

アーチ石橋の崩壊荷重を弾性骨組解析で求める方法の応用

建設プロジェクトセンター 正 員 筒井 光男
 熊本大学 フェロー 山尾 敏孝
 福岡大学 正 員 坂田 力

1. はじめに

筆者らはアーチ輪石の崩壊荷重を弾性骨組解析で算定する方法を提案した¹⁾。概要を紹介すると、弾性骨組解析ソフトを用いて、固定アーチモデルを作成する。これに、死荷重を作用させる。次に、活荷重や地震荷重を漸増させて、曲げモーメントが抵抗モーメントに達する位置の圧縮側輪石と地端にヒンジを設け、アーチ部材とつなぐ(図-1)。この作業を繰り返し、4個目のヒンジが出来た時が崩壊荷重である。この解析方法(提案法と呼ぶ)を、柱に支えられた石桁および柱上アーチに適用してみた。また、その他の応用について調べた。

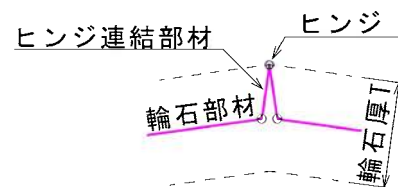


図-1 ヒンジ図

2. 解析事例

(1) 柱上石桁

a) 釣り合いから求めた解

石柱に支えられた石桁(図-2)に、橋軸方向水平地震が作用するモデルを考える。モデルの柱幅は b 、柱高さは h とし、作用水平加速度を $\ddot{x}$ とする。柱と梁の質量をそれぞれ m 、 M とし、梁反力を $M\alpha$ とすると、柱下端の回転に対する抵抗モーメントは $gb(m/2 + M\alpha)$ 、柱下端の作用モーメントは $\ddot{x}h(m/2 + M\alpha)$ となる(図-3)、両者等しいとすると、 $\ddot{x} = (b/h)g$ となり、転倒水平震度 λ は b/h 。これは柱単独の値と同一となる。

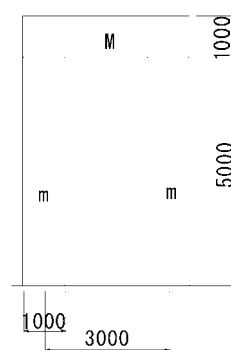


図-2 柱上石桁

b) 骨組解析

図-2の柱上石桁モデルに提案法を適用して解いた。柱高5m、柱間隔3m、柱幅・梁高1m、質量はともに20kN/mとした。柱と梁中心に部材を配置し門形ラーメンを作成する(図-4)。断面は一定とし、断面剛性も一定値を使用し、地震時慣性力が左から作用するものとした。解析の結果、最初に、右柱頂部のモーメントが抵抗モーメントを超えてヒンジが出来た。次に左柱頂部、左柱基部の順でヒンジが出来た。3つのヒンジが発生した図-5に示すモデルでは、水平震度0.2の時に、右柱抵抗モーメント $5.7 \times 0.5 = 77.9$ と作用モーメント77.8とほぼ一致した。この水平震度は上記 λ と一致することがわかる。

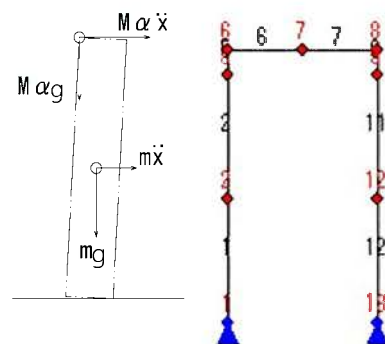


図-3 作用力 図-4 モデル図

(2) 柱上アーチ

文献2)に柱上アーチの解析例があり、諸元を図-6に示す。文献では柱とアーチを傾斜させて崩壊角度を求めている。崩壊角度は 7.7° で、 $\lambda = \tan 7.7^\circ = 0.135$ となる。この問題を提案法で解く場合、輪石と柱中心に部材を配置し、柱下端は固定として解析モデルを図-7のように作る。アーチと柱の部材剛性が異なるので崩壊モードを調べるとアーチのみの崩壊水平震度は0.9程度である。柱単独あれば、 $\lambda = b/h = 0.2$ となるモデルなので、アーチ内部に4個のヒンジ発生で崩壊するのではなく、柱が倒れるモードで崩壊することが判る。アーチヒンジ位置を両基部とクラウンの3箇所に仮定して水平荷重を作用させると、軸力線が2箇所輪石外側に出る。ヒンジ位置をその位置に修正すると λ は0.134となり、文献2)の値とほぼ一致する。崩壊時の曲げモーメントとヒンジ位置を図-8に示した。図-9には軸力線を示すが、アーチ軸力線を延長し柱軸力線との交点を結んでいる。

