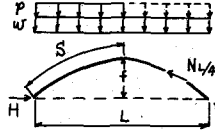


熊本大学 正員 ○ 崎元達郎
山尾敏孝
大成建設 中村健次

- 1) まえがき: 本報では、著者らが先に提案した鋼リブアーチの面外座屈に対する実用算定式の適用範囲の検討を行い、さらに、新家らが提案している面内耐荷力実用算定式²⁾と著者らの面外耐荷力実用算定式を、慣用の許容応力度法によって設計したアーチ橋に適用し、アーチの全体座屈に対して合理的な安全率を確保する為に必要な実設計上の指針について検討した。なお、表-1について、神戸製鋼所 新家 徹氏の有益な御意見をいただいた。
- 2) 耐荷力実用算定式と現行道路橋示方書座屈規定のまとめ: 記号をできるだけ示方書に合わせ、許容応力度設計法の立場で、各式をまとめると下記の表-1のようになる。詳細は、各参考文献を参照されたい。

基準耐荷力式 (σ_{cr} の算出)							A_g = H側アーチ部材の総断面積のアーチ部材の長さに対する平均値 $I(I_x)$ = アーチ部材断面の水平(鉛直)軸まわりの断面二次モーメントのアーチ部材の長さに対する平均値。 p = 衝撃を含む等分布活荷重, w = 等分布死荷重
$\sigma_{cr}/\sigma_y = 1 - 0.136 \bar{\lambda} - 0.3 \bar{\lambda}^2 \quad (\bar{\lambda} \leq 1.0)$							
$\sigma_{cr}/\sigma_y = \frac{1}{0.773 + \bar{\lambda}^2} \quad (\bar{\lambda} > 1.0)$							
崩壊様式	式分類	照査応力 σ_w	許容応力 σ_{ca}	安全率 γ	有効細長比 $\bar{\lambda}$	記号の説明	
面内	通示 ³⁾	$\frac{H}{A_g}$	$\frac{\sigma_{cr}}{\gamma}$ ($\gamma \geq 1.7$)	$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_w}$	$\frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{\mu \beta_y S}{r}$	σ_y = L/4 点の鋼種の降伏応力度 μ = p 荷重半載に対する低減係数, 満載の時 1.0, 半載の時 $(1 - 0.5 \sqrt{\frac{p}{w}})^{1/2}$ β_y = 支支の面内拘束条件, $\pm/L$, 補剛桁の有無等に関する係数 $r = \sqrt{I/A_g}$ (断面=次半径)	
	新家 ²⁾	$\frac{N_{L/4}}{A_g}$	$\mu' \frac{\sigma_{cr}}{\gamma}$ $\mu' \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_w}$	$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_w}$	$\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{1}{\sqrt{70} r}$	σ_y = 各鋼種の降伏応力度のアーチ部材の長さに対する平均値 μ' = p 荷重半載に対する低減係数 = $1 - C \sqrt{\frac{p}{w}}$ (C の中に鋼種, $\pm/L$, 支支の面内拘束条件の影響を含む), $r = \sqrt{1 + 4(\pm/L)^2}$, $r = \sqrt{I/A_g}$, α = 等分布荷重満載時の弾性分岐座屈係数 (通示・表解 11.4.1 による)	
面外	通示 ³⁾	$\frac{H}{A_g}$	$\frac{\sigma_{cr}}{\gamma}$ ($\gamma \geq 2.0$)	$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_w}$	$\frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{\phi \beta_z L}{r}$	σ_y = L/4 点の鋼種の降伏応力度。 ϕ = 橋面の位置 (上路, 中路, 下路) による荷重方向の影響を補正する係数 β_z = $\pm/L$ と断面二次モーメント I_x の長さ方向変化とに関する係数 $r = \sqrt{\{I_x + A_g(b/2)^2\}/A_g}$, b = アーチ軸線の間隔	
	提案式 ¹⁾	$\frac{N}{A_g}$	$\frac{\sigma_{cr}}{\gamma}$ $\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_w}$	$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_w}$	$\frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{\phi k_c k_p S}{r}$	σ_y = 使用した鋼種中の最小の降伏応力度 ϕ = 橋面の位置による荷重方向の影響を補正する係数 k_c = 支支の面外拘束条件に関する係数, 固定の時 0.5, ヒンジの時 1.0 k_p = 横構により補剛されている程度に関する補正係数, $r = \sqrt{I_x/A_g}$	

