

# 車両荷重を用いた実石橋の静的・動的挙動実験について

熊本大学大学院 学生員 工藤 輝彦 熊本大学大学院 フェロー 山尾 敏孝  
 熊本大学工学部 学生員 楠 隆志 (株)シビコン 加来 雄一 宇城市役所 中山 誠

## 1. はじめに

宇城市の有形文化財に指定されている鴨籠橋は、新石橋(昭和26年建設)と旧石橋(明治時代)から構成されている。この橋は、地元住民からは荷重制限(4t以下)の要望がされていることから、耐力調査をすることになった。そこで、本研究では20tの試験車両を用いた静的および動的挙動実験及びモデル解析を実施することにより、鴨籠橋の挙動特性と耐荷性能を明らかにする。実験はアーチ石材の応力ひずみとたわみ変形の測定状況から載荷荷重との関連を調べたものである。また、別途鴨籠橋で使用されている石材を用いた圧縮試験も実施した。

## 2. 静的・動的実験と石材圧縮試験

対象とした実石橋(鴨籠橋)の上流側側面図を図1(a)に、背面図を図1(b)に示す。スパンは5.1m、アーチライズは1.01mであり、ライズ・スパン比は0.2である。静的・動的実験には試験車両として20tトラックを用いた。図2は試験車両と前輪後輪への荷重分担を示すが、作用軸荷重は、前輪47.43kN、後輪153.47kNである。実験では、前輪および後輪をそれぞれ単独に図1(a)に示すようにスパンLの1/4、1/2および3/4の位置に十分注意して作用させた。写真2は旧石橋側から見たスパン3L/4点に前輪荷重を載荷している様子である。静的実験では応力分布および変形形状を把握するため、新・旧石橋の各位置で軸ひずみと鉛直変位をひずみゲージや変位計により測定した。各測定位置を図1に示すが、アーチ基部両端においては水平変位を測定した。動的実験は、試験車両を時速20km/hで走行させ、その時の振動数を加速度計で測定し、試験車両が通過した時の固有振動数を調べた。振動の測定箇所は新・旧石橋のスパンL/2の地覆部2点とした。各測定器での測定状況を写真3に示す。石材圧縮試験では、鴨籠橋に使われている石材の最大圧縮強度、静弾性係数、及びポワソン比を求めた。この石材は凝結凝灰岩であるため、供試体は堆積方向の異方性を考慮して3方向で2本ずつコア抜きした6本の各供試体から物性値を調べた。

## 3. 数値解析の概要

解析には汎用非線形有限要素ソフトウェアMARC2005r3を用いて、離散型有限要素解析を実施した<sup>1)</sup>。平面解析モデルを図3に示すが、文献1)を参考に1石材を4要素に分割したモデルとした。境界条件は、アーチ基部の橋軸及び鉛直方向を固定とし、石材間の摩擦はパイリニア型摩擦モデルを用いた。このモデルは限界摩擦応力 $\tau_{clim}$ ではなく、すべり発生変位 $u_s$ によって定義することで、接触圧の変化による摩擦係数の増減も考慮できる。すべり発生変位を0.5mm、摩擦係数を0.65とした<sup>2)</sup>。その他の物性値は石材圧縮試験の結果より用いた。荷重条

