車両速度に起因する振動の中で，構造物の固有周期と共振し，より大きな振動となって現れる点がある．図-3 は HA2(主桁 L/4 点鉛直方向)における case1, case2, case3 のフーリエスペクトルの卓越部を，3 つの周波数帯に分けて示したものである．図-3 において，3 つのグ

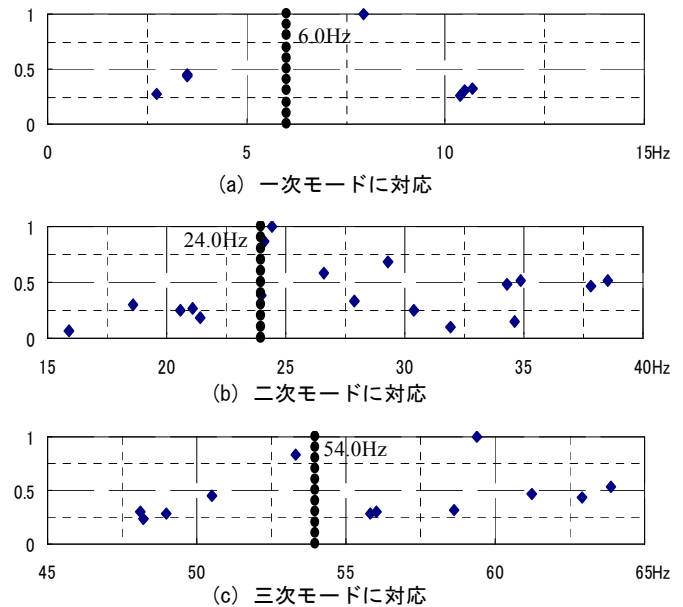


図-3 桁の固有振動数と卓越振動数の関係

ラフの卓越が一致している点を元の周波数に戻し，その加速度を縦軸にプロットしている．縦軸はそれぞれのグラフごとの最大値によって割り戻しており，無次元化している．

また，上記で求めた(a)～(c)の各周波数帯に対応するモードの桁の固有振動数 6.0Hz, 24.0Hz, 54.0Hz をそれぞれ黒の点線で示している．計算結果と若干ずれる部分もあるが，全体の傾向として，点線で示した固有振動数付近を頂点とする凸型のグラフをイメージできる．つまり，図-3 によっていくつか存在が確認された車両速度に起因する振動が，桁の固有振動数と共振することで増幅され，より大きな振動となって現れているということである．このように，車両の高速化を進める場合，車両が持ち込む振動を把握することが必要となると考えられる．

6. まとめ

- ・ 現在知られている車両速度に起因する3つの振動数は，計測を通して確認できた．しかし，この他にも車両速度に起因する振動数が存在する可能性があり，振動対策を行う上で，考慮しなければならない．
- ・ 桁の固有振動数が車両速度によって持ち込まれた振動を増幅し，より大きな振動を与えていることが確認できた．車両の高速化に伴い，共振を防ぐ振動対策が必要となると考えられる．

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
- 2) 小幡卓司：高速交通ネットワーク網における構造物—地盤系の振動伝播特性に関する一考察，土木学会第63回年次学術講演会(1-583)
- 3) 岩丸幹：新幹線の高速化による軟弱地盤の振動特性分析，平成20年度北海道大学大学院工学研究科修士論文，2007.3