

高張力鋼板を組合せた溶接H形鋼の強さ

住友金属 中央技術研究所 正員 久光 隆文
同 上 坂 本 傑

1. 緒 言

最近、土木、建築用構造物の柱、梁あるいは基礎杭、仮設材などの、断面性能が従来のI形鋼に比べてすぐれているワイドフランジのH形鋼が多く用いられるようになった。

本研究は、主として曲げを受ける梁に用いられる溶接H形鋼を対象とし、図-1のごとく、引張側フランジ（ハッテング部）に高張力鋼板を用いてその肉厚を薄くし、ウエブおよび圧縮側フランジはSS41などの普通鋼を用いた場合の強さを明らかにする目的で行なったものである。図-1の形状は次のような考え方に基いている。

- 引張側フランジは座屈の心配がないので高張力鋼板を用いて強さを低下させることなく肉厚を薄くし、重量の軽減をはかる。
- 圧縮側フランジは座屈を防ぐために肉厚を大とし、その代わりとくに高い強さを必要としないので普通鋼を用いる。
- ウエブは分担するモーメントも少なく、また、応力の低い部分が多いため普通鋼を用いる。

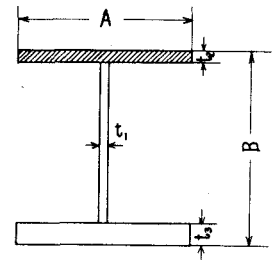


図-1 高張力鋼板を組合せたH形鋼

以下に、一般に使用されている圧縮側と引張側のフランジの厚さが等しいH形鋼（以下では基準H形鋼という）に比して、図-1のごとく高張力鋼と普通鋼を組合せたH形鋼の強さがいかに異なるかを検討し、結果について述べる。

2. 塑性モーメント

構造物の設計には塑性設計法が広く用いられる趨勢にあるので、H形鋼の強さの検討は塑性モーメントを基準にすることにしよう。図-1において、ウエブの厚さを t として

$$A = \alpha t, \quad B = \delta t, \quad t_2 = \beta t, \quad t_3 = \gamma t$$

のごとく、 A, B, t_2, t_3 を t の倍数として表わす。このとき、所定の塑性モーメントを有する断面のうちでもっとも軽量となるように、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ を決定しようとするとき、 $\alpha=0$ で t が小さく δ が大きいほどよいという結論が得ることができない。それゆえ、ここでは市販されている基準H形鋼と高さ、フランジ幅およびウエブ厚さが等しく、かつ断面積も等しいような図-1のH形鋼で β, γ をいろいろ選べばもっとも塑性モーメントが大きくなるかを計算した。さらにこれから、塑性モーメントを基準H形鋼と等しくするときには重量がいかに少なくなるかを求めた。なお、図-1の形状のうちで塑性モーメントが最大となるような β, γ を選んだH形鋼を最適形状のH形鋼と称することにしよう。

全断面が塑性状態になったときのH形鋼断面内の応力分布は

(1) 塑性中立軸がウエブ内にある場合

(2) 塑性中立軸が高張力鋼を用いた引張側フランジ内にある場合

に分けて考える。

図-2は塑性中立軸がウエブ内にある場合の断面内の応力分布を示したものである。図中の δt ,

σ_{ss} は高張力鋼、普通鋼の降伏応力である。いま、引張側フランジ、ウエブ、圧縮側ウエブ、フランジそれぞれの負担する曲げモーメントを M_1, M_2, M_3, M_4 とすると、これは次式により計算される。

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \sigma_{st} \cdot \alpha t \cdot \beta t \left(\delta t_1 - \frac{\beta t}{2} \right) \\ M_2 &= \sigma_{ss} \cdot t \cdot \frac{(\delta t_1 - \beta t)^2}{2} \\ M_3 &= \sigma_{ss} \cdot t \cdot \frac{(\delta t_2 - \gamma t)^2}{2} \\ M_4 &= \sigma_{ss} \cdot \alpha t \cdot \gamma t \left(\delta t_2 - \frac{\gamma t}{2} \right) \end{aligned} \right\} (1)$$

