

# 信州式搬出法の生産性に関する研究

－労働生産性と残存木損傷調査－

宮崎隆幸・白石 立\*・近藤道治・橋爪丈夫・今井 信\*

ジグザグ滑車を利用したハイリード方式（信州式搬出法）による間伐作業を対象に長野市と松本市の2か所の林分で労働生産性と残存木損傷調査を実施した。

木寄集材作業による労働生産性は、長野試験地では $6.27\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ 、松本試験地では $10.08\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ であった。松本調査地の作業システム全体の労働生産性は $7.71\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ で、架線系作業システムとしては高い結果であった。また、残存木損傷率は、長野試験地では3.0%、松本試験地では3.6%であった。タワーヤーダ点状間伐による下げ荷木寄集材の場合の残存木損傷割合は12.5%～14.5%であり、列状間伐で作業を行ったことと、残存木損傷防止策を実施したため、点状間伐に比べ残存木の損傷を軽減できたと考えられた。

キーワード：信州式搬出法、タワーヤーダ、労働生産性、残存木損傷

## 1 はじめに

近年、森林資源が充実しその多くが利用可能な段階となって、間伐等の森林整備を通じ安定的な木材供給体制を整備することが求められている。現在、施業プランナー等が森林所有者に対して積極的な森林施業の呼びかけを行い、施業地の集約化を進め、間伐材の搬出事業地を団地化することにより、安定的な事業地確保を進めている。

このような中で長野県では間伐材搬出のためにジグザグ滑車を使ったハイリード式搬出法（以下「信州式搬出法」という。）を推奨している。このシステムは、長野県北部にある「北信木材生産センター協同組合」が開発し、現在、他の事業体にも普及している。列状間伐による間伐材搬出法で、図-1に示したように信州式搬出法は、タワーヤーダ（スイングヤーダ）を利用したハイリード式搬出法であり、沢地形など複雑な地形や状況に対応し、ジグザグ滑車を使用することで、林内で木寄集材木の方向転換のみでなく、現場に応じて木寄集材路上まで木寄集材木を引き出すことができ、木寄集材距離は最大で400mまでとされている。

本調査は、日本林業技士会委託事業「低コスト作業システム構築事業」（2007）日本森林技術協会委託事業「低コスト作業システム構築事業」（2008）によるものである。

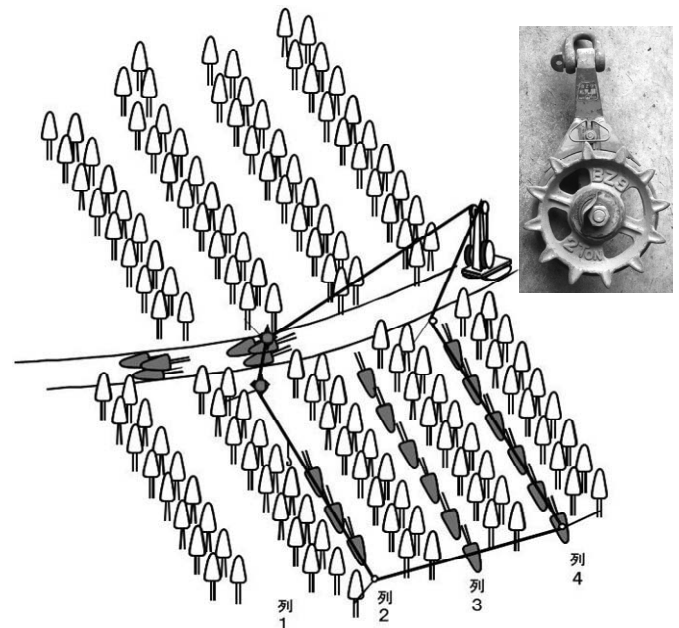


図-1 信州式搬出法模式図とジグザグ滑車

タワーヤーダは、固定したままで、列1、列2と順次、索を張り替えて木寄集材木を集材路上まで引き出すシステム

## 2 調査の方法

### 2.1 間伐試験地

#### 2.1.1 長野試験地

長野県北部の長野市信州新町の私有林に間伐試験地を設置した（写真-1）。調査地の標高は690～770mで、平均傾斜21度の比較的なだらかな傾斜である。樹種はスギが大半を占めるが、ヒノキやカラマツが混在している。林齢は40年生である（表-1）。

