

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510262

研究課題名(和文) 防災林の流体力に対する機能向上に関する研究

研究課題名(英文) Study on the resistance against fluid force of disaster prevention forests

研究代表者

鳥田 宏行 (Torita, Hiroyuki)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部林業試験場・支場長

研究者番号：50414264

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：防災林が防災機能を発揮するには、流体力に対して高い抵抗性を保持していることが重要である。本研究では、津波や強風などによる流体力と立木の抵抗性との関係を調べ、抵抗性の高い森林の構造を明らかにした。その結果、丈夫な防災林を形成するためには、本数密度を低くすることが重要である事が示された。ただし、津波に対しては、浸水深が樹高を超える高さになると本数密度を低くしても、抵抗性が向上しない事が示唆された。

研究成果の概要(英文)：For greater efficiency, disaster prevention forests should maintain high resistance against fluid force caused by phenomena such as tsunamis and strong winds. In this study, the relation between fluid force and the resistance of trees against it was investigated and the effective structure of a disaster prevention forest was revealed. The result indicated that it is important to decrease the stand density to improve the resistance against fluid force, but it suggested that the resistance did not improve against tsunamis even if the stand density was low when the inundation was higher than the tree height.

研究分野：雪氷学、森林気象学、森林科学

キーワード：防災林 流体力 津波 抵抗力 本数密度

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化による台風の大規模化・上陸頻度の増加、局地的な大雪、地震による津波など、国土に深刻な災害が発生する危険性を背景に、防災林に対する期待が高まりつつある。しかしながら、防災林の多くは、成林本数を多くすることに主眼が置かれて造成設計されてきたため、流体力(強風、津波、雪崩等)そのものに対する抵抗性が考慮されておらず、被害が発生しやすい脆弱な防災林が多数出現する結果となった。このような防災林は、ひとたび強風・雪崩・津波の流体力を受けると、本来の防災機能を十分に発揮することなく、森林自体に根返り・幹折れなどの被害が発生する。したがって、防災林が防災機能を発揮するには、森林を構成する各立木が流体(強風・雪崩・津波等)に対して抵抗体となることが必須条件である。しかしながら、これまでの防災林に関する研究の多くは、防災林が存在している事を前提に、その防災機能について研究がなされてきた。その結果、林体構造が防風機能・雪崩防止機能等に与える影響が明らかとなりつつある。また、海岸林に関しては、スマトラ沖地震に際して発生したインド洋沖大津波の研究調査など防潮機能の検証が行われているが、総じて防災機能そのものに焦点をあてた研究が中心となっており、流体力に対する防災林そのものの抵抗性や森林構造についての評価は行われていない。

## 2. 研究の目的

防災林(防風林、雪崩防止林、海岸林等)が防災機能を発揮するには、森林を構成する各立木が流体(強風・雪崩・津波等)に対して抵抗体となることが必須条件である。そのため各立木は、流体力に対して高い抵抗性(幹折れ、根返りが発生しにくい)を保持していることが望ましい。しかしながら、従来の防災林の造成計画においては、成林本数を多くすることに主眼が置かれており、成林後の流体力に対する抵抗性の視点が考慮されておらず、また学術的な知見も不足している。そこで、本研究では、防災林の防災機能を高めるため、流体力に対して高い抵抗性を保持した森林構造およびその生育方法を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1)野外調査

