

東海・東南海・南海地震に伴う津波に対する
海岸保安林の減災効果予測並びに減災対策に関する調査研究
Study on the function of Coastal Forests against Tsunami induced
by Great Earthquakes like Tokai, Tonankai and Nankai Earthquakes

後藤 浩*・石野和男**・玉井信行***

Hiroshi GOTOH, Kazuo ISHINO and Nobuyuki TAMAI

*日本大学理工学部まちづくり工学科教授

** (株) アジア共同設計コンサルタント技師長

*** 東京大学名誉教授

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake caused the extensive damage along the coast of Tohoku area facing the Pacific Ocean with tsunami. Not only Tohoku area facing the Pacific Ocean but also any coastal areas in Japan are under threat of heavy disasters due to earthquakes and tsunamis. It has been clarified that the coastal forestation is effective to reduce the damage due to tsunami by our previous studies on the coast of Sendai plain. In this study, a few indexes for effectiveness of the forestation against the disaster due to tsunami is deduced from existing data derived by the field investigations and is extended to other coastal afforested areas in Japan.

Key Words: Coastal Forest, Tsunami, The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Tōkai-Tōnankai-Nankai Earthquake

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波で東北地方太平洋沿岸地域は甚大な被害を受けた。沿岸に整備されていた多くの海岸保全施設も津波により崩壊したため、現在も復旧、整備が行われている。海岸保全施設とは、海岸法に定められた海岸保全区域内の海水の侵入または海水による侵食を防止するための施設であり、平成26年度の海岸法改正に伴い、新たに津波対策として海岸保安林(以下、海岸林と呼ぶ)が海岸保全施設の一部となった¹⁾。海岸林は、江戸の頃より植樹された記録も残されており²⁾、もともとは風害、塩害から内地を守る目的で植樹され、近年では、沿岸地域での景観の重要な構成要素の役割も担ってきた。東北地方太平洋沖地震津波では、海岸林の多くも流失等の被害を受けたが、海岸法改正での海岸保安林が海岸保全施設への組み込まれる根拠となる内陸の被害を低減した事例がいくつか見受けられた。例えば、後藤ら^{3),4)}は、青森県から宮城県沿岸の海岸林の被災状況の全体像を把握するとともに、海岸林が残存した宮城県石巻市ながはま地区を手始めにして、仙台平野の15ヶ所を現地調査の対象地として選定して、海岸林後背地の家屋の破壊の状況に注目し津波に対する海岸林の減災効果を検討した。その結果、津波によって生じた流れに対して、海岸林が少なからず抵抗を与え、減災効果があったことを示した。同時に、海岸林の被災状況を首藤が提案した図表⁵⁾と比較し、その有用性を再確

認した。

わが国では、東北地方太平洋沖地震以前から、将来、発生が予測されている巨大津波を伴う地震が複数存在している⁶⁾。また、既存の海岸保全施設のみでは人命、資産を完全に守りきることが困難なことから、複合的に津波に対する海岸林の機能を検討することは、津波防災の計画を立てる上での一助になると考えられる。

本研究では、著者らの宮城県仙台平野等の海岸林の現地調査結果の知見に基づき、さらに、縦断的に津波と海岸林との関係や植栽状況を追加検討し、海岸林の機能について考察を加えた。また、調査地をわが国で地震津波の襲来が予測され海岸林が植栽されている東海・東南海・南海地域を中心に拡大し、現地調査を実施した。すなわち、予測津波高と地盤高を含む樹高との比較、海岸林が植栽されている場所の微地形の測量結果、海岸林の植栽されている地域の土地変遷、海岸林の植栽状況の首藤の図表⁵⁾による照査により各調査地における海岸林の津波に対する機能を検討した。

2. 調査対象地域と調査方法

本研究では、図-1に示す宮城県仙台平野の15調査地、そして、鹿児島県、宮崎県、高知県、島根県、鳥取県、和歌山県、三重県、静岡県、神奈川県、新潟県、山形県の71調査地を抽出し、海岸林の調査対象とした。調査対象地選定にあたり、海岸林背後が比較的平地で家屋等が

