

長期育成循環施業等に対応した高性能林業機械化等作業システムの開発（Ⅱ）

—機械化作業が森林に与える影響—

近藤道治・今井 信

高齢化しつつある林分を対象とし、間伐作業による残存木損傷について調査したところ、立木密度が低い林分や道路上から直接間伐木をプロセッサなどで掴んで集材できる林分での損傷率が低かった。循環型森林施業方法を確立するため複層林管理に必要な技術について検討したところ、複層林の上木伐採にともなう下木損傷は列状複層林の方が点状複層林よりも少なく、上木を3列以上残す列状複層林がもっとも少なかった。複層林の上木伐採により倒伏した下木ヒノキは回復できず、伐採直後30度以上傾斜したヒノキも半数が立ち直れなかった。また、幹折れや梢端折れが発生したヒノキは折損部分からS字状やほうき状になるものが多くみられた。複層林の上木伐採にともなう下木損傷軽減法として山側伐採と列状伐採の組み合わせが現実的な作業方法と考えられた。

キーワード：機械化作業、間伐、複層林、残存木の損傷、林地攪乱

第1章 はじめに

森林の公益的機能に対する県民の要望が高まる中、環境に適した質の高い森林の育成が望まれている。その一方で、カラマツ、ヒノキ等の針葉樹人工林は材価の低迷により主伐が遅れ高齢化しつつある。このため、現地では標準伐期齢を超えた針葉樹人工林が増加し、これらの林分に対する林業機械を利用した低コスト伐出技術の開発が求められている。

また、標準伐期齢を超えた森林の今後の更新方法を考えたとき、大面積皆伐一斉造林は環境に大きな負荷を与える。このため、大面積皆伐を行わずに更新を行う技術の確立が求められており、複層林等を中心とした循環型森林施業の開発が求められている。

本県での高性能林業機械を利用した間伐作業システムの研究は、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法の開発」（1997～2001）で初回収穫間伐（30～40年生）について検討し、点状間伐に比べて列状間伐の方が残存木の損傷率が少ないこと、発生した林地攪乱は軽微で面積も小さいことなどを明らかにした。

さらに今回は、高齢化しつつある人工林の間伐作業に対応するため、標準伐期齢を超えた林分を研究対象とした。ここでも初回収穫間伐時の研究と同様に、高性能林業機械を利用した間伐作業による残存木損傷（第2章）と間伐作業による林内の土壌環境への影響について検討を加えた（第3章）。

次に、循環型森林施業方法を確立するため複層林管理に必要な技術について検討した。まず様々な林型のカラマツ-ヒノキ複層林で上木伐採を行い、上木伐採が下木に与える損傷について調査した。これらの調査結果をもとに上木伐採が容易な

複層林の造成方法について検討を行った（第4章）。

次に、受傷した下木がその後どのような成長をするのかについて追跡調査を行ない、下木の成長に重大な影響を与える損傷を明らかにした（第5章）。さらに、上木伐採にともなう下木損傷をできる限り軽減するための作業方法について検討した（第6章）。最後に列幅を変えた列状伐採跡地にヒノキの植栽を行い、伐採列幅と下木成長の関係について調査し、複層林造成に適した列幅について検討した（第7章）。

本報告は、林野庁国庫補助事業「林業技術現地実用化事業」（2002～2006）で行った研究をとりまとめたものである。本報告の一部は、森林利用学会で発表した（近藤2005、近藤ほか2005、近藤ほか2006、近藤ほか2007）。

第2章 間伐にともなう残存木損傷の発生

2.1 研究の目的

標準伐期齢を超えた林分での間伐作業を調査対象とし残存木損傷について検討した。

ここでは、①過去に点状間伐を繰り返し行った結果、成立本数が400本程度までに管理された林分、②過去に2残1伐および3残1伐列状間伐を実施した林分、③標準伐期齢を超えた林分にもかかわらず、過去に間伐を行っていない過密林分、の3種類の林分で間伐を実施し、残存木の損傷状況を明らかにした。

2.2 調査地と調査方法

調査地の概要を表2-1に示した。松本調査地は過去に点状間伐を繰り返し行い、間伐前の本数密度は367本/haとなっていた。山腹傾斜が比較的緩やかなためトラクタを集材機械とした間伐を行ったが、最大集材距離が70mと短かったため、トラクタは林内に進入せずウインチにより集材した。間伐作業は、樹高幅の帯状伐採、樹高幅の1/2の帯状伐採、2列伐採、1列伐採、点状伐採の5種類の伐採を行った。

中野調査地は過去に3残1伐列状間伐を実施した林分で、今回は残存3列の中央列を列状に伐採した。集材機械はタワーヤードをもちいた。

伊那調査地は1978年に2残1伐の列状間伐を実施したカラマツ林分で、間伐実施後26年経過し、樹冠は再閉鎖していた。今回の間伐作業は点状に行い、伐倒方向は一定でなかった。調査地は林道に隣接し、傾斜も緩やかだったため、林内にクロ

ーラタイプのグラップルローダ(イワフジGS90LH, 重量16トン)が進入して間伐木を掴み、林道まで集材した。

これに対して飯綱調査地の2箇所は過去に間伐作業を行っておらず、林分は過密化していた。間伐作業は3残1伐列状間伐を実施した。飯綱(1)は林道に隣接した林分で集材距離は最大30mで、伐倒したすべての立木をプロセッサで直接掴んで集材することができた。一方、飯綱(2)は作業道に隣接していたが、最大集材距離が50mあり、作業道から直接集材できない立木は、プロセッサのウインチからワイヤーを引き出して集材を行った。

調査地では間伐前に林況調査(山腹傾斜、立木密度、胸高直径、樹高)を行うとともに、立木位置の測量を行い、立木配置図を作成した。集材作業をビデオテープに収録し、作業が完全に終了したのちに、残存木に発生した損傷を立木ごとに調査した。

2.3 結果と考察

2.3.1 間伐が繰り返されたてきた林分での間伐(松本調査地)

松本調査地では1.3%(3本/225本)の立木に損傷が発生していた(表2-2)。損傷の内容は、枝折れが2本、樹皮剥離が1本であった。このように、損傷率が低かった原因は、間伐前の立木密度が367本/haで立木間隔が約5mと広く、間伐作業がやりやすかったためと考えられた。現地では、過密な林分に比べ、伐倒、集材作業がスムーズに行われていた。

表2-1 調査地の概要

調査地	樹種	林齢(年)	山腹傾斜(度)	立木密度(間伐前)(本/ha)	本数間伐率(%)	集材機械	間伐方法	調査面積(ha)
松本	カラマツ	47	15	367	31.8	トラクタ (イワフジCT75)	列状・帯状	0.90
中野	スギ・カラマツ	45	18	767	28.9	タワーヤード (イワフジTY-U3)	列状	0.52
伊那	カラマツ	48	12	696	34.6	グラップルローダ (イワフジGS90LH)	点状	0.54
飯綱(1)	カラマツ	47	19	1079	31.0	プロセッサ (GP40A)	列状	0.09
飯綱(2)	スギ	40	24	1633	15.3	プロセッサ (GP35T)	列状	0.20

備考

- (1) トラクタ集材 : チェーンソー伐採+トラクタ集材+チェーンソー枝払い・玉切り
- (2) タワーヤード集材 : チェーンソー伐採+タワーヤード集材+プロセッサ枝払い・玉切り
- (3) グラップルローダ集材 : チェーンソー伐採+グラップルローダ集材+チェーンソー枝払い・玉切り
- (4) プロセッサ集材 : チェーンソー伐採+プロセッサ集材+プロセッサ枝払い・玉切り

2.3.2 3残1伐実施林分での2回目間伐(中野調査地)

過去に3残1伐列状間伐を実施し、今回は残存3列の中央列を列状に伐採したところ、5.9% (10本/169本)の残存木に損傷が発生した(表2-2)。損傷はすべて樹皮剥離であった。この結果は、初回収穫間伐をタワーヤーダで列状に集材を行った調査地の結果(近藤ら2003, 近藤2006)の2.3%~6.7%とほぼ同程度の損傷率であった。3残1伐実施後の2回目間伐は、立木が林齢とともに大きくなったものの初回間伐と作業条件は同じであり、損傷率も同じ程度発生することが明らかになった。

2.3.3 2残1伐実施林分での2回目間伐(伊那調査地)

過去に2残1伐の列状間伐を実施し、今回は点状間伐作業を実施したところ、残存カラマツの損傷が3.3% (8本/246本)に発生した(表2-2)。トラクタなど車両系集材システムで点状間伐を実施した場合、残存木の20%程度に損傷が発生する(井上ら1998)。それに比べて、今回の損傷率は極めて低かった。その原因は、前回の列状間伐跡地を走行路として集材作業を行ったため、機械走行しやすかったこと、グラップルローダの特性を生かし、間伐材を掴んで残存木に接触しないよう巧みに操作できたこと、などがあげられる。このように2残1伐実施林分での2回目間伐で、グラップルなどの林業機械が進入可能な林分では、初回間伐に比べて残存木損傷を軽減できる可能性が示唆された。

2.3.4 過密林分での間伐(飯綱調査地)

一方、過密化した林分で始めての間伐を列状に行った2事例の残存木損傷は、飯綱(1)で1.4% (1本/69本)、飯綱(2)では4.2% (7本/166本)であった(表2-2)。車両系集材システムで列状間

伐を行った場合、損傷率は15%程度(井上ら1998)発生するのに比べ、今回の損傷率は著しく少なかった。飯綱(1)では林道上のプロセッサがすべての間伐木を直接集材できた。一方、飯綱(2)もほとんどの間伐木を作業道上のプロセッサで直接掴んで集材したが、一部の間伐木はプロセッサのウインチからワイヤーを引き出して集材をする場合もあった。両者を比較すると、すべてを林道上のプロセッサで集材した飯綱(1)の方が、損傷率は少なかった。

このように、過密化した林分であっても路網上からプロセッサやグラップルで直接集材すると間伐木が残存木に接触しないよう巧みに操作することで、残存木損傷を著しく軽減できると考えた。

