

2011 年東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野の海岸林被害と
地下水深度及び立木サイズとの関係渡部公一^{1*}・海老名寛²・古川和史³・堀米英明¹・大築和彦¹・上野満¹・宮下智弘¹・
坂本知己⁴Relationship of coastal forest damage in the Sendai Plain caused by the 2011
off the pacific coast of Tohoku Earthquake Tsunami between depth of
groundwater and tree sizeKoichi Watanabe^{1*}, Hiroshi Ebina², Kazushi Furukawa³, Hideaki Horigome¹, Kazuhiko Otsuki¹,
Mitsuru Ueno¹, Tomohiro Miyashita¹ and Tomoki Sakamoto⁴

Abstract: Characteristics of coastal forest damage in the Sendai Plain caused by the 2011 off the pacific coast of Tohoku Earthquake Tsunami is that a lot of tree uprooting damages were observed with a part them being washed away all together with the roots. Therefore, conditions that caused tree uprooting have been demonstrated by measuring the depth of ground water beneath the affected area where *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. and *Pinus Thunbergii* Parl grew. Relationship of trunk break and tree uprooting damage with tree size (diameter at breast height) was also examined. At a part with a ground water depth of less than about 1.0 m, trees were uprooted and flown out regardless of their sizes. In contrast, both trunk break and tree uprooting were observed in only smaller number of samples with a diameter at breast height of more than 20 cm. Therefore, we think that it was required to secure adequate depth of ground water by way of filling and regenerate forests filled with thick and robust trees in order to build up coastal forests with higher resistance against tsunami. In consideration of impacts of ground sinking and the like, it was believed the depth of ground water to be secured for filling was required at least 1.5 m.

1 はじめに

2011年3月11日14時46分に発生した太平洋三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の巨大地震は大津波を引き起こし、東北から関東にかけての太平洋側沿岸に未曾有の被害をもたらした。海岸林も約3,660 haが浸水し、被害率区分75%以上が3割、25~75%が約2割強とかつてない被害状況であった(東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会, 2012)。海岸林は津波だけでなく、飛砂、潮風害の防備等地域の生活環境の保全に重要な役割を果たしており、早急な再生が望まれている。また今まで造成してきたクロマツ防災林が今回の大津波で壊滅したことを教訓として、より津波に強い海岸林を造成していくことが求められている。

今回の津波被害は、青森県から千葉県のパシフィック

にかかる広範囲に及んでおり被害の実態像を把握するために、各地域の被災海岸林を対象として被害調査が行われている(星野ら, 2011; 星野, 2012; 坂本ら, 2012; 佐藤ら a, 2012; 佐藤ら b, 2012; 田村ら, 2012; 星上ら, 2011; 菊池ら, 2012; 寺本ら, 2012; 山中ら, 2012; 山中ら, 2013)。この中で仙台湾から阿武隈山地までの仙台平野の被害は、幹折れと根返りが混在しており、根返りした個体の中には波で生育場所から流された(流失した)ものがある点で共通している(田村ら, 2012; 菊池ら, 2012; 寺本ら, 2012; 山中ら, 2012)。地盤高が低く地下水位が高いところでは直根が発達せず、扁平な根系になる(荻住, 1979)ため、根返りが起こりやすいことが知られている。また目標林齢を50年とした場合の海岸のクロマツに必要な根系の垂直深は120 cmと報告されている(小田, 2001)。

地盤高が低い仙台平野において海岸林を再生するためには、マツの健全な成長と津波発生時の根返りを防止する観点から、盛土が必要である(東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会, 2012)。しかし、どの程度の地下水位で根返りが起こるのかと、それに伴う必要な盛土高についての知見は多くない。今回の津波に関する仙台平野の調査で、根返り木の根系の深さは、仙台市井土(山中ら, 2012)、岩沼市寺島(菊池ら, 2012)で測定された例があり、最大値で0.9 m程度と報告されている。しかし、これらの調査は根返り木のみを測定したもので、サン

¹山形県森林研究研修センター, Yamagata Prefectural Forest Research and Instruction center, 2707 Hei, Sagae, Sagae, Yamagata 991-0041 Japan

²国土防災株式会社山形支店, Japan Conservation Engineers and Company Limited, 1-5-41 Matsue, Yamagata Yamagata 990-2473 Japan

³山形県農林水産部, Yamagata Prefecture Public Office Forest Division, 8-1 Matsunami, Yamagata, Yamagata 990-8570 Japan

⁴(独)森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687 Japan

*Corresponding author: watanabekoi@pref.yamagata.jp

ブル数も少ないことからこの値が根返りを起こす境界値とは言えない。

そこで、本研究では仙台平野の海岸林のアカマツ及びクロマツについて根返り木だけではなく、根返りを免れて残った樹木も対象にして地下水位との関係を明らかにすることを目的とした。また、これまであまり議論されていなかった幹折れや根返りの被害と立木サイズ（胸高直径）との関係についても検討した。なお、本研究は生研センターのイノベーション創出事業の支援を受けて行った。

2 調査地と調査方法

2.1 仙台平野の津波の概要

調査対象としたのは、仙台市宮城野区から亶理郡亶理町までである。仙台湾岸での津波高は概ね7~9 m、浸水高は仙台市若林区荒浜で9.4 mを記録した。浸水域は若林区荒浜で内陸6 kmまで達し（日本気象協会、2011）、その津波は海岸林をなぎ倒し、一部を根ごと流失させた。仙台平野の被害は、根返りが多かったことが特徴であるが、海から内陸側に向かって縞状、櫛状に立木が根返りせずに残っている箇所が各所に見られる。また、根返り木や幹折れ木が内陸方向に向かって同じ方向に倒伏していることから、津波は引き波によって海岸林の中を通過して海に戻ったのではなく、川や低地に分散して徐々に引いていったと考えられる。