- 3) 面外耐荷力実用算定式(提案式)の適用範囲の検討: 橋面の位置による荷重方向の影響として、鉛直荷重に対しては、以前に報告した¹⁾が、橋面の面外変位が拘束される下路の場合は、 $\phi' = 0.65$ (示方書の式、 $\phi = 1 - 0.35k$ で $k = 1.0$ とした値に相当する)として提案式が適用できる事を、図-1に示す。さらに、図-2に示すようなハイブリッドアーチの場合も、図-3に示すように、提案式は安全側の良い値を与える。この時、 σ_y を使用した鋼種中の最小の降伏応力度とするかわりに、降伏応力度の長さに対する平均値とすると、 $\bar{\lambda} < 1.0$ の領域で危険側の推定値になるので注意を要する。図-4に示すような代表的な変断面2-ヒンジア-4については、図-5に示すように、 $\bar{\lambda} \geq 1.0$

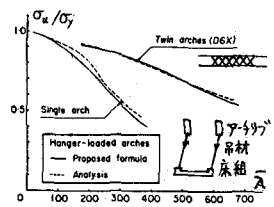


図-1 荷重方向の影響

の領域で良い値を与えるが、 $\lambda \leq 1.0$ の stocky なアーチでは、パネル間での局部座屈により、構造全体としての耐荷力は頭打ちする。アーチ部材は、パネル間での局部座屈に対しても、合理的な安全率を確保する必要があるが、 $\lambda \leq 1.0$ の領域では、特に注意を要する。パネル間での局部座屈が全体の崩壊に先んじる目安としては、固定点間距離 l_0 のアーチ部材を両端ヒンジ柱と考えた場合の有効細長比が、アーチ全体としての有効細長比より大なる条件として $l_0/r_0 > \phi k_0 K_p (2S/r) / t$ が得られる。

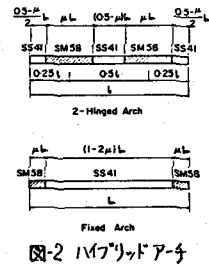


図-2 1バッド・2バッドアーチ

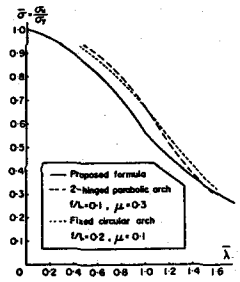


図-3 1バッドアーチの耐荷力

4) 面外耐荷力算定式の許容応力度法による設計例への適用：表-2に示す設計条件下で、箱型断面リブの中ば、高さ h を変化させて、慣用の許容応力度法により、1000橋余りの設計例を作製し（この時、アーチ部材の座屈長はパネル長とし、変形の影響は考慮していない）、面外座屈の照査として、提案式と道示の規定を適用し、安全率について比較したものを図-6、7に示す。図-6は、アーチリブ断面の中ばに対する面外座屈安全率 β の変化を示している。中ばが小さくなると、道示提案式（補剛率 $\beta=0.8$ ）とも、予想に反して、安全率が大きくなるのは、中ばの減少と共に、部材の細長比が大きくなり、断面決定の際の許容応力度が低くおさえられるので、断面積の増加が顕著なため剛性の低下を補って余りあるからである。提案式で補剛率 $\beta=0.6$ の場合は、上述の効果より、曲げ剛性の低下の影響が大きく、安全率も低下する。図-7は、補剛率 β の安全率に及ぼす影響を示したものであるが、道示規定は、補剛率を考慮できる表現でない為、 β の変化に対しては変化せず、一定の高い安全率を与える。提案式は、 $\beta=1.0$ （全支間にわたって横構がある）の場合に道示規定に近づくが、補剛率 β の減少とともに安全率も減少する。しかし、下路で吊材荷重の場合、通常の補剛率（ $\beta=0.6 \sim 0.9$ ）を有するならば、面外耐荷力については、充分安全である事が解るので、補剛率の無い複材リブアーチ橋では、面内耐荷力に注意を払うべきであろう。