生産性向上のためばかりでなく、残存木損傷を軽減するためにも、林道や作業道を開設し、路網密度を高めることが重要であるといえた。

2.4 まとめ

標準伐期齢を超えた林分で高性能林業機械を用いた間伐作業を行い残存木損傷について検討した。間伐が繰り返され立木密度が低い林分では立木間隔が広い間伐作業が行いやすく、残存木損傷が極めて低かった。

また、林道や作業道に隣接し、道路上からプロセッサなどで間伐木を直接掴んで集材できる場合や、2回目の間伐林分で、前回の列状間伐跡地を走行路とし、グラップルローダで間伐木を直接掴んで集材できる場合の残存木損傷は軽微であった。

これらのことから、高性能林業機械を用いた間伐作業で残存木損傷を軽減するためには、立木間隔が広い林分であること、林道や作業道などの路網の確保が重要であることが明らかになった。

表2-2 残存木の損傷率

調査地	残存本数 (本)	損傷本数 (本)	損傷率 (%)	集材機械	間伐方法	集材形態	備考
松本	225	3	1.3	トラクタ (イワフジCT75)	列状		疎林分
中野	169	10	5.9	タワーヤーダ (イワフジTY-U3)	列状	全木集材	3残1伐実施林分
伊那	246	8	3.3	タワーヤーダ (イワフジGS90LH)	点状		2残1伐実施林分
飯綱(1)	69	1	1.4	プロセッサ (GP40A)	列状		過密林分
飯綱(2)	166	7	4.2	プロセッサ (GP35T)	列状		〃

第3章 林業機械の林内走行等が土壌環境に与える影響

3.1 研究の目的

間伐作業にともなう林業機械の林内走行ならびに間伐材の地引きにより土壌構造などに変化が生ずると考えられる。大型プロジェクト研究(1997～2001)では、初回収穫間伐(30～40年生)が森林土壌へ及ぼす影響について検討し、林地攪乱は軽微で小面積に限られることなどがわかった(近藤ら 2003)。しかし、林分の林齢が高くなり、1本当たりの立木材積が大きくなると、土壌環境に与える影響も大きくなると考えられる。このため、標準伐期齢を超えた林分での間伐作業が土壌に及ぼす影響を明らかにすることを目的に調査を行った。

3.2 調査地と調査方法

3.2.1 林地攪乱

調査は3箇所の間伐林分で行った。過去に2残1伐の列状間伐を実施し、グラップルローダで集材作業を実施した伊那調査地、過去に3残1伐列状間伐を実施し、タワーヤーダで列状に集材した中野調査地、それに、プロセッサで列状に集材を実施した飯綱(2)で調査を行った(第2章表2-1参照)。

伊那調査地ではグラップルローダ走行にともなう林地攪乱を、中野調査地、飯綱(2)では、間伐材の地引きにともない発生した林地攪乱を調査した。

調査は目視により攪乱状態を判定し、攪乱面積を測定することとし、攪乱状態は、重度攪乱、中度攪乱、軽度攪乱の3区分とした(表3-1)。

3.2.2 土壌孔隙量

林地攪乱調査を実施した伊那調査地、中野調査地、飯綱(2)で調査を行った。伊那調査地ではグラップルローダによる機械走行が土壌孔隙にあたえる影響を、中野調査地と飯綱(2)では間伐材の地

引による影響を調査した。調査は採土円筒法(400cc)により、表層下部5cm程度までの鉍質土壌を採取して土壌孔隙量を測定した。

林地攪乱と土壌孔隙量の調査は、伊那調査地では間伐作業直後の2004年12月に調査を実施したのち、2007年5月に2回目の調査を実施した。また、中野調査地では間伐直後の積雪により、飯綱(2)では間伐時の積雪のため、翌春2006年4月～5月に1回目の調査を実施し、2回目の調査は、両調査地とも2007年5月に行った。

3.3 結果及び考察

3.3.1 林地攪乱

グラップルローダで間伐作業を実施した伊那調査地の調査結果を、川上村のトラクタ集材の結果(近藤ら 2003)と比較した(図3-1)。川上調査地は林齢40年生の初回収穫間伐林分である。伊那調査地の間伐直後の林地攪乱面積率(林地攪乱面積/間伐区域面積)は調査地全体の8.2%であったのに対し川上調査地は4%であった。この内訳を攪乱程度別にみると、伊那調査地では重度攪乱195m²(44%)、中度攪乱213m²(48%)と、重度

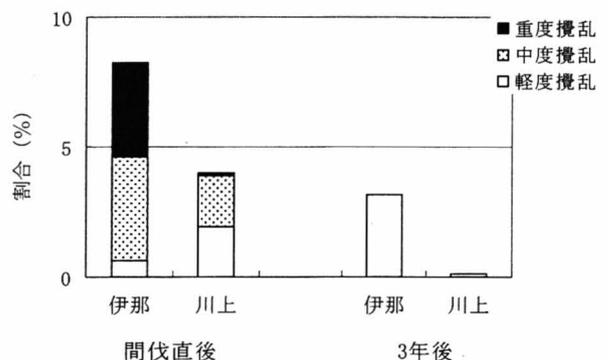


図3-1 林地攪乱の変化
(伊那調査地と川上調査地の比較)

表3-1 林地攪乱区分(森林総研 1999)

林地攪乱区分	定義
重度攪乱	材や車輛の通過により土壌が深く削られ無機質土が大部分露出している。
中度攪乱	材や車輛の通過により落葉層が攪乱され一部無機質土が露出している。
軽度攪乱	材や車輛の通過跡は残るが無機質土は露出していない。攪乱はごく浅い範囲にとどまっている。下層植生は折れ曲がる程度。地表面の沈下はごくわずか。

攪乱と中度攪乱がほとんどなのに対し、川上調査地の場合は中度攪乱 78 m² (49%) と軽度攪乱 76 m² (48%) が多かった。この原因は、立木の林齢が高く材積が大きくなりグラップルローダの1回の集材本数は1~2本とトラクタに比べて少なかったことで、走行回数が増え、重度攪乱の面積率が高くなったためと判断できた。

3年経過後の林地攪乱面積率でも伊那調査地の方が川上調査地に比べて高かった。しかし、攪乱程度は軽度攪乱と軽微になっていて、ガリーの発生など林地に重大な影響は発生していなかった。

タワーヤダで集材した中野調査地の結果を高遠調査地のタワーヤダ集材(近藤ら2003)と比較した(図3-2)。1999年の高遠調査地は林齢40年生の初回収穫間伐林分である。

中野調査地の間伐直後の林地攪乱面積率は、調査地の2.8%であったのに対し高遠調査地は0.8%であった。この内訳を攪乱程度別にみると、

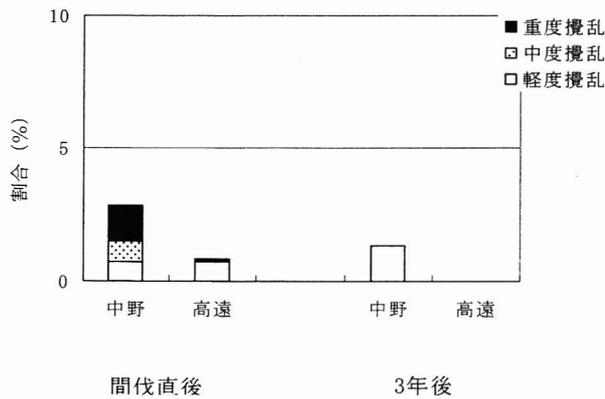


図3-2 林地攪乱の変化
(中野調査地と高遠調査地の比較)

中野調査地では重度攪乱 42 m² (47%)、中度攪乱 24 m² (27%) と、重度攪乱と中度攪乱が多かったのに対し、高遠調査地の場合は軽度攪乱 84 m² (87%) と軽度攪乱が多かった。この原因は、林齢が高くなり1本当たりの立木重量が大きくなったため集材にともなう林地攪乱面積率や攪乱程度が高くなったためと推定した。

3年経過後の林地攪乱面積率でも高遠調査地では林地攪乱がみられなかったが、中野調査地では林地攪乱が残っていた。しかし、攪乱程度は軽度攪乱と軽微になっていて、ガリーの発生など林地に重大な影響は発生していなかった。

一方、飯綱(2)は積雪期に間伐作業を実施したため林地攪乱は発生しておらず、この原因は作業が雪上で行われたためと判断できた。

これらのことから、標準伐期齢を超えた林分での林地攪乱は、1本当たりの立木材積が大きくなったことなどの影響で、集材にともなう林地攪乱面積率や攪乱程度は高くなり、影響も長期化する傾向がみられたが、林地に重大な影響を与えるような攪乱は生じていなかった。なお、積雪期の間伐作業は林地攪乱を軽減する作業法であるといえた。

3.3.2 土壌孔隙組成

伊那調査地の土壌孔隙量調査結果を図3-3に示した。伊那調査地では重度攪乱と非攪乱を対象に調査を実施した。2004年と2007年の土壌孔隙組成を比較したところ、2004年の粗孔隙率は重度攪乱14.8%、非攪乱25.1%で、重度攪乱ではグラップルローダの踏み固めによる粗孔隙率の減少が著しかった。2007年の土壌孔隙組成は、重度攪乱15.7%、非攪乱34.7%で、両者の差は減少しておらず、機械の踏み固めにより生じた土壌の圧密化は3年程度では間伐前の状態に回復しないと判断

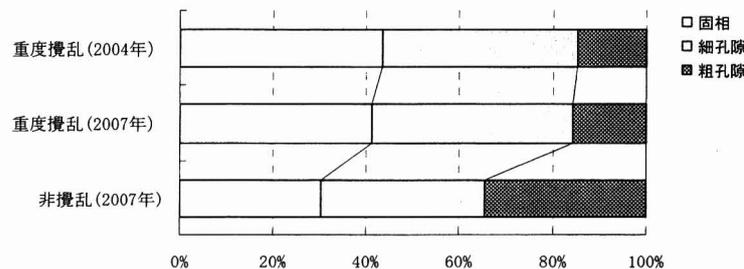


図3-3 土壌孔隙組成の変化(伊那調査地)

