

平成21年5月30日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560515

研究課題名（和文） 森林生態学を応用した海岸林の津波減災機能の向上に関する研究

研究課題名（英文） Study on improvement of mitigation ability against tsunami disasters of coastal forests by applying forest ecology

研究代表者

浅野 敏之（ASANO TOSHIYUKI）

鹿児島大学・工学部・教授

研究者番号：40111918

研究成果の概要：海岸林は平常時には景観や生態系に便益を与え、津波来襲の非常時には流体抵抗によって津波の力を減殺させる。そのため海岸林は防災と環境を両立させる魅力的な津波防災対策と言える。海岸林の活用を考える時、樹木群の生長・競争・淘汰など生物体としての特性の検討が不可欠である。本研究は、海岸林の森林生態学特性に着目して津波防潮林としての機能評価を行おうとしたもので、樹木形状と樹林群落のモデル化、津波減衰効果の水理学的検討、津波減災能力の高度化、の3課題を検討した。海岸林の現地調査や津波波高減衰の数値シミュレーションなどを通じて、海岸林の津波防潮施設としての活用に資する知見を得た。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004年度			
2005年度			
2006年度			
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：海岸工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：津波、海岸防災、波高減衰、海岸林、森林生態学、景観との調和

## 1. 研究開始当初の背景

約30万人の犠牲者を出した2004年のスマトラ沖津波において、海岸のマングローブ林が果たした津波減災効果が注目を集めている。マングローブやマツ林などの海岸林の建設は、平常時には景観や生態系に便益を与えるため、防災と環境を両立させる魅力的な津波防災対策と言える。

海岸林による津波減災効果については、過去にも少数ではあるが実験的・理論的な研究が報告されてきたが、このスマトラ沖津波を

契機として研究が活発になってきた。しかし、ほとんどの研究は海岸林の生態特性を全く無視し、立木密度と幹直径・樹高などをあたかも無機的な構造物のように独立に与えている。海岸林はコンクリート構造物のような無機物とは異なり、個々の樹木の生長、隣接する樹木との競争淘汰、環境要因の影響など生物体としての特性を考慮する必要がある。

本研究は、海岸林の森林生態学特性に着目し、個々の樹木の形態的な特性や樹木群落としての生長特性を考慮に入れて津波防潮林の機能を評価することを目的に研究を開始した。

## 2. 研究の目的

本研究は、海岸林を津波防潮林として活用するための設計・管理に資する基礎的な知見を得ることを目的とし、以下の3つの課題の解明に取り組んだ。

### (1) 樹木形状と樹林群落のモデル化

津波防潮林としてマツ林を取り上げ、流体抵抗の機能要素となる胸高直径・樹高・枝下率・樹冠葉量などの特性を明らかにする。海岸林の津波減衰効果を考察する上で必要な、幹・枝・葉部など各器官間の相対関係（アロメトリ）や、各器官と繁茂密度との関係を明らかにする。こうした研究を通じて、津波に作用する樹木群の流体抵抗を普遍的に記述する樹木形状モデル・樹林群落モデルの確立に努める。

### (2) 津波減衰効果の水理学的検討

海岸林に來襲する津波の変形過程を解析するために、波の非線形性・分散性等に着目して適切な数値モデルを確立する。幹・枝・葉部を持つ樹木形状は3次元的であり、(1)の課題で明らかにする各器官間の相対関係も考慮する必要がある。こうした樹木群落の形状抵抗をモデルに組み込んで、海岸林による津波変形を記述する数値計算モデルの確立に努める。

### (3) 津波減災能力の高度化

上記2つの課題の成果を総合し、所定の津波減衰機能を得るのに必要な津波防潮林の林幅や樹木密度を考察し、津波防潮林の設計法の確立に資する知見を取得する。

海岸林の津波減災効果は、個々の樹木の生長、隣接する樹木との競合・淘汰などにより、林齢とともに津波減災機能が変化することが考えられる。森林生態学的な見地から、長期にわたって海岸林が津波防災機能を果たすような、密度管理・樹形管理・更新技術を考察する。

## 3. 研究の方法

### (1) 樹木形状と樹林群落のモデル化

鹿児島県大崎町「くにの松原」において、海岸林の立木密度と、個々の樹木の樹高、樹冠長、枝下高ならびに幹・枝・葉などの寸法について現地調査をおこなった。

現地観測は、2007年10月30日～11月2日および2008年12月11日に実施した。立木密

度の異なる計33点の標本地（プロット）を選定し、胸高幹直径・樹高・（生・枯）枝下高・樹冠直径・幹傾斜角・枝の分岐角等を測定し、それらの諸量と立木密度や海岸線からの距離との関係を調べた。

