

石造アーチ橋の洪水による被害について

長崎大学工学部 正員 小西 保 則

1 概 説

石造アーチ橋は紀元前の古くから架けられ、日本で最も古い石造アーチ橋は長崎市中島川に架かる眼鏡橋(1634年)である。これらの石橋は橋梁技術の歴史を知る上での貴重な遺産であり国の重要文化財にも指定されている。他にも長崎市中島川には市指定の重要文化財石橋群桃溪橋、大井手橋、編笠橋、古町橋、一覽橋、早雲橋、東新橋、袋橋などが架かっていて長崎市の名所にもなっている。

昭和57年7月23日の長崎地方の集中豪雨で長崎市内都市部と流れるこの中島川に氾濫した。そしてこれらの石橋群は橋面まで冠水し可成速い流速(3.5%sec~4.0%sec)による動水圧によつて、桃溪橋、眼鏡橋、袋橋はアーチ石は残存したが、アーチスパン部、高欄が流失し、他の橋は1部橋台石を残して全壊した。都市部にある之等の橋梁は交通道路の1部である。災害の際には道路は避難路として、又災害後も救援活動のための通路会向として重要な役割を有している。

一方これらの石造アーチ橋は、洪水時冠水すると21%~54%も河床が狭められることになり、ダム、アップして河川氾濫を助長し、洪水被害を大きくする。場合によっては

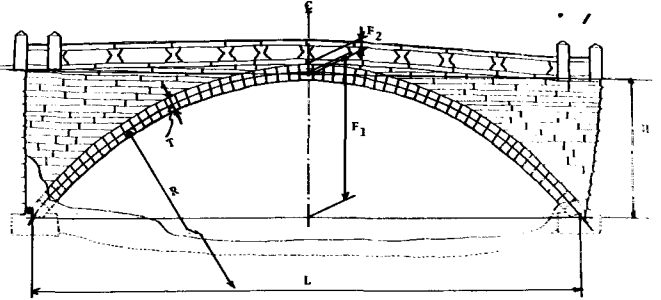


図-1 アーチ橋一般図及び符号図

表-1. 橋りょうの設計寸法

橋 名	眼鏡橋	桃溪橋	大井手橋	編笠橋	古町橋	一覽橋	早雲橋	東新橋
支 距 L (cm)	880	990	1540	1760	1585	1450	1645	1500
矢 高 F1 (cm)	440	380	363	465	455	380	495	500
F2 (cm)	100	40	63	35	50	30	80	60
高 さ H (cm)	396	370	330	470	445	400	470	470
アーチ橋脚 B (cm)	468	350	437	450	430	430	430	430
アーチ石高 T (cm)	60	50.5	66	50	50	60	55	55
内半径 R (cm)	440	512.4	998.2	1065.2	917.7	881.6	930.8	812.5
斜 角 (度)	65.77°	90°	65.90°	82.88°	68.55°	77.01°	90°	90°

多くの財産のみでなく多くの人命をも奪いぬ。従つてこれらの重要文化財を改修又は復元した場合文化財橋の保存性と洪水時の被害を最小限に

い止める治水対策を立案することが大切である。そこでまず、石橋の破壊原因と調査研究するにの流水の動水圧により破壊に至る限界の流速と計算した。

2. モデル化

図-1に示すように固定アーチと考へ、流水による動水圧に対しては両端固定の曲線橋と仮定した。

諸寸法は図-1に示す通りである。又石造アーチ橋の幅はBとする。

3 設計条件

(1) 荷重: 冠水したものととして浮力を考へ、石橋の単位重量 $UW = 0.00163 \frac{kg}{cm^3}$ とする。動水圧: 迎角 0° と考へ揚力は考慮せず、抗力は $PH = CT \times B \dots (1)$ $B = \frac{1}{2} PV^2 = \frac{1}{2} \times 0.102 \times 10^3 kg \cdot \frac{m^2}{s^2} V^2 = 0.0051 \frac{kg \cdot m^2}{cm^2 \cdot s^2} V^2 \dots (2)$ CT は抗力係数で、流水中の物体の幅と高さの比を $\frac{C_{F1}}{C_{F2}}$ $CT = -0.21 \times 10^{-3} C^2 + 1.9583 \times 10^{-2} C + 1.1150 \dots (3)$ 但し $CT \leq 2.0$ とする。

(2) 各橋梁の設計寸法: 各橋梁の設計寸法を示すと表-1の通りである。之等の諸寸法は長崎市教育委員会提供の橋梁一般図(縮尺 $1/100$)より求めた。

4 部材力計算式

静定基本系には固定アーチ、曲線橋梁に中央点で切断し一端固定、中央点自由とし中央点での水平力、モーメント、せん断力、(固定アーチ)、面外曲げモーメント、ねじり、せん断力(曲線橋)を不静定力として応力法により求めた。計算式は省略する。

