

## 間伐材を利用する防風工の開発



# 間伐材を利用する防風工の開発

## I 試験担当者

森林環境部防災林研究室  
企画調整部海外林業調査科  
東北支所経営部防災研究室

河合英二      山野井克己  
工藤哲也  
松岡廣雄

## II 要 旨

厳しい海岸環境にある海岸防災林の林帯前線では塩風害を著しく受けるため、林木の成長が阻害されている。その改善法として、用途の拡大を求められている間伐材を用いて、効果的な防風柵の開発を行った。

まず部材の組合せを変えた数種類の防風柵モデルを用いて、風洞実験をおこなった。その結果、部材を合掌にした開脚65度の型が柵背後の逆風領域が少なく、50%減風域は柵高倍数26Hにまで及んだ。この実験結果を基に、1987年10月に秋田営林局酒田営林署浜中海岸に間伐材を利用した防風柵を設置した。柵は高さ2.7m、延長100mであった。

1987～88年冬季における観測では、西寄りの季節風に対する柵の効果を対照区と比較すると、柵の直後から柵高倍数7H～10Hの範囲において、減風率が30%高く空中塩分量が28%少ないなど、最も顕著に被害がみられる海岸林前線のクロマツへの阻害要因を軽減していた。

春季、柵により保護されていたクロマツの針葉は、対照区の葉と比べると褐変が少なく、健全度を表わす葉の緑葉率は柵直後で37%と低かったが、その後方では60%以上であった。一方、対照区では柵位置から10mまでは10%以下、それよりうしろでは30～40%と非常に低かった。そのため、クロマツの成長が終わった8月時点で、頂枝の伸長量には平均で30%の差がついた。結論としてクロマツの生育促進に間伐材防風柵が果たす役割は大きく、また所要経費の点から類似した防風柵と比較しても経済的であることが明らかとなった。

## III 試験目的

わが国の海岸線の総延長は3万1千数百kmあり、そこに10万haの海岸林がある。海岸林造成事業はほぼ完了しているが、海風の強い海岸では生育不良の林帯がしばしば見られる。特に林帯前線では塩風害が著しいため植栽木の上長成長が阻害され、そのため林帯後縁までの樹高成長に大きな影響を与えている。

林帯前線における植栽木の成長不良の原因として、防風垣（静砂垣）の防風効果が不十



分で、耐久性に欠けることがあげられる。この改善策として、現在、有効利用が求められている間伐材を部材として用いる効果的な防風柵を開発することが望ましい。

そこで、多様な防風柵を考えて模型を作成し、風洞実験を行い、得られた結果から現地に柵を設置して、柵による効果を判定し実用化することを目的とした。

## IV 試験の経過と得られた成果

### 第1次実験

#### 1. 実験方法

##### 1) 実験施設

風洞実験には、森林総合研究所の風洞施設を用いた(図-1)。風洞はエッフェル型吸込み式で、2.7~40.0m/sの範囲の風を測定胴に送りこむ。測定胴は幅1.2m、高さ1.6m、長さ10.0mで、内部に三次元トラバース装置があり制御室からの遠隔装置によって任意の点の風速を測定できる。測定胴の風上側から0.2m、高さ0.8mの位置には、基準風速測定用のタービン風速計が設置されている。

##### 2) 模型

柵の模型は高さ20.0cm、幅120.0cmとし、直径5mmの木製丸棒を縦に組んで密閉度50, 60, 70, 100%の4組、横に組んだものを同様に4組、及び、合掌型に組んだもの1組の合計9組を作製した。

##### 3) 風速測定

模型柵は測定胴の風上側から1.68mの位置に風の流に直角になるよう固定した。各点の風速の測定は水平方向で-120(-6H: Hは柵高)、-80(-4H)、-40(-2H)、-20(-1H)、-10(-0.5H)、0、10(0.5H)、20(1H)、40(2H)、80(4H)、120(6H)、160(8H)、200(10H)、280(14H)、360(18H)、440(22H)、520(26H)cmの17点、垂直方向については各水平方向測定位置で1, 2, 4, 8, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70cmの13点とした。風速はトラバース装置に装着した熱線風速計により測定胴の中心線に沿って測定した。基準風速は水平方向で-148(-7.4H) cm点で測定した。

##### 4) 相似則

井上、根本によって次式が導かれている。

$$Z_{om}/Z_{on} = L_m/L_n$$

$$U_m/U_n = (L_m/L_n)^{1/3}$$

$Z_{om}$ ,  $Z_{on}$ は風洞内および野外での粗度長,  $L_m$ ,  $L_n$ は風洞内で用いた模型および野外に

おける防風柵の代表的長さ,  $U_m$ ,  $U_n$ は風洞風速及び野外での風速である。この実験では模型高  $L_m = 20\text{cm}$ ,  $Z_{om} = 0.003\text{cm}$ であり、野外の防風柵の高さ  $L_n = 4\text{m}$ ,  $Z_{on} = 0.05\text{cm}$ とすると、風洞風速  $U_m = 10.0\text{m/s}$ ,  $3.7\text{m/s}$ は野外ではそれぞれ  $U_n = 27.0\text{m/s}$ ,  $10.0\text{m/s}$ の風速に相当する。

#### 2. 実験の結果

基準風速に対する各測点の風速比を百分率で求め、それを基に測定範囲内の等風速線図を描いた。

##### 1) 風速比の垂直分布

柵の風上40cm(-2H)から風下440cm(22H)までの、基準風速10m/sに対する風速比を求めた。丸棒を横組みにし密閉度を50, 60, 70, 100%とした模型柵をY50, Y60, Y70, Y100型、縦組にした密閉度50~100%のものをT50~T100型、合掌型をG型と呼称する。図-2にY50~Y100型の風速比の垂直分布を示した。-2H位置ではY50型の風速比は床面に近づき僅かな割合で減少するが、他の型では密閉度が大きくなると共に比の減少もおおきくなる。-1Hでは各型とも減少傾向はさらにはっきりしてくる。また、プロファイルの変曲点も密閉度の増加に伴って上にあがっていく。柵の風下直後1Hにおいては、Y50~Y70型では柵高20cmまで、Y100型は25cmまで弱風域となっている。そこから上の風速比は急激に増加し、1Hにおける風速の最大値は高さ25~35cmの範囲にあり、密閉度が増加するほど上方に表れる傾向がある。風速比が基準点の風速を上回る層(風速比100以上の層)の厚みは柵があるために形成された加速域であり、厚みの程度は密閉度が増加するにつれて大きくなる。10H~18Hと風下に行くに従ってどの型も風上の方の風速垂直分布形に近づく。22Hにおいては、密閉度の高い型ほど、底面付近で風速の回復が早く、プロファイルの立ち上がりが急である。これは、密閉度の高い型ほど防風範囲が狭いことを表している。図-3にはT50~T100型のプロファイルを示した。Y型の場合と殆ど同じである。ただ、1H近辺の弱風域では隙間からの吹き込みの影響が幾分残る。

##### 2) 風速比の水平分布

Y型, T型, G型の高さ8cmにおける基準風速に対する風速比を図-4に表わした。測定高8cmは模型柵高の半分程であるが、野外での地上高1.6mに相当する。模型の無い空カートの状態ではほぼ一様な流れで-1Hから4Hまでの風速比は100%をこえ、10H以後では100%を下まわる。図-4よりY型とT型を比較すると、柵直後の測点をのぞいて殆どの場合、密閉度ごとの分布形と測定値はよく似ていた。風速比の最小値は密閉度が大きくなるほど小さくなり、その位置は柵に近付いていく。密閉度が100%のY100, T100型では柵の前から風速は急激に減少し、柵の直後より200cm(10H)付近まで逆風となっている。それより後方で急速に回復し、風下360cm(18H)付近では他の型の風速比以上となり、520cm(26H)で



空カートの値に近くなる。このことから密閉度が高すぎると防風効果は低くなることが分かる。これに対しG型は密閉度が100%（正面投影）であるが、風下360cm（18H）までは減風の程度がY70, T70型に劣るものの、それより風下の風速比は他の型より小さい値を示している。G型は柵の下方ほど前開脚列と後開脚列の丸棒間隔が開いていくため、前列でつくられた乱渦は後列で更に小さな乱渦となる。このように乱れが小さくなることが原風速への回復を遅くするものと考えられる。

### 3) 模型柵の密閉度と減風

風は風洞の床面に近くなるほど弱くなるが、高さ2cmにおける最小風速比をそれぞれの柵ごとにプロットすると、図-5(a)（基準風速10.0m/s:  $U_r$ ）、図-6(a)（基準風速3.7m/s:  $U_{r'}$ ）のようになる。 $U_r$ （%）、 $U_{r'}$ （%）は密閉度D（%）の増加とともに減少し、次のような関係式で表わされた。

$$\begin{aligned} U_r &= -1.78D + 126 & r &= -0.969 \\ U_{r'} &= -1.58D + 110 \quad (50 \leq D \leq 100) & r &= -0.964 \quad (r: \text{相関係数}) \end{aligned}$$

上記二式の定数項が100を上回ったのは、模型のない状態での風速比 $U_r$ 、 $U_{r'}$ が床高2cmで74%、64%であるが、密閉度が50%以下の柵の測定を欠いているためである。Y100, T100型の $U_r$ 、 $U_{r'}$ は模型固定位置（0m）で0%とした。両型とも200cm（10H）付近まで逆風であった。

図-5(b)、図-6(b)にそれぞれの柵ごとの最小風速域の発生位置を示した。この場合にも柵の密閉度の増加につれて、最小風速域は柵の位置に近づく。基準風速10.0m/s、3.7m/sにおける柵の位置から最小風速発生位置X（m）、X'（m）と密閉度Dとの関係は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} X &= -0.066D + 6.6 & r &= -0.963 \\ X' &= -0.074D + 7.2 \quad (50 \leq D \leq 100) & r &= -0.884 \end{aligned}$$

