

修正 E_f 法による π ラーメン橋の有効座屈長

中日本建設コンサルタント(株) 正会員 遠藤 賢三
中日本建設コンサルタント(株) 正会員 羽田野英明
中日本建設コンサルタント(株) 正会員 ○庄村 昌明

1. はじめに

ラーメンなどの骨組み鋼構造物の部材に対する座屈設計法は各部材の有効座屈長に基づいており、それらの有効座屈長の評価が重要となる。 π ラーメン橋のように、特殊な構造形式を持つラーメン構造物の有効座屈長は、しばしば弾性固有値解析を用いて計算される。しかしながら、その方法では、作用軸圧縮力が小さい部材の有効座屈長が不当な長さに算定されることがある。これを修正する方法として、付加軸力法と有効接線弾性係数法(E_f 法)を併用した修正 E_f 法が提案されている¹⁾。ここでは、 π ラーメン橋を対象として、修正 E_f 法により算定される有効座屈長について、弾性固有値解析による有効座屈長と比較し、その有用性を検討することを目的とする。

2. 解析方法

ここで用いた有効座屈長の算定方法の概略を以下に述べる。

2. 1 弾性固有値解析による有効座屈長

構造物の弾性固有値解析による有効座屈長の算定は次式で行う。

$|K_E(E_i, I_i) + k_E K_G(N_i)| = 0 \dots\dots\dots (1)$

$l_{ei} = \pi \sqrt{\frac{E_i I_i}{k_E N_i}} \dots\dots\dots (2)$

ここに、 K_E ：微小変位理論による剛性マトリックス、 K_G ：設計荷重時の幾何剛性マトリックス、
 k_E ：最小固有値、 l_{ei} ：部材 i の有効座屈長、 E_i ：部材 i の弾性係数、
 I_i ：部材 i の断面二次モーメント、 N_i ：部材 i の設計荷重時軸力

2. 2 修正 E_f 法による有効座屈長

E_f 法²⁾は、吊橋や斜張橋の主塔の有効座屈長の算定に用いられている。これは、

$E_{fi} = \gamma_E \cdot E_i \dots\dots\dots (3)$

ここに、 γ_E ：弾性係数比

で示す有効接線弾性係数 E_{fi} を式(1)、(2)の弾性係数 E_i と置き換え、弾性固有値解析を繰り返し行い、有効座屈長を算定する方法である。付加軸力法¹⁾は、式(1)での部材の軸力 N_i を、増分させた付加軸力 $\bar{N}_i$ に置き換えて、弾性固有値解析を行い、有効座屈長を算定する方法である。ここで、部材 i の付加軸力 $\bar{N}_i$ は次式より求める。

$\bar{N}_i = \sigma_{ai} \cdot A_i \dots\dots\dots (4)$

ここに、 σ_{ai} ：部材 i の許容軸圧縮応力度、 A_i ：部材 i の断面積

本報で用いた修正 E_f 法は、 E_f 法と付加軸力法を併用した方法であり、弾性係数 E_i と付加軸力 $\bar{N}_i$ を順次置き換えて弾性固有値解析を進め、各部材の有効座屈長を算定している。付加軸力 $\bar{N}_i$ の計算に用いる部材 i の許容軸圧縮応力度 σ_{ai} は、道路橋示方書³⁾の耐荷力曲線より計算し、安全率は $\gamma = 1.71$ としている。

3. 解析モデル

解析対象とした π ラーメン橋の形状を図-1に、その部材の断面諸元を表-1に示す。橋脚の傾斜角度 θ は45°と60°の2種類について検討した。作用荷重は、断面設計時に支配的な脚上主桁曲げモーメントが最大となる荷重状態を設定し、図-2に示す。

表-1 断面諸元

$E=2.1 \times 10^6$ (kgf/cm²)

部材番号	主桁													脚柱						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A (cm ²)	884	1214	1457	1222	1730	1291	1330	1291	1730	1222	1457	1214	884	2570	2420	2385	2346	2088	1828	1374
I (×10 ⁸ cm ⁴)	6.37	9.77	12.00	9.50	26.39	14.06	14.98	14.06	26.39	9.50	12.00	9.77	6.37	13.39	11.23	9.07	7.25	5.13	3.58	1.40
Z (×10 ³ cm ³)	6.08	9.37	11.45	9.73	19.34	12.37	12.24	12.37	19.34	9.73	11.45	9.37	6.08	15.60	13.81	12.11	10.52	8.22	6.34	3.33
σ_y (kgf/cm ²)	2400	2400	2400	3600	3600	3600	2400	3600	3600	2400	2400	2400	2400	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
σ_{ba} (kgf/cm ²)	1400	1400	1400	2100	2100	2100	1400	2100	2100	2100	1400	1400	1400	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100

