

## 鋼 I 形断面桁の設計曲げ圧縮強度評価に関する一提案

新日本技研(株)・本社・設計支援室 正会員 ○井手口 尚子 , 同・東京支社・設計部 正会員 高濱 光夫  
同・東京支社・設計部 正会員 田中 伸英 , 同・本社 正会員 倉方 慶夫

現行の座屈設計法は等曲げを受ける単一材の試験データを元に作成され、単一材を対象として規定されている。そのため、I形断面桁で言えば、横桁や対傾構などのフランジ固定点で区切られる1格間を対象にして適用される。この結果、前後の格間との関連は無視され、時として不合理な結果を生む。また、格間で断面が変化する場合など、扱いが明確にされていない問題が残されている。ここでは、単一材の基準耐荷力曲線から有効接線係数 $\tilde{E}_f$ と作用応力度 $\sigma_c$ の関係を導き出すことにより、単一材の枠を超えてより一般的かつ合理的に座屈安全性の吟味が行えることを報告する。

1. 基準耐荷力曲線と $[\tilde{E}_f - \sigma_c]$ 曲線

図-1に道示Ⅱの曲げ圧縮に対する基準耐荷力曲線 $[\bar{\sigma} - \alpha]$ 曲線)と土木学会が提案するもの<sup>1)</sup>を実線で示す。また、これらとオイラー曲線の比 $\gamma_E = \sigma_{cr}/\sigma_E = E_f/E$ を破線で示す。 $E_f$ は、耐荷力の低下を断面性能は変わらずにヤング係数 $E$ の低下と見立てたときの低下ヤング係数(有効接線係数)である。

これに対し、図-1の同一の $\alpha$ に対する $\bar{\sigma}$ と $\gamma_E$ を横軸と縦軸にプロットしたのが図-2の実線である。 $\alpha$ の関数である $\gamma_E$ を $\bar{\sigma}$ の関数としたことにより記号を $\tilde{\gamma}_E (= \tilde{E}_f/E)$ と $\tilde{\sigma}$ に改めてある。更にこの図には、比較のために、図-3の2種類の残留応力を仮定した理想的な真直材の $[\tilde{\gamma}_E - \tilde{\sigma}]$ 曲線を破線で描き込んである。残留応力分布Ⅰは道示規定の元になった研究<sup>2)</sup>で仮定されたものであるが、ガス切断した板材の集成断面では残留応力分布Ⅱのようになる。道示Ⅱの $[\bar{\sigma} - \alpha]$ 曲線は、残留応力分布Ⅰ( $\sigma_r = 0.3\sigma_y$ )を仮定して試験値の下限近くを通るように、安全側に決めたものであるから曲線①は④に近い。一方、学会式による曲線②は⑤に近い。現状では残留応力分布は十分把握されていないが、実線と破線の間に初期変形の影響が含まれると解釈される。

## 2. 現行の座屈設計法

図-4は連続桁の中間支点部の終局荷重状態における曲げモーメント分布を模したものである。格間 $b-c$ に断面変化点があるとし、それらの断面を図-5に、格点の作用曲げモーメント $M$ を表-1に示す。断面は、降伏応力度 $\sigma_y$ から決まる抵抗曲げモーメント $M_{r,y}$ が $M$ を僅かに上回るように決定した(図-4)。表には、格間両端の $M$ の比 $\phi$ 、それによる道示の割増率 $\mu$ 、それに乗じた道示の座屈応力度 $\mu \cdot \sigma_{cr}$ 等が載せてある。図-4の $M_{r,cr}$ は $\mu \cdot \sigma_{cr}$ から算定される抵抗曲げモーメントである。格間 $a-b$ では $M_{r,cr} > M_{r,y}$ となるが、他の格間で

