

海岸防災林再生事業報告書



平成26年 3月

地方独立行政法人 青森県産業技術センター

林業研究所

目 次

I	はじめに	1
II	海岸防災林の被災状況調査	3
1	枯死木調査	3
2	空中写真による調査	10
3	地下水位調査	14
4	土壌分析	16
5	調査結果まとめ	17
III	海岸防災林再造成の検討	18
1	再造成に当たって留意すべき事項	18
2	その他留意事項	20
3	再造成に向けた提案	22
IV	被害材利用の検討	26
1	強度性能試験	26
2	利用動向調査	28
V	おわりに	31
	引用文献	31
	参考資料	33

I はじめに

平成 23 年 3 月 11 日、三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の巨大地震が発生し、東北地方から関東地方にかけての太平洋沿岸は巨大な津波に襲われた。青森県太平洋沿岸の海岸林も巨大津波により、海岸林の前線部を中心に津波の波力により多くの根返り等が発生し、一部では流木化するなどの被害をもたらされたが、他県と比べると本県の被害は軽微であると考えられていた（図-1）。しかし、被災年の夏頃から、当初は健全な状態を維持していると思われたクロマツを中心とした海岸林において、急激にかつ広範囲にわたって針葉が赤褐色となる赤枯れ現象が確認され（図-2）、その後、多くのものは完全に枯死した（図-3）。これまで、海岸防災林には地域の生活環境を守るため、風や飛砂の防止といった機能が重視されてきたが、今回の津波において、海岸林が津波エネルギーを減衰したり漂流物を補足するなどの被害を軽減する効果もあることが確認された（図-4）。このため、今後の海岸林の再造成にあたり、防風や飛砂防備ばかりでなく津波被害も考慮した海岸林が期待されている。しかし、津波への強化や、津波被害の軽減に関する技術的知見は少ない状況にある。

そのため本報告書では、今回の津波被害の調査を行うとともに、被災しても塩害による枯死被害等の少ない海岸防災林の再造成法について検討した。さらに、被害木の利用についての要望も高いことから、被害材の有効利用法についてもあわせて検討した。



図-1 被災直後（平成 23 年 4 月 5 日）



図-2 赤枯れ現象（平成 23 年 8 月 20 日）
（©DigitalGlobe,Inc.,All Rights Reserved.）



図-3 枯死したクロマツ（平成 24 年 11 月 19 日）



図-4 漂流物を補足した海岸防災林（写真：八戸市森林組合）

Ⅱ 海岸防災林の被災状況調査

1 枯死木調査

(1) 調査方法

三沢市及びおいらせ町の立地条件の異なる場所に調査プロットを 3 箇所（以下ベルト A・B・C）を設置し（図-5）、調査プロット内の枯死木について調査を行った。これらの調査プロットは、いずれも幅 5m で海岸から内陸までの細長い区域となっており、各調査プロットの海岸側から内陸側までの延長はベルト A が 210m、ベルト B が 123m、ベルト C が 140m である。

なお、各調査プロットの所在地はベルト A が三沢市五川目地区、ベルト B が三沢市三川目地区、ベルト C がおいらせ町二川目地区である。



図-5 調査プロット位置図

(2) 枯死木調査結果

1) 枯死木割合（図-6）

ベルト A では、平成 23 年の枯死木の割合は 146 本中 60 本枯死の 41% であったが、平成 24 年では 51%（75 本枯死）、平成 25 年では 55%（80 本枯死）と推移した。また、プロット内の枯死木の位置と立地や縦断地形と比較したところ、海岸林前線部のクロマツが津波による折損、根返り、傾斜などの物理的な被害を受け枯死しており、内陸側では凹地形や平坦地形に枯死木や激しい被害が集中していた。

ベルト B では、平成 23 年の調査で 154 本中 32 本枯死の 21% であったが、平成 24 年では 38%（59 本枯死）、平成 25 年では 43%（66 本枯死）と推移した。また、プロット内の枯死木の位置と立地や縦断地形と比較したところ、汀線か

ら海岸林前線部まで 250m以上の距離があることなどから、津波による折損、根返り、傾斜などの物理的な被害はほとんど見られなかった。内陸側では凹地形や平坦地形に枯死木や激しい被害が見られた。また、軽い被害が減少し、中程度の被害が増加するなど被害度の進行が確認された。

ベルト C では、平成 23 年の調査で 123 本中 47 本枯死の 38%であったが、平成 24 年は 69%（85 本枯死）、平成 25 年は 70%（86 本枯死）と、本数割合で全体の約 7 割が枯死していることが確認された。また、プロット内の枯死木の位置と立地や縦断地形と比較したところ、海岸林前線部の平坦地と内陸側の地形のたるみ部分に枯死被害が集中しており、特に海岸林前線から 40m地点まではほとんどが枯死した。調査プロットのなかでは、ベルト C の枯損木割合が最も高くなっている。この要因については、ベルト C の地形が凹地形であることから、侵入した海水が排水されず長時間林内に停滞したために被害が大きくなったものと考えられる。

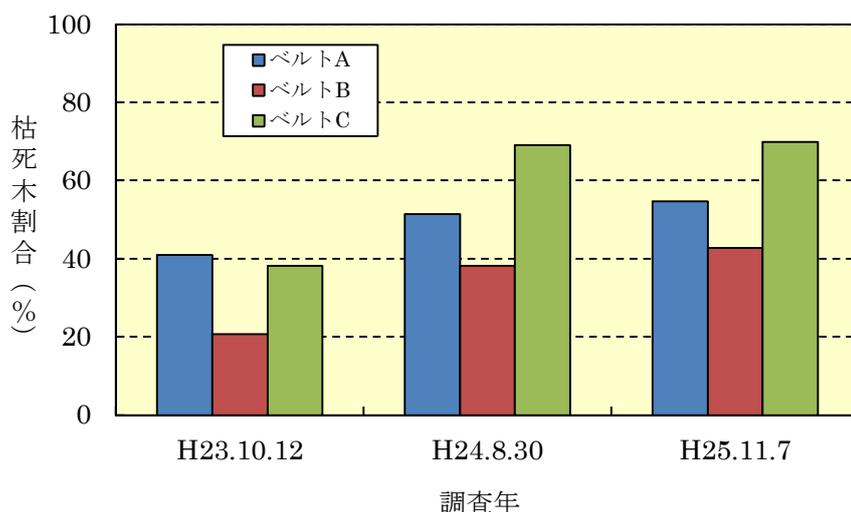


図-6 枯死木割合

2) 枯死木発生の推移

図-7 に枯損木発生の推移を示す。各プロットとも被災から 1 年、2 年と経過しても枯死木が発生していることが分かる。ただし、各プロットとも発生する枯損木数は減少していることから、被害拡大はおさまりつつあるものと考えられる。

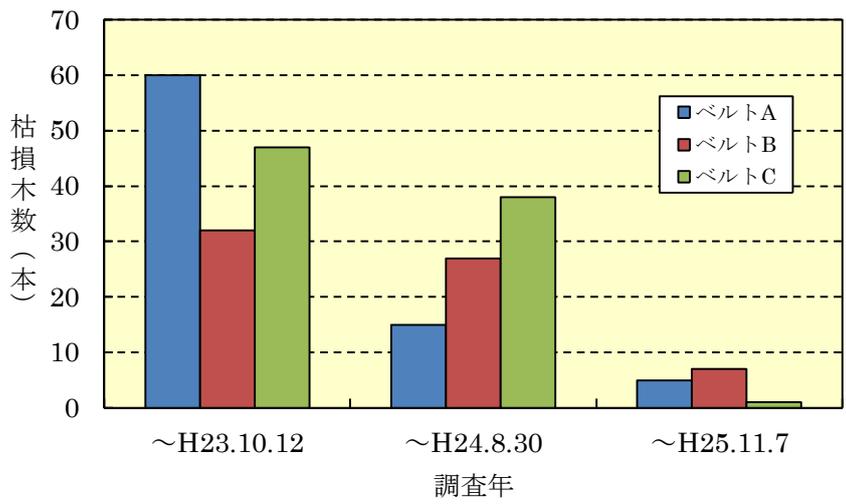


図-7 枯損木発生数の推移

3) 被害木の位置と縦断地形の関係

図-7~9にベルトA~Cの被害木の位置と縦断地形を示す。これより、塩害による枯死被害は林内の微地形に大きく影響され、凹地形や平坦地形で被害が大きく、凸地形や傾斜地形では被害が少ない傾向が確認された(木村 2012)。

