

歴史的築石構造物の現況調査と変形挙動の再現解析に関する研究

長崎大学工学部 学生会員 ○松元香奈子
長崎大学大学院 正会員 大嶺 聖

長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静
長崎大学大学院 正会員 杉本 知史

1. はじめに

石橋アーチ橋は紀元前から建設されており、橋梁の中では長い歴史を有する。わが国に存在している築石構造の歴史もとても古く、その多くは九州に存在している。築石構造物は現在も道路や水路として、文化財、また地域の観光資源としても重要な機能を果たしている。現在でも補修や保全といった維持管理が行われているが、石橋・石垣に関しては工学的観点からの力学的安全性の評価が困難なため、経験的手法により補修が行われている。そのため現在の形態や機能を正確に後世に伝えていくために、石垣・石橋の維持管理の手法を確立させる必要がある。

本研究は、佐世保市内に現存する石橋の分布を自治体等の資料¹⁾²⁾により把握し、昨年度の長崎市内所在の石橋現況調査³⁾に準じた佐世保市内所在の石橋の現況調査を実施すると共に、個別要素法に基づく計算プログラムにより、石材表面の剛性や石材の一部欠損、基礎部の沈下や側方流動が生じた場合の変形の特徴を明らかにすることを目的とする。

2. 調査の概要と変状傾向

佐世保市の石橋に関して現況調査を行った。佐世保市の石橋アーチ橋は、吉井町、世知原町に集中している。調査対象は図-1に示した位置である。吉井町で18つ、世知原町で10つ、計28つの石橋を調査した。昨年度に長崎市の石橋調査が行われたが、その結果と比べると、大きな損傷はあまり見られなかった。輪石間の開き、輪石のずれ、基礎部の浮きが多くみられた。また一部の石橋では輪石の亀裂も確認された。調査結果を表-1示す。

3. 数値解析の概要

個別要素法に基づくプログラムを「UDEC」用いて、図-2のようなモデルを作成し、実際に見られる石橋の損傷を再現して2次元解析を行った。本解析では石橋の安定性の要であるアーチ部分のみに着目したモデルを用いることとした。また、佐世保市の石橋調査の結果を基に、多く見られた変状である輪石間の開きを再



図-1 調査対象の位置

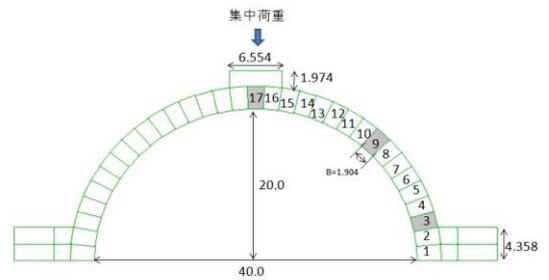


図-2 解析モデル (単位 : m)

表-1 石橋調査結果における主な変状例

	
左岸下流側輪石に約 2cm のずれ	輪石間に約 4cm の開き
	
輪石に約 15cm 亀裂	左岸基礎部に約 15cm の浮き

現を再現した。本解析では石橋の安定性の要であるアーチ部分のみに着目したモデルを用いることとした。また、佐世保市の石橋調査の結果を基に、多く見られた変状である輪石間の開きを再

現し解析を行った。開きを再現する方法としては、図-3 のようにアーチブロックのジョイント部分から角度 $0\sim 1^\circ$ まで 0.05° ずつ、計 20 本の境界面を追加し、それによりできた小さなブロック 1 つずつ消去する、というものである。開きを挿入する場所は、8 番目と 9 番目のブロックの間とした。ここで、8 番目のブロック block8 とは右側の基礎部分の輪石を 1 番として、そこから反時計回りに数えて 8 番目のブロックのことである。この部分を選択した理由は、水平線より仰角 45° にあたる部分であり、現況調査で多く変状が確認されたことによる。本解析では表-2 に示した物性値を入力した。開きを挿入する前に集中荷重を作用させ、その後は橋の自重のみで解析を行った。また、小ブロックを 1 つずつ消去していく過程で残りの小ブロックの動きが解析に影響しないよう、その範囲のみに境界条件として、粘着力を $1.0\times 10^{10}\text{MPa/m}$ 、引張強度を $1.0\times 10^{10}\text{MPa/m}$ を設定した。アーチの肩部にあたる block9、基礎部にあたる block3 の水平変位、鉛直下向き変位、垂直応力、せん断応力を記録した。変位に関しては要石にあたる block17 も記録した。

