Ｉ－Ａ249　高軸力を受ける鋼補剛箱型断面部材の曲げ繰り返し挙動特性

熊本大学大学院　学生会員　村本裕樹
熊本大学工学部　正会員　山尾敏孝
中央ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ(株)　正会員　永田涼二

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。これまでに無補剛箱型断面や低軸力下（降伏軸力の20％以下）の場合については、同様の試みが既になされている[1]。しかし、アーチ部材のように高軸力下で面内及び面外曲げを受ける場合の挙動はほとんど明らかにされていない。そこで本研究では、アーチ部材のように高軸力を受ける鋼箱型断面部材を対象に、弾塑性有限要素法によりパラメトリック解析を行う。なお、アーチ部材には面内曲げ及び面外曲げが作用するので、解析する場合には、面内曲げ載荷と面外曲げ載荷の二つに分けて行うことにした。解析パラメータとしては、フランジ幅厚比及び軸力比、面内一定モーメントを考え、曲げモーメントと曲率の関係を明らかにした。そして、得られた解析結果からｍ－ｎ－φ曲線の近似式を誘導した。なお解析には汎用プログラムＭＡＲＣを用いた[2]。

２．解析概要　解析モデルは図１に示すようなアーチリブの一部を考え、断面を箱型断面部材とした。解析モデルの鋼材はＳＭ490Ｙを用い機械的性質は弾性係数Ｅ＝206GP、降伏応力σ_y＝353MP、ポアソン比0.3、ひずみ硬化開始ひずみε_{st}＝10ε_y、ひずみ硬化係数E_{st}＝E/30とした。解析モデルの断面形状と初期たわみの形状を図２に示す。初期たわみは、より実現象に近い値で解析できるように従来の実験値[3]を参考にし、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の１次関数として以下のように仮定した。

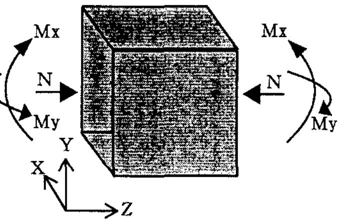


図１　解析モデル

$$\frac{\delta_1}{B}=7.5\times10^{-6}\frac{B}{t} \qquad \frac{\delta_2}{b}=5.0\times10^{-5}\frac{b}{t}$$

Ｂ：全幅　ｂ：パネル間　ｔ：板厚

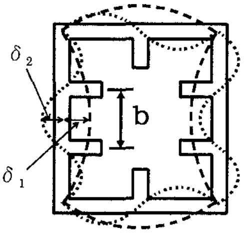


図２　断面形状と初期たわみ

解析パラメータはフランジ幅厚比パラメータ R_f、軸力比N/N_y、一定面内モーメント$M_{(x)}/M_{(x)y}$ を考えた。載荷は面内曲げ載荷及び面外曲げ載荷の２ケースを考え、R_fは実橋の値を参考に、N/N_y $M_{(x)}/M_{(x)y}$は別途に行った解析結果より以下のように決定した。

①面内曲げ載荷：R_f＝0.5、0.6、0.7
　　N/N_y＝0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6

②面外曲げ載荷：R_f＝0.5、0.6、0.7
　　N/N_y＝0.2、$M_{(x)}/M_{(x)y}$＝0、0.1

残留応力の分布形状は図３に示す。圧縮残留応力分布は可能な限り忠実にモデル化するが、引張残留応力の大きさは、圧縮残留応力とつり合うように決定した。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３とした。周辺は単純支持である。

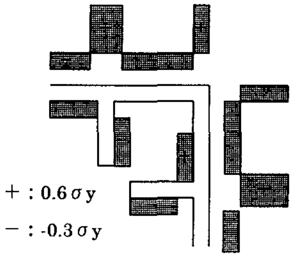


図３　残留応力分布

キーワード：高軸力、面内曲げ、面外曲げ、面内一定モーメント

連絡先〒860-8555熊本市黒髪2-39-1熊本大学工学部環境システム工学科Tel.096-342-3579FAX096-342-3507

3．解析結果　図4は面内曲げ載荷でN/Ny=0.1のモデルについてR_fを0.5、0.6、0.7と変化させた時の比較のグラフである。R_fが大きくなると最大曲げ強度がやや小さくなり、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。図5は面内曲げ載荷でR_f=0.6のモデルについて、それぞれN/Ny=0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6と変化させた時の比較のグラフである。軸力比N/Nyが大きくなると最大曲げ強度が小さくなり、劣化勾配が大きくなっている。図6はR_f=0.7のモデルにおいてn=0.0、0.1、0.2、0.3と変化させた時の繰り返し曲げ載荷解析の結果である。繰り返し曲げ載荷解析を行うにあたって、解析モデルの曲率が暫時降伏曲率の1倍、2倍、3倍…6倍と一定の割合で増加するような載荷パターンを採用した。n=0.3以上のモデルについては軸力により降伏曲率の6倍に至る前にモデルが崩壊している。図7はn=0.2において面内一定モーメントを0.0、0.1と変化させた時の解析結果である。ここでは面内一定モーメントの影響はほとんど見られない。これは、断面が曲げを受けたときに、フランジだけで曲げに抵抗しているからだと考えられる。

