

アーチ橋の FEM 解析による耐荷力算定と各国の設計基準の評価

長崎大学大学院 正 会 員 中村 聖三 長崎大学工学部 学生会員 ○檜崎 佑理
長崎大学大学院 学生会員 陳 康明 長崎大学大学院 正 会 員 奥松 俊博
長崎大学大学院 正 会 員 西川 貴文

1. はじめに

アーチは最も古くから用いられている橋梁形式である。アーチリブでは圧縮力が支配的であるため、特に鋼アーチ橋の設計においては、座屈が問題となる。これまでに、鋼アーチ橋の面外座屈に関する様々な研究が多くの研究者により行われており、新しい座屈設計法も数多く発表されているが、その成果は必ずしも設計基準には反映されていない。そこで本研究では、実在する下路アーチ橋をモデルとして非線形有限要素解析により面外座屈耐荷力を算定し、代表的な構造パラメータの影響を調査する。また、日本・中国・ヨーロッパの設計基準^{1), 2), 3)}によって算定される耐荷力を解析結果と比較することで、各国の設計基準の精度を評価する。

2. 対象橋梁

対象橋梁は図 1 に示す“中尾川大橋”である。放物線形状のアーチリブを有する下路ニールセンローゼ橋であり、橋長 148.5m、幅員 9.5m である。



図 1 中尾川大橋

3. 解析概要

(1) 解析モデル

MSC.MARC⁴⁾により材料非線形および幾何学的非線形を考慮した解析を実施する。閉断面部材にはそりを考慮しないはり要素 (No.14)，開断面部材にはそりを考慮したはり要素 (No.79) を用いて、図 2 に示すようにモデル化する。その際、床版は無視し、計算の簡易化のため、アーチリブは一定断面とする。また、アーチリブには面外方向の初期たわみ $\sqrt{20L/300^3}$ を考慮する。支持条件は単純支持とする。死荷重と活荷重を考慮するが、後者は等分布荷重とする。ひずみ硬化域における鋼材の応力-ひずみ関係には式(1)⁵⁾を用いる。使用鋼種を SM490Y と想定し、式(1)中のパラメータは $\varepsilon_{st}=7\varepsilon_y$ ， $E_{st}=E/30$ ， $\xi=0.06$ とする。ヤング係数は 200000N/mm^2 ，ポアソン比は 0.3 とする。



図 2 FEM 解析モデル

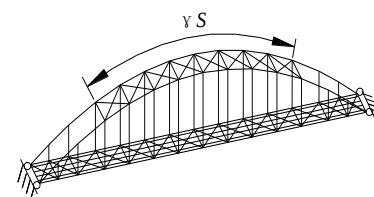


図 3 γ の定義

(2) 解析ケース

面外座屈耐荷力に対して影響を及ぼすと考えられるパラメータとして、アーチリブと横構の剛比，ライズ比，横構設置範囲，アーチリブ間隔に着目する。剛比は表 1 に示す 2 種類のアーチリブと横構を組み合わせることで変化させ、アーチリブ 1 と横構 2 (剛比=23.06)，アーチリブ 2 と横構 2 (剛比=6.22)，アーチリブ 2 と横構 1 (剛比=0.84) の組み合わせをそれぞれ Case1, Case2, Case3 とする。横桁設置範囲はアーチリブ全長 S に対する横桁設置区間長の比 γ (図 3 参照) で表すこととする。

表 1 アーチリブと横構の諸元

	断面積 (m^2)	断面 2 次モーメント (m^4)
アーチ リブ 1	0.1456	0.031264 ^{*1}
アーチ リブ 2	0.06672	0.008432 ^{*1}
横構 1	0.06132	0.010052 ^{*2}
横構 2	0.02352	0.001356 ^{*2}

