

支点移動に着目した石造アーチ橋の構造安定性に関する基礎的研究（その 2）

福岡大学
福岡大学
九州産業大学
(株)建設プロジェクトセンター

正会員 ○今泉 暁音
正会員 坂田 力
フェロー会員 水田 洋司
正会員 筒井 光男

1. はじめに

九州には、多くの石造アーチ橋が存在しており¹⁾、現在でも道路橋、水路橋、また、文化財指定され観光資源として利用されているものがある。これらの石造アーチ橋は建設から 100 年以上経過したものも存在し、適切に維持管理していくことが重要である。

そこで、著者らは供用中の石造アーチ橋の構造安定性に関する基礎的な研究を進めており、特に、石造アーチ橋の安定性に大きく影響する支点の水平移動に着目し、崩壊挙動との関係について検討している。前報²⁾では、輪石のみからなる石橋アーチ橋について個別要素法を用いて解析を行い検討した。本報告では、壁石を有する石造アーチ橋について検討した結果を報告する。

2. 解析条件

(1) 解析手法、及び解析モデル

解析には、2 次元個別要素法 (Distinct Element Method, DEM) 解析コード UDEC³⁾を用いる。

解析モデルは、支間 $L=18\text{m}$ 、輪石厚 $T=0.5\text{m}$ とし、ライズ f を 3.6m 、 4.5m (ライズ支間比 f/L はそれぞれ 0.20 、 0.25) の 2 種を設定する。壁石は、支間中央の輪石 (アーチクラウン) の上面より、1 段当たりの石材高さ $h=0.25\text{m}$ ($=T/2$) として、1 段、2 段、3 段、4 段積み上げた 4 種を設定する。さらに、輪石のみのモデルを加えた計 10 モデルについて検討を行った (図-1、表-1 参照)。なお、全てのモデルで輪石数は 49 個とした。表-2 に入力パラメータを示す。

(2) 解析手順

解析手順の概要を図-2 に示す。まず、モデル全体の外廓を生成した上で、1) 各要素の境界 (不連続面) を定義し、モデル形状を作成する。次にアーチ下部のブロックは支保工と見なして除去せずに、2) 橋梁上部のブロックのみを除去し、重力を作用させ平衡状態に至るまで計算する。平衡状態に至った後、3) アーチ下部の支保工ブロックを除去し、さらに平衡状態に至るまで計算して自重に対して安定している状態を作成する。4) この状態から片方 (右側) のアーチ支点ブロック (以

下、支点と呼ぶ) をアーチの外側へ等速度 ($v=1\text{mm/sec}$ とした) で水平移動させる (図-2 参照)。支点を 10mm (10 秒) 移動させる毎に停止させ、平衡状態に至るまで計算し、平衡状態に至るか、崩壊する (もしくは不安定な状態に至る) かを確認した。これを繰り返し行い、崩壊するときの支点の水平移動量を確認した。また、崩壊前に平衡状態を確保できている最大の支点水平移動量を支点の“限界水平移動量 dL ”と呼ぶこととする。

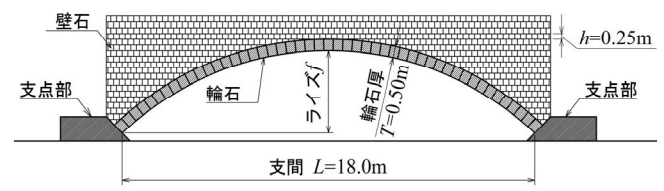


図-1 石造アーチ橋の主な各部の名称

表-1 解析モデルの寸法

支間 L	輪石厚 T	ライズ f (f/L)	壁石高さ*
18m	0.5m	3.6m, 4.5m (0.20) (0.25)	壁石なし 1 段, 2 段, 3 段, 4 段
<1 通り>	<1 通り>	<2 通り>	<5 通り>

*1 段あたりの石材高さ 0.25m

表-2 入力パラメータ

石材ブロック	密度	d (kg/m^3)	2,000
	体積弾性係数	K (Pa)	4.00×10^9
	せん断弾性係数	G (Pa)	4.50×10^9
石材間のばね (不連続面)	垂直方向剛性	jkn (Pa/m)	1.00×10^{10}
	せん断方向剛性	jks (Pa/m)	5.00×10^9
	摩擦角	jf ($^\circ$)	38
	粘着力	jc (Pa/m)	0

