

中型ショベル系掘削機を用いた作業道の作設能率と経費

図子 光太郎・嘉戸 昭夫

Efficiency and cost of strip road construction using medium excavators

Kotaro ZUSHI, Akio KATO

近年、作業道の作設にあたって、バケット容量が 0.45m^3 （0.45クラス）の中型バックホウが多用されている。本研究の目的は、0.45クラスのバックホウを用いた作業道の作設時間に関する予測式を作成し、作設経費の見積もりを可能にすることである。予測式を作成するため、富山県内の12路線の26区間において0.45クラスのバックホウを用い作業道を作設し、作業時間の測定を行った。その結果、平均作設速度は設計幅員3.0mの作業道において 16.2m/hr となり、設計幅員2.5mの作業道において 18.6m/hr となった。作業道の作設時間を予測するため、土工作業時間予測式と伐根処理時間予測式を作成した。土工作業時間予測式は地山傾斜と実測幅員を説明変数として使用し、伐根処理時間予測式は支障木の胸高直径と地山傾斜を説明変数として使用した。これらの予測式から求めた作設経費は設計幅員3.0mの作業道において $269\sim 574\text{円/m}$ となり、設計幅員2.5mの作業道において $235\sim 493\text{円/m}$ となった。0.45クラスのバックホウを用いた作業道の作設経費はより小型のバックホウを使用した場合に比べ低くなることが確認された。

1. はじめに

我が国では、戦後の拡大造林によって植栽された人工林資源が利用可能な段階に入りつつある。こうしたなか、木材の安定供給と利用に必要な体制づくりの指針となる『森林・林業再生プラン』（林野庁 2009）が発表され、作業道を中心に高密度路網を整備し、高性能林業機械を積極的に導入することにより、木材生産の効率化・低コスト化を図る方針が明確化された。これを受け、全国各地で作業道を中心とした路網整備が急速に進み、富山県においても年間 $100,000\text{m}$ 以上の作業道が作設されている（富山県農林水産部 2014）。

作業道の整備が急速に進む一方で、作業道の作設能率に関する研究はあまり行われていない。岡ら（1992）は作業道の作設能率に影響を及ぼす要因として地山傾斜と土工量の関係に着目し、これらについて検討を行った。また、與儀および川元（2008）は通常のショベル系掘削機（以下、バックホウ）とグラップル付きバケットを装着した掘削機の作設能率の比較を行った。また、村井ら（2013）は、作業道作設における伐根処理工程において、伐根処理時間に影響を及ぼす要因の検討を行い、立木サイズと作業時間との関係を示した。

こうしたなか、平林ら（2009）は、バケット容量が $0.11\text{m}^3\sim 0.28\text{m}^3$ までのサイズの異なる数種のバックホウを対象に、それらを用いて作設される作業道の路体構造や機種別の作業時間などについて調査を行った。さらに、機種別の作設時間予測式を作成し、作設経費の比較を行った。その結果、バックホウのサイズが大きくなるに従って作設能率は高くなり、バケット容量が 0.28m^3 （以下、0.28クラス）のバックホウが経費を最も低く抑えられることを示した。

富山県では、バケット容量が 0.45m^3 （以下、0.45クラス）の中型バックホウが作業道作設に多用されている。また、一般的に設計幅員3.0mの作業道の場合は、作業効率の面から0.45クラスのバックホウを使用することが推奨されている（石川 2008, フォレスト・サーベイ 2010）。にもかかわらず、0.45クラスのバックホウを用いて作設される作業道の路体構造や作設能率などについて詳細に調査した例は見当たらない。また、作業道の作設経費を見積もるためには、作設時間の予測式を構築する必要がある。そこで本研究では、作業道の作設経費の見積もりを可能にするため、0.45クラスのバックホウを用いた作業道作設における土工作業時間および伐根処理時間の予測式を作成した。また、前述の

