

## アーチ型石橋の構造分析と新たな橋の設置構想

指導教員 金沢工業大学 工学部 教授 鈴木亮一（ロボティクス学科）・准教授 藤本雅則（機械工学科）・講師 花岡大伸（環境土木工学科）・講師 佐野渉二（情報工学科）  
 参加学生 小嶋祐太（ロボティクス学科）・中崎裕貴弥（機械工学科）・廣澤拳（ロボティクス学科）・秋山祐也（環境土木工学科）・依田真明（情報工学専攻）・宮入瞭太（情報工学専攻）

### 1. 活動の成果要約

日本遺産に認定された小松市は、時代のニーズに応じた、人・モノ・技術が交流する豊かな石文化を築き上げてきた。本活動では、滝ヶ原町に現存するアーチ型石橋を科学的に分析してその特徴を明らかにし、石文化の新たな価値の創造に挑戦するものである。本年度は、モデルの試作と構造解析、石の強度解析や熱伝導率の測定、石文化の情報発信方法の提案を行い石橋の修繕や将来石橋を建設する際に必要な基礎データを得ることができた。

### 2. 活動の目的

本研究の活動目的としては次の3つがあげられる。

- ①小松市滝ヶ原町のアーチ型石橋の構造分析や科学的分析を行い、その特徴を明らかにすること。
- ②小松市の石文化の新たな価値を認識するとともに、日本遺産を次代に向けて発展させる方策を追究すること。
- ③小松市の策定する10年プラン「こまつ珠玉の石文化」に掲げる3つのミッションの実現に貢献すること。

これらの目的を達成するため、機械工学科、ロボティクス学科、環境土木工学科、情報工学科の学生と教員が学科と分野の枠を超えてチームを編成し、課題解決を図る活動を行った。

### 3. 活動の内容

本年度の活動内容は次のとおりである。

- ①小松市滝ヶ原町のアーチ型石橋群の調査を行い、構造解析や三次元モデル化する石橋を選定する。
- ②選定した石橋の簡易な測量を行い、三次元プリンタなどを活用してミニチュアモデルを製作する。
- ③滝ヶ原の石の組成分析（強度や熱伝導率など）を行い、石の特徴を明らかにする。
- ④インターネットやソーシャルネットワークを活用したアーチ型石橋群及び石文化を効果的に情報発信するためのシステムを構築する。
- ⑤石橋の修繕や新たな石橋を建設する際に必要な基礎データを蓄積する。



図1：アーチ型石橋群の調査及び滝ヶ原町の住民との意見交換の様子

#### 4. 活動の成果

本年度の主たる活動成果を以下に示す。

##### 【アーチ型石橋の三次元モデルの試作と構造解析】

石橋群の中の東口橋を参考に、三次元プリンタを使用してモデルを試作した。図2の左にその概観を示す。強固な土台を造り、橋の両側から支えることで、アーチの中央に大きな荷重がかかっても壊れないことがわかる。また、橋の現状を後世に伝承することを考え、デジタルカメラで撮影した画像から仮想空間上に三次元モデル（デジタルデータ）が構築できることを確かめた様子を図2の右に示す。今後、実際の石材を用いたミニチュアモデルの製作や実際の現存する石橋の三次元モデル（デジタルデータ）の制作を進める。

また、図3に石橋の構造解析をした結果の一例を示す。土台と両側の基礎をしっかりと造り、要石を中央に配置することで、強固な石橋となることを構造解析により確認することができた。

