

防潮林による津波減衰効果の検討

原田 賢治*・今村 文彦*

1. はじめに

津波は広範囲にわたる自然災害であり、全ての地域に長大な構造物による対策をとることは不可能である。防潮林などの自然防災力の効果を適正に評価し積極的に活用していくことは防災面のみでなく、自然環境に配慮した快適な海岸空間の創造のために有効な技術である。しかし、防潮林による低減効果や防災機能について十分に理解されていないため、評価・利用されていないのが現状である。本論では、まず過去の津波被害調査報告による文献調査により防潮林の津波被害を軽減させる機能効果の実態を明らかにする。つぎに現地データより樹林密度と直径について整理し現地防潮林条件の関係・特徴を述べる。さらに、現地防潮林条件に基づいた条件を変化させた実スケール防潮林の津波数値計算を行うことにより、津波減衰効果について定量的に評価検討を行った。

2. 資料に残された防潮林による被害軽減機能と効果

2.1 防潮林の津波減災機能

防潮林が津波来襲時に持つ減災機能について被害軽減効果事例および既往の研究成果(加藤, 1948; 首藤, 1985; 石川, 1988)をもとに整理すると津波減災機能項目として主に、次の4つが上げられる。

2.1.1 漂流物移動抑止

防潮林が船や巨大な漂流物の移動を阻止



写真1 防潮林による漂流物侵入抑止機能、気仙沼、台の沢 (和泉ら, 1961)

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災害を軽減、防止する。多くの事例が報告されており(例えば、写真1)、巨大津波により樹木が倒伏、根返り等により破壊されない限り漂流物移動抑止機能は持続する。

2.1.2 津波エネルギー低減

樹木による抵抗により林内に侵入した津波の流速や浸水位、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。この効果についても多くの定性的な報告がなされており、海側に防潮林があることにより背後の土地への津波の侵入量が低下し被害が軽減されている。しかし、定量的な津波低減効果については、事例からの効果の判定が困難であるため十分に理解されていない。

2.1.3 自然堤防(砂丘)形成

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、津波に対する自然の障壁となって津波の侵入を抑止する。日本海中部地震津波(1983年)の際には、青森・秋田の各地において10m以上の高い砂丘によ

*東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター

り津波の侵入が抑えられ、防潮林による砂丘堤防があるところでは津波の侵入が小さくなっており、砂丘堤防による津波侵入阻止機能が示されている。

2.1.4 人命救助

津波にさらわれた人が津波と一緒に流されないように樹木につかまり津波をやり過ごす事で、防潮林が人命救助の機能をはたす。北海道南西沖地震津波（1993年）の死亡者の死因をみると津波に巻き込まれたことによる溺

死者数が138名と最も多くなっており（望月，1994），津波に流された人が溺れることを防ぐことのできる防潮林は人命を守る上で重要な機能を備えていると言える。

2.2 防潮林の津波に対する効果

本節において述べた防潮林による津波減災機能・効果について整理したものを，図1，表1に示す。防潮林が抵抗として働き，津波自体を低減させる以外にも，多くの減災機能・効果を持つことが理解できる。これらの



