

L2津波によるカシワおよびグイマツの被害パターン

—数値シミュレーションを用いて—

北海道立総合研究機構林業試験場
埼玉大学大学院理工学研究科
北海道立総合研究機構林業試験場道南支場
北海道立総合研究機構林業試験場

佐藤 創
田中 規夫
鳥田 宏行
真坂 一彦・阿部 友幸・岩崎 健太・佐藤 弘和

はじめに

2011年3月の東北地方太平洋沖地震津波をきっかけに北海道でも海岸防災林の波力減衰効果の定量化や津波による背後の被害軽減のための林帯の整備方法に関心が寄せられている。波力減衰効果の定量化については、田中ほか⁽⁵⁾が北海道白糠町の海岸防災林を対象にL2津波に対する波力減衰効果を二次元非線形長波方程式を用いたシミュレーションにより、海岸防災林の存在が林帯背後において25%程度流体力を低下させることを示した。また、津波減災のためには海岸林からの流木発生による、背後への被害拡大を防ぐことが重要である。津波減災のための整備方法については密度管理により立木サイズや枝下高を管理することが挙げられる。鳥田ほか⁽⁶⁾は簡易な力学モデルにより立木の根返りや幹折れを判定する方法を明らかにした。今後は密度管理により流木化を減らしつつ、波力減衰機能を高める方法を開発する必要がある。

そのための一環として、樹種、立木サイズ、流れの強さによって立木被害のパターンがどのように変わるかを明らかにすることは重要である。そこで本研究では立木被害パターンを明らかにした上で、林帯からの流木発生を防ぐ方法について提案することを目的とした。

方法

1) 計算対象地

計算対象地は白糠町和天別(林帯幅100m、汀線方向の延長700m)および大樹町浜大樹(林帯幅650m、汀線方向の延長6700m)とした(図-1)。各林帯では1本ずつ汀線と直角方向に幅10m(白糠町)ないし幅5m(大樹町)の帯状区を設定し、樹種、樹高、枝下高、胸高直径、汀線からの距離を測定した。

2) 数値シミュレーション

対象地の白糠町と大樹町を含んだ計算を行えるように5つの領域を設定し、最外領域1350m格子から、450m、150m、50m、16.7m格子へ境界条件をつなぐネスティング法を用いた。数値シミュレーションは運動方程式と連続の式から成る二次元非線形長波方程式を用いた。標高データと断層モデルは北海道庁が、最大規模のレベル2(L2)津波を想定し、2012年6月に実施した「太平洋沿

岸に係る津波浸水予測図作成業務⁽⁷⁾」において作成したデータを使用した。海岸林のある陸域では最小の16.7m格子を配置した。計算ラインは調査を行った帯状区に加えて、それと平行にほぼ等間隔で9ラインを設定した(図-1)。各ラインでは帯状区の毎木調査データを格子ごと

<白糠町>



<大樹町>



図-1 計算対象とした海岸防災林(網掛け)の位置と帯状区(実線)および追加した計算ライン(点線)。林帯は南方向にも広がる。地理院地図より描く。

Hajime SATO (Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Koshunai, Bibai, Hokkaido 079-0198), Norio TANAKA (Graduate School of Science and Engineering, 255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama 338-8570), Hiroyuki TORITA (Donan Station, Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Hakodate, Hokkaido 041-0801), Kazuhiko MASAKA, Tomoyuki ABE, Kenta IWASAKI, Hirokazu SATO (Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization), **Patterns of treefall damages in *Quercus dentata* and *Larix gmelinii* by level 2 Tsunami - By numerical simulation**

表-1 計算格子内の林分データ (白糠町)

格子 No.	カシワ				グイマツ			
	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	本数密度 (ha ⁻¹)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	本数密度 (ha ⁻¹)
1	6.5	4.8	2.9	2520	8.6	3.3	1.5	660
2	7.6	5.1	2.9	900	11.8	3.6	1.4	800
3	7.8	5.1	3.9	1800	9.1	3.4	1.0	760
4	7.4	5.0	4.5	2490	7.7	3.2	1.1	640
5	8.4	5.2	2.4	750	11.0	3.6	1.7	1500
6	8.7	5.3	3.4	1970	7.4	3.2	1.4	310

