

石アーチ模型の変形挙動と石材間の応力状態の検討

熊本大学大学院 学生員○藤田 千尋, NEXCO 西日本 古賀 圭一郎

熊本大学大学院 フェロー 山尾 敏孝

1. はじめに

日本の石橋の多くが九州に存在しているが、近年では石橋の隙間や割れ、抜け落ちなどの損傷が顕著となっており、適切な補修や補強などの対策が求められているが、現時点では健全度を評価する指標や補修方法などは明確ではない。そこで、石橋の健全度評価手法を確立することを目指して、実験的研究や解析的研究が行われてきたが^{1),2),4)}、石橋の挙動特性の把握や石橋に使用されている石材の材料特性のデータ収集は十分でない。本研究では、石アーチ模型を用いて静的載荷実験を行ない、石アーチの変形挙動を把握するとともに、石アーチの石材間に作用する応力状態を把握するため、圧力測定フィルムを用いて測定し、応力状態を検討した。また、石アーチ模型の解析を行ない、実験結果と比較検討を通して解析手法の妥当性について検討した。

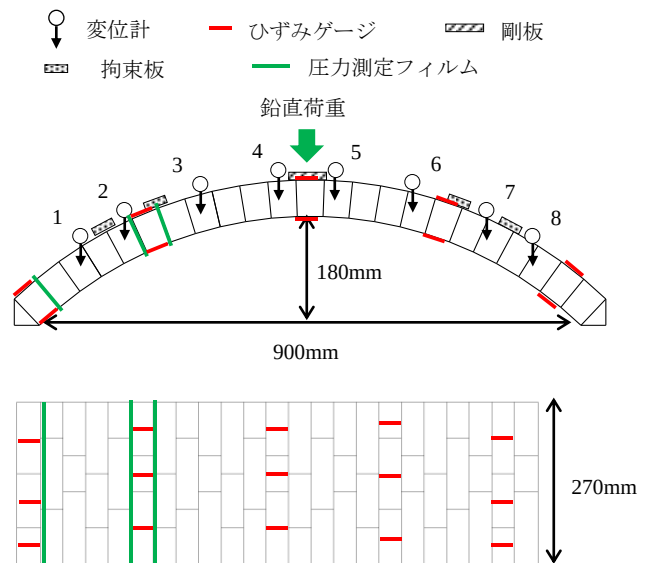


図1 石アーチ形状寸法と測定位置

2. 石アーチ模型の静的載荷実験

載荷実験に用いた石アーチ模型は、図1に示すように、スパン 900mm、ライズ 180mm、橋幅 270mm、石材の厚さ 60mm、スパンライズ比 0.2 の3列石アーチ模型とした。実験はアーチクラウン部に剛板を介して静的載荷を行なった。静的載荷実験において、変形挙動と石材間の応力分布を調べるため、図に示すように、ひずみゲージと変位計、圧力測定フィルムを設置し計測した。なお、既往の研究²⁾よりアーチクラウン部に載荷する場合、中央部分が沈み込むように変位し、 $L/4$ 点と $3L/4$ 点が膨らむことが予想されたため、この部分に拘束板を設置して変形を拘束した。なお、鉛直荷重は 5000N までしか載荷できなかったため、圧力測定フィルムは 5000N の荷重を2分間保持したのち抜き取った。