図1 防潮林による津波減災効果（原田，2003）

表1 防潮林の津波減災に関する機能と効果

津波減災機能	機能により得られる減災効果	津波減災効果	関連する物理量	防潮林の条件
漂流物阻止	防潮林の漂流物阻止機能により，漂流物の衝突による家屋破壊の二次被害が予防される。	家屋被害の低減	浸水深，流速，樹高，胸高直径	胸高直径： d と浸水深： H の条件 $\begin{cases} d \leq 10 & H = 4.65 \\ d \geq 10 & d = 0.1H^2 \end{cases}$ $H < 3 \text{ m} \rightarrow$ 数列の幅でも効果あり。幅20m以上なら $H > 5 \text{ m}$ でも効果あり。（首藤，1985）
津波に対する抵抗	防潮林が津波に対して抵抗として働き，津波のエネルギーを減衰させ，浸水域，流勢を減少させる。	浸水域，流勢の減衰	浸水深，流速，防潮林幅	防潮林幅20m以上（首藤，1985）
砂丘自然堤防の形成	防潮林により砂丘が形成され，自然の堤防として津波の侵入を防ぐ。	流入津波の減少	浸水深，樹高，樹林密度，砂丘高	飛砂防止のためには林帯幅は日本海の海岸で150～200m，太平洋側で100～150m以上必要（石川，1988）
人が樹木につかまる	防潮林につかまり津波にさらわれないようにすることで，溺死するのをふせぐ。	人命救助	流速，浸水深，樹高	—

沿岸の自然による有益な防災機能を十分に活かした対策が取られるべきである。しかし、これらの防潮林の機能・効果が実際にどの程度の被害を軽減することができるのかと言った定量的な評価のためには、防潮林を考慮した数値計算により津波の浸水深、流速を評価し、これらの水理量による被害発生過程をふまえて効果を評価する必要がある。

2.3 防潮林による被害を拡大させる働き

一方、首藤（1985）は津波に対する防潮林の防災機能としてマイナスに働く項目について次の二点を指摘している。

巨大な津波に対しては防潮林自体が破壊され流されてしまい、防潮林の津波減災機能を果たさなくなる。このように防潮林の津波減災機能を理解するためには防潮林自体の破壊される限界についても理解が必要である。

防潮林自体が津波により破壊されてしまうと、樹木自体が漂流物となり津波とともに内陸へ押し流され家屋や構造物への衝突による二次被害を引き起こす可能性を持つ。松富（1996）は漂流物として流木を取り上げ、実物大の丸太を使った実験により衝突力の評価式を提案している。しかし樹木の破壊からの漂流による被害推定にまではいたっておらず、十分な知見は得られていない。

3. 我が国の沿岸での防潮林の諸元

3.1 防潮林諸元の現地調査

我が国沿岸に分布する防潮林の諸元について実際の防潮林の特徴を把握するために、宮城県北上川河口立神防潮林、宮城県志津川町松原防潮林、岩手県高田松原防潮林の3つの防潮林において防潮林諸元について現地調査を行った。北上川河口、志津川町公園の防潮林はチリ地震津波の際に防潮林による津波被害の減衰効果が報告されている（和泉ら、1961）。高田松原防潮林についても昭和三陸地震津波（1933年）、チリ地震津波（1960年）の際には家屋被害の軽減や漁船や漂流物侵入阻止の効果が報告されている（石川、1988）。



写真2 志津川町松原防潮林における調査状況

調査では10×10mの調査区画を設け、調査区画内の樹木の本数： N を測定し、調査区画内の全木に対し、巻き尺を用いて樹高1.2mにおける幹の周長： l_0 を計測し、幹を真円とした時の胸高直径： D_{tree} により平均胸高直径を求めている。

3.2 防潮林諸元の特徴

現地防潮林の減衰効果の評価のためには防潮林の諸条件が必要である。防潮林諸元の特徴を詳しく検討するため、北上川河口、志津川町松原、高田松原で行った独自の現地調査の結果に加え、油屋（2000）の仙台湾沿岸で行った現地調査結果、首藤（1985）の津波災害事例に関する文献調査結果、宗方ら（1991）の福島県いわき市のクロマツ造林林で行った

