

高軸力下の鋼箱形断面部材の曲げ繰り返し挙動特性について

熊本大学○学生員 村本裕樹

熊本大学 学生員 永田涼二

熊本大学 正 員 山尾敏孝

1. まえがき 非線型振動応答を求める動的解析法では復元力モデルとして非線型モデルのM-N- ϕ 曲線が必要となると考え、著者らは鋼補剛箱形断面部材を対象に低軸力下(降伏軸力の20%以下)の場合について復元力特性を明らかにしてきたが¹⁾、高軸力下での挙動は不明である。本研究では鋼箱形断面部材を対象に、アーチ部材のように高軸力を受ける箱形断面部材が、面内及び面外に曲げの単調及び繰り返し载荷を受ける場合の挙動解析を行う。そして、弾塑性有限要素法によるパラメトリック解析結果よりM-N- ϕ 曲線の近似式を誘導する。解析には汎用プログラムのMARCを用いた²⁾。

2. 解析モデル及び解析方法 解析モデルとして上路式のアーチ橋を考え、図1に示すようなアーチリブの一部を想定した長方形箱形断面にした。曲げをより忠実に再現するため、モデルの载荷面にピラミッド型の剛体を想定し、曲げをその頂点の回転で与えた。解析は対象条件を考慮して、面内曲げ载荷(曲げをX軸回りに载荷)の場合は1/4部分を対象に一定軸力下で、面外曲げ载荷(曲げをY軸回りに载荷)の場合は1/2部分を対象に一定軸力・一定面内曲げモーメントの下で曲げの単調及び繰り返し载荷解析を行う。要素分割は軸方向分割数6、ウェブ方向分割数18、フランジ方向分割数12、板厚方向分割数6、補剛材長さ方向分割数4とした。周辺は単純支持である。

载荷は面内曲げと面外曲げの2ケースを考え、解析パラメータの軸力比、一定面内モーメントは別途に行った解析結果より、幅厚比パラメータは実橋の値より以下のように決定した。

①面内曲げ载荷：フランジの幅厚比パラメータ $R_t=0.5, 0.6, 0.7$

軸力比 $N/N_y=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$

②面外曲げ载荷：フランジの幅厚比パラメータ $R_t=0.5, 0.6, 0.7$

軸力比 $N/N_y=0.2$ 、一定面内モーメント $M_{(x)}/M_{(x)y}=0, 0.1$

初期たわみの最大値は道路橋示方書³⁾では、板幅の1/150と規定されているが実構造物においてはこれより小さくなると考えられる。従って本研究では、より実現に近い値で解析できるように従来の実験値⁴⁾を参考にし、図2に示すように初期たわみの最大値 δ_1 及び δ_2 をそれぞれ幅厚比 B/t 、 b/t (B : 全幅 b : 板パネル間 t : 板厚) の1次関数として以下のように仮定した。

$$\frac{\delta_1}{B} = 7.5 \times 10^{-6} \frac{B}{t} \quad \frac{\delta_2}{b} = 5.0 \times 10^{-5} \frac{b}{t}$$

残留応力は図3に示すように与えた。使用鋼材はSMA490Yを用い、機械的性質は弾性係数 $E=206\text{GP}$ 、降伏応力 $\sigma_y=353\text{MP}$ 、ポアソン比0.3、ひずみ硬化開始ひずみ $\varepsilon_{sl}=10\varepsilon_y$ 、ひずみ硬化係数 $E_{sl}=E/30$ とした。

载荷方法はまず一定軸力・一定面内曲げモーメントを荷重制御で载荷したあと、軸力を加えたまま曲げを頂点の回転で与えた。なお、繰り返し曲げ载荷の解析を行うにあたって、図4に示すような载荷パターンを採用した。

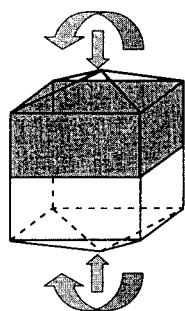


図1 解析モデル

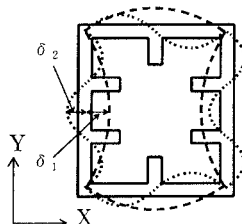


図2 断面形状と初期たわみ

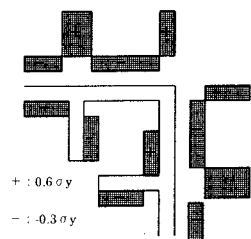


図3 残留応力分布図

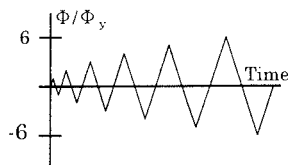


図4 繰り返し载荷パターン

3. 解析結果と考察 解析結果を表すために、曲げモーメント M 、軸力 N 、及び曲率 Φ を、 $m=M/M_y$ 、 $n=N/N_y$ 、 $\phi=\Phi/\Phi_y$ として無次元化を行った。 M_y は降伏曲げモーメント、 N_y は降伏軸力、 Φ_y は軸力を考慮しない降伏曲率である。

