

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

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¹⁾、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調査し、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考える。

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

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。

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

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 $E_f I_f$ 、 $G_f I_f$ 、 $E_f A_f$ 、 $G_f A_f$ (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。

$$V_{ultw}^* = \text{func}(\alpha, R_{\tau w}, \gamma, \gamma_{ft}) \quad (3)$$

ここに、 α :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、 γ :垂直補剛材曲げ剛比、 γ_{ft} :フランジのねじり剛比。また、 M_{ultw}^* は次のように仮定する。

$$M_{ultw}^* = \text{func}(\alpha, R_{Mw}, \gamma) \quad (4)$$

ここに、 R_{Mw} :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

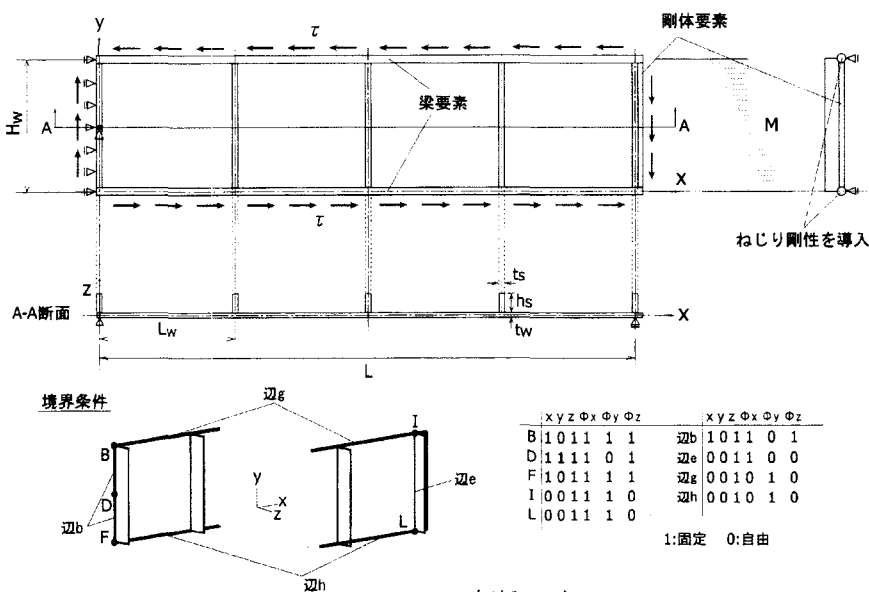


Fig.1 解析モデル

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。 α 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）。

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

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。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

式(10)の γ_{ult} は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。

本算定式を既報²⁾の実験結果と比較した結果を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} は推定値 r の1.04~1.29倍の範囲に分布した(Fig.4)。Fig.3,4より、本算定式は小さめの強度を推定するものの、終局強度の相関の傾向はつかめていると思われる。本算定式が小さめの強度を推定する理由としては、①実験の桁の断面力の採用位置として、今回、組合せ応力状態で最も不利となる位置を採用したこと、②式(6)~(13)の近似の際、下限値を用いていること、③算定式は、ねじり剛性以外のフランジの剛性を無視していること、④算定

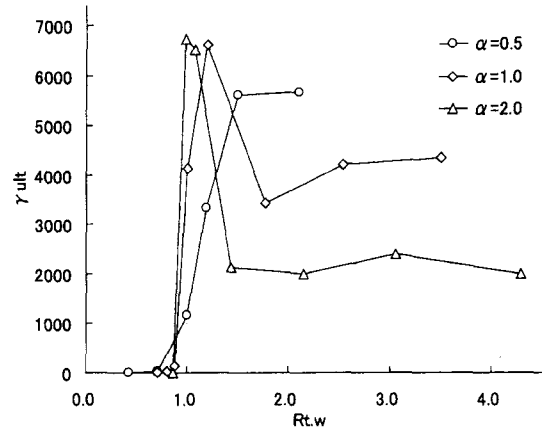


Fig.2 $R_{\tau,w} - \gamma_{ult}$ 関係

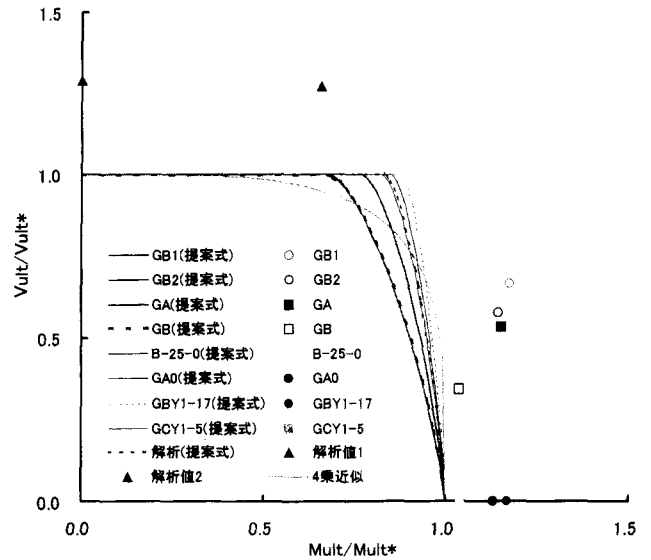


Fig.3 提案式と実験値の比較

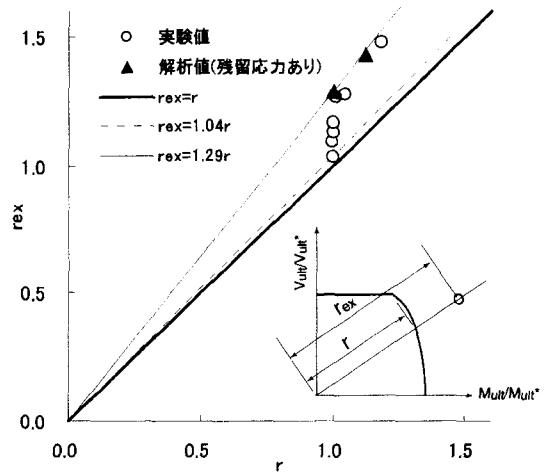


Fig.4 推定値と実験値の比較

式は鋼材のひずみ硬化を無視していること、などが考えられる。また、▲の結果から、本算定式は補剛材剛比が小さい場合にも、同程度の精度で終局強度を推定できるものと考えられる。参考文献 1) 日本道路協会:道路橋示方書 I・II, 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, 1988。