

徳島大学工学部 正 員 〇三島豊秋 神戸市役所 正 員 金山和義
 徳島大学工学部 正 員 中野 晋 徳島大学工学部 正 員 三井 宏

1. 緒 言 近年景観を妨げない波浪制御構造物の一つとして、水産協調型の特色を併せ持つゴムフラップ型波浪制御構造物が提案されている⁽¹⁾。しかしながら、開発段階にあるそれによる消波効果に関しては不明な点も多く残されている。特に、ゴムフラップ型波浪制御構造物の消波特性に大きく関与する揺動するゴムフラップの抗力係数を算定することがまず必要とされる。本研究では、Kobayashiら(1991)⁽²⁾の人工海藻上での波高減衰の理論を拡張し、ゴムフラップのヤング率および粘性係数の効果を取り込んだゴムフラップ型波浪制御構造物上での波高減衰の理論を展開する。ついで、その理論を用いて水槽実験によって測定されたゴムフラップ群上での波高の減衰係数からゴムフラップの抗力係数の算定を行う。

2. 波高減衰の理論 ゴムフラップ群上を伝播する波には微小振幅波を仮定し、ゴムフラップの運動方程式における重力項は無視する。Kobayashiらと同様にゴムフラップ群内の下層とその上の天端から水面までを上層とする二層に分けて扱うと、各層における波動およびゴムフラップの運動の基礎方程式は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \nabla \mathbf{u}_1 &= 0, \quad \mathbf{u}_{1t} = -\nabla p_1 / \rho; \quad 0 > z > -h \\ \nabla \mathbf{u}_2 &= 0, \quad \mathbf{u}_{2t} = -\nabla p_2 / \rho - \varepsilon(u_2 - \xi_t) \mathbf{k} - C_M N(u_{2t} - \xi_{tt}) \mathbf{k}; \quad -h > z > -(h+d) \\ \sigma a \xi_{tt} + C \xi_t + EI \xi_{zzz} &= \rho a \varepsilon(u_2 - \xi_t) N + \rho a C_M(u_{2t} - \xi_{tt}) - a p_{2x}; \quad -h > z > -(h+d) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 d および h はゴムフラップの長さおよび天端上水深、 $\mathbf{u}_1$ および $\mathbf{u}_2$ は上層および下層の流速ベクトル、 p_1 および p_2 は上層および下層の圧力、 ξ はゴムフラップの水平変位、 σ および ρ はゴムフラップおよび流体の密度、 a および I はゴムフラップの断面積および断面二次モーメント、 C 、 E および C_M はゴムフラップの粘性係数、ヤング率および仮想質量力係数、 N は単位面積当たりのゴムフラップと流体の面積比、 $\mathbf{k}$ は z 軸方向の単位ベクトル、添え字の $()_t$ 、 $()_x$ および $()_z$ は t 、 x および z による微分を表す。また、 ε はゴムフラップの抗力係数に当たる係数であり、

$$\varepsilon = \frac{bN}{2a} C_D \frac{\int_{-(h+d)}^{-h} |u_2 - \xi_t| (u_2 - \xi_t)^2 dz}{\int_{-(h+d)}^{-h} (u_2 - \xi_t)^2 dz} \quad (2)$$

で定義される。ここに、 b はゴムフラップの幅、 C_D は抗力係数である。

式(1)は、Kobayashiらの基礎方程式とは異なり、流体の運動方程式に抗力項だけでなく仮想質量力項も含んでいる。流体中での柱の振動を扱う場合、通常は抗力項のみを考慮する。しかしながら、流体とゴムフラップ群の運動が同程度のオーダーであり、その間での運動量およびエネルギーの保存を考慮するとき、仮想質量力項も流体の運動方程式に加える必要があると考えられる。式(1)は解析的に解くことができ、そのとき分散関係式も導かれる。詳細は省略するが、分散関係式は次式のように導かれる。

$$\sum_{j=1}^3 \left[\left(1 + \frac{\varepsilon}{\omega} i + C_M N \left(\frac{EI}{\rho a \omega^2} \kappa_j^4 k^4 - \frac{\sigma}{\rho} - \frac{C}{\rho a \omega} i \right) - \frac{\varepsilon}{\omega} i - C_M N \right) \kappa_j (C_{sj} \cosh \kappa_j k d - C c_j \sinh \kappa_j k d) \right] = 0 \quad (3)$$

ここに、 ω および k は角周波数および角波数、 i は $(-1)^{1/2}$ 、また、 κ_j 、 C_{sj} および $C c_j$ はヤング率等によって定まる定数であり、ここではこれらの詳細は省略する。

3. 実験の概要 波高減衰の実験には全長約25m、幅約1.0mおよび高さ約1.0mの水槽を使用した。実験用のゴムフラップ型波浪制御構造物の模型には、長さ約25cm、幅約5cmおよび厚さ約0.8cmの形状のゴムフラップ175枚を縦250cmおよび横100cmのベニア板にそれぞれ10cm間隔で7行25列に敷設したものをを用いた。図-1に模型を設置したときの波高の測定位置を示す。なお、使用したゴムフラップの材料特性はヤング率 2.0×10^6

