

石橋模型を用いた損傷を有するアーチ部材の挙動特性実験

熊本大学大学院 学生員 山本健次郎 京都建築専門学校 城幸央

熊本大学大学院 フェロー 山尾 敏孝

1. はじめに

熊本県下には 300 橋以上もの石橋が現存しており、文化財として保存活用されている事例もある。その中にはアーチ石の抜け落ち、横ずれ、ひび割れなど損傷が激しいものも存在し、損傷の度合いも様々である。しかし、これらの石橋の補修・補強についての検討が十分に行われていないのが現状である。本研究では、損傷した石橋の補修や補強を目的として、損傷の有無による健全性を主として確認するために、石材アーチ模型を用いて載荷試験を行った。一列の石材アーチ(模型Ⅰ、写真1)と三列の石材アーチ(模型Ⅱ、写真2)の2つの模型を用い、模型アーチに集中荷重及び等分布荷重を与える載荷試験を行い、アーチ各部材のひずみや変位を測定した。特に、実際のアーチ構成に近い三列アーチ石橋模型では抜け落ちやずれ損傷を有する場合を想定し、変形挙動や耐力の変化を調べた。



写真1 模型Ⅰ



写真2 模型Ⅱ

2. 石材圧縮試験

2つの模型ⅠとⅡに用いた石材ⅠとⅡの圧縮強度やヤング係数を求めるために圧縮試験を行った。得られた材料特性を表1に、応力-ひずみ曲線を図-1と表-1に示す。石材は非常に強い圧縮強度を有することがわかった。

表1 石材の圧縮試験結果

	ヤング係数 ($\times 10^4$)	圧縮強度 (N/mm^2)	破壊ひずみ (μ)	せん断弾性係 数(N/mm^2)	ポアソ ン比
石材Ⅰ	1.10	41.9	3682	0.47	0.18
石材Ⅱ	3.14	89.3	2823	1.35	0.16

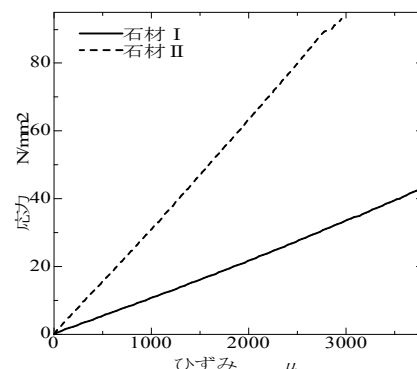


図1 応力-ひずみ曲線

3. 石橋模型実験の概要

模型Ⅰは、スパン 1,690mm、ライズ 400mm、橋幅 200mm の一列アーチで石材Ⅰによる 11 個の石部材を使用している。アーチ基部に固定のための鋼材枠を用い、石組みには接着剤は一切使用していない。各石材の上下左右の4面にひずみゲージを接着し、荷重の集中載荷試験および等分布載荷試験を行うことで各石材のひずみを測定し、応力分布を算出した。また、アーチ中央部に変位計を設置し、それぞれの変位を調べた。

石材Ⅱを三列 $\times$ 17 用いて組まれた模型でスパン 580mm、ライズ 265mm、橋幅 270mm である。アーチ部材中央三列、スパン 1/4 部三列、基部三列、計 9 部材の上下面軸方向に計 18 枚のひずみゲージを接着し集中載荷試験を行った。

また、図2に示すように、実際の石橋にも見られる抜け落ち、割れ石、ずれの損傷の状態を故意に作ったうえで、同様に集中載荷試験を行った。抜け落ちは3列のうちの中央列の部材を抜いた。ずれは3列の各部材に間隙を作った。劣化した石は3列のうち1つの部材を割り入

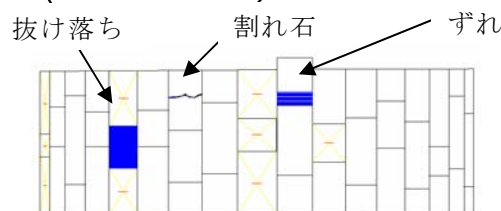


図2 石部材の損傷状態と損傷位置

キーワード：石橋模型、損傷を有するアーチ部材、圧縮試験、載荷実験、補修・補強

連絡先：〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1 熊本大学大学院自然科学研究科 TEL:096-342-3533 FAX:096-342-3507

れた。今回の実験の特徴は、一つ一つの損傷での挙動を見るのではなく、3種の損傷全てを有する一つの石橋アーチとして載荷試験を行ったところにある。

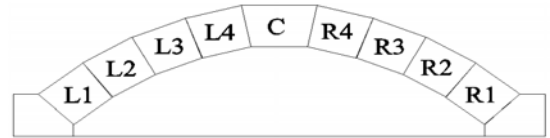


図3 アーチ模型 I の部材番号図

4. 実験結果および考察

図3はアーチ模型 I の部材番号図であり、図4は各載荷方法による10 t時の各部材上下部の応力分布図である。集中荷重載荷では、部材L3-L4、R3-R4の部分にて、上下に加わる圧縮と引張の応力が入れ替わっている。一方、等分布荷重載荷では、全ての部材上部に圧縮力がかかっている。これは、等分布荷重載荷により1/4径間部であるL3・R3付近のアーチの膨らみも抑えられ、各部材の上部同士で力を伝えている。