\*元長野県林業総合センター主査兼林業専門技術員

表-1 調査地の概要

試験地	樹種	面積 (ha)	林齢 (年生)	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)	間伐前本数 (本/ha)	地形傾斜 (度)
長野	スギ・ヒノキ・カラマツ	4.56	40	26.0	21.0	1,331	21
松本	カラマツ	1.28	47	33.5	26.5	326	24



写真-1 調査地の状況 (長野市)



写真-2 調査地の状況 (松本市)

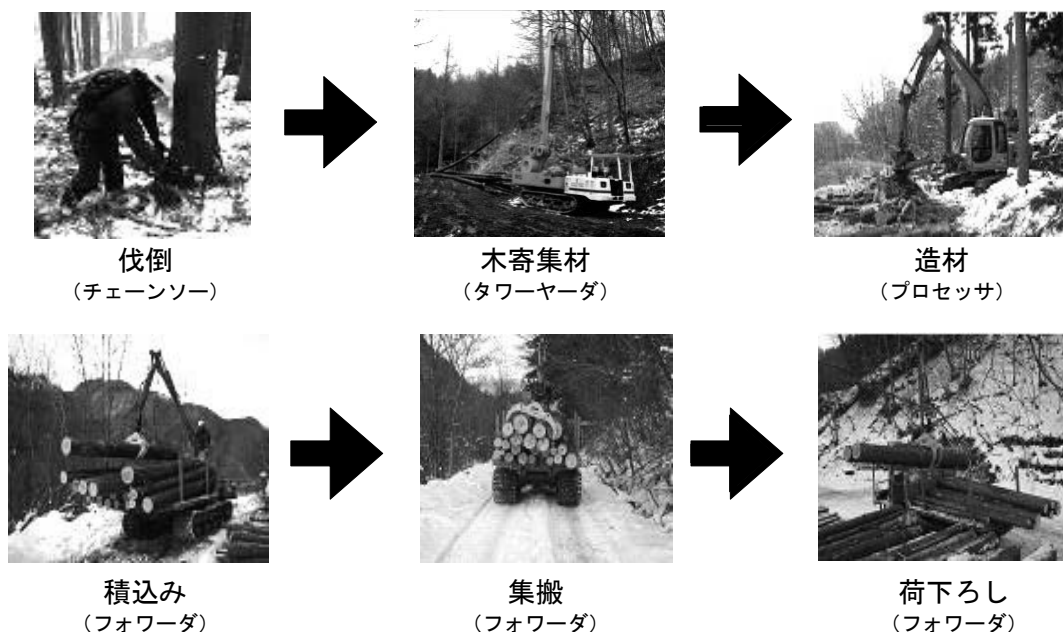


図-1 信州式搬出法における作業システム

表-2 使用機械の機種一覧

作業区分	使用機械		
	機種	長野試験地	松本試験地
木寄せ集材	タワーヤーダ	TY-U4	TY-U3B
造材	プロセッサ	GP35A	GP35T
集搬	フォワーダ	U-4BG	U-4BG

使用機械は、イワフジ社製

### 2.1.2 松本試験地

長野県中部の松本市入山辺県有林に間伐試験地を設置した (写真-2)。調査地の標高は 1,240～1,310mで、沢沿いは緩やかな斜面であるが、中腹から尾根にかけては 30 度を超える急斜面も見られ、平均傾斜は 24 度である。樹種はカラマツで、林齢は 47 年生である (表-1)。

### 2.2 林分調査と作業分析

調査対象林分にプロットを設定し、プロット内の立木の胸高直径と樹高を測定した。胸高直径は林尺を用いて測定し、樹高はバーテックス（ハグロフ社製、バーテックスⅢ）を用いて測定した。林分調査の結果を表-1に示した。

