

アーチ環の安定性に関する簡易照査法の提案

佐世保重工 正員 ○筒井光男 九州産業大学 正員 水田洋司
 熊本大学 正員 小林一郎 九州産業大学 正員 白地哲也

1. はじめに

近年、有限要素法、個別要素法等の解析手法の充実により、石造アーチ橋の力学挙動の推定が可能となりつつある。しかしながら、中小の石造アーチ橋の維持管理、補修等においては、挙動解析や安定性照査は現場の技術者や石材関連の技能者の経験にゆだねられているのが現状である。これを考えると、石造アーチ橋の力学安定について大まかな判断が行えることは極めて重要であると考えられる。本論文ではアーチ環の安定性に関し、輪石厚の下限値を求める式と立ち上げ部における滑動の簡易照査法について提案する。

2. 輪石厚の照査

一般に完成後の石造アーチ橋は十分な安全率を持っている。これに対し、架設時の安全率は高くないものと推察される。たとえば、文献¹⁾では、石造アーチ橋のアーチクラウンに荷重を載せて軸力線の位置を調整しながら壁石を載せていく架設手順が紹介されている。筆者らは、石造アーチ橋の輪石厚は架設時の条件で決まるものと考え、架設時の上載荷重をアーチの軸力線を調整する荷重として一般化し、石造アーチ橋の安定性を照査する方法について提案する。

2.1 照査条件

- (i) アーチの形状： 石造アーチ橋に使用されている形状は円弧が多いが、以下の理由から放物線を用いる。放物線は円弧アーチより式が簡単であること、およびここで提案する簡易式は円弧アーチの実橋データを基に後述の荷重係数 α を決定するため、形状の違いによる誤差は吸収されと考えられる。
- (ii) 上載荷重： 福岡県の石造アーチ橋 45 橋のデータを用いて輪石厚、輪石幅とスパンについて回帰式を求めると式(1a)、(1b)が得られた。上載荷重はこの統計輪石の大きさを基準として、式(1c)を導いた。輪石を基準とする理由は、大きい橋では大きく、小さい橋では小さいが、ゼロにはならないためである。

$$\bar{T} = 0.2149 + 0.0286 L \quad (1a)$$

$$B = 0.2385 + 0.0128 L \quad (1b)$$

$$p = \bar{T} \times B \times \rho \times \alpha \quad (1c)$$

$$q = T \times \rho \quad (1d)$$

ここに、 L は支間(m)、 T は輪石の厚さ(m)、 $\bar{T}$ は式(1a)から得られる輪石厚の推定値(m)、 B は式(1b)から得られる輪石幅の推定値(m)、 p は上載荷重(kgf)、 q はアーチ自重(kgf/m)、 ρ は輪石の比重を示す。

- (iii) アーチ自重：輪石のみを考え、等分布とする。

- (iv) 計算モデル：アーチは3ヒンジまでは安定である。そこで、崩壊前を考え、アーチクラウンと両立ち上がり部にヒンジがある3ヒンジアーチを考える(図-1)。

2.2 安定照査式

- (i) 輪石厚：ここではアーチの軸力とモーメントから輪石断面に作用する軸力の位置をもとめ、それが輪石厚さの中央 1/3 (ミドルサード) 内にあるか否かで安全率を決める。等分布荷重 q とアーチクラウンに上載荷重 p を受ける3ヒンジアーチの水平力および最大曲げモーメントは次式で示される。

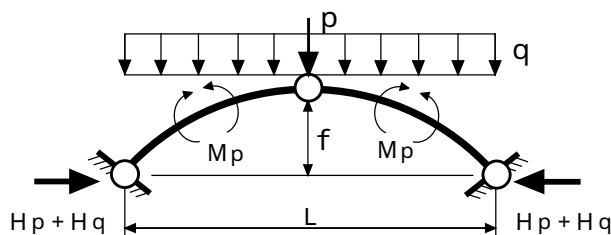


図 - 1 3ヒンジアーチと荷重

キーワード：石造アーチ、安定性、輪石厚、滑動、仮想円

連絡先：佐世保重工業(株)鉄構設計部 筒井光男 TEL：0956-25-9220，FAX：0956-25-9119

$$H_q = -\frac{q}{8} \frac{L^2}{f} \quad (2a) \quad M_p = -\frac{p}{1} \frac{L}{6} \quad (2b) \quad H_p = -\frac{p}{4} \frac{L}{f} \quad (2c)$$

ここで、 H_q ：等分布荷重による水平力、 f ：ライズ、 M_p ：集中荷重による最大曲げモーメント（ $L/4$ 点）、 H_p ：集中荷重による水平力を示す。なお、等分布荷重による曲げモーメントは発生しない。 $L/4$ 点の軸力は、水平力と同程度の大きさと考え、軸力線の偏心率 δ を次式で近似する。また、安全率 S はこの偏心率とミドルサードから求まる限界偏心率 $T/6$ との比で表される。

