

名古屋大学 学生員。堀口 隆良
 名古屋工業大学 正員 長谷川 彰夫

1 まえがき アレートガーダーの曲げ耐力に関して、今までに多くの理論および実験が報告されている。しかし、アレートガーダーの構造そのものが複雑な上、実験ではパラメーターの選択に任意性があるため、実用設計の立場からの曲げ耐力式はないのが現状で、総合的に検討する必要があると考えられている。本報告では、今までに報告されている水平補剛材を持たない上下対称で非合成のアレートガーダーの曲げ耐力に関する理論式・実験式に対し、圧縮フランジの水平座屈とねじり座屈が防止された桁の終局曲げ耐力の観点から検討を加える。

2 理論式・実験式の検討 Basler・Thürlimannの提案した曲げ耐力式は(1)式である。

$$M_u/M_y = 1 - 0.0005 \cdot A_w/A_{cf} (h/t_w - 5.7/\sqrt{\sigma_w/E}) \quad (1)$$

ここに M_u/M_y は耐力モーメント M_u の降伏モーメント M_y に対する比、 A_w/A_{cf} はウェブの断面積 A_w の圧縮フランジの断面積 A_{cf} に対する比、 h/t_w はウェブ高 h のウェブ厚 t_w に対する比、 σ_w はウェブの降伏応力である。(1)式の適用限界の幅厚比 h/t_w は(2)式をもとに A_w/A_{cf} の実用範囲の最小値の0.5を代入して、いわば安全側の値として算定している。

$$h/t_w < \sqrt{\pi^2 E / 24(1-\nu^2)} (A_w/A_{cf}) (E/\sigma_w(\sigma_w + \sigma_r)) \quad (2)$$

ここに σ_r は圧縮フランジの引張残留応力である。耐力力の低減は安全側の幅厚比 h/t_w 上で、 A_w/A_{cf} をパラメーターにして一様の応力欠損(30%)を仮定して求めている。Fig.1に示す一点鎖線が $\sigma_y = 33 \text{ ksi}$ の鋼種に対する Basler・Thürlimann の耐力力低減の計算であり、破線が一点鎖線の結果をもとに導いた(1)式である。これらに対し、実線は(2)式をもとに A_w/A_{cf} を変数として各の A_w/A_{cf} に対する適用限界幅厚比 h/t_w を求め、その上で耐力力の低減計算を行ったもの(すなわち、Basler・Thürlimannの理論に忠実な計算)である。この結果から、Basler・Thürlimannの曲げ耐力式はBasler・Thürlimannの理論自身より A_w/A_{cf} が大きい領域できわめて安全側の評価をしているといえる。Fig.2ではさらに $\sigma_y = 50 \text{ ksi}$ の鋼種に対して比較したものである。図の破線は Basler・Thürlimann が $\sigma_y = 33 \text{ ksi}$ の鋼種に対する結果を、そのまま $\sigma_y = 50 \text{ ksi}$ の鋼種にも適用できようとした(1)式を示している。これに対し一点鎖線は、Basler・Thürlimann が $\sigma_y = 33 \text{ ksi}$ の鋼種に対して求めたと同様の計算を行った結果である。これら2つの比較より、 $\sigma_y = 33 \text{ ksi}$ の鋼種に対する結果をそのまま $\sigma_y = 50 \text{ ksi}$ の鋼種に対して適用することは不可能といえる。また、Basler・Thürlimannの理論に忠実に計算をした結果は図の実線であり、 $\sigma_y = 50 \text{ ksi}$ の鋼種においても Basler・Thürlimannの曲げ耐力式が自身の理論よりもきわめて安全側の評価をしていることがわかる。さらに、(2)式を材料定数で無次元化した幅厚比 $(h/t_w)\sqrt{\sigma_w/E}$ で与えることは不可能であり、(1)式も無次元化表示することは不可能で、一般の耐力力特性と異なる。このことは、(2)式誘導の際に圧縮フランジの垂直座屈を

