

損傷した石橋等の耐力診断と保存・防災のための新技術開発

社会環境工学科 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。その一例を写真 1 に示す。しかし、これらの石橋の補修・補強方法についての検討は、予算の問題や適切な補強方法や補修方法がなく、十分に行われていないのが現状である。本研究では、このような損傷した石橋の補修・補強方策の開発を目的として、まず、耐力診断が可能な解析プログラムの開発を目指し、次に、アーチ石材の損傷の有無による石橋の挙動や耐力の相違を確認するために、石橋アーチの模型を用いて載荷試験を行った。一列の石材アーチと三列の石材アーチを用い、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損傷を有する石橋を再現し、挙動の変化を調べた。また、別途実際に損傷を有する実石橋の調査を行い、施工方法について検討を行った。



(a)ずれの発生



(b)抜け落ち

写真 1 石橋損傷の事例



写真 2 圧縮試験

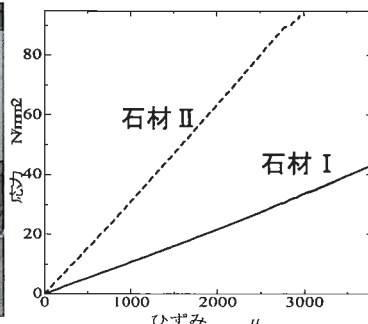


図 1 応力-ひずみ曲線

2. 石材の圧縮試験

2 つの石橋模型 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(写真 2)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 に示した。石材は非常に強い圧縮強度を有することが判明した。

表 1 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

3. 模型実験の概要

模型 I は写真 3 に示すようにスパン 1,690 mm、ライズ 400mm、橋幅 200mm の一列アーチで、11 個の石材 I 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、実験では、各石材の上下左右の 4 面にひずみゲージを接着して各石材のひずみを測定し、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。図 2 は集中載荷試験の様子である。

模型 II は、石材 II を三列 \times 17 用いて組まれ



写真 3 模型 I



写真 4 模型 II

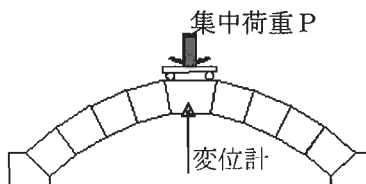


図 2 集中荷重載荷

た模型でスパン 580mm、ライズ 250mm、橋幅 270mm である。アーチ部材中央など計 9 部材の上下面軸方向にひずみゲージを接着した。また、図 3 のように、抜け落ち、割れ石、ずれの損傷状態を想定したモデルも用いた。荷重は集中荷重と等分布荷重の 2 通りで行い、荷重の大きさはロードセルで測定した。また、鉛直変位は変位計により測定した。

： 実験結果および考察

図 4 はアーチ模型 I の部材番号図であり、図 5 は集中及び等分布荷重による 10 t 時の各部材上下部の応力分布図である。集中荷重荷重では、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、等分布荷重荷重では、全ての部材上部に圧縮力がかかっている。これは、等分布荷重荷重により 1/4 径間部である L3 や R3 付近のアーチ

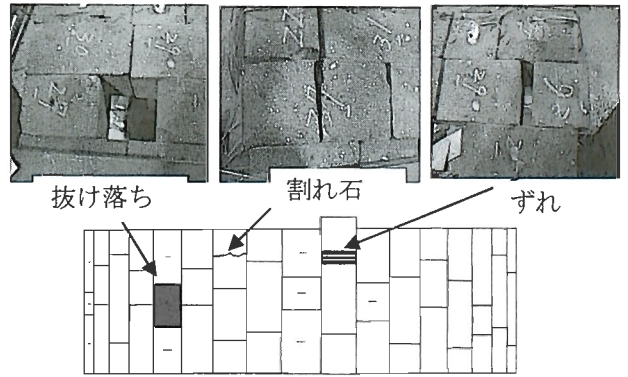


図 3 部材の損傷状態と損傷位置

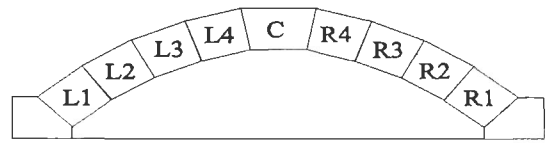


図 4 アーチ模型 I の部材番号図

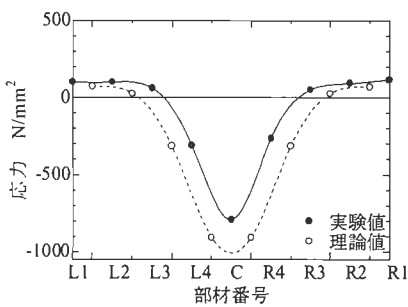


図 6 アーチ部材上部の応力分布

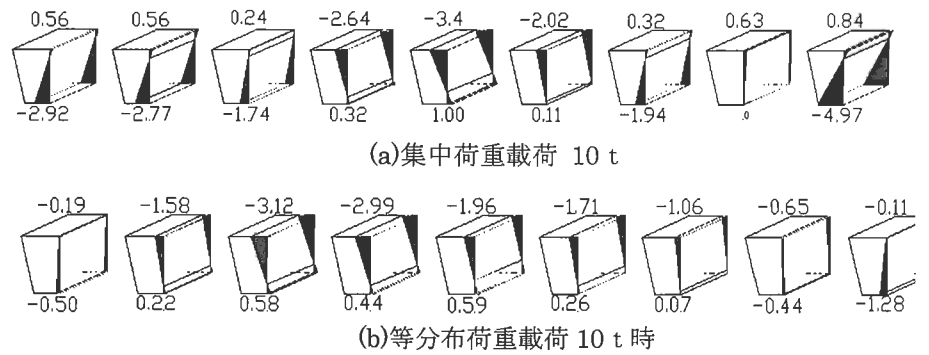


図 5 部材に作用する応力分布 単位(N/mm²)

の膨らみも抑えられ、各部材の上部同士で力が伝わっていることがわかる。

一列アーチの模型 I が集中荷重を受けた場合の部材応力分布について、実験値と解析値とで比較した結果が図 6 である。解析モデルは骨組み解析法を用い、石材を 2 節点 1 要素で部材を剛結モデル化して解析を行った。15 ton 時の状況で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。両者の値には多少差があるものの全体挙動はよく対応していることがわかる。弾性挙動であればこの手法でも解析できることが示された。

三列アーチの模型 II 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。図 7 は、アーチクラウンの鉛直方向の荷重-変位曲線を示した。今回図 3 の損傷を想定し、損傷なしの健全なアーチの挙動や耐力比較したが図でも示すように有意な差は見られなかった。これが直ちに現実の石橋に対応するものではないが、今後更に詳細検討が必要である。

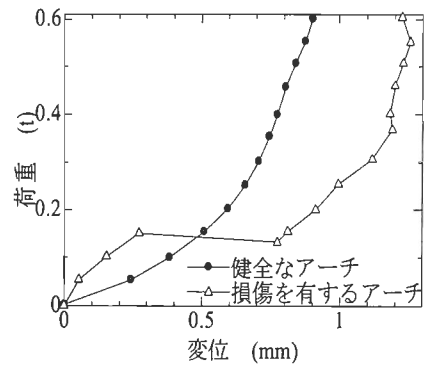


図 7 アーチ中央部の荷重-変位曲線

5. まとめ

今回の研究では実石橋と同じ形状を有する模型実験を行え、かつ損傷の有無による挙動を把握できたことが一番の成果である。今後は耐力診断プログラムの開発も含め、更に補修・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、今後更に実験的、解析的に検討が必要である。