

## 履带式ハーベスタ, フォーワーダによる 列状間伐が残存木に与える影響

岩岡正博\*・有賀一広\*・小林洋司\*

### A Line Thinning Operation with a Crawler Type Harvester and Forwarder Combination and Its Impact on the Residual Stand

Masahiro IWAOKA\*, Kazuhiro ARUGA\* and Hiroshi KOBAYASHI\*

#### 1. はじめに

現在日本の林業は、労働環境の改善や、それによる若年労働力の獲得などの活性化を目的として、ハーベスタ、フォーワーダなどの車両系大型機械の導入を進めており、北海道を中心に成果を上げている。しかしながら、これまで人力作業を前提として育てられてきた森林に、これらの車両系大型機械を導入して従来の方式に準じた作業を行った場合、残存木によって機械の作業範囲が規制され、無理な作業を行えば残存木を損傷することになる。

これまでに、大型機械を用いた搬出作業については、集材路の締め固め<sup>3)</sup>やその後の回復状況<sup>1)</sup>などに関する研究が、また残存林分の損傷については、スキッダ集材<sup>5)</sup>や軽架線集材<sup>2)</sup>などに関する研究が各々独立して行われているほか、スキッダ集材による集材路の土壌硬度や植林木の成長状況に関する追跡調査<sup>4)</sup>などが行われている。しかしながら、今後大型機械による伐木造材まで含めた林内作業が増えると考えられることから、大型機械作業が残存木に与える直接的な被害についても調査検討を行う必要があると考えられる。

本論文では、クローラタイプのハーベスタとフォーワーダを用いて行われた1伐2残の列状間伐作業を対象として、作業による残存木の損傷状況を調査し、損傷の原因や対策について検討する。

#### 2. 調査地の概要

調査は、平成4年10月15日、16日、21日の3日間かけて、北海道網走群美幌町字古梅にある北見営林支局管内網走事業区14林斑り小斑で行った。伐区は、面積10.13 haの35年生トドマツ人工林であるが、アカエゾマツも混ざっている。伐区内の立木平均胸高直径は13 cm、平均樹高は15 m、平均単木材積は0.117 m<sup>3</sup>、蓄積は3.054 m<sup>3</sup>であった。また平均傾斜は15度で、伐列は傾斜方向であった。

作業は、シングルグリップハーベスタを用いて列状に伐倒、造材を行った後、トラクタを用いて伐列1列おきに集材路を作設し、ゴム履带式フォーワーダを用いて集材路を通して集材するこ

\* 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻

Department of Forest Science, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

表-1 ハーベスタベースマシンの諸元

Table 1. Specifications of the base machine of the harvester

項目	諸元
メーカー名	コマツ
形式名	KF-762 (PC150-3)
総重量	15,000 kg
エンジン出力	100 ps/2,200 rpm
総排気量	4,891 cc
走行速度	3.6 km/h
最大登坂角	30 度
作業上最大登坂角	20 度
全長	4,575 mm
全幅	2,590 mm
全高	2,950 mm
足廻り形式	金属履帯式
履帯幅	510 mm
接地圧	0.45 kg/cm <sup>2</sup>

表-2 フォーワーダの諸元

Table 2. Specifications of the forwarder

項目	諸元
メーカー名	モロオカ (ローダはヒアブ)
形式名	MST-1200
総重量	6,800 kg
エンジン出力	150 ps/2,500 rpm
総排気量	6,494 cc
積載量	4,500 kg
走行速度	0~15 km/h
最大登坂角	28.5 度
作業上最大登坂角	23 度
全長	5,500 mm
全幅	2,360 mm
全高	2,500 mm
足廻り形式	ゴム履帯式
履帯幅	500 mm
接地圧	0.12 kg/cm <sup>2</sup>
アーム長	7,200 mm
旋回角度	270 度
最大吊下量	1,000 kg