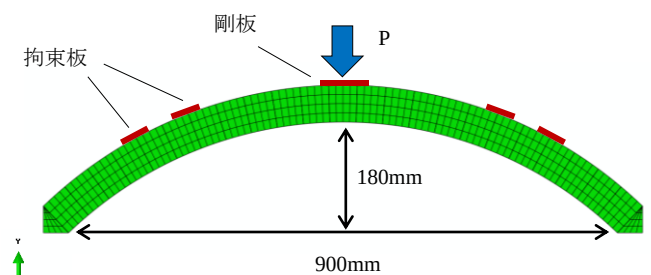


図2 石アーチ模型の解析モデル

3. 石アーチ模型の静的解析

石アーチ模型の静的解析は、FEM 汎用プログラム ABAQUS³⁾を用いて離散型有限要素解析により行なった。解析モデルは図2に示すように、4節点1要素とし、2軸方向に4分割ずつに分割して2次元モデルを作成した。石材の材料特性は、実験で用いた模型と同じ石材の物性値を使用した。解析は実験と同様にアーチクラウン部に剛体要素で剛板のモデルを作成し、荷重を作用させた。また、実験と同様に $L/4$ 点と $3L/4$ 点に拘束板を剛体要素でモデル化し、変形を拘束して解析を行なった。境界条件は両基部をx, y方向に固定し、剛板はy方向のみ自由で拘束板は全固定とした。

接触摩擦モデルとして、文献4)を参考に図3に示すように間隙量 C_0 と接触圧 P_0 を与え、指数関数的に増加するような接触摩擦モデルを作成した。

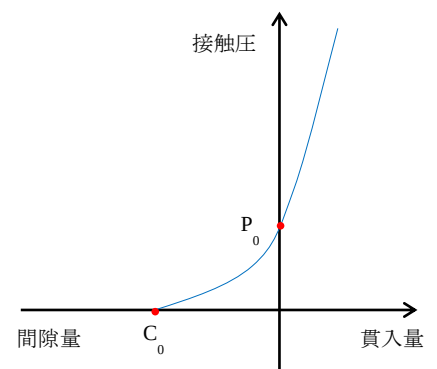


図3 接触摩擦モデル

キーワード 石アーチ模型, 圧力測定フィルム, 接触摩擦モデル, 応力分布, 静的解析

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1 TEL 096-342-3533 E-mail tyamao@kumamoto-u.ac.jp

4. 結果および考察

図4にひずみゲージと圧力測定フィルムの測定位置、図5に断面の応力分布の一例を示す。なお、図5に示す応力分布は、測定したひずみゲージの値 ε から求めたもので、 $\sigma = E\varepsilon$ で算出し、 σ は応力(N/mm²)、 E は静弾性係数(N/mm²)である。なお、静弾性係数については、既往の研究²⁾で得られた11500N/mm²を用いた。また、図では圧縮力を正とし、隣接する石材の切れ目位置を、クラウン部から見て手前側の石材を実線、奥側の石材を点線で圧力測定フィルムの応力分布図中(図5(d))に示した。

まず、断面Ⅰについての比較結果を図(a)～(c)に示している。石材の上下面に貼付したひずみゲージの位置では応力は比較的良好に対応をしていることがわかるが、図5(c)を見てわかるように圧力フィルムでは、石材の中央部を中心に断面全体に強い応力が作用していた。中央部分で応力が大きくなった原因として、図5(d)の実線部分で示したゲージでの接着位置に石材の切れ目の部分が丁度当たっていることから、この石材の作用が大きく影響したと考えられる。また、石材断面の微妙な凹凸により石材内部だけに圧力がかかる場合は、ひずみゲージの接着位置である上下面にあまり大きな応力が生じなかったと考えられる。これは断面ⅡとⅢでも同様な傾向が見られた。

今回の結果より、隣接する石材の角が当たる部分は他の断面と比べて大きな応力が作用しており、実石橋において、このように長い石材の中心に短い石材の角が当たるような組み方の場合、この箇所に応力が集中することで石材の損傷のひとつである「割れ」が発生するのではないかと考えられる。また、表面のひずみゲージのみでは応力を過小評価する可能性があることが判明した。

図6に石アーチ模型の変位挙動の実験値と解析値の比較を示した。図からわかるように、1000N载荷時では実験値、解析値ともに同じような挙動を示しているが、5000N载荷時ではアーチクラウン部での鉛直変位に大きな差が出た。この原因として、L/4点と3L/4点は拘束板で固定していたにもかかわらず、実験ではこの部分の拘束が不十分であったため、浮き上がりによって軸力がうまく基部まで伝わらずに、アーチクラウン部分の変位が大きくなり、载荷部分の石材が剛体変位を起こした可能性がある。今後、解析において拘束板の境界条件をより実現象に近づけるように、解析手法の検討が必要である。なお、本研究は科学研究費補助金(基盤研究(B)、課題番号:22360172、代表:山尾敏孝)により実施したもので記して謝意を表する。

