

# 津波流体力による海岸林樹木の折損可能性の解析

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

## 1 はじめに

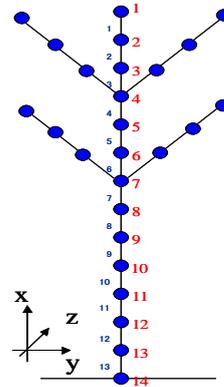
スマトラ沖地震津波(2004)において、マングローブ樹林が背後地の被災を軽減したことから、その後海岸林樹木の研究が盛んに行われるようになった。日本でも東日本大地震津波(2011)により未曾有の大災害を経験し、現在津波対策の見直しが図られている。その中で、津波対策の1つとして海岸林整備が取り上げられ議論されている。そこで海岸林樹木を防潮施設として利用するにあたり、樹木の各器官に流体力が作用したときの変位と応力を評価しなければならない。本研究では、樹木形態学の知見に基づいた3次元樹木モデルの作成を行い、津波流体力が作用したときの応答解析を数値シミュレーションにより行う。

## 2 樹木モデル

本研究では、「くいの松原」におけるクロマツの平均樹高と胸高直径の測定結果に基づき樹木形態学の知見であるダ・ヴィンチ則を考慮して、3次元樹木モデルを設定した。樹木モデルは、幹と枝を要素と節点のみで構成される多質点構造物として表現しており、図-1に示すように全高13.0m、全幅6.0mとした。図中の大文字の番号は節点番号、小文字の番号は要素番号を表す。樹木の葉重量は、付加荷重として枝の先端に作用させた。葉重量はSuzuki-Hiura(2000)により見出された葉重量が1次枝の直径の2乗(すなわち断面積)に比例する関係(図-3)に基づいて設定した。樹木の材料特性は、生木の状態ではさまざまな要因により変化する。特に繊維飽和点以下では含水率の力学的性質に及ぼす影響は大きく、含水率変化1%に対するヤング率変化は2%であると知られている。繊維飽和点の含水率は全ての樹木を通じて25~35%であり、クロマツは35%である。クロマツの乾燥後(含水率15%)のヤング率が9.8Gpaであるため、本研究では35%含水率であるヤング率5.88Gpaの値を採用した。

## 3 解析方法

図-1に示す樹木モデルが図の前方より波力を受けた場合の応答解析を行う。解析モデルは多質点構造物として取り扱うので、全体系の運動方程式は式(1)となる。



要素番号	直径D(m)	断面積A(m <sup>2</sup> )
1~2	0.239	0.045
3	0.253	0.050
4~5	0.268	0.056
6	0.283	0.063
7~13	0.3	0.071
14~43	0.08	0.005

表-1 樹木の直径

図-1 樹木モデル (X-Y平面)

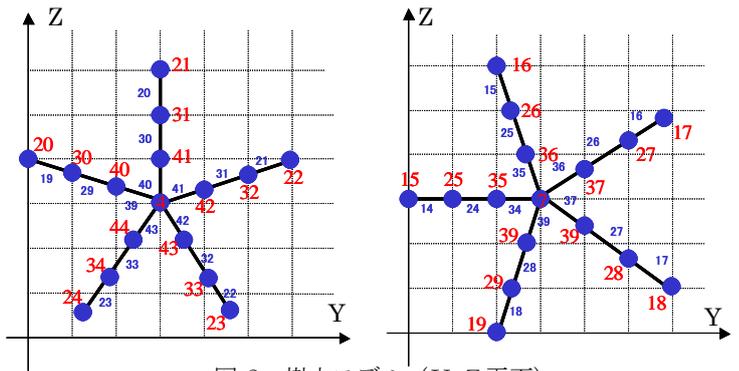


図-2 樹木モデル (Y-Z平面)

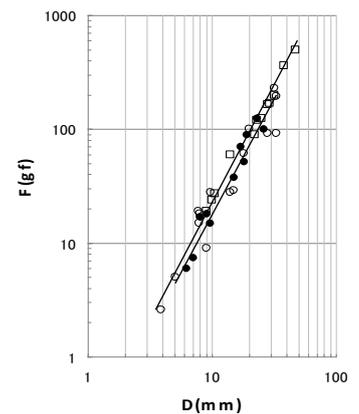


図-3 葉部の重量とそれを支える枝直径の関係

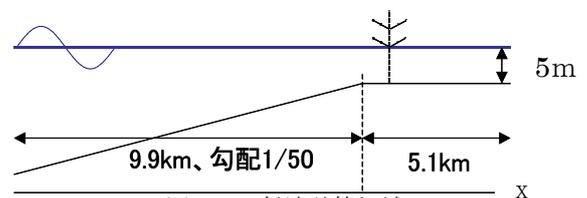


図-4 入射波計算領域

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad \dots (1)$$

$$\{u\} = \{u_x \quad u_y \quad u_z \quad \theta_x \quad \theta_y \quad \theta_z\}^T \quad \dots (2)$$