### (2) 津波減衰効果の水理学的検討

海岸林を樹冠部と幹枝部の2層から成る透過性構造物としてモデル化し、この上を遡上する津波の減衰状況を数値シミュレーションによって検討した。



図-1 海岸林のモデル化

本研究では複雑な自由表面の形状を解析できる流体解析モデルCADMAS-SURFを適用した。海岸林を、図-1に示すように樹冠部領域と幹枝領域の2層に分割し、それぞれに異なる空隙率 $\gamma_v$ を持つ透過性構造物（ポーラスモデル）でモデル化した。数値解析の基礎方程式は、Navier-Stokes式と連続式をポーラスモデルに基づいて拡張したもので、自由水面解析モデルはVOF法によった。

### (3) 津波減災能力の高度化

海岸林は、森林法では飛砂防備・防風・潮害防備の保安林に位置づけられており、津波防災を目的に造成されたものではない。そのため、津波に対して防災効果の高い海岸林を造成・育成・管理する手法については、現在に至るまでほとんど研究されていない。

そこで本研究においては、海岸林の持つ津波減衰効果を繁茂規模や地形条件などの客観的データに基づいて定量的に検討しようとした。わが国の代表的な海岸林で津波災害が危惧される地域のものを選定し、それぞれについて海岸林の持つ防災機能を評価した。各自治体から海岸林がある地区の等高線のある地形図（縮尺2500分の1）を取り寄せ、衛星写真・航空写真も参考にしながら、海岸線の幅・延長とその周辺の地形標高、海岸線や背後地の集落との位置関係を読み取り、海岸断面図を作成した。

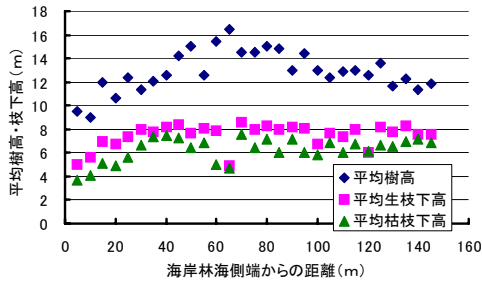


図-2 平均樹高・枝下高と海岸林海側端からの距離との関係

#### 4. 研究成果

##### (1) 樹木形状と樹林群落のモデル化

図-2は5m×5mの標本地プロット内の樹木の平均樹高と平均枝下高を、海岸林海側端からの距離を横軸にとって示したものである。図より、海側端から40m程度までは、海からの強風や潮害の影響によって樹高や枝下高が低くなるのがわかる。ここには結果は示していないが、平均胸高幹直径や樹冠直径・樹冠高についても海側端近くでは海風や潮害による成長の阻害影響が見られることがわかった。さらにこの海側端の領域では枝の傾斜角も海風の影響で傾くことが認められた。

林分内の樹木群は、林冠がいったん閉鎖され周辺の樹木との間の日照の争奪競争が開始されると、樹木の生長は立木密度 $M$ に支配されるようになる。図-3は立木密度 $N$ と胸高直径 $D_{BH}$ の関係を示したもので、 $N$ と $D_{BH}$ は逆相関の関係にあることがわかる。幹の太い樹木は樹木間競争に勝ち残った樹であり、その段階の林分では立木密度は小さくなる。同様の考察を、樹高、樹冠幅、形状比（樹高と胸高直径の比）についても行った。その結果、立木密度が小さいほど樹高・樹冠幅が大きくなる関係が明確に認められた。形状比については立木密度との関係は明確ではなかった。

樹冠幅や樹冠長を特性長とする樹冠部は、津波に対する流体抵抗に大きく寄与する。胸高直径が太いほど、また形状比が小さいほど太くがっしりした樹形となり、津波の大きな流体力を受けたときにも倒伏・折損をせず、流体抵抗として機能する。本研究より、津波に対する流体抵抗の観点に立った樹木形状特性が明らかとなり、海岸林の津波に対する流体抵抗のモデル化に有用な結果を得た。