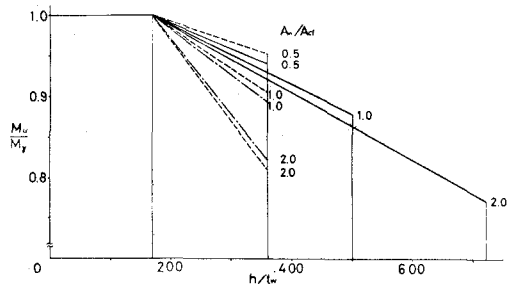


Fig.1 Basler's Theory in case of $\sigma_y = 33 \text{ ksi}$
 --- Original Exact Curve - - - - Original Design Formula
 $M_u/M_y = 1 - 0.0005 \frac{A_w}{A_{cf}} (h/t_w - 170)$

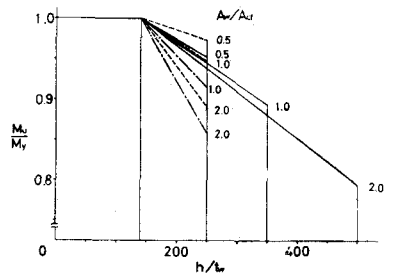


Fig.2 Basler's Theory in case of $\sigma_y = 50 \text{ ksi}$
 --- Original Exact Curve - - - - Original Design Formula
 $M_u/M_y = 1 - 0.0005 \frac{A_w}{A_{cf}} (h/t_w - 140)$

単位幅あたりのオイラーの荷重とみなして、すでに曲げ応力度によって座屈しているウェブに柱としての座屈理論を適用したことに問題があることを示している。また、そのためにウェブ面内のフランジの変形を拘束する垂直補剛材の影響を無視している。

秋田藤井²⁾の式は、Basler-Thürlimannの式に比べ一般性を持つ解析を行なっているが、圧縮フランジの垂直座屈に対する考慮がないために、無次元化した幅厚比 $(h/t_w)\sqrt{G_w/E}$ の大きい領域でBasler-Thürlimannの提案式より高目の推定をしている。フランジモーメント(フランジが降伏したときのウェブ応力負担分を除いたモーメント) M_f と降伏モーメント M_y の比

M_f/M_y の値と、秋田藤井の提案式において無次元化した幅厚比 $(h/t_w)\sqrt{G_w/E}$ を無限大としたときに得られる M_u/M_y を、実用に供されるプレートガーターの幾何学的制約を考慮して A_w/A_{cf} が $0.5 \leq A_w/A_{cf} \leq 2.0$ の範囲での比較をTable 1に示す。

いずれの A_w/A_{cf} の場合にも耐荷モーメント M_u/M_y がフランジモーメント M_f/M_y を下回っているが、その差はわずかである。このことから、秋田藤井の提案式によればこの範囲での A_w/A_{cf} と有限の無次元化した幅厚比 $(h/t_w)\sqrt{G_w/E}$ の値とでは、ウェブが極端に薄くともその耐荷モーメントはフランジモーメントをほぼこえる。この原因は、秋田藤井の理論ではウェブが極端に薄くともウェブ高が変わらない状態で圧縮フランジは必ず降伏すると考えていることによると思われる。

Herzog³⁾の提案式は多くの実験データ($G_w=30.6 \sim 120$ ksiの鋼種を用いた)にもとづいているもの、それぞれウェブ座屈、水平座屈、垂直座屈による耐荷力の低下を考慮している係数は構造用炭素鋼から得たものと思われ、値を用いており、材料定数に関し無次元化表示されていないため、実験式としての意味はあるが、この式をそのまま設計に適用することには問題がある。Fig.3はウェブの周辺を単純支持固定支持としたときの座屈曲線を破線で、 A_w/A_{cf} が0.5と2.0の場合についてBasler-Thürlimann、秋田藤井、Herzogの提案式をそれぞれ実線、一点鎖線、点鎖線で示したものである。ここでBasler-Thürlimannについての結果は $G_w=33$ ksiの鋼種を用いて、Herzogについての結果は $G_w=33$ ksiの鋼種を用いてかつ垂直座屈の危険性のみがある場合の係数を用いての計算結果である。図でHerzogの提案式は、 A_w/A_{cf} により、 $M_u/M_y=1.0$ となる無次元化した幅厚比 $(h/t_w)\sqrt{G_w/E}$ の値が異なっている。このことは、 A_w/A_{cf} が異なることによるフランジとウェブとの境界条件の変化を暗黙のうちを含んでおり、実際の挙動を適切に評価したといえる。