とによって進む。伐列に作設した集材路が傾斜方向であるため、フォーワーダは後進で進入し、前進しながら集材路の両側の残存列に集積してある材を集材した。用いたハーベスタは、フィンランド AFM 社製 LAKO60 ハーベスタヘッドをコマツ製 KF-762 (PC150-3) エクスカベータタイプベースマシン (表-1) に装着した、最大処理可能径 60 cm の比較的大型な機種である。またフォーワーダは、モロオカ製 MST-1200 であり、ゴム履帯式キャリヤをベースマシンとして、ヒアブ社製グラップルローダを取り付けた機械である (表-2)。この機械は、グラップルローダ操作席から走行操作を行えるように改造されている。ゴム履帯式フォーワーダは、金属履帯式と比べて残存木の根の損傷が少なく、またホイール式と比べても林地の攪乱が少いという利点があるが、不整地では伐根などへの乗り上げによって履帯が外れ易く、また金属製履帯とは異り再装着にクレーン等を要し、時間、経費ともかかり増しとなるため、外れを防ぐために集材路を作設してから作業する必要があった。

作業班は、ハーベスタオペレータ、フォーワーダオペレータ、現場責任者の 3 人組であった。ハーベスタのオペレータは年齢 27 歳で林業経験は 6 年半であるが、ハーベスタについては機械導入時にメーカーの指導を 5 日間受けた後、3 年間の操作経験を持っており技能程度は高い。フォーワーダのオペレータは、年齢 20 歳で林業経験は 1 年半、フォーワーダの操作経験は 1 年で作業にも慣れてきたところであり、技能程度は普通である。現場責任者は年齢 50 歳で、林業経験は 30 年であるが、トラクタ、グラップルなどの機械の操作経験は 3 ヶ月と短い。これらを用いて、集材路の作設とトラックへの積み込みを行っていた。

### 3. 調査方法

調査は、まずハーベスタ作業による残存木の損傷を調べることを目的として、伐倒列にはさま

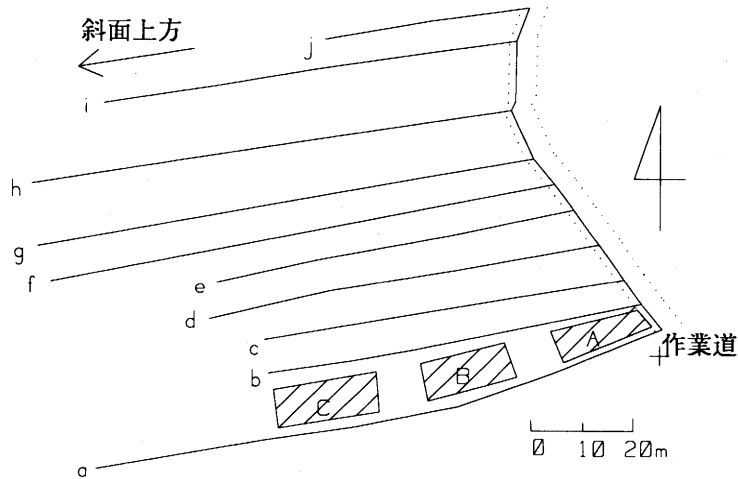


図-1 ハーベスタによる残存木損傷の調査プロットの位置。

Fig. 1. Sample plots of the harvester operated stand.

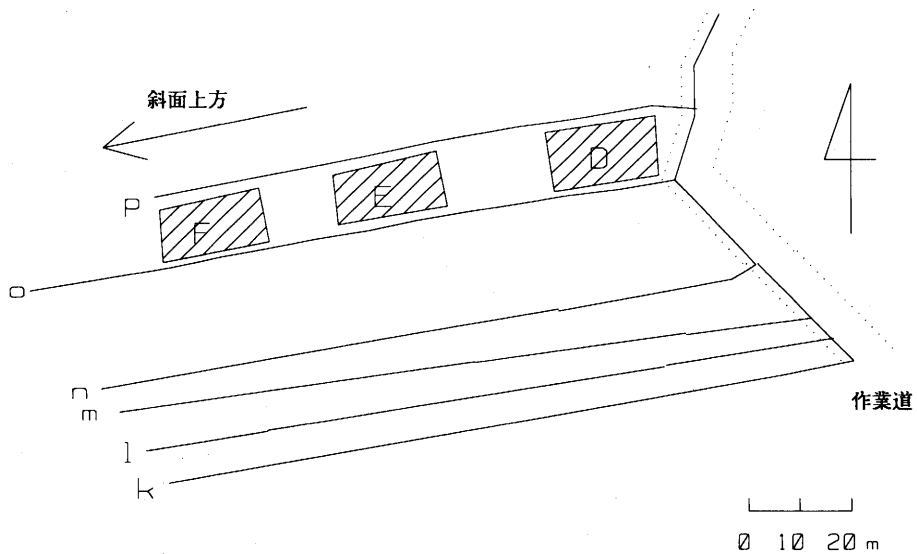


図-2 フォワーダによる残存木損傷の調査プロットの位置。

Fig. 2. Sample plots of the harvester and forwarder operated stand.