$[M]$ ,  $[C]$ ,  $[K]$ ,  $\{F\}$ は、それぞれ質量マトリックス、減衰マトリックス、剛性マトリックス、外力ベクトルであり、 $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$ はそれぞれ  $x$ ,  $y$ ,  $z$  方向の変位、 $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$ は  $x$ ,  $y$ ,  $z$  方向のたわみ角である。時間発展計算は時間刻みを 0.1sec としニューマークの  $\beta$  法により解析を行う。ここで外力ベクトル  $\{F\}$  は、浅水波理論により水粒子の速度および加速度を求め、それらを修正モリソン方程式に代入し評価した。式(2)・(3) は波力を求める際に用いた連続式と 1 次元浅水方程式である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad \dots (3) \qquad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u |u|}{h^{1/3}} \quad \dots (4)$$

$h$ ,  $M$ ,  $u$ ,  $g$ ,  $n$  はそれぞれ水深,  $x$  軸方向の流量フラックス,  $x$  軸方向の流速, 重力加速度, マニングの粗度係数である。数値計算のスキームは、Staggered leap-frog 法を用いた。運動方程式(3)式の移流項である右辺第 2 項は 1 次精度の風上差分を用いた。

#### 4 解析条件

樹木モデルが 5m まで浸水した状態を考え、入射波振幅 3m は変化させず周期を 300s, 600s に変化させ、変位・曲げ応力を求めた。抗力係数  $C_D$  は 1.0、慣性係数  $C_M$  は 2.0 とした。葉重量の上載荷重として 3.26kgf 各枝の先端に作用させた。入射波の計算は図-4 に示す地形上で、 $x=10\text{km}$  の地点に樹木モデルを置き、そこでの速度・加速度を用いて作用流体力を計算した。

#### 5 解析結果

図-5、図-6 に周期 600s における枝部分の  $Z$  軸方向の最大変位と  $Y$  軸回りの最大曲げ応力を示した。幹部においては、節点 1 において 2.29m の最大変位、要素 13 において 33.4MPa の最大応力が得られている。枝は  $72^\circ$  ごとに幹から分岐するよう設定されている。そのため、枝によって入射波を受ける角度が異なる。図-5 より  $Z$  軸方向の変位は、 $Z$  軸と枝の角度とが大きいほど変位も大きくなる傾向がみられた。図-6 の応力の結果より、 $Y$  軸方向の応力は要素 34 のように  $Z$  軸との角度が小さい枝ほど増加する傾向があり、一方  $Z$  軸方向の応力は、その逆の結果が得られた。また、要素 39, 41・要素 42, 43 のように  $Z$  軸に対して同じ角度の枝の応力を比較すると、応力に違いが見られる。これは、上部と下部の枝の ( $Y$ - $Z$  平面) における節点座標の位置関係が影響したためと考えられる。解析の条件下では図-6 に示した結果はすべて、クロマツの曲げ強度(72.0~91.1Mpa)を下回っているため、折損の可能性は低いといえる。しかし、葉のある樹冠部にまで水位が到達した条件下で応力・変位の計算がなされていた。すなわち、葉を上載荷重としてのみ評価し、葉の受ける波力が評価されていない。そのため枝部分が水没し葉の受ける波力を考慮した場合には、今回の結果より大きな応力が発生し倒木や折損が起こる可能性は十分にありえるといえる。

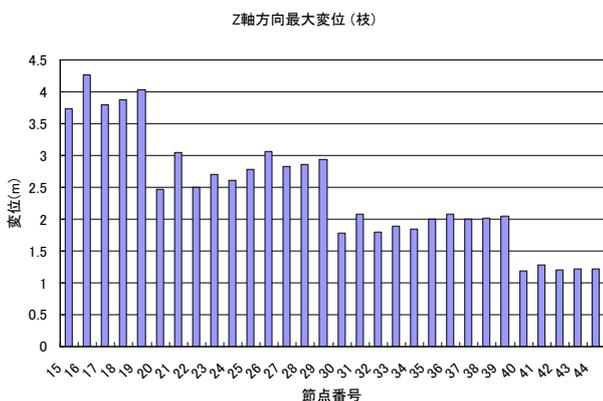


図-5

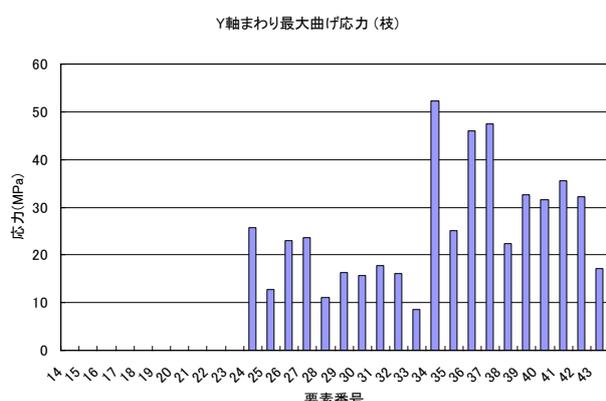


図-6