

非対称 I 形断面の残留応力分布と横ねじれ座屈強度

名城大学大学院 学生員 ○八木孝行
名城大学 正員 久保全弘

1. まえがき

鋼部材の製作過程で断面内に導入される残留応力は、部材の座屈耐荷力を評価する上で重要な因子である。本報告では、文献1)の座屈実験に用いたものと同様な非対称溶接 I 形断面部材の残留応力を測定し、実測残留応力を考慮したはりの非弾性横ねじれ座屈強度について考察した。

2. 測定内容

残留応力測定は、原板からシアー切断した帯板を手溶接(脚長3mm)した次の供試体($L=1000\text{mm}$)に対し、ひずみゲージを用いた断面分割法により行った。

$I-d \times b_t \times b_b \times t_w \times t_t \times t_b(\text{mm})$: 非対称度

(1) DS15断面 $I-300 \times 135 \times 135 \times 3.03 \times 4.23 \times 4.23$: $\rho=0.50$ (二軸対称)

(2) ML15断面 $I-301 \times 135 \times 100 \times 3.03 \times 4.31 \times 4.27$: $\rho=0.71$ (上フランジ大)

(3) ML18断面 $I-300 \times 158 \times 99 \times 3.05 \times 4.23 \times 4.20$: $\rho=0.80$ (上フランジ大)

ここに、 $\rho = I_t / (I_t + I_b)$ 、 I_t, I_b : 弱軸に関する上下フランジの断面二次モーメント。ひずみゲージの始読はゲージを供試体中央の測定断面(上下フランジに各13箇所、腹板に14箇所)に接着した後行い、終読は供試体を長さ100mmに切断した後、それを3分割(上下フランジと腹板に大切断)したときと21分割(上下フランジ、腹板を各6箇所で大切断)したときの2回について行った。

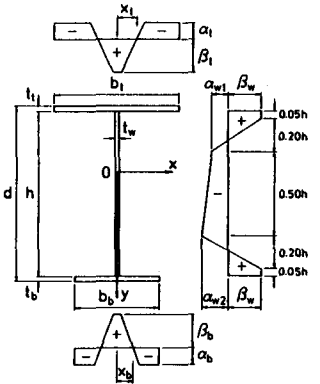


図1 I形断面の残留応力レベル

3. 測定結果

図-2(a)~(c)、図-3(a)~(c)は、それぞれ3分割、21分割したときの3種類のI形断面から実測された材長方向の残留ひずみ(ε_x)をもとに描いた残留応力($\sigma_x = E \varepsilon_x \leq \sigma_y$)分布である。これらの図から、腹板は上下フランジと切り離すだけでほぼ応力が解放されていることがわかる。非対称断面であるML15、ML18断面は、腹板の両表面で残留応力に大きな差がみられ曲げ応力が存在している。腹板の圧縮残留応力は、非対称断面においてフランジの幅の小さい側で大きくなっている。

4. 残留応力分布の評価

図-3(a)~(c)に示した両表面の実測残留応力の平均値をもとに、図-1のような非対称I形断面に対する分布形を検討した。図-4(a)は、横軸に上または下フランジの面積 A_t と腹板の面積 A_w の比 A_t/A_w をとって、フランジ先端の

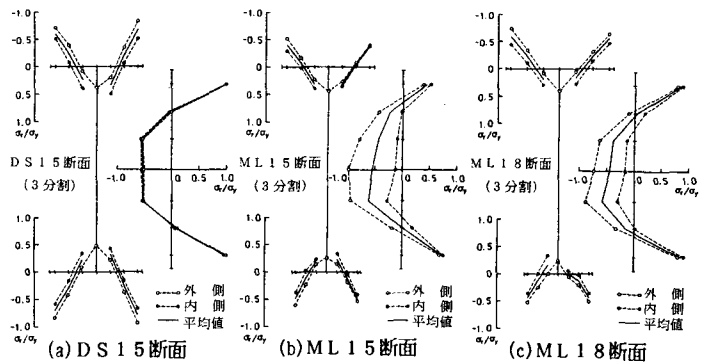


図2 残留応力分布(3分割)

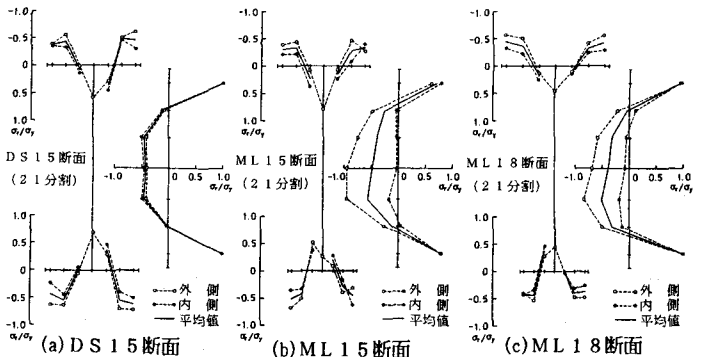


図3 残留応力分布(21分割)

