

剛体-バネモデルによる多連式石造アーチ橋の安定性解析

九州大学 学生員 ○松下貴雄 九州大学 正 員 彦坂 熙
九州大学 学生員 劉 玉撃 九州大学 正 員 江崎哲郎

1. 序論

石造アーチ橋は古くから世界各地で建造されており、貴重な文化財に指定されているものも多い。しかしこのような組積構造物の工法は経験に頼るものが多く、科学的考察はあまりされていないのが実状である。本研究では、多連式石造アーチ橋を対象として二次元剛体-バネモデルによる解析を行い、載荷試験結果¹⁾と比較検討する。

2. 石材ブロックの開口を考慮した解析手法

剛体-バネモデルは、要素自身を剛体と仮定して各要素境界面上に体積変化およびせん断変形に抵抗する2種類のバネを設け、要素内の仕事の代わりに要素境界面上に集中化された表面力の仕事を用いて変形エネルギーを評価する方法で、変形の連続および不連続現象を要素境界面上のバネの特性で比較的簡単に表せる点に特徴を有する²⁾。

このモデルを石造アーチ橋の解析に用いる場合には、隣接するブロック間の接合面が圧力線の偏心により開口して、両者間の接触長さが変化することを考慮する必要がある。本解析では繰り返し計算により、載荷状態下におけるブロック間の接触長さを求める。

図-1に示すように、最初の境界辺長さを L とし、初期接触長さ $L_0 = L$ を与えて評価点A, Bのひずみ $\varepsilon_A, \varepsilon_B$ を計算する。ここで、 ε_A あるいは ε_B が正(引張)であれば、引張側の評価点は境界辺の端部(AまたはB点)から、ひずみの零点(A_{i-1} または B_{i-1})に変化する。すなわち、次式で i 回目の接触長さ L_i を求める。

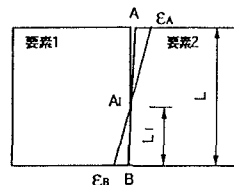


図-1 接触面の接触長さ

$$\varepsilon_A > 0 \text{ のとき } L_i = \frac{|\varepsilon_B| L_{i-1}}{|\varepsilon_{A_{i-1}}| + |\varepsilon_B|}, \quad \varepsilon_B > 0 \text{ のとき } L_i = \frac{|\varepsilon_A| L_{i-1}}{|\varepsilon_A| + |\varepsilon_{B_{i-1}}|} \quad (1)$$

上式の計算方法に従って、全ての接触面における接触長さの収束計算を行う。

本解析では石造アーチ橋の構造要素としてアーチリングのみを考慮し、壁石、裏込めなどの部分は剛性を持たず自重のみ存在すると考えて、その自重をアーチリングに載荷させる。また車両の活荷重は地盤内応力の分散メカニズムに従うものと仮定し、ブーシネスクの理論³⁾に基づく応力の計算式を用いる。すなわち、リング石に作用する荷重 P_R (図-2)は次式にて計算する。

$$P_R = \frac{3P}{2\pi} \cdot \frac{\cos \theta}{R^2} \cdot a \cdot t \quad (2)$$

ここに、 P : 車両荷重(前輪荷重4t, 後輪荷重16t)

R, θ : リング石と荷重 P との距離および角度

a, t : リング石の長さ、厚さ

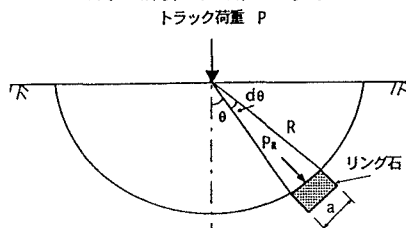


図-2 車両荷重の求め方

3. 4連石造アーチ橋の解析結果および考察

図-3に解析対象とする多連式石造アーチ橋の諸元を示す。アーチリングを実橋の石材ブロックに近いサイズの要素に分割した。基礎石の拘束条件には、地盤の変形特性だけでなく、護床敷石や反力石の作用を考慮する必要がある。実橋の載荷実験とコンピューターシミュレーションとを照合した結果、基礎石の拘束バネ定数は、垂直バネ定数を $k_v = 0.012 \text{ GPa/cm}$ 、せん断バネ定数を $k_s = 0.00462 \text{ GPa/cm}$ とする¹⁾。

また石材ブロック間のバネ定数 k_a 、 k_s は、石橋の主要材料である珪結凝灰岩の特性調査結果⁴⁾を参照して、表-1の2つのケースを仮定した。ケース1は接触面が平滑な供試体、ケース2は実橋の接触面と同じ粗な供試体の圧縮およびせん断試験に基づく値である。

