

作業路の作設能率とコストに影響を与える要因

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**

Effective factors for efficiency and cost of strip road construction

Eon HIRABAYASHI*, Isao SAWAGUCHI**, Takeyasu TAKAHASHI**, Shintaro ASO**,

Shiro TATSUKAWA***, Kazuya SASAKI** and Tomohisa KIKUCHI**

1. はじめに

林業採算性が悪化する中、素材生産コストの削減が必要視されている（林野庁、2008）。採算性の改善には、素材生産における労働生産性を向上させ、コストを削減する必要がある。平成19年度から林野庁の補助事業として「低コスト作業システム構築事業」が開始された。この事業では現在の労働生産性を約 $5\text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ から、 $10\text{ m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ に向上させることを目標とする作業システムの開発実証試験を全国で行っている（日本林業技士会、2008）。労働生産性の高い作業システムを実現するためには、高密な路網が必要になる。低コストで耐久性の高い作業路として四万十式作業路（田邊ら、2008）が注目され、全国各地で作設されている。このタイプの作業路作設単価は300~1,500（円/m）という報告もあるが、これはアンケート調査であり、詳細なコスト分析はされていない（日本林業技士会、2008）。

林道、作業道、作業路のコスト試算に関しては、澤口（1997）、小林（1997）、岡ら（2004）の研究がある。これらは高規格の路網を対象とするものや、聞き取り調査に基づいた分析であるため、作業路の作設能率とコストに影響を与える要因を十分明らかにしたものとなっていない。作業路の作設能率は地況、作設機種、オペレータの習熟度等に影響されると考えられる。岡ら（1992）は、作設能率に地山傾斜が影響を及ぼすことを示し、奥儀ら（2007）は通常のバケットとグラップル機能付きバケット（以下、ザウルス）を装着したショベル系掘削機の作設

Received January 26, 2009

Accepted February 13, 2009

* 岩手大学農学部農林環境科学科森林科学講座

** 岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター

*** 岩手大学農学部共生環境課程

能率を比較し、ザウルスの有効性を明らかにしている。しかし、以上の報告は、地況や作設機種を多様な条件で充分検証したものとは言いがたい。酒井 (2004)、大橋 (2001) は急斜面で耐久性のある作業路では、なにかしらの構造物が必要であることを述べている。四万十式作業路は急斜面の盛土部に支障木による丸太組工を設置しているが (田邊ら、2008)、その作設能率やコストに関する研究も見当たらない。このため本研究は、作業路の作設能率とコストの推定精度を高めるために、作設能率や地況の条件を変えて行った、土工と丸太組工についての試験結果を報告するものである。

II. 試験地と方法

(1) 試験地概要

試験地は、岩手県雫石町に所在する岩手大学農学部御明神演習林第7林班スギ人工林に設定した。林齢は44～80年生、立木密度は800～1,528本/ha、平均胸高直径は17.9～30.9cm、平均地形傾斜は23.3° (2.5～34.6°) である。地質は新第三系中新統橋場層の凝灰岩類や頁岩で (多田、1975)、土質は細粒状、団粒状、礫交じり土である。年降水量は1,576mm、最大積雪深は85cmである (岩手大学演習林、2000)。

試験は平成19年4～10月と翌平成20年4～10月に行った。試験に用いたショベル系掘削機のバケット容量は0.11m³、0.13m³ザウルス (以下、z0.13m³)、0.14m³、0.28m³の4機種である (表-1)。作業路作設は、表土積ブロックと伐根で盛土を強化するとともに、直切で切土高を1.5m以下とする四万十式類似の施工法で行った (田邊ら、2008)。丸太組工は横木と縦木を交互に積み、ボルト留めた (図-1)。作業路の幅員は設計基準では3.0m以上とされているが、実際は平均3.5mで、縦断線形はほぼ等高線に沿う形状である。オペレータは経験年数2年の同一者である。