Table 1

A_w/A_{cf}	M_u/M_y ¹⁾	M_f/M_y ²⁾
0.5	0.912	0.923
1.0	0.845	0.857
2.0	0.750	0.750

Remarks

- 1) Ultimate Bending Strength by Fujii's Formula when $(h/t_w)\sqrt{G_w/E}$ takes infinite
- 2) Flange Moment

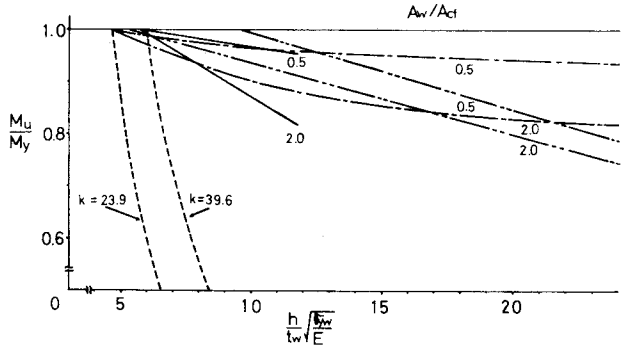


Fig. 3

--- k=23.9 : S.S. Buckling Curve — : Basler
 --- k=39.6 : Fix Buckling Curve - - - : Herzog
 - · - : Fujii

Herzogの提案式は多くの実験データ($G_w=30.6 \sim 120$ ksiの鋼種を用いた)にもとづいているもの、それぞれウェブ座屈、水平座屈、垂直座屈による耐荷力の低下を考慮している係数は構造用炭素鋼から得たものと思われ、値を用いており、材料定数に関し無次元化表示されていないため、実験式としての意味はあるが、この式をそのまま設計に適用することには問題がある。Fig.3はウェブの周辺を単純支持固定支持としたときの座屈曲線を破線で、 A_w/A_{cf} が0.5と2.0の場合についてBasler-Thürlimann、秋田藤井、Herzogの提案式をそれぞれ実線、一点鎖線、点鎖線で示したものである。ここでBasler-Thürlimannについての結果は $G_w=33$ ksiの鋼種を用いて、Herzogについての結果は $G_w=33$ ksiの鋼種を用いてかつ垂直座屈の危険性のみがある場合の係数を用いての計算結果である。図でHerzogの提案式は、 A_w/A_{cf} により、 $M_u/M_y=1.0$ となる無次元化した幅厚比 $(h/t_w)\sqrt{G_w/E}$ の値が異なっている。このことは、 A_w/A_{cf} が異なることによるフランジとウェブとの境界条件の変化を暗黙のうちを含んでおり、実際の挙動を適切に評価したといえる。

- 3) 結論
- i) Basler-Thürlimannの曲げ耐荷力式は、安全側にこだわりすぎて理論とはかけはなれた結果を得ており、理論に忠実に修正を加えても鋼種に関して無次元化表示できず、一般の耐荷力特性と異なる結果を与えている。
 - ii) 秋田藤井の理論では圧縮フランジの垂直座屈に対する考慮がないために、ウェブが極端に薄くとも耐荷モーメントはほぼフランジモーメントに達するという実際より高目の推定をしている。
 - iii) Herzogの理論では圧縮フランジの水平座屈およびウェブ座屈の危険性を評価する係数に構造用炭素鋼から得たと思われる値をそのまま一般の鋼種に適用しており、このまま設計に適用することには問題がある。

なお、提案式と実験値との比較は当日発表する予定である。

<参考文献> 1) Basler, K. and Thürlimann, B.: Strength of plate girders in bending, Proc. of ASCE, Vol. 87, NO. ST6, pp. 153~181, Aug., 1961.
 2) 秋田好雄、藤井孝男: 座屈と塑性を考慮した最小重量設計; 第2報, 造船協会論文集 120号, pp. 156~164, 1966.
 3) Herzog, M.A.M.: Ultimate static strength of plate girders from tests, Proc. of ASCE, Vol. 100, NO. ST5, pp. 849~864, May, 1974.