平林ら（2009）の研究結果を用い、作設能率や経費についてより小型のバックホウとの比較を交え、考察を行った。

2. 調査方法

調査は、2013年に富山県内で開設された12路線の26区間（区間延長約10m）で行った。このうち13区間は設計幅員2.5mであり、残りの13区間は設計幅員3.0mである。調査区間にある立木は全て胸高直径を計測し、位置を記録した。作設には0.45クラスのバックホウを用い、作業に習熟したオペレータが操作にあたった。作業道作設後、カーブの始点、中間点、終点および縦断勾配の変化点や地形の変化点などで、レーザー測距機を用いて測量を行い、幅員、切土断面積、盛土断面積、切土法面勾配、盛土法面勾配、作業道用地幅などを求めた（図-1）。なお、切土断面積や盛土断面積を求める際に必要となる作業道作設前の地山線は切土法頭と盛土法尻を結んだ線とした。

森林作業道作設指針（林野庁 2010）をもとに、地山傾斜に応じた路体構造（切土断面積、盛土断面積、切土法面勾配、盛土法面勾配および作業道用地幅）の設計基準値を設定し、実測値との比較に用いた。森林作業道指針では、切土法面勾配は土砂の場合は6分とし、盛土法面勾配は、盛土高が2m以下の場合は1割よりも緩い勾配とし、盛土高が2m以上の場合は1割2分と規定している。そこで、切土法面勾配を6分（59°）、盛土法面勾配を1割2分（40°）とし、0～40°の地山傾斜範囲において切土量と盛土量が当該断面において均衡するような路体の横断形状を求め、その横断形状における切土高、盛土高、切土断面積、盛土断面積をそれぞれの設計基準値とした。その際、土量修正係数（盛

土量/切土量）を0.81とした（酒井 2009）。また、設計幅員は2.5mおよび3.0mであるが、曲線部には拡幅を設けることとされている。指針では拡幅量を明確に指定していないが、実態を勘案し拡幅量を最大1mとし、幅員3.5mおよび4.0mの場合の設計基準値も設けた。

作業時間解析のため、ビデオカメラを用いて作業状況を記録し、要素作業毎の時間を測定した。要素作業は、平林ら（2009）の方法を参考に、支障木整理の「材処理」、枝葉を整理する「枝条整理」、土砂を掘削移動させる「掘削・排土」、伐根の引抜きおよびそれらを盛土内に埋設する「伐根処理」、バケットによって転圧を行う「バケット転圧」、クローラによって転圧を行う「クローラ転圧」、路面の不陸を整地する「路面整地」、上記以外の理由で機械を移動させる「移動」とした。なお、作業道作設では支障木の伐倒作業も併せて行われるが、本論の解析には含めなかった。

土工作業（掘削・排土、転圧、路面整地、枝条整理を併せた作業）と伐根処理の作業時間に関する予測式を作成するため、一般化線形モデルを用いて解析を行った。土工作業時間（秒/m）（ $n=26$ ）については地山傾斜（各区間の平均傾斜）および実測幅員を、伐根処理時間（秒/本）（ $n=129$ ）については地山傾斜および支障木（スギ）の胸高直径をそれぞれ説明変数として投入した。解析にあたって、赤池情報量基準（AIC）が最小となるよう変数の取捨選択を行い、最適モデルを導いた。さらに、それぞれのフルモデルからある変数を取り除いた際のAICの変化量をAICとし、取り除いた変数の影響度を示す指標とした。なお、解析では誤差構造を正規分布と仮定し、連結関数を対数とした。また、本論で示す平均は全て中央値である。

3. 結果

路体構造

実測幅員のヒストグラムを図-2に示す。設計幅員2.5mの作業道（以下、2.5m作業道）における実測値は平均2.90m（2.49～4.69m）となり、設計幅員3.0mの作業道（以下、3.0m作業道）の実測値は平均3.25m（2.59～4.68m）となった。実測幅員と設計幅員の差は2.5m作業道の方が大きくなる傾向があった。また、30°を超える急傾斜地では他に比べ幅員が狭くなる傾向が多か

