鋼立体骨組部材の弾塑性解析に関する研究

徳山高専専攻科　学生会員　○赤野　正敏
徳山高専　正会員　重松　恒美
徳山高専　正会員　原　隆
徳山高専　正会員　田村　隆弘

１．はじめに

立体骨組とは、柱と梁の接合部が剛に接合された骨組で、広い空間をその内部につくることができ、橋梁、高層ビル、地下構造物などの様々な構造物に見られる構造形式である。地震動や風に対する立体ラーメンの耐荷力を分析することは、建築物や橋梁という土木建築構造物の安全な設計を行うためには不可欠である。安全な構造物をつくるためには、構造物の弾塑性挙動を厳密に追跡し、弾性限をこえた後に構造部材に発生する塑性域の広がりを忠実に反映させた解析を行う必要がある。

本研究では、立体骨組の弾塑性解析をティモシェンコ梁理論に基づいて行うことを目的とする。そして、梁を高さ方向と奥行き方向に分割し、ファイバーモデルとして立体フレームの構成部材の荷重に対する変形応答や塑性域の広がりを解析し分析する。弾塑性解析については各ファイバーに、一軸の応力ひずみ関係式を用いて応力履歴を考慮した有限要素を用いた。

２．解析方法

数値解析において接線剛性法を用いて弾塑性問題を解く。非線形問題の解析は、解が現在の構造の変位にばかりでなく、それ以前の荷重履歴に依存するので本研究の数値計算は、増分法にもとづいて行う。この計算過程では、残差力が収束したとみなされるまで連続的に繰り返される。立体骨組を解くためには、立体要素に関する Timoshenko はり理論の誘導が必要である。まず図１のように材軸方向に部材座標系のｘ軸を定め、これを右手系をなすｙ、ｚ軸を、節点ｉを通り断面の主軸となるように定める。

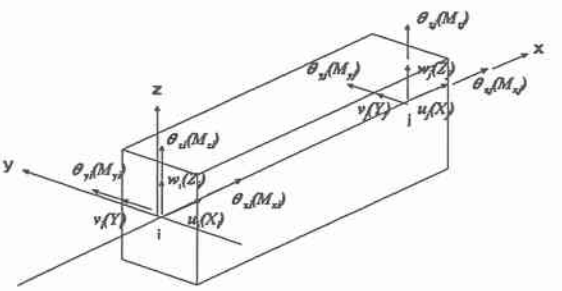

図１　ファイバー部材端の自由度

１）ｘ軸方向の力に関する剛性マトリックス

材軸方向変位 u_i, u_j 以外の変位とは何ら関係なしに軸力 X_i, X_j は決まるので、平面トラス部材座標系剛性マトリックスは

$$\begin{Bmatrix} X_i \\ X_j \end{Bmatrix} = \frac{EA}{L}[k_e]\begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} \qquad (1)$$

２）ｘ－ｚ面のせん断および曲げモーメントに関する剛性マトリックス

曲げ要素剛性マトリックス K_f は、１点の Gauss Legendre 則を用いて評価することができ、次のように表せる

$$K_f^{(e)} = \left(\frac{EI_y}{l}\right)^{(e)}[k_e]^{(e)} \qquad (2)$$

K_s は次のように表される。

$$K_s^{(e)} = \left(\frac{GA}{l}\right)^{(e)} \left[k_e\right]^{(e)} \qquad (3)$$

剛性マトリックス$K_s K_f$はy－z面に対しても同様である。

3） x軸まわりねじりモーメントに関する剛性マトリックス

ここで要素の中間にねじりモーメントが作用してない場合には、要素内のねじりモーメントが一定であるので、つぎの微分方程式が成立する。

$$GJ\frac{d\theta_x}{dx} = M_x \qquad (4)$$

ここで、G：せん断弾性係数、　　J：要素断面に対するねじり定数

したがって剛性方程式は

$$\begin{Bmatrix} M_{xi} \\ M_{xj} \end{Bmatrix} = \frac{GJ}{L}\left[k_e\right]\begin{Bmatrix} \theta_{xi} \\ \theta_{xj} \end{Bmatrix} \qquad (5)$$

4）座標変換

部材座標系で与えられる剛性マトリックスを構造全体で解くためには全体座標系の変換のため座標変換が必要である。座標変換を行うためには、部材座標のx, y, z軸が全体座標のX, Y, Z軸となす方向余弦が必要となる。立体骨組は、柱と梁で構成されているので水平、鉛直軸に対する変換マトリックスTを求めなければならない。部材座標系と全体座標系の関係式としてつぎのように表すことができる。

$$\{\delta\} = \left[T_e\right]\left\{\bar{\delta}\right\} \qquad (6)$$

3．数値解析

1）解析モデル

梁は両端でローラー支点を持っており両支点の間に集中荷重を受けている。

部材断面は円形で、各々の鋼管は中央で剛結されている。各々の鋼管は長さ方向に18に分けられており、1つの要素は断面内で12に分けられている。材料試験により得られた材料定数は次の通りである。

弾性係数　　E　＝173GPa

せん断弾性係数　　G　＝44.34GPa

ひずみ硬化係数　　H’＝9.0

降伏応力　　σ_0＝260MPa

梁の寸法は、外径＝101.6mm、厚さ＝4.2mm、長さ＝1800mmである。

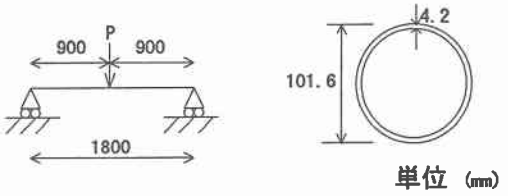

図２　部材モデル

2）座標変換の検討

部材軸x、y、zそれぞれの軸に直角に荷重を作用させた結果、それぞれの部材の変位は同様であった。

3）数値解析結果

図3は数値解析により求めた部材中央の荷重―変位関係である。荷重変位関係は40kN位まで弾性でありそれ以降塑性化していることがわかる。

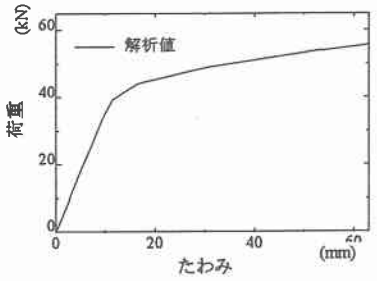

図３　荷重―変位関係（中央点）