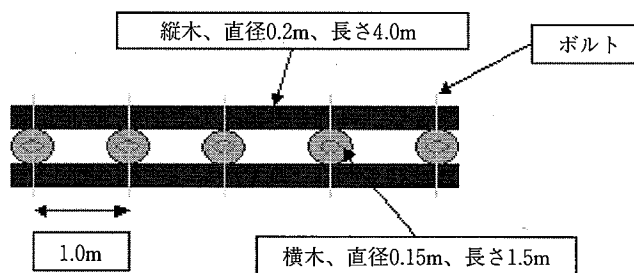


図-1 丸太組工概略図

表-1 機械経費

| 区 分 | | バックホウ | ザウルスロボ | バックホウ | バックホウ | フォワーダ |
|------------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| 機械 | 機種 | PC35MR | MSE15ZRX・305CCR | ViO40 | PC78US | U4S |
| | バケット容量 | 0.11m ³ | 0.13m ³ | 0.14m ³ | 0.28m ³ | 4 t |
| | 路線長(m) | 255 | 95 | 100 | 100 | — |
| | サイクル数 | 37 | 19 | 20 | 20 | — |
| 機械購入価格 ⁽¹⁾ | (円) | 4,460,000 | 7,710,000 | 531,000 | 7,630,000 | 9,500,000 |
| 耐用年数 ⁽²⁾ | (年) | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 7 |
| 年間使用時間 ⁽²⁾ | (時間) | 840 | 840 | 840 | 840 | 1,000 |
| 燃料消費量 ⁽²⁾ | (ℓ/hr) | 3.8 | 5.3 | 5.2 | 7.7 | 6 |
| 軽油価格 | (円/ℓ) | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| 利率 ⁽³⁾ | | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 保険料等 ⁽³⁾ | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 修理費率 ⁽²⁾ | | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.45 |
| 潤滑油費 ⁽³⁾ | (円/hr) | 91 | 127 | 126 | 184 | 156 |
| 維持費、洗浄費 ⁽³⁾ | (円/hr) | 375 | 375 | 375 | 375 | 375 |
| 機械経費(円/hr) | | 2,156 | 3,257 | 2,600 | 3,591 | 3,659 |
| オペレータ(円/hr) | | 2,500 | 2,500 | 2,500 | 2,500 | 2,500 |
| 合計(円/hr) | | 4,656 | 5,757 | 5,100 | 6,091 | 6,159 |

⁽¹⁾林業機械化協会 (1999) 65%価格; ⁽²⁾日本治山治水協会 (2002); ⁽³⁾澤口ら (2004)

(2) 試験方法

土工の時間観測は、0.11m³は3~10m、残りの機種は5mを1区間単位に合計96サイクル(550m)行った(表-1)。各区間の立木本数と胸高直径を直径割巻尺で計測し、立木密度と平均胸高直径を算出した。時間観測は現地とVTRで記録した画像をもとに分析した。土工の要素作業は支障木整理の「材処理」、枝葉を路肩下に整理する「枝条処理」、表土積みブロックの「表土積」、土の掘削移動の「掘削・排土」、伐根引抜き路肩埋設の「伐根処理」、バケット転圧の「転圧(バ)」、クローラ転圧の「転圧(ク)」、路面凹凸整地の「路面整地」、巨岩の盛土転用の「障害物処理」、線形確認などの「路線確認」、以上の作業以外の機械移動を「移動」とした。各区間の地山傾斜、幅員、盛土勾配、盛土高、切土高はポールと巻尺により3点平均で算出した(図-2)。