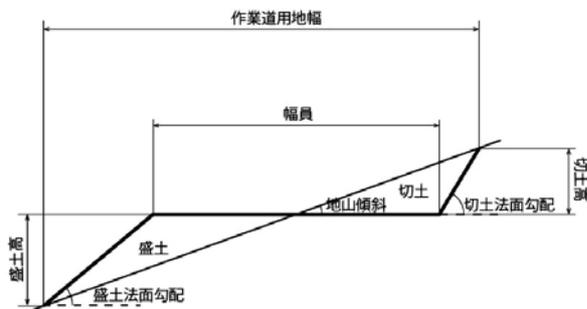


図 - 1 作業道横断面図の模式図

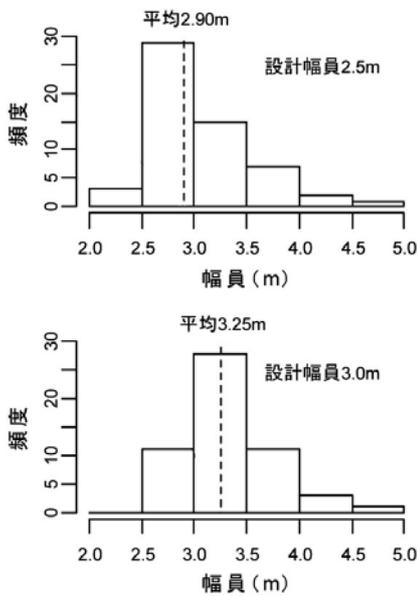


図 - 2 作業道幅員のヒストグラム

ったが、地山傾斜と幅員との間に統計的に有意な関係は認められなかった。

図-3に地山傾斜と切土断面積、盛土断面積、切土法面勾配、盛土法面勾配および作業道用地幅との関係を示す。図にはそれぞれの設計基準値を示すとともに、切土断面積、盛土断面積および作業道用地幅については地山傾斜と実測幅員をパラメータとする実測値の回帰曲線を、切土勾配と盛土勾配については地山傾斜をパラメータとする実測値の回帰曲線を示す。切土断面積は2.5m作業道において平均0.87㎡(0.00~4.90㎡)となり、3.0m作業道において平均1.23㎡(0.03~6.14㎡)となった。切土高は2.5m作業道において平均1.07m(0.00~2.66m)となり、3.0m作業道において1.17m(0.21~3.66m)となった。また、切土断面積における実測値の回帰曲線は、幅員に伴う変動がやや大きいものの、概ね設計基準値に沿った変化を示した。