2.2 調査ラインの設定

本研究では、幹折れ、根返り等の被害を受けた個体と免れた個体の生育箇所の地下水位を比較するため、線状の調査区（以下「調査ライン」）を設定した。仙台平野の海岸林の中で、汀線から内陸側にかけて300 m以上の幅を持った海岸林がある場所を3地区選んだ。いずれも複数の被害形態が見られ、調査時に復興工事等によって出入りが制限されていなかった地区である。地区内でも起伏があり、5本以上の直立したクロマツ又はアカ

マツが残存している箇所を通るように、汀線に直交する方向にAからGの7本の調査ラインを設けた（表1、図1、図2）。

亶理町吉田には調査ラインA,B,Cを設定した。この場所は鳥の海から南へ1.2 kmの位置にあり、幅約300 mの連続したクロマツ林があった。しかし、調査時点ではすでに復旧のための盛土工事が始まっており、海岸林前線より100 mから240 mの区間は工事のため海岸林が伐採されていた。Aラインは、海岸林前線から工事用地の后背のマツが直立して残存している箇所を通るように、内陸側の林縁を終点として設置した。B及びCラインは、工事用地の内陸側終点を起点として設置した。Bラインはマツが

表1 調査ラインの概要

地区	調査ライン	調査ライン延長(m)	汀線からBPまでの距離(m) (被災前)	海岸林前線からBPまでの距離(m) (被災前)	備考
亶理郡亶理町吉田	A	293	150	12	海岸林前線部から工事区域を含み后背の残存区域まで
"	B	52	370	230	一部残存区域
"	C	52	380	230	流出区域
岩沼市寺島	D	305	140	40	道路から后背の流出区域を含む
"	E	270	170	100	道路から后背の流出区域を含む
"	F	190	270	190	残存区域を含む
仙台市宮城野区岡田	G	150	450	280	貞山運河から残存区域を含む

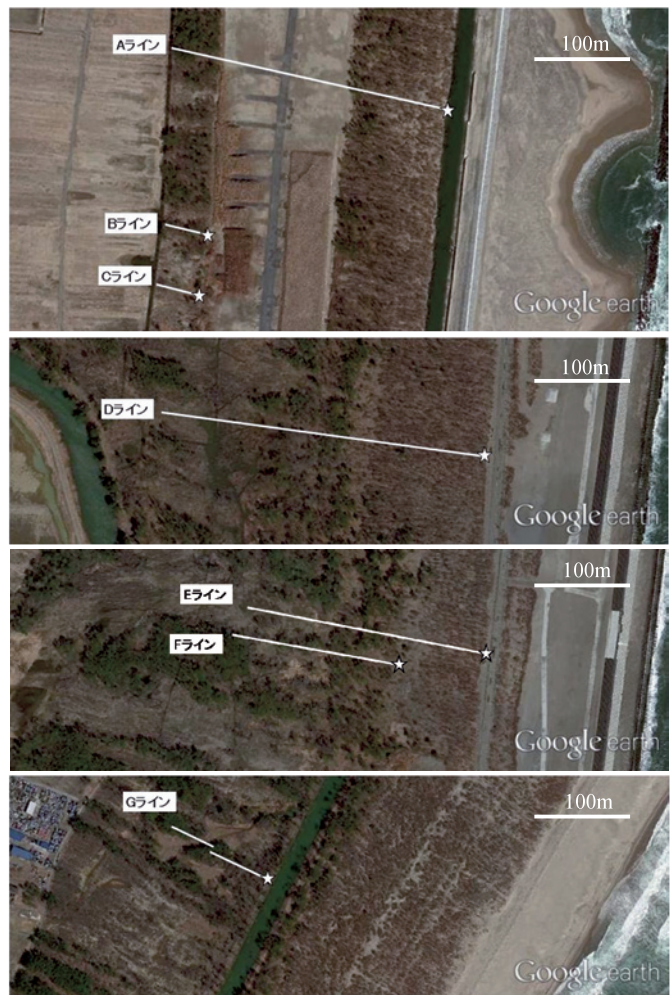


図2 調査ライン（画像は Google Earth ☆はBPを示す）



図1 調査ライン位置図

流失している箇所と残存している箇所を含むように設定し、Cラインは流失している箇所を含むように設定した。

岩沼市寺島にはD,E,Fラインを設定した。この場所は阿武隈川河口の北側に位置し、汀線より100m付近から貞山運河までの間に約300~500m幅の海岸林があった。海岸林の最前線部はすでに盛土工事が始まっていたため、汀線から150m内陸に海岸線に平行に伸びる市道を起点としてD及びEラインを設定した。Dラインは幹折れ、根返り及び根返り流失している箇所を含むように設定した。Dラインから北に600m離れた地点に、同様にそれぞれの被害形態が見られる箇所を含むようにEラインを設置した。Eラインの根返り、流失した箇所のすぐ隣には根返りを免れた林分が、海側から内陸側に向かって十数mの幅で縞状に残っていた。その林分を含むように、汀線側の幹折れしている箇所を除いてFラインを設定した。

仙台市宮城野区岡田には、Gラインを設定した。ここは、汀線から170m付近に600m幅の海岸林があり、それを貞山運河が分断するように汀線に平行に流れている。貞山運河の内陸側にはアシなどが生育する低地が点在し、津波によって大面積の根返り流失が起こっている。その中に数mから数十mの幅で根返りを免れた帯状の残存林分が存在しており、Gラインはその林分を通るように貞山運河の内陸側の土手を起点として設定した。BP+95m地点で調査ラインが林帯を外れたため、ラインを10m北の方向に平行移動した。

2.3 調査方法

調査ラインに沿って汀線側から10m毎に調査地点を設け、水準測量によって地盤高を求めた。次にその地点にオーガを使用して地下水が滲出するまで直径8cmの孔を掘り、地面から地下水面までの深さを測定した。調査地点のうち、BPから概ね50mごとの地点を固定観測点とし、複数の観測日に水位を測定し変動を調べた。地下水深度(本稿では、地盤高と地下水位との差とする)と根の直根深度はほぼ一致することが確かめられている(菊池ら, 2012)ため、若齢木を除けば地下水深度を測定することによって根系深度に読み替えることができる。また調査ライ