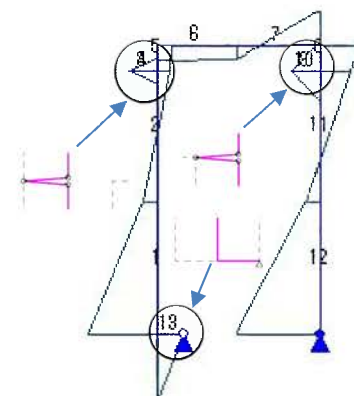


図-5 曲げモーメント図

キーワード：骨組解析、柱上石桁、柱上アーチ、崩壊、石橋、診断

連絡先：〒869-1234 (株) 建設プロジェクトセンター 熊本県菊池郡大津町引水215-1 TEL096-293-4400

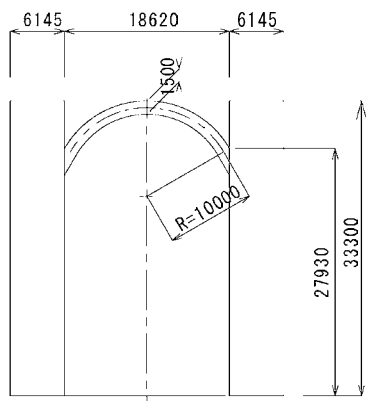


図-6 柱上アーチ

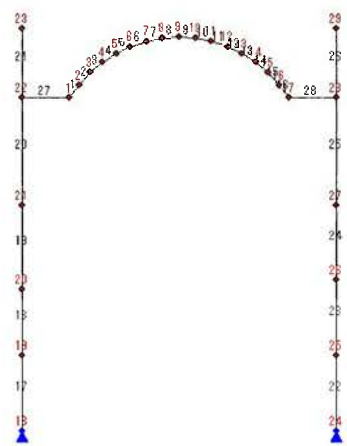


図-7 モデル図

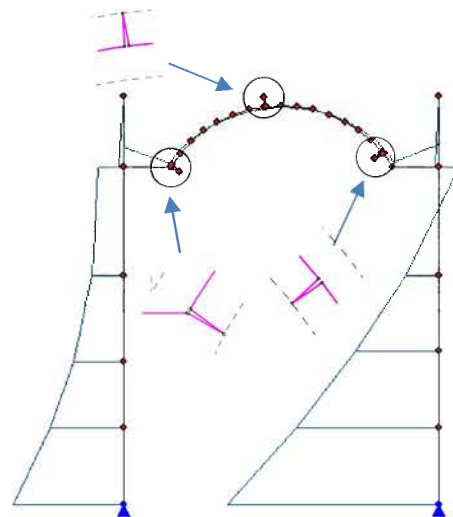


図-8 曲げモーメント・ヒンジ図

3. 考察および注意点

(1) 発生するヒンジ位置が正しければ正しい崩壊荷重を得られるが、ヒンジ位置がずれた場合は近似解と解釈できる。前記2.(2)の軸力線が輪石の外に出る場合は、その位置に日地が無く、輪石が引張に抵抗できる場合に相当する。それに該当しない場合は、ヒンジ位置をその位置に移動させる。これらのことより、アーチ石橋は「荷重に応じてヒンジ位置を変えることが出来る3ヒンジアーチ」と考えることが出来る。

(2) 提案法は骨組解析であるために、アーチが正円でない場合でも解析可能であり、骨組部材を実際の位置に配置すれば可能となる。なお、死荷重作用時に輪石日地が開いている場合は除くものとする。また、バネ支持構造も解析できる。

(3) 欠損して厚さが減少した輪石があるアーチ石橋も、欠損輪石の端部にあわせてヒンジを設ければ解析可能である。その時の抵抗モーメントは、欠損輪石厚の1/2に軸力を乗じた値となる。

(4) 石橋を構成するアーチ輪石が3個以上であれば、提案法を適用できる。ただし、部材途中で軸力線が輪石の外に出る場合は、引張応力の照査が必要である。

(5) 発生するヒンジ位置は圧縮側日地端部となるために、曲げモーメント図より判断すればよい。また、模型で確認しても良い。さらに、構造が複雑な場合は順次ヒンジを作り、解析不能あるいは変位が極端に大きくなるときが崩壊と判断することも出来る。

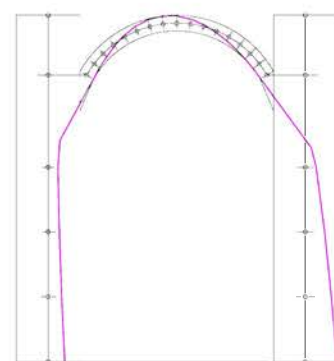


図-9 軸力線図

4. おわりに

文献1)で弾性骨組解析ソフトを用いてアーチ輪石の崩壊荷重を計算する方法を提案した。ここでは、柱上石桁および柱上アーチに提案法を適用し、提案法の妥当性について検討した。提案法は、アーチ形状が正円でない場合、輪石厚が欠損している場合、少輪石石橋へも適用可能であることがわかった。本法が石橋の診断・補修に役立てば幸いである。

参考文献:

- 1) 筒井、山尾、村井、アーチ輪石の崩壊荷重を弾性骨組解析法で算定するー提案、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、I-44、2023.3
- 2) Matthew J. DeJong、Seismic Assessment Strategies for Masonry Structures、MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY、June、2009、P42