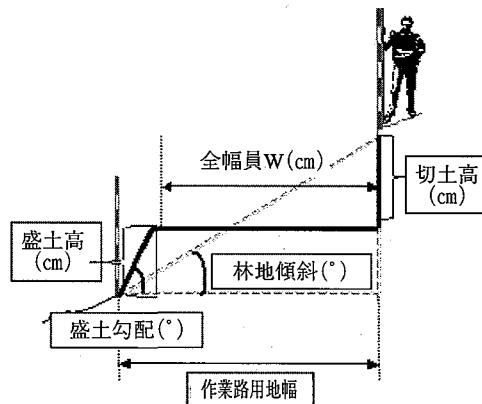


図-2 作業路横断面図

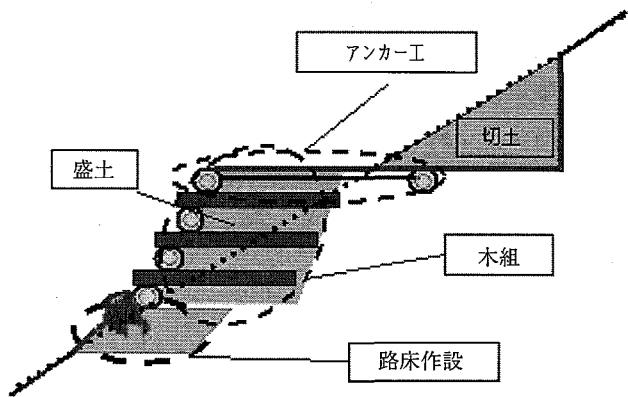


図-3 丸太組工横断面図

丸太組工の時間観測は、4mを1区間とし、6サイクル(24m)行った。丸太組工の要素作業は路盤の掘削、転圧、支障木処理、伐根埋設の「路床作設」、横木と縦木積、ボルト止、埋戻、転圧の「木組」、路肩と山側のアンカーの丸太をワイヤーで二箇所縛り、埋戻、転圧する「アンカー工」とした(図-3)。

III. 結果と考察

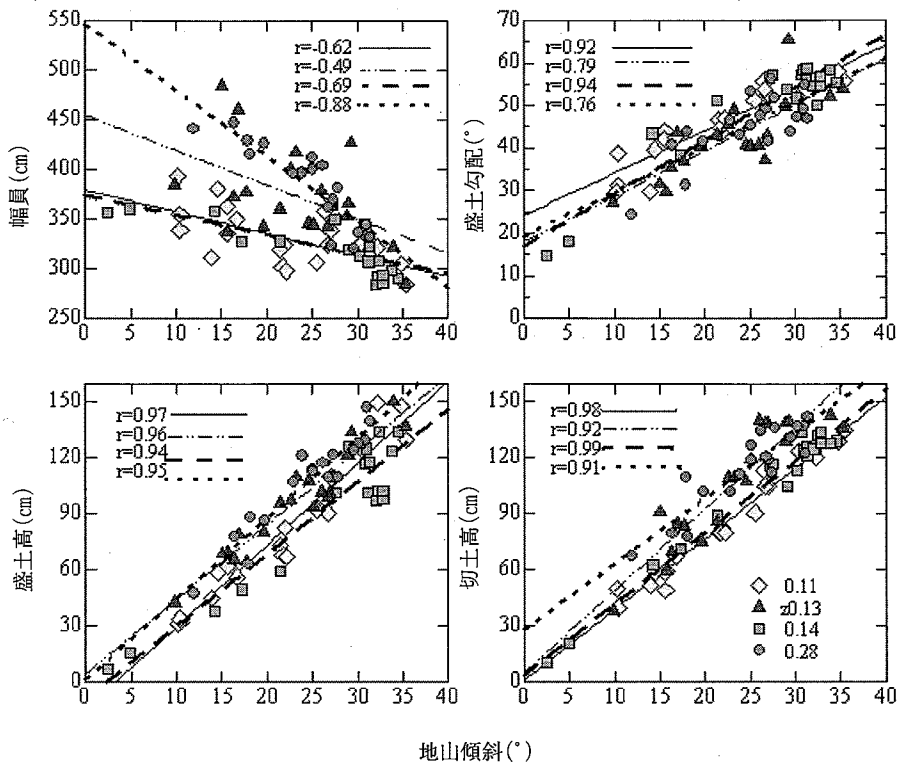
1. 土工

(1) 土構造

図-4に作業路の地山傾斜と、幅員、盛土勾配、盛土高、切土高の関係を示す。幅員は280~450cmで、急傾斜ほど幅員が狭く、作業機の幅が広いほど幅員が広い傾向がみられた。盛土勾配は約20~60°で、急傾斜ほど急勾配になった。この傾向は梅田ら(2006)とほぼ類似した。切土高、盛土高は150cm以下で急傾斜ほど高くなった。地山傾斜ごとの切土高と盛土高はほぼ同程度だった。

(2) 要素作業の分析

表-2に要素作業時間割合を示す。四万十式の特徴の「表土積」、「掘削・排土」、「伐根処理」の割合が高く、約50%以上を占めた。地山傾斜20°未満と20°以上に分けてマンホイットニーのU検定で要素作業時間割合を比較したところ、0.11m³では「掘削・排土」(p<0.05)、z0.13m³は「表土積」(p<0.01)、0.14m³は「表土積」(p<0.01)、0.28m³は「表土積」(p<0.01)、「掘削・排土」(p<0.01)で有意に20°以上の割合が高くなった。「掘削・排土」、「表土積」は土工量に影響する作業なので、急傾斜ほどその割合が高く、緩傾斜では土工量が少ないため、「材処理」「枝条寄せ」「伐根処理」の割合が高かった。