##### (2) 津波減衰効果の水理学的検討

海岸林による津波減衰効果を、水位変動と水粒子速度の減衰に着目して解析した。計算

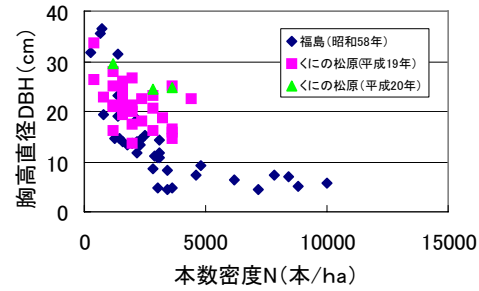


図-3 立木密度と胸高直径の関係

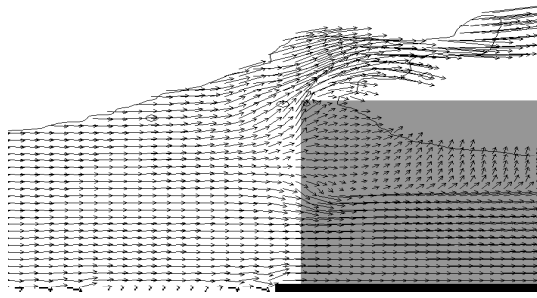
条件は、海底地形・津波波高・水深などの入力条件を共通とし、海岸林がある場合と無い場合を実施し、海岸林の津波減衰効果を抽出した。海岸林の立木密度・樹高・枝下高などの諸量は共通とした。津波減衰には樹木の抗力係数 $C_d$ が重要なパラメータとなることが分かったので、海岸林がある場合は、樹冠部領域・幹枝部領域ともに抗力係数 $C_d=0.4$ （これをCASE-Aとする）、 $C_d=0.8$ （CASE-B）、 $C_d=1.0$ （CASE-C）、 $C_d=2.0$ （CASE-D）の4通りを設定した。

図-4は、津波が海岸林を遡上する時の流速ベクトル図を示したもので、海岸林前縁部に衝突した津波流体塊は樹冠部の上方に打ち上げられ(上図)、その後落下した水塊は樹冠部上を伝搬していく(下図)。時間の経過とともに、津波による流体塊の運動は、流体抵抗の小さい海岸林内の下層部(幹枝部)に潜り込み、そこでの水平流速が大きくなる。一方、樹冠部では流速の水平成分はほとんどなく、それ以前に樹冠部を乗り越えた水塊が樹冠部内を鉛直下方に流下していくことがわかった。

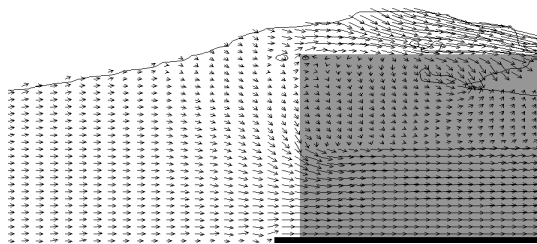
図-5は、水位変動の時間波形を示したもので、上図は海岸林前面から100m内部に入った点における時間波形を、下図は300m内部まで伝搬していった時の時間波形を示している。これより、津波が海岸林を伝搬していく過程で水位がどのように減衰していくかが読み取れる。ポラスモデル無しとの比較から、海岸林の津波減衰能力が評価できる。また、樹木抵抗係数 $C_d$ の効果も図から読み取れる。上図と下図の比較から、津波が海岸林内を伝搬するにつれての波高減衰状況がわかる。

以上の考察は、津波の流速変動やエネルギーフラックスの時間波形に対しても実施した。

本研究の数値解析によって海岸林による津波エネルギーの減衰過程を定量的に明らかにすることができた。



(1) 計算開始から 76.2s 後



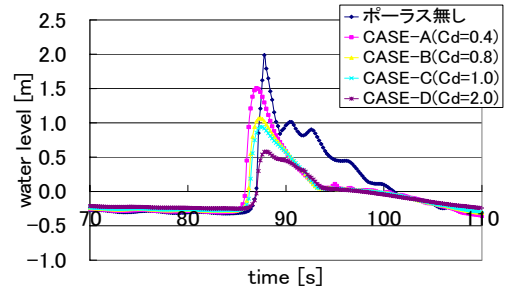
(2) 計算開始から 76.8 秒後

図-4 津波が海岸林を遡上する時の流速ベクトル図

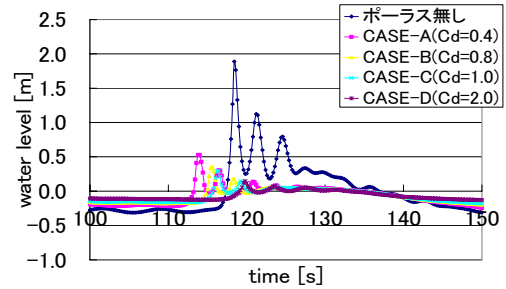
### (3) 津波減災能力の高度化

わが国の代表的な海岸林 12 地点を選定し、海岸林の幅、地盤高、海岸線からの距離、背後地の利用状況などを調べた。図-6 にその結果の一例を示す。

陸前高田の海岸林は、明治三陸津波で大きな減災効果を発揮したとの記録があるが、地盤標高は最高点でも約 3m しかない。林帯幅を拡張するなどにより海岸林の津波減災効果を十分に確保すべきと考える。九十九里海岸林は全長 54km と選定した 12 の海岸林の中では最も規模が大きい。全体を通じて最大標高は 5~7m 程度であり、背後地はさらに地盤高が低く平坦な地形となっている。地形の持つ津波防災力は必ずしも十分とは言えず、海岸林の育成・管理により津波防災に果たす役割にも期待しなければならない。千本松原の海岸林は立地する地形の最高点は 10m を越え、安全度はかなり高い。これに加え、林帯の前縁部には T.P.+17m の巨大な防潮堤があるためこの地域は既に十分な津波防災力を持っていると言える。しかし、背後地は住宅や工場が集積しており、海岸林には破損した船舶や家屋を阻止し、背後地を守る副次的効果などが期待される。



