

## 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

森林総合研究所北海道支所 山口 岳広・倉本 恵生・佐々木 尚三

### はじめに

北海道では車両系林業機械が林内を直接走行して短幹伐出を行なう作業システムが広く普及しつつある(2)。当該地域では林業用アタッチメントを装着した油圧ショベルの建設機械が使用される場合がほとんどである。しかし、このような大型機械の林内直接走行は、列状間伐時に残存立木の損傷を生じることでそれらの傷口から腐朽菌が侵入して残存木に腐朽・変色などの材質劣化を起こすことが懸念されている(4,9,12)。特にトドマツはこのような林業機械による損傷から腐朽が進展しやすいとされている(14,15)。

林業機械による幹への損傷についてはいくつかの事例が報告されているが(1,13)、車両系林業機械の林内走行による立木損傷被害の実態、特に立木の水平根(以下「側根」と称する)への損傷はこれまでほとんど明らかになっていなかった。そこで、建機ベースの林業機械による林地内走行が走行路周辺の立木にどのような損傷を与えるのか、特に立木の側根に生ずる損傷の実態を把握するため、列状間伐を想定してトドマツ林内で林業機械を試験的に走行させる実験を行なった。機械の走行繰り返しと損傷発生との関係については既に報告したが(5)、同じ試験地において地表部側根の損傷サイズや損傷程度の実態を調査したので報告する。

### 調査地および方法

林業機械走行実験は、2012年7月23日(無雪期)および2013年2月21日(積雪期)に札幌市の森林総合研究所北海道支所実験林内にある39年生トドマツ林で行なった。無雪期実験の詳細については既に記述されているが(5)、傾斜2~4°の斜面方向にほぼ直交する植栽列間に、合計10列の走行路(約40m:以下走行列と称す)を設定した。走行機種はフェラーバンチャーアタッチメント装着の0.45クラス油圧ショベル(コマツ社製PC-120:重量約14t,機械幅2.5m)である。無雪期の試験では、走行列幅を約3.2mの狭い幅と7mの広い幅の2通り、走行回数を1,2,5往復の3段階とした。走行1

往復は狭い幅のみ2列,2・5往復は狭い幅と広い幅を各1列ずつ走行させた(表-1)。林床被覆による損傷軽減効果を試すため、各走行列の一部には試験区域外のトドマツ伐採木枝条を散布した。散布量は多い区(生重15kg/m<sup>2</sup>)と少ない区(同5kg/m<sup>2</sup>)の2段階で、長さは各4mである。

積雪期の試験は、狭い走行列幅のみで行ない、2往復と5往復を各2反復で走行した(表-1)。無雪期と同様に各走行列の一部に枝条散布区を設けた。なお、走行試験日の林内積雪量は約140~150cm,走行後クローラ部分の積雪は90~100cm程度に圧雪されていた。

無雪期では走行終了後、走行列に隣接した立木の胸高直径および損傷を受けた側根の傷幅と長さ、損傷の程度(剥皮のみ,材の割れ,切断の3段階)、走行路端からトドマツ幹までの距離を測定した。積雪期の試験では、融

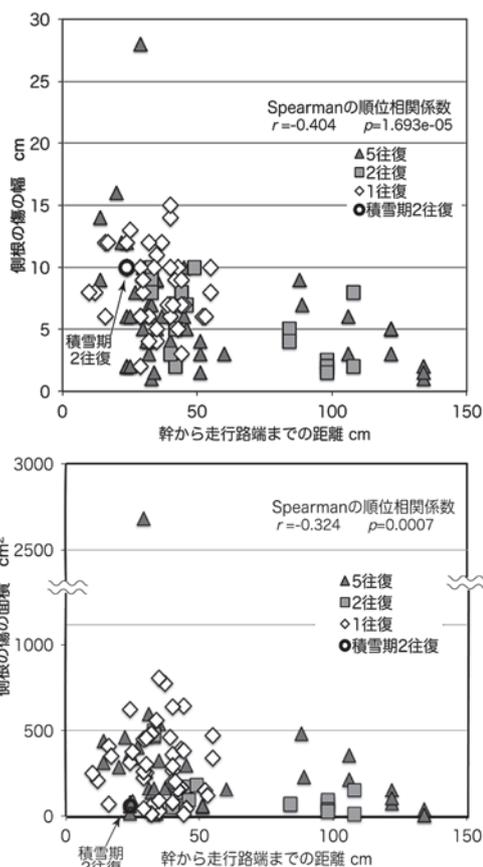


図-1 幹から機械までの距離と側根の傷の幅(上)と傷面積(下)との関係

表-1 設定した走行実験の反復回数

走行時期 年月日	走行列幅	走行往復回数		
		1回	2回	5回
無雪期 2012.7.23	狭い(約3.2m)	2	1	1
	広い(約7.0m)	-	1	1
積雪期 2013.2.21	狭い(約3.2m)	-	2	2