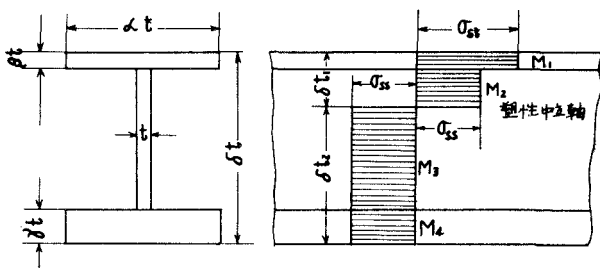


図-2 塑性状態におけるH形鋼断面の応力分布

なお、塑性中軸の位置 $\delta t_1, \delta t_2$ は次の連立方程式を解くことにより求められる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{st} \cdot \alpha t \cdot \beta t + \sigma_{ss} \cdot t (\delta t_1 - \beta t) &= \sigma_{ss} \cdot t (\delta t_2 - \gamma t) + \sigma_{ss} \cdot \alpha t \cdot \gamma t \\ \delta t &= \delta t_1 + \delta t_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

(1), (2) 式より、 M_1, M_2, M_3, M_4 が得られれば塑性モーメント M_p は

$$M_p = M_1 + M_2 + M_3 + M_4$$

として求められる。

高張力鋼の降伏応力が普通鋼の降伏応力に比べて著しく高いときは、塑性中軸が引張側フランジ内にある場合が起るが、塑性モーメントは上と全く同様の考え方で計算することができる。

本報では、高さ 300 ~ 1000 mm (50 mm ステップ)、幅 200, 300 mm の組合せ計3種の形状の基準H形鋼にして δ/α および断面積を等しく保ち、 β/γ をいろいろ変えたときの塑性モーメント M_p を

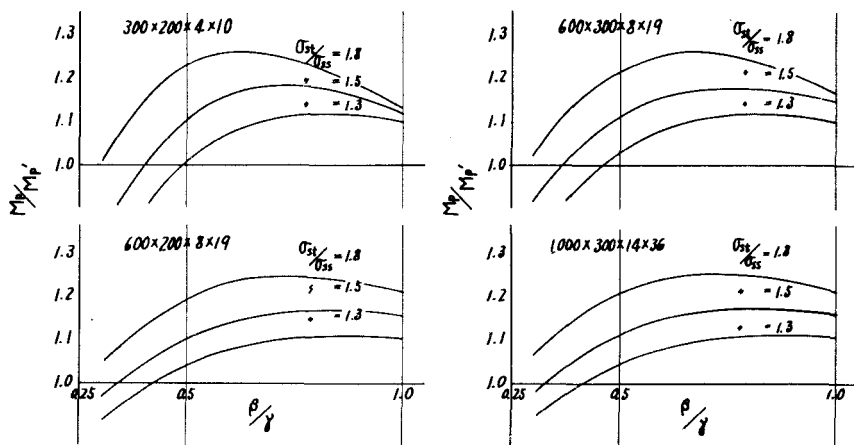


図-3 $M_p/M_{p'}$ と β/γ との関係の一例

$\sigma_{st}/\sigma_{ss} = 1.3, 1.5, 1.8$ の場合につき電子計算機を用いて計算した。

高張力鋼を組合せたH形鋼の塑性モーメント M_p と基準H形鋼の塑性モーメント M_p' との比 M_p/M_p' が引張側と圧縮側のフランジ厚さの比 β/γ によってどのように変わるかを一例について示したものが図-3である。図より、