存在する場所を条件とした。データの採取は、実際に抽出した調査地に行き、現地調査を行った。現地調査は、海岸から内陸に向かっての簡易的な縦断地形に関する測量、林分調査(樹高、胸高直径、立木密度など)を行い、海岸林背後の家屋の新旧や土地利用状況を併せて観測した。測定には、GNSS、レーザー距離計、測量用ポール、メジャーなどを用いた。海岸林の津波に対する機能を検討するために必要な各調査地での津波高については、仙台平野の場合は、実際の観測値⁷⁾を、仙台平野以外の調査地では、各自治体が想定する複数のシナリオの地震津波での予測⁸⁾を参照し、来襲すると考えられているもので、最も高い津波高を採用した。また、津波高の記載がない場合は、海岸付近での最も高い浸水深を津波高として採用した。地盤高については、現地での簡易な測量結果および国土地理院の地理情報⁹⁾より入手した。

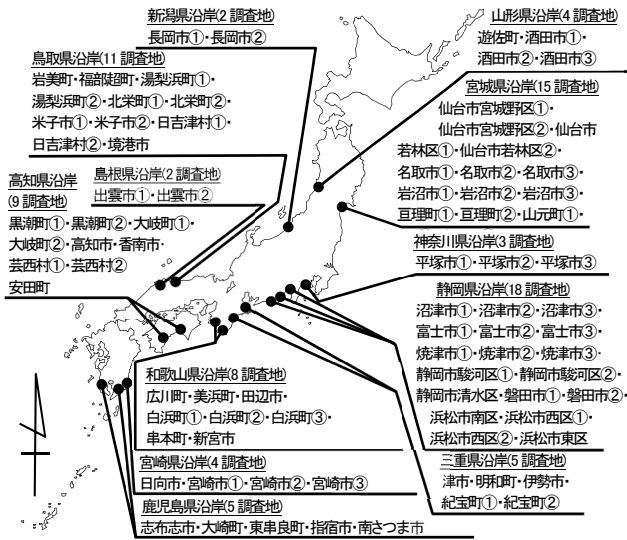


図-1 対象とした調査地

3. 調査結果

3.1 宮城県仙台平野における海岸林の機能検討

図-2は、地盤高 H_c と樹高 H_f の総和に対する津波高 H_t の比 $H_t/(H_c+H_f)$ を樹林帯幅 W_F で整理したものである。図-2に示されるように、 $H_t/(H_c+H_f) < 0.7$ となり、津波は海岸林に捕捉され内陸地に侵入したことが確認できる。なお、地盤高 H_c と地盤高を含む海岸林の樹高(H_c+H_f)の比を計算した結果、 $H_t/(H_c+H_f) < 0.25$ となり、植栽されている地盤高の割合は樹高に比べて小さく、海岸林により津波が減勢されたものと推測される。図-3は、後藤ら⁴⁾によって整理された家屋が浸水したものの破壊は免れた家屋(レベルC)となる領域までの海岸線からの距離 x_c と W_F で整理したものである。図-3では、考察を深めるために海岸林の植栽されている縦断地形を分類して整理してある。すなわち、「(a)海岸線に沿った砂丘等の小高い微地形の

海岸側傾斜面から後背地まで海岸林が連続的に植栽されている場合」と「(b)海岸線に沿って砂丘等の小高い微地形がない場合もしくは小高くなった微地形の前縁部または後背地にのみ海岸林が植栽されている場合」とに大別してある。図-3に示されるように、(a)の場合で樹林帯幅が300mを越えると海岸林による減災効果が大きかったこ

