

名古屋大学 学生員 ○ 中西 利雄

東海大学 学生員 二宮 公紀

名古屋大学 正員 梶田 建夫

1. まえがき 水中に建設される構造物の動的応答解析に関する研究は、OTC (Offshore Technology Conference) 等にジャケット (A.J. Godeau, G.E. Deleuil ら) や重力プラットフォーム (R. Nataraja, C.L. Kirk ら) 形式を対象としたものなどが数多く見受けられる。しかし、固定式構造物をシェルとして取り扱い、動的応答解析を行なっているものは少ないようである。ここでは固定式円筒シェル構造物 (図-1) を対象として、振動解析を行ない、模型実験との比較も行なった。固定式円筒シェル構造物の動的応答では、周辺流体による影響を考慮する必要がある。すなわち、水中におけるシェルは、流体との相互作用によりシェル表面に動水圧が作用し、構造物の振動特性に大きな影響を与えることがわかっている。ここでは、動的相互作用を扱う解析法はエネルギー法を、シェルの基礎式としては Flugge の理論を、動的応答のための外力としては回折理論 (R.C. MaCamy, R.A. Fuchs による) で計算された波力を使用している。

2. 解析理論 水中における円筒シェルの自由振動方程式は、Lagrange の運動方程式に、仮定変位モードを代入し、Rayleigh-Ritz 法により得られる。Lagrange 方程式中のひずみエネルギー U は、つぎのようである。

$$U = \frac{E\kappa}{2(1-\nu^2)} \int_0^l \int_0^{2\pi} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{a^2} \left(\frac{\partial v}{\partial \theta} + w \right)^2 + \frac{2\nu}{a} \frac{\partial u}{\partial x} \left(\frac{\partial v}{\partial \theta} + w \right) + \frac{1}{2}(1-\nu) \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{a} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right)^2 \right. \\ \left. + \frac{\kappa^2}{12a^2} \left\{ a^2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + \frac{1}{a^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} - \frac{\partial v}{\partial \theta} \right)^2 + 2\nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} - \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial \theta} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right\} \right] a d\theta dx \quad (1)$$

仮定変位モードは、図-1の様に軸方向、円周方向、半径方向をそれぞれ u , v , w とし、 x 方向に N 項のほりの変位モードを用いた。

$$u = \sum_{i=1}^N A_{mni}(t) g_i(x) \cos n\theta \quad (2-1)$$

$$v = \sum_{i=1}^N B_{mni}(t) f_i(x) \sin n\theta \quad (2-2)$$

$$w = \sum_{i=1}^N C_{mni}(t) f_i(x) \cos n\theta \quad (2-3)$$

ここで、 $g_i(x)$ は一端固定、他端自由な棒の i 次縦振動モード、 $f_i(x)$ は片持ちばりの i 次横振動モードであり、 $A_{mni}(t)$, $B_{mni}(t)$, $C_{mni}(t)$ は独立変数である。次に周辺流体とシェルとの動的相互作用を考える。周辺流体は非粘性、非回転性、非圧縮性であり、シェル外側に無限に広がっており、微小運動をすると仮定すると、動水圧 P を満足する支配微分方程式は、

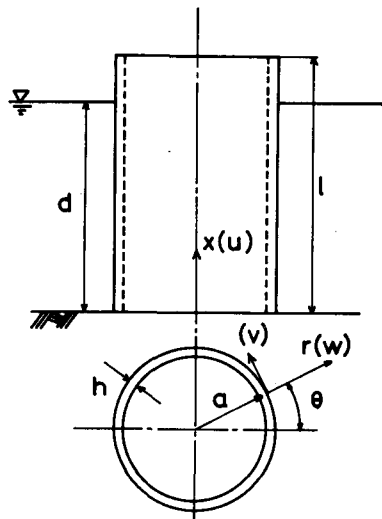


図-1 固定式円筒シェル

$$\frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 P}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = 0 \quad (3)$$

となる。円筒シェルの固定端と自由表面での境界条件、流体とシェルの $\theta=0$, $r=a$ における変位の連続性を用いて、上式を解くと

$$P^*(x) = - \int_0^{2\pi} P(x, \theta) a \cos n\theta d\theta \quad (4-1)$$

$$P(x, \theta) = -4\rho_w \omega^2 \sum_s \frac{K_n(ds a) \sum_c C_{mni} \int_0^d f_i(x) \cos ds x dx}{\lambda_s [K_{n+1}(ds a) + K_{n-1}(ds a)]} \times \cos ds x \cdot \cos n\theta \quad (4-2)$$

