

3 列組石アーチの挙動特性に及ぼす損傷形態の影響について

熊本大学工学部 学生員 工藤 輝彦 日鐵住金建材(株) 正会員 山本 健次郎
 熊本大学大学院 フェロー 山尾 敏孝 熊本大学大学院 学生員 小石 剛之

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。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、3列の石造アーチ模型を用いた壁石の有無を考慮した載荷試験を行い、損傷を有する石造アーチの挙動を把握した。次に、RBSM 解析に必要な石材の部材間のばね係数を圧縮試験とせん断試験より求め、これを用いて石材アーチの全体挙動解析を行なった。別途行なった実験値との比較を通して損傷形態が挙動に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

石材の部材間のばね係数をもとめるために、圧縮試験とせん断試験を行なった。実験に用いた供試体は熊本県山都町で採取したもので、ヤング率 $3.14 \times 10^4 (N/mm^2)$ 、ポアソン比 0.16、圧縮強度 $89.3 (N/mm^2)$ である。石材の寸法・組み方を図 1 に、試験概要を図 2 に示す。軸圧縮試験は、上載荷重を 10(kN)まで載荷した。せん断試験では、軸力を上載荷重として載荷した状態で、下部の石材に水平荷重を加えて石材を滑らせた。各試験により得られた変形量からばね係数を算出した。

石アーチ模型の載荷実験では、図 3 示すような実構造の組み方を考

慮できる石アーチ模型を用いた。石アーチ模型は 3 列×17 の石で実構造を再現しており、寸法はスパン 590mm、ライズ 250mm、橋幅 270mm である。この模型を対象に壁石の有無を考慮した載荷実験(写真 1,2)を行い、応力分布や変形モードを調べた。なお、使用する石材の材料は圧縮・せん断試験と同じものを使用し、接触面は平滑にした。壁石を考慮しない実験では、アーチ部の上から抑えがけないため崩壊しやすいことから活荷重の 0.6 倍の 1.5(N)まで集中載荷を行った。壁石を考慮する実験では、荷重を活荷重の 4 倍の値である 10(kN)とし、等分布に載荷した。また、損傷として部材間試験の「3 列すき間モデル」を考え、図 4 (a) に示すようなすき間間隔を橋幅の 1/20 とし、図 4 (b) のような 4 つの損傷形態(パターン)を設定した。

3. 実験および解析結果と考察

図 5 は、圧縮試験により得られた応力 ひずみ関係とせん断試験より求めた組み方別の水平応力 水平変位

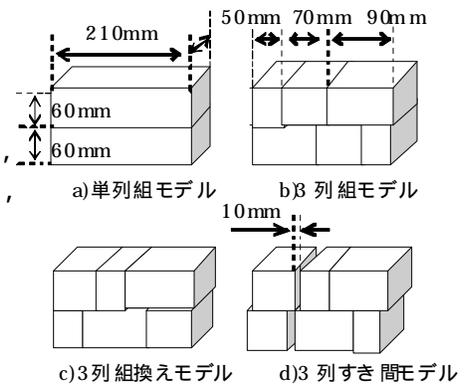


図 1 石材の寸法と組み方

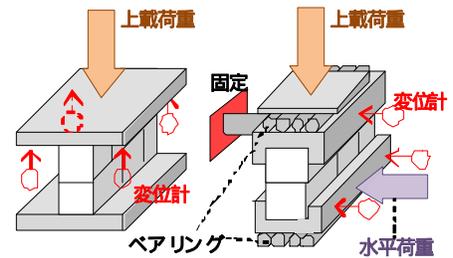


図 2 圧縮せん断試験の概要



写真 1 集中荷載荷試験

写真 2 等分布荷載荷試験

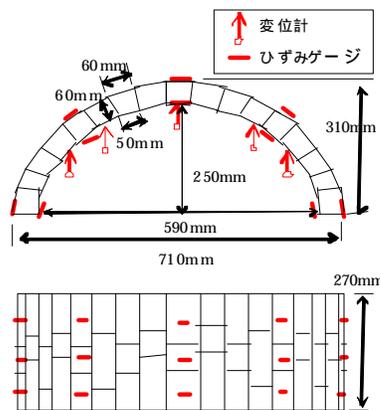


図 3 アーチ模型概要

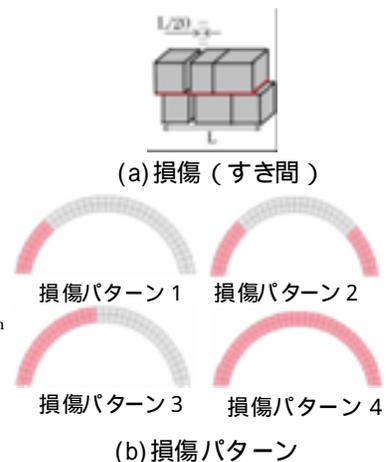


図 4 損傷パターン

キーワード：損傷を有する石材アーチ，石橋模型，ばね係数，圧縮・せん断試験，RBSM 解析

連絡先 〒860-8555 本市黒髪 2-3-1 熊本大学大学院自然科学研究科 Tel:096-342-3553 Fax:096-342-3507

関係を示したものである。圧縮試験結果より、単列組モデルでは見かけ上のヤング率 E' は 3 列組モデルに比べて高い値が生じた。この値は石材間が全断面接触した時の値となる。一方、3 列組モデルでは、3 石材の微小な寸法の差が軸力伝達の減少に影響を及ぼしたと考えられる。また、せん断試験結果より単列組、3 列組、3 列すき間考慮の順に、 k_s が減少しており、供試体によって滑り出しまでの挙動が異なることがわかった。