上記二式においてDの係数と定数項は両式とも大差なく、風速の大小により最小風速発生位置はあまり変わらないと言える。

図-7に最大風速比 $U_r$ （%）と密閉度D（%）の関係を示した。最大風速域の風速比は密閉度が増すにつれて大となり、その関係は10.0m/sの基準風速の場合、次のように表わされる。

$$U_r = 0.646D + 84 \quad (50 \leq D \leq 100) \quad r = 0.990$$

風速10.0m/sで空カートの場合の最強風域は0H付近で102%の値をもつが、上式の場合はD=0で $U_r$ は100%を下まわる。丸棒を材料にしたときの最大風域の風速比は密閉度が50%以下になると単純に直線的な変化をしないと考えられる。G型の最大風速比はY70, T70型とはほぼ同じ値をとった。最大風速発生位置はY50~70型、T50~70型、G型とも柵の直後、高さ25cmにみられた。Y100, T100型では風下80cm（4H）、高さ50~60cmの位置に発生した。

以上の結果から、丸棒を横組み、縦組みにしたY型、T型の比較と合掌の型組みのG型の防風効果の位置づけを検討する。Y型とT型の風速比の垂直、水平分布をみると、同じ密閉度の柵ではほとんど同一とみてよい。また、最小の風速比の比較では10.0m/sの風に対してY, T型はどの密閉度においても極めて近い値をとっており、3.7m/sの風に対しては両者の値はやや異なるが、その差は10%以内である。最小風速域の発生位置をみると、10.0m/sの風では、Y, T型ともそれぞれの密閉度ごとの発生位置の値に大差はない。最大風速比でもY, T型はどの密閉度でも近似した値をとっている。これらの比較により、素材とする丸棒を横組みにしても縦組みにしても防風効果は同程度と考えられる。ただ、低風速の場合には縦組みの柵のほうが防風範囲が広いようである。合掌型の最小風速比とその発生位置をみると、同じ密閉度をもつY100, T100型の最小風速比0%に近い値をとる一方、その発生位置はY100, T100型の0mに対して1.2~1.8mと柵から離れ、横組み、縦組み100%の柵より最小風速の効果範囲は広い。さらに、高さ8cmにおける風速比の比較では、柵の風下3.6m以後では横組み70%、縦組み70%の柵より減風作用が優れていることが読み取れる。

## 第2次実験

1次実験の結果、柵の組合せには合掌型がよいことが分かった。しかし、現地における柵の設置時における作業効率や耐風性上、合掌組合せの前脚と後脚にある程度角度をもたせる必要が生じる等検討すべき点があったので、さらに実験をおこなった。

### 1. 実験方法

#### 1) 実験施設

1次実験と同様に森林総合研究所の風洞施設を用いた。

#### 2) 柵の模型

防風柵の高さを3m、模型はその1/20の高さ15cm、幅120cmとして同じ材料で組み立てた。風上、風下とも傾斜している1次実験の合掌型模型から、現場での設置条件を考慮して、風上傾斜、風下鉛直の合掌型にした。風上の柵の傾斜度を開脚度と称し、50、60、70度の3種を作成した。柵正面の密閉度は見かけ上100%ある。

#### 3) 相似則

1次実験と同じように考えた。風洞の基準風速7.4m/sを用いた。これは野外風速20m/sに相当し、かなりの風速になるが、柵の設置を予定している酒田市浜中海岸の現地では冬季にしばしば記録される風速である。

### 2. 実験の結果

柵の開脚度を変えて実験した資料から、基準風速に対する相対風速比を求めイソプレッ



トを描き図-8に示した。開脚50, 60, 70度のそれぞれの風速比100%の等風速線をみると測定範囲の最後端でも柵の高さより高い位置にある。風速比80%の等風速線は同様に最後端でも柵の高さとはほぼ同じになるが、開脚度が減り、前柵と後柵が開くほど26H辺りで等風速線が下降傾向となる。風速比60%の等風速線も同一傾向を示していた。風速比50%の等風速線では開脚度が増していくと、50%以下の領域がせばまって、開脚70度では26H以内となる。これは柵の開きが小さいので柵下方の風が通りにくく、柵の上方を超える気流が相対的に増加し、風速比50%の等風域については回復が早まるためと考えられる。風速比40%以下の等風速線は各開脚度の柵にみられ、開脚50度の柵では風速比30%の範囲が7Hから14Hの範囲に出現し、開脚60度の柵では3Hから18H近くまで出現した。また、開脚70度の柵では風速比40%域は柵近くまで近付き、その領域内に風速比30%, 20%域ができるなど、50, 60度の柵に比較して20%前後の風速域の範囲が広がる。

柵の前脚の角度を急にして前脚と後脚の間隔を狭めると前脚の間を通過した風が後脚にすぐあたってできる渦流が柵後方へぬけ難い。すなわち前脚と後脚が近づくと密閉度が大きく柵が板のような働きをし、柵背後には柵の上をこす気流によって逆風域ができるため柵近くに減風率の大きい領域が出現するものと考えられる。

柵に保護される現地の海岸林のクロマツ樹冠頂部は柵高までの範囲内にある。厳しい季節風によってクロマツ梢頭部が成長阻害を受けているところで、最も保護が望まれているところである。この領域の風を減衰させクロマツの成長促進をはかるのがこの実験の主な目的である。そこで、実験で得た資料からこの領域の風を詳しく検討するため、柵と同一高(15cm)と柵高2/3(10cm)の高さ別風速比の水平分布を図-9に示した。柵の高さ15cmの場合、3型とも柵直後で急激に減少して最低値を示し、それから徐々に基準点の原風速へ回復してゆき、26Hで約70%まで戻った。減少傾向は柵の開脚度が50, 60, 70度ともほぼ同様であるが、開脚度の大きい70度の減風率が最も高い。柵2/3高10cmの場合、風速の最小値は柵直後ではなく、開脚50度は4H~6Hにあり、開脚60度では6Hに、開脚70度では10Hにあった。原風速へ回復は3型とも26Hで約60%になった。

このように開脚度が増して前脚の傾きが急になると、柵高2/3~柵高の層(10~15cm)では柵による減風率が大きくなった。しかし、26Hでの原風速への回復状態は開脚70度の柵は僅かではあるが他の柵よりも早く、風速の減少域が幾分狭いことを示している。また、柵の前脚と後脚の間隔が縮まると、柵全体の耐風性も低下する。これらの点を考慮して柵の開脚度を70度より幾分狭めて65度の模型柵を作製して同じように実験をおこなった。その結果、開脚65度では60度と70度の中程の減風率を示したので、開脚65度のモデルを採用した。

## 現地への適用試験

### 1. 間伐材を利用した柵の施工地

海風の強い地方の海岸林造成地では成績不良地が多く、とくに林帯前線では塩風害が著しく、林木の成長が阻害されている。そのため、後続林帯までその影響をうけている。このような海岸林をもつ秋田宮林局酒田宮林署管内の海岸林に柵を設置することにした。管内の海岸林は、山形県飽海郡遊佐町から鶴岡市湯之浜にいたる延長32,000m、幅200~800mのクロマツ林である。間伐材を利用した防風柵は、酒田宮林署により1987年10月に酒田市浜中の133林班へ施工された。この防風柵を設置したところは10~30年生のクロマツ林で、調査地の林分状態は、間伐柵区が平均胸高直径7.6cm、平均樹高4.5m、本数密度4,160本/ha、林帯前面に高さ1mの化繊網(密閉度30%)をもつ対照区では平均胸高直径8.7cm、平均樹高4.1m、本数密度3,100本/haであった。林分の形状比(樹高/胸高直径)は44, 58で直径に比して上長成長の悪いことがわかる。また、枝下高率(枝下高/樹高)は46%で林齢からみて樹高は低い樹冠層に厚みがある。施工位置は林帯の海側前縁部で、冬季の主風に対しほぼ直角な配置となっている。

### 2. 浜中海岸の気象環境

冬季の日本海沿岸は長期間、強烈な波浪にさらされ、西寄りの季節風で多量の塩分が内陸へはこびこまれる。図-10に酒田の波の高さを<sup>1)</sup>、図-11に同じく酒田の冬季と夏季の5ヶ年、10m/s以上の総暴風日数風配図を示した。これらの図からも西寄りの風の強いことが分かる。調査期の1987年12月から1988年3月の間の酒田、鶴岡の測候所のデータを表-1(風については海からの主風向であるNW, WNW, Wのみをとった)、比較のため5ヶ年平均値(1983~1987年)は表-2に示した。末ら<sup>2)</sup>は浜中付近の風の観測をした結果、NW季節風に限っては浜中の風が鶴岡の観測値と相関が高いことを指摘している。しかし、1987~1988年冬季にNWを示した最多風向は少なく、連日のようにWNWの強い風が吹き付けた。風速値は、鶴岡が海岸の浜中に近いといっても、幾分内陸に入り、山に近い地形の影響で風速値は酒田より小さい。1988~1989年冬季は例年みられる強い寒波の襲来もなく、シベリア高気圧や大陸の低気圧もあまり発達せず、いつも吹き荒れる季節風の吹き出しも弱かったり、降水量も少なく、全般的に穏やかな冬であった。

### 3. 間伐材を利用した柵の構造と使用材料

風洞実験の結果にもとづき設計した前脚傾斜65度、後脚鉛直の防風柵を図-12に示す。使用部材は末口径10cmのスギ間伐材で、柵高は2.7m、延長100mにわたって施工した。柵の密度は材の不揃いもあって、正面からの見かけの密閉度はおおよそ90%となった。使用材料は表-3のとおりである。なお、表-4は防風用に使用されている他種との経費の比較である。これを見ると分かるように間伐材防風柵がネット防風柵、有孔板防風柵の設置経費より安価で経済効率がよい。