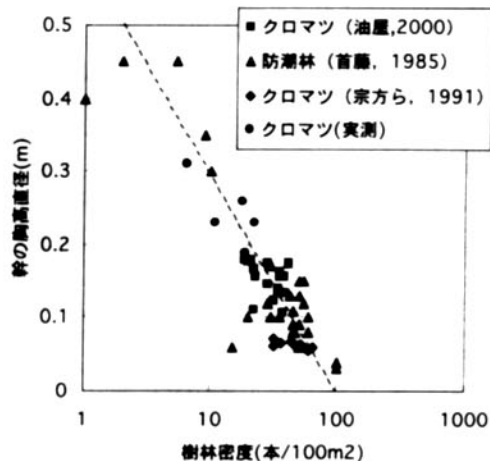


図2 樹林密度と胸高直径

現地調査結果を用いて防潮林の諸元の特徴について述べる。

図2に防潮林の樹林密度(本/100m²)と樹木胸高直径(m)の関係を示す。樹林密度が小さくなると幹の直径は大きくなる傾向にあり、この強い相関より、植林された防潮林の樹林密度が分かるとおおよその胸高直径が推測することができる。これにより、多くの防潮林条件の1つを減らすことができる。

また、クロマツは光の良くあたる場所で良く育つ陽樹であるため、密集しすぎると互いに光を奪い合い一本当たりの光量が少なくなり、光合成を行う葉の量が少なくなる。一般に自然界では無駄な機能・部分はほとんど発達しないため、光合成によって生産された物質や根から吸収された栄養の受け渡しの機能を持つ幹の太さは葉の量に応じて決まり、樹木が密集しすぎると太く育たなくなる(田中, 1998)といわれている。光を十分に獲得できないクロマツは生長できなくなり自然淘汰されたり、間伐されたりすることにより樹林帯密度を低下させるため、クロマツ林の密度と直径の関係は、樹木が生長していくことにより、植林直後の直径の小さな密集林から直径の大きな疎林へと遷移していく過程をとることになる。一般に植林時のクロマツは10,000本/haで植林されているが、間伐によ

る密度管理をすることにより5,000本/ha程度が樹木の生育環境と防災効果(ここでは密度低下=防災効果の低下としており、具体的な防災効果についての考察は十分されていない)を考えると適正な密度であると言われている(宗方ら, 1991)。従って、密度管理された防潮林の密度は50本/100m²程度であり、樹幹直径が0.13m程度であることが図2から推測される。

このように、ここで述べた樹林密度と胸高直径の強い相関から、防潮林の標準的な条件を推定することができる。推定された防潮林条件は、次に述べる実スケール数値計算による津波減衰効果を評価する際に用いる。この防潮林条件について検討することで防潮林を計画する際の津波減衰効果について、重要な情報を得ることができる。

4. 実スケール数値計算による定量的な津波減衰効果

4.1 計算条件および計算方法

防潮林条件の違いによる津波減衰効果を検討するために複雑な実地形ではなく、仙台湾の代表的な地形勾配を参考に簡略化した地形条件および防潮林条件を用いた(図3)。3節の現地防潮林条件を参考に防潮林幅は50、