① ベルトA

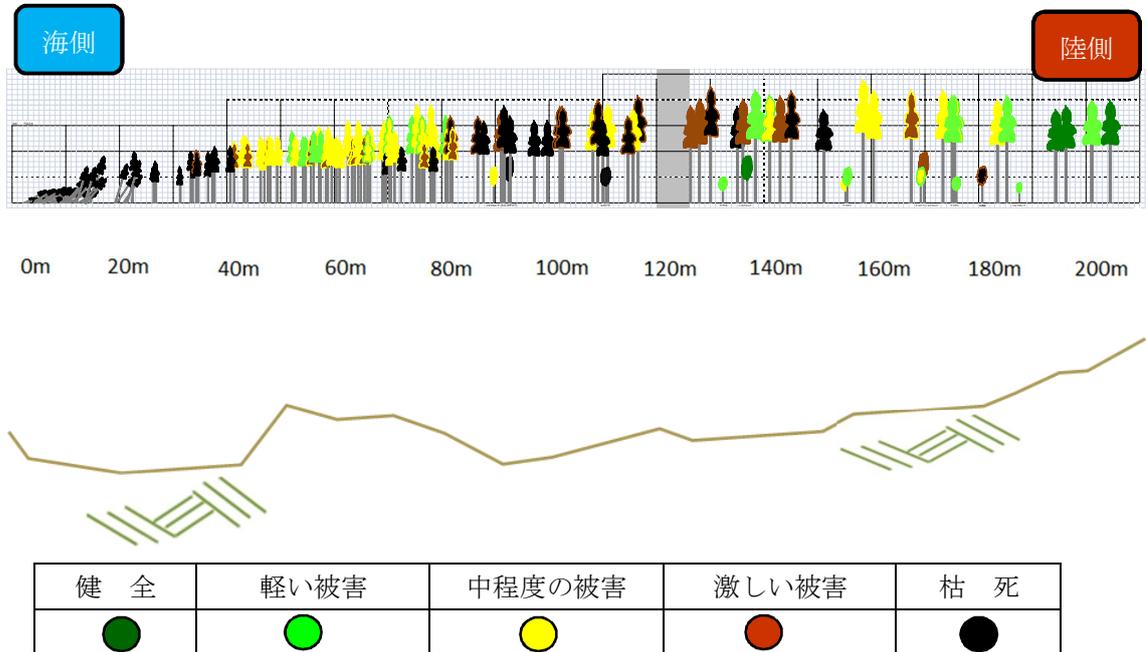


図-7 被害木の位置と縦断地形 (ベルトA)

② ベルト B

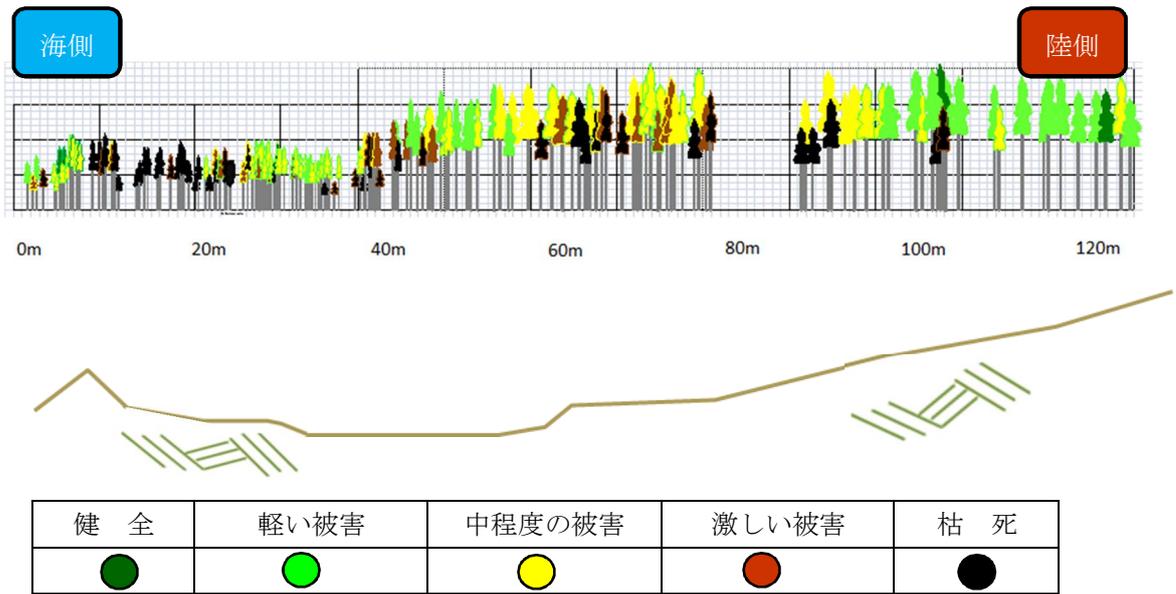


図-8 被害木の位置と縦断地形 (ベルト B)

③ ベルト C

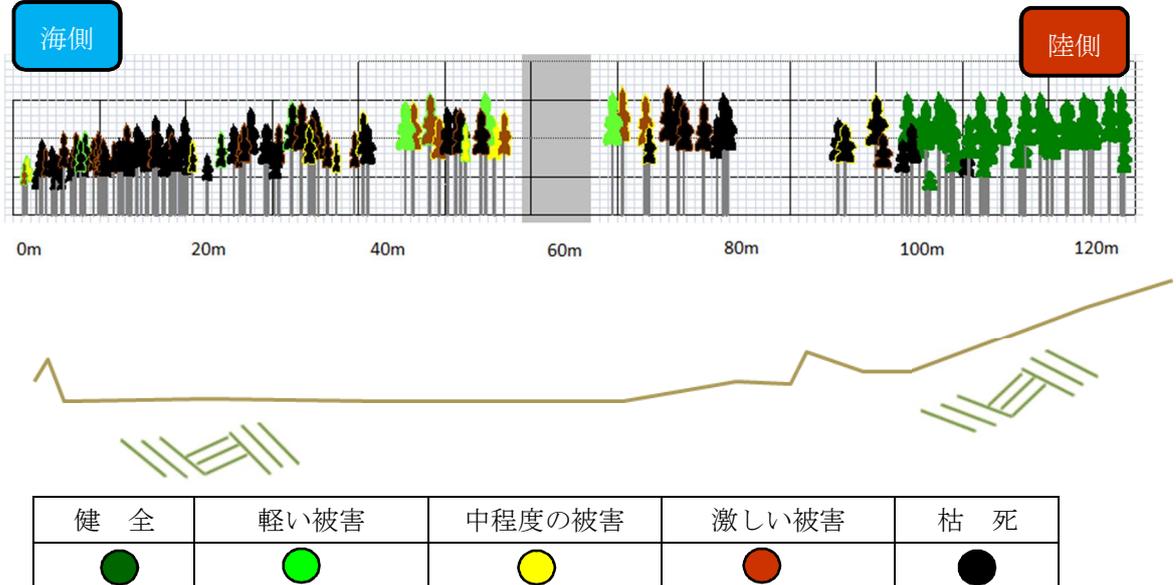


図-9 被害木の位置と縦断地形 (ベルト C)

4) 立木被害と地形との関係についての三次元シミュレーション

海岸防災林の被害状況と地形や海水の滞水状況などを視覚的に確認するため、各種画像データを3次元画像処理して地形及び浸水域などをシミュレーションした結果、周囲よりも低く、海水の滞水しやすい場所において被害が集中することが視覚的に把握できた。

① ベルト A (図-10～図-15)

