

(株)宮地鐵工所 正員 長嶺 由智
 琉球大学 正員 矢吹 哲哉
 琉球大学 正員 有住 康則

1. まえがき

直桁の曲げによる面外崩壊挙動は、圧縮フランジの自由突出支持板としての座屈が主要因となるねじれ座屈と桁全体として側方へ倒れる横倒れ座屈によって起こることはよく知られている所である。ここでは薄板曲線鋼桁の場合はいかなる崩壊挙動を呈するかについて、パラメトリック解析を行うことにより、その分類を試みた。パラメトリック解析は、I形曲線鋼桁について幾何学的及び材料非線形を考慮した弾塑性有限変位解析を用いて行った。

2. 解析方法

本研究では、幾何学的非線形及び材料非線形を考慮したアイソパラメトリックシェル要素系モデルによる弾塑性有限変位理論を用いて解析を行った。なお、幾何学的非線形挙動は、更新ラグランジュ法による増分理論を用いて評価した。又、材料非線形挙は、Von - Misesの降伏条件式及びPlandl - Reussの塑性流れ理論を用いた。解析に用いた材料は等方等質材料のひずみ硬化のない完全弾塑性体とする。

3. I形曲線鋼桁の耐荷力特性

図-1に示す一定の曲率を有するI形曲線鋼桁の耐荷力特性を検討するため、初期たわみを考慮して純曲げが作用した場合の耐荷力解析を行った。対象とした解析モデルは、図-1に示すように対称性を考慮して桁の1/2部分とし、境界条件は、曲げ載荷辺で単純支持とした。要素分割は、フランジを6×2、ウェブを6×6とした。解析に用いたパラメーターは、曲率パラメーター L/r 、フランジとウェブの断面積比 A_f/A_w 、細長比パラメーター $\bar{\lambda}_f$ の3つである。パラメーターの変動範囲を表-2に示す。なお、細長比パラメーター $\bar{\lambda}_f$ は次式のように定義される。

$$\bar{\lambda}_f = \frac{L}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{A_c + A_w/6}{I_f}} \quad (1)$$

ここで、 L はスパン長、 I_f はフランジの断面2次モーメントである。

(1) 断面積比の影響 - 曲率パラメーター $L/r = 0.03$ を有するI形断面桁について断面積比を変化させ、耐荷力に与える影響を調べた。図-2に、解析によって得られた耐荷力と細長比パラメーター $\bar{\lambda}_f$ との関係を示す。図から明らかなように、耐荷力は、どの細長比パラメーターにおいても断面積比の増加に伴い増大していることが解る。

(2) 曲率による耐荷力の影響 - 断面積比 $A_f/A_w = 0.2$ を有するI形断面桁について、耐荷力に及ぼす曲率の影響を調べた。その結果を図-3に耐荷力と細長比パラメーターの関係として示す。図より明らかなように、曲率が大きくなるにつれて強度が低下する傾向を示している。

(3) I形曲線鋼桁の崩壊様式

a) 変形図 - 解析で得られた変形図よりI形曲線鋼桁の崩壊形式を、ねじり座屈、横倒れ座屈、それらの連成座屈の3つに分類し、その代表例を示し、その特性について検討を行う。図-4(a)は、細長比パラメーター $\bar{\lambda}_f = 0.369$ の場合の変形モードを示している。圧縮フランジにねじれ座屈(以下Type Aと称する)が生じ、それに伴ってウェブ圧縮部がはらみ出し変形して

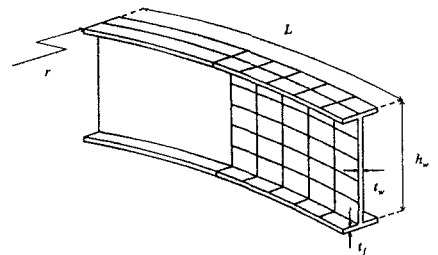


図-1 解析モデル

表1 解析に用いたパラメーター

Parameter	Symbol	Range of values
Central angles	L/r	0.0, 0.01, 0.03, 0.05
Section area ratio	A_f/A_w	0.2, 0.4, 0.8
Slenderness ratio parameter	$\bar{\lambda}_f$	0.369, 0.651, 0.860, 1.107, 1.353, 1.599
Width-to-thickness ratio of Flange	b_f/t_f	16
Width-to-thickness ratio of Web	h_w/t_w	152
Initial imperfection	w_0	$L/1000$
Yield stress	σ_y	2400kgf/cm ²

