

地形情報と想定津波高に基づいたわが国海岸林の津波防災能力の評価

浅野敏之^{1*}・植村潤一¹・松元千加子¹

Functional Assessments on Coastal Forests in Japan as Tsunami Barrier Facilities Based on Land Altitude and Expected Tsunami Run-up Height

Toshiyuki Asano^{1*}, Junichi Uemura¹ and Chikako Matsumoto¹

Abstract: Recently, coastal forests have received much attention for their concurrent benefits for environment and tsunami disaster protection. This study has surveyed coastal forests in Japan from viewpoints of tsunami barrier functions. Using detailed land maps and satellite images, their topographic properties, such as altitude, distance from the shoreline, growth areas, etc. are investigated. Next, for each area of the selected coastal forests, the expected tsunami run-up heights which were published by the central and local governments are surveyed. Based on both aspects of the land altitude properties and tsunami vulnerabilities, assessments on the expected tsunami reduction ability of the coastal forests have been performed.

1. はじめに

1.1 研究の背景

これまでのわが国の津波防災対策は、主として津波防潮堤、津波防波堤、津波水門などコンクリート等の構造物建設によるハードな対策に頼ってきた(土木学会, 2000). 近年、環境保全と防災を両立させる津波対策として海岸林の活用が注目されている。

わが国では、釜石・大船渡などで湾口部に津波防波堤が建設されてきたが、こうした津波対策は、平常時の海への眺望やアクセスを阻害し、港内外の水質交換を妨げ、さらには巨大な建設費を要するために、最近の環境問題・財政問題の観点から魅力ある対策とは言えなくなってきた。沿岸部に位置する海岸林は、その地域の自然・景観・文化の大きな構成要素となっている。海岸林が地域の景観・環境に貢献するとともに、その存在が津波防災効果を持てたいへん望ましいことである。このような観点から、仙台湾沿岸における海岸林の津波減災力の試算(原田ら, 2000)などの研究が行われるようになった。

一方、東南アジア諸国では一般に多大な建設費を要する構造物による対策が現実的ではなく、造成コストの面からも、海岸林による津波対策がきわめて有力となっている。2500名を超える死者が発生した

1998年パプアニューギニア津波の復興会議では、密生したマングローブや常緑樹によって津波被害を軽減しようとする試みが提案されており(Hiraishi, 2000), その後の2000年スラウェシ島津波(Amri, 2002)や、死者・行方不明者25万人を超えるインド洋大津波(Danielsen et al., 2005, 田中ら, 2005)においても、沿岸のマングローブ林が津波の流体力を減衰させ、背後の集落の被害を軽減したことが報告されている。アジア・太平洋経済協力会議(APEC)の関連活動として地震・津波災害軽減技術の開発プロジェクト(APEC-EqTAP)が、1999年から2003年度に実施されたが、その中で海岸林の活用による津波軽減技術の開発が、わが国とインドネシアをはじめとするアジア諸国の間で議論され、国際技術協力として大いなる成果を挙げている(Subandono, 2005, Widjo, 2005)。

このように海岸林の活用は、国の内外を問わず今日的で魅力的な津波対策と言える。国土保全・防災を主題とする土木工学の研究者も、海岸林に大きな関心を抱くようになってきた。土木工学の津波防災の分野では、以前から海岸林による津波エネルギーの軽減効果が研究されてきた(たとえば首藤, 1985)。これまでの研究では、樹木に作用する津波流の特性など流体力学に主眼を置いた研究がほとんどであったが(例えば原田・今村, 2003, 今井ら 2004), 最近では枝や樹冠部の流体抵抗を評価する上で樹木形態の特性を考察に取り入れたり(今井・鈴木, 2005, 浅野ら, 2007), 樹木の生長や立木密度の年代的な変化を考慮して防潮林の津波機能を評価する研究(浅野・岩塚, 2006)など、林学の知見を組み込んだ研究が発表されるようになってきた。

一方、林学の分野においても古くから海岸林の持

¹ 鹿児島大学大学院 理工学研究科 海洋土木工学専攻, Dept. of Ocean Civil Engrg., Faculty of Engineering and Science, Kagoshima Univ., 1-21-40, Korimoto, Kagoshima, 890-0065, Japan

*Corresponding author: asano @ oce.kagoshima-u.ac.jp

つ津波災害に対する防潮機能が研究されており、たとえば石川(1992)に歴史的な研究が紹介されている。近年、林野庁は、津波に対する防災機能の高い海岸林の造成・育成・保全管理について研究を開始している(林野庁, 2005)。その報告書では、わが国の津波危険地帯にある海岸林の管理・施業・住民による利用状況や、林分内容、保全管理の状況などが示されている。

しかし、海岸林はもともと防風・潮害防備・飛砂防備を目的とし、津波防災を目的に造成されたものではない。よって、この課題の本格的な研究はきわめて少なく、現状の理解は不十分な状況と言える。海岸林の林帯幅、海岸線からの距離、地盤標高、立木密度などが与えられたとき、定量的にどの程度の津波被害の軽減効果が見込まれるのか、こうした見地に立った信頼できる研究が十分には蓄積されていない。そのために、現状では海岸林を適切に育成・管理すれば津波防災施設として大きく貢献するものであるのに、その活用が図れていない場合や、逆に、現状の規模・状態の海岸林に対して過度の津波防災効果を期待してしまう場合など、合理的な海岸林の津波防災能力の評価がなされていない。

1.2 本研究の方針

本研究は、上述の観点から海岸林の持つ津波防災能力を、海岸林の林帯幅や地形条件などの客観的デー

タから評価しようとした。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、それぞれについて地盤標高や海岸林の規模と位置、背後地の状況を調べ、海岸林の持つ防災機能を評価した。ただし本研究では、地形図や衛星写真といった平面的情報を資料とし、樹高・胸高直径などの樹木形状特性、立木密度などの林分内容までは立ち入らないことにした。