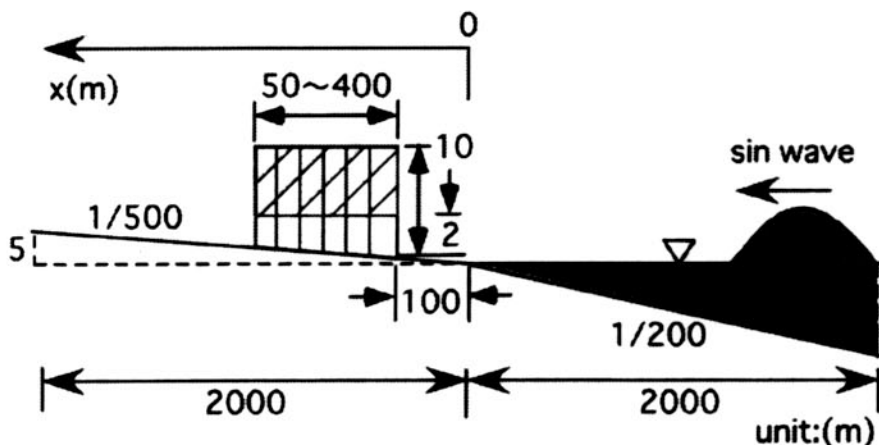


図3 数値計算の地形条件

100, 200, 400m, 樹林密度は10, 30, 50本/100m², 幹の直径は樹林密度に対応させて0.3, 0.15, 0.10mとし, 葉部は実測値を参考に投影面積比を0.65とした。樹高, 枝下高は10, 2mとした。ここで設定した樹林密度は疎林であり, 疎の場合の円柱を参考にして, 幹一本あたりの抗力係数 $C_{D-trunk}=1.1$, 慣性力係数 $C_{M-trunk}=2.0$ とした。葉部についても $C_{D-leaf}=1.1$, $C_{M-leaf}=2.0$ と仮定して計算を行った。また, 入射波条件として沖側境界より, 入射波振幅1, 2, 3 m, 周期10分のsin波を強制入力した。浸水深が約4 mを越えると樹木が折損や破壊の被害を受ける(首藤, 1985)ため, 樹木破壊を考慮していない本数値計算手法では浸水深が4 mを越え無いような入射波振幅として3 m以下のsin波を沖側境界より強制入力した。計算格子間隔は, $\Delta x = \Delta y = 50\text{m}$, $\Delta t = 1\text{sec}$ とした。

数値計算方法は原田ら(2000)の津波数値計算方法にならい, 植生モデルによる効果を数値シミュレーションモデルに取り入れるため浅水理論の運動方程式に防潮林の抵抗を表す項を流体力として付加した(1)式を用いる。流体力はMorison式を用いて抗力項と慣性力項を運動方程式に取り入れている。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M / M' + \frac{C_D}{2} \frac{A_v}{\Delta x \cdot \Delta y} \frac{M' / M'}{D^2} + C_M \frac{V_v}{V} \frac{\partial M}{\partial t} = 0 \quad \dots (1)$$

ここに, η は静水面からの水位変動量, M は線流量, D は全水深, n はManningの粗度係数, C_D , C_M は1メッシュあたりの樹木の抗力係数と慣性力係数, V は植生モデルの存在する区間における水面下の全体積, V_v , A_v は体積 V 中の植生モデルの占める体積および植生モデルの投影面積を意味する。 Δx , Δy はそれぞれの方向のメッシュサイズを表す。この方程式を数値的に差分して数値シミュレーションに用いた。ここで, 抗力項と慣性力項に用いた線流量 M' は模型の無い条件下での線流量であり, 抗力項, 慣性力項を用いないで数値シミュレーションを行った結果より用いた。

4.2 防潮林幅による津波の変化

計算結果の一例として, 入射波振幅3 m, 樹林密度10本/100m², 防潮林幅を0~400mに変化させた場合の各防潮林幅における最大浸水深比の空間分布を図4に示す。最大浸水深比は防潮林を考慮した計算結果と防潮林を考慮しないで計算した結果の比を意味しており, (2)式で表されるものである。

$$r_{\text{effective rate}} = \frac{(\text{max. value with forest})}{(\text{max. value without forest})} \quad \dots (2)$$

防潮林は $x=100\text{m}$ の地点より50, 100, 200, 400mの幅を持たせて設定しているため, 防潮林内陸側の後縁の位置は各防潮林幅により異

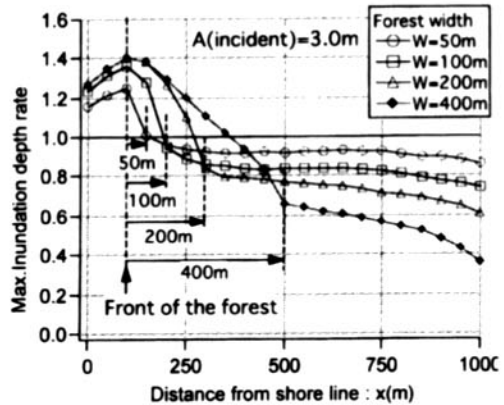


図4 最大浸水深比の空間分布(樹木密度10本/100m², 直径0.3m, 入射波振幅3 m)