#### 4. 間伐材を利用した柵の効果の測定

間伐柵がクロマツ海岸林の成長に及ぼす影響を判定するため、間伐柵区と対照区において海風に運ばれる塩分と風の減少効果とクロマツの成長促進効果を比較検討した。

##### 1) 測定方法

##### 1)-1 空中塩分の測定

柵の方向90度に設けた測線上で柵後5, 15, 30, 50mに測点を取り、それぞれの点に支柱を建て、樹冠上2m、樹冠直上位置に空中塩分捕捉用のトラップを取り付け、各地点で観測した。各点の測定値を比較するため、柵前5mの高さ2mの値を基準値とした。トラップは常に風に同一面積が当たるように円筒型とし、直径13.0cm、高さ20.0cmである。1987年12月17日から1988年3月31日まで、週間隔でトラップの布を取り替え、研究室で捕捉塩分量を測定した。これにより冬季の柵による空中塩分の水平分布の変化を明らかにした。また、1988年12月に柵後の各測点に12mの観測塔を建て、1989年1月と1990年1月に空中塩分の垂直分布を調べた。

##### 1)-2 風速の測定

風速の測点は、基準風速は柵前15m地点で柵後は塩分の場合と同一地点で、長さ7.5mのポールに0.6, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5mに風速計を取り付け順次、移動測定をおこなった。風速の測定には牧野光電式風向風速計とデータレコーダーを用いた。前項に記した12mの観測塔設置後は0.5, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 10.0, 12.0mの高さに取り付け1987年12月、1988年2月、1989年1月、1990年1月に測定を実施した。

##### 1)-3 クロマツ林の健全度の測定

一冬季を経たクロマツ林の健全度をみるため、1988年、1989年春に柵背後から50m地点まで10mごとに樹冠上部の枝を採取して着生していた針葉のうち緑色を保っていた本数を数え、全葉数に対する割合を求め緑葉率として表した。なお、塩風害により褐変脱落したのは葉の本数は葉痕から判読した。

##### 1)-4 クロマツの成長量調査

クロマツの成長が終了する8月にクロマツ梢頭部の伸長量を1988年、1989年にそれぞれ柵背後で幅5m、長さ60mの調査コドラートを設け、区域内全木の同一梢頭で計測した。

## 結果と考察

### 1. 空中塩分の減少効果

ここでは、1987年12月～1988年3月の測定資料から樹冠上2mと樹冠直上の水平分布について、1990年1月の資料からは垂直分布について検討する。他の期間の調査は風速が弱い

等測定条件が悪く十分な資料が得られなかった。捕捉塩分量と気象因子の関係をみるため調査期間に捕捉した塩分量を累積し、総量に対する比で各時期の増加傾向を図-13に、その間の気象状況を図-14に示した。この間、12, 1月は平均風速5m/s以上の日数が多かったが、降水量も多く、捕捉した塩分が流失したため、捕捉塩分量が少なかったものと考えられる。2月は比較的風が強く、強風日数も多く、降水量が少なかったので捕捉塩分量は12, 1月に比べて多くなったものと考えられる。さらに、3月になると強風の日は比較的少ないが、降水量が少なく、付着した塩分の流失が比較的少なかったため塩分量が多くなったものと推察される。このように風速、降水量等の気象条件によって捕捉塩分量は大きな影響を受ける。

また、この期間、2週間ごとに得られた各測点の塩分量より、柵による塩分の減少傾向についても検討した。冬季間全体の傾向は柵前の基準値に対する比率で図-15に示した。前述のように、捕捉塩分量は観測期間の気象条件により影響される。樹冠上2mでは対照区は指数関数的に減少するが、間伐柵区では柵の影響により柵後15mで最小値を示し、それより後方から増加し、50m点では対照区の値とほぼ同じになった。樹冠直上では対照区の減少傾向は樹冠上2mと同様指数関数的であったが、間伐柵区は柵直後で、柵の下部を抜けた風が強かったためか、対照区に近い値であった。間伐柵区の最小値が15m点に表れ、50m点で対照区の値に近くなった。さらに詳しくみると、樹冠上2mでは対照区5m点で84%、その後漸次減少し50m点で63%であり、一方間伐柵区では柵後15m点で最小値38%、50m点で67%の値を示した。対照区と間伐柵区の平均値の差は28%と対照区が多かった。また、樹冠直上では対照区は5m点で51%、50m点で24%、間伐柵区は15m点で10%、50m点で55%となり、対照区が平均24%多かった。樹冠直上から樹冠上2mの層で間伐柵区では柵後50m点まで塩分の減少率が大きいことが判る。

図-16に示した空中塩分の垂直分布では間伐柵区と対照区の違いがはっきりしていた。後述の風の垂直分布とよく似ており、樹冠の上に出た部分は対数法則にのる分布になるが、柵によって減少した風の領域内では緩やかに塩分量が増していく。

間伐柵区と対照区の各点の塩素濃度比(捕捉塩分/風速比)を求めると図-17のようになる。間伐柵区では、対照区と比較して柵から50m領域内の塩分が少なく、柵の効果がよく判る。

1987年12月と1988年2月の観測結果から風速と捕捉塩分量の相関を検討したところ、風速が増大するに従い捕捉塩分も比例して大きくなるが、この関係は対数回帰より直線回帰の方が適合した。その関係を図-18に示した。

塩分量は風、降水量等気象因子に影響を受けるが、間伐柵区は対照区に比べ明らかに塩分の減少率が大きく、間伐柵がクロマツ林への付着量を少なくする効果が認められた。

### 2. 柵の防風機能



1987年12月の強い季節風が吹いた時の風の垂直分布の測定結果を図-19に示した。現地の地形は柵の後方5mほどから低くなるので、柵基部をレベルとして地形の高低にあわせて基準風速に対する各点の風速比を値としてイソプレットを描き、同様に表わした対照区及び開脚65度模型の風洞実験の結果を合わせて図-20に示した。

図-19の両区の風速比の垂直分布をみると、柵の後方は地形とクロマツ林の影響があるため、それぞれの値をそのまま比較は出来ないものの、柵基部レベルでみると柵後50mまでは間伐柵区で減風率が大きいのが判る。その差は柵直後で大きく、後方に向かうにしたがって漸次その差が少なくなっている。間伐柵区では柵後にクロマツ林が有るが、風洞実験の結果（例えば図-2, 3）と非常によく似ていた。

図-20のイソプレットからみると、対照区の風速比はクロマツ林の樹高曲線上では50~70%であるが、間伐柵区では20~40%の範囲内にある。さらに、クロマツ林の成長に最も影響を及ぼす領域の風を比較するために両区の樹冠直上と樹冠上2mの風速比の水平分布を描いた（図-21）。樹冠直上の場合、間伐柵区では柵後から急激に減少し、5m点で45.1%、15m点で最低値12.8%、30m点で24.3%、そして50m点で34.8%であった。対照区はそれぞれ88.6, 63.9, 47.7, 52.1%であった。クロマツ梢頭部は相当の減風域に入っていることになる。対照区の値が自然減衰値としても、間伐柵区との差は大きく、柵の後方の減風率は高い。また、樹冠上2mでは樹冠直上と比較して風速の減少率はかなり小さく、間伐柵区の柵後5m点で111.3%、15m点71.6%、30m点60.9%、50m点61.6%、対照区はそれぞれ108.8%, 106.5%, 91.5%, 64.5%となり、その減少傾向もゆるやかであった。柵後50m点で両区の値は同じようになるが、柵から50m点の間で柵の影響が減衰傾向にはっきり現われている。

これらのことから、柵から50m付近までは十分な減風域であるが、樹冠上2mの場合、50m点ではほぼ同じ風速比になり、50m点より後方では柵の影響が小さくなると言える。また、樹冠直上では50m地点の両区の風速比の差は20%程となり、この高さでは柵による減風域がさらに後方へ広がっているものと考えられる。

### 3. クロマツの健全度

海からの厳しい季節風が吹く冬を経たあと、成長期をむかえる時期のクロマツの健全度を現わすものとして、柵直後から50m地点まで10mごとに樹冠から枝葉を採取して緑葉率を求めた。1988年、1989年の緑葉率の調査結果を図-22に示した。1988年は、対照区で10m点までは30%以下で、50m点までいっても50%以下であった。間伐柵区では柵直後で30%以上あり、50m点では100%に近かった。50mまでの平均緑葉率は対照区27%、間伐柵区62%であった。この年はクロマツ梢頭部の褐変枯損が非常に多かった。しかし、間伐柵区は対照区の2倍もの緑を保っていた。柵の保護域だけが際だって青々としている状態は目視によっても判定できた。翌1989年は全体に差がみられず、平均で対照区86%、間伐柵区93

%であった。この数値にみられるようにクロマツ梢頭部の褐変被害は少なかった。これは、この冬のシベリア気団の張り出しが弱く、海からの季節風も少なく、温和な天候で推移したためであった。このような状況でも柵による効果ははっきりとでている。

また、1988年に褐変・枯葉を含めた着葉数と付着塩分量の関係を調べた（図-23）。褐変・枯葉を多く着けている対照区のクロマツは着葉が少ない割に塩分が多く、間伐柵区では着葉が多いが塩分量の少ないことが分かった。

緑葉率はトラップの結果と同じように柵の有無による効果がみられ、塩分量に左右されているものと推定された。

### 4. クロマツの成長量

柵を設置した1987年の秋に対照区と間伐柵区の毎木調査を行い、同時に、クロマツ梢頭部にマーキングし、1988年、1989年の2度クロマツの成長終了期にその年の伸長量を計測した（図-24）。対照区と間伐柵区に差がみられるのは柵後45m位までで、柵後20mで最大となった。柵の効果は厳しい冬の強風を経た場合の方が伸長量に顕著に現われるようである。1987~88年の冬の強い海風を経験した後の1988年の調査結果をみると、特に対照区では40mまでの伸長量が前縁部が悪く、その後では順次伸びていくのに対し、間伐柵区は柵直後の前縁部から伸びが大きく成長が良い。

