

力学パラメータに着目した鋼桁曲げ強度算定式の簡素化

○舞鶴高専 学生員 藤田 匠
舞鶴高専 正会員 玉田 和也
大阪大学名誉教授 フェロー 西村 宣男

1. 研究背景

現行道示における鋼桁（プレートガーダー）の設計方法は、いまなお許容応力度設計法の流れを引き継いでいる。そのため性能照査型設計法が主流となった現在において、現行の設計基準では直接鋼桁の限界強度を評価できないことなどから性能照査型設計法にそぐわないものとなっている。このような状況の中、既往の研究¹⁾により耐荷力を直接算出可能な強度算定式が提案されている。この強度式は弾性域から塑性域までを連続的に取り扱える精度の高い式である。しかし式の構成としては煩雑で、断面強度に対する断面寸法・断面諸量の関連性を見出すことは困難である。そのため、断面強度と力学パラメータとの関係が、より明確に説明できるように式の変形を行なった。

2. 研究目的

本研究では、既往の研究で提案されている I 形断面（上下非対称）、逆 π 形断面のプレートガーダーに水平補剛材 0 段と 1 段を有する場合の曲げ耐荷力算定式について式の簡素化を行い、元の式で算出される曲げ強度の精度を維持しつつも、力学パラメータとの関係をより明確に表現できる算定式の提案を目的とする。

3. 算定式の簡素化

I 形断面（水平補剛材 0 段）を例として、算定式の簡素化を下記に示す。次式が現在既往の研究で提案されている曲げ耐荷力算定式である。

$$M_u = \sigma_{uf} A_{fu} (e_{yu} - \frac{t_{fu}}{2}) + \frac{1}{3} C_{rw} \sigma_{uw} A_w \frac{(e_{yu} - t_{fu})^2}{h} + \sigma_{fl} A_{fl} (e_{yl} - \frac{t_{fl}}{2}) + \frac{1}{3} \sigma_{fl} A_w \frac{(e_{yl} - t_{fl})^2}{h} \quad (1)$$

式中の下フランジに作用する応力度 σ_{fl} と断面上端から中立軸までの距離 e_{yu} は下の通りである。詳しくは参考文献²⁾を参照されたい。

$$\sigma_{fl} = \frac{\sigma_{uf} A_{fu} + \frac{1}{2} C_{rw} \sigma_{uw} A_w \frac{e_{yu} - t_{fu}}{h}}{A_{fl} + \frac{1}{2} A_w \frac{e_{yl} - t_{fl}}{h}}, \quad e_{yu} = \frac{t_{fu} (A_{fu} + 2A_w + 2A_{fl}) + h(A_w + 2A_{fl}) + t_{fl} A_{fl}}{2 \sum A}$$

簡素化は、算定式の意味合いを考慮しつつ近似が可能な寸法や式の整理に有効な省略により行った。省略可否の判定には、感度係数を利用してその影響度から判断した。判定基準は、式の変化後の曲げ耐荷力の値が式変形前の値の±5%であれば良いとした。

例えば、式(1)中第 3 項目の $(e_{yl} - \frac{t_{fl}}{2})$ を $(e_{yl} - t_{fl})$ とする場合の感度係数は下記となる。

$$\frac{M_u(e_{yl} - t_{fl}) - M_u(e_{yl} - \frac{t_{fl}}{2})}{M_u(e_{yl} - t_{fl})} = -0.009 \quad (2)$$

よって簡素化しても良いと判断でき、第 3 項目と第 4 項目は整理することができる。このような作業を繰り返して行い、求めた I 形断面（水平補剛材 0 段）における簡素化式を図-1 に示す。簡素化式では、非対称性を表す係数 K を新たに導入した。この K を用いると中立軸位置 e_{yu} は、式(3)として表すことができる。

キーワード 鋼桁、強度算定式、終局曲げ強度、耐荷力

連絡先〒625-8511 京都府舞鶴市宇白屋 234 建設システム工学科 TEL 0773-62-8983

$$e_{yu} \cong \frac{h}{2}(1+K)+t_{fu} \quad (3)$$

簡素化式には適用範囲が存在し、検証の結果その範囲を $A_{fu}/A_f < 3.0$ とした。また式中の圧縮側腹板に作用する限界応力度 σ_{uw} の算出に用いる座屈係数 k_b について、 K を用いて計算式をまとめたものを図-2に示す。また、応力勾配 ψ を係数 K によって表したものを式(4)に示す。

$$\psi \cong \frac{K-1}{K+1} \quad (4)$$

式(4)により座屈係数 k_b が比較的容易に計算でき、簡素化式がより使いやすくなったと考える。

4. 簡素化式の妥当性の評価

簡素化式の妥当性を評価するために、

既往の実験結果²⁾との比較を行った。その結果を図-3に示す。図中の一点鎖線は誤差 $\pm 10\%$ を表し、簡素化式と実験値の比の平均値は1.006、変動係数は0.074であった。この結果より簡素化式は十分な精度を維持した妥当なものであると評価できる。

