

林業用土木機械の性能

— 林道施工におけるショベル系機械の性能 —

「林業用土木機械の性能」

——林道施工におけるショベル系機械の性能——

I 試験担当者

機械化部 林道研究室 福田章史

II 試験の目的

林道の作設には、従来よりブルドーザが多く用いられてきたが、近年トラクタショベル、パワーショベル、バックホウ等のショベル系機械の利用が増加してきている。

急傾斜地において土砂を掘削し、林道を作設するには、土留構造物を用いて盛土を押さえ、切取と盛土の土工量を均衡させるか、あるいは、切取土量は過剰となっても全断面掘削をおこない、切取った土砂は適当な土捨て場まで運搬する二つの工法が考えられる。これらの工法のうち、環境を破壊することが少く経済的にも有利な後者の工法をとるためには、切取った土砂を運搬しなければならないためショベル系機械を用いざるを得ない。また環境の保全を考慮した林道作設をおこなうには、急傾斜地ではブルドーザによる押土は、どうしても谷側斜面に土砂を流出させ、それが林地荒廃の原因となるため、ショベル系機械により土をすくい上げ谷側斜面に落とすことなく運搬し、適当な場所に捨土する工法を取る必要がある。ショベル系機械は、ブルドーザに比べ、土を掘削する能力はやや劣るとはいえ、余分な掘削をすることが少く、ブルドーザよりきめの細かい作業ができるという特徴もある。

開設経費の点から考えれば、できる限り構造物を少なくする必要があり、その点からいってもショベル系機械による全断面掘削に近い工法をとることが有利である。ただこの場合に切取法面が高くなると、土工量が増加するため、経済的な問題と環境保全上の問題が生じることになるので、これらの両面の接点を求め、最良の工法を取る必要がある。これらの工法に適した機械としてショベル系機械が考えられる。

このような観点から、前回の技術開発課題で、スイングトラクタショベルを試作し、その性能を調査し、その有効性について述べた¹⁾が、さらに、現在実際に用いられているトラクタショベル、パワーショベル、バックホウ等のショベル系機械についても調査する必要がある。林道施工にシ

1) 50年度技術課題完了報告書「山腹掘削排土処理機の性能」

ショベル系機械を使用した場合の作業性能に関する研究は少く、一般道路のショベル系機械による施工事例は種々みられるが、林道の場合、独自の問題点があり一般道路の場合の研究成果を直接利用することはむずかしい。一般道路では、ある地点から他の地点への移動が、もっとも容易におこなえるように道路の設計がおこなわれる。林道の場合は、林業の場としての森林が対象であり、その広がりのある領域で、伐木集運材作業、造林作業等がしやすいように考慮して路線設計がおこなわれるので、一般道路のようにトンネルや橋梁で地形を克服せず、急傾斜地でも地形に順応して設計されることが多く、急傾斜地をさけて通ることは少い。また開設経費は、普通は森林から得られる利益に見合ったものでなければならないため、低コストですますことが絶対に必要である。このような重要な問題があるため、林道施工用の機械について、どのような工法を取ることが良いのか、経済性を満足するためには、どのような手段が考えられるのか、環境保全を考えるには、どのような機械、工法が良いか究明する必要がある。これらについてその基礎となる資料を得るため、今回、トラクタショベルとバックホウについて林道作設とくに路体造成についての作業性能を現地において調査した。

これらの作業性能の調査は、時間観測が中心となるが、そのため時間観測に観測員を必要としない自記式のトラクタ用動作記録計の開発をおこなった。これは、時間観測がストップウォッチ法によるため、労力を要し、精度が一定しないためである。しかし、この記録計の完成が研究期間の後半におこなわれたため、実際の調査は、ストップウォッチ法によったものが大部分である。

Ⅲ 試験の経過と得られた成果

1. 試験方法

バックホウとトラクタショベルについて、各一機種のみであるが、林道作設現場において、路体造成工事の試験をおこなった。

試験地はバックホウについては笠間営林署管内の林道工事現場、トラクタショベルについては、草津営林署管内の作業道作設現場で、各々約200mの区間で試験をおこなった。

使用した機械は、バックホウが15-HT、トラクタショベルがD30Sである。これらの機械の簡単な仕様を表-1に示す。

表-1 試験に用いた機種の仕様

	バックホウ	トラクタショベル
機種名	15-HT	D30S
運転整備重量	12850 kg	6800 kg
定格出力	76 PS/1900 RPM	55 PS/2000 RPM
バケット容量	0.45 m ³	0.8 m ³