近年、中央防災会議や各自治体から、各地域に来襲が危惧される想定地震津波の津波高さの高精度計算結果が公開されている(例えば中央防災会議, 2003)。本研究では、海岸林の地形資料解析に加えて、現地における想定地震津波の津波高を考慮に入れ、個々の地域の海岸林が持つ津波防災能力の評価を行う。

2. 海岸林調査の方法

2.1 海岸林の選定

渡辺(1985)は、日本及びその周辺と外国の沿岸で発生した津波で日本の沿岸に影響を与えたものを、歴史的に総覧の形で資料にまとめている。過去の津波の震源の分布図によると、大きな震源は三陸沿岸、東南海道、南海道に集まっている。これらは、ユーラシアプレートと太平洋プレート、フィリピン海プレートの境界に位置するが、1983年の日本海中部地震津波、1993年の北海道南西沖津波は日本海を南北に走るプレート境界で発生している。図-1は、中央防災会議(2003)によってまとめられた東南海・南海

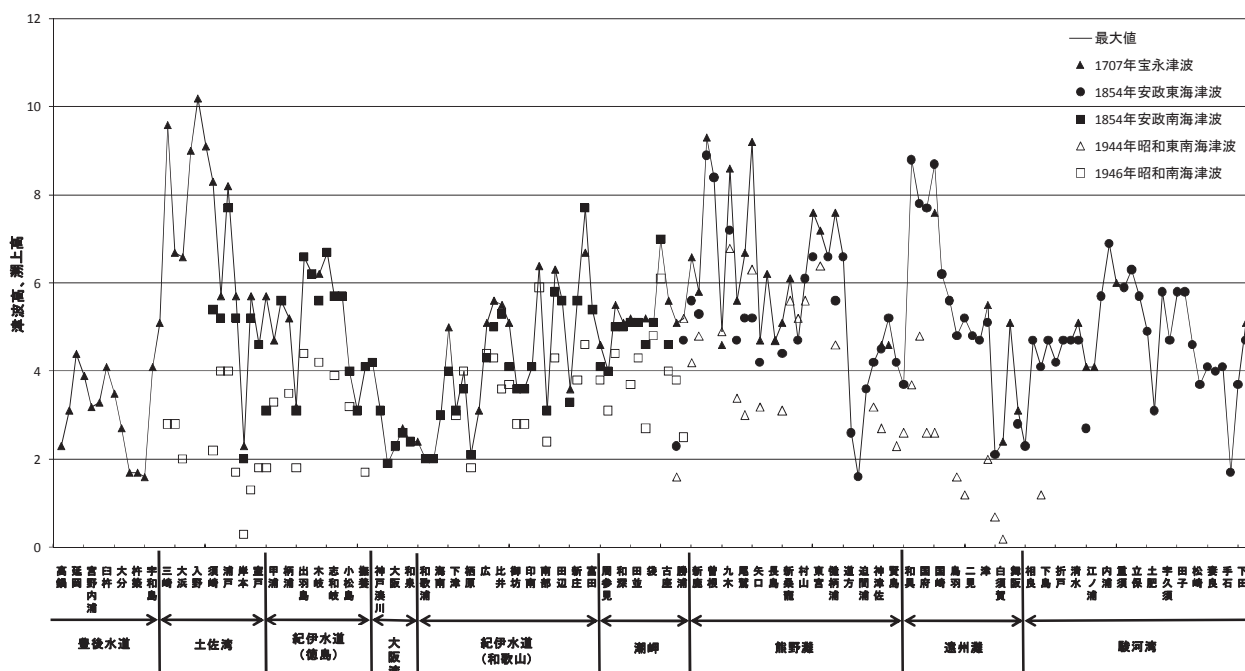


図-1 過去の地震における津波の高さ (中央防災会議, 2003)

道沿岸における過去の地震による津波の高さを示したもので、1707 年宝永地震・1854 年安政東海地震・1854 年安政南海地震・1944 年昭和東南海地震・1946 年昭和南海地震の 5 地震による津波高を示している。図より、三重県鳥羽・賢島・尾鷲、和歌山県勝浦などで 10m 近い津波高が得られているが、この力学的増幅機構にはリアス式 V 字地形による津波エネルギーの集中が含まれている。一方、土佐湾の須崎・入野などでは湾形がさほど入り組んでいないにもかかわらず、宝永地震では 10m 程度の津波高が起こっている。

本研究では、図-1 などを参考にして過去に大規模な津波の来襲があった地域や、近い将来大規模な津波の来襲が予想される地域にある海岸林を選定した。その海岸林をリストとして示したものが表-1 である。この中の多くは、規模が大きく地域を代表するマツ林である。最後の 5 つの海岸林は、著者らの大学に近い海岸林で、現地調査が容易なため取り上げた。

2.2 海岸林の地形情報の読み取り

表-1 に示す海岸林について林帯幅や海岸林前縁の汀線からの距離などの諸元を衛星写真から読み取った。また、各自治体から海岸林がある地区の微細な地形情報が掲載されている地形図(縮尺 2500 分の 1)を取り寄せ、地盤標高や海岸林の位置を読み取った。これに衛星写真・航空写真も参考にしながら、海岸林とその周辺の標高、海岸線や背後地の集落との位置関係を示す海岸断面図を作成した。

この断面図は、全長の長い海岸林については約 3000m ごとに、短い海岸林についても 3~5 断面を確保するよう作成した。例えば九十九里海岸林では 17 断面、庄内海岸林では 11 断面について解析した。一般に同じ海岸林であっても、沿岸方向に林帯幅や地盤標高は変化する。また背後地の土地利用状況も異なり、場所によっては海岸に突堤・離岸堤などが建設されていたり、林の一部がゴルフ場として開発されている場合もある。本研究は、津波防潮の観点からわが国の海岸林の現状を広く調べるのが目的であり、以下では紙幅の関係から、多数解析した断面の中で平均的な特性を示す代表的な 1~2 断面を抽出し、それに基づいて個々の海岸林の津波防災能力

