

論文の内容の要旨

論文題目 海岸林の津波減衰効果に関する研究

氏名 野口 宏典

本研究は、日本の海岸林に用いられる主要な樹種の実物樹木の水力学的抵抗特性と物理的耐性明らかにし、それを用いた津波氾濫流の数値シミュレーションモデルによって海岸林管理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ものである。

第 1 章では、海岸林を遡上する津波氾濫流の数値シミュレーション自体の課題と、それを用いた海岸林管理の影響評価の課題について整理し、シミュレーションモデルの信頼性を向上させるために取り組むべき点とシミュレーションモデルを用いて検討すべき海岸林管理の課題を挙げ、研究の目的を設定した。

第 2 章では、海岸林を遡上する津波氾濫流の数値シミュレーションモデルの樹木の抵抗特性の信頼性の高いパラメータを得ることを目的として、実物樹木を対象として水理実験を行ない検討した。対象とした樹種は、日本の海岸林に植栽される樹種 6 種（クロマツ、エゾイタヤ、ヤブツバキ、タブノキ、カシワ、ケヤキ）である。葉の抗力係数は樹種ごとに差があり、ヤブツバキの値は特に大きかった。葉の抗力係数は流速が高くなると減少していくが、流速に対する減少率は次第に小さくなる傾向が見られた。これは、葉の抗力係数の算出に際し、葉の面積を流速に依らない一定値を用いたため、流速が高くなると実際には減少する有効な葉面積を過大に評価していたためだと考えられた。葉の抗力係数には、

実験を行なった流速の範囲内で流速上昇に伴って収束する傾向が見られたことから、実験を行なった流速の範囲よりも高い流速に対しても本研究の結果から抗力係数を推定できるものと考えられた。本章によって、これまで限られた知見しかなかった実物樹木の水力学的抵抗特性が明らかになった。この結果を組み込んだ津波氾濫流の数値シミュレーションモデルは、第4章と第5章で用いられる。

第3章では、根返りや幹折れといった津波から受ける物理的被害に対する樹木の耐性を評価することを目的として、海岸林への導入が見込まれる広葉樹（エゾイタヤ、タブノキ、ミズナラ、カシワ、ケヤキ）と日本の海岸林を代表する樹種であるクロマツを対象として引き倒し試験を、クロマツを対象として曲げ試験を行なった。胸高直径は5 cm から 15 cm の範囲の樹木を対象とした。樹木の根返りが発生する限界モーメントは、胸高直径 D を説明変数とする累乗式、地上部重量 W を説明変数とする1次式、胸高直径の2乗×樹高 D^2H を説明変数とする1次式で概ね近似することができた。 D 、 W 、 D^2H のそれぞれの値と根返り限界モーメントの関係を、樹種間で比較すると、いずれの値を説明変数とした場合でも、ケヤキが大きく、タブノキとクロマツが小さく、ミズナラ、エゾイタヤはその間に入るという結果になった。また、曲げ試験と引き倒し試験から得られた幹の曲げ強度を用いて計算した幹折れ限界モーメントは、根返り限界モーメントと大きな差は無かった。このことから、地盤条件や根の張り具合などの要因によって、根返りと幹折れのいずれの被害形態になるのかが決まるものと推測された。この章で得られた、各樹種の物理的被害での耐性は、第4章と第5章の数値シミュレーションの結果と比較して用いられる。

第4章では、2011年3月の東北地方太平洋沖地震津波で部分的に被害を受けた青森県三沢市の海岸林を対象として津波氾濫流の数値シミュレーションモデルを用いて計算を行い、海岸林が津波を弱める効果、津波による海岸林の被害について解析した。数値シミュレーションモデルの樹木の抵抗パラメータには、第2章で得られた抵抗特性を用いており、数値シミュレーションモデルの信頼性は、樹木を円柱や格子状構造物と見なしていた従来のモデルに比べて、向上したものと考えられる。対象とした海岸林は、汀線からの距離が110 m から 380 m 付近にかけて林帯が存在し、2011年の津波では汀線から200 m までの範囲で被害が発生した。実際に現地で観測された浸水状況に合うようにシミュレーションの条件を調整して津波を再現し、林帯が津波を弱める効果について評価した。汀線から380 m 地点で比較すると、線流量の最大値は、林帯が有る場合が $1.0 \text{ m}^2/\text{sec}$ であったのに対して林帯が無い場合が $1.4 \text{ m}^2/\text{sec}$ であり、最高水深は、林帯が有る場合が 7.9 m であったのに

