

海岸林樹木の津波流体力に対する応答に関する数値解析

鹿児島大学大学院 学生会員 山本洋平
 鹿児島大学 非会員 國生大樹
 鹿児島大学大学院 正会員 浅野敏之

1. はじめに

津波はまれに起こる災害であるが、ひとたび起これば膨大な犠牲者を出す災害でもある。その対策として、わが国のいくつかの地点で津波防波堤が建設中あるいは計画中であるが、財政事情を考えればどこにでも建設できるものではない。また、巨大構造物の建設が日常生活や周辺の環境に悪影響を与えることも懸念される。

このようなことから、津波来襲が危惧される海岸域に海岸林を防潮施設として活用することは、防災・環境の両面に役立つとともに、建設費が安いため開発途上国にも適用可能なものとして注目を集めている。既往の研究では、幹の流体抵抗のみを評価対象としたり、枝や葉を考慮する場合でも剛体的な取扱いをしたりするものがほとんどである。海岸林を津波防災施設として活用するためには、可撓性や折損が海岸林の津波減衰効果に及ぼす影響について明らかにする必要がある。

本研究では、多質点系構造物の振動解析法による解析結果から、枝や幹の波による応答について検討する。さらには幹や枝部材の応力を求め、波力を受けた時の樹木の折損・倒伏の可能性を明らかにすることを旨とする。

2. 数値解析の概要

海洋構造物に作用する波力を評価するモリソン方程式中で、抗力項は非線形となるが、非線形性が弱い場合は準線形化が可能となる。多質点系構造物の運動の基礎方程式は次式となる。

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

ここで、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ はそれぞれ質量マトリックス、減衰マトリックス、剛性マトリックスであり、 $\{u\}$ は変位ベクトルである。モリソン方程式を用いれば、外力 $\{F\}$ は抗力と慣性力で構成される。

$$\{F\} = [C_M]\{\dot{v}\} - [C_m]\{\dot{u}\} + [C_D]\{\dot{v} - \dot{u}\}(\dot{v} - \dot{u}) \dots (2)$$

$$\text{ここに、} [C_M] = [\cdot \cdot \rho C_M V \cdot \cdot], [C_m] = [\cdot \cdot \rho(C_M - 1)V \cdot \cdot]$$

$$[C_D] = \left[\cdot \cdot \rho C_D \frac{A}{2} \cdot \cdot \right] \dots (3)$$

等価線形化を行い、線形化された抗力係数 \hat{C}_D を用いて(1)を書き直せば、線形化された多質点系構造物の運動の基礎方程式は次式となる。

$$[\tilde{M}]\{\ddot{u}\} + [\tilde{C}]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = [C_M]\{\dot{v}\} + [\hat{C}_D]\{\dot{v}\} \dots (4)$$

$$[\tilde{M}] = [[M] + [C_m]]$$

$$[\tilde{C}] = [[C] + [\hat{C}_D]]$$

$[C_M]$ 、 $[C_m]$ 、 $[C_D]$ はそれぞれ慣性係数、付加質量係数、抗力係数、 \dot{u} 、 \ddot{u} 、 \dot{v} 、 \ddot{v} はそれぞれ運動する構造物の速度・加速度、水粒子の速度・加速度である。

また、動的応答が線形の範囲にある限り、構造物の支配方程式はモード合成法によって決定することができる。モード合成法で得られる構造物の動的変位は、線形重合の考えから固有値と固有ベクトルに基づき次式で表される。

$$\{u(t)\} = [\Phi]\{q\} = \{\phi\}_1 q_1(t) + \{\phi\}_2 q_2(t) + \dots + \{\phi\}_N q_N(t) \dots (5)$$

ここで、 $[\Phi]$ はモーダルマトリックス、 $\{q\}$ は標準化された変位ベクトルである。式(2)に代入し、転置行列 $[\Phi]^T$ を乗じることによって次式が得られる。

$$[I]\{\ddot{q}\} + [\cdot \cdot (2\beta_j \omega_j + C_D) \cdot \cdot]\{\dot{q}\} + [\cdot \cdot \omega_j^2 \cdot \cdot]\{q\} = [\Phi]^T [C_M]\{\dot{v}\} + [\Phi]^T [\hat{C}_D]\{\dot{v}\} \dots (6)$$

ここで、 $[I]$ は単位行列、 ω_j は固有角周波数、 β_j は減衰定数、添字 j は固有振動のモード番号である。上式はNewmarkの β 法を使って逐次積分によって計算する。

3. 解析モデル

本研究と並行して、実際のマツの樹形の測量結果を基に1/30スケールの樹木模型を製作し、実験水槽内で津波流体力を受けるときの樹木模型の応答について研究を進めている。この実験結果と比較検討するために、製作した樹木模型に対応する図-1のような全長0.4mの樹木モデルに対して応答解析を行った。

部材の直径は、幹である節点 2 から節点 10 までを 0.02m、その他の枝部分を 0.01m とした。波の条件は、波高が 0.06m、周期が 1.5s、静水深が 0.17m である。樹木のヤング率はクロマツを想定し、98KPa、比重は 0.57 とした。波は紙面の左から右、手前から奥に入射する場合の 2 パターンで計算を行った。これ以降、前者を波、後者を波とする。

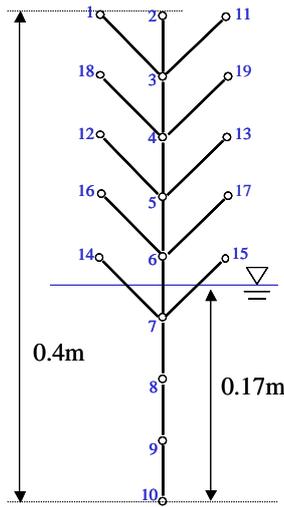


図-1 樹木モデル

4. 解析結果

右に解析結果を示す。図-2、図-3 は波の場合の幹部分と、枝部分の節点変位の時間波形を示したものである。図-4、図-5 は波の場合の幹部分と、枝部分の節点変位について示したものである。