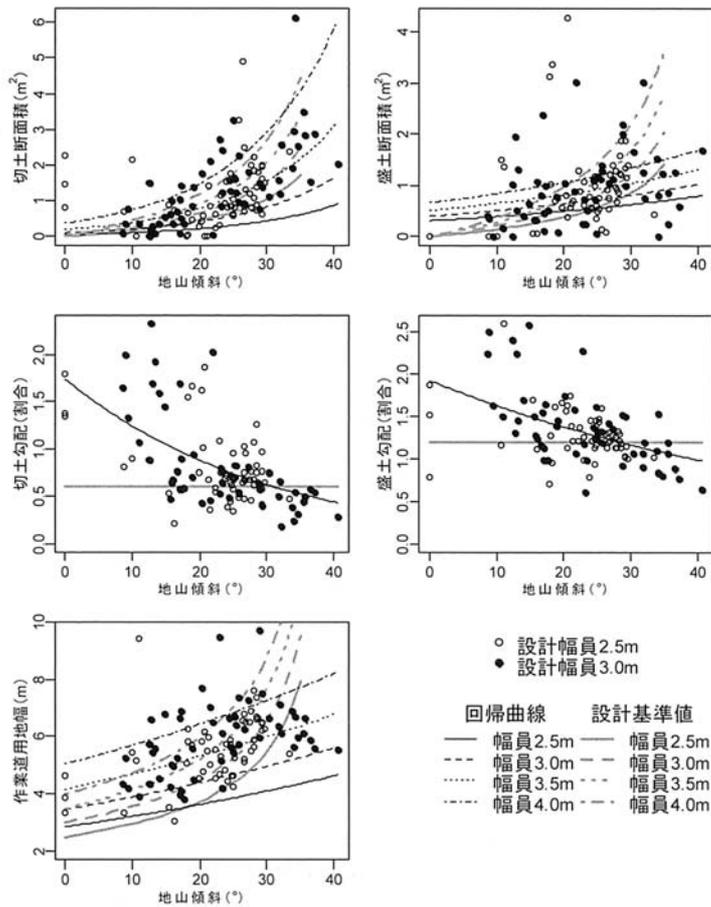


図 - 3 地山傾斜と切土断面積，盛土断面積，切土法面勾配，盛土法面勾配および作業道用地幅との関係

盛土断面積は2.5m作業道において平均0.78㎡(0.00~4.27㎡)となり、3.0m作業道において平均0.83㎡(0.01~3.02㎡)となった。盛土高は2.5m作業道において平均1.27m(0.00~2.42m)となり、3.0m作業道において平均1.33m(0.04~3.75m)となった。設計基準値と実測値とを比較すると、地山傾斜20°以下の緩傾斜地では実測値は基準値を上回ることが多く、傾斜20°以上の急傾斜地では基準値を下回ることが多かった。

切土法面勾配は、地山傾斜にかかわらず6分とされているが、急傾斜地ほど急勾配となる傾向があり、地山傾斜が30°を超えると6分を下回ることが多かった。平均は設計基準値よりやや緩い7分であった。また、盛土法面勾配も、急傾斜地ほど急勾配となる傾向があり、地山傾斜が30°を超えると基準値の1割2分を下回ることが多かった。なお、平均は基準値と同じ1割2分であった。

作業道用地幅は、2.5m作業道において平均5.64m(3.04~9.42m)となり、3.0m作業道において平均5.91m(3.81~9.70m)となった。設計基準値と実測値を比較すると、地山傾斜20°以下の緩傾斜地では基準値を上回ることが多く、地山傾斜20°以上の急傾斜地では基準値を下回ることが多かった。なお、ここで示した作業道用地幅の回帰式は、作業時間や経費の予測を行う際に必要となる伐開面積や支障木本数の算出に使用する。

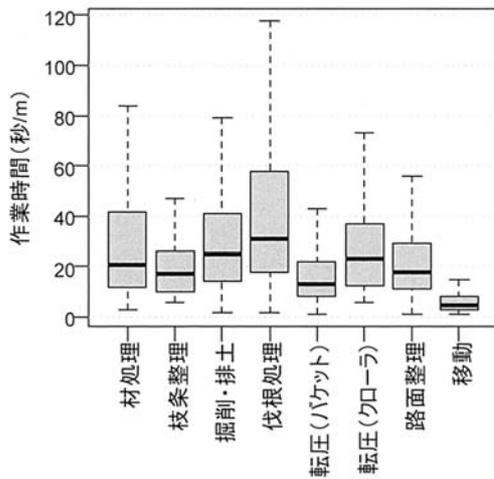


図 - 4 作業道作設における要素作業時間の比較

作業時間解析

図-4に、各要素作業に要した単位距離あたりの時間について要素作業別の比較を示す。平均値を比較すると伐根処理に最も時間を要し(平均31秒/m)、次いで掘削・排土(平均25秒/m)、クローラ転圧(平均23秒/m)、材処理(平均21秒/m)の順であった。一連の作業を併せた作業道の平均作設時間は3.0m作業道において

表 - 1 一般化線形モデルによる土工作業時間の解析結果

	推定値	標準誤差	t値	p値	ΔAIC
切片	2.581	0.935	2.759	0.011	
地山傾斜	0.030	0.014	2.178	0.040	3.984
実測幅員	0.548	0.226	2.426	0.024	3.638

