

実石橋の振動特性の振動試験法の検討

熊本大学大学院 学生会員○藤田 千尋, 小倉 孟
熊本大学大学院 フェロー会員 山尾 敏孝

1. はじめに

熊本県山鹿市内にある弁天橋(写真1)は、1881年(明治14年)に架設された石橋で、旧国道として利用され、現在も生活道路として利用されている。弁天橋はアーチ輪石に一部ひび割れや石材のズレが見られるが比較的健全であると推測される。このように、近年では熊本県下における石橋の多くに、石材のひび割れや抜け落ち、石材のズレなどの損傷が顕著となってきている。しかし、現時点では損傷を有する石橋に対する適切な健全度評価手法が確立されていない。石橋の中には、重要な文化財として指定されているものも少なくなく、これらの石橋を適切に健全度評価し、維持管理して残していくためには、解析手法の確立が急務であり、そのためには実橋の固有振動特性の把握が必要である。本研究では、多数存在する石橋の耐久性や健全度評価を簡単に行うことを目的とし、石橋の固有振動特性を求める試験方法を確立することである。そこで、まず弁天橋において、重錘落下試験および車両走行試験を行い、石橋の固有振動特性の推定を試みた。



写真1 弁天橋

2. 試験方法と調査項目の概要

対象石橋の弁天橋は、橋長12.2m、支間長9.0m、全幅員5.25m(有効幅員4.85m)、スパンライズ比0.33である。本研究では、石橋の固有振動特性を把握するための試験方法として、重錘落下試験および車両走行試験を実施した。この試験より石橋の加速度を測定し、得られた加速度から減衰定数およびパワースペクトルを算出した。以下に試験方法を示す。なお、加速度計の設置位置は、図1に示すように、石橋の路面上と下面にそれぞれL/4点、L/2点、3L/4点の6箇所とした。測定方向として、路面上は鉛直方向、石橋の下面はアーチの法線方向とした。

(1) 重錘落下試験: 石橋の減衰定数および卓越振動数を調べるために、20kgの錘を路面上の任意の箇所で落下させ、衝撃荷重を与えその応答加速度を測定した。また、応答の比較を行うため、人の跳躍による衝撃荷重も与えた。

(2) 車両載荷試験: 車両走行時の石橋の挙動を調べるために、20ton車両を用いて走行試験を実施した。車両を時

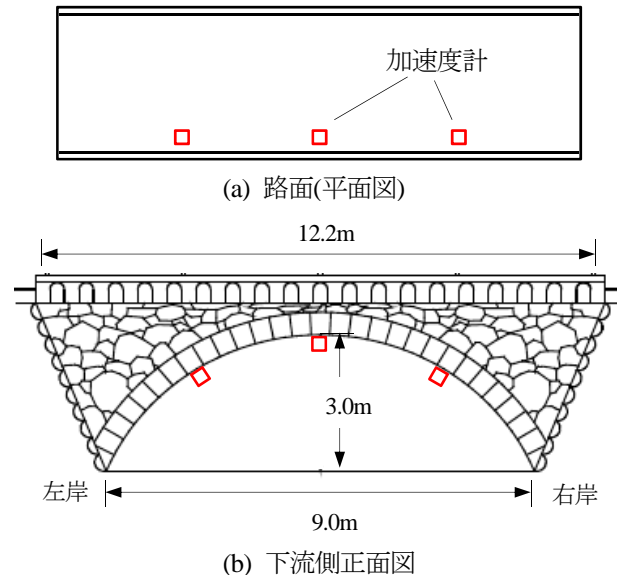


図1 弁天橋と加速度計の設置位置

表1 走行試験の载荷パターン

番号	载荷パターン	走行方向
1	走行試験 15 km/h	右岸⇄左岸
2	走行試験 20 km/h	右岸⇄左岸
3	走行試験 30 km/h	右岸⇄左岸
4	走行試験 15 km/h+制動	右岸⇄左岸

速15 km/h - 30 km/hで走行試験および制動試験を行って、その時の加速度を測定した。载荷パターンは表1に示す。

3. 試験データの処理方法

重錘落下試験によって得られた応答加速度について、実務でよく用いられる対数減衰率による減衰定数の算出を行った¹⁾。計測される応答は衝撃後に自由振動となるが、この自由振動に含まれる波の成分をスペクトル解析することにより、石橋の卓越振動数が得られ、固有振動数の推定が可能となる。下記に減衰定数の算出式を示す。

$$\text{対数減衰率 } \delta \quad \delta_{n,n+1} = \log_e \frac{Y_n}{Y_{n+1}} \quad (1)$$

$$\text{減衰定数 } h \quad h_{n,n+1} = \frac{\delta_{n,n+1}}{2\pi} \quad (2)$$

車両走行試験で得られた応答については、スペクトル解析を行い、重錘落下試験での卓越振動数との比較を行った。また、車両走行時の鉛直変位を測定することにより、石橋の変形挙動について検討した。以上の試験方法での問題点や課題等について検討した。

4. 実験結果および考察

重錘落下試験では、衝撃荷重を与えた時の応答から減衰定数とスペクトル解析により卓越振動数を求めた。図3と図4にL/4点の自由振動波形およびL/4点のパワ・スペクトルを一例として示す。なお、パワ・スペクトルについては、路面上と下面で相違が見られるか比較を行うため、双方の図により比較して示した。また、実施した8回の自由振動の波形からそれぞれ減衰定数を求め、それらを平均した値およびパワ・スペクトルが最大値となる振動数を求め、それを平均した値を表2にまとめて示す。なお、3L/4点については、計器に不備があり加速度を測定することができなかった。

