

北海学園大学工学部 正会員 当麻庄司
北海学園大学工学部 正会員 本多祐也

1. 序

柱部材の耐荷力に及ぼす初期たわみと残留応力の影響が少なからぬことは既によく知られており、またこれらの影響は部材の種類によってもかなり異なることも知られている。溶接部材ではこれらの初期不正の程度が圧延部材よりも大きく、従って最近では耐荷力曲線は1本の曲線で表すよりは部材の種類によって異なる複数の曲線で表す方が合理的であるとされるようになってきた。この時、初期不正の影響を考える上で初期たわみと残留応力は一緒にして扱われており、これらの各々がどのように影響度を分担しているのか個別に検討されたことがない。ここでは、数値解析法を用いて鋼管部材を例にとり、初期たわみと残留応力の耐荷力に対する影響度を別個に検討し、柱部材の耐荷力に対する理解を深めるための一助とするものである。

2. 柱部材の解析方法

柱の耐荷力に対する初期不正の影響を見るために実験的方法によることは非常に難しい。実験的方法によれば影響する非常に要素が多いために、単に残留応力と初期たわみだけを切り離してこれらの影響を調べることはほとんど不可能である。そこで、ここではこの目的のためには唯一の方法とも思われる数値解析法を用いることにする。柱部材の耐荷力を求める上で種々の数値解析法があるが、その内ニューマーク解析法は初期不正を検討するためには優れた方法である¹⁾。その詳細は他の文献に譲るとして²⁾、ここではその概要を述べる。ニューマーク解析法では部材をいくつかのsegmentに分割し、その分割点でモーメントと曲率の関係を満足させる。そして、segment内では曲率の分布を2次曲線で近似し、これをシンプソンの公式により積分して部材の傾斜角およびたわみを求める。分割点の数は10点程度にすると十分な精度が得られることが分かっているが、耐荷力を求めるためには部材の中間点に関して対称として解析できるので、実際の分割点は半分とすることができる。また、ニューマーク解析法における繰り返し計算の収束は初期たわみが大きいと非常に速いが、初期たわみが小さくなるにつれて遅くなる。例えば、収束の判定として繰り返し計算前後の旧新たわみを初期たわみの1%内に収めることで行えば、1%の初期たわみをもつ部材では数回の繰り返し計算で収束するが、0.01%の初期たわみでは数十回の繰り返し計算が必要になる。

3. M-P- Φ 曲線

どんな構造解析においても材料の荷重変形曲線(応力歪曲線)が基本となるが、本解析ではこれを完全弾塑性型と仮定している。次にこれを用いて断面の荷重変形曲線を求めなければならないが、梁柱の解析ではこれはモーメント曲率曲線(M-P- Φ 曲線)で表され、溶接鋼管部材について計算例を示すと図1のようになる³⁾。溶接鋼管の場合には長さ方向にシーム溶接が行われるために大きな残留応力を含んでおり、この影響が図1に示すように弾性から塑性に移行する範囲で曲げ剛性が小さくなることで現れてくる。そしてこのM-P- Φ 曲線における差が、次に見るように耐荷力曲線が残留応力によって低下することの原因となっている。

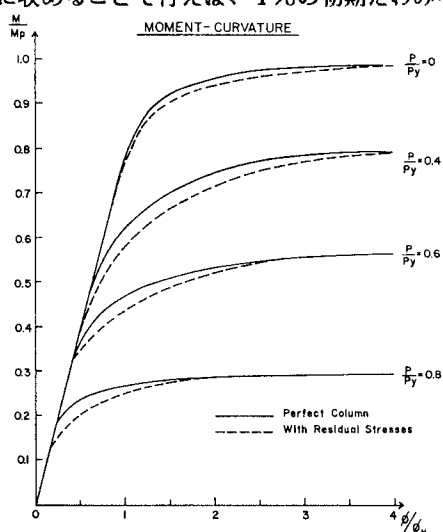


図1 モーメント曲率曲線

4. 耐荷力曲線

数値解析の結果求められた耐荷力曲線を図2に示す。同図中には残留応力がある場合とない場合について、初期たわみを変化させて比較している。この図から、初期たわみが小さい時残留応力の影響が大きく、初期たわみが大きい時残留応力の影響が小さくなることが分かる。初期たわみが部材長の0.01%の時、残留応力がないとほとんど理想柱に近い耐荷力を有するが、残留応力により耐荷力がかなり低下する。最もその差が大きいのは細