表-2 計算格子内の林分データ (大樹町)

格子 No.	カシワ				グイマツ			
	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	本数密度 (ha ⁻¹)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	本数密度 (ha ⁻¹)
1	6	5.2	1.8	960	10	6.6	4.3	2200
2	12	8.3	5.3	1000	10	6.6	5.1	3280
3	21	12.3	6.7	880	-	-	-	-
4	19	11.4	6.7	1280	-	-	-	-
5	24	13.4	6.9	640	-	-	-	-
6	18	11.0	6.4	1000	-	-	-	-
7	16	10.2	4.9	1200	-	-	-	-
8	17	10.6	5.3	600	24	12.9	7.3	280
9	-	-	-	-	23	12.5	7.1	760
10	-	-	-	-	22	12.1	7.3	840
11	14	9.3	6.9	80	25	13.3	6.5	280

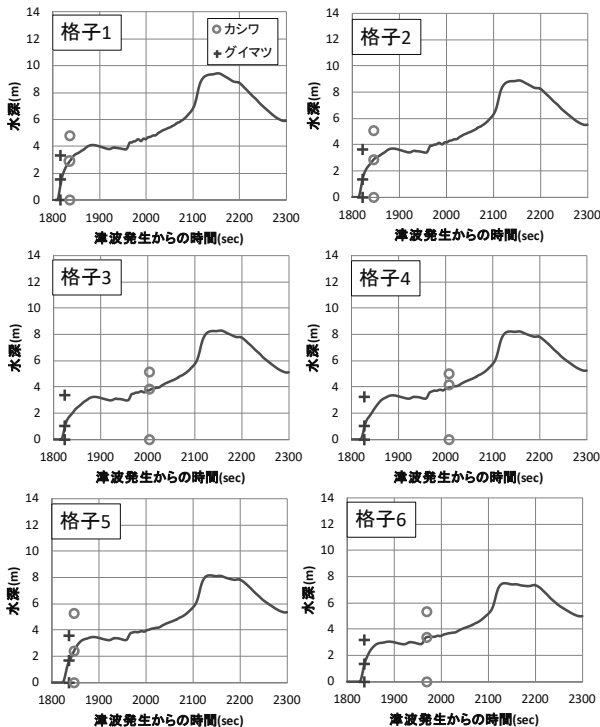


図-2 带状区における各格子ごとの水深の時系列変化と被害発生時刻 (白糠町).

