

平坦地における効率的な竹伐倒作業の検討

伊藤崇之・上村 巧・佐々木達也 (森林総研)

要旨：異なる作業方法の比較を通して効率的な伐倒作業を検討することを目的に、4つの試験区で3種類の伐倒方法を試験し、時間分析を行った。带状皆伐で1～3本伐倒する毎に集材する逐次集材を2つの試験区で、連続で全ての竹を伐倒した後に集材する先行伐倒と、択伐をそれぞれ1試験区で行った。その結果、個別の要素作業についてはそれぞれの方法において特徴が見られたものの、それらを積み上げてサイクルタイムとしてみると作業方法間での違いは明確ではなかった。かかり木などの発生頻度による遅延が大きく影響していると示唆され、その発生を抑えるために、補助具を使用したり伐採幅を拡大したりすることが有効であると考えられた。

キーワード：平坦地竹林、伐倒作業、带状皆伐、択伐、補助具

I はじめに

竹は樹木に比べて軽量で切断が容易である反面、竹林においては立竹がしなり互いに交錯しているため、伐倒時にいわゆるかかり竹が頻発し、その処理に多くの時間と労力を要する。筆者らはこれまで、関東地方の平坦地における小規模竹林の継続利用を前提として、安全に元口移動を行うことができる竹用伐倒補助具を開発し(3)、作業時間や労働負担の観点から補助具の効果について検討を行ってきた。その結果補助具を使用することで全体的には作業時間の係り増しになるものの熟練によりその差は縮小する可能性があり、一方で労働負担については明らかに低いことがわかった(2)。また大径竹において人力で処理できなくなる状態に陥ることが少なく(1)、機械を所有することが困難な小規模竹林における作業に適合していると考えられた。以上のように、これまでは主に補助具の有無における比較を中心に考察を行ってきたが、本報では作業方法による所要時間の違いを分析することによって効率的な伐倒作業を検討することを目的に、4か所の試験区で3種類の伐倒試験を行った。また、時間観測により要素作業の分析を行い、各作業の特徴を明らかにすることで、効率の良い作業を明らかにするとともに、更なる効率化の可能性について検討した。

なお本研究は、「平成17年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」の課題として行った。

II 試験地の概要および試験方法

1. 試験区と使用機械

試験区は茨城県つくば市の大井地区と高崎地区に設定した。伐倒方法は択伐と3m幅の带状皆伐で、带状皆伐はさらに1～3本伐倒するたびに集材する方法(逐次集

材)と、連続で全て伐倒した後に集材する方法(先行伐倒)を試みた。試験区の概要を表-1に示す。大井では逐次集材のみを行い、高崎では3種類全てを試験した。伐倒は全てチェーンソーを使用して行った。集材は、逐次集材(大井・高崎)および択伐の試験区では林内作業車に搭載されている木寄せ用ウインチを、先行伐倒の試験区では小型スイングヤーダを使用して行った。

2. 作業方法

2.1 逐次集材 伐区の短辺の一方に林内作業車を置き、作業車側から伐倒を進めた。補助具無・有ともに、元口を移動させることにより元口を作業車側に向けて倒伏させた。伐区内に倒伏した竹が溜まると元口移動の際の障害となるため、1～3本伐倒する毎に作業車のウインチで集材した。

2.2 先行伐倒 補助具有の場合は逐次集材と同様に伐倒したが、補助具無では元口移動は行わず、人力で押し倒した。元口は集材方向の短辺に向けるため、伐倒は奥から開始した。なお、補助具を使用した作業は補助具を使用しない作業における倒伏スペースを確保するために

表-1. 試験区の概要

試験区名称	逐次大井	逐次高崎	先行伐倒	択伐
作業方法	带状皆伐 逐次集材	带状皆伐 逐次集材	带状皆伐 先行伐倒	択伐
間口 (m)	3.0	3.0	3.0	13.5
奥行 (m)	40.0	40.0	40.0	29.8
面積 (ha)	0.012	0.012	0.012	0.041
立竹本数	85	79	76	278
立竹密度 (本/ha)	7083	6583	6333	6864
平均胸高 直径 (cm)	10.9	11.7	11.8	10.9

Takayuki ITO, Takumi UEMURA, and Tatsuya SASAKI (Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato Tsukuba Ibaraki 305-8687)

Examination of efficient bamboo felling work in flat land.