4. 解析結果

図-3に主桁（中央径間）の有効座屈長係数 β を、図-4に道路橋示方書による主桁の応力照査結果を示す。ここで、 β は有効座屈長を中央径間長（ $l_0=43m$ ）で除した値である。弾性固有値解析による有効座屈長は、 θ により主桁に生じる軸力が異なるため、 $\theta=45^\circ$ の場合よりも $\theta=60^\circ$ の場合が長く算定される。修正 E_f 法による有効座屈長は、弾性固有値解析による有効座屈長に対して、 $\theta=45^\circ$ 、 60° のそれぞれで2割程度短く算定される。このため、図-4に示す応力照査では、主桁のどの断面においても、弾性固有値解析より修正 E_f 法による照査値が低く、 $\theta=60^\circ$ の場合が 45° の場合に比べその低下率が大きい。

図-5に右側脚柱の有効座屈長係数 β を、図-6にその応力照査値を示す。ここで、 β は有効座屈長を脚の骨組長（ $l_0=25m$ ）で除した値である。右側脚柱の場合も主桁の場合と同様に、修正 E_f 法による有効座屈長は、弾性固有値解析の結果より短く算定される。応力照査値は、修正 E_f 法を用いることにより、弾性固有値解析結果よりも低い値となり、より安全側に照査される。

5. まとめ

修正 E_f 法で算定した π ラーメン橋の有効座屈長は、弾性固有値解析により算定される有効座屈長に比べ、短めの値に修正される。有効座屈長の算定において、修正 E_f 法の適用は、経済的な断面を設計する上で、有用となることが期待される。

参考文献

- 1) 野上邦栄, 新保孝幸, 神頭峰磯, 山本一之: 付加軸力法によるラーメン柱の有効座屈長, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集, 1993. 9.
- 2) 本州四国連絡橋公団: 吊橋主塔設計要領・同解説, 1989. 4.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説II鋼橋編, 1990. 2.

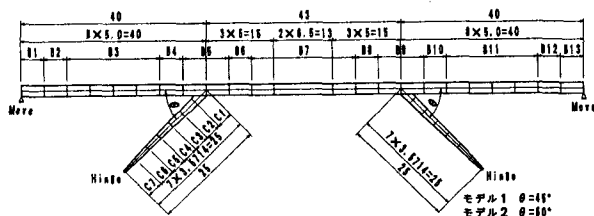


図-1 解析モデル

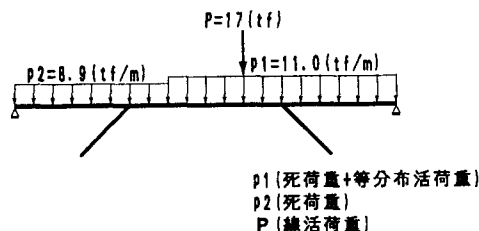


図-2 荷重状態

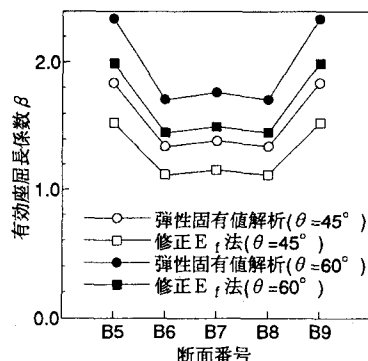


図-3 主桁の有効座屈長係数

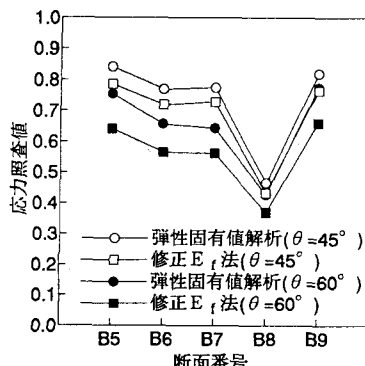


図-4 主桁の応力照査値

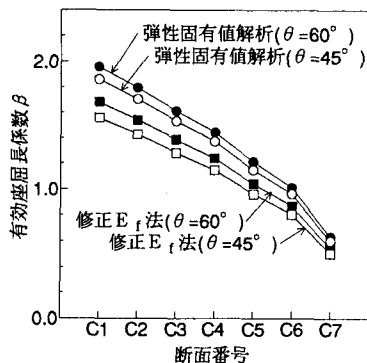


図-5 右脚柱の有効座屈長係数

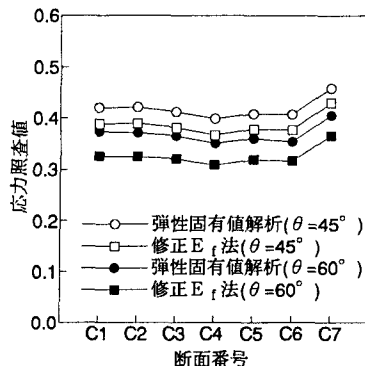


図-6 右脚柱の応力照査値