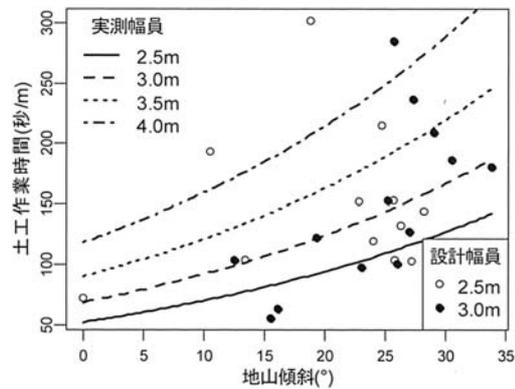


図 - 5 地山傾斜と土工作業時間の関係

表 - 2 一般化線形モデルによる伐根処理時間の解析結果

	推定値	標準誤差	t値	p値	ΔAIC
切片	3.498	0.309	11.338	<0.001	
DBH	0.040	0.006	6.605	<0.001	36.559
地山傾斜	-0.026	0.009	-2.916	<0.004	5.955

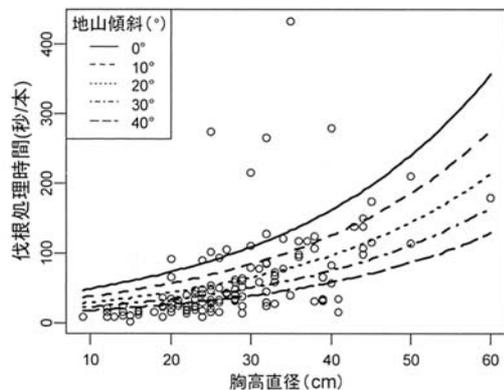


図 - 6 胸高直径と伐根処理時間の関係

223秒/mとなり、2.5m作業道において193秒/mとなった。また、平均作設速度は3.0m作業道において16.2m/hrとなり、2.5m作業道において18.6m/hrとなった。

表-1に、土工作業時間(秒/m)に関する一般化線形モデルによる解析結果を示す。また、図-5に地山傾斜と土工作業時間の関係を示す。解析の結果、予測式には地山傾斜と実測幅員が説明変数として採用された。地山傾斜が急になるにつれ作業時間は増加し、幅員が増加するにつれ作業時間は増加した。また、地山傾斜と幅員の作業時間に対する影響(AIC)はほぼ同程度であった。

表-2に、伐根処理時間(秒/本)に関する一般化線形モデルによる解析結果を示す。また、図-6に胸高直径と伐根処理時間の関係を示す。解析の結果、予測式には胸高直径と地山傾斜が説明変数として採用された。胸高直径が大きくなるにつれ作業時間は指数的に増加し、傾斜が急になるにつれ作業時間は減少した。また、作業時間に対する地山傾斜の影響(AIC)は、胸高直径に比べると小さかった。

4. 考察

同一規格の作業道を作設する場合、使用するバックホウのサイズによって幅員や路体構造に違いが生じる。すなわち、使用するバックホウのサイズが大きくなるほど、幅員や土工量が増加する傾向がある(平林ら 2009)。0.45クラスのバックホウの全幅は、メーカーや機種によって若干異なるが、2,490~2,800mm程度である(林業機械化協会 1999)。このクラスのバックホウを用いて2.5m作業道を作設した場合、実測幅員は設計幅員を平均で40cm上回り、1m以上上回る箇所は全体の17%に達した。一方、3.0m作業道の場合、設計幅員と実測幅員の平均値との差は25 cm程度であり、設計幅員を1m以上上回る箇所は全体の7%であった。2.5m作業道と3.0m作業道の設計幅員と実測幅員の差について、*t*検定を用いて分析した結果、有意差が認められた。また、設計幅員による切土断面積および盛土断面積の差について、*t*検定を用いて分析したが、有意差は認められなかった。このようなことから、2.5m作業道の作設に0.45クラスのバックホウを用いると必要以上の幅員の拡大を招くとともに、土工量も3.0m作業道と同程度ま