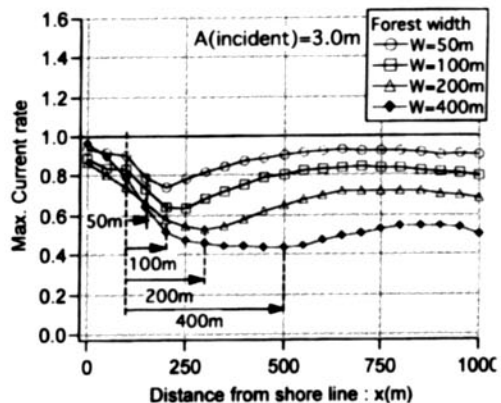


図5 最大流速比の空間分布(樹木密度10本/100m², 直径0.3m, 入射波振幅3 m)

なる。防潮林幅が大きくなると防潮林通過後の津波浸水深は小さくなる事がわかる。これは防潮林幅が長くなることにより防潮林による抵抗が大きくなるため、長くなるほど浸水深を低下させるためである。

図5に入射波振幅3m, 樹林密度10本/100m²の各防潮林幅の最大流速比の空間分布を示す。防潮林前面において防潮林からの反射により流速が低下している。また, 防潮林幅が増加すると防潮林通過後の流速の低下率が大きくなるが防潮林幅が大きくなると低下率の増加は小さくなる傾向にある事がわかる。これは浸水深と同様に, 防潮林幅が長くなることにより防潮林による抵抗が大きくなり流速低下量も大きくなるためであると考えられる。防潮林通過後の最大流速変化率の空間分布は, 防潮林通過直後より若干増加し変化率が1に平行になるように推移している。これは, 防潮林通過直後の範囲では流速比の分母にあたる防潮林を考慮した流速はあまり変化しない計算結果であったが分母にあたる防潮林を考慮しない流速は低下していくためであり, 防潮林から十分に離れた範囲では主に斜面の影響により流速が低下するため最大流速比1に平行に推移することになる。

図6に入射波振幅3m, 樹林密度10本/100m²の各防潮林幅の最大水流圧力比の空間分布を示す。防潮林前面から通過後の点まで

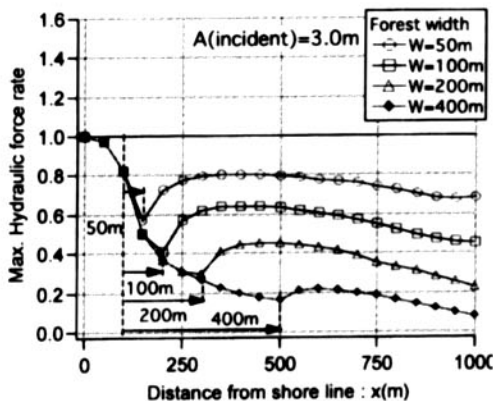


図6 最大水流圧力比の空間分布 (樹木密度10本/100m², 直径0.3m, 入射波振幅3m)

防潮林幅による最大水流圧力比は防潮林の幅に関係なく, ほぼ同一の曲線上で変化していることがわかる。水流圧力が流速の二乗が含まれているため水位よりも流速の影響を強く受けるため, 流速の傾向と同様の傾向を示している。

以上のように, 防潮林幅により津波の変化率が異なり, 防潮林からの距離によっても変化率が異なることを検討することができた。

4.3 樹林密度による津波減衰効果

次に防潮林密度の影響による津波減衰効果の変化について検討する。図7に防潮林幅50mの時の最大浸水深を防潮林が無いときの最大浸水深で割って求めた最大浸水深比の空間分布を示す。ここで示す比が1.0以下の時は防潮林により各量が減少していることを示し, 1.0以上の時は増加していることを示している。最大浸水深はx=100mの防潮林前面で反射により増加し, 防潮林通過後のx=150m以降で減衰している。樹林密度が小さな10本/100m² (d=0.3m)が反射, 減衰ともに他の2つの条件よりも小さい変化量を示している。30本/100m² (d=0.15m)と50本/100m² (d=0.1m)の樹林密度による違いは非常に小さい。数値計算では現地観測データに基づいて樹林密度に対応した幹の直径を変化させて与えている。計算結果より現地観測データに基づいて設定した樹林密度と幹直径による最

