

佐世保市における石造アーチ橋の現況調査と変形挙動の再現解析に関する基礎的研究

長崎大学工学部 学生会員 ○松元香奈子 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静
 長崎大学大学院 正会員 大嶺 聖 長崎大学大学院 正会員 杉本 知史

1. はじめに

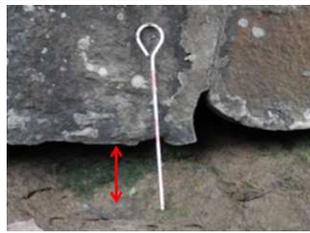
わが国に存在している石橋の歴史もとても古く、中でもアーチ構造の石橋は、道路橋、歩道等に使用される他、文化財として観光資源の役割も担っている。ほとんどの石橋が築かれてから数百年が経過しているため、補修により維持管理が行われている。しかし工学的観点からの力学的安定性の評価がこれまでほぼ手つかずの状況にある。現在の形態や機能を後世に伝えていくためにも、石橋の維持管理の手法を確立する必要がある。

本研究では、佐世保市内に現存する石橋の分布を自治体等の資料¹⁾により把握し、昨年度の長崎市内所在の石橋現況調査²⁾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数値シミュレーションにより、現況調査により確認された損傷を再現した解析を行い、石材劣化に伴う変状について検討した。

2. 調査の概要と変状傾向

2015年11月に佐世保市の石橋に関する現況調査を行った。佐世保市の石造アーチ橋は、吉井町、世知原町に集中しているため、自動車の通行が確認された両町の計12の石橋を調査対象とした。アーチを構成する輪石間の開き、ずれ、基礎部の浮きが多く確認された。これらの損傷の程度が悪化すると、石材の抜け落ちにつながり、石橋の安定性に大きく影響を与える可能性がある。また一部の石橋では輪石の亀裂も確認された。これは亀裂部に力が集中して作用していることが考えられ、石橋の力の伝達がうまく行われていない可能性がある。主な変状例を表-1に示す。

表-1 石橋調査結果における主な変状例

	
輪石間に約4cmの開き	基礎部に約15cmの浮き
	
輪石に約15cm亀裂	輪石に約2cmのずれ

3. 石材間の開きを再現した変状シミュレーション

3.1 計算方法 個別要素法に基づく計算プログラム「UDECC」を用いて、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、石橋の安定に大きく寄与していると考えられるアーチを構成する輪石部のみに着目したモデルを用いることとした。また、佐世保市の現況調査の結果を基に、多く確認された変状である輪石間の開きに着目し解析を行った。図-2のように石橋の輪石に相当するブロックのジョイント部分から角度 $\theta=0.1^\circ$ 相当の幅で境界面を追加し、それによりできた小さなブロックを1つずつ消去すること

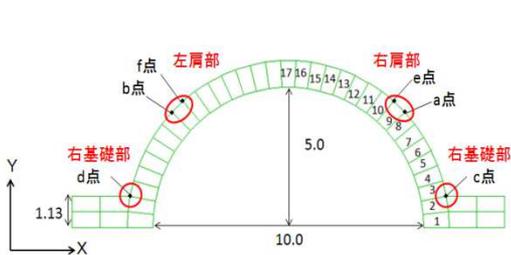


図1 解析モデル (単位:m)

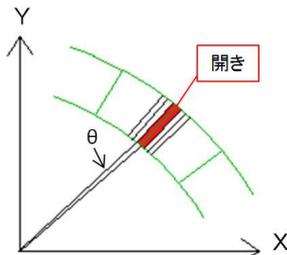


図-2 開きを再現したモデル

表-2 石材ブロックの入力物性値

密度 ρ (kg/m ³)	2000
せん断抵抗角 φ (°)	35
垂直剛性 (MPa/m)	1.0×10^9
せん断剛性 (MPa/m)	1.0×10^9

キーワード 石造アーチ橋, 変状, 数値シミュレーション

連絡先 〒852-8521 長崎市文教町1-1-4 長崎大学大学院工学研究科 TEL 095-819-2618

により開きを再現した。開きを与える場所は、図-1中の基礎部にあたる block2 と block3 の間(case1), 肩部にあたる block9 と block10 の間(case2), 要石周辺にあたる block15 と block16 の間(case3)とし、それぞれの箇所の開きの変状への影響を比較した。本解析では表-2³⁾に示す物性値を入力し、自重のみで解析を行った。解析モデルの変状を把握するために着目したポイントは、基礎部、肩部であり、ともにアーチの左側も含め、図-1のa~d点の水平変位と鉛直変位を記録した。

3.2 結果と考察 図-3は各ケースの変位ベクトル図である。図-4は case1~case3 における肩部での水平変位と開き幅の関係、図-5は鉛直変位と開き幅の関係である。case1では左右ともに増加し、アーチを構成する輪石が全体的に右側に変位したと考えられる。case2とcase3では、左肩部は増加したが、右肩部は減少した。また、鉛直変位も減少していることから、開きを設けたことによって中心に落ち込むような変位が生じたと考えられる。なお、基礎部では水平・鉛直変位ともにほぼ変化しなかった。

