



あたらしい 林業技術

No.660

海岸防災林における植栽樹種の
耐性と適応配置について

令和元年度

要旨

1 技術、情報の内容及び特徴

- (1) 遠州灘海岸では、山土盛土により建設中の防潮堤上に海岸防災林の造成が進められています。ここではクロマツとともに植栽された数種の広葉樹を含めて生育状況、飛砂・飛塩・乾燥耐性等について検討しました。
- (2) 砂土の海側平坦部では、山土を盛土した防潮堤の海側・陸側斜面部と比較して、土壤水分が平均して1/5-1/6程度と低く、乾燥していました。
- (3) 地温は、南向きの海側平坦部・斜面部が北向きの陸側斜面部と比較してやや高く、電気伝導度：EC (mS/m、土壤塩分濃度の指標) はいずれも概ね基準値内で推移していました。
- (4) クロマツは植栽10ヶ月経過以降、新たな枯死木の発生もなく、植栽30ヶ月経過時点では、各植栽箇所の成長量に差がないことから、いずれの植栽箇所にも適応したと考えられます。
- (5) シャリンバイ、トベラ、マサキは、海側平坦部で多くが枯死していました。また、植栽10ヶ月経過時点、30ヶ月経過時点ともに海側平坦部が海側・陸側斜面部よりも樹高成長量が低くなりました。
- (6) 各樹種の飛塩・飛砂・乾燥耐性を評価した結果、クロマツは他の3樹種に比べて乾燥に強いことがわかりました。また飛塩のみもしくは飛砂のみであれば、4樹種とも非常に強い耐性を有していますが、飛砂と飛塩を同時に受けると葉が衰弱することもわかりました。飛砂と飛塩による衰弱の進行はマサキが最も早く、次いでクロマツで、トベラとシャリンバイは同程度でした。現地では乾燥の強い砂地部でトベラ、シャリンバイ、マサキの枯死が集中していることから、海側平坦部はクロマツが適していると考えられます。
- (7) 飛塩・飛砂から植栽木を保護するため設置している木柵については、各樹種の特性に応じた配置に留意し、設置間隔の拡大について検討する必要があります。

2 技術、情報の適用効果

遠州灘海岸における各植栽樹種の適応状況と衰弱要因を明らかにすることで、適地適木の植栽配置を設定できます。

3 適用範囲

遠州灘防潮堤の海岸防災林造成箇所

4 普及上の留意点

- (1) 乾燥に強いクロマツでも、夏季に砂地に植栽後、晴天が続くと枯死することがあります。クロマツは1月下旬から2月、常緑広葉樹は4月か6月が植栽適期であります。
- (2) 山土斜面下部の滞水しやすい箇所や過湿土壌では、根が呼吸できず特にクロマツの枯死が多く発生するため、排水性をよくする等の工夫が必要です。

目次

はじめに	1
1 防潮堤における植栽樹種の生育特性	1
(1) 海岸林における環境ストレス	1
(2) 活着・生育状況	2
2 各樹種の耐性の検討	3
(1) 乾燥・飛塩耐性と両ストレスの相乗効果	3
(2) 飛塩・飛砂耐性と両ストレスの相乗効果	5
(3) 木柵の設置幅の検証	6
おわりに	9
参考文献	9

はじめに

東日本大震災の後、南海トラフ大地震の津波被害想定に基づき、遠州灘海岸では津波に備えた大規模な防潮堤工事と海岸防災林造成が進められています。海岸の潮風や飛砂、強い日差し等による乾燥は植物の活着・生育にとって大きな障害ですが、地域によってその環境が大きく異なります。遠州灘海岸は東西に長く、特に冬に西風が強いという特徴があり、これまで海岸防災林の造成ではクロマツが主に植栽されてきました。新しい海岸防災林では、有識者による検討会を経て、従来から植栽されてきたクロマツに加えて、トベラ・マサキ・シャリンバイを植栽することが決まりました。

トベラ・マサキ・シャリンバイとクロマツはいずれも遠州灘の海岸でよく見られる樹種ですが、それぞれ潮風や飛砂、乾燥に対する耐性が違います。現地における生育状況と室内試験で各樹種の特性を明らかにし、適地適木の植栽配置を検討したので、ご紹介します。

1 防潮堤における植栽樹種の生育特性

(1) 海岸林における環境ストレス

海岸防災林には、家や人、畑を潮風や津波から守る潮害防備保安林、飛砂から守る飛砂防備保安林、強い風から守る防風保安林及び公衆の健康・衛生に寄与する保健保安林の4つの保安林があります。遠州灘海岸林も、400年以上前に潮害等から家や人を守るためにクロマツが植栽されてきた記録があり、潮害防備保安林や飛砂防備保安林に指定されています。