ンを中心に両側幅6m(一部8m)のベルト内の胸高直径5cm以上の残存木について、樹種、樹高、枝下高、胸高直径、被害形態及び根元位置の地盤高を測定した。被害形態は、直立(生死にかかわらず、津波によって物理的に傾いたり倒れていないもの)、幹折れ、根返りの3区分とし、根が土中であって傾いているものは、根元の地面の盛り上がりや幹を揺らした時の抵抗などから判断して幹折れか根返りのどちらかに区分した。これに対して海側から流れてきたものについては漂着木として残存木と区分した。漂着木は生育していた場所が不明であるため、地下水深度や浸水深の解析には用いなかった

2.4 調査区間と被害形態

被害箇所の汀線からの位置と、クロマツとアカマツ(以下「マツ」)の被害の関係を明らかにするために、林分を代表する被害形態によって調査ラインを区分した。10m毎の調査地点で区切った調査区間において、残存木の直立、幹折れ、根返りの3つの被害形態のうち、最も多いものをそれぞれの区間を代表する被害形態とした。ただし区間内の残存木よりも、根ごと流失した痕跡が多く見られた調査地については被害形態を流失とした。

3 結果と考察

3.1 毎木調査と被害形態

毎木調査の結果、クロマツとアカマツが全体の77%を占め、広葉樹ではサクラ類、コナラ、ニセアカシア等が出現した(図3)。

各調査ラインの汀線からの位置と被害形態を図4に示す。また各区間のマツ残存木の被害形態別の立木本数を図5に示す。汀線からの距離でみた場合、Aラインは海岸林前線部の150m地点(BP)から22m地点まで地際からの幹折れ倒伏が続き(A1)、その内陸側から工事のため伐採された区間までの間は直立した残存個体が混在していた(A2)。工事区域になっている箇所の上層木のマツは、津波直後のGoogle Earthの画像(2011年3月14日撮影)から判読するとほとんどが残存していた。工事区域の内陸側のマツは被害が少なく直立していた(A3)。

Bラインは370m地点(BP)から390m地点までのマツが残存し(B1)、390mから410m地点には残存個体

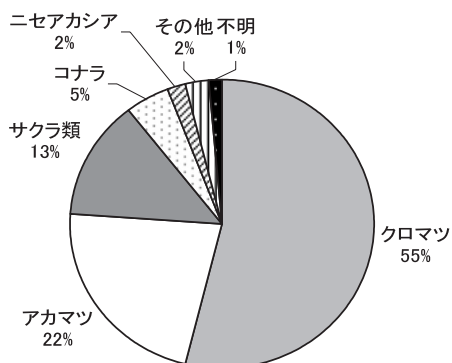


図3 出現樹種の割合

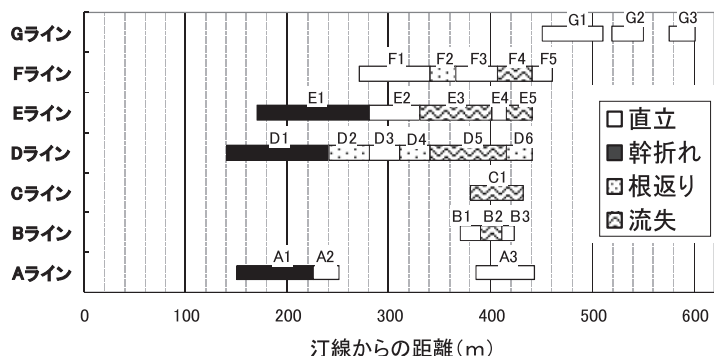


図4 調査ラインの汀線からの位置と被害形態

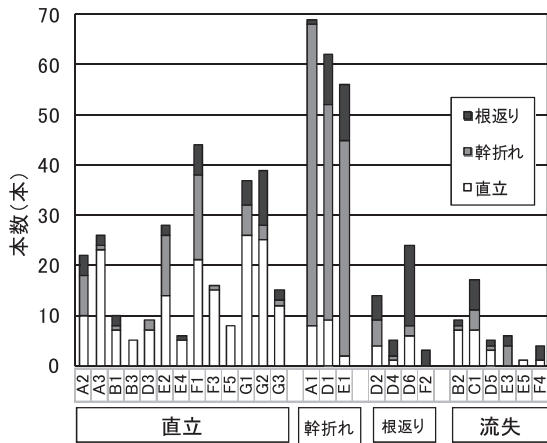


図5 被害形態別の出現本数

も確認されたが多くの流失した痕跡があり(B2), 410 mから420 m地点では直立木が残存していた(B3).

Cラインは一部に直立木も存在するが、根返りのため流失した痕跡が多かった(C1).

Dラインは140 m地点(BP)から比較的若い林が続き、240 m地点まで幹折れ等によって倒伏していた(D1). 一部の根返り区間を挟んで(D2), 280 mから310 m地点のやや地盤高が高い箇所では胸高直径20 cm以上の太いマツに変わり直立していた(D3). その内陸側から再び根返りが多くなり(D4), 340 m付近からはほとんどのマツが根返りによって流失していた(D5). 415 m付近からは根返りが多く、胸高直径20 cmを超える太いマツのみが残存していた(D6).

Eラインも170 m地点(BP)から若い林分が続き、280 m地点まで幹折れが多かった(E1). その内陸側は地盤高が1 m程度高くなっており、数本の直立した残存木が存在した(E2). 330 m地点より内陸側の低地のマツはほとんどが根返りによって流失し(E3,E5), 部分的に直径25cmを超える数本のマツが残存していた(E4).