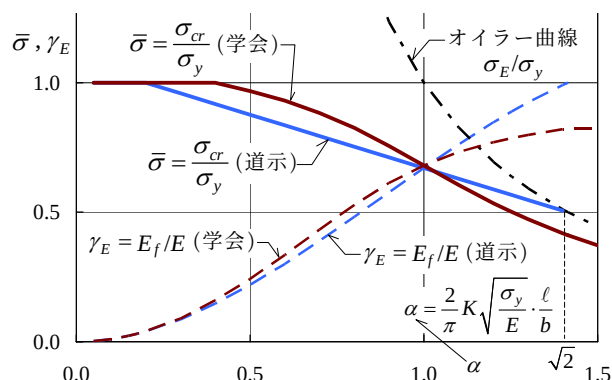
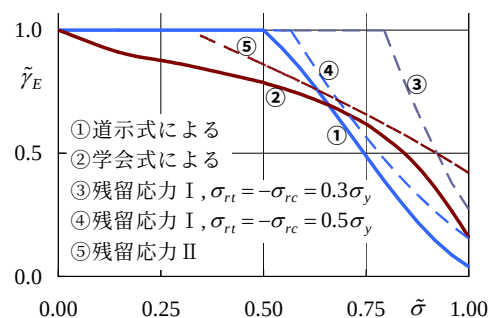
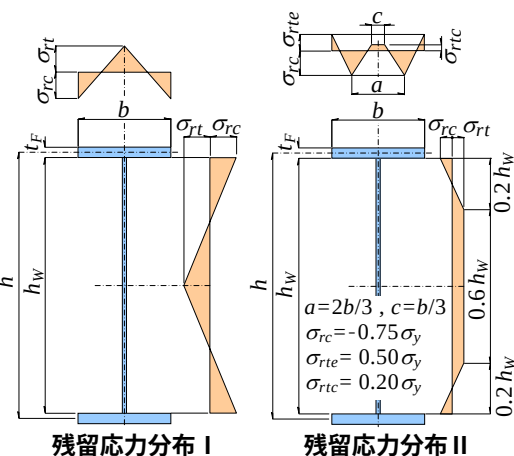
図-1  $[\bar{\sigma} - \alpha]$ 曲線と $[\gamma_E - \alpha]$ 曲線図-2  $[\tilde{E}_f - \sigma_c]$ 曲線

図-3 残留応力分布

キーワード I形断面桁 , 曲げ圧縮強度 , 横倒れ座屈 , 有効接線係数

連絡先 〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23 新日本技研(株)本社 TEL03-3453-4321

は  $M_{r,cr} < M_{r,y}$  となる．このため格間  $b-c$  と  $c-d$  で  $M_{r,cr}$  が作用値  $M$  を下回る部分がある．なお， $j-c$  間の  $M_{r,cr}$  は，格間  $b-c$  が全長に亘り断面 B としたときの  $M_{r,cr}$  を，道示の規定から，図-4 に細破線で示すように  $b$  点位置から  $j$  点までスライドした値である．

横倒れ座屈は，図-5 に示す腹板の  $1/6$  と下フランジから成る棒材の横座

屈に近似的に置換でき，道示の規定でもこれを用いている．表中の換算棒材の軸力  $N_F$  は  $N_F = M/h$  である．換算棒材の断面積を  $A^*$  とするとき，フランジ板厚中央面の応力度は  $\sigma_m = N_F/A^*$  となる．この例題では， $j-c-d$  間で  $\sigma_m > \mu \cdot \sigma_{cr}$  となり，座屈安全性が満足されていない．

ここで，現行の座屈設計法(現行法)を吟味してみる．現行法は構造物の中の1つの部材に着目し，“作用＝抵抗”の前提のもとで設計規準が作成されている．従って格間  $b-c$  中の断面 A のように“作用  $\ll$  抵抗”の状態にあるものには本来は適用できない． $b-j$  間の  $M_{r,cr}$  は，敢えてそう扱ったものであるが，格間  $a-b$  よりも  $M_{r,cr}$  が低下する結果になる．しかし，非弾性効果を考慮すれば，応力に余裕があるので逆になると考えられる．

また， $E_f$  は  $l/b$  の関数であるため一定になり， $M$  の変化による効果は弾性座屈計算の結果で補っている．つまり現行法では図-4 の斜線部分の応力の余裕を考慮していない．

### 3. 座屈設計法の改良

以上の問題を改良するために図-2 の  $[\tilde{E}_f - \sigma_c]$  を用いた座屈設計法<sup>3)</sup>を提案する(提案法)．提案法の  $\tilde{E}_f$  は作用応力度の高いところでは小さく，低い箇所では大きくなり，非弾性効果として合理的なものになる(表-1, 図-4)．

この  $\tilde{E}_f$  (道示)を用い，換算棒材の曲げ剛性を  $\tilde{E}_f I^*$  ( $I^*$  は換算棒材の断面二

次モーメント)と評価して終局荷重状態で座屈固有値計算を行った結果を図-6 に示す．上段は個々の格間を切り離して計算した結果であり，格間  $c-d$  の座屈固有値  $\tilde{k}_f$  は1を下回る．しかし下段の連続梁とした計算では座屈安全度は満たされる．また，明確にされてこなかった格間で断面変化がある場合も自ずと解決され，合理的な結果に至る．このように提案法は全体系への拡張も可能となる．ただし，曲線桁などフランジの横曲げを伴う場合は今後更なる検討が必要である．