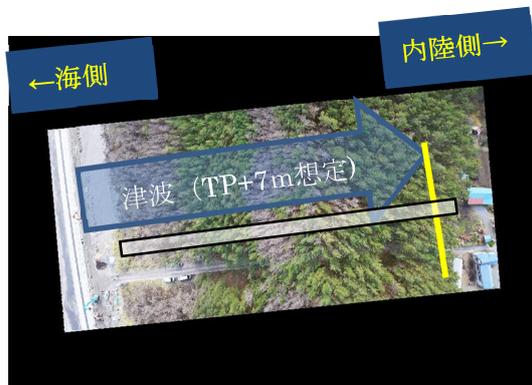


図-10 プロット位置と想定津波到達範囲

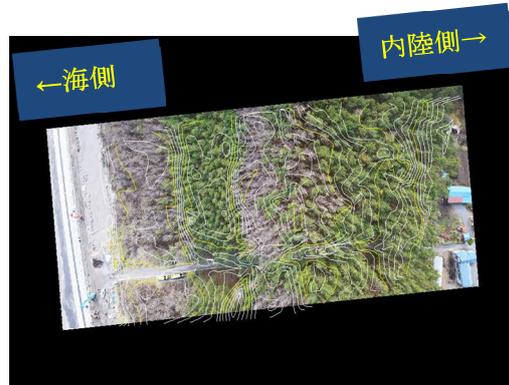


図-11 空中写真と等高線のレイヤー

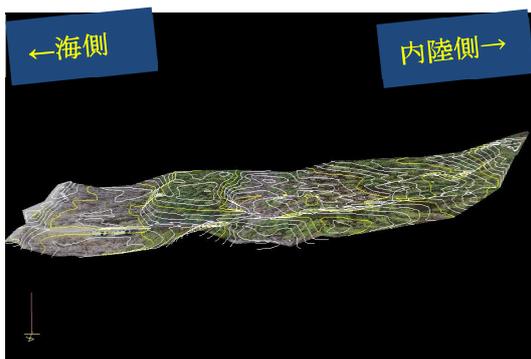


図-12 3次元画像処理

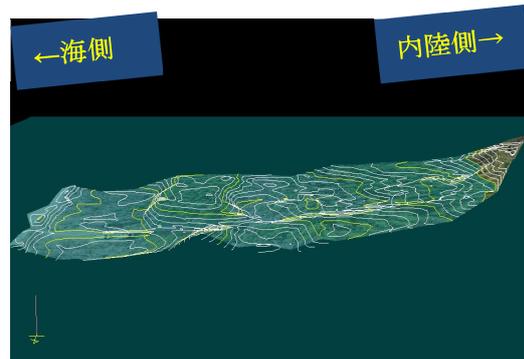


図-13 浸水域シミュレーション (水位 7m)



図-14 浸水域シミュレーション (水位 5m)

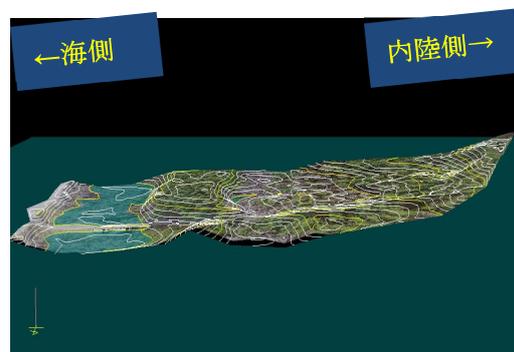


図-15 浸水域シミュレーション (水位 4m)

② ベルト B (図-16～図-21)

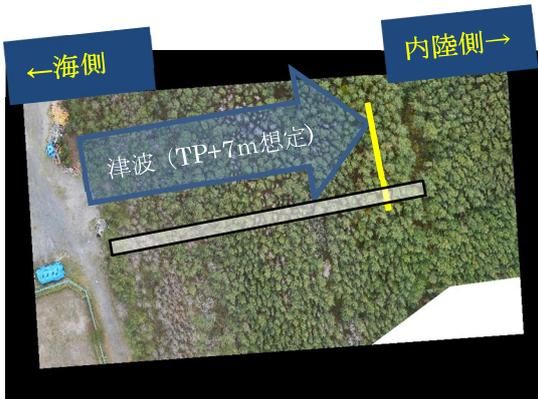


図-16 プロット位置と想定津波到達範囲

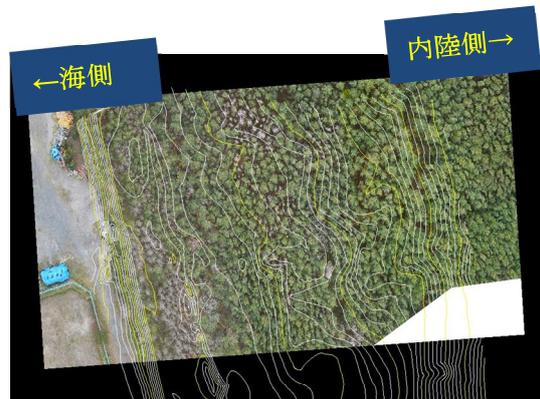


図-17 空中写真と等高線のレイヤー

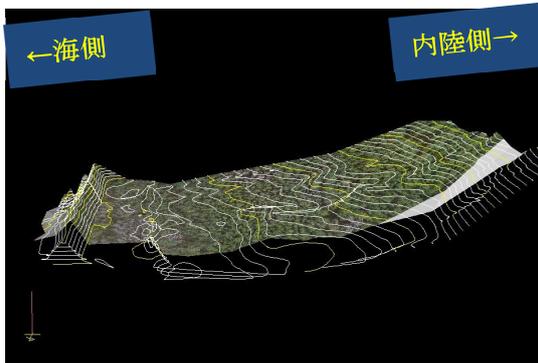


図-18 3次元画像処理

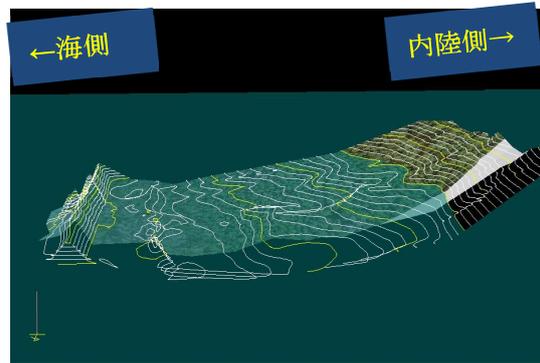


図-19 浸水域シミュレーション(水位 7m)

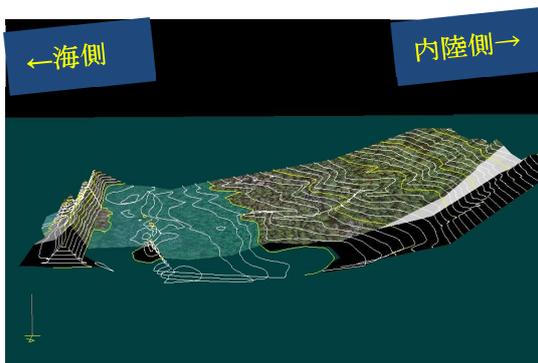


図-20 浸水域シミュレーション (水位 5m)

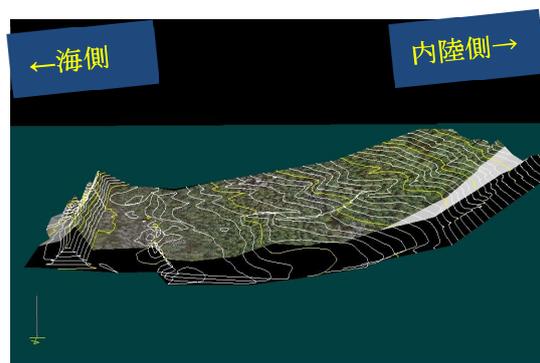


図-21 浸水域シミュレーション (水位 4m)

③ ベルト C (図-22～図-27)

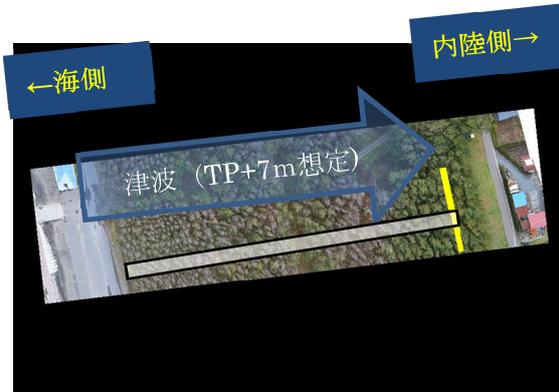


図-22 プロット位置と想定津波到達範囲



図-23 空中写真と等高線のレイヤー

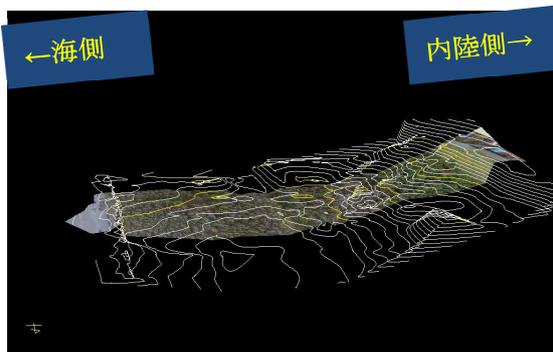


図-24 3次元画像処理

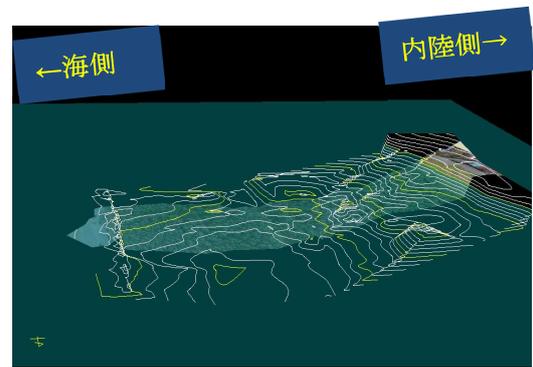


図-25 浸水域シミュレーション (水位 7m)