試験は、通常の方法で現地で実際に運転している運転手に作業をさせ、その時間観測をおこなった。時間観測はストップウォッチにより、前進、掘削、後進、旋回、停止等の要素作業の開始時刻、終了時刻を連続観測するとともに10mおきにたてたポールを基準にして移動距離を目測した。またバケットにすくい込まれた土量も、あらかじめバケットの容量を測定して、目測で毎回の土量を測定、記録した。また後述する動作記録計を用いて同様の観測をおこなった。

土工量の測定は、試験区間の5mおきに、施工前と施工後にコンパスあるいはポールを用いて横断測量をおこない、区間ごとに土工量を求めた。

2. 林業トラクタ用動作記録計

先に述べたように、時間観測をおこなうため、従来はストップウォッチにより要素作業の時間を測定していたが、これは観測者が長時間にわたり緊張を強いられ、精度も一定しない。それでトラクタに容易に取り付けることができ、各種の動作や運転中のエンジン回転数や燃料消費量などが自記記録できる動作記録計を開発した。

(1) 動作記録計の構造

各種のトラクタに容易に取り付けることができるように記録装置には市販のタコグラフを改造し、1回転3時間としたものを用いた。記録計の数が足りないため、同様のタコグラフを2台用いた。1台の記録計には、①エンジン回転数、②運転積算時間、③作業種記号(手動であるが3種類まで)、④燃料消費量を記録し、いま1台には⑤前進、⑥後進、⑦作業機操作、⑧ブレーキ操作の各信号を記録させた。①～③は、タコグラフに組み込まれていたものをそのまま用い、他の信号については、トラクタの動作を検出し、記録計に入力する装置を新たに製作した。なお⑦の作業機操作信号については、今回はトラクタショベルに本記録計を取り付けたため、バケットを操作し、ダンプ位置になった時に信号を出すこととした。

