

石アーチ部材における挙動特性に及ぼす損傷の影響について

熊本大学工学部 学生員 ○小石 剛之 熊本大学大学院 学生員 山本 健次郎
 熊本大学大学院 フェロー 山尾 敏孝 株式会社 尾上建設 尾上 一哉

1. はじめに

重要な文化財として保護・管理がされている石橋ではあるが、アーチ石の抜け落ち、横ずれ、ひび割れなどの損傷が存在しているのも事実である。これらの文化財などを守るため適切な補修・補強対策が求められているが、損傷した石橋の健全性の評価方法も含めて妥当な判定基準がないのが現状である。既往の研究により、大きな自重を持つ石橋という構造物は、自重によりアーチ石を締め固め、アーチ形状を安定させていることが分かった。つまり、十分な石組みができていれば耐力的には問題がないことが確認できた¹⁾。しかし、実構造を考慮した組み方で、損傷の分布や程度が石橋の耐力や挙動にどのように影響するのかについては未解明であった。本研究では損傷した石橋の力学的挙動の解明を目的として、石材の圧縮試験、損傷有無の状態での3列の石アーチを用いた載荷試験を行った。また、並行して解析による実験値との比較検討を行った。

2. 石アーチ模型実験と石材圧縮試験

3列石アーチ模型は、図1に示すようにスパン600mm、ライズ250mm、橋幅270mmの3列アーチである。材料はヤング率 $3.14(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、圧縮強度 $85.5(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、ポアソン比0.16の石材²⁾を使用している。ひずみの測定は、アーチクラウン部の3列、両1/4径間部の3列、両基部の3列、計15部材の上下面軸方向に計30枚のひずみゲージを接着して行った。集中荷重載荷試験では1/4径間部の膨らみを抑えるために1/4径間部周辺は拘束して行い、損傷は図1に示すような抜け落ちを再現した状態の3パターンについて健全な場合との比較を行った。図2は石材圧縮試験を示している。(a)は単列組みでの不連続面の伝達特性について調べたものである。(b)は実橋の組み方を考慮し(a)を3列組みにしたものであり、(c)は(b)を列方向に組み替えたものである。(d)はすき間が発生した石橋を再現したものであり、すき間の値は橋幅の1/20程度とした。部材間を取り出した模型を1tまで軸圧縮し、4箇所設置した変位計の平均から変位を求め、軸方向のバネ係数を算出した。

3. RBSMによる石アーチ解析

図3に示す剛体バネモデル「RBSM」の手法³⁾を用いて、石材を剛体と考えて、接触面を2方向の入力バネで繋ぐことによって石アーチ模型を図4のようにモデル化した。アーチ両端を固定し、軸方向のバネ係数 k_n は圧縮試験により求め、せん断方向のバネ係数 k_s は k_n と同じ値を用いた。動摩擦係数 μ は既往の研究⁴⁾より0.65を用いた。バネは引っ張りに抵抗がないと仮定し、引張が生じると、開きが発生させ、 $F(\text{せん断力}) > N(\text{軸力}) \times \mu$ の条件で滑り発生させた。

