

I-204

石造アーチ橋の洪水流に対する安定性と保存に関する実験的研究
長崎大学 工学部 正員 小西保則

1. 概要

昭和57年7月23日の長崎地方の集中豪雨で、浦上川、中島川、八郎川等の各河川の流量が増加し、橋梁の上部構造まで冠水した。長崎市内都市部を流れる中島川には国の重要文化財指定の眼鏡橋（1634年建造）をはじめ、市指定の重要文化財石橋群が架かっていて、長崎市の名所にもなっていた。

先の長崎地方の集中豪雨による中島川の氾濫により、これらの石橋群は橋面まで冠水し、かなり速い流速（3.5～4.0 m/s）による動水圧によって桃溪橋、眼鏡橋、袋橋はアーチ石は残存したが、アーチスパンドル部、高欄が流失し、他の6橋は一部橋台石を残して全壊した。

そこでアーチ石の残存した袋橋について、模型を用いて石造アーチ橋の洪水流への影響と流体力による安定に関する実験的研究を行った結果については、先に発表した。¹⁾

本研究では上述の実験結果に基づき、洪水流に対する安定性と保存に関する実験的研究を行って満足ある結果を得たのでここに発表する。つづいて2スパンの石造アーチ橋である眼鏡橋についても、同様な実験的研究を実施中である。

2. 石造アーチ橋模型による実験

袋橋実橋の1/38.5 模型を幅40 cmの実験水路の中に設け、1/94.14 の水路勾配で洪水流を再現した実験を行った。荷重測定のための天秤装置をFig. 1に示す。又石積アーチの模型図を

Fig. 2に示す。②・・・⑫の11個に分けた各1個のアーチ石ごとに①、②、③、④の揚力測定点、⑤、⑥、⑦、⑧の抗力測定点で、洪水流を流し、アーチ石に作用する流体力の合力の大きさ、作用点を測定した。

そしてアーチ橋の流体力による破壊の限界を推定するために必要な外力としての抗力、揚力（静水圧＋揚力）及び3モーメントを測定値より計算した。石造アーチ橋の場合、揚力＋静水圧、抗力、ピッチングモーメントの影響が大である。

3. 石造アーチ橋の洪水流による安定計算

本実験的研究で測定したアーチ石に作用する抗力、揚力＋静水圧、ピッチングモーメントを用いてFig. 2に示すアーチ橋を立体骨組構造物とし構造解析を行った。その結果の値を表示するとTable 1のようになる。

トルクによるせん断応力を τ_1 、アーチ面内せん断応力を τ_2 、アーチ面外せん断応力を τ_3 とする。その合成応力を $\Sigma\tau$ とする。このせん断応力に対してアーチ推力による摩擦応力 τ_4 によって、安定を保つ。

その計算結果をFig. 3に示す。

本実験の結果は安定であった。

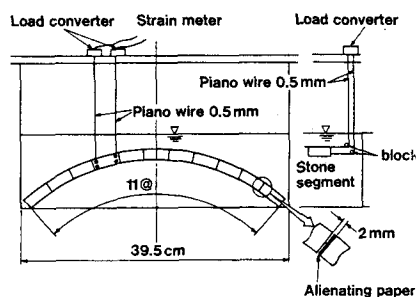


Fig. 1 Illustration of model experimental facilities

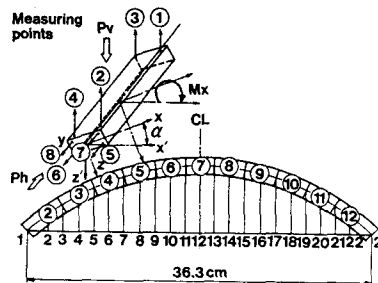


Fig. 2 Fukuro bridge model

Table 1. Three-dimensional stresses and moments on arch bridge

Number of panel point	Axial load Fx (g)	Shearing stress (out-of-plane) Fy (g)	Shearing stress (in-plane) Fz (g)	Torque T (g-cm)	Flexure in-plane My (g-cm)	Flexure out-of-plane Mz (g-cm)
1	-897.3	119.7	4.2	-163.7	-102.7	-218.2
3	-832.8	98.0	40.5	-25.4	-130.3	115.1
5	-778.1	71.9	50.3	74.0	-54.1	366.7
7	-735.2	47.3	37.6	73.2	23.1	564.4
9	-710.2	23.4	27.4	7.9	61.2	686.4
11	-699.3	5.5	23.5	-16.4	76.7	728.4
13	-699.4	-5.5	18.3	-27.0	76.7	728.4