長野試験地は、平均樹高 21m、平均胸高直径 26cm、ha 当たり 1,331本の立木が成立していた(表-1)。この林分の収量比数は、0.84 とやや過密な林分であったが、過去に十分な保育作業を実施しなかったため、成長が不良となった立木や枯損木も目立っていた。

松本試験地は、平均樹高 26.5m、平均胸高直径 33.5cm、ha 当たり 326本の立木が成立していた(表-1)。この林分の収量比数は、0.70 と適正な密度管理が行われていたが、ツルが巻き付いている立木が多かった。

長野試験地では3残1伐の列状間伐、松本試験地では2残1伐の列状間伐を実施した。

作業システムは、チェーンソー伐倒、信州式搬出法による木寄集材、プロセッサ造材、フォワーダによる土場までの集搬を実施し(図-1)、それぞれの作業をビデオで撮影した。木寄集材、造材、集搬に使用した作業機械を表-2にそれぞれ示した。

### 2.3 残存木損傷調査

2か所の試験地の立木を対象として、伐倒や木寄集材作業により生じた残存木損傷状況を作業直後に調査した。

## 3 調査結果と考察

### 3.1 長野試験地における調査結果

#### 3.1.1 木寄集材工程における労働生産性

長野試験地では、木寄集材工程に関する調査のみを行った。

間伐現地で撮影したビデオを解析し、木寄集材の作業時間とサイクル数を求め、これらとあらかじめ測定した材積から1時間当たりの生産性 ( $m^3$ /時間) を算出し、1日の労働時間を6時間とした労働生産性 ( $m^3$ /人・日) を計算した。それらの結果を松本試験地と合わせて表-3に示した。

生産性は、 $2.09m^3$ /時間で、労働時間を6時間とした場合の労働生産性は  $6.27m^3$ /人・日であった。

#### 3.1.2 木寄集材工程で見られた特殊作業

信州式搬出法では、脱索、材落がしばしば起きる。また、ジグザグ滑車をスムーズに通過させるための枝払いや8の字素輪加工のような特殊作業も必要になる。表-4にそれらが発生した回数と復旧に要した時間を示した。

##### (1) 脱索

ジグザグ滑車は、構造上滑車から索がはずれる脱索が発生する可能性が高く、2回発生し、その修復に要した時間は158秒/回であった(表-4)。

作業員への聞き取りでは、脱索は作業開始直後に集中しているとのことであった。架設又は張替えた後の最初の作業では、作業索のテンション具合やジグザグ滑車の通過速度が適切な状態で運転ができないため脱索が多く発生しているとのことであった。また、タワーヤーダのオペレータは、先山の作業状況や作業索のテンション、ジグザグ滑車の状況等の詳細な情報把握が困難な状態で操作をしているため、先山で作業をしている荷掛け作業員の適切な指示が必要である。適切な指示が出せる作業員になるためには経験年数が必要である。また、先山の指示のとおりタワーヤーダが操作できない作業員も必要となる。

##### (2) 材落

材落は、木寄作業で材を移動中に材が荷掛けワイヤロープからはずれ落ちることで、作業索が大きく揺れた時に発生する傾向がある。材落後、材を再度荷掛け作業が必要となり、それに要した時間は162秒であった(表-4)。材落を発生させないオペレータの操作技術と確実な荷掛け作業が可能な先山作業員が必要である。

##### (3) 枝払い

ジグザグ滑車の構造上、作業索と荷掛けワイヤロープが重なったときや枝などが挟まったときに脱索が発生する。このため、枝払い作業を行うことでスムーズな滑車通過が可能となるため、状況に応じて枝払いを実施していた。

##### (4) 8の字素輪の加工

信州式搬出法では、引寄索(以下「HAL」という。)と引戻索(以下「HBL」という。)を双輪により連結し、荷掛けスリングを掛けるフックとHALのアイとの中間を8の字素輪で連結する(図-2)。こうすることにより加工の段階でつぶし