注1) 2004年の調査点数は重度攪乱2点

注2) 2007年の調査点数は重度攪乱3点、非攪乱3点

できた。

中野調査地の2006年と2007年の土壌孔隙量調査の結果を図3-4に示した。中野調査地では、重度攪乱、中度攪乱、軽度攪乱、非攪乱を対象とし調査を実施した。2006年の土壌粗孔隙率は、重度攪乱28.3%、中度攪乱26.9%、非攪乱42.2%で、重度攪乱と中度攪乱で間伐材地引きによる土壌粗孔隙量が減少していた。しかし、2007年には重度攪乱では28.8%と間伐材の地引きの影響が残っていたが、中度攪乱は34.8%で間伐前の状態に回復していた。このことから、間伐材の地引きによる中度攪乱は1年程度で間伐前の状態に回復するものと考えた。

なお、積雪期に間伐の地引き作業を行った飯綱(2)では、間伐材地引き区域で2006年には土壌粗孔隙率が多少減少していたが、2007年には原状

回復していた。

3.4 まとめ

標準伐期齢を超えた林分での間伐作業が土壌に及ぼす影響を明らかにすることを目的に調査を行った。今回の間伐林分では、初回収穫間伐林分と比較して林齢が高く1本当たりの立木材積が大きくなったことなどの影響で、林地攪乱面積率や攪乱程度が高かったが、ガリーの発生など林地に重大な影響は発生していなかった。

グラップルローダの踏み固めによる圧密化の影響は3年経過しても土壌孔隙に残っていたが、間伐材の地引きによる影響は、軽度攪乱では認められず、中度攪乱も1年程度で間伐前の状態に回復していた。

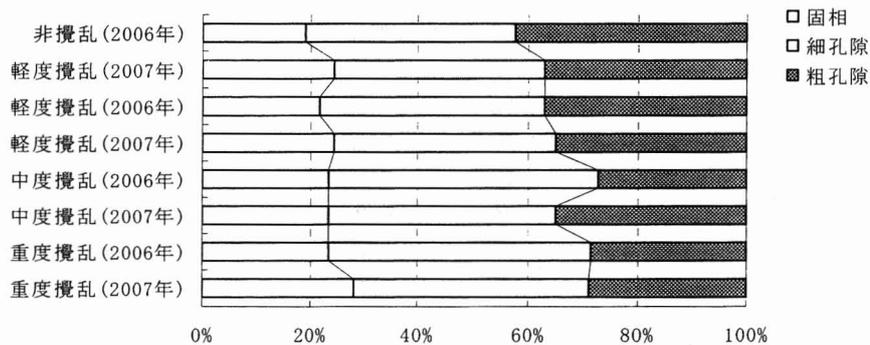


図3-4 土壌孔隙組成の変化 (中野調査地)

注1) 2006年の調査点数は攪乱2点、非攪乱3点

注2) 2007年の調査点数は2点

第4章 複層林の上木伐採にとまなう下木の損傷

4.1 研究の目的

長野県では、公益的機能の高度発揮と多様な森林づくりを目的に複層林を造成してきているが（長野県緑の基金 1994）、複層林の施業体系には未確立な部分も多く、上木伐採にとまなう残存木の損傷発生程度の調査事例もまだ少ない（藤下ら 1996, 近藤 2002, 丸本ら 1990, 日本林業技術協会 1982, 玉山 1992, 谷山 2004）。

今回、上木カラマツと下木ヒノキの4種類の複層林で上木を伐倒し、下木損傷について調査を実施した。その結果から、上木伐倒にとまなう下木損傷の少ない複層林の形態を検討した。

4.2 調査地と調査方法

上木カラマツ、下木ヒノキの複層林において、3か所の列状複層林と1か所の点状複層林で上木の伐採（間伐）を行い（表4-1、図4-1）、残存木の損傷率を比較した。調査地の選定にあたっては、林齢、林分の傾斜、作業員の経験年数などの条件がなるべく同じとなるよう配慮するとともに、作業システムが同一であることとした。

岡谷市の複層林は、1989年に1残1伐の列状伐採を実施し、翌年伐採跡地にヒノキを植栽した列状複層林である（以下、1残1伐複層林と呼ぶ）。今回の伐採は、カラマツを1列おきに谷側に伐倒した。

諏訪市の複層林は1987年に2残2伐の列状間伐を実施し、翌年伐採跡地にヒノキを2~3列植栽して造成した列状複層林である（以下2残2伐複層林と呼ぶ）。今回はカラマツ残存列の1列を列状に谷側に伐倒した。

千曲市の複層林は1992年に3残2伐の列状間伐を実施し、翌年伐採跡地にヒノキを3列植栽した列状複層林である（以下、3残2伐複層林と呼ぶ）。今回



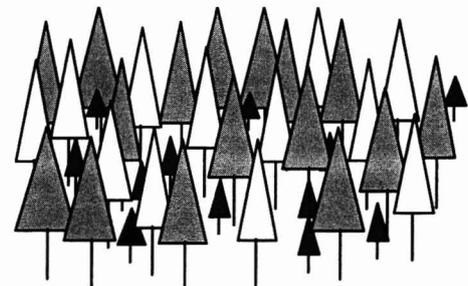
1 残 1 伐複層林



2 残 2 伐複層林



3 残 2 伐複層林



点状複層林

図4-1 複層林の模式図
(注) 白抜きの上木を今回伐採

表4-1 調査地の概要

複層林の造成方法	林齢 (年)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	伐採前本数 (本/ha)	調査面積 (ha)	標高 (m)	地形傾斜 (度)
列状複層林 (岡谷市)	上木	39	19.9	517	0.23	950	20
	下木	15	6.1	1,360			
列状複層林 (諏訪市)	上木	38	16.5	469	1.04	1300	20
	下木	14	4.6	1,828			
列状複層林 (千曲市)	上木	54	27.9	322	0.41	750	15
	下木	11	4.2	739			
点状複層林 (武石村)	上木	51	23.6	374	0.39	1,180	20
	下木	17	5.7	1,154			

は、カラマツ3列の中央1列を列状に谷側に伐倒した。

一方、上田市の複層林は、カラマツを点状間伐(単木的に伐採木を選択する間伐方法)した樹下にヒノキを均一に植栽した点状複層林である。今回の伐採も点状に行い、谷側に向けて伐倒したが、伐倒方向に規則性はなかった。なお、作業員の経験年数はいずれも20年以上であった。

4種類の複層林の伐採は、①チェーンソーで伐採、枝払い、②トラクタで土場まで集材、③土場ではチェーンソーまたはプロセッサによる玉切り、④グラップルで極積み、という作業システムで行った。

伐倒直後と集材直後に上木と下木の残存木損傷の有無を確認するとともに、発生した損傷については(1)梢端折れ、(2)樹皮剥離、(3)傾斜・倒伏、(4)幹折れ、(5)枝折れ(大)、(6)枝折れ(中・小)に区分した(表4-2)。なお、材部損傷は樹皮剥離に含めた。

4.3 結果と考察

4.3.1 下木の損傷

調査結果は表4-3のとおりである。

発生した下木の損傷を、伐採率がほぼ同じ1残1伐複層林と点状複層林で比較すると、点状複層林が39.3%、1残1伐複層林が27.8%と列状複層林の方が損傷率は少なかった。また、2残2伐複層林も10.1%と少なく、3残2伐複層林の損傷率は0.7%と著しく少なかった。次に、上木1本の伐採に対して発生する下木の損傷本数を比較すると、点状複層林が2.2本(177本/81本)と最も多く、続いて1残1伐複層林の1.5本(87本/57本)、2残2伐複層林の0.8本(192本/239本)3残2伐複層林の0.1

本(2本/37本)の順となった。これらのことから、列状複層林で損傷が少なく、点状複層林で多いことが明らかとなった。

4.3.2 作業別損傷発生状況

損傷の状況を把握するため損傷を、①伐倒作業によるもの、②集材作業によるもの、③両作業が重複したもの、に分類した。「両作業が重複したもの」とは、伐倒作業で「梢端折れ」などの損傷が発生した立木に、集材の際も「樹皮剥離」などの損傷が発生した場合をいう。調査結果は表4-4のとおりとなった。損傷の原因についてみると、3残2伐複層林ではすべてが伐倒作業であった。2残2伐複層林や1残1伐複層林では「重複したもの」を含めた伐倒作業による被害が全体の80%程度を、点状複層林でも「重複したもの」を含めた伐倒作業による被害が全体の70%を占めた。これらの結果は、下木の損傷発生約7~8割が伐倒作業によるものとする既往の調査結果(林野庁1996)とほぼ同じ傾向を示した。

4.3.3 損傷発生原因

点状複層林は上木と下木が近接し、下木の植栽間隔は均一で2.5~3.0mである。このような林分で長さ20mを超える上木を伐倒して集材すると下木に多数の損傷が発生することが明らかになった。

一方、3種類の列状複層林は、上木と下木ともに列状に植栽してあり、作業は機械的に実施できる長所があった。このため下木の損傷率は点状複層林に比べ低かった。

しかし、1残1伐複層林では下木の27.8%に損傷が発生した。その原因は、上木と下木の間隔(2~2.5m)よりも上木の樹冠半径が2.8~3.2mと大きく成長しており、伐倒の際に上木の枝が下木に衝突する

表4-2 損傷木の区分

損傷区分	定義
梢端折れ	梢端から1~2m付近で主軸が損傷しているもの
幹折れ	幹部分が折れているもの
傾斜	幹全体が傾いているが倒伏には至らないもの
倒伏	樹幹が地面についているもの
枝折れ(大)	枝の50%以上が折れるか抜けるかしたもの
枝折れ(中)	枝の25~49%以下が折れるか抜けるかしたもの
枝折れ(小)	枝の24%以下が折れるか抜けるかしたもの
樹皮剥離	樹幹部分の樹皮が剥離され辺材部分がむき出しになったもの

