

列状間伐を行なったトドマツ林分における幹損傷被害の実態

森林総合研究所北海道支所 山口 岳広

はじめに

列状間伐は選木や伐採・集材の手間がかからず低コスト・高能率であることから近年数多く実行されている。また、緩やかな地形の多い北海道では林業機械を用いての列状間伐作業が一般的となっている。一方で、これらの機械による間伐の伐採・搬出作業による残存木損傷への懸念が大きくなっている^(10,13)。トドマツは傷から腐朽が侵入しやすいため⁽¹³⁾、これらの損傷部から腐朽進展が特に問題となる。林業機械による間伐作業での損傷については、これまでにいくつかの調査研究事例があるが^(1-9,12,14)、間伐後に残存する立木の樹木サイズや機械から立木までの距離、損傷の高さを主眼にして調査した例は少ない。そこで、本研究ではトドマツの列状間伐林分を対象に、これらの事項と幹の損傷との関連についての実態を明らかにすることを目的とした。

調査地と方法

調査地は林業機械による列状間伐作業が行われた国有林内のトドマツ人工林 7 箇所である(表-1)。林齢は調査時の林齢が 38~56 年生で、2012~2014 年に調査を行った。間伐作業終了後遅くとも 2 年以内に、伐採列直近のトドマツ立木 714 本について、胸高直径、幹から機械走行路端までの距離(以下「路端までの距離」とする)を測定した。また、幹の損傷被害の有無を判定し、損傷を有する場合には傷幅および傷の上端と下端の地上高、傷のタイプを「剥皮のみ」と「材の割れ」に区分して記録した。損傷木 1 本に複数箇所の傷があった場合は個別に測定を行なった。

傷面積は、傷上端地上高と下端地上高の差から求めた傷長さと傷幅から楕円として算出した。傷の高さは傷の最高地上高と最低地上高の平均値(以下、「損傷高」とする)とした。幹の損傷を有する本数の比率(以下、「損傷本数比率」とする)は損傷本数/総本数×100(%)で表した。

これらのデータの解析には、統計ソフトウェア R(ver. 3.2.1)を使用した。測定された胸高直径を 10cm 未満、10cm 以上 20cm 未満、20cm 以上 30cm 未満、30cm 以上の 4 区分に、また路端までの距離と損傷高については 100cm 未満、100cm 以上 200cm 未満、200cm 以上の 3 区分にカテゴリ化して解析した。

結果

1)調査地別の被害の発生状況

全体でトドマツ 714 本中 122 本に幹の損傷が発生し、損傷本数比率は 17.1%であった。調査地別の損傷本数比率にはかなりの差が見られた(表-1)。各調査地の平均胸高直径と損傷本数比率には正の相関があり(図-1; Spearman の順位相関係数 $r = 0.75$, $p = 0.066$)、胸高直径の大きさが損傷本数比率に影響していることが示唆された。

調査地別に傷面積の分布状況を箱ひげ図で図-2 に示す。各調査地間で傷面積の平均値には統計的に有意な差があった(Welch の検定; $p < 0.001$)。幹の傷面積は多くが 500cm²以下であったが、調査地によってはかなり大きな傷も生じていた。大きな傷面積を生じている調査地では、