集中荷重載荷では、アーチ基部とアーチ中央に特に応力がかかっているが、等分布荷重載荷ではアーチ基部には集中荷重載荷の値ほど大きな応力はかかっていないことが分かる。

一列アーチ石橋の集中荷重載荷で、実験値と解析で求めた解析値とをアーチ部材上下に作用する応力で比較してみる。解析モデルと模型との相違点は、解析モデルは骨組み解析法を用い、石材を2節点1要素でモデル化し、部材を剛結として、アーチ形状で組んだ点である。比較図を図5(15 t時)に示す。プロットは、実験値は部材中央部、理論値は部材同士の節点部の値を表す。部材上部の実験値は、値は違うものの理論値と同じような挙動を示しており、部材下部では理論値よりも少し緩いカーブを描く。これは部材同士が上部でより強く接していて、部材下部より上部側で力が伝わっていると考えられる。また、実験値よりも理論値の方が応力の値が小さくなっている。この理由として、ゲージの貼り方、部材同士のずれ、実験模型を固定していた鋼材枠が伸びたことなども影響していると思われる。

三列アーチ模型では、アーチ形状が膨らまないように、基部からスパン1/4までを拘束した。実際の石橋では、この役割を壁石が果たしている。図6は、アーチ中央における鉛直方向の荷重-変位曲線を示したものである。損傷を有しない健全なアーチでは放物的に増大し600kg時で0.9mmのたわみが出た。一方、抜け落ち、割れ石、ずれ等の損傷を有するアーチでは600kg時で1.2mmのたわみが出た。しかし、この値は150kg時に石同士で滑りが生じたことで大きな値になっていると考えられる。滑りが生じなかったとすると、健全なアーチと損傷を有するアーチの大きな差は見られなかったと考察できる。

石橋という構造物は自重自体が大きく、自重を載せることでアーチを抑え固め、アーチ形状を安定させていると考えるべきであり、十分な石組みができていればであれば耐力的には問題はないことが実験から確認できた。しかし、補修・補強に向けた様々な損傷ケースによる実験や地震動による影響なども含めて、今後更に実験的、解析的な検討が必要であると思われる。

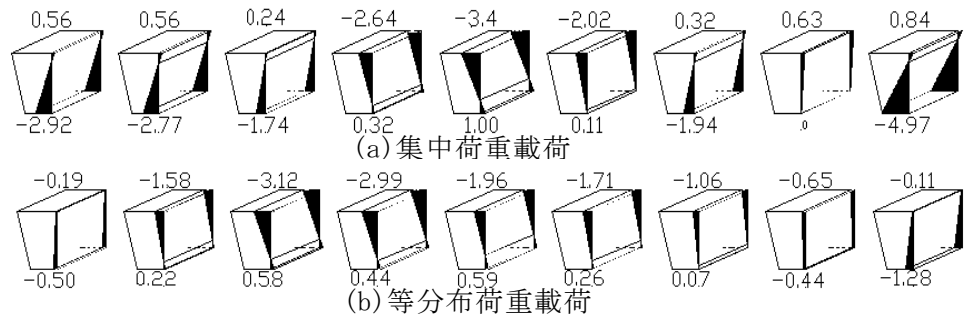


図4 部材に作用する応力分布 (10ton 時、単位 N/mm^2)

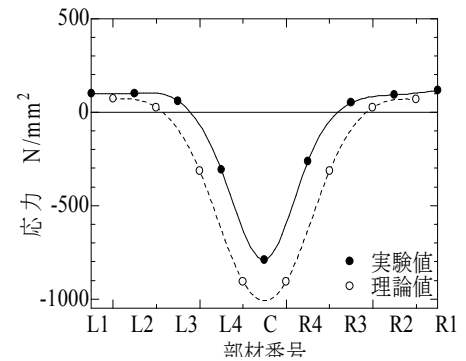


図5 アーチ部材上部の応力図

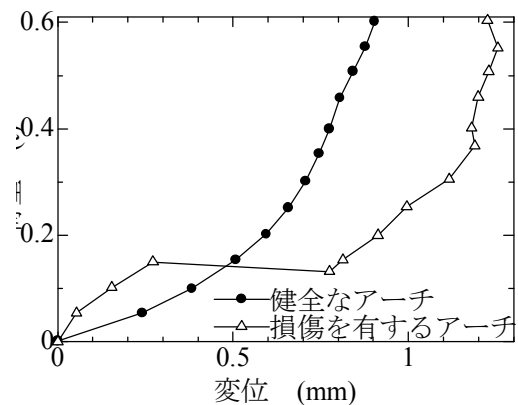


図6 アーチ中央部の荷重-変位曲線