各シンボルの上段が樹高, 中段が枝下高, 下段が被害発生時刻を示す。

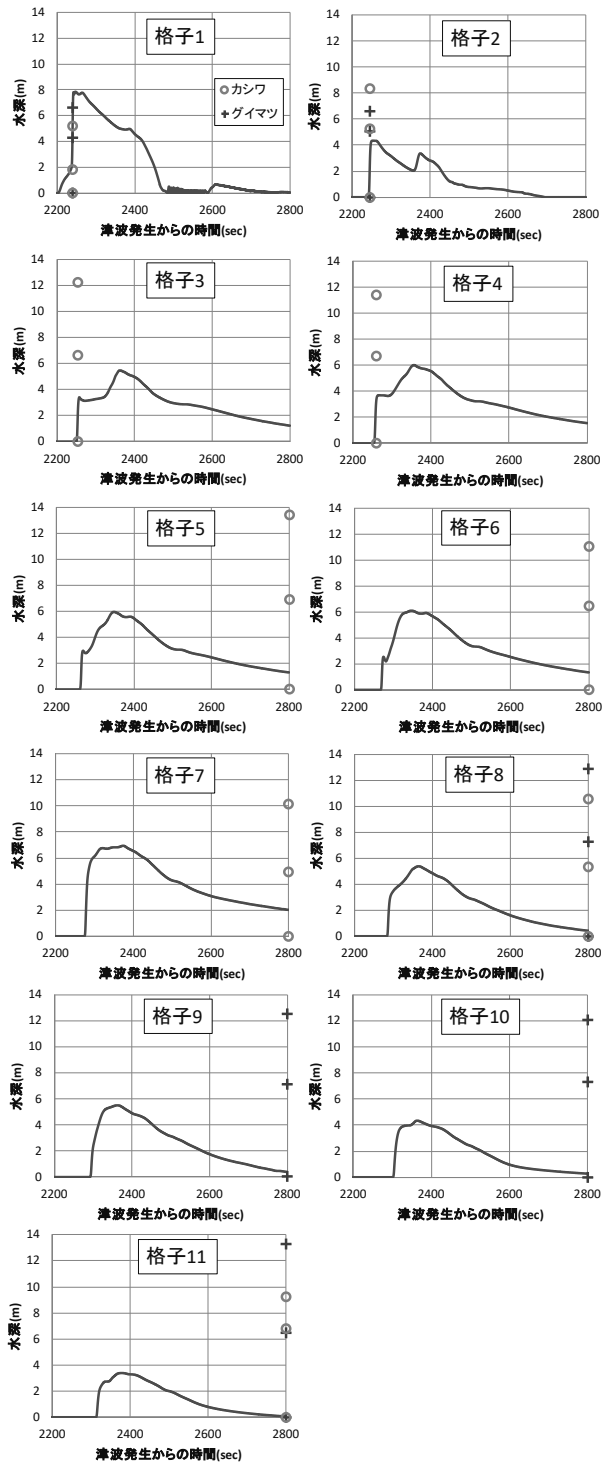


図-3 带状区における各格子ごとの水深の時系列変化と被害発生時刻 (大樹町).

シンボルは図-2 と同じ。2800 秒にプロットされている場合は無被害を示す。

の平均値で与えた。9 ラインを追加したのは地形の違いに起因した異なる津波に対する被害パターンを把握するためである。白糠町では格子サイズは計算格子と同じ 16.7m とし 1 ラインに 6 個含まれたが, 大樹町では林帯幅が大きいので, 格子サイズを 50m としたことで, 1 ラインに 11 個含まれた。各格子の林分データを表-1, 2

に示す。格子 No.は1が最も海側を示す。

津波が林帯を通過する際には、時々刻々格子ごとの樹木の被害判定を行った。すなわち、はじめに樹木にかかる倒伏モーメントが根返り抵抗モーメントを上回った場合には根返りが発生するとし、その場合樹木が30°で傾き、投影面積が変化するとした。それに対し、はじめに幹の曲げ応力が曲げ強さを上回った場合には幹折れが発生するとし、幹折れ部より下部が抵抗として残ると仮定した。どちらも上回らない場合には無被害とした。根返り抵抗モーメントは引き倒し試験により測定した値を用い、カシワでは D^2H ($x; m^3$) と最大モーメント ($y; kNm$) の間に $y=90.476x$ 、グイマツでは $y=55.876x$ の関係を用いた。曲げ強さ (MOR) は非破壊試験⁽²⁾によりヤング率を求め、澤田⁽⁴⁾の方法により MOR を求めた。カシワでは $MOR=29.5$ (Mpa)、グイマツでは $MOR=29$ (Mpa) が得られた。樹木の水平方向の投影面積はサンプリング木の葉、枝、幹面積を測定し、 D^2H との関係式により推定した。抗力係数は野口ほか⁽⁹⁾の方法により測定し、カシワ、グイマツの幹枝は1、カシワの葉は0.015、グイマツの葉は0.06を用いた。なお、数値シミュレーションの詳細については田中ほか⁽⁶⁾に記載の通りである。

結果と考察

図-2, 3 に帯状区各格子における水深の時系列変化と被害タイミングを示した。白糖町ではいずれの格子においても水深が枝下高に達した時に根返り被害を起こした (図-2)。被害発生が遅い樹木は枝下高が高い個体であること、グイマツよりもカシワの被害発生が遅いのは枝下高に起因していることが推察される。大樹町では海に近い格子1, 2ではほぼ枝下高に水深が達した時に被害が発生したが、格子3, 4では水深が枝下に達する前に被害が発生し、格子5から内陸側では被害が発生しなかった (図-3)。被害が発生しなかったのは立木サイズが大