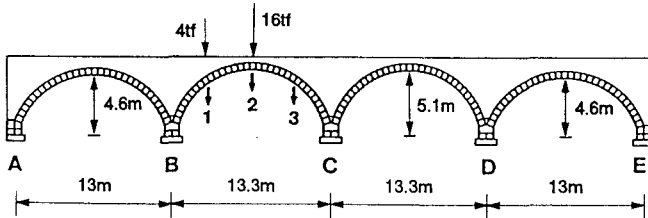


図-3 解析モデル(変位測定位置 1, 2, 3)

20トン車両の軸重4tf および16tfが図-3のように作用する場合の、たわみと目地伸縮量の実測値およびケース1, 2の解析値を図-4に示す。ケース1の解析値は実測値と比較的合っているが、ケース2の解析値はたわみおよび目地伸縮量ともに実測値より著しく大きな値を取っている。

目地伸縮量については、クラウン部で実測値は引張状態なのに対し、解析値は圧縮状態である。また、図-3の20トン車両に対する解析モデル橋のすべり破壊安全率が $\eta_s=8.9$ 、圧縮破壊安全率が $\eta_c=30.9$ であった。

図-3の載荷時の各スパンのアーチリング(リング厚60cm)の圧力線図を図-5に示す。圧力線とは個々の石材ブロックに作用する圧力の合力線であり、この線が石材ブロックの接触面のミドルサードにあれば、アーチ橋は安定していると考えられる。

本解析モデルの圧力線はすべてミドルサード内にあることがわかる。

表-1 バネ定数の2ケース (GPa/cm)

バネ形式	ケース1(平滑面接触)	ケース2(粗面接触)
k_a	0.2556	0.0255
k_s	0.0801	0.0369

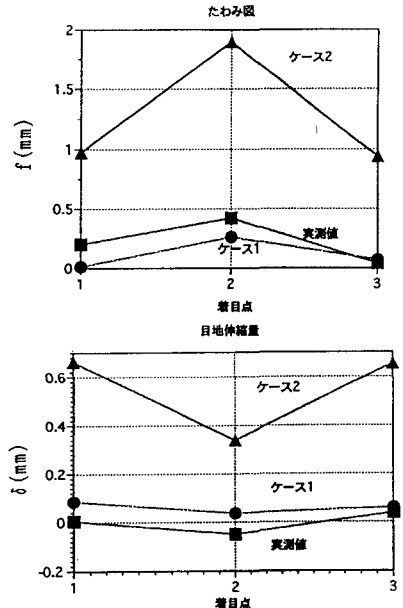


図-4 たわみおよび目地伸縮量の比較

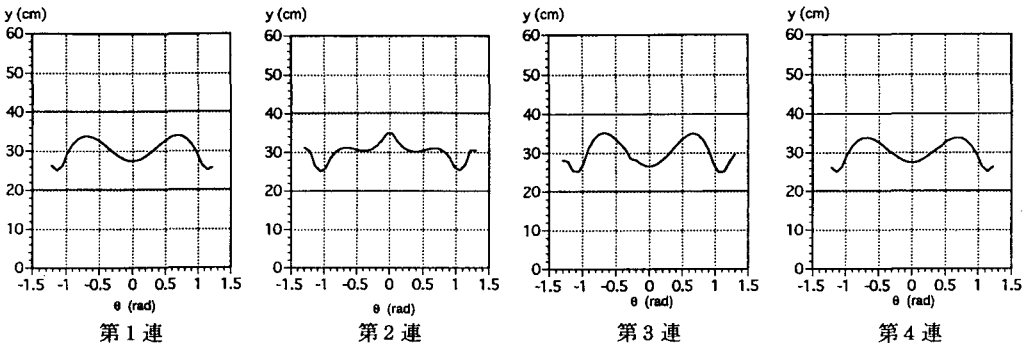


図-5 アーチリングの圧力線図

【参考文献】

- 1) 鹿児島県土木部: 第3回西田橋解体復元調査委員会資料, 1995. 5
- 2) 川井史彦他: 数値化解析ソフト「ログ・ラミネータ」, 培風館, 1990. 6
- 3) 土木工学全集編集委員会編: 土質力学, 理工図書, 1994. 9
- 4) 鹿児島県土木部: 建設資材としての凝灰岩の特性についての基礎調査報告書, 1995. 3