

## 樹林を導入した 防災設備の可能性



櫻 健典\*



梶谷 宜弘\*\*



島村 誠\*

近年、環境保全の立場から、のり面の補強を実施する場合に既存樹木を残置する方法や、長期的な観点から樹木根の安定化効果に期待する工法が開発されている<sup>1) 2)</sup>。しかし、樹木根によるのり面安定化効果のメカニズムについては未だ不明な点も多く、補強効果の定量評価が実施された例は少ないと考えられる。また、のり面に植栽した樹木は、成長することで防風柵の設置にかわる、かつエコロジーを考慮した防災設備となりうるが、その効果について定量的評価がなされていない。本稿ではこれらを踏まえ、樹林を活用した防災設備の可能性について紹介することとした。

●キーワード：のり面補強、防風効果、樹林防災

### 1. はじめに

樹木には防風効果があり、鉄道沿線に樹林帯を設けることで防風効果が得られる。また、斜面上に樹林帯がある場合、その樹木根系による斜面の補強・安定化効果が得られる。そのため、強風や土砂崩壊などが懸念される鉄道沿線には、従来から防災設備として鉄道林が整備されてきた。鉄道林は、安全に更新する必要性と、発生材を売却することにより独立した経済を維持し、将来的な財源のひとつとして役立つことにも配慮した経済林としての成立をも視野に入れて整備されてきた経緯があることから、林幅が20m程度から100m以上の規模の林地となっている。一方で、盛土のり面など、林地として成立しうるだけの十分な広さが無い箇所においては、鉄道林としての整備はされず、防風柵やのり面工の新設などの対策工が必要に応じ実施されてきた。

近年の社会環境の変化により木材価格が下落したことから、鉄道林の経済林としての側面は失われた。その一方で、環境意識の高まりから、コンクリートや鋼材といった人工材料による設備ではなく、自然を活かした設備の新設が望まれるようになってきている。樹林には、CO<sub>2</sub>の固定、騒音吸収や、景観、生物多様性など環境に対する多面的な価値があり、これを設備として活用することで廃棄物の抑制にもつながる。樹木による防風効果や、樹木根系によるのり面の補強・安定化効果を定量化できれば、植栽により防風柵とのり面補強の効果を兼ね備えた防災設備として活用できる。この場合、従来のコンクリートや鋼材による防風対策・のり面補強を施工するよりも、材料費・工事費、また長期的に老朽取替費用の面でも有利と考えられる。

そこで、本研究では、盛土のり面という、従来は防風柵やのり面工による防災対策を施されてきた場所に対する、樹林

を活用した防災設備の可能性について検討することとした。

### 2. 鉄道林による防災

鉄道林は、主に鉄道輸送の安全・安定性を確保することを目的として、1893年より各地の鉄道沿線に設置されてきた。現在ではJR東日本管内の鉄道林総面積は約4,000haに及んでいる。

五能線の日本海沿岸の強風地帯に建設された高い築堤の区間において、1931年1月、突風による列車脱線事故が発生した。これにより、この区間に風速計を設置してその観測値により運転を規制する体制を整えるとともに、防風柵の設置と防風造林が行われた。これが最初の防風林であるが、これ以降の純粋な防風林の設置例はごく少数にとどまっている。一方で、ふぶき防止林は多数設置されてきた。これは、樹林によって風のエネルギーを弱め、風に運ばれてきた雪を林内および森の周囲に堆積させることによって、線路上への吹きだまりを軽減する作用を発揮するもので、防風林の機能も兼ね備えたものである。樹種はスギやマツといった針葉樹が大半を占めており、単一の樹種のみで構成された一斉林が多いという特徴がある。