れた2列の残存列の下方、中腹、上方の3ヶ所に、約20mの長さの標準地を各々設定した(図-1)。各標準地の面積は約50m<sup>2</sup>である。またフォワーダ作業による残存木の損傷を調べることを目的として、集材路にはさまれた4列の残存列とその中央の伐倒列の下方、中腹、上方の3ヶ所に、約20mの長さの標準地を各々設定した(図-2)。各標準地の面積は約170m<sup>2</sup>である。この各標準地において、立木本数、損傷木の本数、損傷位置、損傷程度、損傷原因を調査した。

## 4. 調査結果

ハーベスタ作業跡地における調査対象成木本数は、斜面下方が 25、中腹が 25、上方が 27 の計 77 本である。このうち 35 本 (45%) がなんらかの損傷を受けており、損傷箇所数は 40 箇所であった。損傷程度の内訳は表-3 に示すとおりであり、強度の辺材部損傷や幹折れ、倒伏など生育見込みの無いほどの損傷を受けた成木の本数は 5 本 (6%) であった。このうち幹折れが観測されたのは斜面上方の標準地であり、標準地下端から 2 本目に位置する胸高直径 6 cm のトドマツであった。また倒伏が観測されたのは斜面下方の標準地であり、標準地下方から 5 本目に位置する胸高直径 6 cm のアカエゾマツであった。これらはいずれも、平均胸高直径 13 cm の本伐区においては生育が悪い部類に属す。強度の辺材部損傷が観測されたのは、斜面下方の標準地において、胸高直径 11 cm のアカエゾマツの地上から 50 cm の斜面下方に幅 8 cm、長さ 70 cm の傷、斜面上方の標準地において、胸高直径 16 cm のトドマツの地上から 30 cm と 120 cm の集材路側に、各々 50 cm×9 cm、12 cm×5 cm の裂け傷、胸高直径 22 cm のトドマツの地上から 70 cm の集材路側に 14 cm×116 cm の裂け傷の 3 本であった。また、生育見込みの無いほどの損傷本数に、変色等材質に影響すると考えられる辺材部損傷の本数を加えると、9 本 (12%) であった。

フォーワード作業跡地における調査対象成木本数は、斜面下方が 40、中腹が 51、上方が 63 の計 154 本である。このうち 57 本 (37%) がなんらかの損傷を受けており、損傷箇所数は 62 箇所であった。損傷を受けた成木のうち、作業の状況から明らかにフォーワードが原因であると考えられる損傷は 2 本だけであり、ほとんどがハーベスタ作業による損傷であった。損傷程度の内訳は表-4 に示すとおりであり、強度の辺材部損傷や幹折れ、倒伏など生育見込みの無いほどの損傷を受けた成木の本数は 4 本 (3%) であった。このうち幹折れが観測されたのは斜面中腹の標準地であり、標準地中間付近の集材路側に位置する胸高直径 10 cm のアカエゾマツであった。また倒伏が観測されたのは斜面下方の標準地であり、標準地下端から 3 本目の集材路側に位置する胸高直径 12 cm のアカエゾマツと、中間付近の伐列側に位置する胸高直径 7 cm のアカエゾマツで

表-3 ハーベスタ作業跡地における調査結果

Table 3. Damage conditions in the harvester operated stand

位置	損傷なし (本)	樹皮剥離 (本)	樹皮損傷 (本)	辺材部損傷 (本)	強度辺材部損傷 (本)	幹折れ (本)	倒伏 (本)	計 (本)
上	14	5	4	1	2	1	0	27
中	12	7	4	2	0	0	0	25
下	16	5	1	1	1	0	1	25

