

熊本大学 正会員 崎元達郎
 熊本大学 正会員 山尾敏孝
 大阪大学 正会員 小松定夫

1) まえがき: 下路複弦鋼アーチが、漸増面内等分布荷重を受けて面外変形を生じ、強度を失う場合の耐荷力算定法については、参考文献りにすでに報告した。本報は、一定の死活荷重に相当する面内等分布荷重を受けている箱形断面複弦アーチの、水平横荷重に対する面外耐荷力を算定する方法について述べる。基礎となった有限変位立体弾塑性解析の結果を以下に要約する。²⁾³⁾ a) 横力によるリブの面外曲げモーメントは、起拱矢及び橋門部で大きく、降伏域もこの部分に発達する。b) リブが閉断面の場合は、リブのねじりモーメントは小さく、降伏及び面外耐荷力に及ぼす影響は無視できる。c) リブの面外細長比が 180~350 のアーチで、横構部材の剛性が小さい場合は、横構の早期座屈がアーチの面外耐荷力に大きな影響を及ぼす。d) 横構部材が充分剛な場合、面外耐荷力は、横構の剛性にはほとんど影響されず、リブ脚部の早期降伏による剛性低下に大きく影響される。e) 橋門部に設けられる横ばりは、横構座屈時の全体崩壊を防止し耐荷力を増加させる効果を持つ。以上の結果を基礎に、まず横構の断面決定法を述べ、次に、アーチ起拱矢の直た力度と面外耐荷力の関係より、面外耐荷力の実用算定式を提案する。

2) アーチを水平面に展開した骨組の断面力: 算定式に用いる断面力をあらかじめ計算しておく。図-1(a)に示すように、立体的アーチを水平面に展開した平面骨組が横力 q を受ける場合を考える。端部 2 パネルより中央部の曲げモーメントを無視し、図-1(b) のように分解し、各節点でのたわみ角の連続条件を用いて解くと、

$$M_1 = -\frac{3k_3+1}{6k_3+1} Q_1 l_1 - \frac{4k_3+1}{12k_3+2} q l_1^2 + \frac{1}{6k_3+1} M_3 \quad (1)$$

$$M_3 = \frac{4k_2(3Q_1 l_1 + q l_1^2)}{7+24k_2+42k_3} - \frac{6(6k_3+1)}{(7+24k_2+42k_3) \sin \alpha \cos^2 \alpha} \left(\frac{5Q_1}{A_1} - \frac{Q_2}{A_2} \right) \frac{I_2}{l_p} \quad (2)$$

ここに $k_2 = \frac{I_2 l_1}{I_1 l_p}$, $k_3 = \frac{I_3 l_1}{I_1 a}$, $l_1 = \frac{1-\beta}{2} L$, $Q_1 = \frac{q\beta}{2} L$, $Q_2 = Q_1 - q l_p$

3) 横構部材の軸力の算定: アーチの任意断面でのせん断力のつり合い条件式は、図-2 を参照して次式のようになる。

$$Q_t = Q' - Q_r \quad (3)$$

ここで、 Q_t は、横構部材の軸力 D のせん断成分で $Q_t = 2D \cos \alpha$ 、 Q' は、パネルせん断力で端パネルの場合、近似的に、 $Q' = q l_p / 2$ 、 Q_r は、リブのせん断力で、端パネル内での面外曲げモーメント勾配を M_d 、パネル間隔を l_p とすると、 $Q_r = dM/dx \approx -M_d/l_p$ となる。これを式(3)に用いると、例えば端パネルの横構部材の軸力 D は、

$$D = \frac{1}{2} Q_t \sec \alpha = \frac{1}{2} (Q' - Q_r) \sec \alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{q}{2} l_p + \frac{M_d}{l_p} \right) \sec \alpha \quad (4)$$

となる。ここで、 M_d は上記の平面骨組の曲げモーメントで近似して、

$$M_d \approx M_3 - M_5 = \frac{5}{4} M_3 - \frac{3}{2 \sin \alpha \cos^2 \alpha} \left(\frac{Q_1}{A_1} - \frac{Q_2}{A_2} \right) \frac{I_2}{l_p} \quad (5)$$

で与えられる。慣用の横構部材の設計に於ては、安全側と考えると、式(4)

で、 Q_r を無視し、 $D' = \frac{q}{2} l_p \sec \alpha$ 等とするのが普通である。ところが、 Q_r は、負になることが多く、

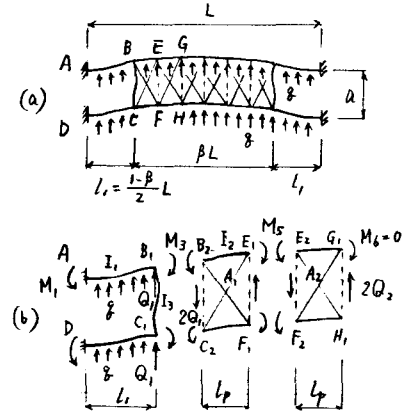


図-1 アーチを水平面に展開した骨組

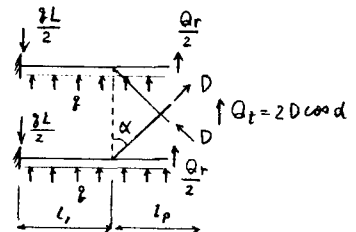


図-2 パネルせん断力のつり合い

これを無視することは一般に危険側で、特に橋門横ばりの面外曲げに対する剛性が充分でない場合、横構部材の軸力の算定に大きな誤差を生じ、早期座屈及び全構造の耐力力の減少の原因となる可能性がある。式(4)ではリブと横ばりの剛比、横構の部材断面積を仮定する必要があるが、軸力 D が計算されると、現示方書の柱の基準耐力式等により、妥当な安全率のもとに設計できる。式(4)による算定軸力は、種々の極端なモデルに対する立体解析結果とも $+20\% \sim -10\%$ の範囲で一致する。慣用法、提案式、解析値の比較の一例を図-3に示す。