初期の鉄道防雪林計画では、ふぶき防止林の基本構成を「有効林帯の最小幅は20間(36.4m)とする。これより、2林帯更新の場合の全林幅として40間(72.7m)、3林帯更新の場合には全林幅60間(109.1m)を要する」としている。これは、防災機能上の観点だけでなく、防雪林を安全に更新する必要性と、防雪林が独立した経済を維持し、将来的な財源のひとつとして役立つことも配慮して設定されたものである。ひとつの林帯が経済的に価値のある立木または高齢木となった場合に伐採・更新を行ったとしても、残りの林帯があるため、常に吹雪防止機能を維持しながら防雪林を更新管理していくことが可能になる。

昭和初期には、防雪機能と最小林幅の関係についての研究がすすみ、スギなどの針葉樹を主体とした林分においては幅員20間(36.4m)、樹高6m以上を保持すれば、吹雪防止機能が得られることが現地試験から確認されている<sup>3)</sup>。これは、初期計画で設定された最小幅員36.4mに理論的根拠を持たせることと、主風の方向を考慮した有効林幅を決定することにより経済的な面も考慮した鉄道林用地の最小林幅の設定が目的であった。なお、この検討は防雪を前提としたものであり、雪を考慮しない防風効果の定量的評価はなされていない。

一方で、土砂崩壊防止林は、急斜面地のため土壌が侵食されたり、斜面が不安定になることを防止するために設置されてきた。急峻な斜面で人工的な植栽が難しいことから、もともとの植生を生かして鉄道林として維持されている例が多く、その地域の風土に合った広葉樹などの樹木によって構成される割合が高い。土砂崩壊、地すべりの主な原因が降雨による雨滴の地表水や浸透水であるため、樹根の持つ網作用と杭作用のような補強効果を十分発揮しうる造林方法が必要であるが、その定量的な評価はこれまで行われていない。

### 3. 樹林による防風効果

樹林による防風効果を定量的に評価するため、盛岡支社管内大湊線北野辺地3、4号林(ふぶき防止林)周辺において、2010年度および2011年度に風観測を行った。林幅の異なる2ヶ所および鉄道林の影響を受けない箇所において、林地の海側(風上/線路反対側)と線路側(風下)にそれぞれに試験設置した風速計を用いて観測を行った。各風速計の位置概略を図1に示す。観測は天気図から強風が期待できると推定された日を選定し実施した。なお、観測した風速データはいずれも10秒間平均風速である。取得した風観測データについて、3地点の風上側と風下側の風速を比較したところ、林幅200mの地点では約90%、林幅20mの地点では約40%、鉄道林外の地点で約30%、風上よりも風下の風速が低減されていた。なお、鉄道林外の地点でも約30%

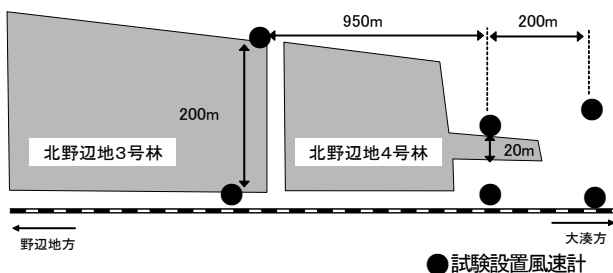


図1 大湊線風速計設置位置概略

低減されているが、これは近隣の家屋の影響を一部含んだためと考えられる。

今回の観測結果においては、鉄道林により一定の風速の低減効果が得られており、林幅に応じてその効果が大きくなることが確認できた。

一方で、鉄道林のように十分な林幅が確保できない、盛土のり面上に樹林帯を設けた場合の防風効果を定量的に把握するため、水戸支社管内常磐線水戸・勝田間那珂川保守基地の盛土のり面に設けた延長約200mの試験植栽区間(図2)において、風速測定を実施した。