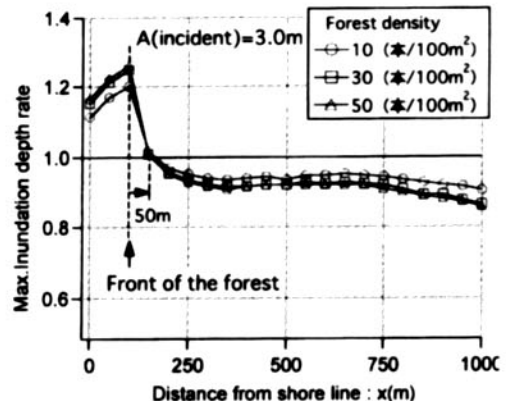


図7 最大浸水深比 (幅50m/防潮林無し)の空間分布

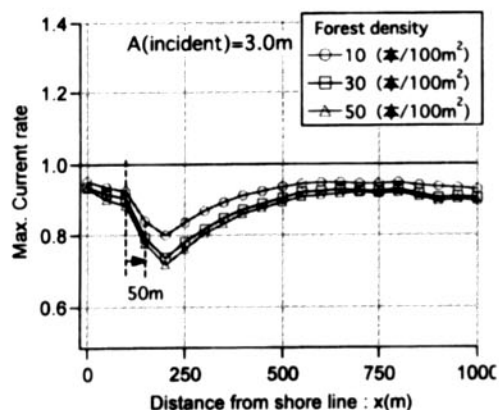


図8 最大流速比（幅50m／防潮林無し）の空間分布

大浸水深の変化は小さいと言える。

図8に防潮林幅50mの時の最大流速を防潮林が無いときの最大流速で割って求めた最大流速比の空間分布を示す。最大流速は防潮林前後の全ての位置において低下しており、防潮林による流速低減効果が算出されている。流速の低下率は防潮林背面が大きき防潮林から離れるにしたがって低下率は小さくなる。樹林密度による流速低減効果の変化は樹林密度が大きいくほど低下率は若干大きくなっているものの、その差異は小さく空間分布の形状も似ており現地防潮林密度に基づいた防潮林条件では流速低減効果に与える影響は小さいと言えることができる。

図9に防潮林幅50mの時の最大水流圧力を防潮林が無いときの最大水流圧力で割って求めた最大水流圧力比の空間分布を示す。水流圧力についても水位、流速と同様に樹林密度が大きいくほど低下率は大きくなるものの、現地防潮林条件に基づいた樹林密度の変化による影響は小さいく空間分布形状が似ていることがわかる。

以上のように、現地防潮林条件を参考にした防潮林密度の増加により津波の減衰が若干異なることを検討することができた。

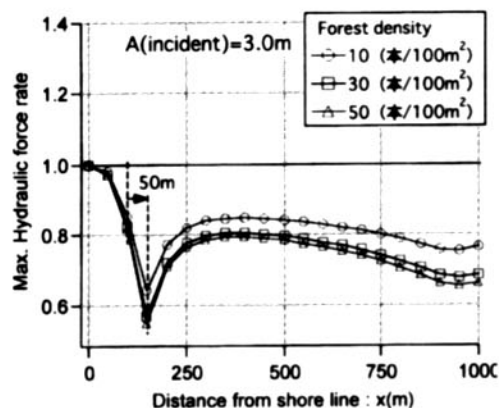


図9 最大水流圧力比（幅50m／防潮林無し）の空間分布

5. 数値計算による防潮林効果の評価

5.1 津波被害と防潮林効果

首藤（1992）は過去の津波被害事例調査より津波による被害と津波の規模（浸水深）の関係について表2の様に整理している。その中で、防潮林に関しては、津波波高が3m以下（津波強度1以下）では漂流物を阻止することができ、下生えが密であれば流勢も緩和できるとしている。しかし、防潮林条件の変化による影響や定量的な津波減衰効果については検討されていない。