クロマツは、栄養が貧弱な乾燥地によく生育し、葉の形状や樹形から防風、飛塩捕捉等の効果が高いといわれています。トベラ、マサキ、シャリンバイは常緑低木広葉樹で、クロマツほど樹高は高くなりませんが、耐塩性が強く、海水が直接かかるような海岸の崖壁にも見られます(写真1)。



写真1 飛塩が葉に付着した海岸沿いのトベラ

浜松市南区西島町の海岸防災林植栽基盤について、海側平坦部(砂土)、防潮堤の海側斜面部(山土)、

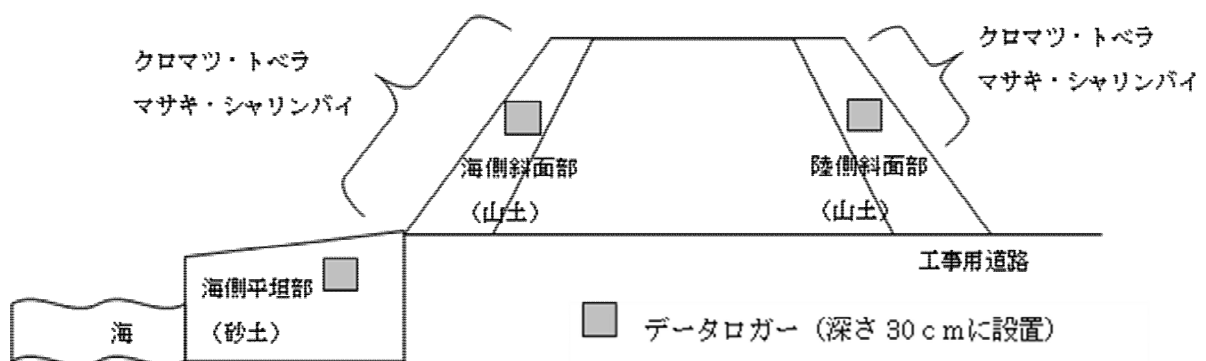


図1 調査地の概要と地温・土壌水分量(%)・EC測定データロガーの配置

陸側斜面部（山土）の3区画に分けて、それぞれの土壌水分量(%)、地温(°C)、電気伝導度(以下、EC)(mS/s)、土壌塩分濃度の指標)を地中深さ30cmに埋めたデータロガーによってモニタリングしました(図1)。

このデータロガーから回収したデータから、砂土が山土に比べて乾燥していることがわかりました。具体的には、砂土の海側平坦部は、山土の海側斜面部・陸側斜面部に比べて、土壌水分量(%)が1/5-1/6程度で、排水性がよいため降雨の後もすぐに水が抜けていました(図2)。

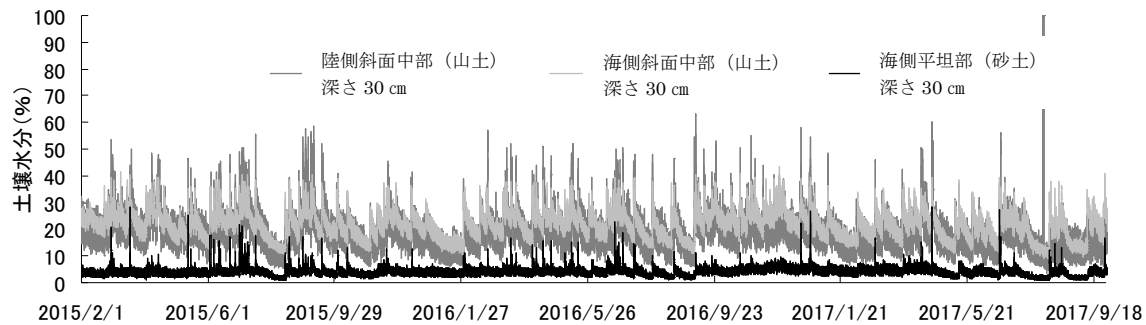


図2 2015年2月(植栽)から2017年9月(植栽30ヶ月後)の調査地の土壌水分量(%) (%)

また、遠州灘海岸は東西に長く、防潮堤斜面は海側が概ね南向き、陸側が概ね北向きになっており、土中温度は日当たりがよい海側平坦部と海側斜面部でそれぞれ平均 $22.9 \pm 7.7^\circ\text{C}$ と $23.4 \pm 6.8^\circ\text{C}$ 、北向きの陸側斜面部は $19.4 \pm 7.8^\circ\text{C}$ と年間を通して海側が高い傾向でした(2015年2月1日~2017年9月30日の1時間ごとの土中温度の平均)。

