

グリーンベルトによる波浪減衰効果に関する実験及び数値解析
Experiments and Numerical Analysis of Wave Attenuation Effects by Green Belt

○岩田奏・平石哲也・張哲維(Che-Wei CHANG)

○So IWATA・Tetsuya HIRAIISHI・Che-Wei CHANG

Concrete seawalls alone are difficult to maintain sustainably safe coasts in a country with limited social capital and a declining population. Therefore, the importance of easy-to-maintain green infrastructures, which are effective for disaster mitigation and climate mitigation, is increasing. A 1/4-scale hydraulic experiment was conducted to measure the wave attenuation effect of a mangrove forest model. From the experimental results, experimental equations for the Reynolds number, drag coefficient C_D , and coefficient of inertia C_M at this scale were obtained. Numerical analysis using the porosity, drag coefficient C_D , and inertia coefficient C_M obtained from the experimental parameters reproduced the wave height transfer coefficient relatively well.

1. はじめに

一般的に建設されるコンクリート製防潮堤は多額の建設費用や生活環境や生態系の改変など課題を抱える。そのため、社会的資本の乏しい国や人口減少が進む我が国ではコンクリート製の防潮堤のみで持続可能な整備をすることが難しい。そこで、減災効果を発揮し、生態系保全による気候緩和や文化機能なども持つ整備のしやすいグリーンインフラの重要性が増してきている。

沿岸域におけるグリーンインフラの代表例としてグリーンベルトがある。特にマングローブ樹木林は熱帯及び亜熱帯地域における主要なグリーンインフラであり、波浪減衰効果、 CO_2 の吸収、生態系の保全、海岸線の安定化などの効果が発揮することが知られている。

グリーンベルトの効果はよく知られているが定量的な評価が十分でない。そこで本研究ではグリーンベルトの代表例として、マングローブ樹木林モデル群を作成し、波の条件を変えて水理実験を実施した。その水理実験によりマングローブ樹木林の波浪減衰効果を算定することを目的とした。また、実務で広く用いられている CADMAS-SURF に対する適用性の検討も行った。

2. 実験概要および波力に関する係数の推定法

マングローブ樹木林の波浪減衰効果の評価を目的として、マングローブ樹木林モデルを水路に設置し、規則波を作用させる実験を実施した。本研究では京都大学防災研究所附属宇治川オープンラボラトリーの多目的造波水路を用いて、ピストン型造波機による造波を行った。実験条件を表 1 に示す。水路の概略を図 1 に、計測機器、模型の設置

状況を図 2 に示す。また、マングローブ模型は沖縄県西表島のヤエヤマヒルギ (*Rhizophora* 種) を 3D スキャンし、1/4 縮尺で 3D プリントしたものである。3D モデルを図 3 に示す。

この模型を幅 1m 長さ 4m の区域に 56 本千鳥状に配置した。マングローブ樹木林模型の中心にあるマングローブ模型に Load Cell を設置し、モーメントを用いてマングローブ模型に作用する波力を求めた。模式図を図 4 に示す。ここで F_{LC} : Load Cell によって計測された力, F_{est} : モーメントによって算定されたマングローブに作用する力, L_1 : 支点からロードセルまでの距離, L_2 : 水路床から支点までの距離, L_3 : 水路床から水中投影図の重心までの距離までの距離である。

本研究では水粒子速度を微小振幅波理論を用いて計算した。波力を計測したマングローブ模型と横方向に同じ位置にある波高計によって計測された水面変動 η を用いて水平方向の水粒子速度 u は式(1)のように表される。

$$u(x, z, t) = \frac{g \cosh k(h+z)}{c \cosh kh} \eta(x, t) \quad (1)$$

マングローブ模型に作用する波力は抗力 F_D と慣性力 F_M の和として式(2)のように Morison ら (1959) が提案した式に基づいて定式化することができる。

$$F_{cal} = F_D + F_M = \frac{1}{2} C_D \rho_w \int_{-h_0}^{\eta} u |u| dA + \rho_w C_M \int_{-h_0}^{\eta} \frac{du}{dt} dV \quad (2)$$

ここで F_{cal} は Morison 式に基づいて推定されたマングローブ模型に作用する波力, C_D は抗力係数, C_M は慣性力係数, ρ_w は水の密度, h_0 は静水深である。 C_D , C_M の 2 変数に対して方程式は式(2)の 1 本

であるため、代数的に完結していない。そのため、別の推定法が必要である。本研究ではマングローブ模型に作用する波力を計測している計測器が Load Cell 一台のみであるため、 C_D 、 C_M が鉛直変化しないものと仮定した。また、時間的にも C_D 、 C_M が変化しない仮定を置いたうえで式(3)に示すような最小二乗法によって C_D 、 C_M の推定を行った。

$$\begin{aligned} \min: \varepsilon^2 &= \sum_{i=1}^{\Delta t} [F_{est}(t_i) - F_{cal}(t_i)]^2 \\ \text{s.t. } \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial C_D} &= 0 \text{ and } \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial C_M} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで Δt は計測機器のサンプリングタイムに合わせて、 $\Delta t = 20ms$ とした。

