

樹木形状を考慮した防潮林の津波減災力の評価

鹿児島大学大学院理工学研究科 学生員 ○藤宮祐介
 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 伊藤 暖
 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 三嶋俊樹
 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 正員 浅野敏之

1. 研究の目的

海岸林による津波波高の減衰は、従来は樹木の幹部による減衰だけを求めてきたが、津波が樹冠部に達した場合には、密度が高く繁茂した枝や葉による流体抵抗によって大きな減衰効果が生じることが予想される。その場合には樹冠部は3次元的多孔性構造物 (Rojanakamthorn ら、1989) として取り扱った方が実現象に則している。本研究では、林学で得られている樹木形態学の知見を応用して、樹冠部を含めた樹木群全体の流体抵抗を合理的に評価したものである。

2. 通水機能で決定される樹木形状の特性

樹木は根で吸収された水分を幹や枝を通じて茎・葉に輸送している。この流れは、水理学的に見れば分岐管路に相当し、枝分かれの前後で連続式を適用し、かつ通水速度は一定とすると次式が得られる。

$$D_1^2 = D_2^2 + D_3^2 \quad (1)$$

上式は、優れた自然観察者でもあったレオナルド・ダビンチによって見いだされていた。現在の林学の研究者によっても枝分かれした前後の樹木断面積が保存されることは、多くの調査結果から支持されている (城田・作田 (2003))。針葉樹 (裸子植物：仮導管) と広葉樹 (被子植物：導管) では導水機構が異なり、また枝の太さは導水機能だけでなくそれ以上の枝葉の重量を支える力学機能によっても支配されるが、これらは断面積保存則を大きく変えるものではない。著者らも鹿児島県吹上浜海岸のマツ林において幹・枝の直径の現地調査を行い、図-1 に示すように(1)式が成立することに対して肯定的な結果を得た。

また、樹冠内部の枝や幹の断面積と、それによっ

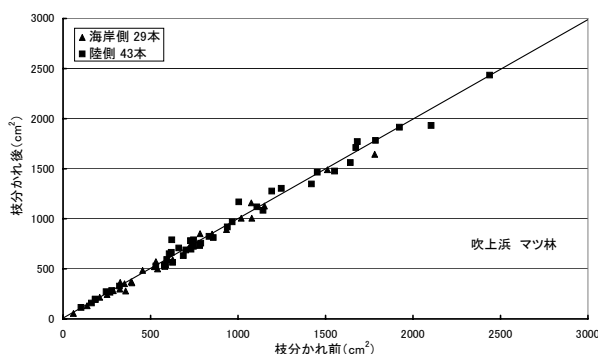


図-1 枝分かれ前後の総断面積の保存の関係

て支えられる葉の重量は比例することがわかっており (鈴木、2003)，こうした樹木の形状学的知見を取り込んで、海岸林による津波減衰能力を評価するモデルを以下のように検討した。

3. 樹冠部を含めた海岸林の津波減衰能力の評価

図-2 に示すように、平均水面にz軸の原点を取り、 $z = -h_1$ までの樹冠部領域を領域①とし、幹枝領域 ($z = -h_1 \sim -h_2$) を領域②とする。各領域に対する運動方程式はベクトル表記すると、

$$\rho \varepsilon_i \frac{D\bar{u}_i}{Dt} = -\nabla(P + \rho g z) - \bar{f}_M - \bar{f}_D \quad (i=1,2) \quad (2)$$

ここに、 ε_i ：空隙率、 $\bar{f}_M$ ：樹木群に作用する慣性力、 $\bar{f}_D$ ：樹木群に作用する抗力である。慣性力 $\bar{f}_M$ は次式で表される。

$$\bar{f}_M = \rho C_M \frac{\pi}{4} (\Sigma D^2 N) \frac{D\bar{u}_i}{Dt} = \rho C_M (1 - \varepsilon_i) \frac{D\bar{u}_i}{Dt} \quad (3)$$

上式の $\Sigma D^2 N$ は、樹木下部では単位面積・単位高さあたりの幹部の投影面積となるが、枝の立体分岐角が十分小さい場合には、ダビンチ則より枝分かれした高さにおいても

$$\Sigma D^2 N = \Sigma D_{br}^2 N \quad (4)$$

となる。ここに ΣD_{br} は任意の高さの枝分かれした枝直径の総和である。一方、抗力 f_D は

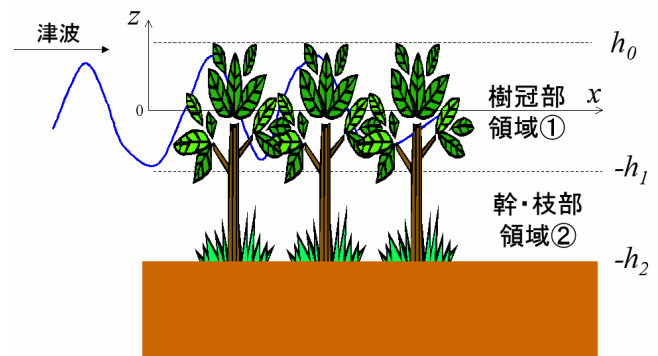


図-2 座標系

$$\vec{f}_D = \frac{1}{2} \rho C_D \vec{u}_2 |\vec{u}_2| N (C_L \Sigma D) \quad (5)$$