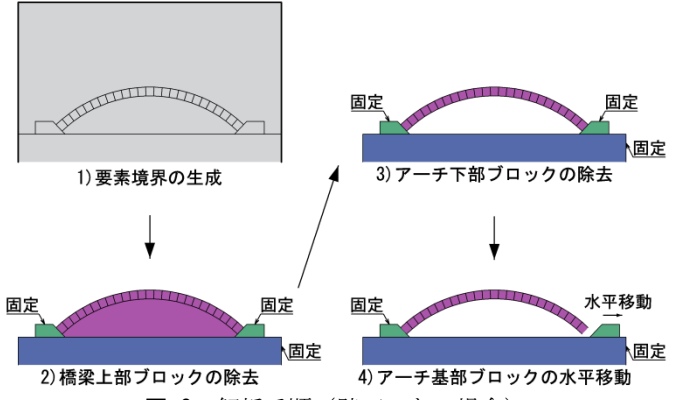


図-2 解析手順 (壁石のない場合)

キーワード 石造アーチ橋、個別要素法、維持管理、構造安定性、支点移動

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部社会デザイン工学科 TEL 092-871-6631

3. 解析結果と考察

(1) 壁石高さや支点の限界水平移動量

図-3 に、壁石高さや支点の限界水平移動量 $dL(m)$ を支間 $L(m)$ で除して無次元化した dL/L の関係を示す。今回検討した壁石高さの範囲においては、壁石高さが高くなるほど、限界水平移動量 dL/L が大きく、石造アーチ橋は安定傾向にあることが分かる。

(2) ライズ支間比と支点の限界水平移動量

ライズ支間比 f/L に注目すると、図-3 に示すように、 $f/L=0.20$ の場合に比べ、 $f/L=0.25$ の場合に限界水平移動量 dL/L がより大きく、安定傾向にあることが分かる。

(3) 壁石高さやヒンジの生成

図-4 に「 $f/L=0.20$ ($f=3.6m$)」の場合の各壁石高さにおける限界水平移動量に達したときの様子を示す。また、図-5 に図-4(c) の A,B,C 部の拡大図を示す。

図-4(a) の壁石のない場合には、アーチクラウン部（支間中央）の輪石下面に輪石の開きを確認され、輪石上面に“ヒンジ”が生じていることが分かる。また、両支点からおよそ $(1/8)L$ の範囲で輪石下面にヒンジが生じていることが分かる。

図-4(b)～(e) の壁石を有する場合には、支間中央から少し離れた箇所において輪石上面でヒンジが生じており、その位置は壁石高さが高いほど支間中央側に若干移動していることが分かる。また、両支点ブロックと輪石の間において、輪石上面で開きを確認でき、輪石下面でヒンジが生じていることが分かる（図-5 参照）。

「 $f/L=0.25$ ($f=4.5m$)」においても同様の傾向が確認できた。壁石を設けることによって、支点移動に対する構造安定性を増す効果のあることが示唆された。

4. まとめ

本報告では、個別要素法を用いて、壁石を有する石造アーチ橋の構造安定性と支点移動の関係について検討を行った。その結果、壁石の有無や壁石高さの違いによる影響、また、それらによる変形挙動の違いについて基礎的な知見を得ることができた。

謝辞：

個別要素法についてご教授頂きました山口大学大学院理工学研究科 清水則一教授に感謝の意を表します。また、本研究において、解析やデータ整理に協力頂いた、石田雄士さん、歌津晃平さん（いずれも研究当時、福岡大学）に謝意を表します。

参考文献：

- 1) 坂田力, 市川紀一：九州の石造アーチ橋について，土木史研究第 21 号，pp 265-270，2001.
- 2) 今泉暁音, 坂田力, 水田洋司, 筒井光男：支点移動に着目した石造アーチ橋の構造安定性に関する基礎的研究，土木学会第 70 回年次学術講演会，I-314，pp.627-628，2015.
- 3) ITASCA Consulting Group, Inc. : UDEC, Version5.00, User's manual, 2011.