で増加すると考えられる。

森林作業道指針(林野庁 2010)や富山県森林作業道開設基準(富山県農林水産部 2012)は路体構造について一定の基準を設けているが、実際の施工にあたっては現場状況に応じ、柔軟な対応がなされている。例えば、切土法面勾配や盛土法面勾配は、地山傾斜が急傾斜になるほど、急勾配になる傾向があった。これは、急傾斜地では法面を急勾配にすることによって切土高や盛土高を抑えようとするためと考えられる。また、切土断面積と盛土断面積についてみると、切土断面積と地山傾斜との関係は概ね設計基準値に沿った変化を示すが、盛土断面積は緩傾斜地において設計基準値を上回ることが多く、急傾斜地では基準値を下回ることが多い。これは、盛土の構築が困難な急傾斜地では出来るだけ盛土断面を小さくし、そのために生じる余剰の土砂を付近の緩傾斜地の盛土として処理しているためと考えられる。このことは作業道用地幅にも影響しており、作業道用地幅は緩傾斜地において設計基準値より広くなることが多く、急傾斜地では基準値より狭くなることが多い。一般的に急傾斜地では谷側に張り出し盛土して幅員を確保すべきとされているが(フォレスト・サーベイ 2010)、調査を行った現場では山側に切土して幅員を確保することが多かった。この原因について本調査の結果からだけでは明確に特定することは出来ないが、土工能力の高い中型のバックホウの使用が急傾斜地における切土の偏重につながった可能性も考えられる。

一般的に、使用するバックホウのサイズが大きくなるほど作業道の作設能率は高くなるとされている。麻生ら(2008)はバケット容量が0.1 m³のバックホウを用いた場合の3.0m作業道の作設速度は6.9m/hrであったとしている。また、與儀および川元(2008)は0.28クラスのバックホウを用いた場合の作設速度は13.8m/hrであったと報告している。今回の調査における3.0m作業道の作設速度(16.2m/hr)は麻生らや與儀および川元の結果を上回っており、0.45クラスのバックホウの使用が作設能率の向上につながることが確認された。

土工作業時間は地山傾斜および幅員によって変化した。これは、作業道の土工作業時間は土工量に比例し(岡ら 1992)、土工量は地山傾斜と幅員によって概ね決まるためである。

伐根処理時間はDBHと地山傾斜によって変化した。DBHの影響は、根株のサイズが大きくなるほど、根株周りの土砂の掘削、根株の掘取りや埋設にかかる時間が増加するためである。また、地山傾斜の影響については、急傾斜地ほど根株の掘取りが容易になるためである。急傾斜地の場合、小さな根株であれば、根株周りの土砂を取り除かなくても、バケットで根株の上端に力を加えるだけで除去できる。これまで、作業道作設における伐根処理時間について、いくつかの研究がDBHをパラメータとする推定式を示している（岡ら 1992, 平林ら 2009, 村井ら 2013）。本調査において、地山傾斜の影響が明らかとなり、これをパラメータに加えることによって伐根処理時間についてより精度の高い推定が可能になる。

