

阿蘇溶結凝灰岩の材料特性と石アーチ模型による解析手法の検討

熊本大学工学部 学生員 ○古賀圭一郎 熊本大学大学院 学生員 工藤祐資
熊本大学大学院 フェロー 山尾 敏孝 (株)アバンス 工藤 伸

1. はじめに

近年、石橋はアーチ部材の抜け落ち、ひび割れ、ずれ等の損傷有している。著者らはこれらの損傷を有する石橋の健全度評価と解析手法の開発を行ってきた¹⁾。本研究では石造アーチ橋の主たる材料である阿蘇溶結凝灰岩の材料試験を行ない、密度や堆積方向と圧縮強度の関係を調べ石材のデータを収集し材料特性を把握した。また阿蘇溶結凝灰岩を用いて製作した石造アーチ模型の載荷試験を実施し、解析結果との比較検討を行ない、解析手法の妥当性についても検討した。

2. 阿蘇溶結凝灰岩の材料試験

実際の石橋に用いられている溶結凝灰岩を用いて、図1に示すような直径50mm、高さ100mmの円柱状の試験体を製作し、弾性波速度試験と圧縮試験を実施した。収集した岩石は熊本県内に存在する小筵橋、龍門橋、霊台橋、下鶴橋、落合橋等で使用された5種類(Aso-1)である。試験体製作の際には、岩石の堆積方向を考慮して堆積方向Vと水平方向Hの2方向の試験体を3本ずつ用意した。十分に乾燥させた後、弾性波速度試験によりP波とS波速度を計測した。圧縮試験体には、縦ひずみと横ひずみを計測するために、30mmひずみゲージを両側面に十字に接着している。圧縮試験は単調増加で破壊するまで載荷した。



図1 溶結凝灰岩の試験体

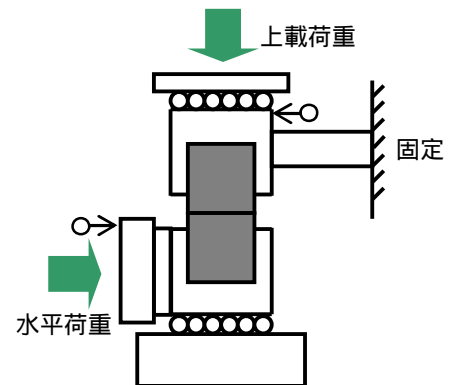


図2 石材間のせん断試験

石材同士のせん断特性を把握するために、図2のような装置により、すべりが発生するまでの水平変位を計測した。これをすべり発生変位 U_s と定義し、解析でのすべり現象を支配するパラメータとして導入した。既往の研究では、石材ごとにすべり発生変位を求めており、様々な石材寸法や上載荷重のパターンを試みる必要があった。水平変位を、せん断方向の石材長さで除すことで、すべり発生変位を無次元化できることが判明した。本研究では、更に断寸法や上載荷重を変化させ、多種類の石材によるせん断試験を実施し、すべり発生変位の無次元化が適用可能か検討する。

3. 石アーチ模型の集中載荷試験と解析モデル

スパンとライズの比が異なる二つの石造アーチ模型を製作した。ライをスパンで割ったスパンライズ比が0.5の模型は、スパン590mm、ライズ293mmであり、スパンライズ比が0.2の模型(図3参照)は、スパン605mm、ライズ120mmの3列石造アーチである。ひずみゲージは図3に示すように基部、 $L/4$ 、 $L/2$ 径間部の部材両面に計18枚接着して測定を行った。変位は $L/4$ 、 $L/2$ 、 $3L/4$ 点側面に変位計を設置し $L/2$ 径間部に単調増加で載荷した。スパンライズ比0.5の石造アーチ模型は載荷による膨らみを押えるために $L/4$ と $3L/4$ 径間部を拘束板で固定している。

