

I-20

断面変形を考慮したI形ばりの弾塑性横倒れ座屈強度の有限要素解析

山梨大学工学部 正員 岡村 美好
山梨大学工学部 正員 深沢 泰晴

1. はじめに

著者らは、先に断面変形を考慮したI形ばりの弾塑性横倒れ座屈をはり理論に基づく微分方程式の固有値問題として解析した¹⁾。その結果、フランジの幅厚比がある値より小さければ断面変形の影響を考慮する必要はないこと、フランジの幅厚比がその値より大きくかつ部材長とフランジ幅の比が一定範囲内にある場合には断面変形による座屈荷重の低下が生じ、その範囲では2次以上の座屈も考慮する必要があることなどが明らかになった。しかし、この解析方法では対象が等モーメントを受ける単純ばりに限定され、他の荷重条件や境界条件のはりについて断面変形を考慮した場合の座屈特性を解明するためには有限要素法などの近似的値解法が必要となる。

そこで、本研究では、著者らが昨年行ったはり要素を用いた有限要素法による断面変形を考慮したI形ばりの弾性横倒れ座屈解析²⁾を塑性域に拡張することにより、各種の荷重条件・境界条件のはりの弾塑性座屈解析を行い、座屈特性および断面変形の影響について検討した。

2. 解析方法

有限要素法による座屈解析は、弾性座屈では全体剛性マトリクスを一般固有値問題に置き換えてその固有値として座屈荷重を求めることができるが、非弾性座屈では断面定数が座屈荷重の関数となるため同様の手法を用いることはできない。そのため、本研究では図-3に示すフローチャートに従って解析を行った。部材長と断面寸法を与えたはりに対して座屈荷重を仮定して降伏領域および断面定数を計算し、全体剛性マトリクス K の determinant $|K|$ を求める。 $|K|$ が0に収束すれば結果を出力して解析を終了するが、 $|K|$ の収束が十分でなければ座屈荷重を修正して収束するまで同様の計算を繰り返し行う。

塑性座屈解析は接線係数理論に基づいて行った。はり完全弾塑性体で、降伏は部材軸方向直応力によってのみ決まり、断面変形によって生じる応力およびせん断応力は断面降伏の影響を受けないものとする。なお、モーメント勾配のある要素のモーメント分布は図-4に示すように要素中央点での値で近似した。したがって、要素の降伏状態ははり要素中央点での降伏状態で近似し、断面定数は断面を微小なセグメントに分割して各セグメントの図心での値を用いて算定した¹⁾。