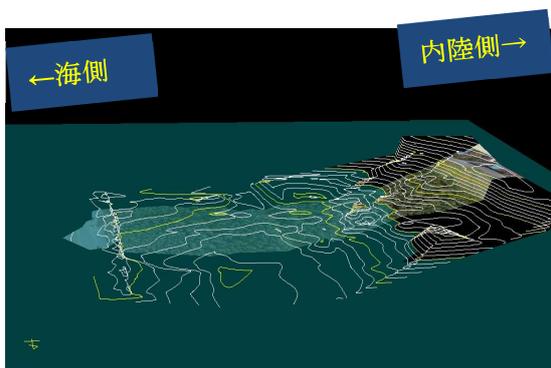


図-26 浸水域シミュレーション (水位 5m)

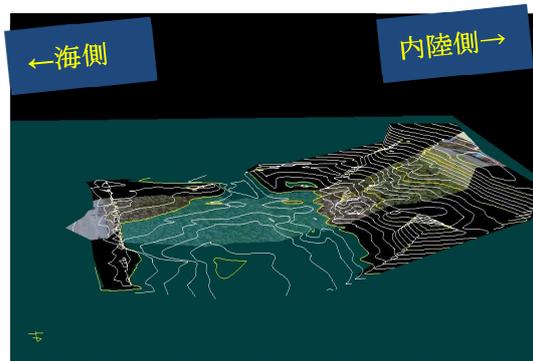


図-27 浸水域シミュレーション (水位 4m)

2 空中写真による調査

三沢市三沢地区（高瀬川放水路）から八戸市市川地区（八戸水産加工団地）間上空の空中写真撮影を実施した（図-28）。

なお、撮影は平成 25 年 9 月 18 日に実施した。

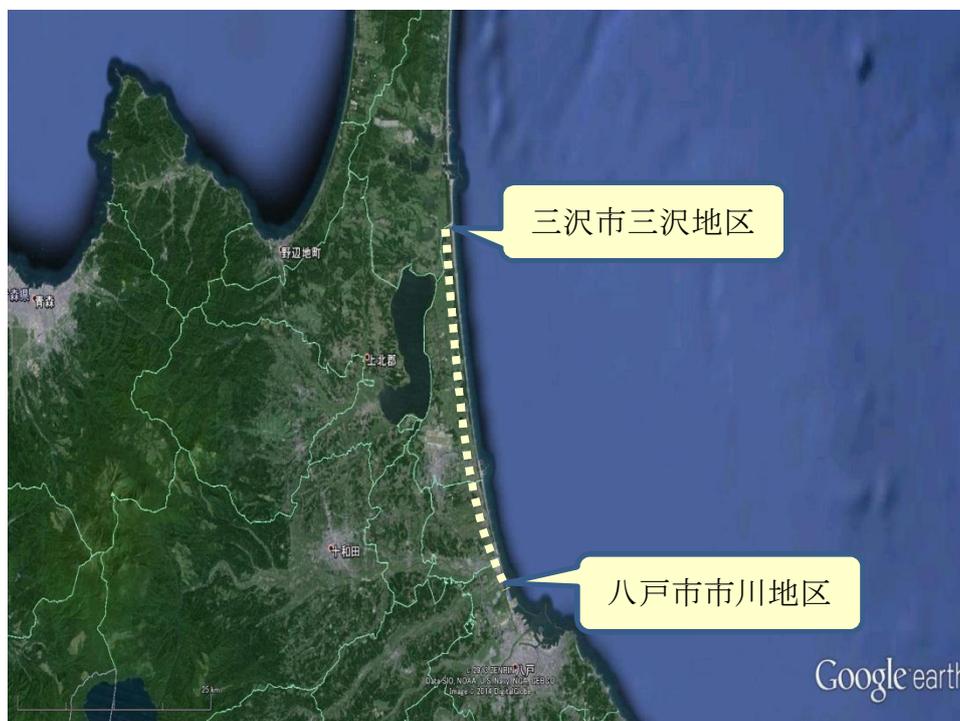


図-28 撮影区域

(1) 被害区域面積の把握

撮影した空中写真を観察して、枯死木が集中あるいは枯死木が大半を占める区域を抽出し、被害区域面積を集計した（図-29）。また、このときの集計に当たっては平成 25 年に実施した一般社団法人青森県林業コンサルタントによる現地調査結果も参考とした。

被害区域面積の市町別内訳は表-1 のとおり。

なお、被害区域面積の詳細や集計に用いた画像データは参考資料として添付した。



図-29 被害区域面積の把握（灰色部分が被害区域）

表-1 被害区域面積

市 町	被害区域面積(ha)
三沢市	87.54
おいらせ町	28.02
八戸市	1.93
計	117.49

(2) 被害軽微区域の確認

空中写真等を観察したところ、周囲に比べ被害が軽微な2つの区域(A及びB)が見られた(図-30)。これらを現地調査したところ、A区域は水路が内陸側から海岸に向かって数本施工された区域であった(図-31)。おそらくこの区域では、津波により海水が流入したものの、水路によりその後の排水が速やかに行われたために被害が軽かったものと推察される。また、B区域は道路に沿って細長く盛土が施工された区域であった(図-32)。ここでは海水が停滞しにくいために被害が軽く済んだものと推察される。一般に、クロマツは耐塩性が高く、短

時間海水に漬かっただけでは枯死しにくい樹種である(伊藤 1985)ことから、津波に強い海岸林造成のためには海水が停滞しにくい構造にするか、侵入した海水を速やかに排水する構造にすることが重要と思われる。

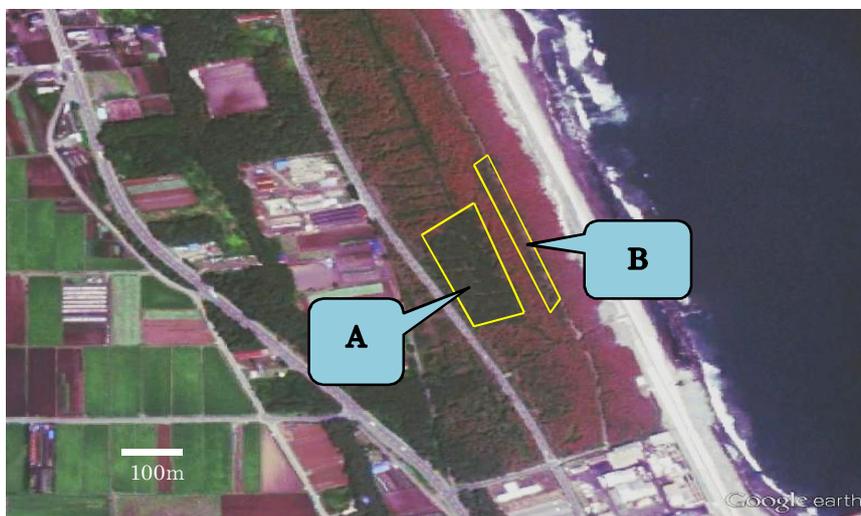


図-30 被害軽微区域 (黄枠内)

(includes copyrighted material of DigitalGlobe,Inc.,All Rights Reserved.)