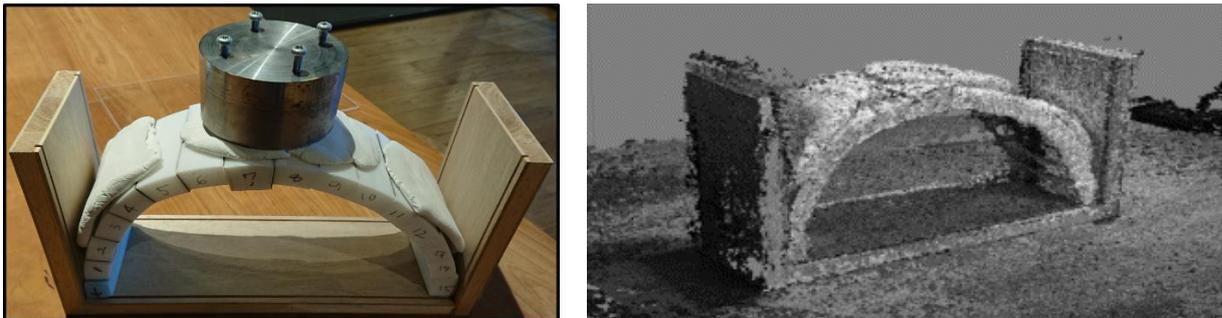


図2：試作した石橋のモデルと仮想空間上へ投影した三次元モデル（デジタルデータ）

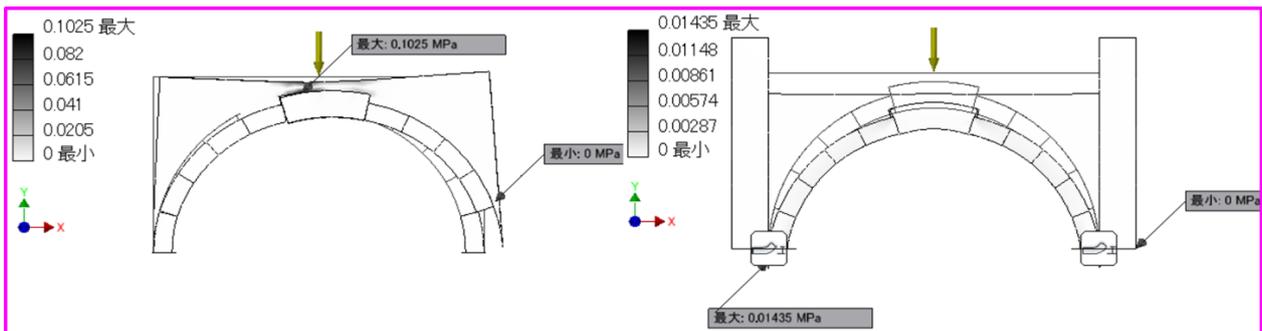


図3：石橋の構造解析結果（右のように土台が強固になると安定することがわかる）

##### 【滝ヶ原石の物性の評価】

滝ヶ原石の特徴を明確にするため、強度や熱伝導率などを測定した。実験に用いた石材サンプルは、本山石切り場でランダムに採取した石材ブロックをコンクリートカッターで切断したものを用了。供試体の大きさは5×5×10cmと10×10×20cmの二つを用了。供試体を温度110℃の環境で72時間以上炉乾燥させた後、見掛密度を求めた。また、見掛密度試験で用いた供試体を、水温20℃の水槽内で浸水させ、48時間経過した後に水槽から取り出し、表面の水分を拭き取り、吸水重量を測定した。吸水率試験後、直ちに圧縮強度試験を行った。圧縮強度を示す実験結果を図4に、圧縮強度と見掛密度の関係を図5に、圧縮強度と吸水率の関係を図6に示す。図4に示されるとおり、圧縮強度の平均値は26.04(N/mm<sup>2</sup>)であることがわかる。また、これとは別に50年以上屋外に設置された石の圧縮強度を計測した平均値は10.20(N/mm<sup>2</sup>)であった。経年劣化により、圧縮強度が低くなることが確認された。

次に、熱伝導率を測定するためのシステムを新たに構築し、滝ヶ原石の熱伝導率を計測した。定常法の一つである平板比較法を用いて測定及び評価を行った結果、滝ヶ原石の熱伝導率は1.3±5%W/(m・K)であることがわかった。図7に、製作した計測システム及び熱伝導率と密度の関係を他の石材と比較して示す。

