

可搬式シュートによる間伐材搬出

Portable-Chute Logging of Logs from Thinnings

南方 康*, 酒井 秀夫*, 仁多見 俊夫*, 伊藤 幸也**

Yasushi MINAMIKATA*, Hideo SAKAI*, Toshio NITAMI* and Koya ITO**

I はじめに

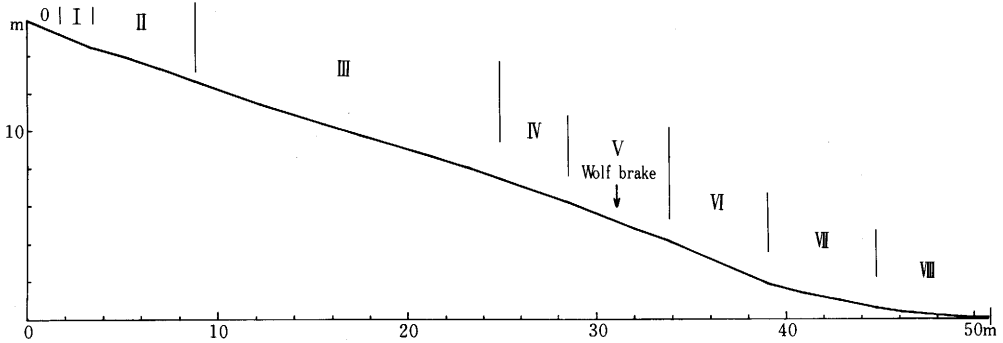
「修羅」による木材搬出は、伐出作業の機械化が浸透するまで、かつては洋の東西を問わず、広く行われていた^{1,3)}。修羅は重力と、搬出すべき材そのものを滑路材料として利用した合理的な木材搬出方式ではあったが、滑路の設営と修羅までの木寄に特殊技術と多大の人力労働を必要とし、今ではほとんど見ることができなくなった。しかし近年わが国において、修羅は間伐材搬出用として、アルミ合金やガラス繊維強化プラスチック (FRP) 製の可搬式の成型品として数種類のもので市販されるようになり^{2,4)}、すでに実績をあげている^{2,4,5)}。これらの製品は容易に架設できるように設計されているので、路線選定を適切に行い、間伐材をあらかじめ適切に集積しておけば、高い生産性を上げることができる。

ここでは、修羅としての二次製品を「(可搬式)シュート」と総称することにし、その滑走速度や、木材との摩擦係数、労働生産性等について分析し、小径材、少量搬出用としての可搬式シュートの有効性について検討を行った。

なお本研究は文部省科学研究費昭和58年度エネルギー特別研究No.58040202の一環として行ったものであり、本研究の実施にあたっては、秩父演習林職員に多大の御協力をいただいた。ここに関係各位に深甚の謝意を表する次第である。

* 東京大学農学部林学科
Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

** 東京大学農学部秩父演習林
University Forest at Chichibu, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.



図一 2 試験路線の縦断勾配

Fig. 2 Slope or grade of the experimental chute

II 実験方法

可搬式シュートとして数種類のもものが市販されている。本論ではたまたまアルミ合金製のものを使用した。可搬式シュートとしての本質的な特長、機能はいずれも同一とみなすことができる。供試シュートのカタログに記載されている諸元は表一のとおりである。

試験路線は東京大学秩父演習林29林班矢竹沢い18小林班の間伐林内にほぼ直線に約50m 架設した(図一1)。実験は1984年1月18,19日の降雪時と5月11日の晴天日に行った。いうまでもなく、雨天や降雪時は、材とシュートとの摩擦が小さくなって、非常に滑りやすくなる。搬出樹種は主に24年生カラマツである。

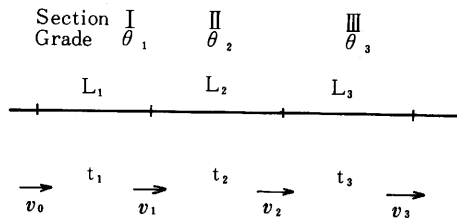
試験路線はその勾配からいくつかの区間に分けることができる(図一2)。路線下部では滑走速度が非常に大きくなるので、枝条で作った制動用ノレンを終端部ストッパー手前(区間V)に設置した。材は4mに玉切りした後、すべて路線最上端からシュートに投入し、観測用の特定区間の通過時間から、滑走速度やシュートの摩擦等を測定した。

表一 1 供試シュートの諸元(2 mピース)

Table 1 Specifications of a 2 m chute section

Width	500mm
Depth	287mm
Length	200mm*
Thickness	1.9mm
Weight	11kg

*A joint 10 mm is included.



