

壁石を有する石橋模型の壁石効果と変形挙動の解明

熊本大学大学院 学生会員○金子 和明
熊本大学大学院 フェロー会員 山尾 敏孝
熊本大学工学部 堀田 昂良

1. はじめに

著者ら¹⁾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てきた。従来のアーチ輪石模型に矩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、丸石の壁を有する石橋模型の挙動解明の実験を行い、鉛直変位やアーチ輪石と壁石のひずみ測定を行ない、挙動を明らかにしてきた²⁾。本研究は、壁石として円形でなく、通常の長方形で布積壁石を有する石橋模型を用いて、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、壁石有模型の集中載荷のモデルを作成し、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のアーチ輪石は、文献 2)の模型実験で使用した、支間長 900mm、幅員 270mm、スパンライズ比 0.2 の同じ模型である。写真 1 には今回の実験に使用した、直法体形状の布積の壁石と内部に砂を詰めた模型の様子である。なお、壁石を装着した場合の模型上部の橋長は 1040mm である。実験目的の 1 つは、文献 2)で用いた円柱形状の壁石(写真 2 参照)と比較して、壁石の作用応力や挙動の違いを調べることである。そのため、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については実験を行わず、模型に鉛直集中荷重及び 4 等分集中荷重を作用させる実験を実施した。挙動測定として、アーチ輪石の鉛直変位を変位計により測定し、アーチ輪石の橋軸方向及び橋軸直角方向の軸ひずみは、図 1(b)に示す主要な点で測定し、壁石については写真 4 に示す位置で鉛直方向及び水平方向のひずみをひずみゲージを貼り測定した。

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 5 箇所(写真 4)、アーチクラウン部に 1 箇所(計 11 枚)貼付した。実験方法は、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させた。つまり、アーチクラウン部に 1 点の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する場合とした。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 ABAQUS³⁾に、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¹⁾²⁾。壁石部分については、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。石橋の静的解析では、実験と同様に壁石を有する模型には、壁石の上から集中荷重と 4 等分点の集中荷重を詐称させた。図 2 に解析モデルの一例と集中荷重を作用させた様子を示した。



写真 1 壁石と内部砂の様子



写真 2 円形状の壁石



写真 3 壁石を含む載荷実験の様子

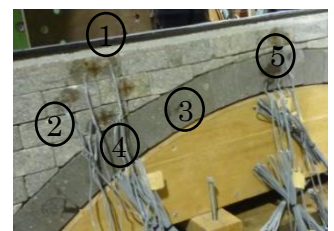


写真 4 壁石の番号

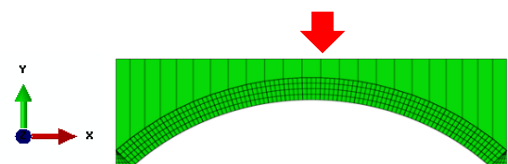
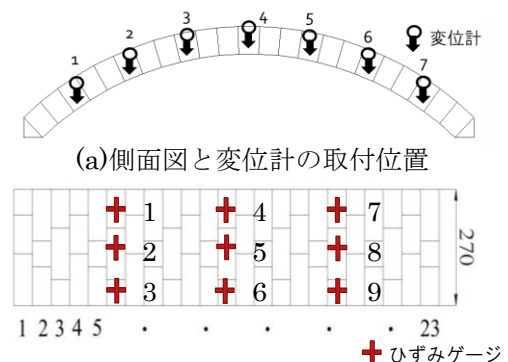


図 2 壁石模型の集中載荷解析モデル

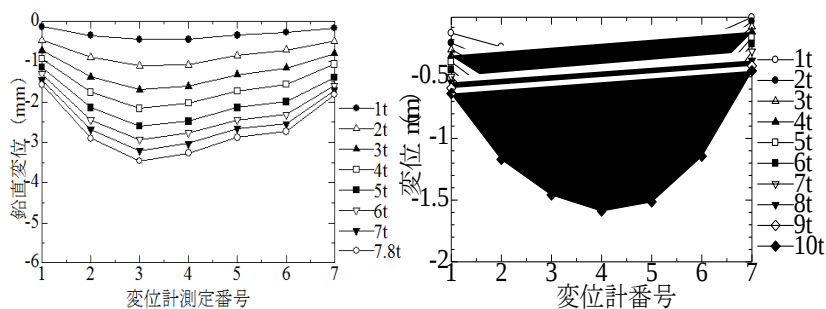
3. 結果と考察

図3と図4は、同じアーチ輪石を用いて壁石の形状が相違した石破模型で、アーチクラウン部に1点集中荷重及び4等分点集中荷重を載荷した場合のアーチ輪石の鉛直変位変化を比較して示した。4等分点集中荷重の場合では、文献2)の円柱形壁石を有する石橋模型実験では14tonまで、直方体形状の壁石を有する模型は12tonまで載荷した結果で、いずれも崩壊しなかった。1点集中載荷では、8ton時の最大鉛直変位を比較すると、円柱形の模型では3.5mm近く変位したが、直方体形状では半分以下の1.3mm程度であり、壁石の形状の影響が大きいと考えられる。これは図4に示す4等分点集中載荷でも似たような結果となり、最大鉛直変位は2.5mmに対し半分の1.2mm程度であった。壁石がアーチ輪石を抑えることによってアーチ効果が発生し、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、しかも壁石の形状も影響したと考えられる。しかし、円柱形の壁石ではどうして大きな鉛直変位になったのか理由はこれから解明する必要がある。以上より、通常の花橋の壁石の積み方を見ると、初期の花橋の場合、自然石の野づら積が多く、次第に成形した石布積に変化しており、直方体形状を用いた石造アーチ橋がより効果的な壁石積みと推定できる。