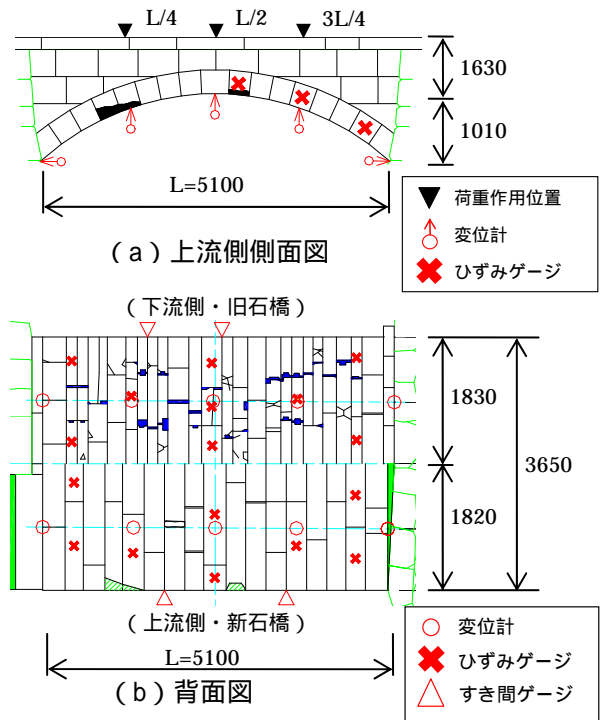


図1 鴨籠橋の寸法と測定位置(単位 mm)

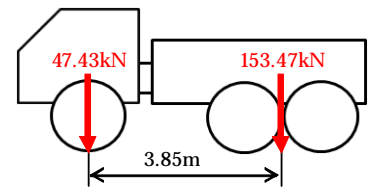


図2 試験車両と荷重分担



写真2 軸荷重の静的載荷状況



(a) 変位計 (b) ひずみゲージ (c) 加速度計

写真3 測定状況

件は、アーチ石に図3に示すような壁石配分荷重と重力加速度による初期軸力を与えた後、前・後の輪荷重を実験と同様に載せた。

4. 実験および解析結果と考察

図4は石材圧縮試験の結果から得られた応力 ひずみの分布である。各供試体の圧縮強度から求めた石材の最大圧縮強度は  $24.0(N/mm^2)$  であった。また静弾性係数は  $1.17 \times 10^4(N/mm^2)$ 、ポアソン比は 0.18 であった。

図5は静的実験及び解析による変位分布を比較したものである。図5(a)は前輪荷重を  $3L/4$  点に载荷したときであり、(b)は後輪荷重を  $L/2$  点に载荷したときの結果である。実験での最大鉛直変位は後輪荷重を  $L/2$  点に载荷した(b)の時、新橋は 2.36mm、旧橋は 2.93mm であった。解析値を実験値と比較すると、(a)のケースはよい対応をしているが、(b)のケースでは解析値は実験値の約半分であった。これは実験時に、軸荷重を  $3L/4$  点、 $L/2$  点、 $L/4$  点の順に载荷したが、その都度ゼロクリアをせず実施したことにより、測定変位に残留変位が累積したことが原因であると考えられる。つまり、実橋ではアーチ石の組み方による石材間のかみ合わせの影響により弾性的挙動しなかったと推測される。なお、今回の解析では平面解析であるため、橋幅方向や組み方による石材間の影響を考慮していないことも問題あると思われるが、これについては今後検討する予定である。

図6は後輪荷重を  $3L/4$  点に载荷した時の軸応力分布を示した。この時の軸応力が最大となり、左岸側アーチ基部で約  $0.6(N/mm^2)$  で生じた。この値は使用した石材の最大圧縮強度の  $1/40$  程度であった。

動的実験で得られた応答加速度波形と積分して得られた変位応答を図7に示す。得られた加速度応答は最大 50 ガル程度であった。1次の固有振動数を求めると、新橋では 11.0Hz、旧石橋では 10.3Hz とほぼ同様に大きな値であった。これは鴨籠橋のライズ・スパン比が 0.2 であり、かつ 5m の短いスパン長であるため、剛性が大きく固有振動数が大きくなったと思われる。図7(b)の応答変位について、新石橋と旧石橋を比較しても最大鉛直変位は 3mm 以下であり、静的実験の結果とほぼ同様な値が得られた。