図-31 被害軽微な A 区域 (水路施工地)



図-32 被害軽微な B 区域（盛土状地形）

3 地下水位調査

(1) 調査方法

設定したベルト A～C において、それぞれの林分の海岸側林縁から内陸側林縁部まで 20m 間隔で調査を実施した。調査はハンドオーガー (図-33) により地表から掘り進み、地下水の浸出が確認される深さを調査した (図-34)。

次に、その地点の地盤高から浸出した深さを引いて地下水位を算出した。



図-33 ハンドオーガー



図-34 地下水位調査

(2) 調査結果

1) ベルト A

図-35 のうち地盤高に注目するとベルト A は比較的起伏のある地形といえる。また、地下水位は 2～4m となっている。

2) ベルト B

ベルト B は海岸側林縁から 50m 付近が低くなった凹地形となっている。また、有効土層に注目すると海岸側林縁から 40m 区域の有効土層は 1m 未満と薄くなっている (図-36 円内)。クロマツの根系は地下水位が高く過湿になりやすい条件では十分に成育できないとされている (図-37、38) (荻住 1957)。また、今回の津波の調査結果によると、根返りを避けるためには最低でも 1.5m 以上の有効土層が必要としている (渡部ら 2013)。そのため、樹木の根系の健全な成長を確保する観点、及び津波に対して根返りしにくい林帯を造成する観点から、植栽木の生育基盤の造成においては、地下水位等から 2～3m 程度の地盤高さを確保するための盛土を実施することが望ましいとしている (東日本大震災に係る海岸林の再生に関する検討会 2012)。

3) ベルト C

ベルト C の地形は 40m 付近が大きく窪んだ凹地形となっている。ベルト C は 3 つのうちで最も被害が大きかった調査プロットですが、これはこのように海水の停滞しやすい地形が影響したものと考えられる。地下水位は 1～2m となっている (図-39)。

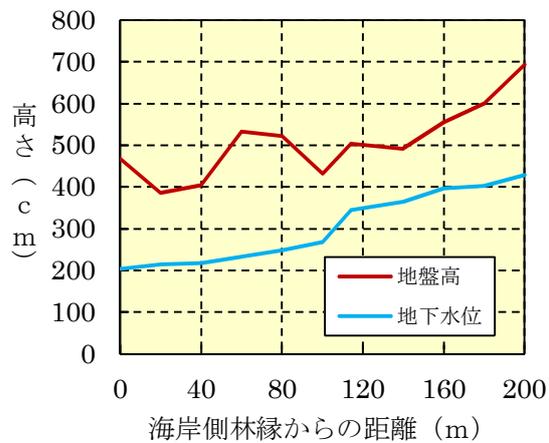


図-35 地盤高と地下水位 (ベルトA)

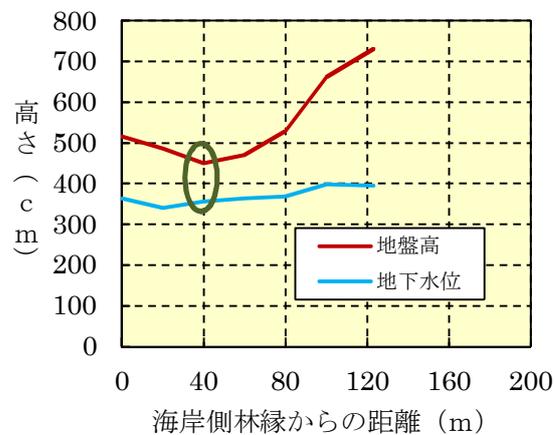


図-36 地盤高と地下水位 (ベルトB)

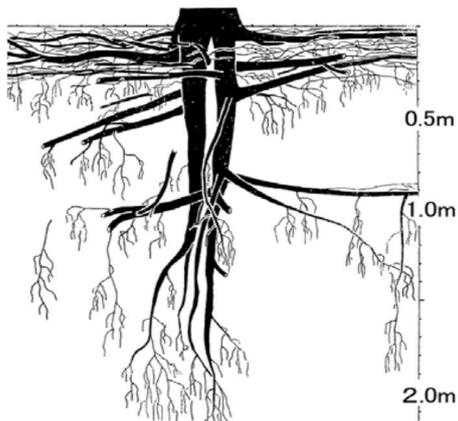


図-37 標準的なクロマツの根 (荻住 1957)



図-38 根返りしたクロマツ (八戸市市川地区)

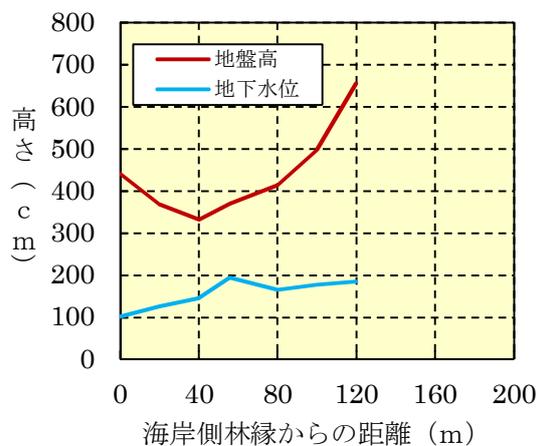


図-39 地盤高と地下水位 (ベルトC)

4 土壌分析

(1) 分析試料採取方法

分析試料として、ハンドオーガーにより深さ 1m 地点の土壌を約 270m³ 採取した。また、採取は各調査プロットの海岸側林縁部から内陸側林縁部まで 20m 間隔で実施した。採取箇所数はベルト A が 11 箇所、ベルト B が 7 箇所、ベルト C が 7 箇所となった。

(2) 分析結果

表-2 に土壌分析結果を示す。

1) pH

現地の土壌 pH は 6.8～9.2 のアルカリ性を呈した。一般に樹木の成育には pH 5.6～6.8 が適正とされているが、海岸林土壌の pH は 6.3～9.6 と幅広いことから、今回の数値は高めではあるが成育可能な範囲にあると考えられる (図-40)。

2) 電気伝導率 (EC)

電気伝導率は電気の流れやすさを示す数値で、この数値が高い土壌は、それだけ塩分濃度が高く、植物の成長は阻害される。水田における除塩対象となる基準値は 700 μ S/cm 以上とされているが、今回の数値はこれを大きく下回っている (図-41)。

3) ナトリウムイオン濃度 (Na⁺)

ナトリウムイオン濃度が増加すると植物の成育が阻害される。除塩の必要なナトリウムイオン濃度は水田では 800mg/kg 以上とされている。今回の数値はこれを大幅に下回っている (図-42)。

4) 塩素イオン濃度 (Cl⁻)

海水が多量に流入すると土壌中の塩素イオン濃度が上昇し、植物に塩害を引き起こす。除塩の対象となる基準値は水田で 1000mg/kg 以上となっているが、今回の数値はこれらを大幅に下回っている (図-43)。

以上、今回行った土壌分析結果では、すべて塩害を引き起こす基準値を下回っており、植栽に支障はないものと考えられる。

表-2 土壌分析結果

区 分	ベルトA	ベルトB	ベルトC	備 考
pH	6.8-8.5	7.6-9.2	7.0-9.2	参考値pH6.3-9.6※1
電気伝導率(μ S/cm)	9-43	10-48	12-87	700 μ S/cm以上除塩※2
Na ⁺ (mg/kg)	6-27	9-44	8-73	800mg/kg以上除塩※2
Cl ⁻ (mg/kg)	2-25	3-24	2-7	1,000mg/kg以上除塩※2

※1：門田ら (1949)、神奈川県砂防課 (1971)

※2：熊本県農林水産部 (2001)

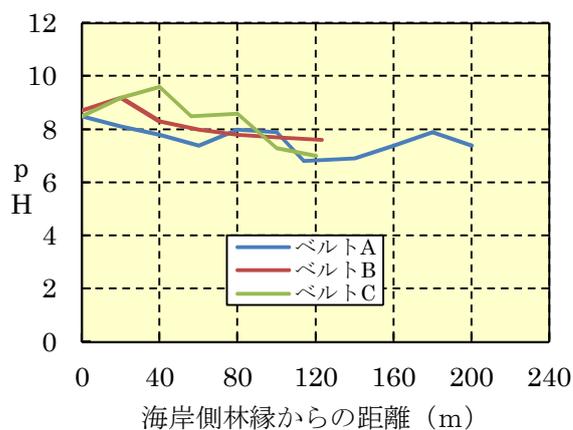


図-40 土壌分析結果 (pH)