1988~89年の冬は比較的温和であったが、クロマツ林の成長期に入ると天候が不順となった。このためクロマツの成長は例年に比べあまり順調ではなかった。対照区の伸長量をみると前縁から後方までほぼ同じで、クロマツの成長に及ぼす風の影響が少ない年であったことが推察される。それでも間伐柵区の伸長量は対照区をかなり上回っており、柵が成長に良い効果もとらしたことが判る。

両年とも保護域では間伐柵区が対照区に比較し伸長量が約30%上回っている。クロマツの成長量は毎年の気象条件に影響されるが、どんな気象条件のもとでも柵による塩風環境の緩和、改善により、クロマツの成長に良い効果が期待できる。

## V ま と め

柵のモデル実験を基礎に作製した、間伐材を材料とする防風柵は実験の結果とよく似た効果をあらわし、風速、空中塩分を減少させクロマツの成長阻害要因を少なくした。この効果により、柵の保護域のクロマツの成長を促進したことは明かである。また、需要の少ない間伐材の利用に活路を開いた。さらに、柵による効果範囲の拡大が望まれる上、現場に設置された柵の実効的な耐久力の持続性の問題が残されているので、今後も調査を継続していく必要がある。

（松岡 廣雄）



引用文献

1) 成田七郎, 浦田忠孝: 秋田局業務研集63年度, 142~149, 1989

2) 末 勝海, 金内英司: 山形農林会報(3・4), 102~111, 1953

参考文献

1) 建設省建築研究所: 間伐材利用による防風柵の性能に関する技術指導報告書, 1~5,

1988

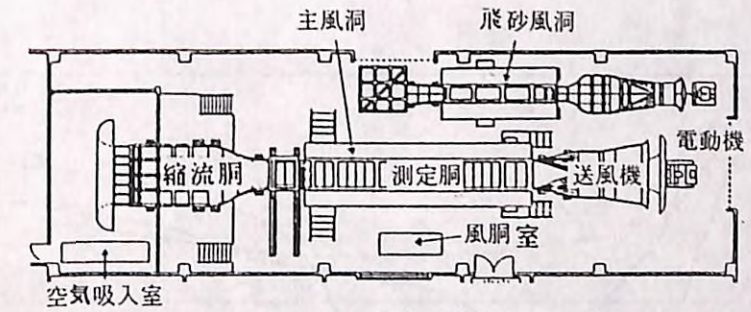


図-1 風洞平面図

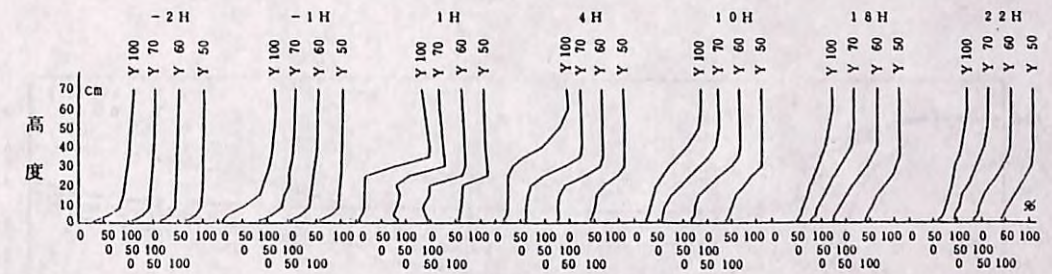


図-2 Y50型~100型の風速比垂直分布 ( $U_{st} = 10\text{m/s}$ )

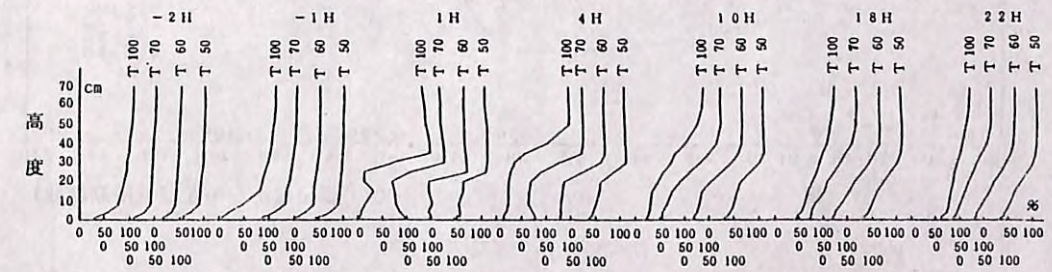


図-3 T50型~T100型の風速比垂直分布 ( $U_{st} = 10\text{m/s}$ )



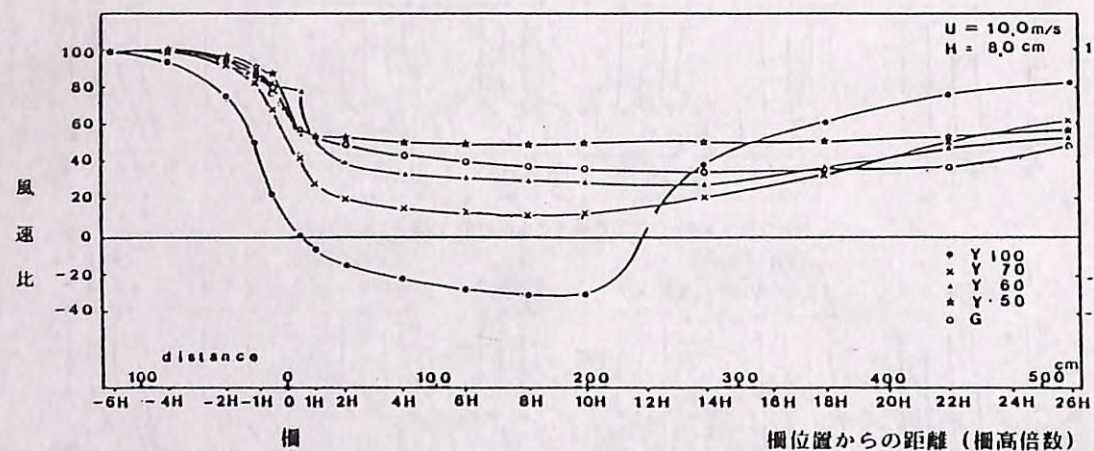
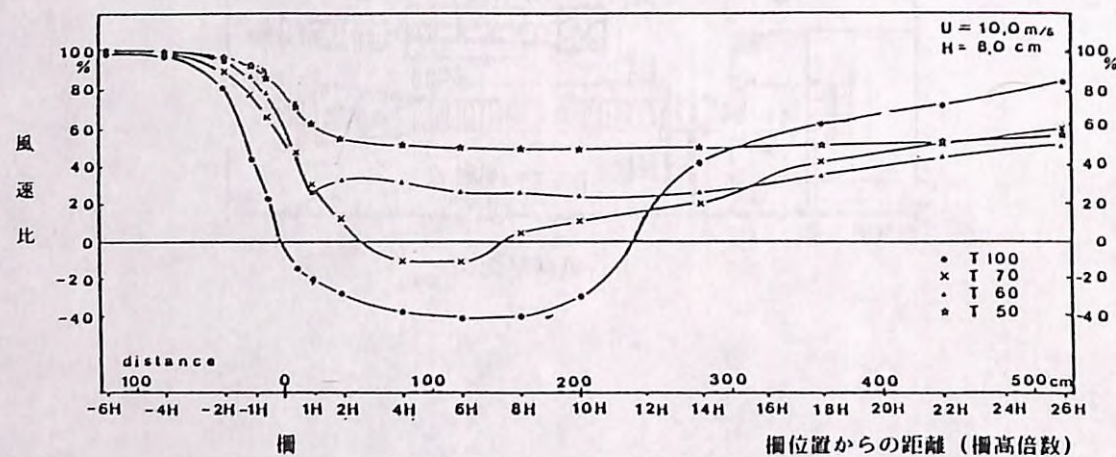


