

簡易算定図表による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 中 斎 好美
中日本建設コンサルタント(株) 正会員 ○加藤 幸男

1. はじめに

ラーメン部材に対する現行の座屈設計法は、部材の両端支持条件と部材の剛性比から求められる有効座屈長が基本となっている。都市内高速道路の鋼製橋脚として頻繁に用いられる1層や2層の門型ラーメン構造では、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編¹⁾(以下、道示という)にその有効座屈長の算定方法が明記されているが、特殊な構造形式のラーメンや断面が著しく変化する部材については、文献²⁾に示される弾性固有値解析により算定することになっている(以下、慣用法という)。

$$(K_E + k_E K_G) u = 0 \quad \dots\dots (1) \quad \ell_e = \pi \sqrt{\frac{EI}{k_E N}} \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 K_E : 微小変位理論による剛性マトリックス k_E : 最小固有値
 K_G : 設計荷重載荷時の断面力に対する幾何剛性マトリックス u : 変位ベクトル(座屈モード)
 ℓ_e : 有効座屈長 EI : 部材の曲げ剛性 N : 設計荷重載荷時の部材の軸力

しかしながら、この方法は、有効座屈長が荷重載荷状態に依りし移動荷重が作用する橋梁形式では断面決定の支配的な荷重状態を求めるために解析作業が増大すること、作用軸圧縮力が小さい部材や剛度変化の大きい部材では有効座屈長が不当に長くなる等の問題点がある。本論文では、脚下端をヒンジとしたπラーメン橋の有効座屈長について、以下のような事項について報告している。

- (1) 荷重載荷状態の相違による有効座屈長の違いを検討し、πラーメン橋での有効座屈長は載荷状態の影響が小さいことを考察する。
- (2) 脚柱の有効座屈長は、座屈設計ガイドラインの簡易算定図表で算出した場合、慣用法による座屈解析結果と同程度の有効座屈長を得ることができ、算定図表の有用性を示す。

2. 慣用法による解析

解析対象とした橋梁は、山間部の橋梁で建設される標準的なπラーメン橋(図-1、表-1)を対象とした。慣用法は道路橋示方書の考え方を基本とした解析手法であり、文献²⁾に詳細が記述されている。本検討では、脚柱と中央径間の主桁に着目し、それらの部材の影響線から、図-2に示すような4種類の荷重状態を設定し、脚柱の傾斜角が $\theta = 45^\circ$ 、 60° のそれぞれの有効座屈長を算出した。その結果を表-2、3に示す。

表-1. 断面諸元

	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	1201	1730	1222	1457	1214	884	2570	2420	2385	2346	2088	1828	1374
I (×10 ¹⁰ cm ⁴)	0.637	0.977	1.200	0.950	2.639	1.406	1.498	1.406	2.639	0.950	1.200	0.977	0.637	1.339	1.123	0.907	0.725	0.513	0.358	0.140
Z (×10 ¹⁰ cm ³)	0.608	0.937	1.145	0.973	1.934	1.237	1.224	1.237	1.934	0.973	1.145	0.937	0.608	1.560	1.381	1.211	1.052	0.822	0.634	0.333
σ ₁ (kgf/cm ²)	0	0	0	0	(156)	(209)	(202)	(209)	(156)	0	0	0	0	(225)	(230)	(242)	(246)	(277)	(316)	(420)
					272	364	353	364	272					268	285	289	294	330	377	502
σ ₂ (kgf/cm ²)	(877)	(901)	(814)	(967)	(1094)	(881)	(519)	(471)	(1132)	(980)	(1084)	(1176)	(1133)	(361)	(347)	(334)	(304)	(294)	(251)	(249)
	863	883	792	1027	1137	930	533	395	1099	923	1105	1193	1146	396	382	364	335	321	278	264
σ ₃ (kgf/cm ²)	2400	2400	2400	3600	3600	3600	3600	3600	3600	2400	2400	2400	2400	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
σ ₄ (kgf/cm ²)	1400	1400	1400	2100	2100	2100	1400	2100	2100	2100	1400	1400	1400	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100

