

フィーレンディール形式の横構を有する アーチ系橋梁の面外座屈耐荷力の評価

熊本大学 正 員 崎元 達郎

熊本大学 学生員 山下 裕慈 学生員 平野 邦昭

1. まえがき: 現行の道路橋示方書(以下、道示と略す。)のアーチ系橋梁の面外座屈に対する照査規定は、アーチと柱の類似性に着目して、直柱の基準強度式を利用するものである。しかし、実橋に近い数値モデルについて、道示の方法に従って求めた強度と有限変位弾塑性解析によって求めた強度を比較した場合、道示の方法ではかなり危険側の強度算定を与えることが明らかとなった¹⁾。ここで、実橋に近い数値モデルについて、構造系全体の弾性座屈に対する固有値解を求めて道示と同じ有効長さ手法を適用し、別途計算された有限変位弾塑性解析結果と比較したところ良好な強度評価を与えることが明らかとなった²⁾。

アーチ橋において横構形式は一般的にトラス形式ととられることが多い。しかし、最近美観のために横構を省略したりフィーレンディール形式とするニーズの高まりがある。著者らは、フィーレンディール形式の横構を有するアーチ系橋梁の面外座屈耐荷力の評価について研究してきた。本研究では、この弾性固有値解を用いた有効長さ手法の適応性の検討、また耐荷力公式、横材の最適配置等について提案を行なうために下路式ランガー橋を対象に検討した。

2. 面外座屈強度の算定法: マトリックス構造解析により分岐座屈問題を考える場合、その固有方程式は次のようになる。

$$|K_e + \alpha K_g| = 0 \quad (1)$$

ここで、 K_e は微小変位剛性マトリックス、 K_g は幾何剛性マトリックス、 $||$ は行列式、 α は固有値である。構造物に基本荷重 P を作用させた時の代表部材の軸力を N とし、分岐座屈時の部材軸力 N_{cr} は次式により求められる。

$$N_{cr} = \alpha N \quad (2)$$

一方、対象構造物の代表部材と同一の断面を有する長さ l_e の両端ヒンジ柱の座屈軸力 $N_{cr,e}$ は、

$$N_{cr,e} = \pi^2 EI / l_e^2 \quad (3)$$

となる。ここで、 EI は代表部材の曲げ剛性である。

そこで、式(2)と式(3)を等置して l_e を求めると、アーチ橋を両端ヒンジ柱に置き換えたと考えた場合の等価な柱の長さ(=有効長さ)が次式によりもとめられる。

$$l_e = \pi \sqrt{EI / \alpha N} \quad (4)$$

さらに、細長比パラメータ λ_y は、

$$\lambda_y = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{l_e}{r_y}} = \sqrt{A \sigma_y / \alpha N} \quad (5)$$

となる。上式で、 σ_y は鋼材の降伏応力度、 r_y 及び A は代表部材断面の断面二次半径及び断面積である。ここで、基準軸力 N を支点での降伏軸力 $N_y (=A \sigma_y)$ とすれば、

$$\lambda_y = \sqrt{1 / \alpha} \quad (6)$$

となる。この λ_y を道示で規定される直柱の基準強度式に代入することにより、終局応力度 $\sigma = \sigma_u / \sigma_y$ が求められる。この基準強度式は溶接残留応力及び初期たわみを有する両端ヒンジ柱の弾塑性座屈を考慮しているため、上述のようにして得られた算定強度は結果的に弾塑性強度の近似値であると考えられる。

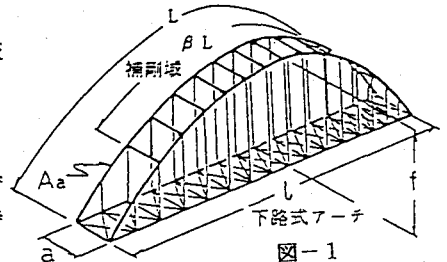


図-1

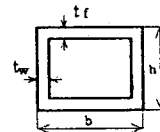


図-2

表-1 アーチ橋モデルの構造諸元

形式	支間長	矢高	f/l	a	β
ランガー	150m	22.5m	0.15	10m	0.733

表-2 アーチ橋断面寸法 単位(cm)

	h	b	t_w	t_f
アーチリブ	57.0	57.0	3.0	3.0
吊材	20.0	20.0	1.0	1.0
斜材(下張材)	40.0	40.0	0.65	2.1
道路橋	274.0	50.0	0.75	3.5