*1 鉛直軸まわり，*2 水平軸まわり

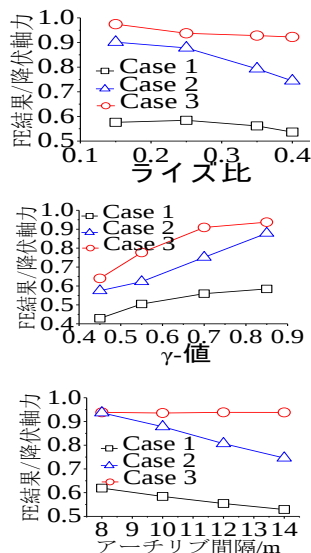


図4 FEM解析の結果

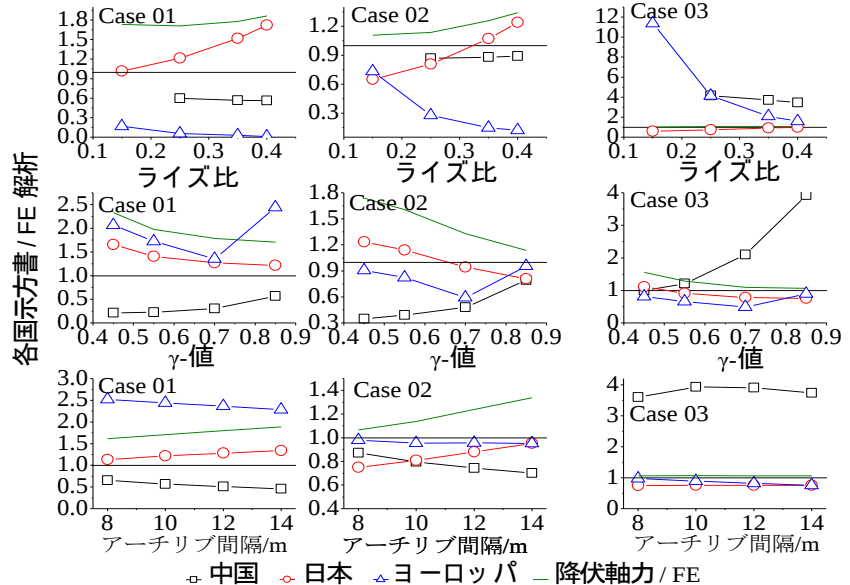


図5 FEM解析による各国の設計基準の評価結果

4. 解析結果と考察

(1) FE 解析結果

図4にFEM解析の結果得られた耐荷力(最大荷重時のアーチ軸力)を降伏軸力で無次元化して示す。耐荷力はライズ比の増加に伴い減少し、 γ 値の増加に伴い増加している。アーチリブ間隔の増加に伴い Case1, Case2 では耐荷力が減少しているが、Case3 ではほとんど変化がない。

(2) 各国の設計基準の評価

図5に各国の設計基準に基づく耐荷力をFEM解析による耐荷力で無次元化して示している。図中に示した緑の線はアーチリブ断面の降伏軸力を表している。この図に基づき、各国の設計基準を以下に評価する。

(a) 中国

ライズ比の増加に伴う耐荷力低下傾向はおおむね適切に評価しているが、 γ 値の増加に伴う耐荷力上昇傾向は特に Case3 で過大評価している。また、アーチリブ間隔の影響については、Case1, Case2 における低下傾向はやや過大評価しており、Case3 ではおおむね適切に評価している。

(b) 日本

ライズ比の増加に伴う耐荷力低下傾向を過小評価している。Case1, Case2 におけるアーチリブ間隔の増加に伴う耐荷力低下傾向は過小評価しているのに対し、Case3 においてはおおむね適切に評価している。 γ 値の影響は考慮されていないが、検討対象とした3つの設計基準の中で、全体的に最も精度が高い。

(c) ヨーロッパ

ライズ比の増加に伴う耐荷力低下傾向は過大評価している。アーチリブ間隔の増加に伴う耐荷力低下傾向はおおむね適切に評価しているが、 γ 値の増加に伴う耐荷力上昇傾向は、 γ 値が小さい場合には過大評価、大きい場合には過小評価している。

4. まとめ

本研究では各国の設計基準に基づき算定される耐荷力と非線形有限要素解析による面外座屈耐荷力を比較することで、各国の設計基準の精度を明らかにした。今後の課題として、下路アーチ橋だけでなく上路・中路アーチ橋についても同様の検討を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) Ministry of Railways of the People's Republic of China, *Fundamental Code for Design on Railway Bridge and Culvert*, Beijing: China Railway Publishing House, (中国語), 2005
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説・I 共通編・II 鋼橋編, 丸善(株)東京都, 2012
- 3) European Committee for Standardization, *Eurocode3: Design of Steel Structures Part2-Steel Bridge*, 2003
- 4) MARC analysis corporation, *MARC user manual volume A-volume E, version K7*, 1997
- 5) 宇佐美勉：座屈設計ガイドライン改訂版第2版, 丸善(株)東京都, 2005