

石造めがね橋のアーチ設計に関する研究

中村幸史郎

非会員 株式会社 九州文化財研究所 (〒861-0954 熊本市中央区神水 1-32-19))

E-mail:nakamura0529@hotmail.com

熊本県は全国一の石造めがね橋建造数(651基)を誇っていたが、今ではめがね橋を破壊した数(298基)と移転復元した数(31基)も全国一である。石造めがね橋の建設に際し、橋の規模やアーチの規模に関しどのような方法で寸法を決めたのかについての記録や伝承は残されていない。ここでは江戸時代後期の17世紀から18世紀にかけての石工や大工等の職人達が、アーチを構成する輪石の数や寸法を算出した方法について考えるもので、和算における弧矢弦の術と規矩術における弧矢規矩術を用いた寸法の算出方法について検討を加えるものである。

1. はじめに

川面に映る2連のアーチがめがねのように見えるところからめがね橋と称されるようになった。石造めがね橋については姿の優美さから多くの人々に親しまれ、熊本県においては国内最大の規模を誇る霊台橋や、用水路として現在も使われている通潤橋には多くの見学者が訪れている。

これらの石造めがね橋の建設に関する記録は、霊台橋に関しては弘化4(1847)年に書かれた「半七日記」、通潤橋に関しては布田保之助の「通潤橋仕法書」が残されている。

「通潤橋仕法書」は橋の規模や水路設計について詳細に記載されているが、アーチを構成する輪石の寸法については3尺の厚さのみが記載されているに過ぎない。輪石の列と寸法についての記載は見られず、石工集団の極秘事項としてめがね橋設計にかかわる根幹についての記録は残していない。

ここではアーチを構成する輪石の数と寸法をどのようにして算出したかを考える。

2. アーチと輪石の形状

石造めがね橋の基本はアーチである。このアーチをどのようにして描き、輪石を刻んだかが最大の課題である。アーチの形状を求めるには円を描き、円に接する直線を水平に引くことでアーチの形が描けるが、水平線的位置によって、半円になったり緩やかな曲線を描いたりする。

この特性をうまく生かして川幅が広い場所では緩やかな曲線、さらに広くなると連続したアーチを構築している。逆に山間部では川幅が狭く谷が深いところでは半円もしくは立ち上がり気味のアーチで作り、地形に即した橋のかけ方を行っている。このため設置場所毎に川幅と路面の高さなどの条件が違いため、アーチの形状や輪石の大きさが異なってくる。

輪石の大きさを決めるには、アーチ部分の輪石の内側と外側で得られた円周(円弧)の長さを輪石の数で割って得た数値が輪石1個の寸法となる。この時内側と外側では円周に

差が生じる、このためアーチ部分の輪石の形状は基本的には外側が広く、内側が狭い逆台形をしている。

3. 円弧の算出方法

幕末から明治時代にかけて西洋文化とともに我が国に伝えられた西洋数学では、アーチの計算は円周率と円弧の半径及び中心角によって求めることができる。

かつて九州大学の太田静六教授の手により熊本県の霊台橋をはじめ九州各地に残る石造めがね橋の実測図が作成されている。これら実測図にはアーチの中心点を描き、左右の橋脚の基礎部分に向かって直線を伸ばしアーチの中心角が求められた痕跡を見ることができる。これはアーチの円周を求めるための作業で、全円に対する比率でアーチ（円弧）の長さを割り出し、輪石の寸法を求められたのであるが、アーチの設計と輪石の寸法の算出はできなかったと述べられている。¹⁾

西洋の数学が伝えられる以前の江戸時代前半、わが国には関孝和に代表される和算の数学者達が独自の数学の発展を遂げている。

和算の中でも円弧に関するものを「弧矢弦術」として詳細な研究がなされており、例題を示しながら解説する書物を残している。寛永16年（1638）今村知商によって書かれた「豎亥録（じゅがいりく）」には円弧の計算式について書いており、解説書として寛文2年（1662）に弟子の安藤有益が「豎亥録仮名抄」を書き、円弧に関して具体例を示して計算方法を解説している。