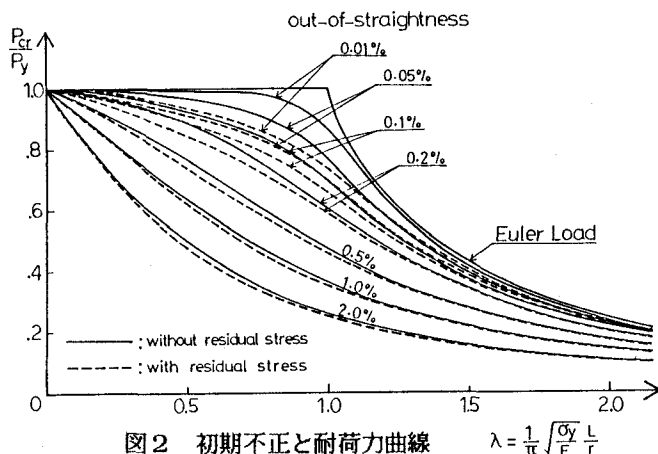


図2 初期不正と耐荷力曲線

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\Omega_y}{E}} \frac{L}{r}$$

長比 λ が1.0より少し小さめの範囲である。初期たわみが大きくなると、この差の大きい位置が細長比の小さい方に少しずつずれていく。初期たわみが2.0%になると耐荷力の低下は著しいが、残留応力の影響は非常に小さくなる。この場合、最も残留応力の影響が大きいところは細長比 $\lambda = 0.5$ 付近にある。

細長比が非常に小さい範囲と大きい範囲では残留応力の影響はほとんどなく、初期たわみの影響のみによって耐荷力は低下する。実際の柱部材は製作時の初期たわみ制限が0.1%程度とされており耐荷力はかなり高レベルのところにあるので、この時には初期たわみの増加が耐荷力を大きく低下させることになり設計上や製作上注意を要する。

5. 残留応力の影響に対する考察

初期たわみが大きくなると耐荷力が低下することは容易に理解できるが、残留応力の影響が何故初期たわみの大きさによって左右されるのかについては定かではない。このことについて以下考えてみると、一般的に座屈点におけるモーメントと曲率の関係は、図1の弾性から塑性へ移行する辺りの曲線上にあって残留応力の影響を受ける。初期たわみが小さくなって耐荷力が上がってくると、座屈点（部材中央）の断面のモーメントと曲率の関係は図1において段々下の曲線上（軸方向力が大きい範囲）に下がってことになる。モーメント曲率曲線（図1）において残留応力の影響は絶対値でみるとそれ程軸方向力によって差がないが、比率でみると軸方向力が大きくなるほど残留応力の影響も大きくなる。このことが耐荷力曲線において、初期たわみの小さい（耐荷力が大きい）範囲で残留応力によって大きく耐荷力が低下することの原因である。細長比が非常に小さい範囲では耐荷力も大きくなるが、この時に残留応力の影響がそれ程出てこないのは、部材が座屈した時の部材中央におけるモーメント曲率の関係が曲率の大きな範囲にあることになるので、図1を見ると分かる通り残留応力の影響はそれ程大きくはない範囲の曲線上にあることになる。また、今度は細長比の非常に大きい範囲を考えると、部材は弾性座屈を起こすことになり、これをモーメント曲率関係で考えると図1の弾性範囲の直線上に位置することになり、やはりこの部分では残留応力の影響が少ないことが分かる。

謝辞：図2の曲線を得るための計算は本学の学生である吉田 朗君の協力を得たので、ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Toma, S. and Chen, W. F. :Analysis of Fabricated Tubular Columns, J. Struc. Div. ASCE, Vol. 105 No. ST11, Nov. 1979, pp. 2343-2366.
- 2) Chen W. F. and Atsuta T. :Theory of Beam-Columns, Vol. 1, McGraw-Hill, 1976.
- 3) Toma, S. Chen, W. F. and Finn L. D. :External Pressure and Sectoinal Behavior of Fabricated Tubes, J. Struc. Div. ASCE, Vol. 108, No. ST1, Jan. 1982, pp.177-194.