ここでは、実スケール数値シミュレーションの結果を整理し防潮林条件の変化による津波減衰効果として防潮林通過直後における浸水深、流速、水流圧力の最大値の変化率について検討を行う。表2に防潮林による津波減衰効果を示す。実際の防潮林条件を参考にして、十分に生長した防潮林を想定し、図2で示した樹林密度と胸高直径の関係より代表的な防潮林の密度として30本/m²、胸高直径は0.15mの場合のシミュレーション結果について示す。各項目における数値は各防潮林幅における防潮林通過直後の位置での最大値を防潮林が無いときの最大値で割って求めた防潮林による津波の変化率を意味している。

5.2 防潮林効果の評価

表3より、遡上距離は防潮林幅の増加によ

表2 津波強度による津波携帯と被害程度のカテゴリ (首藤, 1992)

津波強度	0	1	2	3	4	5
津波波高 (m)	1	2	4	8	16	32
津波形態 ・緩斜面 ・急斜面	・岸で盛り上がる	・沖でも水の壁 第2波砕波 ・速い潮汐	・先端の砕波が増える	・第1波巻き波砕波		
木造家屋	部分的破壊		全面破壊			
石造家屋	持ちこたえる			全面破壊		
鉄・コン・ビル	持ちこたえる			全面破壊		
漁船		被害発生	被害率 50%	被害率100%		
防潮林	被害軽減, 漂流物阻止, 津波軽減		部分的被害 漂流物阻止	全面的被害 無効果		
養殖筏	被害発生					
沿岸集落		被害発生	被害率 50%	被害率100%		

表3 防潮林による津波減衰効果

津波波高 (m)		1	2	3
防潮林の破壊限界 (首藤, 1985)		被害軽減, 漂流物阻止, 津波軽減		
遡上距離	防潮林幅 50m	1.0	0.96	0.94
	100m	0.93	0.92	0.88
	200m	0.80	0.80	0.82
	400m	0.73	0.72	0.73
浸水深	防潮林幅 50	0.96	0.99	0.98
	100	0.92	0.95	0.95
	200	0.84	0.86	0.79
	400	0.69	0.69	0.66
流速	防潮林幅 50	0.85	0.83	0.55
	100	0.74	0.69	0.43
	200	0.54	0.55	0.31
	400	0.41	0.44	0.16
水流圧力	防潮林幅 50	0.58	0.55	0.57
	100	0.47	0.43	0.41
	200	0.36	0.31	0.30
	400	0.15	0.16	0.16

り変化率が1.0~0.72まで減少していき、1~3mの入射波振幅の変化による影響は小さい結果となった。また、浸水深は防潮林の幅の増加により変化率が0.99~0.66にまで減少していくが、入射波振幅の変化による影響は浸水深の変化率へは小さい結果となっている。これらの結果は油屋(2000)の行った防潮林効果に関する数値計算結果(入射波振幅が2mの津波に対して防潮林幅が50mの時には防潮林通過後の減衰率が約0.05であり、防潮林幅が700mの時には減衰率が約0.4まで増加する)と同様の結果である。

津波による被害に対する減衰効果を検討するためには浸水域、浸水深以外にも流速に強く影響を受けて生じる被害についても考慮する必要がある。次に流速の変化率について検討すると、防潮林幅の増加により流速は0.85~0.16まで低下しており、これは水位と比較すると大きな低下率である。さらに津波による家屋被害推定に用いられる(羽鳥, 1984)水流圧力の変化率について検討すると、防潮林幅の増加により水流圧力は0.58~0.15まで低下しており、他の項目と比べて最も大きな低下率になっている。