表-2. 伐採本数とサイクルタイム

試験区 補助具	逐次大井		逐次高崎		先行伐倒		択伐		
	無	有	無	有	無	有	無	有	
伐倒本数	全体	38	46	23	25	67	9	45	45
	正常	29	44	23	25	38	9	45	45
	かかり竹	9	2	0	0	29	0	0	0
サイクルタイム (秒)	全体	112.4	127.5	84.1	112.7	99.0	106.1	69.0	112.4
	正常	80.0	118.5	84.1	112.7	69.6	106.1	69.0	112.4
	かかり竹	216.7	325.3			142.7			

最初の数本でのみ行い、スペースが開いた後は補助具を使用せず伐倒した。全て伐倒した後、スイングヤードを架設して集材した。

2. 3 択伐 伐採率は本数率で 33% を目標に行う。伐区の外縁付近に作業車を置き、作業車側から伐倒を始め、作業車から見て横方向に移動しながら奥へ向かって伐倒を進めた。伐倒作業は補助具無・有ともに逐次集材と同様に元口移動により行い、元口はできるだけ作業車側に向くように倒伏させた。伐区幅が広いので、15 本連続で伐倒した後、作業車のウインチで集材することとした。

3. 要素作業および試験方法

本報における伐倒の要素作業は (I) を元に、3 種類共通とするため一部を変更し、補助具設置・チェーンソー準備・鋸断・チェーンソー退避・倒伏作業・補助具撤去・作業確認・その他・竹間移動の 9 種類を設定した。なお倒伏作業は元口移動および押し倒しを指す。集材については空送・荷かけ・実送・荷はずし・待ち・その他の 6 種類を設定した。なお架設・撤去は今回は考慮しない。

試験区毎に 2 人または 3 人で交代で作業を行い、作業の様子をビデオカメラで撮影して時間観測を行った。

III 結果と考察

1. 伐採本数とサイクルタイム

表-2 に伐採本数の内訳およびそれぞれのサイクルタイムを示す。逐次大井では他の試験区と比較するために要素作業を見直すとともに、伐根の除去等の付帯作業を加えたため (I) よりサイクルタイムが 10 秒程度大きくなっている。伐倒本数およびサイクルタイムを正常とかかり竹に分けているが、正常とは問題なく倒伏したもので、かかり竹とは伐倒時間に著しい遅延を生じた場合を指している。かかり竹の処理は、逐次大井はウインチのけん引により、先行伐倒ではロープを使用した引き倒しおよび元口移動により行った。逐次高崎ではかかり竹が発生しなかったが、これは立竹の傾斜度合と方向によるもので、大井では横方向に大きく傾斜している竹が多く、作業車方向に元口を移動させることが困難となる場

合があったためである。また、択伐の場合には、できるだけ元口を作業車に向けて伐倒するとしていたものの、実際にそれが困難であると判断した場合には倒伏させやすい方向に向けて伐倒したため、処理に時間を要するかかり竹は発生しなかった。