図-4 T, Y 50~100 型 G 型の風速比の水平分布

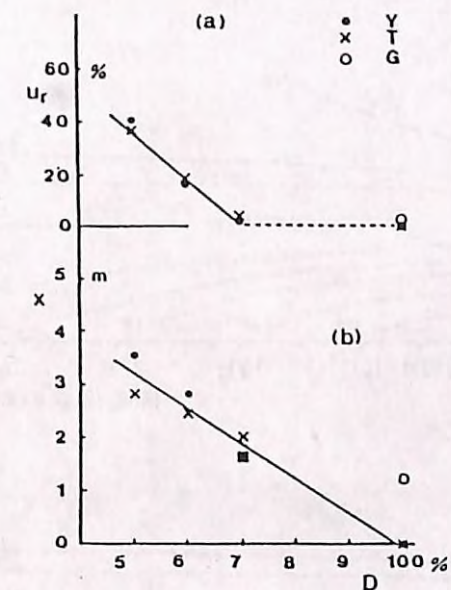


図-5 密閉度(D)と高さ 2 cm における風速比 ( $u_r$ ), その発生位置 (x) の関係

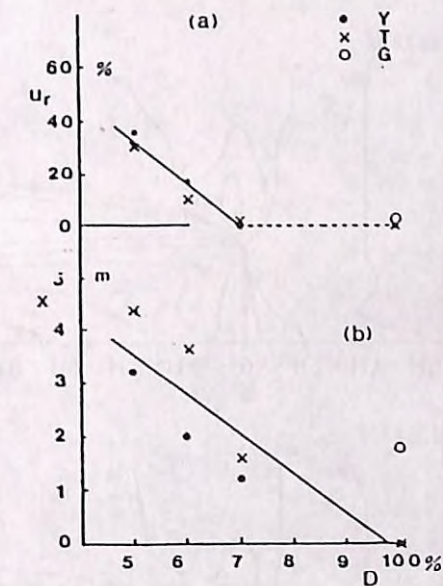


図-6 密閉度(D)と高さ 2 cm における風速比 ( $u'_r$ ), その発生位置 ( $x'$ ) の関係

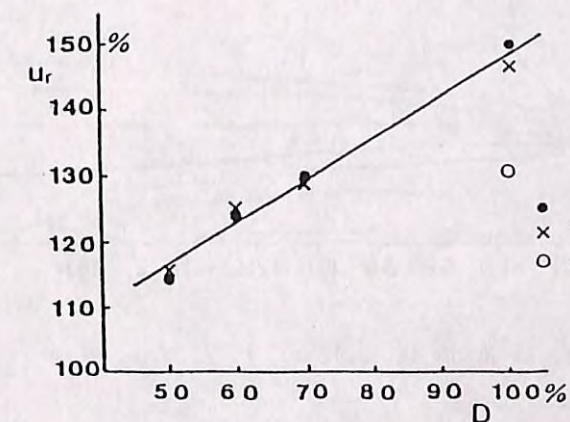


図-7 密閉度(D)と最強風速比(u)との関係



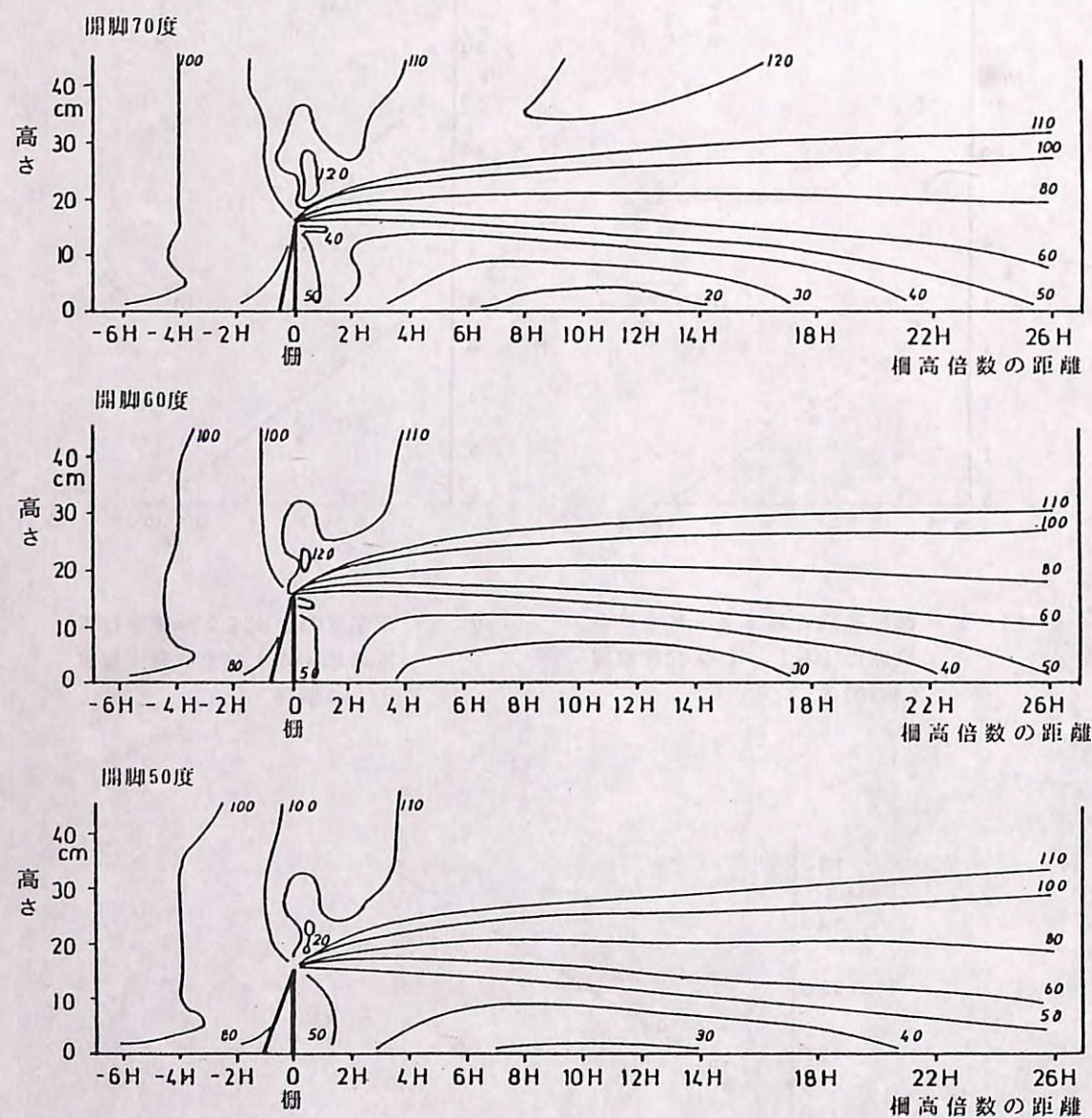


図-8 開脚度別風速比のイソプレット

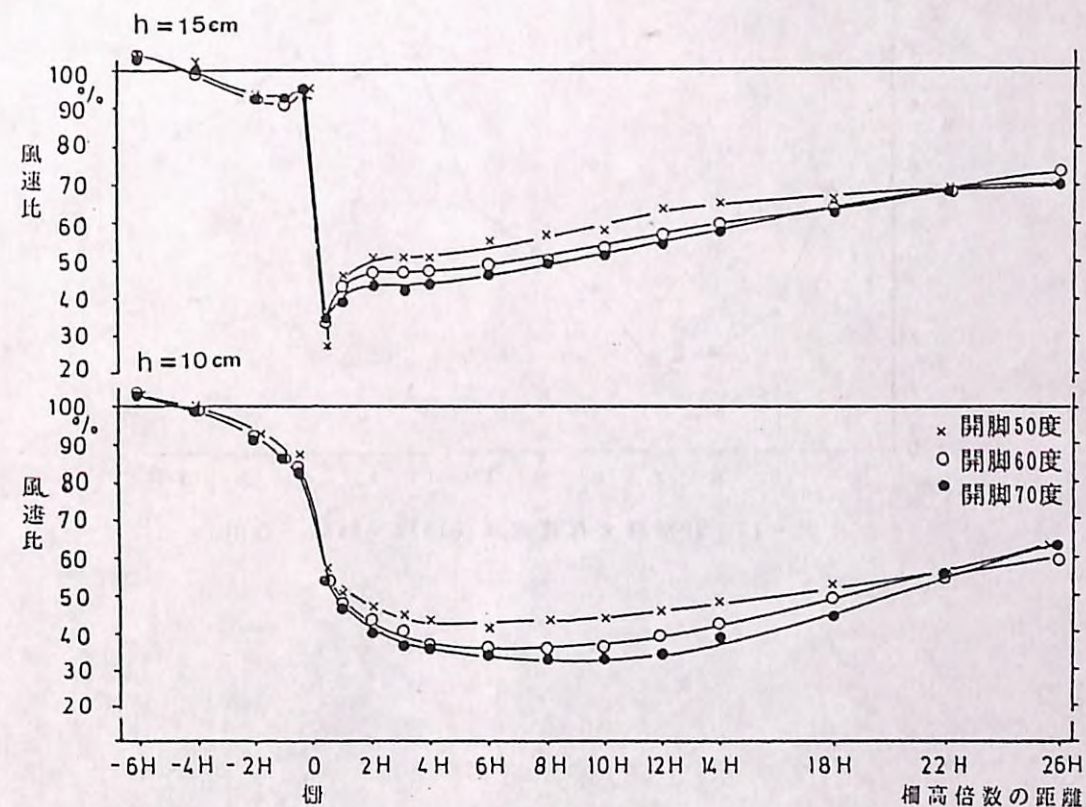


図-9 高さ別風速比の水平分布

表-1. 調査期間, 調査地に近い酒田, 鶴岡の気象

年月	平均風速 m/s						最多風向		降水量 mm		最大風速 m/s	
	鶴岡		酒田		鶴岡		鶴岡	酒田	鶴岡	酒田	鶴岡	酒田
	2.2	5.2	2.2	12.2	0.2	2.2						
1987.12	2.2	5.2	2.2	12.2	0.2	2.2	WNW	SE	174	162	11	17.5
1988.1	2.7	5.9	4	19	0	4	WNW	WNW	285	192	10	15.5
2	3.3	6.3	3	21	0	2	WNW	WNW	117	98	10	16.7
3	2.4	4.8	1	12	0	0	WNW	W	94	96	10	15.5

表-2. 1983年~1987年, 5ヶ年の平均値

月	平均風速		最多風向		降水量 mm		最大風速 m/s	
	鶴岡	酒田	鶴岡	酒田	鶴岡	酒田	鶴岡	酒田
12	2.7	5.3	WNW	WNW	138.8	170.8	11	17.6
1	3.8	6.0	WNW	WNW	120.0	117.7	17	17.9
2	3.3	5.7	WNW	WNW	107.4	117.2	14	15.8
3	2.4	4.7	WNW	WNW	185.0	112.4	12	18.8
年平均	2.2	4.3			147.4	144.8		



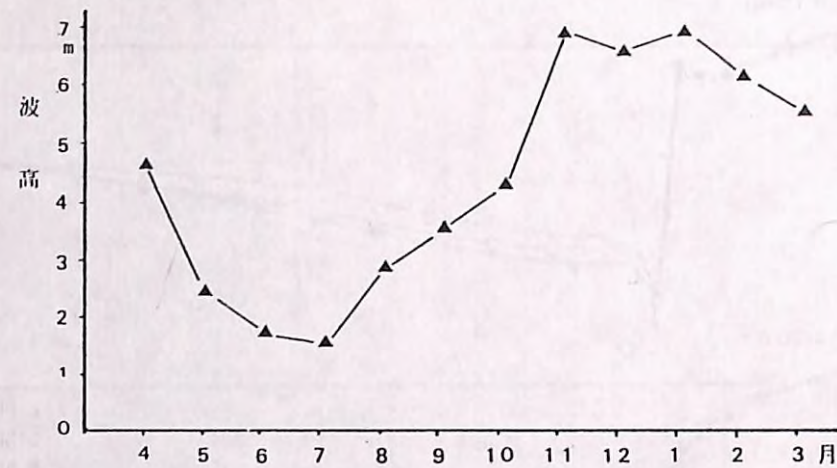


図-10 月別最大有義波高 (1982-1986、酒田)

