

I-A 119 ボロノイ分割を用いた石造アーチ橋の力学挙動解析

九州大学 正員 劉 玉攀

九州大学 正員 彦坂 熙

飛鳥建設 正員 松下貴雄

1. はしがき

石造アーチ橋は連続体として応力解析できないブロック組積構造であるため、その力学挙動を解析的に把握することはかなり難しく、実橋における試験データもほとんどない。最近、石橋の解体、移設および拡幅工事に伴って、九州の石橋の主要材料である凝灰岩の特性調査や実橋載荷試験が行われ、石橋の耐荷力を評価する基礎資料が整えられつつある¹⁾²⁾。ここでは、ボロノイ分割を用いた剛体ブロック-バネ系モデルにより、石造アーチ橋の力学特性を解析的に考察する。

2. 解析方法

本解析では石橋のアーチリング石材を原形状のままの剛体ブロックで表し、石材接触面の力学特性およびブロック要素が本来持っている変形、強度特性は剛体ブロック接合面に挿入するバネに集約させる、いわゆる剛体-バネ系モデルを採用する。剛体-バネ系モデルで組積構造物のような不連続体を解析する際には、偏心圧縮に伴うブロックの回転により、元々全断面圧縮状態にあった両ブロックが部分的断面圧縮となる場合がある。このとき、このようなブロック接合面の開口によるブロック間接触長さの変化をいかに取り扱うかが重要な課題となる。

ここでは、繰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方法を提示する。図-1に示すように、元々の両要素境界辺長さを L_{AB} とし、初期接触長さ $L_0 = L_{AB}$ を与えて、評価点A, Bの相対変位 δ_A , δ_B を計算する。ここで、 δ_A あるいは δ_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、相対変位の零点（ 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。

$$\left. \begin{aligned} \delta_A > 0, \quad L_i &= \frac{|\delta_B|L_{i-1}}{|\delta_{A_{i-1}}| + |\delta_B|} \\ \delta_B > 0, \quad L_i &= \frac{|\delta_A|L_{i-1}}{|\delta_A| + |\delta_{B_{i-1}}|} \end{aligned} \right\}$$

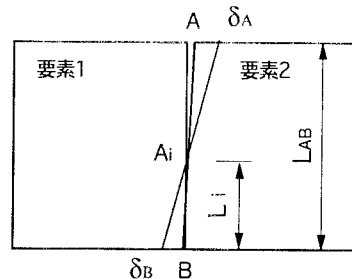


図-1 ブロック間接触長の計算

上式の計算方法に従って、すべての接触面における接触長さの収束計算を行う³⁾。

3. 石造アーチ橋の解析モデル

一般には、上載部の自重をアーチリングに作用する荷重として石橋の力学挙動が検討されている。しかし、アーチリング上の壁石、上載部の中詰および橋台背面の反力塊も、橋面荷重を分散したり石橋の水平力を受け止めたりする力学的作用を持っており、それらの影響は無視できないと考えられる。本研究は石造アーチ橋のアーチリング石を除く構成要素をボロノイ分割し、図-2の剛体-バネ系モデルを用いて解析する。石造アーチ実橋の解体調査結果²⁾を参考にアーチリング石を約50×60cm、橋面敷石および護床敷石を長さ約50cmとし、黒くハッチした要素を基礎石とする。

石材の材料特性は石橋アーチリング磨石（溶結凝灰岩）の実測値を参考にし、中詰および反力塊の材料特性とともに表-1のように与えた。地盤の変形特性は考慮しないものとする。活荷重として0.2Pおよび0.8Pの集中荷重を図-2のように作用させる。なお、解析値は幅員1mあたりのものである。

