

模型実験による石造アーチ橋の変形挙動に関する研究

名城大学 正会員 ○ 清水泰弘
琉球大学 正会員 渡嘉敷直彦
東海大学 正会員 藍檀オメル

1. はじめに

石造アーチ橋は、九州地方に多く現存している¹⁾、拘束離散体構造と呼ばれる石造アーチ橋は基礎の沈下や地震の影響などで、石積みに緩みが生じ、安定性に問題が生じているケースも見られる。しかしながら、石造アーチ構造の力学的安定性を検討した報告は少なく、実験や解析による安定性の検討が求められる。石造アーチ構造の変形と破壊性状を検討するため、底面摩擦模型実験装置を用いて重力場における静的実験を実施した。

アーチ橋の基礎は水平や垂直の拘束が最も重要で強固な地盤が必要となる。しかし、一部には水平や垂直の拘束条件の不十分な河口付近などの軟弱地盤や湿地帯にアーチ橋を築造した例もある。水平や垂直の拘束条件が不足すれば落橋の可能性も考えられる。この研究では、底面摩擦模型実験装置を用いて、異なった拱矢(ライズ)と拱厚を有する二次元石造アーチ模型を製作し、重力場における静的実験および地震時の水平力を考慮した載荷実験を実施した。実験に際しては、石造アーチ構造を不安定にする二、三の条件を設定し、アーチ基礎部の水平方向への緩み、基礎部の不同沈下および地震時水平力の載荷によるアーチの変形・破壊性状を検討した。



写真-1 霊台橋（スパン 28.36m, 拱矢 14.18m, 拱厚 0.9m）

1. 底面摩擦模型実験装置

この実験装置は構造物の2次元モデルを用いて自重の作用下での変位や破壊モードを研究する装置である。この装置の原理は一定速度で作動するベルト上に模型を置き固定障害で模型の動きを止めることによって模型とベルトの間に生じた摩擦力で模型内に自重と等価な力を作用させるものである²⁾。

2. アーチ模型形状と模型材料

この実験では、スパンを 240 mm の一定としてライズの高さ(ライズ)の異なるアーチ模型 Type A・B・C・D の四種類を作成した。Type A はライズが 120 mm, Type B は 90 mm, Type C は 60 mm, Type D は 30 mm, 輪石の厚さを 20 mm として作製した。アーチ形状は真円を基本とし、ライズを変えた場合のアーチ形状には切円を用いた。積み上げた壁石には一般的な千鳥積みに組んだ。アーチ部分の輪石の数は 17 個と 34 個の二種類とした。また、実物形状の 1/50 の縮尺を想定して模型を製作した。スパンとライズの関係をライズ比(ライズ/スパン)として表-3.1 に、アーチ模型形状の一例を図-3.1 に示す。

この実験では乾燥した石膏モデルを用いた。石膏の高さを 25 mm として製作した。石膏の単位重量は 0.876g/cm^3 であるが、石膏模型だけではブロックの重量が軽すぎて十分な摩擦力が得られないため、厚さ 1 mm の銅板(単位重量 1.22g/cm^3)を 2 枚取付け、模型ブロックの単位重量を 3.32g/cm^3 と模型の自重を重くした。さらに石膏ブロックとベルトの摩擦力を増加させることと、摩擦による石膏の摩耗を防止するため厚さ 1 mm のスポンジをブロック底面に接着した。ベルトとスポンジの摩擦係数は 0.46 であり摩擦によって生まれる見かけの自重は 1.527g/cm^3 となる。

表-3.1 アーチ模型の形状

Type	スパン (mm)	ライズ (mm)	輪石の 厚さ(mm)	ライズ比 ライズ / スパン
A	240	120	20	1/2
B	240	90	20	3/8
C	240	60	20	1/4
D	240	30	20	1/8

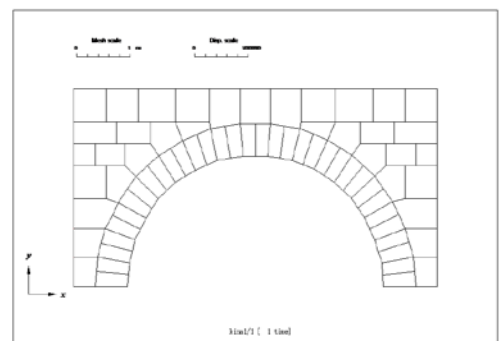


図-3.1 アーチ橋模型の一例

3. 模型実験方法

水平拘束を緩める実験 (Case1) では、写真-3.1 のように鋼製フレームの枠に取り付けた水平変位調節器内にアーチ橋模型をセットし、水平変位調節器の調節量を 60 毎秒に両端の合計で 0.5 mm ずつ破壊に至るまで、装置の限界の 40 mm まで緩めて、アーチ橋模型の各ブロックの挙動変位を写真撮影した。アーチ橋の破壊は、ブロック間の隙間が広がりアーチの形状が維持できなくなった時とした。