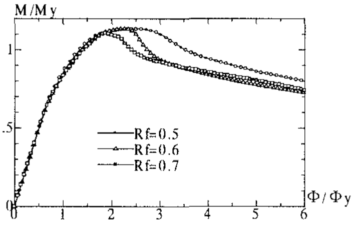


図4　R_fによる比較(N/N_y=0.1)

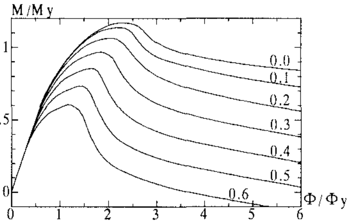
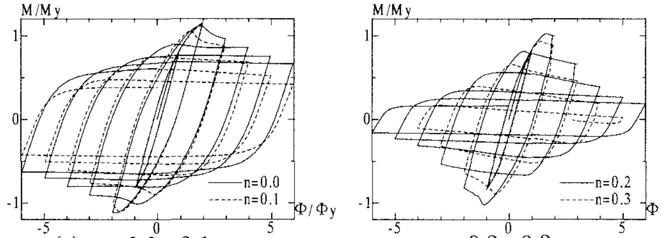


図5　軸力比による比較(R_f=0.6)



(a)　n=0.0、0.1　　n=0.2、0.3

図6　繰り返しグラフ

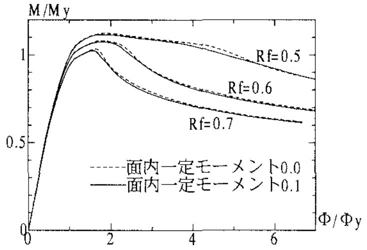


図7　面外曲げ載荷

4．近似式　幅厚比パラメータR_fと軸力比nを用いてm－n－φ曲線の近似式を求めた。図8の様に最大点Uまでを2次曲線、それ以降の劣化勾配を2直線で近似した。図9はR_f=0.6のモデルでの解析値と近似値の比較のである。ほぼ精度よく近似できたと言える。ここに$m=M/M_y$、$n=N/N_y$、$\phi=\Phi/\Phi_y$とする。

i）$0\leqq\phi<\phi_u$

$$m=-\frac{m_u}{\phi_u^2}(\phi-\phi_u)^2+m_u$$

ii）$\phi_u\leqq\phi<\phi_c$

$$m=\frac{m_u-m_c}{\phi_u-\phi_c}\phi+\frac{m_c\phi_u-m_u\phi_c}{\phi_u-\phi_c}$$

iii）$\phi\geqq\phi_c$

$$m=-0.0667(\phi-\phi_c)+m_c$$

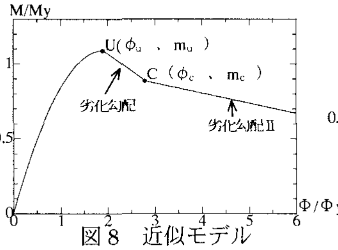


図8　近似モデル

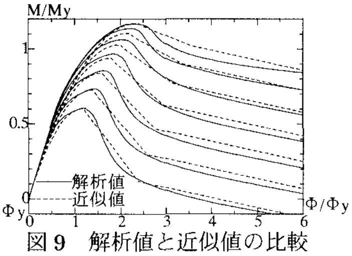


図9　解析値と近似値の比較

ここに

$$m_u=\frac{M_p}{M_y}(a_0+a_1n+a_2n^2)$$
$$a_0=1.16-0.247R_f$$
$$a_1=-0.516$$
$$a_2=-0.706+0.327R_f$$

$$\phi_u=b_0+b_1n$$
$$b_0=3.93-2.63R_f$$
$$b_1=-3.03+1.81R_f$$

$$\phi_c=\phi_u+3(1-R_f)$$
$$m_c=m_u-0.15-0.557n$$

参向文献

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）日本MARC：MARC　Users　Manual、Vol.A-E

3）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