

II-6 海・潮流発電用潜水体に作用する波力特性

室蘭工業大学 学生員 平田佳嗣

室蘭工業大学 正会員 近藤 俊郎

室蘭工業大学 Antonio MENDES

【1】はじめに

我国のエネルギー供給はオイルショック以来の省エネルギー政策により次第に脱石油型体制に整備が進められつつある。島国の我国にとって有望な海洋エネルギー利用についてもその代替エネルギーとしての利用の可能性が検討されている。その中には波浪、潮位差、海・潮流などを利用したものが挙げられるが、中でも特に海・潮流エネルギーの利用に関する研究は依然として基礎的段階である。このもっとも大きな理由はエネルギー密度が極めて小さいこと、構造物形状の特殊性、係留または据付の耐久性などが主たる問題点とされており、特にその発電様式として考えられる潜車型に関しては一般的な浮体と比較するとその研究はほとんどなされていない。そこでこのような物体に作用する流体力を調べることは構造物の耐久性や動揺などを知る手がかりになると考えられ、本論文では基礎的研究として矩形型の潜水構造物を使用し、物体に作用する波力を数値計算によって求め、あわせて下記に示すような中空型（対称型と非対称型）の三種類の模型を用いて実験を行なうものとした。

【2】実験

実験に用いた物体模型は長さ0.7m、幅0.35m、高さ0.1mの矩形物体で材質はアクリル性、また、水漏れを考慮して内部に発泡スチロールを充填した。さらにこれに加えて図-1に示すような内部形状の異なる対称型と非対称型の二つの中空型模型を使用した。これらは内部を自由に水が移動できるものであり、これらの模型によって水平力への影響をしらべてみることにした。また、模型寸法や実験条件等はフルード相似則に従う縮尺1/50を想定した。

実験は模型に対する波長の比 B/L を0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2と変化させて行い、それぞれの状態で波高を3 cm, 6 cmの二つの条件で、また静水時における水深 $h=40$ cm、物体深さ $d=15$ cmを一定にしてそれぞれの模型について各係留部にかかる鉛直力と物体にかかる水平力を測定した。測定方法は、二次元造波水路に四点固定を施した図-2のような装置ならびに模型を設置し、係留部のL型円柱の鉛直部分と水平部分にそれぞれ二箇所ずつ動歪ゲージを取り付け、鉛直力を水平円柱部で、水平力を鉛直円柱部においてそれぞれの流体力を測定した。この方法は、具体的には二箇所のゲージ位置における円柱歪の

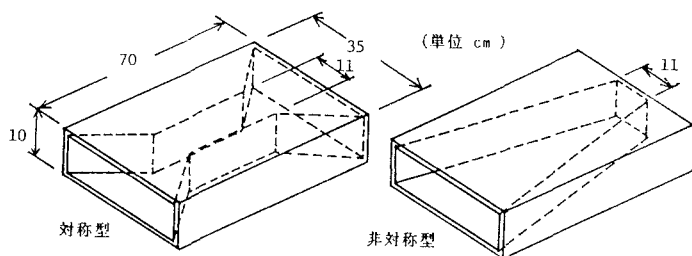


图-1 中空型模型

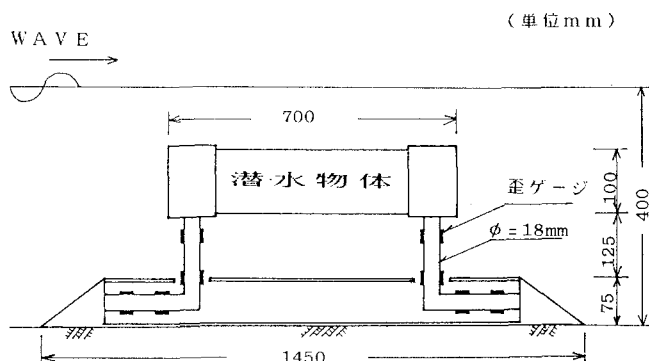


図-2 四点固定された潜水物体

差を電圧差として出力させるものであるが、このとき水平円柱部には水平力によってもまたモーメントがかかりこの影響を完全に防ぐことができなかったため、その点の考慮は検定の際に綿密に行なうことにした。