場合が多かったこと、集材の際も、上木と下木の立木間隔が2～2.5mと狭かったため樹皮剥離などの損傷が発生する場合もみられたこと、などから予想以上の損傷が発生した。1残1伐複層林は、残存木に損傷を発生させないように伐採作業を実施するには上木と下木が接近しすぎた林型といえる。

また、2残2伐複層林でも1列を伐倒すると残存列の枝が障害になり正確な方向へ伐倒できず、下木

損傷は増加した。

これに対し、3残2伐複層林では、上木の5.3%に損傷が発生したものの、下木の損傷は0.7%とわずかだった。これは、上木3列の中央列を伐倒したことにより、伐倒木を両側の上木の間誘導しやすかったことや、伐採した上木が横滑りをした場合でも両側の上木に保護され下木と衝突しなかったためである。

表4-3 下木の損傷

複層林の造成方法		伐採前 (本)	伐採本数 (本)	伐採率 (%)	伐採後本数 (本)	損傷本数 (本)	損傷率 (%)	地形傾斜 (度)	面積 (ha)
1残1伐複層林 (岡谷市)	上木	120 (517)	57	47.5	63 (274)	0	0.0	20	0.23
	下木	313 (1,360)			313 (1,360)	87	27.8		
2残2伐複層林 (諏訪市)	上木	488 (469)	239	49.0	249 (239)	26	10.4	20	1.04
	下木	1,901 (1,828)			1,901 (1,828)	192	10.1		
3残2伐複層林 (千曲市)	上木	132 (322)	37	28.0	95 (231)	5	5.3	15	0.41
	下木	303 (739)			303 (739)	2	0.7		
点状複層林 (武石村)	上木	146 (374)	81	55.5	65 (167)	8	12.3	20	0.39
	下木	450 (1,154)			450 (1,154)	177	39.3		

(注) () はha当たり(本数/ha)
損傷率は、残存木に占める損傷木の割合(%)である。

表4-4 下木の損傷発生原因

林型	作業区分	梢端折れ	幹折れ	倒伏	傾斜	枝折れ(大)	枝折れ(中・小)	樹皮剥離	本(%) 合計
1残1伐複層林	伐倒作業	40 (46.0)	1 (1.1)	1 (1.1)	1 (1.1)		14 (16.2)	18 (20.7)	57 (65.5)
	集材作業			2 (2.3)				4 (4.6)	20 (23.0)
	重複計	6 (6.9)	1 (1.1)	3 (3.4)	1 (1.1)		14 (16.2)	22 (25.3)	87 (100.0)
2残2伐複層林	伐倒作業	66 (34.4)	45 (23.5)		7 (3.6)	9 (4.7)	46 (24.0)	1 (0.5)	174 (90.7)
	集材作業			2 (1.0)	4 (2.1)			8 (4.2)	14 (7.3)
	重複計	66 (34.4)	45 (23.5)	2 (1.0)	13 (6.7)	10 (5.2)	46 (24.0)	10 (5.2)	192 (100.0)
3残2伐複層林	伐倒作業						2 (100.0)		2 (100.0)
	集材作業								0
	重複計						2 (100.0)		2 (100.0)
点状複層林	伐倒作業	32 (18.1)		3 (1.7)	3 (1.7)	13 (7.3)	20 (11.3)		71 (40.1)
	集材作業			4 (2.2)	6 (3.4)			41 (23.2)	51 (28.8)
	重複計	24 (13.5)		6 (3.4)	6 (3.4)	7 (4.0)	20 (11.3)	12 (6.8)	55 (31.1)
	計	56 (31.6)		13 (7.3)	15 (8.5)	20 (11.3)	20 (11.3)	53 (30.0)	177 (100.0)

4.3.4 損傷の形態

損傷は前述の6種類に区分したが、同一立木に複数種類の損傷が発生することがある。ここでは、将来の樹木成長や材の経済価値に最も影響を与えると考えられる損傷を分析の対象とし、倒伏、幹折れ、傾斜、梢端折れ、枝折れ(大)、樹皮剥離、枝折れ(中・小)の順に選択した。下木の調査結果は表4-4のとおりとなった。1残1伐複層林の損傷形態は、梢端折れと樹皮剥離が多く、2残2伐複層林では梢端折れと樹皮剥離が多かった。一方、3残2伐複層林は損傷のすべてが枝折れ(中・小)であった。点状複層林では、梢端折れ樹皮剥離と枝折れ(大)が多かったが、列状複層林と比べて重大な被害と考えられる倒伏や傾斜の割合が多かった。

もっとも損傷程度が軽いと考えられる枝折れ(中・小)の割合は、3残2伐複層林では100%、2残2伐複層林と1残1伐複層林でも24.0%と16.2%であった。これに対し、点状複層林では11.3%とその割合は小さかった。このことから列状複層林は点状複層林に比べて軽微な損傷形態が多いといえた。

4.3.5 上木伐採の容易な複層林

次回の上木伐採においては、上木の樹冠はさらに成長するため、点状複層林や1残1伐列状複層林、2残2伐複層林では、伐採にともなう下木の損傷は今回より多くなると推定できる。しかし、3残2伐複

層林では、伐採跡が次回の伐採の集材路となり、伐採作業は比較的容易で、残存木損傷も今回の調査結果と大差ないと予想できる。

なお、上木を3列よりも多く残す列状複層林(带状複層林)の作業を考えた場合も、両端の列を伐採せずに残し、内側の列を適宜列状伐採する作業方法をとることで、3残2伐複層林と同様に下木の損傷を少なくすることが期待できる。

以上のことから、今回の調査結果とともに今後の上木伐採も考えると、残存木の損傷が少ない複層林として、点状複層林より列状複層林が適しており、上木を3列以上残す列状複層林(带状複層林)が最も適しているといえた。

4.4 まとめ

上木カラマツ、下木ヒノキの複層林において、3か所の列状複層林と1か所の点状複層林で上木の伐採を行い、下木損傷率を比較した。その結果、列状複層林より点状複層林の下木損傷が多かった。列状複層林では、1残1伐複層林の下木損傷が最も多く、続いて2残2伐複層林、3残2伐複層林の順であった。複層林造成後の上木伐採のしやすさを基準に今後の複層林造成を考えると、点状複層林より列状複層林が適しており、上木を3列以上残す列状複層林(带状複層林)が最も適しているといえた。

第5章 複層林の上木伐採により受傷した下木ヒノキの5年後の生育状況

5.1 研究の目的

損傷を受けた下木がその後どのような成長をするかについては、竹内ら（1990）が伐採数年後の幹曲がりの調査を、下木損傷が成長に及ぼす影響については小野寺ら（2006）が報告しているが、これらの調査は、損傷を受けた個々の立木を追跡調査したものではなく、林分単位の調査結果である。

今回、カラマツ-ヒノキ複層林でカラマツの伐採により損傷を受けたヒノキの5成長期経過後の状況を確認し、損傷形態とその後の生育状況との関係について考察した。

5.2 調査地と調査方法

5.2.1 調査地の設定

調査地は諏訪市の2残2伐列状複層林である（第4章 表4-1 参照）。伐採作業にともない調査地内の下木1,901本のうち192本に、重複被害を含め233箇所の被害が発生した。損傷形態別の内訳は表5-1のとおりである。

5.2.2 調査方法

伐採による損傷から5成長期経過した2006年5～6月に損傷木の生死を確認し、生きている場合には、胸高直径と樹高を測定した。それとともに、損傷形態別に次の項目について現況を把握した。

倒伏と傾斜

傾斜した角度を測定し、伐採直後の2,000年に測定した傾斜角と比較した。

幹折れと梢端折れ

折損部分の形状に異常があるかどうかを確認し、

異常がある場合は「ほうき状」か「S字状」かに区分した。「ほうき状」とは梢端部分に複数の幹が発生したもので、「S字状」とは主軸は一本で、折損部分が曲がっているものとした。なお、「S字状」の場合、折損部の上方20cmと50cmの位置で矢高（曲がりの大きさ）を測定し（図5-1）、平均値をその立木の矢高とした。

枝折れ

立木のバランスが崩れて傾斜する下木が多くみられた。このため、傾斜した角度を測定した。

5.3 結果と考察

損傷形態別に下木の現状を示すと以下のとおりである。

5.3.1 倒伏

2本のうち1本は枯死、もう1本は生きてはいるが枯死寸前で、倒伏したままであり、倒伏すると回復は困難といえた。

5.3.2 幹傾斜

5年間の傾斜回復状況をみたところ（表5-2）、伐採直後に比べ傾斜の回復した下木が多くみられた。特に、間伐直後の傾斜角度が30度未満の傾斜

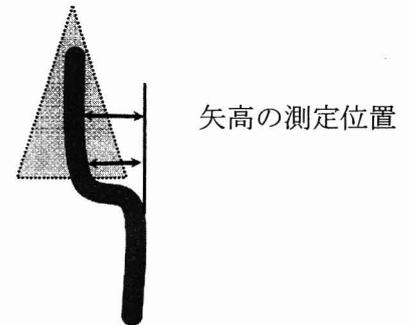


図5-1 矢高の測定

表5-1 下木の損傷形態別本数

年	被害形態別本数						合計
	倒伏	幹傾斜	幹折れ	梢端折れ	枝折れ	樹皮剥離	
2000	2	16	45	72	76	22	233

単位：本

表5-2 幹傾斜立木の5年間の推移

年	傾斜10°未満		傾斜10～30°				傾斜30°以上	
	異常なし	傾斜10未満°	傾斜10未満°	傾斜30°以上	枯死	不明	傾斜10～30°	傾斜30°以上
2000年	2		7				7	
2006年	1	1	4	1	1	1	4	3

単位：本

木は、その傾向が強かった。しかし、伐採直後 30 度以上傾斜した下木の中には、立ち直れないものも半数みられた。このことから、伐採直後の傾きが大きい下木は回復が難しい状況が伺えた。

5.3.3 幹折れと梢端折れ

損傷を受けた 117 本の現況は表 5-3 のとおりで、折損部分が「S 字状」や「ほうき状」になるものが多かった。そこで、梢端から折損した部分までの長さ（以下、折損長と呼ぶ）と損傷部分の形状との関係を調べてみた。

