

# 壁石を含むアーチ輪石模型を用いた変形挙動の解明

熊本大学大学院 学生会員○林野 将大  
熊本大学大学院 フェロー会員 山尾 敏孝  
八千代エンジニアリング 正会員 小倉 孟

## 1. はじめに

本研究では、未だ未解明な点の多い石橋の壁石の働きに着目し挙動の解明を目指した。従来のアーチ輪石模型に円形断面の壁石と内部に砂を充填した模型を製作し、アーチ輪石下面とL/4点上の壁石にひずみゲージを貼付しひずみの測定を行った。また、輪石と壁石の材料試験を行うことによって、測定されたひずみと応力の関係から、模型実験のアーチ輪石や壁石に作用する力の分布状況調べ、壁石の効果や挙動の解明の検討を行った。さらに、壁石有模型の集中荷重のモデルを作成し、静的解析を行い実験値と解析値の比較検討を行った。

## 2. 模型実験および解析の概要

実験に使用した石橋模型は、支間長 900mm、幅員 270mm、スパンライズ比 0.20 ものを使用し<sup>1)</sup>、写真 1 に示すように壁石と内部に砂を詰め作成した。なお、壁石を装着した場合の模型上部の橋長は 1040mm である。研究の目的の一つとして壁石の効果や挙動を調べるため、アーチ輪石模型のみに鉛直集中荷重をアーチクラウン部へ載荷し、その後壁石を装着した模型に鉛直集中荷重及び 4 等分集中荷重を作用させた。挙動測定には、アーチ輪石の鉛直変位を変位計により、ひずみは、アーチ輪石の主要な点及び壁石の位置でひずみゲージを貼り測定した(図 1、写真 2 参照)。変位計の設置位置は図 1(a)に示すようにアーチ輪石の 7 箇所とした。ひずみゲージは図 1(b)に示すアーチ輪石に 9 箇所(計 18 枚)、アーチ輪石の L/4 点上の壁石に 8 箇所(写真 2)、アーチクラウン部に 1 箇所(計 17 枚)貼付し、鉛直方向と水平方向のひずみを測定した。

実験方法は、1)アーチ模型の集中荷重：アーチクラウン部に載荷板を置き、その上にロードセルをおいてジャッキにより集中荷重を作用。2)壁石を含む石橋模型の集中荷重と分布荷重：アーチ輪石の上に壁石を置き、内部に砂を充填した模型の路面に床版を置き、アーチクラウン部に集中荷重を載荷した場合と載荷治具により 4 等分点に集中荷重を載荷した場合の 2 ケースについて実施した。(写真 3)作用荷重はいずれもロードセルにより測定した。なお、壁石と輪石の物性値を把握するためそれぞれに載荷実験前に材料試験を行った。

解析は汎用有限要素法解析プログラム ABAQUS<sup>3)</sup>を使用した。現在、石アーチモデルの石材間に接触モデルと摩擦モデルを導入した 2 次元解析手法を用いた<sup>2)</sup>。壁石部分も離散体として数値解析を行う方が良いが、現時点ではまだ検討中のため、本研究では壁石を 2 次元連続体要素で作成した。解析に用いた石材の物性値は、圧縮試験により得られた値を使用し、動摩擦係数は既往の研究の値を参考にした。また、境界条件はアーチ輪石の両基部を X、Y 方向に固定し、壁石は模型実験と同様に両端を X 方向に固定した。

静的解析において、実験と同様に、アーチ輪石のみ模型は、アーチクラウン部に合板を作成し、その上から集中荷重を作用させた。壁石を有する模型には壁石の上から集中荷重

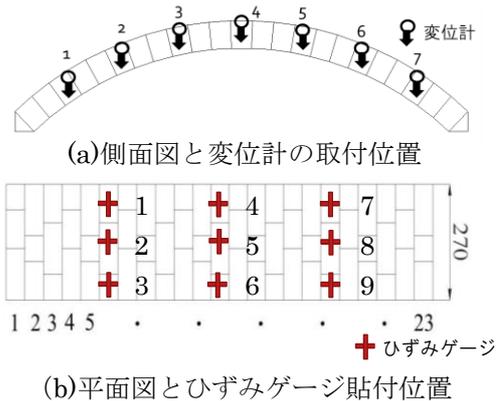


図 1 アーチ輪石模型の形状と測定



写真 1 壁石の作成の様子



写真 2 壁石の番号



写真 3 壁石を含む載荷実験の様子

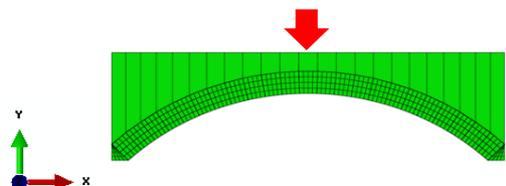


図 2 壁石を含む模型の集中荷重解析モデル

キーワード 壁石、輪石の鉛直変位、輪石のひずみ、壁石のひずみ、境界条件  
連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39-1 TEL 096-342-3533

と4等分点集中荷重を作用させた。図2に解析モデルの一例と集中荷重の様子を示す。

3. 結果と考察

試験で得られた3つの試験の最大荷重は、アーチ輪石のみモデルのアーチクラン部の集中荷重試験では、300kg程度で崩壊してしまった。しかし、壁石を付けた石橋模型実験では、集中荷重の場合7.8ton, 4等分点集中荷重の場合では14tonでも崩壊することはなかった。壁石がアーチ輪石を抑えることによってアーチ効果により、圧縮力に強い石材が十分な力を発揮したと考えられ、壁石の働きが確認された。

