

## 静岡県浜松市の防潮堤上における植栽木の生育と風況影響

萩野 裕章<sup>1\*</sup>・猿田 けい<sup>2,3</sup>

### Evaluation of tree growth and wind conditions on tide embankments in Hamamatsu City, Shizuoka Prefecture

Hiroaki Hagino<sup>1\*</sup> and Kei Enda<sup>2,3</sup>

**Abstract:** Tide embankments built as tsunami countermeasures along the coast of Shizuoka Prefecture have been forested on both the seaside and landside slopes. In this study, the effect of average wind speed (1.5 m/s on the seaside slope; 0.9 m/s on the landside slope) on the height of trees planted in 2015 was investigated. Of the four tree species planted on the tide embankments, only *Euonymus japonicus* Thunb was significantly shorter on the seaside slope. No significant difference was found between the two slopes for *Pinus thunbergii* Parl, which continued to grow, *Rhaphiolepis indica* Makino, which showed declining growth, and *Pittosporum tobira* Aiton, which gradually declined. It is likely that the latter two species were strongly affected by conditions other than wind. All four tree species were damaged by sea breeze and browning of branches and leaves due to record typhoon No. 24 in 2018. On the seaside slopes, tree heights of *Euonymus japonicus* Thunb, *R. indica* Makino and *P. tobira* Aiton decreased significantly. The effect of sea breeze on planted trees on tide embankments in Hamamatsu differed in a species-specific manner. Thus, we consider that wind conditions on seaside slopes are more severe than on landside slopes for planted trees.

#### 1 はじめに

静岡県では南海トラフ巨大地震に伴う津波災害に備えて“ふじのくに森の防潮堤づくり”を推進しており(深野, 2018), 同県浜松市の沿岸部でもクロマツが枯損した区域を中心に土地を嵩上げて防潮堤を造成し, その海側と陸側に盛土を施して樹木の植栽が行われている。しかしながら風が強い汀線付近で防潮堤法面のように植栽地盤を高めると, 植栽木への潮風影響がさらに強くなる懸念される。著者らが把握する防潮堤の樹木植栽事例は仙台湾の一部地域のみで, 現地では飛砂影響が厳しい海側法面の植栽は避け陸側法面でのみ試験的な植栽が行われていた。このように防潮堤全体への植栽は極めて稀といえる。

深野(2018)によると, 静岡県では事前に盛土材料の基準, 盛土方法, 植栽樹種などについて検討を重ね取り組みを進めてきたが, 今後の課題として適切な植栽方法, 管理方法の検証などをあげていた。

近年, 静岡県の防潮堤や土堤上に植栽された樹木の生育状況と土壌環境に関する調査結果が報告されるようになった。猿田・近藤(2017 a) および猿田ら(2017 b) は浜松市の防潮堤における海側法面と陸側法面および防潮堤汀線側の平坦な砂地に植栽したクロマツと広葉樹の生育経過を報告した。クロマツはいずれの立地でも定着しつつあるが, 広葉樹は樹種と立地により枯死率と成長量に違いがあった。また平坦な砂地で広葉樹の枯死率が高かったが, そ

の原因は土壌乾燥(広葉樹の乾燥耐性の低さ)が考えられると報告した。浅野ら(2019)は, 浜松市, 袋井市, 掛川市の生育基盤盛土や砂浜における土壌硬度の鉛直分布と植栽木の生育状況を調査した。その中で浜松市では海側に近いほど成長が悪く, 枯死率が高かったが土壌硬度の影響は明らかではなかったと報告した。

著者らは植栽木の生育状況は土壌環境に加え, 塩分を含む潮風も影響すると考えた。そこで本研究では, 防潮堤上の風況を観測で明らかにして植栽木の生育に影響を与えているか調べることにした。本研究の調査から防潮堤上の海側法面と陸側法面では風速や風向の収束方向に違いがあること, また植栽木は樹種や立地によって成長量・枯死率に差があることが明らかになった。本稿ではそれらを分析し風況の影響を考察する。なお本研究は静岡県農林技術研究所森林・林業研究センターと森林総合研究所による共同研究「防潮堤盛土へ海岸防災林を造成する技術開発」によって行われた成果の一部である。

#### 2 調査

##### 2.1 調査地の概要

調査地は馬込川河口から東へ1 kmほどの距離に位置する浜松市南区西島町の馬込川左岸に造成された防潮堤とした(図1)。防潮堤の内陸側はクロマツを中心とした林帯幅200~300 mの海岸林が存在するが, 現在はマツ材線虫病の影響で一部衰退が認められる。防潮堤は堤体の中心部にセメントと土砂でできたCSG(Cemented Sand and Gravel)を台形状に配置し, その海側と陸側に山土を盛って法面ができていく。この造成法はCSG工法と呼ばれ, 盛土部分の両法面の勾配は1:2.0~2.6, 天端幅は5.5~6.0 m, 高さは標高13 m程度である。また防潮堤は汀線とおおよそ平行に造成され, 16方位のWNWとESEを結ぶ方向に連なる。防潮堤の天端から汀線までの距離は約130 mである。

<sup>1</sup> (国研)森林総合研究所東北支所, Tohoku Research Center, For. and Forest Prod. Res. Inst., 92-25 Nabeyashiki, Shimo-Kuriyagawa, Morioka, Iwate, 020-0123 Japan

<sup>2</sup> 静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター, Shizuoka Pref. Res. Inst. Agri. and Forest, For. and Forest Prod. Res. Center, 2542-8 Negata, Hamamatsu, Shizuoka, 434-0016 Japan