表-1 選定した海岸林の諸元

海岸林名	中心市町村	平均林帯幅(m)	最大林帯幅(m)	汀線からの距離(m)	全長(m)
庄内海岸林	山形県酒田市	358	640	192	33,090
陸前高田松原	岩手県陸前高田市	84	260	54	2,050
九十九里海岸林	千葉県一宮町	134	290	110	53,880
湘南海岸林	神奈川県平塚市	72	160	81	12,800
千本松原	静岡県沼津市	142	240	92	14,960
煙樹ヶ浜	和歌山県美浜町	286	490	130	3,530
入野松原	高知県黒潮町	237	280	170	2,300
長浜海岸林	宮崎県延岡市	205	370	81	4,930
小倉ヶ浜海岸林	宮崎県日向市	347	530	95	3,370
一つ葉海岸林	宮崎県宮崎市	486	730	88	14,220
日南海岸林	宮崎県日南市	99	120	47	2,280
くいの松原	鹿児島県志布志市	550	840	110	12,880

を評価することにした。結果の図面は次節で示すが、横軸には汀線からの距離を、縦軸は地盤標高をとっている。図中の樹木はその分布位置を表したもので、実際の樹高・立木密度とは関係がない。なお、海岸林は林齢とともに隣接樹木との競合によって自己間引きを行い、さらに人的伐採や開発行為、虫害などの影響を受ける。表-1 および図-2~14 に示した林帯幅などの諸量は地形図作成時あるいは衛星写真撮影時のものであって、時間的に不変のものではないことを付記しておく。

3. 各海岸林の津波防災能力の評価結果

3.1 山形県庄内海岸林

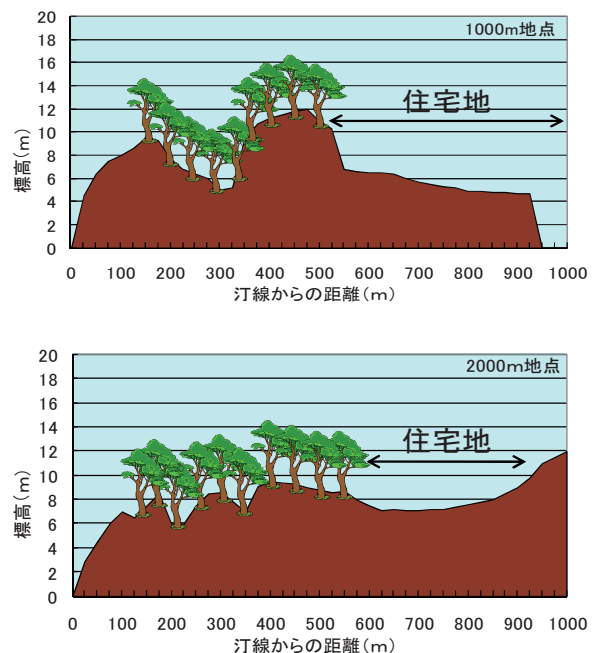


図-2 庄内海岸林の断面地形

庄内海岸林は、北は遊佐町吹浦から南は鶴岡市湯野浜に至る全長 33km、最大林帯幅が 640m とわが国でも屈指の規模を持つ海岸林である。表-1 に示したように汀線からの距離は平均で 192m と、今回選定した海岸林の中では最も大きく、汀線から離れて位置することがわかる。この地域は 1833 年の山形県沖地震や 1983 年の日本海中部地震等で津波被害を受けている。山形県(2010)では過去の地震をもとに発生する可能性が高い地震を想定地震(M7.7)、発生可能性のある地震の中でも最大級のものを参考地震(M8.5)とし、前者で 2.0~2.1m、後者で 8.2~8.9m の津波高を予想している。図-2 に最上川河口から 1000m、2000m 南側の断面図を示したが、最大標高は 10m 程度あり、地形の持つ津波安全度は比較的高いと判断される。

3.2 岩手県陸前高田海岸林

陸前高田松原は、天橋立、敦賀気比の松原とともに三大白砂青松と呼ばれる延長約 2km のクロマツ林であり、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。岩手県(2006)では 1896 年明治三陸地震(M6.8)、1933 年昭和三陸地震(M8.1)、1978 年宮城県沖地震(M7.4)の 3 つの地震を想定して津波対策を進めている。陸前高田では予想最大遡上高として明治三陸地震の場合 10.4m と推算している。

図-3 は気仙川から東側への沿岸方向距離が 500m と 1000m に位置する断面図を示したものである。図より地盤標高は最高点でも約 3m しかないことがわかる。さらに東方の断面では地盤標高はさらに低くなり、汀線から集落までの距離も 500m 程度と短くなる。この地域の西方は気仙川に挟まれ、海岸林と集落の間にある古川沼は広田湾につながっている。こうした地形特性は津波に対してやや脆弱な面が認められ、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。なお松原の内陸側には海岸林の津波防潮機能を補完するために、高さ約 5m のコンクリート防潮堤が築かれている(小田, 2003)。

3.3 千葉県九十九里海岸林

九十九里海岸林は全長 54km と今回選定した中では最も延長距離が長い海岸林である。1703 年の元禄地震(M8.0)では九十九里地域を中心に大きな津波被害を受けた。千葉県(2003)は元禄地震規模を想定した津波予測計算を行っており、それによれば九十九里海岸には 3.5~4.5m の津波高を推算している。