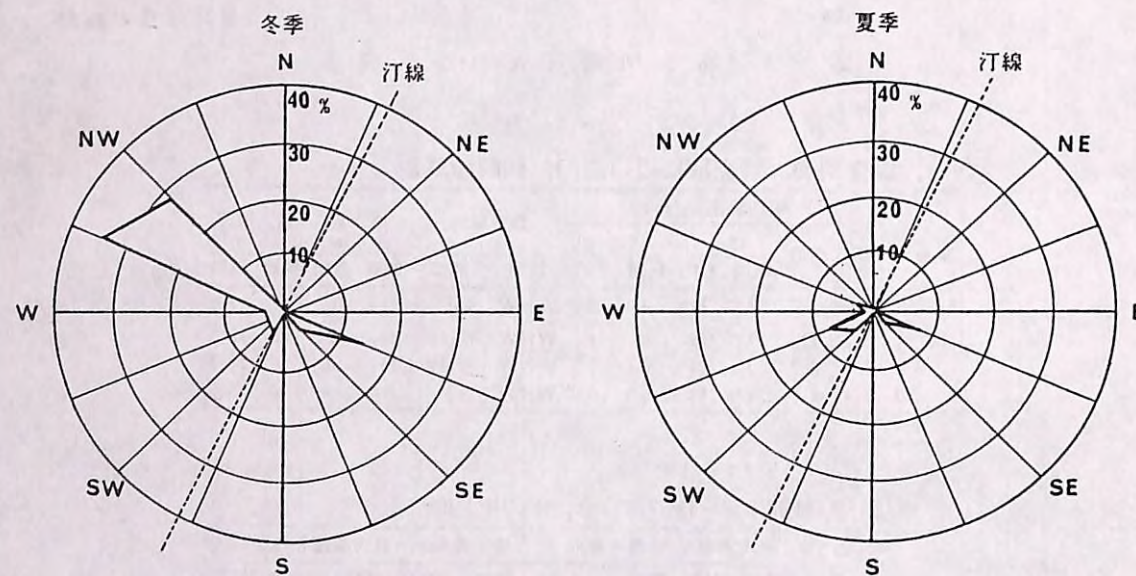


図-11 暴風日数風配図 (最大風速10m/s以上、1982-1986、酒田)

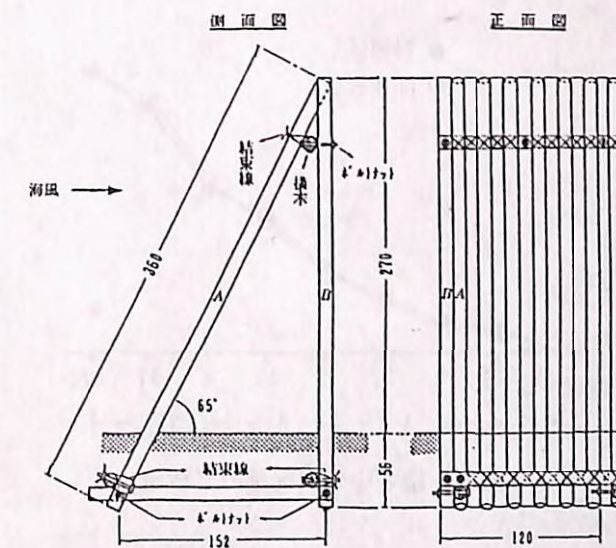


図-12 間伐材防風柵の構造 (単位 cm)

表-3 材料 内訳 (10m当り)

種別	規格	数量
前部材	未口径10cm. L=3.6m スギ丸太	50 本
後部材	" L=3.3 "	"
根かせ木	" L=1.8 "	9 本
横 木	" L=5.2 "	6 本
止金具	ボルトナット (φ12m/m L=30cm)	36 本
結束線	亜鉛引鉄線 (10#)	12.3kg
クレオソート		32.6ℓ
緑化むしろ		23.7㎡

表-4 各種柵の経費比較 (10m当り)

区分	間伐材防風柵 (H=2.7m)	ネット防風柵 (H=2.5m)	有孔防風柵 (H=2.5m)
	千円	千円	千円
材料費	スギ丸太 115 ボルトナット 結束線 クレオソート 緑化むしろ	主材 (鋼製) 防風ネット 胴縁 結束線 止金具 105	主材 (鋼製) 有孔折板 ボルトナット 218
基礎		コンクリート 129 (120x60x100)	コンクリート 129 (120x60x100)
労賃	組立外 44	組立外 44	組立外 44
諸経費	122	232	315
計	281	533	724
耐用年数	10 年	主柱 20 年 ネット 3 年	20 年
耐用年数から 割だした単価	2,810 円/m	4,960 円/m	3,620 円/m



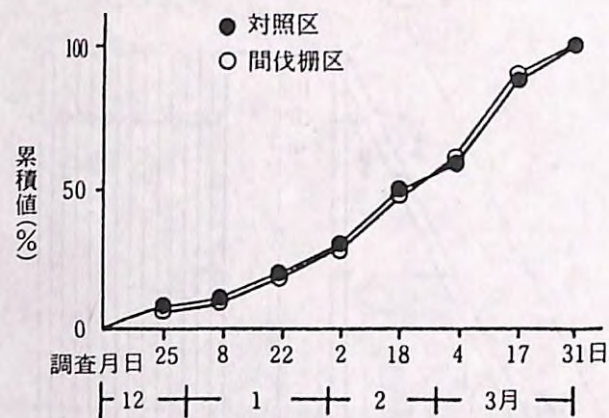


図13 空中塩分捕捉量の累積値

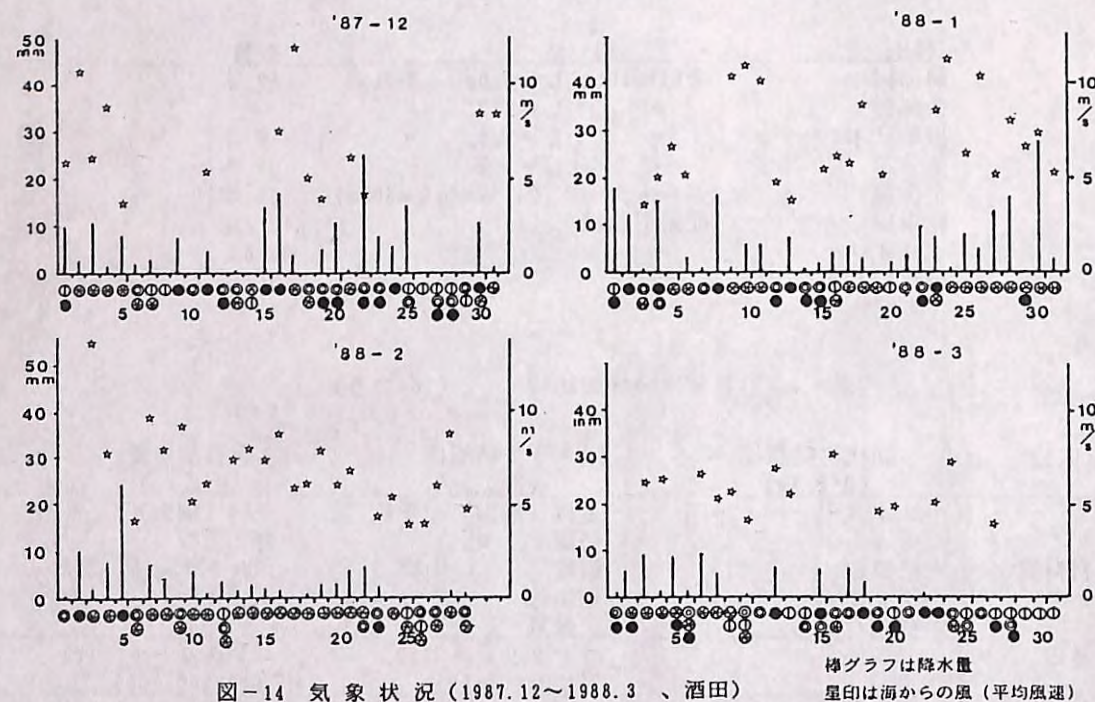


図-14 気象状況(1987.12~1988.3、酒田)

棒グラフは降水量  
星印は海からの風(平均風速)