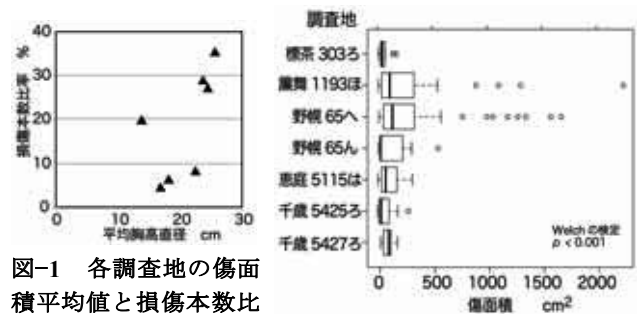


図-1 各調査地の傷面積平均値と損傷本数比率(%)の関係。

Spearman の順位相関係数 $r = 0.75$, $p = 0.066$

図-2 調査地別の傷面積の分布

表-1 トドマツ列状間伐林分調査地の概要と調査地別の損傷本数・損傷率

森林管理署	林班・小班	樹種	植栽年	調査時 林齢	胸高直径 平均値 cm	調査 本数	損傷木 本数	損傷本数 比率%
根釧西部	標茶 303 ろ	トドマツ	1971	41	22.5	194	16	8.2
石 狩	簾舞 1193 ほ	トドマツ	1975	38	13.9	111	22	19.8
石 狩	野幌 65 へ	トドマツ	1958	56	25.7	125	44	35.2
石 狩	野幌 65 ん	トドマツ	1968	46	16.9	111	5	4.5
石 狩	千歳 5425 ろ	トドマツ	1965	49	24.5	59	16	27.1
石 狩	千歳 5427 ろ	トドマツ	1972	42	23.8	52	15	28.8
石 狩	恵庭 5115 は	トドマツ	1975	39	18.2	62	4	6.5
	全 体	-	-	-	20.8	714	122	17.1

Takehiro YAMAGUCHI, (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo 062-8516)
Incidence of stem wounds on Sakhalin-fir (*Abies sachalinensis*) stands consequent on line thinning conducted by logging machines.

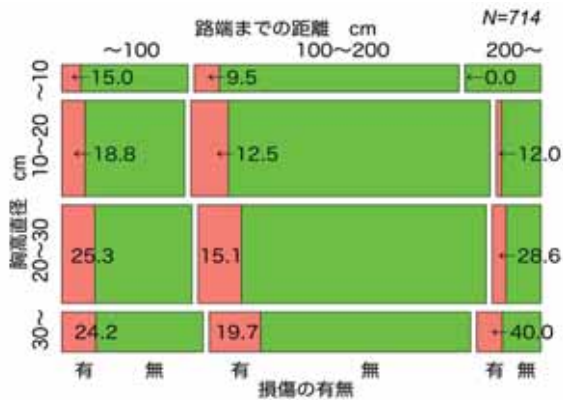


図-3 胸高直径と路端までの距離で区分した損傷有無の本数。各区分の面積が相対的な本数を示す。区分内の数値は直径・距離の各区分内の損傷本数比率 (%)

値のばらつきが大きい傾向が見られた。

2) 胸高直径・路端までの距離と損傷本数比率の関係

胸高直径と路端までの距離の、各区分内での損傷の有無別の本数と損傷本数比率を図-3に表す。まず、全体的に胸高直径が増大すると損傷本数比率は高くなる傾向があった。直径 10cm 以上では距離が 200cm を超えても損傷が発生し、特に径 30cm 以上では、距離 200cm 以上の損傷比率が高かった。直径 20cm 未満では、路端までの距離が遠くなると損傷本数比率は低下する傾向があったが、径 20cm 以上では逆に増加傾向があった。なお直径 10cm 未満では、路端までの距離が 200cm 以上の損傷発生はなかった。

3) 傷タイプと胸高直径・路端までの距離との関係、および傷タイプと傷面積の関係

全体的には剥皮のみの傷タイプが 172 箇所と多く生じており、材が割れる傷のタイプは 27 箇所と全傷箇所数 (199 箇所) の 13.6%であった。胸高直径と路端までの距離を区分した時のそれぞれの傷タイプの比率を図-4に示す。直径、距離ともにあまり明瞭な傾向は見られなかった。材の割れタイプの傷は胸高直径 10cm 以上で生じており、特に直径 10~20cm 距離 200cm 未満での比率が高く、直径 20cm 以上ではその比率は低下するが、直径 30cm 以上距離 100~200cm の区分内で材割れタイプの比

