

大阪大学大学院 学生員 吉井 真
 大阪大学工学部 正会員 前田幸雄
 大阪大学工学部 正会員 大倉一郎
 川崎製鉄株式会社 正会員 盛岡純一

1. まえがき 海洋ジャケットは波浪により繰り返し荷重を常時受けているため、耐用期間中に疲労破壊を生じないように設計しなければならない。深海に設置されるジャケットの場合、その固有周期が波力の周期に近づくため、波力の動的影響を考慮して疲労設計を行なわねばならないことが明らかにされている^{1),2)}。したがって、著者らは、ジャケット格点部の疲労を解明するためには、ジャケット全体の動的挙動と格点部の応力集中点に生ずる応力との関係を明らかにする必要があると考えている。本報告では、深海に設置されるジャケットの振動解析を行ない、その振動特性を明らかにした。

2. 3次元骨組構造の振動解析プログラムの作成 3次元骨組構造の振動解析プログラムに使用したはり要素の剛性マトリックスと質量マトリックスは、それぞれ次のとおりである。³⁾ (図-1参照)

剛性マトリックス

$$\begin{bmatrix}
 u_i & v_i & w_i & \theta_{xi} & \theta_{yi} & \theta_{zi} & u_j & v_j & w_j & \theta_{xj} & \theta_{yj} & \theta_{zj} \\
 k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 k_5 & 0 & 0 & -k_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_5 & 0 & 0 \\
 k_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 2k_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 2k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 k_5 & 0 & 0 & -k_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_5 & 0 & 0 \\
 k_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 2k_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 2k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}$$

$$k_1 = EA/L, \quad k_2 = 12EI_z/L^3, \quad k_3 = 6EI_z/L^2, \quad k_4 = 2EI_z/L, \\
 k_5 = 12EI_y/L^3, \quad k_6 = 6EI_y/L^2, \quad k_7 = 2EI_y/L, \quad k_8 = GJ/L$$

質量マトリックス

$$\begin{bmatrix}
 u_i & v_i & w_i & \theta_{xi} & \theta_{yi} & \theta_{zi} & u_j & v_j & w_j & \theta_{xj} & \theta_{yj} & \theta_{zj} \\
 2m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\
 2m_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 m_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 2m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\
 2m_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 m_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 2m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\
 2m_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 m_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}$$

$$m_1 = l/6, \quad m_2 = 13/35, \quad m_3 = 9/70, \quad m_4 = 11l/210, \\
 m_5 = 13l/420, \quad m_6 = l^2/105, \quad m_7 = l^2/140, \quad m_8 = I_p/(6A)$$

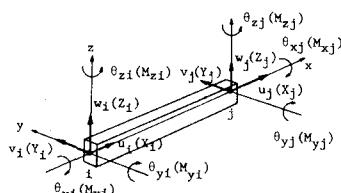


図-1 はり要素

ここに、 E =ヤング率、 G =せん断弾性係数、 A =断面積、 I_y 、 I_z =それぞれ y 軸、 z 軸回りの断面2次モーメント、 J =ねじり定数、 I_p =断面2次極モーメント、 l =はり要素の長さ、 ρ =はり要素の単位体積当りの質量。固有値計算には、大次元の固有値計算に適し、

しかも重根に近い固有値群があっても収束性のよいサブスペース法を用いた。定式化されたプログラムの照査を文献[5]の例題について行なった。計算対象を図-2に示す。固有振動数について、本プログラムから求められた値、および文献の計算値と実験値を表-1に示す。両者はよく一致していることがわかる。

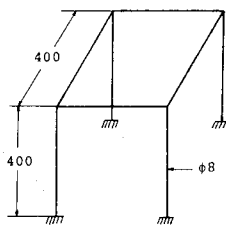


図-2 立体骨組構造

表-1 固有振動数

Mode number	Computational frequency (Hz)	Ref. [5]	
		Computational frequency (Hz)	Experimental frequency (Hz)
1	25.64	25.6	25.4
2	25.64		
3	32.80	32.8	32.6
4	56.24	56.2	56.8
5	108.28	108.2	108.1
6	129.49	129.3	127.7
7	129.62		
8	139.97		
9	139.97		
10	177.23		
11	177.24		
12	213.05		
13	213.14		
14	231.10		
15	231.38		

3. 解析モデル

川崎製鉄株式会社が製作したジャケットに基づいて計算モデルを作成した。全体図を図-3に示す。ジャケットは円管部材で構成されている。最下段の点 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 を固定支持とし、最上段の点 P_5 、 P_6 、 P_7 、 P_8 に、デッキ・生活施設などの質量として、集中質量 10^6 kgをそれぞれ加えた。節点を格点と部材が静水面と交わる点に設けた。したがって、計算モデルは、168要素、72節点、408自由度(境界条件の自由度を除く)になる。ジャケットの水中にある部材に対しては付加水質量を考慮しなければならない。単一円柱の単位長さ当りの付加水質量は $M=C_m \rho A$ で与えられる。ここに、 ρ =排水の単位体積当りの質量(本研究では $\rho=1.03g/cm^3$)、 A =円管