以上のことより、表3は首藤(1985)の示した表2の防潮林の効果判定を定量的な津波減衰効果として補うだけでなく、防潮林を計画する際に期待される津波減衰率を見積もるための1つの基準として用いることが可能である。

6. おわりに

防潮林による津波被害軽減効果の実態を明らかにするために、過去の津波被害事例や参考文献整理した結果、主要な津波減災機能として①漂流物の移動阻止②津波エネルギーの減衰③自然堤防(砂丘)形成④人命救助の機能および被害軽減効果があることがわかり、防潮林の防災機能を積極的に利用するための重要な知見を得た。ただし、巨大津波に対しては防潮林破壊により樹木自体が漂流物となり被害を拡大させる可能性もある。

また、防潮林の防潮林諸元の特徴について

把握するため、現地調査および文献資料より防潮林諸元の情報について樹林密度と胸高直径には強い相関があり、樹林密度が小さくなると胸高直径は大きくなり、樹林密度から平均的な胸高直径を推定できることを示すことができた。

さらに、防潮林の津波減衰効果を検討するために、実際の防潮林条件を参考に樹林密度と直径を設定し、防潮林の抵抗を考慮した数値計算を行った結果、防潮林背後において浸水域、浸水深だけでなく流速、水流圧力も、防潮林幅の増加により低下率が増加し、樹林密度の増加により低減率が若干増加することがわかった。浸水域、浸水深より予測される浸水被害の軽減効果に比べ、流速、水流圧力の低下率は大きく、津波の流体力による家屋破壊等の被害軽減効果が大きい事がわかった。これらの数値計算結果より、防潮林による津波減衰・減災効果を定量的に評価することが可能となり、防潮林を津波対策に積極的に用いるための有益な情報を得ることができた。

謝 辞

本研究の一部は科学研究費補助金(特別研究員奨励費)の補助を受けて行われた。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 油屋貴子(2000):仙台湾沿岸における防潮林の津波減衰効果,東北大学卒業論文,p.60.
石川政幸(1988):森林の防霧,防潮,飛砂防止機能,社団法人日本治山治水協会,83p.
和泉健・安部倫次・山内尚・土井恭(1961):チリ地震津波における防潮林の効果に関する考察,宮城県立農業試験場臨時報告,第5号,41p.
加藤愛雄(1948):防潮林の防浪効果について,防潮林経営研究録,林友会青森支部,pp.46-49.
首藤伸夫(1985):防潮林の津波に対する効果

- と限界, 海岸工学論文集, 第32巻, pp.465-469.
- 首藤伸夫 (1992): 津波強度と被害, 津波工学研究報告, 第9号, pp.101-136.
- 田中和博 (1998): 森の混み具合を調べる, 森を調べる50の方法, 日本林業技術協会, pp.74-77.
- 羽鳥徳太郎 (1984): 津波による家屋の被害率, 地震研究所彙報, vol.59, pp.433-439.
- 原田賢治・油屋貴子・Latief Hamzah・今村文彦 (2000): 防潮林の津波に対する減衰効果の検討, 海岸工学講演会論文集, 第47巻, pp.366-370.
- 原田賢治 (2003): 防潮林の津波減災効果に関する水理学的研究, 東北大学学位論文, p143.
- 松富英夫 (1996): 大規模実験に基づく流木衝突力の評価法, 東北大学工学部津波工学研究報告, 第13号, pp.155-121.
- 宗方宏幸・大槻見太・荒井賛・柳田範久 (1991): 海岸防災林に関する研究—クロマツ海岸林の保育管理—, 福島県林業試験場研究報告, 第29号, pp.1-12.
- 望月利男 (1994): 1993年北海道南西沖地震の総合調査研究報告, 東京都立大学都市研究センター都市防災・安全部門研究室, 156p.