M_p/M_p' が最大になるような β/γ が存在し、その値はH形鋼の断面寸法、 σ_{st}/σ_{ss} によって変化するがほぼ 0.6~0.9 の間にあることがわかる。 M_p/M_p' が最大になるような β/γ の値は σ/δ あるいは σ_{st}/σ_{ss} が小さくなるほど大きくなっている。

任意の形状、寸法のH形鋼に対して、 β/γ をいかなる値に選ぶと M_p/M_p' が最大になるかを、縦軸に最適形状を与える β/γ を、横軸にH形鋼の形状を示す σ/δ をとって示したものが図-4である。これより、 σ/δ が大きくなるにつれて、 β/γ が徐々に大きくなってゆくとわかる。

図-5は図-3の例を示した M_p/M_p' と β/γ との関係より、基準H形鋼および最適形状H形鋼の塑性モーメント M_p を普通鋼の降伏応力 σ_{ss} で割った値を縦軸にとり、横軸に1m当りの重量をとったものである。この図を用いることにより、基準H形鋼の代りにこれと塑性モーメントの等しい高張力鋼を組合せた最適のH形鋼を用いるとき、どれだけ重量が軽減されるかを直ちに求めることができる。

$\sigma_{st}/\sigma_{ss} = 1.5$ の場合で約10%、1.8の場合で約15%重量軽減が可能である。

基準H形鋼の断面寸法がいろいろ変わった場合、最適形状での塑性モーメントがいかに変化するかを示したものが図-6である。図では縦軸に M_p/M_p' ととり、横軸には σ/δ ととり、 σ_{st}/σ_{ss} をパラメータとしている。これより、断面寸法が変化しても、最適形状での塑性モーメントはほとんど影響を受けず、 $\sigma_{st}/\sigma_{ss} = 1.3, 1.5, 1.8$ でそれぞれ基準H形鋼の11, 17, 25%増えていることがわかる。