圧縮残留応力レベル α_t, α_b ($\alpha_t = \sigma_{rc}/\sigma_y$) の実測値をプロットしたものである。図-4(b)は、腹板の圧縮残留応力レベル α_{w1}, α_{w2} ($\alpha_w = \sigma_{rc}/\sigma_y$) を調べたもので横軸に A_t と上下フランジの面積の和 ($A_t + A_b$) の比 $A_t/(A_t + A_b)$ をとっている。ここでは、フランジ幅の相違による影響を図中に示す直線式で評価した。 α_t の値はフランジの腹板に対する面積比の増加につれてわずかではあるが減少する傾向にある。 α_w の値は上下フランジの面積比とともに比較的大きな変化を示している。次に、フランジと腹板の接合部付近の引張残留応力レベル $\beta_t, \beta_b, \beta_w$ ($\beta = \sigma_{rt}/\sigma_y$) は、すべて降伏点応力 σ_y に達しているものとする。また、腹板の応力勾配の変化点は図-1のように変化しないものと仮定し、

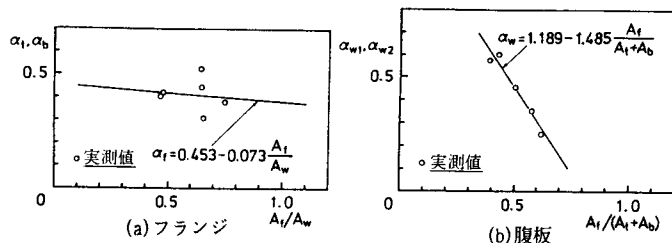


図-4 圧縮残留応力レベル

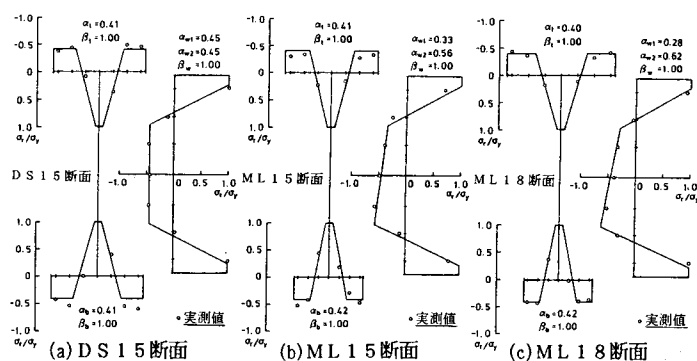


図-5 残留応力の分布形

最終的に残留応力 σ_r の断面内での自己のつり合い式を満足するようにフランジの応力勾配位置 x_t, x_b を定めた。

図-5(a)~(c)は、両表面の実測残留応力の平均値と理想化した分布形を比較したものである。分布形はフランジ幅が変化しても実測値とはほぼ適合している。

5. 非弾性横ねじれ座屈強度

上記で求めた残留応力分布形を考慮した非弾性横ねじれ座屈曲線を示すと図-6(a), (b) のようになる。縦軸には座屈モーメント M_{cr} を全塑性モーメント M_p で無次元化した M_{cr}/M_p 、横軸には修正細長比パラメータ $\bar{\lambda} = \sqrt{M_p/M_e}$ がとっている。ここに、 M_e : 弾性横ねじれ座屈モーメント。図-6(a)は、上フランジ幅を一定にして非対称度 ρ を 0.50, 0.31, 0.71 と変化させたものである。この図から、非弾性横ねじれ座屈強度は残留応力を考慮することによってかなり低下することがわかる。横軸に $\bar{\lambda}$ を用いて無次元化した座屈強度曲線は ρ が変化してもそれほど大きな差はみられないが非弾性域では ρ が大きくなるほど高くなっている。図-6(b)は、下フランジ幅を一定にして ρ を 0.71, 0.80, 0.85 と変化させたもので、上フランジの幅が大きくなるほど座屈曲線が高い傾向にある。また、図中には文献1)で得られた耐荷力の実験値がプロットしてあり、両図とも実験値は弾性域では座屈曲線に沿って変動しているが、 $\bar{\lambda}$ が約1.0以下では曲線を上まわっている。

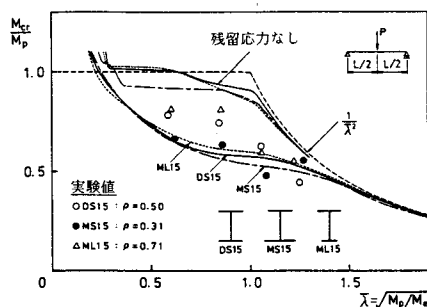


図-6(a) 非弾性横ねじれ座屈強度

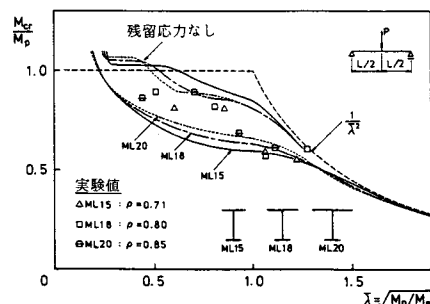


図-6(b) 非弾性横ねじれ座屈強度

参考文献

1) 八木・久保・西尾: ノンコンパクトな非対称鋼 I 形はりの横ねじれ座屈実験, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集, 第1部, pp190~191, 1992-9