Fラインは270 m地点(BP)から340 m地点まで直立木と被害木が混在していた(F1). 340 mから365 m地点は凹地で根返りしていたが(F2), その内陸側は再び直立木が残存していた(F3). 406 m付近に水路が通っていて、その後背部には流失した区間があり、420 mから440 mの間はそれらの流失したマツのガレキが堆積している部分であった(F4). そこから内陸側のマツ林は外見上ほとんど被害を受けていなかった(F5).

GラインのBP(450 m地点)は貞山運河の内陸側堤防にあり、EL+2.8 mの堤防から約2.2 m下りると、内陸側はEL+1.0 m未満の低地であった。ライン上の上層木はほぼ直立して残存していた(G1~G3). 510 mから520 mの間と550 mと580 mの間は一段さらに低い凹地で、津波前のGoogle Earthの画像(2010年4月4日撮影)でも無立木地であった。

3.2 地盤高と地下水位

水準測量と地下水位の測定結果を図6に示す。調査ライン上の地盤高は、貞山運河の堤防(Gラインの

450 m付近)を除けば2.5 m未満で全体的に起伏に乏しい。それぞれのラインにおいて、同じ測定日の地下水位は地表の起伏に関係なく一定で、汀線から内陸方向にかけての地下水面はほぼ平面であることが観察された。

各測定日の地下水位と測定前5日間の積算雨量を図7に示す。地下水位は測定前の降雨によって変動しているが、調査期間中における最高水位は、EL±0~0.4 m付近であった。ただし水路に隣接するA3区間、B及びCラインの最高水位はEL-0.1 mの付近であったが、これは隣接する水路の水位とおおむね一致し

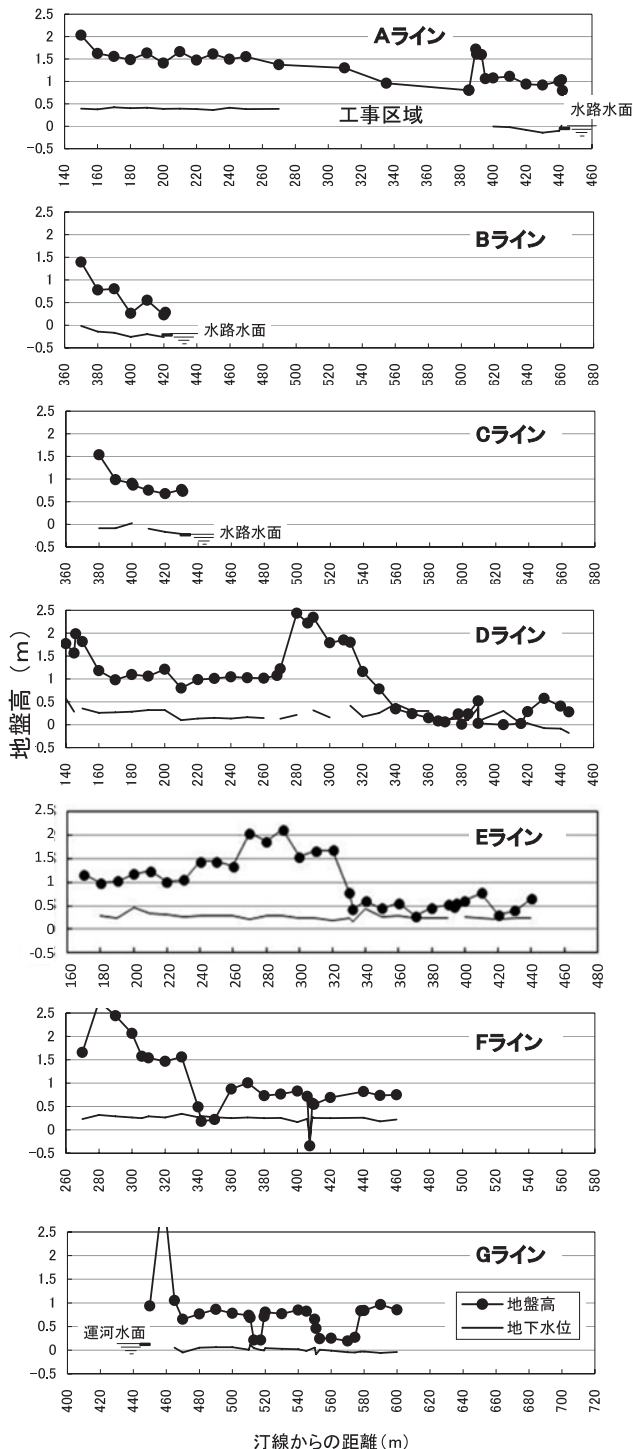


図6 各調査ラインの地盤高と地下水位

た. この値は, 同じ測定日のA1~A2区間の地下水位よりも約0.5 m低く, 水路の存在が地下水位を低下させていることを示している.