4) 面外耐力力実用算定式：種々のパラメーターを変化させた場合の立体弾塑性耐力力解析の結果³⁾を、基準横力 g_0 を受ける時の起拱矢の最大直た力度 σ_s と面外耐力力 $\bar{g} = g_u/g_0$ で整理すると図-4が得られ、これらのプロットに対する安全側の包絡線を定めると次式を得る。

$$\bar{g} = \frac{1.4}{\sigma_s - 0.15} - 0.46 \quad (6)$$

ここに、 $\sigma_s = \sigma_s/\sigma_y$ 、 $\bar{g} = g_u/g_0$ 、 g_u = 最大横荷重 である。

基準横力 g_0 として、ここでは、風速 50 m/sec の風荷重をとっているが、基準横力 g_0 が変っても、式(6)の関係は近似的に保たれるので、任意の荷重 g_0 に対する安全率が式(6)の $\bar{g}$ で与えられる。 σ_s は圧縮の時正とする。

5) 起拱矢の最大直た力度の算定：起拱矢の最大直た力度 σ_s が計算で簡易かつ正確に算定できれば、式(6)は有用な式となる。面内鉛直等分布荷重 p と水平等分布荷重 g を受けるアーチの起拱矢の最大直た力度 σ_s は、平均軸圧縮力 σ_n 、複材としての面外曲げによる応力 σ_d 、及び個々のリブの面外曲げ応力 σ_b の和と考えてよい。すなわち、 $\sigma_s = \sigma_n + \sigma_d + \sigma_b$ (7) ここで、 σ_n は面内等分布荷重 p に対する直反力 N をリブの断面積 A で除して、 $\sigma_n = \frac{1}{2A} \sqrt{\frac{1}{16} \left(\frac{l}{f}\right)^2 + 1} pl$ (ここに l =スパン、 f =ライズ) (8)

σ_d は、面外等分布荷重 $2g$ を受ける中心角 θ の円弧曲りばりの固定端モーメント M_c ⁴⁾を用いて、 $\sigma_d = \frac{-M_c}{A_d} \cdot \beta$ (9)

ここに、

$$M_c = \frac{1 - \frac{\theta}{\sin \theta} + (2 - \theta \cot \frac{\theta}{2}) \cdot \frac{l}{2}}{1 + \frac{\theta}{\sin \theta} - l} 2gR^2, \quad l = \frac{2f}{1+j}, \quad j = \frac{E(A_d^2 + I_y)}{GI_x}$$

β = 補剛係数(係数)(係数), R = 半径, I_x, I_y = リブのねじり, 曲げ剛性。

最後に σ_b は、先に求めた M_1 を用いて、 w_y をリブの断面係数として、 $\sigma_b = \frac{-M_1}{w_y} \cdot m$ (10) ことに $m = \frac{N_e}{N_e - N}, N_e = \frac{\pi^2 EI_y}{(\frac{l}{2})^2}$

m は、梁-柱理論より求められる軸力に対する補正係数である。以上の式(7)~(10)で求めた σ_{se} と立体解析から得られた σ_{sc} の比較を図-5に示す。

軸力が非常に大きな例で 15% 程度危険側の算定となるが、一般に良い一致を示す。したがって、式(6)を用いて、複雑な立体アーチの面外耐力力(安全率)の近似値が、容易に算定できる。

- 1) 崎元・山屋・中村「鋼リブアーチの面外座屈耐力力実用算定式」西部支部研究発表会講演集 S53-2-26 於九産大
- 2) 崎元・宮王・嶋「複弦鋼アーチの面外耐力力について」西部支部研究発表会講演集 S52-2-27 於九工大
- 3) 崎元・五嶋・小松「水平横荷重を受ける複弦鋼アーチの面外耐力力について」第32回年講概要集 S52-10 於神戸大
- 4) 岡本・鈴三「軸線を含む面に垂直なる荷重を受ける円形曲り梁の研究」土木学会誌・第29巻第3号、S18-3

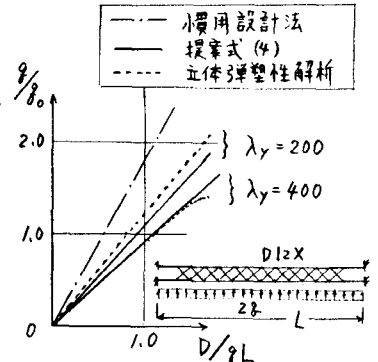


図-3 横構部材軸力の算定精度

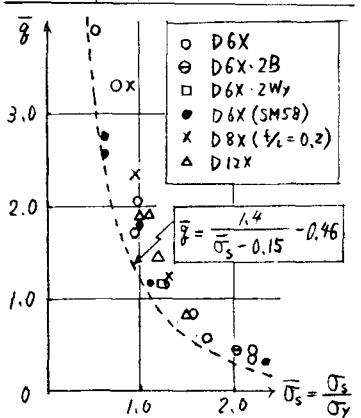


図-4 面外耐力力 $\bar{g} = g_u/g_0$

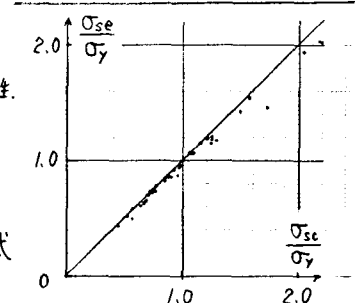


図-5 起拱矢最大た力度の算定精度