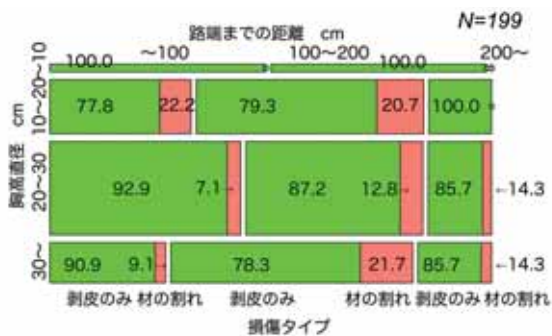


図-4 胸高直径と路端までの距離で区分したタイプ別の傷箇所数。各区分の面積が相対的な箇所数を示す(○は0を表す)。区分内の数値は各タイプの比率 (%)

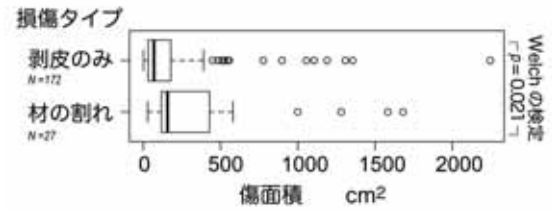


図-5 タイプ別 (材の割れ・剥皮のみ) の傷面積の分布

率は高い値を示した。また、直径が 20cm 以上では路端までの距離が 200cm 以上でも材の割れタイプが生じていたことから、直径が大きくなると距離が 200cm 以上離れても材の割れを生じる傷が発生することが示された。

傷タイプで区分した傷面積の分布状況を箱ひげ図で図-5に示す。材の割れが生じたタイプの傷面積は剥皮のみのタイプに比べて大きい傾向があり、両者の平均値には統計的に有意な差があった (Welch の検定; $p = 0.021$)。

4) 損傷木 1本あたりの傷箇所数と胸高直径・路端までの距離との関係

損傷を受けたトドマツでの 1本あたりの傷箇所数は最大で 4箇所であった (表-2)。全体では傷 1箇所のみの損傷木が 6割と多かったが、複数の傷を持つ損傷木も 4割ほどであった。

胸高直径と路端までの距離を区分して、1本あたりの傷箇所数で区分した本数と比率を表したのが図-6である。路端までの距離 100~200cm では径の増加に伴って傷箇所数が増加する傾向が見られた。距離 200cm 以上で直径 10cm 以上の損傷木では、逆に直径が増大すると複数の傷を持つ比率が減少する傾向が生じていた。

5) 損傷高と胸高直径・路端までの距離との関係

胸高直径と路端までの距離を区分し、その中で損傷高を 3区分して傷の数と比率を示したのが図-7である。全体的に見て、地上高 100cm 未満での損傷がおよそ 6割以上を占めていたが、胸高直径 10~20cm・距離 200cm 以

表-2 1本あたりの傷箇所数別の損傷木本数

傷箇所数	1	2	3	4	合計
本数	74	32	11	5	122
割合 (%)	60.7	26.2	9.0	4.1	100.0

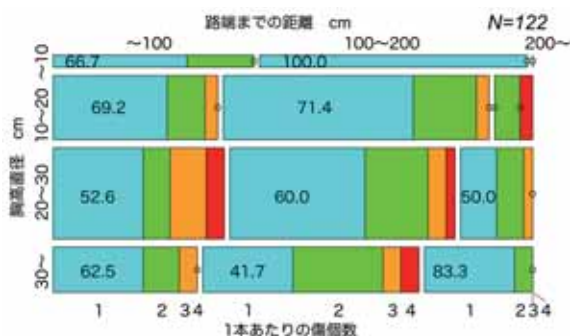


図-6 胸高直径と路端までの距離別にみた傷箇所数別の本数。各区分の面積が相対的な本数を示す(○は0を表す)。数値は直径・距離の各区分内の傷 1箇所を持つ損傷木の割合 (%)