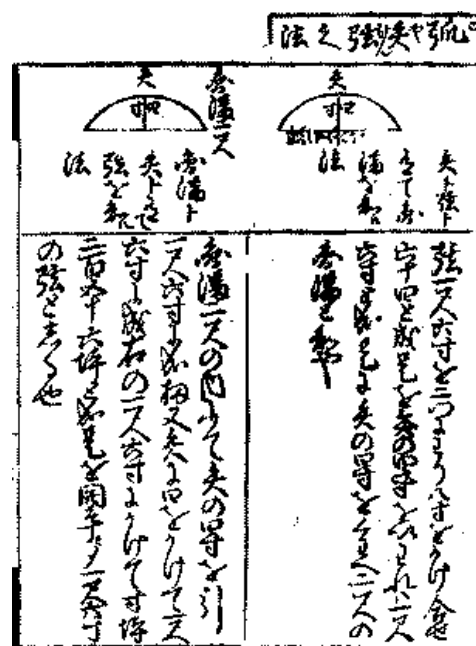
明暦3年（1657）には初板重春によって書かれた「円方四巻記」が出されている。また寛文7年（1667）多賀谷経貞によって「方円秘見集」が出されている。

これらは円弧に関して計算式を明らかにしているが、それぞれにわずかながら違いを見せている。

4. 和算における円弧の計算

弧矢弦術では、円周率を使わずに半円の円周（弧）や幅（弦）、高さ（矢）を求めることができる計算式を明らかにしている。ここでは「円方四巻記 巻二」の一部を紹介し、計算式を明らかにする。

- (1) 半円の高さと幅から円の直径を出す法
(資料1右)



資料1

弦1尺6寸を2つにわり8寸をかけ合わせ64と成 是を矢の4寸を以てわれれば1尺6寸と成 是に矢の4寸をくわえ2尺の円満を知る也

計算すると以下ようになる。

弦=16 矢=4

$$16 \div 2 = 8$$

$$8 \times 8 = 64$$

$$64 \div 4 = 16$$

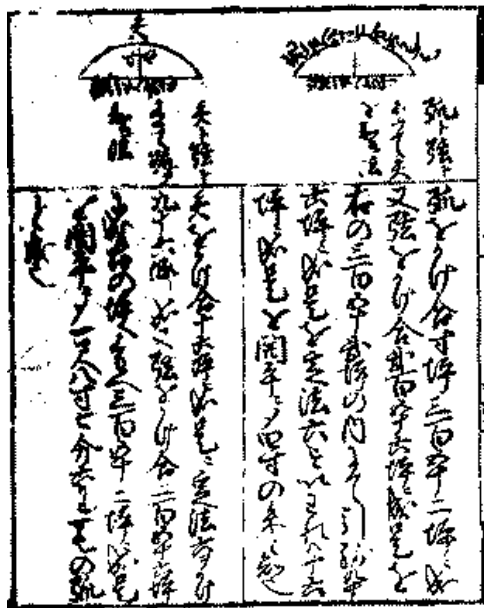
$$16 + 4 = 20$$

円の直径=2 尺

これを数式に直すと次のようになる。

$$\text{円の直径} = ((\text{弦} \div 2)^2 \div \text{矢}) + \text{矢} \cdots \textcircled{1}$$

(2) 半円の高さと幅から円周を出す法
(資料 2 左)



資料 2

矢をかけ合わせ 16 坪に成 是に定法 6 をかけ
96 坪と知る也 弦をかけ合わせ 256 坪に成
右の坪に加え 352 坪に成 是を開平にして 1
尺 8 寸 7 分 6 厘 1 毛の弧を知る成り

(資料 2 左)

計算すると以下のようになる。

$$\text{弦} = 16 \quad \text{矢} = 4$$

$$4 \times 4 = 16$$

$$16 \times 6 = 96$$

$$16 \times 16 = 256$$

$$96 + 256 = 352$$

$$\sqrt{352} = 18.761$$

$$\text{円周 (円弧)} = 1 \text{ 尺 } 8 \text{ 寸 } 7 \text{ 分 } 6 \text{ 厘 } 1 \text{ 毛}$$

是を数式に直すと次のようになる。

$$\text{円弧の長さ} = \sqrt{(\text{矢}^2 \times \text{定法 } 6) + \text{弦}^2} \cdots \textcircled{2}$$

この他にも弦、矢などを求める式もある
が、石造めがね橋のアーチと輪石の設計に関
しては①と②の式で求めることができる。

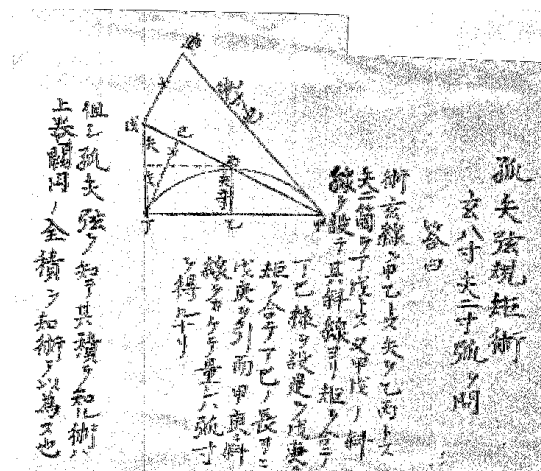
①の式では、川幅と路面の高さを現地の地
理的条件に合わせて決めておけば、アーチの
本来の直径も求めることができ、石積を行う
際の型枠（支保工）の曲線を決めることを容
易に行うことができる。

