

石アーチ模型の2次元解析による静的挙動の検討

熊本大学工学部 学生員○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、損傷の有無に関わらず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、耐荷力や耐震検討が行える数値解析法の開発は有効な手法と考えられる。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、アーチ輪石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¹⁾²⁾。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、載荷試験の結果との比較を通して解析手法の妥当性や問題点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60, 90, 120mmの長さを持つ石材を組み合わせ、橋幅方向に3列組とし、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とは図1の(b)に示している。表1は試験に用いた石アーチ模型6体の寸法諸量である。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、模型2と3以外は $L/4$ 点と $3L/4$ 点付近の上側への変形を拘束板で防止した。なお、石材の物性値は既往の材料試験で求められた値であり、表2に示す。

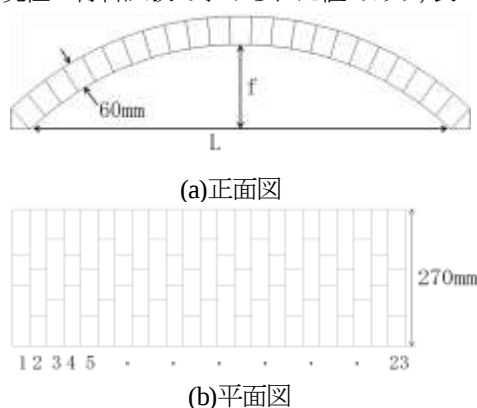


図1 石アーチ模型の一例

表1 石アーチ模型の寸法諸量

No.	f/L	$L(\text{mm})$	$f(\text{mm})$	輪石の列数
1	0.2	900	180	23
2	0.2	900	180	15
3	0.2	600	120	13
4	0.35	900	315	25
5	0.42	590	250	15
6	0.5	590	295	17

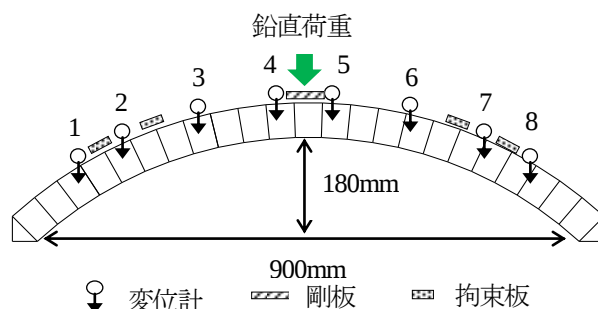


図2 集中荷重載荷と変位計位置の一例

表2 石材の物性値

No	$E(\text{N/mm}^2)$	ν	$\rho(\text{t/m}^3)$	$U_s(\text{mm})$	μ
1	11500	0.21	1.74	0.36	0.73
2	11500	0.21	1.74	0.36	0.65
3	17100	0.16	2.00	0.30	0.65
4	17100	0.16	2.12	0.36	0.65
5,6	17100	0.16	2.03	0.30	0.65

表中の記号の E はヤング率、 ν はポアソン比、 ρ は質量密度、 U_s はすべり発生変位、 μ は摩擦係数をそれぞれ表す。

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³⁾。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⁴⁾。図3はアーチ模型4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 4×4 メッシュ分割でよいことを確認した。

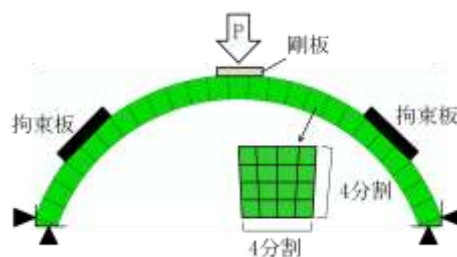


図3 解析モデル4と載荷方法、拘束板の一例

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 $L/2$ 点部に剛板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板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、各模型の鉛直変位をそれぞれのライズで無次元化した値について実験結果と2次元モデルの解析結果との挙動を比較したものである。

まず、模型1について、実験値と解析値の挙動は似ているが、 $3L/4$ 点周辺が上側に変形していることから拘束板の固定が不十分であったと考えられる。模型2も実験値において $3L/4$ 点周辺が上側に変形しており、拘束板無し模型であり解析値においても小さいが生じている。また、加えて基部の石もズレが生じており、基部の固定法が不十分であったと考えられる。拘束板無しの模型3では実験値と解析値が比較的対応しているように見えるが、 $0 \sim L/4$ 点の間の挙動の差が大きく、今後模型の製作および解析方法について検討が必要である。模型1~3は同じ $f/L=0.2$ のモデルであるが、解析値はいずれも実験値より大きくなった。模型4は実験値が載荷している間にすべり現象が発生したため $L/2$ 点の変形が大きくなっており、解析ですべりを再現することができなかった。模型5は6つのモデルの中では最も両者がよく対応した結果が得られたモデルであった。実験と解析が偶然うまくできた可能性も考えられる。模型6は変位にズレがあるが両者はよく対応した結果となった。

次に、図5は模型1、2および4について、実験で載荷した最大荷重を解析モデルにも載荷した結果と実験結果とを比較し、変形が大きくなった場合の比較を試みた。模型1は図4(a)より荷重の増加に伴い $3L/4$ 点の上側への変形が大きくなっており、拘束板の固定が適切でなかったと考えられる。模型2は両基部から $L/4$ 点までの変形の差異が広がり、模型と実験方法および解析についても検討が必要である。模型4も $L/4$ 点部の変形の差異が大きくなり、解析による再現方法は今後の課題であると思われる。

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.