力学モデルによるシミュレーションへの適用や被害実態を把握するため、立木に関する過去のデータや新たに野外調査を行ってデータを収集・整理する。

### (2)力学モデルによるシミュレーション

すでに開発済みの台風などの強風に対する森林の気象被害モデルを基礎として、津波などの他の流体特性を考慮した力学モデルに改良する。改良後は、そのモデルを用いて、

実際に被害現場で得られたデータを適用し、モデルの適合性を検討する。さらに、樹高や直径等が立木の流体力に対する抵抗性に与える影響を評価する。

### (3)樹木ミニチュアモデル実験

樹木のミニチュアモデルを用いて、地下部が根返り抵抗性に与える影響を検討する。

### (4)生育方法の検討

抵抗性の高い森林構造を明らかにするため、植栽本数密度や間伐などの森林管理手法の違いが流体力に対する抵抗性に与える影響を検討する。

## 4. 研究成果

(1)東北地方太平洋沖地震津波により、被害を受けたクロマツ海岸林において、野外調査を実施した。まず、基本情報として被害を受けた立木と被害を受けなかった立木に関する情報(樹高、直径、樹冠サイズ、幹の形状など)を取得し、津波による外部荷重を受けたときの根返り抵抗性を明らかにするため、立木の引き倒し試験を実施した。引き倒し試験は、被害を受けなかったクロマツ林で行い、津波によって根返り抵抗性の低下した立木を極力排除した。これにより、津波以前の抵抗性を評価できたと考えられる。本研究においては、根返り抵抗性をモーメントR(kNm)で評価した。試験木サイズは、胸高直径(D、地樹高130cmにおける直径)6~13cm、樹高(H)6~8mの8本である。根返り抵抗モーメントと胸高直径の累乗あるいは材積指標 $D^2H$ との間には、相関関係があることが報告されている。本研究では、根返り抵抗性モーメントと材積指標との間には、高い相関関係がみられた。

幹の強度に関する野外調査では、クロマツ、スギ、カラマツ、カシワについて、ヤング係数を測定し、その平均値はそれぞれ、9.5GPa、5.6GPa、12GPa、5.6GPaとなった。

(2)台風などの強風に対する森林の気象被害モデルを改良し、津波に対する立木の抵抗性を評価するモデルを開発した。開発したモデルは、その有用性を検討するため、実際に津波被害が発生した海岸防災林の現地を想定したシミュレーションを実施して被害状況とシミュレーションによって求められた限界流速(被害が発生するときの流速)の値とを比較した。その結果、現地において実際に津波被害を受けて根返りや幹折れを生じた被害木の限界流速の値は小さく、限界流速が立木の津波に対する抵抗性の指標となり得る事が示された(図1)。また、被害形態(根返り、幹折れ、根返り幹折れ同時の3形態)の判別では、根返りが本現地では大勢を占めることが予測されたが、実際の被害形態も根返りが大勢を占めた。モデルから得られた幹折れ発生時の樹幹内応力分布の最大値は、ほとんどの立木で根元付近において最大になっており、幹折れが発生するのは根元付近で

あると推察される。浸水深（立木が水に浸った深さ）と限界流速のシミュレーション結果からは、浸水深の値が大きくなると限界流速の値も小さくなり、被害を受けやすくなることが示された。また、その場合の限界流速の値は、枝下高を境に大きく変化し、枝下高よりも浸水深が高くなると急激に被害が発生しやすくなることが示された（図2）。図2には、樹高7.8m、枝下高5.2m、胸高直径11.5cmの立木に対して、浸水深が限界流速に与える影響を例示した。浸水深と枝下高が一致する5.2mを境に、限界流速の値がより急激に減少した。

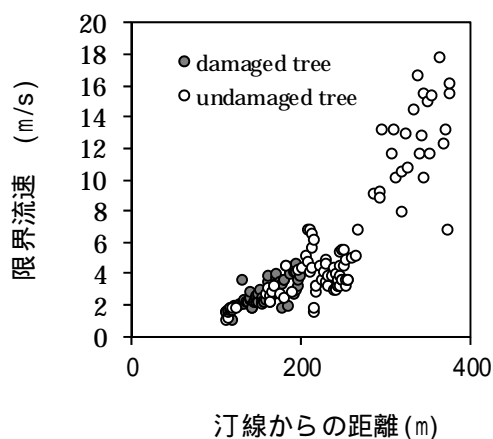


図1 限界流速と被害状況

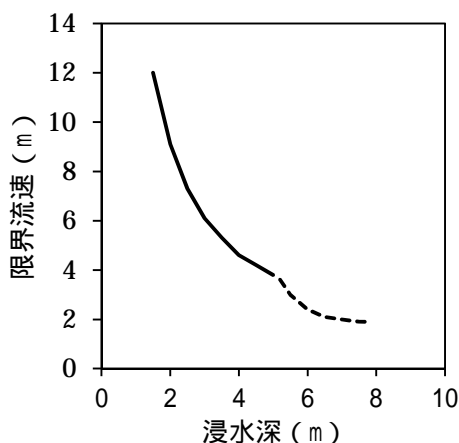


図2 限界流速と浸水深の関係

強風の場合、強風に対する抵抗性の指標として用いられている形状比（ $H/D$ ）を津波の場合を想定して解析した結果では、形状比と限界流速との間には明確な相関関係がみられず、また立木の被害の有無とも関連性がみられなかった。一般的には、強風の場合は、形状比の値が小さくなると、強風に対する抵抗性が高くなり、強風被害を受ける可能性が低下することが報告されているが、本研究で検証した現地の津波現場では、そのような関係性は見いだされていない。むしろ、形状比

