

弾性固有値を用いた有効長さ手法による 下路式鋼アーチの面外座屈強度の算定

熊本大学 正 員 崎元 達郎 熊本大学 学生員 坂田 力
熊本大学 学生員 小堀 俊之

1. まえがき：著者らは、実橋に近い鋼アーチ系橋梁の面外座屈強度を有限変位弾塑性解析法を用いて求め、その挙動の直柱の座屈挙動との類似性より、アーチの有効長さを定義し、直柱の基準強度式に代入して、アーチ面外座屈強度を求める実用強度算定式を提案している¹⁾。一方、現行の道路橋示方書²⁾では、直柱の基準強度式を用いるのは上記の方法と同じであるが、アーチの有効長さは単一アーチの弾性座屈固有値より求めている。文献1)によると、道路橋示方書の方法で算定したアーチの座屈強度は、橋門開口部を有する下路式・中路式アーチ橋については、危険側の値となることが報告されている。本研究では、文献1)の指摘、示方書の照査方法が基礎にしている固有値が単一アーチのものであることに起因するのか、有効長さ手法そのものに問題があるのかを明らかにするために、より実橋に近い数値モデルに対する固有値を求めて、有効長さ手法を適用した結果と有限変位弾塑性解とを比較して、有効長さ手法の適用性について検討する。

2. 解析手法：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式のようになる。

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

ここで、 K_e は微小変位剛性マトリックス、 K_g は幾何学的剛性マトリックス、 α は固有値である。構造物に基準荷重 P_0 をかけた時の軸力を N_0 とし、座屈までの挙動を線形と仮定すると、弾性座屈時の軸力は次式より求まる。

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

ところで、対象構造物の代表断面と同一の断面を有する両端ヒンジ柱の座屈軸力は次のオイラーの式より求まる。

$$N_{cr} \cdot E = \pi^2 E I / l_e^2 \quad (3)$$

ここで、 $E I$ は曲げ剛性、 l_e は構造物の有効長さである。式(2)と式(3)を等置すると、構造物の有効長さ l_e は次式より求まる。

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

式(4)を用いて細長比パラメーター λ を次式より求める。

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \cdot \frac{l_e}{r} \quad (5)$$

ここで、 r は構造物の主部材の代表断面の断面二次半径である。次に、この λ を用いて道路橋示方書²⁾の柱の基準強度式より耐荷力を求め、これを構造物の耐荷力(終局応力度)とする。

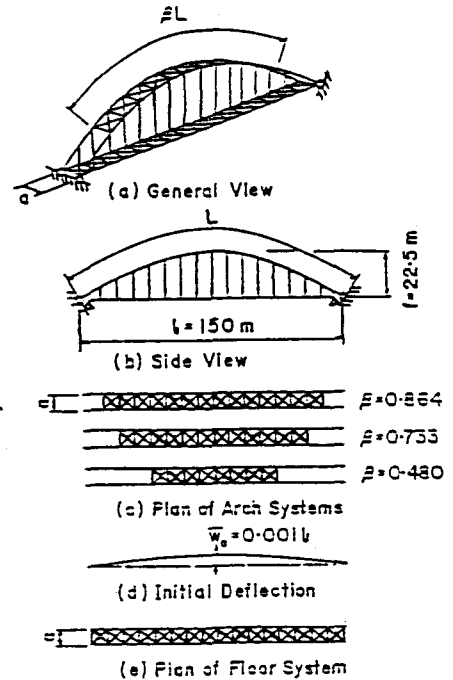


図-1 下路式アーチ橋の解析モデル

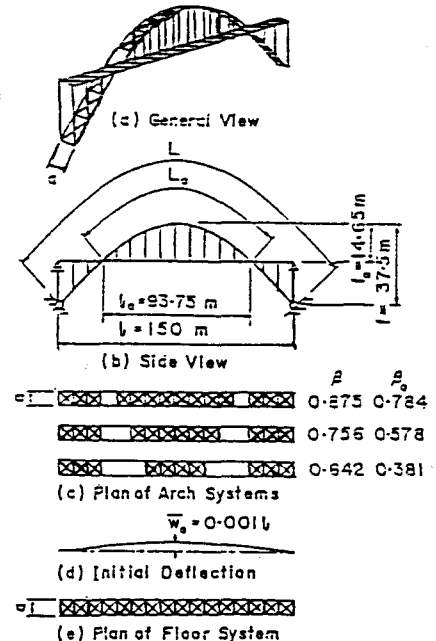


図-2 中路式アーチ橋の解析モデル

$$\left. \begin{aligned} \sigma_u / \sigma_y &= 1.0 & (\lambda \leq 0.2) \\ \sigma_u / \sigma_y &= 1.109 - 0.545 \lambda & (0.2 < \lambda \leq 1.0) \\ \sigma_u / \sigma_y &= 1.0 / (0.773 + \lambda^2) & (1.0 < \lambda) \end{aligned} \right\} (6)$$