Takehiro YAMAGUCHI, Shigeo KURAMOTO, Shozo SASAKI (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo 062-8516)

Root wounds consequent on driving of excavator-based logging machines: an experimental study in a Fir (*Abies sachalinensis*) stand

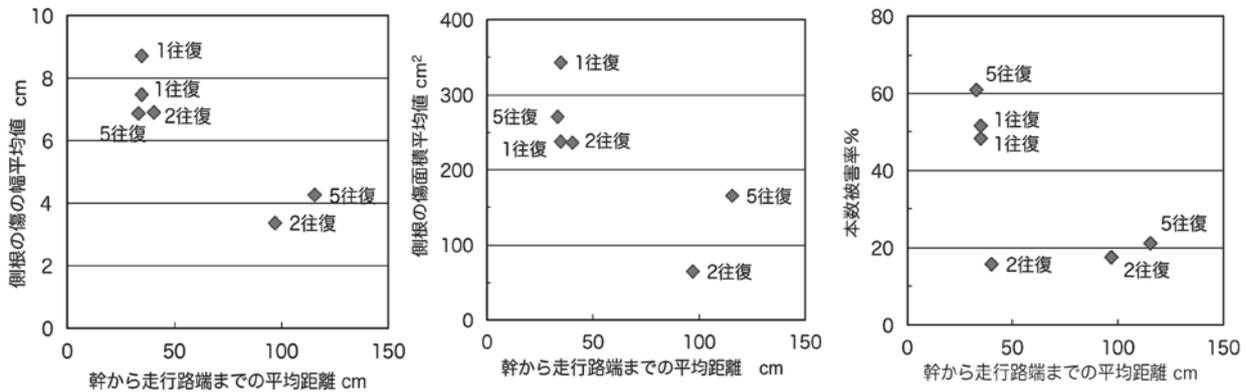


図-2 往復回数別の幹から機械までの距離と側根の傷の幅(左), 傷面積の平均値(中), 本数被害率(右)の関係

雪直後の2013年5月に無雪期と同様の項目を測定した。

向が見られた。

**結果**

1) 無雪期走行試験

(a) 幹からの距離と側根損傷被害の関係

トドマツ個体ごとの幹から走行路端までの距離と側根の傷の幅・傷面積との関係を図-1に示す。距離と傷の幅の間では Spearman の順位相関係数が  $r=-0.404$  ( $p=1.693 \times 10^{-5}$ ), 距離と傷面積の間は  $r=-0.324$  ( $p=0.0007$ ) と、いずれも有意な負の相関があり、幹と機械の距離が近いほど側根の傷の幅や面積が大きくなる傾向があった。広い走行列幅で距離が140cm前後離れていても損傷は発生していたが、傷面積は距離100cm前後から大きくなる傾

向が見られた。各走行列別に求めた距離の平均値と傷の幅・面積の平均値との関係(図-2)においても狭い走行列間で傷の幅・面積が大きくなる傾向が示された。距離が近いと立木の本数被害率も高くなっていた。狭い走行列間の走行では、往復回数が多くても必ずしも傷の幅や面積の平均値が増加するような関係は見られなかった。本数被害率は狭い幅での5往復が最も高く、狭い幅の2往復が最も低かった。広い走行幅では、走行の往復回数が増えると本数被害率、傷の幅・面積の平均値ともに大きくなっていった。

(b) 胸高直径と側根損傷被害の関係

図-3に走行列幅別に側根に損傷の無いトドマツ(非

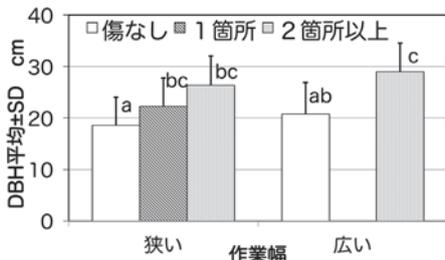


図-3 走行列幅別の側根損傷木(1本当たりの傷1箇所と2箇所以上)と非損傷木(傷なし)の胸高直径平均値。同じアルファベットは Steel-Dwass の多重比較により有意差 ( $p<0.05$ ) がないことを示す。