<sup>3</sup> 現所属 静岡県経済産業部, Shizuoka Pref. Economy and Industry Department, 9-6 Oute-machi Shizuoka, 420-8601 Japan

\*Corresponding author: hagin@ffpri.affrc.go.jp

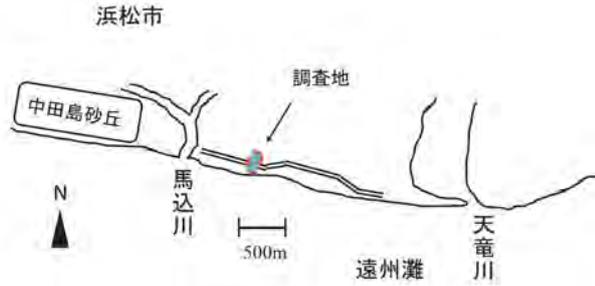


図1 調査地の位置

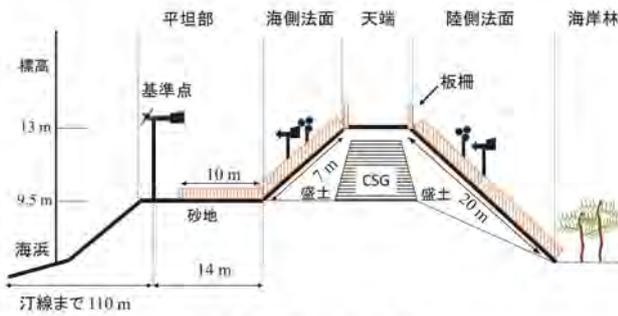


図2 調査地の断面

## 2.2 風況観測

### 2.2.1 観測地点

調査地の断面を図2に示す。風向・風速の観測点を以下の3か所に設置した。

- (1) 基準点: 防潮堤の影響が少ない場として海側法面の法尻から汀線側へ14m離れた平坦な場所
- (2) 海側法面: 海側法面上で法尻と天端の中間高さ
- (3) 陸側法面: 陸側法面上の海側法面の観測地点と同程度の高さ

また法面上の風向計・風速計の設置高さは、法面上に築設された高さ1mの静砂垣（現地の通称「板柵」）の影響をできるだけ避けつつ、かつ防潮堤の影響を捉える必要から海側法面と陸側法面で1m余りにした。各観測機器の仕様と設置高さを表1に示す。

### 2.2.2 データの記録と解析するデータの選択方法

風向と風速を10分毎の平均値として記録し、10分間に吹いた風速の最大値を最大風速とした。風向データは磁北を $0^\circ$ とした方位角であるが、解析にあたっては16方位に変換した。変換の方法は、例えば風向Nは観測値の $0^\circ$ を中心にした $22.5^\circ$ の範囲( $348.75^\circ \sim 11.25^\circ$ )の風を該当させた。

データ回収は年に4~5回行い、その際に各機器の動作状態を確認した。また基準点の風向は浜松特別地域気象観測所（以後 観測所）のデータを用いて両者の傾向を比較し、風向データの精度を確認した。

表1 観測機器の仕様

観測地点	基準点	海側法面	陸側法面
使用測器名	飛行機型風向風速センサー	三杯式 風速センサー、風向センサー	三杯式 風速センサー、風向センサー
メーカー 型番	YOUNG社 Model 5103	Onset社 S-WSB-M003、S-WDA-M003	Onset社 S-WSB-M003、S-WDA-M003
地表からの設置高さ	3.6m	1.2m	1.1m
記録装置	Onset社 マイクロステーションロガー	Onset社 マイクロステーションロガー	Onset社 マイクロステーションロガー
記録間隔	10分(サンプリング3秒)	10分(サンプリング3秒)	10分(サンプリング3秒)

なお観測所の風向は真北を基準にした方位と推測される。この場合磁北を基準にした各観測点の風向とは $6\sim 7^\circ$ の差があるがその差は誤差範囲として扱った。

本研究で扱う観測データは3地点で観測が始まった2017年11月6日から翌年の台風24号の観測値が含まれる2018年9月30日までである。ただし、上述した方法で風向の精度を確認した結果、精度の不良期間があり、さらに風速の欠測期間も生じた。

そのため風向については3地点で共にデータ精度が良好と判断した2017年11月6日~2018年1月9日と2018年4月9日~2018年5月19日の2期間を風向解析期間とした。その際、無風~微風時は風向計がその場の風向を適切に示さない可能性があるため無風向として扱い、10分平均風速が $1.0\text{ m/s}$ 以上の記録を考察に用いることにした。風速については、各観測点の平均風速を比較する場合は、3地点共に風速データがある2017年11月6日~2018年2月13日と2018年7月25日~9月30日の2期間を風速解析期間とした。その他の風況に関わる解析については欠測を除き適宜対象とした期間を示す。

## 2.3 植栽木の成長量調査

調査地では2014年12月~2015年2月に、防潮堤の海側・陸側法面と平坦部にクロマツ、シャリンバイ、トベラ、マサキが植栽された。猿田ら(2017b)により樹高が2015年12月と2017年5月に測定された。本研究ではその継続データとして同じ植栽木を対象にした2018年5月と同年12月の調査結果を加える。

植栽木の調査対象範囲を図3に、加えて各樹種の立地別調査本数(2018年12月時点)と枯死本数を表2に示す。樹高の測定方法は各個体の地面からの高さで、幹または側枝のうち枯損部を除いた最も高い位置とした。したがって梢頭の高さとは限らない。また平均樹高は2018年12月の時点までに枯死した個体は除いた。