断面の外円の面積、 C_m =付加水質量係数であり、単一円柱の場合 $C_m=1.0$ である。本研究では、 $C_m=0.0, 1.0, 1.5, 2.0$ の各場合について計算を行なった。 $C_m=0.0$ の場合はジャケットの大気中振動を与え、 $C_m=1.5, 2.0$ の場合は付加水質量のほかにさらに生物付着などの質量が加わったときのジャケットの水中振動を与える。計算プログラムでは、これらの付加質量を、質量マトリックスの rA を $GmPA$ に置き換えることによって導入した。ただし、 A, I_p は円管の真断面に対するものではなくて、円管断面の外円に対するものである。

4. 解析結果 ジャケットの固有振動数を表-2に示す。また、 $C_m=1.0$ の場合の固有振動モードを図-4に示す。表中の数値の後のアルファベットは、図の第6, 8, 10次の固有振動モードが示すように、レグは振動せず、ある位置の水平ブレース材のみが上下振動するとき、そのブレースの位置を図-3の記号に従って示したものである。固有振動モードを調べると、水平ブレースの上下振動をともなわないうレグが振動する全体振動モード、レグが振動しないである位置の水平ブレースのみが上下振動する局部振動モード、レグの振動と水平ブレースの上下振動がともに生ずる局部・全体振動モード(表中*印で示す)に分類される。

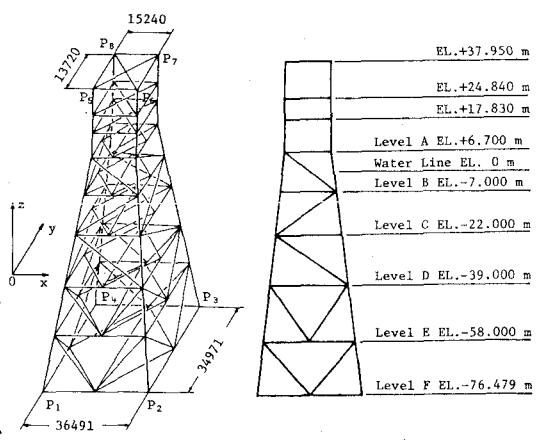


図-3 ジャケット

表-2 固有振動数

Mode number	Frequency (Hz)			
	$C_m = 0.0$	$C_m = 1.0$	$C_m = 1.5$	$C_m = 2.0$
1	0.3557	0.3553	0.3551	0.3549
2	0.3570	0.3566	0.3565	0.3563
3	0.4067	0.4064	0.4063	0.4062
4	2.2618	1.7529	1.5964	1.4646(D)
5	2.3053	1.7910	1.6169(D)	1.4749
6	2.7514(D)	1.8293(D)	1.6320	1.5082
7	2.8957	2.2246	2.0152	1.8550
8	2.9601	2.3710(D)	2.0841(D)	1.8811(D)
9	3.5846(D)	2.3973*	2.0954*	1.8847*
10	3.5926*	2.7692(B,C)	2.1855(B,C)	2.2203(C)
11	3.6936(D)	2.8734(B,C)	2.4300(D)	2.2839(D)
12	3.8804(F)	2.8880(D)	2.4968(B,C)	2.3080(B)
13	4.1171*	3.1309*	2.7340*	2.4577*
14	4.4973*	3.1413(B,C)	2.7989*	2.5771(B,C)
15	4.5759*	3.6542(B,C)	3.2009*	2.8771*

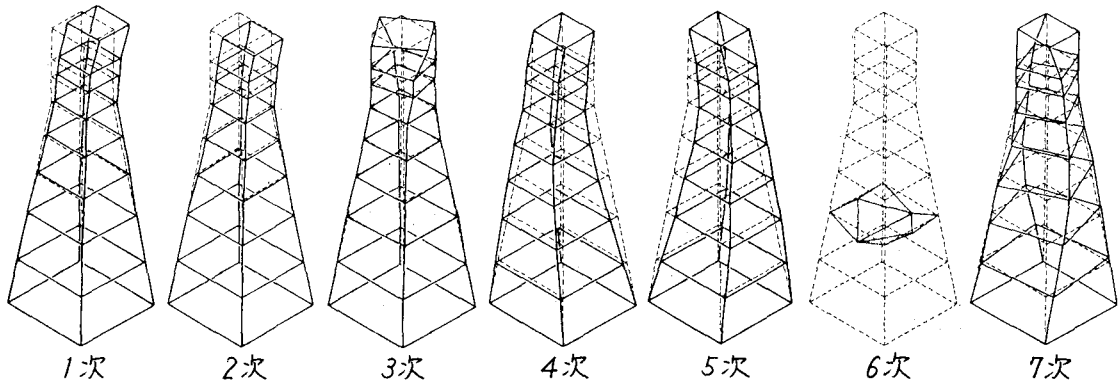


図-4 各固有モードの形状($C_m=1.0$ の場合)

また、低次3次の固有振動数は、付加質量が増加しても、それぞれほとんど変化しない。

参考文献 1) Vughts, J.H. and R.K. Kinra, OTC, No.2608, 1976. 2) Joseph, K. and J.B. Price, OTC, No.2609, 1976. 3) 川井, コンピュータによる構造工学講座I-4-B, 培風館 PP.177-178. 4) Bathe, K.J. and E.L. Wilson, ASCE, Vol.98, No.EM6, pp.1471-1485, 1972. 5) 川井・村木, 日本造船学会論文集, 第126号, PP.245-252, 1969.

