

I-A 60

2 フランジモデルによる鋼製箱形断面柱の繰返し弾塑性有限変位解析

早稲田大学大学院 学生員 米倉 聡
 日本イーエスアイ 正 員 小玉 乃理子
 早稲田大学理工学部 正 員 依田 照彦

1. はじめに

繰返し荷重を受ける鋼製箱形断面柱では、全体変形のレベルがある限界状態を超えると局部座屈が発生する。この局部座屈の発生とともに柱の荷重-変位曲線は劣化型に移行し、有限要素解析を煩雑なものにする。ここでは、箱形断面柱のフランジのみに注目し、2次元要素を用いない定式化を考える。上下フランジのみにしたことにより、断面全体で受け持つべき曲げモーメントは、フランジ内に生じる軸力に置き換えられ、フランジの1次元の取扱いが可能になり、構成則および有限要素のモデル化が容易になる。本研究はこの2フランジモデルを用いた有限要素法による弾塑性有限変位解析について考察したものである。

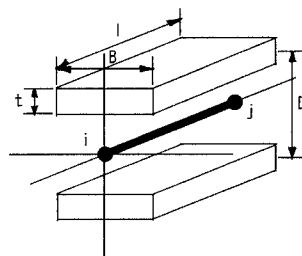


図-1 2フランジモデル（1要素）

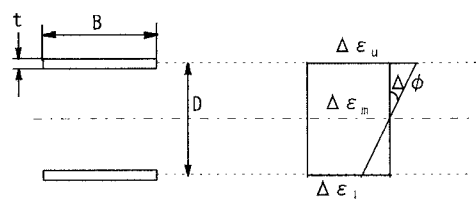


図-2 ひずみ分布図

2. 2フランジモデルの有限要素解析への適用

本研究では薄板より構成される箱形断面柱を1次元的に扱うため、図-1に示すような上下フランジで1対の部材要素を考える。このモデルは実際には一本の柱をモデル化しており、上下フランジ間の応力およびひずみは、仮想のウェブを通してつながりを持つと考える。また、フランジ厚は、はりの高さに比べて十分小さいと仮定し、解析で必要とする値は全て各フランジの中央面の値で代表させることにする。このような仮定のもとでは、ひずみ増分は次式で表される¹⁾。

$$\begin{cases} \Delta \epsilon_u = \Delta \epsilon_m + \Delta \phi \frac{D}{2} \\ \Delta \epsilon_l = \Delta \epsilon_m - \Delta \phi \frac{D}{2} \end{cases} \quad (1)$$

ここに $\Delta \epsilon_u$ 、 $\Delta \epsilon_l$ はそれぞれ上下フランジに生じるひずみ増分であり、 $\Delta \epsilon_m$ はその平均であり、軸力のみにより生じるひずみに相当する。このとき上下フランジに生じる応力増分はそれぞれの接線剛性係数 H_u^T 、 H_l^T を用いて式(2)で表される。

$$\begin{cases} \Delta \sigma_u = H_u^T \Delta \epsilon_u \\ \Delta \sigma_l = H_l^T \Delta \epsilon_l \end{cases} \quad (2)$$

さらに、軸力の増分 ΔP と曲げモーメントの増分 ΔM は次式で表される。

$$\Delta P = \Delta \sigma_u B t + \Delta \sigma_l B t \quad (3)$$

$$\Delta M = \Delta \sigma_u B t \frac{D}{2} - \Delta \sigma_l B t \frac{D}{2} \quad (4)$$

ここに、 B はフランジ幅、 t はフランジ厚である。また、中立軸の位置は、曲げによる応力が0の位置、すなわち、平均応力が作用している位置であるので、式(5)が成り立つ。

$$\sigma(Z_c) = \frac{N}{A} \quad (5)$$

$$Z_c = \sigma^{-1} \left(\frac{N}{A} \right) \quad (6)$$

したがって、式(5)の逆関数である式(6)により与えられる位置が中立軸の位置といえる。

しかしながら、2フランジモデルにおいては図-2のひずみ分布図と同じものが応力分布図でも描かれ

るため、式(6)を満たす中立軸の位置は常に両フランジの中央にある。

3. フランジ内の応力-ひずみ曲線

フランジの応力状態は1次元的と考えられるので、フランジ内における応力-ひずみ曲線としては、2曲面モデルが利用できる。このため、本研究では、実際のフランジの平板として2次元的な挙動を劣化型の構成則を用いて1次元化した。局部座屈の影響を考慮した繰返し構成則の構築にあたっては、既往の実験データをもとに劣化型の繰返し構成則に2曲面モデルをあてはめた²⁾。

