

石川高専 正員・前川 幸次
金沢大学 正員 吉田 博

1. まえがき

通常、構造部材として使用されるはり、種々の初期不整すなわち、幾何学的初期不整（荷重面内および面外の変形、ねじれ）および材料的初期不整（残留応力、降伏応力度の変動）を含んでいる。一方、荷重については、偏心および傾斜して作用することがあり、これも幾何学的初期不整の1つとして考えることができる。幾何学的初期不整を有するはりの横倒れ安定性は、有限変位理論に基づいた解析によって得られる荷重-変形曲線の最大荷重すなわち、耐荷力で評価するのが、より合理的であると思われる。本研究では、はりの分岐問題としての横倒れ座屈強度と初期変形、偏心载荷などの初期不整を有するはりの耐荷力との差について検討する。さらに、横倒れ安定性の指標として、耐荷力を求めた、これまでの初期不整はりのモデルの妥当性について検討する。

2. 解析方法

横方向変位およびねじれに関しても両端で単純支持されたI形断面はり（I-200×100×8.5×5.6）について、図-1に示すような、幾何学的初期不整を表わすモデルを採用する。Model-Iは初期横変形を有するはりであり、その初期横変形量を、円弧カーブのライズ比に相当する、 $L/8R$ で表わす。Model-IIは鉛直荷重が上フランジ上で偏心载荷する真直なはりであり、その偏心量を e で表わす。Model-IIIは鉛直荷重 P_y および水平荷重 P_x がスパン中央で上フランジ中央に作用する真直なはりを表わし、荷重の比 $\gamma = P_y/P_x$ を一定に保つ。Model-IVは初期横変形を有し、鉛直荷重が上フランジ上でウェブ中心線から e だけ偏心载荷するはりを表わす。また、図には示されていないが、直線はりの横座屈強度解析のモデルをModel-Vとする。

数値解析は、曲線I形はりの横倒れ耐荷力解析の手法¹⁾（有限変位理論に基づいた伝達マトリックス法）を適用し、Model-IIおよびIIIに対しては曲率半径 R を無限大として扱う。材料的初期不整としては、図-2に示すような、圧延I形断面の残留応力分布を代表するものを使用する。

3. 結果および考察

(1) 図-3はModel-Iにおいて、初期横変形量 $L/8R$ による耐荷力の差を表わしている。横軸は修正細長比、 $\bar{\lambda} = \sqrt{M_p/M_E}$ であり、縦軸は低減係数、 $\phi_r = M_u/M_p$ である。図から、 $L/8R = 1/5000$ のように初期横変形が僅なはりの耐荷力曲線は、Model-Vの横座屈強度曲線に近い形状を示している。えが大きい場合、初期横変形によって耐荷力は著しく低下するが、えが小さくなると、逆に初期横変形の大きなはりの耐荷力が初期変形の小さなはりのそれを上回る傾向さえ見られる（この現象は、一様曲げのはりで、より顕著である）。そこで、 $\bar{\lambda} =$

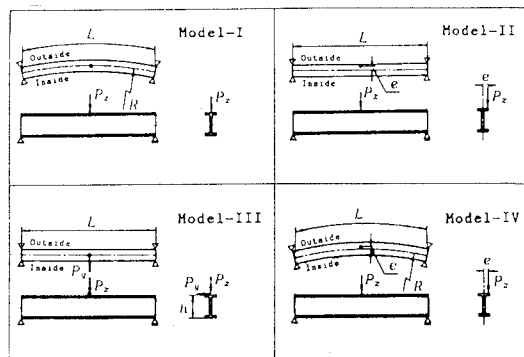


図-1 幾何学的初期不整のモデル

図-2は圧延I形断面の残留応力分布を示している。図から、 $L/8R = 1/5000$ のように初期横変形が僅なはりの耐荷力曲線は、Model-Vの横座屈強度曲線に近い形状を示している。えが大きい場合、初期横変形によって耐荷力は著しく低下するが、えが小さくなると、逆に初期横変形の大きなはりの耐荷力が初期変形の小さなはりのそれを上回る傾向さえ見られる（この現象は、一様曲げのはりで、より顕著である）。そこで、 $\bar{\lambda} =$

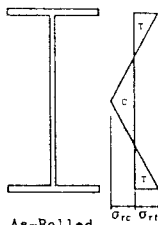


図-2 残留応力分布

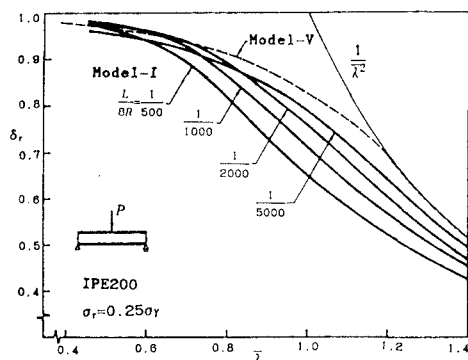


図-3 耐荷力曲線（ $L/8R$ による比較）

0.6 のはりの耐力力近傍における降伏領域の拡がりを半スパンについて図-7に示した。 $L/8R=1/5000$ のはりでは部材長さ方向の降伏領域の拡がりは比較的小さいが、上フランジの外側に降伏を生じている。このような入が小さい場合、初期横変形の大小に起因する降伏領域の拡がりの差が剛性に影響し、耐力力の大きさは初期横変形の大きさのみで単純に決まらぬものと思われる(剛性に関する定量的な比較方法を検討中である)。