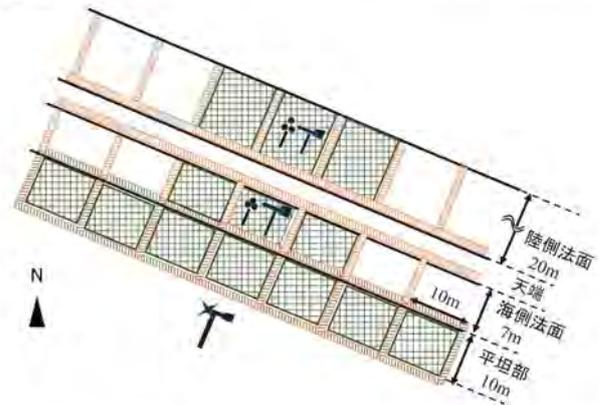


図3 樹高調査対象木の植栽範囲(格子線の範囲)

表2 樹種・立地別樹高調査本数(2018年12月時点)

	平坦部	海側法面	陸側法面
クロマツ	234 ( 5, 6)	35 (5, 5)	144 (6, 6)
シャリンバイ	83 (40, 63)	54 (0, 0)	49 (0, 0)
トベラ	53 (76, 91)	50 (2, 8)	40 (6, 10)
マサキ	26 (114, 128)	35 (3, 23)	48 (1, 3)

括弧内 植栽から2018年5月(39ヵ月間)まで、同年12月(46ヵ月間)までの枯死本数

3 結果と考察

3.1 基準点における風速・風向の概況

調査地の風況として全観測期間の基準点における日平均風速を図4上に、日最大風速を図4下に示す。約11ヵ月間の観測期間を概観すると、おおよそ2018年の6月を境に特徴が異なった。日平均風速は前半の2017年12月~2018年5月末迄は、後半の翌6月~9月末迄に比べて高く推移した。例えば日平均風速が8.0 m/s以上を観測した日数は、前半の半年間に9日あったが、後半の4ヵ月間は2日のみであった。一方で日最大風速20.0 m/s以上を記録した日は前半に4日あったが、後半は5日に増えた。観測期間の前半は季節風の影響で日平均風速が上昇し、後半の日最大風速20.0 m/s以上の回数増加は、台風が3回上陸してそれらが日付を跨いで影響したことが理由と考えられる。

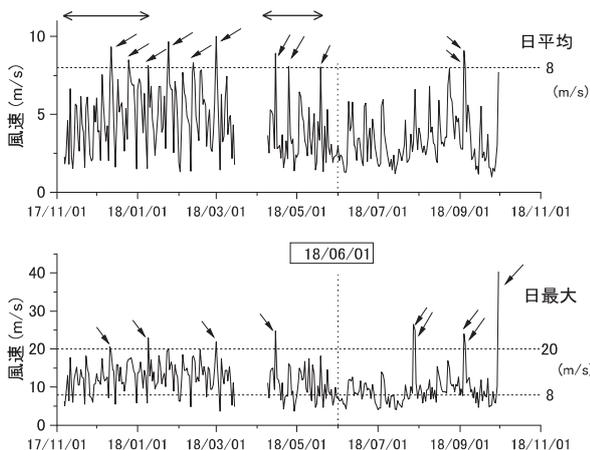


図4 基準点の日平均風速(上)と日最大風速(下) 上図矢印範囲2か所は風向解析期間, 2018/3/16~4/8 欠測

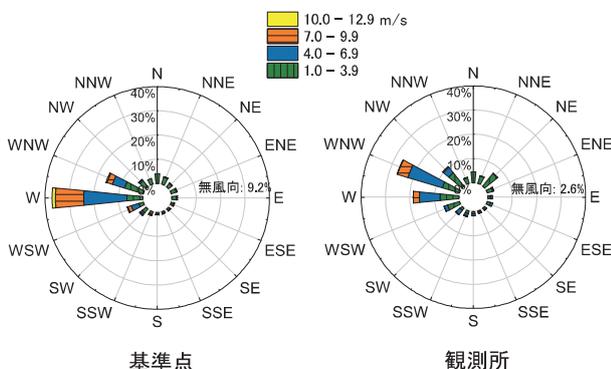


図5 風向解析期間の基準点と観測所の風況 基準点のデータ数14951(10分平均値), 観測所のデータ数2490(毎正時). 風速1.0 m/s未満は無風向とした。

次に基準点観測値の精度を確認するために、風向解析期間(図4上2つの矢印範囲)内の10分平均風向・風速の頻度分布を図5左に、同期間の観測所毎正時データの結果を図5右に示す。基準点風向は頻度の高い順にWが37%, WNWが16%で、西寄りの風が多かった。同様に観測所でもWNWが27%, Wが19%で続いた。両地点とも風向は西寄りの頻度が高く、また西寄りの風に強風が多いことが共通した。観測所は海岸から10 km内陸に離れているため基準点と同じ結果にはならないが、共に浜松地方の風系(広域での組織的な風の流れ)の中にあり、その観測結果の類似性から基準点は調査地の風況を適切に捉えていたと考えられる。