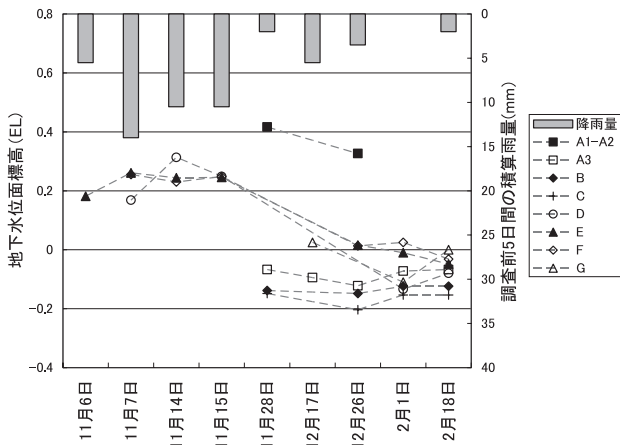


図7 地下水位の変動と降雨量の関係

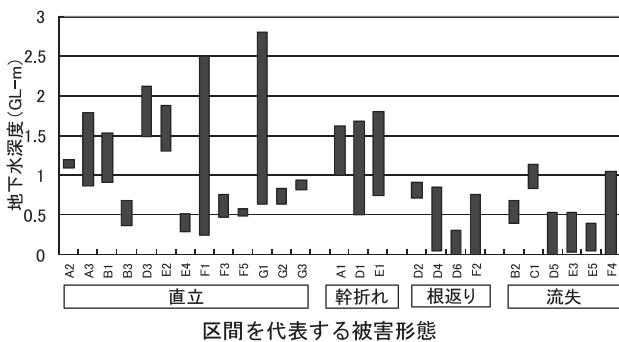


図8 各区間の地下水位

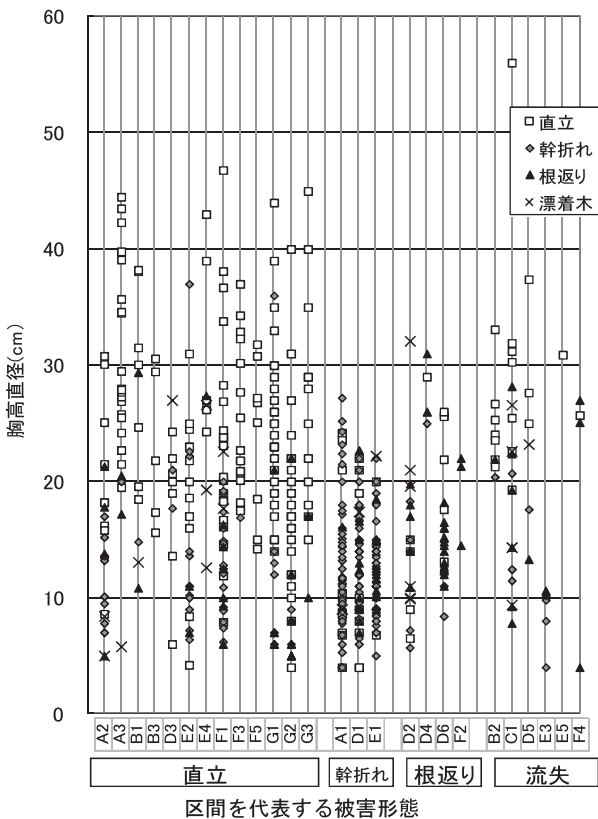


図9 各区間における出現個体の胸高直径

3.3 地下水深度

測定期間中に観測された最高地下水位から求めた区間別の地下水深度の範囲を図8に示す. 地下水位は各ラインともほぼ水平であるため, 地面の起伏が大きいと地下水深度の範囲は広がる. 根返り区間と流失区間の地下水深度は概ね1.0 m未満であり, 中でも流失区間は0.5 m以下の区間が多かった. 幹折れ区間の地下水深度はそれよりも深かった. しかしその一方で, 直立区間の中には地下水深度が浅くても根返りを起こさなかった区間も存在した. 例えば, 根返りした区域の中で縞状に残った林帯部分に設定したFラインやGラインの地下水深度は1.0 m未満の部分が多かった. これらのラインの現地踏査では, ライン上の根返りしていない箇所とラインに隣接した根返りした箇所とは地盤の高さには差がなかった. このため, ライン周囲の林帯が縞状に残存した理由は, 地下水位が周囲よりも深かったためではないと考えられた.

3.4 胸高直径

各区間における出現個体の胸高直径を図9に示す. 直立区間では, 胸高直径が20 cm以上の個体の多くは被害が少なく, それより小さいサイズの個体には幹折れや根返りの被害が多かった. ただし, 残存帯に設定したFラインとGラインでは, 胸高直径15 cm程度の個体でも被害を受けずに残存していた. 幹折れ区間は直立区間と比較して胸高直径が20 cmを超える個体が少なく, そのほとんどが被害を受けていた. 根返り区間と流失区間においては胸高直径が20 cm未満の個体が少ないが, これは流失したマツが多いためと推測される.

胸高直径階と被害形態の関係を図10に示す. 幹折れは幹が太くなるほど少なくなるのに対して, 根返りは胸高直径が30 cmぐらいまでは太さに関係なく同じぐらいの割合で起こっているように見える. しかし, これは前述したように小径の個体が流失してしまったために, 胸高直径が20 cm未満の根返り個体の割合が相対的に小さくなっていることが考えられる. 胸高直径が20~25 cmでは直立個体の割合が60%を超え, 25~30 cmでは80%を超えた. 胸高直径40 cm以上では100%であった.

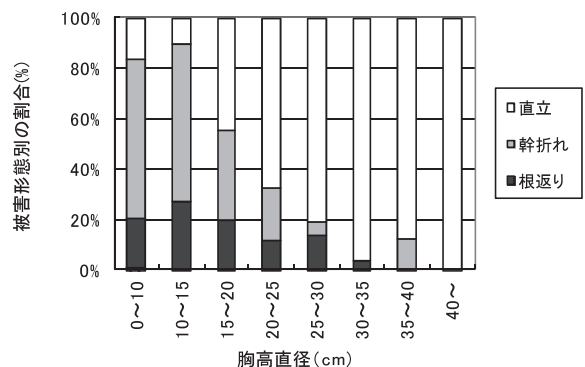


図10 胸高直径階ごとにみた被害形態の出現割合

根返り木と直立木の胸高直径と地下水深度を図11に示す。その結果、直立木が地下水深度にかかわらず胸高直径5~50 cmの範囲に分布したのに対し、根返り木は胸高直径20 cm以下に多く分布していた。よって地下水深度が同等であれば、胸高直径が大きくなるほど根返りは起こりにくかったことになる。これは、直根の伸長は地下水によって制限されていたが、胸高直径が大きい個体は水平根が広範囲にたく発達していたために相対的に支持力が大きかったためと推測された。この図より地下水深度が1.0 m以上の場所では、胸高直径が20 cm以上の個体はほとんど根返りしなかったと判断される。しかし地下水深度が1.0 m未満の場合は、大径の個体でも根返りした事例が多く確認された。