先行伐倒が皆伐にもかかわらず、かかり竹が多発したのは、伐採幅が 3 m と狭く、試験区外の傾いた残存竹が支障となっていたためであると考えられる。

2. 要素作業時間

各要素作業の平均所要時間を図-1 に示す。補助具無においては、先行伐倒のみ伐倒方法が異なるため、要素作業の時間割合も特徴的なものとなっている。すなわち元口移動を行わずに押し倒すため倒伏作業時間および竹間移動時間が短くなっているものの、逆に「その他」時間は長くなっているため、サイクルタイムとしては択伐と同程度になっている。「その他」の内訳は伐根や枝などの障害物除去が大部分を占めるが、先行伐倒の場合、集材を行わないため伐倒された竹が作業の障害になることから、これを除去するための玉切り作業を行っているために他に比べ長くなった。特に今回はかかり竹が多く発生し、これを処理するために元口移動を行う場合があり、伐倒された竹の元口が未伐倒部分に入り込んでいたため玉切りを多く行ったものと考えられる。玉切りを行わなかったと仮定すると、付帯作業は 7.2 秒、サイクルタイムは 54.8 秒となり、能率が大幅に上がることとなる。

択伐は立竹の間を縫うように元口移動を行う必要があるため、逐次集材に比べて倒伏作業及びサイクルタイムが長くなると予想されたが、前述のとおり倒しやすいう方向を選んで伐倒したため逆に短くなるという結果となった。

一方補助具有では全体的にサイクルタイムが他より長くなっている。その要因は、主に倒伏作業と、補助具特有の作業である設置・撤去作業であり、これは (I) と同様の結果となった。また、先行伐倒では補助具により元口移動が生じたため竹間移動時間が増加している。

かかり竹は逐次大井の 2 種類と、補助具無の先行伐倒

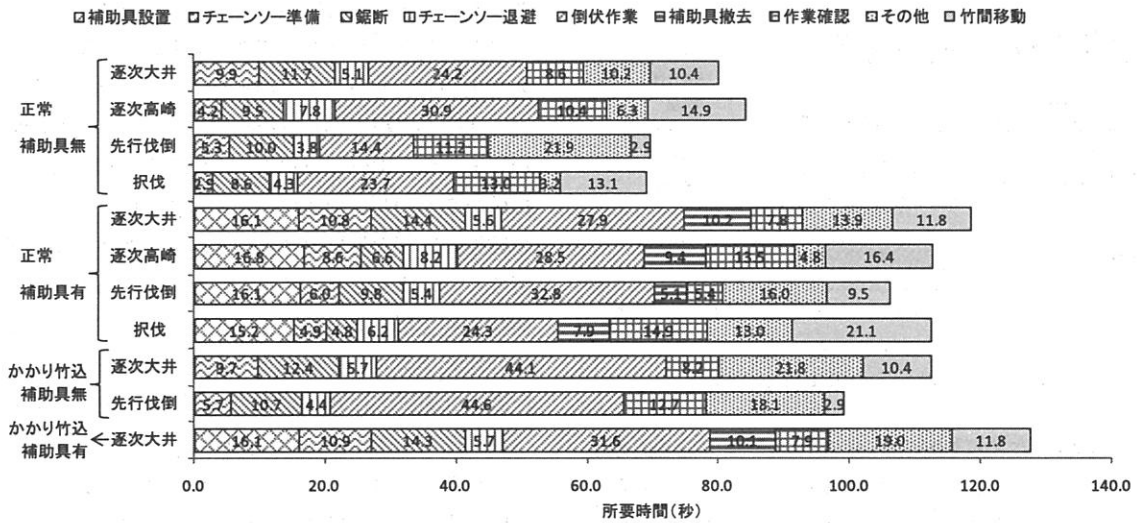


図-1. 伐倒作業の要素作業所要時間

で発生していることから、これらの3種類でサイクルタイムの増加が見られた。図-1にはこの3種類のみ示す。かかり竹の処理自体は倒伏作業に、処理に使用するウインチやロープの準備は付帯作業に分類されるため、両要素作業の時間が大幅に長くなった。補助具有の逐次大井ではかかり竹がほとんど発生していないため、増加はわずかである。従ってかかり竹が多く発生した2試験区では補助具有無の時間差が縮小しており、先行伐倒ではほとんど同じ程度になった。ただし、補助具有の先行伐倒は倒伏スペースを開けるために最初の9本のみであるため、それ以上作業を続けると林床に倒伏された竹が溜まり補助具を滑らせるスペースが無くなり、玉切りを行って倒伏した竹を除去する必要が出て作業時間が増加することが予想される。

