

大阪大学工学部 正会員 前田 幸雄
 大阪大学工学部 正会員 林 正
 大阪大学大学院 学生員 ○中村 滋

1. まえがき アーチ橋のように大きな軸圧縮力を受ける構造形式においては、面内はもとより面外方向の不安定現象に対して十分な検討が行なわれなければならない。アーチの面外非線形性については、すでに研究報告がなされており、面外座屈に関しても種々の研究がなされているが、いずれも実橋に適用するには不十分であるように思われる。そこで本研究では、なるべく実橋に近いような構造形式を有するアーチについて、立体座屈解析を行ない、その面外座屈性状に関する資料を得たのでここに報告する。

2. 数値解析 (1) 計算法：解析法としては、マトリックス法を用い、形状と剛性に関する無次元パラメータを導入し、次式によって座屈のパラメトリック解析を行なう。

$$|K_0 + \omega K_G| = 0 \quad (1)$$

ここに、 K_0 、 K_G は、接線剛性マトリックスの線形項、および軸力に関する非線形項を無次元化したものである。さらに、式(1)に示される固有値問題を *bisection method* によって解き、座屈荷重 ω_{cr} を無次元量 ν を用いて次式のように表わす。

$$\omega_{cr} = \nu (EI_y / L^3) \quad (2) \quad (L: \text{支間長}, EI_y: \text{アーチリブの面内曲げ剛性})$$

(2) 計算例：本文において数値計算の対象としたアーチは、図-1に示すような、ストラット(垂直材)とブレース材(斜材)からなる横構を有する2本リブ固定および2ヒンジ放物線アーチであり、荷重は2本のアーチリブに、面内等分布荷重を全載する。ここで、横構においては、ストラットのねじり剛性とZ軸まわりの曲げ剛性を無視し、ブレース材では伸び剛性のみを考慮した。

(3) 無次元パラメータ：計算に導入した無次元パラメータ、および計算に用いたパラメータの値を、それぞれ、表-1、2に示す。ここに、

EI_z ：アーチリブの面外曲げ剛性、 GJ ：アーチリブのねじり剛性、 A ：アーチリブの断面積、 EI_s ：ストラットの彎曲回りの曲げ剛性、 A_s ：ストラットの断面積、 A_b ：ブレース材の断面積、 f ：ライズ、 B ：主構間隔

3. 座屈性状

(1) 座屈モードについて：一般的に実橋において用いられているパラメータの値に対しては、一次モードは面内非対称モードであるが、二次モードについては、構造形式、形状、剛比によって面内対称モードか面外対称モードかのいずれかが生じる。

(2) n (ライズ比)の影響：面内座屈、面外座屈ともに n の影響は大きい。(図-6, 7) このことは、構造形式および他のパラメータの値にかかわらずいえる。また、図-2に示すごとく、面内座屈荷重の最大値は約 $n=0.3$ において生じているが、面外の場合、約 $n=0.25$ において最大となっている。これは、固定、2ヒンジともにいえることである。

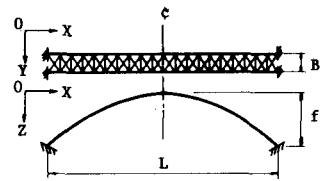


図-1 計算例

表-1 形状及び剛性に関するパラメータ

	Non-dimensional Parameters	
Form	$n = f/L$, $b = B/L$	
Arch Rib	$\lambda = L\sqrt{A/I_y}$, $\kappa = I_z/I_y$, $\phi = GJ/EI_y$	
Strut	$\lambda_s = L/A_s/I_y$, $\kappa_s = I_{ys}/I_y$	
Bracing	$\lambda_b = L/A_b/I_y$	

表-2 無次元パラメータの値

n	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3		
b	0.05	0.1					
λ	100.0	150.0	200.0				
κ	0.0	0.1	0.3	0.5	1.0		
ϕ	0.0	0.1	0.3	0.5	1.0		
λ_s	0.0	10.0	50.0				
κ_s	0.0	0.05	0.1	0.3	0.5	1.0	
λ_b	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0

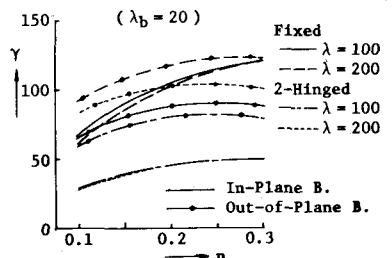


図-2

(3) 入(リブの伸び剛性)の影響: 面内座屈荷重に及ぼす入の影響は、ごくわずかである。(図-2, 6, 7)しかし、面外座屈には少なからず影響し、それは λ_b が大きければ

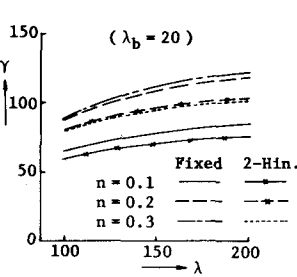


図-3

ど強くなり、固定、2ヒンジともに入がある程度大きくなれば、その影響はほとんどなくなる。(図-3)