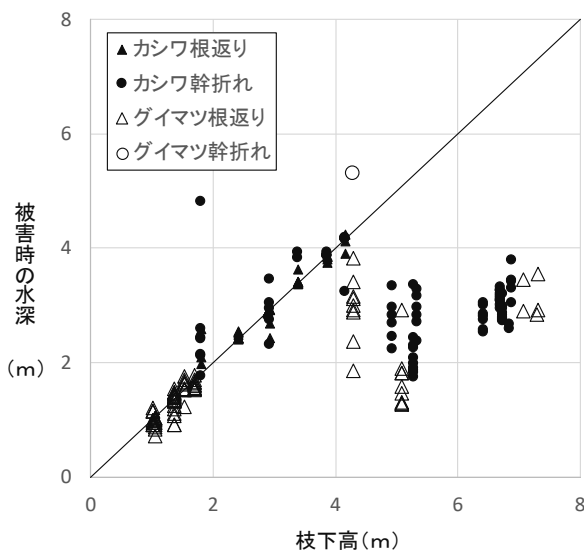


図-4 全ラインにおける被害木の枝下高と被害発生時の水深の関係。

直線は $Y=X$ を示す。

きくなったことと、水深が浅くなったことによると考えられる。また、被害はカシワでは全て幹折れであったのに対して、グイマツでは全て根返りであった。

図-4 に全計算ラインでの被害発生時の枝下高と水深の関係を示した。枝下高が4m以下では図-2の全ての格子および図-3の格子1, 2と同様に、枝下高と被害時水深に一致が見られた。しかし、枝下高4m以上では図-3の格子3, 4に見られるような枝下高に達する前の被害が発生することが見て取れる。さらに、枝下高の増加に対

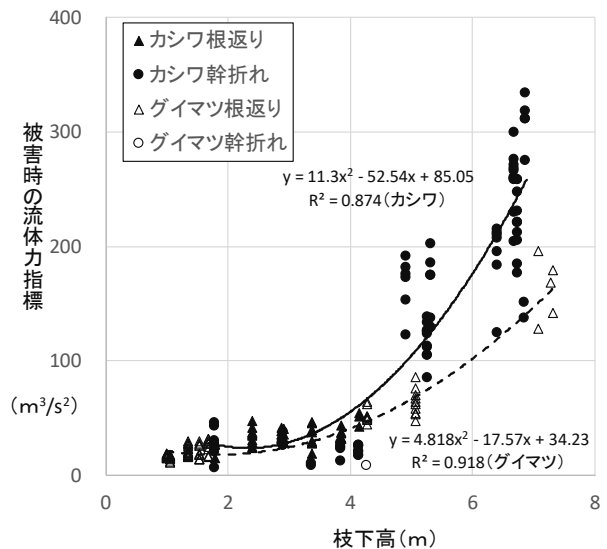


図-5 全ラインにおける被害木の枝下高と被害発生時の流体力指標の関係。

回帰曲線は根返りと幹折れを込みにした。枝下高>4.5mについてカシワとグイマツの被害時の流体力指標には有意差があった (t検定, $P<0.01$)。

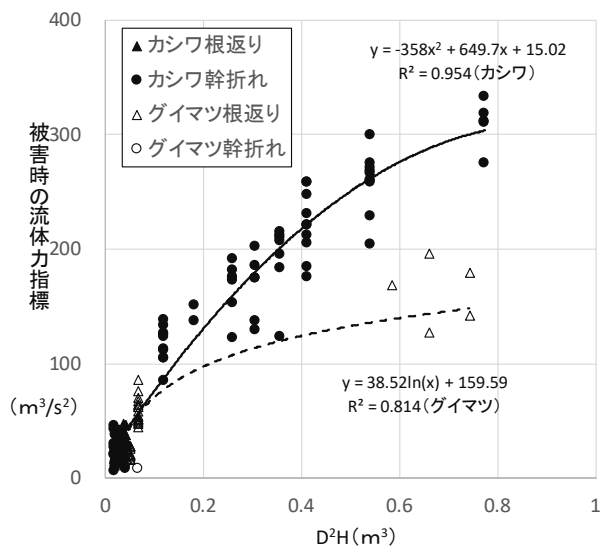


図-6 全ラインにおける被害木の D^2H と被害発生時の流体力指標の関係。

回帰曲線は根返りと幹折れを込みにした。 $D^2H>0.5m^2$ についてカシワとグイマツの被害時の流体力指標には有意差があった (t検定, $P<0.01$)。