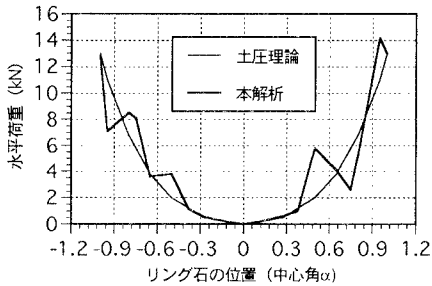
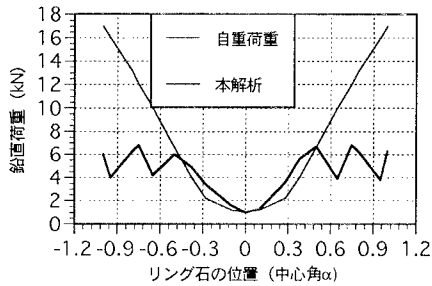


図-3 リング石に作用する荷重分布

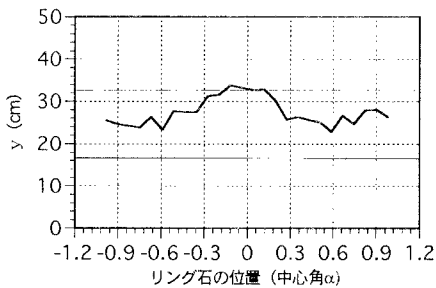


図-4 リングの圧力線 (P=20tf)

表-1 材料特性					
	密度 g/cm ³	変形係数 (GPa)	ポアソン比 ν	粘着力 c (MPa)	摩擦角 ϕ
石材	1.93	4.600	0.103	0.0	33.8°
中詰土	1.50	0.076	0.270	0.055	40.0°

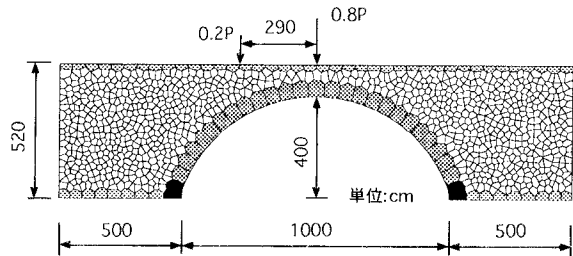
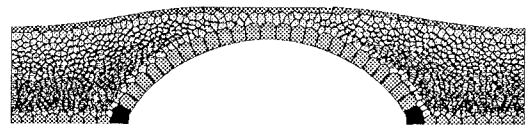
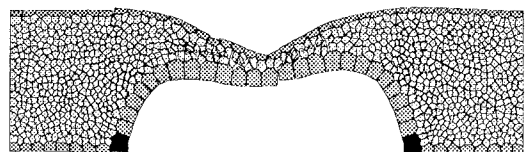


図-2 解析モデル



(a) 自重のみ



(b) 終局時

図-5 変形状態

4. 解析結果および考察

図-3は自重のみにより各リング石に作用する圧力分布である。自重により各リング石上に作用する鉛直荷重の解析結果より、両橋端部に対する載荷重量の一部は橋台背面の反力塊に伝達することが分かる。リング石に作用する水平荷重は静止土圧理論による計算結果と良く合っており、土圧理論によりリング石に作用する上載部の水平荷重を評価できると言える。それゆえ、石橋の力学特性を解析するには上載部の中詰および橋台背面の反力塊とアーチリング石との相互作用を考慮する必要がある。

図-4はP=20tfにおけるアーチリングの圧力線図である。横軸 α はアーチの中心角を、縦軸yはリング厚50cmの断面圧縮域の合力作用点を表す。圧力線がアーチの図心軸($y=25\text{cm}$)と一致する場合に、アーチは最も安定な状態にある。しかし、圧力線がリング厚の中央1/3から離れれば、石材ブロック間の開口が生じて、不安定状態になる。図-5は自重のみおよび載荷終局時(P=65tf)の変形状態であり、荷重を増加させると破壊はクラウン部リング石のすべり出しにより、圧縮力の伝播経路が失われて生じることがわかる。

参考文献:

- 1) 鹿児島県土木部・土木学会: 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.
- 2) 鹿児島市建設局: 玉江橋外2橋解体工事調査最終報告資料, 1995. 3.
- 3) 彦坂 照他: 第21回日本道路会議論文集, 1995. 10.