土壌塩分濃度の指標となるECは、土壌で 1.0mS/cm 以上、砂地で 0.5mS/cm 以上だと脱塩等の処理が必要になります(国土交通省都市局公園緑地環境室, 2013)。ここでは、海側・陸側斜面部の山土に「土壌: $EC1.0\text{mS/cm}$ 以上」、海側平坦部の砂土に「砂地: 0.5mS/cm 以上」の指標を適用します。本調査地の2015年2月1日~2017年9月30日までの平均は、砂土の海側平坦部で $0.03\text{mS/cm} \pm 0.01$ 、山土の陸側斜面中部 $0.07\text{mS/cm} \pm 0.23$ でした。海側斜面中部の深さ30cmに設置したロガーセンサーでは異常値が多く有効な数字が得られませんでした。同箇所の深さ60cmで $0.08\text{mS/cm} \pm 0.04$ 、海側斜面上部深さ30cm地点で $0.09\text{mS/cm} \pm 0.33$ で、山土、砂土、いずれの箇所でも植物の生育に影響を及ぼさない範囲内の数値でした。

(2) 活着・生育状況

各データロガーの周囲には、2014年12月から2015年2月にかけて、クロマツと3種の広葉樹トベラ、マサキ、シャリンバイを植栽し、活着と生育を30ヶ月間調査しました。植栽木の各箇所における植栽30ヶ月後の枯死率を図3に、それぞれの植栽木の樹高成長量を表1に示します。

海側平坦部(砂土)では、常緑広葉樹の枯死が多く、一方クロマツはいずれの箇所でも活着していました。2015年2月から2015年12月の10ヶ月間の樹高成長量は、いずれの樹種も陸側斜面部が海側平坦部よりも高く伸びていました。しかし、クロマツは30ヶ月経過時点で、植栽箇所による樹高成長の差はなくなっており、いずれの箇所でもよく伸びていました。また、10ヶ月経過以降、新たに枯死する植栽木はありませんでした。一方、シャリンバイ、トベラ、マサキは30ヶ月経過後も海側平坦部

の成長量が小さく、トベラとマサキは海側平坦部ではほとんど成長しておらず、その差が拡大してしましました。さらに、30ヶ月経過時点でも新たな枯死木が継続的に出現しており、あまり活着がよくありませんでした。

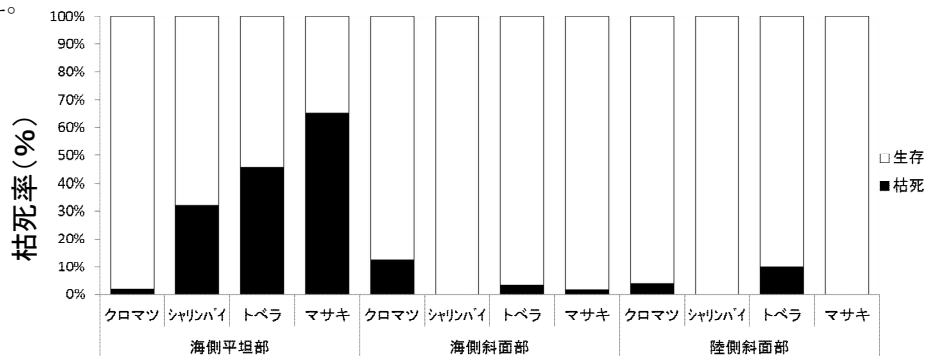


図3 植栽30ヶ月後の各樹種の植栽箇所における枯死率 (植栽本数/枯死本数)

表1 植栽10ヶ月後および30ヶ月後の各樹種の立地別樹高成長量 (cm)

樹種	立地	測定数 (枯死木を除く)	成長量 (cm)		統計
			10ヶ月成長量 2015年12月	30ヶ月成長量 2017年8月	
クロマツ	海側平坦部	235	9.46 ± 7.94	69.92 ± 25.59	a
	海側斜面部	35	8.60 ± 6.86	64.20 ± 28.28	ab
	陸側斜面部	144	12.04 ± 7.75	70.03 ± 27.66	b
シャリンバイ	海側平坦部	100	-1.00 ± 9.10	3.08 ± 10.85	a
	海側斜面部	54	5.24 ± 10.25	10.11 ± 11.63	b
	陸側斜面部	49	10.67 ± 9.50	12.84 ± 11.72	c
トベラ	海側平坦部	80	-1.86 ± 7.56	-9.29 ± 17.26	a
	海側斜面部	56	3.64 ± 5.51	0.05 ± 12.10	b
	陸側斜面部	45	5.07 ± 5.59	1.42 ± 14.55	b
マサキ	海側平坦部	54	5.20 ± 14.30	5.98 ± 16.42	a
	海側斜面部	57	21.44 ± 9.68	20.77 ± 18.33	b
	陸側斜面部	51	28.53 ± 15.34	36.43 ± 19.54	c