よりも枝下高や樹高との関連性が大きいことが示唆された。

強風に対しては、力学モデルの結果では、形状比が強風に対する一定の指標となることが示唆され、上記の津波検証現場でのシミュレーション結果とは異なる傾向を示した。

雪崩に関しては、モデルを利用して、実際に雪崩が発生して森林に幹折れ被害が発生した被害現場にモデルを適用して雪崩の流下速度を推定した。推定は、幹折れしたスギ立木に加わる雪崩による流体力を計算し、幹折れした位置の幹の直径が破断するのに必要な速度を推定した。

### (3) 樹木ミニチュアモデル実験

垂直根の発達根返り抵抗性へ寄与していることを示し、同じ根量であるならば、水平根よりも垂直根の発達によって抵抗力が増加することが示唆された。

### (4) 生育方法の検討

流体力に対する抵抗性を高めるための森林管理手法を検討した。一般的に海岸林では、本数密度を高くして植栽するが、本数密度が高いと、海岸防災林を構成する各立木の津波抵抗性が低くなることが示された。具体的な管理手法としては、高密度で植栽した後も枯死率が低く、本数密度が高いままの林分は、間伐を実施し、各立木の肥大成長を促す必要がある。間伐後、各立木が成長して隣接する立木との光や養分に関する競合が激しくなると、肥大成長が鈍化するので、間伐回数および頻度は、林分の成長に応じて、適宜、実施しなければならない。植栽本数密度を低くして植栽した場合には、最初に間伐を行うタイミングは、本数密度が高い場合に比べて、遅くなるが、いずれ成長に応じて肥大成長が鈍化するため、間伐を行う必要がある。

(3)の結果より、根返り抵抗性を高めるには、垂直根の発達を促すことが重要であることが示されたが、垂直根は地下水位が高いと発達しにくくなるため、具体的な森林管理方法としては、排水溝の設置や盛り土上に海岸防災林を造成するなど、地下水位を下げる事が重要である。

これらの結果は、強風などの流体力に対しても、共通した結果となった。ただし、津波に関しては、浸水深の値が大きくなると、施業による差異はみられないことが示唆され、密度管理による津波抵抗性の有効範囲が存在する事が示された。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 2 件)

鳥田宏行・佐藤創・真坂一彦・阿部友幸・野口宏典・坂本知己・木村公樹（2014）簡

易モデルを用いた津波に対する立木の抵抗性の評価．日林誌 96、206-211．査読有  
鳥田宏行（2015）津波の力に対する海岸林の抵抗性を評価する．光珠内季報 173:1-3．査読無

〔学会発表〕(計 5 件)

鳥田宏行・竹内由香里（2012）雪崩によるスギ立木のひずみエネルギーと直径との関係について．雪氷研究大会、9月26日福山市立大学（広島県福山市）

鳥田宏行・佐藤 創・真坂一彦・阿部友幸・木村公樹（2013）クロマツ海岸林における立木の引き倒し試験．第124回日本森林学会大会、岩手大学、3月26日（岩手県盛岡市）

鳥田宏行・佐藤 創・真坂一彦・阿部友幸（2013）海岸林における立木の津波抵抗性の評価．第62回北方森林学会大会、11月12日、札幌コンベンションセンター（北海道札幌市）

鳥田宏行・佐藤 創・真坂一彦・阿部友幸・岩崎健太（2014）浸水深が立木の津波抵抗性に与える影響．第125回日本森林学会大会、3月29日、大宮ソニックシティ（埼玉県さいたま市）

鳥田宏行・佐藤 創・真坂一彦・阿部友幸・岩崎健太（2014）クロマツ海岸林の津波に対する抵抗性．第63回北方森林学会大会、11月12日、札幌コンベンションセンター（北海道札幌市）

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

鳥田 宏行（TORITA, Hiroyuki）  
北海道立総合研究機構 森林研究本部  
林業試験場 道南支場長  
研究者番号：50414264