

石造アーチ橋輪石の安定性評価式について

(株)テクノコンサルタント 正員 ○草野健一郎 福岡大学 正員 今泉暁音
 福岡大学 正員 坂田 力 鹿児島大学 二宮公紀
 (株)溝田設計コンサルタント 名誉会員 水田洋司

1. はじめに

現在わが国には石造アーチ橋が約 2000 橋現存するが、計算手法を確認できる資料は存在しないようである。また、現在にいたるまで設計規準類の整備はなされていない。唯一、明治時代に海外の論文・書籍を翻訳し、体系的にまとめられた石造アーチ設計の技術者向け入門書として刊行された『工業叢書 土木実用アーチ設計法』^{1),2)}に欧米の石造アーチの安定理論や各部材寸法に関する計算式が記載されている。本論文では、書籍中に記載されている輪石厚の計算式のうち、トラウトワインの公式(米式)の妥当性について、実用の面から考察した。九州内6橋の石造アーチ橋の径間 S 、内弧の半径 R と輪石数を用いてトラウトワインの公式から必要な輪石厚を求め、実橋と比較・検討した。

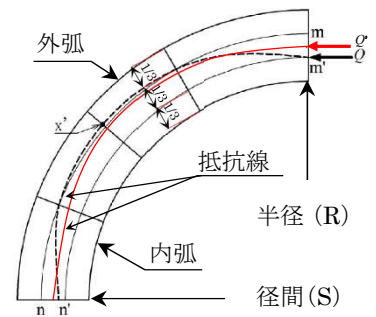


図1 アーチの力学安定性

2. アーチの力学的安定性

石造アーチ橋の安定性は、以下の3項で規定される。

- (1) 回転に対する安定性：抵抗線(図1の σ)が接目のミドルサード(中央3分の1)内に存在する。
- (2) 摩擦に対する安定性：接目と抵抗線方向のなす角がアーチ石間の内部摩擦角より小さい。
- (3) 圧壊に対する安定性：抵抗線がアーチ石の圧壊強度より小さい。

本論文では検討主旨に従い、(1)に関する抵抗線位置について検討した。

3. 輪石厚の計算

3.1 石造アーチ橋の諸元

要石から起拱石迄の輪石厚は一定のため、要石厚を計測し、本論文では輪石厚と記している。表1には計算に使用した石造アーチ橋の諸元を記している。

表1 石造アーチ橋の諸元

橋梁名称	洗心橋	渡瀬橋	洗玉眼鏡橋	秋月眼鏡橋	朝地橋	笹無田橋
道路種別	私道(妙行寺)	主要地方道谷山伊作線	主要地方道八女香春線	(秋月城址)	一般県道朝地停車場線	市道梅ノ木竹ノ脇線
設置場所	鹿児島市和田町和田名	口置市吹上町与倉	八女市上陽町北川内	朝倉市秋月	豊後大野市朝地町	竹田市三宅
架設年	1917年	1913年5月	1893年	1810年	1923年11月	1915年
アーチ種別	単径間欠円アーチ	単径間欠円アーチ	単径間欠円アーチ	単径間欠円アーチ	単径間半円アーチ	単径間欠円アーチ
橋長: l (m)	9.25	14.9	32.5	17.9	33.4	24
有効幅員: B (m)	3.83	5.6	5.0	4.5	7.3	4
径間長: L (m)	7.8	10.8	22.5	13.9	17.5	16.51
ライズ: f (m)	2.4	4.8	10.0	3.8	8.75	4.485
輪石数: n (個)	25	31	43→21	47→21	37(18+1+18)/(73)	21(10+1+10)/(42)
輪石厚: t (m)	0.38	0.5	0.85	0.55	0.8	0.7
石材	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	花崗岩	凝灰岩	凝灰岩

※輪石数は計算用に調整。実数は()内に明示。

キーワード：石造アーチ橋 土木実用アーチ設計法 アーチの安定 輪石 抵抗線

連絡先：〒870-0108 大分市三佐1丁目5番14号 TEL 097-527-5111

3. 2 最小輪石厚の計算式

本論文で検討しているトラウトワインの公式を式 (1) に示す.

$$\text{トラウトワインの公式 (米式)} : d = \frac{1}{4} \sqrt{R + S/2} + 0.2 \quad (1)$$

ここで, d : 要石厚, S : 径間, R : 内弧の半径

ただし, 式(1)は加工精度の高い石材使用時に用いる. 中程度の加工精度では式(1)の計算厚の 1/8, レンガ・整形石積みは 1/3 を加算する. その他の公式としては, 以下の式がある.

$$\text{ランキンの公式 (英式)} : d = \sqrt{0.12R} \quad \text{単一アーチ} \quad (2)$$

$$d = \sqrt{0.17R} \quad \text{多径間アーチ} \quad (3)$$

レニーおよびステフェンソンの公式 (英式), ペローネーの公式 (仏式), デヤルデヒンの公式 (仏式), 独・露の公式 (ペローネーの公式+0.02H) (H : 外弧~路面間の鉛直距離).