図-4 は海岸林の南端から 1500m の一宮町東浪見付近と、南端から 5000m の一宮海水浴場付近の断面地形図である。全体を通じて最大標高は 5~7m 程度

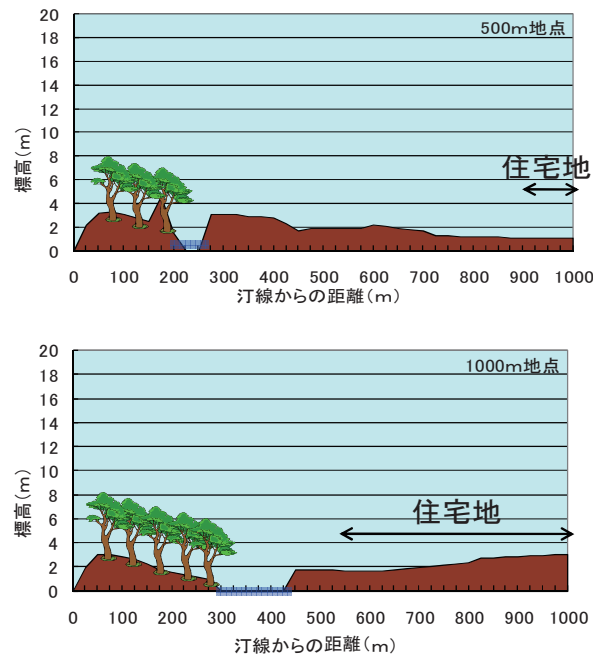


図-3 陸前高田海岸林の断面地形

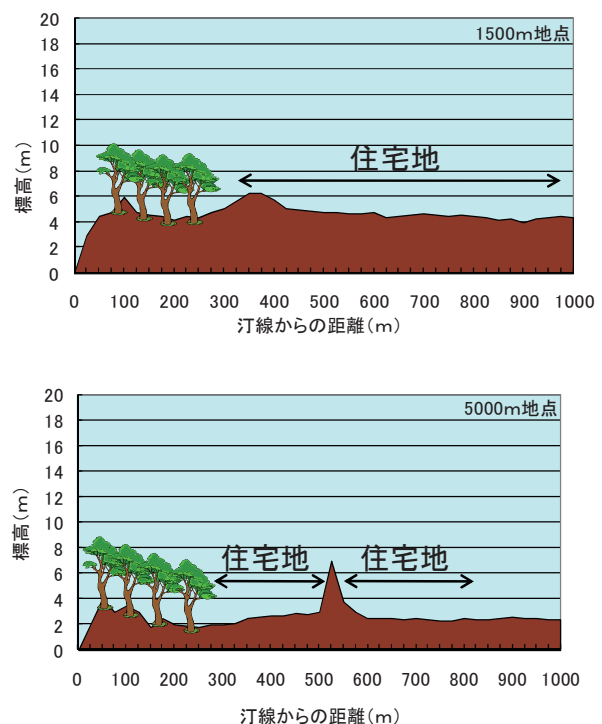


図-4 九十九里海岸林の断面地形

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・管理が津波防災に果たす役割にも期待しなければならない。

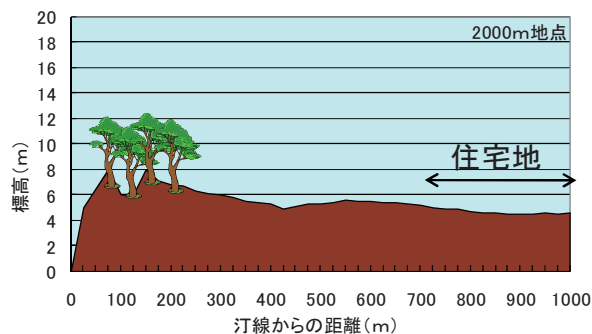


図-5 湘南海岸林の断面地形

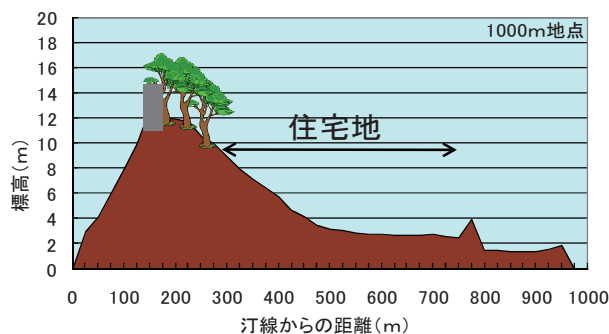


図-6 千本松原海岸林の断面地形

3.4 神奈川県湘南海岸林

湘南海岸は大磯・江ノ島・鎌倉等の景勝地を控え、保養地・別荘地ともなっている。また首都圏の通勤圏でもあり、背後地は約 100 万人の人口を擁している。海岸林は大磯町東端から藤沢市片瀬海岸まで延長約 13km に広がっている。背後地ならびに国道 134 号線の飛砂対策として設置されている海岸林は、クロマツ林内に広葉樹を下層木として密植しているのが特徴である。図-5 に西端から 2000m 地点（平塚市湘南海岸公園付近）、4500m（茅ヶ崎市柳島付近）の断面地形図を示す。この地の海岸林は表-1 からわかるように林帯幅が平均 72m、最大で 160m と選定した海岸林の中では最も狭い。汀線から林までの距離も短い。しかし地形は 5～8m 程度の最大標高を持ち比較的高い。神奈川県(2007)は、南関東地震など 4 つの地震を規定した津波浸水深予測図を作成し公表している。それによれば津波堤基部などのごく限られた区間を除き、沿岸部において 5m を超える浸水深は示されていない。このことと現地の地形標高を考慮すると、海岸林に大きな津波減災効果を期待しなくても良いように思われる。しかし、背後地は住宅などの密集地となっており、漂流物のブロック効果を含む付加的な津波減災効果を見込んだ海岸林の育成・管理も必要と考える。

