

金沢工業大学 正会員 ○本田秀行
(株) 開発計算センター 正会員 秋葉 徹

1. まえがき 本研究では、波型腹板桁の基本的な振動特性を把握するため、波型腹板桁の3次元モデルと固有値解析を実施し、振動特性として固有振動数とその振動モードに対する検討を行った。また、波型腹板桁と同じ材質で同一断面寸法のプレートガーダーに対しても3次元固有値解析を実施し、両桁の振動特性値に対して比較検討を行うと共に、拘束条件と解析ケースに対する数値計算の精度についても検討を加えた。

2. 解析モデル 図-1は解析用の波型腹板桁で、この桁と同等法・同材質のプレートガーダーも解析した。両桁を支間長6m、ヤング率 $2.1 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.3、単位重量 7.85 tf/m^3 の等方性線形弾性体にモデル化した。3次元の自動要素分割はPATRANを用いた。両桁の要素モデルは、解析の事前に4節点シェル要素で検討した結果、シェルの支配式で変位の固定が生じて解析値の信頼性に欠けるため、4角シェルの中間点に節点を設けた8節点シェル要素にモデル化した。図-2に波型腹板桁の要素分割の一部を示す。このような部分的な要素分割を確認後、桁全体に分割を自動的に展開している。プレートガーダーに対しても波型腹板桁と同一条件の3次元要素分割を行った。表-1は両桁のモデル諸元であり、膨大な節点数となっている。

3. 固有値解析 表-2は解析ケースを示している。CASE-1は支間長6mの場合、CASE-2は支持点位置を腹板の波型形状の中心節点に合わせるために桁の中央点より左右2.925mの位置を支持点として支間長を5.85mとした場合である。表中の拘束条件は、表-3と図-3に示す3通りを考えた。

解析ソルバーはABAQUSを用い、サブスペース法で固有値と固有ベクトルを計算した。表-4に10次振動まで計算したブ

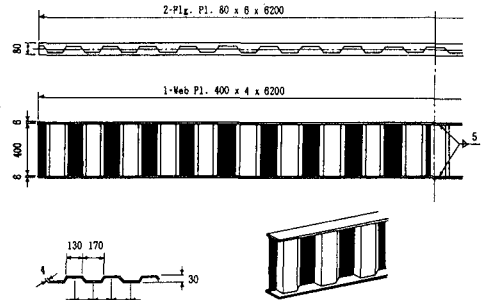


図-1 解析で用いた波型腹板桁 (SS400)

レートガーダーの解析結果を示す。CASE-1.1は支持点部の拘束条件が強すぎて他のCASEより大きい値となっている。各ケースとも5次振動までは同じ振動モードになっており、6次以降、各拘束条件の違いによって動的特性が異なっている。10次振動は面外とねじれの連成振動モードのようであるが、確証が困難で現時点では不明である。実験値と通常のはり理論法で求めた理論値によく一致しているCASE-1.3に対する面外、ねじれ、面内の基本振動モードを示したのが図-4(a)である。表-5に解析ケース1における8次振動まで計算した波型腹板桁の解析結果を示す。CASE-1.1では、プレートガーダーと同様、他の拘束条件より固有振動数が大きい値を示している。CASE-1.2とCASE-1.3の比較では、ねじれ振動の固有振動数に若干の差異が存在するが、面外振動の固有振動数は両拘束条件ともよく一致している。実験値とよく一致しているCASE-1.3に対する基本振動モードを示したのが図-4(b)である。なお、解析ケース1と解析ケース2との相連については、振動モードは表-5と図-4(b)に示した結果と同様であるが、固有振動数の値が解析ケース2の場合にケース1より全体的に5%大きい値となった。これは、腹板の中心節点に対する支持点位置のずれでなく、支間長6m

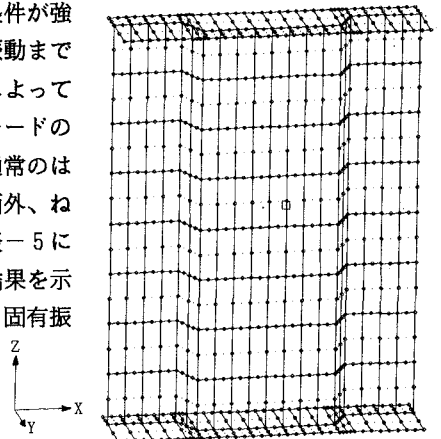


図-2 波型腹板桁の要素分割の一部

表-1 解析のモデル諸元

	プレートガーダー	波型腹板桁
要素数	4, 464個	4, 968個
節点数	14, 161個	15, 757個
全重量	108.78 kgf	116.62 kgf

と5.85mの違いによる影響であることを確認している。表-6は、CASE-1.3に対する両桁の面外と面内1次固有振動数を比較した結果である。なお、表中の理論値は通常のはり理論 $f=(\pi/l)^2\sqrt{EIg/w}$ (rad/sec) から求めた値であり、波型腹板桁の面内と面外の断面2次モーメント I_x 、 I_y の算定式を図-5に示す。

表-2 解析ケース

	プレートガーダー	波型腹板桁	
	P-girder	C-girder	
	CASE-1	CASE-1	CASE-2
拘束条件1	P-girder CASE-1.1	C-girder CASE-1.1	C-girder CASE-2.1
拘束条件2	P-girder CASE-1.2	C-girder CASE-1.2	C-girder CASE-2.2
拘束条件3	P-girder CASE-1.3	C-girder CASE-1.3	C-girder CASE-2.3