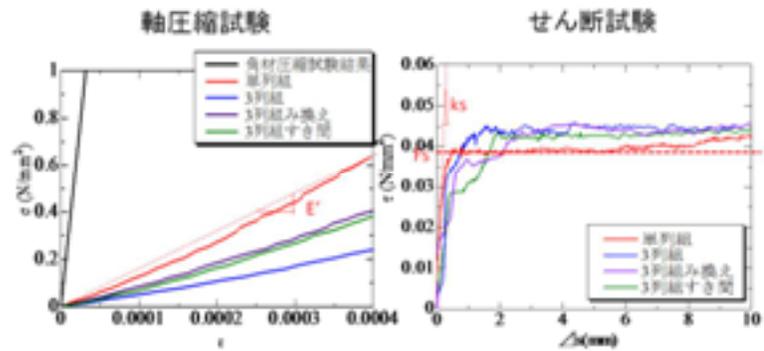


図 5 石材間試験の結果

次に、剛体バネモデルである RBSM 解析手法³⁾を用いて、石材を剛体と考え、接触面を 2 方向の入力ばねで繋ぐことにより、モデルを図 6 のようにモデル化した。なお、アーチ両端を固定し、部材間のばね係数 k_n 、 k_s と動摩擦係数 μ は、石材間試験から得られた結果を用いた。図は、ばねを 2 分割したモデルでは、1 石材を 4 要素、入力ばね数は 32 とした。入力ばねの係数は表 1 の値を用いた。ばねは引っ張りに抵抗がないと仮定し、引張が生じると、開きを発生させ、 $F(\text{せん断力}) > N(\text{軸力}) \times \mu$ の条件で滑りを発生させた。

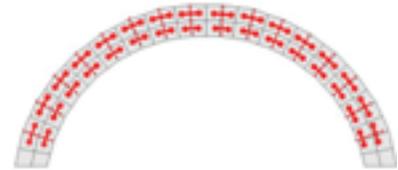


図 6 石アーチ解析モデル

表 1 ばねパラメータ

| | |
|----------------------------|-----------------------|
| 軸方向ばね係数 K_n (N/mm^3) | 8.78×10^0 |
| せん断ばね係数 K_s (N/mm^3) | 1.60×10^{-1} |
| 動摩擦係数 μ_m | 0.64 |
| 圧縮強度 F_c (N/mm^2) | 89.3 |

損傷パターンが鉛直変位に与える影響を図 7 に示す。ここでは損傷パターン 1 と損傷パターン 4 の結果を取り上げる。損傷パターン 1 の結果は、損傷を有する片側 1/4 径間部に変位があり、損傷パターン 4 の結果も全体に損傷があるため全体の変位が大きくなった。これより、実験・解析ともに損傷箇所の変位が大きくなることがわかった。図 8 は、損傷パターンが軸方向ばねの応力照査に与える影響として、石材上部の軸方向ばねの応力を示したものである。片側基部 ~ 1/4 径間部周辺に損傷がある損傷パターン 1 では、1/4 径間部周辺でばね応力が減少し、アーチ全体に損傷がある損傷パターン 4 においては、クラウン部 ~ 1/4 径間部のばね応力が小さくなり、基部周辺のばね応力が増加した。また、ばね応力が破壊領域まで達することは無かった。

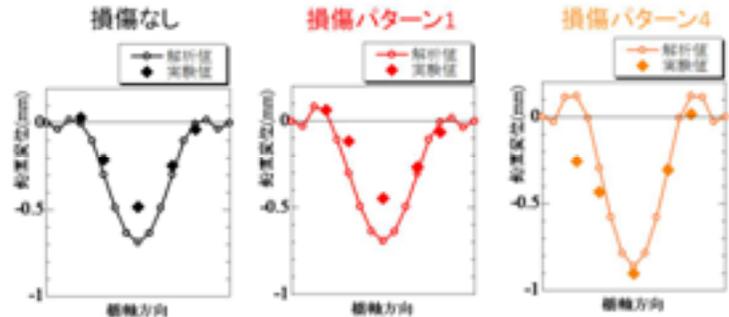


図 7 損傷パターンが鉛直変位に与える影響

4. まとめ

解析および模型実験より以下のことが得られた。

- 1)部材間の軸力、せん断力ばねを考慮した解析法によって模型実験の力学的挙動を再現できた。
- 2)提案する解析法により、石材アーチの引っ張り破壊の挙動まで追跡することができた。
- 3)実橋に生じる横ずれを再現したが、健全な場合と比べて学的挙動に大きな影響は見られなかった。
- 4)壁石がアーチを締め固め、崩壊を防ぐ役割をしていることを模型実験及び解析で確認できた。

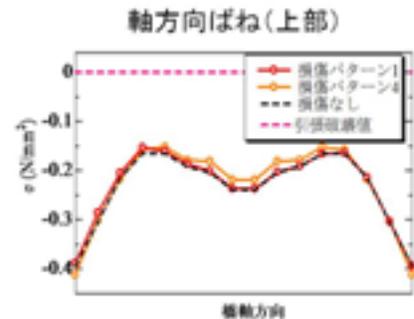


図 8 損傷パターンがばね応力に与える影響

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)