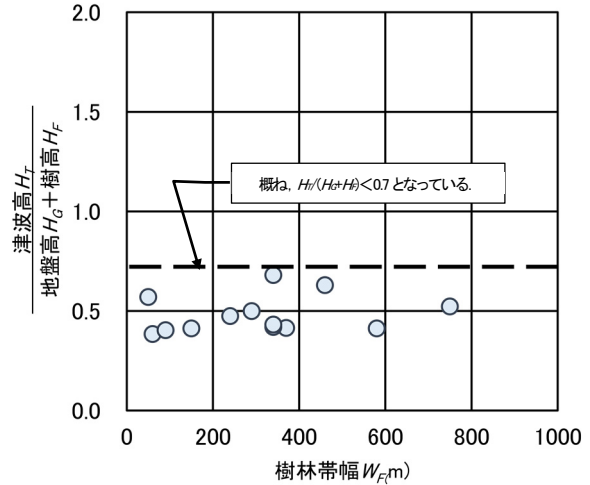


図-2 相対津波高($H_t/(H_c+H_f)$)と樹林帯幅 W_F との関係(仙台平野の場合)

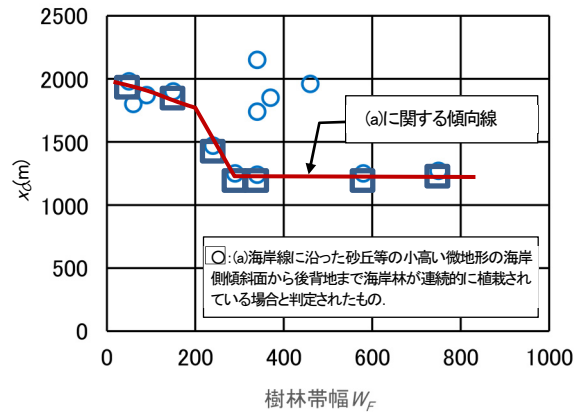


図-3 浸水したものの破壊は免れた家屋までの海岸線からの最初の距離 x_c と樹林帯幅 W_F との関係

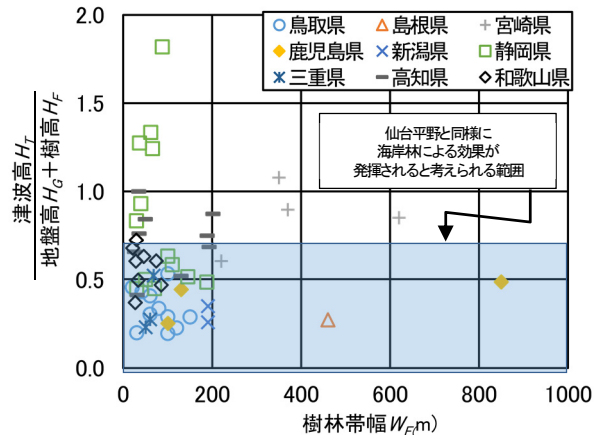


図-4 相対津波高($H_t/(H_c+H_f)$)と樹林帯幅 W_F との関係(仙台平野以外の場合)

とが示される。なお、この結果は、原田・今村¹⁰⁾による津波軽減の指標として提案された樹林帯幅である200mに近い値となった。

以上より、鹿児島県等の調査地については、「①海岸林の植栽状況」と「② $H_f/(H_c+H_f) < 0.25$ で $H_f/(H_c+H_f) < 0.7$ であること」、併せて、従来、著者らによって東北地方太平洋沖地震津波による被害で海岸林の被災状況を説明できることが確認^{3),4)}されている「③首藤の図表」⁵⁾、「④海岸林の植栽された地域の土地変遷」および「⑤海岸保全施設の有無」を考察材料として追加し、調査地における海岸林の津波に対する機能について考察を進めることにする。

3.2 鹿児島県他における海岸林の機能の検討

仙台平野で検討した結果の考察材料①および②と著者らの検討結果による考察材料③～⑤をもとに検討した結果について説明する。図-4は、②に関わる地盤高 H_c と樹高 H_f の総和に対する予測津波高 H_f の比 $H_f/(H_c+H_f)$ を樹林帯幅 W_F で整理したものである。なお、予測津波高については、先述のとおり、複数のシナリオに基づく地震で発生する津波高の中から最も大きいものを抽出した。なお、いくつかの調査地においては地盤高より予測津波高が低いことから、この場合については検討の対象外とした。図-4に示されるように、調査地の多くで地盤高を含めた海岸林の樹高 (H_c+H_f) の方が予測津波高 H_f よりも高くなり、津波が海岸林により捕捉されること予想される。しかしながら、宮崎県、高知県、和歌山県、静岡県の一部では $H_f/(H_c+H_f) > 0.7$ となる調査地ばかりでなく1.0を超える場合も散見され対策が必要である。図-5は、③に関わる