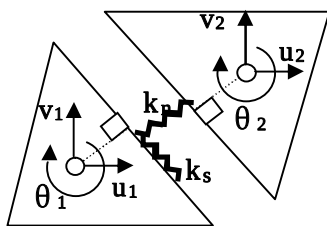


図3 剛体バネモデル



写真1 3列石アーチ模型

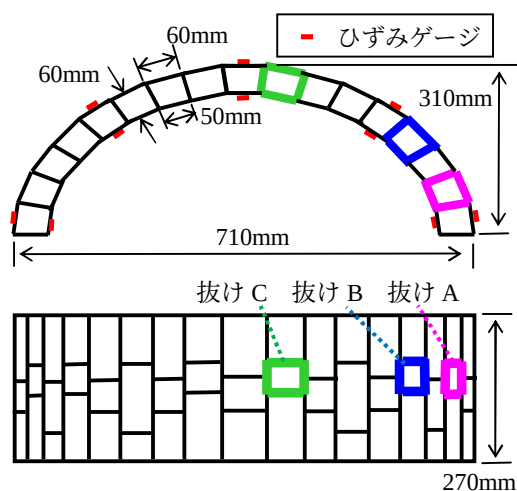


図1 模型寸法と抜け落ちパターン

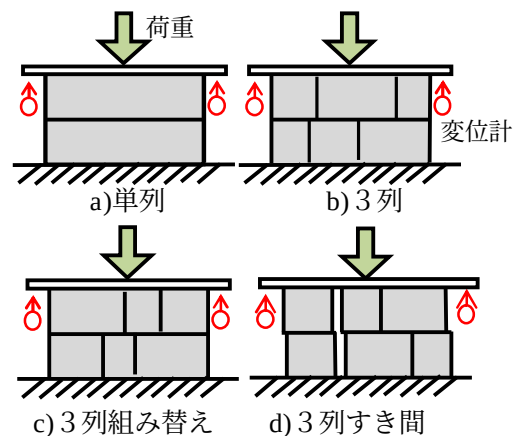


図2 石材の圧縮試験

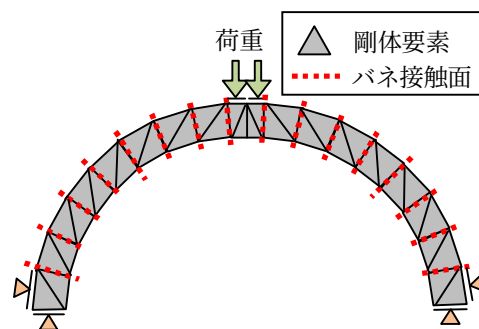


図4 石アーチ模型の解析モデル

4. 実験および解析結果と考察

3列石アーチで集中荷重を载荷した実験で、抜け落ちがある箇所による部材上部におけるひずみの平均値の比較を図5に示す。抜け落ちの位置による変化はあまり見られず、同じような応力分布を示した。また、最大ひずみも限界圧縮ひずみの1/125程度であり、石材の耐力から判断しても問題はないと思われる。しかし、実際の石橋は等分布で荷重が作用しており集中荷重では実挙動を明確に再現できているとはいえないので、等分布荷重载荷による実験が必要である。

図6は、石材の圧縮試験から得られた各種の組み方の違いにおける平均応力—平均軸ひずみの関係の比較を示したものである。軸方向のバネ係数 kn を求めるためには、石材自体のヤング率 E とこの試験から得られた見かけ上のヤング率 E' が必要である。表1にそれぞれの見かけ上のヤング率と軸方向のバネ係数を載せている。単列組みと3列組みとでは見かけ上のヤング率が異なっているが、これは3列組では重ねたときに石と石の間にすき間が見られたためだと思われる。3列組みでの圧縮試験において、石材間のすき間を再現した組み方から求めたヤング率が、すき間がない場合の見かけ上のヤング率よりも大きくなっている。これはすき間を空けたことにより、接触面積が減り見かけ上のヤング率が上昇したと思われる。同様に、組み替えにより接触面積が増

減することで見かけ上のヤング率が変化するという

ことも分かる。また、3列組みの場合はすき間の有無に関わらず、 kn は単列の約1/2程度となる。

図7はRBSM解析において、入力バネの変化を考慮した場合の解析により得られたひずみの分布である。圧縮試験から得られた軸方向のバネ係数の範囲ではひずみの分布には影響を及ぼさなかった。しかし、軸方向のバネ係数 kn の値を3列組み時の1/10に大きく低下させると応力分布に変化がみられ、実験結果に近づく結果となった。石の並びかたや橋幅方向の小さなすき間よりも、軸方向における石材間の接触具合が力の伝達に大きく影響を及ぼしていることが分かる。また、解析シミュレーションでは1.5tの载荷で1/4径間部に開きが生じて不安定となった。