表-3 各工程の作業状況一覧

試験地	作業区分	材積 (m <sup>3</sup> )	サイクル数 (回)	平均移動距離 (m)	作業時間 (秒)	セット人員 (人)	生産性 (m <sup>3</sup> /hr)	労働生産性 (m <sup>3</sup> /人・日)	1サイクル平均	
									材積 (m <sup>3</sup> )	サイクルタイム (秒)
長野	タワーヤード木寄	9.65	30	223	16,659	2	2.09	6.27	0.32	555
	チェーンソー伐倒	24.14	25	—	15,763	1	5.51	33.06	0.97	631
松本	タワーヤード木寄	92.78	82	142	73,683	2	4.53	13.59	1.13	899
	プロセッサ造材	50.94	72	—	7,983	1	22.97	137.82	0.71	111
	フォワーダ集搬	41.67	6	4,296	16,797	1	8.93	53.58	6.95	2,800

表-4 長野調査地で見られた特殊作業

脱索状況		材落		枝払い		8の字素輪		索の張替え	
回数	作業時間 (秒/回)	回数	作業時間 (秒/回)	回数	作業時間 (秒/回)	回数	作業時間 (秒/回)	回数	作業時間 (秒/回)
2	158	2	162	荷掛け時: 3回 材移動時: 2回	66 48	1	568	3	2,163

た形状に近くなり、ジグザグ滑車の爪に双輪が引っかけにくくなり、脱索防止効果が期待できる。8の字素輪の加工に要した時間は、568 秒/回であった (表-4)。

### 3.2 松本試験地における調査結果

松本試験地では、伐倒、木寄集材、造材、集搬の各工程の作業分析を行い、その結果を表-3 に示した。

#### 3.2.1 伐倒工程

2残1伐の列状間伐を実施し、間伐率は27.8%であった。

伐倒工程の生産性は5.51m<sup>3</sup>/時間、労働時間を6時間とした場合の労働生産性は、33.06m<sup>3</sup>/人・日であった (表-3)。

試験地内の立木密度は326本/haと低かったが、ツルがらみや偏心木が多く慎重な伐倒作業を行った。

通常、造材にプロセッサを使用するシステムでは、伐倒時に枝払いを行わないが、対象木の枝が太く、プロセッサでの枝払いが困難なため、チェーンソーで枝払い作業を実施した。枝払いに要した時間の割合は23%であった。

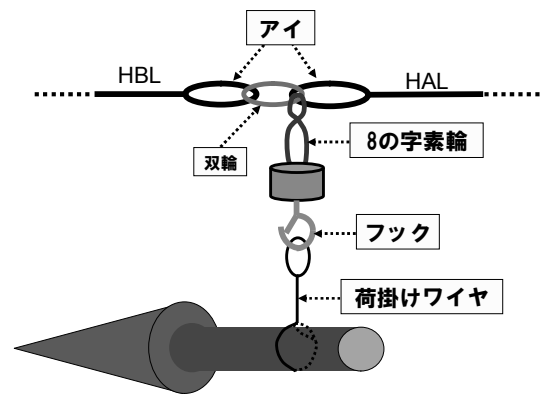


図-2 結束部の模式図

#### 3.2.2 木寄集材工程

##### (1) 労働生産性

タワーヤードから100mの間には小沢越えがあり、さらにこの区間は木寄集材を行わない区域であった。木寄集材距離は100から240mで平均は142mであった。また、タワーヤードから木寄集材作業の状況が尾根にさえぎられ視覚的にオペレータから確認できない特殊な条件下で行っていた。

調査サイクル数は82回、木寄集材方法は下げ荷、平均木寄本数は1本で材積は1.13m<sup>3</sup>/回であった。生産性は4.54m<sup>3</sup>/時間、労働時間を6時間とした場合の労働生産性は13.59m<sup>3</sup>/人・日

