

架設時に静止土圧を考慮した石造アーチ橋の軸力線

国土工営コンサルタンツ(株) 正員○筒井光男 九州産業大学 フェロー 水田洋司
福岡大学 正員 坂田 力 大林道路(株) 樋口竜也

1. 序論

筆者らは文献 1)で石造アーチ橋のアーチクラウンに載せる重しを一般化して架設時の安定照査式を提案した。本論文では、秋月眼鏡橋を例に取り、先に提案²⁾した石造アーチ橋の軸力線を円弧にする鉛直荷重(壁石)は石造アーチ橋を安定にすることを確認した。また、その鉛直荷重と静止土圧を作用させた場合の軸力線の作用位置を調べ、文献 3)に記されている石造アーチ橋の架設手順についても検討した。

2. 軸力線を円弧にする鉛直荷重

石橋がアーチ形状の場合、崩壊しないためにはアーチ断面に曲げモーメントが発生しないようにすればよい。この状態は、アーチの軸力線が断面の図心軸を通る円弧とすることによって作り出せる。図 1 に示すように 2 ヒンジアーチの任意の点の曲げモーメント M_i は次式で表される。

$$M_i = \frac{pl}{2}x - \frac{p}{2}x^2 - Hy$$

$$= M_b - Hy \quad (1)$$

$$M_b = \frac{pl}{2}x - \frac{p}{2}x^2 \quad (2)$$

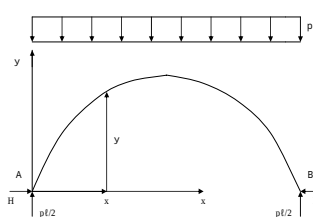


図 1 振り子付き浮き屋根

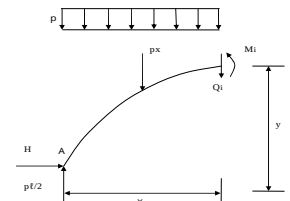


図 2 振り子付き浮き屋根

ここで、 M_b は等分布荷重が作用する場合の曲げモーメント、 H は水平反力、 y は着目点までの高さである。 M_i を 0 とすると、 $y=M_b/H$ が軸力線となる。いま、 M_b が Hy となるような分布荷重であれば、曲げモーメントは発生しない。また、モーメントを 2 階微分することで荷重が求まるので、 $M_b=Hy$ を 2 階微分すればよく、(3) 式が求まる。いま、 $y=M_b/H$ の水平反力 H は一定なので軸力線 y を円弧とするためには式(2)の M_b が円弧であればよい。分布荷重を 2 階微分すると曲げモーメントになるので、円を 2 階微分すると軸力線が円弧となる荷重が求まる。いま、アーチの形状を $x^2+y^2=r^2$ とし、 $x=\sin \theta$ とおくと、 $y = \sqrt{r^2 - x^2} = r \cos \theta$ となる。したがって、軸力線が円弧となる式は(4)式で表される。

$$p(x) = -\frac{d^2 M_b}{dx^2} = -H \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3)$$

$$p(x) = -H \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{H}{r \cos^3 \theta} \quad (4)$$

3. 秋月眼鏡橋の鉛直荷重と軸力線

2. で述べた軸力線を円弧にする荷重を秋月眼鏡橋に適用し、軸力線を円弧にする鉛直荷重と軸力線のグラフ(図 3)を作成した。この荷重を図 4 のように左右対称に 53 等分し、真ん中を要石とした。図 4 の荷重の縦

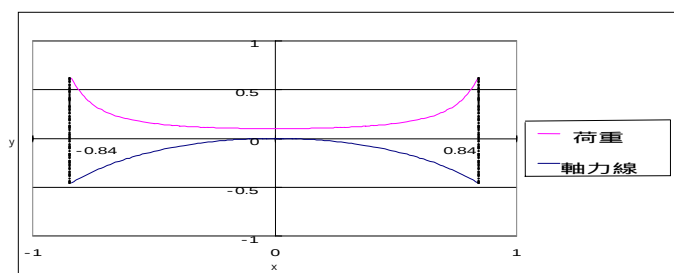


図 3 秋月眼鏡橋の鉛直荷重と軸力線

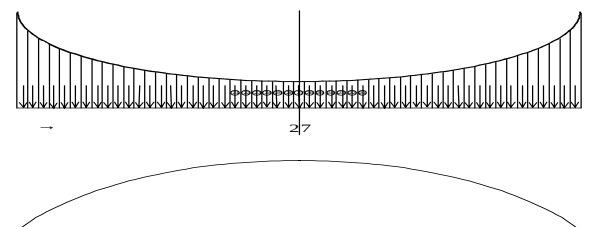


図 4 秋月眼鏡橋の分割鉛直荷重

キーワード：石橋、輪石、壁石、軸力線、鉛直荷重、静止土圧

連絡先：〒813-8503 福岡市東区松香台 2 丁目 3 番 1 号 九州産業大学工学部 092-673-5671

の長さはアーチクラウンを基準として $1/\cos^3 \theta$ で求めている。また、壁石荷重の比重は砂利と砂の比重を平均し、 1.655 tf/m^3 とした。表 1 に図 4 の 1～27 の鉛直荷重を記している。秋月眼鏡橋の輪石の高さは 0.519 m である。眼鏡橋が崩壊しないためには、軸力が輪石断面のミドルサード内に作用する必要がある、その作用位置は輪石の図心から $-0.086 \text{ m} \sim 0.086 \text{ m}$ である。