3.5 津波浸水深

以上、海岸林の条件として、胸高直径と地下水深度が被害の発生に大きく関係していることを述べたが、この他の要因として津波の強さについても考慮する必要がある。

そこで、津波浸水深を把握する必要があったが、調査ラインにおいて、津波痕跡からその地点の津波浸水深を推定することは、立木の損傷が激しく信頼性の高い痕跡が残っていないため困難であった。そこで汀線側から内陸に向かって徐々に浸水深が低下していったと仮定し、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ（2011）の測定値による汀線側の痕跡高と内陸側の痕跡高からその地点の浸水深を計算し、浸水深を推定した。調査ライン上の凹凸の標高差はGラインを除けば最大でも2.5 m程度であり、防潮堤や貞山運河の堤防などの人工構造物の内陸側においては地形が津波浸水深に与える影響は比較的小さかったと考えられる。さらに海岸林帯の存在による津波浸水深の減少効果は、数値シミュレーションの結果からそれほど大きくないと推定される（野口ら、2012）。津波浸水深は汀線側で高く、内陸側に行くに従って徐々に低くなる。また、浸水深が同じでも地盤高が高ければ津波浸水深は小さくなり、地盤高が低ければ大きくなる。

計算した各区間の津波浸水深の範囲を図12に示す。幹折れ区間は汀線側に位置しており、やや地盤高が高い。逆に根返り、流失区間はどちらかという内陸側に位置しており、地盤高が低い。このため幹折れ区間と根返り・流失区間の間には津波浸水深の明らかな差は認められず、どちらも概ね3.5 m以上であった。

次に樹高に対する津波浸水深と胸高直径の関係について幹折れ木と直立木の比較を図13に、根返り木と直立木の比較を図14に示す。3.4で述べたように、胸高直径が20 cmを超える個体は幹折れ木が少なく、樹高に占める津波浸水深の割合が0.6近くでも直立している個体がある。それに対して胸高直径20 cm以下では0.3あたりから幹折れが起こり始め、

0.4以上ではほとんどが幹折れの被害木であった。一方根返り木では、幹折れと同じく樹高に占める津波浸水深の割合が0.3ぐらいから根返りが起こっていた。しかし幹折れほど津波浸水深及び胸高直径の関係は明瞭ではなかった。おそらく根返りの発生には、地下水深度つまり根系の深さが大きく関係しているためであると思われる。

