

抽水植生群モデルを伝播する波動の減衰特性

神戸大学大学院 学生員 ○阪西大輔
 神戸大学工学部 正会員 宮本仁志

1. はしがき

湖岸・海岸などに生息する植生群落は、植物による栄養塩・汚濁物質などの除去や、流水・波動の減勢による土砂の堆積・沈降などが行われ、陸・水域間の環境にとって重要なエコトーンを形成している。本報では、後者の植生群落の水理学的効果に着目して、葦など抽水植生群の植生密度がそこを通過する波動の伝播挙動に及ぼす影響について、室内水理実験により検討したので報告する。

2. 水理実験の概要

水理実験に用いた植生群モデルの概要を図-1に示す。実験水路は全長 10m、幅 0.3m であり、水路端から 1m の所に造波装置が置かれている。植生群モデルは長さが 4.0m で水路全幅に設置されており、造波装置から 3m 離れた位置から擬似植生が植えられている。擬似植生はほとんど撓みがない直径 $d = 6\text{mm}$ の木材を用い、できる限り自然状態を模擬するように乱数を用いて植生配置を決めた。座標系は、波が入射するほうの植生群モデル端の水路中央水面を原点とし、波動伝播方向に x 軸を、鉛直上向きに z 軸を、水路奥行き方向に y 軸を設けた。

実験の条件を表-1に示す。擬似植生の植生密度 a (1/cm) は、単位体積あたりの植生の投影面積で定義しており¹⁾、0.007 から 0.033 まで 5 段階に変化させた。これは、単位床面積あたりの植生投影面積にして 1~5% にあたる。水深 h_0 は 15cm で一定とし、入射波の周期 T_0 を 0.63, 1.0, 1.5sec の 3 種類、入射波高 H_0 を 2.2, 1.1cm の 2 種類とした。全実験数は 30 ケースである。

各実験ケースにおいて波の伝播方向の波高変化を求めることにより、植生密度が波高減衰に与える影響について検討した。波高計測にはサーボ式波高計を用い、データのサンプリング周波数は 20Hz とした。計測位置としては、図-1 に示す座標系において、波動伝播方向の $x = -10, 10, 100, 200, 300, 390, 410\text{cm}$ 、水路奥行き方向の $y = -3.0, 0, 3.0\text{cm}$ の各位置であり、計 21 測点となる。ランダムに配置した擬似植生によって生起する、奥行き方向の波高のばらつきを補正するため、 y 軸方向 3 測点における波高の平均値を x 軸方向各位置での波高 H とした。

3. 結果と考察

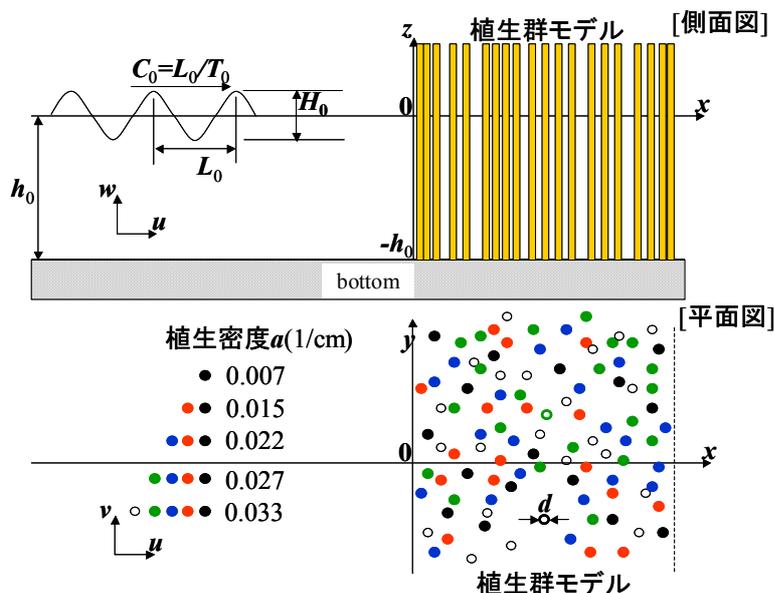


図-1 抽水植生群モデルの概要

表-1 実験条件

| case | 植生条件 | | | 波動条件 | | |
|------|----------|------------|------|------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| | d (cm) | a (1/cm) | ad | h_0 (cm) | T_0 (sec) | H_0 (cm) |
| 1 | 0.6 | 0.007 | 0.04 | 15 | 各case 0.63, 1, 1.5, の3種類 | 各case 1.1, 2.2, の2種類 |
| 2 | | 0.015 | 0.09 | | | |
| 3 | | 0.022 | 0.13 | | | |
| 4 | | 0.027 | 0.16 | | | |
| 5 | | 0.033 | 0.20 | | | |

ここに、 d : 擬似植生の径、 a : 植生密度、 ad : 無次元植生密度、 h_0 : 水深、 T_0 : 波の周期、 H_0 : 入射波高である。

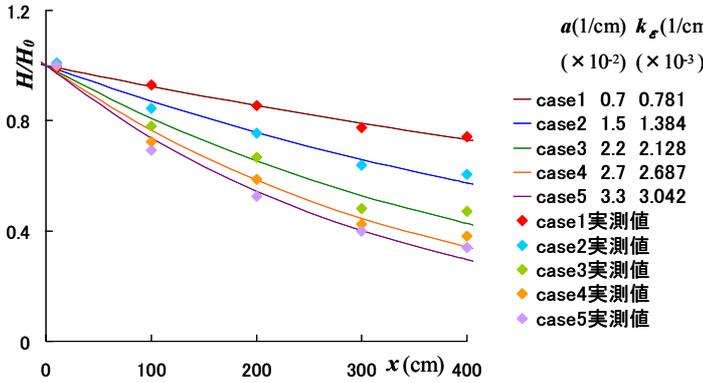


図-2 波動伝播方向の波高分布($T_0=0.63$ sec, $H_0=2.2$ cm)

