

I-89 有効長さ手法を用いたアーチ構造物の面外座屈耐荷力の算定

熊本大学 正 買 崎元 達郎
 (株)大成建設 正 買 植田 堅朗
 熊本大学 ○学生員 上月 裕
 熊本大学 学生員 伊藤 彰

1) まえがき：構造物の弾塑性耐荷力は、¹⁾「有限変位弾塑性解析」により算定することができる。しかしながら、この計算は、かなりの時間と費用が必要であるため実際の設計に直接用いるのは現在のところ適当ではないと考えられる。従来より、道路橋示方書、及び、DIN 4114 においては、弾性固有値解より定めたアーチの有効長さを直柱の基準強度式に用いて、アーチの面外座屈照査を行って来たが、アーチそのものとしての弾塑性耐荷力と比較検討することはなされなかった。そこで本論は、弾性固有値解より定めた有効長さを用いて、弾塑性耐荷力の近似解を算定し（以下、「有効長さ手法」と呼ぶ）、これと、有限変位弾塑性解析により直接求めた耐荷力と比較し、有効長さ手法の妥当性と限界を検討する。²⁾

2) 解析手法：構造物における座屈条件は、次式で表わせる。

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

K_e ：微小変位マトリックス U ：変位ベクトル

K_g ：有限変位マトリックス α ：固有値

上式を解いて得られる最小の固有値 α_0 と、代表断面 A_0 と、代表軸力 N_0 がわかれば、その構造物の有効長さは次式で表わされる。

$$l_e = \pi \sqrt{EI / \alpha_0 N_0} \quad (2)$$

一方、有効細長比は

$$\lambda = 1/\pi \sqrt{\sigma_y / E} l_e / r \quad (3)$$

②式を、③式に代入して

$$\lambda = \sqrt{A_0 \sigma_y / \alpha_0 N_0} \quad (4)$$

この λ を用いて、示方書の両端ヒンジ柱の基準耐荷力曲線より耐荷力を求め、これを構造物の耐荷力とする。この基準耐荷力曲線は、材料の降伏（塑性）、溶接残留応力、初期たわみ等を考慮しているので、求めた耐荷力は弾塑性耐荷力の近似解と考えられる。以下の例に有効長さ手法を適用する際、代表軸力として、アーチ支点の軸力、代表断面としては、等断面では支点断面を、変断面では各断面部材の長さにあたる平均値として与えられる断面を用いた。

3) 解析結果

① 単弦ローゼ桁橋：解析モデルの寸法諸元を（図-1）に、各部材の断面形状と仮定した残留応力分布を（図-2）に示す。また、材質は全てSS41とした。有限変位弾塑性解析に関しては、最大値が $1/1000$ の正弦半波の面外初期たわみを仮定した。（図-3）は吊材剛性 ih をパラメーターとして解析した耐荷力曲線で、縦軸は終局応力 σ_u を降伏応力 σ_y で割って無次元化したもの、横軸は細長比 λ/r である。

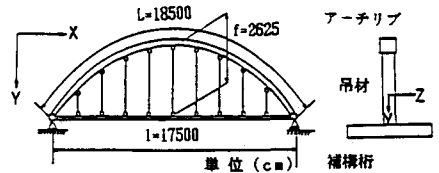


図-1 単弦ローゼ桁橋の解析モデル

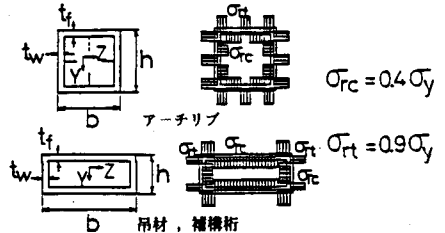


図-2 単弦ローゼ桁橋の断面及び、残留応力

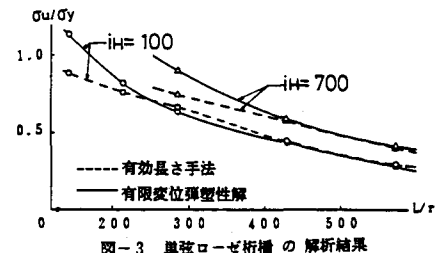


図-3 単弦ローゼ桁橋の解析結果

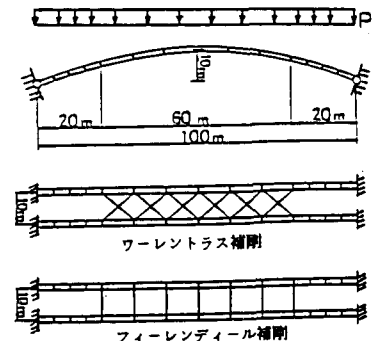


図-4 等断面2ヒンジ複弦鋼アーチの解析モデル

ここに⁴⁾

$$\dot{L}_H = \frac{I_{yh} L^3 l}{I_{ya} f^3 l p} \quad (5)$$

(I_{yh} : 吊材の面外曲げ剛性 I_{ya} : アーチリブの面外曲げ剛性
(L : アーチリブ部材長 l : スパン f : ライズ p : 吊材間隔)
(図-3)より明らかなように、有効長さ手法は弾塑性解に対して良い近似解を示している。しかしながら、 $\dot{L}_H$ が小さい時や、 L/f が大きい時は、わずかではあるが危険側に、 L/f が250より小さい時には、安全側に出すぎる傾向がある。