*異なる英字間は有意差 (Scheffe 多重比較検定、 $p < 0.05$) があることを示す

2 各樹種の耐性の検討

遠州灘海岸における植栽木の枯死の要因を明らかにし、適地適木の効果的な植栽配置を検討するために、各植栽木の耐性を評価しました。

(1) 室内試験 (乾燥・飛塩耐性と両ストレスの相乗効果)

はじめに、現地の植栽木の生育と地中データロガーの解析結果から、乾燥耐性が活着に影響すると考えられました。海岸線沿いでは、海から海水の飛沫が風で運ばれて葉に付着します。これを飛塩と呼びます。飛塩は内陸ほど減少します。塩分が葉に入ると浸透圧のバランスが崩れて、水分が吸収できなくなり、その部分が壊死します。壊死した部分は、光合成や呼吸といった葉の役割を果たせなくなるため、植物の衰弱につながります。

土壌の乾燥と飛塩による衰弱の相乗効果が、常緑広葉樹の海側平坦部における枯死の要因と考え、各樹種の乾燥耐性と飛塩耐性、またその両方のストレスの相乗効果を室内試験で評価しました。各樹種で灌水の有無と葉の表裏への海水濃度の塩水スプレー (1回/日) の有無を組み合わせると表2の4グ

ループに分け、水分ストレスをプレッシャーチャンバー（葉に圧力をかけて水分ストレスの強さを測定する装置、高いほど乾燥ストレスが強い）で、健全性を mini PAM（葉の光に対する反応から健全性を測定する装置。健全な葉は0.8前後の値をとるが、低気温やストレスにより値が下がる）で測定しました。この4グループについて、約1ヶ月間の観察の結果、次のことがわかりました。

樹種によって水ストレスの進行に差があるため、灌水停止後の日数ではなく、葉の水ストレスの強度と miniPAM による健全性の数値の平均を比較しました（図4）。まず、乾燥耐性が最も強いのはクロマツで、おおよそ1ヶ月間灌水を停止しても、葉の健全性がほとんど落ちず、水分ストレスの反応も他の3樹種に比べて緩やかでした（図4）。常緑広葉樹3樹種は、1ヶ月の灌水停止で非常に衰弱し、シャリンバイとマサキはプレッシャーチャンバーと mini PAM の測定結果からも、水分ストレスの増加に伴う健全性の低下が観察されました（図4）。このことから、特に乾燥が強い砂土部ではクロマツの植栽配置が適切であることがわかりました。

