I―3　残留応力が柱の局部座屈に及ぼす影響について

東京大学工学部　正員　西野文雄

薄板構造物を設計するにあたって、一般的にはでき得る範囲で薄い板を使う事が経済的である。設計に使える薄さの限度を求める要素として、局部座屈に対する安全性が最も重要である。近年経済的な理由から溶接組立材がよく使われる様になると共に部材中に存在する残留応力がその局部座屈に及ぼす影響が問題とされる様になりつつある。

最も簡単な場合として、中心圧縮を受ける柱の局部座屈を考える。この目的で相対する単純に支持された二辺で均一分布荷重を受け、他の二辺は荷重が作用せず、その支持条件が単純、固定あるいは自由である板について荷重と同じ方向のみに残留応力が存在する場合の座屈荷重を求める。この様な荷重及び残留応力のもとでは、荷重と同じ方向に対してはそのたわみ波形は正弦波としても大きな差はないと考えられるので、計算の簡素化の為、たわみ波形として次の形の関数を仮定する

$$w = F(y) \cdot \sin \frac{\pi}{L} z$$

z：荷重に平行な座標軸　y：荷重に直角方向の座標軸

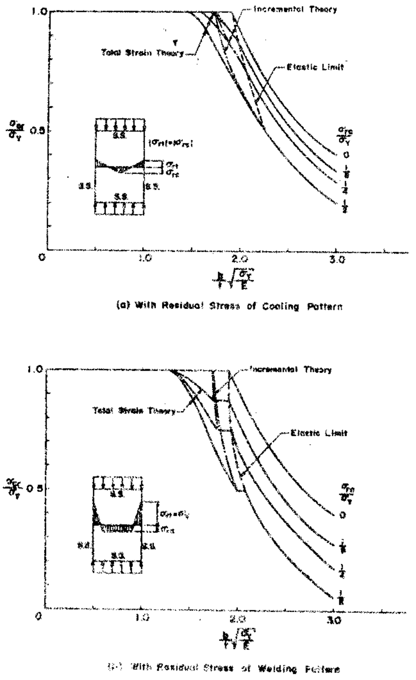
w：たわみ　$F(y)$：yのみの関数

この関係を代入する事により釣合の偏微分方程式を荷重と直角方向のみに関する常微分方程式に変えた上で、階差法により、その近似固有値を計算し、座屈荷重を求める。

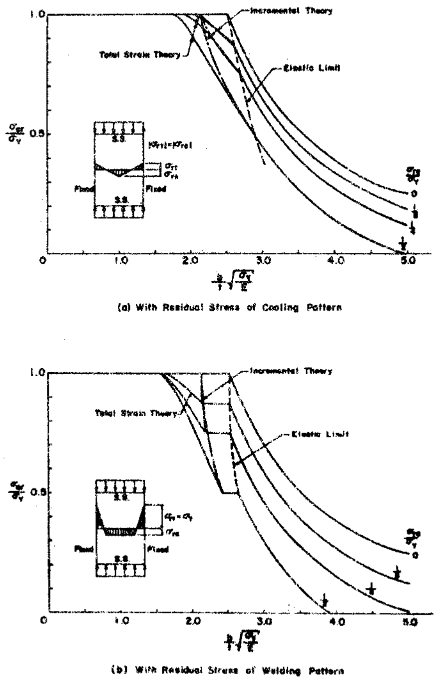
実際に使われる部材の板厚幅比は局部座屈が弾性限内では起らない様に大きく選ばれるのが普通である。この場合断面中に残留応力が存在すると、たとえ外力が均一に加わっても、その荷重がある一定の値に達し、圧縮残留応力の最大値と外力による応力との和が材料の降伏応力に達すると、その部分で部分的な降伏が始まる。部分降伏した板はもはや均一な弾性体ではなく、弾性体と塑性体とが組み合さって出来ていると考えられるべきであり、この様な状態の弾塑性座屈の計算においては、弾性部分には弾性常数をそのまま使用出来るが、降伏を起している部分では当然その定数値は小さくなるのでこれを考慮に入れなければならない。板全体としては部分降伏の為、座屈に対する剛性は減少している。計算に当って、鋼材の応力―歪関係は完全弾塑性とし、降伏を起した後の応力―歪関係は塑性変形理論及び塑性流れ理論によるものと仮定する。

座屈応力は板の形状比によって変化するが、局部座屈の場合には座屈応力が最小になる様な形状比で座屈する。板の形状比を変化させながら、各種の残留応力分布、境界条件の場合について座屈応力を求め、その最小値を画いたものを図1～4に示す。計算に使用した残留応力分布及び境界条件をそれぞれ図1～4中の挿入図に示す。図中S.S.は単純支持、Fixedは固定支持、Freeは自由端を示す。図1は荷重を受けない相対する二辺が単純支持、図2は固定支持の板であり、この両図が箱形断面柱やH形柱のウェブが局部座屈する場合の両柱端に相当する境界条件と考えられる。同様に図3、4はH形柱の突出フランジの局部座屈応力の場合の両柱端を与えるものである。図中、三角形の残留応力分布は圧延形鋼部材中の残留応力分布を理想化したものであり、他は溶接組立材中の残留応力分布を理想化したものである。階差法を使用した為、計算結果には必然的に誤差が含まれるが、分割数を多くする事によって1%以下の精度を保つ様につとめた。

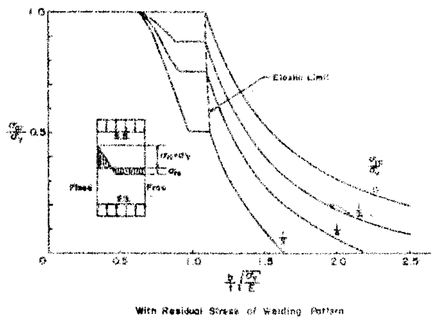
図に示された残留応力を含む板においては、その座屈荷重はいずれの場合も残留応力を含まない場合より小さくなっている。座屈荷重の減少は弾性座屈の場合には一定の残留応力分布に対して、板厚板巾比にあまり関係なく、大体一定である。一方弾塑性座屈に対しては板厚板巾比が大きく関係しており、ある一定の比以下では板が全巾にわたって降伏するまで座屈を起さない様な限界板厚板巾比が存在する事がわかる。この板厚板巾比は板の全断面が降伏する前には局部座屈を起さないという条件で最小板厚を定める時の基準になるものであろう。



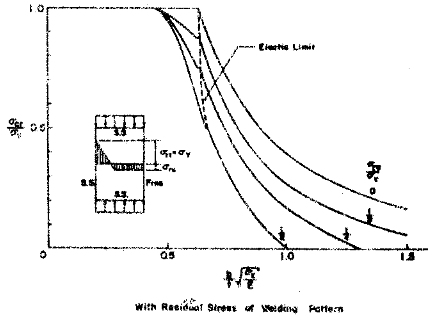
図－1



図－2



図－3



図－4

図中溶接形の残留応力を含む板の座屈曲線が水平方向に飛んでいる部分があるが、これは残留応力分布を図示の様に理想化した為に、ある一定の荷重のもとに巾のある大きな部分が同時に降伏を起す為に生じたものである。実際の鋼板の場合には残留応力はなめらかに分布している為、座屈曲線も当然なめらかなものになる。