

広島大学工学部 正員 大村 裕
 広島大学工学部 正員 藤井 堅
 三菱重工業(株) 正員 平尾 克之

1. まえがき 従来、曲線折の腹板パネルのみを対象とした解析的研究が幾つも行われているものの、フランジを考慮した板殻構造としての解析例は数少ない¹⁾。また、これらのほとんどが弾性解析である。本研究では、幾何学的非線形性のみならず、材料学的非線形性も考慮した曲線折の板殻構造解析を実行し、腹板剛性が断面変形挙動や曲げ耐荷力に及ぼす影響について考察した。

2. 解析モデル 解析の対象は、図1のように、曲線プレートガーダーの左右の鉛直補剛材が挟まれた折の1区画とした。

このとき、鉛直補剛材接合部では断面変形は無視せうと考へ、端部断面では梁理論の変位場仮定を満足するように、あらかじめ剛性行列を交換する処理を行っている²⁾。この方法により、荷重は端断面の断面力を入力すれば良く、中央断面で曲げモーメントのみ発生するように、両端断面に曲げモーメントを作用させた。断面諸量は、桁高 $h=120\text{ cm}$ 、フランジウェブ面積比 $A_{fc}/A_w=1.0$ 、フランジ幅厚比 $b/t_f=13.33$ 、曲率パラメータ $\lambda=h^2\sqrt{1-\nu^2}/Rt_w=11.45$ を各ケース一定とし、腹板縦厚比 $Rd/h=1.0$ に対し、腹板幅厚比 $h/t_w=100, 120, 200, 300, 500$ と変化させた。さらに、 $h/t_w=300$ に関して、 $Rd/h=0.667, 1.0, 1.5$ と変化させた。また、フランジには接合部の残留応力分布 ($\sigma_{rx}=\sigma_y, \sigma_{rc}=0.5\sigma_y$) を仮定し、腹板の残留応力は考慮しないこととした。材料は、完全弾塑性体 ($E=2.1\times 10^4\text{ kg/cm}^2, \nu=0.3, \sigma_y=3000\text{ kg/cm}^2$) とした。

3. 断面変形 図2は、 h/t_w を変化させた場合のA点(図1参照)のフランジねじれ角 φ_0 を荷重係数 $K=\frac{\sigma_m h^2 t_w}{R^2 D_w}$ とともに示したものであり、図3は、同様にB点の腹板面外変位 u/t_w を示したものである。 $h/t_w=100, 120, 200$ のケースでは、フランジねじれ座屈現象が現れており(図2)、これに伴って、腹板面外変位も急増している。(図3) これに対し、 $h/t_w=300, 500$ のケースでは、腹板面外変位が途中から減小する現象が

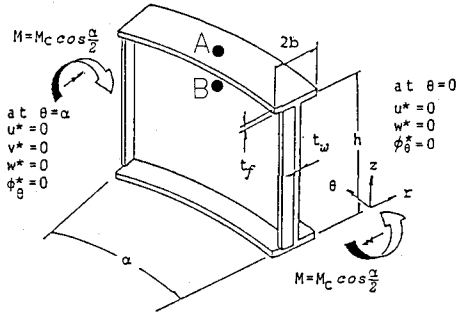


図1 解析モデル

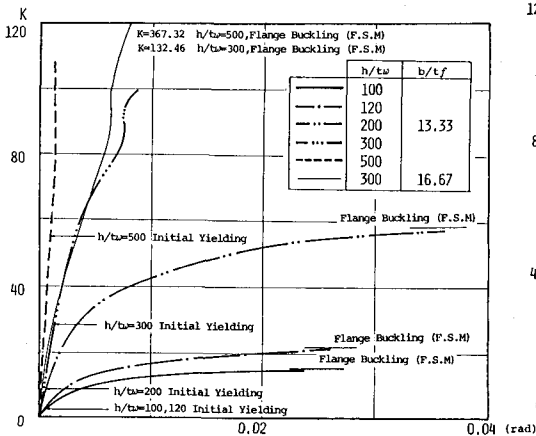


図2 荷重—フランジねじれ角曲線 (A点)

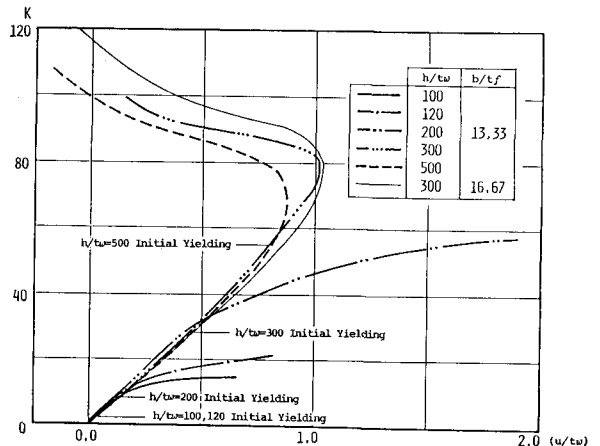


図3 荷重—腹板面外変位曲線 (B点)

