

【討 議】

吉田 博 共著 “拘束をうけるはりの弾性および非弾性横倒れ座屈解析”
井本芳宏

への討議

(土木学会論文報告集第 208 号・1972 年 12 月号所載)

討議者：宇佐美 勉 (岐阜大学工業短期大学部)

著者らは 2 軸対称 I 形はりの弾性および非弾性域での横倒れ座屈を伝達マトリックス法によって解析され、はりの断面寸法、境界条件および荷重条件などの影響を詳細に検討されている。しかしながら、橋梁の主桁断面としてより重要な一軸対称 I 形桁 (不等フランジを有する I 形桁) の非弾性座屈については触れられておりません。筆者は、最近この問題に対する研究の一部を文献 a) に発表しているのので、その概要を以下に述べて討議したいと思います。

筆者の用いた解析方法は、横倒れ座屈を支配する微分方程式を有限積分表示^{b)}によって同次の連立一次方程式に置換し、その係数行列式が零になるように固有値すなわち座屈荷重を求める方法である。文献 a) では、はりの両端は単純支持で、不等曲げがその両端に作用する場合 (すなわち 図-16 の場合) のみを取り扱っているが、他の境界条件、荷重条件への拡張は容易である。なお、解析に用いた仮定は著者らの論文の仮定 1)~6) と同一である。解析の対象とした断面寸法は表-A に示した 10 種類である。A-シリーズ断面は、スパン長 20 m~40 m 程度の道路橋としての活荷重合桁橋 (SM 50 鋼) の標準主桁断面^{c)}の内から、パラメーター A_t/A_c および A_c/A_w (ここに、 A_t , A_c , A_w は、それぞれ、引張フランジ、圧縮フランジ、腹板の断面積を表わす) の値を

基準にして選んだ。すなわち、文献 c) に示されている標準断面の A_t/A_c , A_c/A_w の値は、それぞれ、A-シリーズ断面の A_t/A_c , A_c/A_w の値の変化の範囲内にほぼ収まるようにしてある。また、B-1~B-4 断面は、それぞれ、A-1~A-4 断面と同じ抵抗モーメントを有し、かつ等フランジ断面として設計したものである。材質は SM 50 鋼を考え、許容応力度は引張、圧縮フランジとも 1 900 kg/cm² としている。B-シリーズ断面は、圧縮フランジが床版によって固定された非合成桁橋の主桁断面を対象にしている。なお、文献 a) では $A_c > A_t$ の場合も考えているが、ここではその場合を省略することにする。

さて、表-A の断面を用いて数値計算を行った結果を示せば図-A のようになる。ここで、 q (モーメント勾

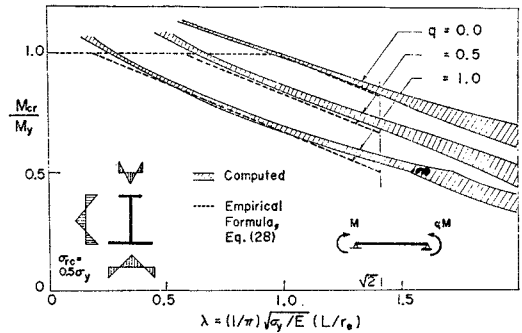


図-A

表-A

No.	Tension Flange			Compression Flange			Web			A_t/A_c	Allowable Bending Moment (kg-m)
	b_t (mm)	t_t (mm)	A_t (mm ²)	b_c (mm)	t_c (mm)	A_c (mm ²)	d (mm)	w (mm)	A_w (mm ²)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
A-1	400	32	12 800	250	16	4 000	1 300	9	11 268	3.20	230 290
A-2	330	28	9 240	200	12	2 400	1 300	9	11 340	3.85	180 600
A-3	270	16	4 320	200	10	2 000	1 300	9	11 466	2.16	112 700
A-4	250	12	3 000	200	10	2 000	1 300	9	11 502	1.50	97 300
A-5	630	32	20 160	330	32	10 560	2 000	9	17 424	1.91	517 550
A-6	400	22	8 800	230	12	2 760	2 000	9	17 694	3.19	263 900
B-1	300	25	7 500	300	25	7 500	1 300	9	11 250	1.0	230 290
B-2	300	19	5 700	300	19	5 700	1 300	9	11 358	1.0	180 600
B-3	200	14	2 800	200	14	2 800	1 300	9	11 448	1.0	112 700
B-4	200	10	2 000	200	10	2 000	1 300	9	11 520	1.0	97 300

