

老朽化した石造橋（袋橋）の健全度調査

岡林隆敏*・岩永洋**・堀川聖太***・石橋直樹***

Health Monitoring of the Fukuro Bridge, an Aged Historic stone Bridge

by

Takatoshi OKABAYASHI*, Hiroshi IWANAGA**,
Syota HORIKAWA*** and Naoki ISHIBASHI***

Fukuro bridge, a stone arched bridge, is of about 17m in length constructed in about 1655, and, is one of which automotive can pass of 2 bridges in stone bridge group cultural assets of Nakajima River. In the vicinity of a basal part of a ring stone of the bridge, isolation, cracked and some other deterioration were confirmed. It is increase of traffic density of automotive that was nominated for one of the causes. Therefore, in this research, We performed the detection of a natural frequency by ambient vibration, investigation of quantity of opening and shutting of seam region by vehicle traffic, and furthermore, examination to relate to safety for the purpose of investigating a vibration characteristic of the bridge for vehicle traffic. For realizing automated measurement, I made a program with LabVIEW and applied to this measurement.

Key words : stone bridge ,natural frequency, health monitoring , deterioration

1. はじめに

近年、交通量の増加、車両の大型化に伴い橋梁の受ける疲労度は大きなものとなっている。数百年前に架設された石造橋は、近年の交通量の増加、車両の大型化により、破壊的な損傷状況にある。石造橋は、歴史的な物が多くこれから後生に残していくためにも、それぞれの石造橋の現状を知り、維持管理を視野に入れていかなければならない。長崎市に流れる中島川に架設されている袋橋もその一つである。袋橋は目視点検より、輪石（アーチ部）の基部付近に浮き、ひびわれ、剥離、欠損、石材の段差が多く確認された。袋橋の損傷は自動車の交通量の増加が最も大きな要因であると考えられる。そこで本研究では、仮想計測器ソフトウェアLabVIEW^{1), 2), 3)}を用いて計測プログラムを作成し、

車両等の通行に対する現況の調査を実施し、袋橋の常時微動より固有振動数の算出、目地部の開閉量の調査を行い、安全性の照査を行った。また、本研究は、今回算出した固有振動数を初期値とし、長期的な計測より固有振動数の変化を観測することで、安全性の確認を行うとともに、今後の維持管理を視野に入れたものである⁴⁾。

2. 対象橋梁（袋橋）

袋橋は、長崎市の中心部を流れる中島川に架かる石造りのアーチ橋であり、眼鏡橋の下流側に架設されている。中島川石造群のなかでも一番下流に位置している。架設年は石の組み方が眼鏡橋、高麗橋に似ていることより1655年頃といわれている。ただし、文献等に

平成18年6月23日受理

* 社会開発工学科（Department of civil engineering）

** 長崎市役所（Nagasaki city government office）

*** 大学院生産科学研究科（Graduate school）

袋橋の架設に関する記述がほとんどなく、正確な架設年および架設者は不明である。

中島川はこれまでに洪水により氾濫を繰り返してきたが、袋橋は流出を免れている。これは眼鏡橋や魚市橋により洪水の勢いが弱められたためともいわれている。昭和57年には長崎大水害により輪石部と左岸側の壁石部を残して損壊したが、完全流出は免れ昭和60年に現形復旧している。

構造的には壁石を整然と積む長崎式の石造りアーチ橋の代表例であり、石造りの単一アーチは、かなり滑らかな弧を描いている。路面中央は輪石だけであり、壁石はなく比較的扁平な造りとなっている。このような造りになったのは、通行を極力容易するために扁平なアーチになったといわれ、眼鏡橋とは対照的に実用的な橋として使用されてきた。Table 1に袋橋諸元、Photo. 1に袋橋全景、Fig. 1に袋橋仮設場所を示した。

Table 1 袋橋諸元

名称	袋橋
所在地	長崎県長崎市小川町
構造形式	石造橋
橋長	17.4m
有効幅員	4.35m
経間	16.70m
架設	1655年頃



Photo. 1 袋橋全景



Fig. 1 袋橋架設場所

3. 袋橋の損傷現状

近接目視と叩き点検の結果、輪石（アーチ部）の基部付近に浮き、ひびわれ、剥離、欠損、石材の段差が多く確認された。また、上流側の輪石が下流側の輪石に比べ損傷が多い。輪石および壁石の目地付近から、一部遊離石灰の析出も確認される。高欄の左岸側の一部に開きが見られた。Photo. 2～4に損傷状況を示した。