図一 3 路線内の区間

Fig. 3 Sections divided



図一 1 試験路線 (1984年1月19日撮影)

Fig. 1 Portable chute for the experiment (January 19, 1984)

III シュート上の材の運動

シュートの路線を路線勾配によって区間 I, II, III, ……に分割すると(図-3), 可搬式シュートを滑走する木材の加速度は, 図-4 より,

$$\alpha_i = g (\sin \theta_i - \mu \cos \theta_i) \quad (1)$$

ただし,

添字 i : 区間番号

θ_i : シュートの勾配

μ : シュートと木材の動摩擦係数

g : 重力加速度 (m/sec^2)

となる。このとき, 区間 i における木材の速度 v_i (m/sec) と滑走距離 L_i (m) は,

$$v_i = v_{i-1} + \alpha_i t_i \quad (2)$$

$$L_i = v_{i-1} t_i + \alpha_i t_i^2 / 2 \quad (3)$$

ただし,

v_{i-1} : 各区間の初速度 (m/sec) $i = 1, 2, \dots, n$ 。

t_i : 滑走時間 (sec)

となる(図-3)。

(2), (3)式より, 各区間最下端における木材の速度と当該区間を通過するのに要する時間は,

$$v_i = \sqrt{v_0^2 + 2 \sum_{j=1}^i \alpha_j L_j} \quad (4)$$

$$t_i = (-v_{i-1} + \sqrt{v_0^2 + 2 \sum_{j=1}^i \alpha_j L_j}) / \alpha_i \quad (5)$$

となる。

したがって, 材とシュートの動摩擦係数 μ は, t_1, t_2 を測定することにより, 次のようにして求めることができる。

まず, (2), (3)式から v_0 を消去して,

$$v_1 = L_1 / t_1 + \alpha_1 t_1 / 2 \quad (6)$$

また, (3)式から,

$$L_2 = v_1 t_2 + \alpha_2 t_2^2 / 2 \quad (7)$$

したがって, (1), (6), (7)式から, v_1 を消去して,

$$\mu = \{ 2 (t_2 L_1 - t_1 L_2) + g t_1 t_2 (t_1 \sin \theta_1 + t_2 \sin \theta_2) \} / g t_1 t_2 (t_1 \cos \theta_1 + t_2 \cos \theta_2) \quad (8)$$

となる。

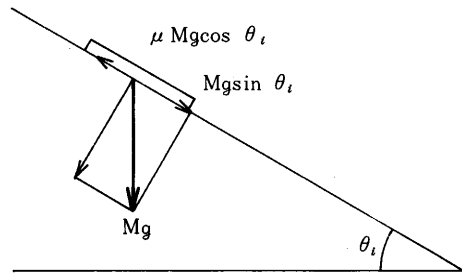


図-4 滑走の加速度 α_i

Fig. 4 Acceleration of logs on chute

また t_2 が未知で t_3 が既知の場合は、以下のようにして μ を求めることができる。

まず、(4), (6)式から、

$$v_2 = \sqrt{(L_1/t_1 + \alpha_1 t_1/2)^2 + 2\alpha_2 L_2} \quad (9)$$

一方、(3)式から、

$$\alpha_3 = 2(L_3 - v_2 t_3)/t_3^2 \quad (10)$$

となるので、(9), (10)式から、

$$\alpha_3 = 2\{L_3 - t_3 \sqrt{(L_1/t_1 + \alpha_1 t_1/2)^2 + 2\alpha_2 L_2}\}/t_3^2 \quad (11)$$

となる。ここで、 $\alpha_3 = g(\sin\theta_3 - \mu\cos\theta_3)$ であるので、(11)式より、

$$g(\sin\theta_3 - \mu\cos\theta_3) = 2\{L_3 - t_3 \sqrt{(L_1/t_1 + \alpha_1 t_1/2)^2 + 2\alpha_2 L_2}\}/t_3^2 \quad (12)$$

なる関係が導かれ、 μ について解くと、

$$\mu = (-B + \sqrt{B^2 - 4AC})/2A \quad (13)$$

ただし、

$$A = g^2 t_3^2 (t_3^2 \cos^2 \theta_3 - t_1^2 \cos^2 \theta_1)$$

$$B = 2g t_3^2 (2L_1 \cos \theta_1 + 4L_2 \cos \theta_2 + 2L_3 \cos \theta_3 + g t_1^2 \sin \theta_1 \cos \theta_1 - g t_3^2 \sin \theta_3 \cos \theta_3)$$

$$C = 4L_3^2 + g^2 t_3^4 \sin^2 \theta_3 - 4t_3^2 \{g L_1 \sin \theta_1 + 2g L_2 \sin \theta_2 + g L_3 \sin \theta_3 + (L_1/t_1)^2 + g^2 t_1^2 \sin^2 \theta_1/4\}$$