4. アーチ肩部の開きに伴う輪石間の垂直応力変化

肩部の開きに着目し、ブロック間の接触面に作用する垂直応力の変化について検討した。3.の方法と同様にして block8 と block9 の間に開きを設け、アーチを構成する輪石間の垂直応力変化を調べるため、図-1のa, b, e, f点とそれぞれのアーチ内側にあたる点について、垂直応力を記録した結果を図-6に示す。アーチ外側では、肩部と基礎部ともに開き幅Bが大きくなるほど、垂直応力は減少した。一方アーチ内側では、肩部と基礎部ともに開き幅Bが大きくなるほど、垂直応力は増加した。このことから、アーチ構造が不安定になると、ブロック間に作用する応力分布に偏在が生じ、応力集中が生じる箇所では、石材の亀裂の発生につながる事が予想される。

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、石材表面の劣化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を試みた。アーチを構成する輪石の挙動は複雑であり、かつ輪石間に作用する応力に偏在が生じることが分かった。これらの程度が悪化すると、アーチの安定性に影響を与える可能性があると考えられる。

参考文献 1) 末永暢雄：佐々川流域の石橋群ガイドブック，p.3, pp.9-16, 2012. 2) 平山朋樹：石造アーチ橋の現況調査と変状特性の解析的検討，pp.24-89, 平成26年度長崎大学卒業論文，2015. 3) Itasca consulting group inc. : UDEC4.0 User's Guide, pp.2-36, 2004.

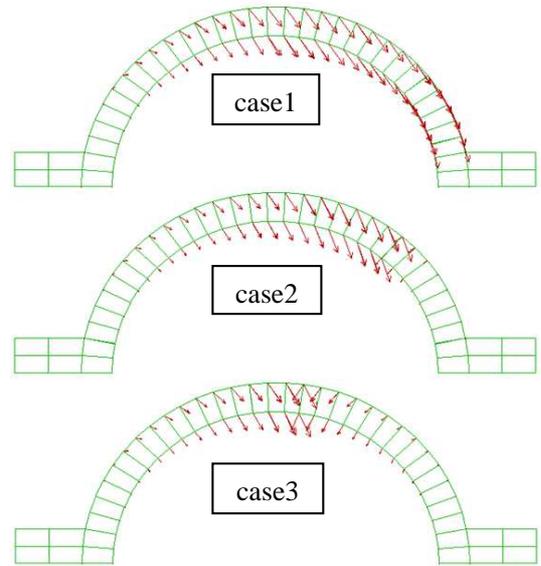


図-3 アーチを構成する輪石の変位ベクトル

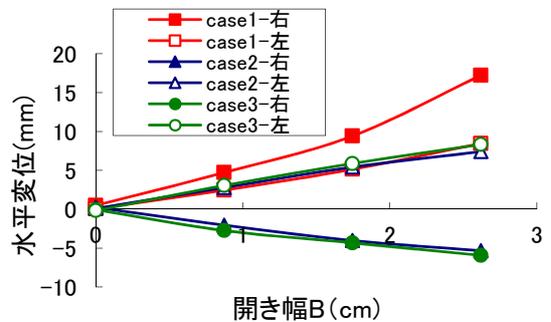


図-4 肩部での水平変位と開き幅の関係

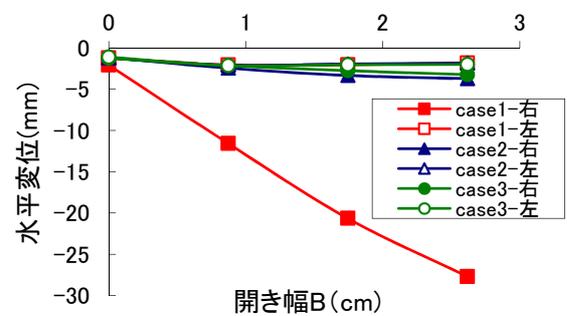


図-5 肩部での鉛直変位と開き幅の関係

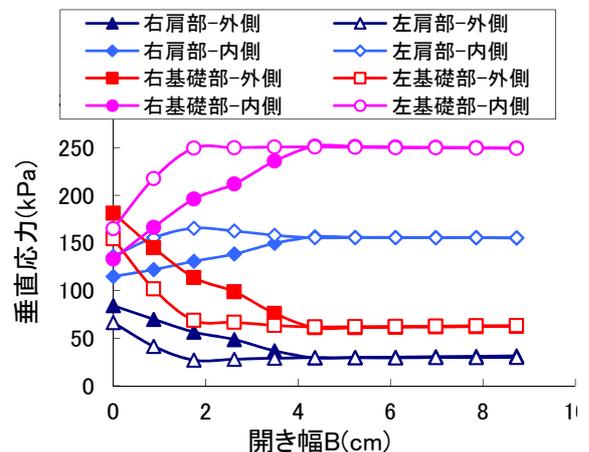


図-6 アーチの外側と内側での垂直応力の比較