

津波外力を受ける海岸林樹木の応答解析

鹿児島大学工学部 学生会員 ○坂井良輔
鹿児島大学大学院 学生会員 國生大樹
鹿児島大学大学院 正会員 浅野敏之

1. 研究の目的

海岸林は従来、防風林・防砂林として用いられてきたが、近年は津波防潮施設としての効果が注目されている。しかし、津波が襲来すると倒木や折損が生じ、防災能力が減衰する恐れがあるため、樹木の各器官に、津波流体力がどのように作用するか明らかにする必要がある。本研究では、樹木を多質点系構造物として扱い、津波流体力を作用させたときの応答を数値解析により考察した。

2. 解析の概要

2.1 樹木モデル

日本の海岸林の多くは、防風や防砂・防潮を目的として育成され、塩害や汚染に強いクロマツ林である。本研究では樹種はクロマツを想定し、典型的な形状・寸法を持つ樹木モデルとして、図-1 に示す樹高 6.0m の 3 次元モデルを設定した。図中の太字の番号は節点番号（節点数 33）、細字の番号は要素番号（要素数 32）を表す。地面位置における節点 13 は固定とし、節点 4、節点 7 の位置からそれぞれ 5 本ずつ枝が出るように設定した。また、節点 14~23（枝

の先端)の各節点には葉の重量として上載荷重 0.2kgf ずつを付加させた。本研究では、クロマツの乾燥後の木材として公表されている値として、比重 0.57, ヤング率 9.8Gpa を用いた。

2.2 入射波の計算

入射波の計算をする際に、以下に示す 1 次元浅水方程式を用いた。

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad \cdots(1)$$

$$\text{運動方程式} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u |u|}{h^{1/3}} \quad \cdots(2)$$

h : 水深 M : x 軸方向の流量フラックス
g : 重力加速度 n : マニングの粗度係数
H : 水位 (= h + z_b, z_b:底面高)

解析において、変数を staggered に配置し、leap-frog 法によって計算を進めていく。

2.3 波による動的応答の解析

構造物の動的挙動の特性は構造物の固有周期と密接に関係しているため、構造物の振動モードと固有周波数を理解することが必要になる。そこで固有値解析を行う。次に多質点構造物の運動基礎方程式を示す。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad \cdots(3)$$

左辺第 2 項の減衰項を除去すると次式となる。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad \cdots(4)$$

変位ベクトル {u} の一般解を次のように置く。

$$\{u\} = \{\Phi\}e^{i\omega t} \quad \cdots(5)$$

(5) 式を (4) 式に代入すると次式が得られる。

$$(-\omega^2[M] + [K])\{\Phi\} = \{0\} \quad \cdots(6)$$

(6) 式が {Φ} = {0} 以外の解を得る条件は次式となる。

$$|-\omega^2[M] + [K]| = 0 \quad \cdots(7)$$

(7) 式を解くことにより、固有値と固有円振動数が得られる。葉による上載荷重を導入すると、M の要素

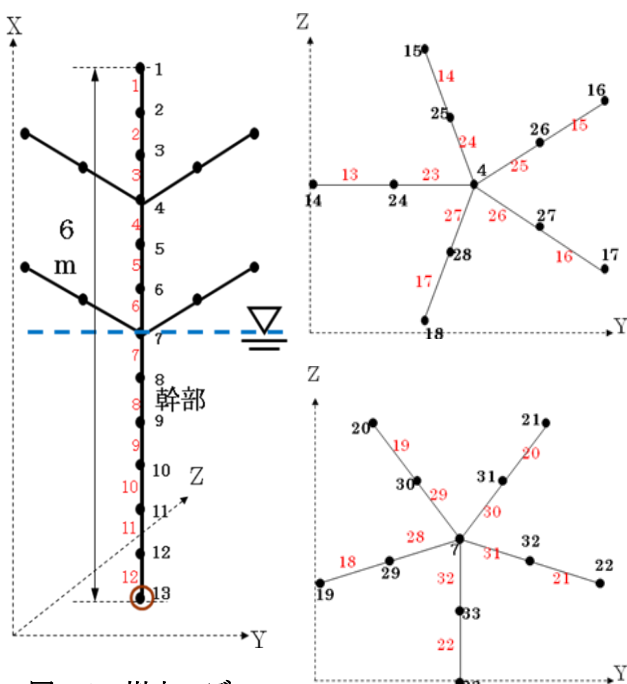


図 - 1 樹木モデル

が大きくなり、固有振動数は低くなるので、津波外力の周波数に近づいてくる。

モード合成法で得られる構造物の動的変位は

$$\{u(t)\} = [\Phi]\{q\} = \{\phi\}_1 q_1(t) + \{\phi\}_2 q_2(t) + \dots + \{\phi\}_N q_N(t) \quad \dots(8)$$

(3)式右辺の波力 $\{F\}$ については、浅水波理論を用いて水粒子の速度・加速度を求め、それらを修正モリソン式に代入することにより評価した。

$$\{F\} = [C_M]\{\ddot{v}\} - [C_m]\{\ddot{u}\} + [C_D]\{\dot{v} - \dot{u}\}(\dot{v} - \dot{u}) \quad \dots(9)$$