その結果、折損長が 0~50cm であれば約半数の損傷木が「異常なし」で、残りは「S 字状」であった（図 5-2）。一方、折損長が 50cm を超えると「異常なし」は少なくなり、折損長が長くなるほど「ほうき状」の割合が多くなる傾向がみられた。なお、「ほうき状」になった立木は今後とも幹が複数の状態で生育するため木材利用上著しく制約を受けると考えた。

次に「S 字状」の立木を対象に折損長と矢高の関係を示すと（図 5-3）、折損長が長くなるほど矢高が高くなる傾向がみられた。福地（1985）に

表 5-3 幹折れ・梢端折れの 5 年間の推移

		単位：本			
2000年		幹折れ・梢端折れ			
		117			
2006年		異常なし	S字状	ほうき状	枯損
		10	80	25	2

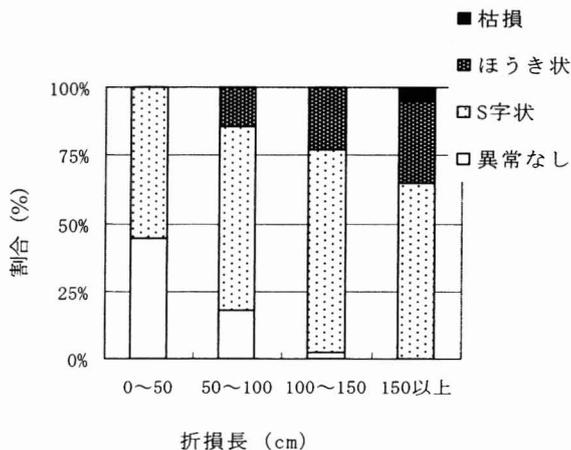


図 5-2 折損長と損傷の形態

よると、矢高の回復量は林齢 5 年から 15 年が最大で、この時期を過ぎれば回復する速さは鈍化し、林齢 22 年生までに矢高の回復した量は 1~2cm であるという。ヒノキの伐期を 80 年とすると、伐期までの今後 60 年間の矢高の回復量は 5cm 程度と推定できる。そこで、「S 字状」の下木 80 本を対象として、折損長別に 80 年までに曲がり角が解消できるかどうかを検討した（図 5-4）。その結果、折損長 50cm 未満であればすべての下木の曲がり角が回復し、50~100cm 未満でも過半数の下木の曲がり角が回復するが、100cm を超えると曲がり角を回復することは難しいといえた。

以上のことから、「ほうき状」を含めたすべての折損木を対象に、伐期 80 年時に異常が残るかを折損長別に推定した（図 5-5）。現在の矢高が 5cm 未満を「異常なし」、5cm 以上の場合は伐採時も「S 字状」とし、「ほうき状」についてはそのまま推移

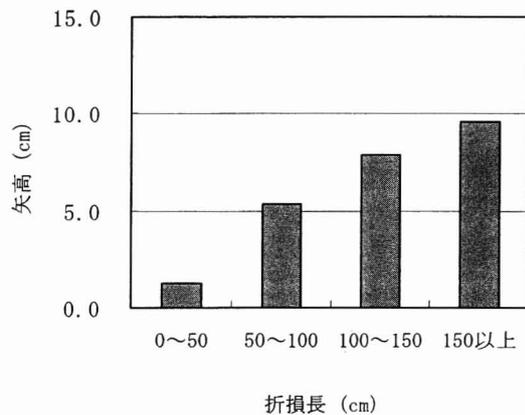


図 5-3 折損長と矢高

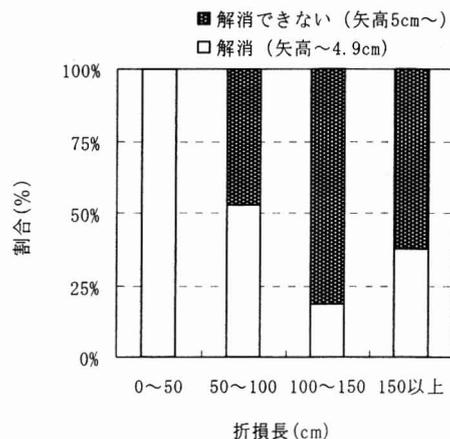


図 5-4 S 字状の矢高の解消（伐期 80 年時）

するものと仮定した。この結果ら、折損長 50cm 未満であればすべての下木が異常なく、50~100cm であっても半数に異常がないと推定できた。しかし、折損長が 100cm を超えると異常のない下木は 20%程度と急激に減少した。

このことから、伐期を 80 年と設定すると、幹折れと梢端折れを受けても損傷長が 100cm 未満であれば伐期までに回復する可能性はあるが、折損長がそれ以上であれば回復は困難になると判断できた。幹折れや梢端折れを受けた下木を整理する場合は折損長が 100cm を超えた下木を優先することが必要と考えた。

5.3.4 枝折れ

枝折れは立木の片側方向に発生することが多い。枝折れにより、枝がなくなり（少なくなり）立木のバランスが崩れ、枝折れの反対方向（枝の多い方向）に傾斜する下木が多くみられた。そこで、枝折れが発生した 76 本のうち、重複被害により傾斜したものなど 17 本を除いた 59 本を対象に、枝折れの程度別に下木の傾斜角度を調査した（表 5-4）。

枝折れが発生した下木の 54%（33 本/59 本）に傾斜等の異常が発生していたが、そのほとんどが傾斜 10° 未満と傾斜角度は小さかった。しかし、傾斜が 10° 未満であっても、外見上は明らかな曲がりであり、このまま成育すると木材利用時には「曲がり材」となり、木材としての価値が大きく

損なわれることが懸念される。

次に枝折れの程度と傾斜角度との関係のみてみると（図 5-6）、枝折れの程度が小さいほど「異常なし」の割合が多かった。折れた枝の割合が 25%以下（枝折れ小）であれば傾斜の発生はわずかであった。しかし、枝折れの程度が大きくなるほど傾斜木の割合が増加する傾向がみられ、50%以上の枝が折れれば（枝折れ大）、ほとんどの下木が傾斜していた。このことから、50%以上の枝折れを受けた下木は、「曲がり材」になるおそれが強いといえた。

5.4 まとめ

上木の伐採により損傷を受けたヒノキの 5 成長期後の生育状況を調査したところ、倒伏したヒノキは立ち直っていなかった。伐採直後 30 度以上傾斜したヒノキも立ち直れないものが半数みられた。また、幹折れや梢端折れしたヒノキでは折損部分が「S 字状」や「ほうき状」になるものが多く、梢端折れの長さが 100cm を超えると、80 年生になっても、「S 字状」や「ほうき状」のままと考えられた。

下木ヒノキの枝が 50%以上折れた場合、ほとんどの下木が傾斜していて、「曲がり材」になるおそれが強いといえた。

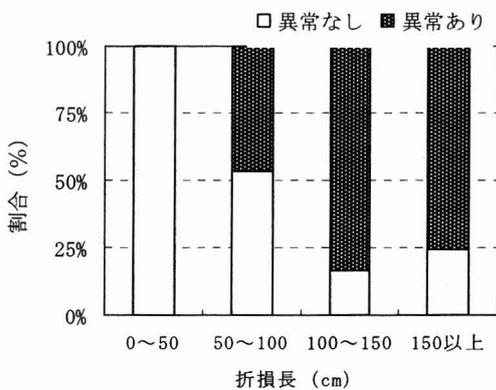


図 5-5 折損木の異常割合（伐期 80 年時）

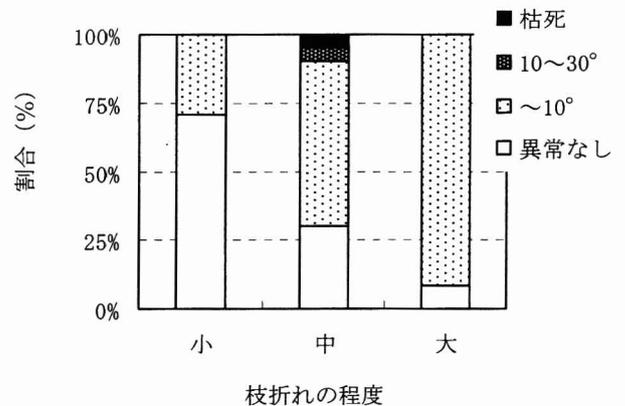


図 5-6 枝折れの程度と傾斜角度

表 5-4 枝折れ立木の 5 年間の推移

		枝折れ (小)				枝折れ (中)			枝折れ (大)		合計				
		異常なし		~10°		異常なし		~10°	10~30°	枯死	異常なし		~10°	10~30°	枯死
2000年		27				20			12		59				
2006年		19	8	6	12	1	1	1	11	26	31	1	1		

第6章 複層林の上木伐採にともなう下木損傷軽減法の検討

6.1 研究の目的

これまでの調査結果から、上木を伐採すると下木に多数の損傷が発生する場合があります、下木損傷を軽減する方法を検討することが緊急の課題といえる。

そこで今回、①上木の枝打ちを行ってから伐採する、②上木を山側に伐採する、③点状複層林の上木を列状に伐採する、の3種類の方法で下木損傷調査を行い、下木損傷軽減効果をについて検討した。

6.2 調査地と調査方法

6.2.1 上木の伐採前枝打ち

調査地は、1987年に1残1伐の列状間伐を実施し、翌年伐採跡地にヒノキを植栽したカラマツ-ヒノキ列状複層林である(表6-1)。今回の伐採は、伐採前に枝打ちをする列(枝打ち列)とそのまま伐採する列(対照列)を交互に設定し、下木損傷を比較した(図6-1)。

調査地では、上木106本のうち58本を伐採(伐採率54.7%)した。伐採した上木のうち下木と隣接しない林縁の上木と、伐採列から離れた下木を除いた、上木45本と下木290本を調査対象とした。

