

水流を受けるアーチ輪石の挙動解明に関する模型実験

熊本大学○学生会員 山代 大貴 熊本大学 堀田 昂良・戸田 善統
熊本大学 フェロー会員 山尾 敏孝 大成建設 正員 霍本 将志

1. はじめに

国内の石橋の90%は九州地方に存在するといわれ、地域の象徴として保存・活用された石橋も多く、土木遺産や文化遺産に指定されているものもある。しかし、石橋が損傷する主な要因は洪水で、その一例として写真1の目磨橋(熊本県)で示す。つまり、石橋が洪水を受ける時の挙動を解明することで、流水による崩壊要因を明らかにすることは重要である。流水を受ける石橋の挙動解明と洪水に強い石橋開発を3ステップに分けて目指した。ステップ1は石アーチ模型による流水実験で、ステップ2は壁石を含む石橋模型の流水実験である。特に洪水流に対する挙動解明が必要で、解析も実施する必要がある。本研究では、流水を受ける石橋の基礎的研究として、石アーチ模型による流水実験を行なった。石アーチ模型を製作し、アーチ輪石のみの鉛直荷重及び橋軸直角方向載荷実験を行なった。石アーチ模型の変位挙動や強度を把握した。次に、石アーチ模型を水路に置き、流水を受けた時の石アーチ模型の挙動を検討した。



(a) 流出前



(b) 流出後
写真1 目磨橋

2. 模型実験の概要

1) 石アーチ模型供試体:

実験に使用した石アーチ模型は2体製作した。2体の石アーチ模型の輪石の列数は、既往の研究結果を参考に13列と15列の2体とした¹⁾。図1は輪石13列(以下アーチ輪石13とよぶ)であり、図2は輪石15列(以下アーチ輪石15とよぶ)であり、いずれの模型もライズ $f=70\text{mm}$ 、スパン $L=350\text{mm}$ 、幅員 150mm とした。模型のアーチ輪石厚はすべて 35mm と同じとし、スパン及びライズは水路実験の水路幅を考慮して決定した。なお、石アーチ模型の重量は、アーチ輪石13が 5kg でアーチ輪石15は 4.8kg であった。

2) 石アーチ模型の鉛直及び橋軸直角方向載荷実験:

石アーチ模型に鉛直方向へ集中荷重載荷を行い、模型の変位挙動を調べ、石アーチ模型自身の強度を把握する。模型のアーチクラウン部にアルミ板を通して集中荷重載荷した。鉛直変位は、 $L/4$ 点、 $L/2$ 点および $3L/4$ 点付近(アーチ輪石13においては、3, 7, 11であり、アーチ輪石15においては、4, 8, 12)に変位計により測定した。次に、石アーチ模型が橋軸直角方向から力を受ける時の挙動を模型側面全体とアーチクラウン部の輪石3か所に作用させる3点載荷で調べ、水流作用時の比較に用いた。写真2は橋軸直角方向載荷実験でバネばかりによる3点載荷の様子である。

3) 水路上での模型実験:

実験水路は図3に示す断面で幅 400mm 、高さ 200mm 、全長が 7m 、水路勾配は $1/150$ とした。水路内の水はポンプで上の水槽に貯め、調節口にて流量を調整して用いた。写真3は水路の写真と石アーチ模型である。石アーチ模型に水流を作用させる実験では、相似則を考慮して上流と射流を求めて流し、水路の流量や流速および輪石に作用する水圧を計測した。求めた水位、流量、流速及び水圧の関係を3パターンに分けて、表1と表2に示した^{2), 3)}。パターン3は本水路で流せる最大の水位、流量、流速及び圧力である。

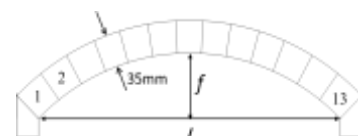


図1 アーチ輪石13の側面図(上)と平面図(下)

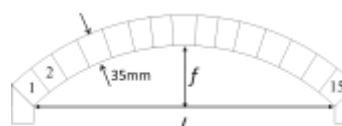


図2 アーチ輪石15模型



写真2 橋軸直角方向の3点載荷実験の様子

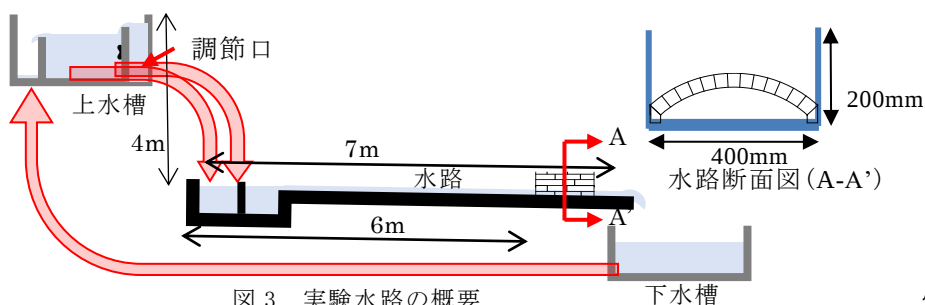


図3 実験水路の概要



写真3 実験水路と石アーチ輪石模型

3. 模型実験の結果と考察

1) 石アーチ模型の鉛直載荷実験：

図4と図5は、アーチクラウン部への集中載荷時のアーチ輪石13とアーチ輪石15の模型のアーチクラウン部の鉛直変位である。両模型とも、ほぼ同じような変位挙動をしていることがわかる。これにより、鉛直荷重においては、輪石が2列ほど増えても挙動に違いはなく、荷重が200N程度でも同じ鉛直変位(2mm)であった。