図-1に⑤～⑧の信号を記録する2台目の記録計の概要を示す。

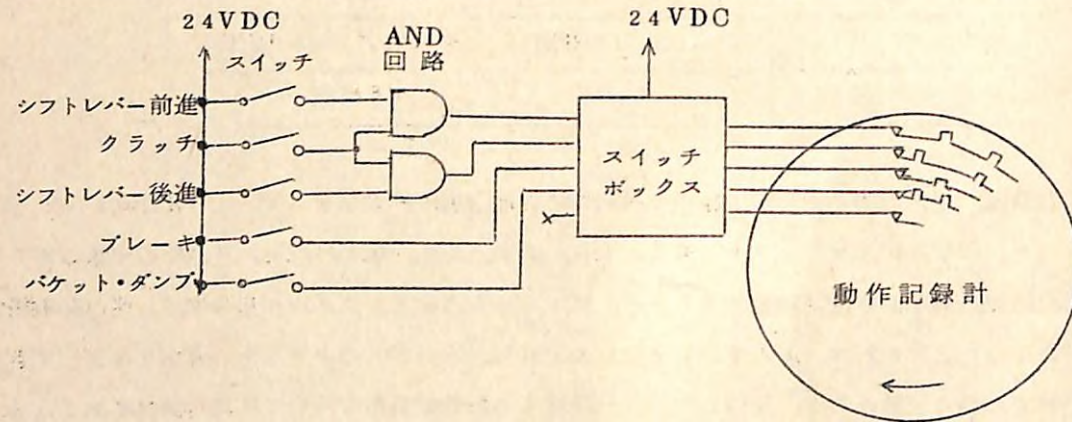


図-1. 動作記録計の概要

各動作の信号は各々独立して、マグネトリレーの接・断により記録針が働き、記録紙に記録される。各動作の検出はトラクタへの取り付けが容易なようにマイクロスイッチを用いた。前進・後進の信号はシフトレバーの根元に取り付けたマイクロスイッチで検出した信号とクラッチペダルで検出した信号とが一致した時に出力が出るようにマグネトリレーの回路(論理積回路)を用いた。ブレーキ操作信号は、トラクタに既設のブレーキランプ回路から得た。バケット操作信号はバケットの水平位置を示すためのロッドを用いて、バケットがダンプ位置にある時にマイクロスイッチが接続するようにした。図-2に全回路図を示す。各信号は全てマグネトリレーを介して記録計に入力するようにした。スイッチボックスは記録装置の動作を点検するため、手動でスイッチを切り替え、任意の信号を発生するためのものである。またトラクタの電源が24Vであるが、記録装置が12Vで動作するためスイッチボックス内にDC-DCコンバータを組み込んだ。

記録紙は円形用の紙に特殊なコーティングをほどこしたもので、記録針でこすって細い線を描く。記録紙はタコグラフ内蔵の時計により回転し、動作の発生した時刻が記録される。記録紙の1回転が3時間であるため、連続して3時間の記録が得られる。記録紙の読み取り

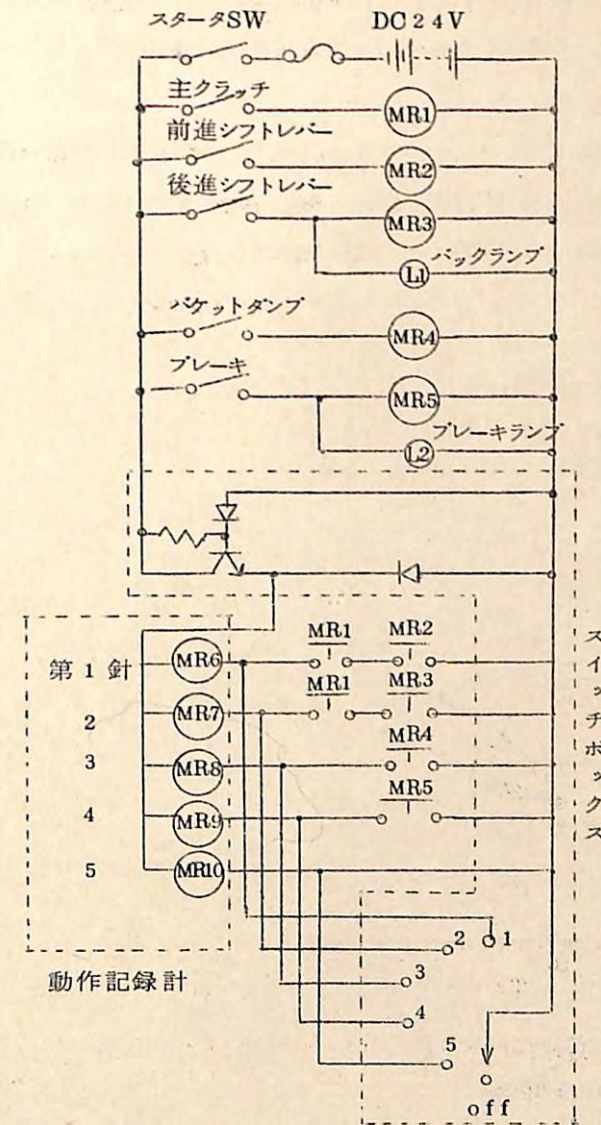


図-2. 動作記録計の回路図

は、万能投映機で拡大して読み取ることにより、時間で約1秒の精度で読み取ることが可能である。しかし内蔵時計の精度等を考慮すると総合精度は、5秒程度と考えられる。

(2) 動作記録計の試験

動作記録計の精度を確認するため、D30ストラクショベルに同記録計を取り付け、林業試験場構内の屋外試験施設で、くり返し前進、掘削、後進をおこない、これをストップウォッチと動作記録計で同時に時間観測をおこない比較検討した。