なお、枝打ち作業は高所作業なので安全に注意しながら、ノコギリ使用とチェーンソー使用の2つの方法で実施した。

6.2.2 上木の山側への伐採

調査地は、1987年に1残1伐の列状間伐を実施し、翌年伐採跡地にヒノキを植栽した岡谷市のカラマツ-ヒノキ列状複層林である(表6-2)。今回は、カラマツを山側に伐倒し下木損傷について調査した。その結果を、谷側に伐採した岡谷市1残1伐複層林(第4章表4-2)の損傷率と比較した。なお、岡谷市の山側への伐採調査地では、山側方向に正確に伐採するため、中腹に開設した作業道上のトラクタからウインチを引き出し、ウ



図6-1 調査地の模式図
(注) 白抜きの上木を今回伐採
右側の伐採列が伐採前枝打ち

表6-1 調査地の概要(上木の伐採前枝打ち)

	林齢 (年)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	伐採前本数 (本/ha)	面積 (ha)	標高 (m)	地形傾斜 (度)
上木	43	18.2	24.5	424	0.25	970	5~30
下木	19	6.8	8.1	1,408			

表6-2 調査地の概要(上木の山側伐採)

	林齢 (年)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	間伐前数 (本/ha)	面積 (ha)	標高 (m)	地形傾斜 (度)
上木	35	17.6	24.6	484	0.19	950	20
下木	16	6.1	7.6	1732			

表6-3 調査地の概要(点状複層林の上木列状伐採)

	林齢 (年)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	間伐前数 (本/ha)	面積 (ha)	標高 (m)	地形傾斜 (度)
上木	41	24.7	32.9	357	0.37	1,250	24
下木	20	6.3	7.3	1,511			

インチで引き寄せながら伐倒した。

6.2.3 点状複層林の上木列状伐採

調査地は松本市入山辺県有林内のカラマツーヒノキ点状複層林で(表 6-3), 上木を列状に伐採した際に発生する下木損傷について調査した。

伐採方法は, 上木の残存列と伐採列を 6m幅に交互に繰り返す列状伐採で(図 6-2), 上木を点状に伐採した上田市の点状複層林(第 4 章 表 4-2 参照)と結果と比較した。

上記の調査地の伐採作業はいずれも, ①チェーンソーで伐採・枝払い, ②トラクタで土場へ集材, ③チェーンソーで玉切り, ④グラップルで樅積み, という内容であった。

6.3 結果と考察

6.3.1 上木の伐採前枝打ち

枝打ち作業

枝打ち列のカラマツ 22 本の平均樹高は 18.6m, 平均胸高直径 26.6cm, 平均樹冠長 9.7m で, 枝打ち範囲は平均樹冠長の 50% に当たる 4.8m であった。その結果, 枝張りは枝打ち前の 2.9m から 2.0m に減少した(表 6-4)。一方, 対照列のカラマツ 23 本の平均樹高は 17.3m, 胸高直径 24.5cm, 平均樹冠長 7.8m, 枝張りは 2.5m であった(表 6-4)。

下木の損傷

対照列と枝打ち列で下木の損傷率を比較したところ(表 6-5), 対照列の損傷率は 29.1% (41 本/141 本) であったのに対し, 枝打ち実施列は 18.8% (28 本/149 本) であった。また, 上木 1 本の伐採に対して発生する下木損傷本数を比較してみると, 対照列では 1.8 本 (41 本/23 本) であったの

に対し, 枝打ち列は 1.3 本 (28 本/22 本) であった。これらのことから, 枝打ちによる下木損傷軽減効果が認められた。

作業別損傷発生状況

作業種別に損傷軽減効果をみてみると, 伐倒作業では, 対照列の下木損傷率は, 被害の重複を含めて 23.4% あったのに対し, 枝打ち列の損傷率は 13.4% と大幅に減少し, 軽減効果が明確に認められた(図 6-3)。一方集材作業では, 枝打ち列と対照列の下木損傷率は両者とも 10% 以下でその差は少なかった。この原因はいずれの場合も列状に伐倒し, さらに枝払いのあと集材を行う全幹集材のため, 作業上の差がなかったためと判断した。

以上のことから, 枝打ちによる下木損傷軽減効果は, 伐倒作業に限定されると考えた。

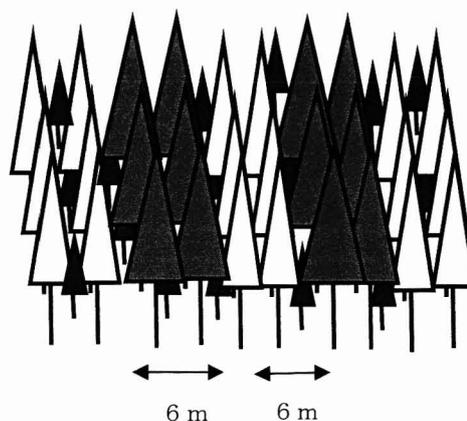


図 6-2 点状複層林の列状伐採
(注) 白抜きの上木を今回伐採

表 6-4 上木の枝張り

	枝打ち前の枝張り(m)					枝打ち後の枝張り(m)				
	斜面上	斜面右	斜面下	斜面左	平均	斜面上	斜面右	斜面下	斜面左	平均
枝打ち列	3.0	3.1	2.6	2.7	2.9	2.1 (0.70)	2.2 (0.71)	1.7 (0.65)	1.8 (0.67)	2.0 (0.69)
対照列	2.4	2.6	2.7	2.3	2.5	—	—	—	—	—

(注) () 内は枝打ち前に対する枝打ち後の割合
斜面下方から上方を見る

表 6-5 下木損傷の比較 (枝打ち列と対照列)

	上木伐倒 本数 (本)	下木本数 (本)	損傷本数 (本)	損傷率 (%)	内訳					
					伐倒のみ の損傷 (本)	損傷率 (%)	集材のみ 損傷(本)	損傷率 (%)	伐倒と集材の 重複損傷 (本)	損傷率 (%)
枝打ち列	22	149	28	18.8	20	13.4	8	5.4	0	0.0
対照列	23	141	41	29.1	29	20.6	8	5.7	4	2.8
合計	45	290	69	23.8	49	16.9	16	5.5	4	1.4

6.3.2 上木の山側への伐採

下木の損傷

谷側伐採と山側伐採で下木の損傷率を比較したところ(表6-6), 谷側伐採の損傷率は27.8%(87本/313本)であったのに対し, 山側伐採は12.8%(42本/329本)と下木損傷率は半減した。

下木損傷は伐採木から受ける衝突強度の大きさと関係があり, 衝撃強度は同一質量であれば落下距離に比例すると考えられる(秦ほか1989)。今回の地形傾斜は20度で, その場合の衝撃強さを山側に伐採した場合1.0とすると, 谷側に伐採した場合は2倍の2.0と推定できる(図6-4)。このことから山側に伐採することで下木に対する衝撃強さを軽減でき, その結果, 下木損傷を軽減できたと推定した。地形傾斜が30の場合は, 山側伐採の衝撃を1.0とすると, 谷側伐採の場合は3.0と計算できる。このように, 下木損傷軽減効果は傾斜が急になるほど大きいと推定できた。

作業別損傷発生状況

作業種別に損傷軽減効果をみると, 伐採作

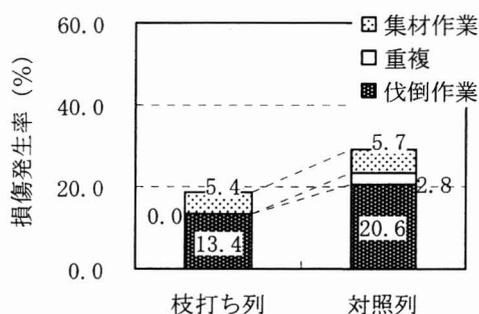


図6-3 作業別下木損傷率 (枝打ち列と対照列)

業では, 谷側伐採の下木損傷率は, 被害の重複を含めて21.4%であったのに対し, 山側伐採は10.7%と大幅に減少し, 軽減効果が明確に認められた(図6-5)。一方集材作業でも, 谷側伐採の9.6%に比べて3.9%と被害軽減効果が認められた。これは, 伐倒の際にウインチを用いて列方向に正確に行ったため, 集材作業でも下木に衝突することが少なかったためと考えた。

6.3.3 点状複層林の上木列状伐採

下木の損傷割合

松本市の列状伐採では, 上木132本のうち69本を伐採(本数伐採率は47.7%)したところ, 下木の32.2%に損傷が発生した(表6-7)。なお, 上田市の点状伐採では, 上木146本のうち65本を伐採したところ(本数伐採率は55.5%), 下木の39.3%に損傷が発生した。列状伐採を実施することにより約2割下木損傷を軽減できた。

損傷発生原因

列状伐採の下木損傷32.2%の内訳は, 伐倒作業が7.0%, 集材作業が12.0%, これらの重複した

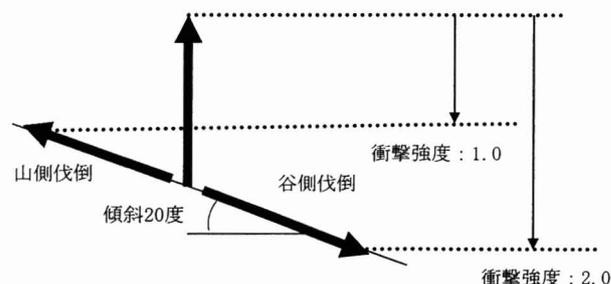


図6-4 山側伐採と谷側伐採の衝撃の比較

表6-6 下木損傷の比較 (山側伐採と谷側伐採)

	伐採前本数 (本)	伐採本数 (本)	伐採率 (%)	伐採後本数 (本)	損傷本数 (本)	損傷率 (%)	地形傾斜	面積 (ha)
山側伐倒 (岡谷市)	上木	92	44.6	51	0	0	20	0.19
	下木	(484)	41	(286)	42	12.8		
		(1,732)		(1,732)				
谷側伐倒 (岡谷市)	上木	120	47.5	63	0	0	20	0.23
	下木	(517)	57	(274)	87	27.8		
		(1,360)		(1,360)				

ものが13.2%であった(図6-6)。これを点状伐採と比較すると、伐倒作業での損傷は列状伐採で減少した。しかし、集材作業では、点状伐採より列状伐採の方が下木の損傷が多いという今までの調査結果と逆の結果となり(林野庁 2004)、列状伐採による損傷軽減効果は伐倒作業に限られた。