図一 4 作業路の土構造

表一 2 土工の要素作業時間割合

| バケット容量 | 0.11m ³ | | ≥0.13m ³ | | 0.14m ³ | | 0.28m ³ | |
|--------|--------------------|-----------|---------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
| 地山傾斜 | 20°未満 | 20°以上 | 20°未満 | 20°以上 | 20°未満 | 20°以上 | 20°未満 | 20°以上 |
| サイクル数 | 20 | 17 | 7 | 12 | 4 | 16 | 5 | 15 |
| 材処理 | 10.3±1.4 | 9.5±1.3 | 9.5±1.4 | 7.4±1.1 | 4.5±2.7 | 10.0±1.6 | 6.0±4.0 | 8.3±2.2 |
| 枝条処理 | 10.9±0.9 | 9.5±1.1 | 18.4±1.5 | 14.1±1.0 | 24.5±5.9 | 15.1±0.4 | 13.8±2.1 | 7.0±1.3 |
| 表土積 | 7.9±0.4 | 8.6±1.5 | 14.7±1.6 | 20.1±0.6** | 9.0±1.6 | 20.7±0.9** | 16.6±1.3 | 26.8±1.4** |
| 掘削・排土 | 17.1±1.4 | 22.6±2.3* | 17.6±1.6 | 16.4±0.7 | 23.5±2.7 | 20.3±0.8 | 13.0±1.3 | 19.2±3.0** |
| 伐根処理 | 26.9±2.9 | 20.6±2.2 | 16.0±1.7 | 14.3±1.8 | 18.2±1.6 | 13.3±1.3 | 18.9±5.0 | 11.6±3.0 |
| 転圧(バ) | | | 7.3±0.3 | 12.1±1.1 | 4.6±0.6 | 7.5±1.0 | 14.2±1.1 | 15.3±1.0 |
| 転圧(ク) | 12.8±1.1 | 11.6±1.2 | 10.8±1.2 | 9.0±0.3 | 8.5±1.9 | 6.4±0.6 | 4.0±1.1 | 4.2±0.7 |
| 路面整地 | 9.0±0.6 | 9.7±0.7 | 3.2±0.6 | 1.9±0.3 | 3.6±1.0 | 2.1±0.3 | 4.5±1.8 | 3.8±0.4 |
| 障害物処理 | 0.8±0.5 | 4.9±1.3 | 1.0±0.4 | 2.0±0.5 | 1.1±0.5 | 1.4±0.3 | 7.5±1.9 | 3.3±0.9 |
| 路線確認 | 1.4±0.7 | 0.5±0.3 | 0.8±0.4 | 1.6±0.2 | 1.2±0.8 | 2.0±0.4 | 1.7±1.0 | 0.4±0.2 |
| 移動 | 3.0±0.7 | 2.5±0.6 | 0.7±0.2 | 1.1±0.2 | 1.2±0.3 | 1.3±0.1 | 0.0±0.0 | 0.1±0.1 |

*p<0.05、**p<0.01(平均値±標準誤差)

(3) 作設能率の推定

目的変数を作設能率Tx (秒/m)、説明変数に地山傾斜X₁ (°)、立木密度X₂ (本/m²)、胸高直径X₃ (cm)とする作設能率を推定するため、重回帰式を次式に示す。

$$T_{0.11} = 13.82 X_1 + 1,484.87 X_2 + 8.29 X_3 - 98.11 \quad (r^2 = 0.31, p < 0.01) \quad (1)$$

$$T_{z0.13} = 13.36 X_1 + 626.51 X_2 + 1.67 X_3 - 69.94 \quad (r^2 = 0.94, p < 0.01) \quad (2)$$

$$T_{0.14} = 12.83 X_1 + 1,160.08 X_2 + 22.29 X_3 - 349.50 \quad (r^2 = 0.71, p < 0.01) \quad (3)$$

$$T_{0.28} = 11.28 X_1 + 428.69 X_2 + 1.77 X_3 - 14.09 \quad (r^2 = 0.74, p < 0.01) \quad (4)$$