3.2 法面上の風況特性

3.2.1 法面上の風速と風向

全観測期間の海側法面と陸側法面の日平均風速を図6に示す。海側法面の風速欠測期間が5ヵ月間あるが、風速解析期間(図6の2つの矢印範囲)は海側法面の方が高い傾向にあり、期間中の平均風速は海側法面で1.5 m/s, 陸側法面で0.9 m/sであった。風速解析期間で両法面の風向精度が共に良好だった2017年11月6日~2018年2月13日に(図6の左側矢印範囲)の10分平均風向・風速の頻度分布を図7に示す。両法面で風向が一つに集中し、海側法面の方で比較的強い風が記録された。植栽木に対する潮風影響は海側法面の方が強いと予想される。

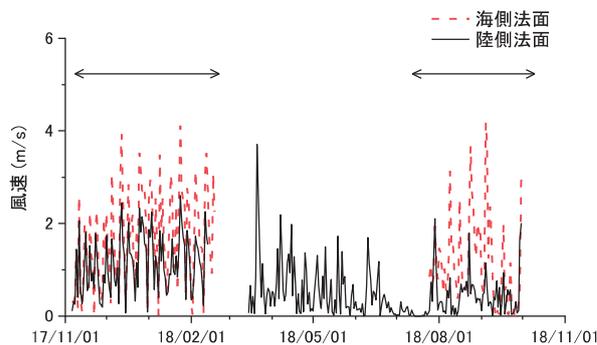


図6 法面上の日平均風速 2018年2月19日~7月24日は海側法面で欠測 2018年2月13日~3月15日は陸側法面で欠測 矢印範囲2か所は風速解析期間

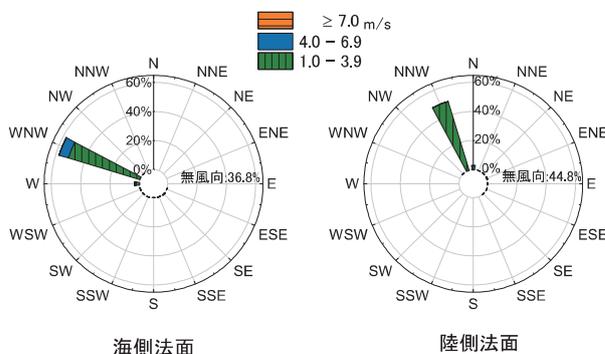


図7 海側法面と陸側法面の風況比較 2017.11.6~2018.2.13の10分平均値(データ数14247)を解析。 風速1.0 m/s未満は無風向とした。

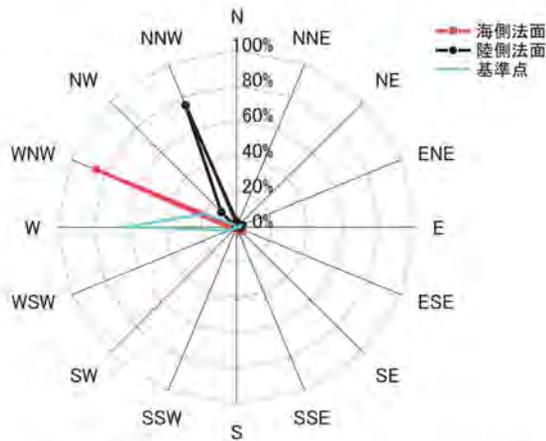


図8 風向解析期間の3地点風向頻度分布  
3地点同時に風速1.0 m/s以上だった6051データを解析

次に風向解析期間（図4上2つの矢印範囲）の基準点も含めた3地点の風向頻度分布を図8に示す。この解析では1地点でも無風向を記録した時間帯のデータは除いたため基準点の最多風向はWで63.5%、海側法面はWNWが84.9%、陸側法面はNNWが74.7%に達した。この結果からも法面上の風向には高い収束性が認められる。

### 3.2.2 法面上における風向の収束について

法面上で最多風向を記録したときの基準点風向を明らかにする。風向解析期間中の基準点10分平均風向に対して、同時刻の各法面10分平均風向が最多風向を記録した割合を図9に示す。基準点風向がWSW～NNWの範囲のとき海側法面では高い割合で最多風向(WNW)を記録した。基準点風向がW, WNW, NWは94%以上、WSWとNNWも50%以上に達し、収束範囲の中心と海側法面の最多風向は重なった。同様に基準点風向がWSW～NWの範囲のとき陸側法面で最多風向(NNW)を記録した。WNWのみ42%で低かったがその他は80%以上が最多風向に収束した。しかしながら陸側法面の最多風向は基準点での収束範囲とは重ならなかった。

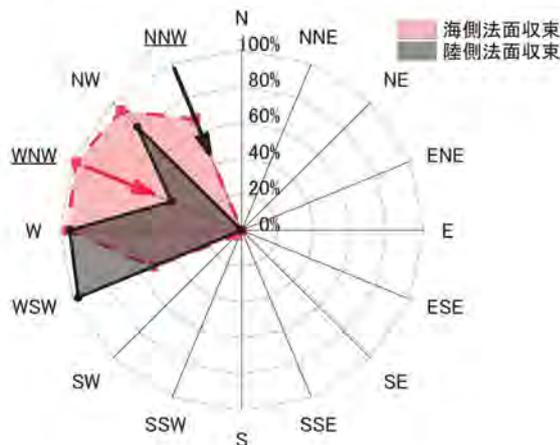


図9 法面で最多風向時の基準点風向と収束割合  
3地点同時に風速1.0 m/s以上の6051データを解析  
赤色・黒色矢印は海側・陸側法面の最多風向を示す

表3 3地点の風向組み合わせと頻度

基準点	海側法面	陸側法面	頻度	視覚化
W	WNW	NNW	3576	○
WNW	WNW	NW	504	○
WNW	WNW	NNW	485	-
WNW	WNW	N	174	-
WSW	WNW	NNW	148	○
WSW	W	NNW	120	-
NW	WNW	NNW	113	○
W	W	NW	104	-
W	WNW	NW	91	-
ENE	SE	ENE	74	-
E	ESE	ENE	69	-
以下省略				
合計			6051	