図4は本研究で使用した解析モデルを示している。本解析では汎用非線形有限要素ソフトウェアMARC²⁾を用いて離散型有限要素解析を実施した³⁾。個々の石材を橋軸方向と鉛直方向に4分割、橋軸直角方向には10mmずつ分割している。境界条件は基部を鉛直、水平方向共に固定し、剛板を挟んで $L/2$ 径間部に1t載荷している。このモデルの材料特性は既往の試験で得られたもので、ヤング係数 17140N/mm^2 、ポアソン比0.16、密度 2.0g/cm^3 、 U_s 0.3mmを用いた³⁾。

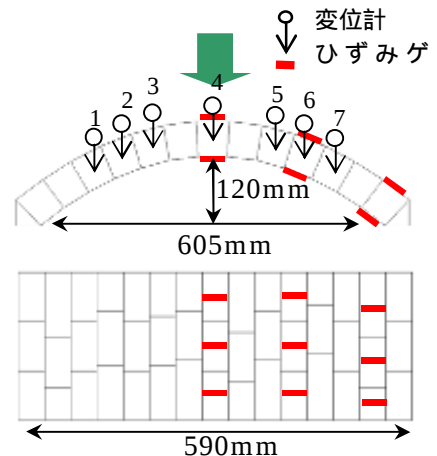


図3 石橋模型と測定位置

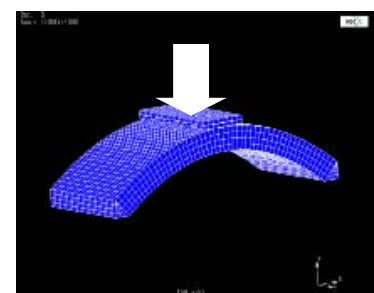


図4 スパンライズ比0.2の解析モデル

4. 実験および解析結果と考察

石材圧縮試験の結果を図5に示す。一軸圧縮強度と乾燥密度にはある程度相関があることが分かる。阿蘇溶結凝灰岩、特に Aso-1 は礫を含んでいるため不均質な岩石であり、岩石の堆積方向によって圧縮強度には差が生ずると思われたが、今回の実験結果からは方向に相違は見られず、変化するのはヤング係数であった。つまり石橋のアーチを組む際は通常、岩石は堆積方向と同じ向きに用いるが、この結果から耐力的にはどちらを使用しても問題はなく、この要因は水平方向を用いた際のひび割れを防ぐためなのではないかと思われる。また、圧縮強度と弾性波 V_p の関係を図6に示すが、図より相関関係が強いことが分かる。図7は既往の研究で実施したすべり発生変位のデータをまとめ、さらにすべりを石材のせん断方向長さで除したものである。これにより0.06付近ですべりが発生していることが判明した。つまり石材の断面形状や上載圧(軸力)に関らず石材のせん断方向長さですべり発生変位が分かることになる。しかし、せん断試験に用いた岩石の接触面は実際の石橋のものに比べると非常に滑らかなものであり、今後は実際の粗度でせん断特性を把握する必要がある。

図8はスパンライズ比0.2の石アーチ模型の実験値と解析値の比較を鉛直変位と実験で測定した応力で示した。変位はよく再現できているが、中央部の変位が解析値よりも大きいのは石材間の接触が面ではなく点で接触している影響だと思われる。軸応力分布については、それぞれの部材の上面と下面に分けて、基部、3/4L 径間部、1/2L 径間部でそれぞれ平均してグラフにまとめている。傾向としては再現できているが、1/2L 点の表面において解析値と実験値にかなりの差が生じたことがわかる。

