

	はらだ けんじ			
氏名	原田 賢治			
授与学位	博士(工学)			
学位授与年月日	平成15年3月24日			
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項			
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程) 土木工学専攻			
学位論文題目	防潮林の津波減災効果に関する水理学的研究			
指導教官	東北大学教授 今村 文彦			
論文審査委員	主査 東北大学教授 今村 文彦	東北大学教授 澤本 正樹		
	東北大学教授 真野 明	東北大学教授 田中 仁		

論文内容要旨

津波災害は我が国を代表する自然災害の1つであり、ひとたび発生すると多くの犠牲者と甚大な物的・経済的被害をもたらしてきた。我が国における津波防災対策は防災施設・地域計画・防災体制の融合により総合的に整備されつつあり、これらが相互に連帯することで効果的な防災効果が高められると期待されている。これまでの津波防災対策では主に沿岸防災施設として防潮堤や防波堤などの人工構造物を建設することにより実施され、沿岸域および住民を自然災害から守る重要な役割を果たしている。しかしながら、このような構造物建設は自然環境の破壊や住民生活の不便、建設維持管理のための莫大な予算等の問題があり、今後も建設し続けていくことは困難と考えられ、しかも他の津波常襲地域、特に発展途上国において推奨することはできない。このような状況の中で、防潮林も含めた海岸地域に存在する様々な施設についての影響を考慮して津波来襲時の状況を評価することが津波防災対策として不可欠である。また、想定以上の津波により防潮施設を乗り越える津波が来襲することも考えられ、防潮林を津波防災対策として考慮することも必要である。今後の津波対策の中で積極的に防潮林を利用・活用するためには、防潮林による力学的な影響を評価し、防災機能を明らかにすることが重要な課題である。

以上の状況から、本研究では防潮林の津波減災効果の理解と評価を目的として、まず過去の津波被害調査報告にもとづいた文献調査・資料解析により、防潮林による津波被害軽減機能と効果の項目を明らかにした。次に人工植生モデルや各種透過性構造物を用いた水理模型実験を行い、防潮林を通過する津波の水理学的特徴についての検討と防潮林の津波に対する抵抗特性の検討を行った。また、防潮林を考慮した津波数値計算手法により、水理模型実験の再現計算を行い抵抗係数の評価と計算手法

の評価を検討し、さらに防潮林の抵抗を考慮した実スケール津波数値計算により防潮林による津波減衰効果についても検討を行った。本研究は5章から構成されており、その主な内容を以下に示す。

第1章の序論では、防潮林についての現地観測や水理模型実験に関する既往の研究により得られた結果と課題を整理した。その結果、過去の津波来襲時に防潮林による津波減災効果事例が多く報告されているにもかかわらず、防潮林の津波減災効果についてこれまで定量的に十分理解されていないことがわかり、防潮林の津波減衰効果を定量的に評価するためには抵抗として防潮林を評価する必要があることがわかった。そこで、既往の流体抵抗に関する研究について整理したが単純な形状や人工構造物についての検討はされているが、防潮林のような複雑な形状をした植生の抵抗を検討した例は少なく、さらに津波に対する防潮林の抵抗についてはほとんど検討されていないことが示された。これらの既往の研究の成果より、防潮林の効果を評価する際の課題として、防潮林の持つ津波減衰機能と減災効果の整理と把握、防潮林の抵抗としての評価、数値計算による定量的な減衰効果の評価が重要な課題であることがわかった。

第2章の資料に残された防潮林による被害軽減機能と効果では、過去の文献整理・資料解析により防潮林の持つ被害軽減機能と効果について主要な津波減災機能として次の4つの機能および被害軽減効果を示すことで、防潮林の持つ津波減災機能を明らかにした。① 船や巨大な漂流物の移動を阻止し、これら漂流物の侵入・衝突によって生ずる家屋の破壊等の二次的被害を軽減、防止する。② 樹木による抵抗により林内に侵入した津波の浸水深や流速、エネルギーを低減させ、津波の破壊力を弱め、被害を軽減する。③ 防風林・防砂林として砂丘の移動を防ぎ海岸に高い地盤を形成し砂州などを形成し、これが自然の障壁となって津波、高潮の内陸への侵入を抑止し、被害を軽減する。④ 津波にさらわれた人が津波と一緒に流されないようにつかまる対象物となり、人命救助をして人的被害の軽減をする。防潮林の津波被害軽減機能として、一般に言われる②の津波に対する抵抗として働く以外にも多くの重要な減災機能を持つことを示すことができ、防潮林を計画的に用いるために重要な情報となる。