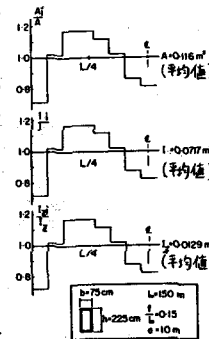


図-4 2ヒンジ複材アーチの断面変化

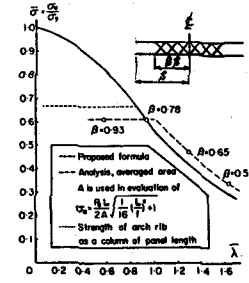


図-5 変断面アーチの耐荷力

表-2 許容応力度法設計例の条件

Item	Properties
Type	2-hinged solid-rib arch
Class	1-st class
Design load	TL-2C
Span length	100 m, 150 m, 200 m
Rise-to-span ratio	0.1, 0.15, 0.2
Roadway width	6.5 m (2-lanes)
Side-slope width	2 @ 0.9 m
Distance of twin ribs	10.0 m
Panel distance	10.0 m
Used material	SM50 ($\sigma_f=3200 \text{ kgf/cm}^2$)
Applying specification	Japanese Specification for Highway Bridges (1973)

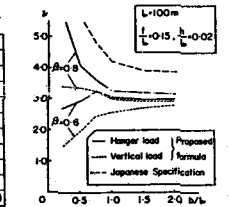


図-6 断面中ばに対する安全率の変化

5) 基本設計におけるアーチ部材断面寸法決定の指針： 上述の1000橋余りの設計例の範囲ではあるが、面内耐荷力、面外耐荷力に対して、それぞれの提案式で、安全率 $\beta \geq 1.7$ が得られるようにアーチ部材の断面寸法を決定するには、基本設計の段階では次式を満足する寸法を与えれば良い事が解った。ただし、荷重方向は鉛直とし、死活荷重比は0.3である。また、横力を受ける場合の面外耐荷力とアーチ部材の中ばとの関係は考慮していない。

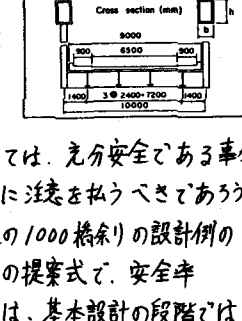


図-7 補剛率 β に対する安全率の変化

アーチ部材高さ $h(m)$: $h/L \geq 0.025 + 0.01(L/L_0) - 0.1(f/L)$ ここに L = 支間 (m), f = 拱矢 (m)
 面内細長比 $\lambda = 2S/r$: $\lambda \leq 80 + 45(L_0/L) + 100\sqrt{(f/L) - 0.1}$ $L_0 = 100 \text{ m}$, β = 補剛率 (横構等)
 アーチ部材中ば $b(m)$: $b/L \geq 0.01 [1.4 + 0.2(L/L_0) - (f/L) - \beta]^2$ で補剛されておらずのアーチ全体に対する

- 1) 崎元・山尾・中村「鋼リブアーチの面外座屈耐荷力実用算定式」§52年度西部支部研究発表会講演集、P27, S53.2.26
- 2) 小松・新家「アーチの面内耐荷力の実用算定式について」土木学会論文報告集 P39-P52, No. 267, 1977-11.
- 3) 日本道路協会『道路橋示方書・同解説』§48.2, P280 ~ P288.