

### 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

福岡大学	正会員	○今泉 暁音
福岡大学	正会員	坂田 力
九州産業大学	フェロー会員	水田 洋司
国土工営コンサルタンツ (株)	正会員	筒井 光男

#### 1. はじめに

九州には、全国の石造アーチ橋の 90%以上が集中しており<sup>1)</sup>、現在でも道路橋、水路橋として使用されているもの、あるいは文化財指定され観光資源として利用されているものが多くある。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り、その方法などが提案<sup>2)</sup>されている。

そこで、本報告では供用中の石造アーチ橋の構造安定性に関する研究に取り組むための最初のステップとして、輪石のみからなる石橋アーチ橋の安定性について個別要素法を用いて解析した。ここでは、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量と石造アーチ橋の崩壊の関係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 UDEC<sup>3)</sup>を用いる。

解析モデルは、輪石のみの単純な石造アーチ橋とする。基本モデルを支間  $L=20\text{m}$ 、輪石厚  $T=0.5\text{m}$ 、ライズ  $f=4.0\text{m}$  として、 $L$ 、 $T$ 、 $f$  を変更して計 38 モデルについて検討を行った (図-1、表-1 参照)。全てのモデルで輪石数は 49 個とした。入力パラメータは表-2 に示す。

##### (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) この状態から片方のアーチ基部ブロック (右岸側) 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)。アーチ基部が 10mm 移動した後には停止させ、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。

#### 3. 解析結果と考察

##### (1) ライズ支間比と支点水平移動量

図-3 にライズ支間比  $f/L$  と崩壊時の支点水平移動量  $dL(\text{m})$  を支間  $L(\text{m})$  で除して無次元化した  $dL/L$  の関係を示す。図より、崩壊時の支点水平移動量  $dL/L$  とライズ支間比  $f/L$  の関係は上に凸の曲線で示されており、 $f/L = 0.2 \sim 0.25$  付近にピークが認められる。また、輪石厚

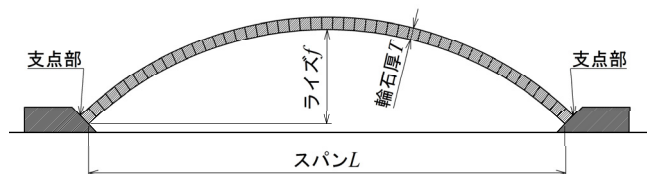


図-1 石造アーチ橋の主な各部の名称

表-1 解析モデルの寸法

支間 $L$	輪石厚 $t$	ライズ $f$
18m, 20m, 22m, 24m < 4 通り >	0.5m, 0.75m < 2 通り >	3.0m~7.5m

表-2 入力パラメータ

石材ブロック	密度	$d$ ( $\text{kg/m}^3$ )	2,000
	体積弾性係数	$K$ (Pa)	4.00E+09
	せん断弾性係数	$G$ (Pa)	4.50E+09
石材間のばね (不連続面)	垂直方向剛性	$jkn$ (Pa/m)	1.00E+10
	せん断方向剛性	$jks$ (Pa/m)	5.00E+09
	摩擦角	$jf$ ( $^\circ$ )	38
	粘着力	$jc$ (Pa/m)	0

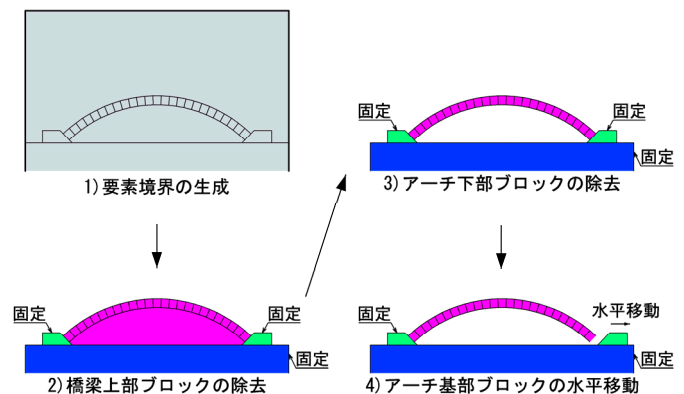


図-2 解析手順

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

$T=0.5m$  と  $T=0.75m$  では、輪石厚の大きい方が安定傾向（支点水平移動量  $dL/L$  が大きい）を示している。さらに、輪石厚が一定であっても、支間長の増加に従って支点移動に対する安定性は低下することもわかる。

(2) 輪石の開き量と偏心軸力

図-4 は「 $L=20m, f=4m, T=0.50m$ 」を例として、崩壊直前の輪石間の開き量（輪石上面を  $t_1$ 、輪石下面を  $t_2$  とする）を示し、図-5 は「 $L=20m, T=0.50m$ 」の場合の各ライズにおける輪石間の開き量とその位置を示す。これらの図より、崩壊直前で支間中央（輪石下面）と支間の両側 1/8 付近（輪石上面）に輪石の開きが確認できる。

図-4 に示される輪石の開きより、開きとは逆側に偏心軸力が存在していることがわかる。一般に、石造アーチの崩壊は軸力線が輪石断面から外れるときと定義できる。軸力の偏心に対しては、輪石厚が大きい方が有利である。そこで、支間長  $L$  に対する輪石厚  $T$  の比 ( $T/L$ : 相対輪石厚) を用いて図-3 を評価すると、 $T/L$  が大きいほど安定性が高い（支点水平移動量  $dL/L$  が大きい）ことがわかる。