5. 考察

波の入射方向に関わらず、上にある節点の変位が大きくなるのは当然の結果と言えるが、同じ節点群で結果を表示した図-2 と図-4、図-3 と図-5 を比較すると、節点 1、2 以外の節点で波の場合より波の場合の方が大きな変位を示した。

これは、図-6 のように樹木の枝と波が同一面内にある場合より、図-7 のように波が樹木に直角に作用するほうが、流体力を効果的にうける構造となるためと考えられる。

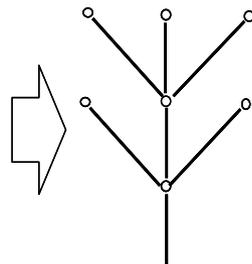


図-6 波の場合

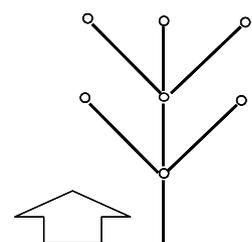


図-7 波の場合

6. まとめ

本研究では多質点系構造物の振動解析法による樹木の応答解析について結果を示したが、同時に進めている実験結果との比較検討を行い、数値結果の妥当性を検討する必要がある。今後は、幹や枝部材の応力を求め、波力を受けた時の樹木の折損・倒伏の可能性を明らかにし、可撓性や折損による海岸林の

津波減衰効果の低減について研究を行う予定である。

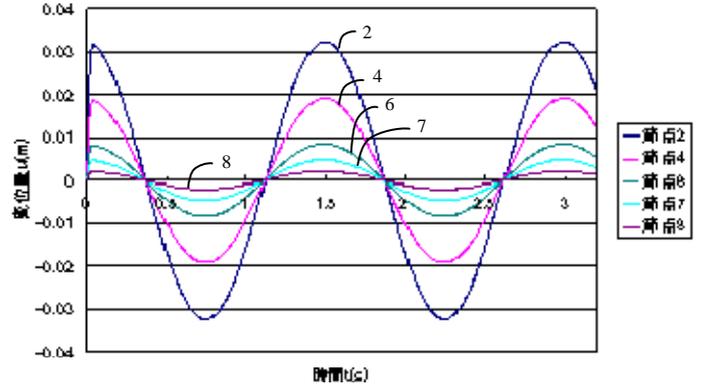


図-2 節点 2.4.6.7.8 の時間変位(波)

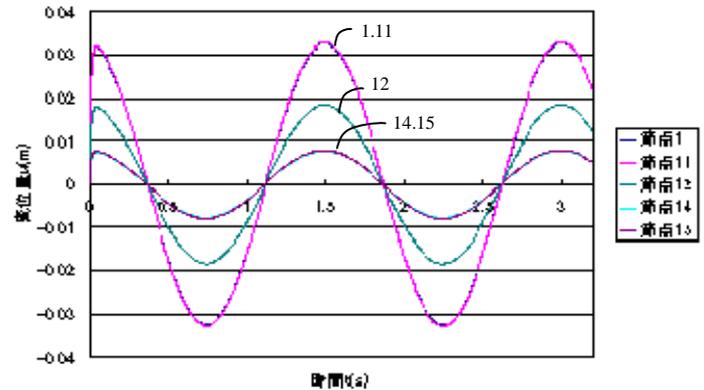


図-3 節点 1.11.12.14.15 の時間変位(波)

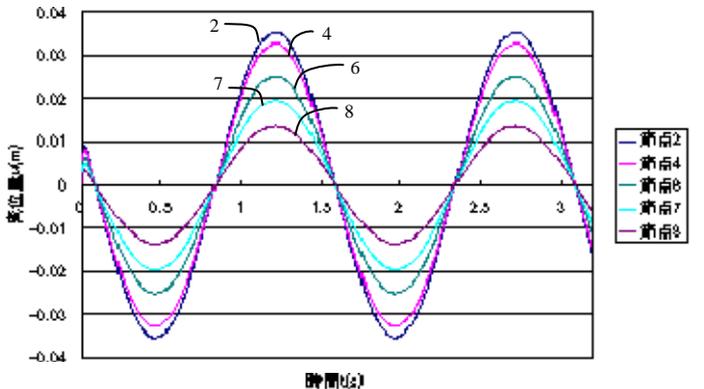


図-4 節点 2.4.6.7.8 の時間変位(波)

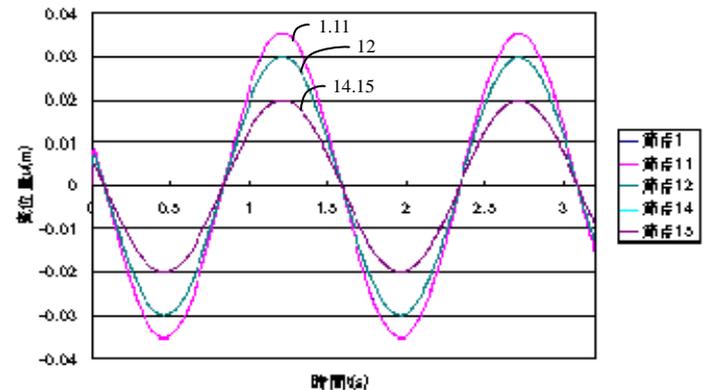


図-5 節点 1.11.12.14.15 の時間変位(波)