(4) K(リブの面外曲げ剛性)の影響: 図-4に示すごとく、 $K \geq 0.05$ の値に対してほぼ比例して面外座屈強度を高める。

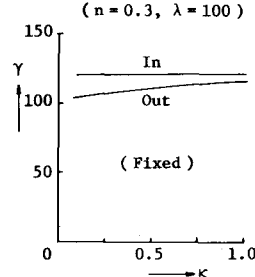


図-4

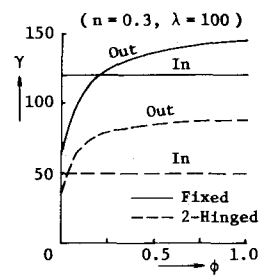


図-5

(5) phi(リブのねじり剛性)の影響: $0 \leq \phi \leq 1.0$ に対して図-5に表わされるような座屈荷重曲線を描く。そして、最も面外座屈が起き

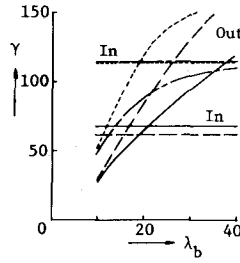


図-6

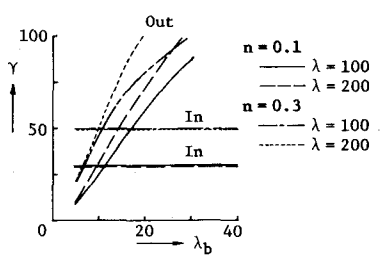


図-7

やすい場合でも、固定アーチでは $\phi \geq 0.2$ 2ヒンジアーチでは $\phi \geq 0.1$ とすれば面外座屈は生じないと思われる。

(6) λ_b (ブレース材の伸び剛性)の影響: λ_b は面外座屈に対して非常に

表-3 λ_b の限界値

$(b \geq 0.05, \kappa \geq 0.1, \phi \geq 0.1, \kappa_s \geq 0.05)$						
λ	n	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
Fixed	100.0	20.6	23.0	27.0	37.4	—
	150.0	17.0	17.8	19.0	20.7	23.3
2-Hinged	200.0	15.8	17.0	17.7	18.7	19.7
	100.0	11.3	11.3	11.0	10.8	10.5
2-Hinged	150.0	10.4	10.4	10.4	10.3	10.2
	200.0	10.3	10.3	10.3	10.2	10.0

大きな影響を及ぼす。図-6, 7に示されるように、 λ_b の値に対して n, λ により面外座屈荷重は異なってくるが、一次モードにおいて、面内座屈と面外座屈の限界となる λ_b を n, λ について示すと表-3のごとくなる。これを図示したのが図-8である。これより明らかなように、固定アーチにおいては、 n の大きさにより面内と面外の限界の λ_b の値は大きく異なり、特に、 λ が小さい場合 $n=0.2$ 以上の値に対しては著しく大きくなる。しかし、 $n \leq 0.2$ あるいは $\lambda \geq 150$ (これはほぼ実橋の値である)とすれば、 $\lambda_b \geq 30.0$ で面外座屈を防止することができる。また、2ヒンジの場合は、面内および面外座屈荷重値は n の影響を受けるが、それらの限界の λ_b の値は、 n, λ に影響されず、 $\lambda_b = 10.0 \sim 11.5$ ではほぼ一定である。

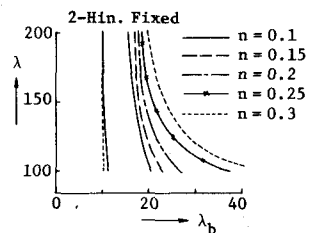


図-8

(7) K_s (ストラットの曲げ剛性)の影響: K_s の値は面外座屈に影響を及ぼすが、図-9のように固定、2ヒンジともに、 K_s が0.1以上の値をとれば、その影響はほとんど無視できる。

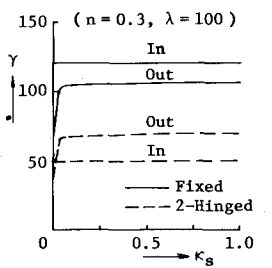


図-9

ただし、以上の図2~9に示した特性値は、特記しないパラメータについては次の値を用いている。

$$b = 0.05, \kappa = 0.1, \phi = 0.1, \lambda_s = 10.0, \kappa_s = 0.05$$

4. 結論

以上の計算結果より、図-1に示すアーチについて次のことがいえる。

- (1) 面外座屈に対して影響を及ぼす主要なパラメータは、 $n, \lambda, \phi, \lambda_b$ 、および K_s である。
- (2) このうち、ブレース材の伸び剛性 λ_b は、面外非線形性に対して大きな影響を及ぼす¹⁾のと同様に、面外座屈にも特に大きな影響を示し、面外座屈を防ぐのに最も効果的なパラメータである。
- (3) $\lambda, \phi, K_s, \lambda_b$ は、ある値以上になると、面外座屈に対する影響はほとんどなくなる。

1) 前田 林 森川: アーチ橋の面外非線形挙動について, 第29回土木学会年次講演会, 昭和49年10月。