Photo. 2 右岸側目地部損傷状況



Photo. 3 左岸側高覧損傷状況



Photo. 4 左岸側高覧損傷状況

4. 計測システム構成

加速度計により計測した橋梁振動は、アンプで増幅させ、コネクタブロックを経由してA/Dコンバータでデジタル変換されパーソナルコンピュータ（以降 PC とする）に取り込まれる。PCに取り込まれた計測データより振動数を推定した。振動特性推定プログラム^{5),6)}は、仮想計測器ソフトウェア LabVIEW で作成し、構造同定手法としてERA法とARモデルを用いた。また、クリップ型変位計より得た開閉量を、D/Aコンバータでデジタル変換し、PCに取り込む。Fig. 2に加速度計測システム、Fig. 3に開閉量計測システムを示す。

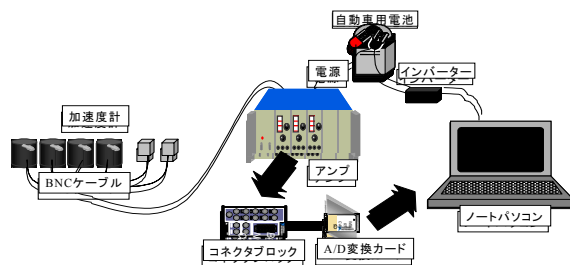


Fig. 2 加速度計測システム

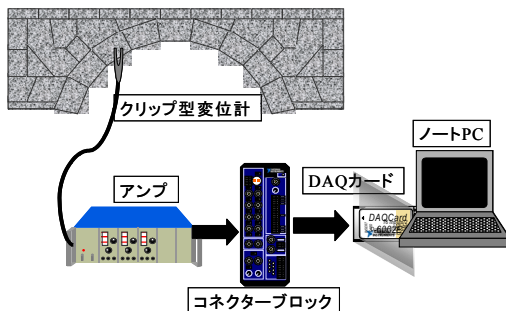


Fig. 3 開閉量計測システム

5. 実験概要

計測項目は、橋梁路床部の鉛直方向振動および輪石部目地の開閉量である。計測は2005年2月と2005年8月の計2回実施した。振動測定は両日とも、目地開閉両測定は2月のみ実施した。また、ねじれ振動の有無を確認するための計測実験を8月に実施した。Fig. 4およびFig. 5に示した。センサー設置箇所は8月実験時のものである。計測時点の最大規制重量4tの車両を用いて、振動計測試験を実施し、鉛直方向の固有振動数および目地開閉量を計測した。両計測とも計測サンプリング周波数は100Hzとした。以下に計測概要を示す。

5.1 センサー設置状況

加速度計およびサーボ型速度計は、両面テープで橋梁に接着し、その上からガムテープで固定した。各センサーの設置状況をPhoto. 5, Photo. 6に示した。

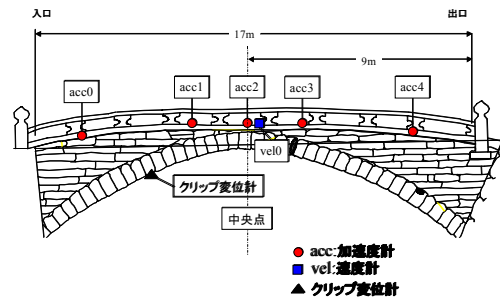


Fig. 4 センサー設置側面図

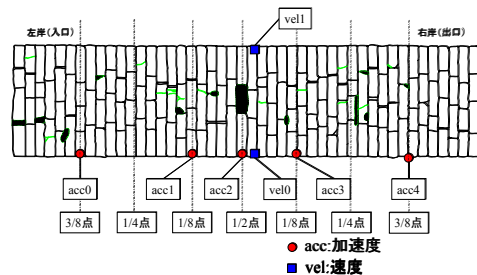


Fig. 5 センサー設置平面図



Photo. 5 加速度計設置図写真



Photo. 6 クリップ型変位計設置図

5.2 振動計測実験

使用した速度計および加速度計の諸元を Table 2～3 に示す。連続計測においては、支間中央部に設置した加速度計より得られたデータを用いて、固有振動数を推定した。