全体的に見ると、かかり竹を除外した場合には個別要素の長短があるものの、サイクルタイムとしては差があまりなく、補助具無しが約15秒、有が約10秒の範囲に収まっていた。かかり竹を含めることにより、該当する試験区において時間の増加が見られ差が拡大したが、これはつまり、伐倒のみに限れば、サイクルタイムは個別の要素の長短よりも、かかり竹のような不規則的な事態が発生する頻度に左右されると考えることができる。

3. 集材のサイクルタイムおよび要素作業時間

試験結果の概要およびサイクルタイムの実測値を表-3に示す。空送と実送が集材距離と比例関係にあるとして定数を求めたところ、先行伐倒(スイングヤード集材)が両定数ともに小さく、択伐がともに大きいという結果となった。スイングヤードは搬器速度が高く、択伐については逐次集材と巻き込み速度は変わらないものの、空送時はけん引ルートを検討しながら進み、実送時はスナ

ッチブロックを使用して迂回したり、立竹の間を通したりすることが多いことから、度々一時停止して慎重に行っていることを示している。算出した定数から、平均集材距離を20mで共通とした場合の要素作業時間の予測値を、図-2に示す。定数と同様に、スイングヤードの空送と実送が非常に短い。また、集材距離に影響されない要素作業については、まず択伐における「その他」の値が大きい。スナッチブロックの準備と作業確認がそのほとんどを占めており、ここでも慎重に作業を行っていることが伺える。次にスイングヤードでは、荷かけおよび待ち時間が他に比べて大きいことで、空送・実送の短さと相殺してしまいサイクルタイムでは逐次集材と変わらない値となってしまった。荷かけについては搬器が重く、またワイヤロープが搬器を通過しており扱いづらいために遅延したと考えられ、待ち時間については同時進行の造材・仕分け工程がチェーンソーと人力によって行われており能率が低いために発生している。一方で、自動フックを使用しているため荷はずしは迅速で、他に比べ半分から3分の1となっている。

4. まとめ

1回の集材工程につき2本の竹を搬出することとして、伐倒から集材までをまとめてサイクルタイムを算出した(表-4)。平均集材距離は20mとした。先行伐倒につ

表-3. 集材作業のサイクルタイムと比例定数

使用機械	逐次大井		逐次高崎	先行伐倒	択伐
	ウインチ	ウインチ	ウインチ	スイングヤード	ウインチ
サイクル数	44	24	29	29	26
サイクルタイム	188.1	184.3	216.7	216.7	245.7
比例定数	空送	1.0	1.1	0.8	1.7
	実送	2.5	3.2	1.0	4.2

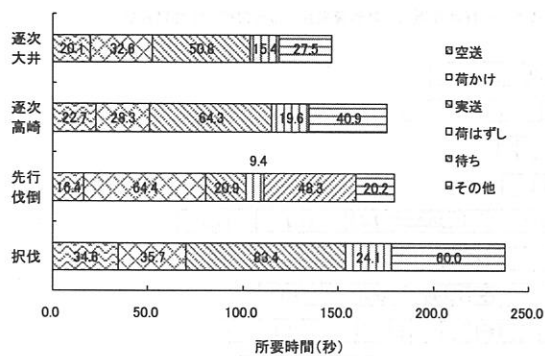


図-2. 集材作業の要素作業時間

いても比較のために同様に計算したが、他は竹間移動を1回としているのに対し、連続伐倒であることを考慮して2回分を計上している。補助具無では逐次高崎が最も値が小さく、他の3試験区は同程度となっており、その差は30~40秒である。補助具有では択伐が最も値が大きく、「その他」が同程度、差は約60秒となった。全体的には、最小である補助具無・逐次高崎と最大である補助具有・択伐以外は370秒付近に固まる傾向があり、作業方法による能率の違いが表れにくい結果となった。

