

# 石アーチ模型の静的挙動解析による検討

熊本大学大学院 学生員 〇小倉 孟 熊本大学大学院 学生員 藤田 千尋  
熊本大学大学院 フェロー会員 山尾 敏孝

## 1. はじめに

九州には古くから数多くの石橋が現存し、現在でも歩道橋や車道橋として役目を果たしているものもある。しかし、石橋の健全度評価については、目視調査や車両載荷実験で行われているが、時間やコストがかかるのが現状である。簡易で妥当性のある評価方法が求められていることから、耐力力や耐震検討が行える数値解析法の開発は有効だと考えられる。既往の静的実験での研究では、種々のアーチスパンライズ比を有し、列数を変化させた石アーチ模型を製作し、静的載荷実験を行ってきた<sup>1)2)</sup>。そこで本研究では、今まで静的実験に使用した石アーチ模型を対象に静的挙動解析を行い、実験結果との比較を通して解析手法の妥当性や問題点、パラメータの影響について検討したものである。

## 2. 静的載荷試験の概要

本研究では、図1に示すようなアーチスパンライズ比  $f/L$  (スパン  $L$ , ライズ  $f$ ) や輪石の列数などの寸法やパラメータが異なる6つの石アーチ模型を対象にした。製作されたいずれの模型も橋幅は270mm、アーチ輪石の厚さは60mmを用いてアーチを形成している。なお、橋軸方向の輪石の列数は図1の(b)に示す。表1は試験に用いた石アーチ模型6体の寸法諸量及び石材の物性値を示す。物性値は既往の材料試験で求めた値であり、表中の記号の  $E$  はヤング率、 $\nu$  はポアソン比、 $\rho$  は質量密度、 $U_s$  はすべり発生変位、 $\mu$  は摩擦係数をそれぞれ表す。静的載荷試験は図2に示すように  $L/2$  点に剛板を介して集中荷重載荷とし、 $L/4$  点、 $L/2$  点および  $3L/4$  点付近等の鉛直方向変位を測定した。なお、

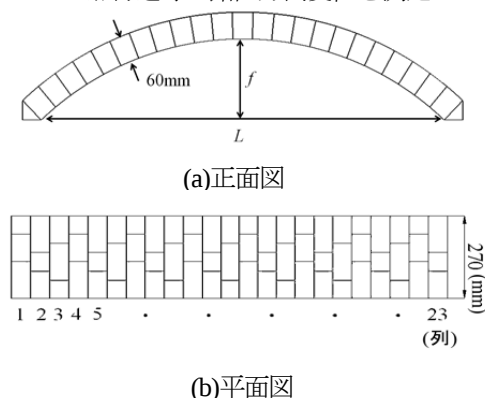


図1 石アーチ模型の一例

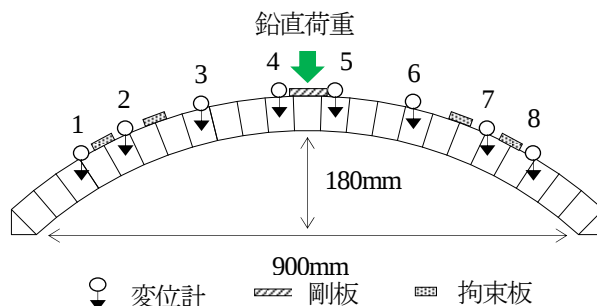


図2 集中荷重載荷と変位計位置の一例

模型 20-900-15 と模型 20-600-13 以外は  $L/4$  点と  $3L/4$  点付近の上側への変形を拘束板で抑えた。

## 3. 静的解析の概要

静的解析には石材同士の接触と摩擦を考慮した離散型有限要素解析手法を用いた<sup>3)</sup>。本数値解析においては要素間に接触モデルと摩擦モデルを導入しているが、開発した解析手法の妥当性を実験で得られた6つの石アーチ模型の結果と比較しながら検討した。導入した解析モデルの詳細については文献3)に示す。なお、解析プログラムとして ABAQUS を用いた<sup>4)</sup>。図3は模型 35-900-25 の要素分割の一例を示した解析モデルで、アーチ部分の1つの石材を2次元連続体要素でモデル化し、石材の要素分割数は、解析時間や解の精度等を検討した結果、個々の石材は  $4 \times 4$  メッシュ分割でよいことを確認した。