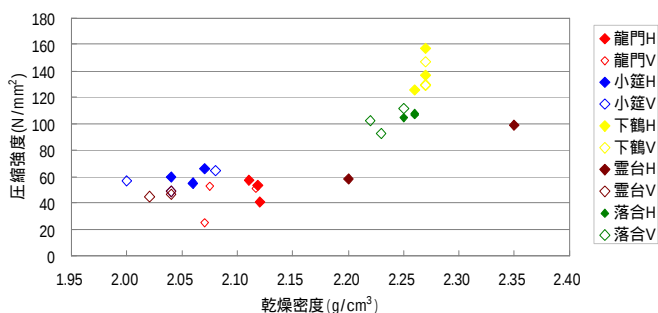


図5 一軸圧縮強度と乾燥密度の関係

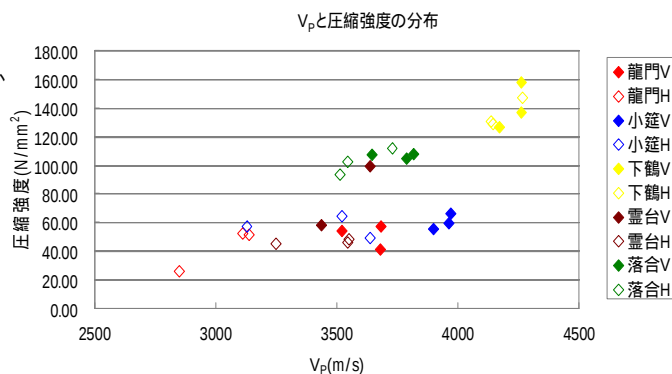


図6 一軸圧縮強度と弾性波 V_p との関係

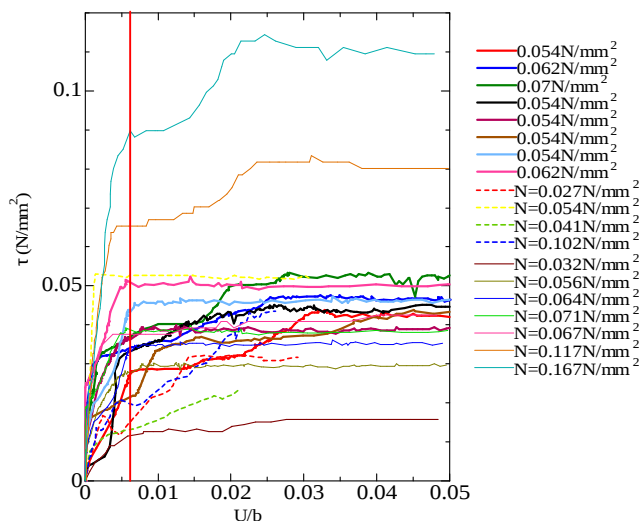


図7 すべり発生変位の無次元化

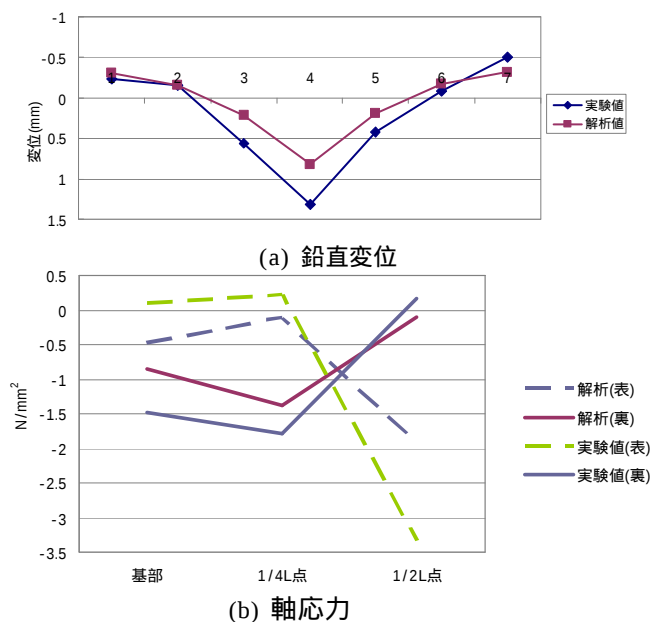


図8 1t 载荷時の鉛直変位と軸応力

参考文献

- 1) 山本健次郎: 石橋模型を用いた損傷を有する..., 土木学会第62回年次学術講演会, 1-154, pp307-308 (2007)
- 2) MARC K7: MARC Manual Volume A-F. (2003)
- 3) 工藤輝彦: 石橋の3次元静的・動的挙動..., 平成20年度 熊本大学修士論文, 2009.3