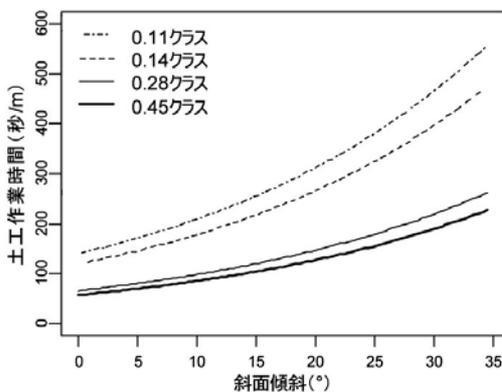


図 - 7 バックホウサイズ別の土木作業時間の比較
0.11～0.28クラスは平林ら(2009)をもとに作成

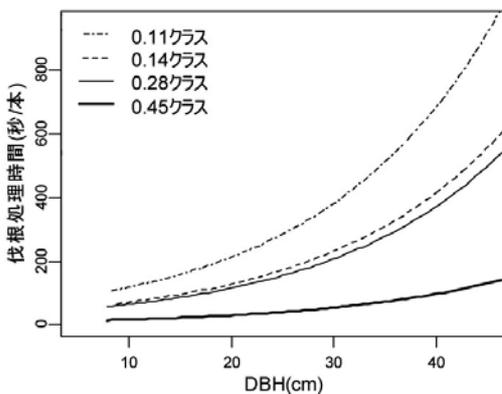


図 - 8 バックホウサイズ別の伐根処理時間の比較
0.11～0.28クラスは平林ら(2009)をもとに作成

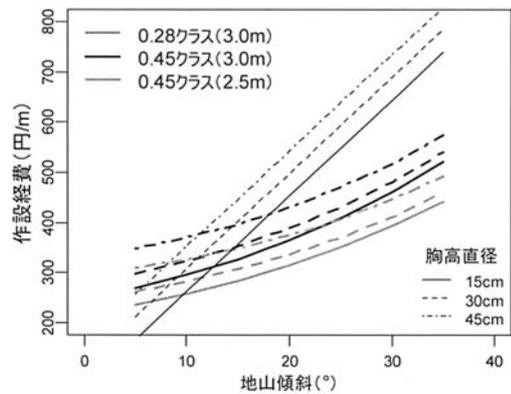


図 - 9 バックホウサイズ別の作設経費の比較
0.28クラスは平林ら(2009)をもとに作成

土工作业と伐根処理作業について、平林ら(2009)が示したバケット容量が 0.11m^3 のバックホウ(0.11クラス), 0.14クラスおよび0.28クラスのバックホウの作業能率と本調査における0.45クラスのバックホウの作業能率の比較を行った(図-7, 図-8)。0.45クラスを用いた場合の土工作业の能率は、0.28クラスよりやや高いものの、0.11クラスや0.14クラスと0.28クラスとの差に比べれば、その差は小さい。一方、0.45クラスのバックホウを用いた伐根処理作業の能率は、0.28クラスに比べかなり高い。このことから、0.45クラスのバックホウの使用は、0.28クラスに比べ、主に伐根処理において高い効果を発揮すると考えられる。

作設能率の高い機械の使用が作設経費の面において有利になるとは限らない。そこで、土工作业時間予測式および伐根処理時間予測式を用いて、0.45クラスのバックホウを用いた作業道の作設経費を試算するとともに、平林ら(2009)が作成した作業道作設時間予測式から算出した0.28クラスによる作設経費の試算結果と比較した(図-9)。試算の際に用いた0.45クラスおよび0.28クラスのバックホウの機械経費単価は、平林ら(2009)の方法に準じて算出し、それぞれ4,755円/hrおよび3,591円/hrとした。オペレータの労務単価は2,500円/hrとした。また、支障木の本数は700本/haとし、支障木の平均胸高直径を15cm, 30cmおよび45cmとした場合について、それぞれ斜面傾斜 $5\sim 35^\circ$ の範囲で試算を行った。試算結果によると、作設経費は3.0m作業道において269～574円/mであり、2.5m作

業道において235～493円/mであった。また、3.0m作業道の場合、地山傾斜が10°以下の緩傾斜地を除いて、0.28クラスよりも0.45クラスのバックホウを使用した方が経費は低く抑えられた。また、急傾斜になるほど、あるいは支障木のサイズが大きくなるほど0.45クラスの経費面での優位性は高くなった。

0.45クラスのバックホウの使用は、0.28クラス以下の小型機種に比べ、能率の点からも経費の点からも有利であることが示された。しかし、0.45クラスのバックホウを用いると、とくに2.5m作業道の作設において、幅員を必要以上に広げることになり、土工量の増大を招く。また、その高い土工能力ゆえ、切土に偏重した路体構造になりやすく、急傾斜地ではその傾向が顕著になる。0.45クラスのバックホウによる作業道の作設にあたっては、これらの点について十分に留意して使用する必要がある。