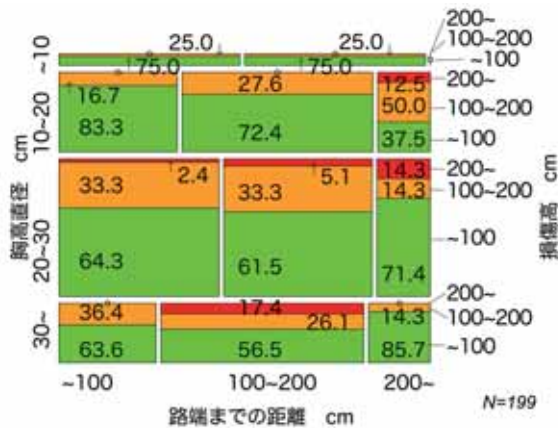


図-7 胸高直径と路端までの距離で区分した損傷高別の傷の数。各区分の面積が相対的な傷の数を示す(○は0を表す)。区分内の数値は直径・距離の各区分内での損傷高別本数比率(%)

上の区分では逆に損傷高100cm以上が約6割と増えていた。胸高直径10cm未満は対象数がわずかであったため、どのような傾向かを判断することは難しいが、胸高直径10cm以上で距離200cm未満では、直径の増加につれて損傷高200cm以上の比率が高くなる傾向があった。また、直径10~30cmでは距離が200cm以上でも損傷高200cm以上の比率が増加していた。一方、30cm以上の胸高直径では、距離200cm以上になると損傷高100cm以上の比率は減少していた。

6)地上高別の損傷の有無と胸高直径・路端までの距離との関係

地上高の区別に直径と距離を区分して損傷の有無別の本数と損傷比率を示したのが図-8である。図-7では損傷高100cm未満での傷が多かったことが示されているが、図-8でも同様にすべての胸高直径と路端までの距離の区分において、地上高100cm未満での損傷本数比率が最も高く、地上高が上がるともに損傷本数比率は低下していた。

地上高100cm未満では、胸高直径が増大すると損傷本数比率は上昇していた。また、路端までの距離が大きくなると直径20cm未満では損傷本数比率が低下する傾向があったが、直径20cm以上では路端までの距離100cm未満よりも距離100~200cmにおいて損傷比率が低下し、200cm以上の距離になると比率はかなり上昇していた。

地上高100~200cmにおいても、路端までの距離200cm未満では胸高直径が大きくなると損傷本数比率は増大する傾向があった。一方、距離200cm以上では、直径10cm未満を除いて逆に直径の増加に対して損傷本数比率がやや下がる傾向があった。地上高200cm以上の損傷本数比率は各区分とも0または低い値を示したが、直径10~30cm・距離200cm以上と、直径30cm以上・距離100~200cmでの損傷本数比率が他に比べやや高い傾向が見られた。