3.5 静岡県千本松原海岸林

千本松原は、駿河湾に面し富士山を背景とする美しいマツ林で、弓状に湾曲する海岸線に沿って平均林帯幅 140m、長さ約 15km にわたって展開している。静岡県(2002)では発生が懸念されている東海地震を想定地震として津波対策が進められている。東海地震が発生した場合、千本松原に來襲が予想される津波高は 5.8～6.0m である。

図-6 に千本松原西側端から 1000m（東田子の浦付近）と 6000m（原付近）の断面図を示す。地形の最高点は 10m を越え、安全度はかなり高い。地形標高は西側ほど高く、東側（狩野川側）では 5m 程度に低くなる。この地形高度に加え、林帯の前縁部には T. P. +17m の巨大な防潮堤があるため既に十分な津波防災力を持っており、海岸林の津波防潮機能に期待するところは小さい。ただし、背後地には住宅が建ち並び、国道 1 号線や工場なども密集しているため、海岸林による付加的な津波防潮機能も必要と考えられる。

3.6 和歌山県煙樹ヶ浜海岸林

煙樹ヶ浜松原は、紀伊半島の中部に西流する日高川河口より西側に位置し、延長 3.5km、平均林帯幅 286 m の規模を有している。和歌山県では、東海・東南海地震を想定地震としており、発生したときに煙樹ヶ浜に來襲が予測される津波高は 5.5～6.2m である。

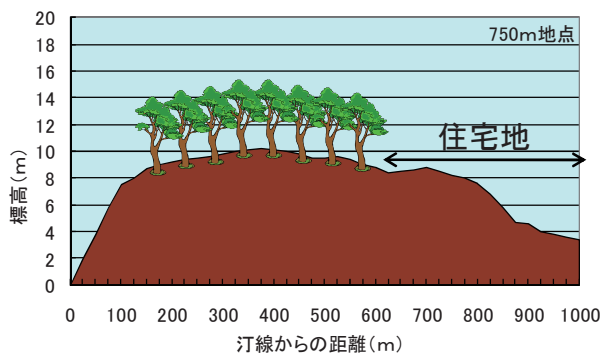
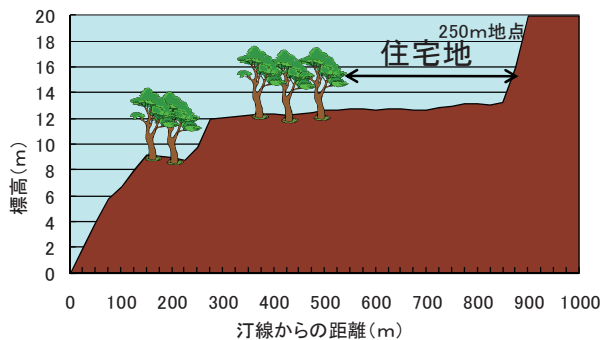


図-7 煙樹ヶ浜海岸林の断面地形

図-7 は海岸林西北端から 250m と 750m 地点の断面図を示す。図より、煙樹ヶ浜の地盤標高は 10m 程度あり、安全度は比較的高い。西北端から 0m ～ 1000m までは林帯幅も 300m と十分ある。しかしこれより日高川側の地域では林帯幅は 50m 程度と減少する。また、和歌山県(2010)が公表している煙樹ヶ浜周辺の津波浸水予想図では、日高川とその支川である西川からの津波遡上も示されており注意を要する。

3.7 高知県入野松原海岸林

入野海岸は土佐湾の西端足摺岬より東方に約 30km の高知県幡多郡黒潮町入野に位置する。汀線より 200 ～ 300m の間隔を置いて海岸線に沿って幅約 250m、長さ 2.3km にわたって造成されている。1707 年の宝永地震津波では、土佐湾沿岸で 2000 人近い死者を出し、流出家屋 11000 戸の大被害が生じている。入野松原は図-1 に示したように 1707 年宝永津波においては約 10m の津波高が推定されている。高知県(2010)は、県内沿岸の各エリアの津波浸水深図と津波到達時間図を公表している。

蛸瀬川河口から北東 700m に位置する大方を起点としたときに、そこから 500m 地点と 1000m 地点の断面図を図-8 に示す。林帯幅は 1000m 地点で約 400m と広いが、地盤標高は最高でも 6 ～ 8m 程度しかない。これより北東側では地盤高はさらに低くなる。こうした点を考えると津波安全性が十分とは言えず、海岸林の拡幅や密植による減災効果の向上も検討すべ

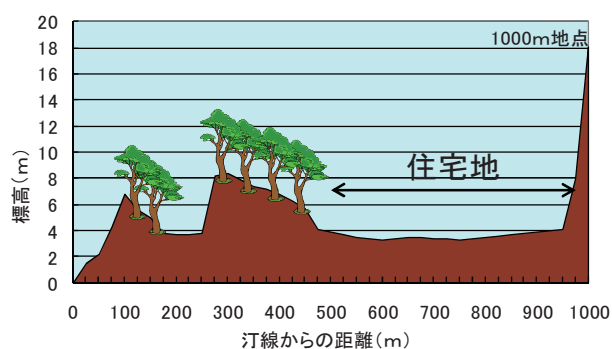
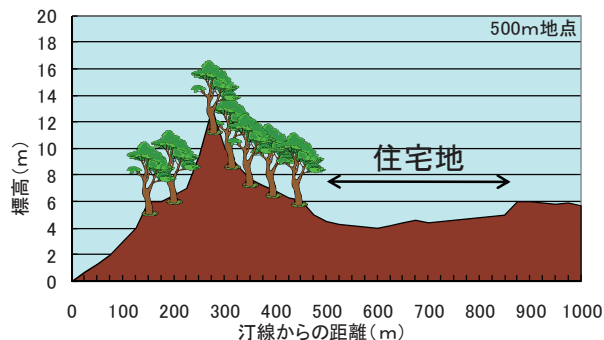