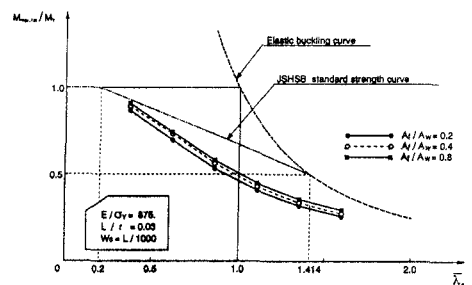


図-2 耐荷力と細長比パラメーターの関係

いる様子を示している。図-4(c)は、細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s = 1.353$ の変形モードで、I 形曲線桁の圧縮フランジ側中央部が側外面外に大きく変形しており、横倒れ座屈 (Type C) している様子がうかがえる。図-4(b)は、細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s = 0.615$ の場合で、図-4(c)と図-4(b)で示した圧縮フランジのねじれ座屈と横倒れ座屈の連性により座屈 (Type B) したものと考えられる。

b) 塑性域分布— 変形図と対応した終局状態における塑性域分布を、Type A について図-5(a)に、Type B について図-5(b)に、Type C について図-5(c)にそれぞれ示す。図から明らかなように、Type A では、圧縮フランジとウェブ上端の中央付近に塑性域が広がり、ねじれ座屈が起こっていることが解る。Type B では、圧縮フランジ中央付近を中心に塑性が進展している。一方、Type C では、Type A 及び Type B と比較して塑性域は狭まっており、桁中央部断面の圧縮フランジ自由端部に塑性域が集中している。

c) 崩壊様式のタイプ分け— パラメータ解析で得られた変形図、塑性域分布図、フランジの終局強度特性を基にして、崩壊様式の分類を行った。その結果を表-3に示す。ここで、A はねじれ座屈 (Type A)、B は連成座屈 (Type B) を示し、C は横倒れ座屈 (Type C) を示している。表から明らかなように、細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ が小さい場合には、ねじれ座屈 (Type A) を起こし、 $\bar{\lambda}_s = 0.9$ 付近ではねじれ座屈と横倒れ座屈の連成座屈 (Type B) を起こし、 $\bar{\lambda}_s = 1.3$ 以上では横倒れ座屈 (Type C) を起こしていることが解る。また、曲率が大きくなるにつれて、横倒れ座屈が起こりやすくなることも明らかである。これは、曲率が崩壊様式の重要な因子の一つであることを示している。

5. 結論

- 1) I 形断面を有する曲線鋼桁では、フランジとウェブの断面積比 A_f/A_w が大きくなるにつれて、耐荷力は大きくなる。
- 2) 曲率パラメータ L/r が大きくなるにつれて、I 形断面を有する曲線鋼桁の耐荷力は低下する。
- 3) I 形断面を有する曲線鋼桁の崩壊様式は、変形図、塑性域分布図及びフランジの終局強度特性などから、ねじれ座屈、横倒れ座屈、連成座屈の3つのタイプに分けることが出来る。

今後の問題点として、薄板曲線桁構造に対しては残留応力度による不釣り合い成分の断面応力度分布を適切に評価する手法の開発が望まれる。

参考文献：1) 藤井・大村、土木学会論文、第386号/I-8、1987.2) Charles G.culver and Chulam Nasir „Journal of the Structural Division, Proceedings of ASCE, 1971. 3) 小松・北田、土木学会論文、第314号、1981.

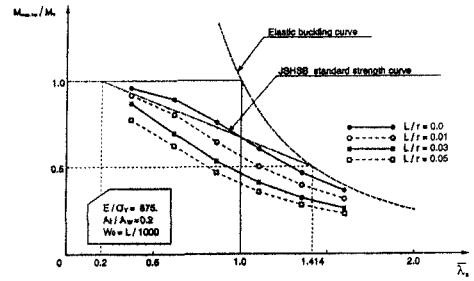


図3 耐荷力と細長比パラメータの関係

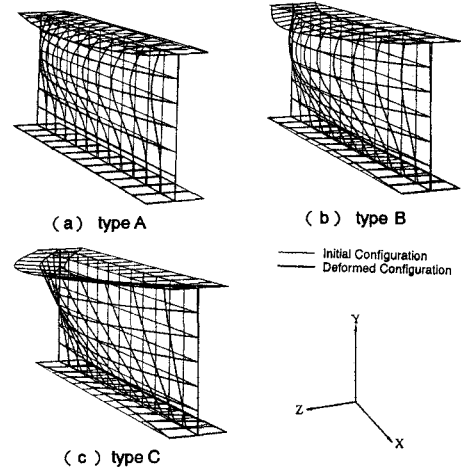


図4 変形モード

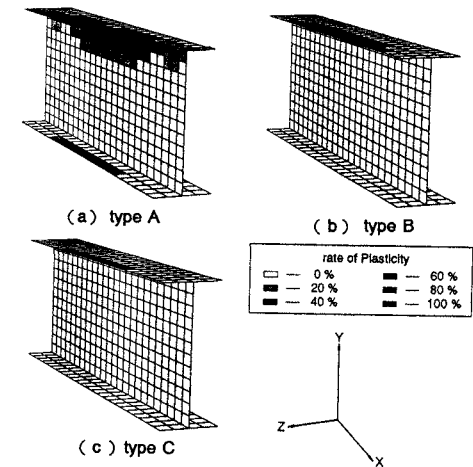


図5 塑性域の分布

表-2 I 形断面曲線桁の崩壊様式

$\bar{\lambda}_s$	0.369	0.615	0.861	1.107	1.353	1.599
0.00	A	A	A	B	C	C
0.01	A	A	B	B	C	C
0.03	A	A	B	B	C	C
0.05	A	A	B	C	C	C