

車両載荷試験による石造アーチ橋の耐荷性能評価について

(株)大進コンサルタント 正会員 ○尾場瀬 宏美 鳥山 郁男
熊本大学 フェロー 山尾 敏孝 水俣市役所 山村 良一 平岡 晋一

1. はじめに

冷水橋は、水俣市の文化財で嘉永年間(1848 - 54)水俣市袋に築造されたと伝えられるアーチ石橋(写真-1)である。経年劣化のため輪石をアーチ式鉄骨で補強していたが、鋼部材の断面欠損が随所にあると判断できた。安全確保のため2年前から2トンの重量制限を実施していた。

そこで、鉄骨アーチ部材を除去して3D スキャナによる輪石面を再度調査した結果を図-1と写真-2に示す。橋軸直角方向の輪石間にすき間や輪石自体に亀裂が発生していることがわかる。なお、支間中央部の断面の輪石の沈下が確認され、壁石には過去の補修時に石材が交換されていることが確認された。

地元住民からは荷重制限4トン以下にとの要望が出されているため、現橋のようなアーチ石橋の耐荷性能を比較的簡単に把握できる車両載荷試験を実施することにした。

2. 車両載荷試験概要

鉄骨アーチ部材を撤去した冷水橋に総重量10トンの車両を使用して静的載荷試験及び走行車両による動的載荷試験をおこなった。再現性と車両走行の方向性をチェックするために、橋の左岸側から右岸側へ、右岸側から左岸側へと両方向から車両を走行させた。載荷試験車両の試験軸重は前輪4.04トン、後輪6.04トンである。両試験における共通測定項目は、一軸ひずみゲージによるアーチ輪石の橋軸方向ひずみ(応力)とクリップゲージによる輪石すき間変位、サーボ型加速度計を用いた応答加速度および鉛直方向変位である(図-2)。

静的載荷試験では、曲げモーメントや振動モードの変位が最大になる位置 $L/4$ 点、 $L/2$ 点、 $3L/4$ 点を図-2(a)に示すようにマーキングし、車両の後輪をこのマーキング位置に静止させ測定した。右岸側から3点にそれぞれ載荷する3ケースと右岸側から同様に3ケースを載荷する計6ケースで実施した。



写真-1 下流側側面

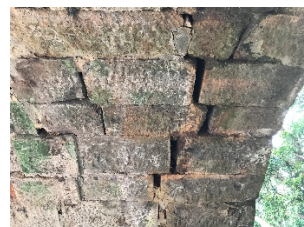


写真-2 鉄骨撤去後輪石間の目開き

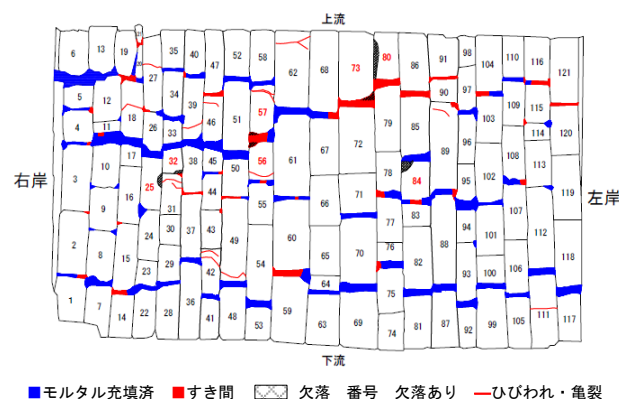
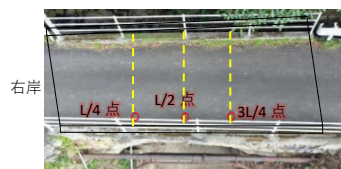


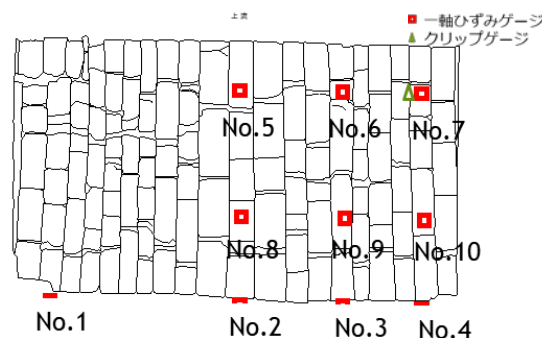
図-1 橋梁点検結果



(a) 橋面 (L: 支間長)



(b) 下流側正面図



(c) 桁下見上げ展開図

図-2 鉛直変位、加速度およびひずみの測定位置図

動的載荷試験は、現場の状況から判断して走行速度を時速15kmおよび25kmで走行する場合と車両速度15kmの走行中に橋の中央で制動させる3つの載荷パターンとした。この3つの載荷パターンを左岸側からと右岸側から走行させ、加速度計により加速度応答と鉛直方向変位を計測する計12

