

東京工業大学工学部 正 員 吉田 裕
建設省東北地方建設局 高井嘉親
東京工業大学大学院 学生員 ○中野 修

1. はじめに 本研究は、任意断面の骨組部材を対象とする3次元弾塑性大変形解析過程を構成し、軸力と水平2方向成分による任意方向からの水平力が作用する柱材を対象として松井ら¹⁾によって行われた実験に対応する解析を行い、実測結果と対比して、解析法の妥当性を検証した結果を報告するものである。

2. 解析過程の概要 節点変位として並進変位3成分(u, v, w)、回転変位3成分($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)の計6成分を導入する通常用いられる節点自由度を維持した形で、ねじれ及び2軸曲げによる断面内の局所的なせん断応力の分布を考慮する下記のような解析過程を構成した。

2-1. 部材内の局所的な応力を評価するための小領域 部材を長さ、高さ、幅の各方向に適切な数に分割して、図-1に示すような小さな領域を定義し、応力値は各小領域の中心点で評価する方法を採っている。

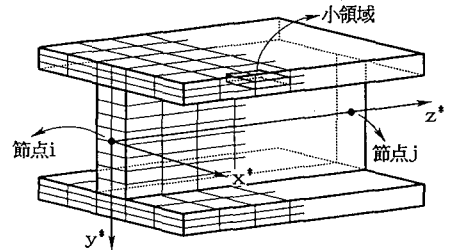


図-1 局所的な応力を評価するための小領域

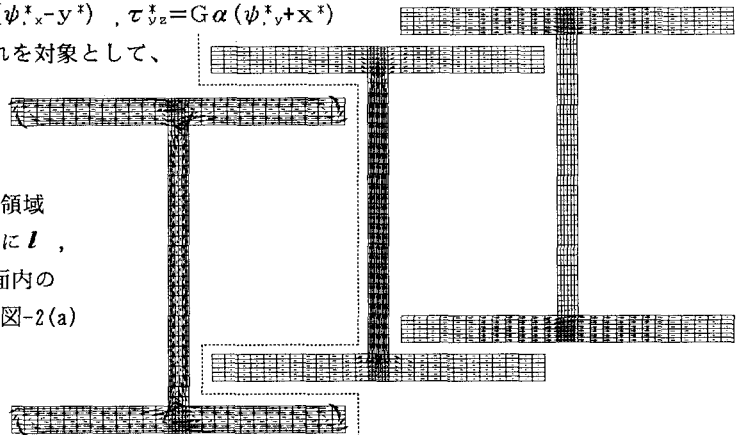
2-2. ねじれに伴う断面内のせん断応力分布の評価 部材両端の節点 i 及び j を結ぶ軸に z^* 軸を、部材断面の2主軸に x^*, y^* 軸をとって部材座標系を定義する。単位長さ当りのねじれ角 α に対してせん断応力が、 $\tau_{zx}^* = G\alpha(\psi_{,x}^* - y^*)$ 、 $\tau_{yz}^* = G\alpha(\psi_{,y}^* + x^*)$ として定義されるSt. Venantのねじれを対象として、

反り関数 ψ^* を支配する方程式

$$\psi_{,xx}^* + \psi_{,yy}^* = 0 \text{ を境界条件}$$

$$l\psi_{,x}^* + m\psi_{,y}^* = l y^* - m x^*$$

のもとで数値的に解き、断面内の小領域ごとのせん断応力を評価する。ここに l 、 m は方向余弦である。H形柱材断面内のねじれに伴うせん断応力分布の例を図-2(a)に示す。



(a)ねじれに伴うせん断応力 (b)曲げに伴うせん断応力

2-3. 曲げ応力の変化に伴う断面内のせん断応力分布の評価 曲げによる部材軸方向応力 σ_{zz}^* の変化に対応するせん断応力を、応力関数

ϕ^* を導入して $\tau_{zx}^* = \phi_{,x}^*$ 、 $\tau_{yz}^* = \phi_{,y}^*$ と与えるとき、応力関数を支配する方程式は $\phi_{,xx}^* + \phi_{,yy}^* = -\sigma_{zz,z}^*$ となる。これを境界条件 $l\phi_{,x}^* + m\phi_{,y}^* = 0$ のもとで数値的に解き、断面内の小領域ごとのせん断応力を評価する。曲げに対応するせん断応力分布の例を図-2(b)に示す。

2-4. 接線剛性マトリックスの評価 部材座標系に関する接線剛性マトリックスは初期変位の線形剛性マトリックス $[K_L]$ と初期応力の幾何剛性マトリックス $[K_G]$ の和として構成され、それぞれ次式のように評価される。

$$[K_L] = \int_V [B_L]^T [D^*] [B_L] dV, \quad [K_G] = \int_V [B_G]^T [\sigma^*] [B_G] dV \quad \dots\dots\dots (1), (2)$$

