

石造アーチ橋の架設時安定性について

国土工営コンサルタンツ(株) 正員○筒井 光男
九州産業大学 工学部 正員 水田 洋司

1. まえがき

筆者らは石造アーチ橋の力学的安定性について研究を進めており、前報⁽¹⁾では開口部を有する壁面意匠の力学安定性について提案した。本論文では、石造アーチ橋において輪石間が開いた場合の挙動や架設に伴う軸力線の変動を調べ、安定性に考察を加えた。また、架設時軸力線を調整する手段としてアーチクラウンに重しを乗せる方法の効果を確認した。

2. 架設時のアーチの安定性と軸力線位置

石造アーチ橋の安定で一般に周知の事実を記す。

- ①輪石だけのアーチの場合、その輪石厚を一定とすれば、軸力線はカタナリーを逆さにした曲線である。
- ②輪石だけのアーチの場合、自重が水平方向に一定とすると、軸力線は放物線である。頂部と基部が一致しているとなれば、半径方向のカタナリーと放物線の差は2.5%程度と小さい。
- ③石造アーチでは軸力線が部材の外に来ると崩壊する。

次に、石造アーチに荷重が作用し、輪石間が開いて線接触となった場合について考察する。線接触であれば支圧応力は無限大となってしまうために、実際は石がなじんで、最小限必要な面積になるまで拡大して止まるものと考えられる。この場合、回転可能なヒンジと見なせる。次にヒンジとアーチの安定について考察を加える。

- ④ヒンジが出来ると、軸力線はヒンジを通る(図-1)。
- ⑤ヒンジは一つのアーチにつき3個まで安定である。
- ⑥石造アーチで、輪石が開いてヒンジができるということは軸力線は部材縁端のヒンジを通り、かつ接線のように部材端から徐々に離れていくことになる(図-1)。
- ⑦ヒンジ近傍の軸力線は部材端部に近いので、軸力線を外側へ出す方向の僅かな力で新たなヒンジになりやすい。

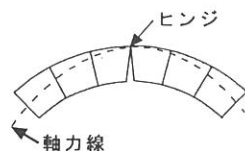


図-1 輪石の開きと軸力線

- ⑧上記④～⑦の理由でヒンジが出来ること自体は不安定ではないが、不安定になり易い状況といえる。この理由から、ヒンジができないよう制御することは石造アーチの安定性を保つ上で必要条件と考えられる。

3. アーチ形状と軸力線

前節で石造アーチの形状を輪石だけのアーチについて考察を加えたが、石造アーチ橋には壁石があるために、適した形状が別途存在すると思われる。そこで輪石を放物線とし、その上に壁石が並べてある(両端で高さ f =ライズ、中央で0)と想定して軸力線形状を概算する。

2 ヒンジアーチの曲げモーメント M は次式で表わされる。

$$M = M_0 - Hy \quad (1)$$

ここで M_0 は単純梁としての曲げモーメント、 H は水平反力、 y は着目点のアーチ支点からの高さである。 M_0 を代入して

$$M = \frac{qL^2}{6} (\alpha - 3\alpha^2 + 4\alpha^3 - 2\alpha^4) - Hy \quad (2)$$

ここで、 α は端部から着目点までの距離を支間で割った値である。

$M=0$ となるためには y は4次式となる。形状を決めるために中央での高さを f とすると、下式となる。

$$y = 8f (\alpha - 3\alpha^2 + 4\alpha^3 - 2\alpha^4) \quad (3)$$

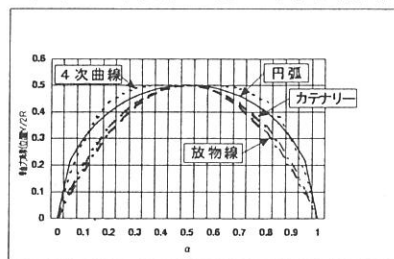


図-2 軸力線

これが壁石を放物線としたときの、軸力線（曲げが生じないアーチ曲線）の式である。図-2にスパンライズ比1/2の4次曲線・放物線・カタナリー及び円弧の形状を示す。いま、アーチの形状を円弧とすると、等分布の場合は軸力線位置がライズの1割以上内側へずれており、また放物線荷重の場合は主に外側へずれている。完成した石橋は輪石と壁石があるから軸力線は両者の中間に位置し、円弧に近い形状となる。