図-8 入野松原海岸林の断面地形

きと考える。

3.8 宮崎県の延岡～日南に至る海岸林

浅野ら(1999)は、地震・津波の史資料データ（宇佐美：1987、渡辺：1985）に基づき南九州から南西諸

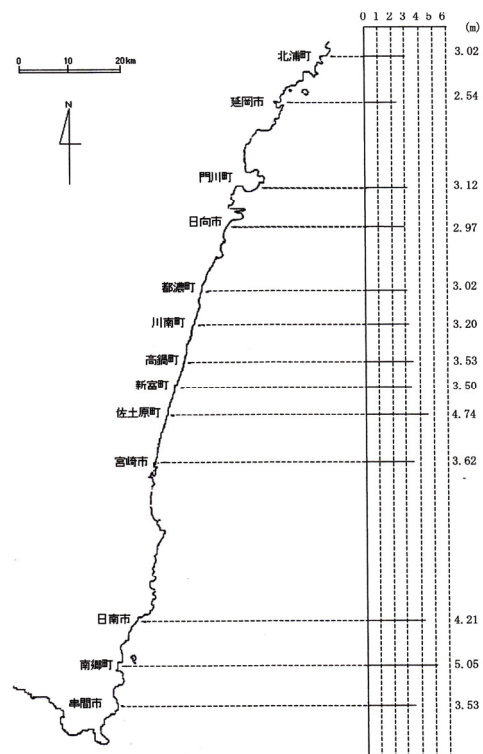


図-9 日向灘南部地震津波の予想津波高

島にいたる海域でこれまで発生した津波の地域特性・時系列特性を解析した。日向灘の地震発生年代分布を調べると、この地域の地震活動は九州・南西諸島海域全体の中でも、最も活発な地域の1つであることが分かった。しかし津波高の記録を見ると1m以下のことが多く、近年、津波によって甚大な被害は出ていない。むしろ南海道で発生した宝永・安政津波の余波によって2m以上の浸水記録が発生しており、こちらの方が大きい。宮崎県(2010)は、南海地震、日向灘北部地震、日向灘南部地震を想定地震としている。図-9は日向灘南部地震津波に対して県下の沿岸に來襲する予想津波高を示したものである。

宮崎県北部の延岡市には全長約5km、平均林帯幅200mの長浜海岸林がある。図-9では延岡市周辺の予想津波高は2.54mとなっている。宮崎県は日向灘南部地震に加え、日向灘北部地震、南海地震を想定地震としており、この地に來襲が予想される最大の津波高は5.3～5.5mと見積もっている。図-10は大瀬川河口から南に3000m地点の断面図を示したものである。この海岸林は、林帯幅はそれほど広くはないが地形標高が8m以上あるため、津波に対する危険度は高くはない。しかし海岸林の背後には工場や学校が、さらに背後には隣接して住宅地があり、汀線からの住宅地までの距離も短いことに留意しておく必要がある。

小倉ヶ浜海岸林は、日向市の塩見川河口から吉野川にかけての延長約3kmの海岸林で、前面の蛤碁石の産地として有名な小倉ヶ浜とともに白砂青松の美しい景観を呈している。前述の宮崎県の想定最大津波高は4.2～4.8mと予想されている。図-11に塩見川河口から南に2000m地点の断面地形を示す。この海岸林の平均林帯幅は350mと比較的広いが地盤標高は3m程度と低く、津波災害には弱い地形と言えるため、海岸林の滅災効果を増強したいところである。

一つ葉海岸のマツ林は、宮崎市宮崎港を南端とし石崎川を越え佐土原町に至る全長14km、平均林帯幅500mに及ぶ広大な海岸林である。中央に一つ葉有料道路が走っている。図-12は北端の佐土原から南に6000m地点の一つ葉道路住吉インター周辺の断面地形である。この地点では地盤標高が20mを越えており、これより南でも地盤標高は15m以上ある。宮崎県の公表した最大予想津波高は3.8～4.0mである。住宅地は海岸林背後から離れており、地盤高が十分であることから、海岸林が無くとも津波に対して十分な安全性を有すると判断できる。しかし、北方に行くにつれ標高は低くなり、北端の佐土原周辺では最高標高が7m程度となり、近くの石崎川からの津波遡上の可能性がでてくる。

