

(株)神戸製鋼所	正員	○藤野 真之
(株)神戸製鋼所	正員	森脇 良一
大阪大学	正員	小松 定夫

1. 概要

プレートガーダーの座屈および崩壊パターンは、せん断、曲げおよびせん断と曲げの組合せによるものがある。プレートガーダーの製作は、ほとんど溶接でなされており、この場合フランジやウェブのごとき薄板要素に不可避免的に発生する残留応力や初期変形などの初期不整が、それぞれのパターンにおける構造強度に大きな影響を与える要因としてクローズアップしてくる。これに関連して、これまで多くの理論的、実験的研究が報告され、プレートガーダーの構造強度に関する研究は著しい進展を遂げつつある。しかしながら、これらの多くの研究では、初期不整として残留応力と初期変形の両者の重要性を認めているものの、これら両者の構造強度への影響に関して、必ずしも十分な検討がなされているとはいいがたいようである。このような背景より、筆者らは実際と同じ工法、条件で製作した合計14体の実大模型試験体の残留応力および初期変形を実測し、これらの因果関係を把握し、さらに同じ工法、条件で製作した実大模型試験体(合計54体)で、各種パターンに対する座屈および崩壊強度と初期不整の相関関係を実験的に検討してきた^{1),2)}。

本報告は、得られた実験式と道路橋示方書³⁾(道示)の設計基準式を比較し、残留応力や初期変形などの初期不整を、プレートガーダーの座屈および崩壊強度に対して、どのように評価すればより適正な設計が可能になるかについて一つの考察を試みたものである。

2. 実験式と道示の比較

既報¹⁾の実験式は、これまで実施した試験体のプロポーションより、 $4.6 \leq \psi \leq 11.4$, $0.63 \leq \alpha \leq 2.0$, $C = -1.0$, -1.7 , $0.50 \leq \lambda_L \leq 3.5$, $0.35 \leq \lambda_T \leq 0.60$, $0 \leq 2\delta_w (= \delta_{\max}/t_w) \leq 1.0$, $\delta_{fx} = \delta_{fy} = 0$, $-0.2 \leq \delta_w (= \delta_{rw}/\delta_{yw}) \leq 0.7$, $-0.6 \leq \delta_f (= \delta_{rx}/\delta_{yf}) \leq -0.1$ の範囲にある十数例の鉛直補剛材のみを有する溶接プレートガーダーの座屈、崩壊強度に対して適用可能と考えられる。ここに、 $\psi = (d_w/t_w) \cdot (\delta_{yw}/E)^{1/2}$, d_w = ウェブ高, t_w = ウェブ厚, δ_{yw} = ウェブの降伏点, E = ヤング係数, α = アスペクト比, C = 上下縁応力比, $\lambda_L = L \cdot (P_y/B_f)^{1/2}$, L = 構構間隔, P_y = 圧縮フランジの降伏軸力, B_f = 圧縮フランジの水平曲げ剛性, $\lambda_T = Y_0 \cdot (P_y/C_f)^{1/2}$, $Y_0 = (I_{pc}/A_c)^{1/2}$, I_{pc} = 圧縮フランジの2次極モーメント, A_c = 圧縮フランジの断面積, C_f = 圧縮フランジのねじれ剛性, $\delta_{\max}$ = ウェブの面外最大初期変形, δ_{fx} , δ_{fy} = 圧縮フランジの面外、面内最大初期変形, δ_{rw} = ウェブ中央部の残留応力, δ_{rx} = 圧縮フランジの最小残留応力, δ_{yf} = 圧縮フランジの降伏点である。このような適用範囲で各種座屈および崩壊パターンに対して実験式と道示の基準式を比較し、初期不整を考慮したプレートガーダーの設計について一つの考察を加えてみる。

純曲げモーメントを受けるウェブの座屈実験式($\delta_{cro}^d/\delta_{yw}$)は、 $C = -1.0$ (2軸対称断面)の場合、

$$\psi > \psi_0 \quad (\text{弾性域}) \quad \text{のとき} \quad \delta_{cro}^d/\delta_{yw} = k_b \pi^2 (1 - 0.05 \delta_w) / \{ 12 (1 - \mu^2) \cdot \psi^2 \} \quad \text{--- (1)}$$

$$\psi \geq \psi_0 \geq 4.6 \quad (\text{非弾性域}) \quad \text{のとき} \quad \delta_{cro}^d/\delta_{yw} = 1.12 \{ (1.46 - 0.12 \psi)(\delta_w - 1) \delta_w^2 + (0.060 \delta_w + 0.51) \delta_w + (1.08 - 0.54 \delta_w - 0.019 \psi) \} \quad \text{--- (2)}$$

で与えられる。ただし、 k_b は載荷辺単支持非載荷辺固定の板の曲げ座屈係数(39.5)、 μ はポアソン比、 ψ_0 は弾性座屈と非弾性座屈の境界値であり、(1)式と(2)式を等価におくことによって得られ、 δ_w , δ_w および k_b の関数で与えられる。同様に $C = -1.7$ (1軸対称断面)の座屈強度は、(1)式および(2)式の ψ を1/1.26倍してやることによって得られる。そこで $C = -1.0$ の場合に関する(1)式および(2)式と現行道示基準式を比較すると才1図のようになる。同図より、弾性座屈領域での実験式($\delta_{cro}^d/\delta_{yw}$)は基準式($\delta_{cro}^d/\delta_{yw}$)を、上述の初期不整適用条件の範囲内で