表-4 フォーワード作業跡地における調査結果

Table 4. Damage conditions in the harvester and forwarder operated stand

位置	損傷なし (本)	樹皮剥離 (本)	樹皮損傷 (本)	辺材部損傷 (本)	強度辺材部損傷 (本)	幹折れ (本)	倒伏 (本)	計 (本)
上	40	12	10	0	1	0	0	63
中	34	7	4	5	0	1	0	51
下	23	11	2	2	0	0	2	40

あった。強度の辺材部損傷が観測されたのは斜面上方の標準地であり、標準地中間付近に位置する胸高直径 12 cm のトドマツの地上から 40 cm の集材路側に、幅 4 cm、長さ 60 cm の裂け傷があった。また、生育見込みの無いほどの損傷本数に、材質に影響すると考えられる辺材部損傷の本数を加えると、11 本(7%)であった。

## 5. 考 察

### 5.1 損傷位置

残存木が損傷を受けている位置は、伐列側、残存列側、斜面上側、斜面上側の 4 方向に分類して集計した。その結果、伐列側が 48 ヶ所で 49%、斜面上側が 17 ヶ所で 17%、斜面上側が 26 ヶ所で 26%、残存列側が 8 ヶ所で 8% であった。損傷の原因としては、残存列側は造材時の処理材の衝突が、斜面の上下は材の衝突と作業ブームの接触が、伐列側は材の衝突と履帯の接触がそれぞれ考えられる。フォーワーダ作業によると考えられる損傷は、斜面上側、斜面上側であった。

各損傷位置における損傷程度を表-5 に示す。伐列側の損傷程度の比率は、同表最下段に示す Total と同様な傾向を示している。斜面上側については、樹皮損傷の比率が高いが、生育に影響を及ぼすような強度の辺材部損傷、幹折れ、倒伏は生じていない。また、斜面上側の損傷程度の比率は伐列側同様 Total に似た傾向を示している。斜面の上下で損傷程度に差があるのは、造材作業時の位置関係がオペレータに近い方から残存木の斜面上側、処理材、残存木の斜面上側となっており、オペレータに近い残存木の斜面上側が遠近感をつかみやすく確認が容易であることから、重度の損傷が少なかったと推測できる。また残存列側も重度の損傷は生じていないが、この理由としては、この部位の損傷原因は造材時の処理材の衝突に限られ、作業地点から 3 m 程度は離れているために衝突速度が低かったことが考えられる。重度の損傷の発生位置が残存木の伐列側と斜面上側に限られていることから、この原因としては、処理材の衝突が主であると考えられた。

損傷位置の高さは、地上から 60~70 cm が最も多く 11% を占め、次に 20~30 cm と 80~90 cm が 10% ずつであった。また地上から 150 cm 以下にある損傷が全体の 89% を占め、170 cm 以下では 94%、最も損傷が集中している 20~100 cm に含まれる損傷が 59% であった。損傷位置の高さと損傷原因との関係としては、地上から約 1 m 程度までは処理材の衝突と履帯の接触が、1 m から 2 m 程度までは処理材の衝突が、それ以上では処理材の衝突と作業ブームの接触がそれぞれ考えられる。

損傷位置の高さと損傷の程度との関係は図-3 に示すとおりである。特に比例関係はみられず、

表-5 損傷位置と損傷程度

Table 5. The relationship between location and levels of damage

損傷位置	樹皮剝離 (%)	樹皮損傷 (%)	辺材部損傷 (%)	強度辺材部損傷 (%)	幹折れ (%)	倒伏 (%)
伐列側	58	17	15	8	0	2
斜面上側	41	53	6	0	0	0
斜面上側	46	27	19	4	0	4
残存列側	63	25	12	0	0	0
Total	51	27	12	5	2	3