3. 数値計算結果と考察

図-5に示す圧延型の残留応力分布を考慮して、弾塑性横倒れ

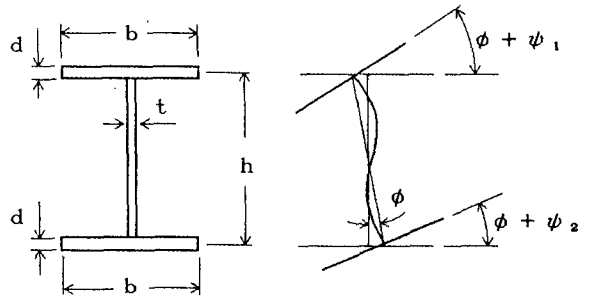


図-1 断面寸法

図-2 断面変形の定義

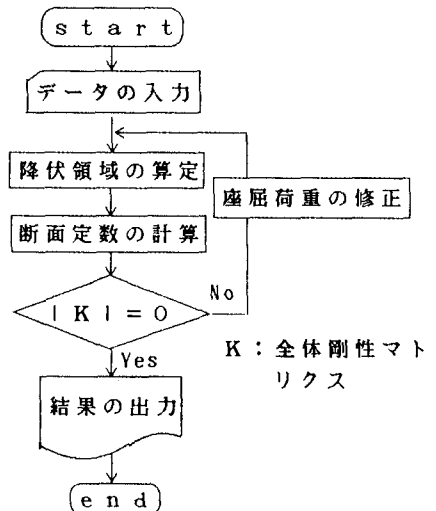


図-3 フローチャート

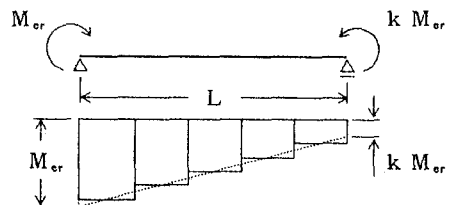


図-4 モーメント分布の近似

座屈解析を行った。等モーメントが作用するI形ばりについては本解析方法および文献1)で用いた解析方法で解析を行い、ほぼ一致した結果を得た。

モーメント勾配を有するI形ばりについて、左右端のモーメントの比 k が1.0, 0.5, 0.0の座屈曲線を図-6に示す。図中、縦軸の M_{cr}/M_y は座屈時の左端での曲げモーメント、 M_y は降伏曲げモーメントを表し、横軸は対数目盛りで表した。 $k=1.0$ すなわち等モーメントの場合には、 $M_{cr}/M_y < 0.7$ の弾性域では断面変形の影響はほとんど見られないが、断面の降伏とともに断面形不変の曲線との差が生じ、部材長とフランジ幅の比 L/b が小さくなるほどその差は大きくなっている。 $k=0.5, 0.0$ では断面変形による座屈荷重の低下が生じる L/b の範囲が等モーメントのときより広く、 $M_{cr}/M_y > 0.4$ において断面変形による座屈荷重の低下が現れ、いずれも最大で約10%の低下となっている。

自由端に集中荷重が作用するI形断面片持ちばりの座屈曲線を図-7に示す。縦軸の M_{cr} は座屈時の固定端でのモーメントを表し、横軸は図-6と同様に対数目盛りで表した。断面形不変の曲線は $b/d=32$ のものしか示していないが、 $b/d=40, 45$ のものはこれとほぼ一致する。 $b/d=32$ の曲線は座屈曲線はほぼ同じ傾向であるが、最大で約5%の座屈荷重の低下を示している。 $b/d=40, 45$ の曲線では L/b がある値より小さい範囲で断面変形による座屈荷重の低下が生じ、その割合は b/d が大きいほど顕著であることがわかる。

4. まとめ

有限要素法を用いることにより各種の荷重条件、境界条件のI形ばりについて断面変形を考慮した弾塑性横倒れ座屈解析が可能となった。本報告では、モーメント勾配を有するI形ばりと自由端に集中荷重が作用するI形断面片持ちばりの圧延型の残留応力を考慮した場合の座屈曲線を示したが、その他の荷重条件および境界条件のはりについての計算結果および溶接プレートガーダーの場合の計算結果は講演時に発表する予定である。

参考文献

1) 深沢, 杉原: ウェブの変形を考慮したI形断面ばりの弾塑性横倒れ座屈強度, 構造工学論文集, Vol.

33A, 1987, 2) 岡村, 深沢: 断面変形を伴うI形ばりの横倒れ座屈における鉛直補剛材の効果について, 土木学会第43回年次学術講演会概要集, 1988

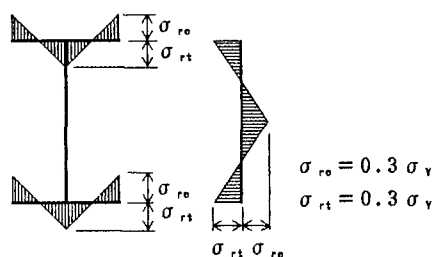


図-5 残留応力分布（圧延）

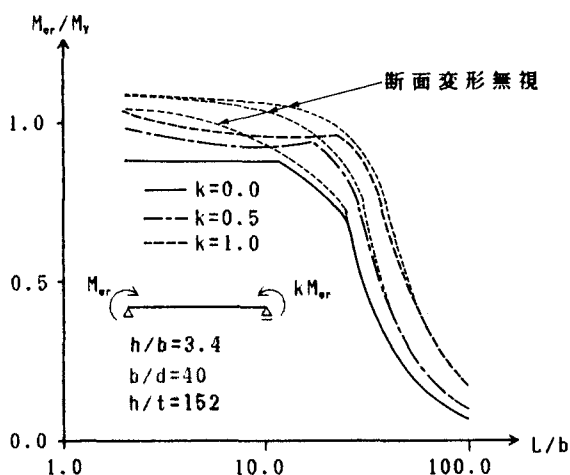


図-6 モーメント勾配を有するはりの座屈曲線

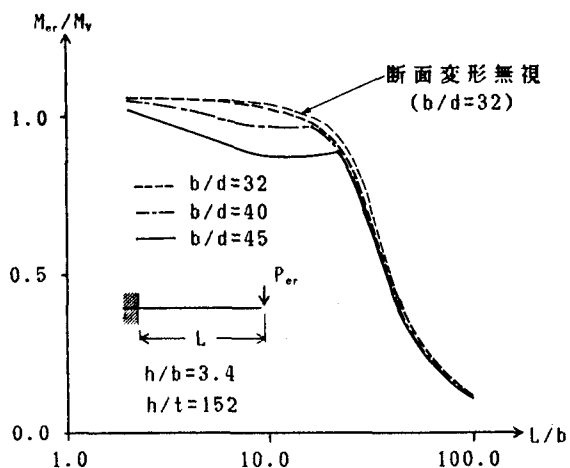


図-7 自由端に集中荷重が作用する片持ちばりの座屈曲線