②の式では、円弧の長さを出すことがで
き、輪石の厚みを上乗せして計算すればアー
チ輪石の外側と内側の円弧の長さが求めら
れ、その長さを輪石の数で割れば輪石 1 個の
寸法が求められる。

5. 規矩術による円弧の算出方法

大工の棟梁が行う計算方法で、曲尺を使っ
て円弧の長さを求める弧矢規矩術がある。

天明 8 年 (1788) 溝口内匠源林卿著の「方
円順度」において弧矢規矩術の図解を行って
いる。(資料 3)



資料 3

弧矢弦規矩術

弦 8 寸、矢 2 寸 弧間図庚甲斜を量て答曰く
術弦線を甲乙とす 矢を乙丙とす 矢 2 個丁
戊とす 又戊甲の斜線を設けてその線より矩
を合わせて丁己の長さ戊庚を引き 庚甲斜線
を懸け是を量れば弧の寸を得る也

但し弧矢弦を知ってその積を知る術欠円の
全積を知る術を以て為すなり（資料 3 右下）

この方法であれば計算をせずに弧長が得ら
れ、輪石の厚さを加えて再度図化すれば、輪
石の内側と外側の円弧が得られ、輪石の数で
割れば輪石 1 個の寸法が得られる。

弧矢規矩術の図に寸法を充てて計算上確認
すると以下のような結果となった。

弦 8 寸、矢 2 寸で弧矢規矩術の図に当ては
めると弧の長さが 9 寸 6 分 3 厘となるが、数
式で求めると次のようになる。

弦線 甲乙（丁）8 寸、 矢 丙乙 2 寸

$$8^2 + (2 \times 2)^2 = 80 \text{ (甲戊線)}$$

$$\triangle戊己丁のうち直線戊丁 = 4^2$$

$$\text{直線己丁} = (3.59)^2$$

$$\text{直線戊己} = (1.764)^2$$

$$4^2 = (3.59)^2 + (1.764)^2$$

$$16 = 12.8881 + 3.1117$$

$$16 \div 15.9998$$

$$\text{直線己丁} = (3.59)^2 \text{ となる。}$$

従って直線戊庚も $(3.59)^2$ となる。

直線（甲戊） $^2 +$ （戊庚） $^2 =$ （庚甲） 2 の式が
成り立つ。

$$\sqrt{80 + 12.8881} = \sqrt{92.8881} \div 9.63$$

9 尺 6 寸 3 分となる。

6. 和算と規矩術の誤差

和算で規矩術の数値を入れ込んで計算する
と以下のような結果が得られた。

弦 8 寸、矢 2 寸における弧の値

$$\text{円弧の長さ} = \sqrt{(\text{矢}^2 \times \text{定法 } 6) + \text{弦}^2}$$

$$\text{弧} = \sqrt{(24 + 64)}$$

$$= \sqrt{88}$$

$$= 9.380831$$

$$\div 9.380$$

弧 = 9 尺 3 寸 8 分となる。

このことから和算と規矩術では和算が短く、
規矩術に数値の伸びが認められる。

7. まとめ

川幅と路面の高さを決めれば、いとも簡単
に円弧の値が得られることが明らかになった
が、ここで得られた数値に準じて石を刻むこ
とは困難である。尺、寸、分までは刻めるが厘
毛の単位は刻むことはできない。そこで端数
を揃えた数値で石を刻み、端数処理した数値
の合計を輪石の中心にある楔石で調整してい
る。輪石の中でも一段と大きく作っている楔
石が見られるのはそのためである。

謝辞：本文掲載の機会などご配慮いただいた
柏原市教育委員会石田成人氏と熊本大学田中
尚人氏には記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 大田静六『九州のかたち眼鏡橋・西洋建築』
西日本新聞社 昭和 54 年
- 2) 拙稿「石造めがね橋の設計に関する研究」『肥
後考古』14 号 2006
- 3) 拙稿「石造めがね橋の設計に関する研究(2)」
『肥後考古』15 号 2007

(2015・4・6 受付)