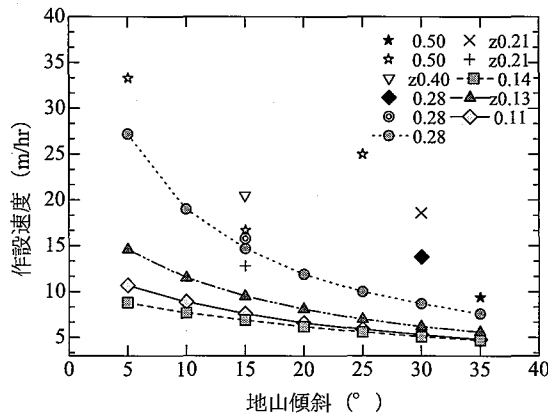
重回帰式の標準偏回帰係数を表-3に示す。0.11m³を除き、標準偏回帰係数は地山傾斜>立木密度>胸高直径だったので、作設能率に最も影響する要因は地山傾斜であることが示された。0.11m³は異なる結果となったが、これは機械出力が低いため、伐根処理に困難なケースがみられたことが能率に影響したと考えられる(表-2)。

表-3 重回帰式の標準偏回帰係数

| 作業機種 | 地山傾斜 | 立木密度 | 胸高直径 |
|---------------------|------|------|------|
| 0.11m ³ | 0.36 | 0.56 | 0.17 |
| z0.13m ³ | 0.73 | 0.34 | 0.03 |
| 0.14m ³ | 0.59 | 0.37 | 0.25 |
| 0.28m ³ | 0.72 | 0.34 | 0.29 |

(4) 作設速度のシミュレーション

(1)~(4)式を用いて作設速度をシミュレーションした。シミュレーションの条件として、収穫予想表の50年生スギ人工林の立木密度と胸高直径を与えた(岩手県林業水産部、1983)。作設速度のシミュレーション結果に文献(石川、2008; 與儀ら、2008; 日本林業技士会、2008)と未発表データを加えた結果を図-5に示す。作設速度は作設機種のバケット容量にほぼ比例した。作設速度と地山傾斜は反比例し、機種間の差は急傾斜ほど小さくなった。文献(石川、2008; 與儀ら、2008; 日本林業技士会、2008)の作設速度は、土質、オペレータの技