表2 各試験グループの灌水・塩スプレー有無

毎日灌水		灌水なし	
○塩スプレーあり	●塩スプレーなし	△塩スプレーあり	▲塩スプレーなし

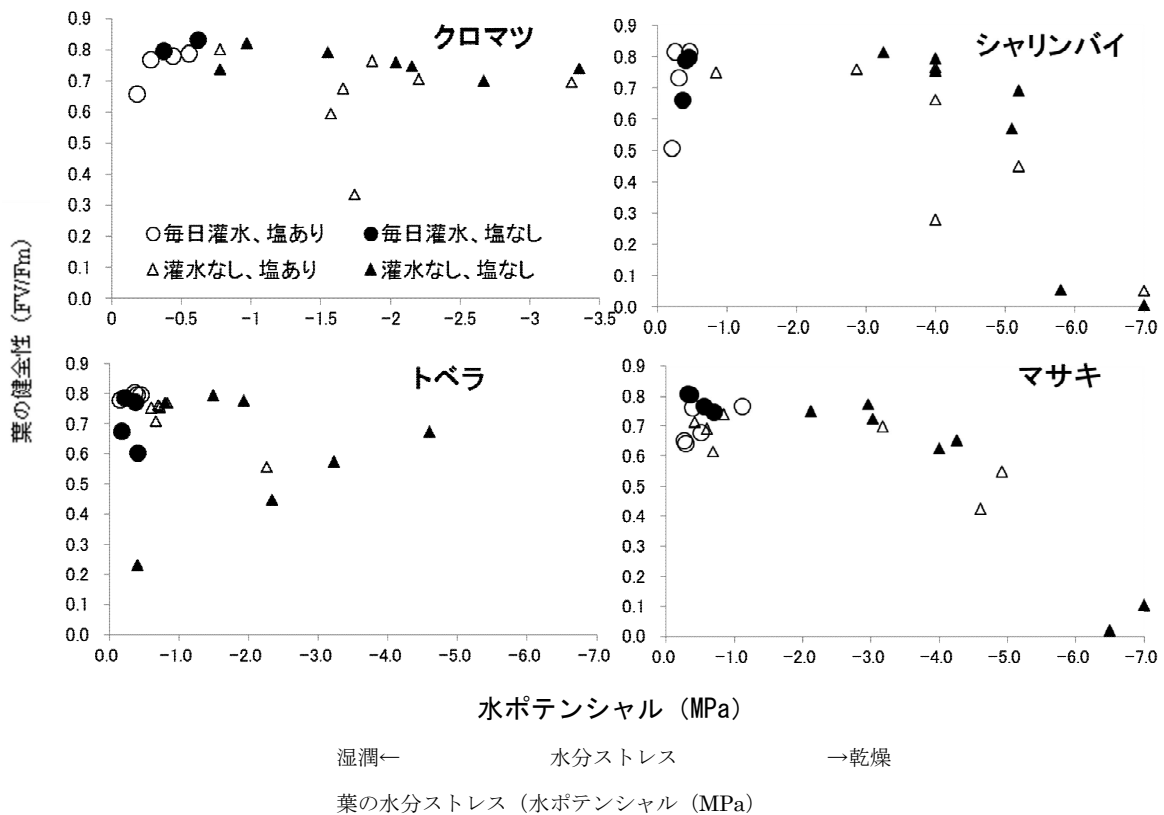


図4 試験処理グループにおける葉の水ストレスと葉の健全性
 ○毎日灌水、塩あり ●毎日灌水、塩なし △灌水なし、塩あり ▲灌水なし、塩なし

一方いずれの樹種についても、塩水スプレーで水分ストレスが加速する傾向は見られず、灌水しているグループは塩水スプレーによる健全性の低下はありませんでした。葉の表面に塩がつくと、葉の内部に塩が侵入する樹種と侵入しない樹種があります。クチクラ層が発達して葉の表面に照りがある照葉樹は、塩分が侵入しにくいものが多いです。シャリンバイ、トベラ、マサキは常緑照葉樹で、葉の表面に塩分が付着しただけでは、葉の内部にほとんど塩が入らず、ストレスを受けないことがわかります。

(2) 室内試験（飛塩・飛砂耐性と両ストレスの相乗効果）

(1) の試験から、4 樹種とも葉に塩分が付着しただけでは、飛塩ストレスを受けないことがわかりました。しかし、防潮堤上の植栽木の葉では塩分が葉内に侵入したことを示す壊死部（ネクロシス）が観察されています。これはどのように生じるのでしょうか？

風が強い日に防潮堤に行くと、砂が飛んできます。特に風が強い日では、砂が痛いほど強くぶつかります。葉の表面が飛砂等で傷つくと、そこに付着した塩分が葉の内部に侵入し、壊死が起きます。飛砂に対する耐性も葉の形や枝への付きかた、クチクラ層の厚さで変わってきます。

そこで飛砂・飛塩についても、各樹種で耐性を評価しました。強風飛砂（風速 30-50m/s）と弱風飛砂（風速 2-4m/s）グループに分け、海岸植栽地で採取した砂（粒径 0.5mm 以下）をサンドブラストで 10 秒間、各風速で葉に噴射しました。さらに強風飛砂、弱風飛砂および飛砂なしのグループに、塩水（海水濃度の 2 倍）を 1 ヶ月間毎日噴射し、対照グループ（飛砂・塩水スプレーなし）と合わせて（表 3）、目視による壊死部範囲の記録と葉の健全性（Fv/Fm・葉が健全ならば 0.8 付近の数字で、衰弱するほど低い値になる）の測定を毎日実施し、衰弱の経過を観察しました。

表 3 各グループの飛砂強度、粒径および塩水濃度

グループ	Sand blast 距離(cm)	被砂時間(秒)	砂の粒径	風強度	スプレー
I	20	10	0.5mm以下	強風	6.8%食塩水
II	50	10	0.5mm以下	弱風	6.8%食塩水
III	20	10	0.5mm以下	強風	蒸留水
IV	-	-	-	無	6.8%食塩水
V(対照)	-	-	-	無	蒸留水

反応が最も早く観察されたのはマサキで、飛砂傷害と塩水スプレーを受けたグループ（I・II）が 1 日目から、葉の健全性の測定で数値の低下が確認されました（図 5）。また 10 日目から、このグループで落葉が多く観察されました。