第3章の水理模型実験による防潮林の抵抗係数の推定では、防潮林の津波減衰効果を数値計算により検討する際に重要となる抵抗係数の推定のために根・幹・葉からなる複雑な構造を持つ人工植生モデルを用いた水理模型実験を行った。人工植生モデル後面での最高水位の変化は前面での反射が大きな実験ケースほど低下量が多いことが示され、実際の防潮林を想定すると葉部が低くまで存在する構造が津波を低減させる効果が大きい事を示している。また、葉部が高い位置にあるモデルの場合、最も密度の低い幹部での流速が大きくなる影響で流速が増加することが示され、実際の防潮林におい

て幹部の区間が長いと防潮林の背後で早い流速が生じ被害をもたらす危険性があることがわかった。以上の事より防潮林の構造として葉部が低くまで存在するか、下生えがあることが防潮林背後での津波による危険性を低下させるために有効である事がわかった。また、計測圧力より人工植生モデル全体へ働く作用力を算出し、入射段波を準定常区間と非定常区間に時間分割することにより人工植生モデル全体の抗力係数： $C_{D-total}$ と慣性力係数： $C_{M-total}$ の抵抗係数の推定を行った。人工植生モデル全体についての抗力係数は水深変化に伴う体積占有率の変化に比例するモデルとして $C_{D-total}=12.4V_D/V-0.69$ ($0.1 < V_D/V < 0.18$) を慣性力係数は $C_{M-total}=1.7$ としてモデル化することができた。また、各モデルケースについて求めた抗力係数はばらつきがあるものの体積占有率の増加に伴い抗力係数も増加する傾向にあることが示され、葉部が高いモデルの抗力係数は 0.8~1.9、葉部が低いモデルは 2~4.4 となり、葉部が低く、密度が大きい条件では抵抗係数が大きくなることを示した。さらに、防潮林の幹部の密度変化による抵抗係数への影響について検討を行った。現地調査結果および他の文献より実際の防潮林の密度は最も密な場合でも $ld=12$ 程度 (l : 樹木中心間距離, d : 胸高直径) であることがわかった。このような条件の幹の密度では幹は互いに独立の円柱として扱うことができそのときの幹一本あたりの抗力係数は $C_D=1.1$ であり、実験に用いた人工植生モデルの幹部全体の抗力係数は投影面積として人工植生モデル全体の surface permeability を用いると、長さ (防潮林幅) 1.0m の時は 6 本の幹全体の抗力係数は $C_{D-total}=6.6$ 、長さ 0.5m の時は 3 本の幹全体の抗力係数は $C_{D-total}=3.3$ と算定することができた。

次に、人工構造物による津波への影響と防潮林による影響を比較検討し理解するために、人工構造物と防潮林を想定した模型を作成し水理模型実験を行った。防潮林による影響は人工構造物よりも小さいものの、障害物のないときと比べ模型後面で 0.6~0.7 倍、模型通過後で 0.5~0.9 倍の水位低下効果があることが実験的に示された。また、流速、波圧についても人工構造物よりは小さいものの防潮林においても流速、波圧の低下が確認された。さらに、津波減衰効果を議論するために、津波による家屋被害と関係づけられる水流圧力： ρDu^2 (ρ :密度, D :浸水深, u :流速) について検討した。実験計測結果より防潮林や人工構造物の背後では水位と流速の低下により水流圧力が低下し津波による家屋被害が期待できることがわかり、人工構造物の背後だけでなく防潮林による水流圧力の低減効果の有効性を示した。これらより、防潮林による津波減衰効果は人工構造物による津波減衰効果と比較すると減衰量は小さいが、津波被害を軽減するためには有効であると考えられる。さらに、抵抗としての大きさを検討するため、実験の計測データより各実験モデル全体の抗力係数を算出し比較した。算出された抗力係数は実験模型条件ごとにもばらついているが体積占有率の増加により抗力係数も増加す

る傾向が確認され、防潮林の抗力係数は人工構造物による抗力係数より小さくなる結果となった。また、前出の人工植生モデルの抗力係数と比較すると透過性構造物の抗力係数は大きい値になったが、これは物体全体の抗力係数を考えた場合、長さ方向の物体の数が透過性構造物の方が多いためであると考えられる。このことより、防潮林の抵抗を考える際には樹木間の距離を考慮し樹木一本あたりを単位とした樹木の抵抗係数により整理する必要があることがわかった。