不同沈下の実験 (Case2) では、アーチの水平方向を拘束し、右側のみ下方に厚さ 4 mm を 3 枚と 2 mm を 8 枚、1 mm を 12 枚で合計 40 mm のアクリル板を積み上げ、1 分毎に下位の厚い板から 1 枚ずつ引き抜き取り不同沈下を発生させた。

地震荷重を作用させる実験 (Case3) は、角度調節器を使用して、アーチ模型の傾斜角度を 5° から 5° 間隔で最高で 35° まで傾斜させ、震度法による地震荷重を発生させた。同様にブロックの挙動変位を写真撮影し、それぞれのブロックの中心位置に表示した計測点をデジタイザーによって計測し数量化した。

4. 模型実験結果

水平方向の拘束を緩めた実験では、4 Type の内では Type D が緩み量 20 mm で輪石の下部に隙間が開いて破壊に至った。同様に Type C, B は 35 mm で破壊し、Type A は装置の最大緩み量の 40 mm でも破壊しなかった。ライズ比が高いほど水平方向の緩みに対して破壊しにくいことが判明した。緩み量とスパンとの比を考えると Type D は 1/120、Type C, B は 1/68 の緩み量で破壊し、Type A は 1/60 の緩み量でも破壊しなかったことに成る。水平拘束の緩み量と要石の関係をみるとライズ比が小さい程、垂直変位量は大きく、破壊に至るまでの水平変位量が少ないことが判明した。水平拘束の緩み量と要石の関係を図-4.1 に示す。また、実験結果の一例を写真-4.1 に示す。

不同等沈下の実験では、最大 32 mm まで沈下させたが、いずれの Type も沈下を発生させなかった基礎側の最上部のブロック間の隙間が広がる現象が見られたが破壊はしなかった。この実験では、ライズ比が異なっているが、どの Type においてもアーチ橋の上部に割

れ目が生じたものの、崩壊には至らなかった。実験結果の一例を写真-4.2 に示す。

地震荷重を載荷した模型実験では Type A, B は 20° でブロックの隙間が広がり 25° で破壊した。Type C, D は 35° でも破壊しなかった。したがって、地震荷重の場合にはライズ比が大きいほど構造的に弱いことが判明した。

5. おわりに

石造アーチ橋の基礎部の変状による破壊性状を確認するため、底面摩擦模型実験装置を用いて、アーチ基礎の水平方向の拘束が緩みスパンが広がった場合、基礎部に不同沈下が発生した場合、地震荷重が作用した場合の自重場の 2 次元模型実験を行った。模型実験の結果では、ライズ(拱矢)比が高いほど水平変位、不同沈下等には強く、地震荷重には弱いことが判明した。

6. 参考文献

- 1) 日本の眼鏡橋「都道府県別現存数」「日本の石橋を守る会」：
<http://www10.plala.or.jp/narit/hasi/itiranhyou.html>
- 1) 川本脩万，尾原祐三，市川康明：底面摩擦模型実験装置および模型材料の力学特性 I、日本鉱業会誌、第 99 巻 1139 号、pp.1-6

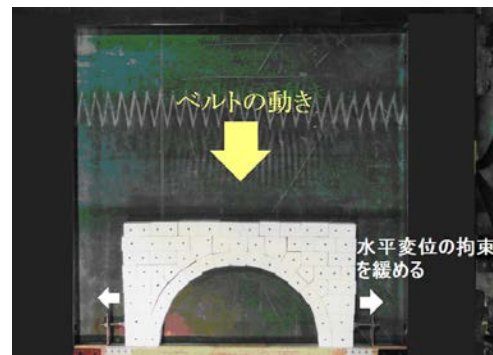


写真-3.1 底面摩擦模型実験装置上のアーチ橋模型と水平変位調節器



写真-4.1 Type A Case 3 40 mm 緩み時



写真-4.2 Type A Case 1 32 mm 沈下

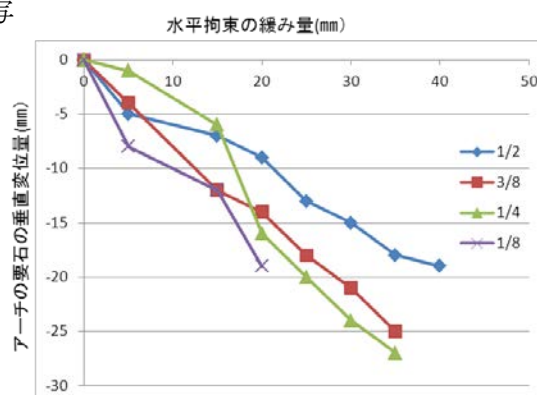


図-4.1 水平拘束の緩み量と要石の沈下量の関係