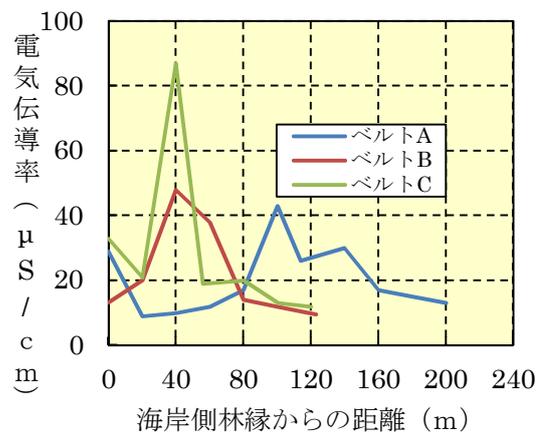


図-41 土壌分析結果 (EC)

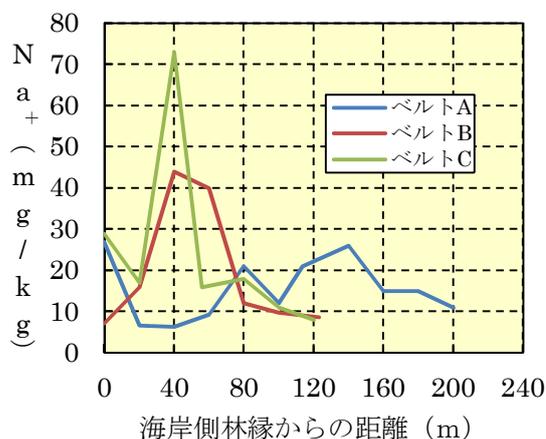


図-42 土壌分析結果 (Na⁺)

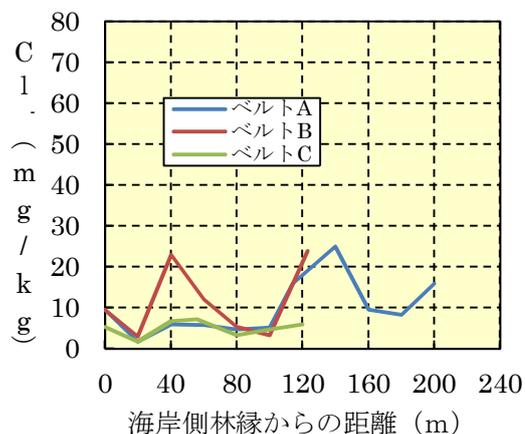


図-43 土壌分析結果 (Cl⁻)

5 調査結果まとめ

- (1) 新たな枯死木が若干確認されているが、被害拡大は落ち着きつつある。
- (2) 塩害による枯死被害の軽減には盛土や水路設置が有効である。
- (3) 有効土層 1m未満の場所があり、根系の健全な成長を促し根返りを防止するための盛土が必要である。
- (4) 土壌環境は塩害のおそれがなく、植栽に支障ない状態である。

Ⅲ 海岸防災林再造成の検討

1 再造成に当たって留意すべき事項

「東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会」による報告書(2012)や他県での事例を参考にして、今後の再造成に当たって留意すべき事項を整理した。

(1) 基本的な考え方

海岸防災林は、飛砂・風害の防備等の災害防止機能を有し、地域の生活環境の保全に重要な役割を果たしてきているとともに、過去及び今回の津波による被災事例においても、津波エネルギーの減衰効果、到達時間の遅延効果、漂流物の捕捉等があることが報告されている。このように、海岸防災林は、津波自体を完全に抑止することはできないものの、津波エネルギーの減衰効果や漂流物の捕捉効果など被害の軽減効果が見られることから、まちづくりの観点において多重防御の一つとして位置づけることができる。

(2) 林帯の構造・配置

飛砂防備や防風等の防災機能を発揮する観点から森林を造成する場合にあつては、おおむね150～250m程度の林帯幅が望ましい。なお、担うべき防災効果を十分に発揮するためには、海岸線に垂直方向の通路等で林帯が分断されないよう留意する必要がある。

(3) 生育基盤の造成

飛砂・風害の防備等に必要な樹高を有する樹木の根系の健全な成長を確保する観点、及び津波に対して根返りしにくい林帯を造成する観点から、植栽木の生育基盤の造成においては、2～3m程度の有効土層を確保するための盛土を実施することが望ましい。その際、盛土による津波エネルギーの減衰効果の観点から、海側から陸側に緩やかな上り勾配や起伏を設けることが望ましい。

(4) 人工盛土の造成

人工盛土は、従来から背後の林帯を風や飛砂等から保護することを目的に造成されてきたが、津波エネルギーの減衰により幹折れ被害を抑制する効果もあると考えられる。人工盛土の高さは、風や飛砂等から背後の林帯を保全する観点から、周辺の人工砂丘の高さ等を考慮の上、林帯の幹折れ被害をできる限り抑制する観点から、箇所ごとに津波エネルギーの減衰を考慮した高さを検討することが望ましい。人工盛土の法面について、海側は、飛砂・風害の防備や土量・盛土面積を抑制する観点から1:2程度の勾配とし、陸側は、越水した際の法面侵食、法尻洗掘の抑制を図る観点から緩傾斜とし、砂草もしくは張芝で表面を被覆するなど表面侵食対策を施すことが望ましい。

(5) 水路工の整備

調査結果から、凹地形など浸入した海水が長時間停滞しやすい地形については速やかに排水できるような海岸林の造成が必要である。そのため、周囲よりも低く、海水の流入しやすい場所においては水路工の設置など、排水を考慮した整備が効果的と考えられる。

(6) 森林の構成

根系が発達し、胸高直径が太く頑丈な幹を持つ樹木は被害を受けにくく、漂流物の捕捉効果を期待できる。枝下高の高い樹木は樹冠部分への津波の影響が少ないため、津波の被害を受ける可能性が低い。一方、枝下高の低い樹木は津波エネルギーの減衰効果が期待できる。なお、小径木は津波被害を受けても、傾いてその場にとどまることが多いことから津波エネルギーの減衰効果を期待できる。これらの知見や地域の実情を踏まえ、森林の構成を検討することが望ましい。

(7) 植栽樹種

海岸砂丘地は樹木にとって苛酷な条件がそろっており、こうした条件で最も適応できるのはクロマツである。最近、海岸への広葉樹植栽が議論されているが、海岸砂丘地帯の立地環境ではクロマツの適応力が広葉樹に比べ圧倒的に大きいことは長い歴史やこれまでの調査でも証明されている。このことから、海岸の植栽樹種についてはクロマツを中心とし、立地環境が改善された内陸側の場所やクロマツ海岸林に保護された風下側では広葉樹も検討できる（森林保全・管理技術研究会 2012）。こうした場合の植栽樹種としてはカシワ、エゾイタヤ、シナノキ、ケヤキ等が有望と考えられる。

(8) 植栽本数

海岸防災林での植栽本数は、10,000 本/ha が標準とされているが（林野庁 2004）、飛砂、潮風の樹木への影響を低減できる場合など植栽地の環境等に応じて植栽本数を 5,000～8,000 本/ha に減らすことも検討できる。石川県の海岸部では、前線部に防風柵を設置して 5,000 本/ha で十分に成林させた事例もある。このように、防風柵や前線部にクロマツが整備されているなど防風対策を講じられていれば、植栽本数を検討することは十分可能と考えられる。これは、海岸林植栽が進み、砂丘地全体に裸地が広がるような状況にないことや森林造成に関する工法・技術が定着したことによるものである（森林保全・管理技術研究会 2012）。

(9) 緑化体制の整備

今回の津波により被災した海岸防災林の着実な再生を図るため、苗木の供給体制を確立する必要がある。そのため、海岸防災林の再生の進捗や植栽地の環

境に適した苗木の需要量を把握した上で、それに見合った苗木生産量の確保に取り組む必要がある。また、最近注目されているコンテナ苗は、活着がよいことや植栽時期を選ばないなどの特性が報告されていることから、今後のクロマツ苗生産の有効な手段とみなされており、本県での適合性を検討しながら順次導入していくべきと考える。

(10) 管理道の整備

長い年月にわたる海岸防災林の維持管理のため、管理道の開設が必要である。この場合、管理道が林帯を分断しないよう、海岸線に平行に設置するのが望ましい。また、この管理道は将来的な松材線虫病（松くい虫被害）の予防対策として、衰退木の監視や除去に活用できる。