次いでクロマツ（I・II）の数値が低下し、1 週間から 10 日ほど経過してからトベラ、シャリンバイ（I・II）の低下が始まりました。壊死部の拡大や健全性低下の反応は強風と弱風で違いはありませんでした。また、飛砂傷害のみ（III）もしくは塩水スプレーのみ（IV）の場合は、葉の壊死や健全性の低下はありませんでした。

この試験から、植栽樹種はいずれも飛砂による傷害と飛塩の侵入によって衰弱し、ストレス反応はマサキが最も速く進行することがわかりました。

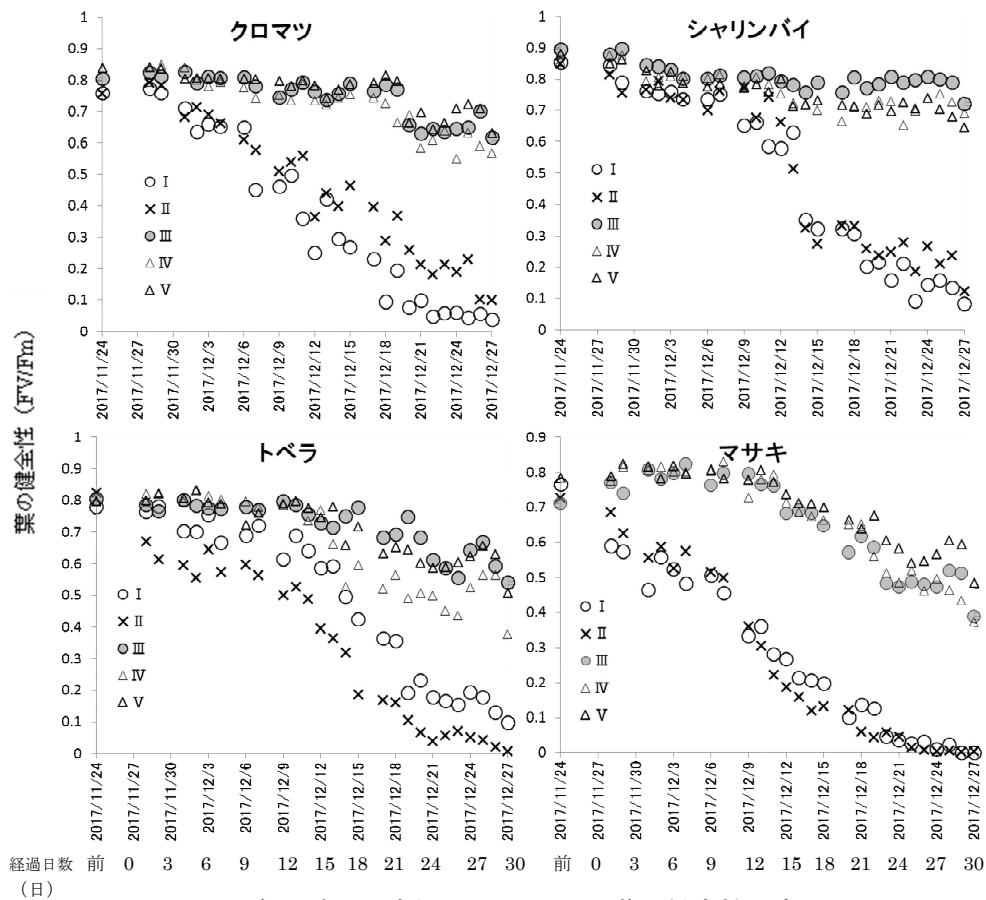


図5 各飛砂・飛塩処理の30日間の葉の健全性の変化

(3) 現地試験 (木柵の設置幅の検証)

(2)の結果から、土壌水分が比較的安定している山土における植栽では、植栽木はいずれも飛砂・飛塩からの保護が重要であることがわかりました。浜松市の防潮堤では、高さ1mの木柵を一定間隔で設置することで活着時の植栽木の保護を図っています。

遠州灘は東西に延びており、防潮堤もそれに沿っていますが、この地域は西風が特に多く吹きます。植栽木の保護機能を維持できる木柵の東西方向の設置間隔について、検討しました。

浜松市西島町の防潮堤海側斜面部 (山土部)において、10m間隔、20m間隔、40m間隔の木柵を隣接して設置し(図6)、植栽後の各樹種の樹高、根元径、各樹体の葉の枯損割合を2017年6月植栽後、約14ヶ月間(2018年9月まで)調査しました。