集材作業で損傷軽減効果がみられなかった原因は、今回の伐採地では地形に凹凸があり、図6-7で示したように伐採列(太線矢印)と最大傾斜方向(白抜き矢印)が一致しない場合が多かったためと考えた。伐採列と最大傾斜方向が一致しない場合、トラクタで集材を開始すると立木の自重により斜面方向に滑り落ち、周辺の下木に損傷が発生した。

そこで、最大傾斜方向と伐倒方向のずれ(偏角)に対する下木損傷の関係を、傾斜が20度を超える比較的急な斜面で調べたところ、偏角が大きくなるほど下木の損傷本数が増加した(図6-8)。

地形を考慮に入れ偏角30度未満で列状伐採を

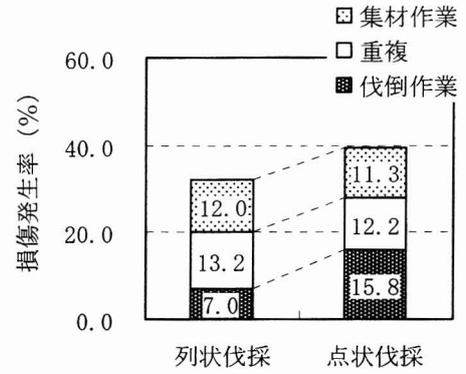


図6-6 作業別下木損傷率 (点状伐採と列状伐採)

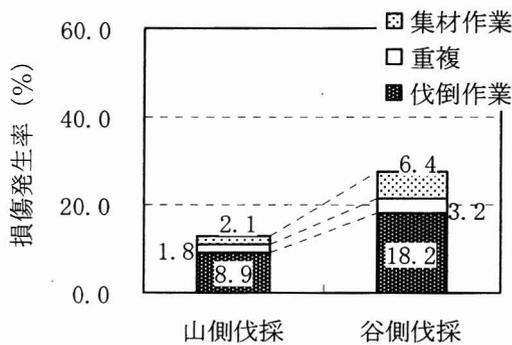


図6-5 作業別下木損傷率 (山側伐採と谷側伐採)

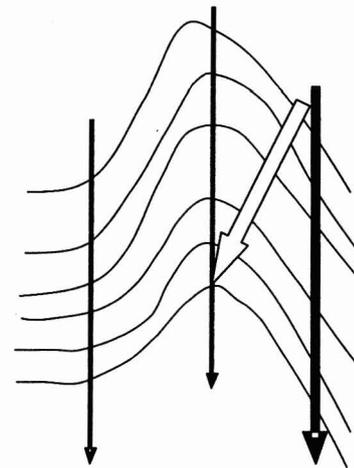


図6-7 伐採列と斜面傾斜との関係

表6-7 下木損傷の比較 (点状伐採と列状伐採)

		伐採前本数 (本)	伐採本数 (本)	伐採率 (%)	伐採後本数 (本)	損傷本数 (本)	損傷率 (%)	地形傾斜	面積 (ha)
列状伐採 (松本市)	上木 (カラマツ)	132 (357)	63	47.7	69 (186)	7	10.1	24	0.37
	下木 (ヒノキ)	559 (1,511)			559 (1,511)	180	32.2		
点状伐採 (武石村)	上木 (カラマツ)	146 (374)	81	55.5	65 (167)	8	12.3	20	0.39
	下木 (ヒノキ)	450 (1,154)			450 (1,154)	177	39.3		

行ったと仮定すれば、下木損傷率 32.2%は 26%に低下すると推定でき、列状伐採は点状伐採に比べて十分な下木損傷軽減効果が期待できた。

6.3.4 下木損傷の少ない上木伐採法

①上木の伐採前枝打ち、②上木の山側への伐採、③点状複層林の上木列状伐採、の3種類の調査結果から、すべての方法で下木損傷が軽減されることが明らかになった。しかし、上木の伐採前枝打ちは現地の観測では1日に10本程度の枝打ちしかできず、静岡県の実例でも同程度であった(穂屋下ら1994、佐々木ら2003)。一方、山側伐採は谷側伐採に比べれば作業はしにくいがクサビやチルホールを使用するなどの工夫をすれば、上木の伐採前枝打ちに比べれば能率の上がる方法である。

以上のことから、傾斜地であれば、山側方向に列状に伐採することが最も現実的な作業方法といえる。一方、平坦地の場合は、列状伐採を採用するとともに、立木の直径が35cm以下であれば枝打ち機を利用できるので、枝打ち機で枝打ちを行なう方法も検討する必要がある。

6.4 まとめ

①上木の伐採前枝打ち、②上木の山側への伐採、③点状複層林の上木列状伐採の3種類の作業方法で下木損傷軽減効果を検討した。3種類すべてで軽減効果が認められた。しかし、上木の伐採前枝打ちは1日に10本程度の枝打ちしかできず現実的な作業方法ではない。下木損傷軽減のための現実的な作業方法としては、傾斜地では、山側方向への伐採と列状伐採の組み合わせが、平坦地の場合は列状伐採を採用するとともに、立木の直径が35cm以下であれば枝打ち機の利用も検討する必要があると考えられた。

なお、列状間伐を実施する際は、最大傾斜方向と伐倒方向のずれ(偏角)をできる限り少なくすることが重要であることが明らかになった。

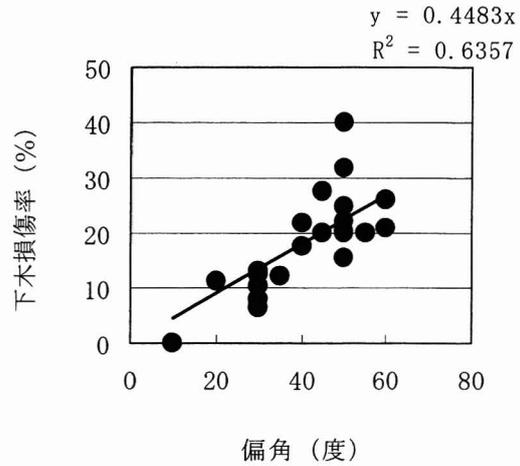


図6-8 偏角と下木損傷率 (傾斜 20 度以上)

第7章 複層林の造成

7.1 研究目的

前章までの調査結果から点状複層林よりも列状複層林の方が上木の伐倒にともなう下木損傷が少ないことが明らかになってきた。このため今後は列状複層林造成の増加が予想される。しかし、列状複層林を造成する場合、伐採列幅をどの程度にしたら下木の成長がよいのか、調査は行われていない。そこで、列幅を変えた列状伐採跡地にヒノキの植栽を行い、伐採列幅と下木成長の関係について調査し、下木の成長が良好な列幅について検討した。

7.2 調査地と調査方法

松本調査地を調査林分とした(第2章 表2-1参照)。間伐作業は、樹高幅の帯状伐採(以下、樹高幅伐採と呼ぶ。平均列幅は22m)、樹高幅の1/2の帯状伐採(以下、樹高幅1/2伐採と呼ぶ。平均列幅は12m)、2列伐採(平均伐採幅8m)、1列伐採(平均伐採幅4m)の4種類の伐採を行った(図7-1)。伐採した直後に、伐採した跡地とともに残存林分の樹下にもヒノキをhaあたり2,000本植栽し複層林を造成した。

複層林造成後の林内光環境の変化とヒノキの成長を継続的に調査した。林内光環境の変化は全天写真を撮影して開空度の測定を行ない、ヒノキの成長は樹高と根元直径を測定することで確認した。

全天写真はニコンクールピクス 4500 に魚眼レンズFC-E8を装着して、地上高1.3mで撮影を行った。撮影地点はそれぞれの調査区の撮影点数が均等になるように配慮し、毎年20~30箇所撮影した。なお、樹高幅伐採と樹高幅1/2伐採では、伐採地の中央ばかりでなく、伐採地内の周辺部で

も撮影しその平均値を求めた。魚眼レンズで撮影した全天写真は、画像解析ソフトLIA for Win32(山本2003)を用いて開空度を求めた。

根元直径と樹高の計測は、植栽したヒノキの中から調査木85本を選んで、植栽直後と成長が終了した10月中に実施した。なお、調査木は、等高線に沿って、それぞれの調査区を横断するように設定した(図7-1)。調査結果から、伐採地に植栽したヒノキと樹下植栽したヒノキが伐採幅の違いにより成長に差がでるかを検討した。なお、調査地はゆるやかな凹凸があり、方位も多少の違いがあるため、離れた調査区で成長比較を行うと誤差がでる可能性がある。このため、下木成長の比較はそれぞれの伐採地に植栽したヒノキとそれに隣接する樹下植栽ヒノキで行なった(図7-1)。

7.3 結果と考察

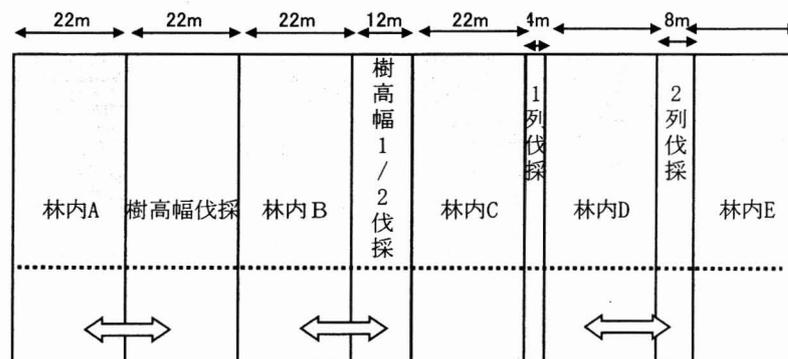
7.3.1 林内光環境

植栽直後2004年6月のカラマツ林内の開空度は21.8%であった(表7-1)。1列伐採、2列伐採の開空度は22.4%、23.8%でカラマツ林内と大きな差はみられなかった。これに対して、樹高幅1/2伐採、樹高幅伐採では27.3%と33.9%で、林内に比べて開空度は高かった。このことから、開空度を高める(光環境を向上させる)には樹高幅1/2程度の伐採が必要と考えられた。