となる。ここで $P^*(x)$ はシェルの単位長さあたりに作用する合動水圧、 ρ_w は流体の質量密度、 K_n は第2種修正ベッセル関数、また、 $\lambda_s = (2s-1)\pi/2$, $ds = \lambda_s a$ である。

波による円筒シェルの動的応答は、自由振動時のモード形を利用して得られる。外力として波力を考えれば、

$$\int_0^d \sum_c P(x) C_{mni} f_i(x) dx \quad (5)$$

である。ここに、波力 $P(x)$ は MaCamy, Fuchs の解を用いており、上式を Lagrange 方程式に代入し、直接積分法によって、応答解析を行なうことができる。

3. 模型実験 使用した模型材料は塩化ビニル製で、これの一端を固定し、他端には小型加速度計を取り付けた。空気中と水深をいろいろ変化させ、空気中と水中とで自由振動実験を行ない、得られた実験値から固有振動数と減衰定数を求めた。

4. 結果と考察 本解析法の精度を検討するため、Vronay と Smith による厳密解との比較を行なったが、い5個のモードで誤差は2%程度であった。図-2は水深の変化に伴う固有振動数の変化を示すもので、解析値と実験値はよく一致しており、水深が深くなるほど振動数は減少し、 $d/a = 1.0$ で約1/2になっている。 $d/a = 0.5$ 以上より、減少率は増大しており、これは頂部に近いほど振動振幅が大きいことが原因であろう。図-3は水深の変化に伴う減衰定数の変化を示すもので、減衰定数は振動数に比べ、水深の影響は比較的小さいことがわかる。図-4は波力による最大応答変位を示している。

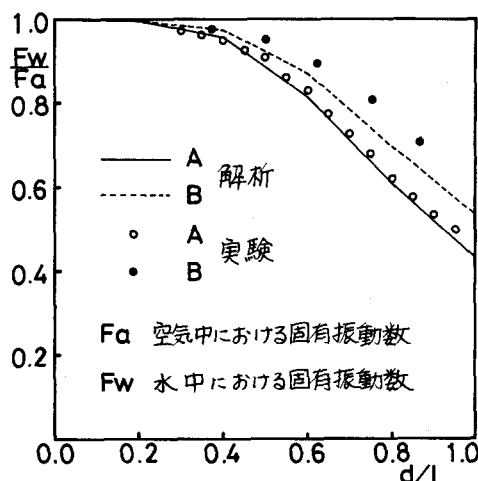


図-2 水深の変化に伴う固有振動数の変化

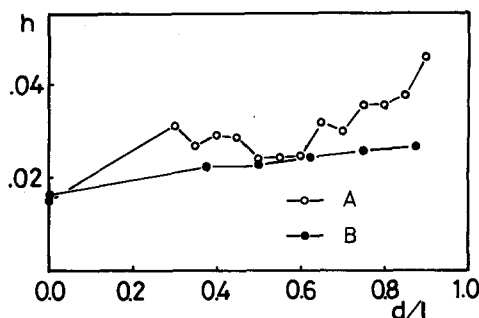


図-3 水深の変化に伴う減衰定数(h)の変化

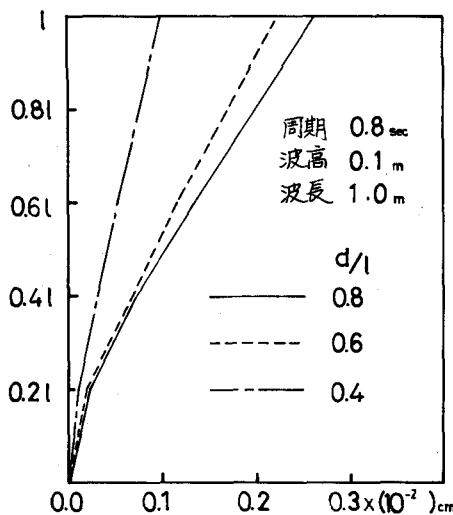


図-4 水深の変化による最大応答変位(Aタイプ)