図-3に試験場内でおこなった試験の1例を示す。サイクルタイム、前進時間(前進中に

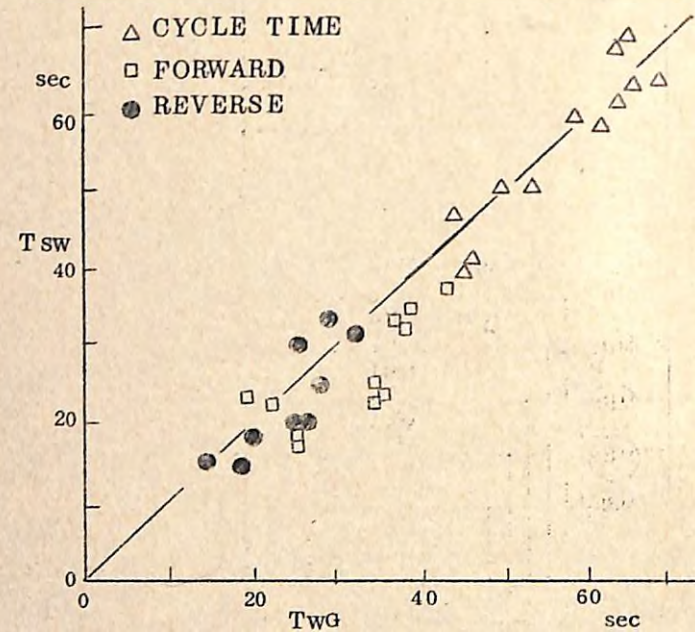


図-3 動作記録計(TWG)とストップウォッチ(TSW)による時間観測の比較

掘削した時間も含む)、後進時間についてストップウォッチによる観測時間(TSW)と動作記録計による観測時間(TWG)を比較したものである。サイクルタイムで両者の差は最大5秒、前後進の時間で最大10秒程度であった。一般にストップウォッチで測定した時間より動作記録計で測定した時間が若干長い。これは、動作記録計の信号検出方法が、シフトレバーが前進あるいは後進に入り、クラッチレバーが戻された時間が記録されるため、実際の動作と若干のタイムラグがあるためと思われる。図-4は連続記録の場合の各動作の開

始時刻を、動作記録計とストップウォッチについて比較したものである。したがってストッ

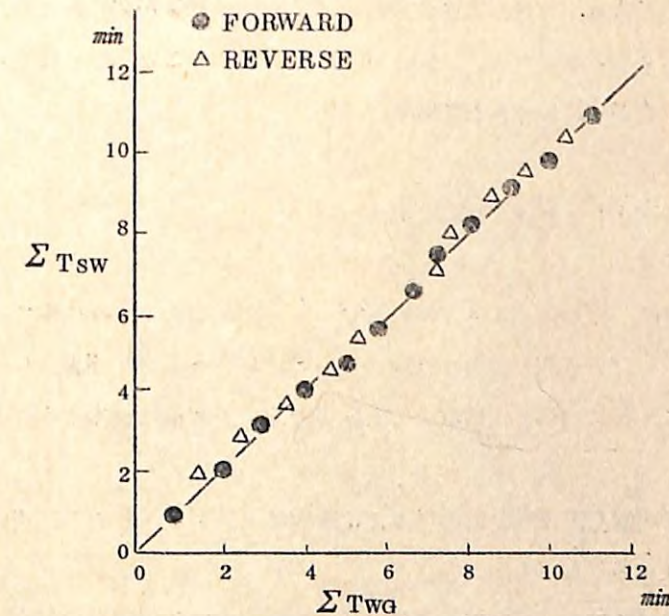


図-4 作業道作設作業の時間観測の動作記録計(Σ TWG)とストップウォッチ法(Σ TSW)による結果の比較(累計時間)

ブウォッチによるサイクルタイムの累計(Σ TSW), 動作記録計によるサイクルタイムの累計(Σ TWG)を示している。図の場合連続した13サイクルについて示しているが、記録紙の1回転(3時間)でストップウォッチと約20秒程度の誤差を生じることがあった。

(3) 動作記録計の記録の解析

先にも述べたように動作記録の読み取りは万能投映機を用い、投映機の回転台の上に記録紙をおいて、拡大投映した記録をスクリーン上で観察し、回転台の角度目盛をバーニアを用いて読むことにより時間で1秒の精度で読むことが可能である。内蔵時計の調整により、総合精度は5秒程度が得られると考えられる。