【3】数値解析

流体を非圧縮・非粘性の完全流体として考え、図-3に示すような流体中に固定された潜水物体にかかる波力を境界条件を用いて数値計算により求めた。条件は実験の時と同様に水深 h と物体深さ d を一定にし、座標軸は静水面に座標原点 O 、水平及び鉛直方向にそれぞれ x 軸、 z 軸をとった。ただしこの計算に関しては、潜水物体にかかる流体力のみを考え、円柱部分にかかる水平波力は微小とみなし無視するものとした。

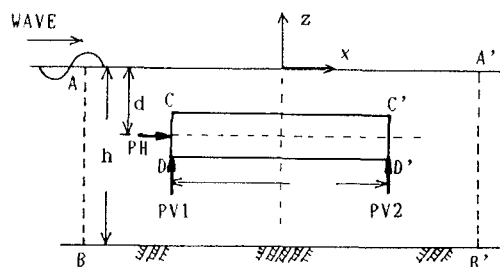


図-3 波動場における境界域

《1》基本方程式

流体の速度ポテンシャル $\phi(x, z, t)$ は次のラプラスの方程式を満足する。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \text{-----} \quad (1)$$

さらに

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad w = \frac{\partial \phi}{\partial z}, \quad \frac{p}{\rho} = -\frac{\partial \phi}{\partial t} - gz \quad \text{-----} \quad (2)$$

ここで u, v は水平・鉛直方向の流速成分。 p は流体圧力。

《2》境界条件

1) 自由表面における条件

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{-----} \quad (3)$$

2) 水底における条件

$$\phi_{,z} = 0 \quad \text{-----} \quad (4)$$

$\phi_{,z}$; 法線方向微分

ν ; 法線方向ベクトル

3) 物体表面における条件

$$\phi_{,n} = 0 \quad \text{-----} \quad (5)$$

《3》波動場における境界要素法の適用

図-3において $ABB'A'$ は波動場、 $CDC'D'$ は物体表面である。また AA' は自由表面、 AB および $A'B'$ は法線流速が与えられる境界、 BB' は水底に対応している。いま、それぞれにおける速度ポテンシャルを与え、法線流速を速度ポテンシャルの微分値とし、 $AA', AB, BB', B'A', CDC'D'$ の境界線を N 個の要素に分割して各要素の中点を (x_j, z_j) とすると i 番目の要素に対して以下のような Green の式を満足する。

$$\phi(i) = \sum_{j=1}^N G_{ij} \phi_{,n}(j) - \sum_{j=1}^N H_{ij} \phi(j) \quad \text{-----} \quad (6)$$

ここで

$$H_{ij} = \frac{1}{\pi} \int_{\Delta S_j} \frac{\partial \log R}{\partial \nu} ds, \quad G_{ij} = \frac{1}{\pi} \int_{\Delta S_j} \log R ds$$

R は (x_i, z_i) と (x_j, z_j) との距離。 ΔS_j は要素長さである。

(6) 式に速度ポテンシャルの各法線方向微分値を与え、 ϕ をU、 ϕ_{ν} をQ、 H_{ij} をH、 G_{ij} をGとしてマトリクス表示すると、

$$[H] \{U\} = [G] \{Q\} \tag{7}$$

上式中の未知のUおよびQを左辺へ、既知のUまたはHを右辺へ移項して次のマトリクスを得る。

$$[A] \{X\} = [B] \tag{8}$$

ここでAは全体マトリクス、Xは未知項、Bは既知項であり、上式をGaussの消去法を用いて解くとすべての境界での ϕ および ϕ_{ν} が得られる。以上により、物体の周りのポテンシャル ϕ を求め、流体力を算出する。