考察

- 1)残存立木の胸高直径が幹損傷被害に与える影響
以上の結果から、残存立木の胸高直径が大きくなると、

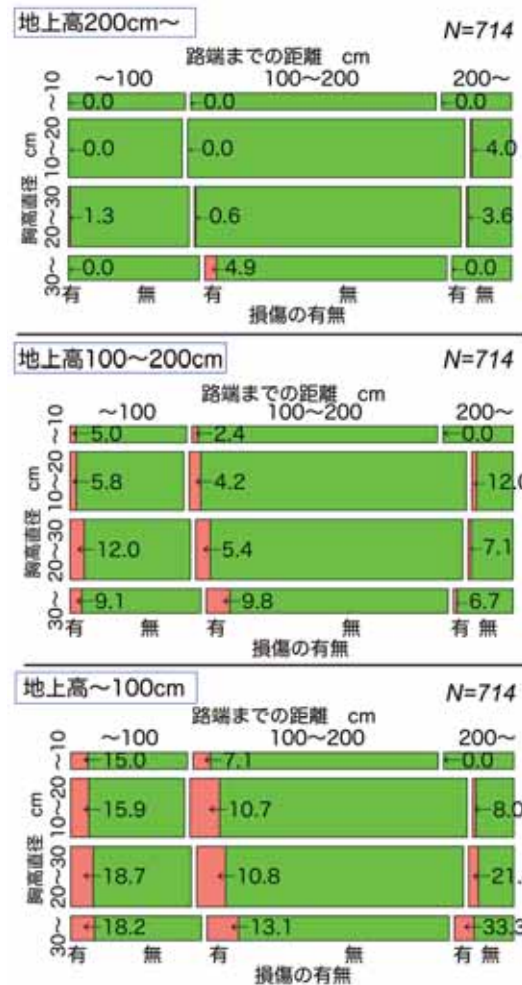


図-8 傷の地上高区分ごとに胸高直径と路端までの距離で区分した損傷の有無別の本数と損傷比率。各区分の面積が相対的な傷の数を示す。区分内の数値は直径・距離の各区分内での損傷本数比率(%)

損傷本数比率が高まる傾向があり(図-1, 3), 路端までの距離が大きくなっても損傷本数比率が高止まりすること(図-3), 損傷木1本あたりの傷箇所数も増える傾向にあること(図-6), より高い位置で損傷する頻度が増えていたこと(図-7, 8), が示された。これらのことは、胸高直径、つまりは樹木のサイズが幹の損傷に大きな影響を与えていることを示唆していると考えられる。

既報では幹の損傷に関して残存木の直径の関係を調査した例は見当たらないようだが、トドマツの根系損傷を調査した報告では、本研究と同様に残存立木の胸高直径が大きいと損傷比率も高くなる傾向が見られている⁽¹⁵⁾。直径の増大が損傷本数比率を高める理由は、本研究からはまだ明確となっていない。樹木サイズが大きいことで単純に伐採木や機械などに接触する確率が高くなるためとも推測できるが、今後さらに検討する必要がある。

2)路端までの距離の影響

今回の調査結果からは、幹の損傷本数比率、傷のタイプ、1本あたりの傷箇所数、損傷高について距離との明瞭な関係は見いだせなかった。機械作業による列状間伐

での根系損傷調査では、機械走行が損傷原因であることから機械と立木の距離が近いほど、発生頻度や傷の大きさが大きく傷の程度も重くなっていた^(8,15)。一方、幹の損傷の場合は伐倒、枝払い、玉切、集積時の間伐木や機械のアームの接触が損傷原因と推測されるため、多少距離が離れても損傷本数比率にあまり顕著な減少が生じなかったと考えられる。

既報によると、作業幅が広がる、つまり路端までの距離が遠くなることで損傷率が低下したという調査結果がある^(4,5,14)。一方で、列状間伐の作業路端から12m以内で損傷が生じ、作業路からの距離が離れるにつれて損傷率が低下したという報告⁽¹²⁾もなされている。本研究では作業路直近の残存木のみを対象とした調査のため、作業路端直近の植栽列より奥の列での損傷被害は把握しなかったが、ある程度作業路から距離のある立木への損傷にも留意していく必要がある。

3) 損傷高、損傷本数比率、傷面積と傷のタイプ

上述のように損傷高は胸高直径の影響も受けていたが、全体的に見ると地上高100cm未満の低い位置での損傷頻度が高く(図-7, 8)、低い位置で損傷を受けやすいことが示唆された。既報においても100~150cmより低い位置での損傷が多く^(1,3,12,14)、本報告もほぼ同様の結果であった。しかし、頻度は低いがかなり高い位置で損傷が生じる例が本研究や既報^(3,4,12)で明らかになっており、機械による間伐作業では高所位置の損傷発生があることも念頭に置くべきであろう。

損傷本数比率については、条件が一樣ではないため一概に比較するのは難しいが、これまでの報告では概ね数%から30数%の間で^(1-7,9,12,14)、本報告の調査地別の損傷本数比率(表-1)と同様ばらつきは大きい。傷面積については、既報でも概ね500cm²以内が多いという結果であり^(1,3)、本報告(図-2)と大きな違いはなかった。

