

立体骨組の弾塑性解析に関する2, 3の考察

徳島大学工学部土木工学科

正員 児嶋 弘行

徳島大学工業短期大学部土木工学科

正員 平尾 潔

香川県庁

正員 木野戸 重信

朝日設計

正員 ○藤内 清志

1 まえがき 本研究は、漸増節点荷重をうける鋼構造立体骨組の弾塑性解析における、軸力、曲げ、および、捻りの組合せを考慮した種々の降伏条件式の相違、塑性流動理論に伴う近似法の相違、ベクトル移動量の相違、および、幾何的非線形性の影響が、骨組の耐荷力とか、崩壊過程にどのような影響をおよぼすかについて、2, 3の数値計算例をもとに比較検討し、簡単な考察を加えたものである。

2 解析上の仮定 本研究で用いた弾塑性解析では、つぎのような仮定をもうけている。(1) 材料は必ずみ硬くはない完全弾塑性体とし、その応力-ひずみ特性は時間に対して独立とする。(2) 材料の降伏せん断応力度 τ_y は、Von Mises の降伏基準に従って $\tau_y = \sigma_y/\sqrt{3}$ とする。(3) 降伏条件式におよぼすせん断力の影響は無視する。(4) 断面の形状係数は1とし、塑性域の部材軸方向の拡がりは無視する。(5) 部材は2軸対称な一様断面を有する直線部材とし、部材の初期たわみは無視する。(6) せん断変形、および、ワーピングは無視する。(7) すべての荷重は節点に作用し、その強度は一定、または同一割合で変化するものとする。

3 降伏条件式 一般に、降伏条件式は断面力の成分を変数とする関数で与えられ、立体骨組の場合、断面力の成分としては、軸力 N 、捻りモーメント M_x 、および、2軸まわりの曲げモーメント M_y, M_z が考えられる。これらの成分の組合せを考慮した降伏条件式に対する理論的な研究は、文献1), 2)などにみられるように断面の中立軸の位置によって異なり、それらが非常に複雑な関数を含んだものとなるため、従来はつぎに示すような多項式近似による降伏条件式が多く用いられてきた。³⁾

(1) 2次近似降伏条件式 $F = a \cdot p^2 + m_1^2 + b \cdot m_2^2 + c \cdot m_3^2 + d \cdot p \cdot m_1 + e \cdot m_2 \cdot m_3 + f \cdot m_3 \cdot p = 1$ I形断面 $a = b = c = 1.0, e = 0.6, d = f = 0.3$ 、パイプ断面 $a = 1.19, b = c = 0.98, e = 0.06, d = f = 0.27$ 、球状降伏条件式 $a = b = c = 1.0, d = e = f = 0.0$ (2) 4次近似降伏条件式 $F = a \cdot p^4 + b \cdot m_1^4 + c \cdot m_2^4 + d \cdot p^2 \cdot m_1^2 + e \cdot m_1^2 \cdot m_2^2 + f \cdot m_1^2 \cdot p^2 + 2 \cdot m_2^2 - m_3^2 = 1$ I形断面 $a = b = c = 1.0, e = 3.0, d = f = 4.0$ 、パイプ断面 $a = 1.05, b = c = 0.967, e = 1.93, d = f = 5.88$ ただし、 $p = |N/N_p|, m_1 = |M_1/M_{sp}|, m_2 = |M_2/M_{sp}|, m_3 = |M_3/M_{sp}|$ 、ここに、 N_p は全塑性軸力、 M_{sp} は全塑性捻りモーメント、 M_{yp}, M_{zp} はそれぞれ y, z 軸まわりの全塑性モーメントである。しかし、これらの近似式を用いた場合の解析結果の精度について、比較検討したものは見当たらない。従って、本研究では、パイプ断面に対しては文献2)の理論式を用い、I形断面に対しては文献1)の理論式を、文献2)の方法に従って、捻りモーメントを導入して修正したものをを用いて解析を行ない、既往の多項式近似による降伏条件式を用いた解析結果と比較検討してみた。

4 塑性流動理論に伴う近似法 組合せ降伏条件式を用いた弾塑性解析では、塑性関節における断面力と変形量との関係が非線形となるため、既往の研究では、これらの非線形関係を下界近似、あるいは、上界近似により線形化して解析してゆく方法が用いられている。しかしながら、これらの両近似法におけるベクトル移動量の影響とか、両近似による解析結果を比較検討したものは見当たらないため、本研究ではこれらの点についても検討してみた。なお、簡単に両近似方法を説明すれば、以下のようである。

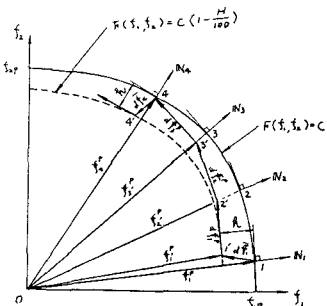


図-1

(1) 下界近似の方法 荷重強度 P で、ある断面の断面力が f_p^p となり、塑性

関節が発生した場合、その後の荷重増加に対し、図-1の1', 2'...で示すように、断面力が常に降伏相関曲線の内側へくるように変化させる方法である。

(2) 上界近似の方法 下界近似とは逆に、塑性関節における断面力が、図-2の1, 2', 3'...で示すように、常に降伏相関曲線の外側へくるように変化させる方法である。