4. 架設時の「重し」と軸力線

完成したアーチが、使用に耐えて自立している場合は十分な安全率を持っているものと考えられる。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。このことは、仮に輪石だけのアーチを考えると、カタナリーと円弧の差は半径の1割程度である。ところが実際の輪石厚は半径の1割もないことが多く、輪石だけでは自立しないことになる。したがって何らかの対策が必要である。たとえば文献3では架設手順が次のように紹介されている。

①支保工設置

②拱矢（ライズ）の1/3高さまで輪石・壁石を積み上げる。

支保工の頂部に「重し」を載せる。

③拱矢の2/3の高さまで積み上げたら「重し」を除去する。

④アーチクラウンに契石（要石）を押入する。

⑤「重し」を再び載せ支保工を取り外す（図-3）。

⑥側壁（壁石）を積み上げ、親柱、高欄を取り付けて完了。

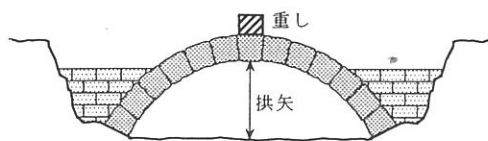


図-3 架設手順⑤の状況

上記⑤の重しの効果を確認するために次の計算を行う。2ヒンジ半円アーチを例にとり、最初に輪石だけのアーチがあると仮定して、これに壁石を外側から積んでいく場合のアーチクラウンでの軸力線偏心量を計算すると図-4となる。ここで、壁石の高さは立ち上がり部で f 、クラウンで 0 とした。また、輪石厚は平均的な $0.08f$ とし、輪石自重はアーチ弧に沿って等分布として作用させている。式は2ヒンジ円弧アーチの公式⁽²⁾を用いる。壁石は外側より中心角 10 度ずつ積み上げ、偏心量は曲モーメントを軸力で割って求めた。

図-4より最初、部材中心より上にあった軸力線が壁石の施工に伴い、一旦下に移動した後、また上に上がることが判る。途中で支保工を外す施工法を採るときは、外す瞬間から完成時まで、軸力線位置を安全な範囲に納めないで崩壊する。実際この軸力線の位置を調整しているのは、重しであると考えられる。つまり、図-4において $\theta=50^\circ$ （ θ はクラウンからの角度）から 30° 付近の偏心を減らすために載せると考えられる。いま、ライズの $2/3$ （ $\theta=50^\circ$ ）付近まで壁石を施工したときにクラウン部に「重し」として輪石（ $\theta=5^\circ$ 分）を載せ、

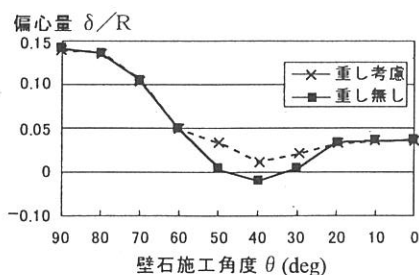


図-4 壁石施工時軸力線偏心量

$\theta=20^\circ$ で取り除くと、図-4の破線となる。このことにより、「重し」は架設時の軸力線の偏心量を減らすことが確認できる。「重し」は分布荷重による曲げモーメント（半径 R の2乗に比例）の一定割合を集中荷重（モーメントは R に比例）で調整するため、大きい橋では大きく、小さい橋では小さいことが判る。

5. まとめ

石造アーチ橋において、輪石間が開いた場合の挙動や架設に伴う軸力線の変動を調べた。結果、半円アーチは輪石のみでは通常自立しないことや、架設時軸力線を調整する手段としてアーチクラウンに重しを乗せる方法の効果を確認した。

参考文献 1) 筒井、水田、他：開口部を有する壁面意匠の力学的安定性について、土木構造・材料論文集第16号、pp.79-84、2000.12。 2) (社)土木学会：構造力学公式集、p.244、平成5、第2版第4刷。 3) 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。