

鋼薄肉桁の崩壊モードと耐荷力に関する解析

名城大学大学院 ○学生員 天野博之
名古屋大学大学院 伊藤由浩 鈴木達
名城大学 フェロー 久保全弘

1. まえがき

これまでの研究¹⁾では、鋼薄肉はりの横ねじれ座屈強度に及ぼす断面の非対称性およびフランジ局部座屈の影響について実験的に明らかにしてきた。引き続いて、薄肉腹板を用いた座屈性能の実験²⁾を行ってきた。本研究では、汎用有限要素法プログラム MSC/NASTRAN を用いて、鋼溶接 I 形断面桁を解析する。腹板の幅厚比と部材の細長比を多様に変化させた場合の非線形解析を行い、崩壊モードおよび耐荷力について検討する。

2. 解析モデル

解析モデルは、先に実施した実験供試体と同じ断面寸法である。断面形は、鋼材 SS400 (公称降伏点応力 $F_y=245\text{MPa}$) による 3 種類の溶接 I 形断面である。桁高 $d=300\text{mm}$ を同一に選び、フランジ幅 $b_c=b_t=100\text{mm}$ を一定にして板厚 t_c, t_t を 4.5mm と 12mm に変化させた。図 1 に示すように、解析桁はフランジ構成により、二軸対称断面 DS11 (非対称度 $\rho=0.5$) および一軸対称断面 MS11T ($\rho=0.3$)、ML04T ($\rho=0.7$) に分類できる。スパン長は、 $L=1.0\text{m}$ から最大 $L=6.0\text{m}$ に変化させ、スパン中央に垂直補剛材 ($t_s=4.5\text{mm}$) を両側配置した。荷重はスパン中央上フランジに載荷し、支持条件は単純支持とした。また、材料特性として、鋼材のヤング係数 $E=206\text{GPa}$ 、せん断弾性係数 $G=79\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ を仮定した。初期不整は、部材全体の水平たわみのみを考慮し、道路橋示方書の許容製作誤差 $L/1000$ を最大値に用い $\sin$ 級数モードで仮定した。非線形解析では、ミーゼスの降伏条件を用いて非線形材料特性を考慮し、ニュートンラプソン法により荷重増分の収束計算を行った。

3. 解析結果

(1) 崩壊モード

崩壊形は、スパン長 L 、腹板の幅厚比 h/t_w および断面形 (非対称度 ρ) によって異なり、本解析では図-2 に示すように 3 種類が得られた。スパン長 $L=1\text{m}$ の短い桁では、 $h/t_w<100$ の断面は集中荷重直下の局所崩壊によって、 $h/t_w>100$ の断面はせん断座屈によってそれぞれ支配された。スパン長 $L=1.5\text{m}$ の桁では、 $h/t_w<150$ の断面は横ねじれ座屈によって支配され、さらに薄肉腹板になるとせん断座屈が生じた。そして、スパン長が大きなるにつれて腹板のせん断変形を伴った横ねじれ座屈、断面変形のない横ねじれ座屈によって支配されるようになる。このように、集中荷重を受け、せん断・曲げの作用に抵抗する薄肉桁の崩壊モードは複雑であることがわかる。

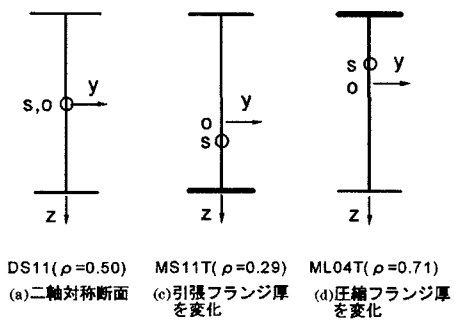


図 1 フランジ厚を変化させた断面形

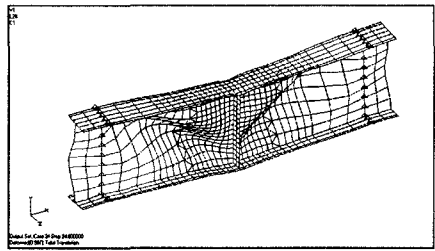


図 2 (a) せん断座屈

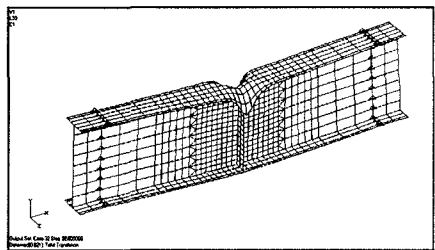


図 2 (b) 局所崩壊

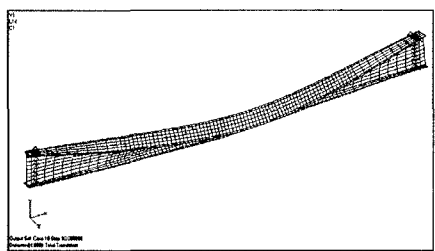


図 2 (c) 横ねじれ座屈

(2) 座屈耐荷力曲線

図3(a)～(c)は、対称断面 DS11, 非対称断面 MS11T, ML04T に対し、腹板の幅厚比を3種類 $h/t_w=90, 125, 180$ に変化させた場合の座屈耐荷力 M_u/M_p と修正細長比 $\bar{\lambda}_b$ の関係をそれぞれ示す。図中には横ねじれ耐荷力の評価曲線¹⁾として、平均値相当曲線 ($\bar{\lambda}_{b0}=0.4, \alpha=0.25$) と下限値相当曲線 ($\bar{\lambda}_{b0}=0.2, \alpha=0.5$) が与えてある。解析値は、 $h/t_w=90, 125$ では約 $\bar{\lambda}_b > 0.9$, $h/t_w=180$ では約 $\bar{\lambda}_b > 1.0$ まではどの断面形も平均値相当曲線に沿って変化し、下限値相当曲線より上に位置している。非弾性域では断面形による無次元耐荷力の相違が顕著にみられ、圧縮フランジが大きい非対称断面 ML04T が一番優れ、対称断面 DS11, 引張フランジが大きい非対称断面 MS11T の順で小さい。耐荷力曲線のピークは $h/t_w=90, 125$ では約 $\bar{\lambda}_b=0.7$, $h/t_w=180$ では約 $\bar{\lambda}_b=0.8$ で生じ、それより短い桁ではせん断座屈または荷重直下の局所崩壊によって支配され、耐荷力が低下している。

