B204

マングローブ樹形を考慮した波浪変形モデルの開発
Development of Wave Deformation Model Considering Mangrove Tree Shape

○長谷川裕亮
○Yusuke HASEGAWA

Mangroves are vegetation unique to coastal areas and are expected to attenuate waves. However, the effect has not been quantified because of the complex shapes of prop roots. In this study, parameterization of the projected area of prop roots was conducted based on some systematic field observations. Using the parameterized tree shape, we performed numerical calculations by adding a drag term to the nonlinear shallow water equation that considers non-hydrostatic pressure and calculated the wave attenuation passing through the forest zone. Finally, we derived a theoretical solution for the wave height that considers the tree shape, compared it with the results of numerical calculations, and clarified the relationship between the incident wave conditions and the attenuation rate.

１．はじめに

マングローブをはじめとするグリーンインフラは，生物の生息場の確保や良好な景観の醸成といった，環境保全の上で重要な機能を有しており，これらの機能を社会・環境課題の解決に利用する試みがある．沿岸防災の分野においては，海岸域の植生が，高波や津波等の沿岸災害を低減することが期待されている．

グリーンインフラの機能の1つとなりうるマングローブは，熱帯・亜熱帯地域の海岸域に広く自然分布し，日本では西表島などでみられる．東南アジア，南太平洋・オセアニア地域は世界有数のマングローブ分布圏とされ，これらの地域においては，現地の自然条件に根ざした低コストな防護システムとして，有力なオプションであると考えられる．

マングローブを防護システムとして実際に設計に組み込む際には，波の減衰効果を定量的に扱うことが不可欠であり，樹木の形状に対応した抵抗力の算定が求められる．

本研究では西表島のマングローブの画像解析を行い，個別の形状測定の結果との比較により，これまで困難であった樹形のモデル化を行う．ついで，モデル化されたマングローブ形状に基づいた抗力の算定を行い，波浪変形計算の数値モデルに波浪減衰の効果を導入する．この数値モデルを用いて，マングローブ樹林帯に侵入し通過する波を想定した波浪変形計算を行い，モデルのパフォーマンスについて検証を行う．

２．研究手法

⑴ 樹木の形状抵抗による波浪減衰の評価式

鉛直変化を考慮した減衰効果の定式化と，数値計算への適用について示す．まず，射影面積が鉛直方向に一様な円柱形状に単純化した植生による波のエネルギー散逸ε_vに対して，波力Fと流速uの積を植生の高さ方向に積分して時間平均したDalrymple et al.の次式を用いる．

$$\varepsilon_v = A\,\frac{1}{2\sqrt{\pi}}\rho C_D N\left(\frac{kg}{2\sigma}\right)^3 {H_{rms}}^3 \tag{1}$$

$$A = \frac{\sinh^3 k\alpha h + 3\sinh k\alpha h}{3k\cosh^3 kh}\,b_v \tag{2}$$

次に，一様水深の条件で，円柱状の植生が複数分布して植生帯をなすことを想定する．植生によるエネルギー散逸を考慮した波のエネルギー保存式を解くことにより，植生帯を通過する波の波高変化の理論式が導かれる．

$$\frac{H_{rms}}{H_{rms0}} = \frac{1}{1+\beta x} \tag{3}$$

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\pi}} C_D b_v N H_{rms0}\,\frac{\mathrm{k}(\sinh^3 k\alpha h + 3\sinh k\alpha h)}{3\sinh kh(\sinh 2kh + 2kh)} \tag{4}$$

ここで，x：植生帯始点からの距離，H_{rms0}: 植生帯始点でのH_{rms}である．

⑵ 樹木形状の調査手法

植生による波浪減衰効果の算定の際には，前節の波のエネルギー散逸の計算で用いる，直径b_vの鉛直分布の形状を与える必要がある．本研究では，

Mori et al.が2019年，2020年，2022年にかけて西表島で行ったマングローブ個体の形状測定の結果を用いて，樹冠から下の支柱根部分を対象に，b_vの鉛直分布を画像解析した．