首藤の図表⁵⁾に、鹿児島県他の調査地で得られた海岸林の調査結果をプロットしたものである。図-5(a), (b)は、津波によって海岸林が受ける被害の程度、図-5(c)は、海岸林が津波に及ぼす機能を示している。図-5(a), (b)に示されるように、宮崎県、高知県、鳥取県、和歌山県、静岡県の一部の調査地では、津波が襲来した場合、海岸林の流失、倒壊が懸念されるが、その他多くの調査地では海岸林が残存すると予想される。また、図-5(c)に示されるように、海岸林が残存した場合、多くの調査地では、海岸林による流勢緩和が期待できると判定される。しかしながら、高知県、和歌山県、静岡県の一部の調査地では、海岸林が流失・倒壊し、機能を発揮しないと予測されるため、その他の複合的な減災対策を施すことが望ましいと考えられる。

以上の考察材料②および③の結果とあわせ、①、④、⑤について検討した結果を整理したものが表1である。すなわち、表-1では、「①海岸林の植栽状況」については、「海岸線に沿った砂丘等の小高い微地形の海岸側傾斜面から後背地まで海岸林が連続的に植栽されている場合」は○(樹林帯幅が300m以上であれば◎)、「海岸線に沿って砂丘等の小高い微地形がない場合もしくは小高くなった微地形の前縁部または後背地にのみ海岸林が植栽されている場合」は×、「②地盤を含む樹高に対する津波高 $(H_f/(H_c+H_f) < 0.7$ であること(かつ $H_f/(H_c+H_f) < 0.25$ であること)」については、条件を満足する場合は○、地盤高が高いため条件を満足できない場合は△、津波高が高く条件を満足できない場合は×、「③首藤の図表」については、図表全てで満足できる場合は○、図表全てで満足できない場合は×としてある。「④海岸林の植栽された地域の土地変遷」については、後藤ら⁴⁾によって「(A)海岸林