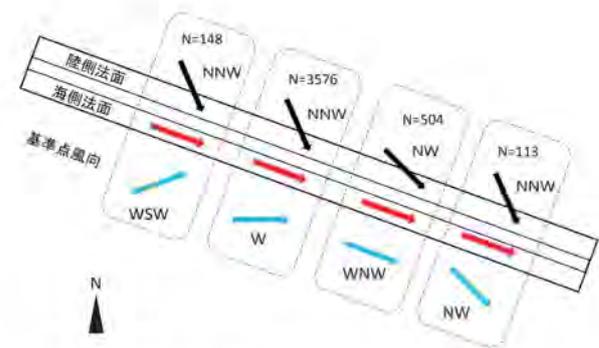


図10 調査地の主な風向きパターン

ここで基準点と防潮堤法面上の風の流れ方向の視覚化を試みた。風向解析期間の3地点の10分平均風向3つを1組とした6051組を分類すると、94通りの“風向きパターン”に整理できた。その内頻度が高い11通りを表3に、その中の主な例として基準点風向が異なる4つのパターンを図10に示す。

基準点で複数の風向が海側法面上でWNWに、陸側法面でNNWに変化していることが分かる。ここで調査地の風が防潮堤に斜交する例えばWやWSWの風が、海側法面上では防潮堤に沿ったWNWへ変化することは直観的にも理解しやすい。一方、風下側になることが多かった陸側法面でNNWへ収束したことについては、防潮堤に沿った方向ではないため直観的な理解が難しい。この現象のメカニズムの考察を次に加える。

### 3.2.3 陸側法面の風の収束メカニズムについて

防潮堤の断面上の風の流れ方向を模式的に図11に示す。堀田ら(2000)と萩野ら(2010)の砂丘模型を用いた風洞実験では、図11のように堤体風下側に渦が確認できた。佐賀ら(2009)は、図のように構造物の下流側に生じた渦を「はく離せん断渦」と説明している。構造物上を通過した強い風とその下方に弱風場があることで、上下の速度の差が渦を引き起こすと考えられる。この渦は萩野ら(2010)の実験では、砂丘模型の軸に対して45°で斜交する風でも生じていた。斜交する場合ははく離せん断渦は、図12左のように堤体に沿って紙面手前から奥側へ向けて移動すると予想される。その結果堤体風下側の渦流は図12右上のように“らせん形の渦”に変形するため、陸側法面上の風向が高い頻度でNNWを記録するようになったと推測される。

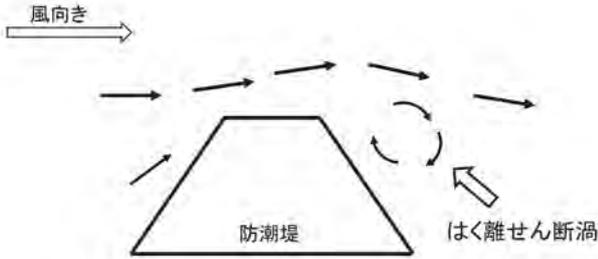


図 11 防潮堤断面上の風の流れの予測模式図

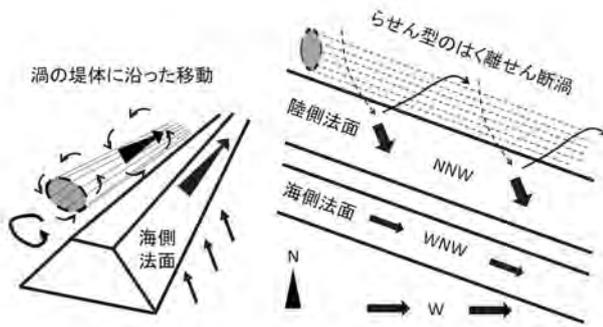


図 12 防潮堤風下側のはく離せん断渦のらせん変形

### 3.3 樹種・立地別の樹高と風況影響

猿田ら (2017b) の樹高データに、2018年5月(植栽から39カ月後)と2018年12月(同46カ月後)のデータを加えた樹高の推移を図13a, bに示す。2018年の7月以降3つの台風が接近し、特に9月末の台風24号は多くの植栽木に潮風害を及ぼして個体の枯死や幹の折損による樹高の低下を引き起こした。本研究では日常的な風況が樹高成長に与えた影響を考察するため、台風以前の2018年5月までの樹高と台風後の樹高を分けて考察する。また風況影響を客観的に判断するため、同じ山土が用いられて土壌環境が等しいと仮定できる海側法面と陸側法面の平均樹高を統計手法に基づいて比較した。