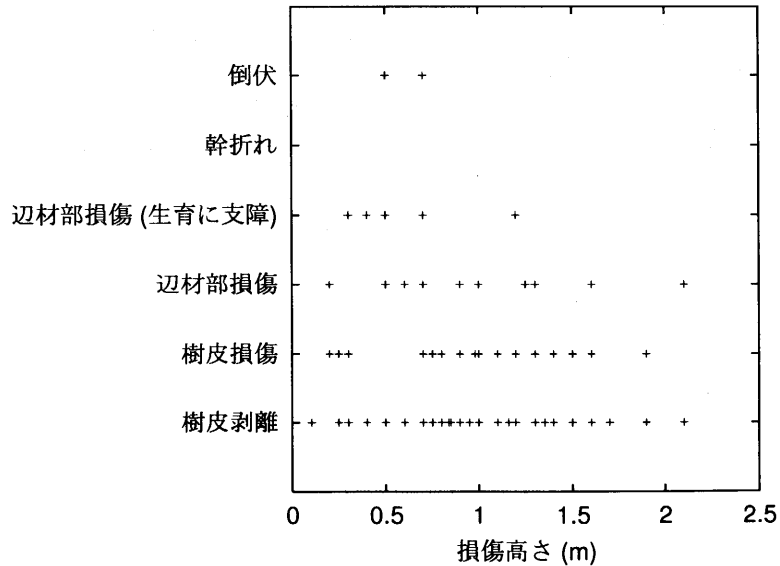


図-3 損傷位置の高さと損傷程度との関係.

Fig. 3. The relationship between heights and levels of damage.

損傷程度に軽度の方から樹皮剥離: 1, 樹皮損傷: 2, 辺材部損傷: 3, 辺材部損傷 (生育に支障): 4, 幹折れ: 5, 倒伏: 6 とポイントを与え数値化して算出した相関係数は、標本数 99 で  $-0.104$  と低い。しかしながら、同図より生育に支障があるような重度の損傷は、地上から 1.2 m 以下にのみ生じたことがわかる。すなわち、重度の損傷の原因としては履帯の接触、処理材の衝突が考えられ、作業ブームの接触では生じていないことがわかった。

## 5.2 損傷の大きさ

損傷の長さは、10 cm 以下のものが最も多く全体の 45% を占め、60 cm 以下の合計が 90%、90 cm 以下の合計が 95% であった。幅は、2~4 cm のものが最も多く 51% を占め、8 cm 以下の合計が 90%、10 cm 以下の合計が 95% であった。また面積は、50 cm<sup>2</sup> 以下のものが最も多く 49% を占め、350 cm<sup>2</sup> 以下の合計が 92%、450 cm<sup>2</sup> 以下の合計が 95% であった。

損傷の大きさと損傷の程度との関係は図-4 に示すとおりであるが、特に比例関係はみられず、前節同様損傷程度を数値化して算出した相関係数は、長さが 0.185、幅が 0.118、面積が 0.263 であった。標本数はいずれも 99 である。すなわち、長さ、幅とも危険率 5% で損傷程度と比例関係があるとは言えないという結果になる。面積だけは危険率 1% でも比例関係の可能性を棄却できないが、図-4 から損傷面積 1624 cm<sup>2</sup> の強度の辺材部損傷が大きく寄与していることが推測され、これを除いて相関係数を算出すると 0.170 となり、危険率 5% で損傷程度と比例関係があるとは言えないという結果になった。