現れている。(図3) これは、腹板たわみ形が圧縮側と同方向に正弦半波(1次モード)から正弦1.5波(3次モード)に移行するためである。しかし、たわみ形の移行による腹板面外変位の減小は、フランジねじれ角にはほとんど影響を与えていない。(図2) これは、 h/t_w が大きいと相対的に腹板剛性が小さくなり、腹板のフランジに対する拘束力も小さくなるためと考えられる。一方、腹板縦横比 R_d/h については、 R_d/h が大きいほど低い荷重で腹板たわみ形が高次モードに移行し、 $K=85$ では、 $R_d/h=0.667, 1.0, 1.5$ の各ケースで、それぞれ1次モード、3次モード、5次モードのたわみ形が支配的となった。さらに K が大きくなると、 $R_d/h=0.667$ のケースではフランジねじれ座屈現象が現れ、 $R_d/h=1.0, 1.5$ のケースでは腹板の座屈現象が生じた。図4にフランジねじれ座屈崩壊モードと腹板の座屈モードの一例を示した。

4. 耐力 本解析ケースでは、荷重の初期段階から圧縮側腹板の応力欠損が顕著であり、腹板の曲げモーメント分担率の減小は、 h/t_w や R_d/h にかかわらず1割程度であった。しかし、荷重が大きくなると、圧縮フランジのねじれ座屈現象やフランジの塑性化の進展により、フランジで圧縮力を受け持つことができなくなり、これに起因して腹板の応力欠損はそれほど顕著ではなくなった。図5に、直析の耐力曲線に本解析結果をプロットしたものを示す。ここで、 M_y は直析の降伏モーメント、 M_y' は曲線析フランジの面内に発生する曲げモーメントを考慮した降伏モーメントを示す。図5で、 $h/t_w=300, 500, R_d/h=1.0, 1.5$ のケースは Basler 曲線よりもかなり低い値となっているが、これは前述のように腹板の座屈によるため、このまま耐力力として評価するのは問題がある。また、 $h/t_w=100, 120, 200, R_d/h=0.667$ のケースはフランジの座屈崩壊であるため表1のように、Baslerの理論値に座屈応力 σ_{cr} を用いて補正した値と比較する。表1では、 $h/t_w=100, 120$ のケースで M_u/M_y' が直析の理論値をわずかに上回っており、曲げ耐力力の指標として M_y' を用いることが有効であると予想される。また、 $h/t_w=200, R_d/h=0.667$ のケースの M_u/M_y' は理論値よりも大きくなっているが、これは、屈曲線とも腹板の応力欠損を考えているのに対し、この場合には応力欠損がそれほど顕著でないためであると思われる。

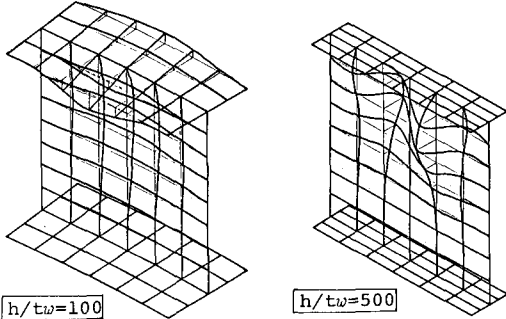


図4 崩壊・座屈モード

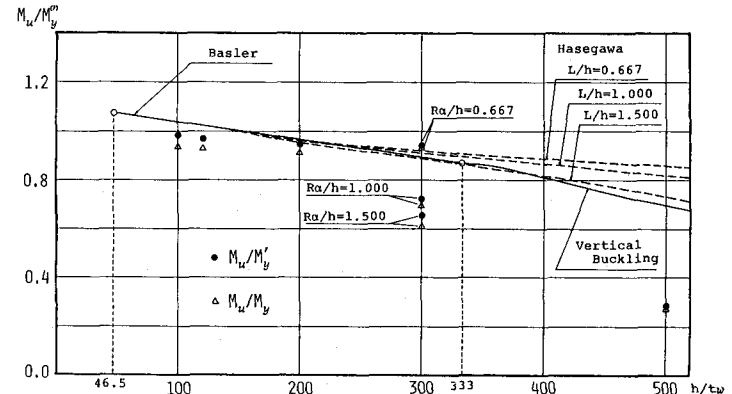


図5 耐力曲線

表1 補正された理論値との比較

Case	Basler	σ_{cr}/σ_y (F.S.M)	Modified Basler	This Analysis M_u/M_y	M_u/M_y'
H100	1.035	0.937	0.970	0.935	0.983
H120	1.021	0.936	0.956	0.928	0.971
H200	0.967	0.932	0.901	0.910	0.942
A067	0.899	0.935	0.841	0.931	0.943

参考文献

- 1) 倉面・植渡: The Finite Displacement Behavior of Horizontally Curved Elastic I-Section Plate Girders under Bending, No. 350 I-2, Oct. 1984
- 2) 大村・藤井: 部分構造とした曲線析断面形状解析の境界条件について, 第38回年次学術講演会講演概要集第1部, pp207~210, 1984
- 3) 三上・古面・米沢: 曲げを受ける円筒腹板パネルの非線形挙動, 土木学会論文報告集, 第297号, pp23~34, 1980年7月