

I-26 フィーレンディール形式の横構を有する 下路式アーチ系橋梁の面外座屈強度

(株)熊谷組 ○正 員 山下 裕慈

熊本大学 正 員 崎元 達郎

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、一本のアーチに置換した構造に対する固有値を与えてアーチの有効長さを求め、直柱の基準強度式を利用するものである。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、特に橋門開口部を有する下路式及び中路式アーチ橋に対して、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。しかしながら、トラス形式の上横構を有する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。

ところで、最近美観など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。本研究では、フィーレンディール形式の横構を有するアーチ系橋梁について構造系全体の弾性固有値解を用いた有効長さ手法の適応性の検討を行なったので報告する。

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。

$$|K_e + \alpha K_{g0}| = 0 \quad (1)$$

ここで、 K_e は微小変位剛性マトリックス、 K_{g0} 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。

$$N_{cr} = \alpha N_0 \quad (2)$$

一方、対象構造物の代表部材と同一の部材を有する長さ l_e の両端ヒンジ柱の座屈軸力 N_{cre} は、

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

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(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。

$$l_e = \pi \sqrt{EI / \alpha N_0} \quad (4)$$

さらに、細長比パラメータ λ_y は、

$$\lambda_y = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{l_e}{r_y}} = \sqrt{A \sigma_y / \alpha N_0} \quad (5)$$

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_0 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。

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ランガー桁橋に近いものを想定した。支間長を l 、アーチリブ間隔 a 、補剛率(補剛されたアーチリブ長の全アーチリブ長に対する比) 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

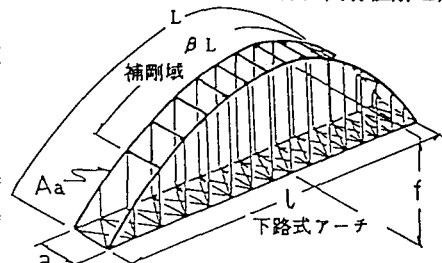


図-1 フィーレンディール形式の横構を有するアーチ橋

表-1 アーチ橋モデルの構造諸元

形式	支間長	ライズ	f/l	a	β
ランガー	150m	22.5m	0.15	10m	0.773

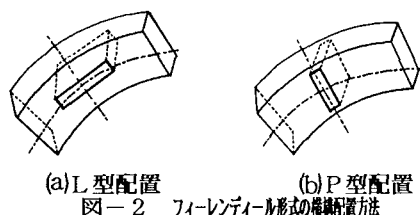


図-2 フィーレンディール形式の横構配置方法



図-3 アーチリブの面外制振効果

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SM400とした。フィーレンディール形式の横構部分は箱形断面とし、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の終局強度を検討した。横構は、その強軸まわりの曲げ剛性がアーチリブの面外曲げに抵抗するように配置するL型配置（図-2(a)）、また、その強軸まわりの曲げ剛性がアーチリブのねじりに抵抗するように配置するP型配置（図-2(b)）の2つの場合について考えた。荷重条件は、道示に定められた等分布荷重満載とし、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図-3(a)(b)に示すような2つの場合の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-4、5は、アーチリブ断面に対する横構断面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。また、図中のモード図は弾性固有値解析における各パラメータに対する面外座屈モード図である。横構L型配置の結果（図-4）から考察すると、弾性固有値解析、有限変位弾塑性解析における2つの初期たわみの場合のいずれも、 I_{yb}/I_{ya} が減少するにつれ強度 (σ_u/σ_y) もしだいに減少していくが、 I_{yb}/I_{ya} が0.2付近から急激に強度が落ち込んでいくことがわかる。この例では、アーチリブ断面に対する横構断面2次モーメント比 I_{yb}/I_{ya} を0.2以上にすれば充分な終局強度が得られることを示している。固有値解析の座屈変形モードは、 $I_{yb}/I_{ya} < 0.2$ で左右逆対称となり、 $I_{yb}/I_{ya} > 0.2$ では左右対称となっている。また、 $I_{yb}/I_{ya} < 0.2$ の固有値解は、逆対称の初期たわみを与えた場合の有限変位弾塑性解に一致し、 $I_{yb}/I_{ya} > 0.2$ の固有値解は、初期たわみモードにかかわらず有限変位弾塑性解よりも小さく安全側の値を与えている。一方、横構P型配置の結果（図-5）では、弾性固有値解析、有限変位弾塑性解析のいずれの場合ともL型配置と比較して σ_u/σ_y の値は低い値となる。 I_{yb}/I_{ya} が減少するにつれ強度 (σ_u/σ_y) がしだいに減少していく傾向はL型配置と同じであるが、その変化は小さい。固有値解析のモード図はすべて逆対称モードとなり、初期たわみを逆対称に与えた有限変位弾塑性解析と比較すると多少危険側ではあるが、よく一致している。

5. 結論：フィーレンディール形式の横構を有するアーチ橋についても、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、座屈モードにかかわらず良好な強度評価が可能であること、横構は、アーチリブの面外曲げを拘束するように配置する方（L型配置）が強度的にかなり有利になることが明らかになった。

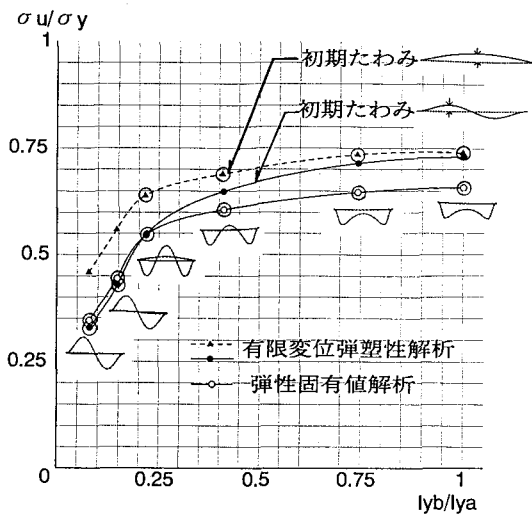


図-4 横構L型配置

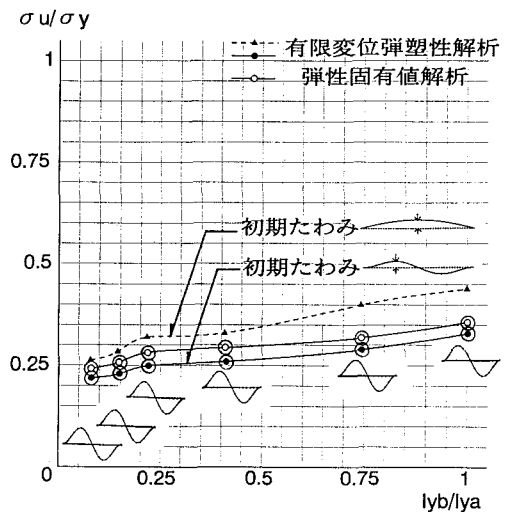


図-5 横構P型配置

- 〈参考文献〉 1) 崎元 達郎他「下路および中路段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