## 5.3 損傷木の胸高直径

損傷木の胸高直径は、平均で 13 cm であり伐区全体の平均と等しい。内訳は 5~10 cm のもの

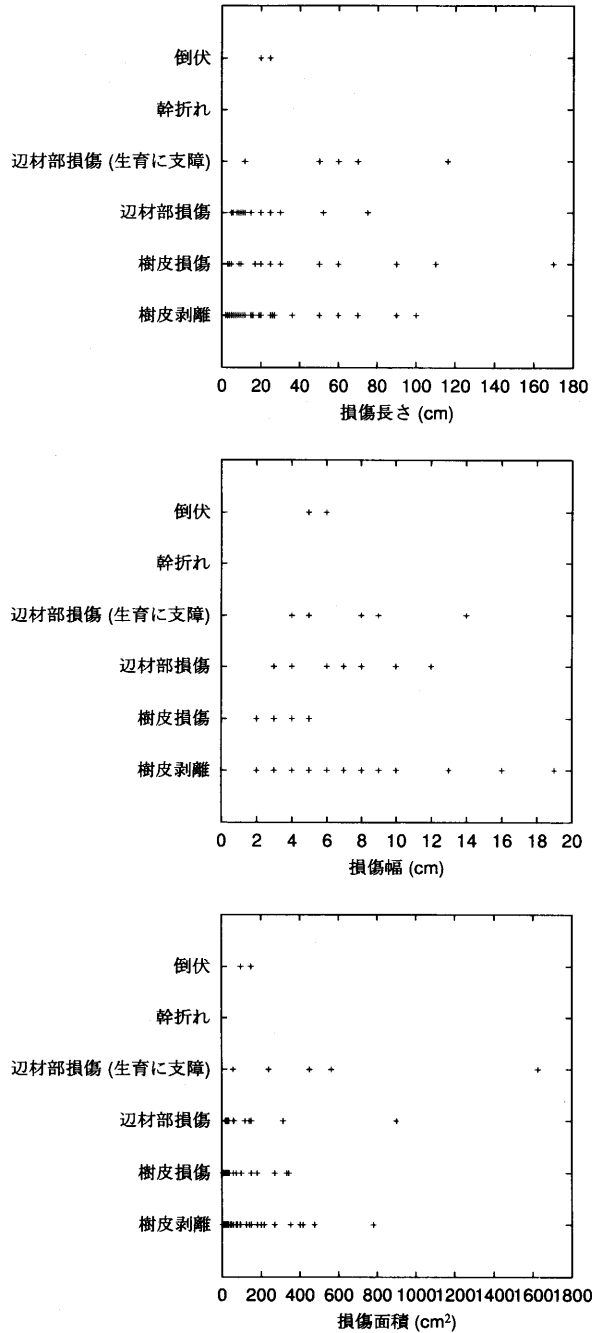


図-4 損傷の大きさと損傷程度との関係。

Fig. 4. The relationship between sizes and levels of damage.

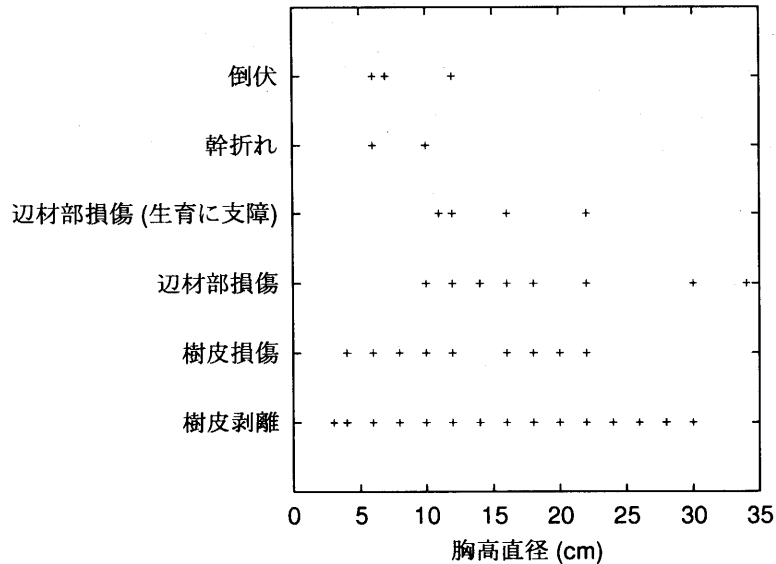


図-5 損傷木の胸高直径と損傷程度との関係。

Fig. 5. The relationship between DBH of a damaged trees and levels of damage.

が最も多く 37% を占め、20 cm 以下の合計が 90%、25 cm 以下の合計が 95% であった。

胸高直径と損傷の程度との関係は図-5 に示すとおりであり、特に比例関係はみられず相関係数も標本数 92 で 0.03 と低いが、幹折れ木と倒伏木の最大胸高直径は 12 cm で、伐区平均よりも細い木のみで生じていることがわかる。これは、小径木が強度的に弱いことも原因と考えられるが、成長不良木とみなされて作業時の扱いが丁寧ではなかったとも推測できる。