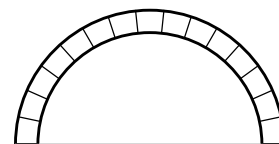
$$\delta = -\frac{M_p}{H_q + H_p} \quad (3) \quad S = -\frac{T}{6\delta} \quad (4)$$

(ii) 荷重係数の決定

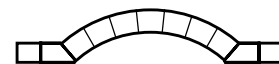
表 - 1 荷重係数と安全率（霊台橋）

支 間 (m)	拱 矢 (m)	輪石厚 (m)	安 全 率		
			$\alpha=1.0$	$\alpha=7/8$	$\alpha=3/4$
28.3	13.2	0.85	0.9	1.0	1.2

表 - 1 は日本最大支間の霊台橋を例に取り、荷重係数を変化させた時の安全率である。この中より、安全率が1



(a) 半円アーチ



(b) 欠円アーチ

以上でかつ大きすぎない値となる荷重係数 $3/4$ を採用する。

図 - 2 半円と欠円アーチの安定

3. 滑動の照査

アーチの立ち上がり部に作用する水平力を自重の摩擦力で受け持たせる場合は、次の式を満足する必要がある。

$$H \leq F \quad (5a) \quad -\frac{q}{8} \frac{L^2}{f} \leq -\frac{q}{2} \frac{L}{\mu} \quad (5b)$$

ここに、 H ：水平力、 F ：摩擦力、 μ ：摩擦係数

表 - 2 石造アーチ橋の安全率

橋 名	支間 (m)	ライズ (m)	輪石厚 (m)	安全率
本 の 眼鏡橋	3.8	1.8	0.38	1.6
長崎眼鏡橋	8.3	4.4	0.59	2.0
幸 橋	15.5	5.4	0.62	1.8
諫早眼鏡橋	17.4	5.4	0.69	2.2
洗 玉 橋	23.7	8.0	0.85	2.0
霊 台 橋	28.3	13.2	0.85	1.2

石や煉瓦の摩擦係数を小さめの値 0.5 として、式(5b)を整理すると、 $f \leq L/2$ となる。このことよりライズがスパンの $1/2$ （放物線であるが半円と呼ぶ）か、それ以上であると安定することが判る。放物線アーチでは一部を取り出しても水平力は変わらない。このために欠円アーチが滑動しない条件としては、半円から欠円アーチを切り出して残った部分の重量を壁などで補えば良いと考えられる（図 - 2）。このことから次のようにして照査できる。つまり、石積み構造物の開口部の欠円アーチ等では、アーチと円（仮想円と呼ぶ）を重ね、円が壁の内側に有れば安定、外に出てしまうと不安定である。

4. 検証

提案した式(4)を用いて、実橋を計算してみる。いま、スパンの小さいものから大きいものまで6橋を計算したが、表 - 2 である。この表では、安全率は 1.2 から 2.2 の間となっており、妥当な値と考えられる。また、煉瓦造建物の開口部の欠円アーチに仮想円を重ねると、壁の中に入ることゝ判る（図 - 3）。

5. まとめ

本論文では架設時に軸力線を調整する上載荷重を数式化し、それによって安全率（輪石厚）を照査する式と仮想円から滑動安定を判定する方法について提案した。これら二つの条件を満足していれば石造アーチは安定であることが判った。また、仮想円を使う方法は円を視覚的に対象と重ねることで簡単に照査できる。

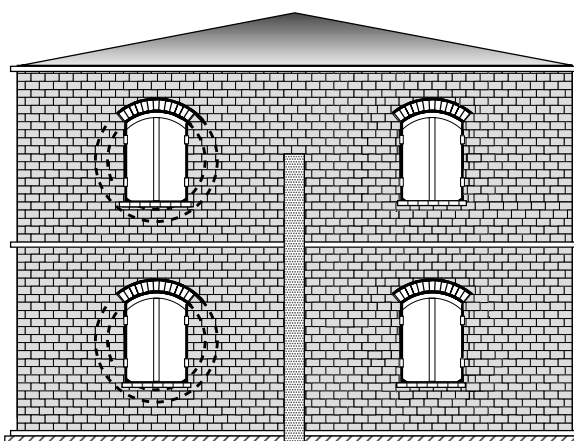


図 - 3 開口部仮想円

参考文献：1) 岡崎、高山、薬師寺：伝えたい ふるさとの石橋、高山総合工業、p.389、1996.12

2) 筒井、水田、白地、塚本：開口部を壁面意匠の力学安定性について 土木構造・材料論文集 第16号、pp.79 ~ 84、2000.12