

不連続体力学モデルによる石造アーチ橋の耐荷特性解析

九州大学 学生員 ○松尾洋一

九州大学 正会員 彦坂 熙

九州大学 正会員 劉 玉攀

中央コンサルタンツ(株) 正会員 柚 辰雄

1. はじめに

古い石造アーチ橋は、世界各地で貴重な文化遺産として永く維持保存されてきた。その維持保存に際しては、現代の同種構造物に要求される安全性を確保することが必要であるが、石造アーチ橋のような不連続体の解析法はまだ十分に確立されていない。本研究では、剛体-バネ系モデルにより石造アーチ橋の耐荷特性を検討する。

2. 解析方法

図-1に石造アーチ橋の解析モデルを示す。スパン L は10mとし、リング石間の接合面の厚さ b は50cmとする。スパンライズ比 $L/h=2$ （要素数529）、2.86（要素数506）、5（要素数401）の3種類のモデルを用いて耐荷特性の比較検討を行う。アーチリング石、基礎石をそれぞれ原形状の多角形剛体ブロック要素で表し、石材が本来持っている変形および強度特性は剛体要素接合面に挿入する分布バネに集約させる剛体-バネモデルを採用する。橋面荷重の分散効果を考慮し、不規則に混入された中詰材のランダム性を模擬するため、中詰材も剛体-バネモデル要素でモデル化し、スパンドレル部をランダムな多角形剛体要素にボロノイ分割する。

石材ブロック、中詰材およびそれらの境界面の材料特性を表-1のように設定する。境界面のヤング率およびポアソン比は、両要素の

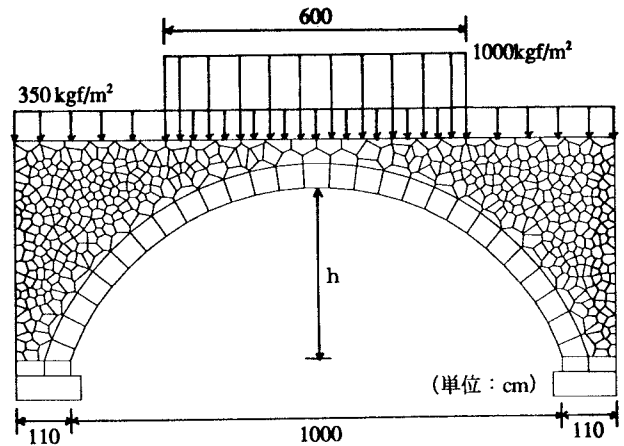


図-1 石造アーチ橋の解析モデルおよび載荷条件

表-1 材料特性

特性 材料	ヤング率 (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	圧縮強度 (kgf/cm ²)	粘着力 (kgf/cm ²)	摩擦角 ϕ (度)	密度 (ton/m ³)
石材	46000	0.103	377.0	0.0	33.8	1.93
中詰材	760	0.270		0.55	40.0	1.50
境界面	重み平均値	重み平均値		0.275	40.0	

重心から要素境界面に下した垂線の長さを重みとしての平均値を採用するが、その粘着力は中詰材の粘着力の1/2とする。境界条件は基礎石を完全固定とし、左右両端のスパンドレル部を水平方向のみ拘束（鉛直方向自由）とする。載荷条件は、死荷重 q_D のみの場合と死荷重 q_D +活荷重 q_L の場合を考慮し、活荷重は図-1のように載荷する。

3. 解析結果および考察

石造アーチ橋の上部構造の安全性評価には、次のパラメータを用いることとする。

$$\text{圧縮破壊安全率} \quad \eta_c = f_c / \sigma_{\max} \quad (1)$$

$$\text{せん断破壊安全率} \quad \eta_s = \sigma \tan \phi / \tau \quad (2)$$

$$\text{圧力線偏心距離} \quad e = b (\sigma_2 - \sigma_1) / (6 (\sigma_2 + \sigma_1)) \quad (3)$$

ここに、 f_c は石材ブロックの圧縮強度、 $\sigma_{\max}$ は各リング石間に作用する最大圧縮応力、 σ 、 τ はリング石間の圧縮応力およびせん断応力、 ϕ は摩擦角、 b はリング石間の接合面の厚さ、 σ_1 、 σ_2 はリング石間の内縁および外縁圧縮応力である。

