II—22　　海洋構造物に働く地震力について

名古屋工業大学　正員　喜岡　渉

1．はじめに　　海洋構造物の巨大化に伴い，構造物の地震応答によって生ずる流体力を十分な精度で推定することは実用上重要である。本研究は任意形状の三次元的構造物が地震時に剛体振動を行うものとしてグリーン関数法による解析手法を検討するもので，没水円柱に働く付加慣性力について計算結果を実験値と比較することにより理論解の妥当性を調べた。

2．解析手法　　図-1に示すように座標をとる。地震により構造物が6自由度の高周期運動を行い，それによる水粒子の運動は小さいと仮定すれば，流体力は次式で表わされるポテンシャル流れの線型境界値問題を解くことにより求められる。

$$\nabla^2 \Phi_m = 0 \qquad (-h \le y \le 0) \quad \text{———(1)}$$

$$\Phi_m = 0 \qquad (y = 0) \quad \text{———(2)}$$

$$\partial \Phi_m / \partial y = 0 \qquad (y = -h) \quad \text{———(3)}$$

$$\partial \Phi_m / \partial n = n_m \qquad (S\text{上で}) \quad \text{———(4)}$$

ここで，$\Phi_1$，$\Phi_2$，$\Phi_3$は$x$，$y$，$z$方向の，$\Phi_4$，$\Phi_5$，$\Phi_6$は$x$軸，$y$軸，$z$軸まわりの単位振幅強制振動による速度ポテンシャルである。また，構造物の没水表面$S$での外向法線ベクトルを$\vec{n}$，位置ベクトルを$\vec{r}$とすれば$n_m$は次式で与えられる。

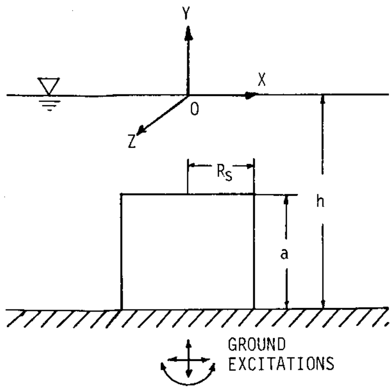



図-1 座標系

$$(n_1, n_2, n_3) = \vec{n}, \qquad (n_4, n_5, n_6) = \vec{n} \times \vec{r} \quad \text{———(5)}$$

条件式(1)～(3)を満足する単位sourceによる速度ポテンシャルであるグリーン関数は$S$境界上の点を$(\xi, \eta, \zeta)$として，自由表面と底面境界に関して連続したimage sourceとして与えられる。

$$G(x, y, z; \xi, \eta, \zeta) = 1/r - 1/r_1 + 1/r_2 - 1/r_3 + 1/r_4 - 1/r_5 + \cdots \quad \text{———(6)}$$

ただし，
$$\left.\begin{aligned} & r = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2}, \quad R = \sqrt{(x-\xi)^2 + (z-\zeta)^2} \\ & r_1 = \sqrt{R^2 + (y+\eta)^2}, \quad r_2 = \sqrt{R^2 + (y+2h+\eta)^2}, \quad r_3 = \sqrt{R^2 + (y-2h-\eta)^2} \\ & r_4 = \sqrt{R^2 + (y-2h+\eta)^2}, \quad r_5 = \sqrt{R^2 + (y+2h-\eta)^2} \end{aligned}\right\} \text{———(7)}$$

求めるべき$\Phi_m$，$m = 1, 2, 3 \cdots 6$は$S$上に強度$\sigma(\xi, \eta, \zeta)$のsourceを分布させることにより

$$\Phi_m(x, y, z) = \iint_S \sigma(\xi, \eta, \zeta)\, G(x, y, z; \xi, \eta, \zeta)\, dS \quad \text{———(8)}$$

として表わされ，式(4)に代入することにより境界値問題は次の積分方程式に帰着させて解くことができる。

$$-2\pi \sigma(x, y, z) + \iint_S \sigma(\xi, \eta, \zeta) \frac{\partial G}{\partial n}(x, y, z; \xi, \eta, \zeta)\, dS = n_m \quad \text{———(9)}$$

上式の解析解を得ることは一般的には困難であり，数値解析を行う必要がある。ここでは，構造物表面$S$を三角要素で分割し，sourceを$S$の内側に縮めた仮想境界上に滑らかな強度関数により分布させることにより積分方程式を離散化して数値解を求める。一旦，速度ポテンシャルが計算されれば，