2 その他留意事項

(1) 抵抗性クロマツの導入について

抵抗性クロマツについては、現在、当所においては有望な 3 家系が確認されているが、環境適応性について検討中であり、大量供給は困難であることから、現段階では通常のクロマツで造成し、その後、順次導入していくべきと思われる。

(2) 広葉樹の導入について

広葉樹についても、クロマツにより適正に造成した後、地域の要望や状況を見て、機能を補完するものとして順次導入していく。有望な樹種としては、カシワ、エゾイタヤ、ケヤキ、シナノキがあげられる。また、自然侵入した広葉樹については除去せず育成していくものとする。ただし、ハリエンジュ（ニセアカシア）はクロマツの成育に悪影響を及ぼすおそれがあることから除去対象とする（森林総合研究所 2011）。

(3) 枯損木等の処理について

津波被害による幹折れや折損、あるいはその後の虫害等により腐朽が進行したものについては、安全や被害拡大防止の観点から速やかに伐倒・除去等の処理をすべきと考える。また、被害木の除去により部分的に疎林化した場合、空いた場所へのクロマツ植栽については、クロマツ苗木の成育には相対照度 60% 以上が必要とされている（村井ら 1992）ことに留意すべきである。

(4) 密度管理について

海岸防災林の密度管理について、対象林分の上層樹高（林冠高）と立木本数により判定する過密状況早見表を表-3 に示す。これによると、相対密度が 60 未満の場合（緑）は本数調整をすぐに行う必要はなく、相対密度が 60～70 の場合（黄）は過密気味であるため速やかに本数調整を行う必要がある。また、相対

3 再造成に向けた提案

これまでの知見と調査結果を踏まえ、津波に強い海岸林再造成について提案する。

(1) 凹地形への水路施工

凹地形では水路施工等による排水が必要である。このとき水路は最も低い場所に設置し排水路と接続して速やかな排水を促すことが重要と考えられる（図-45）。



図-45 凹地形への水路施工

(2) 凹地形への盛土

立地の制約などにより水路工が施工できない凹地形では盛土して海水が停滞しないようにするのが有効と考えられる。さらに、盛土の天端に勾配を設けて速やかな排水を促すことも重要と考えられる（図-46）。



図-46 凹地形への盛土

(3) 有効土層 1m未満への盛土

地下水位が高く、有効土層が 1m 未満の場合はクロマツの直根の成長を促し、津波による根返りを防ぐため有効土層 2~3m を確保するための盛土が必要となる。また、この場合も盛土の天端に勾配を設けるなど、速やかな排水を促すことが必要と考えられる (図-47)。

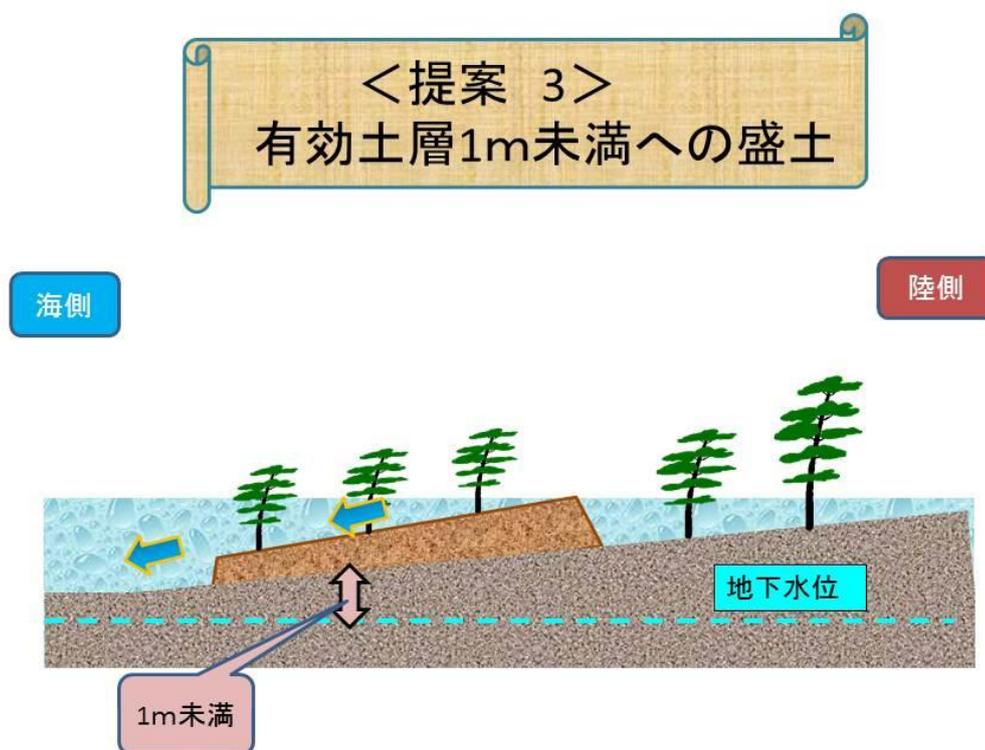


図-47 有効土層 1m 未満への盛土

(4) 優先すべきケース

例えば、背後に保育園など重要な保全対象が控えており、林帯幅が狭くかつ枯死被害の大きい区域は、優先的に再造成することが必要と考えられる。この場合、塩害による壊滅的な枯死を防ぐため、水路施工等による排水が必要となる。あるいは、立地の制約などにより水路工が施工できない場合、盛土が必要となる。また、管理道がある場合はそのまま活かして津波発生時は水路の効果进行を期待する。この場合も、盛土の天端に勾配を設け速やかな排水を促すことが効果的と思われる（図-48）。

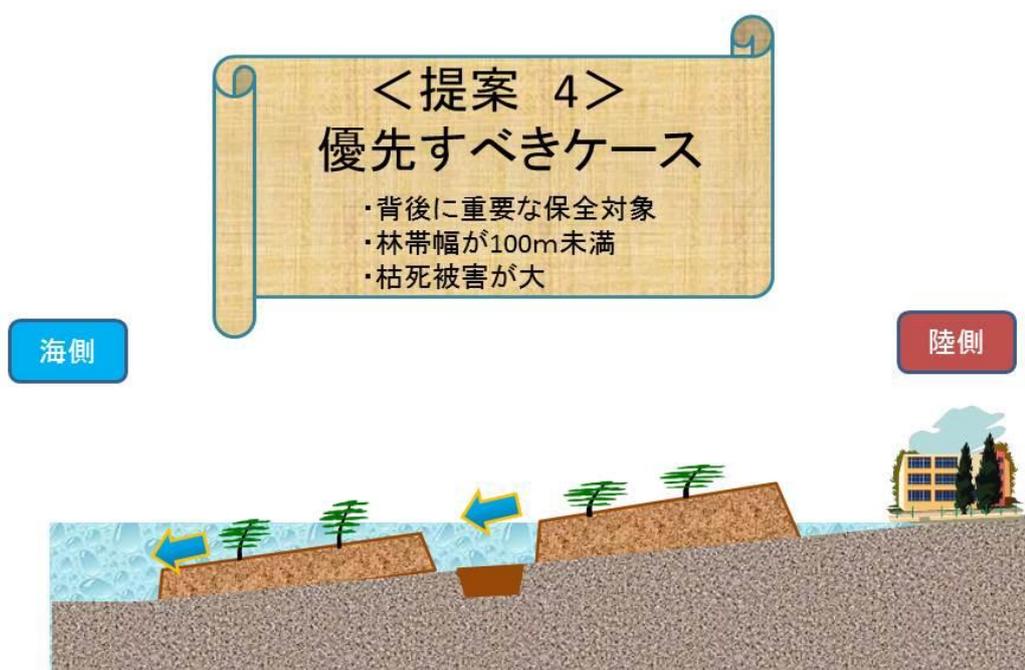


図-48 優先すべきケース

IV 被害材利用の検討

1 強度性能試験

(1) JIS 試験（小試験体による試験）

おいらせ町の海岸防災林内のクロマツ 1 本から試験体を作製し、JIS 試験を行った（表-4 図-49～51）。これらの結果は文献値（林業試験場 1982）と比較すると 14～26%低い値となっている。この要因としては、このクロマツの樹齢が 20 年生と若いことや腐朽による強度低下が考えられる。

表-4 JIS 試験結果

項目	単位	平均値
曲げヤング係数	kN/mm ²	8.6
曲げ強度	N/mm ²	65
縦圧縮強度	N/mm ²	29
密度	kg/m ³	458
含水率	%	17.4
平均年輪幅	mm	2.8