(3) 偏心軸力とアーチ形状

支点水平移動量  $dL/L$  とライズ支間比  $f/L$  の関係が凸の曲線で表されている点については、支点移動前のアーチ軸力線の位置とアーチ形状が影響していると考えられる。別途、軸力線の位置を計算してみると、 $f/L$  が増加すると偏心量も増加している。また、幾何学的に考えると、扁平なアーチ ( $f/L$  が小さい) ほど、同一支点移動に対するアーチクラウンの輪石の開きが大きくなる。つまり、 $f/L=0.2$  以下ではアーチ形状の影響を、 $f/L=0.25$  以上では偏心軸力の影響を受け、支点の水平移動に敏感に反応し、不安定傾向を示す。その結果、両方の影響を受けにくい  $f/L=0.2\sim 0.25$  でピークを示していると考えられる。

4. まとめ

本報告では、個別要素法を用いて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。

石造アーチ橋の許容支点水平移動量は、相対輪石厚  $T/L$  とライズ支間比  $f/L$  によって変化する偏心量、アーチ形状をパラメータとすれば算定できるものと思われる。

**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。

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) 九州構造・橋梁工学研究会 (KABSE), 石橋の設計法と維持管理に関する研究分科会: 石橋の設計基準作成の検討と石橋の点検要領および維持管理の現況, 2012.
- 3) ITASCA Consulting Group, Inc.: UDEC, Version5.00, User's manual, 2011.

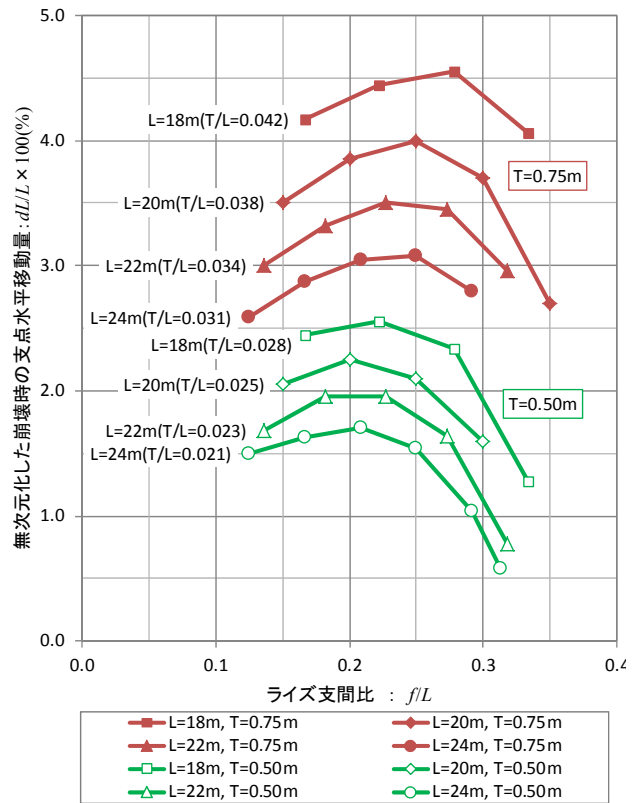


図-3 ライズ支間比  $f/L$  と水平移動量  $dL/L$  の関係

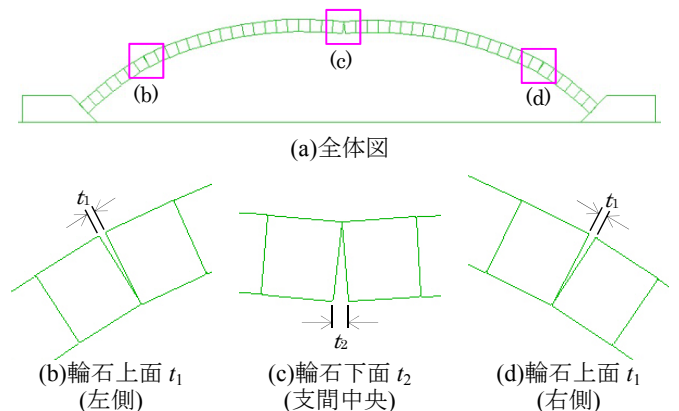
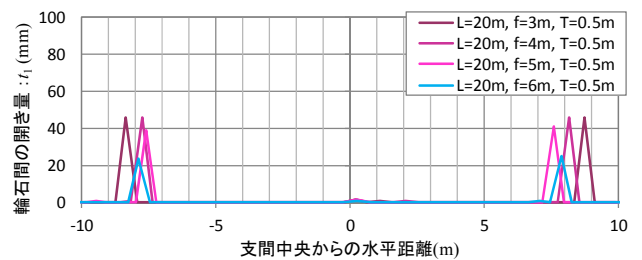
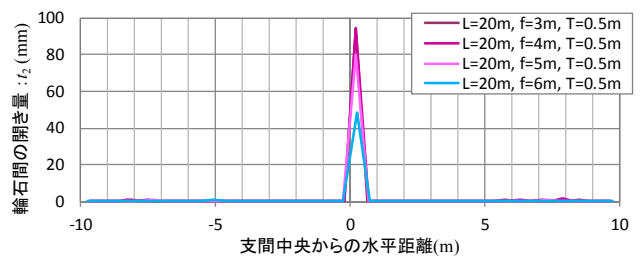


図-4 崩壊直前の輪石間の開きの様子 ( $L=20m, f=4m, T=0.50m$ )



(a) 輪石上面:  $t_1$



(b) 輪石下面:  $t_2$

図-5 崩壊直前の輪石間の開き量  $t_1, t_2$  ( $L=20m, T=0.50m$ )