表-5 長台付けワイヤロープによる木寄集材と索張替えによる木寄集材との生産性の比較

工 程	セット人員 (人)	調査本数 (本)	材積 (m <sup>3</sup> )	労働生産性 (m <sup>3</sup> /人・日)
長台付けワイヤロープ	2	7	5.37	16.69
張り替え	2	75	87.41	13.44

あった(表-3)。また、信州式搬出法の特徴である木寄集材列を移動するための索の張替え作業を3回行い、1回当たりの張替えに要した時間は2,163秒であった(表-4)。

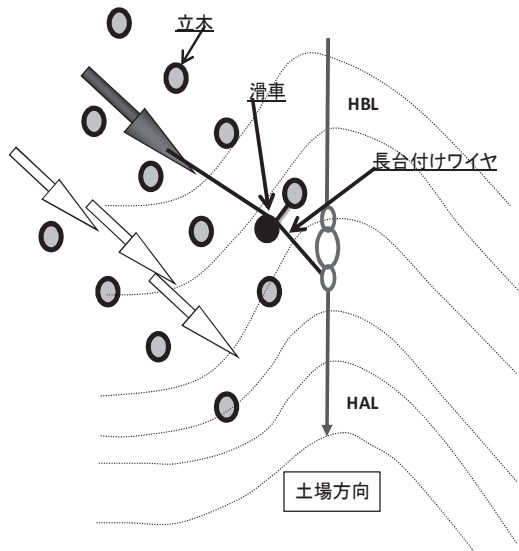


図-3 長台付けワイヤロープを用いた木寄方法

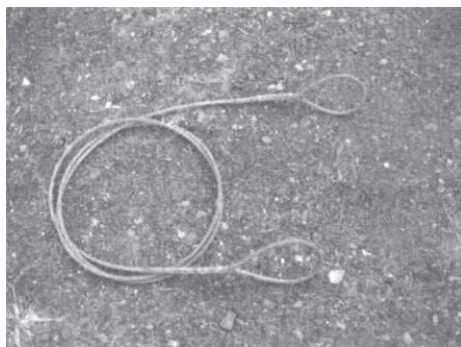


写真-3 長台付けワイヤロープ

(2) 長台付けワイヤロープによる木寄の生産性

木寄作業員によると1列の木寄集材木が4から5本程度の場合は、通常の索の張り替え方法ではなく、図-3に示したような長台付けワイヤロープ(写真-3)を使用した木寄集材作業を実施しているとのことであった。

長台付けワイヤロープを使用した木寄集材作業は、HALに近い立木に木寄集材木の方向をコントロールするための滑車を取付けて、長台付けワイヤロープ(写真-3)のアイをHALのアイに連結し、木寄せする。次に、HBLのところまで引き出したところで、双輪のフックに木寄集材木を付け替えてタワーヤードまで集材を行う。試験地では3列を対象に合計7本を長台付けワイヤロープを使用して木寄せを行った。1列当たりの本数は、

最小で1本、最大で3本であった。HALまでの木寄距離は、最大で21.2m、最小で6m、平均12.4mであった。

この方法での労働生産性を張り替えによる場合と比較した。いずれの場合もタワーヤードまでの木寄集材について比較した。その結果は表-5のとおりで、長台付けワイヤロープを用いた木寄集材の労働生産性は索張り替えの1.2倍であった。

3.2.3 造材工程

プロセッサによる造材作業の生産性は、22.97 m<sup>3</sup>/時間で、労働時間を6時間とした場合の労働生産性は137.82m<sup>3</sup>/人・日であった(表-3)。プロセッサにより造材した素材本数は296本で、1本当たり27秒かかった。枝払いを伐倒時に行ったので、鋸断のみの作業であった。

