

組合せ応力を受けるプレートガーダーの終局強度相関曲線

広島大学大学院 学生会員 ○小川 靖之 広島大学大学院 正会員 藤井 堅  
 広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治

1. まえがき

わが国の鋼構造物の設計は、従来、許容応力度設計法を用いて行われてきたが、現在これに替わる設計法として、構造物の要求性能に基準を置く、性能照査型設計法（性能設計）への移行が進められている。性能設計では、性能照査を行うために、構造物・部材が限界状態に対し保有している性能（弾性座屈強度・終局強度など）を評価しなければならないが、プレートガーダーには、強度に影響する要因が多く存在し、終局強度が十分には解明されていない。例えば、桁がせん断力を受ける場合、ウェブの座屈後、垂直補剛材は斜め張力のアンカーとなり、強度部材として作用することになるが、桁の終局強度曲線に関する既往の研究では、垂直補剛材の変形をモデルに考慮していない場合が多く、補剛材が終局強度に与える影響は十分には検討されていない。

そこで本研究では、桁の終局強度に対して、垂直補剛材がどのような効果を持ち、また、どの程度貢献するかという観点で補剛材の機能を評価し、補剛材の剛度、配置間隔を変数の一つとして含んだ終局強度曲線を提案する。また、提案式を用いて桁の終局強度の評価を試みた。

2. 相関曲線の提案方法

本研究では、桁の曲げに起因する崩壊のうち、弾性域での横倒れ座屈、垂直座屈が十分防止されている場合、上下フランジは自由突出板の圧縮強度( $\sigma_u A_f$ )に桁高 $H_w$ を乗じた曲げモーメント( $M_{ultf} = \sigma_u A_f H_w$ )を負担できると仮定した。また、桁全体が負担できる曲げモーメント $M_{ult}$ は、それにウェブの負担分 $M_{ultw}$ を加えたもので表せると仮定する。つまり、本研究では、組合せ荷重を受けるプレートガーダーの終局曲げモーメントを次のような形で提案する。

$$M_{ult} = M_{ultw} + M_{ultf} \quad (1.a)$$

また、せん断力 $V_{ult}$ はフランジに支持されたウェブが負担するものとする。

$$V_{ult} = V_{ultw} \quad (1.b)$$

ここに、 $V_{ultw}$ は垂直補剛材を有するウェブの終局せん断強度で、ウェブの $M_{ultw}$ 、 $V_{ultw}$ に次の相関関係を仮定する。

$$\left(\frac{M_{ultw}}{M_{ultw}^*}\right)^p + \left(\frac{V_{ultw}}{V_{ultw}^*}\right)^q = 1.0 \quad (2)$$

キーワード：プレートガーダー、垂直補剛材、組合せ応力、終局強度  
 連絡先：広島県東広島市鏡山 1-4-1  
 TEL：0824-24-7791

ここに、 $M_{ultw}^*$ 、 $V_{ultw}^*$ は純曲げ、純せん断に対するウェブの終局強度で、 $p$ 、 $q$ は定数である。 $V_{ultw}^*$ はウェブのアスペクト比、幅厚比パラメータの他、垂直補剛材の影響を受けることがわかっている。ここでは、垂直補剛材に関するパラメータとして曲げ剛比を考慮した。また、フランジはせん断張力場のアンカーとしてはたらくから、 $V_{ultw}^*$ はフランジの剛性 $E_f I_f$ 、 $G_f J_f$ 、 $E_f A_f$ 、 $G_f A_f$ （ここに $E_f$ :弾性係数、 $G_f$ :せん断弾性係数、 $I_f$ :フランジの断面2次モーメント、 $J_f$ :フランジのねじり定数）の影響も受けるはずである。ここではFig.1に示すウェブの解析モデルの上下境界に梁要素を取付け、フランジのねじり剛性を考慮して解析を行った。よって、 $V_{ultw}^*$ を支配する変数は次のように与えられる。

$$V_{ult.w}^* = \text{func}(\alpha, R_{\tau.w}, \gamma, \gamma_{f,T}) \quad (3)$$

ここに、 $\alpha$ :ウェブアスペクト比、 $R_{\tau.w}$ :純せん断に対するウェブの幅厚比パラメータ、 $\gamma$ :垂直補剛材曲げ剛比、 $\gamma_{f,T}$ :フランジのねじり剛比である。なお、本研究では、終局時に補剛材の降伏・座屈が発生するような場合も解析の対象とした。また、 $M_{ultw}^*$ は次のように仮定する。

$$M_{ult.w}^* = \text{func}(\alpha, R_{M.w}, \gamma) \quad (4)$$

ここに、 $R_{M.w}$ :純曲げに対する幅厚比パラメータ。

3. 解析モデル

本研究で用いたウェブの解析モデルの一例をFig.1に示す。要素は、ウェブ、垂直補剛材のモデル化に4節点のシェル要素を用い、フランジのねじり剛性を導入するために弾性、2節点のTimoshenko梁要素を用いる。ウェブの要素分割は桁高方向に20分割し、垂直補剛材間を $20 \times L_w/H_w$ 程度で分割する。垂直補剛材は高さ方向に4分割とした。鋼材は