ここで、 C_L は幹・枝の投影面積に葉部による付加係数を示し、領域①だけで考慮する（領域②では $C_L = 1.0$ ）。式(5)で表される抗力項を線形抗力係数 f_p を用いて線形化する。

$$\vec{f}_D = f_p \rho \sigma \vec{u}_i \quad (6)$$

ここで、 f_p は次式のように一周期間のエネルギー逸散が等しくなるように決める。

$$f_p = \frac{\frac{1}{2} C_D N C_{L1} \Sigma D \int_0^T \int_V \varepsilon_i |\vec{u}_i|^3 dt dV}{\sigma \int_0^T \int_V \varepsilon_i \vec{u}_i^2 dt dV} \quad (7)$$

式(2)の左辺は式(3)の $\vec{f}_M$ を代入し移項すると次式となる。

$$\rho \{ \varepsilon_i - C_M (1 - \varepsilon_i) \} \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} = \rho C_{ri} \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} \quad (8)$$

$\vec{f}_D$ に式(7)を考慮すると、運動方程式は次式のように変形される。

$$C_{ri} \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \nabla (P + \rho g z) - f_p \sigma \vec{u}_i \quad (9)$$

上式の回転をとると非回転であり、流れは形式的に次式のような速度ポテンシャルで表現できる。

$$C_{ri} \frac{\partial \phi_i}{\partial t} + \frac{1}{\rho} (P + \rho g z) + f_p \sigma \phi_i = 0 \quad (10)$$

水面、領域界面、底面での境界条件を満足するように速度ポテンシャル ϕ の未定係数を決定する。

最終的に、角周波数 σ と波数 k の関係を示す分散方程式は以下の形で得られる。

$$\begin{aligned} & (c_{r1} - if_{p1}) \frac{1}{\varepsilon_1} \frac{\sigma^2 - gk \coth kh_1}{gk - \sigma^2 \coth kh_1} \\ & = (c_{r2} - if_{p2}) \frac{1}{\varepsilon_2} \coth k(h_2 - h_1) \end{aligned} \quad (11)$$

上式で

$$F = \frac{C_{r1} - if_{p1}}{C_{r2} - if_{p2}} \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (12)$$

と置くと、

$$\sigma^2 = gk \frac{F \coth kh_1 + \coth k(h_2 - h_1)}{F + \coth k(h_2 - h_1) \coth kh_1} \quad (13)$$

が得られ、複素波数の虚数部 k_i から防潮林による津波減衰率が求められる。

4. 考察

(13)式に基づいて、防潮林による波高減衰率 k_i を計算した結果の1例が図-3である。ここでの計算条件は、枝下までの水深 $h_1=2\text{m}$ 、全水深 $h_2=4\text{m}$ 、波の周期 $T=10\text{s}$ 、波高 $a=0.5\text{m}$ 、幹径 $D=0.25\text{m}$ 、 $C_M=2.0$ 、 $C_D=1.0$ 、 $C_L=1.5$ 、樹木密度 $N=0.1$ 本/ m^2 を基本条件とし、各パラメーターの値をひとつずつ変化させ、結果に及ぼす感度評価を行った。

なお、(4)式の断面積保存則が成り立つためには、枝の形状の立体分岐角が十分小さい必要がある。吹上浜海岸のマツ林についてこれを調べたものが図-4である。立体分岐角は平均的に $60 \sim 70^\circ$ 程度の値をとり、必ずしも小さいとは言えない。樹木が占有する体積が鉛直方向に一樣でないと、式(10)のように流体場を速度ポテンシャルで表現することはできず、波高減衰率 k_i は数値的に求めるしかない。現地のマツの幹自体も海風によって斜めに傾いており、今後は実際の樹木形状をより忠実に考慮した検討が必要と考えられる。

5. 結論

- 1) 枝分かれの前後における断面積保存則は、マツ林海岸林の観測結果でも確かめることができた。
- 2) こうした樹木形態学の知見を取り入れ、幹枝部と樹冠部を領域分けした津波波高減衰の解析モデルを提案した。

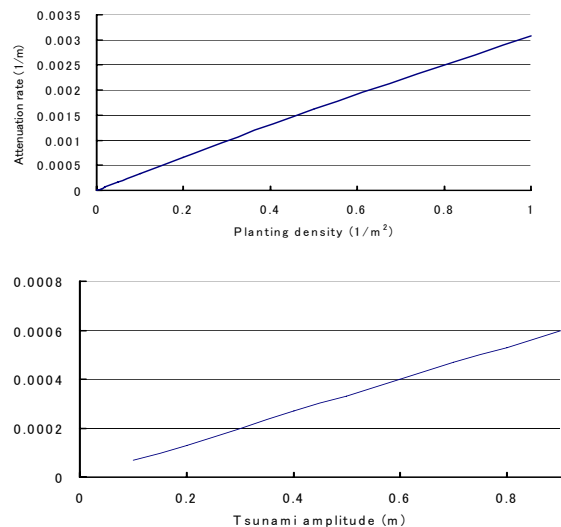


図-3 $N \sim k_i$ (上段), $a \sim k_i$ (下段) の関係

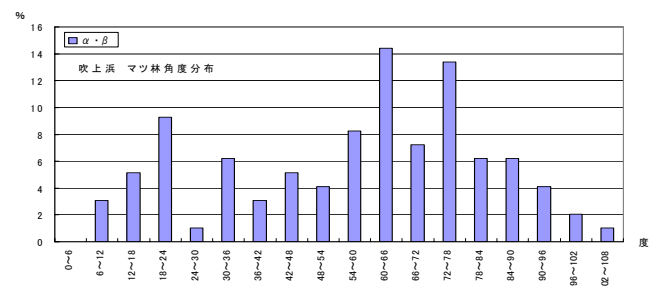


図-4 立体分岐角の頻度分布