3.2.4 集搬工程

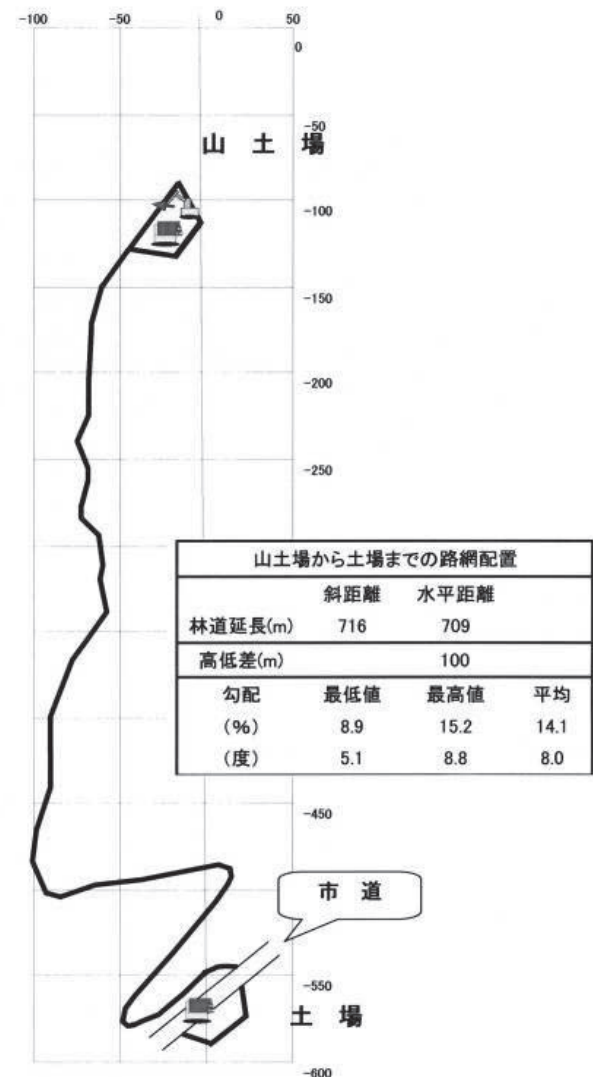


図-4 山土場から土場までの路網配置

集搬作業は、山土場から下方 716mの市道わきの土場までフォワーダで林道を走行した。山土場から土場へは下り勾配のため、実走行は下り、空走行は登りとなる。林道の勾配は最大で 15.2%、最小で 8.9%であった(図-4)。

集搬工程の生産性は、8.83m<sup>3</sup>/時間で、労働時間を6時間とした場合の労働生産性は53.58m<sup>3</sup>/人・日であった。

曲線部では、積荷の材の挙動に注意しながらスピードを落として走行していた。走行速度は、実走行で 5,688m/時間、空走行で 6,264m/時間であった。

### 3.2.5 システム全体の生産性

松本試験地の時間観測結果から、表-6 に示したとおりシステム全体の労働生産性は、7.71m<sup>3</sup>/人・日であった。今回の条件は、ツルがらみや偏心木が多く慎重な伐採作業が必要だったこと、枝払いをチェーンソーで行ったこと、タワーヤードから約 100m間は小沢越えや木寄集材作業を行わなかったこと、タワーヤードの設置場所から木寄集材の作業が確認できなかったことなど負の因子があった。

過去の信州式搬出法の労働生産性が 1.46m<sup>3</sup>~3.42m<sup>3</sup>/人・日である<sup>1)</sup>ことを考えると負の因子がある中で、現場での工夫により生産性の向上が図られたといえる。<sup>4)</sup>

また、チェーンソーによる枝払い、ツルがらみの状況等今回の作業における負の因子を取り除くことにより、さらに労働生産性を向上させること

表-6 システム全体の生産性

試験地	工程	セット人員 (人)	生産性 (m <sup>3</sup> /hr)	労働生産性 (m <sup>3</sup> /人・日)
松本	伐倒	1	5.51	33.06
	木寄せ	2	4.53	13.59
	造材	1	22.97	137.82
	集搬	1	8.93	53.58
システム全体			1.79	7.71

### システム生産性の算出式<sup>5)</sup>

$$S = 1 / (1/X_1 + 1/X_2 + 1/X_3 + 1/X_4)$$

S: システム生産性(直列作業)