5 変形法の基本式 本研究では、大変形理論に関する研究のうち、bowlingの影響、座標変換行列の修正などの幾何的非線形性の影響をも検討するため、文献4)の方法を用い、これを文献3)と同様な弾塑性安定解析にまで拡張している。紙面の都合上、これらの詳細については文献を参照されたい。

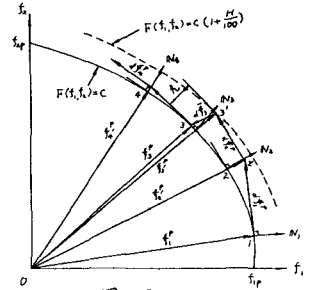


図-2

6 解析手順 荷重強度 P_0 で、ある断面で塑性関節が発生し、さらに荷重強度が増加して、 $P_{n+1,0}$ となって新たな塑性関節が発生するまで、あるいは、限界荷重 P_0 のもとで全体座屈がおこるまでの第 n 段階目における m 回の荷重増分を与えた場合の解析手順の概略を示せば、つぎのようである。(1) 任意の荷重強度 $P_{n,m}$ に対する断面力 $f_{n,m}$ 、節点変位 $u_{n,m}$ の収束値をNewton-Raphson法と同様な繰返し計算により求め、同時に、接線剛性行列の値 D を計算し、 $D=0$ の場合には、骨組の全体座屈がおこったものとみなし、荷重値を変更しながら、繰返し計算により座屈荷重 P_0 の近似値を求め解析を終了する。(2) 各断面で降伏条件式の値 F を計算し、 F_{max} か1になるまで荷重強度を変更しながら、(1), (2)の手順を繰返す。(3) $F_{max}=1$ となった断面に塑性関節が発生したものとみなして、そのように構造形式を変更し、下界近似の場合にはベクトル移動量を求めて、その再配分を行ない、上界近似の場合にはさらに拡大曲面に達するまで荷重増分を与える。以上の1)~3)の手順を繰返してゆけば、骨組は限界荷重 P_0 のもとで全体座屈をおこすか、荷重 P_0 のもとで機構を形成して崩壊することになる。

7 計算例 本研究では、まえがきで述べたような諸点に対する比較を行なうため、図-3に示す肘形、および、矩形ラーメンを対象とした種々の解析を行なっているが、その結果については、講演会当日にスライドで紹介する。

8 むすび 本研究で得られた結果を列挙すればつぎのようである。(1) 理論的な降伏条件式を用いた場合、パイプ断面に対しては、球状降伏条件式を用いた場合とよく一致するが、I形断面に対しては、球状、2次式、および、4次式のいずれの近似式を用いた場合よりも低い耐荷力を示す。(2) 上界近似と下界近似とでは、ベクトル移動量に関係なく前者の方が常に大きな耐荷力を示す。また、上界近似では、ベクトル移動量を小さくする程耐荷力は小さくなり、逆に下界近似では大きくなるが、上界近似の方が、ベクトル移動量の大きさによる相違は少ない。(3) 線形解析したものと、幾何的非線形性を考慮して解析したものとを比較すると、骨組の形状ならびに荷重状態によって異なるが、一般に、後者の方が低い耐荷力を示す。

9 参考文献 1) S. Santathadaporn and W.F. Chen ; Interaction Curves For Sections under Combined Biaxial Bending And Axial Force, W.R. C.B. NO. 148, Feb. 1970 2) G.A. Morris and S.J. Fennes ; Approximate Yield Surface Equations, J. of Eng. Div. ASCE, vol. 95, NO. EM 4, Aug. 1969 3) 児嶋, 平尾, 天野; 立体剛滑節骨組の弾塑性安定解析, 土木学会第29会年次学術講演概要集 4) C. Oran ; Tangent Stiffness in Space Frames, J. of St. Div. ASCE, vol. 99, NO. ST6, June, 1973

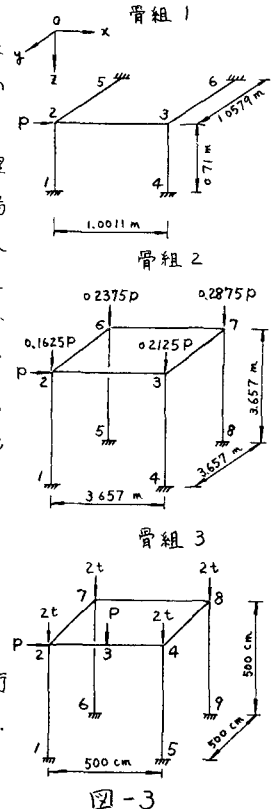


図-3