記録は、各動作信号について各独立して得られるので、各動作の開始時刻、終了時刻を読み取り、それらを組み合わせて、各要素作業の時間やサイクルタイムを求める。たとえば、サイクルタイムはダンプの開始時刻から次のダンプの開始時刻までとし、ダンプ状態での前進を空荷前進、ダンプ状態にない場合の前進を掘削前進、前進信号も後進信号もない場合を停止等として各要素作業の時間を求めた。記録紙より読み取ったデータを、コンピュータで

処理し、各要素作業時間を計算、作表させた。

このようにすることにより、比較的短時間で容易に時間観測結果が得られたが、記録項目が多く、タコグラフが2台になったこと、読み取りに労力があること、前・後進速度の記録が得られなかったこと等が後に残された問題点である。

3. バックホウおよびトラクタショベルの作業性能

(1) バックホウによる作業

バックホウの試験地は、平均傾斜 25° の斜面で、そこに幅員3.4mのパイロット道路を半切半盛で施工した。今回の試験には含まれないが、パイロット道路を開削した後、トラクタショベルで、幅員3.8mに拡幅し、切取った土砂を前方の土捨て場に運搬することになっていた。

バックホウは山側を掘削し、施回して谷側に土砂を捨てる作業をくり返し、順次前進しつつ路体を造成する作業をおこなった。

全試験区を条件別に小区分し、時間観測をおこなったが、表-2にその結果を示す。

表-2 バックホウの時間観測結果

試験No.	サイクルタイム (sec)	運転時間1時間 あたりの土工量 (m^3/h)	作業効率	バケット 係数	傾斜	作業条件
1	10.7	60.5	0.74	0.54	30°	中位
2	11.5	43.4	0.82	0.38	30°	やや困難
3	11.7	25.8	0.85	0.22	24°	困難、岩掘り起し
4	10.0	45.5	0.81	0.35	20°	中位
5	10.3	58.5	0.86	0.43	27°	中位
6	13.1	55.2	0.84	0.53	19°	中位

作業の標準サイクルは、掘削、旋回、土捨て、旋回のくり返しと考えられる。しかし今回の作業では、旋回せずに掘削してアームの操作で手前に土を捨て掘削をくり返すサイクル、また岩や根株を掘り起こすため、掘削のみをくり返すサイクルが多く見られた。全体にほぼ5回に1回のサイクルで旋回をおこなうのみであった。したがってサイクルタイムを機械の旋回速度等から算定する方法を取ることはできず、時間観測の結果から、岩や根株の掘り起

こしの多い掘削の著しく困難な条件の場合に10~12秒、普通の土砂の掘削が主で困難の場合が中位の条件の場合に13~15秒とするのが適当であろう。

運転時間1時間あたりの土工量は、サイクルタイムの場合と同様に、作業の困難さの度合により、非常に困難な場合と、中位の場合に区分すると、前者で $25m^3/h$ 、後者で $40\sim60m^3/h$ であった。

難易度中位と判定した試験区で、工期に若干のばらつきがあるため、さらに条件を区分できるかを見るため、図-5に示すように、路線延長1mあたりの土量を横軸に、運転時間1時間あたりの土工量を縦軸にとってプロットした。条件の似た試験区のデータのみを取り出

