和歌山工業高等専門学校	学生会員	○濵端 将輝
エムエスシーソフトウェア	正会員	上野山 拓也
和歌山工業高等専門学校	正会員	山田 宰
和歌山工業高等専門学校		北澤 雅之

# 1. まえがき

構造物を構成する部材の一つである鋼板は地震動など の繰り返し荷重を受けるときに局部座屈が発生すること がある.筆者らは,鋼板を波形に加工した場合に着目し, 波形に加工することで局部座屈の発生を抑制し効率的な エネルギー吸収が期待できるのではないかと考え数値解 析を行ってきた<sup>1)</sup>.その中で,鋼板を波形に加工するこ とによって平板に比べて座屈応力が上昇し,かつ,座屈 後の耐力低下が抑制できることを明らかにした.また, 繰り返し載荷時に塑性域を拡大させることが可能であり, エネルギー吸収能力が向上することも指摘した<sup>1)</sup>.とこ ろで,鋼板を波形に加工する場合に,その加工形状は数 多の種類があるものと考えられる.

本研究は、山・谷が合計3箇所存在するようにSin関数形状に鋼板を加工した場合の座屈耐荷力、および、繰り返し荷重を受ける場合の履歴エネルギー吸収について数値解析を通じて明らかにするものである.

## 2. 解析モデルと解析手法

弾塑性有限変位解析を行うための解析モデルを図-1 に 示す.また,境界条件を表-1 に示す.また,解析モデル の断面諸量は表-2 に示す.

本研究では、四隅の頂点間の長さ *a=b=1m* で板厚 *t=10mm*の鋼板を研究の対象にした.図-1(a)に示すように

*t*=10mm の鋼板を研究の対象にした. 図-1(a)に示すように 山・谷を3箇所設けた形状に加工した状態を仮定した. 波形は Sin 関数形状になるように設定している. また, 波の高さは,文献1)のジグザグ断面で *d*<sub>c</sub>/*t*=4 のモデル(Model-z)を基準に, Model-1~3 の3つのモデルを作成し た. このうち Model-1 は *d*<sub>c</sub>/*t*=4 である. また, Model-2 はジグザグ断面と断面 2 次モーメントが等しくなるよ

衣-1 現外未件							
変位着目辺	x	у	Z	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$	
1-2	0	0	1	0	1	0	モデノ
2-3	2	0	1	1	0	0	Mo
3-4	0	0	1	0	1	0	Mo
4-1	2	0	1	1	0	0	Mo
X-X	0	1	0	0	0	0	Mo
Y-Y	1	0	0	0	0	0	注)+
注)0:自由,	1:2	3定,	2: 剪	制変	位		1上) [

应用久止



(b)上面図 図-1 正弦波形状に加工した鋼板の解析モデル

а

-		表-2 解析モアルの断面諸重						
	項目 モデル名	波高 d <sub>c</sub> /t	断面積 A(×10 <sup>4</sup> mm <sup>2</sup> )	断面2次 モーメント <i>I</i> (×10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> )	降伏復元 反力 <i>Q<sub>v</sub></i> (kN/ mm <sup>2</sup> )			
_	Model-1	4	1.060	8.324	2.492			
-	Model-2	3.15	1.042	5.692	2.449			
-	Model-3	3.623	1.050	6.807	2.467			
-	Model-Z <sup>1)</sup>	4	1.050	5.692	2.467			
-	注)ヤング係	数 <i>E</i> =2.0×10 <sup>5</sup>	MPa, ポアソン	比 v=0.3, 隆伏,	志 σ.=235MPa,			

 $C_{1}$  (アンク 伝数  $E=2.0\times10$  MPa, ホテラン比 v=0.5, 陸(人) 降伏変位  $\delta_{v}=0.5875$ mm.

キーワード 正弦波断面,波形加工,履歴エネルギー吸収 連絡先 〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島 77 TEL:07

TEL:0738-29-8456 FAX:0738-29-8469

-566

うに波高を設定している. さらに, Model-3 はジグザグ 断面と断面積が等しくなるように設定している. 境界 条件は, 波に直角な辺 2-3 と 4-1 に強制変位を与え, そ の他の 2 辺については単純支持で, 4 接点の薄肉シェ ル要素を用いてモデル化している. 要素分割は x 軸方 向, y 軸方向ともに 40 分割したが, 山・谷の頂点部分 にも節点を追加している. なお, 初期たわみは z 軸方 向に a/150 を最大とする正弦波の半波長で与えた.

弾塑性有限変位解析では汎用 FEM 解析ソフト Marc を用い, つぎの 2 種類の解析を行 った. i)Case 1:単調増加の強制圧 縮変位を与える, ii)Case 2:繰り返 しの漸増強制変位( $\pm 2\delta_y, \pm 4\delta_y, \pm 6\delta_y$ ) を 3 波形ずつ圧縮側先行で与える. なお, 応力-ひずみ関係は Case 1 は 完全弾塑性のバイリニア型で仮定 した. 一方, Case 2 は塑性域の勾 配が E/100 のバイリニア型で仮定 し等方, 移動硬化を考慮した.



## 3. 解析結果

(1)Case 1 の解析結果

単調増加の強制圧縮変位入力時の復元力と変位の関係を図-2に示す.この図から、いずれの復元力も降伏復元反力 Q,には至っておらず、座屈が発生しているものと考えられる. また、Model-2でわずかな耐力低下が見られるのみであり、各モデルの解析結果に大きな違いは見られず、変曲点もほぼ一致している.



(2)Case 2 の解析結果

漸増強制変位入力時の解析結果から復元力と変位の関係と解析終了時の消費エネルギー量を図-3,4 に示す. 消費エネルギーについては、文献 1)と同じく、無次元消費エネルギー*E*<sub>dl</sub>を用いて表している.まず、図-3 から、正弦波形の加工により Model-1,3 についてはジグザグ断面の結果と比較して圧縮側、引張側ともに復元 反力が上昇していることがわかる.その一方で、Model-2 については引張側に若干の違いが見られるものの、 ジグザグ断面とほぼ同じ履歴曲線を描いている.つぎに、図-4 から消費エネルギー量は Model-1 が最も大きく、 続いて Model-3, Model-2 の順である.この順番は断面 2 次モーメントの大小の順と一致している.また, Model-2 とジグザグ断面の消費エネルギー量は極めて近い値になっている.以上のことから、断面積や波高に比べて断 面 2 次モーメントが波板の消費エネルギー量を司る重要なパラメータになるものと考えられる.

### 4. まとめ

本研究は、正弦波形に加工された鋼板について2種類の弾塑性有限変位解析を実施した.その結果、波板の 消費エネルギー量は断面2次モーメントが重要なパラメータになり得ることがわかった.

### 参考文献

1)山田 宰,北澤雅之, 濵端将暉,上野山拓也:波形加工による鋼板の履歴エネルギー吸収への影響,日本鋼構造協会,鋼構造 年次論文報告集, Vol25, pp.412-417, 2017年11月.2)吉識雅夫,藤田 譲:圧縮力を受ける波板の最高荷重について-直交異方 性版の塑性挫屈-,造船協會論文集, pp.163-170, 1960年11月.3)構造工学委員会,構造力学公式集改訂委員会:構造力学公式 集,土木学会,1986年6月.