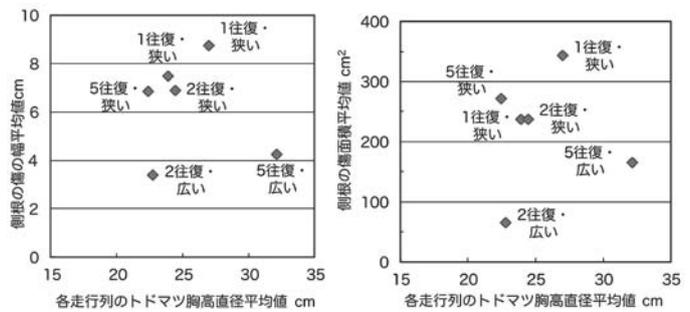


図-4 往復回数別の胸高直径と側根の傷の幅(左)・傷面積(右)平均値との関係

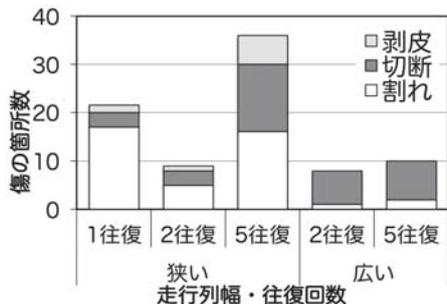


図-5 傷の程度別の側根受傷本数 狭い走行列幅の1往復は2反復の平均値で示す。

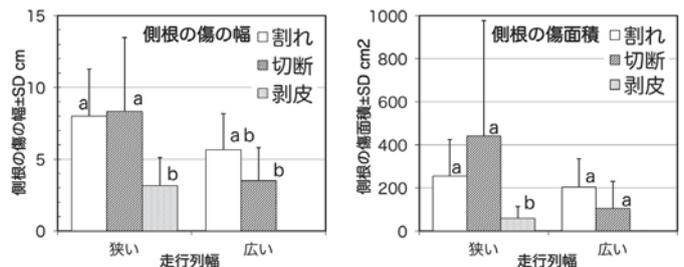


図-6 被害程度別の側根の傷の幅(左)と傷面積(右)の平均値 同じアルファベットは Steel-Dwass の多重比較により有意差 ( $p<0.05$ ) がないことを示す。

損傷木)と損傷木の1本当たり傷の箇所数別の胸高直径の平均値を示す。どちらの走行列幅でも非損傷木と損傷木の胸高直径平均値に有意差(Steel-Dwassの多重比較による: $p<0.05$ )があり、胸高直径の大きい個体が損傷被害を受けやすいことが示された。また、各走行列別に損傷木の胸高直径平均値と傷の幅・傷面積の平均値とを比較すると(図-4)、胸高直径の平均値が大きいと傷の幅・面積の平均値も高くなる傾向があった。

(c)傷の程度と側根損傷被害

図-5に傷の程度別(剥皮・材の割れ・切断)の箇所数を走行列幅、往復回数別に示す(狭い走行列幅の1往復は2反復の平均値で示す)。全体的に剥皮のみの損傷は少なく、狭い走行列幅ではほとんどが材の割れまたは切断であった。往復回数2往復で傷の箇所数が少ないが、5往復では1往復よりも傷の箇所数は多く、切断に至った側根の箇所数も多かった。広い走行幅では、傷の箇所数は狭い幅よりも少ないが、傷の程度別では切断がほとんどを占め、残りは材の割れで剥皮のみの損傷はなかった。

被害程度別に側根の傷の幅・傷面積の平均値を比較すると(図-6)、被害程度の大きい材の割れ・切断では剥皮のみに比較して傷の幅・傷面積の平均値が有意に大きかった。また、狭い走行列では損傷程度の大きい材割れ・切断は剥皮に比べて有意に(Steel-Dwassの多重比較による: $p<0.05$ )側根の傷幅や面積が大きかった。

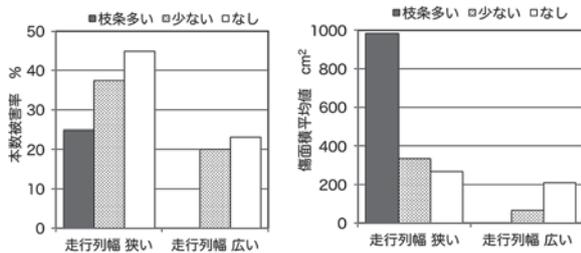


図-7 走行列幅別・枝条散布量別の本数被害率(左)・傷面積平均値(右)の違い

(d)枝条散布の効果

走行列幅別に枝条の有無と量で本数被害率と傷面積の平均値を比較したのが図-7である。本数被害率は枝条散布量が多いほど低減する傾向があるが、狭い走行列幅では枝条の多い区で傷面積の平均値が大きくなっていった。広い走行列幅では、枝条の多い区で損傷木がなく、傷面積の平均値も狭い走行列幅に比べて小さかった。