ケースを実施し、石橋に及ぼす挙動特性を調べた。

写真-3 はドローンで空撮した実際の載荷試験状況の一例を示す。



写真-3 静的載荷試験状況（左岸→右岸）

3. 載荷試験結果と考察

(1) 静的載荷試験

鉛直変位は車両の進入方向により多少の差異が見られるが、L/2 点で最大となり 9.7 mm であった。

図-3 にはアーチ輪石の No.1 から No.4 の軸応力変動を示しているが、図からわかるように、アーチ輪石の側面の軸応力は車両の進入方向に関係なく、いずれも左岸基部付近の輪石 No.4 に作用している圧縮軸応力が大きく、その値は $80\text{N}/\text{cm}^2$ ($0.8\text{N}/\text{mm}^2$) であった。しかし、右岸側基部の輪石 (No.1) に発生している圧縮軸応力は非常に小さい値であった。

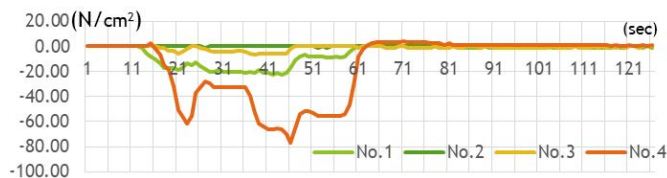


図-3 アーチ輪石 No. 1～No. 4 の軸応力変動（右岸→左岸）

ここに、本橋の石材は Aso-4 相当と考え、石材の圧縮強度を $1500\text{N}/\text{cm}^2$ ($15\text{N}/\text{mm}^2$) と推定して用いた。

また、アーチ基部近くの輪石間の横方向に取り付けたクリップゲージから測定したすき間変位は最大で 0.015mm 程度であった。

(2) 動的載荷試験

走行車両載荷での鉛直変位は静的載荷試験の結果の半分程度で最大 4mm が得られた。一方、橋軸方向の輪石圧縮軸応力の大きさは静的載荷の場合とそれほど差はなく、L/2 点では引張応力が生じているが非常に小さな値 $40\text{N}/\text{cm}^2$ であった。なお、左岸 No.7 でのすき間の測定変位量は 0.020 mm 以下であった。

図-4 は計測した応答加速度波形よりスペクトル解析で得られた卓越振動数を示す。時速 15km と時速 25km 走行で多少のバラツキは認められるが、23.7Hz～28.7Hz を計測した。この数値は人間が L/2

点で同時にジャンプするという簡易手法で得られた卓越振動数 29.3Hz よりも多少小さかったが、両者は殆ど似たような値を示している。これにより、本橋は非常に高い卓越振動数を有しており、地震に対しても共振することなく問題はないと判断される。

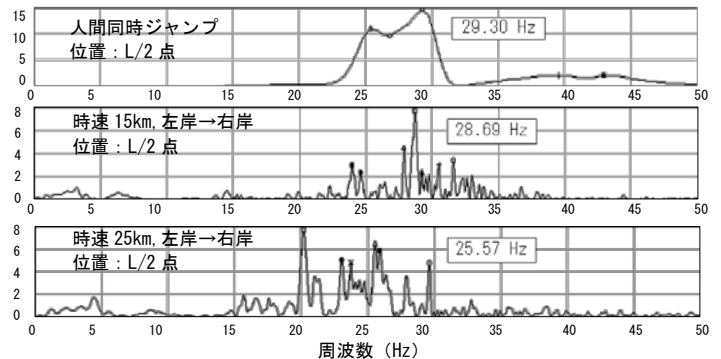


図-4 スペクトル解析結果

4. 載荷試験後の対応

以上の挙動特性から、本橋に通常の乗用車 (2 トン以下) の荷重を載荷する程度であればほとんど問題なく使用可能と考えられる。しかし、本石橋は左岸側が若干低くなっており、乗用車以外の大きな重量を有する車両の通行や大雨による洪水発生が輪石に及ぼす影響は全くないとは言えない状況である。

今後の維持管理に向けた対応策として下記の補修方法を提案した。

輪石の広がり防止するため、エポキシ樹脂モルタルによる輪石間のすき間充填およびアンカーピン工法による輪石間の連結を実施する。中詰め材 (土砂) の流出による空洞からの浸水を防ぐには、アスファルト舗装撤去して防水層を施す。豪雨対策として、上流側の壁石間にもエポキシ樹脂モルタルを用いてすき間を充填する。

載荷試験の計測結果および上記補修対応により、補修後の通行制限は「重量制限は現在の 2 トン以下を 5 トン以下とする。」を提言した。上記提案を受けて、今年 2 月に補



写真-4 補修工事実施後
修工事が完工され、写真-4 に間詰の実施例を示す。

今後、静的・動的数値解析を行い、車両試験結果の妥当性と補修提案の有効性等を検証していきたい。

参考文献

- 1) 石橋の設計と維持管理ガイドライン作成に関する研究分科会：石橋の設計ガイドラインと維持管理ガイドライン，九州橋梁・構造工学研究会(KABSE)，2014