※σ₁、σ₂、σ₃は、荷重ケースCase-3の値を示す。又、()内は、θ=60°の時の値

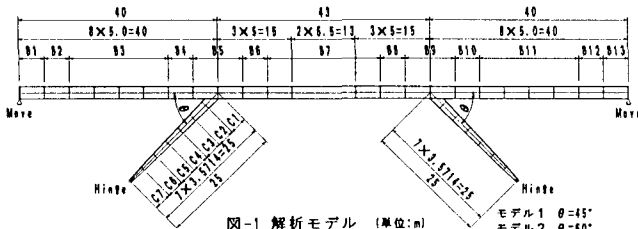


図-1 解析モデル (単位:m)

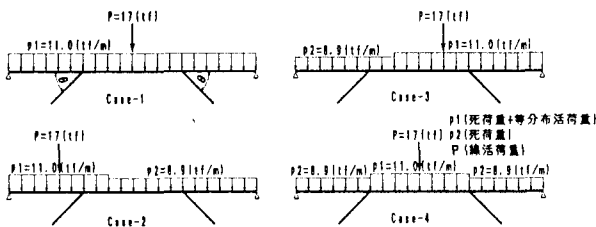


図-2 荷重載荷ケース

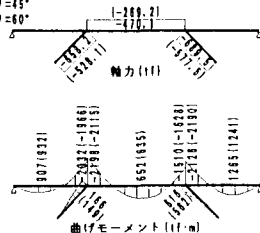


図-3 断面力 (Case3) ()内は、モデル2 | θ=60° | の値

表-2. 慣用法による有効座屈長 ($\theta=45^\circ$)

ケース	k_v	有効座屈長 ℓ_e (m)											
		B5	B6	B7	B8	B9	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Case-1	17.23	79.16	57.78	59.64	57.78	79.16	47.06	43.10	38.73	34.63	29.13	24.33	15.22
Case-2	19.56	79.41	57.97	59.83	57.97	79.41	46.49	42.57	38.26	34.21	28.77	24.04	15.03
Case-3	16.58	79.13	57.76	59.62	57.76	79.13	47.64	43.63	39.21	35.05	29.40	24.63	15.40
Case-4	18.82	78.84	57.54	59.40	57.54	78.84	47.11	43.14	38.77	34.66	29.16	24.36	15.23

表-3. 慣用法による有効座屈長 ($\theta=60^\circ$)

ケース	k_v	有効座屈長 ℓ_e (m)											
		B5	B6	B7	B8	B9	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Case-1	18.52	100.97	73.70	76.07	73.70	100.97	50.10	45.89	41.24	36.87	31.91	25.91	16.20
Case-2	20.98	101.71	74.24	76.63	74.24	101.71	48.88	44.86	40.31	36.04	30.32	25.33	15.84
Case-3	19.98	100.84	73.61	75.98	73.61	100.84	51.29	46.97	42.21	37.74	31.74	26.52	16.58
Case-4	20.29	99.98	72.97	75.32	72.97	99.98	50.15	45.93	41.28	36.90	31.04	25.93	16.22

3. 簡易算定式による算出

脚柱の有効座屈長 ℓ_e ($=\beta \cdot \ell_c$) には、文献³⁾に記述されているように脚柱と梁の剛性比を基準にした下記の算定式(3)がある。

$$\text{台形ラーメン} \beta = \begin{cases} 4.0 + 2.5(0.1 - k_B) & 0.1 \leq k_B \leq 0.5 \\ 3.0 & 0.5 < k_B \end{cases} \quad \text{ここで、} \quad \text{---(3)} \quad \begin{array}{l} l_B : \text{梁の断面2次モーメント} \quad l_c : \text{梁の骨組長} \\ l_c : \text{梁の断面2次モーメント} \quad \beta : \text{有効座屈長係数} \end{array}$$