表-2 無雪期と積雪期での側根損傷被害の違い

走行時期	調査木 本数	受傷木 本数	受傷木 割合 %	傷面積 平均値 cm²
無雪期	217	106	48.8	254.7
積雪期	141	1	0.7	55.0

2) 積雪期での走行試験

無雪期と積雪期での側根損傷被害を比較して表-2に示す。積雪期の走行試験では、すべての走行列に隣接するトドマツにおいて傷の発生は1本1箇所のみで、機械からの距離が24cmと非常に近い位置で生じていた(図-1)。無雪期の走行試験では調査木のうち約半数のトドマ

ツ側根に損傷が生じていたが、積雪期走行では無雪期に比べ被害木本数の割合も傷面積も格段に小さかった。

考察

1) 幹からの距離・胸高直径と側根損傷

以上の結果から、まず立木と機械の距離が林業機械走行によるトドマツ側根の損傷に非常に大きな影響を与えていることが明らかとなった(図-1, 2)。幹と機械の距離が近いと傷の幅・面積が大きくなるのは、幹に近づくほど側根径が太くなるとともに根の表面も地表面から高くなり、クローラで踏まれることで損傷が増大するためと考えられる。一方で、胸高直径の大きい、つまり個体サイズの大きいトドマツで損傷被害が増える傾向があったことから(図-3, 4)、個体サイズも側根損傷に影響を与えていると考えられる。胸高直径の大きいトドマツは、側根の径や根張りも大きく本数も増えるため、小さな胸高直径の個体よりも損傷面積が増大すると推測される。

広い走行列幅でも根の損傷が発生していたが、これはトドマツ植栽木で水平根が発達しやすい(II)ことが関係していると考えられ、このような樹種特性も損傷要因として考慮する必要があると考えられる。

今回の実験では実例数は少ないが、傷は140cm前後で発生し始め、傷の面積は100cm前後から大きくなる傾向があり(図-1)、根の損傷を回避するための距離としてはおよそ100~150cm程度が目安ではないかと示唆される。これとは全く別に、林業機械の作業効率の面からは作業幅4.5~5m以上(機械幅を2.5mとすると樹木との距離は両側1.0~1.25mとなる)が好ましいという報告がある(3,8,10)。前述した個体サイズや樹種特性なども含めてまだ検証する余地はあるが、暫定的にはおよそ妥当な数値ではないかと推測される。

2) 往復回数と側根損傷

往復回数と側根の損傷幅・面積との関係(図-2, 4)はあまり明瞭でなかった。既報では、5往復の走行列での観察で往復回数が増えると損傷本数率が上がるとしており(5)、広い走行列幅での走行ではこれと同様の結果が得られたが、狭い幅では必ずしもそのような結果ではなかった。前述したように損傷被害は幹との距離や個体サイズに影響されることから、幹との距離の平均値がわずかに大きな狭い幅の2往復では本数被害率が低くなった可能性が考えられる。さらに、根張りや側根の地表面露出が斜面方向によって偏向している可能性(5)もある。また、広い幅の5往復は同じ幅の2往復より被害率、傷の幅・面積ともに大きかったが(図-2)、同時に胸高直径の平均値も大きい(図-4)ことから、どちらの因子が影響しているのかは本研究では明らかにできなかった。今後さらに事例を増やして検討する必要がある。

損傷の程度に関しては、明瞭ではないが狭い幅の走行で往復回数が5回になると傷の箇所数と損傷程度が上がっていた。また、損傷の程度が材の割れ・切断といった重度になると傷の幅や面積が増大することが示された(図-5, 6)。機械作業による幹や根元の損傷では、傷の面積や傷の程度が大きいと材の腐朽・変色に至る割合

が高くなり範囲も広がることが報告されており(7, 12, 14, 15), 往復回数の増加は腐朽・変色リスク増大につながる可能性があると考えられるが、今後の検証が必要であろう。