## 6. ま と め

調査の結果、ハーベスタ作業のみが行われた直後（表-3）と、集材路を作設して集材作業を行った後（表-4）との間で、残存木の損傷状況の差はほとんど無かった。また作業状況から考えて明らかにフォワーダ作業による損傷といえる例は 2 例しか無かった。したがって、残存木の損傷はほとんどがハーベスタ作業によって発生したと言えよう。フォワーダ作業による損傷が少なかった理由としては、短かく造材された材を集材するので林内でも操作の自由度が高く残存木をよけやすいこと、材を積載するグラップルローダが比較的細身でフレキシブルであり細かい操作を柔軟に行えたことなどが考えられる。ここで、両調査結果をまとめて考えると、生育の見込みがないほどの辺材部損傷や幹折れ、倒伏の合計は 10 本で、調査総数 231 本の 4% にすぎない。人力伐倒した場合でも掛かり木などでこの程度の損傷は生じると考えられるため、特に大きな被害であると言いきることはできない。しかしながら、この損傷に変色など材質に影響すると考えられる辺材部損傷も加えると合計 20 本となり、調査総数の 8~9% に達する。すなわち、辺材部損傷を受けて材の価値が無くなったと仮定すると、1 伐 2 残で 30% 余りであるはずの間伐率が 40% 以上になったのと同じことになる。したがって、辺材部損傷以上の損傷をいかに減らすかが重要であろう。



損傷の発生位置に関する検討の結果、重度の損傷の原因としては、処理材の衝突と履帯の接触が考えられた。また、オペレータから確認し易い部位については重度の損傷が少ないという傾向が示唆され、作業地点から離れた場所における損傷は軽度であった。したがって、作業空間を十分に確保することによって、オペレータは操作を確認し易い位置で損傷に考慮しながら作業を行うことが可能となり、また残存木から作業地点までの距離も大きくなり重度の損傷が発生し難くとなると考えられた。

損傷の大きさについては損傷程度との相関性が認められなかったが、損傷木の胸高直径については、重度の損傷は林分平均よりも細い木に発生していることがわかった。現時点での成長不良木を早期間伐対象木ととらえるのではなく、年輪幅の狭い今後価値が増加する可能性を持った木ととらえる立場をとるならば、小径木周辺では通常以上に丁寧な作業が要求されることになる。

損傷を減少させられるような、丁寧な作業を行える作業空間を確保するためには、1伐2残という作業方法では伐開幅が狭過ぎると言えよう。すなわち、既存の植え幅1.8mの林分では、1列伐開してもその幅は残存立木の中心距離で3.6mしかなく、全幅2.6m(表-1)の機械が進入するには片側50cmの余裕しか無い。したがって、本林分の平均胸高直径が13cmであるので、根元径を胸高直径の2倍と見積もるならば、機械から残存木までの距離は37cmしか無いことになる。実際に、ハーベスタは前進で作業しながら林内へ進入した後、中での方向転換はできず後退で真っ直ぐ戻って来ていた。ハーベスタは立木という重量物を保持して作業するため小型軽量化は危険を伴うので、植え幅を広げるか、伐列数を増やす必要がある。エクスカベータタイプのベースマシンが旋回半径として最低でも履帯長の1/2以上が必要であることを考えると、作業範囲として4m以上は必要と考えられる(表-1)。ここで伐列数を2列とするならば、既存の植え幅1.8mの林分であっても作業範囲が5m以上確保でき、余裕を持った作業が可能であると考えられる。間伐率を現状のままとすると2伐4残という作業方法が考えられ、この方法ならば次回間伐においてさらに間の2列を伐採することが可能である。また、今後植栽する林分においては、植え幅を2~2.5mとすることによって、1伐でも4m程度の作業空間を確保することが可能となる。

本研究の調査は、林野庁の「高性能林業機械による新たな作業システムの確立に関する調査」の一環として行ったものであり、調査にご協力いただいた佐藤林業株式会社、全国素材生産業協同組合連合会の寺崎氏、北見地方素材生産事業協同組合の西村氏、鈴木氏に心から御礼申し上げます。