以上の静的・動的試験の結果から、鴨籠橋は通常の交通荷重でも問題ないが、5 トン未満の車両であれば変位及び耐力の面からも全く問題はない石橋であることがわかった。

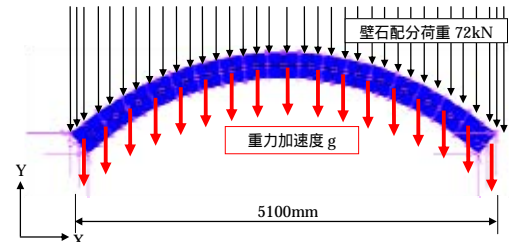


図3 平面解析モデル

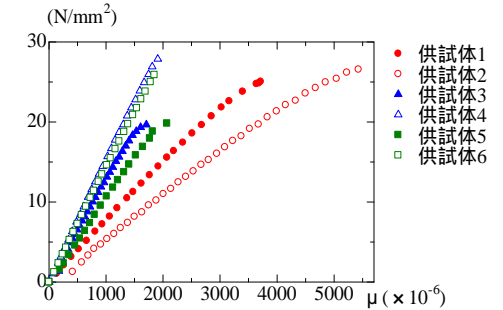
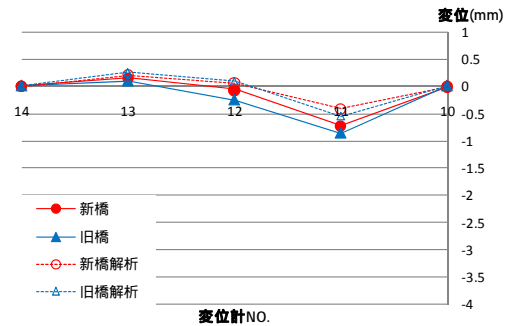
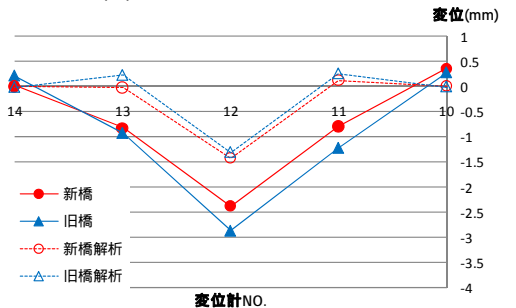


図4 応力 ひずみ関係



(a)  $3L/4$  点に前輪荷重载荷



(b)  $L/2$  点に後輪荷重载荷

図5 鉛直変位の比較

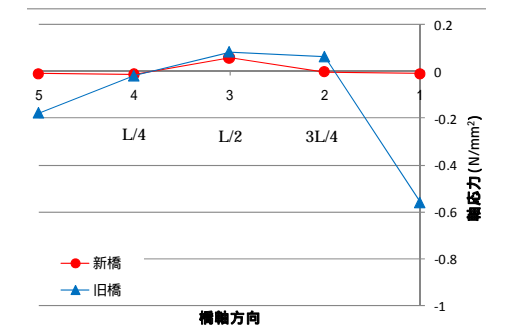
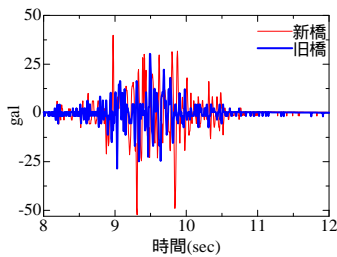
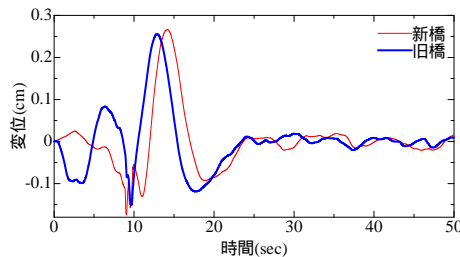


図6 軸応力分布(実験)



(a) 加速度応答



(b) 変位応答

図7 動的挙動特性

参考文献

- 1)浅井光輝 他:離散型有限要素モデルによる石材アーチ橋の..., 構造工学論文集, Vol.55A, pp.1-6, 2008.
- 2)山本健次郎 他:石橋模型を用いた損傷を有する..., 土木学会第 62 回年次学術講演会, I-154, pp.307-308, 2008