(kgf / m²)および粘性係数0.18 (kgfs / m²)である。

4. 抗力係数の算定 図-2に実験によって測定された波高から求められた減衰係数 k_f/L を示す。図中の T および H は入射波の周期および波高である。データはかなりばらついているが、周期が長くなるほど、また波高が小さなほど減衰係数は大きくなる傾向にある。

図-3に図-2の減衰係数と式(3)を用いて計算された ε/ω の値を示す。図中には比較のためKobayashiらの波高減衰の理論に対応する方法で算定された値も示されている。また、図中のReynolds数は理論から導かれるゴムフラップの天端上の水平流速振幅とゴムフラップの幅を用いて定義されている。今回行った実験では式(3)より導かれる ε/ω の値はReynolds数に関係なくほぼ1近傍の値になっている。図-4は式(2)を用いて求められた抗力係数のReynolds数に対する変化を示したものである。両者ともReynolds数の増加に伴い減少する傾向にあるが、式(2)および(3)より求められる抗力係数は1桁大きな値となっており、また値のばらつきも大きい。

データ数が少ないため確かなことは言えないが、図-3および4の結果を見る限り式(3)を用いるときには抗力係数 C_D ではなく ε/ω に基づいて抗力を評価したほうが有益であるように思われる。

5. 結 語 ここで展開されたゴムフラップ

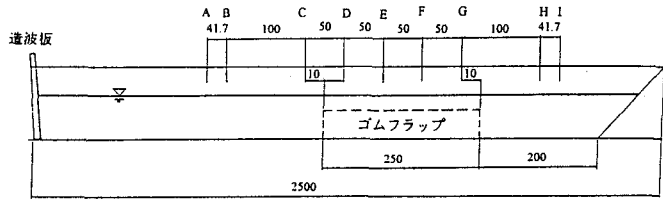


図-1 実験水槽

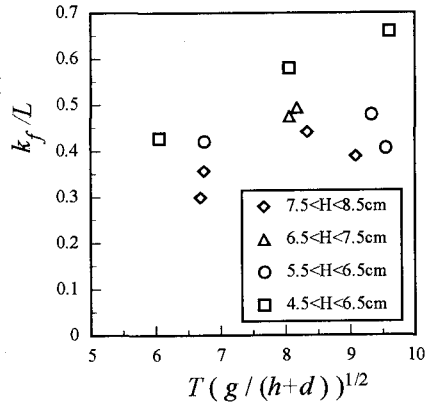


図-2 減衰係数

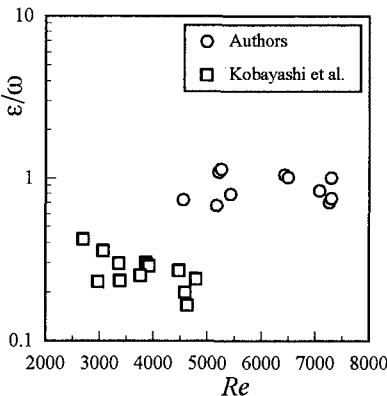


図-3 ε/ω の Re に対する変化

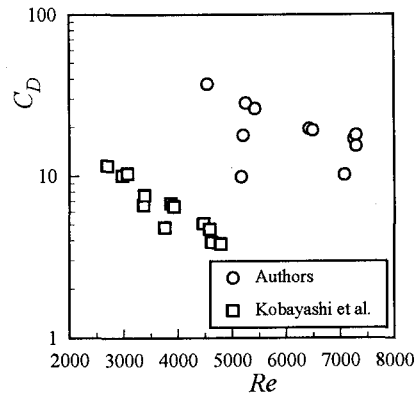


図-4 C_D の Re に対する変化

群上での波高減衰の理論は、Kobayashiらの波高減衰の理論に比べると解の安定性も悪く扱い難い面もある。しかしながら、ゴムフラップの粘性係数およびヤング率の影響が流体とゴムフラップのエネルギー収支に矛盾なく考慮できる点では優れており、今後この点に関して検討する予定である。

本研究は運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所の「波エネルギー吸収型フラップボード工法の開発」の調査の一部として実施したものであり、お世話になった関係者の方々に謝意を表する。

参考文献 (1) 小島朗史・西村宜信・宇戸寿一(1993): 波エネルギー吸収型波浪制御構造物(フラップボード)の開発について, 海洋開発論文集, Vol.9.

(2) Kobayashi N., A.W. Raichle and T. Asano (1991): Prediction of wave attenuation by vegetation and seaweed, Research Report of Center for Applied Coastal Research, Dept. of Civil Engg., Univ. of Delaware, No.CACR-91-07, pp.175-213.