5 動水圧によるねじり、アーチ面外曲げ、せん断力に対する安定計算

固定アーチとして鉛直荷重Pによりアーチに面内曲げ M_V , アーチ推力 N , セン断力 Q_V が生ずる。

之に対してアーチ橋に対して水流による抗力 P_H が作用した場合、曲線橋としてのアーチ面外曲げ M_H , ねじり T_S , セン断力 Q_H が生ずる。ねじり抵抗を J , ねじりによるセン断応力を τ とすると

$$J = \frac{1}{3} B T^3 \text{ --- (3) } \quad \tau = T_S / J \times T \text{ --- (4) } \quad \text{ここに } T: \text{アーチ石の高さ, } B: \text{アーチ石の幅}$$

である。之に対してはアーチの軸力の推力による摩擦力によって安定している。即ち摩擦係数を0.6と仮定すると目地が回転しないための許容セン断力は τ_a $\tau_a = N / (T \cdot B) \times 0.6 \text{ --- (5)}$

又 Q_V, Q_H に対してはアーチ石間の目地での滑動が起るが、これもアーチ軸力の推力による摩擦力によって安定している。計算の結果 Q_V, Q_H は十分小さくて安定であった。面外曲げに対しては $e = M_H / N$ (6)

より偏心距離が来るが之が $B/6$ より小なる時は目地に引張が生じない。之に対しても計算の結果、十分小さく、安定であった。

表-2. 破壊限界流速及び河床減少率

橋名	眼鏡橋	桃溪橋	袋橋	大井手橋	編笠橋	古町橋	一覽橋	東新橋	東新橋
1.50 m/sec 流した時の計算									
平均流速*	3.2	(3.8)	3.1	(3.6)		4.1	3.3	3.7	
限界流速 V_L	3.6	4.9	4.4	3.3	3.3	4.1	2.9	2.9	2.9
河床減少率 (%)	23	21	38	35	36	54	44	37	36

* 但し () は元施設研究所の測量より計算の平均流速

従つて動水圧によりねじりが

生じ、之によつて目地に回転が

起り支間の $1/4$ 点附近のアーチ

石が回転、脱落、流失して破壊

に至つたものと思われる。又斜角の場合は動水圧は斜に作用すると考えその分は軽減して考え。又式(1)(2)より動水圧は流速の2乗に比例する故、限界流速を V_L と動水圧計算に使用した流速 V_1 とすると V_L は

$$V_L = V_1 \times \sqrt{\tau_a / \tau} \text{ --- (7) } \quad \text{にて計算出来る。限界流速計算結果を表-2に示す。}$$

6 結 論

すでに述べたように石造アーチ橋は、流水による動水圧が水平に作用するものと仮定すると、ねじり、アーチ面外曲げ、およびセン断力が生じ、目地での回転、滑動、圧縮、破壊が起る。この回転に対して、アーチの推力により安定し、滑動に対してアーチ推力の圧縮による摩擦抵抗によつて安定を保つ。動水圧が大きくなると推力及び、推力による摩擦抵抗より回転力、滑動力が大きくなつて回転し、滑動して破壊する。又橋台の洗堀流失によつても破壊する。

中島川のアーチ橋、9橋について調査の結果、破壊機構、流水中の流体の抗力、物体の背後の渦の影響、水中のアーチ推力によるアーチ石間の摩擦係数等、従来の研究の調査、及び実験的研究が必要で数値的には確定不可能であるか流失しなかつた眼鏡橋、桃溪橋、袋橋と流失した大井手橋、編笠橋、古町橋、一覽橋、早瀬橋、東新橋の9橋の破壊の限界流速の計算の結果を示すと表-2のようになった。

各橋梁は、面外曲げ、セン断力に対しては十分安全であり、主としてねじれによる目地の回転により支間の $1/4$ 点附近のアーチ環石が回転、脱落、流失して破壊したものと思われる。

流失しなかつた橋の内、眼鏡橋は破壊の限界流速は比較的小さい。又この橋梁が流失しなかつたのは河床の減少率が23%と小さいことも原因していると思われる。流失した古町橋は破壊限界流速は4.1 m/sec と大きい、これは控石垣が左右兩岸に造られていて、アーチ支間が小さいので大になった。しかしこの橋梁の橋台が河川の中心に寄つていたため右側橋台が洗掘され、又河床の減少率も54%と大きいため流水による動水圧により橋梁全体が流失したものと思われる。又大井手橋、編笠橋の破壊限界流速3.3 m/sec で他の流失した橋梁より僅かに大きい、これらの橋梁は西山川と中島川との合流点に近く3.8 m/sec と流速も早く、橋台が橋梁全体が洗掘され流失したものと思われる。

他の流失橋の破壊限界流速は3.0 m/sec 以下と低い。