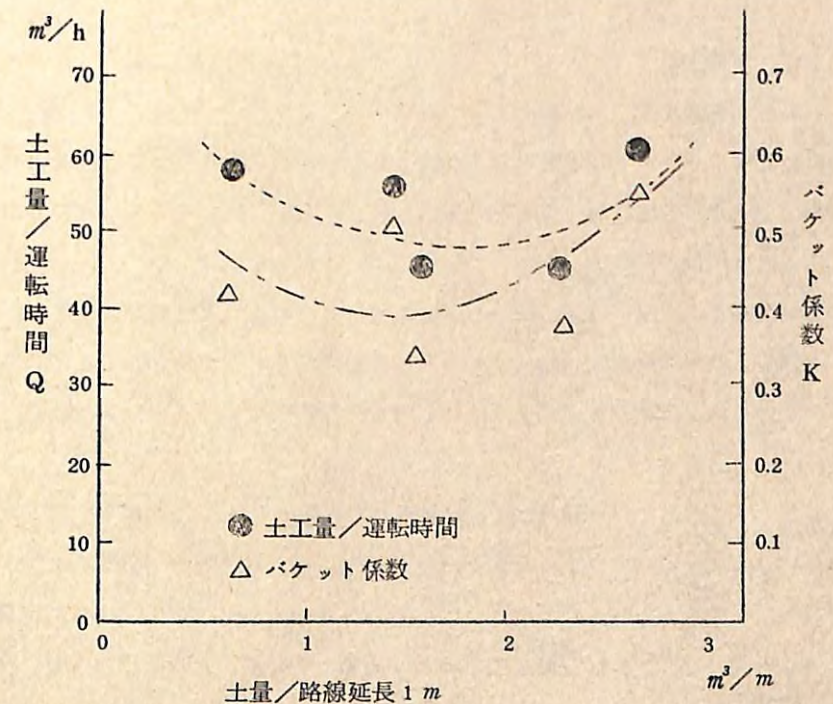


図-5 運転時間1時間あたりの土工量およびバケット係数

したため、データ数が少く、確定的なことはいえないが、土量が多くても少くとも工期(1時間あたりの土工量)がやや増加する傾向がある。これは傾斜が増加するにつれ、路線延長あたりの土量が増加するため、傾斜の少ないところでは作業が容易なため工期があがり、傾斜

の大きいところでは土量が多くなり、一回あたりの掘削量が増加するため、また工期があがるためではないかと思われる。

運転時間1時間あたりの土工量を算定する式は一般に次式で表わされる。

$$Q = \frac{g \cdot K \cdot f \cdot E}{C_m / 3600} \quad (1)$$

ここで

Q: 運転時間1時間あたりの土工量 (m^3/hr)

g: バケットの容量 (m^3)

K: バケット係数

f: 土量換算係数

E: 作業効率

C_m : サイクルタイム (sec)

gは公称のバケット容量を用い、fは土質によって定まる値である。また C_m は先に述べた作業の難易度の条件別の値を用いることができる。したがってKおよびEが求められれば、上式よりQが予測できる。

作業効率Eは、全体の運転時間と実動時間の比であり、実動時間は運転時間より直接に土工に関係しない停止時間、前後進に要した時間等を差し引いたものである。各試験区について時間観測の結果よりEの値を求めると作業の難易度によりあまり差はなく、0.74～

0.86で平均0.80であった。

バケット係数Kは、時間観測の際に同時に目測した値と、上式から逆算した値とが求められた。目測した値はバラツキが大きかったので、式より逆算した値をここでは使用することとした。その場合、作業の難易度が中位の場合で0.38～0.54、非常に困難な場合で、0.22であった。これは一般土工の場合に比較して非常に低い値であるが、林道作設の場合には、岩石の掘り起こし、根株の掘り起こしが多く、これらの場合には、ほとんどバケットの中に土が入っていないことを考えれば当然の値である。なお作業の難易度が中位の場合について、運転時間1時間あたりの土工量の場合と同様に、路線延長1mあたりの土量について、バケット係数をみると、よく似た傾向を示している(図-5)。前記したように、ある土量の時に工期が低下するという原因は、バケット係数の減少によるものといえよう。これについては、さらに調査数を増やし、実態に合致した値を条件別に定めていく必要がある。

(2) トラクタショベルによる作業

トラクタショベルの試験は平均傾斜角22度の斜面で、ほぼ半切半盛の掘削作業をおこなった。作業道の路体造成をおこなうことが目的である。現地には若干の伐根および転石がある。全試験区をバックホウと同様に時間観測および土工量の測量をおこなった。全体に試験条件の変化に乏しく、条件による工期の差が少いため、全体の平均を表-3に示す。

表-3 トラクタショベルの時間観測結果

機 種	サイクル タイム (sec)	運転時間1時間 あたりの土工量 (m^3/h)	作業効率	バケッ ト係 数	平均移動 距離 (m)	作業条件
トラクタショベル	61	38.6	0.82	1.0	5.2	中位
スイングトラクタショベル	47	51.0	0.80	1.2	5.0	中位

