

I-22

軸力と繰り返し曲げを受ける箱型断面柱の塑性履歴特性

大阪大学大学院 学生員 池内智行
大阪大学工学部 正 員 西村宣男

1. はじめに わが国は環太平洋地震帯に位置するため、過去に数多くの大地震を経験し、将来にわたり直下型も含めて大地震が発生することは避けられない。そのため、鋼構造物が、地震による繰り返し外力を受けたときの安定性を確保することは非常に重要である。特に、鋼製橋脚の基部などにおいては軸力に加えて繰り返し曲げが働くことにより、フランジが局部座屈を起こし橋梁に大きなダメージを受けることが考えられる。そこで、本研究は軸力と繰り返し曲げを受ける箱型断面柱の塑性履歴特性を弾塑性有限変位解析により明らかにした。また、本研究室では精度の良い単調載荷曲線に基づく構成式^{1), 2)}が提案された。この構成式と完全弾塑性の2種類の構成式を用いて解析を行うことにより構成式の精度が解析結果におよぼす影響についても調べた。

2. 解析方法 解析にあたっては、Kirchhoff-Loveの仮定にもとづきUpdated Lagrangianで定式化された三角形平板要素を用いた。解析モデルとして図-1 (a) に示すような繰り返しの曲げと圧縮を受ける長方形箱形断面(アスペクト比は1.0)を考え、構造および変形の対象性より1/4の部分を解析の対象とした。また、初期たわみは図-1 (b) に示すように、軸方向および板幅方向にsine波の形状で分布させた。また、この初期たわみの最大値はウェブおよびフランジの中央で $d/520.3$ とした。材料定数にはSS400の値^{1), 2)}を用いた。強制変位は軸力を一定に保ちながら図-2 に示すように、載荷辺の回転角 θ が定振幅で3cycle繰り返すように与えた。このとき繰り返す回転角 θ は、降伏モーメントに達するときの回転角 θ_y の3倍とした。軸力を決められた一定の値に保つために、次のような計算方法を用いて収束計算を行った。まず、M STEP目の1回目の計算では、与えられる回転角増分にもとづく強制変位増分を与えて計算を行い、そのとき発生する載荷辺での軸力 P を求める。その軸力 P と決められた軸力 P_t を用いて次に示す式で調整変位 ΔU を求め、2回目以降の収束計算では強制変位増分に調整変位 ΔU を加えた値を載荷辺に与える。