4. 鉛直荷重

文献 3) の架設方法を検証するために、まず輪石を積み、次に 3. で求めた壁石荷重の高さの $1/3$ 、 $1/2$ 、 $2/3$ 、全壁石と積み上げて行き、軸力の返信距離を求めた。なお、輪石 1 つの重さは 7.488 kN とした。壁石の鉛直荷重のみを作用させた場合、偏心距離はミドルサードに収まり、安定しているのがわかる(図 5～8)。

表 1 鉛直荷重

番号	荷重(kN)
1	32.22
2	28.94
3	26.21
4	23.91
5	21.96
6	20.30
7	18.87
8	17.63
9	16.56
10	15.63
11	14.81
12	14.09
13	13.47
14	12.91
15	12.43
16	12.01
17	11.64
18	11.31
19	11.04
20	10.80
21	10.60
22	10.43
23	10.30
24	10.20
25	10.12
26	10.08
27	10.30

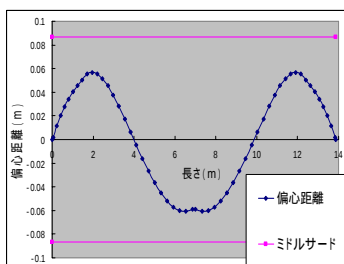


図 5 輪石+壁石 1/3

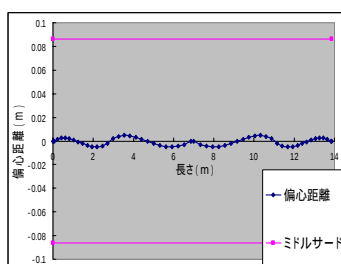


図 6 輪石+壁石 1/2

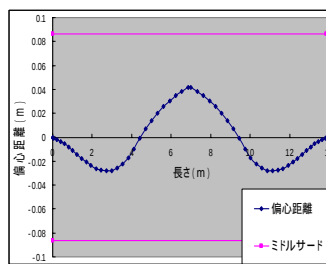


図 7 輪石+壁石 2/3

5. 鉛直荷重と静止土圧

壁石の静止土圧を考慮して鉛直荷重の他に水平荷重も作用させた。水平荷重 (p_h) は、静止土圧係数 $K_0 (=0.5)$ と鉛直荷重 p_v を用い、次式で求めた。

$$p_h = K_0 \cdot p_v \quad (5)$$

壁石の高さが $2/3$ 以上になると、アーチクラウンに重しが必要となる(図 9～11)。重しは輪石 1 個とした。図 12 に示すように壁石を全載した状態では重しの必要はなく、安定となった。これらの結果は文献 3) と良く一致している。図 8、12 から、軸力の偏心は土圧によることが分かる。したがって、土圧を調整することにより、完成時安定性を向上させることは可能である。

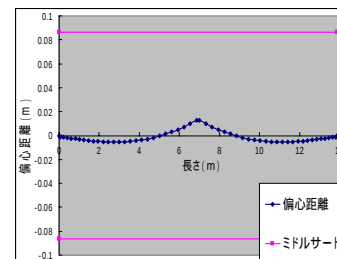


図 8 輪石+全壁石

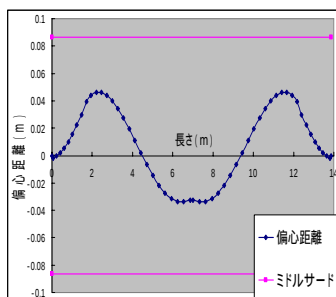


図 9 輪石+壁石 1/3

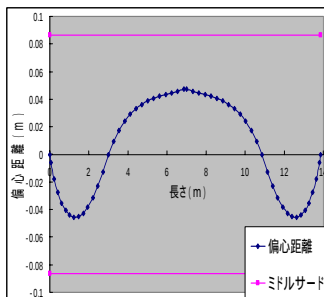


図 10 輪石+壁石 1/2

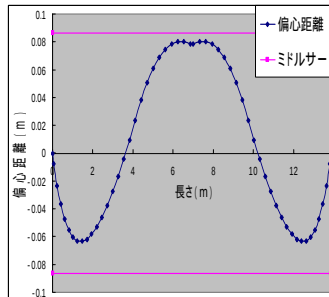


図 11 輪石+壁石 2/3+重し

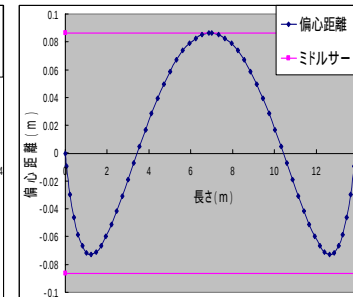


図 12 輪石+全壁石

6. 結論

石造アーチ橋における架設時の軸力線について、得られた知見は以下のとおりである。

鉛直荷重のみを作用させた場合、軸力はミドルサードを出ることはなく、石造アーチ橋は安定である。

鉛直荷重と静止土圧を作用させた場合、壁石 $2/3$ 付近でアーチクラウンに重しが必要となる。

静止土圧を考慮しても全壁石を作用させた場合、石造アーチ橋は安定である。

参考文献

- 1) 筒井光男、水田洋司：石造アーチ橋の架設時安定性と簡易照査法、土木構造材料論文集第 22 号、2006.12.
- 2) 筒井光男、水田洋司：石造アーチ橋の軸力線を円弧にする方法について、土木学会第 61 回講演概要集.
- 3) 岡崎文雄、高山淳吉、薬師寺義則：伝えたいふるさとの石橋、高山総合工業株、p.389、1996.12.