トラクタショベルの運転時間1時間あたりの土工量は、バックホウの場合と同様の式で表わされ、次式の通りである。

$$Q = \frac{g \cdot K \cdot f \cdot E}{C_m / 3600} \quad (m^3/hr)$$

ここで、Q、K、f、E、 C_m はバックホウと同様であるが、gはバケットの平積み容量で表わす。

サイクルタイム C_m は、移動距離と関係があり、各サイクルタイムとそのサイクルでの移動距離を図-6に示す。移動距離は、時間観測と同時に目測した値の平均である。今回の試験では、全体に移動距離が短かく、平均で5.2mであり、平均のサイクルタイムは61秒であった。時間観測の結果から求めた、サイクルタイムの算定式は次式であった。

$$C_m = 2.3 \ell + 4.9 \quad (sec) \quad (2)$$

ここで ℓ : 移動距離 (m)

作業効率Eは、やはり実動時間と運転時間の比であるが、実動時間には、前進・掘削・土のすくい上げ・土の投げ捨て、後進の時間を含み、それ以外の停止時間等は除いた。作業効率の値は平均0.82であった。これはトラックへ土を積み込む場合とは異なり、トラクタショベルの単独作業であるため比較的大きな値となっている。

バケット係数は平均1.0であった。この値は作業の難易度が中位の場合であって、転石の多い箇所や、大きな伐根のある場合にはさらに少ない値となる。今回の試験でも、短い区間

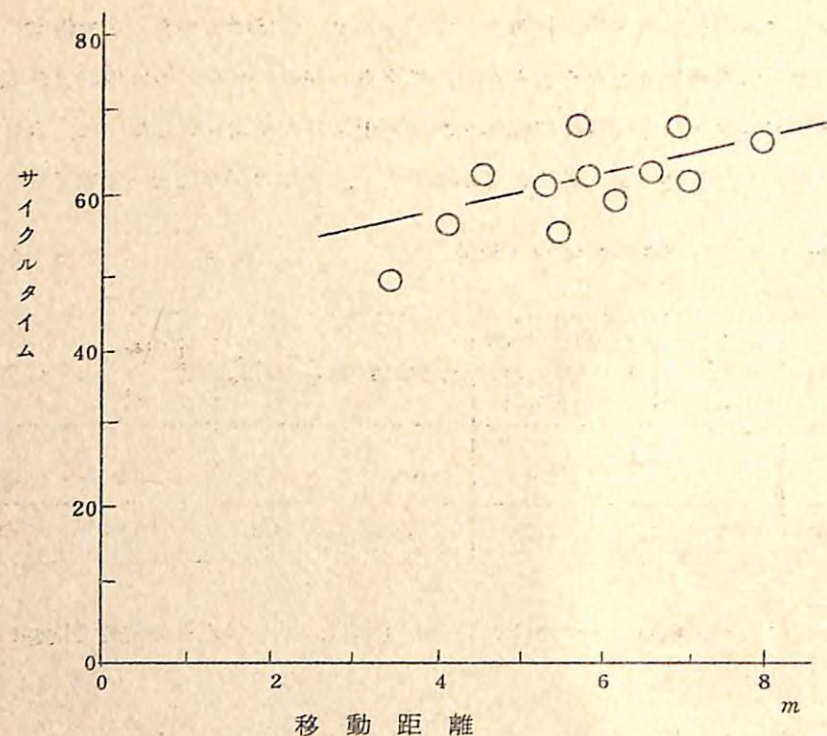


図-6 トラクタショベルのサイクルタイムと移動距離

であるが、バケット係数を目測した値は岩石の掘り起こしの場合は0.5～0.7の値であった。これについても調査数を増やし、条件別の値を求める必要がある。

表-3にはさらに、50年度までの技術開発研究課題であった「山腹掘削排土処理機の性能」で調査したスイングトラクタショベルの功程についても参考のため示した。スイングトラクタショベルのバケット容量は0.7 m^3 でD30S(今回の試験機)の0.8 m^3 よりやや少ないが、エンジン排気量、車体重量は大きくほぼ同クラスのトラクタショベルと考えられる。ただスイングトラクタショベルは、バックホウと同様に上部構造が360度自由に回転する機構となっている。

両者を比較すると、サイクルタイムに約10秒の差がある。これは、上部構造が回転するため、土砂を掘削した後、土の投げ捨てのため、前後進をする必要がなく、土をバケットに入れたまま回転するだけでよく、トラクタショベルに比べ能率的な作業がおこなえることによる。