(海岸林前面から内部に 100m 地点)

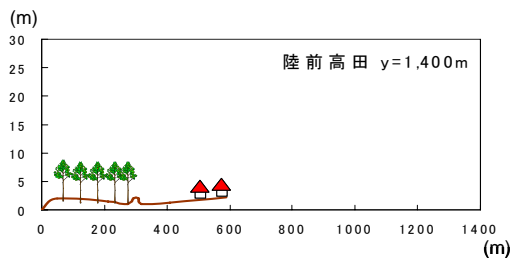


(海岸林前面から内部に 300m 地点)

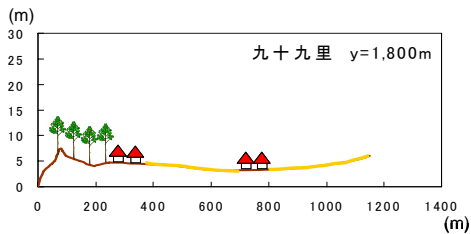
図-5 海岸林の有無による津波波高減衰の比較

本研究では、わが国の海岸林を津波防潮施設として評価した。地盤標高が十分でない地域、背後地に人口が集積する地域を明らかにし、こうした地域では海岸林の減災効果が十分発揮できるよう林帯幅の拡張、樹木群の育成・管理をすべきと提言した。一方では既に十分な地盤標高を有していたり、前面に高い防潮堤防が設置されている海岸もある。こうした地点では、海岸林に津波防潮機能を期待する必要が無いと考えられるが、津波を起因させる地震によって防潮堤の倒壊や地盤液状化による沈下なども報告されており、海岸林による津波防潮機能の 2 次的な備えが現実的に役立つことも予想される。

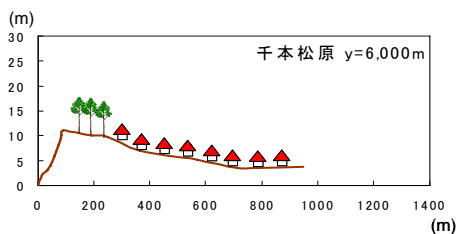
以上の考察は、あくまでも断面地形から判断したものであって、海・陸の地形によって津波エネルギーの集中する箇所や、河川遡上を通じて越流することも考えられ、個々の海岸を詳細地形にわたって考察することが別途必要であることを指摘した。海岸林は地域の津波防災に 1 次的にせよ副次的にせよ役立っており、長期にわたって海岸林が津波防災機能を保つための適切な保育、密度管理、更新が必要である。



(a) 陸前高田海岸



(b) 九十九里浜



(c) 千本松原

図-6 わが国の代表的な海岸林の断面図

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 瀬戸口修造・浅野敏之：海岸林を遡上する津波の減衰に関する数値シミュレーション，査読有，海洋開発論文集，第34巻，2009（印刷中）。
- ② 浅野敏之・松元千加子・永野彩佳：津波防災施設としてのわが国海岸林の機能評価に関する研究，査読有，海岸工学論文集，第56巻，2009（印刷中）
- ③ Toshiyuki Asano： Time varying tsunami attenuation ability of coastal forests based on forest growth models，査読有，Coastal Engineering Journal, Vol.50, No.3, 2008, pp.325-348..

[学会発表] (計4件)

- ① 瀬戸口修造・浅野敏之：海岸林を遡上する津波の減衰に関する数値シミュレーション，査読無，平成20年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2009，pp.357-358.
- ② 永野彩佳・浅野敏之：津波防災資源として

のわが国海岸林の調査，査読無，平成20年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2009，pp.359-360.

- ③ 松元千加子・北山剛史・内園憲仁・浅野敏之：津波防潮機能に着目した海岸林の樹木形状の現地観測，査読無，平成20年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2009，pp.361-362.
- ④ Toshiyuki Asano： Evaluation of tsunami attenuation ability of coastal forests based on tree morphology，（概要査読） Proc. 31<sup>st</sup> Inter. Conf. Coastal Engrg., 2008（印刷中）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

浅野 敏之 (ASANO TOSHIYUKI)

鹿児島大学・工学部・教授

研究者番号：40111918

### (2) 研究分担者

寺岡 行雄 (TERAOKA YUKIO)

鹿児島大学・農学部・准教授

研究者番号：40264105

### (3) 連携研究者

なし