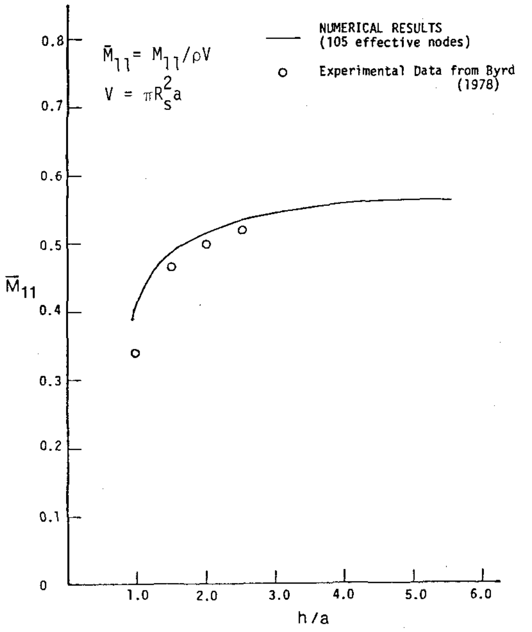
モードの振動によるi方向の付加質量係数$M_{ij}$は流体密度を$\rho$として

$$M_{ij} = \rho \iint_S \phi_j n_i \, dS, \quad i, j = 1, 2, 3 \cdots 6 \qquad (10)$$

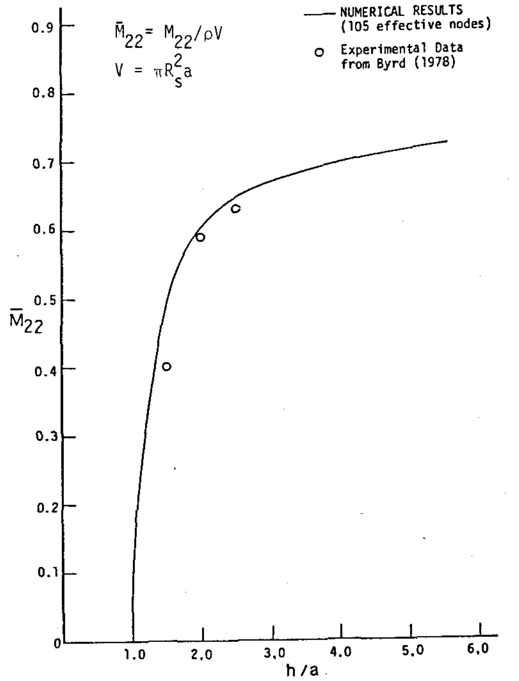
より算定される。

3. 計算結果および考察　図－1に示す没水円柱を224要素に分割し，上述の解析法により水平，鉛直振動の付加質量係数および付加慣性モーメント係数を求めた。無次元表示した各係数の計算結果をByrd[1)]による実験値とともに図－2に示す。図から明らかなように浅水域($h/a \leq 1.5$)を除いて計算値は実験値と比べてわずかに安全値側に得られる。円柱上面が水面に近い場合，特に上下振動による流体力においては造波減衰力が無視できなくなり，自由表面の境界条件を周波数に独立した形で与えた本解析法では十分な精度が期待できない。一方，周期性を考慮したグリーン関数を用いる場合，高周波数領域においては分割要素を無限に小さく取らなければならない困難さを伴う。今後はこうした問題点を解決するために，造波効果をも考慮した解析手法を検討する必要があると思われる。

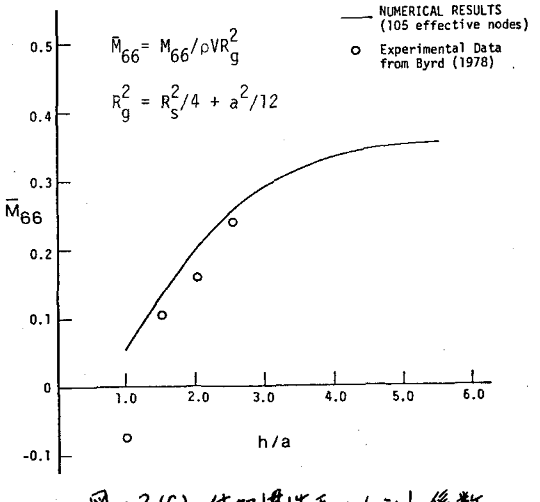
参考文献　1) Byrd, R. C. (1978): *Laboratory study of the fluid-structure interaction of submerged tanks and caissons in earthquakes*, Univ. of Calif., Berkeley, Rep. No. EERC 78-8.




図－2(a) 水平方向の付加質量係数




図－2(b) 鉛直方向の付加質量係数




図－2(C) 付加慣性モーメント係数