★; (石川、2008)、◆・×; (與儀ほか、2008)、

図-5 作設速度のシミュレーション

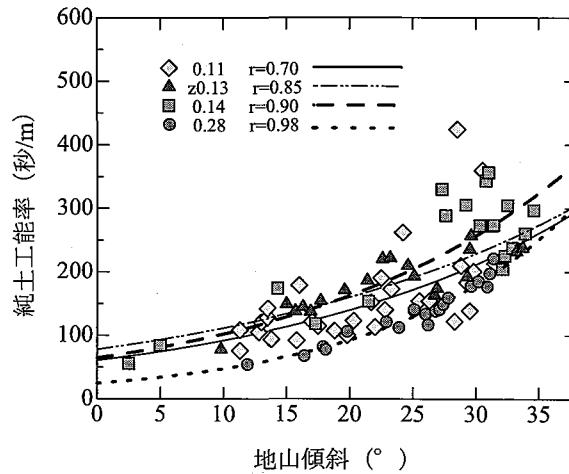


図-6 純土工能率

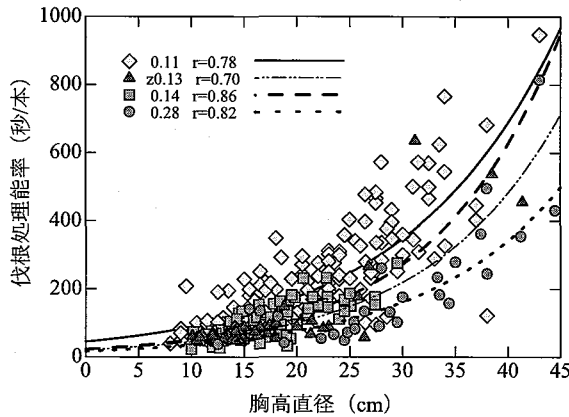


図-7 伐根処理能率

術、作業路構造などが異なるために比較が困難な面もあるが、大型機種が高能率で、急傾斜ほど能率が低下して機種間の差が小さくなる傾向は一致した。地山傾斜が増すほど土工量も増えるため、土工の要素作業時間は緩傾斜とくらべて多い。そこで、「表土積」、「掘削・排土」を合わせた要素作業時間割合である純土工能率（秒/m）と地山傾斜の関係を図-6に示す。急傾斜ほど指数関数的に純土工能率は低下し、大型機種ほど能率は良いが、急傾斜になるにつれて機種間の差は狭まった。これは表土積においてバケット容量をフルに活用できないことが、急傾斜で機種間の純土工能率の差を小さくした原因である。伐根処理は、大型機種ほど高能率で、幹材積が大きいほど機種間の差が増大した（図-7）。これは、バケット容量が小さい小型機種は大きなサイズの伐根の掘出・移動が困難なためである。ほぼ同容量の $z0.13m^3$ は $0.14m^3$ より作設速度が速く、ザウルスの有効性が認められた（図-5）、（與儀ら、2008）。ザウル

