

人工海藻による波高減衰に関する研究

京都大学工学部 正 浅野敏之 ○学 筒井勝治 学 服部明彦 正 酒井哲郎

1. はじめに 近年、市民が海に親しむ場として海浜の持つ役割が重視され、海岸環境の保全や親水性海浜の整備・要請が強まりつつある。こうした要請に応える海岸保全工法の一つとして、人工海藻を海底に敷設して波浪の変形をもたらす、砂移動を制御する工法が開発・調査されようとしている。しかしながら、人工海藻の上を伝播する波の変形や水粒子速度場の特性については、現在に至るまでほとんど明らかにされていない。本研究は海藻が繁茂するときの波高減衰の特性について、理論的・実験的に検討したものである。まず海藻の寸法、植生密度等と波高減衰率の関係を記述する理論的なモデルを考察し、次いで実験水槽内に擬似海藻を敷設して、波高減衰の特性を実験的に明らかにした。その結果、人工海藻による養浜工法の実用化に向けての基礎となるいくつかの知見が得られたので、以下に報告する。

2. 海藻による波高減衰の理論 図-1に示すように、海藻群落を有する内部領域と、その上部の外部領域の2層からなる流体場を考える。ここに d は揺動する海藻群の平均の高さである。室田・福原¹⁾の考え方がならない、海藻の揺動が流体運動に及ぼす効果を理論展開の中のいくつかのパラメータに集約し、取り扱いを簡略化する。

内部領域における運動方程式は次式で表わされる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial z} - \frac{1}{2} C_D C_V d_0 |u| |u| \quad \dots (1)$$

ここに、 u :水平方向水粒子速度、 p :圧力、 ρ :流体の密度、 τ :せん断応力、 C_D :海藻群落の1本あたりの抗力係数、 C_V :水平面内における海藻の面密度、 d_0 :海藻の等価直径である。右辺第3項は、海藻への抗力の反作用として生じる流体への付加応力であるが、 u について非線形であるためフーリエ級数の第1項で置き換えて線形化する。

次に、Darymple-Liu²⁾による底泥上の波動の解析にならない、水粒子速度を非回転成分と回転成分に分離する。すなわち、

$$\begin{aligned} u &= \frac{\partial \phi_1}{\partial x} + U_1 & -h < z < 0 \\ u &= \frac{\partial \phi_2}{\partial x} + U_2 + U_3 & -(h+d) < z < -h \end{aligned} \quad \dots (2)$$

ここに、 ϕ_1 、 ϕ_2 はそれぞれ上層、下層の速度ポテンシャル、 U_1 、 U_2 および U_3 はそれぞれ界面及び底面における回転成分流速である。

ϕ_i 、 U_i ($i=1,2$)に対する方程式として、次式が得られる。

$$\nabla^2 \phi_i = 0 \quad (i=1,2) \quad ; \quad -h < z < 0, \quad -(h+d) < z < -h \quad \dots (3)$$

$$\frac{\partial U_1}{\partial t} = \varepsilon_1 \frac{\partial^2 U_1}{\partial z^2} \quad ; \quad -h < z < 0 \quad \dots (4)$$

$$\frac{\partial U_2}{\partial t} = \varepsilon_2 \frac{\partial^2 U_2}{\partial z^2} - D \left(U_2 + \frac{\partial \phi_2}{\partial x} \right) \quad ; \quad -(h+d) < z < -h \quad \dots (5)$$

以下、 ϕ_i 、 U_i ($i=1,2$)は、与えられた境界条件の下で解くことができるが紙面の関係で結果を省略する。

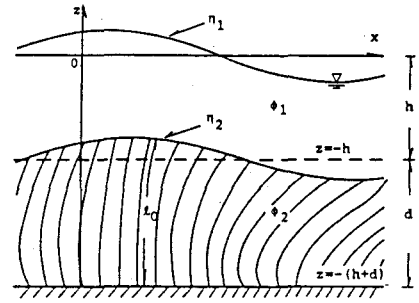


図-1 二層流モデルの模式図

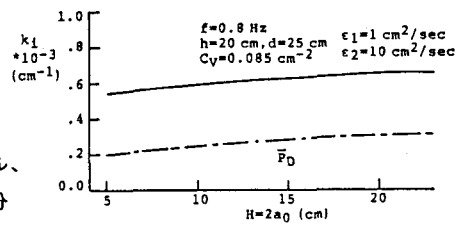


図-2 初期波高 H と波高減衰率 k_1 の関係

(1)式に u を乗じて $z=-(h+d)$ から $z=\eta$ まで積分し、さらに時間平均を行うと、波のエネルギー密度 E に関する次式が得られる。

$$\frac{dE}{dt} = C_g \frac{dE}{dx} = -P_g - P_D \quad \dots (6)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \overline{P_g} = \varepsilon_1 \int_{-h}^{\eta} \overline{\left(\frac{\partial U_1}{\partial z} \right)^2} dz + \varepsilon_2 \int_{-\infty}^{-h} \overline{\left(\frac{\partial U_2}{\partial z} \right)^2} dz \\ + \varepsilon_2 \int_{-(h+d)}^{-h} \overline{\left(\frac{\partial U_3}{\partial z} \right)^2} dz \quad \dots (7) \end{aligned}$$

$$\overline{P_D} = \int_D \int_{-(h+d)}^{-h} \left\{ \frac{\partial \phi}{\partial z} + U_2 + U_3 \right\}^2 dz \quad \dots (8)$$