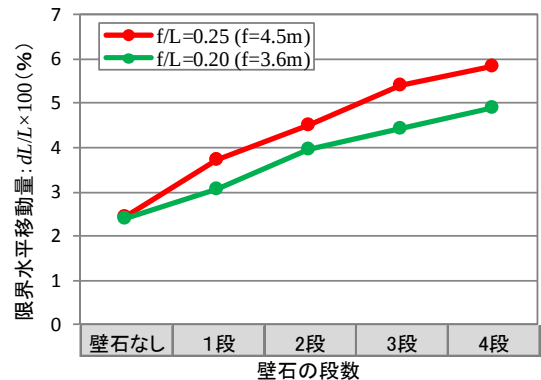


図-3 壁石の段数と限界水平移動量 dL/L の関係

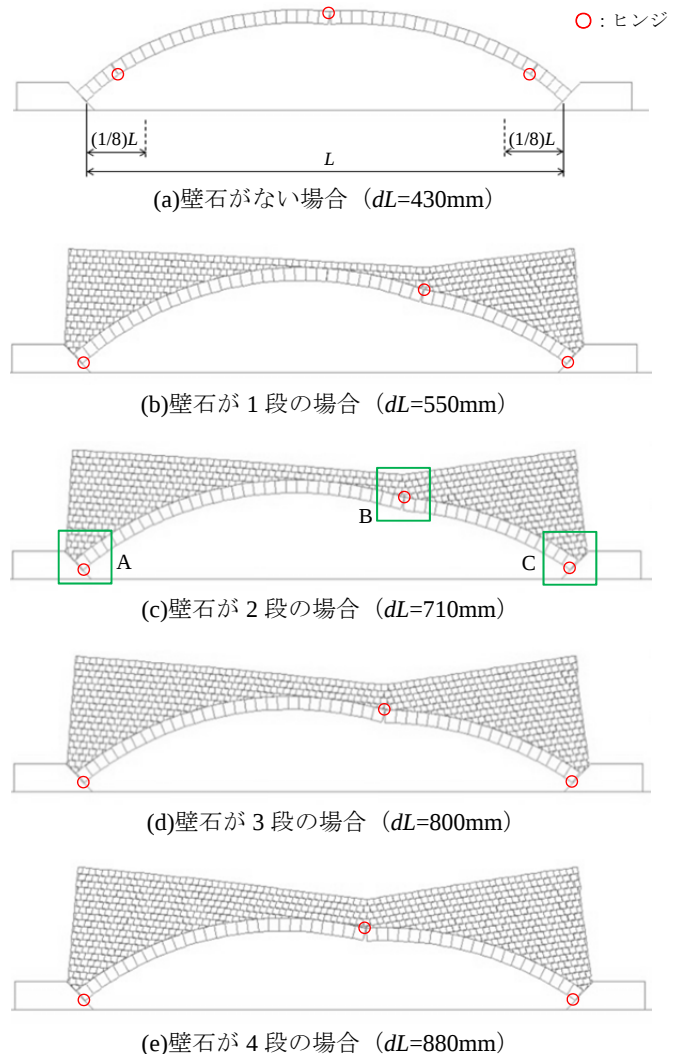


図-4 限界水平移動量に達したときの様子 1 (全体図)
($L=18.0m$, $f=3.6m$, $f/L=0.20$)

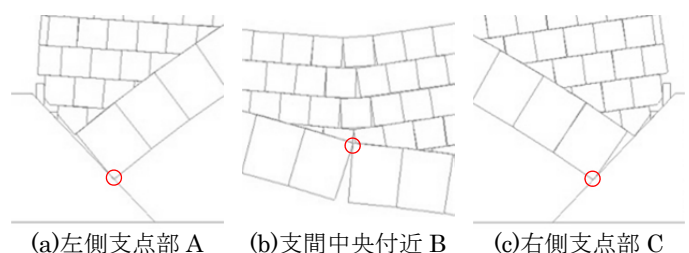


図-5 限界水平移動量に達したときの様子 2 (ヒンジ部)
(図-4(c) の A, B, C 部の詳細図)