日南海岸林は、日南市の広瀬川河口に平均林帯幅

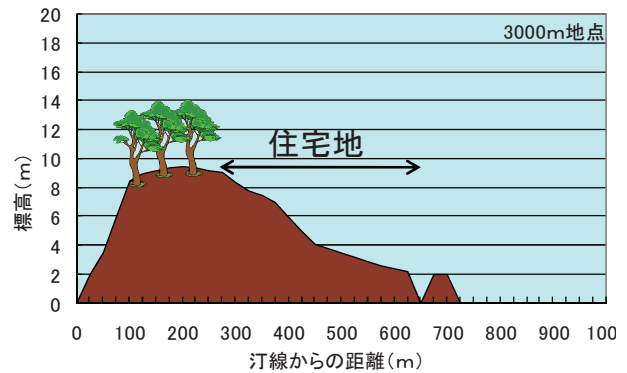


図-10 長浜海岸林の断面地形

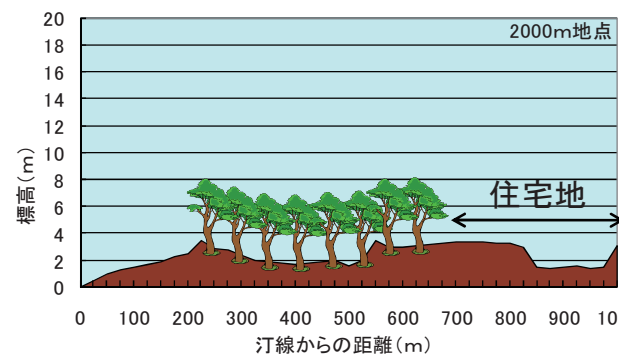


図-11 小倉ヶ浜海岸林の断面地形

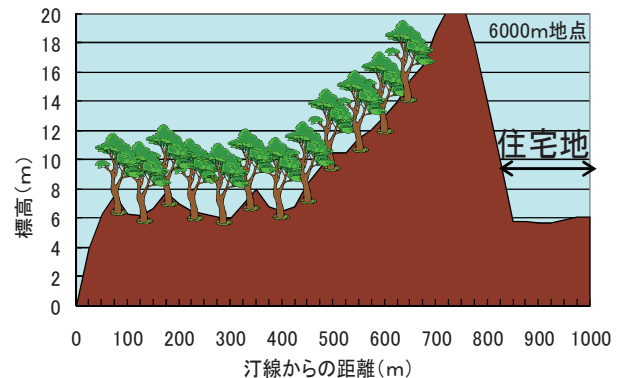


図-12 一つ葉海岸林の断面地形

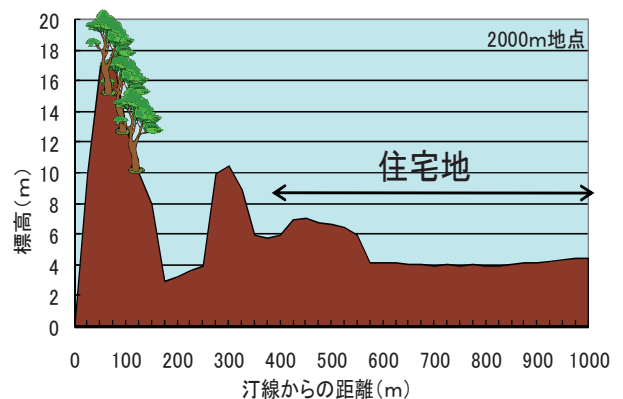


図-13 日南海岸林の断面地形

100m, 全長 2.3km に広がる, 比較的小規模な海岸林である。前述の宮崎県による最大予想津波高は 4.2~4.5m である。図-13 は北端の野中から南に 2000m (広瀬川河口から北へ 300m 地点) の断面地形を示したものである。この海岸林は広瀬川河口周辺を除き最大地盤標高が 15m 程度あり, 津波被害の可能性は高くはない。

3.9 鹿児島県くいの松原海岸林

志布志湾に注ぐ肝属川と菱田川の間に, 延長約 13km, 平均林帯幅 550m にわたって広大なくいの松原海岸林が広がっている。この地に対する鹿児島県(1997)による日向灘想定地震津波の最大津波高は 2.6m である。図-14 に北端から 3200m 地点の断面図を示す。この地点の周辺では海岸林が汀線近くに位置するが, 一旦岸沖距離 200~400m 地点で田畑となる場合があり, 再びその背後で海岸林となる。くいの松原は一部を除いて地形標高は十分にあり, 北端から 9000m 地点では最大標高が約 20m となっていた。しかし田原川や菱田川の河口付近では地形標高が 5m 未満でマツ林の幅も狭くなる箇所があり, すべての地点で津波安全度が高いわけではない。

4. まとめ

- (1) わが国の代表的な海岸林の持つ津波防災能力を, 地盤標高, 海岸線からの位置, 林帯幅, 背後地の状況などから評価した。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に林帯幅の拡張, 樹木群の育成・管理をすべきことを指摘した。
- (2) 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ようにも考えられるが, 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 次的な備えが現実役に役立つことも予想される。
- (3) 以上の考察は, あくまでも代表的な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, 個々の海岸の詳細地形にわたっての考察が別途必要である。
- (4) 本研究では「1.2 本研究の方針」で述べたとおり, 地形図や衛星写真といった平面的情報を解析対象とし, 林分内容までは考察していない。海岸林の津波流体抵抗は, 林齢・樹齢とともに成長・変

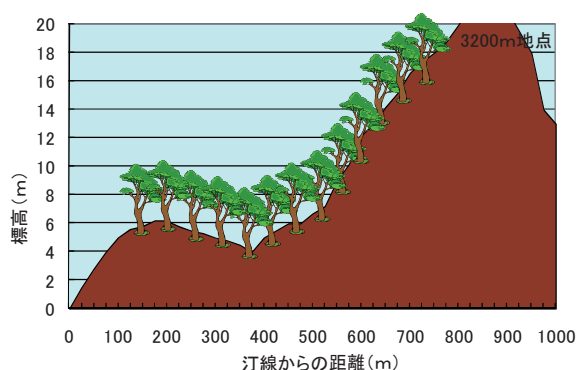


図-14 くいの松原の断面地形

化する立木密度, 樹高, 幹直径などに支配される。樹高や幹直径は, 海岸林前縁からの距離や立木密度によって変化する。わが国の海岸林の津波防潮機能をより高精度に評価するためには, 樹高や幹直径, 枝下高などの樹木形状, 立木密度や複層林化などの林分構造に対する考察が必要であり, 今後の課題と考える。なお, 樹木形状特性量と立木密度等の関係について, 瀬戸口・浅野(2009)は, くいの松原海岸林で現地観測を行い, 検討を開始している。

謝辞

本研究を実施するにあたって各自治体からは海岸林周辺の地形図を送付して頂いた。また一部の自治体の職員の方々からは現地踏査にあたってご案内を頂いた。鹿児島大学農学部森林管理学講座の寺岡行雄准教授からは, さまざまご教示を頂いた。本研究室の元学生である永野彩佳さんから資料解析のご協力を得た。以上を記して謝意を表します。本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究 C (課題番号 19560515) の補助を得て実施された。

引用文献

- [1] Amri, S. (2002): Housing and environmental damages due to 4 May 2000 Banggai Earthquake in central Sulawesi province of Indonesia, Proc. International Workshop on Tsunami Disaster Risk and Its Reduction in the Asia-Pacific Region, Bandung, Indonesia, Session 1.
- [2] 浅野敏之・右田健二・柳川竜一・山下隆男(1999): 南九州沿岸および南西諸島海域における津波の広域数値計算, 海岸工学論文集, 土木学会, 第 46 巻, pp.326-330.
- [3] 浅野敏之・岩塚雄大(2006), 森林生態学に基づいた津波防潮林の防災機能の評価, 海岸工学論文集, 土木学会, 第 53 巻, pp. 1081-1085.