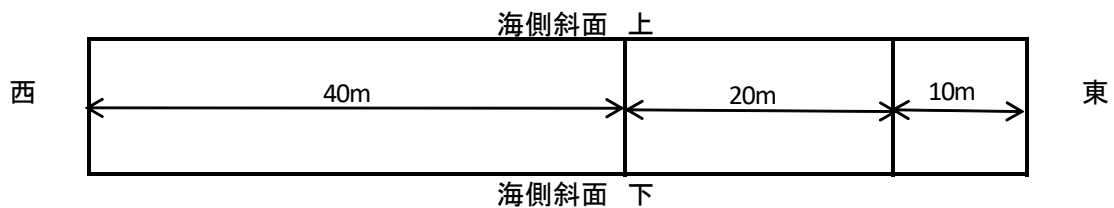


図6 10m・20m・40m間隔の木柵試験地の設定

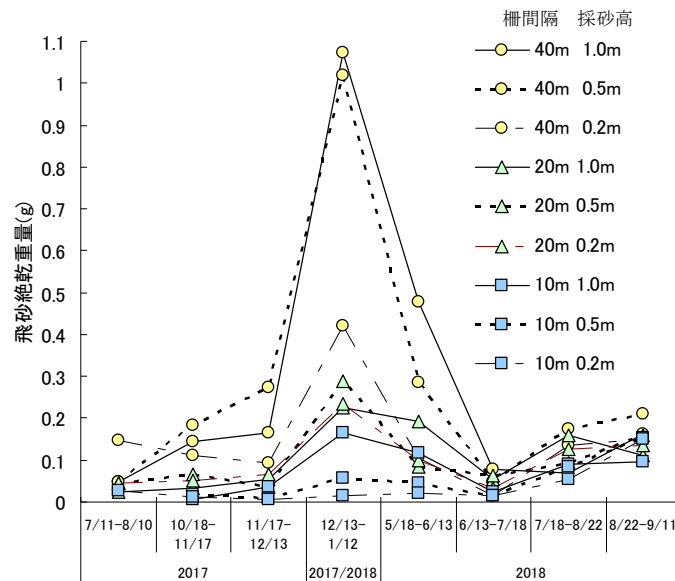


図7 各柵内の飛砂量の月別変化

塩ビパイプ VU75 : 口面積 56.72c m²を西向きに設置。各期間ごとに回収した砂を 105℃で 24 時間乾燥

また各柵間隔の違いによる飛砂・飛塩量を推定するため、各柵内の中央で西向きに高さ 0.2m、0.5m、1.0m に設置した呼径 75 mm (口面積 56.72 c m²) の塩ビパイプに取り付けた飛砂袋を毎月回収し、乾燥重量 (回収後、105℃で 24 時間乾燥) を測定しました。飛塩については、各柵内の中央で調査日に西向きに高さ 0.2m、0.5m、1.0m に設置したガーゼを 100ml の蒸留水に 24 時間浸けて EC (mS/m) を測定しました。合わせて、各樹種の調査枝から回収した葉を 100ml の蒸留水で洗浄し、洗浄液の EC(mS/m) を測定して、葉の表面積 1 c m²あたりの付着塩分量を算出しました。