3成長期経過した2006年10月の開空度をみると、2004年6月に比べて低下傾向は認められなかった。

7.3.2 下木ヒノキの成長

調査結果を平均値±標準偏差で表した(表7-2,3)。なお、1列伐採は資料数が少ないので表から除いた。植栽直後の2004年春の樹高と根元径は、



注) 点線上に沿って調査木を設定した。
の調査区ヒノキの成長を比較した。

図7-1 調査地の設定

樹高幅伐採、樹高幅 1/2 伐採、2 列伐採すべてで、林内植栽したヒノキと有意差は認められなかった（スチューデントの t 検定（両側検定） $P < 0.01$ 。以下、検定方法はすべて同じ）。しかし、3 成長期が経過した 2006 年 10 月には、樹高、根元径ともに、樹高幅伐採と樹高幅 1/2 伐採では、林内に植栽したヒノキと比べ有意に大きかったが、2 列伐採では有意差は認められなかった。

以上のことから、林内に植栽したヒノキよりも良好な成長を期待するには、樹高幅の 1/2 (11m) 以上の列状伐採を行う必要があると考えた。しかし、調査期間が 3 年成長期のみであり、さらに継続調査を行う必要がある。

の 1/2 の帯状伐採(平均列幅は 12m), 2 列伐採(平均伐採幅 8m), 1 列伐採 (平均伐採幅 4m) の 4 種類の伐採を行ない、伐採直後に、伐採跡地と残存林分の樹下にヒノキを植栽し複層林を造成した。

複層林造成後の林内光環境の変化とヒノキの成長を継続的に調査した。列状伐採の列幅と光環境及び下木ヒノキの成長について調査したところ、カラマツ林内に比べて光環境を高めるには樹高幅 1/2 程度の伐採が必要と考えられた。また、カラマツ林内に樹下植栽したヒノキに比べて良好な樹高成長を期待するにも、樹高幅の 1/2 (11m) 程度の伐採を行う必要があると考えた。

7.4 まとめ

樹高幅の帯状伐採 (平均列幅は 22m), 樹高幅

表 7-1 各調査区の開空度

	樹高幅伐採	樹高幅伐採1/2	2列伐採	1列伐採	林内
2004.6	33.9	27.3	23.8	22.4	21.8
2006.1	33.1	25.7	22.9	23.6	22.2

注) 撮影点数は2点~10点

表 7-2 各調査区ヒノキの平均樹高

	2004年	立木数	有意差	2006年	立木数	有意差
林内A	54.6±5.2	14		132.9±16.5	12	
樹高幅伐採	56.7±5.3	10		160.3±17.2	10	*
林内B	54.9±5.2	10		119.3±24.5	9	
樹高幅1/2伐採	57.6±4.8	8		172.6±19.2	8	*
林内C	59.1±6.6	9		162.2±18.3	8	
2列伐採	52.8±5.9	6		153.5±23.3	6	

注) 平均値±標準偏で表した。スチューデントの t 検定 (両側検定、 $P < 0.01$)。
*は有意差あり

表 7-3 各調査区ヒノキの根元直径

	2004年	立木数	有意差	2006年	立木数	有意差
林内A	0.86±0.12	14		1.57±0.24	12	
樹高幅伐採	0.98±0.13	10		2.08±0.32	10	*
林内B	0.92±0.04	10		1.41±0.18	9	
樹高幅1/2伐採	0.88±0.12	8		2.14±0.34	8	*
林内C	0.9±0.1	9		1.71±0.20	8	
2列伐採	0.85±0.05	6		1.65±0.33	6	

注) 平均値±標準偏で表した。スチューデントの t 検定 (両側検定、 $P < 0.01$)。
*は有意差あり

第8章 まとめ

8.1 間伐にともなう残存木損傷の発生

間伐が繰り返され立木密度が低い林分では立木間隔が広いこと高性能林業機械による作業が行いやすく、残存木損傷が極めて低かった。林道や作業道に隣接し、道路上からプロセッサなどで間伐木を直接掴んで集材できる場合の残存木損傷も軽微であった。

8.2 林業機械の林内走行等が土壌環境に与える影響

2回目収穫間伐林分では、初回収穫間伐林分と比較して、1本当たりの立木材積が大きく、林地攪乱面積率や攪乱程度は高かったが、ガリーの発生など林地に重大な影響は発生していなかった。

8.3 複層林の上木伐採にともなう下木の損傷

列状複層林より点状複層林の方が下木損傷は多かった。列状複層林では、1残1伐複層林の下木損傷が最も多く、続いて2残2伐複層林、3残2伐複層林の順であった。複層林造成後の上木伐採のしやすさを基準に今後の複層林造成を考えると、点状複層林より列状複層林が適しており、上木を3列以上残す列状複層林(带状複層林)が最も適しているといえた。

8.4 複層林の上木伐採により受傷した下木ヒノキの5年後の育成状況

倒伏したヒノキの立ち直りは困難で、伐採直後30度以上傾斜したヒノキも立ち直れないものが半数みられた。また、幹折れや梢端折れが発生したヒノキでは折損部分が「S字状」や「ほうき状」になるものが多く、梢端折れの長さが100cmを超えると、80年生になっても、「S字状」や「ほうき状」のままと考えられた。

下木ヒノキの枝が50%以上折れた場合、ほとんどの下木が傾斜していた。50%以上の枝折れを受けた下木は、「曲がり材」になるおそれが強いといえた。

8.5 複層林の上木伐採にともなう下木損傷軽減法の検討

①上木の伐採前枝打ち、②上木の山側伐採、③点状複層林の上木列状伐採の3種類の作業方法で下木損傷軽減効果を検討した。3種類すべてで軽減効果が認められた。しかし、上木の伐採前枝打ちは1日に10本程度の枝打ちしかできず、下木損傷軽減のための現実的な作業方法としては、山側方向への伐採と列状伐採の組み合わせが考えられ

た。

8.6 複層林の造成

列状伐採の列幅と光環境及び下木ヒノキの成長について調査したところ、カラマツ林内に比べて光環境を高めるには樹高幅1/2程度の伐採が必要と考えられた。また、カラマツ林内に樹下植栽したヒノキに比べて良好な樹高成長を期待するには、樹高幅の1/2(11m)程度の伐採を行う必要があると考えた。

8.7 おわりに

本研究を進めるにあたり、ご協力をいただいた、北信木材生産センター協同組合の皆様、有限会社中央緑化の皆様、横山木材株式会社の皆様ならびに佐久地方事務所をはじめとする関係地方事務所林務課の皆様、そのほか本調査にご協力をいただいた皆様にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 藤下章男・大場孝裕・鈴木善郎(1996) スギースギ二段林の上木間伐に伴う下木の損傷事例. 日林中支論 44: 95~96.
- 福地 稔・水井憲雄・菊沢喜八郎(1985) カラマツ幹曲がりのみかけの回復. 日林論 96: 411~412
- 穂屋下浩平・藤田 巖・富田文雄(1994) 複層林の造成管理技術の開発に関する研究(I) - 二段林上木(ヒノキ-ヒノキ)の生長および間伐 - . 静岡県林技セ研報 22: 39~44.
- 井上源基ほか(1998) 森林総合研究所研究成果選集, 森林総合研究所, 12-13.
- 近藤道治(1999) 上木密度が異なるヒノキ複層林下木の成長. 日林関東支論: 59~60.
- 近藤道治(2005) 複層林の上木伐採にともなう下木の損傷. 森林学誌 19(4): 331~333.
- 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.
- 近藤道治・青柳智司(2002) 列状複層林の上木伐採にともない発生する残存木の損傷. 中森研 50: 199-200.
- 近藤道治・今井 信(2005) 複層林の上木伐採にともなう残存木の損傷. 森林学誌 20(3): 171~182.
- 近藤道治・今井 信(2006) 複層林の上木伐採にともなう下木損傷軽減法の検討 - 上木の伐採前

- 枝打ち－. 森利学誌 20(4) : 277～280.
- 近藤道治・今井 信(2007)複層林の上木伐採にと
もなう下木損傷軽減法の検討－上木の列状伐
採と点状伐採の比較－. 森利学誌 22(1) : 5～14.
- 近藤道治・宮崎隆幸・今井 信 (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える影響－, 長野県林総
セ研報 17, 1-20.
- 丸本順次・山田詳生・内田 健(1990)複層林造成
技術に関する研究. 山口県林指セ業務年報 : 34
～47.
- 湊 克之・寺本 守 (1989) 北海道大学和歌山地
方演習林におけるスギ・ヒノキ複層林の施業実
験 (Ⅱ) －伐採に伴う保残木の被害について.
北大演研報 46 : 719－733
- 長野県緑の基金(1994)長野県の複層林. 67pp. 長
野県緑の基金, 長野県
- 日本林業技術協会(1982)複層林の施業技術. 164pp,
日本林業技術協会, 東京.
- 小野寺賢介・今 博計(2006)スギーヒバ二段林に
おける上木伐採方法の違いが下木損傷率と成
長に及ぼす影響. 日林誌 88 : 546～549.
- 林野庁(1996)複層林の造成管理技術の開発. 156pp.
林野庁, 東京.
- 林野庁(2004)大型プロジェクト研究成果－機械
化作業システムに適合した森林施業法の開発
－. 220pp. 林野庁, 東京.
- 佐々木重樹・田中理恵(2003)ヒノキーヒノキ二段
林の上木伐採搬出作業における伐倒前枝打ち
作業が労働生産性に与える影響. 静岡県林技セ
研報 31 : 17～21.
- 竹内郁雄・落合幸仁・安藤 貴 (1990) 上木の伐
採による下木被害とその後の幹曲がり. 日林関
西支講 41 : 141－144.
- 玉山俊彦(1992)複層林の上木間伐に伴う下木の損
傷－スギースギ二段林初期の事例－. 日林東北
支誌 44 : 121～122.
- 谷山 徹(2004)複層林伐出技術の高度化を目指し
て. 森林科学 41 : 35～41.