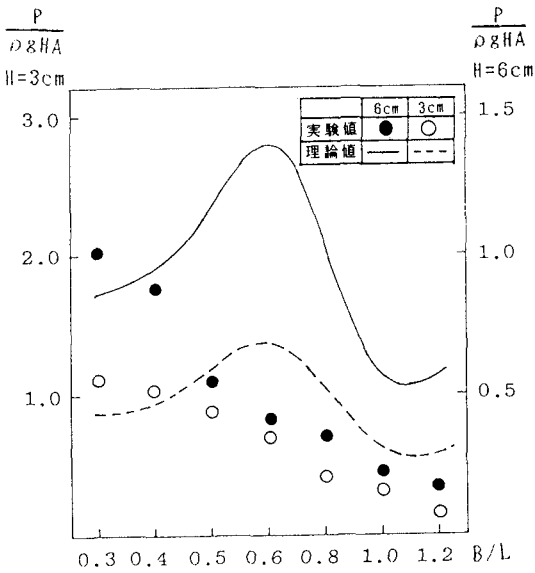


図-4 矩形型模型に作用する鉛直波力P v 1

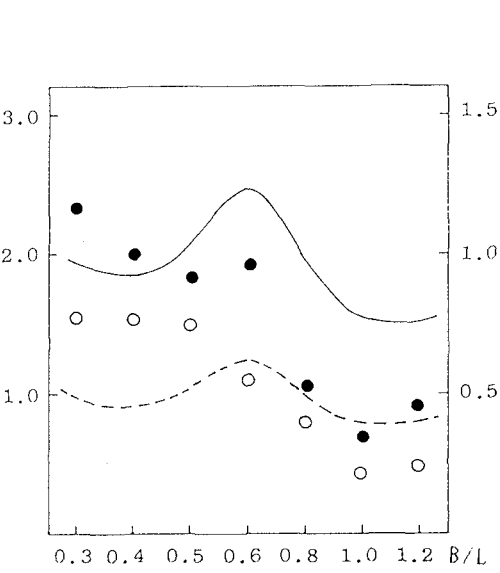


図-5 矩形型模型に作用する鉛直波力P v 2

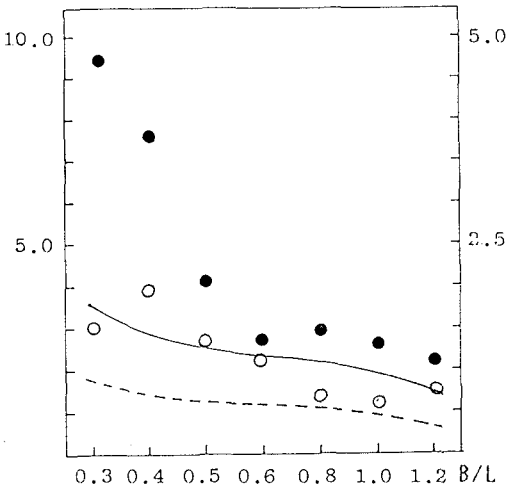


図-6 矩形型模型に作用する水平波力

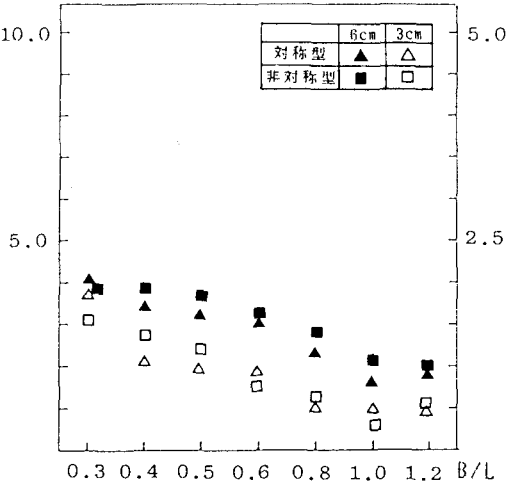


図-7 中空型模型に作用する水平波力

【4】結果および考察

図-4と図-5が矩形型の各係留部分にかかる鉛直力、図-6が矩形型にかかる水平力、図-7が中空型（対称型と非対称型）のそれぞれにかかる水平力（実験値のみ）を示している。値はそれぞれにかかる力の最大値を示している。