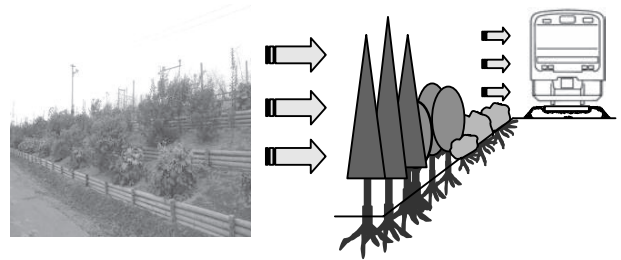


図2 試験植栽盛土の概要

この試験植栽区間は常緑樹のみを植栽した常緑樹植栽区間、落葉樹と常緑樹を混植した落葉常緑樹植栽区間、植栽を行わない無植栽区間に分かれている。線路側への倒木のおそれがないよう低木樹種を線路側に配し、かつ樹林帯が防風効果やのり面補強効果を発揮することを目指して植栽を行っている。

本試験地においては、風速と土壌水分についてそれぞれの区間ごとに測点を設けている。2009年6月に植栽を行って以降の各植栽区間の植栽木の成長状況を図3に示す。

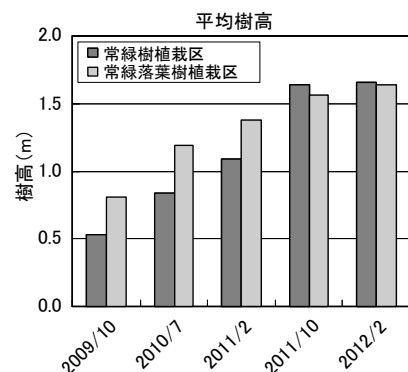


図3 試験植栽のり面の植栽木成長状況

2011年12月から2012年2月の風観測結果をもとに、各植栽区における防風効果の推定を行った。無植栽区の高さ5mに設置した風速計の観測値を植栽木による影響を受けない風速とみなし、のり面に直交し、かつのり面が風上側となる、北方向の風を主要な風向として観測した日を対象として検討を

行った(図4、5)。この結果、常緑樹植栽区で約15%、落葉常緑樹植栽区で約10%の風速の低減が見られ、防風効果が現れ始めていることが確認できた。樹木の成長が進めばさらに防風効果は増すことが想定される。また、本結果を基に推定すると、風速20m/sに対して約2~3m/sの風速低減効果が見込まれることになる。

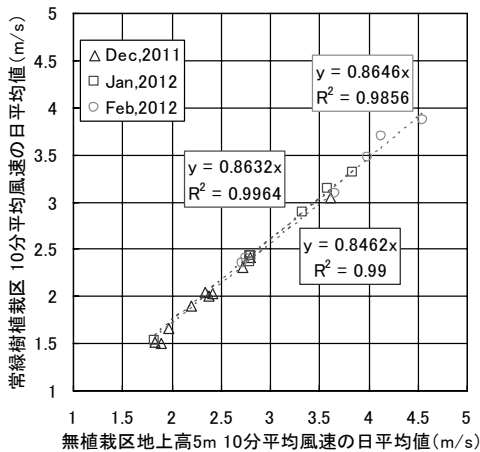


図4 常緑樹植栽区での防風効果

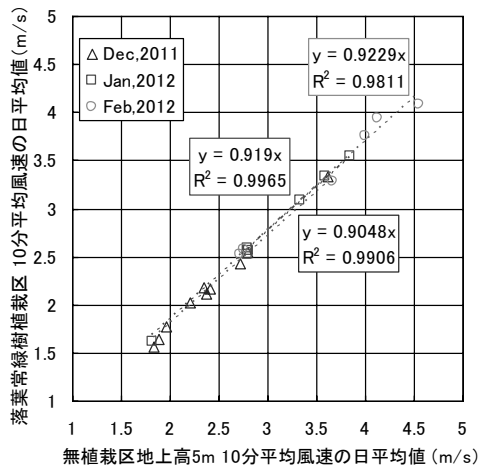


図5 落葉常緑樹植栽区での防風効果

#### 4. 樹林による降雨遮断効果

盛土のり面に植栽することにより、植栽木により降雨が遮断され、土壤に浸透してくる雨水の量が減少する効果が期待できる。そこで、那珂川保守基地試験植栽のり面で観測された土壤水分データをもとに、降雨遮断効果の定量評価を試みた。今回は、累積雨量が大きかった2010年10月9日14:40~翌日9:00に降り続いた降雨イベントに着目して土壤水分データの解析を行った。植栽区ごとに9点で測定を行っているが、観測結果の一例として、植栽区ごとに1点を抽出し図6に示す。