(9)式を(3)式に代入して得られた式を線形化すると次式となる。

$$[\tilde{M}]\{\ddot{u}\} + [\tilde{C}]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = [\tilde{F}] \quad \dots(10)$$

ここで、(8)式を(10)式に代入し、転置行列 $[\Phi]^T$ を乗じることで次式が得られる。

$$[I]\{\ddot{q}\} + [\cdot \cdot (2\beta_j \omega_j + C_D) \cdot \cdot]\{\dot{q}\} + [\cdot \cdot \omega_j^2 \cdot \cdot]\{q\} = [\Phi]^T [C_M]\{\ddot{v}\} + [\Phi]^T [\hat{C}_D]\{\dot{v}\} \quad \dots(11)$$

上式は、Newmark の β 法を用いて逐次積分によって計算できる。

2.4 解析条件

樹木モデルが 3m まで浸水した状態を考え、周期 300s、波高 1.0m とし、変位・曲げ応力を求めた。抗力係数は 1.0、慣性係数は 2.0 とした。

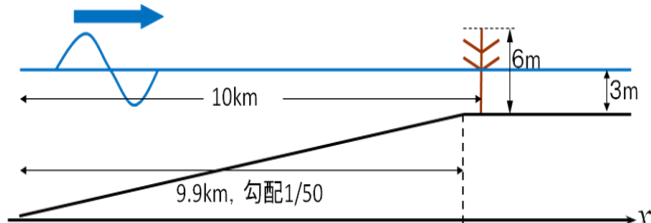


図 - 2 入射波計算領域

3. 考察

図 - 3 は葉の重量を付加させた場合と付加させない場合で、幹部における Z 軸方向最大変位、Y 軸まわりの最大曲げ応力と高さの関係を表している。これらを比較すると、いずれも、荷重があるほうが値が小さくなる。また、曲げ応力が局所的に大きな値になっているのは、枝の付け根部分であり、枝からの応力を受けているためと考えられる。図 - 4 は、

葉の重量を付加させた場合の幹部における Y 軸方向変位の時系列変化である。周期の短い振動がみられ、葉による上載荷重の影響と考えられる。

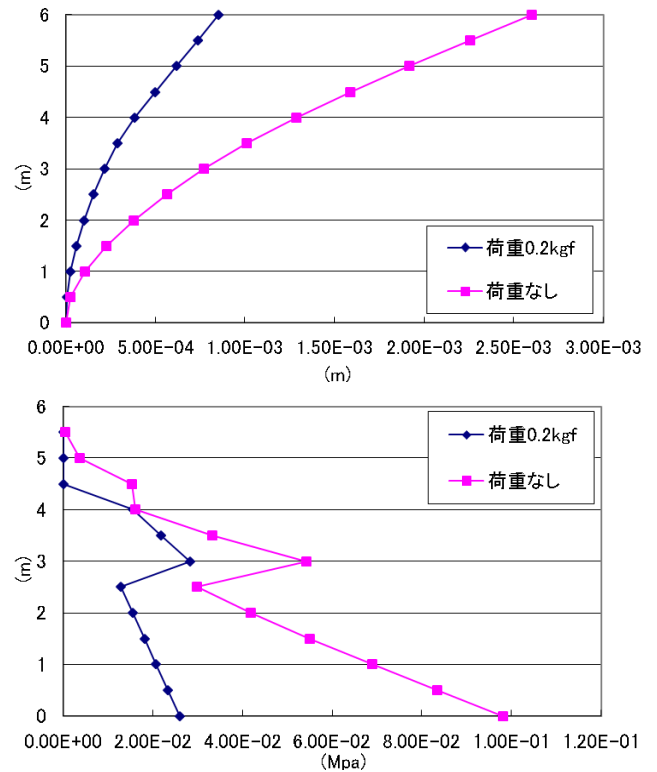


図 - 3 幹部における Z 軸方向最大変位(上段)
Y 軸まわりの最大曲げ応力(下段)

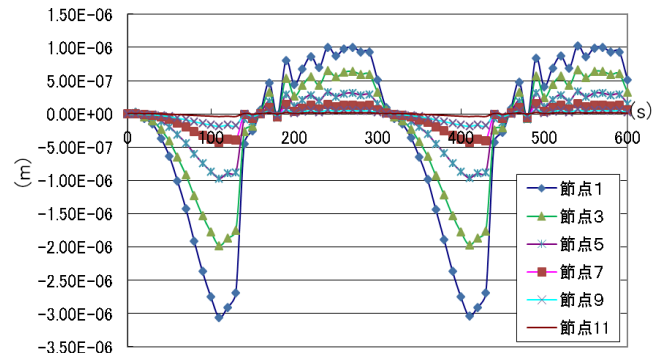


図 - 4 幹部における Y 軸方向変位

4. まとめ

クロマツの乾燥材としての曲げ強度は 72.0～91.1Mpa であり、解析で得られた値と比較すると折損の可能性は低いと考えられる。ただし、今回は入射波の波高を 1.0m としているため、さらに大きな波高の津波を想定することで、折損の可能性が高まると考えられる。また、今回の樹木モデルは、幹部の 2 箇所から枝が 5 本ずつ出ているという簡素化したものであり、ヤング率も生木に比べるとかなり乾燥した状態のときの値であるため、今後はさらに現実的な樹木モデルを設定して解析していく必要がある。