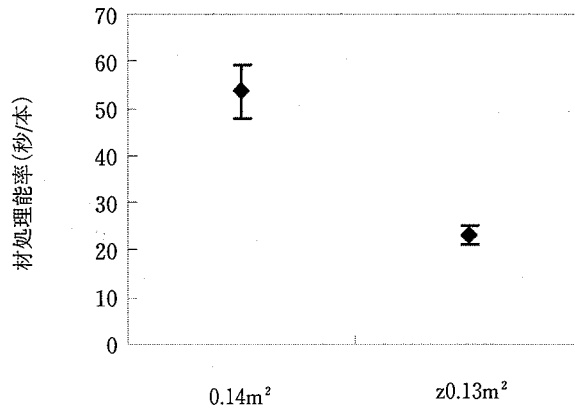


図-8 材処理能率

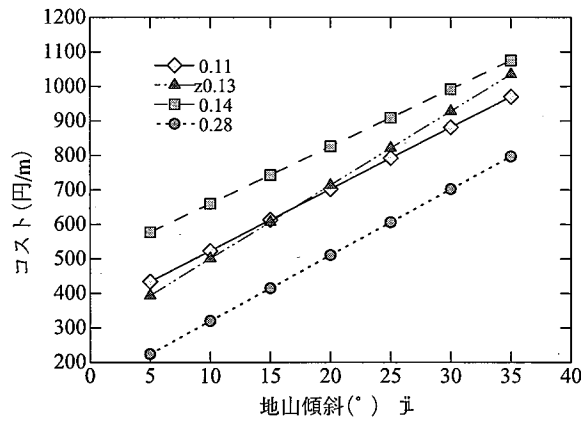


図-9 作業路作設コスト

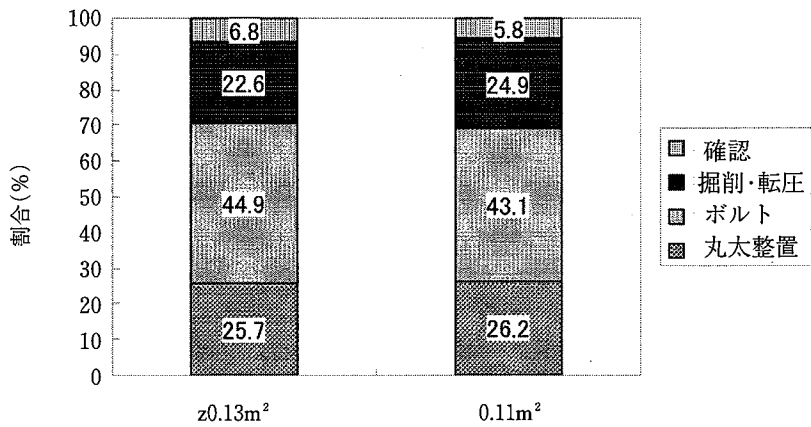


図-10 木組の要素作業時間割合

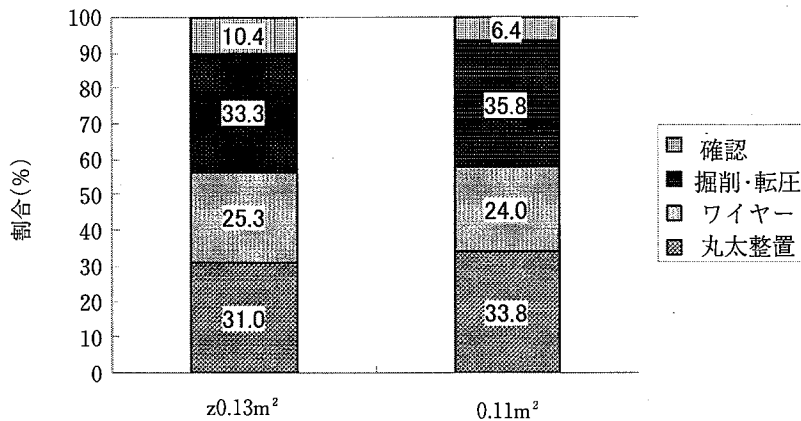


図-11 アンカー工の要素作業時間割合

スの作業能率は、純土工で通常のバケットに劣るが（図-6）、「伐根処理」と「材処理」にその有効性が示された（図-7、図-8）。

(5) 作設コスト

前節の作設速度のシミュレーション結果をもとに作業路の作設コストを試算した。機械経費の根拠を表-1に、試算結果を図-9に示す。このコストには先行伐倒経費を含んでいない。機種別の作設コストは0.11m³（434～970円/m）、z0.13m³（394～1,035円/m）、0.14m³（577～1,075円/m）、0.28m³（224～797円/m）で、文献（日本林業技士会、2008）の300～1,500円/mの範囲に収まった。いずれの機種も急傾斜ほどコストが上昇し、0.28m³が最も低コストとなった。0.11m³の作設能率はz0.13m³より悪かったが、低コストだった。したがって、ザウルスは0.11m³にくらべて械経費に見合う能率が発揮できなかったことになる。しかし、z0.13m³と0.14m³では、コスト面もザウルスが有利だった。

2. 丸太組工

(1) 施工能率

表-4に丸太組工の施工能率を示す。すべての要素作業においてz0.13m³の能率が0.11m³を上回った。「木組」と「アンカー工」の要素作業を図-10、図-11に示す。「木組」の時間割合は、ボルト>丸太整置>掘削・転圧>確認、だった。「アンカー工」は、掘削・転圧>丸太整置>ワイヤー止め>確認、だった。「木組」、「アンカー工」ともに機種間で要素作業時間割合に大きな違いが見られなかった。これは機械作業にくらべてボルト、ワイヤー止、確認などの手作業の時間割合が高いためと考えられた。したがって、z0.13m³の施工能率が0.11m³を上回ったのは「路床作設」でz0.13m³の能率が高かったことによる。

(2) 施工コスト

丸太組工は丸太段数によって施工能率が変化する。試算に際し、路床勾配50°（横0.8m、縦

表-4 丸太組工の施工率

| 区分 | 路床作設 | 木組(1段) | アンカー工 |
|---------------------------|------------|--------------|------------|
| z0.13m ³ (秒/m) | 358.4±62.4 | 1,096.3±44.1 | 543.0±38.4 |
| 0.11m ³ (秒/m) | 532.5±0.0 | 1,164.2±13.5 | 628.6±24.7 |

平均値±標準誤差

表-5 丸太組工の施工コスト

| 丸太段数 地山傾斜 | 切土高1.0m | | | | | 切土高1.5m | | | |
|------------------------------|--|-------|--------|--------|--------|---------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ポルト(本/m) | 3.5 | 7.0 | 10.5 | 14.0 | 17.5 | 3.5 | 7.0 | 10.5 | 14.0 |
| 不足土量(m ³ /m) | 0.12 | 0.50 | 0.88 | 1.26 | 1.64 | - | - | - | 0.09 |
| 土砂積込・運搬時間(秒/m) | 199.3 | 415.8 | 501.3 | 679.8 | 896.3 | - | - | - | 194.9 |
| | ポルトコスト 194円(円/m)、土砂コスト 1,500(円/m ³)、土砂積込・運搬コスト 9,750(円/hr) | | | | | | | | |
| 0.11m ³ コスト(円/m) | 4,165 | 7,472 | 10,142 | 13,361 | 16,580 | 3,441 | 5,503 | 7,564 | 10,286 |
| z0.13m ³ コスト(円/m) | 4,314 | 7,836 | 10,721 | 14,154 | 17,588 | 3,590 | 5,867 | 8,143 | 11,079 |