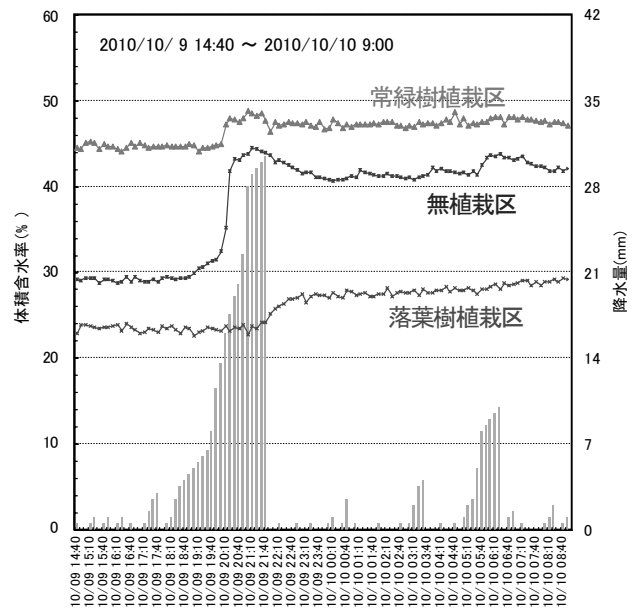


図6 降水量と土壤の体積含水率(深さ20cm、各植栽区)

植栽区ごとに全測定点の結果を総合して検討した結果、この降雨イベントでは、深さ20cmにおける土壤の体積含水率の上昇値が、無植栽区を100%とすると、常緑樹植栽区では平均50%程度、落葉常緑樹植栽区では平均60%程度であった。また、降雨開始後に体積含水率が上昇し始めるまでの経過時間も、無植栽区に比べ、常緑植栽区で平均110分、落葉常緑樹植栽区で平均80分遅いことがわかった。

以上のことから、植栽からの経年が浅い現状においても部分的に降雨遮断効果が得られており、植栽木の成長に伴い樹冠による被覆が進めば、より確実に降雨遮断効果を得られるようになることが期待される。

#### 5. 樹林によるのり面補強効果

##### 5.1 既往の研究による知見

樹木根系によるのり面補強効果は、のり面崩壊時に、すべり面のせん断力に対して根系が引き抜き抵抗力としてはたらくことにより得られる(図7)。引き抜き抵抗力は、単根の引張強度(破断する強度)と関がある<sup>4)</sup>ことから、単根引張試験からわかる根の引張強度より引き抜き抵抗力を推定することができる。

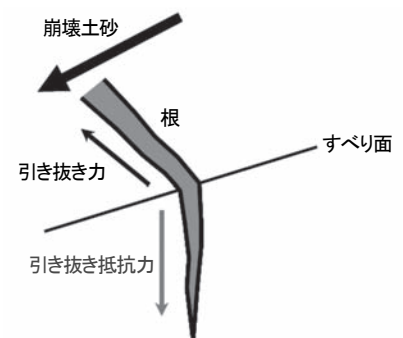


図7 樹木根によるのり面の補強効果

しかし、崩壊時に根全体が引き抜けることは少なく、根系が引き抜かれつつ先端で破断することが多い。これは、2次元では鉛直根のはたらきとして解釈されるが、実際には3次元の崩壊縁における水平根でも同様の現象が起きていることによる<sup>5)</sup>。したがって、樹木根系によるり面補強効果を正しく評価するには、3次元的な解析手法が必要と考えられる。