Mori et al.が計測した形状パラメータのうち，本研究で形状のモデル化のために用いたものを，その定義とあわせて**表**-1に示す． DBH，A_{root}，H_{root}，D_1の各パラメータ間の相関関係を求め，代表形状パラメータによる鉛直方向の射影面積の近似式を推定した．

表-1　樹木形状パラメータとその定義

形状パラメータ	定義
DBH	地上高さ1.3mでの幹の直径
A_{root}	支柱根の射影面積
H_{root}	支柱根の最高高さ
D_1	地上高さH_{root}における幹の直径

(3) 形状抵抗を考慮した波浪変形計算の概略

マングローブの形状抵抗を考慮した波浪変形計算を実施するため，現地調査による樹木形状パラメータを用いて，数値モデルXBeachにより，樹林帯を通過する波の時空間変化を計算した．支配方程式は，式(5)の非線形浅水流方程式であり，右辺に植生による形状抵抗力$F_{v,x}$が導入されている．

$$\frac{\partial u^L}{\partial t}+u^L\frac{\partial u^L}{\partial x}+v^L\frac{\partial u^L}{\partial y}-\nu_h\left(\frac{\partial^2 u^L}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u^L}{\partial y^2}\right)=-\frac{{\tau^E}_{bx}}{\rho h}-g\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{F_x}{\rho h}+\frac{F_{v,x}}{\rho h} \quad (5)$$

数値計算では，計算を行う地形条件は2mの一様水深とし，沖合境界より200mから700mの範囲にかけて，1本/m²の密度のマングローブ林の分布を仮定した．

3. 調査結果

(1) 調査結果と樹木形状のモデル化

高さzとD_{total}の間には，およそ線形の関係がみられた．この結果をもとに，地上高さzと合計直径D_{total}を線形で結ぶ経験的樹形モデル式(6)を考案する．

$$D_{total}(z)=\frac{2A_{root}}{H_{root}}-D_1-\frac{2A_{root}-2D_1H_{root}}{{H_{root}}^2}\,z \quad (6)$$

(2) **波浪変形計算の結果と検証**

図-1に，円柱と台形モデルのη_{rms}の空間変化と，各モデルの理論解を，入力有義波高0.1mの場合を例に示す．台形モデルで計算したη_{rms}は，円柱モデルによるものと比較して小さくなった．また，入力有義波高0.1mの場合には，円柱，マングローブモデルの両方で微小振幅波理論による解との良好な一致が確認できる． また，有義波高の増加に伴う減衰率の増加がみられた．

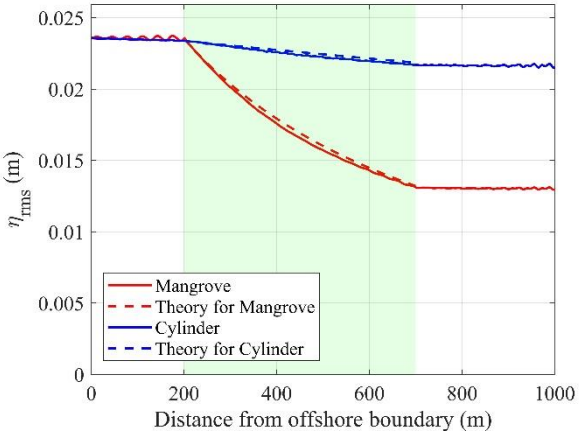

図-1 円柱と台形モデルによる計算結果の比較

4. おわりに

本研究では，マングローブ樹林の形状抵抗による波浪減衰効果を，形状パラメータを用いて定量的に評価した．合計直径の鉛直分布を考慮した減衰計算では，従来の円筒モデルとの差異が明らかとなった．マングローブ樹林帯を通過する波のエネルギーの計算には，樹形の鉛直変化の考慮が不可欠である．また，鉛直変化を考慮して導出した理論解は，入射波高や周期の変化が減衰挙動に与える影響をよく説明した．