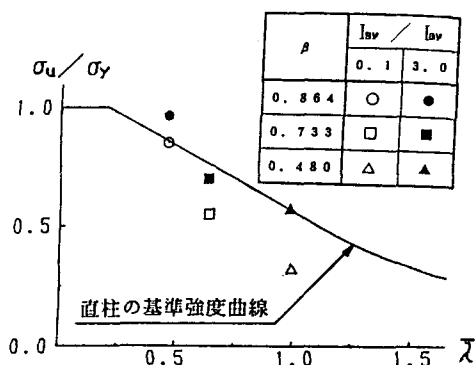
この基準強度式は、残留応力・初期たわみ等を考慮している
ので、求まった耐荷力は、対象構造物の弾塑性耐荷力の近似
値と考えられる。

3. 解析モデル：解析モデルは、図-1, 2に示す下路式と
中路式の2種類で、中路式においては橋面上部を下路式と考
える解析も行った。アーチ形状は、放物線とする。アーチリ
ブ間隔は5mに固定し、補剛率 β （横構によって補剛されて
いるアーチリブの長さのアーチリブ全長に対する比、図-1a
参照）をモデル図中に示すように変化させた。また、道路
桁全体の面外曲げ剛性 $E I_{sv}$ を2本のアーチリブを一体と考
えた面外曲げ剛性 $E I_{av}$ の0.1（リブアーチ橋に相当する）、
3.0（ランガー桁橋に相当する）倍と変化させた。荷重条
件は、橋面に等分布荷重が満載する場合を考え、解析では等
価な節点集中荷重として道路桁に作用させた。使用鋼材はす
べてSS41を想定する。有限変位弾塑性解析では、初期たわみ
と残留応力を考慮する。

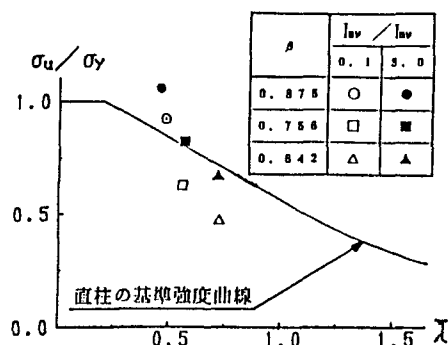
4. 解析結果と考察：図-3は有限変位弾塑性解析による耐
荷力 $(\sigma_u / \sigma_y)^{1)}$ を弾性固有値解析より求めた細長比パラメタ
(λ)の位置にプロットして示したものである。この図で、横
軸は細長比パラメタであり、縦軸は面外座屈強度を降伏応
力度で無次元化したものである。また、実線は直柱の基準強
度曲線であるが、現行示方書では、アーチの細長比パラメ
タが算定されれば、この曲線が示す強度を持つとして設計す
ることになる。下路式・中路式とも I_{sv} / I_{av} が3.0（ランガ
ー桁橋）の時はほぼ基準強度曲線に近い値を示しているが、
0.1（リブアーチ橋）の時にはかなり危険側を示している。
特に補剛率が小さいほど危険側である。これは、 I_{sv} / I_{av} の違
いにより細長比パラメタの計算値に差が生じないことによ
る。次に、図-3の(b)と(c)を見比べると、ほとんど
同じような結果を示しているので、中路式アーチ橋は橋面上
を下路式アーチ橋として解析してもよいのではないかと思わ
れる。図-4は、中路式アーチ橋の補剛率0.642の場合
の面外座屈モード図である。 I_{sv} / I_{av} が3.0と0.1とのモ
ードの差はほとんどなく、変形は補剛域ではほとんどなく、
無補剛域に集中している。

<参考文献>

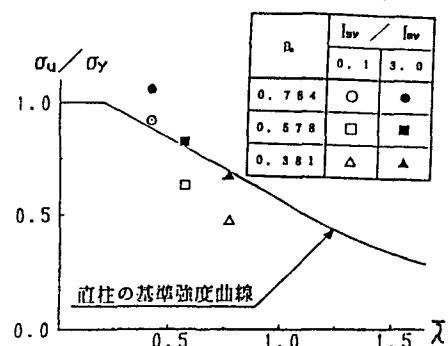
- 1) 崎元・鶴田・坂田 「下路式および中路式アーチ橋の弾塑性面外座屈強度」 構造工学論文集
V o 1. 34 A, 1988, 3 P P. 243-254
- 2) (社) 日本道路協会 「道路橋示方書・同解説」 昭和55年2月



(a) 下路式アーチ橋 (図-1)



(b) 中路式アーチ橋 (図-2)



(c) 図-2の橋面上部を下路式アーチとして計算した場合

図-3 有限変位弾塑性解析との比較
 $\beta = 0.642$

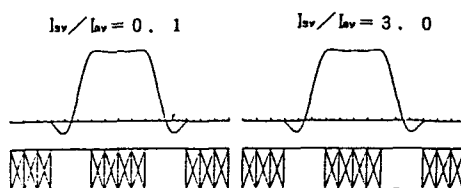


図-4 面外座屈モード図