$$\Delta U = \frac{P_t - P}{EA} l$$

ここで、 E :弾性係数、 A :断面積
以上の様な操作を計算された軸力と与えられた軸力の差が微小になるまで収束計算を行った。

3. 解析結果 幅厚比パラメータ $\lambda_p = 0.6$ の薄板で構成される正方形箱形断面柱の解析結果を、図-3

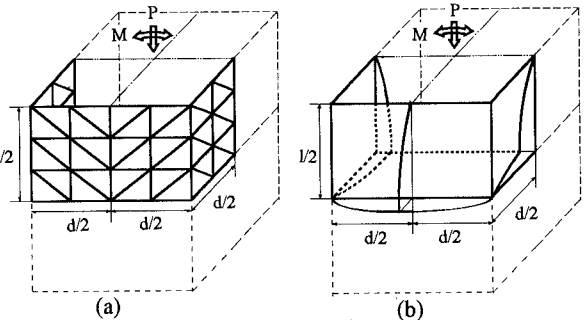


図-1 解析モデル

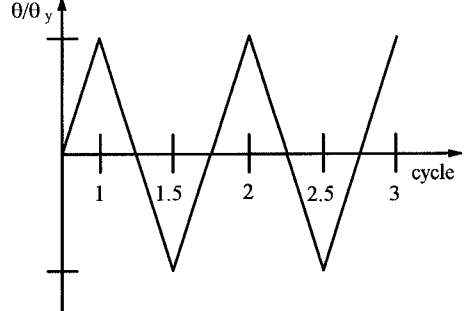


図-2 与える強制回転角

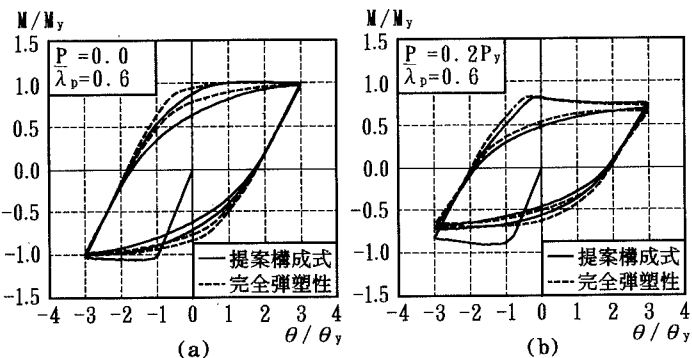


図-3 解析結果

(a) (b)に示す。図-3 (a)は軸力を0に保ち繰り返し曲げを与えた解析結果で、縦軸に曲げモーメント M を降伏モーメント M_y で除して無次元化した値、横軸に荷重辺の回転角 θ を降伏時の回転角 θ_y で除して無次元化した値をとったものである。単調荷重曲線を基にした構成式を用いて解析すると、完全弾塑性構成式に比べ曲げ反転後の線形の部分が短く、その後の曲線がなめらかな曲線となっている。これは単調荷重曲線を基にした構成式が弾性域の減少を表現でき、さらに弾性から塑性に移行した後のなめらかな剛性の変化を非線形遷移領域によって表現できることによるためである。図-3 (b)は同じ解析モデル($\bar{\lambda}_p=0.6$)を用いて圧縮軸力を降伏軸力 P_y の0.2倍に保ち繰り返し曲げを与えた解析結果である。完全弾塑性構成式を用いて解析を行った場合の方が、単調荷重曲線を基にした構成式よりも大きく曲げモーメントを評価していることがわかる。一方、軸力を0に保った場合に比べると、圧縮軸力の影響により1cycle目の最大曲げモーメントが低下している。また、1cycle以降の最大曲げモーメントの低下の割合が軸力0の場合に比べると大きいことがわかる。そこで軸力を0に保った場合と、0.2 P_y に保った場合の変形状の違いに着目してみた。図-4 (a)は軸力0に保った場合の、解析モデルの荷重辺と反対側の断面変形状を示した図である。それぞれのcycleの最後の時点での断面変形状を示している。一度曲げにより局部座屈を起こした圧縮側のフランジも、次のcycleで反対の曲げがかかると引張側となり板たわみがほとんどなくなっている。このため繰り返し曲げが働いても板たわみが増加せず、cycleごとの最大曲げモーメントの低下が少ないと思われる。これに比べ、図-4 (b)に示す圧縮軸力を0.2 P_y に保った場合の断面変形状を見ると、引張側のフランジにも圧縮力の影響により板たわみが残っている。このため次のcycleで、曲げが反転すると板たわみが残ったまま圧縮側となるため、変形状が繰り返し曲げを受けるにつれて大きくなりcycleごとの最大曲げモーメントの減少が大きいと考えられる。次に $\bar{\lambda}_p=0.4, 0.5, 0.6$ の解析モデルを用いて軸力を0, 0.2 P_y に保った場合について解析を行い、それぞれのcycleでの最大曲げモーメント M_{max} を求めた。図-5は縦軸に M_{max}/M_y を、横軸にcycle数をとった図である。軸力0の場合 $\bar{\lambda}_p=0.6$ でcycle数が増えても $M_{max}/M_y=1.0$ 付近となっているのに対し、圧縮軸力0.2 P_y の場合 $\bar{\lambda}_p=0.5$ の2.5cycle目で $M_{max}/M_y=0.8$ を下回っている。

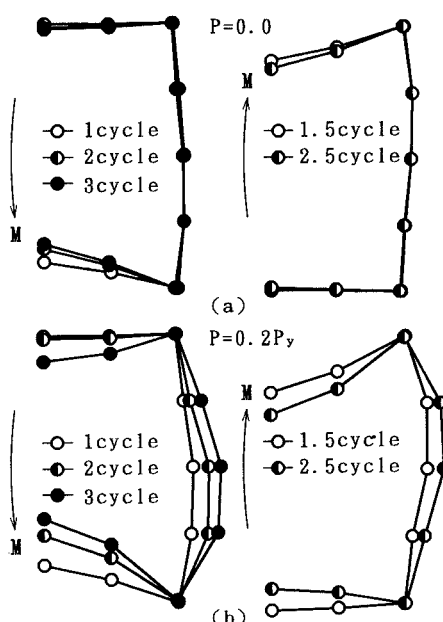


図-4 断面変形状

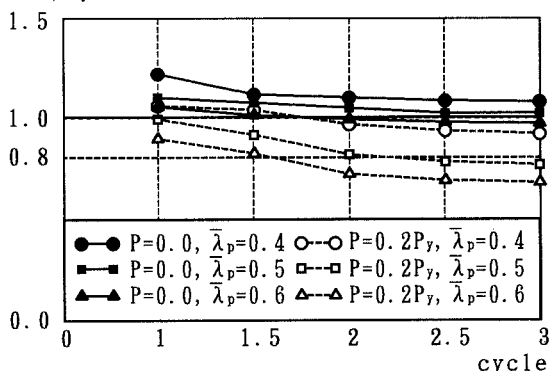


図-5 最大曲げモーメントとcycle数

変形状が繰り返し曲げを受けるにつれて大きくなりcycleごとの最大曲げモーメントの減少が大きいと考えられる。次に $\bar{\lambda}_p=0.4, 0.5, 0.6$ の解析モデルを用いて軸力を0, 0.2 P_y に保った場合について解析を行い、それぞれのcycleでの最大曲げモーメント M_{max} を求めた。図-5は縦軸に M_{max}/M_y を、横軸にcycle数をとった図である。軸力0の場合 $\bar{\lambda}_p=0.6$ でcycle数が増えても $M_{max}/M_y=1.0$ 付近となっているのに対し、圧縮軸力0.2 P_y の場合 $\bar{\lambda}_p=0.5$ の2.5cycle目で $M_{max}/M_y=0.8$ を下回っている。

4. 結論 ①単調荷重曲線を基にした構成式と現実の応力-ひずみ関係を表現できない完全弾塑性構成式を用いた解析では、曲げモーメント-強制回転角の経路に違いが生じる。②圧縮力が加わった状態で繰り返し曲げモーメントが働くと圧縮力が無い場合に比べ最大曲げモーメントの低下が著しい。

<参考文献>

- 西村宣男, 小野潔, 池内智行, 新家徹: 各種鋼材の繰り返し塑性履歴特性に関する実験的研究, 鋼構造論文集, No. 1, pp. 173-182, 1994
- 西村宣男, 小野潔, 池内智行: 単調荷重曲線を基にした繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式, 土木学会論文集, 1995