0.95m)、丸太組法勾配約60°、幅員3.0mと仮定した。丸太段数と地山傾斜の関係を表-5に示す。地山傾斜ごとの不足土量は切土量と盛土量の差とした(図-3)(表-5)。土砂積込・運搬は、バックホウ(0.28m³)とフォワーダ(U4)を想定した。フォワーダの走行速度は5km/hrで、往復輸送距離400m、積込は文献(日本治山治水協会、2002)から、旋回積み荷下しを30秒/回とした(表-5)。丸太組の施工コストは0.11m³が3,441~16,580円/m、z0.13m³は3,590~17,588円/mとなった(表-5)。いずれの場合も、丸太段数が1段増えるごと2,000~3,500円/m程度増大した。切土高1.5mは1.0mと比べ、切土量のみで施工できるので、コストが抑えられた。

IV. おわりに

本研究では、バケット容量の異なるショベル系掘削機を用い、四万十式作業路と類似の作業路の作設能率とコストに影響を与える要因を明らかにした。地山傾斜、立木密度、胸高直径を説明変数とする重回帰式で作設能率の推定が可能とされた。作設能率に影響を与える要因は、地山傾斜>立木密度>胸高直径で、大型機種ほど作設能率が高かったが、急傾斜になると機種間の差は小さくなった。これは表土積ブロック工法が影響していると考えられた。ザウルスは通常と同容量のバケットと比較して、伐根処理と支障木処理で有効だった。シミュレーション結果によると、土工のみの作設コストは200~1,100円/m程度だった。丸太組工の施工コストは3,400~17,600円/m程度で、急傾斜ほどコストが著しく上昇した。丸太組工のコストは土工の数~数十倍になることから、必要最低限の設置にとどめる必要がある。

引用文献

- 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.
- 岩手大学演習林 (2000) 御明神演習林第1次森林管理計画書. 50pp, 岩手大学農学部附属演習林.
- 岩手県林業水産部 (1983) 岩手県収穫予想表等作成に関する基礎調査書. 89pp, 岩手県.
- 小林洋司 (1997) 森林基盤整備計画論—林道計画の実際—. 205pp, 日本林道協会, 東京.
- 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.
- 岡勝・吉田智佳史・近藤耕次・田中良明・井上源基・谷山徹 (2004) 地形傾斜と道路規格による作業路開設コストの予測手法の検討. 日林関東支論55:281~282.
- 大橋慶三郎 (2001) 道づくりのすべて. 159pp, (社) 全林協, 東京.
- (社) 日本治山治水協会 (2002) 森林整備必携—治山・林道設計編—. 1460pp, 東京.
- 日本林業技士会 (2008) 低コスト作業システム構築事業事業報告書. 249pp, 日本林業技士会.
- (社) 林業機械化協会 (1999) 林業機械化便覧. 267pp, 東京.
- 林野庁 (2008) 森林・林業白書. 172pp, (社) 日本林業協会, 東京.
- 酒井秀夫 (2004) 作業道—理論と環境保全機能—. 281pp, 全林協, 東京.
- 澤口勇雄 (1996) 山岳林における林道路線評価と林道規格の決定に関する研究(I)林道路線評価パラメータの特性. 森林総研研報372:1~110.
- 澤口勇雄・立川史郎・猪内正雄 (2004) 高性能林業機械による列状間伐システム導入・定着に関する研究. (社) 岩手県林業公社共同研究報告書:1~61.
- 多田元彦 (1975) 岩手大学農学部附属御明神演習林の地形と地質について. 岩手大学農学部演習林報告7:1~14.
- 田邊由喜男・大内正伸 (2008) 山を育てる道づくり. 157pp, 農文協, 東京.
- 梅田修史・鈴木秀典・山口智 (2006) 高密路網成立の地盤条件と作設法 (1). 日林関東支論:325~326.
- 與儀兼三・川元満夫 (2008) ショ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.