X<sub>1</sub>: 伐倒生産性      X<sub>2</sub>: 木寄生産性

X<sub>3</sub>: 造材生産性      X<sub>4</sub>: 集搬生産性

ができると判断された。

### 3.3 残存木の損傷調査

#### 3.3.1 損傷木の発生

長野試験地では、残存木に損傷を受けた本数は13本で、調査区域内の本数に対して3.6%であった。

損傷が発生した立木位置は、魚骨状間伐を実施した交差点部分(図-5のA部分)と材の旋回部分(図-5のB部分)に集中しており、架線の直線部分ではほとんど見られなかった。

松本試験地では、損傷の発生位置の特徴を把握するため、沢沿いの索から左右 100m以内の区域(以下「沢沿い区域」という。)と図-6の網掛け部分の区域とそれ以外の区域に分けて、その発生率を比較した。沢沿い区域は、魚骨状間伐の交差点部分である。

その結果、沢沿い区域の残存木損傷率は9.8%(9本/61本)、それ以外の区域は1.3%(3本/240本)であった。沢沿い区域とそれ以外の残存木損傷をχ<sup>2</sup>独立性の検定で有意差を検討したところ、沢沿い区域の残存木損傷率が有意に高く(P<0.01)、沢沿い区域に残存木損傷が集中していることが明らかとなった<sup>5)</sup>。これは、沢沿いの区域は、魚骨状間伐の交差点部分で木寄集材木が旋回するため、残存木への衝突などが発生しやすいためと考えられた。

表-7 間伐率と残存木の損傷

試験地	間伐前本数 (本/ha)	間伐率 (%)	間伐後本数 (本/ha)	損傷木本数 (本)	損傷率 (%)	面積 (ha)
長野	466 (1,331)	22.1	363 (1,037)	13 (37)	3.6	0.35
松本	417 (326)	27.8	301 (235)	9 (7)	3.0	1.28

( )はha当たり本数

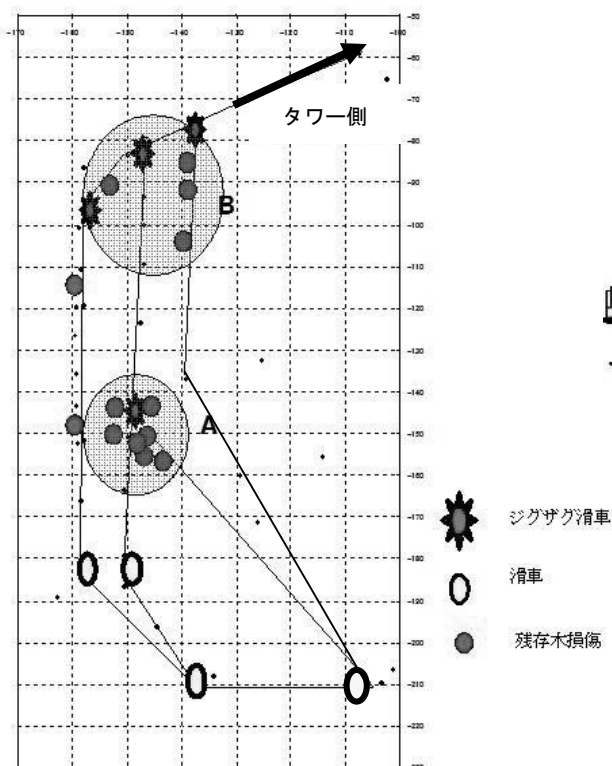


図-5 損傷木の発生位置

A : 魚骨状間伐の交差点  
B : 材の旋回部分

### 3.3.2 残存木の損傷防止

調査地内の立木に対して発生した損傷木の割合は、3.0と3.6%であった。また、損傷木が発生している場所は、ジグザグ滑車の付近や間伐木の方が変わる箇所が発生しているため、北信木材生産センター協同組合は、以下のような残存木損傷軽減策を実施することで損傷の軽減を図っている。