2) 石アーチ模型の橋軸直角方向実験：

実験では、3点のみに接触するように板を取り付けて載荷した結果、両模型とも30Nで崩壊した。また、輪石全体に横荷重を作用させた場合、両模型とも45N程で全体が移動した。基部が動くことは実際には考えられないが、この水路内の石アーチ模型は最大45Nの水圧が作用することで崩壊もしくは移動すると考えられる。作用力を輪石側面の載荷面積で除すと $30\text{ (N/cm}^2\text{)}$ となった。表2より最大圧力は $4.4\text{ (N/cm}^2\text{)}$ であるが、これは本実験で得た $30\text{ (N/cm}^2\text{)}$ より小さい圧力しか作用しておらず、現段階の発生する水流では模型の崩壊までには至らないことがわかった。

3) 水路上での模型実験：

水流パターン1は常流状態で見た目の流れは緩やかである(写真3)。アーチ基部は動くことなく静止していた。これは、普段の状態の河川を想定している。パターン2では射流に属し、見た目の流れも相当速いことが確認できた(写真4)。実際に流速もパターン1の時と比べて約2倍速くなり、水位も約2倍となった。パターン1では、ほぼアーチ基部のみに水流が当たっていたが、パターン2ではアーチ輪石部分にも水流が当たっていた。しかし、パターン1の時と同じように特に変化は見られなかった。また、パターン3においてもパターン2の時とほぼ同じような結果であった(写真5)。写真6は、パターン3における水流を受ける石アーチ模型を正面から見た写真である。模型の大きさと比較しても発生流量が少ないことがわかる。これは、実験できる水路幅に対し発生できる流量を十分確認しないまま模型を製作したことに起因するものである。想定する実石橋の重量は20tonであることから、相似則によれば模型の重量は2.5kgとなるのに対し、本実験での石アーチ模型は5kgの重量となった。約2倍の重量があるので、実験に使用した石アーチ模型の単位重量は $1.9\text{ (g/cm}^3\text{)}$ であることから、約半分の単位重量を持つ材料でアーチ輪石の模型を製作して、実験を行う必要があることがわかった。現在、アーチ輪石模型の材料選択し、洪水時の流量に相当する水位を確保すべく、石アーチ模型の供試体を製作し、水路幅も半分にして実験を試みている。詳細については発表当日に示す予定である。

参考文献

- 1) 林野将大：壁石を含むアーチ輪石の模型実験による挙動解明の検討，平成26年度卒業論文，2015。
- 2) 竹原幸生：水理学，pp163-169，2012
- 3) 国土交通省 水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp/>

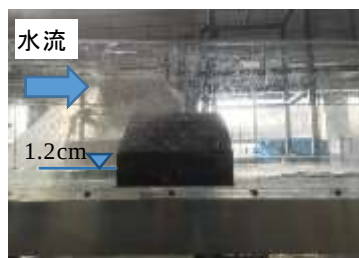


写真3 パターン1



写真4 パターン2

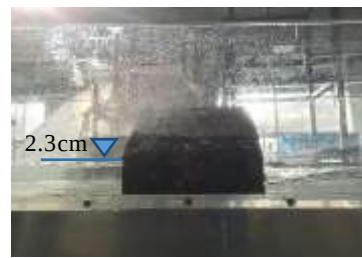


写真5 パターン3

表1 3 パターンの水位，流速，流量

	パターン1	パターン2	パターン3
水位	1.2cm	2cm	2.3cm
模型流速 V_m	34.28cm/s	60.88cm/s	67.52cm/s
模型流量 Q_m	1645cm ³ /s	4870cm ³ /s	6211cm ³ /s

表2 3 パターンの水位と水圧

	パターン1	パターン2	パターン3
水位	1.2cm	2cm	2.3cm
圧力	1.2 N/c m ²	3.3N/c m ²	4.4 N/c m ²

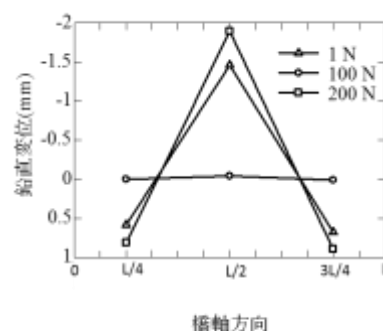


図4 アーチ輪石13の鉛直変位

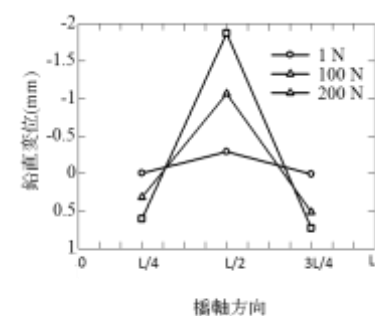


図5 アーチ輪石15の鉛直変位

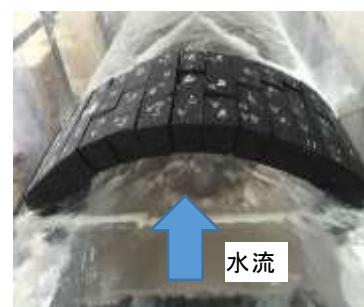


写真6 パターン3の正面方向図