

石造アーチ橋の耐荷能力の推定

(例) ジャス・コンサルタンツ 正会員 井上 肇 正会員 安原 克巳
上 東 英一 小久保 正勝

1 まえがき

昨年3月から5月にかけて鹿児島県北西部でかなり激しい地震（最大で $M=6.3$ ）があり、その際大正8年架設の石造アーチ橋の1つにかなりの損傷が生じた。この橋は地区住民の生活道路の橋として大きな役割を果たしており、その耐荷能力が大きな問題となり、そのための推定を試みたのでその手法を報告する。

この例のように、石造アーチ橋は近代土木遺産として最近その価値が認められるようになり、また、旧来の幹線道路に存在することが多く、架設当時には考えられてなかったような重交通にさらされている。その維持保全を図るには各種の荷重に対しての耐荷能力を求めておくことが必要である。しかし、多くの石材からなっている石造アーチ橋は不連続体であって、その構造解析の手法はまだ十分には確立されてはいないのが現状である。ことに文化遺産としてみると、その保存のためには地震時や洪水時における石造アーチ橋の挙動を知ることが必要である。

石造アーチ橋の構造解析を困難にしている要因の一つに取り付け道路やアーチ環上部の土砂が橋構造の一部になっており、その影響を考慮しなければならないことである。

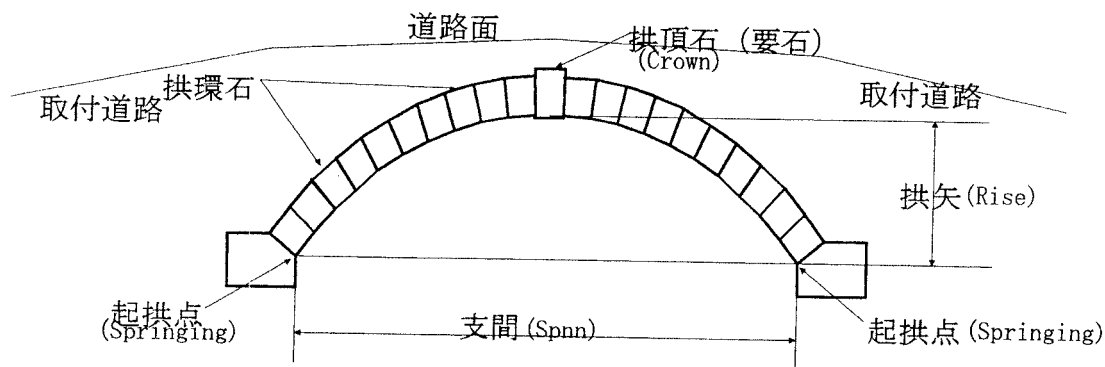


図-1 石造アーチ橋側面図

2 構造解析

解析手法として石造アーチ橋を連続体として扱い、目地の開口を考慮した有限要素法を適用することを試みた。目地の開口の処理は拱環石での応力状態（圧力線がmiddle third内にあるか否か）で要素の断面2次モーメントを減少させるといった大胆な等価仮定を取り入れて対応することとし、載荷による拱環石の変位が収束するまで繰返し計算すると言った手法を用いる。

3 拱環石の目地での応力（図-2参照）

石造アーチ橋の環石の目地はモルタルなどは用いていないので、そこでは引っ張り応力は発生しない。従っ

て、目地での応力の扱いは圧力線がmiddle third内にあるか否かで異なる。

① 圧力線がmiddle third内にあるとき（圧力線の偏心距離 $e = M/N \leq h/6$ ）；断面全体の応力が圧縮応力となるため目地は開口しないため、開口処理は不要。

② 圧力線がmiddle thirdの外にあるとき（ $e > h/6$ ）；目地に引っ張り応力が作用することができないため目地は開口する。このとき圧縮応力の分布幅 a は $a = 3(h/2 - e)$

最大圧縮応力 $\sigma_c = 2N / \{3b(h/2 - e)\}$ 最大ひずみ $\epsilon_c = \sigma_c / E$

ここでの曲げの曲率を ρ^* とし、平面保持の仮定から $\rho^* / dx = a / \epsilon_c / dx = 9(h/2 - e)^2$

$$\rho^* / dx = a / \epsilon_c / dx = 9(h/2 - e)^2 b E / 2N / dx$$

$$\rho^* = 9(h/2 - e)^2 b E / 2N$$

$$1/\rho^* = M/EI^* = Ne/EI^*, \quad I^* = 9(h/2 - e)^2 b e / 2$$

I^* が開口した目地での等価断面2次モーメントである。

ここで、 N 、 M ；目地での軸方向圧縮力、曲げモーメント、 b 、 h 、 E ；拱環石の幅、厚さ、弾性係数

4 アーチ推力及び耐荷能力の評価推定

石造アーチ橋の架設時に、拱環石だけで安定したアーチを構成するためには、拱頂石（要石）の打ち込みによるアーチ推力（プレストレス軸力）の導入がなければならない。この軸力は相当の大きさを持ち石造アーチ橋の耐荷能力にかなりの影響をもつものであるからこれの評価は重要である。荷重を受けているアーチ環石の安定のためにはつぎの3つの条件を満たしていなければならない。

- ① 拱環石のすべての箇所では石材の圧縮強度を超える応力が生じていない。
- ② 環石の目地で開口が起っても安定した開口であること（外力のモーメントと釣り合うべき応力が発生していること）。
- ③ 目地の面に沿った滑りが生じないこと。

即ち、①は $\sigma_c < \sigma_{ult}$ 、 σ_c ；環石での圧縮応力、 σ_{ult} ；石材の圧縮強度

②は $e = M/N < h/2$ 、あるいは $e < h/2 - 2N/3b\sigma_{ult}$

③は $Q < \mu N$ 、 Q ；目地でのせん断力、 μ ；石材の摩擦係数 と表現できる。

検討すべき荷重条件は

a；要石の打ち込みによる拱環石に導入される推力（プレストレス） H ；

b；拱環石の自重

c；拱環石から上の橋面までの土砂などの死荷重

d；活荷重

e；地震の影響（橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向）

であるが、具体的には次の項目について夫々仮定した大きさの荷重について石造アーチ橋が安定であれば、荷重を増加し、崩壊するまでそれを繰り返す。

I；a + b

II；a + b + c

III；a + b + c + d

IV；a + b + c + e などである。

地震力については、石造アーチ橋は剛体に近いと考えられるので、震度法によればよい。ただし、橋軸直角方向については石造アーチ橋を3次元的に取り扱うことを要する。

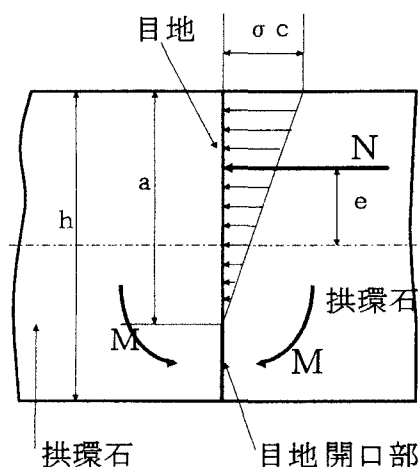


図-2 開口した目地での応力