作業効率、両者ともよく似た値であり、バケット係数は、スイングトラクタショベルの

場合、現地の作業条件が良く、1.2と高い値を示したが、これは機械の性能に直接関係しないと言えるため、スイングトラクタショベルと、今回試験したD30Sとの功程の差は、サイクルタイムの差によるものと言える。

またスイングトラクタショベルとバックホウを比較すると、作業の難易度が中位の場合バックホウで5.0 m^3/h 、スイングトラクタショベルで、バケット係数を1.0とした場合に4.25 m^3/h とバックホウが優れている。しかし、これは移動の必要の少ない場合の比較で、スイングトラクタショベルの平均移動距離を5mとした時のものである。トラクタショベルとバックホウの機能の違いは、機動性にあり、今回の試験のように移動距離の少ない場合は、バックホウが有利となると言える。掘削した土砂を長距離運搬する必要があり、しかも路体造成工事のように路面が軟弱でダンプトラックを使用できない現場では、バックホウは、その機能が制限され、トラクタショベルを使わざるを得なくなる。

4. まとめ

以上述べたように、林道の路体造成に用いるショベル系機械は、今回試験をおこなったような、斜面の山側を掘削し、谷側に盛土するといったいわゆる半切半盛で土量の均衡を取る工法では、移動距離が少いため、バックホウが有利であった。作業の難易度が中位の場合で各々の功程が、バックホウで5.0 m^3/h 、トラクタショベルで3.9 m^3/h であった。スイングトラクタショベルは両者の間で4.3 m^3/h であった。

しかしこれをもって、バックホウとトラクタショベルの優劣を論じるわけにはゆかない。両機種には価格の差もあり、重量も異なること、他、各々機能に特質があり、今回の試験ではバックホウの功程が大きかったが、バックホウには土を運搬する機能はなく、土の運搬が併う場合には、ダンプトラックとの共同作業を考えなければならない。

土砂の運搬については、いろいろ問題点があり、今後検討する必要がある。第一に、トラクタショベルが、バックホウに比べ機動性に優れているとはいえ、土の運搬は数百mが限度である(この限度についても、今後の研究の課題である)ため、ダンプトラックとの併用を考える必要がある。第二にダンプトラックは、林道の路体造成工事の場合には、地盤が軟弱でほとんど用いることができない。特に土捨て場が路体の完成していない前方にある場合はまったく使用できない。そのためたとえば、クローラタイプの足まわりをもった運搬専用機を新たに考える等の対策が必要である。第三に林道開設費との関係から、土の運搬が少いほど有利であり、その場合には、急傾斜地では土留構造物を構築する必要もある。第四に環境保全上の問題があり、

土砂の流出、崩壊の危険のある高い切取法面等についても留意しなければならない。これらの問題は相互に利害が相反しており、この接点をどこに求めるかを究明していく必要がある。

このような問題が残されているが、現有の機械を用いて林道の施工をおこなう場合に、林道工事の特質である急傾斜地での路体造成において、各々の機械の特質を生かした工法として考えられるのは、経済的に見て有利な全断面掘削をおこない、切取った土砂は、適当な距離において配置した土捨て場に運搬する工法がある。この場合に比較的小形のバックホウでパイロット道路を開設し、その後、ここにトラクタショベルで最終的な路体造成をおこなうとともに土砂を土捨て場に運搬する。もちろん、この場合にも土砂の流出の恐れのない限り、土の流用を極力おこない、必要な箇所には、パイロット道路を利用して、土留構造物を先行して築造する等の配慮は必要である。

今回の試験ではおこなわなかったが、先に開発試作し、国有林および徳島県で実用化試験をおこなったスイングトラクタショベルは原理的に急傾斜地における林道作設に有効な機械で、バックホウとトラクタショベルの両方の機能をそなえ、先に述べた工法にも有効に利用できる。したがって、トラクタショベル、バックホウの利用も現状では必要であるが、スイングトラクタショベルについて、幹道、支線、作業道等の林道の規模に応じた、少くとも 9 ton, 12 ton, 16 ton 程度の三クラスの機種を開発することが必要である。