【面内曲げ载荷】図5は軸力比 $n=0.1$ としてフランジの幅厚比パラメータ R_f を0.5、0.6、0.7と変化した時の解析結果である。幅厚比パラメータが大きくなると、最大曲げ強度到達後の強度劣化の開始が早くなっているが、最大曲げ強度、劣化勾配の差はあまり大きくないといえる。図6は幅厚比パラメータ $R_f=0.6$ のモデルで軸力比 n を0.1~0.6まで変化させた時の解析結果である。軸力比が大きくなるに従って最大曲げ強度が低下し、最大曲げ強度以降の劣化勾配が大きくなっているのがわかる。図7は幅厚比パラメータ $R_f=0.7$ のモデルについて、軸力比 n を0.2、0.3、0.4と変化させて繰り返し载荷解析を行った結果である。軸力比 $n=0.3$ 以上では降伏曲率の6倍に至る前にモデルが崩壊している。図8は幅厚比パラメータ $R_f=0.7$ 、軸力比 $n=0.3$ について繰り返し载荷解析後の崩壊の状態を示したものである。

なお、面外曲げ载荷及び $m-n-\phi$ 曲線の定式化の結果については当日発表の予定である。

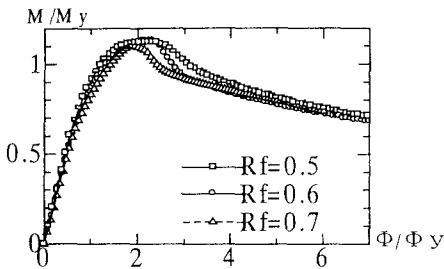


図5 R_f による比較 ($n=0.1$)

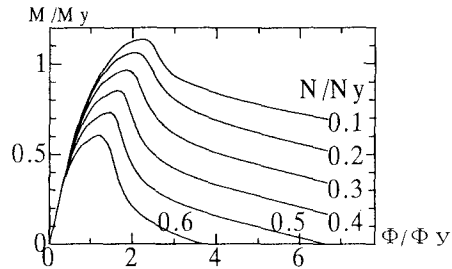
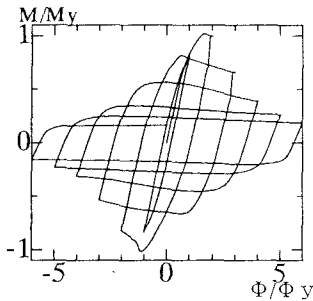
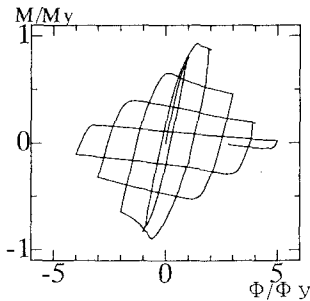


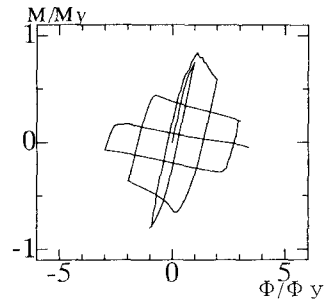
図6 軸力比による比較 ($R_f=0.6$)



(a) $n=0.2$

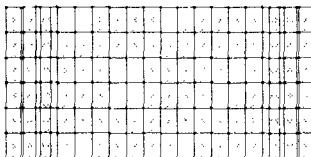


(b) $n=0.3$



(c) $n=0.4$

図7 繰り返し载荷 ($R_f=0.6$)



(a) 解析前



(b) 解析後

図8 変形図 ($R_f=0.7$ 、 $n=0.3$)

〈参考文献〉

- 1)岡本鉄也：鋼補剛箱型断面部材の曲げ繰り返し挙動特性に関する研究、熊本大学卒業論文、1998
- 2)MARC Users Manual, Vol.A-E、日本マーク
- 3)日本道路協会：道路橋示方書・図解説（Ⅱ鋼橋脚）、1996.12
- 4)小松定夫・牛尾敏孝・北田俊行：補剛板の溶接残留応力及び初期たわみに関する実験的研究、土木学会論文集第265号、1977.9