5. 簡素化による効果

簡素化式の各項に着目すると、第1項目は圧縮側フランジを上下対称フランジとして見たときの曲げ耐力を、第2項目は腹板に作用する三角形応力分布と中立軸位置の影響を含んだ耐力を示す。元の式と比較すると、式中の変数の数が減少し項の数が減ったことでコンパクトな式となったといえる。

上下非対称の影響を集約した係数 K を導入することで、中立軸位置、応力勾配等を容易に計算できるようになった。逆 π 形断面の強度式も同様の形式で簡素化することができ、水平補剛材を1段有する場合も含めて詳細はパワーポイントで説明する。

以上より、鋼桁の断面強度と力学パラメータとの関係をより明確に表す強度算定式を提案できたと考える。なお、本提案式は、極厚フランジ断面およびハイブリッド断面にも適用範囲を広めることが可能と考えられ、引き続き解析的検討を加える予定である。

参考文献 1) 西村宣男・玉田和也・小野潔：鋼桁を対象とした強度設計の性能規定化，構造工学論文集，Vol.53A, pp87-96, 2007年4月。

2) 藤原稔・村越潤・鹿嶋久義・斉藤浩：既存のプレートガーダー耐荷力実験データに関する検討，土木研究所資料第2940号，1991年3月。

I形断面水平補剛材0段（一軸対象）の曲げ強度算定式

$$M_u = \sigma_{uf} A_{fu} h + \frac{1}{6} C_{rw} \sigma_{uw} A_w h (1+K)$$

$$\text{ただし, } K = \frac{A_f - A_{fu}}{\sum A}$$

$$K=0: \text{上下対称断面} \quad (e_{yu} = e_{yl})$$

$$K<0: \text{上下非対称断面} \quad (e_{yu} < e_{yl})$$

$$K>0: \text{上下非対称断面} \quad (e_{yu} > e_{yl})$$

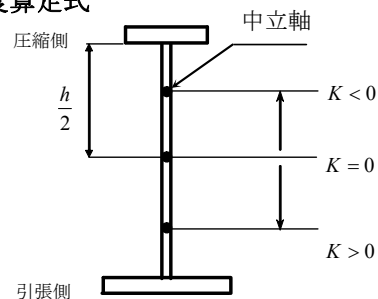


図-1

1	荷 重	座屈応力	適用範囲	座屈係数
2	直線分布の圧縮応力 $-1 \leq \psi \leq 0$	$\sigma_1 K_i = k \sigma_e$	$\alpha \geq 1$	$k = \frac{8.4}{\psi + 1.1}$
			$\alpha < 1$	$k = \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)^2 \cdot \frac{8.4}{\psi + 1.1}$
3	直線分布の圧縮応力と引張応力、但し圧縮応力大なる場合 $-1 < \psi < 0$	$\sigma_1 K_i = k \sigma_e$	$\alpha \geq 2/3$	$k = 10\psi^2 - 6.3\psi + 7.6$
			$2/3 \leq \alpha < 1$	$k = 10\psi^2 + \left\{ 1.91 \cdot \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)^2 - 13.9 \right\} \psi + 1.91 \cdot \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)^2$
			$\alpha < 2/3$	$k = 10\psi^2 + \left\{ 1.91 \cdot \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right) - \left(\frac{1.87}{\alpha^2} + 8.6\alpha^2 \right) - 5.87 \right\} \psi + 1.91 \cdot \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)$
4	直線分布の圧縮応力と引張応力、但し両端応力等しい場合 $\psi = -1$	$\sigma_1 K_i = k \sigma_e$	$\alpha \geq 2/3$	$k = 23.9$
			$\alpha < 2/3$	$k = 15.87 + \frac{1.87}{\alpha^2} + 8.6\alpha^2$

図-2

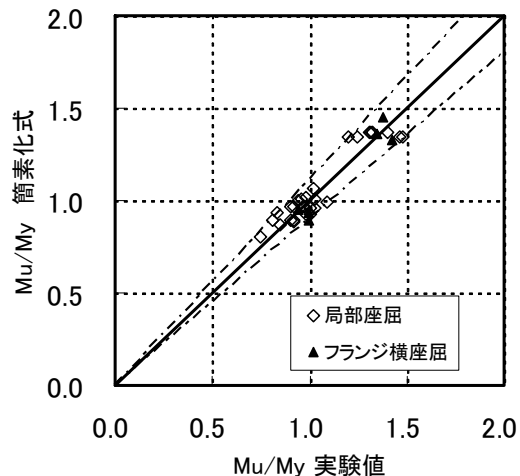


図-3 簡素化式と既往の実験との比較