また、文献⁴⁾には、式(3)を基礎としたパラメータ解析の結果が簡易図表として与えられている。なお、(3)式の簡易算定式や簡易図表は、部材の断面剛性を一定として算出しており、 π ラーメン橋の脚部のように梁高が変化し、断面剛性が急変する場合は、どの断面で代表させるかが問題となる。そこで、慣用法により脚柱の等価断面剛性を計算すると平均断面剛性とはほぼ一致したため、今回の報告では、脚柱の平均断面 ($I_c = 8.485 \times 10^8 \text{ cm}^4$) を脚柱を代表する断面剛性とした。脚柱の有効座屈長を前述の平均断面位置で簡易算定式や簡易算定図表より求めた場合、各断面照査位置 (断面剛性 $E I_i$) での有効座屈長 ℓ_{ei} は、式(2)を変形して、下記の(4)式で求めることができる。ここでは、脚柱の有効座屈長を文献⁴⁾の簡易図表を利用して、 $\theta = 45^\circ$ 、 60° のそれぞれで $\beta = 1.6$ 、 1.7 とした場合の結果を表-4、5に示す。

$$\ell_{ei} = \pi \frac{E I_i}{P_{CR}} \quad \text{---(4)} \quad \text{ここで、} P_{CR} = \pi^2 E I_c / \ell_e^2$$

表-4. 簡易算定式による脚柱の有効座屈長 ($\theta=45^\circ$)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
ℓ_e (m)	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
ℓ_{ei} (m)	50.25	46.02	41.36	36.97	31.10	25.98	16.25
ℓ_{ei}/r	68.92	67.56	67.07	66.50	62.74	58.71	50.91
$\bar{\lambda}$	0.917	0.890	0.884	0.878	0.827	0.774	0.671
σ	0.609	0.624	0.627	0.631	0.658	0.687	0.743

表-5. 簡易算定式による脚柱の有効座屈長 ($\theta=60^\circ$)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
ℓ_e (m)	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
ℓ_{ei} (m)	53.39	48.89	43.94	39.28	33.05	27.61	17.26
ℓ_{ei}/r	73.97	71.77	71.25	70.66	66.68	62.29	54.07
$\bar{\lambda}$	0.957	0.946	0.939	0.931	0.879	0.822	0.713
σ	0.578	0.594	0.597	0.601	0.630	0.661	0.721

4. 脚柱の有効座屈長の比較

図-4に表-2～表-5で求めた脚柱の有効座屈長係数を示す。簡易算定式による有効座屈長は、 $\theta = 45^\circ$ 、 60° 共に慣用法による結果より若干長くなるが、文献⁴⁾に示される簡易算定図表による有効座屈長係数の有用性があると判断される。また、脚柱頭部の断面は、主桁との隅角部の取り合いから決定されることが多いため、有効座屈長の違いによる影響は少ないが、脚柱下部の断面は有効座屈長の影響が大きいため、慣用法や簡易算定式を用いることにより経済的な断面設計が可能となる。実務設計では、脚柱の有効座屈長をすべての断面について一定とする場合が多いが、文献⁴⁾の簡易算定図表を用いて、式(4)で示した方法により脚柱下部断面の有効座屈長を短くすることにより経済的な断面設計が可能と思われる。

5. まとめ

ここでは、 π ラーメン橋の脚柱の有効座屈長について、既往の研究成果による算定方法を利用した検討結果を報告した。その結果を総括すると以下ようになる。

- (1) π ラーメン橋の有効座屈長は荷重載荷状態による差異は少なく、荷重載荷状態別の有効座屈長の解析は不要である。
- (2) 脚柱の有効座屈長は、その有効座屈長係数を座屈設計ガイドラインの簡易算定図表で算出し、式(4)を用いて各断面照査位置の有効座屈長を求めれば、慣用法による座屈解析結果と同程度の精度で有効座屈長を得ることができる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，平成2年2月
- 2) 西野文雄・三木千寿・鈴木篤：道路橋示方書Ⅱ鋼橋編改定の背景と運用，橋梁と基礎，1981年10月
- 3) 松原薫・笹戸松二・林正： π 形ラーメンの有効座屈長の試算，第39回年次学術講演会講演概要集，土木学会，1984年
- 4) 土木学会：座屈設計ガイドライン，1987年10月

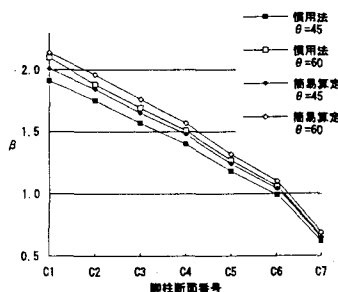


図-4 脚柱の有効座屈長係数