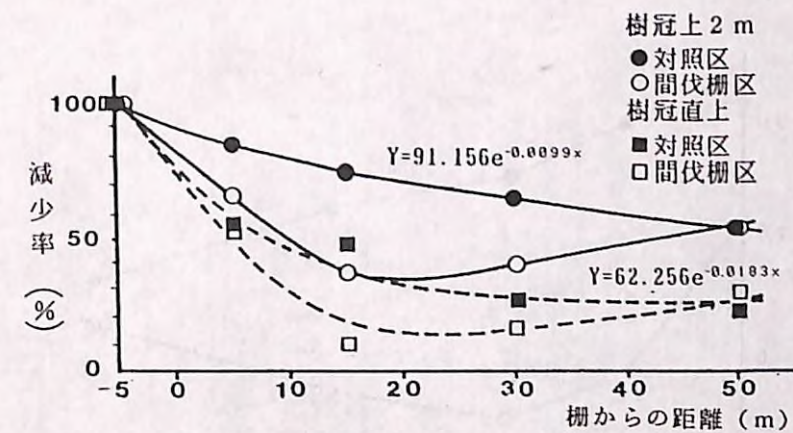


図-15 棚の有無による空中塩分減少率の比較

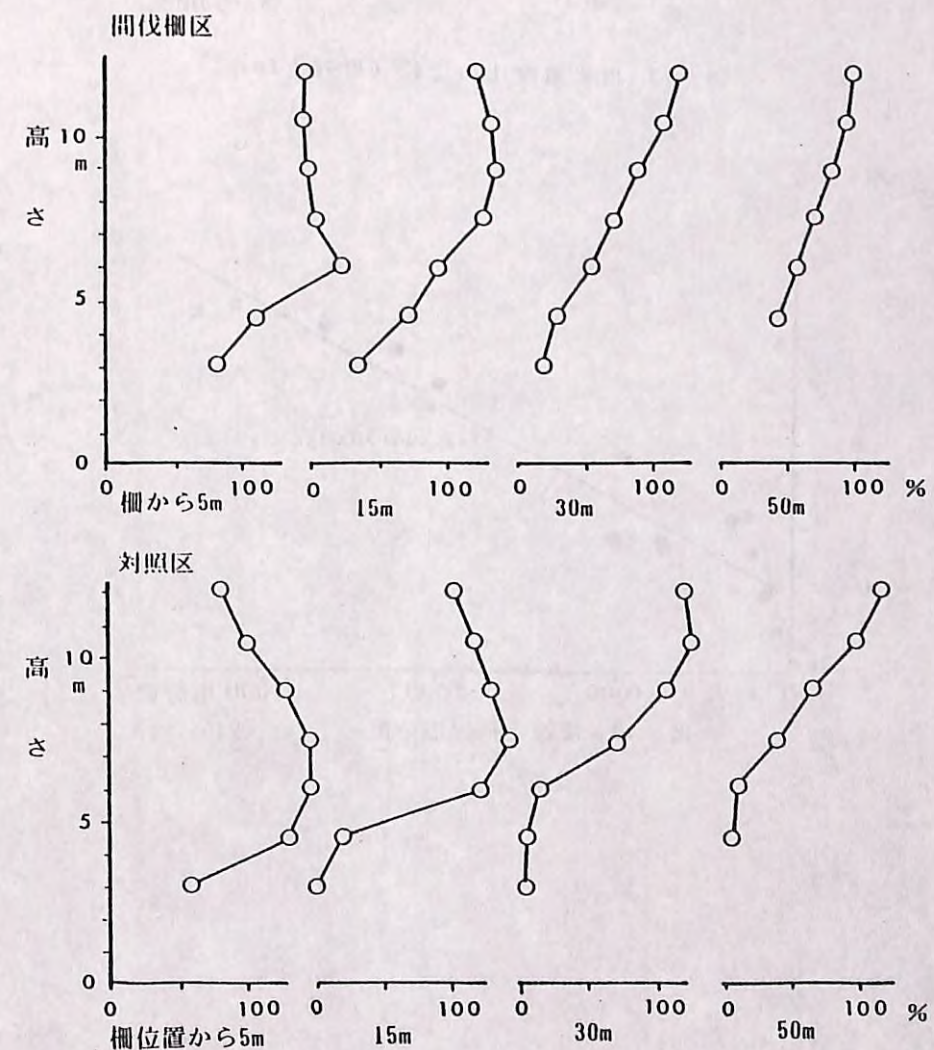


図-16 空中塩分の垂直分布



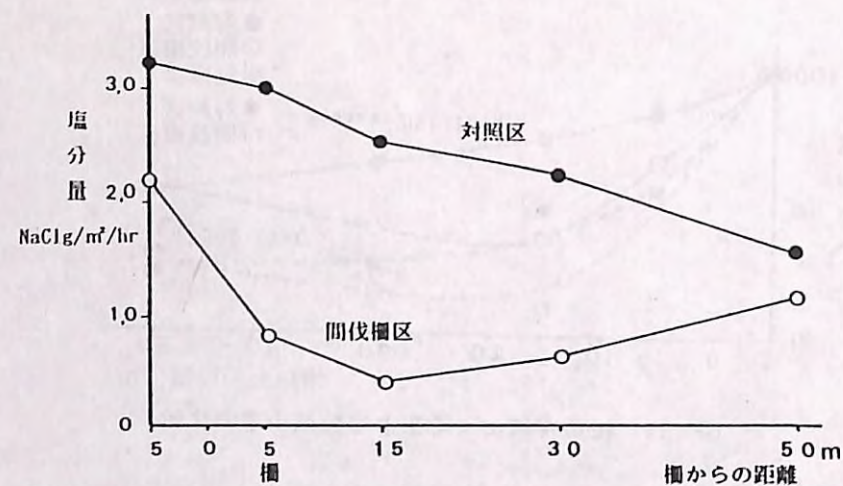


図-17 塩素濃度比の比較 (樹冠上2m)

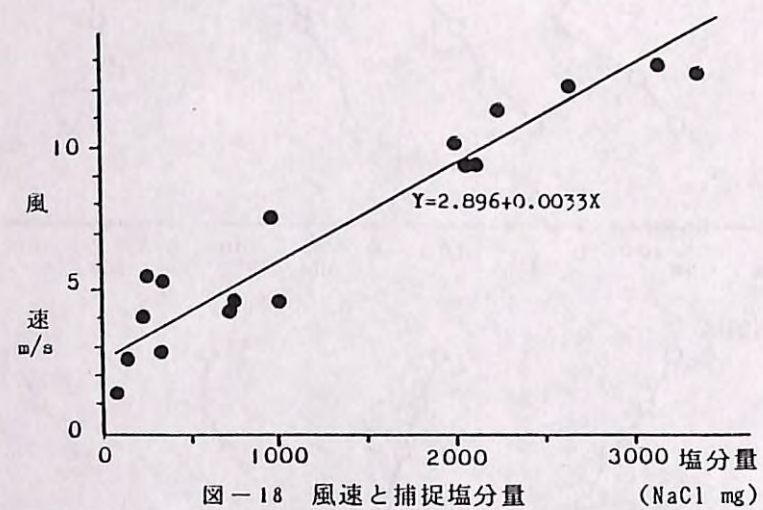


図-18 風速と捕捉塩分量 (NaCl mg)

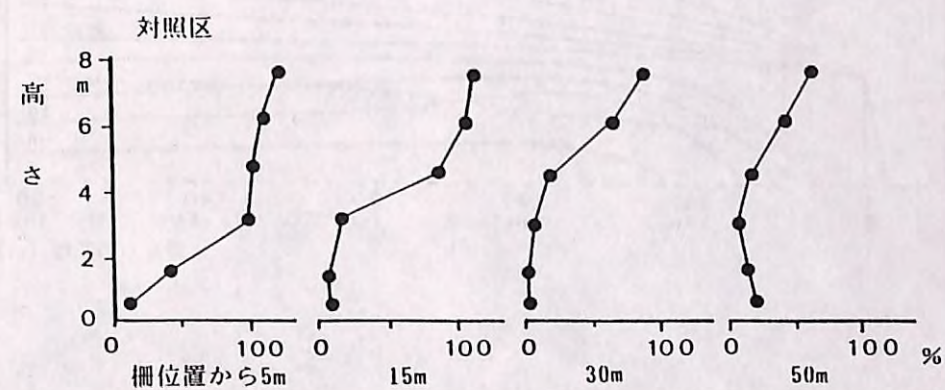
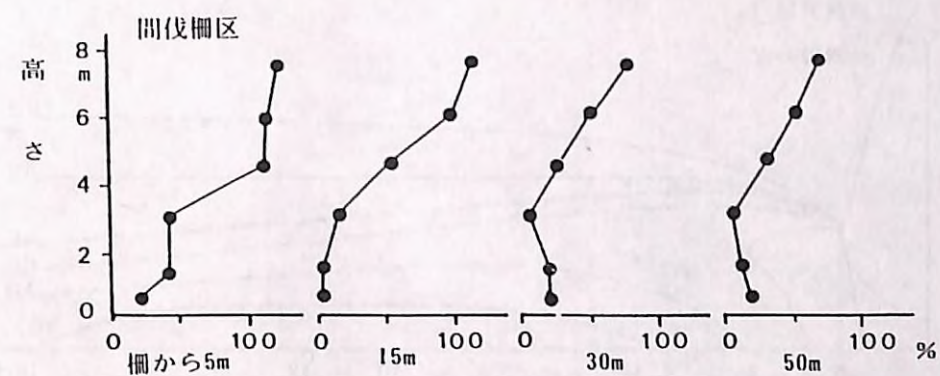