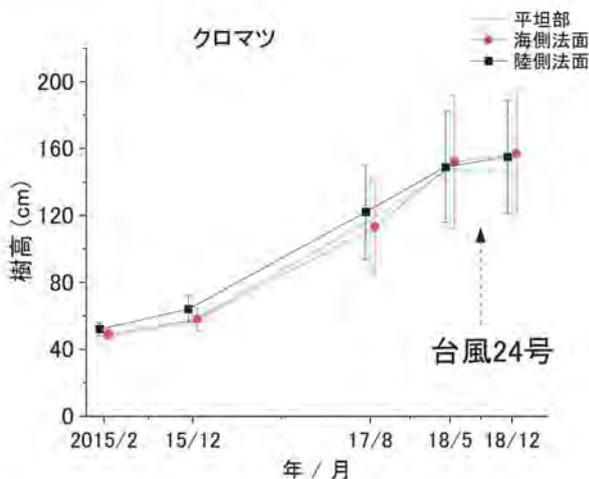


図 13a クロマツの立地別樹高成長  
縦棒は標準偏差を表す

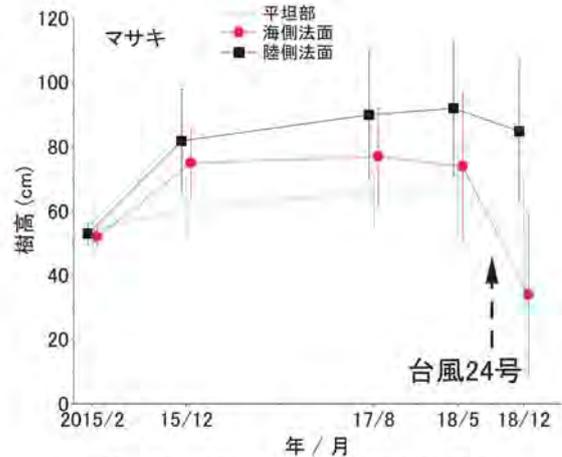
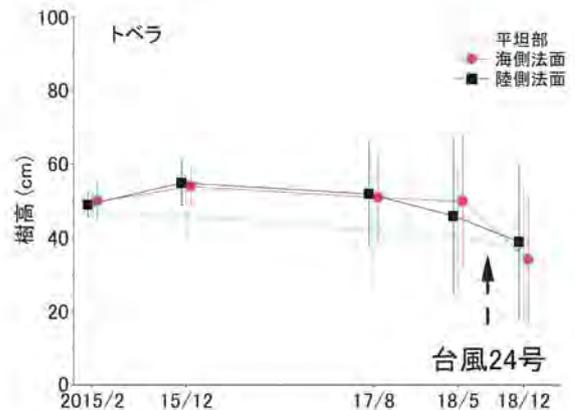
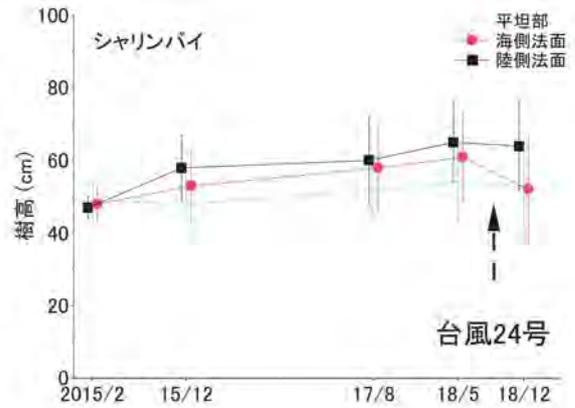


図 13b 広葉樹の立地別樹高成長  
縦棒は標準偏差を表す

#### 3.3.1 2018年5月までの樹高と風況の関係

各樹種の植栽時と2018年5月の平均樹高および両法面の平均樹高に行ったt検定の結果を表4に示す。図13と表4からクロマツほどの立地でも成長を続け、2018年5月時点で両法面の樹高に有意差は無くなった。この結果からクロマツは法面の風況の違いが成長に影響を及ぼさなかったといえる。一方、広葉樹ほどの立地も成長が悪く、特に平坦部で成長量が小さく3樹種とも枯死数が多かった(表2)。防潮堤法面の広葉樹の成長量は全樹種で平坦部に比べると大

表 4 調査対象木の樹種・立地別平均樹高 (cm)

	調査年月日	2015.02 (植栽時)		2018.05	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
クロマツ	平坦部	47 ± 5		148 ± 35	
	海側法面	49 ± 3 *		152 ± 40 ns	
	陸側法面	52 ± 4 *		149 ± 33 ns	
シャリンバイ	平坦部	49 ± 8		54 ± 11	
	海側法面	48 ± 5 ns		61 ± 12 ns	
	陸側法面	47 ± 3 ns		65 ± 11 ns	
トベラ	平坦部	47 ± 6		41 ± 17	
	海側法面	50 ± 5 ns		50 ± 18 ns	
	陸側法面	49 ± 3 ns		46 ± 21 ns	
マサキ	平坦部	54 ± 10		66 ± 14	
	海側法面	52 ± 3 ns		74 ± 23 *	
	陸側法面	53 ± 3 ns		92 ± 21 *	

±は標準偏差

\* 海側法面と陸側法面のt検定の結果、有意差があった (p < 0.05)

ns 海側法面と陸側法面のt検定の結果、有意差がなかった (p > 0.05)

さいが、植栽の翌年以降は成長が鈍化した。シャリンバイとトベラの樹高に両法面での有意差は現れず風況の違いによる樹高の差は検出されなかった。マサキは初期成長に限っては法面で良かったが、他の樹種と同様にその後の成長は鈍化した。ただし海側法面より陸側法面で樹高が高くなる傾向が続き、植栽時にはなかった樹高の有意差が現れた (表 4)。この樹高の差は海側法面と陸側法面の風況の違いが影響したものと推測する。

その他の生育経過の特徴として、シャリンバイは成長量が僅かでありながら法面において枯死木が生じていなかったことは特筆に値する。またトベラは陸側法面で植栽時より樹高が下がったが海側法面の枯死率は 4%、陸側法面は 15% で比較的低いように思われた。