ϕ_2, U_1, U_2, U_3 の記述式を (7)、(8) 式に代入し計算を行うと、最終的に (6) 式より波高減衰係数 k_i が計算される。

さて、図-1 に示した内部領域の高さ d は海藻の長さ l_0 と次の関係で結ばれる。

$$l_0 = \int_0^d \sqrt{1 + \left(\frac{d\phi}{dz} \right)^2} dz \quad \dots (9)$$

ここに、 δx は海藻の水平方向変位で、浮力が復元力になることを考えると海藻素材の比重の関数となり、また素材の剛性の関数でもある。

3. 波および海藻の諸元と波高減衰率の関係 図-2 は初期波高 H_0 の効果を示したもので、図中一点鎖線は抗力 P_D による波高減衰率への寄与分である。通常、波高減衰率は波高に無関係となるが、ここで取り扱う海藻が繁茂する場では、流速の2乗に比例する抗力項によって波高とともに k_i が増加することがわかる。図-3 は周波数による k_i の変化を調べたものである。

4. 擬似海藻による波高減衰の実験 擬似海藻には比重0.9のポリプロピレン製荷作りロープを用いた。その寸法は長さ25cm、幅5.2cm、厚さ30 μ で、剛性は無視でき浮力が外力に対する復元力となっている。この擬似海藻を一定間隔で金網板にくくりつけ、全長8mにわたって水槽底に設置した。容量式波高計を2mおきに6台設置し、波高、周期、海藻の植生密度、上層の水深を系統的に変えて、波高減衰の様子を測定した。図-4 は、波高 H_0 と k_i の関係を示したもので、図-2 の計算結果と定性的に一致する。図-5 は k_i の変化を波の周波数で整理したものである。 k_i は $f = 0.7 \sim 0.8$ Hz で極大となり、全体的な傾向は図-3 の計算結果と一致するが、実験値は低周波数側での k_i の減少量が大きいようである。この相違は次のような理由によるものと考えられる。海藻の動きを観察すると、高周波数の波の下ではほぼ直立した状態であるが、低周波数の波では揺動が著しい。(9)式より揺動が大きいときには、海藻群の平均的な高さ d は海藻の長さより小さくなることを考慮すれば、図-3 の破線のように周波数に応じて d の値を変えていく必要があろう。また揺動が著しい場合には、海藻に相対的な水粒子速度も小さくなるため、本計算では抗力による減衰を過大評価していることになる。今後、波の作用下での海藻群の揺動特性を解析し、その特性を本モデルの諸定数に組み込んでゆけば、さらに実験値との一致は向上するものと考えられる。

5. むすび 最後に、本研究は運輸省第3港湾建設局の“人工海藻による養浜工開発調査”の研究の一部として実施したものであり、関係者各位に謝意を表する。

参考文献 1) 室田・福原：第28回水理講演会論文集，1984。2) Dalrymple, Liu：J. Phys. Ocean., 1978。

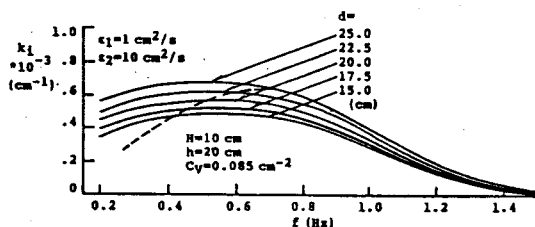


図-3 周波数 f と波高減衰率 k_i の関係

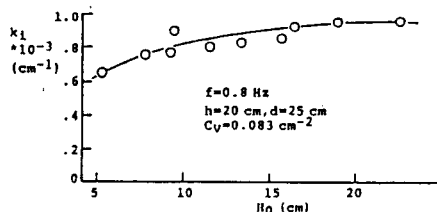


図-4 初期波高 H_0 と波高減衰率 k_i の関係

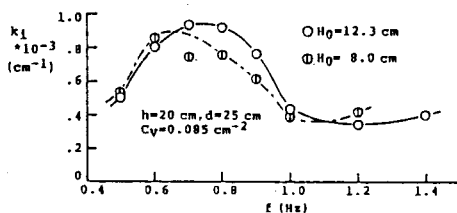


図-5 周波数 f と波高減衰率 k_i の関係