

東北大学 正員 ○矢吹 哲哉
東北大学 正員 倉西 茂

I. まえがき

鋼アーチ橋の極限強度について、着者等は既に広範囲に亘って数多くの研究をしてきており、その特性を明らかにしてきた。ここでは、これらの結果より、極限強度に基づいた鋼アーチの設計式の導出を行った。

実用設計式の観点からすれば、設計式は、たとえその表現が多少複雑になったとしても、1次解析による断面力で強度照査が出来るよう式示されるのが望ましい。そこで、ここでは、1次解析による断面力を用いたアーチの面内極限強度の照査式を、着者等がこれまでに行った極めて多くの極限強度解析結果を統計的な手法を用いて処理することにより、導出することとする。又、許容応力度についても述べる。さらに、本設計式の補則アーチ橋への適用法についても述べる。

II. 強度照査式の導出

先ず、アーチの応力上極めて厳しい個所であるアーチ主桁1/4点での断面力により強度照査する設計式の導出を行う。図-1に示したような極限荷重 q_{max} を受けるアーチについて、1次解析によって算定したアーチ主桁1/4点での軸力 N_{max}^{1st} と曲げモーメント M_{max}^{1st} の相関関係（代表的な例を図-2に示す）を検討した。その結果より、アーチの面内強度照査についての設計式を次に示すような式の形で表現することとする。

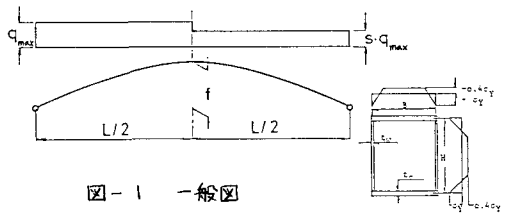


図-1 一般図

《 解析範囲 》

$$S = 0 \sim 0.99, \quad f/L = 0.1 \sim 0.3, \quad \lambda_{IN} = 100 \sim 300$$

$$\sigma_Y = 240 \text{ MN/m}^2 \sim 360 \text{ MN/m}^2$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{N_{max}^{1st}}{N_Y} > n_{CR} : \frac{N_{max}^{1st}}{N_Y} + (V_1 \frac{M_{max}^{1st}}{M_Y})^2 &= V_2 \\ \frac{N_{max}^{1st}}{N_Y} \leq n_{CR} : \frac{N_{max}^{1st}}{N_Y} + \bar{V}_1 \frac{M_{max}^{1st}}{M_Y} &= \bar{V}_2 \end{aligned} \right\} \textcircled{1}$$

これまでに行った全ての極限強度解析結果を①式に代入して、回帰分析による統計処理を行い、各定数を細長比 λ_{IN} 、ライズ・スパン比 f/L 及び降伏点応力度 σ_Y のパラメータで関数表示した。その結果を以下に示す。

$$n_{CR} = 0.32 - \bar{\lambda}^2/80, \quad \bar{\lambda} = \lambda_{IN}/\pi \cdot \sqrt{\sigma_Y/E} \quad V_1 = \bar{\lambda} \{ B_0 - B_1 N_{max}^{1st}/N_Y + B_2 (N_{max}^{1st}/N_Y)^2 \} / (1 - N_{max}^{1st}/N_Y)$$

$$B_i = (b_{i0} + b_{i1}\bar{\lambda} + b_{i2}\bar{\lambda}^2)^2, \quad b_{ij} = (\text{表-1}), \quad V_2 = K [1.459 - 0.428\bar{\lambda} + 0.034\bar{\lambda}^2 - (2.453 - 1.258\bar{\lambda} + 0.189\bar{\lambda}^2) f/L]$$

$$K = 1.176 - 0.808\sqrt{E/\sigma_Y} \times 10^{-2}, \quad \bar{V}_1 = n_{CR}/(\bar{M}_0 - \bar{M}_n), \quad \bar{V}_2 = 0.98 \bar{V}_1 \bar{M}_0$$

$$\bar{M}_0 = 1.28 - 0.084\bar{\lambda} - (0.56 - 0.20\bar{\lambda}) f/L, \quad \bar{M}_n = \sqrt{V_2 - n_{CR}} / V_1 (N_{max}^{1st}/N_Y = n_{CR})$$

①式で与えられた極限強度照査式の精度を検討するために解析値との比較を行った。その結果の一部を図-3及び表-2に示す。表-2は鉛直分布荷重に加えて、導示の線荷重相当の集中荷重をアーチ1/4点に載荷した場合を本設計式に適用した結果を示している。これより本設計式によればこの集中荷重の影響は安全側に評価されることが分った。ここで行った解析範囲では、本提案式と解析値との差は最大で安全側に6.3%、危険側に5.2%であり、全解析例中の90%強の場合について本提案式は安全側の強度評価を与えた。

次に、許容応力度による照査式の導出を行う。許容応力度で強度を評価する場合は、断面寸法の影響を考慮して、次式を用いて行えばよい。

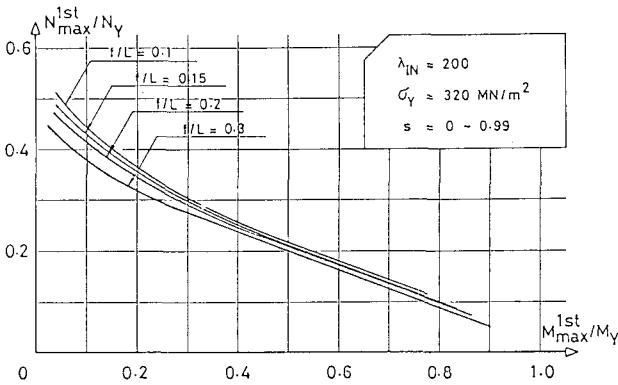
$$\sigma_{ca}/\sigma_Y = N_{max}^{1st}/N_Y, \quad \sigma_{ba}/\sigma_Y = M_{max}^{1st}/M_Y \cdot t^*/t \quad \text{--- ②}$$