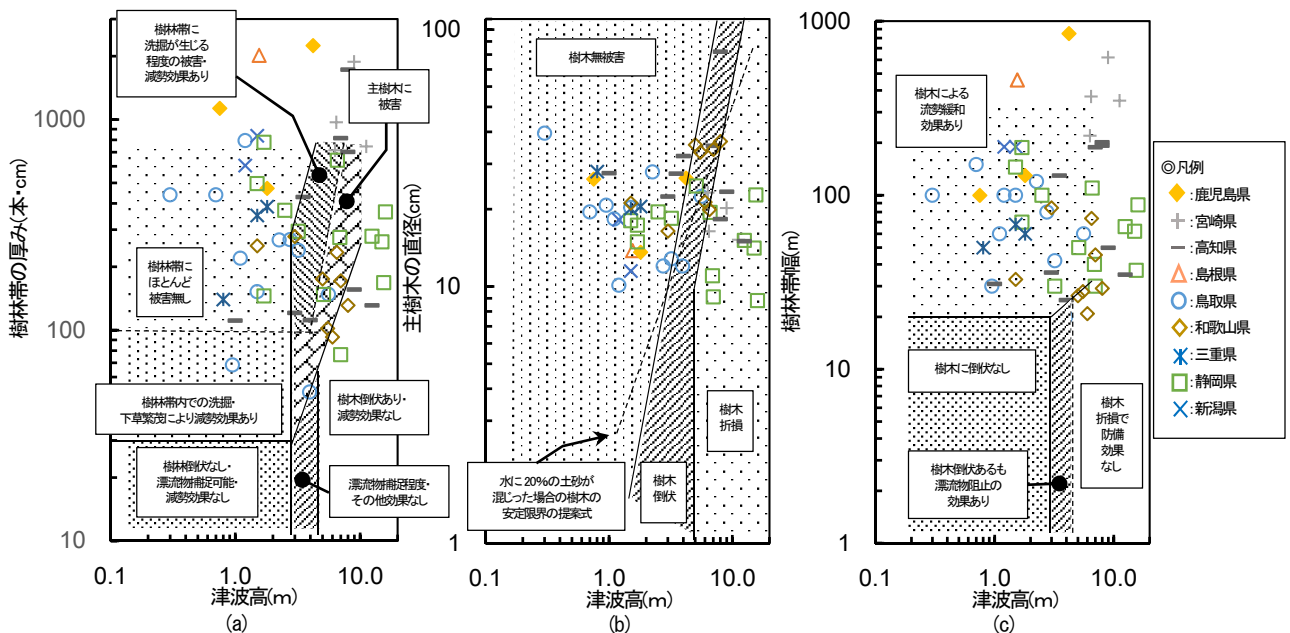


図-5 首藤の図表との比較

に概ね変化が見られない場合」・「(B)海岸林の宅地などへの土地利用の転換により海岸林が減少している場合」・「(C)海岸林の成長が見られ空中写真での陰影が疎から密となっている場合」・「(D)河口位置が固定していなかった河口を導流堤・港の建設によって固定化させたことによって生まれた砂地盤の土地へ新たな植栽を行って海岸林が増加した場合」に分類されていることを利用し、(A)および(C)の場合は○、(B)の場合は×、(A)および(C)に(D)の要素が入る場合は△とした。「⑤海岸保全施設の有無」については、防潮堤などの海岸保全施設の後背地に植栽されていた海岸保安林は被害が小さかったことから、階段護岸程度のものであれば△とし、その有無によって○、×を判定した。

表-1 に示されるように、5 つの考察材料全てが○と判定されない調査地が多いが、多くが×と判定される調査地については、それぞれの状況に応じて追加の減災へ向けた対策を検討することが望ましい。また、今後、海岸林を造成する場合、表-1 の各項目に留意することで、海岸林による津波に対する機能向上が期待できるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、宮城県仙台平野における調査結果を基に、東海・東南海・南海地域において巨大地震に伴う津波の襲来が予想される鹿児島県、宮崎県、高知県、和歌山県、三重県、静岡県、神奈川県を中心として、やはり、大きな地震の発生が懸念される島根県、鳥取県、新潟県、山形県も合わせた沿岸地域を対象に現地調査を行い、海岸林の津波に対する機能を検討したものである。主要な結論を以下にまとめる。

- ① 宮崎県仙台平野に襲来した津波では、津波高に対して地盤高を含めた海岸林の樹高が0.7未満となり、津波が海岸林に捕捉されるとともに、津波によって生じた流れが樹林帯内を通過し減勢され内陸に侵入したことが確認された(なお、地盤高を含めた樹高に対する地盤高の比率は0.25未満であった)。また、海岸林の植栽状況に注目した結果、海岸線に沿った砂丘等の小高い微地形の海岸側傾斜面から後背地まで海岸林が植栽されている場合には内陸への津波の侵入が低減