して、被害時の水深が頭打ちになっていることが見て取れるが、メカニズムを明らかにするには流速を含めた流体力指標（水深×流速²；物体に及ぼす力の指標）を考慮する必要がある。

そこで、図-5 に枝下高と被害時の流体力指標の関係を示した。枝下高が 4m 以下では枝下高に関わらず被害時の流体力指標が一定であり、水深が枝下高に達したことが被害原因であったことを示唆している。枝下高 4m 以上では枝下高の増加とともに被害時の流体力指標が増加することが見て取れる。したがって、枝下高の増加とともに被害限界流体力指標が増加したと言える。よって、図-4 で見られたような被害時の水深の頭打ち現象については、抵抗力が頭打ちになったのではなく、流速が増加したことから、抵抗力は増加したと考えることが出来る。

ここで、枝下高の増加は立木サイズの増加によってもたらされていると考えられることから、図-6 に立木サイズの指標である D^2H と被害時の流体力指標の関係を示した。 D^2H と被害時の流体力指標の間には比較的明瞭な関係が見られた。すなわち、立木サイズの増大とともに被害限界流体力指標が増加することが明らかになった。

樹種間の違いについて見ると、カシワでは枝下高が低いあるいは D^2H が小さい段階では根返りと幹折れが混在するのに対して、枝下高あるいは D^2H が大きくなると、幹折れのみになった（図-5, 6）。それに対して、グイマツではほとんどが根返りであった。また、カシワは同じ枝下高（図-5）や D^2H （図-6）のグイマツに比べて、被害限界流体力指標が大きいことがわかった。

おわりに

本研究により以下のことが明らかになった。被害種類については、カシワは幹折れが多く、グイマツは根返りが多かった。また、カシワはグイマツよりも被害への抵

抗性が高かった。いずれの樹種も立木サイズが増大するにつれて、被害への抵抗性が増大した。ただし、立木サイズが小さく、枝下高が低い場合には枝下高に水深が達した段階で被害が発生したが、サイズが大きくなり、枝下高が高くなると枝下高に水深が達する前に被害が発生した。

以上の結果から、林帯からの流木発生を防ぐには、内陸側林縁付近にその場所での L2 津波に耐えられるサイズおよび枝下高を有するカシワを配置させ、林帯から発生した流木を捕捉させるのが良いと考えられる。また、これまでの研究により根返り被害は波力減衰効果を大きくは低下させないことがわかっている⁽⁵⁾ことから、幹折れが起こらないような枝下高の低い立木を海側に配置し、幹に比べて水平投影面積の大きい枝葉による波力減衰機能を発揮させるのが良いと考えられる。

引用文献

- (1) 北海道庁総務部危機対策局危機対策課（2013）太平洋沿岸に係る津波浸水予測図作成業務報告書，57pp.
- (2) 小泉章夫（1987）生立木の非破壊試験による材質評価に関する研究．北大演研報 44: 1329-1415.
- (3) 野口宏典・鈴木覚・坂本知己（2014）実物樹木を対象とした水理実験によるクロマツの水力学的抵抗特性の評価．海岸林学会誌 13（2）：45-50.
- (4) 澤田 稔（1983）風および冠雪による針葉樹幹の変形．林業試験場北海道支場研究資料 128: 1-18.
- (5) 田中規夫・庭田侑・佐藤創・鳥田宏行・野口宏典（2015）樹形による破断・転倒現象の相違を考慮した海岸林管理に資する津波計算法の構築．土木学会論文集 B2（海岸工学）71，No.2: I_307-I_312.
- (6) 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: 101-104.