ここに N_{max}^{1st} , M_{max}^{1st} は①式で算定することが出来る。 λ^*/λ は標準断面と一般断面の核半径の比を表わす。表一三に、許容応力度照査式の精度を検討した結果の一部が示されている。表中の結果からも②式により一般断面の許容応力度を実用上十分な精度で照査することが出来ると言えよう。

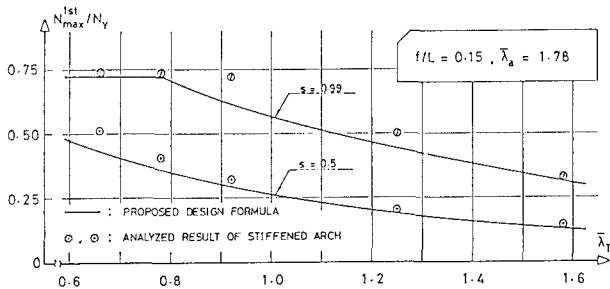
Ⅲ. 補剛アーチ橋への適用

本提案式は、補剛アーチ橋の細長比を表わす全体細長比 λ_T と補剛アーチ橋全体として支間長の $1/4$ 点に作用する曲げモーメント M_{AG} を用いることにより、補剛アーチ橋の強度照査にも適用することが出来る。

即ち、①式中の λ_{IN} のかわりに $\lambda_T = L/\sqrt{(I_a + I_g)/A_a}$ (I_a = アーチリブ断面2次モーメント, I_g = 補剛桁断面2次モーメント, A_a = アーチリブ断面積), 又 M_{max}^{1st}/M_Y のかわりに $M_{AG}/M_{YY} = (M_A + M_G)/(M_{YA} + M_{YG})$ を代入すればよい。(M_A, M_G = アーチリブ及び補剛桁の $1/4$ 点での曲げモーメント, M_{YA}, M_{YG} = アーチリブ及び補剛桁断面の降伏曲げモーメント) 補剛アーチに本設計式を適用した結果の一部を図一四に示す。本解析範囲では、平均で10%弱の安全側評価となり、又全解析例中の94%に対して安全側の評価を与えた。



図一四 $N_{max}^{1st} - M_{max}^{1st}$ の相関関係

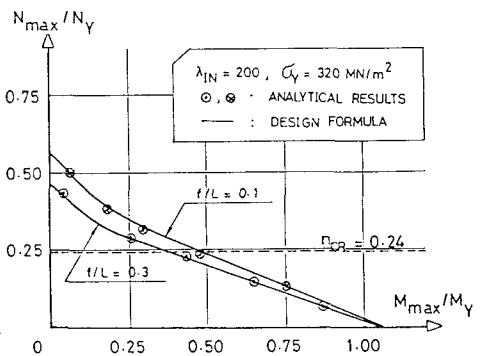


図一五 補剛アーチに適用した場合

表一四 断面強度照査式の精度の検討 (橋中荷重を適用した場合)

s	λ_T	N_{max}^{1st}/N_Y	M_{max}^{1st}/M_Y	N_{max}^{1st}/N_Y	λ_T	λ_T^*	λ_T^{1st}	$\lambda_T^{1st}/\lambda_T$
0.5	1.24	0.719	0.821	0.323	0.814	0.779	0.908	1.187
	2.48	0.715	0.754	0.158	0.408	0.423	0.485	1.099
	3.73	0.726	0.540	0.050	0.203	0.198	0.720	1.114
0.75	1.24	0.801	0.586	0.479	1.052	0.803	0.850	1.078
	2.48	0.814	0.522	0.237	0.408	0.423	0.484	1.073
	3.73	0.829	0.510	0.130	0.203	0.198	0.252	1.283
0.99	1.24	1.000	0.120	0.746	1.000	0.779	0.810	1.016
	2.48	0.978	0.077	0.471	0.687	0.532	0.558	1.048
	3.73	0.988	0.047	0.243	0.312	0.249	0.321	1.195

備考 $f/L = 0.15$, $\sigma_Y = 320 \text{ MN/m}^2$, $Q_k = 5h(1 - \alpha)q/0.3L$



図一六 本設計式と解析値との比較

表一五 λ_{13} の値

f/L	$f/L \leq 0.2$		$f/L > 0.2$	
	λ_{13}	β	λ_{13}	β
0.0	-2.02	1.63	-1.06	1.44
	2.04	-0.98	0.90	-0.57
	-0.86	0.23	-0.17	0.10
0.1	-5.94	2.77	-4.31	2.45
	12.3	-3.25	4.77	-1.74
	-3.70	1.01	-0.91	0.45
0.2	-14.6	4.29	-6.63	2.67
	24.8	-6.06	7.06	-2.52
	-6.87	2.01	-1.11	0.85

備考 $\lambda_{13} = \lambda(f/L) + \beta$

表一六 $\sigma_{13} = \frac{M_{max}^{1st}}{M_{max}^{1st}/M_Y}$ の解析値 ($f/L = 0.15$)

λ_{13}	1.0	1.5	2.0	2.5	σ_{13}	σ_{13}^*
0.343	0.956	0.956	0.956	0.972	0.962	0.964
0.321	1	1	1	1	1	1
0.256	1.071	1.055	1.054	1.047	1.054	1.054
0.225	1.224	1.188	1.164	1.147	1.181	1.157

備考 σ_{13} : 一般及び標準断面の値, λ_{13} : 細長比, β : 係数