表-1 各考察材料による判定結果

津波被災減災 ファクター		①	②	③	④	⑤	津波被災減災 ファクター		①	②	③	④	⑤
場所							場所						
鹿児島県	志布志市	○	△	○	△(C-D)	△(港湾)	三重県	串本町	×	×	×	○(A)	×(なし(砂浜))
	大崎町	◎	△	○	○(C)	×(なし(砂浜))		新宮市	×	×	○	○(A)	○(防潮堤・砂浜)
	東串良町				△(C-D)	△(港湾と護岸)		津市				○(C)	×(なし(砂浜))
	南さつま市				○(A)	×(なし(砂浜))		明和町	×	○	○	○(C)	○(防潮堤)
	指宿市	○	○	○	△(B)	○(防潮堤)		伊勢市	○	○	○	○(A)	○(防潮堤・砂浜)
宮崎県	日向市	○	△	○	△(C-D)	△(階段護岸)	紀宝町①	×	△	○	△(B)	○(防潮堤・砂浜)	
	宮崎市①	◎	×	○	○(C)	△(階段護岸)	紀宝町②				○(A)	○(防潮堤・砂浜)	
	宮崎市②	×	×	○	○(C)	△(道路と砂浜)	沼津市①	○	△	○	○(A)	○(防潮堤・砂浜)	
	宮崎市③	◎	×	○	○(C)	○(防潮堤・ブロック・護岸)	沼津市②	○	△	○	○(A)	○(防潮堤・砂浜)	
高知県	黒潮町①	×	×	×	○(A)	×(なし(砂浜))	沼津市③				○(A)	○(防潮堤・砂浜)	
	黒潮町②	×	×	○	○(A)	×(なし(砂浜))	富士市①				○(C)	○(防潮堤・砂浜)	
	大岐町①	○	×	○	○(A)	×(なし(砂浜))	富士市②				○(A)	○(防潮堤・公園・砂浜)	
	大岐町②	○	△	○	○(A)	×(なし(砂浜))	富士市③				×B	○(防潮堤・砂浜)	
	高知市	×	△	○	○(C)	○(防潮堤・一部護岸)	焼津市①	×	○	○	△(A-D)	○(防潮堤・砂浜)	
	香南市	×	×	○	△(B)	△(階段護岸・砂浜)	焼津市②	×	×	×	△(A-D)	○(防潮堤・ブロック)	
	芸西町①	×	△	○	△(B)	○(防潮堤・砂浜)	焼津市③	×	○	○	○(A)	○(防潮堤)	
	芸西町②	×	×	○	△(B)	○(防潮堤・砂浜)	静岡駿河区①	×	△	○	○(A)	○(港湾・防潮堤)	
島根県	安田町	○	△	○	△(B)	○(防潮堤・砂浜)	静岡駿河区②	×	×	○	○(A)	○(防潮堤・ブロック)	
	出雲市①	◎	○	○	○(C)	×(なし(砂浜))	静岡市清水区				○(C)	×(なし(砂浜))	
	出雲市②				○(C)	×(なし(砂浜))	磐田市①	○	△	○	△(A-D)	△(港湾)	
	岩美町	×	○	○	○(A)	△(港湾)	磐田市②	×	△	○	△(A-D)	×(なし(砂浜))	
鳥取県	福富町	×	△	○	○(C)	×(なし(砂浜・堆砂埋有り))	浜松市南区	○	×	○	○(C)	×(なし(砂浜・堆砂埋有り))	
	湯梨浜町①	×	○	○	△(C-D)	×(なし(砂浜))	浜松市西区①	×	×	○	○(C)	△(道路・砂浜)	
	湯梨浜町②	×	○	○	△(B)	×(なし(砂浜))	浜松市西区②	×	×	×	×(B)	○(防潮堤・砂浜)	
	北栄町①	×	○	○	○(C)	×(なし(砂浜))	浜松市東区	○	×	○	△(C-D)	○(防潮堤)	
	北栄町②	×	○	○	△(B)	×(なし(砂浜))	平塚市①				○(C)	×(なし(砂浜))	
	米子市①	×	○	×	○(C)	○(防潮堤・砂浜)	平塚市②				○(C)	×(なし(砂浜))	
	米子市②	×	○	○	△(B)	○(防潮堤・砂浜)	平塚市③				○(C)	×(なし(砂浜))	
	日吉津村①	×	○	○	○(A)	○(防潮堤・砂浜)	長岡市①	○	○	○	○(C)	×(なし(砂浜))	
	日吉津村②	×	○	○	△(B)	○(防潮堤・砂浜)	長岡市②	○	○	○	○(C)	×(なし(砂浜))	
	境港市	×	○	○	△(B)	×(なし(砂浜))	遊佐町				○(C)	×(なし(砂浜))	
	和歌山県	広川町	×	○	×	○(C)	△(港湾)	酒田市①				○(C)	×(なし(砂浜))
		美浜町	×	△	○	○(C)	×(なし(砂浜))	酒田市②				○(C)	×(なし(砂浜))
田辺市		×	△	×	×(B)	△(階段護岸・砂浜)	酒田市③				○(C)	×(なし(砂浜))	
白浜町①		×	○	○	△(C-D)	○(防潮堤・砂浜)							
白浜町②		×	×	×	○(A)	△(階段護岸・砂浜)							
白浜町③	×	×	○	○(C)	○(防潮堤・ブロック・砂浜)								

