

海洋タワーの振動特性について

大同工業大学 正会員 水澤富作

1. はじめに ガイドタワーやモノタワーなどの大型の海洋タワー¹⁾は、深海開発用の柔軟な海洋構造物(Compliant Structures)として用いられている。一方、このようなタワーでは、周期が大きく、またその振動特性が耐波や耐震設計上重要になってくる。これまでも、水中での円筒タンクや円筒シェルの自由振動問題については、ポテンシャル理論と弾性理論を用いた研究²⁾もあるが、デッキの質量効果、圧縮荷重や底部の回転拘束などの影響をも含めた研究は、あまり行われていないようである。

本研究では、海洋タワーをFig. 1に示すような2次元のはり一柱要素、ケーブルの水平ばね、基礎部の水平及び回転ばねなどでモデル化を行い、有限要素法を用いてタワーの振動特性に与える水深、デッキ部の集中質量、デッキ部に作用する圧縮荷重やばね定数などの影響について検討を行っている。

2. 解析手法 ここでは、流体場を2次元であると仮定し、付加質量の概念を用いて式の定式化を行う。

タワーは2節点のはり一柱要素で離散化を行い、整合質量マトリックスと幾何剛性マトリックスを用いれば、非減衰の運動方程式が次式で与えられる。

$$[M+M_0]\{\delta\} + [K+\kappa K_0]\{\delta\} = 0 \quad \dots(1)$$

ここで、 $\kappa=P/P_{cr}$ であり、 P_{cr} は自由端に作用する圧縮荷重による弾性座屈荷重である。また、 K_0 は幾何剛性マトリックスであり、 M_0 はタワーを取り巻く流体による付加質量マトリックスであり、次のように与えられる。

$$M_0 = (\rho_w/\rho)C_m \cdot M \quad \dots(2)$$

ただし、 ρ_w は流体の密度、 ρ はタワーの密度であり、 C_m は付加質量係数であり、理想的な円柱では1.0の値になる。デッキの質量は、回転慣性をも考慮した集中質量として、またケーブルや基礎のばねも集中ばねとして付加している。したがって、式(1)は、

$$([K+\kappa K_0] + n^* [M+M_0])\{\delta\} = 0 \quad \dots(3)$$

のようにも表される。ここで、 n^* は振動数パラメータであり、次のように定義する。

$$n^* = (\omega/L^2)\sqrt{EI/\rho A} \quad \dots(4)$$

ω は円振動数、 EI は曲げ剛性、 A は断面積である。

3. 数値計算例及び考察

数値計算 数値計算にあたり、Table 1示すような無次元パラメータを用いている。本手法の精度を調べるために、Fig. 2に示すような部分的に水に接する片持ちばりの振動解析を行い、厳密解と比較したものがTable 2に示してある。ただし、1/2分割要素を用い、 $\rho_w/\rho=1/2.7$ 、 $C_m=1.0$ とした。これより、厳密解³⁾と非常に良く一致した結果が得

Table 1. 解析パラメータ

解析パラメータ	内容
$\alpha = h/L$	水深比
$\beta = M/\rho AL$	デッキの質量比
$\gamma = \rho_w/\rho$	密度比
$\delta = K_h L^3/EI$	Cableの水平ばね剛性比
$\lambda = K_0 L^3/EI$	基礎の回転ばね剛性比
$\epsilon = K_f L^3/EI$	基礎の水平ばね剛性比
$\eta = (I_0/\rho AL)/L^2$	デッキの質量慣性比
$\kappa = P/P_{cr}$	圧縮荷重比

h は水深、 K_h はケーブルの水平ばね定数

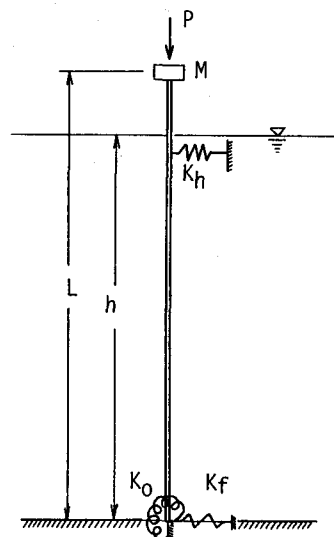


Fig. 1 Tower model

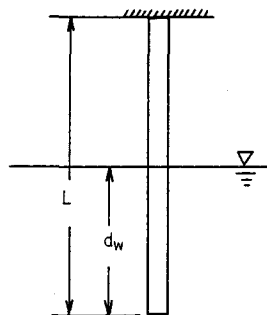


Fig. 2 Cantilever beam immersed in a water

られ、また接水部分の増大とともに、付加質量の影響により、振動数パラメータ、 n^* が一様に減少している。しかしながら、接水部が非常に小さい場合には、タワーに作用する接水圧分布を考慮した3次元解析を行わなければならない³⁾。次に、タワーの振動特性を調べるために、2、3のパラメトリック解析を行った。