第4章の防潮林を考慮した津波数値シミュレーションでは、防潮林による津波低減効果を定量的に評価するために、防潮林の影響を考慮した津波数値シミュレーションを用いた津波減衰効果の評価手法について検討を行った。まず水理模型実験の再現計算を行うことで、数値シミュレーション手法および抵抗係数の妥当性を確認することができた。しかし、人工植生モデル区間後半では抵抗が過大に算出されることによる差異が生じている。防潮林の破壊を含めて数値計算を行い、津波減衰効果を評価するためには抵抗の計算手法の改良が必要である。また、防潮林の抵抗の効果を取り込んだ数値シミュレーションを用いることで、防潮林による津波減衰効果を浸水面積の減少や水位・流速・水流圧力の空間分布のように定性的に評価することが可能になった。また、現地条件にもとづいた防潮林条件を変化させて、実スケールにおける津波減衰効果について検討を行った結果、防潮林背後において浸水深だけでなく流速、水流圧力についても防潮林幅の増加により低下して行く事が示された。さらに、現地防潮林条件にもとづいた樹林密度の変化が津波減衰効果に与える影響を検討した結果、樹林密度が大きいほど減衰効果が大きい傾向があったが、その差は小さく津波減衰効果に与える影響は小さい事がわかった。これらの数値計算の結果より、防潮林の効果を定量的に評価した表を示した。

第5章の結論では、本研究で得られた主要な結果を示し、今後の課題と展望について整理した。

以上、本研究の検討により、防潮林の持つ津波減災機能と効果の項目、防潮林を通過する津波の水理学的特徴、防潮林の津波に対する抵抗特性、防潮林を考慮した津波数値計算手法、数値計算による防潮林の津波減衰効果について重要な知見が得られた。しかし、防潮林の抵抗係数、数値計算手法についてはまだ改良の必要があり、防潮林の津波減衰効果については実現象を考えると樹木の破壊を考慮して効果を検討する必要があると考えられる。さらに津波対策の中で積極的に防潮林を利用・活用していくためには、防潮林と人工構造物を組み合わせた時の津波減衰効果や防潮林の配置による減衰効果への影響を評価し、被害が最小になるように計画的に配置するためのリスクマネジメントが必要であり、快適で安全な海岸空間を創造していくための重要な課題として考えられる。

論文審査結果の要旨

これまでの津波防災対策では主に人工構造物の建設により実施されているが、自然環境の破壊や住民生活の不便、莫大な建設維持管理費等の問題があり、今後も建設し続けていくことは困難である。そこで本研究では、防潮林の津波減災効果に着目し、津波対策として利用するために、津波被害軽減機能と効果を明らかにし、水理実験により防潮林の抵抗特性を検討し、防潮林を考慮した津波数値計算により減衰効果の定量的な評価について検討を行った。本研究は5章から構成されており、その内容を以下に示す。

第1章は序論である。

第2章では、過去の文献調査・資料解析により、主要な防潮林の持つ被害軽減機能と効果について明らかにした。防潮林の津波被害軽減機能として、一般に言われる津波に対する抵抗として働く以外にも漂流物阻止、人命救助の重要な減災機能を持つことを示しており、防潮林を津波対策として利用するための有益な情報を得ている。

第3章では、根・幹・葉からなる複雑な構造を持つ人工植生モデルを用いた水理模型実験より、葉部が高いモデルでは幹部への流れの集中により流速増加が起き、葉部の低いモデルは防潮林背後での危険性の低下に有効である事がわかった。また、計測圧力より全作用力を算出し人工植生モデル全体の抵抗係数を推定し、現地条件にもとづいた幹部の密度変化による抵抗係数の推定を行った。また、人工構造物と防潮林を想定した水理模型実験よりその影響を比較した結果、人工構造物だけでなく防潮林においても、水位で0.6~0.7、流速で0.5~0.8の減衰効果ある事を示している。これらにより、防潮林の津波減衰効果を数値計算で検討する際に重要となる抵抗係数および減衰特性について重要な知見を得た。

第4章では、防潮林の抵抗を考慮した津波数値計算による津波減衰効果の定量的評価手法について検討を行った。現地条件にもとづいた実スケールの津波減衰効果は、防潮林幅が50~400mと増加すると変化率が水位で0.99~0.65、流速で0.90~0.43と大きく低下し低減率は増加し、樹林密度が10~50本/100m²と増加すると変化率が流速で0.84~0.77となり減衰効果の大きい傾向にあったがその差は0.07と小さく、減衰効果への影響は防潮林幅が大きく、樹林密度は小さい事が示された。この数値計算結果より、防潮林の効果を定量的に評価した表を示しており、防潮林を津波対策に用いる上で重要な結果である。

第5章は結論である。

以上、本研究の検討により、防潮林の持つ津波減災機能と効果、防潮林の津波に対する抵抗特性を把握し、防潮林を考慮した津波数値計算手法を提案することにより、防潮林の津波減衰効果について重要な知見が得られた。本研究の結果は今後の津波防災対策において防潮林を積極的・計画的に用いるために重要な情報を提示している。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。