

3次元有限要素モデルによる石造アーチ橋の動的強度評価

九州大学	学生会員	○	寺尾 将志
九州大学大学院	正会員		浅井 光輝
九州大学大学院	正会員		園田 佳巨

1. はじめに

社会の発展・高度化に伴って橋梁に要求される性能は高まり、大正時代には約7万橋も存在していたとされる石造アーチ橋は次々にPCコンクリート橋や鉄橋へと姿を変えていき、現在では約3000橋程度までに減少している。一方で、石造アーチ橋の土木遺産としての文化的価値を見出し、積極的に保存していく動きもある。石造アーチ橋は、昔の石工職人たちの知恵と経験を頼りに造られてきたという経緯から、明確な設計方法があるわけではなく、その静的・動的強度特性についても未だ十分に解明されていない。今後、石造アーチ橋を土木遺産として有効活用していくためには、静的・動的強度を精緻に評価していく必要がある。そこで本研究では、計測結果を基にした石造アーチ橋の有限要素モデルを作成し、動的解析を実施するまでの手順を構築した。

2. 解析モデルの作成

解析モデルは、下記のような手順で作成した。

- (1)実在する石造3連アーチ橋の表面を3Dレーザースキャナでスキャンし、点群データとして保存
- (2)点群データを基に、手動で石材の境界線を定義(図-1参照)
- (3)境界線データをMSC.Marcに取り込み、有限要素モデルへと変換

なお、本研究では3連の大瀬橋を対象として計測および解析モデルを作成したが、計算の簡略化のため1連のアーチ部のみを取り出し、図-2に示す解析モデルについて動的解析を実施することにした。

3. 解析手法の概要

有限要素解析を行うにあたり、汎用FEMソフトウェアであるMSC.Marcを使用した。以下に解析のために選択した解析オプションとその指針について述べる。

(1) 接触解析方法と接触判定

MSC.Marcでは、接触したと判定された要素辺にバネを設置するペナルティ法が採用されている。またバイアスファクターを調整することで、事前・事後接触を許容することで安定した接触解析を実施している。

事前接触とは、図-3に示すような接触判定距離を設定し、実際に物体が接触する以前から徐々に接触力を伝達させるものである。またバイアスファクターにより、接触面の前後で異なる接触判定距離が定義できる。

本解析では、モデル作成時のスキャンの誤差が10(mm)前後であることを勘案したうえで、経験上、最も解析が安定した接触前判定距離6(mm)、接触後判定距離12(mm)として設定した。

(2) 摩擦モデルとパラメータの調整

石造アーチ橋に用いられる石材は非常に強固であり、石造アーチ橋の崩落の主な要因は、石材間のすべりであると考えられている。また石材表面は一定の粗度を有しており、完全にすべりが発生する前から段階的にせん断力が上昇し、同時に相対的に小さな変位が発生するという特徴がある。本研究では、バイリニアモデルにより上記の現象のモデル化を

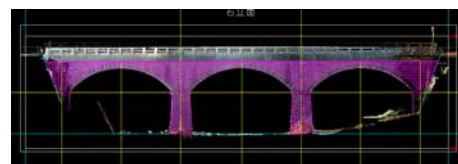


図-1 スキャン結果と石材のトレース

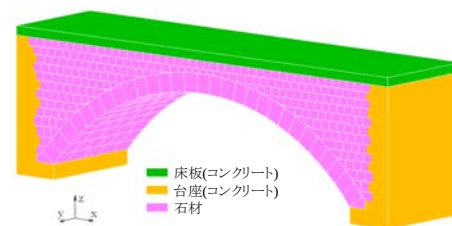


図-2 解析モデル

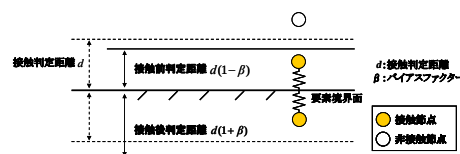


図-3 接触解析

試みた。なお、バイリニアモデルに必要なモデルパラメータは、熊本大学・山尾教授の研究グループが実施した石材のせん断試験の結果（図-4を参照）を基にキャリブレーションすることで決定した。図-5にはバイリニア型モデルによるせん断試験の再現解析結果を示す。