図-2 に圧縮破壊ならびにせん断破壊安全率に及ぼすスパンライズ比の影響を示す。活荷重載荷時の各安全率は、スパンライズ比が2.86で最も高い。また、活荷重を載荷した場合、死荷重のみを載荷した場合より圧縮破壊安全率は減少するが、せん断破壊安全率はスパンライズ比2付近を除く区間で増加する。すべての石造アーチ橋モデルにおいて、圧縮破壊安全率よりもせん断破壊安全率が低い。図-3 にアーチリングクラウン部のたわみに及ぼすスパンライズ比の影響を示す。スパンライズ比が2.86の時、最もたわみが小さくなっている。また、活荷重を載荷した場合、いずれにおいてもたわみが約1mm程度増加している。機能性を重視した古い石造アーチ橋は、石工達の経験に頼って建造されてきたが、この大半の橋がライズスパン比2.86前後であることは興味深い。

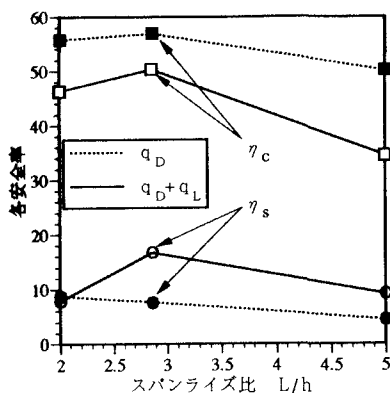


図-2 各安全率に及ぼすL/hの影響

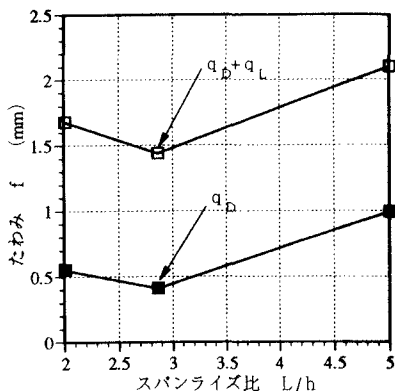


図-3 たわみに及ぼすL/hの影響

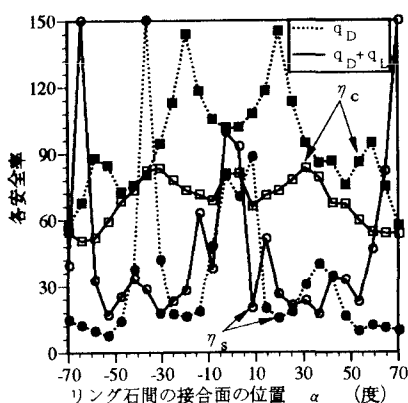


図-4 各安全率の分布状況 (L/h=2.86)

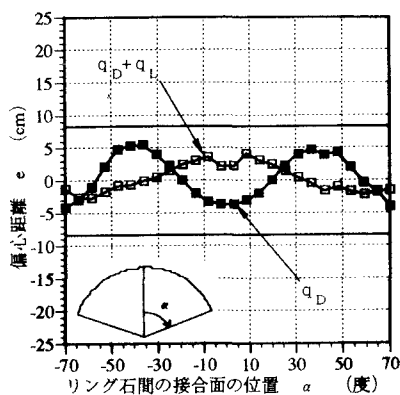


図-5 偏心距離の分布状況 (L/h=2.86)

図-4 にスパンライズ比2.86の石造アーチ橋モデルにおける圧縮破壊ならびにせん断破壊安全率の分布状況を示す。基礎石付近とアーチリング肩部のせん断破壊安全率が低くなっている。図-5 にスパンライズ比2.86におけるアーチリング石間の圧力線偏心距離の分布状況を示す。死荷重のみの載荷条件よりも死荷重+活荷重の載荷条件の方が圧力線偏心に対して安定性を増していることが分かる。

4. まとめ

以上の解析結果をとりまとめると、以下に示すとおりである。

- (1) 石造アーチ橋は、圧縮破壊に対しては十分な安全性を有するが、せん断破壊に対しては注意が必要である。
- (2) スパンライズ比2.86前後でたわみは最も小さく、活荷重載荷時のせん断破壊安全率は最も高い。
- (3) 基礎石付近ならびにアーチリング肩部のせん断破壊安全率が低くなる傾向にある (L/h=2.86)。

(参考文献)

- 1) 劉 玉攀他：ボロノイ分割を用いた石造アーチ橋の力学挙動解析，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，1-A，pp.238～239，1996.9.