### 参考文献

- 1) 土木学会：座屈設計ガイドライン 改定第2版、鋼構造シリーズ12、平成17年10月
- 2) 福本・藤原・渡辺：溶接I形部材の横倒れ座屈に関する実験的研究，土木学会論文報告集 第189号，1971.5
- 3) 倉方・西野・長谷川・梶田：骨組構造物の座屈設計法に対する提案，土木学会論文集 第459号/I-22，1993.1

表-1 断面力・作用応力度・上限応力度・有効接線係数(道示)

|          | 断面 | 作用曲げモーメント $M$ | 両端の $M$ 比 $\varphi$ | $\sigma_{cr}$ の割増率 $\mu$ | 換算棒材の軸力 $N_F$ | フランジ応力度          |                | 上限応力度         |                      | $\tilde{\sigma}_c$ | $\tilde{E}_f$ |
|----------|----|---------------|---------------------|--------------------------|---------------|------------------|----------------|---------------|----------------------|--------------------|---------------|
|          |    |               |                     |                          |               | 下縁 $\sigma_{cl}$ | 中央面 $\sigma_m$ | 降伏 $\sigma_y$ | 座屈 $\mu \sigma_{cr}$ |                    |               |
| 格点 or 継手 | a  | -31 620       | 0.591               | 1.195                    | -14625        | -354.1           | -344.3         | 355           | 365.5                | 0.970              | 0.073         |
|          | b  | -18 700       |                     |                          | -8649         | -209.4           | -203.6         | 355           | ---                  | 0.574              | 0.875         |
|          | b  | -18 700       | 0.791               | 1.091                    | -8649         | -209.4           | -203.6         | 355           | 333.7                | 0.574              | 0.875         |
|          | j  | -15 768       |                     |                          | -7293         | -165.6           | -161.0         | 355           | ---                  | 0.454              | 1.000         |
|          | j  | -15 768       |                     |                          | -7410         | -353.6           | -349.0         | 355           | 281.7                | 0.983              | 0.057         |
|          | c  | -14 790       |                     |                          | -6950         | -331.7           | -327.4         | 355           | ---                  | 0.922              | 0.140         |
|          | c  | -14 790       | 0.885               | 1.048                    | -6950         | -331.7           | -327.4         | 355           | 320.5                | 0.922              | 0.140         |
|          | d  | -13 090       |                     |                          | -6151         | -293.5           | -289.7         | 355           | ---                  | 0.816              | 0.341         |

$M : \text{kN} \cdot \text{m}$

$N_F : \text{kN}$

$\sigma : \text{N/mm}^2$

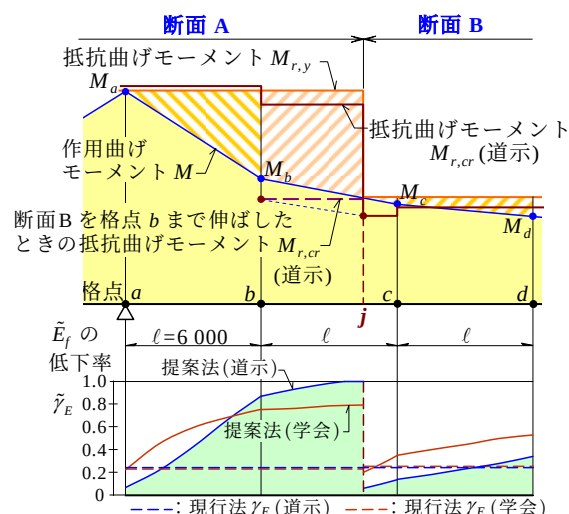


図-4 抵抗曲げモーメント図と有効接線係数の低下率

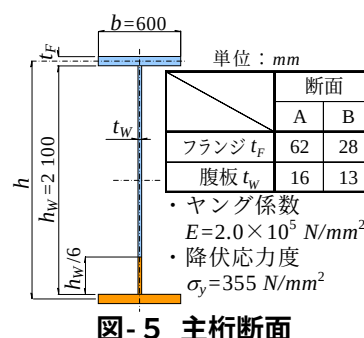


図-5 主桁断面

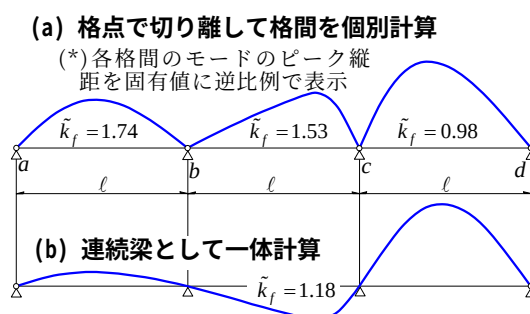


図-6 座屈モードと固有値