①間伐木は高さ1m程度の高い位置で伐採し、間伐木の切り株を残存木損傷防止のための杭の役目をさせる(写真-4)。

② 旋回部分ではいくぶん強度に間伐を行い、旋回しやすい林分状況を整える。

③樹脂製品を利用して立木を保護する(写真-5)。

タワーヤードによる点状間伐下げ荷集材の損傷率12.5%~14.5%<sup>1)</sup>と比較して残存木損傷率は極めて低く、点状間伐に比べ列状間伐では残存木損傷を軽減できることが今回の調査からも明らかとなった。また、過去に調査した信州式搬出法による残存木損傷は2.3%~6.7%<sup>3,4)</sup>、今回の調

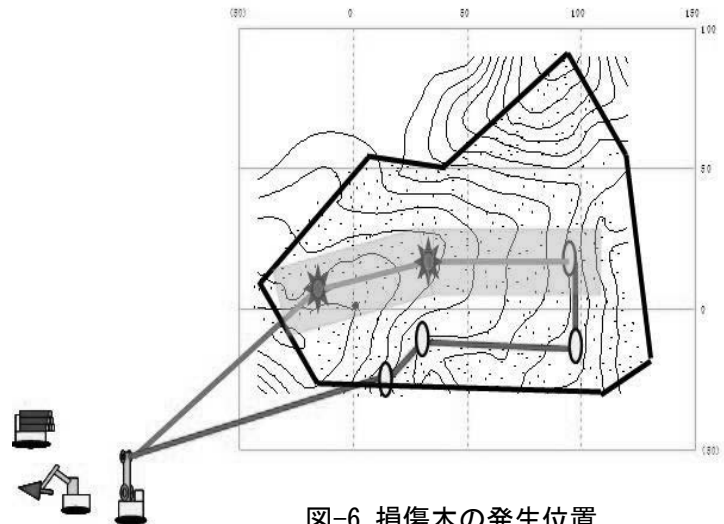


図-6 損傷木の発生位置

網掛部：損傷木の発生が多かったH.A.L.から10m以内の沢沿い区域

査結果とほぼ同じであった。このことから、現状の信州式搬出法の平均的な残存木損傷率は5%程度と考えられた。



写真-4 高伐り伐根



写真-5

樹脂製品を利用した方法

## 4 おわりに

信州式搬出法は、車両系搬出システムでは搬出できない過酷な条件で実施している。松本の試験では、タワーヤードから木寄集材区域まで100m

以上離れた場所からの搬出事例であってもシステム全体の労働生産性が  $7.71\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$  であった。通常の信州式搬出法より労働生産性が高い結果となった要因としては、長台付けワイヤロープを利用した木寄など作業員の工夫によるものと、木寄せ材した立木材積が  $1.13\text{m}^3$  と大きかったことが考えられた。

今後、森林整備が進み、年数が経過することにより単木材積が充実すれば、架線系作業システムでも  $10\text{m}^3$  近い労働生産性が得られることが考えられる。今後も信州式搬出法の事例調査を行って架線系作業システムの有効性を検討する必要がある。

## 5 謝辞

本調査の実施に当たり、現場での作業を担当していただいた北信木材生産センター協同組合には大変お世話になった。ここに深く感謝申し上げます。

## 引用文献

- (1) 今井信・近藤道治・宮崎隆幸（2007）長期育成循環施業等に応じた高性能林業機械化等作業システムの開発－列状間伐での伐出作業の実態調査（伐区調査）－. 長野県林総セ研報 22. P. 1-10
- (2) 近藤道治（2003）機械化作業システムに適合した森林施業法の開発－機械化作業が森林にあたる影響－. 長野県林総セ研報 17. P. 1-20.
- (3) 日本林業技士会（2008）低コスト作業システム構築事業報告書. 249P. 日本林業技士会, 東京.
- (4) 近藤道治・白石立・橋爪丈夫・宮崎隆幸（2010）ジグザグ滑車を使用したハイリード方式（信州型搬出法）による間伐事例. 森林学誌 25(1).
- (5) 全国林業改良普及協会（編）. 機械化のマネジメント. 技秀堂, 2001, P. 115-117.