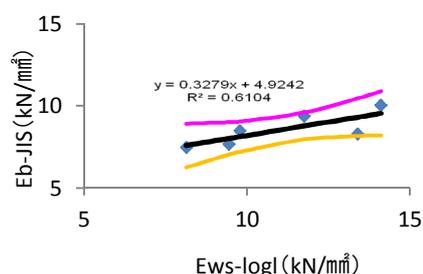


図-49 Ews と Eb との関係

Ews : 応力波伝播法によるヤング係数

Eb : 曲げ試験によるヤング係数



図-50 JIS 曲げ試験



図-51 JIS 圧縮試験

(2) 実大曲げ試験

三沢市の海岸防災林内において被害状況の異なる立木 8 本を選木・伐採し、玉伐りして 39 本の供試木を得た（図-52、53 表-5）。これらから曲げ試験体の作製を試みたが、曲がりが大きかったことから、得られた試験体は平角 4 体と板材 3 体の計 7 体であった（表-6）。これらの試験体について曲げ試験を行ったところ（図-54、55）、枯死木から得られた試験体（枯死材）の曲げ強度は健全木から得られた試験体（健全材）の約 50%であった（表-7）。



図-52 伐採作業



図-53 剥皮した供試木

表-5 供試木の概要

立木番号	樹高(m)	胸高直径(cm)	採材本数(本)	立木状態	樹齡(年)
1	9.3	12.1	3	衰弱	35
2	12.4	19.8	5	枯死	42
3	14.8	19.2	5	健全	48
4	14.1	19.0	5	健全	48
5	17.1	26.2	5	健全	50
6	16.9	25.5	5	枯死	48
7	18.5	29.4	6	健全	68
8	18.4	30.9	5	健全	70
計			39		

表-6 実大曲げ試験体の概要

区分	長さ(cm)	幅(cm)	厚さ(cm)	立木番号	備考
平角 1	220	12.2	16.8	No.5	健全材
平角 2	300	13.7	19.7	No.7	健全材
平角 3	220	12.2	17.0	No.6	枯死材(虫害)
平角 4	220	12.2	13.8	No.6	枯死材
板材 1	220	12.7	4.3	No.6	枯死材
板材 2	220	12.8	4.5	No.6	枯死材
板材 3	220	12.7	4.5	No.6	枯死材



図-54 実大曲げ試験 (健全材)



図-55 実大曲げ試験 (枯死材)

表-7 実大曲げ試験結果

区 分	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
健全材	9.1	41
枯死材	7.4	21

2 利用動向調査

(1) 製材等利用

地元森林組合から、クロマツ材の用途、流通状況の聞き取りを行った。上北管内クロマツ防風林の材は、曲がりが大きく、直材がほとんど採材できないため製材利用には歩留まりの面から困難と考えられる。また、静砂垣の縦木利用も径級選別すると規格に収まるのが少ない。被災当初の資材のない時の復旧時に使用するのであれば有効であるが、流通が回復した現在、寸法がそろわず曲が多い材を使うことはコスト高につながると考えられるため、他の活用方法を検討した方が材の特徴と経済面から合理的と考えられる（表-8）。

表-8 製材等利用動向調査結果

区 分	県（設計）	地元住民	森林組合
防除帯（深浦）	はい積み燻蒸	良材は製材利用を希望	製材その他
津波枯死材（三沢）	静砂垣の縦木	燃料用としての活用	チップが現実的

(2) チップ・パルプ利用

クロマツ材のチップ化とパルプ用材としての引き受け可能性について近隣2工場に聞き取り調査した。どちらも被災地に近く受け入れ可能としている（表-9）。製紙用チップの取引は、湿量基準の含水率で計算した重量で取引される。チップ用木材の受け入れも、重量で行われるが、材による定率を掛けて絶乾重量換算される。重いほど有利な計算になるが、腐朽が進むと繊維に影響が出るので製紙には向かなくなる。

表-9 チップ・パルプ利用動向調査結果

区 分	樹 種	チップ	その他
K工場	アカマツ、クロマツ	製紙用木材チップ	パルプ原木
S工場	L材、N材（クロマツ）	製紙用木材チップ	木質ペレット

(3) 木質ペレット利用

近隣のペレット工場において木質ペレットを試作し(図-56)、木質ペレットの品質分析を行った。このときの測定値と、木質ペレットの品質基準(日本木質ペレット協会 2011)と比較したところ、最上位の品質区分であるA区分の基準値をすべて満たしていた(表-10)。



図-56 試作した木質ペレット

表-10 木質ペレット分析結果一覧

項目	単位	測定値	品質基準 (A)
含水率(湿量基準)	%	9.7	≦10
高位発熱量	MJ/kg	20.5	≧18.4
	kcal/kg	4,900	≧4,390
低位発熱量	MJ/kg	19.2	≧16.5
	kcal/kg	4,580	≧3,940
灰分 AC	%	0.26	≦0.5
硫黄 S	%	0.02	≦0.03
ヒ素 As	mg/kg	0.01 未満	≦1
カドミウム Cd	mg/kg	0.18	≦0.5
全クロム Cr	mg/kg	0.46	≦10
銅 Cu	mg/kg	0.86	≦10
水銀 Hg	mg/kg	0.05	≦0.1
ニッケル Ni	mg/kg	0.37	≦10
鉛 Pb	mg/kg	0.06	≦10
亜鉛 Zn	mg/kg	6.9	≦100
全塩素 Cl	%	0.02	≦0.02
全窒素 N	%	0.09	≦0.5

(4) 被害材利用のまとめ

被害材利用の検討結果を表-11 に示す。

被害材については、材の曲がりや腐朽の程度を考慮しながら利用方法を検討する必要があると考えられる。

表-11 被害材利用のまとめ

利 用 方 法		検 討 結 果	備 考
製材等利用	製材利用	利用困難	曲がりが大きく採材が困難。
	静砂垣の縦木ほか 現地利用	一部利用可能	寸法が不揃いの場合、コスト高のおそれ。
チップ・パルプ利用		利用可能	腐朽が進むと製紙用として不適。
木質ペレット利用		利用可能	品質基準 A をクリア。

V おわりに

本報告は、これまでの調査結果や現時点での知見に基づき、海岸林の再造成や被害材の利用について提案したものである。実際の造成及び利用に当たっては多様な状況が考えられるため、個々の立地環境や状況を考慮しながら検討していく必要があると考えられる。今後、海岸防災林の再造成や被害材利用には、関係機関の連携が重要であるが、当林業研究所では各種調査を継続し、的確な情報や新たな技術的知見を提供していきたいと考えている。

(引用文献)

- (1) 木村公樹 (2012) 東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波により被災した青森県太平洋沿岸の海岸林の被害状況.平成 24 年度林業研究所報告 : P1-15
- (2) 伊藤重右衛門 (1985) 北海道における海岸林造成に関する基礎的研究.北海道林業試験場研究報告.第 23 号 : P33-35
- (3) 苅住 昇 (1957) 樹木の根の形態と分布.林業試験場研究報告.第 94 号:P1-236
- (4) 渡部公一ほか (2013) 仙台平野海岸林の被害タイプと地下水の関係.第 124 回日本森林学会大会講演集 : P185
- (5) 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) 今後の海岸防災林再生について:P1-22
- (6) 門田正也ほか (1949) 防潮林の生態学的研究 (1) .東大立地自然科学研報 3 : 項数欠
- (7) 神奈川県土木部砂防課 (1971) 湘南海岸砂防林調査報告
- (8) 熊本県農林水産部 (2001) 高塩分濃度土壌の除塩対策
- (9) 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:P402-405
- (10) 小田隆則 (1984) 海岸クロマツ林の間伐について-間伐試験をもとにした一試論-.治山,29 (4) ,P92-103
- (11) 小田隆則 (1992) クロマツ林の密度管理.日本の海岸林.ソフトサイエンス社:P407
- (12) 森林総合研究所 (2011) クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方:P10-24

- (13) 森林保全・管理技術研究会 (2012) 津波と海岸林に関する調査研究事業
(平成 22 年度調査報告書) : P180-182
- (14) 林野庁監修 (2004) 治山技術基準解説 (防災林造成編) :P167
- (15) 農林水産省林業試験場 (1982) 木材工業ハンドブック (改定 3 版) : P188
- (16) 日本木質ペレット協会 (2011) 木質ペレット品質規格 : P3