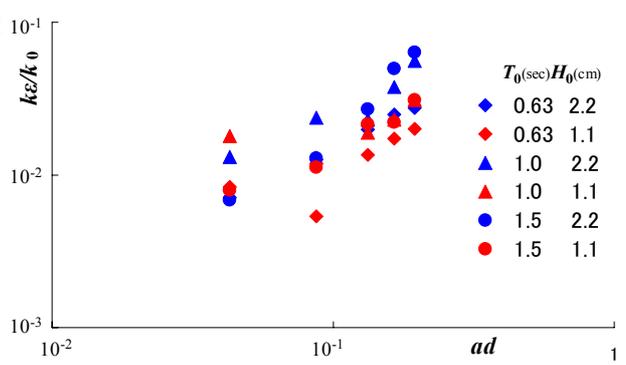


図-3 植生密度と減衰率の関係

まず、計測された波高を用いて植生群モデルを通過する波高の減衰率を評価する。ここでは、波高減衰が式(1)に示す指数関数型で表されると仮定し、計測波高を用いて最小二乗法により減衰率 k_e を算出する。

$$H_{exp} = H_0 \exp[-k_e x] \tag{1}$$

ここで、 H_0 は実験で測定した入射波高である。

波の伝播方向の波高分布を図-2 に示す。図中の各点は波高の実測値を、各線は最小二乗法により求められた式(1)で表される最適曲線を示す。図右に植生密度 a (1/cm) と減衰率 k_e (1/cm) を併記している。これより実測値は式(1)でよく近似されることがわかる。また植生密度 a が増加するほど減衰率 k_e が増加することがわかる。

図-3 は無次元植生密度 ad と無次元減衰率 k_e/k_0 の関係である。ここで、 k_0 は、入射波の波数である。全実験ケースをとおして、植生密度 ad が増加するほど減衰率 k_e/k_0 が大きくなっている。また、周期 T_0 が同じ場合、波高 H_0 が大きいほど減衰率 k_e/k_0 が増加している。

次に、植生群モデルの抗力特性を検討する。モリソン型の植生抗力を考慮した運動量保存式と質量保存式を適当な境界条件のもとに解くと、減衰率 k_e/k_0 が以下のように求められる²⁾。

$$\frac{k_e}{k_0} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ - \left(1 + \overline{C_M} \frac{\pi}{4} (ad) \right) + \sqrt{ \left(1 + \overline{C_M} \frac{\pi}{4} (ad) \right)^2 + \left(\overline{C_D} \frac{\alpha \omega_0}{2\omega} (ad) \left(\frac{H_0}{2d} \right) \right)^2 } \right\}^{1/2} \tag{2}$$

ここに、 $\overline{C_M}$: 質量係数、 $\overline{C_D}$: 抗力係数、 ω : 角周波数(=初期入力波の角周波数 ω_0 、 α : 定数(=1)である。

実験より求めた減衰率 k_e/k_0 と上式(2)を用いて抗力係数 $\overline{C_D}$ を求めた。このとき、本研究では、 $\overline{C_M}$ は一定値(=2.0)とした。図-4 に $\overline{C_D}$ とレイノルズ数 $Re(=U_{0max}d/\nu$ 、ここに、 U_{0max} : 入射波の水平方向最大流速、 ν : 流体の動粘性係数)の関係を示す。これより、本研究の実験範囲においては、 $\overline{C_D}$ の植生密度 ad への明確な依存性はなく、また Re 数が増加すると $\overline{C_D}$ の値は減少することがわかる。

4. まとめ

抽水植生群モデルの植生密度が波動減衰に与える影響を室内水理実験により検討した。その結果、植生密度・波高の増加に伴い波高減衰が増加することがわかった。また、抗力係数はレイノルズ数の増加に伴い減少する傾向となった。今後、植生モデルの径や沈水率を変化させ、流速計測を含めた実験を行う予定である。

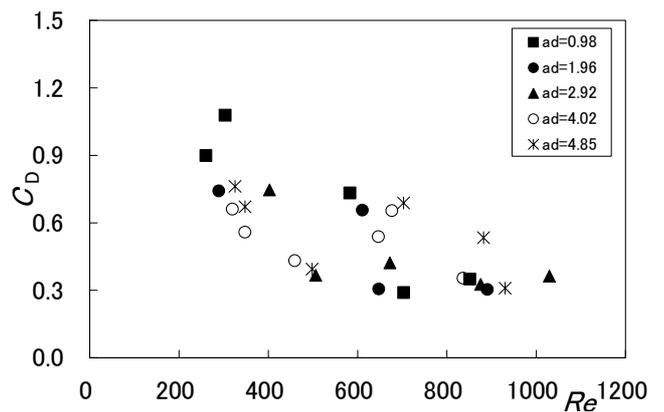


図-4 抗力係数とレイノルズ数の関係

【参考文献】1) H. M. Nepf, Water Resources Research, 35(2), 479-489, 1999. 2) H. Miyamoto, The effects of vegetation density on wave propagation through emergent communities, 2005 (submitted).