対して林帯が無い場合は、8.1 mであった。シミュレーションモデルで推定したクロマツの根元への曲げモーメントを、第3章で得られたクロマツの物理的被害が発生する限界モーメントで除することにより求めた被害発生指標は、多少の変動はあるものの、海側林縁で特に大きく、内陸側に向かって減少していく傾向を示し、実際の被害の分布を相対的に説明できるものであった。

第5章では、適正に密度管理されたクロマツ林（適正クロマツ林）、密度管理されずに放置されたクロマツ林（放置クロマツ林）、適正に密度管理されたクロマツ林の下層に広葉樹を導入した林（下層広葉樹適正クロマツ林）の3つのタイプの林帯を対象として、津波氾濫流の数値シミュレーションを行い、津波減衰効果と樹木の物理的被害の点から、密度管理と広葉樹導入が海岸林の津波氾濫流減衰効果に及ぼす影響について検討した。林分タイプの他に、陸地勾配と林帯幅についても変更して計算を行い、津波減衰効果への影響を検討した。放置クロマツ林と下層広葉樹適正クロマツ林の津波氾濫流を減衰する効果は同等で、適正クロマツ林の2倍程度の効果があった。波力によって樹木に被害が発生する危険性は、下層広葉樹適正クロマツ林の上層のクロマツが最も小さく、下層広葉樹適正クロマツ林の広葉樹が最も大きく、被害発生指標には10倍以上の差があった。下層広葉樹適正クロマツ林は、津波減衰効果は3つのタイプの中では放置クロマツ林と同等で最大であったが、波力に対する耐性は、3つのタイプの中で下層広葉樹は最も低かった。しかし、上層のクロマツは耐性が最も高いことや、広葉樹が被害を受ける場合であっても、上層のクロマツが耐えることができれば、その存在により流木の発生を抑えることが期待できることから、広葉樹の導入は海岸林の津波減衰効果の点から有効な手段だと考えられた。陸地の地形の津波氾濫流への影響は大きく、林帯の存在と勾配の増加の津波氾濫流減衰効果を比較した結果、陸地傾斜 1/100 の地形に減衰効果の大きい下層広葉樹適正クロマツ林や放置クロマツ林の林帯 200 m を設置するよりも、陸地傾斜を 1/100 から 1/50 にする方が津波氾濫流の減衰効果は顕著に大きかった。また、傾斜を強くすると津波氾濫流が減衰されることにより、林帯の被害発生の危険度も減少した。こうしたことから、防潮堤の設置や盛土等で地形を変更することにより、海岸林の津波減衰効果はより効果的に発揮されるものと考えられた。林帯幅を大きくしていくと、海岸林の津波氾濫流減衰効果は大きくなっていった。しかし、林帯幅あたりの減衰効果は、林帯幅が大きくなると減少していくことが示された。

第6章では、前章までの結果を総括した。本研究によって、海岸林に用いられるクロマ

ツや広葉樹の水力学的抵抗特性と物理的耐性が明らかになった。これらによって、津波氾濫流の数値シミュレーションモデルの信頼性を向上させることができ、また、クロマツだけでなく広葉樹が津波氾濫流を受けた時の被害発生の危険度についての検討が可能になった。この数値シミュレーションモデルにより、2011年の東北地方太平洋沖地震津波で被災した海岸林を対象として、海岸林の津波減衰効果と被害について検討した結果、計算によって求めた樹木被害発生指標は実際の被害の傾向と合致するものであった。数値シミュレーションモデルによって、海岸林の密度管理の有無や広葉樹を導入した場合のモデル林を設定した場合についての計算を行い、密度管理を行うことによって海岸林の津波減衰効果が減少する様子や被害が発生しにくくなる様子について示した。また、下層に広葉樹を導入することによって津波減衰効果が増加する様子や下層広葉樹は上層クロマツに比べて細いため被害は受け易くなる様子を示した。本研究の成果は、海岸林の本数密度の調整、広葉樹の導入といった海岸林の管理の影響の事前評価に用いることが期待される。