4. 解析結果と考察

図-4 は横軸がブロックの厚さ B に対する開き幅 t の割合、縦軸がブロックの厚さ B に対する水平・鉛直下向き方向の変位の割合である。要石と肩部では開きが大きくなるにつれて変位も大きくなり、その推移は一樣な傾向を示すことが分かった。なお基礎部はほとんど変位が見られなかった。図-5 は横軸が開き幅、縦軸が垂直・せん断応力である。垂直応力に関して肩部・基礎部共に、開き幅約 10cm までは応力が低下し、その後緩やかに増加する傾向が見られた。理由としては、開きを設けることで力のつり合いが不安定となり、開きのないアーチ左側に力が多く伝わったためと考えられる。境界面へ作用する直応力の現象は輪石のかみ合いを緩くし橋の不安定化につながるものと考えられる。

5. おわりに

本研究ではアーチ部分のみに着目した再現解析によって、計算を簡略化し、損傷による石橋の変状と力の伝わり方を定量的に把握することが出来た。しかし石材の挙動がそれぞれ異なり複雑なため、今後はアーチ全体に関する検討やブロックの境界面での応力分布を調べていく必要がある。

6. 参考文献

- 1) 佐世保市：世知原・吉井地区 アーチ石橋の調査について（案），pp2-4，2016
- 2) 末永暢雄：佐々川流域の石橋群ガイドブック，pp3，pp9-16，2012
- 3) 平山朋樹：石造アーチ橋の現況調査と変状特性の基礎的検討：pp79-80，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2015

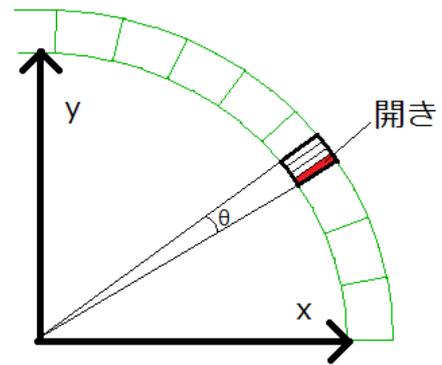


図-3 開きを再現したモデル

表-2 入力物性値

密度 ρ (kg/m ³)	2000
せん断抵抗角 φ (°)	35
作用させた集中荷重 (N)	1.0×10^4
境界面の垂直剛性 (MPa/m)	1.0×10^9
境界面のせん断剛性 (MPa/m)	1.0×10^9

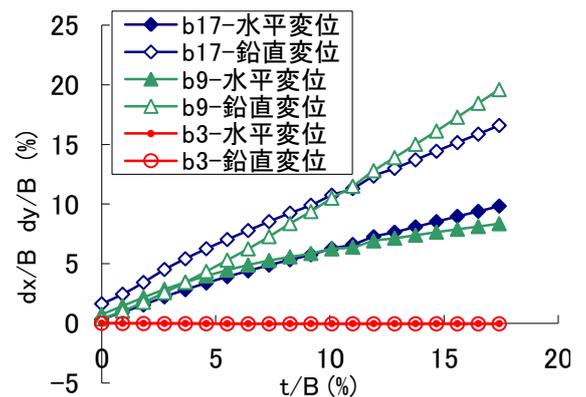


図-4 開き幅と各ブロックの変位の関係

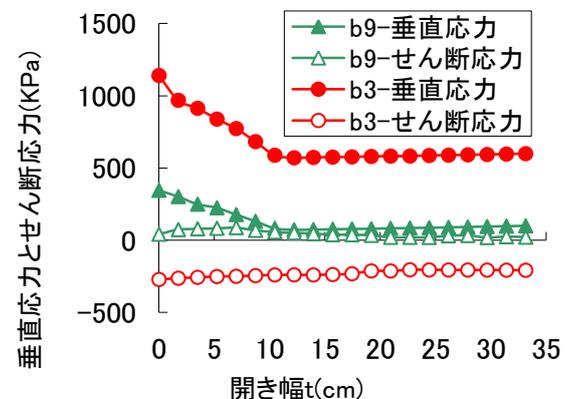


図-5 開き幅と各ブロックの応力の関係