Table 2 サーボ型速度計性能

型名	710
メーカー	TAEC
測定周波数	0.02～200Hz
測定範囲	±5m/
感度	500m/
最大出力電圧	300±20%

Table 3 加速度計性能

型名	710
メーカー	TAEC
測定周波数	0.02～200Hz
測定範囲	±5m/
感度	500m/
最大出力電圧	300±20%

Table 4 クリップ型変位計

型名	RA-5
メーカー	東京測器
定格出力	約1.5mV/V(3000×10 ⁻⁶ ひずみ)
感度(×10 ⁻⁶ ひずみ/mm)	約600
非線直線	1%RO
許容温度範囲	0～+40℃

5.3 開閉量計測

使用したクリップ変位計の諸元を Table 4 に示す。動的载荷では、車両走行(v=30km/h程度)に伴い生じる輪石部目地の開閉量を計測した。静的载荷では、試験車両を橋梁の1/4点、1/2点、3/4点に静止させたときに生じる目地の開閉量を計測した。

6. 実験結果

6.1 振動計測結果(2005年2月)

(1) 車両走行試験

車両走行試験により得られた袋橋入口、中央、出口の加速度応答波形とパワースペクトル密度関数を Fig. 6 に示す。中央部では200gal程度の加速度が発生している。一般の橋梁における加速度が100～200gal程度であることを考えると、大きな振動が石橋に発生していることがわかる。またパワースペクトルより10.5Hz付近に固有振動数を有することが確認できる。

(2) 連続計測

得られた加速度応答波形より推定した振動数の軌跡を、Fig. 7 に示す。袋橋は10.5Hz付近の振動数で振動していることが確認できた。

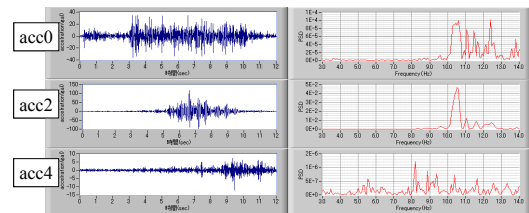


Fig. 6 加速度応答データ

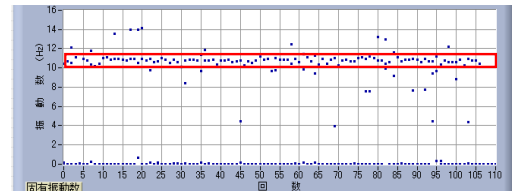


Fig. 7 振動数推定軌跡

6.2 振動計測結果(2005年8月)

(1) 車両走行試験

袋橋路床部に設置した5つの加速度計から得られた。応答波形とパワースペクトル密度関数をFig. 8に示す。パワースペクトルより、各チャンネル共に10.5Hz～11Hz付近にピークがあることがわかる。明確なピークを形成していないのは、橋梁の振動とともに路面の凹凸による車両自体の振動が影響していると考えられる。

(2) 連続計測

得られた加速度応答波形より推定された振動数の軌跡をFig. 9に示す。2月の計測と同様に、袋橋は11Hz付近で振動していることが確認できた。

(3) ねじれ振動の確認

袋橋の上下流側に設置した速度計データを用いて、ねじれ振動の有無について検討した。11Hz付近の振動波形をフーリエ変換してフィルター処理した結果を Fig. 10に示す。その結果、上下流側とも同位相で振動しており、ねじれ振動は発生していないことが確認できた。