は常に上回っているが、非弾性座屈領域での $\sigma_{cro}^d/\sigma_{yw}$ は、 σ_{ru}/σ_{yw} あるいは σ_{dmax}/t_w などの初期不整の大きさによっては、 $\sigma_{cro}^d/\sigma_{yw}$ より低くなるケースの生ずることが認められる。ところで、純曲げモーメントを受けるウェブの座屈後強度を最大20%見込んでいる現行道示の中の最大値 (ψ_{max}) は5.14 (このときの d_w/t_w は軟鋼の場合で152) である。そこでこの $\psi_{max}=5.14$ を遵守したとき、ウェブの初期不整はどの程度まで許容されるかを本実験式より求めてみる。まずウェブの残留応力は、通常の製作工法、条件に従った場合、実大模型試験体の残留応力の実測より、 $\sigma_{ru}/\sigma_{yw} = -0.1$ とすれば十分安全側の残留応力条件になると考えられる。この条件より、 $C=-1.0$ の場合は、 $\sigma_{dmax}/t_w = 0.75$ 程度まで許容される。また $C=-1.7$ の場合も同様に検討すると、 $\sigma_{dmax}/t_w = 0.90$ 程度まで許容される。以上の結果を現行道示の初期変形許容基準 ($\sigma_{dmax} \leq d_w/250$) と比較するため d_w の関数で表示すると、 $C=-1.0$ のシビヤ-な場合でも、SM41材で $\sigma_{dmax} \leq d_w/200$ 、SM58材で $\sigma_{dmax} \leq d_w/150$ となり、現行初期変形許容基準は少々厳しいものであると考えられる。いっぽう現行道示の初期変形許容基準に従い、20%の座屈後強度が期待できる ψ_{max} を本実験式から求めると、 $C=-1.0$ の場合6.6、 $C=-1.7$ の場合8.5 となり、現行基準 ($\psi_{max}=5.14$) より相当大きな ψ まで許容できることになる。しかしながら ψ を大きくすることは、せん断座屈強度の面で問題になると考えられ、したがって $\psi_{max}=5.14$ を一応固定した考察を進めたほうがウェブパネルの設計製作の適正化につながるものと考えられる。つぎに純曲げモーメントを受ける場合の水平座屈強度について本実験値と現行基準式を比較すると第2図のようになる。同図より、通常の工法、条件で製作したプレートガーダーの水平座屈強度は、現行基準式で安全に評価しうると考えられる。また本実験においては、ウェブの幅厚比を現行基準より大きくとり、圧縮フランジの幅厚比を現行基準内で設計したものは、降伏モーメント以下でねじれ座屈した。これらの問題およびその他の座屈、崩壊パターンに対する考察は発表当日報告する予定である。

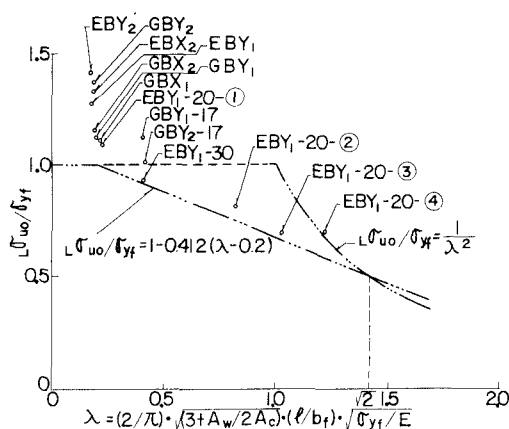
[参考資料]

1) 森脇藤野: 初期不整を有するプレートガーダーの座屈および耐荷力に関する研究, 第21回構造工学シンポジウム, 1974-11

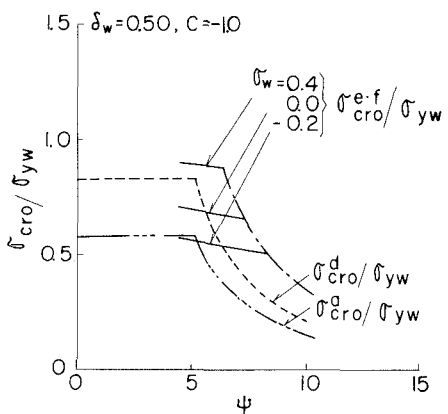
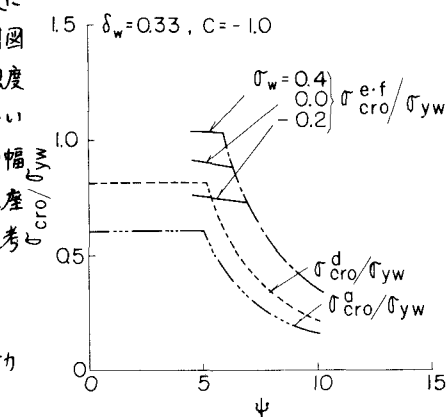
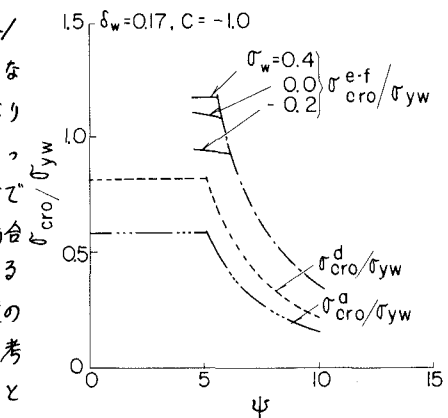
2) 森脇藤野:

“初期不整を有するプレートガーダーのせん断強度に関する実験的研究”, 土木学会論文報告集, 第247号, 1976-5

3) 日本道路協会: “道路橋示方書・同解説”, 1973



第2図. 水平座屈に関する実験値と基準式の比較



第3図. ウェブの純曲げ座屈に関する実験式と基準式の比較