タワーは水中に鉛直立ち、 $\rho_w/\rho=0.4$ と仮定している。Fig. 3には、基本振動数パラメータ、 n_1^* に与えるデッキ部の質量比、 β の影響を、水深比、 α を変化させながら示したものである。これより、 n_1^* は、 β の増大とともに指数関数的に減少し、質量比がさほど大きくないときに、水深比の影響が大きくみられる。Fig. 4では、質量比を0.2に固定して、水深比を変化させながらタワーの振動数パラメータに与えるデッキに作用する圧縮荷重の大きさの影響が示されている。圧縮荷重の作用により、ほぼ線形的に振動数が減少し、また、水深比の影響も大きく見られる。他にも、基礎部の回転拘束ばね、 K_0 やケーブルによる水平ばねの振動数に与える影響についても検討してみたが、水深比によって大きな影響が生じる場合も示された。

Table 2. Frequency parameters $\sqrt{n^*}$ of cantilever beams partially immersed in a water; $C_m=1.0$ and $\rho_w/\rho=1/2.7$

$\mu=h/L$	Modes					Methods
	1st	2nd	3rd	4th	5th	
0.0	1.876	4.694	7.856	11.00	14.18	Present Exact ²⁾ Narita ³⁾
	1.875	4.694	7.855	11.00	14.18	
	1.875	4.695	7.858	11.00	14.16	
0.25	1.771	4.597	7.705	10.76	13.87	
	1.770	4.595	7.669	10.74	13.85	
	1.770	4.595	7.702	10.75	13.88	
0.5	1.741	4.489	7.568	10.58	13.65	
	1.739	4.478	7.564	10.55	13.60	
	1.740	4.488	7.567	10.57	13.62	
0.75	1.733	4.353	7.346	10.39	13.40	
	1.733	4.351	7.344	10.37	13.35	
	1.733	4.352	7.347	10.38	13.37	
1.0	1.734	4.339	7.262	10.17	13.10	
	1.733	4.339	7.260	10.16	13.07	
	1.733	4.339	7.263	10.17	13.09	

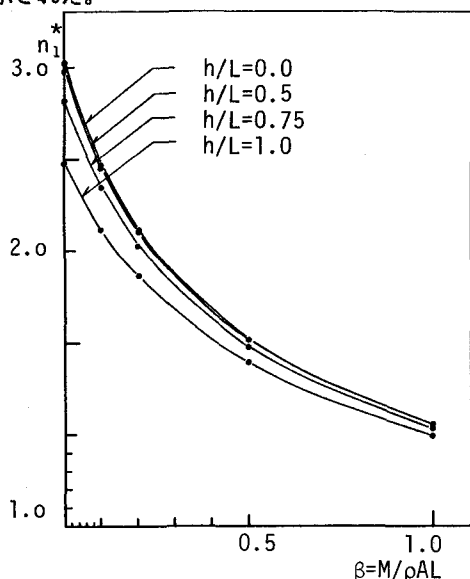


Fig. 3 Effect of mass ratio, β on n_1^*

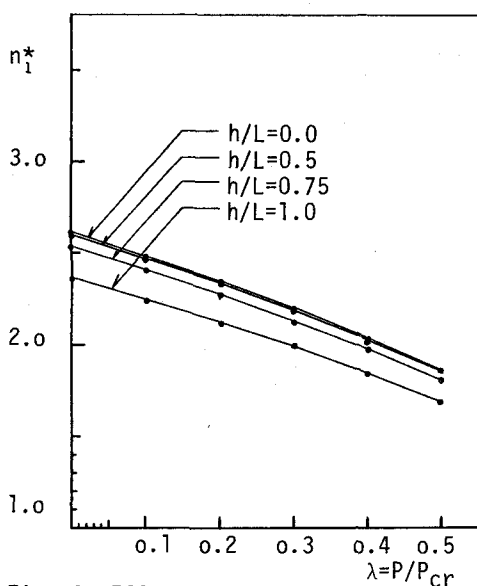


Fig. 4 Effect of λ on n_1^*

4. あとがき 本文では、付加質量の概念を用いて、2次元の海洋タワーの振動解析を行い、その振動特性に与える水深比、デッキの質量やデッキに作用する圧縮荷重などの影響について検討を行った。海洋タワーの振動数は、水深の増大、デッキの質量増大や圧縮荷重の作用により、大きく減少し、特に水深の変化によっても大きな影響を受けるので、このような影響を正確に把握する必要がある。今後は、このような海洋タワーの波浪や地震などによる動的応答問題についても研究を行って行きたい。

参考文献

1. Mise, T., Mizusawa, T. et al.: Fundamental Study on Dynamic failure and design of offshore structures, 文部省科学研究費補助金報告書 (国際学術研究), 1990.
2. 濱本、田中: 固定式海洋円筒シェルの動的解析—固有振動解析. 日本建築学会論文報告集, No. 291, pp. 129-141, 1980.
3. Narita, Y.: Vibration of a non-uniform cantilever beam partially immersed in an ideal liquid. J. Sound and Vibration, Vol. 81, pp. 583-586, 1982.