図-19 間伐区、対照区の風速比の垂直分布



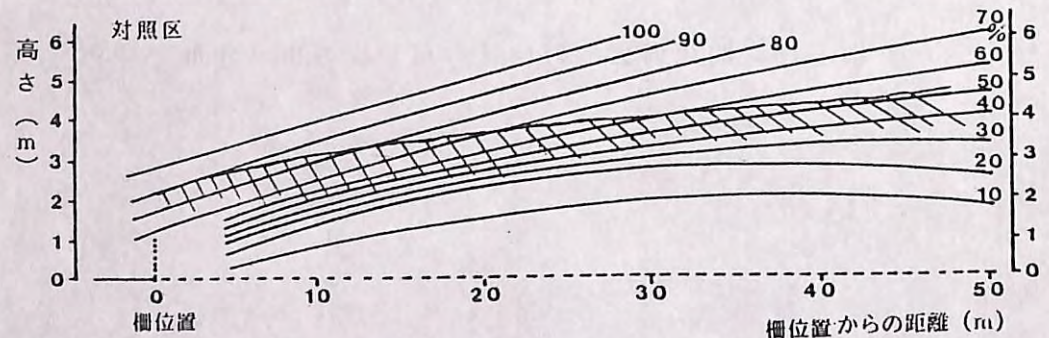
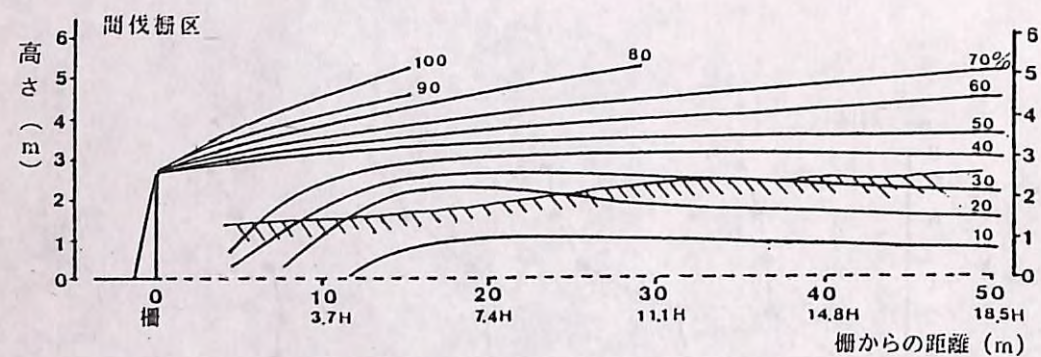
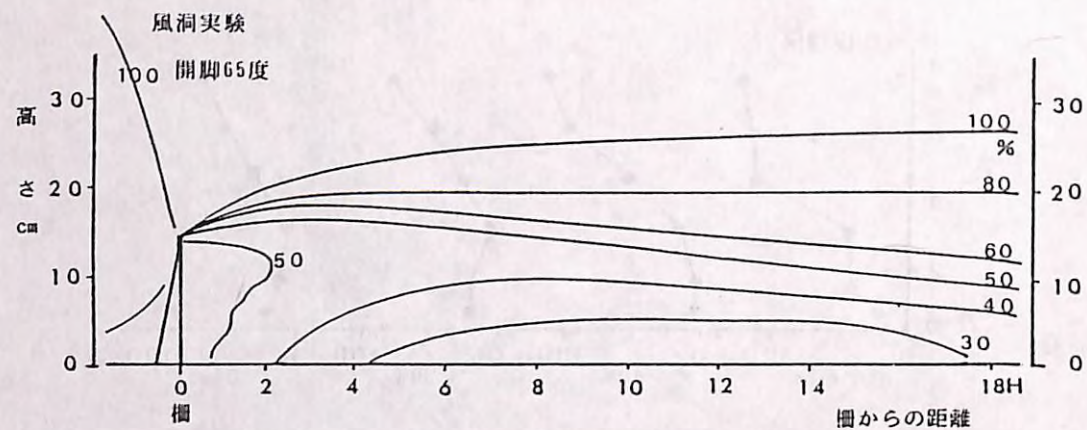



図-20 実験と現地の風速比のイソプレットの比較  海岸林樹冠

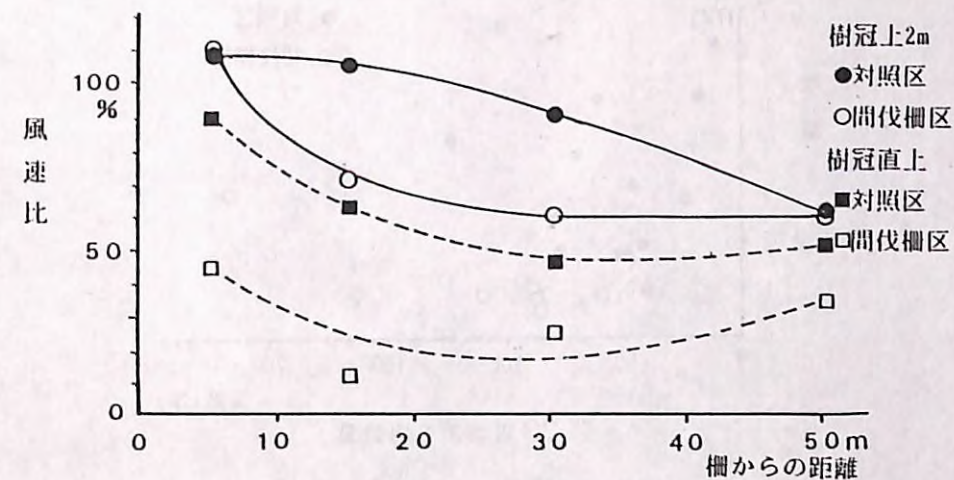


図-21 間伐棚区、対照区の風速比の水平分布

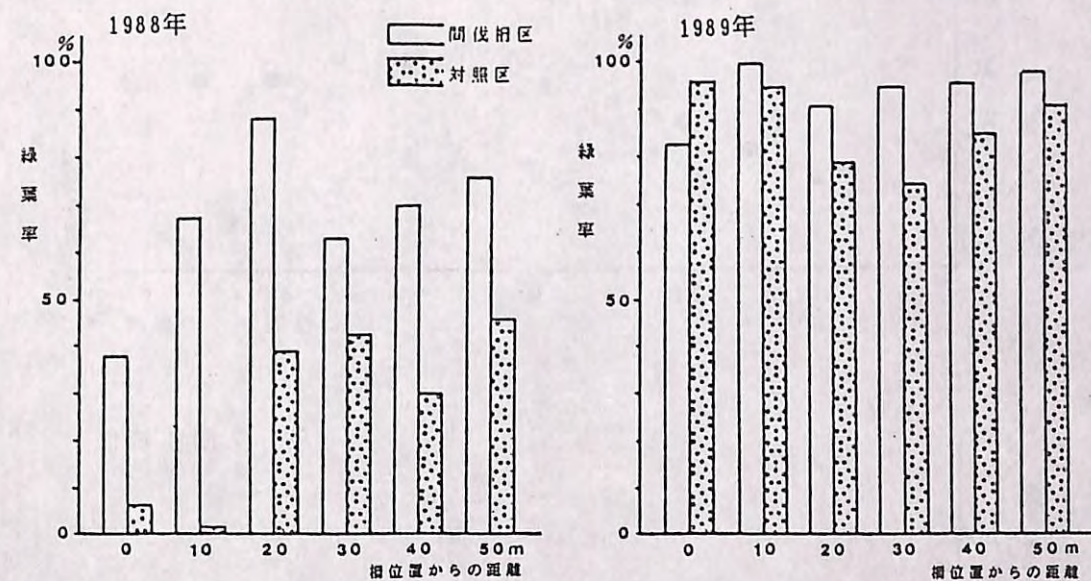


図-22 緑葉率の比較



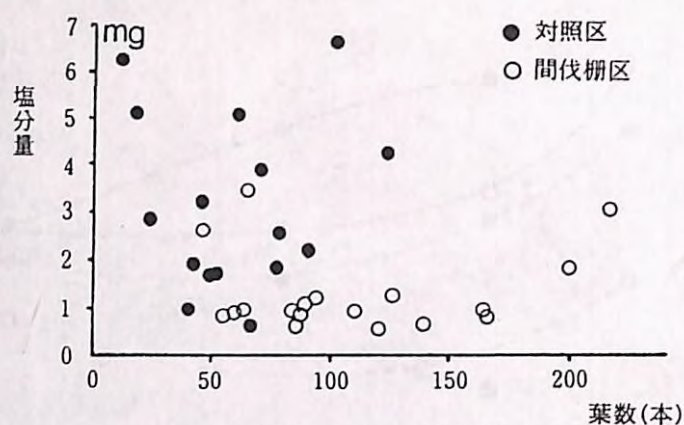


図-23 着葉数と塩分量

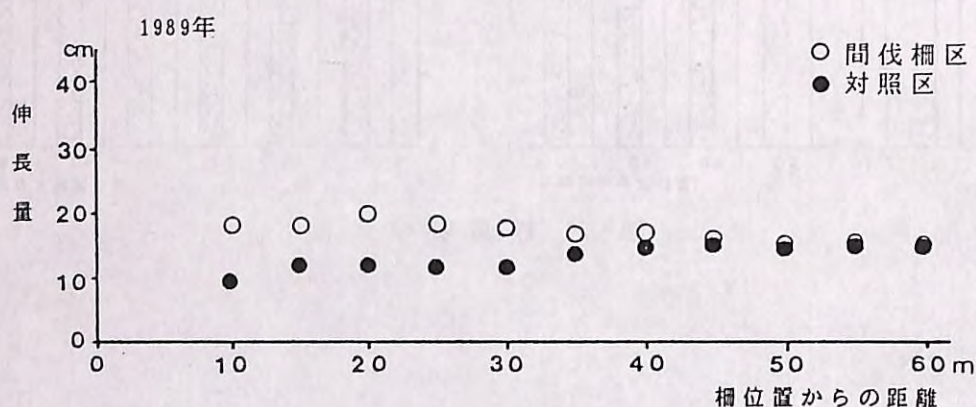
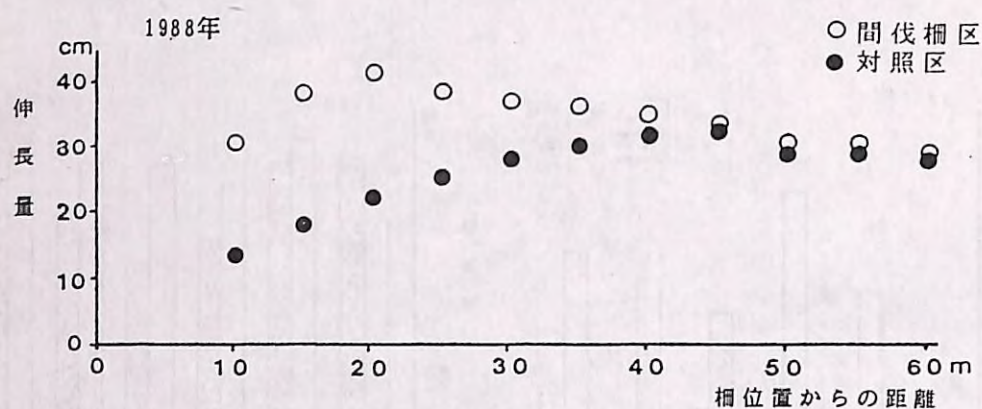


図-24 間伐材防風柵（開脚65度合掌型）とクロマツの伸長量