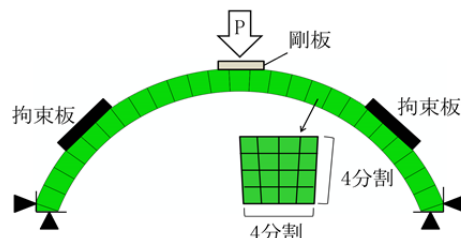


図3 模型 35-900-25 と載荷方法、拘束板の一例

図3は拘束板を有する載荷方法の一例を示している。境界条件は実験と同様に両基部において鉛直方向と橋軸方向に固定した。載荷方法は  $L/2$  点部に剛体要素を介して載荷し、拘束板を有するモデルでは拘束板を剛体要素でモデル化した。実験値との比較は、鉛直荷重を全ての模型に共通

表1 石アーチ模型の寸法諸量と石材の物性値

| 模型名       | $f/L$ | $L(\text{mm})$ | $f(\text{mm})$ | 輪石列数 | $E(\text{N/mm}^2)$ | $\nu$ | $\rho(\text{t/m}^3)$ | $U_s(\text{mm})$ | $\mu$ |
|-----------|-------|----------------|----------------|------|--------------------|-------|----------------------|------------------|-------|
| 20-900-23 | 0.2   | 900            | 180            | 23   | 11500              | 0.21  | 1.74                 | 0.36             | 0.73  |
| 20-900-15 | 0.2   | 900            | 180            | 15   | 11500              | 0.21  | 1.74                 | 0.36             | 0.65  |
| 20-600-13 | 0.2   | 600            | 120            | 13   | 17100              | 0.16  | 2.00                 | 0.30             | 0.65  |
| 35-900-25 | 0.35  | 900            | 315            | 25   | 17100              | 0.16  | 2.12                 | 0.36             | 0.65  |
| 42-590-17 | 0.42  | 590            | 250            | 17   | 17100              | 0.16  | 2.03                 | 0.30             | 0.65  |
| 50-590-17 | 0.5   | 590            | 295            | 17   |                    |       |                      |                  |       |

キーワード 接触モデル, 摩擦モデル, 静的解析, 静的挙動, 石アーチモデル, 間隙量  
連絡先(〒860-0855 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1 TEL 096-344-2111)

して載荷した荷重 2.5kN を用いた。また、実験での鉛直変位の計測位置は模型ごとに異なっている。

#### 4. 解析結果と考察

図4は、各模型に共通荷重 2.5kN を載荷した際の挙動を比較したものである。比較した結果、どの模型も解析値と実験値の間で  $v/f$  が比較的対応していることが確認できた。しかし、図4(a)に示す模型 20-900-15 の 3L/4 点付近のように、中には解析値と実験値の差が 1mm 以上開いた模型も見られ、これらの模型については実験方法について検討する必要があると考えられる。原因としては、L 点でも上側への変形が見られることから基部の固定が不十分であった可能性が考えられる。次に図5では、各模型の実験で載荷した最大荷重を解析モデルにも載荷し、そこに至るまでの挙動を比較したものである。その結果においても全体的に解析値と実験値は似た挙動を示したが、一部の模型で L/4 点と 3L/4 点においては上側の変形、また L/2 点では下側の変形が、解析値と実験値との差が 2.5kN 載荷時よりも大きくなる結果となった。L/2 点の差については既往の研究より石材間ですべり現象が起こった可能性が考えられる。この点については解析による接触と摩擦現象の再現方法と実

験手法の両面から検討する必要がある。図6は、本解析プログラムで用いた接触モデルのパラメータである、石材間で接触圧が発生する瞬間の間隙量  $c_0$  を変化させた時の解析結果を示す。この図より、 $c_0$  が増加すると変形が小さくなり、減少すると変形が大きくなることが分かった。また、実際の接触圧と間隙量及び食い込み量の関係は、今後実験などで検討していく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 工藤輝彦, 他 3 名: 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, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), I-465, pp.829-830, 2008.
- 2) 古賀圭一郎, 他 2 名: 阿蘇溶結凝灰岩の材料特性と石アーチ模型による解析手法の検討, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集 (CD-ROM), I-041, pp.81-82, 2010.
- 3) 古賀圭一郎, 他 4 名: 石材間摩擦に着目した石アーチの石材の動的解析手法の検討, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集 (CD-ROM), I-043, pp.85-86, 2012.
- 4) Dassault Systèmes Simulia Corp, ABAQUS Analysis User's Manual Version 6.11, 2011.