実験によって得られた結果を見てみると、波高3 cm、6 cmのときの B/L の変化による係留力の変化は、鉛直力（図-3に示した P_v1 、 P_v2 ともに）の場合図-4、5より B/L の増加にともなって値は全体的に減少する傾向にある。しかし P_v2 の場合 B/L が1.0以上になると値は増加する傾向が見られ、このあたりは後ほど述べる理論値の算出結果によく似ている。また、水平力については図-6、7より B/L が小さいほど物体形状による差が現われているようで、 $B/L=0.3\sim0.5$ 以外では模型の違いによる顕著な差はさほど見られず、特に対称型と非対称型は全体的に特性はよく似ている。参考までに、著者らは以前に中空型の二つの模型の内部形状の違いによる抵抗損失への影響を調べたが、この結果は両者ほとんど差はなかった。また、波高6 cmでの矩形型の水平力（図-6）から推測されることだが、本実験では波高6 cmのとき B/L の条件によって物体表面に砕波がおり、この場合実験値としての信頼性は低いであろうことを付記しておく。

数値解析においては、物体に作用する外力を強制力として与えており、強制振動と同様の方法を用いて係留力を算出している。通常の強制振動問題では、その振動は強制力の変動周期に支配されるため、数値解析によって得られた結果は、物体の固有周期より物体長と波長との関係によって係留力は影響を受けるものと考えられる。そこで、実際に行なった数値計算による算出結果を見てみると、図-4、5において、とくに鉛直力の場合物体の長さが半波長よりやや大きい B/L が0.6付近で最大となり、物体の長さが一波長となる B/L が1.0付近最小となっている。そのため物体長と波長の関係は鉛直力に対して支配力が大きいことが見いだされた。そこで、この計算結果と実験値とを比較してみる。必ずしも正確な算出結果であるとはいえないが、しかし B/L が大きいときこれら流体力の傾向が大まかではあるが計算によって把握できることがわかる。なお、今回の数値計算では、入射波の速度ポテンシャルのみを考えており、上述のように波が砕波する場合もあるので、散乱波などのすべての速度ポテンシャルを考慮するのが望ましい。よって今後の課題となるであろう。

【5】結び

今回は、二次元に固定された潜水体に作用する波力特性を主眼においた基礎的な研究を行なったが、しかし元段階では明白な理論を決定づけるには及ばず、今後さらにこれを追求し、実用上波の進行方向への順応が可能な三次元問題へと発展させていく予定である。

終わりに、61年度に共同研究された前大学院生松岡功氏（現神奈川県庁）と前学生野村勝利氏（現岩田建設（株））の労に感謝し、また本学4年目玉手聡君の惜しめない協力を深く謝意を表します。

《参考文献》

- 1) 井島・周；『グリーン公式による二次元水面波の境界値問題の解析』 土木学会論文集，252，1976
- 2) 井島・吉田・山本；『任意断面浮体の二次元係留運動と波の変形』 土木学会論文集，272，1978
- 3) 吉原・上原；『海中係留球に作用する規則波波力』 第25回海岸工学講演会論文集，1978
- 4) 近藤・松岡；『一点係留された水中物体の波による運動について』 北海道支部論文報告集 43号，1982
- 5) 近藤・松岡・平田；『一点係留された海・潮流発電用潜水体の水理特性』 土木学会第41回年次学術講演会講演概要集(Ⅱ)，1982