(3) 耐荷力に及ぼす腹板の幅厚比の影響

図4(a),(b)は、耐荷力 M_u/M_p と腹板の幅厚比 h/t_w の関係を示している。スパン長 $L=1.5\text{m}$ の桁は、 h/t_w の増加につれて横ねじれ座屈からせん断座屈に移行し、耐荷力が徐々に低下する。とくに、圧縮フランジが大きく横ねじれ耐荷力が大きい ML04T はその低下が著しい。これに対し、スパン長 $L=2.0\text{m}$ の桁は、横ねじれ座屈に支配され、 $h/t_w > 150$ ではせん断による連成変形を生じるが、耐荷力はあまり低下していない。

(4) あとがき

本解析からも先の実験結果と同様に、集中荷重を受ける薄肉腹板桁の座屈耐荷力は複数の崩壊モードに支配され複雑であることを明らかにできた。横ねじれ座屈耐荷力は修正細長比を用いた図中の評価式で表されるが、せん断座屈や局部破壊との連成強度をどのように扱うかが今後の課題と思われる。

参考文献

- 1) 久保・北堀 ほか：ノンコンパクトな一軸対称 I 形はりの横ねじれ座屈，土木学会論文集，No.591/I-43, 1998-4.
- 2) 天野・白木ほか：薄肉腹板からなる鋼桁の座屈性能実験，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，1999-3

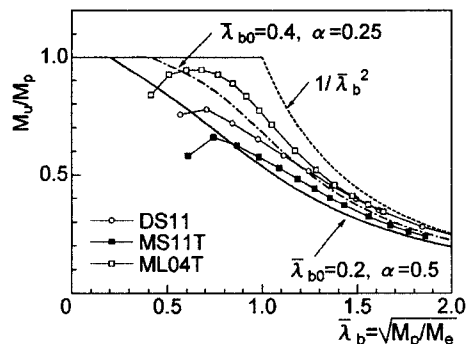


図3(a) 座屈耐荷力曲線
($h/t_w=90, t_w=3.2\text{mm}$)

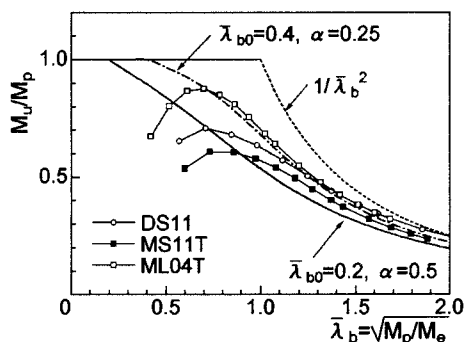


図3(b) 座屈耐荷力曲線
($h/t_w=125, t_w=2.3\text{mm}$)

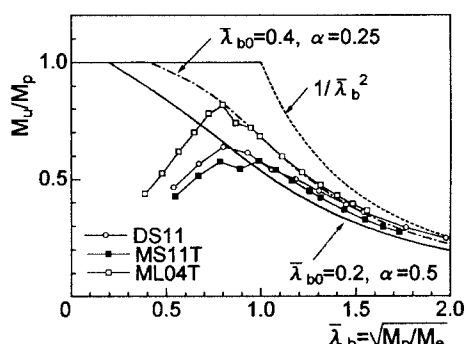


図3(c) 座屈耐荷力曲線
($h/t_w=180, t_w=1.6\text{mm}$)

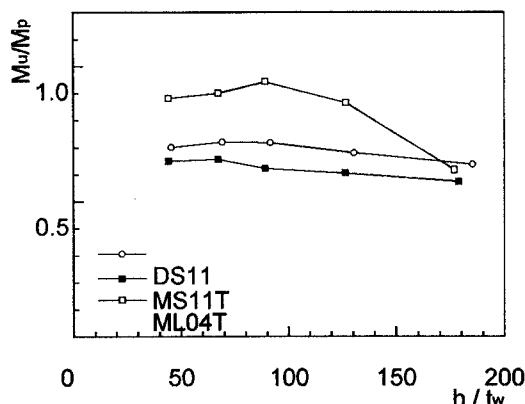


図4(a) 座屈強度と幅厚比の関係 ($L=1.5\text{m}$)

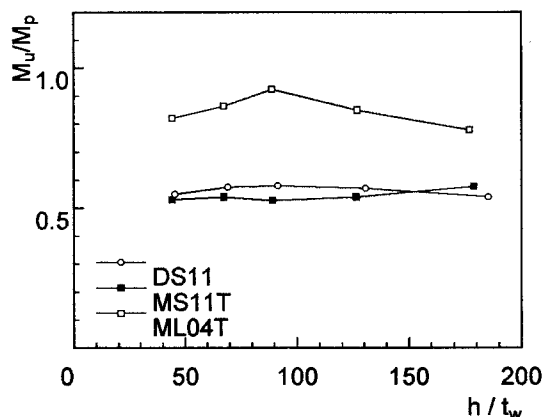


図4(b) 座屈強度と幅厚比の関係 ($L=2.0\text{m}$)