- [4] 浅野敏之・三谷敏博・三嶋俊樹(2007): 海岸林の幹直径の分布特性と津波による樹木倒壊率, 海岸工学論文集, 土木学会, pp.1376-1380.
- [5] 千葉県(2003): 千葉東沿岸海岸保全基本計画, http://www.pref.chiba.lg.jp/syozoku/i_kasen/umihozen/higashi/higashi_kekka.htm
- [6] 中央防災会議(2003): 東南海, 南海地震等に関する専門調査会, 第 16 回資料, 資料 3 東南海, 南海地震の強振動と津波の高さ, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/16/index.html>
- [7] 土木学会(2000): 海岸施設設計便覧, 5-4-13 津波防波堤, pp.468-473, 582p
- [8] 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, 海岸工学論文集, 土木学会, 第 47 巻, pp.366-370.
- [9] 原田賢治・今村文彦(2003): 防潮林による津波減衰効果の評価と減災のための利用の可能性, 海岸工学論文集, 土木学会, 第 50 巻, pp.341-345.
- [10] Hiraishi, T.(2000): Characteristics of Aitape tsunami in 1998 Papua New Guinea, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.39, No.4, pp.3-23.
- [11] 今井健太郎・松富英夫・高橋智幸(2004): 津波氾濫流れによる植生の揺動とその流体力特性, 海岸工学論文集, 土木学会, 第 51 巻, pp.306-310.
- [12] 今井健太郎・鈴木明菜(2005): 沿岸樹木のパイプモデルを用いた表面積, 体積評価法とその倒伏耐力, 水工学論文集, 土木学会, 第 49 巻, pp.859-864.
- [13] 石川政幸(1992): 防潮, 日本の海岸林, ソフトサイエンス社, 513p., pp.284-300.
- [14] 岩手県(2006): 岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査に関する報告書, http://www.pref.iwate.jp/~hp010801/tsunami/yosokuzu_index.htm#yosokuzu
- [15] 鹿児島県(1997): 鹿児島県地域防災計画(震災対策編), 鹿児島県防災会議, 341p.
- [16] 神奈川県(2007): 神奈川県津波浸水予測図解説書, p21, 神奈川県県土整備部, http://www.pref.kanagawa.jp/osirase/sabo/kouwan/shinsui/map/s_map-s0.html/
- [17] 高知県(2010): 高知県の津波浸水予想図検索, <http://www.pref.kochi.lg.jp/~shoubou/sonaetegood/flood/>
- [18] 宮崎県(2010): 宮崎県における津波被害想定, 宮崎県危機管理局, http://www.pref.miyazaki.lg.jp/bousai/bousai_keikaku_h18_125_1.pdf
- [19] 村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也(1992): 日本の海岸林, ソフトサイエンス社, 513p.
- [20] 小田隆則(2003): 海岸林を作った人々, 一白砂青松の誕生一, 北斗出版, 254p.
- [21] 大隅眞一(2001): 森林計測学講義, 養賢堂, 287p.
- [22] 林野庁(2005): 海岸林防災機能の高度発揮のための管理システムに関する調査報告書, 109p.
- [23] 瀬戸口修造・浅野敏之(2009): 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, 海洋開発論文集, 土木学会, 第 25 巻, pp.75-80.
- [24] 静岡県(2002): 静岡県の東海地震対策, <http://www.e-quakes.pref.shizuoka.jp/hondana/pdf/186-2002/186-2002-9-9a.pdf>
- [25] 首藤伸夫(1985): 防潮林の津波に対する効果と限界, 第 32 回海岸工学講演論文集, 土木学会, pp.465-469.
- [26] Subandono, D. (2005): Tsunami disaster mitigation in Indonesia, APEC-EqTAP Seminar on Earthquake and Tsunami Disaster Reduction, No.3(1), a-3, 10p.
- [27] 田中規夫・佐々木寧・湯谷賢太郎・Samang Homchuen (2005): 津波防御に対する樹林幅と樹種影響について, 一インド洋大津波におけるタイでの痕跡調査報告結果一, 海岸工学論文集, 土木学会, 第 52 巻, pp.1346-1350.
- [28] 宇佐美龍夫(1987): 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 352p.
- [29] 和歌山県(2010): 和歌山県全域津波浸水予想図, http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/011400/bousai/050425/shinsui/index_ie.html
- [30] 渡辺偉夫(1985): 日本被害津波総覧, 東京大学出版会, 206p.
- [31] Widjo K. (2005): Mangrove as a tsunami reduction and its application, APEC-EqTAP Seminar on Earthquake and Tsunami Disaster Reduction, No.3(1) a-2, 8p.
- [32] 山形県(2010): 日本海東縁部の地震活動, 山形県庄内総合支所総務課, http://www.pref.yamagata.jp/regional/syonai_bo/living/safety/8337001publicdocument200609213107006894.html

[受付 平成 22 年 4 月 19 日, 受理 平成 22 年 9 月 8 日]