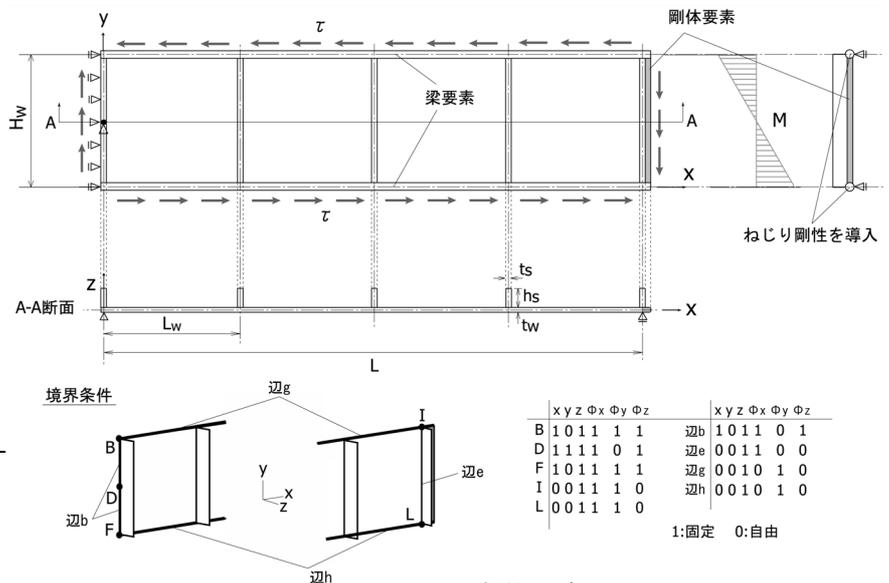


Fig.1 解析モデル

SS400 を想定し，材料定数は降伏応力 $\sigma_Y=235.2 \text{ kN/mm}^2$ ，弾性係数 $E=205.8 \text{ kN/mm}^2$ ，ポアソン比 $\nu=0.3$ とした．材料は完全弾塑性体とし，Mises の降伏条件に従うものとする． $\alpha$  は $0.5 \leq \alpha \leq 2.0$ の範囲を対象にした．ウェブの初期たわみは，次式で与えた（たわみはすべて補剛材設置側に凸）．

$$w_{0-1} = w_{0\max} \cdot \sin\left(\frac{\pi x}{L_w}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{H_w}\right), w_{0\max} = H_w / 250 \quad (5)$$

4. 提案式とまとめ

解析結果から得られた  $V_{ult,w}^*$ ,  $M_{ult,w}^*$  を示す．

$$\frac{V_{ult,w}^*}{0.95} = V_{ult,w}^{0,\gamma_{f,T}0} + (V_{ult,w}^{\infty,\gamma_{f,T}\infty} - V_{ult,w}^{0,\gamma_{f,T}0}) \cdot V' \quad (6)$$

$$V_{ult,w}^{0,\gamma_{f,T}0} = \begin{cases} V_Y \cdot R_{\tau,w}^{-1.300} & (R_{\tau,w} \geq 1.0) \\ V_Y & (R_{\tau,w} < 1.0) \end{cases} \quad (7)$$

$$V_{ult,w}^{\infty,\gamma_{f,T}\infty} = \begin{cases} V_Y \cdot R_{\tau,w}^{-0.680\alpha^{0.300}} & (R_{\tau,w} \geq 1.0) \\ V_Y & (R_{\tau,w} < 1.0) \end{cases} \quad (8)$$

$$V' = (-0.355\alpha + 1.070) V_{\gamma'}' + (0.322\alpha + 0.0261) V_{\gamma_{f,T}}' \leq 1.0 \quad (9)$$

ここに， $V_Y$ ：ウェブの降伏せん断強度( $=\tau_Y A_w$ )．また，

$$V_{\gamma'}' = \left\{ 1 - \left( \frac{\gamma}{\gamma_{ult}} - 1 \right)^8 \right\}^{0.385} \leq 1.0 \quad (10)$$

$$V_{\gamma_{f,T}}' = \left\{ 1 - \left( \frac{\gamma_{f,T}}{\gamma_{f,T,ult}} - 1 \right)^2 \right\}^{0.909} \leq 1.0 \quad (11)$$

$$\gamma_{f,T,ult} = -13.734 R_{M,w}^4 + 167.857 R_{M,w}^3 - 705.328 R_{M,w}^2 + 1139.830 R_{M,w} - 488.916 \quad (12)$$

$$\frac{M_{ult,w}^*}{0.95 M_Y} = \begin{cases} 1.0554 \cdot R_{M,w}^{-0.813} & (R_{M,w} \geq 0.706) \\ 1.40 + 0.10 \frac{0.706 - R_{M,w}}{0.706} & (R_{M,w} < 0.706) \end{cases} \quad (13)$$

式(10)の $\gamma_{ult}$ は文献<sup>1)</sup>の Fig.2 から求める．なお，これらの式は残留応力による強度低下を 5%見込んで値を低減している．式(2)の係数 p,q は  $p=1.5, q=1.25$  が得られた．