3.6 防災林としての耐性

首藤（1985）は過去の津波に関する海岸林被害の報告書を基に津波浸水深と胸高直径の関係を示している。図15はこれに今回の調査結果を重ねたもので

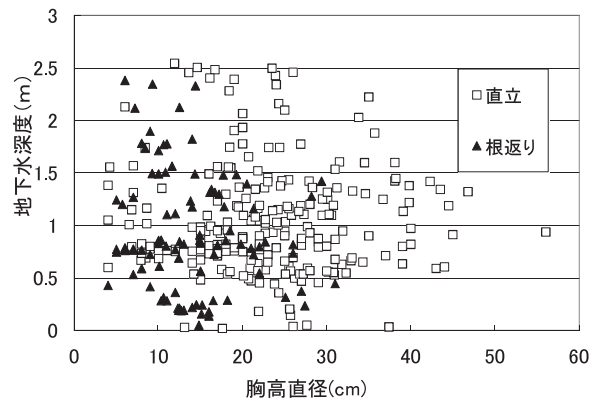


図11 根返り木の胸高直径と地下水深度の関係

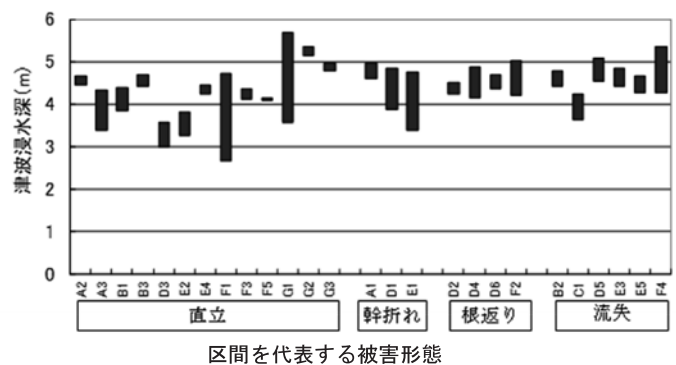


図12 各区間の津波浸水深の範囲

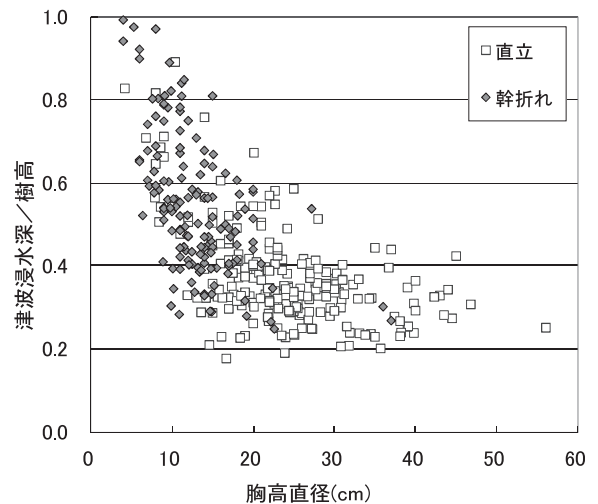


図13 幹折れ木の胸高直径と津波浸水深の関係

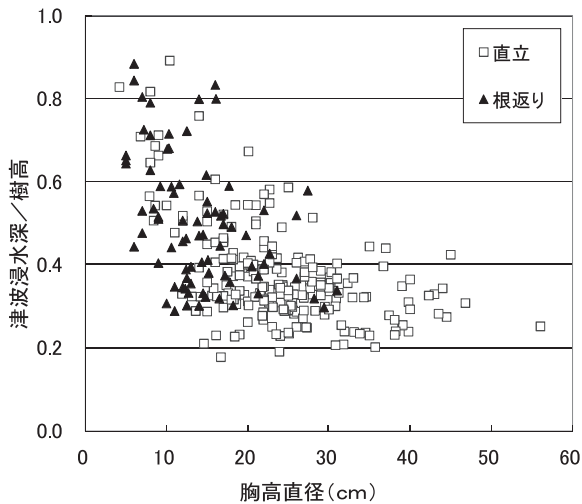


図 14 根返り木の胸高直径と津波浸水深の関係

ある。首藤にならって直立区間では、区間内の直立木の最小胸高直径と浸水深をプロットし、幹折れ、根返り、流失区間ではそれぞれの代表的な被害形態を示す被害木の最大胸高直径と浸水深をプロットした。この図において曲線 I の右側領域は、「樹木が津波に対し全く無効果」つまり、樹木が耐えることができない領域である。逆に曲線 II の左側の領域は、悪条件でない限り切断も倒伏もされない領域であり、両曲線に挟まれた領域は「防潮林内部においても洗掘に起因する倒伏がみられる」領域である。直立区間のうち、G1、A2、G3 は曲線 I の右側にプロットされており、これらは首藤の図から予測されるよりも耐性が高かったと判断される。しかし、G1 と G3 区間の生育条件は周囲の根返り・流失している林分と同じであると推測されることから、被害を受ける条件にあるが、波力が何らかの理由で弱まったことにより被害を免れた区間であると考えられる。また A2 についても胸高直径 10 cm 以上の幹折れ被害木が混在していたことから、これらの区間が特に耐性が高かったとは言い難い。一方、F4(流失区間)と D6(根返り区間)が曲線 II の左側にプロットされている。これらは首藤の整理では胸高直径と浸水深からは安全とされた領域にあるが、いずれの区間も地下水深度が 0.5 m 未満であり、極めて浅かった。この結果は根系の生育条件が悪く、首藤が想定したよりも耐性が低かったことを示唆している。

4 結論

4.1 被害形態と要因のまとめ

以上の結果から本調査における被害形態と地下水深度及び胸高直径の関係について図 16 のようにまとめることができる。地下水深度が 1.0 m 未満の範囲では根返りが起こりやすく、その一部は流失した。また地下水深度が 1.0 m 以上であっても胸高直径が 20 cm 未満の範囲においては根返りと幹折れが重なって発生した。根返り、幹折れともに胸高直径が大きくなるほど少なくなった。なお被害が発生し始めた津波浸水深は樹高の 0.3 倍程度だった。

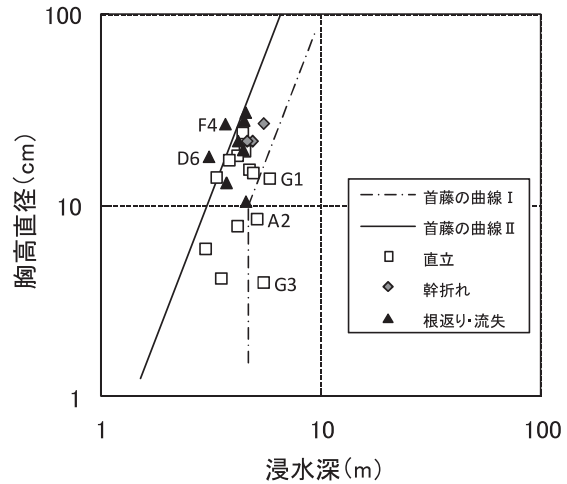


図 15 被害要因に関する首藤の図 (1985) での位置づけ

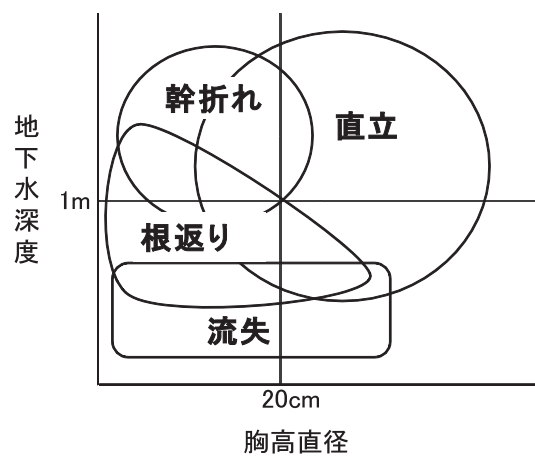


図 16 被害形態と要因のまとめ

4.2 必要盛土高

仙台平野は砂丘と浜堤の後ろに堤間湿地を有しているが、今回この湿地に生育していた樹木が根返りして家屋や田畑に流失した。今後の海岸林造成では少なくとも流木被害を起こさず、かつ漂流物を内陸側に流さないように林内に止める構造にする必要がある。地下水深度は根返りの発生と関係が強く、今回の調査では地下水深度が 1.0 m 以下の部分において、根返り若しくは流失が起こっていた。このことから盛土による植栽基盤厚は 1.0 m 以上を一つの目安とすることができる。ただし、地震によって調査地周辺が 25~30 cm 地盤沈下していることや雨の少ない冬季に水位を観測したことを考えると、地下水深度は最低でも 1.5 m は必要と考えられた。

さらに、水路が地下水位の低下に働いていたことから、一律に平坦に盛土するよりも排水されやすい多重堤構造にして頑健な樹幹を有するマツの林帯を造成し、漂流物の流出を阻止できるように計画することが有効であると考えられた。