## 要 旨

履带式エクスカベータをベースマシンとするハーベスタと、ゴム履带式フォーワーダを用いて行われた1伐2残の列状間伐作業を対象として、残存木の損傷状況を調査した。ゴム履带式フォーワーダは不整地において履帯が外れやすいため、ハーベスタの作業後に集材路を作設する必要があった。標準地調査の結果、損傷の大部分はハーベスタによる伐倒造材作業によって引き起こされたものであり、集材路作設や集材作業によって引き起こされたことと確認できた例は少なかった。成長に支障があるほどの重度の損傷を受けた木の本数割合は全体の4%と少なかったが、材質の低下まで考えると全体の9%近くが影響を受けていた。これは1伐2残の列状間伐において、本数間伐率が40%以上になったのに等しい。検討の結果、損傷を減少させ、かつ損傷程

度を軽くするためには、ハーベスタの作業空間を十分に確保することが有効であると考えられる。すなわち、既存の林分においては2伐4残などのように伐開幅が広がるような作業方法を選択すること、新規植栽林分においては植え幅を2~2.5 mに広げることが有効である。

**キーワード:** 履带式ハーベスタ, ゴム履带式フォワーダ, 残存木, 損傷, 作業空間

### 引用文献

- 1) 有賀一広・岩岡正博・酒井秀夫・小林洋司(1997) 林業用大型機械による作業跡地の経年変化. 森利学誌, 12, 83-90.
- 2) 後藤純一(1997) 軽架線集材作業計画のための地形区分(1)—残存立木の被害と土壤の締め固め—. 森利学誌, 12, 9-18.
- 3) 熊倉由典・田坂聡明・酒井秀夫(1994) 林業用大型機械作業による林地土壤締め固めへの影響. 森利研誌, 9(2), 41-51.
- 4) M. Shishiuti and Y. Satomura (1995) Recovery of Soil Physical Properties and Growth of Planted Seedlings in About 10 Years Following soil Disturbance by Tractor Logging. J. Jpn. For. Eng. Assoc., 10, 139-144.
- 5) 鈴木保志・神崎康一・川上好治(1993) 間伐伐出作業による残存林分の損傷と林分の事後成長. 日林誌, 75, 528-537.

(1997年4月30日受付)

(1997年9月12日受理)

### Summary

The damage to the residual stand caused by a line thinning operation with a tracked excavator based harvester and a rubber tracked forwarder was investigated. The rubber tracks of the forwarder were so easily detached from the wheels that the forwarder needs skid trails constructed after the harvesting operation by a tractor. The observations at sample plots show that a greater part of the damage was caused by the harvester operation while the rest of the damage, caused by tractor or forwarder operation, was minimal. The number of seriously damaged trees which will be retarded in growth was about four percent. The damaged trees in which timber quality will be reduced was almost nine percent. This means that the thinning rate exceeds forty percent when the operation was one row cut and tow rows remaining. Sufficient space for harvester operation is thought to be effective in decreasing the number of damaged trees and in lightening the damage. The improvement of work method to widen the thinning width in existing stands, such as two rows cut and four rows remaining, will be effective for this aim. With this method, 2 to 2.5 meters planting distance will be effective for newly planted stands.

**Key words:** Tracked harvester, Rubber tracked forwarder, Residual stand, Damage, Working space

## A Line Thinning Operation with a Crawler Type Harvester and Forwarder Combination and Its Impact on the Residual Stand

Masahiro IWAOKA, Kazuhiro ARUGA and Hiroshi KOBAYASHI

The damage to the residual stand caused by a line thinning operation with a tracked harvester and a rubber tracked forwarder was investigated. The examination showed that a greater part of the damage was caused by the harvester operation while the rest of the damage, caused by the tractor and the forwarder operations, was minimal. Sufficient working space for a harvester will be effective in decreasing the number of damaged trees and in lightening the damage. The wider thinning width in existing and wider planting distances in new stands will be effective for this aim.

## Study on a Yarding Operation System Using a Self-propelled Hoist Carriage

Yoshiro NAGAI, Masahiro IWAOKA, Hideo SAKAI, Koki INOUE and Hiroshi KOBAYASHI

A yarding system assisted by self-propelled hoist-carriers was studied. A more precise simulation assessment was attempted by taking into consideration the spatial relation between the position of the rig and the timber yards. The results suggested the optimum yarding operation and system differ according to the configuration of cutting grounds, slope incline and the condition of timber yards.