表 1 目標波浪諸元

水深 h	10.5cm
周期 T	1s, 1.25s, 1.5s
波高 H	2cm, 3cm, 4cm, 5cm, 6cm

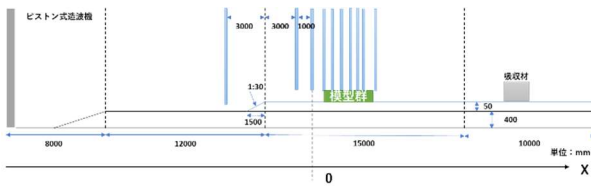


図 1 水路概略図

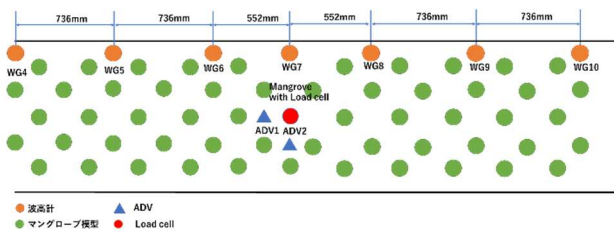


図 2 模型及び計測機器設置状況

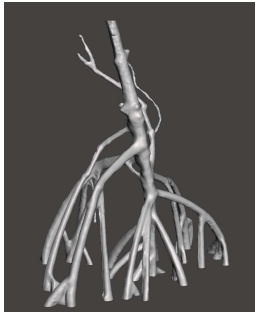


図 3 マングローブ 3D モデル

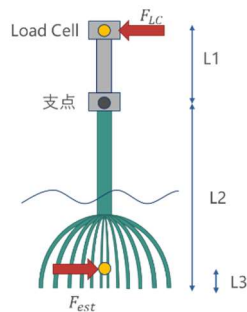


図 4 波力算定概略図

4. 実験結果

抗力係数 C_D は Re 数に大きく影響を受けることが知られている。本研究では Re 数及び代表長さ r_v を式(4)のように定めた。

$$\begin{aligned} Re_{r_v} &= \frac{U_{max} * r_v}{\mu} \\ r_v &= \frac{V_w - V_m}{A_m} \end{aligned} \quad (4)$$

Re 数及び r_v に関する実験結果を図 5 に示す。また、 Re 数及び C_D に関する 1/4 スケールにおける実験式を求めた。これを式(5)に示す。

$$CD = 0.1256 + 3961 * Re_{r_v}^{-0.5774} \quad (5)$$

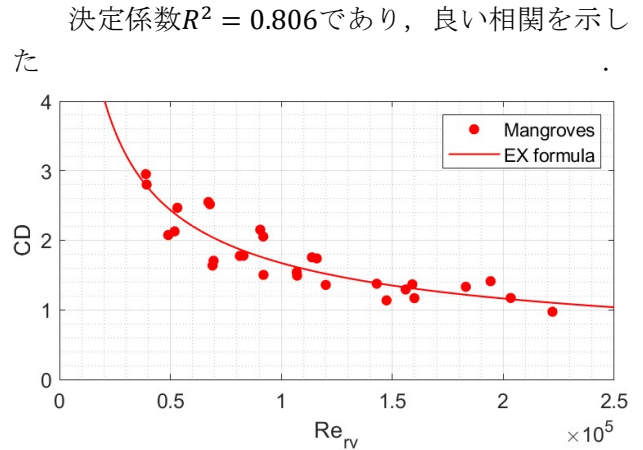


図 5 Re 数及び C_D に関する実験結果

5. CADMAS-SURF による再現計算

CADMAS-SURF を用いて水理模型実験の再現計算を行った。模型を設置した水平床上を再現区域とし、入力波高には水平床上の最も沖側の波高計によって計測された有義波高を与えた。マングローブ樹木林模型の再現として空隙率及び C_D 、 C_M を実験によって得られた結果から与えた。波高伝達率を実験と CADMAS-SURF で比較した結果を図 6 に示す。計算結果と実験結果の差分は 10%程度であり、おおむね良好に再現されていると考えられる。また、全体的に計算結果のほうが過小評価の傾向がみられるが、これは底面や側面の摩擦によるものだと考えられる。

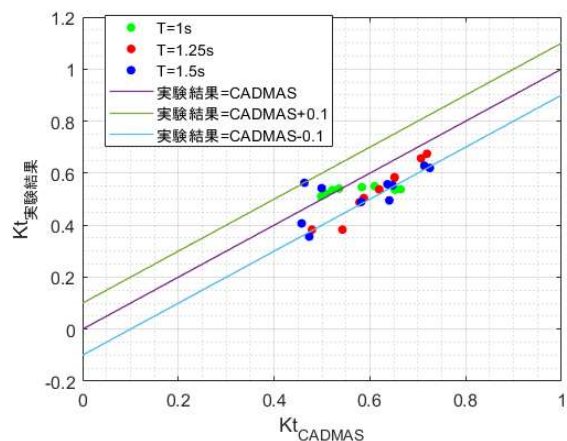


図 6 波高伝達率に関する実験結果と計算結果