3. 3 輪石厚

式 (1) を用いて求めた実橋の輪石厚を表 2 に示す.

3. 4 抵抗線図

表 2 輪石厚の計算結果 (単位: m)

計算で求めた 6 橋(表 1)の抵抗線形状に差異はほとんど見られず, 6 橋の輪石厚では間詰め土への主働土圧作用時の抵抗線の一

	洗心橋	渡瀬橋	洗玉眼鏡橋	秋月眼鏡橋	朝地橋	笹無田橋
実橋	0.380	0.500	0.850	0.550	0.800	0.700
計算厚	0.500	0.600	0.800	0.600	0.800	0.700
計算厚の1.125倍	0.563	0.675	0.900	0.675	0.900	0.788
計算厚の1.333倍	0.667	0.800	1.066	0.800	1.333	0.933

部が輪石厚のミドルサードを外れる結果となった. また, 受働土圧時には 6 橋ともに抵抗線が輪石厚のミドルサードを大きく外れた. 式(1)で求めた輪石厚の 1/8, 1/3 を加算した輪石厚では主働土圧時に改善傾向が見られたが, 受働土圧時は輪石厚のミドルサードを外れている. 図 2 に 6 橋の石造アーチ橋の主働土圧時抵抗線(赤線)を示している. 全橋で抵抗線が外弧に近接するか逸脱した. 実橋の輪石厚がトラウトワインの公式から得られた輪石厚より小さい石造アーチ橋では, 抵抗線が外弧に接していることがわかる.

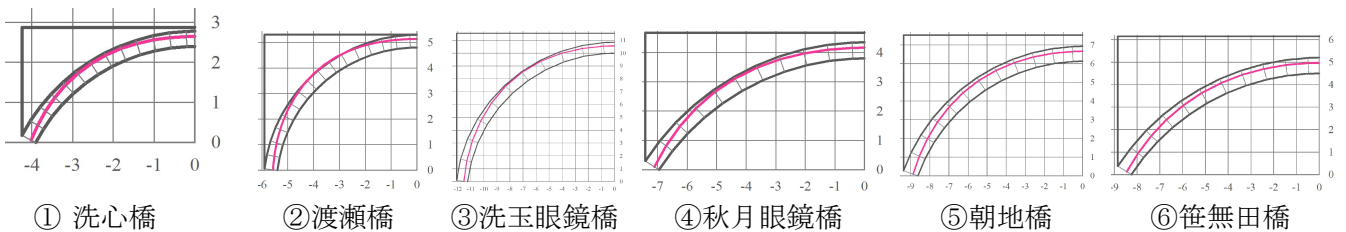


図 2 6 橋の輪石厚と抵抗線

4. 結論

表 1 に示す九州内 6 橋の石造アーチ橋の輪石厚とトラウトワインの公式から求めた輪石厚の関係・輪石厚と抵抗線の関係から, 以下の様な傾向が分かった.

- ① 主働土圧下の抵抗線は 6 橋ともに輪石厚内にあるが, ミドルサードを外れている.
- ② 式(1)で求めた輪石厚にその 1/8~1/3 を加算すると, 抵抗線はミドルサードに近接する.
- ③ 輪石厚を増大するか, 等分布荷重を増加させると抵抗線はミドルサードに近づく.

トラウトワインの公式で求めた輪石厚は, 概ね実橋輪石厚と同程度 (表 2)であり, 抵抗線が輪石内にあれば安定性を許容できると仮定すれば, 本公式を用いた輪石厚の検討および安定性評価に有用と考えられる.

『参考文献』

- 1) 松永 工・飯田耕一郎: 工業叢書 土木実用アーチ設計法, 東京博文館蔵版, 1907 年.
- 2) 草野健一郎・水田洋司・二宮公紀・今泉暁音: 現代語訳 石造アーチ設計法, 九州大学出版会, 2021 年.