広葉樹の生育阻害要因に関する既往の研究として、伊東・吉崎 (2013) による調査対象木と同じ 4 樹種に対する塩水を用いた生育実験があり、トベラが最も高い塩分耐性を示した。また近藤ら (1982) による樹木の乾燥耐性を調べる実験では、マサキとトベラがほぼ同程度の耐性を示した。これらの結果から調査地の植栽木の中で塩分に対する耐性が高く乾燥にもマサキと同程度の耐性があるトベラが樹高成長を継続できるものと予測できるが、結果は一致しなかった。植栽木の生育状況は飛来塩分や土壌の乾燥以外に、土壌の養分や飛砂による枝葉の傷害、苗木状態等の影響が複合的に作用して決まるものと考えられた。

### 3.3.2 台風 24 号による潮風害の影響

樹種・立地別に 2018 年 5 月～12 月の樹高変化量を図 14 に示す。台風通過後の現場踏査から、クロマツは板柵より上部で汀線側の葉が褐変するなど潮風害の影響はあったが、枯死数は平坦部の 1 本のみで樹高も一部を除いて低下は認められなかった。広葉樹は 2018 年 5 月の樹高と比較して全ての立地で低下した。樹種別ではマサキが大きく樹高を下げ、次にトベラの低下が大きかった。立地別では 3 樹種とも海側法面で最も樹高低下が大きく、陸側法面での低下量は小さかった。

潮風害の大きさを決める要因として風速の強さが考えられる。台風通過時の風の強さを把握するため、全観測期間中の海側法面と陸側法面の日最大風速を図 15 に示す。冬季には記録されなかった 15 m/s 以上の日最大風速が 7 月末～9 月末に 3 回あり、中でも 9 月 30 日の台風 24 号では海側法面で 25.2 m/s を

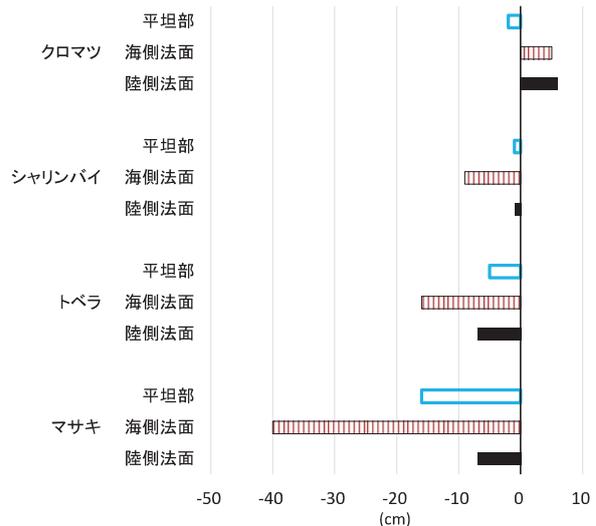


図 14 2018 年 5 月～12 月の樹種・立地別樹高変化

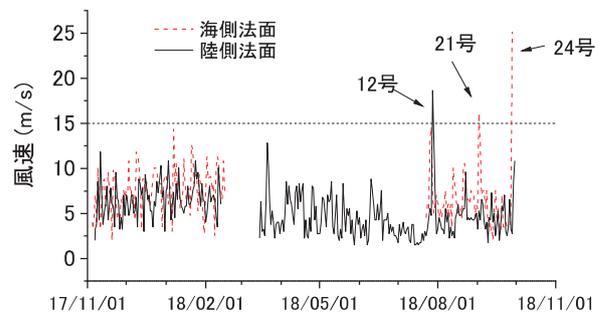


図 15 海側法面と陸側法面の日最大風速

記録した。観測所の 2015 年～2018 年末までの 4 年間の風速記録もこの日が最大の風速値であったことから、台風 24 号は調査地で植栽が行われて以来最大の風速であったと考えられる。また定期的な現場踏査から潮風害のほとんどはこの台風 24 号で生じたと考えている。一方、陸側法面の日最大風速は 10.8 m/s であった。この風速の差が潮風害の影響の違いとして現れたといえる。

今回の調査結果より調査地では記録的な台風により防潮堤の海側法面と陸側法面で風況の違いが生じ、その結果植栽木に対しては潮風害の大きさの違いとして影響が現れたといえる。

ここで陸側法面の風速と潮風害の影響について考察を加える。陸側法面の日最大風速だけに注目した場合、10.8 m/s 以上の風速は他にも記録されていた。例えば、7 月 28～29 日未明に接近した台風 12 号のときには 18.6 m/s を記録した。また 2017 年 11 月と 2018 年 3 月にもそれぞれ 12 m/s 程度の日最大風速を記録した。しかしそれらの直後に著しい潮風害は発生しなかった。単純に観測地点の風速の大きさで潮風害の発生は決まらなると考えられる。そこで 2018 年に接近した 3 つの台風について観測所の風向と風速記録を比較した (台風接近時は基準点の風向精度が不良だったため参考として観測所のデータを用いた)。各台風の最大風速を記録した前後 24 時間の風向・風速値のうち、同じ風向の場合は最も強い風速値を選択した結果を図 16 に示す。