式(1)における補間関数 $[B_L]$ は、ねじれに伴うせん断応力を考慮するために、通常用いられる補間関数 $[\hat{B}]$ を次式のように補正している。

$$[B\hat{L}] = [h^*][\hat{B}\hat{L}] \quad , \quad [h^*] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & x^{*-1}\psi_x^* \\ 0 & y^{*-1}\psi_y^* & 1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3), (4)$$

3. 実験結果との対比による解析法の検証 松井らは、一定の軸力が導入された下端固定、上端自由のH形鋼柱材が自由端に任意の方向の水平力を受けて大きく変形する際の弾塑性挙動を解明することを目的として、誠実な質の高い実験結果を報告している¹⁾。ここでは、柱材の断面主軸と角度を持って水平力が载荷されたケースに対応する解析を行い、解析結果を実験結果と比較する。

3-1. 松井らによる実験の概要 試験体の諸元及び材料定数などを図-3に示す。柱の降伏軸力の30%の軸力が予め導入され、水平方向の加力方向が図に示した角度の定義のもとで、30°の場合を比較の対象とする。

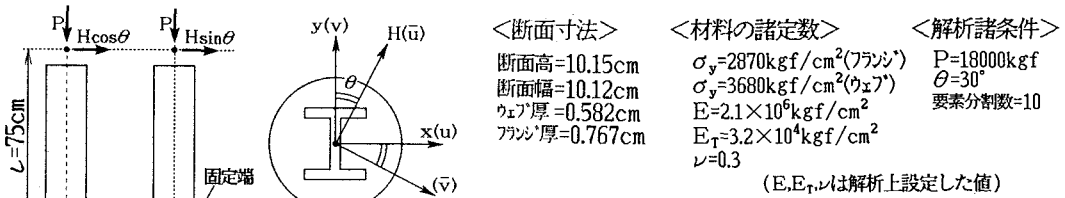


図-3 松井らによる実験の概要¹⁾

3-2. 解析結果と実験結果との対比 水平加力方向の変位を $\bar{u}$ 、これと直角な方向の変位を $\bar{v}$ とすると、 $\bar{v}$ を拘束した場合と拘束しない場合の2通りの解析を行った。解析によって得られた、水平方向荷重(H)と断面主軸2方向の変位(u及びv)との関係を実験結果と比較して図-4に示す。図-5は、固定端から3.5cm上に位置する断面における塑性域の進展の様子を示したものである。

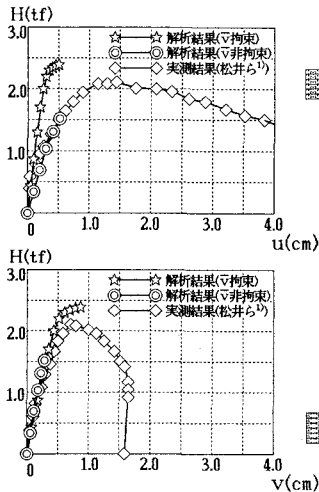


図-4 荷重(H)と変位(u及びv)の関係

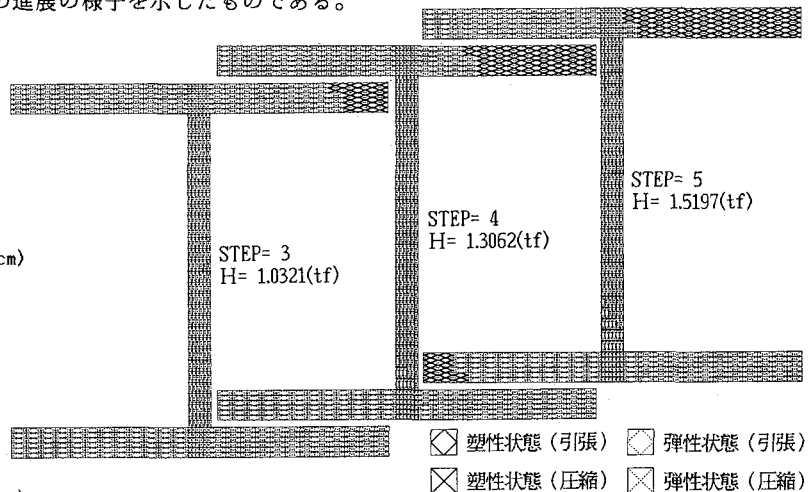


図-5 塑性域の進展

4. おわりに 以上に、1節点6自由度の骨組部材要素を対象として、断面内の局所的な応力分布を考慮した弾塑性大変形解析過程を構成し、一定軸力を受け、断面主軸と角度を持って水平方向に加力されるH形鋼柱材を対象とした解析を行い、実験結果と対比した。解析においては最大耐力の手前で収束が困難になるなど改善の余地は残るが、実験結果をよく説明する結果が得られた。

- 参考文献** 1) 松井千秋・ほか：軸力と任意方向水平力を受けるH形鋼柱材の弾塑性性状に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文報告集第361号、1986年3月
2) 吉田 裕・ほか：動的大変形有限要素解析における弾塑性評価過程に関する検討、構造工学における数値解析シンポジウム論文集第15巻、1991年7月