3、解析モデル：数値解析モデルは、図-1に示すような現実の下路式アーチ橋に近いものを想定した。形式をランガー橋とし、支間長 l 、アーチリブ間隔 a 、補剛率 β 、ライズ f とする。モデルの座屈挙動を複雑化させないための安全側の仮定として道路桁の荷重をアーチリブに伝達する吊材は、その両端でアーチ面外に対してヒンジ結合とした。また、使用鋼材はすべてSS41とした。フィーレンディール形式の横構部分は長方形断面とし、アーチリブ断面の面外曲げに関する断面2次モーメント(I_{ya})に対する横構の断面2次モーメント(I_{yb})をパラメータ(I_{yb}/I_{ya})として変化させた場合(表-3)の終局強度を検討した。横構は、断面の強軸がアーチ面内にありかつアーチ軸線に垂直になるよう配置した。荷重条件は、道示に定められた等分布満載荷重とし、解析ではそれと等価な節点荷重を道路桁に作用させた。なお、有限変位弾塑性解析には初期たわみと溶接残留応力を考慮した¹⁾。

4、結果と考察：図-3は片方のアーチリブと道路桁についての面外変位座屈モードである。図中の、●はアーチリブ節点、■は道路桁節点である。有限変位弾塑性解析、弾性固有値解析とも比較的一致しているといえる。図-4はアーチリブ断面に対する横構断面の断面2次モーメント比 I_{yb}/I_{ya} をパラメータとして、変化させた値を横軸にとり、縦軸は面外座屈強度 σ_u を降伏応力 σ_y で無次元化した値をとって数値モデルの強度を評価したものである。両者とも横構の断面2次モーメントが大きくなるのに従い、強度 σ_u/σ_y も増加していくが、弾性固有値解析の方が約10～15%程安全側に計算されることがわかる。以上の結果よりフィーレンディール形式の横構を有するアーチ橋に対してもアーチ構造全体の弾性固有値解を用いる有効長さ手法によって良好な強度評価が可能であることが明らかとなった。今後、さらにパラメータを変化させた解析が必要ではあるが、横構をトラス形式とした解析¹⁾によると同種のモデルで $\sigma_u/\sigma_y=0.765$ 程度になることから、トラス形式に比べて不利ではあるが本形式のアーチ橋も十分に設計が可能であるとの見通しが得られた。

表-3 横構断面寸法
7-リブ断面2次モーメント ($I_{ya}=315900$)

I_{yb}/I_{ya}	h	b	t_w	t_f	I_{yb}
0.999	20.0	70.0	6.5	1.7	314583
0.742	20.0	65.0	6.0	1.0	234392
0.408	20.0	53.0	5.0	1.0	128868
0.216	20.0	43.0	5.0	1.0	68199

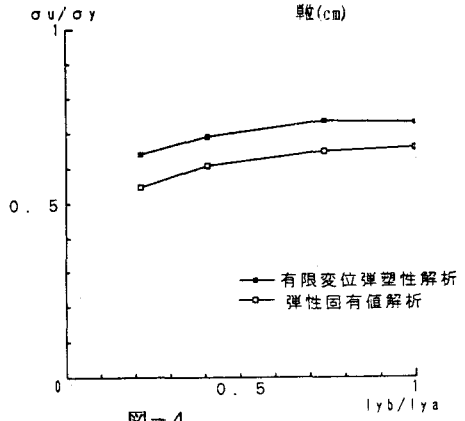


図-4

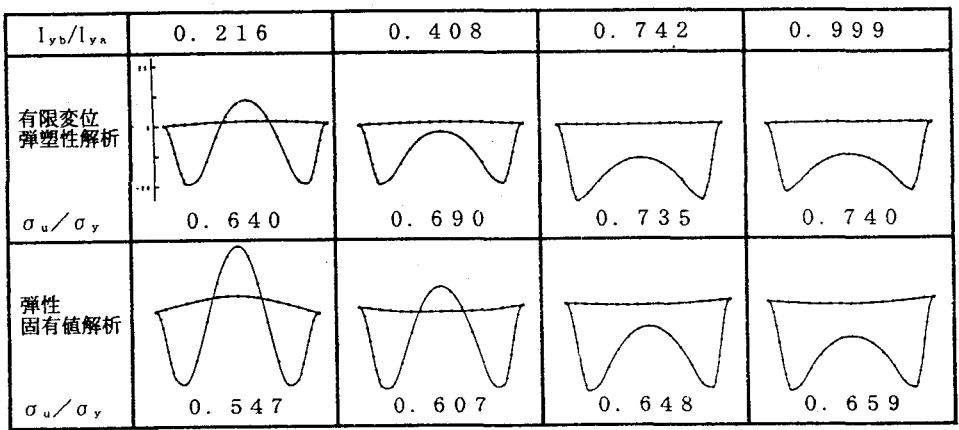


図-3 面外座屈モード図

〈参考文献〉

- 1) 崎元 達郎他「下路および中路式アーチ橋の弾塑性面外座屈強度」構造工学論文集1988.3
- 2) 崎元 達郎他「弾性固有値解を用いた有効長さ手法による・・・」構造工学論文集1991.4