表-4 プレートガーダーの

固有値解析結果

モード	固有振動数 (Hz)		
	CASE-1.1 (拘束条件1)	CASE-1.2 (拘束条件2)	CASE-1.3 (拘束条件3)
1次	5.270 面外振動1次	3.379 ¹⁾ 面外振動1次	3.379 ¹⁾ 面外振動1次
2次	8.139 ねじれ1次	6.150 ねじれ1次	6.073 ねじれ1次
3次	16.704 面外振動2次	13.329 面外振動2次	13.327 面外振動2次
4次	23.356 ねじれ2次	19.135 ねじれ2次	19.048 ねじれ2次
5次	32.336 面外振動3次	28.367 面外振動3次	28.338 面外振動3次
6次	46.445 ねじれ3次	40.150 ねじれ3次	34.471 ¹⁾ 面内振動1次
7次	47.245 面外振動4次	44.273 面外振動4次	40.080 ねじれ3次
8次	52.536 面内振動1次	52.146 面内振動1次	44.100 面外振動4次
9次	58.356 面外振動5次	56.856 面外振動5次	56.416 面外振動5次
10次	65.044	64.859	64.778

1): 実験結果と近似値を得る

表-3 支点部での拘束条件

(a) 拘束条件1

	変位			回転		
	X	Y	Z	X	Y	Z
固定支点	固定	固定	自由	自由	自由	自由
可動支点	自由	固定	固定	自由	自由	自由

(b) 拘束条件2

	変位			回転		
	X	Y	Z	X	Y	Z
固定支点	固定	固定	固定	自由	自由	自由
可動支点	自由	固定	固定	自由	自由	自由

(c) 拘束条件3

	変位			回転		
	X	Y	Z	X	Y	Z
固定支点●	固定	固定	固定	自由	自由	自由
固定支点○	自由	固定	自由	自由	自由	自由
可動支点●	自由	固定	固定	自由	自由	自由
可動支点○	自由	固定	自由	自由	自由	自由

表-5 波型腹板桁の固有値

解析結果(解析ケース1)

	固有振動数 (Hz)		
	CASE-1.1 (拘束条件1)	CASE-1.2 (拘束条件2)	CASE-1.3 (拘束条件3)
1次	5.190 面外振動1次	3.322 ¹⁾ 面外振動1次	3.322 ¹⁾ 面外振動1次
2次	8.662 ねじれ1次	7.006 ねじれ1次	6.716 ねじれ1次
3次	16.807 面外振動2次	13.281 面外振動2次	13.281 面外振動2次
4次	24.072 ねじれ2次	20.235 ねじれ2次	19.947 ねじれ2次
5次	35.020 面外振動3次	29.845 面外振動3次	29.085 ¹⁾ 面内振動1次
6次	44.446 面内振動1次	39.007 ねじれ3次	29.844 面外振動3次
7次	47.608 ねじれ3次	45.484 ねじれ4次	41.314 ねじれ3次
8次	59.728 面外振動4次	52.917 面外振動4次	52.909 面外振動4次

1): 実験結果と近似値を得る

表-6 両桁の面外と面内の1次固有振動数

	プレートガーダー P-girder CASE-1.3		波型腹板桁 C-girder CASE-1.3	
	面外振動1次	面内振動1次	面外振動1次	面内振動1次
実験値	8.3 Hz	33.9 Hz	3.6 Hz	27.1 Hz
理論値	3.38 Hz	35.53 Hz	3.85 Hz	28.82 Hz
固有値計算	3.38 Hz	34.47 Hz	3.32 Hz	29.09 Hz
(実験値との誤差)	2.39 %	4.78 %	7.72 %	7.82 %
(理論値との誤差)	0.09 %	2.97 %	9.94 %	0.94 %

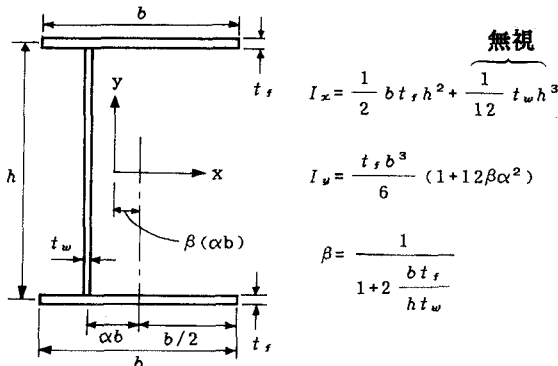


図-5 波型腹板桁の断面諸量

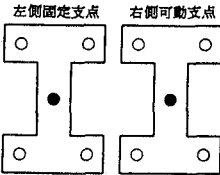


図-3 拘束条件3

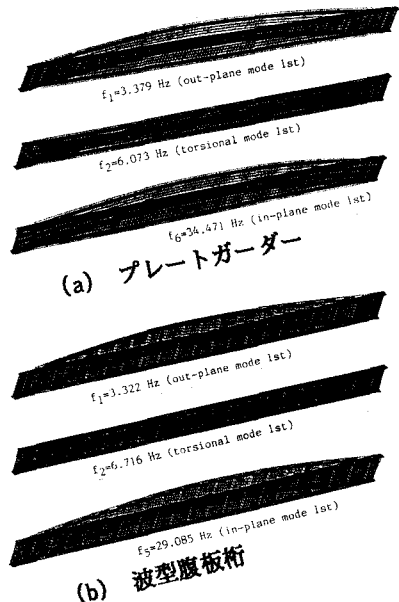


図-4 両桁の振動モード (CASE-1.3)