図3~図5は、アーチ輪石の鉛直方向の変位挙動を示した荷重-鉛直変位曲線である。アーチ輪石のみの荷重試験では、右側の方が左側よりも大きく変位を示した。壁石を有する石橋模型の荷重実験では、L/4点, 3L/4点の浮き上がりを抑えられていることを確認できた。

図6と図7には、4等分点集中荷重を11tまで作用させた時のアーチ輪石と壁石の荷重-ひずみ関係を示した。図6は、図1(b)に示す3L/4点の7~9のアーチ輪石における橋軸方向と橋軸直角方向のひずみ変化である。橋軸直角方向に最大で引張ひずみが2000μほど出ており、材料試験結果より輪石の割れる可能性を示している。橋軸方向の輪石のひずみはL/4点3L/4点では圧縮ひずみが多くL/2点では引張ひずみが多かった。図7は、写真2の壁石1と壁石3のひずみ変化を示した。壁石1は載荷面に近く、載荷用の治具と壁石が直接接触し、かつ、下側の壁石としっかりと接触していたため強い圧縮力が加わったことがわかる。壁石3は初めは伸びていたが次第に縮んでいく変形が見られ、種々の力が加えられていることがわかる。図8は壁石を有する模型への集中荷重試験の解析結果と実験値とを比較したものである。実験値と解析値は低荷重の場合良い対応を示していたが荷重が大きくなると誤差が大きくなった。また、アーチ輪石のみモデルの解析では20kgほどで崩壊しており、解析上でも壁石の効果というものが確認された。今後は、壁石の離散型を行う必要がある。

参考文献：

- 1) 小倉孟, 他2名：石アーチ模型の・・・、第68回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), I-327, pp.653-654, 2013.9
- 2) 古賀圭一郎：石材間摩擦に着目した石アーチの石材の動的解析手法の検討, 平成23年度修士論文, 2012
- 3) Dassault Systèmes Simulia Corp, ABAQUS Analysis User's Manual Version 6.11, 2011.

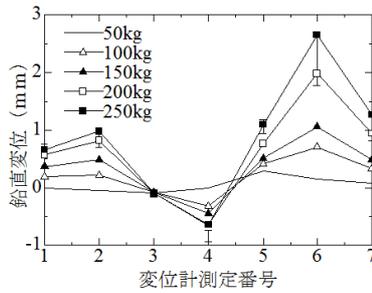


図3 アーチのみモデル (集中荷重載荷)

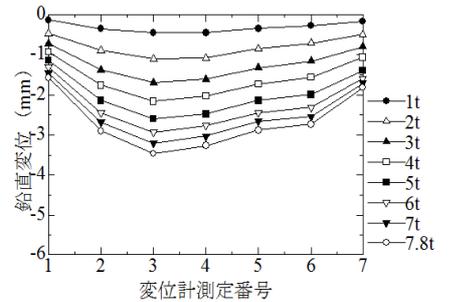


図4 壁石を含む模型 (集中荷重載荷)

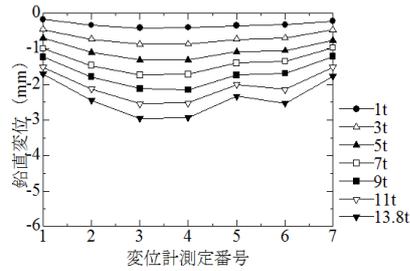
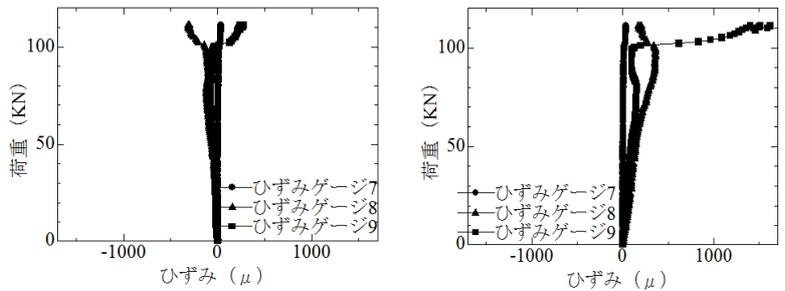
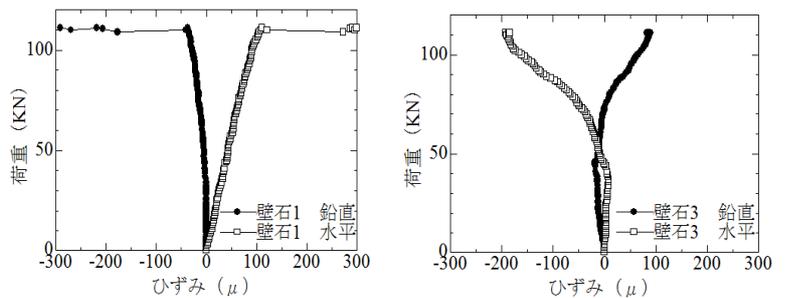


図5 壁石を含む模型 (分布荷重載荷)



(a)橋軸方向 (b)橋軸直角方向  
図6 3L/4点のアーチ輪石の荷重-ひずみ曲線



(a)壁石1 (b)壁石3  
図7 壁石1と壁石3の荷重-ひずみ曲線

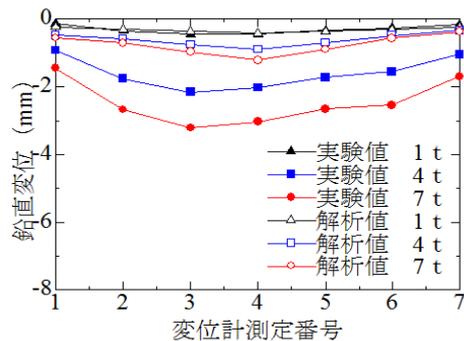


図8 実験値と解析値の比較