前述の通り、個別の時間で差が生じても全体的にはそれほど違いがないという傾向が認められたが、これまでに得られた結果から、それぞれの作業方法における効率化の方向について考察する。まず逐次集材では、かかり竹を発生させないため、補助具を積極的に利用すべきである。通常は補助具無で作業を行い、直径が大きく幹の傾斜が大きい場合などは補助具を使用することにより、当該竹の伐倒時間はある程度増加しても、かかり竹の発生による著しい遅延の発生を未然に防ぐことができると考える。逐次集材により林床に材が溜らないため、地面を滑走する補助具が有効に機能する環境である。

先行伐倒はかかり竹を生じさせないことが重要であり、そのためには伐採幅を広げることが効果的である。これにより倒伏スペースが大きく開いて伐倒しやすくなるとともに、元口移動の頻度が減少してこれから伐倒する竹の根元に伐倒された竹が侵入しなくなり玉切りによる除去時間も大きく減少すると考えられる。ただし竹は地下茎から再生するため、伐採幅を広くした場合には伐採後の再生が衰える危険がある。伐採幅と再生量の関係はいまだ明らかになっていないため、幅の設定には注意が必

表-4. 伐倒から集材までのサイクルタイム

単位：秒	逐次大井	逐次高崎	先行伐倒	択伐
補助具無	360.7	329.0	377.7	362.6
補助具有	389.4	384.8	391.8	441.4

要である。また集材については、今回は小型スイングヤーダと組み合わせたのが、連携作業との不均衡からその能力を生かすことができなかった。グラップルなどを使用し、速やかに線下から材を除去することで待ち時間は解消できるが、本研究で想定している小規模竹林において機械を2台同時に使用することは現実的ではない。今回の結果では逐次集材のウインチの方がサイクルタイムが短く、先行伐倒でもウインチで集材した方が、コストの面からも有利である。ウインチ集材を適用し、また伐区幅の拡大が可能であれば、先行伐倒は今回試験した中では最も効率的に作業を行うことができると考えられる。

択伐は倒しやすい方向に伐倒したためにスナッチブロックなどを使用することとなり集材時間が長くなったが、伐倒作業において無理に集材方向へ元口を移動しようとすると、著しい遅延が生じる危険があり、効率化の余地はあまり多くないと思われる。しかし、集材方向から大きくずれた材についてはあらかじめ玉切りを行うことにより、荷かけ時間のかかり増しは生じるものの、択伐集材で大きな割合を占めている実送と「その他」の時間を減らすことができる可能性があると考えられる。

3種類の作業方法の適地を考えると、逐次集材は伐区幅が狭い場合に有効であり、広く設定できる場合には先行伐倒を行った方が能率が上がると考えられる。択伐はタケノコ生産や景観上の配慮が必要な場合に限定すべきである。

IV おわりに

関東地方の平野部に多く散在していると考えられる小規模竹林での竹材生産を想定して4つの試験区で3種類の作業方法で伐採試験を行い、それぞれのサイクルタイムと要素作業時間を明らかにした。サイクルタイムで見ると作業ごとの差はそれほど明確ではなかったが、要素作業を分析することにより、各作業の特徴が明らかになり、さらなる作業の効率化が可能であることが示唆された。今後は造材・仕分け工程やチップ化工程についても時間分析を行い、伐採作業全体としての生産性や生産コストを明らかにしていく予定である。

引用文献

- (1) 伊藤崇之・上村 巧・佐々木達也 (2006) 補助具を使用した竹の伐倒作業時間について. 森林学誌 20 : 263~266.
- (2) 伊藤崇之・上村 巧・佐々木達也 (2007) 補助具を使用した竹伐倒作業の労働負担. 日林学術講 118 : P1b07.
- (3) 上村 巧・佐々木達也・伊藤崇之 (2005) 竹用伐倒補助具の開発. 森林学誌 19 : 287~289.