まず、木柵の東西間隔が広いほど年間を通して、飛砂量が多く観察されました (図7)。特に西風が多くなる冬季にその差が大きくなりました。

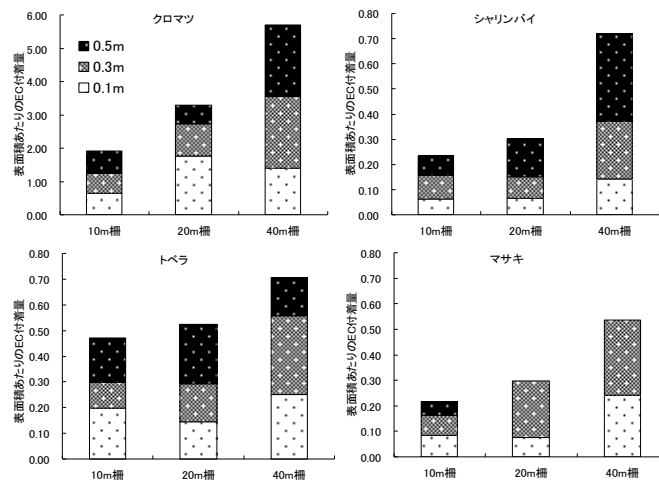


図8 2018 年台風 24 号通過後の各間隔柵内における葉 (各樹種 H=0.5、0.3、0.1m から採取) の表面積

※マサキは H=0.5m の枝は全て落葉したため、測定なし

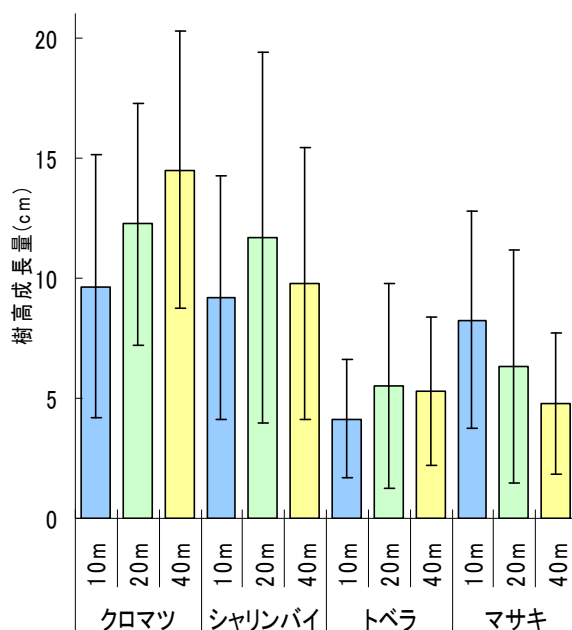


図9 各木柵設置幅の植栽14ヶ月後の樹高成長量

* 植栽時より樹高が下がった（マイナス成長）個体を除く

次に飛塩については、調査日のガーゼによる捕捉では柵間隔が広いほど塩分量が多くなりますが、その差はわずかでした。一方、葉の付着塩分量については、2018年の7月18日、8月1日、10月3日の計3回の葉を回収して測定しました。2018年7月18日採取前の最終降雨は7月13日19時頃で、その後採取までの最大風速は、現地に設置した風速計で6.43m/sでした。同年8月1日採取前は、台風12号が7月28日から29日にかけて接近し、最大風速が26.51m/sでした。10月3日採取前は、台風24号が通過し最大風速40.34m/sでした。各台風後、雨が降る前に葉を採取しています。7月と8月の測定では、各柵間隔による葉の付着塩分量に差はありませんでした。しかし、非常に強い風が吹いた台風24号通過直後の10月の測定では、いずれの樹種でも柵間隔が広いほど葉に付着した塩分濃度が高くなりました（図8）。

続いて、各樹種の成長と葉の枯損割合についてです。マサキは、柵間隔が広いほど葉の枯損割合が多く、樹高成長量の低下が見られました（図9）。クロマツ、シャリンバイ、トベラについては、柵間隔の拡大による成長の低下や葉の枯損割合の増加はみられませんでした。

1（1）、2（2）の結果からもマサキは他の3樹種に比べて、飛砂、飛塩による衰弱の進行が速く、防潮堤の陸側よりも海側で活着や生育が悪いことがわかります。これらのことから、他の3樹種よりも陸側に配置することが適していると考えられます。

今回の結果からマサキを陸側に配置して海側斜面の柵間隔を拡大することも、今後検討できます。

おわりに

海岸では、植栽木は様々なストレスを受けます。各ストレスの強さは地域によって異なり、ある海岸でうまく適応した樹種が別の地域では全く活着しないこともよくあります。海岸林の成立後、先駆種に守られながら少しずつ侵入していった樹種もあります。植栽木の選定や配置は、海岸林の遷移の流れに配慮して決定していくことが重要でしょう。

また、クロマツはこれまで静岡県海岸林の中心樹種を担ってきた実績があり、他の樹種に比べて乾燥耐性が非常に強いですが、夏季に砂地部に植栽後、晴天が続くと水分不足で枯死することがあります。クロマツなら、1月下旬から2月、常緑広葉樹であれば4月か6月の適期に植栽することでより活着を安定させられます。

これまであまり大規模な山土による植栽後の生育調査はされていませんでした。本調査で、山土は砂土に比べて、水分を保持することで植栽木の活着を促進していましたが、一方で排水性が悪いと、斜面下部や滞水箇所加湿になり、根が窒息して枯死している事例が、特にクロマツで観察されました。このような箇所では、土壌に塩分も溜まりやすくなり、より塩性の土壌に強いシャリンバイ、マサキ、トベラの配置や排水性の改善が必要だと考えられます。

参考文献

国土交通省都市局公園緑地環境室 監修 (2013) 植栽基盤整備技術マニュアル. 一般財団法人 日本緑化センター, 129p

農林技術研究所森林・林業研究センター 森林育成科
主任研究員 猿田けい (現・森林整備課主任)