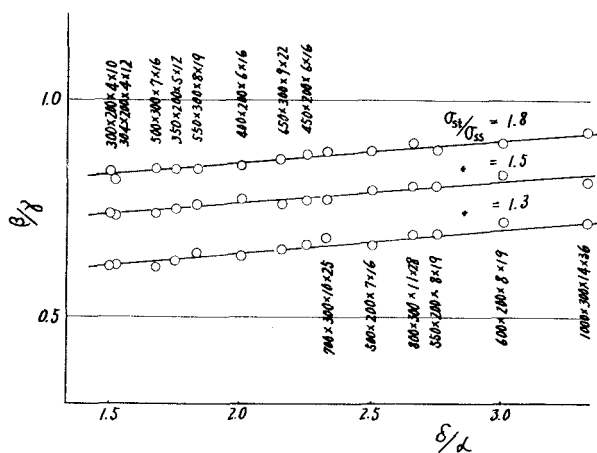


図-4 M_p/M_p' が最大となる β/γ

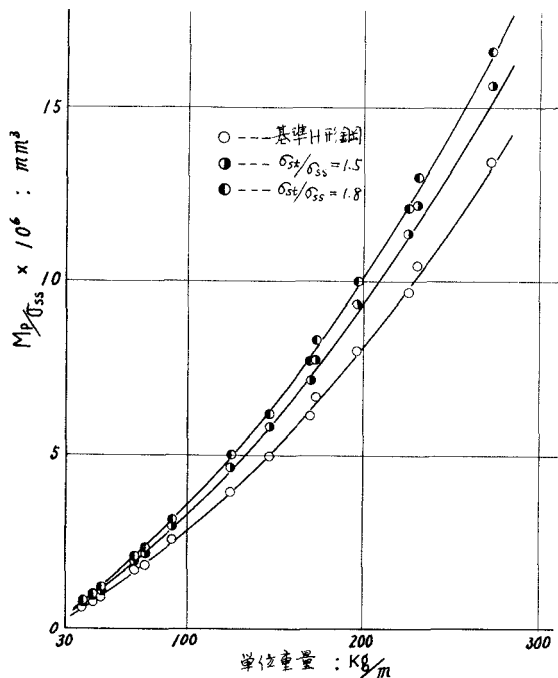


図-5 M_p/σ_{ss} と単位重量との関係

3. 座屈強さ

つぎに、最適H形鋼で圧縮側フランジの厚さを大にすることで座屈強さの上昇を検討した。

H形鋼フランジの座屈強さは図7のごとく、一辺ヒンジ、他辺自由の長方形板が一様圧縮荷重を受けているという条件でもっともよく近似できるといわれている。いま、フランジ寸法が弾性域で座屈を生じるようなものであったとすれば、このときの座屈応力は $(t/b)^2$ に比例する

という形のものが多。また、G. Haaijzen が導いた加工硬化する材料

についての塑性域での座屈応力もやはり $(t/b)^2$ に比例する形をとっている。

したがって、最適形状を与える β/γ が 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 のときは、座屈荷重は基準H形鋼のそれのそれぞれ 1.56, 1.39, 1.23, 1.11 倍となる。このことより、座屈強さも考慮するとき、最適形状での β/γ ができるだけ小さいところにある断面寸法のH形鋼が高張力鋼を組合せて用いるのが適当なものである。

4. 結 論

高張力鋼板を組合せた溶接H形鋼の塑性モーメント、局部座屈強さを検討

した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 基準H形鋼で幅、高さ、ウェブ厚さおよび断面積が等しいという条件の下で、塑性モーメントが最大となるような引張側と圧縮側のフランジ厚さが存在する。この両フランジの厚さの比 β/γ は 0.6~0.9 の間にあり、 σ_{st}/σ_{ss} が小さくなるほど、また、 δ/α が小さくなるほど大きくなる。
- (2) 基準H形鋼で高さ、幅、ウェブ厚さが等しく、かつ、同じ塑性モーメントを有する最適形状のH形鋼は、単位長さ当りの重量が、 $\sigma_{st}/\sigma_{ss} = 1.5$ のとき約 10%、1.8 のとき約 15% 軽減される。
- (3) 基準H形鋼の断面寸法がいろいろ変っても、これと断面積が等しい最適形状のH形鋼の塑性モーメントはほとんど変わらず、 $\sigma_{st}/\sigma_{ss} = 1.3, 1.5, 1.8$ でそれぞれ基準H形鋼の塑性モーメントの 11, 17, 25% 増となっている。
- (4) 圧縮側フランジの局部座屈荷重は、最適形状を与える β/γ が 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 のとき、基準H形鋼のそれの 1.56, 1.39, 1.23, 1.11 倍となる。

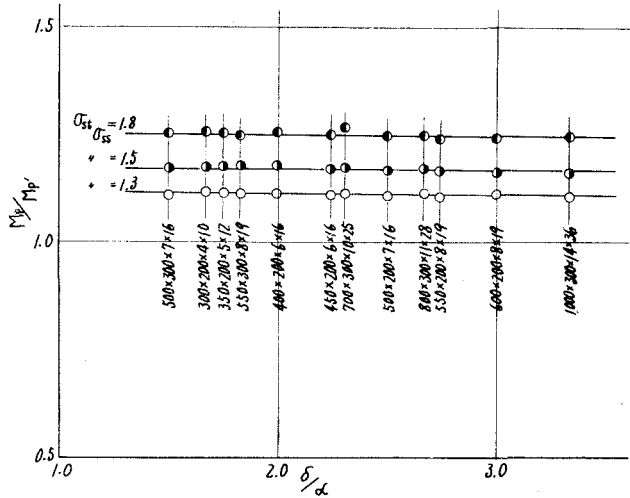


図-6 M_P/M_P' と δ/α の関係

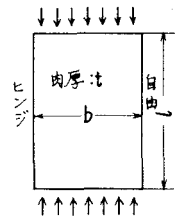


図-7 フランジの局部座屈に対する境界条件