傷タイプと傷面積の関係では、接触時に加わる力が強いほど損傷面積が大きくなることが示唆されており⁽¹¹⁾、材の割れの傷は剥皮のみの傷より傷面積も大きくなると推測される。樹皮の剥皮(剥離)のみのタイプが多いことは既報^(3,12)でも示されており、澤口ら⁽¹²⁾は、本報告と同様に辺材部の損傷を伴う重度の傷面積が大きくなることを報告している。

4) まとめ

林業機械による列状間伐では、伐倒、枝払い、玉切、集積、搬出などの多様な作業が行われ、また林分密度や伐採幅、あるいは傾斜などの地理的要因が複雑に絡むため残存木の損傷要因も複雑であり、どのような要因が影響するのかまだ検討を要する事項も多い。また、本研究により樹木サイズが損傷要因に関与することが明らかとなったが、最終的にこれらの損傷がどの程度腐朽被害に結びついていくかを解明していく必要がある。

謝辞

本調査に際して便宜を図っていただいた北海道森林管理局根釧西部・石狩森林管理署、大澤木材(株)の関係各位の皆様へ感謝申し上げます。なお、本研究の一部は森林総合研究所交付金プロジェクト「緩中傾斜地における低コスト作業システムの開発」によって行われた。

引用文献

- (1) 平林慧遠・澤口勇雄・立川史郎(2008) 超高密度作業路網を基盤とした高性能林業機械間伐作業による残存木への損傷. 岩大演報 **39** : 37-46.
- (2) 石田英也(2004) 高性能林業機械を用いた列状間伐の推進—2回目の列状間伐—. 北方林業 **56**(10) : 5-8.
- (3) 岩岡正博・有賀一広・小林洋司(1997) 履帯式ハーベスタ、フォワーダによる列状間伐が残存木に与える影響. 東大農演報 **98** : 151-160.
- (4) 木幡靖夫(2005) 列状間伐—高性能林業機械を活用した森林づくり—. 北方林業 **57** (8) : 17-20.
- (5) 木幡靖夫(2006) 高性能林業機械による列状間伐の繰り返しについて. 森林学誌 **21** (1) : 15-20.
- (6) 近藤道治・今井信(2003) 大型プロジェクト研究「機械化作業システムに適合した森林施業方法の開発」平成9~13年度の概要報告. 機械化林業 **597** : 11-15.
- (7) 近藤道治(2006) 列状間伐が森林環境に与える影響. 森林学誌 **21** (1) : 9-14.
- (8) 倉本恵生・山口岳広・佐々木尚三(2013) 建機ベースの林業機械の走行繰り返しによるトドマツの地表部側根の損傷発生. 北森研 **61** : 121-124.
- (9) 真庭利明・藤岡裕之(2010) 高性能林業機械の導入・普及に向けた間伐手法の開発. 機械化林業 **677** : 23-28.
- (10) 佐々木尚三(2007) 機械作業が森林環境に及ぼす影響. 北方林業 **59** (12) : 1-4.
- (11) 佐々木達也・岡勝・近藤耕次・山田健・遠藤利明・上村巧(2005) 伐出作業に伴う残存木被害軽減策の検討(II)—被害防護具の選択に関する予備的考察—. 日林関東支論 **56** : 81-82.
- (12) 澤口勇雄・猪内正雄・菊地智久(2000) ハーベスタ・フォワーダシステムによる列状間伐が残存立木に与える損傷. 森林学誌 **15** (1) : 33-42.
- (13) 徳田佐和子・秋本正信・高橋幸男・由田茂一(1996) 林業機械化作業によるトドマツ立木の損傷と腐朽. 日林論 **107** : 277-280.
- (14) 対馬俊之・由田茂一・浅井達弘・木幡靖夫・戸田治信(1991) ハーベスタによる間伐作業(II)—4条植栽のトドマツの場合—. 日林論 **102** : 707-708.
- (15) 山口岳広・倉本恵生・佐々木尚三(2014) 林業機械のトドマツ林内走行試験で発生した地表部側根損傷の実態. 北森研 **62** : 77-80.