8) 等断面2ヒンジ複弦鋼アーチ: 解析モデルは、(図-4)に示すような2タイプの補剛形式のものとする。各部材の断面形状と仮定した残留応力分布を(図-5)に示す。また、材質は全てSS41とした。有限変位弾塑性解析に関しては、最大値が $\frac{1}{1000}$ の正弦半波の面外初期たわみを仮定した。(図-6)は、ワーレントラス補剛について、トラス部材の細長比 λ_B をパラメータとして解析した結果である。(図-7)は、フィレンディール補剛について、アーチリブ1本の y 軸まわりの断面2次モーメント(I_y)と、桁の y 軸まわりの断面2次モーメント(I_b)の比をパラメータとして解析した結果である。これらの図より明らかなように有効長さ手法は、弾塑性解によく対応している。 L/f が小さい時、多少安全めに評価する傾向がある。

C) 変断面2ヒンジ複弦鋼アーチ: 解析モデル、及び、各部材断面は、(図-8)、(図-9)に示す様なワーレントラス補剛のアーチとする。また、材質は、アーチ部をSM50、ワーレントラス補剛をSS41とした。解析結果を(図-9)に示す。グラフの縦軸には σ_u/σ_y を、横軸には補剛長 β をとった。 β の大きな領域で耐荷力が増加しないのは構成部材の強度でアーチ全体の耐荷力が支配されるためであり、この傾向と、有効長さ手法の結果は対応している。

4) まとめ: 以上の結果より、今回用いたモデルに関しては、有効長さ手法によって面外座屈耐荷力を求めることができる。今後は、より複雑なアーチ構造物や、実橋に近い荷重形式等について、この手法の適用範囲や問題点を明らかにして行きたい。

参考文献: 1) S. Komatsu and T. Sakimoto; "Nonlinear Analysis of Spatial Frame" 土木学会論文報告集 No.252, 1976. PP43-157
2) 崎元, 植田, 伊藤, 上月; "弾性固有値解を用いた" 土木学会西部支部研究発表会概要集 PP78-79, 1985.2 3) 道路橋示方書

4) S. Komatsu and T. Sakimoto; "Ultimate Strength Formula for Central-Arch-Girder Bridge" PROC. OF JSCE No.333 May, 1983 PP183-188

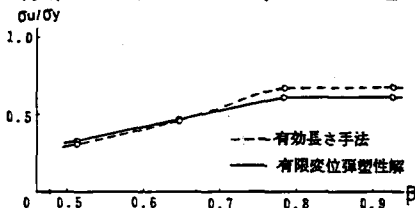
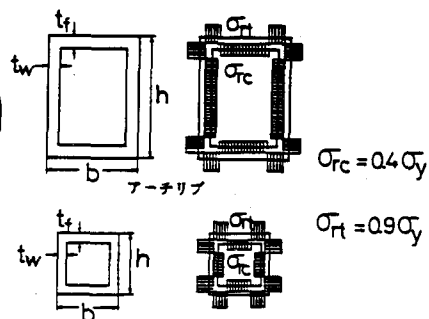


図-9 変断面2ヒンジ複弦鋼アーチの解析結果



ワーレントラス補剛, フィレンディール補剛
図-5 2ヒンジ複弦鋼アーチの断面及び、残留応力

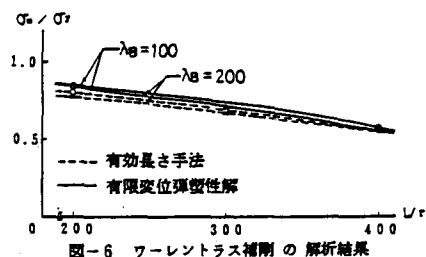


図-6 ワーレントラス補剛の解析結果

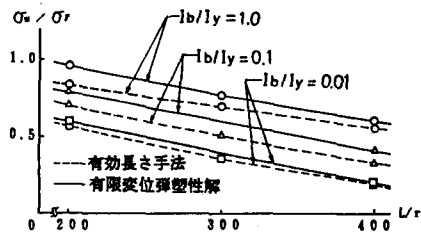


図-7 フィレンディール補剛の解析結果

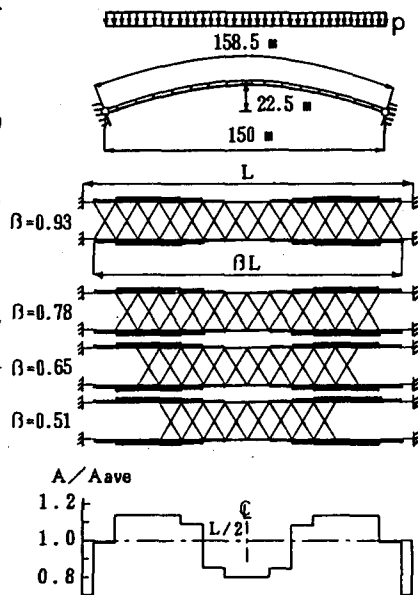


図-8 変断面2ヒンジ複弦鋼アーチの解析モデル