5. おわりに

本論では、0.45クラスのバックホウを用いた作業道作設における土工作業時間予測式と伐根処理時間予測式を作成した。これらを用いることによって、作業道の作設経費の見積もりが可能となる。また、これらの予測式は著者らが開発した『富山県林業経営収支予測システム』にすでに導入されている。本システムは搬出間伐などの素材生産における収入や経費を予測するためのもので、これを利用することによって、全体の収入や経費を考慮しながら、作業道の規格、延長、使用機械および作設経費などを検討できる。

謝辞

調査の実施に際し、新川森林組合、立山山麓森林組合、婦負森林組合、富山県西部森林組合の職員および作業員の皆様に、多大なるご協力をいただいた。ここに記して厚く感謝の意を表する。

引用文献

- 麻生臣太郎・高橋健保・立川史郎・澤口勇雄・佐々木一也・菊地智久(2008)岩大式作業路網の作設工期．日林大会学術講：P1e09
- フォレスト・サーベイ(2010)森林作業道づくり．フォレスト・サーベイ
- 平林慧遠・澤口勇雄・高橋健保・麻生臣太郎・立川史郎・佐々木一也・菊地智久(2009)作業路の作設能率とコストに影響を与える要因．岩大演報40：161-171
- 石川知明(2008)高密作業路網と大型高性能林業機械による大径材搬出作業システムに適した作業条件．機械化林業661：1-6
- 村井秀成・齊藤仁志・植木達人・井上裕(2013)作業道作設時の伐根処理作業における要素作業の分析．中部森林技術交流発表集：110-118
- 岡勝・田中良明・吉田智佳史・井上源基(1992)小型集材車集材路網の開設作業に影響を及ぼす要因．日林関東支論43：161-162
- 林業機械化協会(1999)林業機械便覧．林業機械化協会
- 林野庁(2009)森林・林業再生プラン．<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/saisei/pdf/saisei-plan-honbun.pdf>(最終アクセス日：2014年12月17日)
- 林野庁(2010)森林作業道作設指針．<http://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/saisei/pdf/sinrinsagyoudou.pdf>(最終アクセス日：2014年12月17日)
- 酒井秀夫(2009)作業道ゼミナール - 基本技術とプロの技．全国林業改良普及協会
- 富山県農林水産部(2012)富山県森林作業道開設基準．(森林政策課資料)
- 富山県農林水産部(2014)富山県森林・林業統計書．http://www.pref.toyama.jp/cms_pfile/00010517/00759222.pdf(最終アクセス日：2014年12月17日)
- 與儀兼三・川元満夫(2008)シヨベル系掘削機による作業道作設工程の比較．第118回日林大会学術講：F15

Summary

In recent years, excavators with 0.45m³ bucket capacity (0.45 bucket excavators) have been commonly used for strip road construction. The purpose of this study is to develop prediction formulae for construction time of strip roads using 0.45 bucket excavators and to enable the estimation of construction cost. The time to construct strip roads using 0.45 bucket excavators was measured at 26 sections on 12 roads in Toyama prefecture. Average construction rates were 18.6 m/hour for roads of 2.5 m width and 16.2 m/hour for road of 3.0m width, respectively. We developed the prediction formula for time of earthworks and one for time of stump removals to predict the time to construct strip roads. The prediction formula for the time of earthworks used slope gradient and road width as explanatory variables. The prediction formula for the time of stump removals used DBH and slope gradient as explanatory variables. As a result of using these prediction formulae, construction costs for road of 2.5m width and 3.0m width were ranging from 235 to 493 JPY/m and from 269 to 574 JPY/m, respectively. As a result, it was confirmed that use of 0.45 bucket excavators in strip road construction reduced construction cost compared to use of smaller one.