4 おわりに

砂丘が未発達のために低地に存在する仙台平野の海岸林の津波被害について、被害形態と地下水深

度との関係を調査した。今回の調査結果から盛土によって確保すべき植栽基盤の高さを1.5 m以上としたが、これは根返りを起こしにくいと考えられる最低限の高さである。マツは、条件によっては5 m以上の深度まで直根を伸張させると言われており(苧住, 1979), 本来の健全な根系を発達させるためには、より高い盛土が好ましいと考えられる。すでに被災地では「東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会」でまとめられた方針に基づき、2 m以上の生育基盤を造成する工事が始まっている。この盛土によりマツ本来の十分な深さの根が張って根返りしにくくなるほか、同じ高さの津波が襲来したとしても、地盤が高くなったぶん、浸水深も小さくなって幹折れもしにくくなると考えられる。今後は適切な森林施業によって幹が太い形状比を抑えた健全なマツ林に誘導することが重要である。

引用文献

- [1] 石川政幸 (1992) 海岸林の防潮機能と効果. 「日本の海岸林」, ソフトサイエンス社, 村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也編, 289-298.
- [2] 岡田穰・野口宏典・岡野通明・坂本知己 (2012) 平成23年東北地方太平洋沖地震津波における家屋破損程度からみた海岸林の評価—宮城県石巻市長浜の事例—. 海岸林学会誌, 11(2), 59-64.
- [3] 小田隆則 (2001) 海岸砂丘低湿地における植栽木根系の滞水反応と樹林帯造成法に関する研究. 千葉県森林研究センター特別研究報告, 3.
- [4] 苧住昇(1979)クロマツ. 樹木根系図説, 誠文堂新光社, 562-569.
- [5] 菊池俊一・渡部公一・佐藤恒治・須藤泰典・上野満・齊藤正一・堀米英明・海老名寛・坂本知己 (2012) 東北地方太平洋沖地震津波による海岸林被害と根系発達状況の関係. 第123回日本森林学会大会講演集 (CD-ROM)
- [6] 坂本知己・新山馨・中村克典・小谷英司・平井敬三・齋藤武史・木村公樹・今純一 (2012) 東北地方太平洋沖地震津波における海岸林の漂流物捕捉効果—青森県八戸市市川町の事例—. 海岸林学会誌, 11(2), 65-70.
- [7] 佐藤亜貴夫・田中三郎・大野亮一・坂本知己・井口英道 (2011) 津波被害に対する海岸林の盛土効果—福島県松川浦の盛土造成地の事例—. 平成23年度日本海岸林学会石巻大会講演要旨集, 13-16.
- [8] 佐藤創・鳥田宏行・真坂一彦・阿部友幸・野口宏典・木村公樹・坂本知己 (2012) 東北地方太平洋沖地震津波におけるクロマツ海岸林被害と林分構造の関係—青森県三沢市の例—. 海岸林学会誌, 11(2), 41-45.
- [9] 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, 465-469.
- [10] 田村浩喜・金子智紀・加賀正博・村上雅美・野口正二・坂本知己 (2012) 仙台平野における東北太平洋沖地震津波による海岸林被害—仙台市若林区荒浜周辺
- の被害状況と土壌水分—. 第123回日本森林学会大会講演集 (CD-ROM)
- [11] 寺本行芳・浅野敏之・林建二郎・多田毅・今井健太郎・坂本知己 (2012) 2011年東北地方太平洋沖地震津波発生後の宮城県名取市閑上浜における海岸林被害と盛土残土による海岸林の被害軽減効果. 海岸林学会誌, 11(1), 11-18.
- [12] 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Tsunami Information, <http://www.coastal.jp/tjt/index.php>.
- [13] 日本気象協会 (2011) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震津波の概要(第3報) 青森県～福島県の津波高・浸水深および青森県～千葉県の浸水状況, <http://www.jwa.or.jp/static/topics/20110422/tsunamigaiyou3.pdf>
- [14] 野口宏典・佐藤創・鳥田宏行・真坂一彦・阿部友幸・木村公樹・坂本知己 (2012) 2011年東北地方太平洋沖地震津波におけるクロマツ海岸林被害の数値シミュレーションを用いた検討—青森県三沢市の事例—. 海岸林学会誌, 11(2), 47-51.
- [15] 東日本大震災復興対策本部 (2011) 東日本大震災からの復興の基本方針. 32pp, <http://www.reconstruction.go.jp/topics/110811kaitei.pdf>.
- [16] 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会(2012)今後における海岸防災林の再生について. 24pp, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/pdf/kaiganbousairinsaisuuhoukoku.pdf>.
- [17] 星上幸良・宇多高明・酒井和也 (2011) 砂丘の持つ津波防災機能—2011年大津波に基づく考察—. 平成23年度日本海岸林学会石巻大会講演要旨集, 23-26.
- [18] 星野大介・岡田穰・金子智紀・田村浩喜・塩谷学・佐藤亜貴夫・田中三郎・中北理・山本幸一・坂本知己 (2011) 東北地方太平洋沖地震津波による明戸海岸林の被害状況. 平成23年度日本海岸林学会石巻大会講演要旨集, 5-6.
- [19] 星野大介 (2012) 東北地方太平洋沖地震津波による岩手県沿岸の海岸林と集落の被害状況. 日林誌, 94, 243-246
- [20] 山中啓介・藤原道郎・林田光祐・後藤義明・鈴木覚・宮前崇・井上章二・坂本知己 (2012) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震津波で発生した津波が仙台市井土地区の海岸林に及ぼした影響. 海岸林学会誌, 11(1), 19-25.
- [21] 山中啓介・藤原道郎・林田光祐・後藤義明・鈴木覚・宮前崇・井上章二・小谷英司・坂本知己 (2013) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震で発生した津波が宮城県仙台市井土地区の海岸林に及ぼした影響(Ⅱ)—アカマツ・クロマツ大径木で構成される海岸林の被害状況—. 海岸林学会誌, 12(1), 1-7.

[受付 平成26年2月4日, 受理 平成26年4月11日]