4. 解析例

上述の2フランジモデルによる繰返し弾塑性有限変位解析の妥当性を検証するために、図-3のような箱形断面柱の繰返し挙動を解析する。ただし、板厚については、補剛板を等価な平板に置き換えたときの板厚である。荷重条件としては、一定鉛直荷重の下で柱上端部に繰返し水平荷重(定変位繰返し荷重)を作用させ、鉛直荷重の大きさは供試体の全断面降伏軸力の0.15倍とした。解析手法としては増分過程に弧長法を、反復過程には不平衡変位最小法を用いている³⁾。

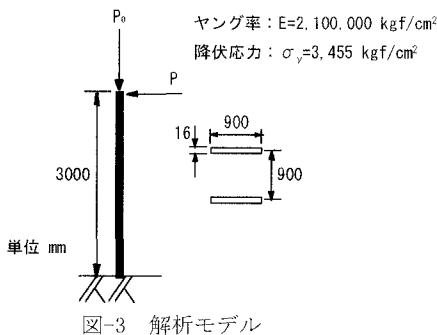


図-3 解析モデル

5. 結果および考察

図-4の繰返し弾塑性挙動を比較すると、計算値の方が若干弱くなっている。これは最大荷重以降の劣化域の評価が正しくないためである。しかしながら、本解析法が定性的には妥当であることは、図-5の応力-ひずみ関係図からも類推できる。

結論として2フランジモデルは容易で定式化しやすい反面、モデルのパラメータ設定に難しさが残るといえる。

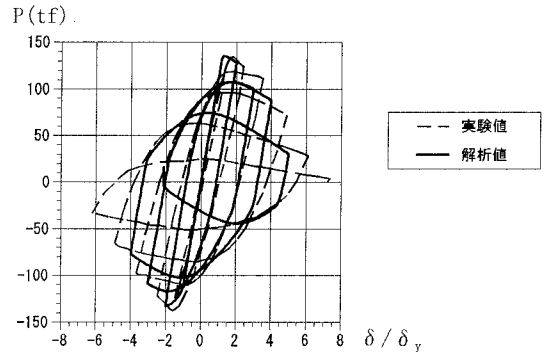


図-4 荷重-変位関係図

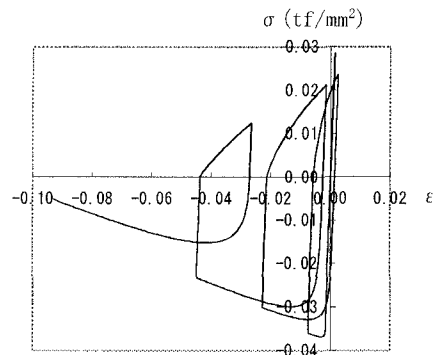


図-5 応力-ひずみ関係図

おわりに、本研究では建設省土木研究所で行われた実験結果のデータを土木学会構造工学委員会構造工学震災調査特別小委員会WG2を通して頂いたものを利用させていただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Ikutaro KUMAZAKI, Eiichi WATANABE and Hitoshi FURUTA: ELASTO-PLASTIC ANALYSIS WITH CONSTITUTIVE RELATION BASED ON FUZZY REASONING、土木学会論文集、I-32 No. 519、pp. 21-36、1995. 7
- 2) 西川和廣、山本悟司、上仙靖、安波博道、名取暢：鋼製橋脚の耐震補強に関する実験、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、pp. 583-590、1996. 1
- 3) 石川智巳、依田照彦：不平衡変位最小法を用いた繰返し外力を受ける骨組み構造物の弾塑性有限変位解析、土木学会論文集、I-34 No. 531、pp. 77-86、1996. 1