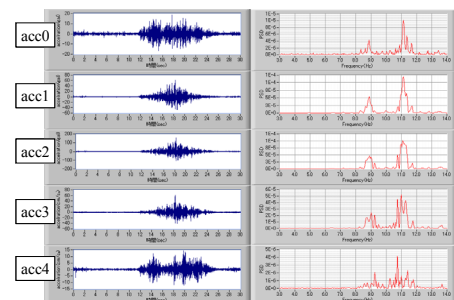


Fig. 8 加速度応答データ

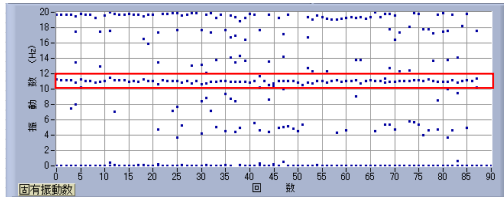


Fig. 9 振動数推定軌跡

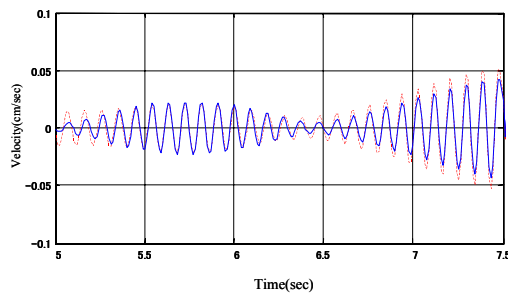


Fig. 10 ねじれ振動の確認

6.3 開閉量計測

(1) 動的载荷

Fig. 11は動的载荷における目地開閉量を示したものである。車両が進入すると計測点（1/4 点）のある輪石は下側に変形する。その結果輪石の下縁の隙間が広がる。車両が3/4点に移動すると計測点は上側に変形し、その結果、圧縮側となる輪石の下縁の隙間が閉じている。0.02mm程度輪石が開閉していることが確認できる。

(2) 静的载荷

Fig. 12は静的载荷における目地開閉量を示したものである。車両を1/4 点に停止させて载荷すると計測点（1/4 点）の輪石の目地は開く。次に車両を1/2 点に停止させると目地は元の状態に戻り、さらに車両を3/4 点に移動させると目地は閉じている。最大0.015mm程度輪石が開閉していることが分かる。

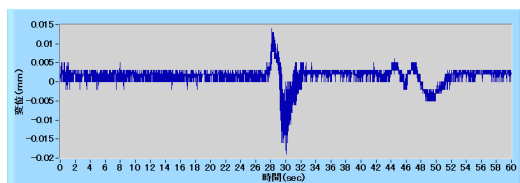


Fig. 11 目地開閉量（動的载荷）

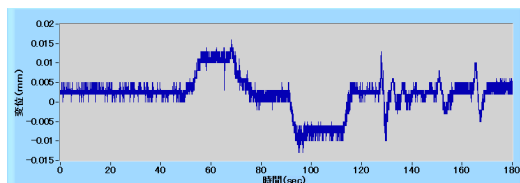


Fig. 12 目地開閉量（静的载荷）

7. まとめ

歴史的石造橋である袋橋の現在の損傷状況を知るために、目視調査、振動調査、開閉量調査を行った。本研究をまとめると以下になる。

- (1) 袋橋に対する交通荷重は大きく、石材の割れなどが床版などに見られ、橋面底部に亀裂・剥離・欠損が多く確認された。また、一方通行の影響により、左岸側の脚部アーチ石の痛みが進んでいた。
- (2) 車両走行試験により、袋橋は 11Hz 前後で振動していることがわかった。また、支間中央においてにおいて 100～200gal 程度の加速度が発生していることを確認した。
- (3) 11Hz 付近の振動数波形を、フーリエ変換してフィルター処理し検討した結果、上流側と下流側の振動は同位相で振動しており、ねじれ振動は発生していないことを確認した。
- (4) 石材の目地部の開閉量計測から、静的荷重、動的荷重において明らかに目地部が開閉していることを確認した。

袋橋は、多くの損傷が確認されていることから、決して良い状態とは言えないが、道路交通上、車両交通に必要な橋梁である。本研究では、袋橋の安全性について、振動実験及び、開閉量測定実験から検証を行い、車両走行の影響について検討した。今後、さらに袋橋の定期的な計測を行い、損傷状況を把握する必要がある。

参考文献

- 1) LabVIEW データ収録ベーシックマニュアル：National Instruments Corporation, 1998
- 2) 井上泰典：LabVIEW グラフィカルプログラミング、森北出版株式会社
- 3) LabVIEW ザマニュアル：National Instruments Corporation 1998
- 4) 株式会社 長大：袋橋（石拱橋）耐荷重性検討業務委託、報告書、2005 年 3 月
- 5) 岡林隆敏，奥松俊博，中宮義貴：常時微動に基づく AR モデルによる構造物振動数の高精度自動推定，土木学会論文集 No. 759/I-67, pp. 271-282 (2004)
- 6) 岡林隆敏，奥松俊博，中宮義貴：高精度自動振動数推定システムによる構造物損傷の検知に関する実験的研究，構造工学論文集 Vol. 51A, pp. 479-490 (2005)