図4の(a)と(b)の結果を比較してみると、どちらも13.5Hz付近の振動数が卓越していることが確認できる。このことから、石橋の路面上の加速度と下面のアーチ部分の加速度はほぼ対応していることがわかった。また、表2よりL/4点とL/2点で得られた減衰定数の平均値はそれぞれ0.062, 0.078となっているが、既往の研究²⁾で行われたアーチ部分(スパンライズ比0.35)のみでの模型加振実験では、L/4点, L/2点, 3L/4点の減衰定数はそれぞれ0.056, 0.051, 0.057となっている。スパンやアーチ石の石材個数が異なるため単純に比較できないが、弁天橋の減衰定数の方が大きくなった理由として、壁石の影響が考えられる。今後、さらに実石橋および石アーチ模型での加振実験を行い、データを増やす必要がある。

次に、時速15 km/h -30 km/hで行った車両走行試験から得られた応答によりパワ・スペクトルを算出し、その一例

を図5に示す。図5(b)は時速30 km/h 走行時の結果であるが、図4の重錘落下試験でのパワ・スペクトルの結果と同程度の卓越振動数が確認できる。また、図5(a)は時速15km/h 走行時の結果であるが、この図からでは卓越振動数の判断が困難である。以上のことから、車両走行試験により卓越振動数を求めることは可能だが、車両走行速度が時速15km/h以下では、スペクトルの傾向が判断しにくいということがわかった。

本研究で実施した加振実験で得られた結果として、弁天橋の固有の振動数は13.5Hz付近にあると考えられる。また、石橋の路面上と下面の加速度が対応していることから、どちらか一方の加速度のみ測定すればよいと判断もできるが、今後、種々形式の石橋についても試験を行い確認する必要があることがわかった。また、今回実施したアーチ輪石の下面に加速度計を設置して測定するのは容易ではないため、路面上にのみ加速度を設置して妥当な結果が得られるか検討する必要がある。石橋の加振実験例は少なく、石橋の振動特性などは十分明らかにされていない。今後、石橋の耐震性能を明らかにするために、他の石橋や壁石を有する模型での実験を行い、石橋の固有の振動特性を求め、データを蓄積する必要がある。

参考文献

- 1)平井 一男, 水田 洋司: 耐震工学入門 [第2版], 森北出版, 2001.
- 2)古賀圭一郎, 他4名: 石材間摩擦に着目した石アーチの石材の動的解析手法の検討, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集 (CD-ROM), I-043, pp.85-86, 2012.

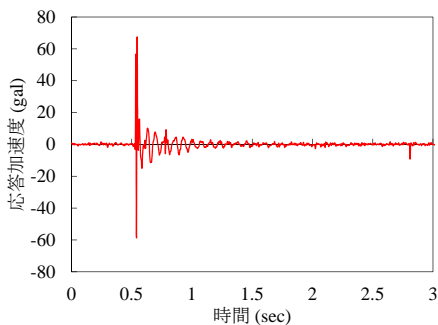


図3 L/4点の自由振動波形

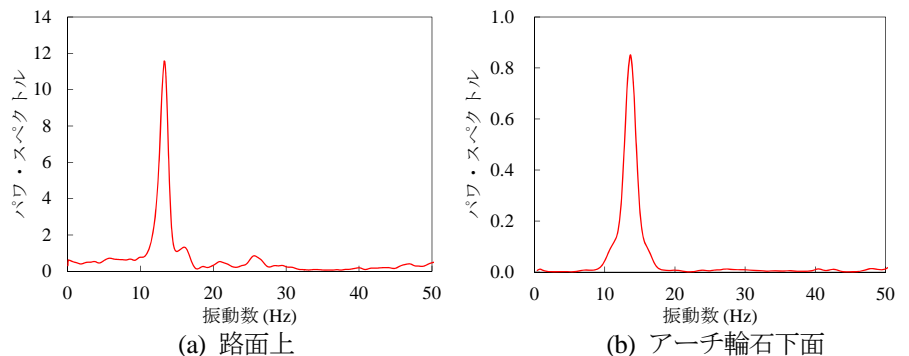


図4 L/4点のパワ・スペクトル (重錘落下試験)

表2 測定減衰定数の平均値

	減衰定数	振動数
	h	Hz
L/4点	0.062	13.5
L/2点	0.078	13.6

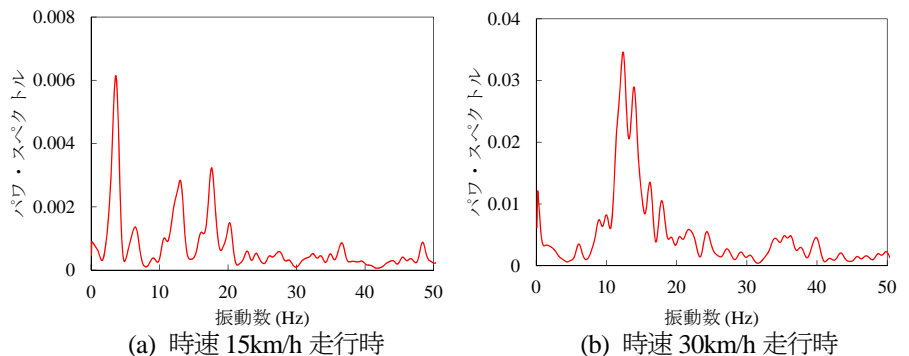


図5 パワ・スペクトル (車両载荷試験)