配を表わすパラメーター) は 1.0, 0.5, 0.0 と変化させ、残留応力分布は Pattern(B) で $\sigma_{rc}=0.5\sigma_y$ とした。図の縦軸は座屈モーメント/降伏モーメント、横軸は次式で定義される細長比である。

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \cdot \frac{L}{r_e} \dots\dots\dots (a)$$

$$r_e = \sqrt{\frac{I_c}{A_c + A_w(2A_t + A_w)/6A}} \dots\dots\dots (b)$$

ここに、 I_c は圧縮フランジの弱軸まわりの断面 2 次モーメント、 A は全断面積である。式 (b) の r_e は等価断面 2 次半径で、Basler^{d)} が 2 軸対称 I 形断面に対して提案した式を一軸対称 I 形断面に拡張したものである。ただし、同式は $A_c \leq A_t$ のときのみ有効であり、 $A_c = A_t$ のときは Basler の求めた式と一致する。さて、図-A は A および B シリーズ桁の座屈モーメントがすべて幅のせまい斜線部に入ることを示している。すなわち、式 (d) の λ を横軸に取ることにより、座屈モーメント M_{cr}/M_y は、モーメント勾配が与えられれば、断面寸法および材質に無関係にほぼ 1 本の曲線で表わすことを示しており、このプロットの方法が非常に有効であることを示すものである。さらに興味あることは、等モーメント ($q=1.0$) の場合の結果は、福本ら^{e)} が 2 軸対称 I 形はりの実験結果から求めた経験式 (図の $q=1.0$ のときの破線)

$$M_{cr}/M_y = 1.0 - 0.412(\lambda - 0.2) \leq 1.0$$

【回答】

回答者：吉田 博 (金沢大学工学部)
井本 芳宏 (千葉県水道局)

著者らの論文は伝達マトリックス法を用いた、種々の拘束をうけるはりの弾性および非弾性横倒れ座屈解析法

$$(0.2 \leq \lambda \leq \sqrt{2}) \dots\dots\dots (c)$$

とほぼ一致することである。ただし、福本らは上式中の λ として Basler が求めた式を使用しているが、ここでは式 (a), (b) の表現を用いている。次に文献 a) ではモーメント勾配がある場合の座屈強度の近似式として式 (c) を基準にして次式を提案している。

$$(M_{cr}/M_y)_{q<1} = (M_{cr}/M_y)_{q=1} + 0.32(1-q) \leq 1.0 \dots\dots\dots (d)$$

式 (d) の $(M_{cr}/M_y)_{q<1}$ はモーメント勾配があるときの座屈モーメント、 $(M_{cr}/M_y)_{q=1}$ は $q=1.0$ のときの座屈モーメントで式 (c) で与えられる。式 (d) は図-A に破線で示されているが、この近似式がほぼ満足すべきものであることがわかる。

参考文献

- a) Usami, T. : Inelastic Lateral Buckling Strength of Menosymmetric I-Girders, Research Report No. 23, Gifu University, March, 1973.
- b) 宇佐美勉・T.V. Galambos : 2 軸曲げを受ける単一山形鋼柱の強度, 土木学会論文報告集, 第 191 号, 1971 年 5 月.
- c) 日本道路協会 : 道路橋標準設計図集 [2], 1963.
- d) Basler, K. : Strength of Plate Girders in Bending, Proc. of ASCE, Vol. 87, No. ST 6, August, 1961.
- e) 福本昉士・藤原 稔・渡辺信夫 : 溶接 I 形部材の横倒れ座屈に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第 189 号, 1971 年 3 月.

について、二、三の例を用いて述べたものです。もちろん、討論にあるような一軸対称 I 形桁についても解析が可能です。

一軸対称 I 形桁の非弾性横倒れ座屈について興味ありかつ実用式を提案されている討論に対し感謝します。