(2) 図-4は Model-I のはり ($L/8R=1/1000$) で、残留応力の影響について検討したものである。残留応力による強度の低下は、Model-V が Model-I よりも顕著である。しかし、曲線ばり ($L/8R=1/50 \sim 1/100$) とは異なり、Model-I では残留応力の影響を無視できない。図-8は、 $\bar{\lambda}=0.6$ で、耐力力近傍における降伏領域の拡がりを示している。

(3) 図-5は、図-1に示した各モデルの比較を行ったものである。Model-I, II および IV については、両支点のフランジ中央を結ぶ直線に対する載荷点の偏りを約 $L/1000$ とし、Model-III A は、水平荷重によるトルクが Model-II の鉛直荷重によるトルクに等しくなるような γ について、また Model-III B は、Lindner が等分布荷重について用いた、 $\gamma=0.1$ について検討を行った。一方、図-6は、 $\bar{\lambda}=0.6$ の各モデルのスパン中央における断面の図心の変位と荷重の関係を示している。図から、Model-I, II および IV では、耐力力の大小に一定の傾向はあるが、ほぼ等しいと見せね。ところが、Model-III A では、水平荷重によるトルクに加えて、弱軸回りの曲げ変形および断面回転に伴う鉛直荷重によるトルクが生ずるため、耐力力の低下が著しく、他のモデルと等価であるとは考えにくい。ただし、初期不整としての荷重の傾斜(水平荷重)を実際上どの程度に評価すべきかが問題であると思われる。

上述のように、降伏域の拡がりおよび変形挙動をさらに検討することにより、各種の初期不整とはりの耐力力の関係および座屈荷重と耐力力の関係を説明することができた。

り前川、吉田, “伝達マトリクス法による曲線I形ばりの耐力力解析,” 土木学会論文報告集, No. 132, 1981年8月。

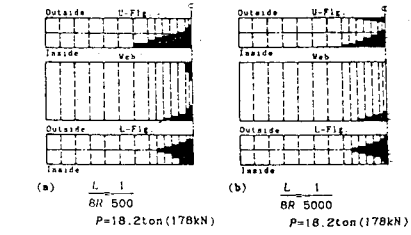


図-7 降伏領域 (Model-I, $\bar{\lambda}=0.6$)

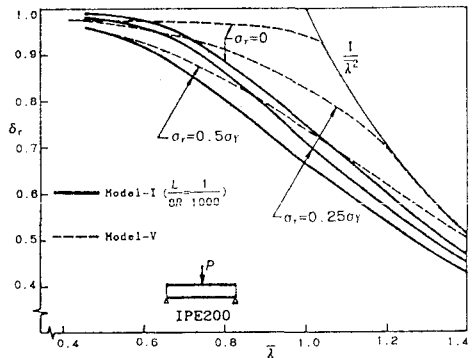


図-4 耐力力曲線 (残留応力の影響)

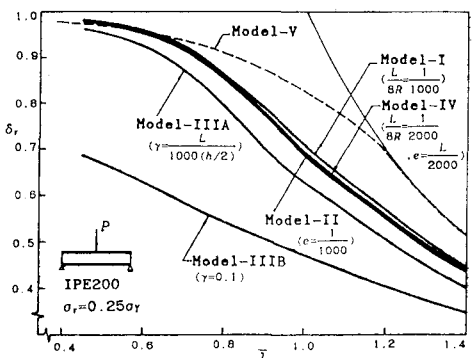


図-5 耐力力曲線 (モデルの比較)

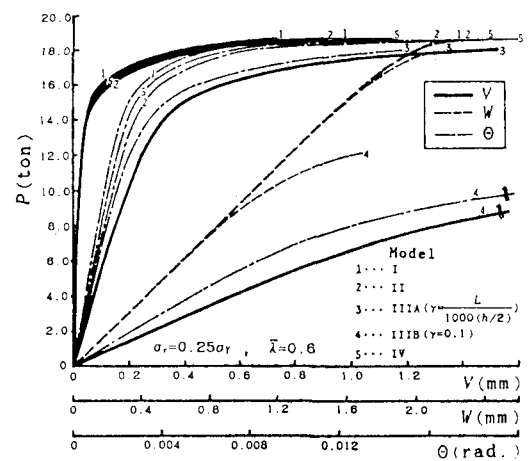


図-6 荷重-変形曲線 (モデルの比較)

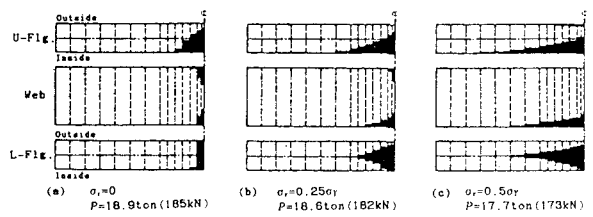


図-8 降伏領域 ($L/8R=1/1000$, $\bar{\lambda}=0.6$)