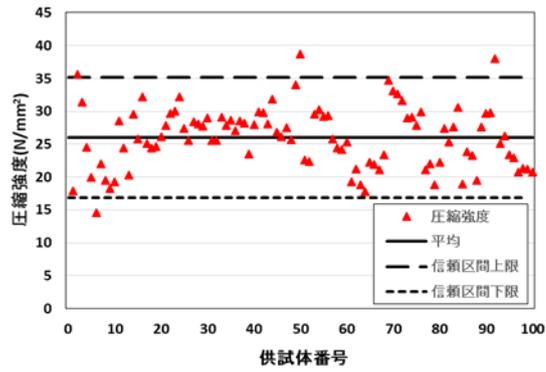


図 4：実験評価に使用した供試体と圧縮強度の実験結果

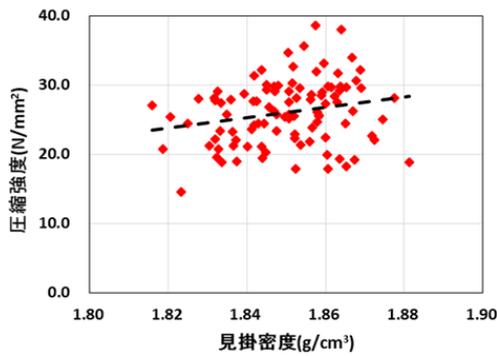


図 5：圧縮強度と見掛密度の関係

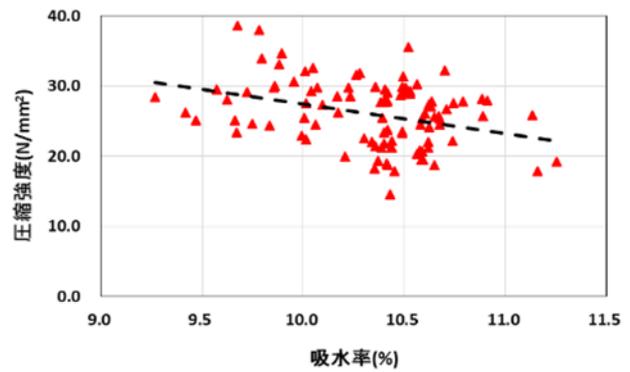


図 6：圧縮強度と吸水率の関係

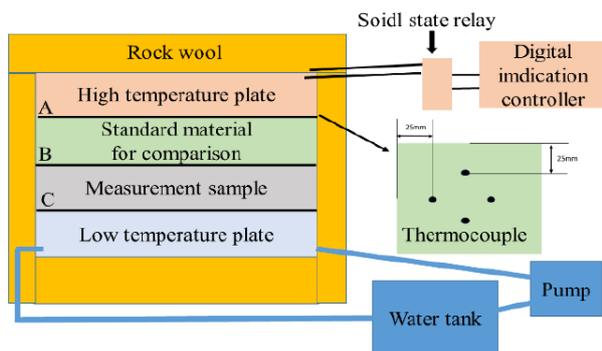
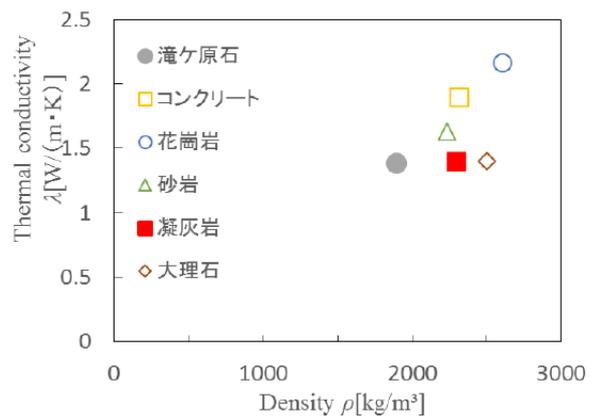


図 7：熱伝導率計測システムと熱伝導率と密度の関係（灰色の丸印が滝ヶ原石）



【日本遺産としての石文化の情報発信】

小松市の石文化を広く情報発信するために、小松市では「こまつストーンナビ」という情報発信アプリを提供している。その効果を更に高めるため、小松市の石文化に関する場所を訪れた人々が、有益な情報やより深い情報を知ることができ、かつその価値を共有できるSNSの提供方法について提案した（図 8 の右がそのイメージである）。



図8：小松市が提供する「こまつストーンナビ」と提案するエリア限定型のSNSの提供方法

## 5. 次年度の計画

次年度の検討課題として次の事項をあげる。これらの活動を通して、新たな橋の設置構想の提案やアーチ型石橋の価値の深化と新たな価値の創造に向けて、地域住民の方々と一緒に取り組んで行く。

- ①アーチ型石橋のより詳細な構造解析と石材によるミニチュアモデルを製作すること。更には、石の組成分析を引き続き行い、滝ヶ原の石の特徴となるデータを蓄積すること。
- ②滝ヶ原町に現存する石橋の画像撮影や三次元データの計測を行い、仮想空間上に投影する三次元モデルを構築すること。
- ③情報技術（VR や AR など）を活用した石工職人の技術の保存と継承方法を検討すること。そして、石橋の修繕や新たな石橋を建設する際に必要となるデータベースを構築すること。
- ④石文化や石橋を中心とした地域活性化のための施策について検討すること。

## 6. 活動に対する地域からの評価

地域の方々との意見交換や報告会などにおいて、次のような評価を得ている。

- ①滝ヶ原の石材の強度や組成分析をしていただくことは大変ありがたい。今後、これらの実験結果を参考にしながら、新たな石材の活用方法について検討するためのデータとして役立てたい。
- ②石橋の構造解析の結果は修繕や新たな橋を建設する際の基礎データになると思われる。石橋が壊れそうな状況にあるのか、石橋のどの部分を補強しなければならないのか、判断できるような解析結果を継続して蓄積してほしい。
- ③可能であれば測量により三次元データを保存し、地元の方々が要望する石橋を仮想空間上に保存してほしい。

以上の評価コメントをもとに次年度の活動を進め、新たな橋の設置構想に結び付けたい。