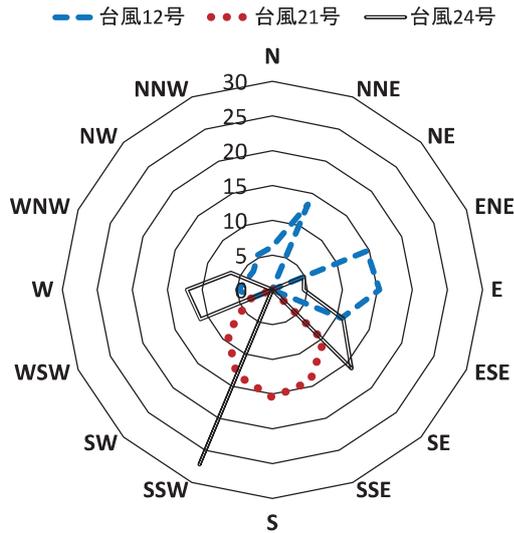


図 16 観測所での3つの台風接近時の風向・風速

陸側法面で日最大風速の最高値を記録した台風12号の接近時は、風向がNNEからEの風が強かった。これらは内陸からの風で、陸側法面が風上側となって風速は高くなりやすいが、その風に塩分は含まれていなかったといえる。台風21号の接近時はSSWからSSEの南風が強かったが、10分平均風速が15 m/s程度では大きな潮風害を起こさせるに至らなかったと考えられる。台風24号は最も強い風がSSWで27 m/sに達した。この風向は海上を吹いて防潮堤に向かってくるため、大量の塩分を植栽木に吹き付けて大きな潮風害をもたらしたと考えられる。潮風害の発生には風向も重要な要素と推測する。

#### 4 結論

防潮堤法面上の風況特性として風向に収束性があり、海側法面では防潮堤に沿った方向に風向が収束した。調査地で風向解析期間中に頻度が高かった西寄りの風するとき、海側法面は風上側になるため風速は高く、塩分を含む潮風に晒される環境であった。それに対し陸側法面は風下側に位置して風速が抑えられて緩和された環境であった。こういった風況の違いに対して、マサキは海側法面で樹高成長が抑えられ陸側法面との樹高に有意差が生じたと考えられる。クロマツはどの立地でも有意差のない成長を続けたことから海側法面と陸側法面の風況の差は樹高成長に影響しなかったと言え、記録的な台風24号の潮風を受けても樹高の差は認められなかった。トベラ、シャリンバイは海側法面と陸側法面の風況の違いに対して樹高に有意差は現れなかったが、台風24号による潮風害の影響は海側法面が陸側法面を大きく上回った。これらの結果から調査地の植栽木の樹高成長に対する潮風害を含む風況影響は、樹種と立地によって発現状況が異なることが分かった。

日常的な風況影響の緩和策は、特に海側法面では防潮堤に沿って吹く風の風速を抑える板柵の設置は有効と考える。記録的な強風によって特に海側法面で多くの板柵が倒伏した台風24号並の潮風に対する有効な対策は見出せていない。

樹種の生育特性としてクロマツはどの立地でも成長を続けていることから土壤乾燥や飛来塩分、また飛砂や貧栄養な環境にあっても耐性が高いと考えられる。一方、広葉樹を生育させるには風況の緩和に加え土壌環境の改良やその他の対策も必要と考えられた。また防潮堤上に植栽したシャリンバイは枯死木が生じなかったことやトベラも枯死率が比較的低いことから、今後は風衝樹形を形成する等して生育を継続することも考えられ、調査を継続することで樹種毎の新たな生育特性を見出すことができる可能性がある。

**謝辞**：本研究の観測は静岡県浜松土木事務所の御協力を得て行われている。また匿名査読者二名と担当編集委員には内容の改善に向け丁寧な指導・提案を戴いた。関係の皆様に対し感謝申し上げる。

#### 引用文献

- [1] 浅野勇希・田端光樹・吉崎真司 (2019) 海岸防潮堤のり面の土壌環境と植栽木の生育. 緑化工学会誌, 45(1), 256-259
- [2] 猿田けい・近藤晃 (2017 a) 遠州灘海岸防潮堤におけるクロマツ・広葉樹の植栽立地と活着・生育の関係. 中部森林研究, 65, 33-38
- [3] 猿田けい・山田晋也・加藤徹 (2017 b) 海岸防潮堤における植栽木の適応状況 (浜松). 静岡県農林技術研究所成績概要集 (森林・林業編), 67-68
- [4] 深野智恵子 (2018) 自然の力を活かした“ふじのくに森の防潮堤づくり”ー海岸防災林の再生を図るー. 海岸林学会誌, 17, 17-22
- [5] 萩野裕章・野口宏典・島田和則・坂本知己 (2010) 人工砂丘の防風効果が斜めからの風に対して低下するメカニズム. 海岸林学会誌, 9(2), 53-58
- [6] 堀田新太郎・畑中勝守・田中寛好・小泉圭右・大塚香織 (2000) 人工砂丘周辺の風の場合による砂丘形状決定に関する研究. 砂防学会誌, 53(2), 22-33
- [7] 伊東日向・吉崎真司 (2013) 沿岸域に生育する常緑広葉樹を用いた塩水による生育実験. 緑化工学会誌, 39(1), 117-120
- [8] 近藤三雄・山崎光司・小沢知雄 (1982) 緑化用植物の耐干(乾)性に関する実験的研究ー特に低木類, 芝生用植物についてー. 緑化工技術, 9(1), 1-9
- [9] 佐賀孝徳・渡辺勝利・中川雅也 (2009) 高層建築物周囲に形成される流れ場の特性. 建築学会環境系論文集, 74(644), 1115-1122

[受付 令和元年6月13日, 受理 令和2年5月28日]