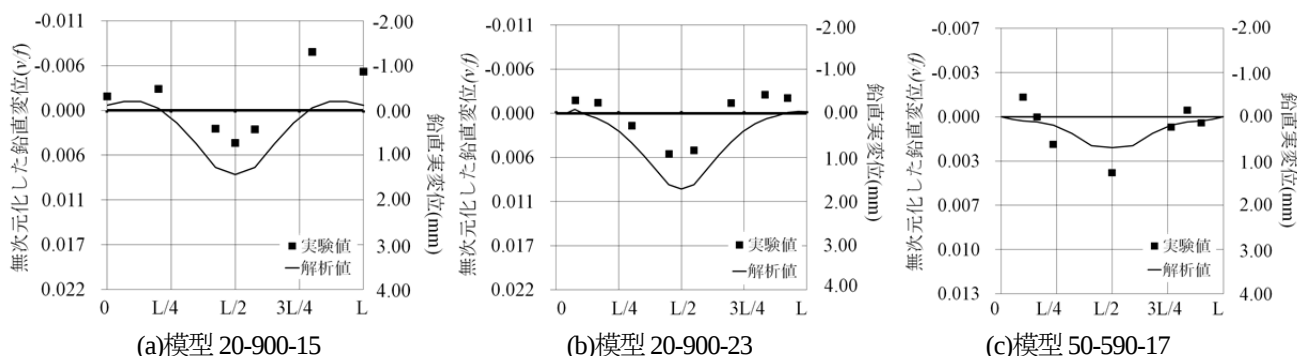


図4 実験結果と解析結果の比較(共通荷重 2.5kN 載荷時)

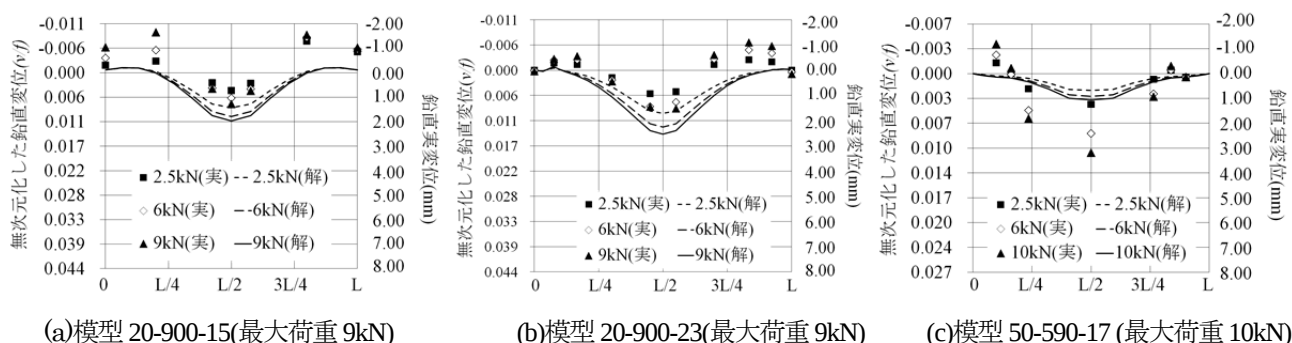


図5 最大荷重に至るまでの挙動比較

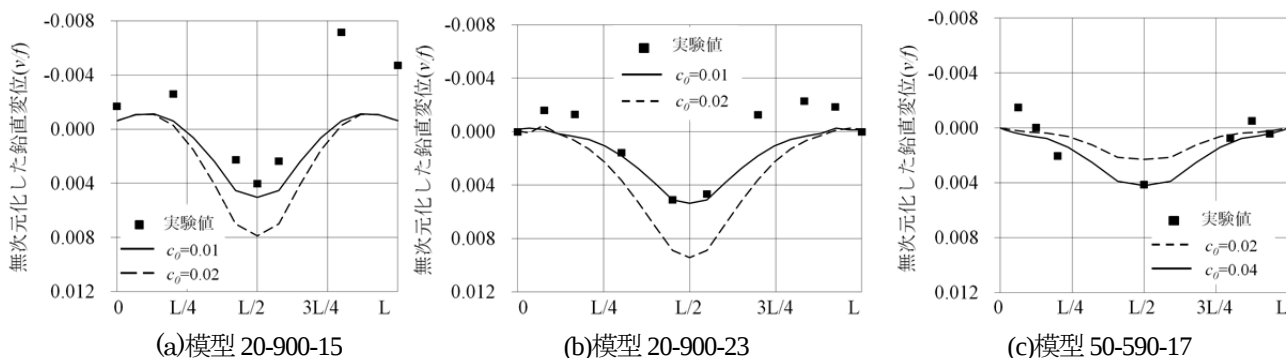


図6 接触圧発生時の間隙量  $c_0$  を変化させた際の挙動変化