既報<sup>2)</sup>の実験結果と本算定式を比較した結果を Fig.2 に，Basler<sup>3)</sup>の相関曲線と比較したものを Fig.3 に示す．また，補剛材剛比の小さいモデルについて検証するために， $\alpha=1$ ， $H_w/t_w=200$ ， $\gamma=5.0$ の桁の数値解析を行った結果(▲印)も合わせて示している．Fig.4 中の方法で距離  $r_{ex}$ ， $r$  を求めると，実験値，解析値の  $r_{ex}$  は本推定値  $r$  の 1.04~1.29 倍の範囲に分布し，本算定式は，補剛材剛比の小さい場合(▲印)も含め，全てのモデルに対し小さめの強度を推定する結果となった (Fig.4)．実験値のみを Basler の推定値と比較した  $r_{ex}/r$  は  $0.76 \leq r_{ex}/r \leq 1.15$  であり，本算定式の精度は Basler の曲線と同程度である．よって，本算定式は小さめの強度を推定するが，終局強度の相関の傾向は大まかにつかめていると思われる．また，Fig.3 より Basler の曲線は剛比の小さい▲の解析結果に対し，大きめの強度を推定している．これは，Basler が純せん断強度を算出する際に用いる張力場モデルが，補剛材断面が比較的大きい場合を対象に作られており，補剛材の変形が考慮されていないことが原因と考えられる．一方本算定式では，終局強度を決定する変数の 1 つとして補剛材

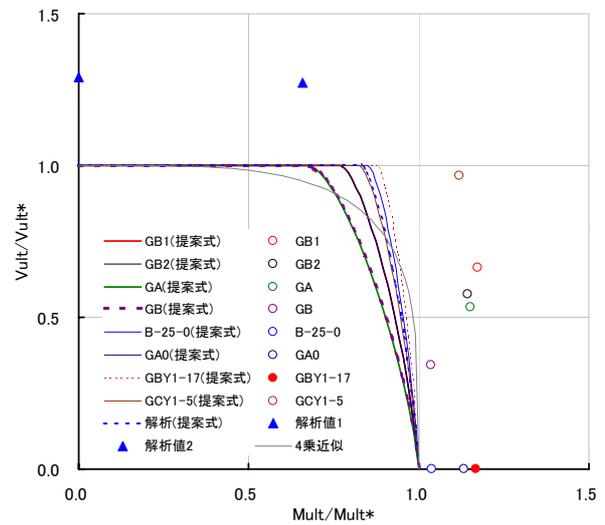


Fig.2 本算定式と実験値，解析値の比較

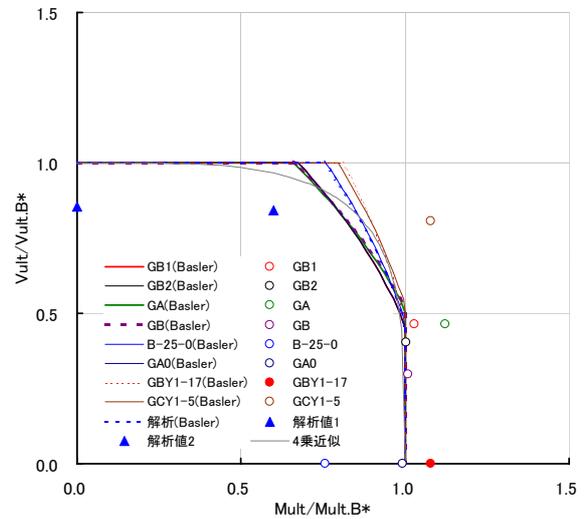


Fig.3 Basler の相関曲線と実験値，解析値の比較

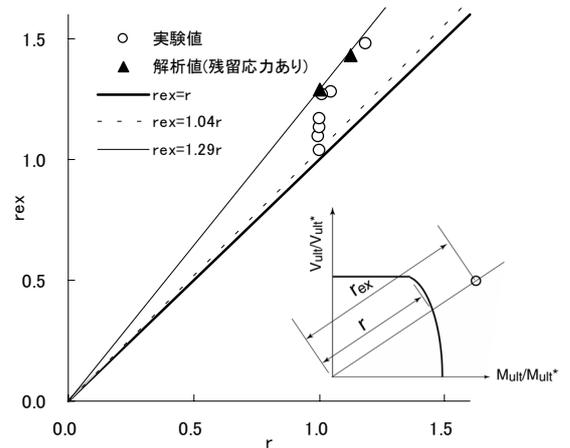


Fig.4 本推定値と実験値，解析値の比較

剛比を考慮しており(式 10)，剛比が小さい場合にも適用できる．参考文献 1) 小川，藤井，中村:垂直補剛材剛度を考慮したプレートガーダーの終局強度曲線，第56回中国支部研究発表会概要，2) 土木学会関西支部共同研究グループ:薄板構造の強度と設計に関する調査研究，3) Basler, K. :Strength of Plate Girders under Combined Bending and Shear, ASCE, Vol.87, 1961.