### 3) 枝条散布や積雪の効果

北欧では林業機械走行時の林地への影響を低減するために枝条散布が徹底されているが(4, 9), 本研究においても枝条散布や積雪といった物理的の被覆が損傷被害を抑える効果の一端を確認できた。無雪期の枝条散布区では、走行路端が幹に近いために根張りの部分が散布した枝条よりも高くなっていた例が多く観察されており、このために本数被害率はあまり低減せず傷の面積も大きくなったと推測される。広い走行幅では損傷被害も抑えられたので、枝条散布はある程度効果が得られたと考えられるが、本研究では実例数が少ないためまだ量的に十分な検出力をもつとはいえない(5)ので、もう少し規模を拡大した試験を行ない検証する必要がある。

積雪期走行では、無雪期に比べ被害率は大幅に少なく(表-2), 積雪による損傷回避効果は明瞭であった。オーストリアでの車両系林業機械林内走行による間伐時の幹・側根損傷調査例でも、冬期での損傷が低いことが示されている(6)。一方で、本試験での積雪期の損傷木は機械からの距離が24cmと非常に近い位置にあったことから、積雪が十分にあっても樹木に接近しすぎると損傷を完全に排除するのは難しいことが示唆される。

### まとめ

本研究では幹から機械までの距離や個体サイズ(胸高直径)枝条・積雪などの林床の被覆がトドマツ側根損傷の大きさを左右すると考えられる要因として明らかになったが、実際の現場では他の要因、例えば個体サイズに関連する林齢、樹種特性、あるいは土壌などの関与も推測されることから、今後これらの多様な要因を把握した上で、さらに事例を積み重ねて検討することが重要であると考えられる。また、既往文献(7, 12, 14, 15)から傷の大きさや傷の程度は腐朽・変色被害に影響する可能性があり、幹から傷までの距離が近いことは腐朽菌の侵入や進展リスクを高める要因と見られることから、今後これらの側根損傷からどの程度腐朽が進展するのについても検討が必要と考える。

### 謝辞

本研究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。本走行試験の準備や実施には森林総合研究所北海道支所の多数の研究職員と実験林関係者に多大なご協力を頂いたので厚く御礼申し上げます。また、実際に林業機械の操縦を行って頂いたオペレーターの小林洋平氏には特に深く感謝申し上げます。

### 引用文献

- (1) 岩岡正博・有賀一広・小林洋司(1997)履带式ハーベスタ、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.
- (2) 駒木貴彰(2005)北海道における高性能林業機械の導入・利用状況. 機械化林業 **618** : 1-4.
- (3) 木幡靖夫(2001)高性能林業機械による列状間伐作業の生産性と残存木の成長. 光株内季報 **124**:10-13.
- (4) 倉本恵生(2012)ハーベスタ・フォワーダ伐出システムの森林への影響と機械作業を前提とした育林体系. 山林 **1539** : 38-45.
- (5) 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. 北方森林研究 **61** : 121-124.
- (6) Limbeck-Lilienau B (2003) Residual stand damage caused by mechanized harvesting systems. In: Proceedings of the Austro2003 meeting: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain. CD ROM(Limbeck-Lilienau, Steinmüller and Stampfer (ed.)) October 5-9, 2003, Schlaegl – Austria. 11 p. (<http://www.wabo.boku.ac.at/uploads/media/limbeck-lilienau.pdf>)
- (7) Roll-Hansen F and Roll-Hansen F (1980) Micro-organisms which invade *Picea abies* in seasonal stem wounds. I. General aspects. Hymenomycetes. Eur. J. For. Path. **10**: 321-339.
- (8) 佐々木尚三(2012)林業機械の将来予測. 森林総合研究所(編)改訂森林・林業・木材産業の将来予測. 日本林業調査会, 東京, p101-118.
- (9) 佐々木尚三(2012)フィンランドの林業とCTLシステム. 山林 **1540** : 28-36.
- (10) 佐々木尚三・倉本恵生・山口岳広・上村巧・中澤昌彦・鈴木秀典(2013)ハーベスタによる林内走行型作業システムの適用条件. 日本森林学会講演要旨集 **124** : 256.
- (11) 佐藤孝夫・斉藤晶(1984)樹木の根の特性と植え方. 光株内季報 **59** : 11-15.
- (12) Vasiliauskas R (2001) Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in temperate forest: a literature review. Forestry **74**: 319-336.
- (13) 谷山徹・木村光男・田中誠(2001)高密度路網と機械化作業による残存木被害調査. 愛媛県林研研報 **29** : 1-8.
- (14) 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.
- (15) 徳田佐和子(1998)幹の傷はトドマツの腐朽を引き起こしやすい. 光株内季報 **110** : 10-14.