4. 解析結果

図-2の解析モデルの台座部分に、兵庫県のJR 鷹取駅構内にて観測された兵庫県南部地震の地震動を強制変位として与えた。バイリニア型モデルのパラメータを調整する前の結果を図-6に調整後の結果を図-7に示す。摩擦特性が正確にモデル化されていないときには、図-6に示すように、地震動入力直後に壁石が崩れ落ち、その後、輪石も抜け落ち崩壊に至った。一方、図-7に示すパラメータを調整後の解析結果では、地震動のピークを過ぎても石造アーチ橋は自立し続ける結果を得た。なお、両図のコンターは最小主応力の分布であり、暖色ほど強い圧縮力が働いていることを示している。

5. おわりに

本研究では、石材位置を3Dレーザースキャナにより計測し、計測結果を基に現実的な石造アーチ橋の解析モデルを構築した。また、石材のせん断試験結果より摩擦パラメータを同定し、動的解析を実施するまでの手順を確立した。

摩擦特性の異なる解析結果を比較検証より、摩擦特性のモデル化の重要性を確認した。本研究では、実在する石材にせん断試験結果とのキャリブレーションより同定したモデルパラメータを使用した地震動解析結果からは、石造アーチ橋はレベル2地震動に対しても十分耐えうる可能性を示した。ただし、動的な摩擦特性と静的な摩擦特性は異なる可能性もあるため、今後、動的な実験結果と解析結果を比較検討することで解析精度を確認する必要があるものとする。

参考文献

- 1) 浅井光輝，ほか2名：離散型有限要素モデルによる石造アーチ橋の静的・動的強度評価，構造工学論文集 Vol.55A, pp.172-180, 2009
- 2) 九州構造・構造工学研究会(KABSE) 九州における石橋の現況把握と健全度評価に関する研究分科会：九州の石橋の現況調査と健全度評価について

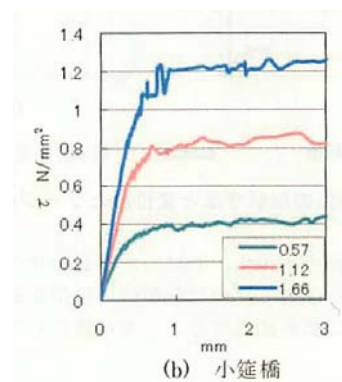


図-4 せん断試験結果

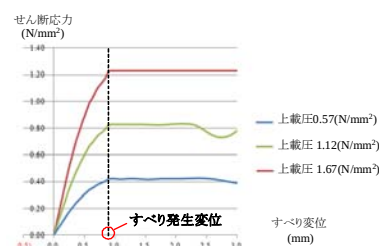


図-5 せん断試験解析結果

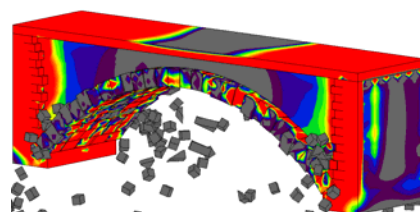


図-6 摩擦パラメータ調整前の結果

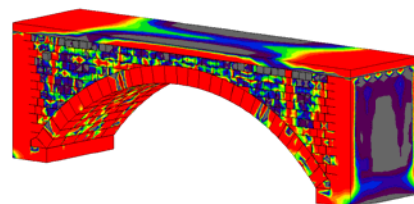


図-7 摩擦パラメータ同定後の結果

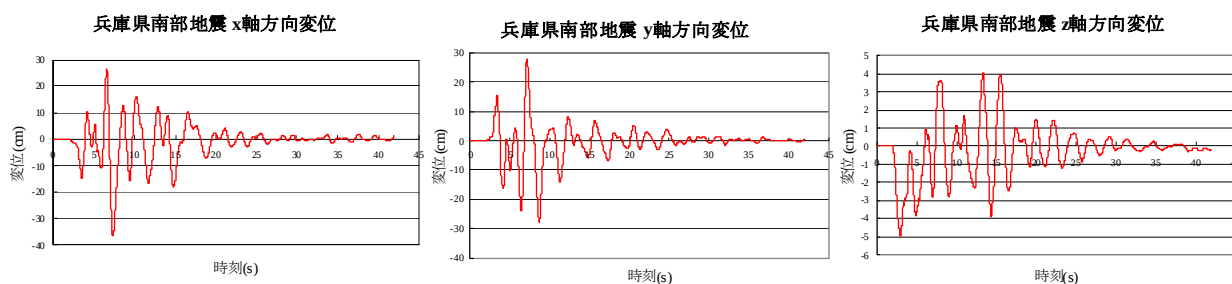


図-8 入力地震動