4. 石積アーチ橋模型の破壊実験

破壊実験として、実橋と同じ石の数で実橋の1/38.5の石積アーチ橋の模型を、水路勾配

1/94.14の実験水路の中に設置し、洪水流を再現し、模型の破壊状況をビデオカメラで撮影した。その結果、アーチ橋路面、スパンドレル部はただちに流失したが、アーチ石部分は破壊しなかった。しかしながら長時間水を流しているうちには少しずつ、目地の部分がずれ、又はアーチ石が脱落し、目地の部分のずれが大となって破壊した。その状況をPhoto 1-2に示す。

なお、ここで模型より実橋における流速を推定すると

$$\left(\frac{U_m}{U_p}\right)^2 = \frac{h_m}{h_p} = \frac{1}{S} = \frac{1}{38.5}$$

ここに U_p : 実橋における流速, U_m : 模型実験における流速,

h_m : 模型における水位,

h_p : 実橋における水位,

S : 模型の実橋に対する縮尺。

いま

$U_m = 99.6 \text{ cm/sec}$,

$S = 38.5$ とすると

$U_p = 6.2 \text{ m/sec}$ で実橋

においては非常に速い流速となった。従って袋橋の破壊に至る限界の流速は、ほぼ実橋に換算して 6.2 m/sec くらいである。

5. 石積アーチ橋の洪水流による破壊に対する保存の方法

上述の実験結果から、アーチ石間にエポキシ樹脂接着剤を用いることにより、連続体構造とすることによ

って、アーチ石は破壊しない。又袋橋については単にアーチスパンドレル部石間と路面舗装石間にエポキシ樹脂接着剤を用いることによって、スパンドレル部及び舗装は洪水流によって破壊しなかった。この状態をPhoto 4, 5に示す。但しスパンドレル部、上流、下流両側を補強する必要がある。

本実験から次のような結論が得られた。

- (1) 石積アーチ橋の模型を用いて洪水流を再現し、アーチ石に作用する流体力の合力を測定した結果は、射流のため、又アーチ石下流側に空洞が存在するため、流体力の測定値のバラツキが大きい。
- (2) 上に述べた流体力のために曲線橋としてのトルクによるせん断応力、アーチ橋面内せん断応力、面外せん断応力の合成応力が、アーチ軸力によるアーチ石目地の摩擦抵抗力より大になると、アーチ石間の目地が回転又はずれが起り、安定を保ち得ないで破壊する。本実験的研究によれば、袋橋についてはアーチ石は安定であった。
- (3) 実橋と同じ石数の石積アーチ橋模型による破壊実験において、アーチスパンドレル部分はただちに流失したが、アーチ石は破壊しなかった。が長時間洪水流を流した結果目地がずれ、またアーチ石が脱落して破壊に至った。
- (4) アーチ石の継手部分を、エポキシ樹脂接着剤を用いて補強することにより、石造アーチ橋は洪水流に対して保存することが出来る。袋橋についてはアーチ橋スパンドレル部分及び舗装部分の石間に接着剤を用いるのみで石造アーチ橋全体の保存が可能である。

参考文献；

小西保則："Experimental Study on Effect of Stone Arch Bridge on Flood Flow and its Stability against Flood Pressure" JSCE/Earthquake Eng. Vol. 4., No. 1, pp61-71, 1987.

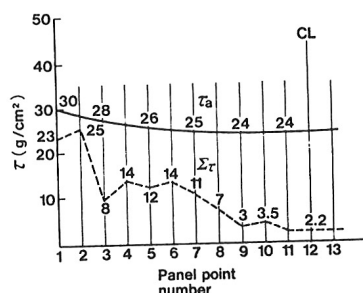


Fig. 3 Results of stability calculation with experimental values