図6と図7には、4等分点集中荷重を12t載荷し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)に示すアーチ輪石L/4点の1~3の橋軸方向と橋軸直角方向のひずみ曲線である。橋軸直角方向には最大で400 μ に達する引張ひずみが発生し、アーチ輪石が破壊する最大引張ひずみ260 μ を超えていることがわかり、実際に試験後にアーチ輪石を調べたら割れが多くみられた。橋軸方向の輪石のひずみはL/4点3L/4点では圧縮ひずみの発生が予想されたが、小さいが引張ひずみの発生も見られた。この理由も検討する必要がある。図7は、写真4の壁石3と4のひずみ変化を示した。壁石3,4は、ともに輪石の浮き上がりを抑えているにもかかわらず水平方向に圧縮力、引張力という逆の力が作用していることがわかる。図8は、壁石を有する模型への集中載荷試験の解析結果と実験値とを比較したものである。文献2)の円柱形の壁石模型の場合、3t以上の荷重載荷では両者の誤差が大きくなった。しかし、直方体の壁石模型の場合では両者は非常に良い対応を示していることがわかる。解析方法は変えていないので壁石の積み方による影響が表れたと思われる。

参考文献：

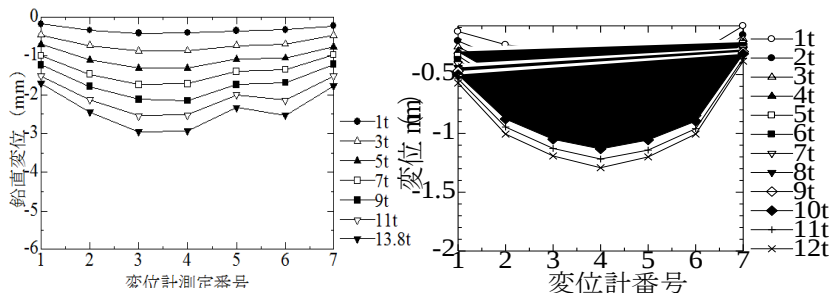
- 1) 小倉孟, 藤田千尋, 山尾敏孝：石アーチ模型の静的挙動解析による検討, 第68回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), I-327, pp.653-654, 2013.
- 2) 林野将太, 山尾敏孝, 小倉孟：壁石を含むアーチ輪石模型を用いた変形挙動の解明, 第70回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), I-312, pp.623-624, 2015.
- 3) Dassault Systèmes Simulia Corp, ABAQUS Analysis User's Manual Version 6.11, 2011.



(a)円柱形の壁石のケース

(b)直方体形の壁石のケース

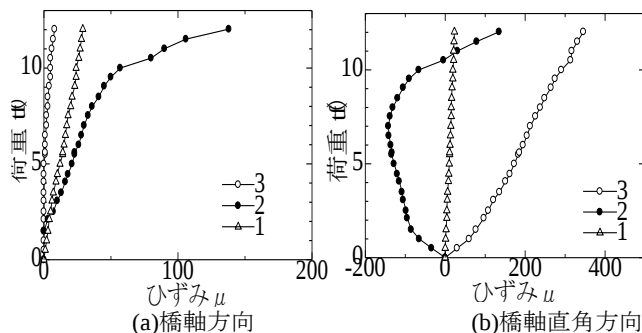
図3 壁石形状の相違する模型 (集中荷重載荷)



(a)円柱形の壁石のケース

(b)直方体形の壁石のケース

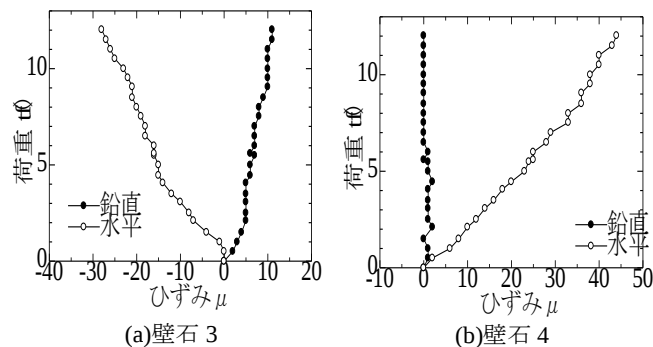
図4 壁石形状の相違する模型 (4等分点集中重載荷)



(a)橋軸方向

(b)橋軸直角方向

図6 L/4点のアーチ輪石の荷重-ひずみ曲線



(a)壁石3

(b)壁石4

図7 壁石3と壁石4の荷重-ひずみ曲線

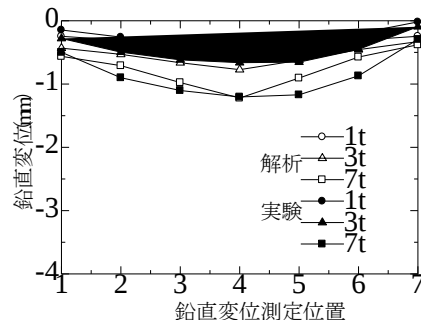


図8 実験値と解析値の比較