## 5.2 単根引張強度試験

これまでに行われてきた実験により、代表的な針葉樹、一部の広葉樹の高木類については根の直径と引き抜き抵抗力の関係式が得られている<sup>6)</sup>。

前述のとおり、既往の研究により単根の引き抜き抵抗力は引張強度と相関があることから、引張強度試験を行うことで、高いり面補強効果が期待できる樹種を特定することができる。そこで、低木から高木まで多様な個体を選定し、単根引張試験を実施した。

単根引張試験の結果を樹種別に整理したものを表1に示す。この結果からドウダンツツジ以外の低木類はスギと比べても引張強度が高い傾向があり、溪畔樹種では引張強度が低い傾向があることがわかる。

表1 単根引張試験結果

樹種		引張強度 (kN/cm <sup>2</sup> )	
広葉樹	溪畔樹種	オニグルミ	1.31
		サワグルミ	2.25
		トチノキ	1.32
		カツラ	2.65
		フサザクラ	3.28
		オオバアサガラ	0.64
		オノエヤナギ	2.32
	ハッコヤナギ	2.76	
	低木樹種	ドウダンツツジ	1.20
		アジサイ	4.38
		アブラチャン	4.33
		ヤマブキ	8.15
	高木樹種	ニセアカシア	2.56
ミスナラ		3.28	
針葉樹	高木樹種	アカマツ	0.59
		スギ	3.74

## 5.3 鉄道林における根系調査

樹木根系によるり面補強効果を定量評価するためには、根系の分布状況を把握する必要がある。そこで、中央本線下諏訪1号林（土砂崩壊防止林）および篠ノ井線平瀬2号林（土砂崩壊防止林）のケヤキを対象に根系分布調査を実施した。分布調査は隣接した2本の立木間中央に、等高線と垂直になるよう、斜面方向2m×幅0.5m×垂直深1mのトレンチを掘削し断面に出現した根の位置と直径を測定する方法により行った（図8）。

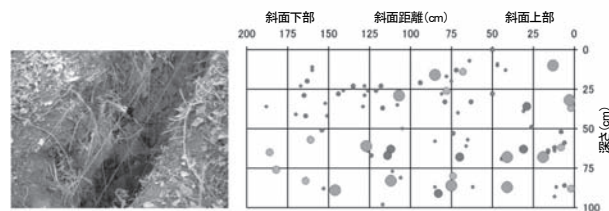


図8 根系調査の実施例

ほぼ平坦地である下諏訪1号林と33.8°の傾斜地である平瀬2号林でケヤキの根系分布を比較したが、立木間隔と根の本数、断面積合計の関係に有意な差は見られず、傾斜の違いによる根系分布の違いは確認されなかった。

## 6. おわりに

これまでの研究により、樹木根系によるり面補強効果については定量的な評価に至っていないが、植栽による斜面崩壊防止効果の1つとして、降雨遮断効果も期待できる可能性を確認できたため、試験植栽のり面の植栽木の成長にともなう変化を追跡していく予定である。

また、樹林による防風効果については定量評価につながる基礎データを得ることができた。しかしながら、那珂川試験地における観測については、樹木が成長途中であることから、今後もデータの蓄積を継続して行っていく予定である。本研究を通じ、環境にやさしい防災設備の実現を目指していきたいと考えている。

### 参考文献

- 井上孝人・岩佐直人：樹木を保全した新しい斜面安定工法について、地すべり38(1),2001
- 栗原光二：総説 斜面緑化と環境保全、基礎工、No.6,2004
- 鷲谷瀧雄：鉄道防雪林の研究、営林作業研究会、pp74-76,1953
- 松下将大：広葉樹10樹種の引き抜き抵抗力と単根の引張強度の関係、2009年度信州大学農学部専攻研究論文
- 北原曜：森林根系の崩壊防止機能、水利科学、No.311,2010
- 山場淳史・佐野俊和：根系引抜抵抗力による林野火災跡地植栽樹種の土壌緊縛作用の評価、日緑工誌34(1),2008