*灰色に着色してある箇所は津波高よりも地盤高の方が高い調査地であることを意味する。

されていることを示した。

- ② 鹿児島県他の調査対象地では、予測津波高が地盤高を含めた海岸林の樹高に対して仙台平野の場合と同様に小さくなる場合が多数存在し、予想される津波は海岸林の樹林帯内を通過し、内陸に侵入すると予測され、仙台平野と同様に海岸林による機能が発揮されるものと考えられる。しかしながら、宮崎県、高知県、和歌山県、静岡県の一部では地盤高を含む樹高よりも予想される津波高が高いことから、さらなる減災対策を施すことが望ましい。
- ③ 各調査地での調査結果を首藤の図表⁵⁾と比較すると、宮崎県、高知県、鳥取県、和歌山県、静岡県の一部の地域では、海岸林の流失・倒壊が懸念されるが、流失・倒壊せず残存した場合、予想される津波に対して、海岸林が機能を発揮すると考えられる。しかし、高知県、和歌山県、静岡県の一部では、海岸林による津波に対する機能が期待できないと考えられるため、海岸林に頼らない対策を施すことが望ましい。
- ④ 各調査地の海岸林の津波に対する機能について、上記①～③を基にして表-1に示す提案を行った。今後、海岸林の津波に対する機能を考慮し海岸林を造成する場合、本研究の結果による知見は、その一助となると考えられる。

謝辞

本研究の現地調査においては、平成25年度日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻2年有馬勇人君および日本大学理工学部土木工学科4年生小石川将希君・酒井優典君、平成26年度日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻2年祖父江一馬君および日本大学理工学部土木工学科4年生江本ゆりさん・渡辺智裕君にご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 総務省：海岸法第一章第三項、<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S31/S31H0101.html> (2015-2-5 参照)。
- 2) 財)日本緑化センター：海岸林造成史にみる先人、http://www.pinerescue.jp/jiten/matsu/books/m_story/01.pdf (2015-2-4 参照)。
- 3) 後藤浩ら(2012)：東北地方太平洋沖地震津波における海岸保安林の効果および被災に関する現地調査、土木学会論文集(B2：海岸工学)、土木学会、第69巻(2)、pp.1366-1370。
- 4) 後藤浩ら(2013)：仙台平野沿岸に植栽された海岸保安林の歴史と東北地方太平洋沖地震津波に対する効果、土木学会論文集(B2：海岸工学)、土木学会、第69巻(2)、pp.1386-1390。
- 5) 首藤伸夫(1985)：防潮林の津波に対する効果と限界、第32回海岸工学講演会論文集、土木学会、pp.465-469。
- 6) 内閣府：我が国の地震対策の概要、我が国で発生する地震、<http://www.bousai.go.jp/> (2015-2-7 参照)。
- 7) 原口強・岩松暉(2011)：東日本大震災津波詳細地図(上巻：青森・岩手・宮城)、古今書院。
- 8) 鹿児島県・宮崎県・高知県・島根県・鳥取県・和歌山県・三重県・静岡県・神奈川県・新潟県・山形県：各県庁における津波関連HP、<http://www.pref.kagoshima.jp/>、<http://www.pref.miyazaki.lg.jp/>、<http://bousaimap.pref.kochi.lg.jp/>、<http://www.pref.shimane.lg.jp/>、<http://www.pref.tottori.lg.jp/>、<http://www.pref.wakayama.lg.jp/>、<http://www.pref.mie.lg.jp/>、<http://www.pref.shizuoka.jp/>、<http://www.city.hiratsuka.kanagawa.jp/>、<http://www.pref.niigata.lg.jp/>、http://www.pref.yamagata.lg.jp (2015-2-5 参照)。
- 9) 国土地理院：電子国土web、<http://portal.cyberjapan.jp/> (2015-2-5 参照)。
- 10) 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。