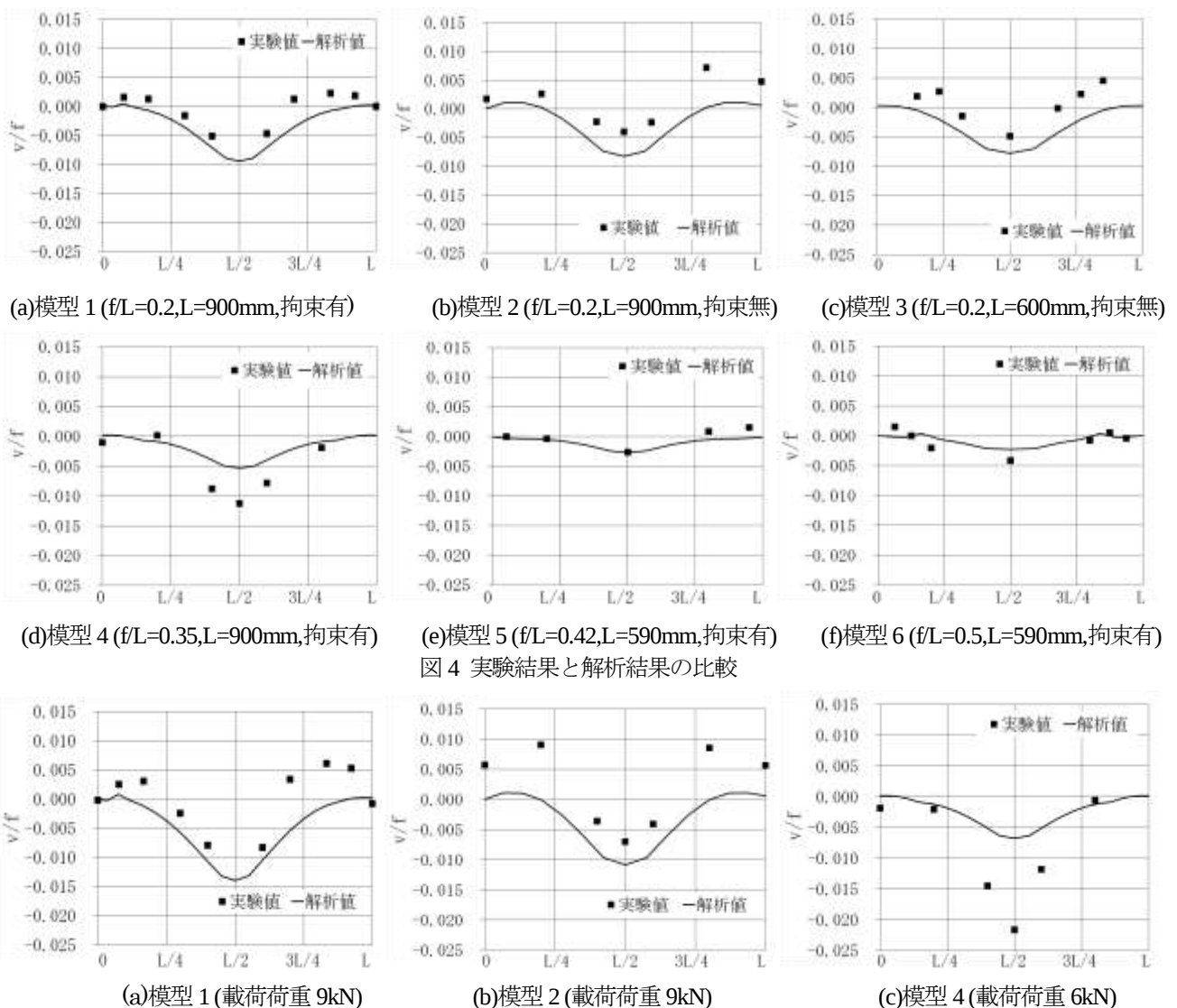


図4 実験結果と解析結果の比較

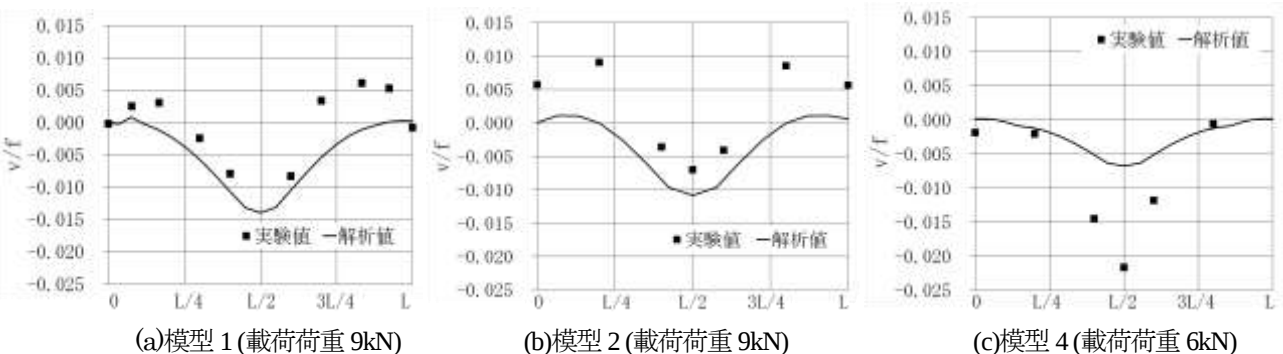


図5 模型1, 2および4の最大荷重載荷時の挙動比較