参考文献

- 1)工藤祐資:石橋の3次元動的解析手法の開発と・・・, 熊本大学自然科学研究科, 平成21年度修士論文, 2010.
- 2)柿川伸介:石橋の材料特性と石アーチ模型による・・・, 熊本大学工学部社会環境工学科, 平成22年度卒業論文, 2011.
- 3)ABAQUS: Analysis User's Manual Version 6.10, SIMULIA, DASSAULT SYSTEMS, 2010.
- 4)古賀圭一郎.: 石材間摩擦に着目した石アーチ・・・, 熊本大学大学院自然科学研究科, 平成23年度修士論文, 2012.

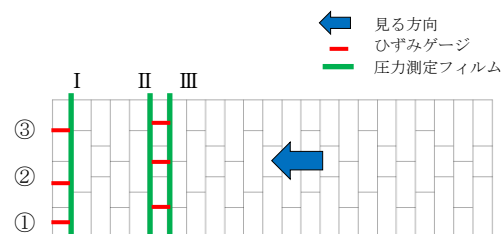


図4 圧力測定フィルム番号とひずみ測定位置(平面図)

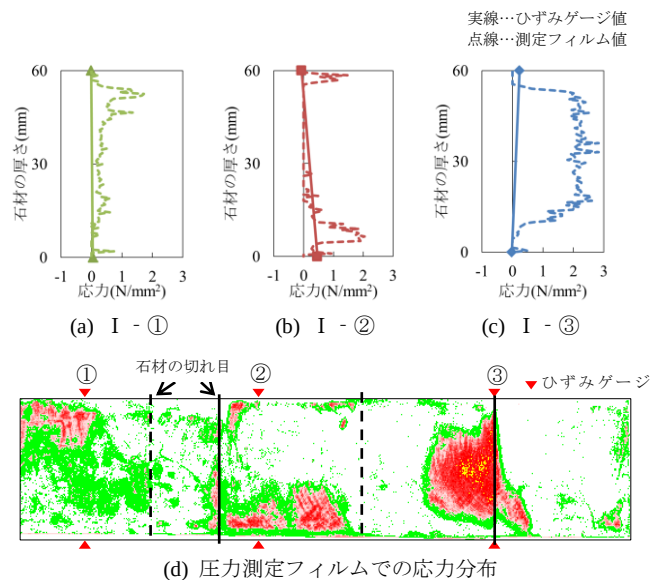
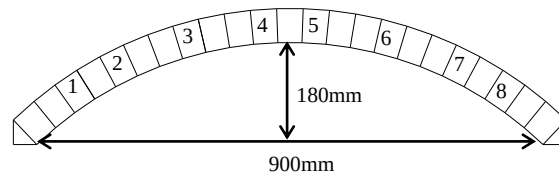
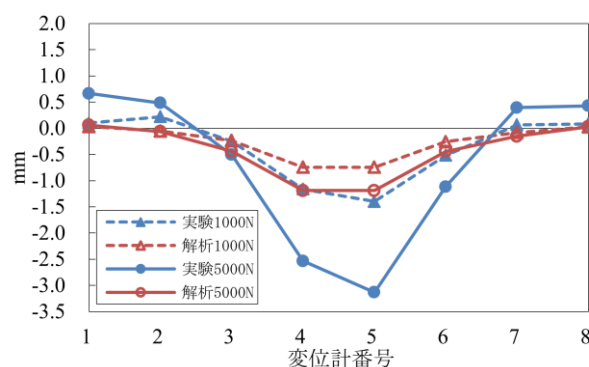


図5 基部のⅠ断面の応力分布の比較



(a) 変位計番号



(b) 実験値と解析値の比較

図6 1000N, 5000N 载荷時の石アーチ模型の変位挙動