一方、実験では1.15tで1/4径間部に開きが生じて壊れたため、この解析法によって安定評価が可能であることが分かる。せん断方向のせん断方向のバネ係数 ks を求めるためのせん断試験、等分布荷重载荷における挙動の変化の解明については当日講演予定である。今後の課題として、地震動による照査なども含めて更に実験的、解析的な検討を行っていく必要があると思われる。

参考文献

- 1)山本健次郎: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,1-154,pp307-308 (2007)
- 2)城幸央:石橋模型を用いた損傷を有するアーチ部材の挙動特性の実験的解明, 熊本大学卒業論文 (2007)
- 3)竹内則雄, 他6名:鉄筋コンクリート構造の離散化極限解析法, 日本計算工学会 (2005)
- 4)田中朝一:石橋構造物の安定と応力解析, 熊本大学大学院修士論文 (1994)

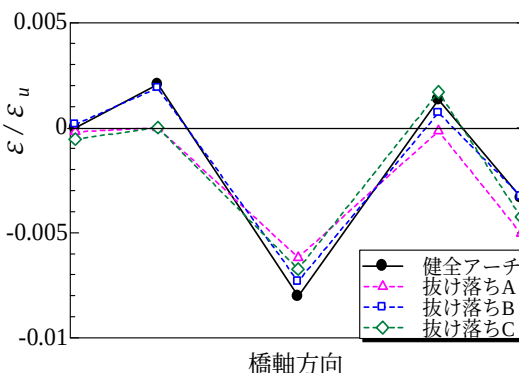


図5 上部の平均ひずみの比較

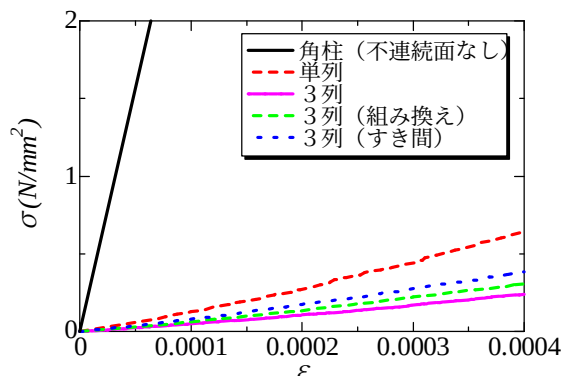


図6 圧縮試験から求めた
平均応力—平均軸ひずみ関係

表1 圧縮試験の結果

	単列	3列	3列組み替え	3列すき間
見かけ上のヤング率 E' (N/mm ²)	1.85E+03	1.02E+03	1.08E+03	1.34E+03
軸方向のバネ係数 kn (N/mm)	2.06E+05	1.11E+05	1.18E+05	1.47E+05

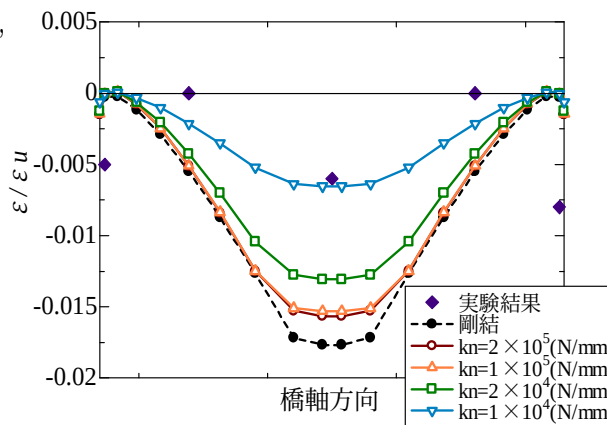


図7 RBSM解析との比較(上部ひずみ平均)