を得る。

材がノレンに衝突する際に、運動量保存の法則が成り立つものとすれば、材の衝突前後の運動量の変化をノレンの制動能力とすることができる。すなわちノレンの制動能力 Br (kgm/sec) は、

$$Br = M(v - v') \quad (14)$$

ただし、

v : 衝突前の材の速度 (m/sec)

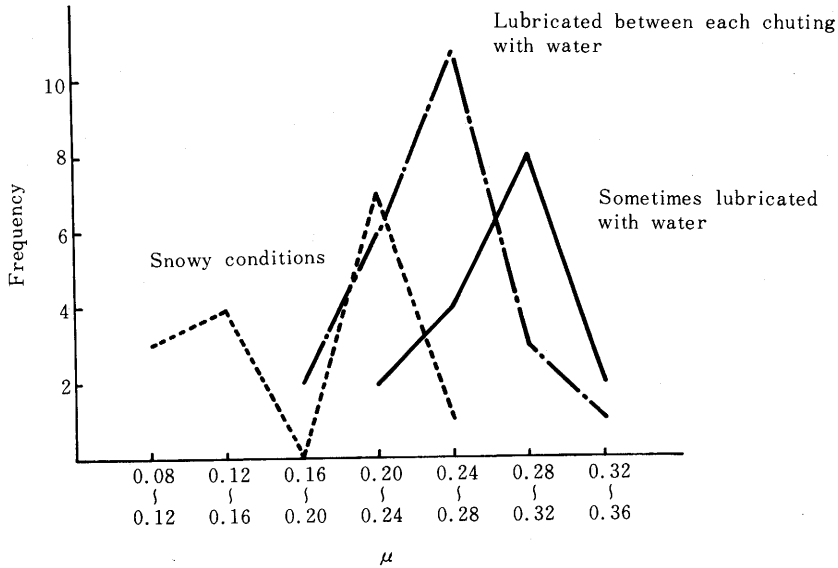
v' : 衝突後の材の速度 (m/sec)

で評価することができる。 Br が一定とすれば、 M が小さいほど制動がきくことになる。なお、(14)式の v' には材とノレンのはねかえりの係数も考慮されている。

IV 実験結果と考察

1) 動摩擦係数 μ

晴天日に区間 I, III で t_1, t_3 を計測し、(13)式から μ ($=\mu(I, III)$ とする) を計算した結果、図-5 が得られた。潤滑のために少量の水を流したので、水量に応じて μ はばらついているが、 $\mu(I, III)$ の平均値は、(a)時々水を流す場合 0.289, (b)木材投入のたびに水を流す場合 0.261 となった。(a)と(b)は 1%水準で有意差が認められた。さらにシュート上のけん引試験によって



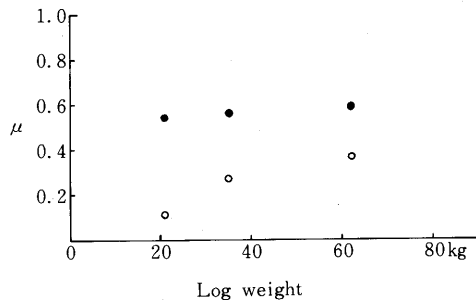
図一五 μ の測定値
Fig. 5 μ by calculation

μ の値を検討した結果、妥当とみなしてもよいことを確認した (図一六)。

しかし、区間III, IVの通過時間から(8)式を用いて μ ($=\mu$ (III, IV) とする) を計算し、このときの μ (I, III) と比較した結果、 μ (I, III) よりも大きくなっている傾向が認められた (図一七)。これは、時間測定や計算過程の誤差に基づくものなのか、本実験のみからは断定することは困難であるが、おもに、材が滑走するにつれて潤滑の役割を果たす水分が損失することによるものであると推察することができる。

このように厳密には μ は変化しているが、路線長が極端に長くなければ、この程度の μ の増加は実用上は無視してもさしつかえない。

降雪時においては、実験結果から(14)式を用いて区間Vのノレンの制動力を検討したところ、ほとんど有効に働いていないことが確かめられたので、資料の都合上、区間III, VIの通過時間から(13)式を用いて μ を推定した(図一五)。ただし、ノレンがほとんど働いていないといっても、



図一六 けん引試験による μ の値
Fig. 6 μ by traction test
● : Dry, ○ : wet

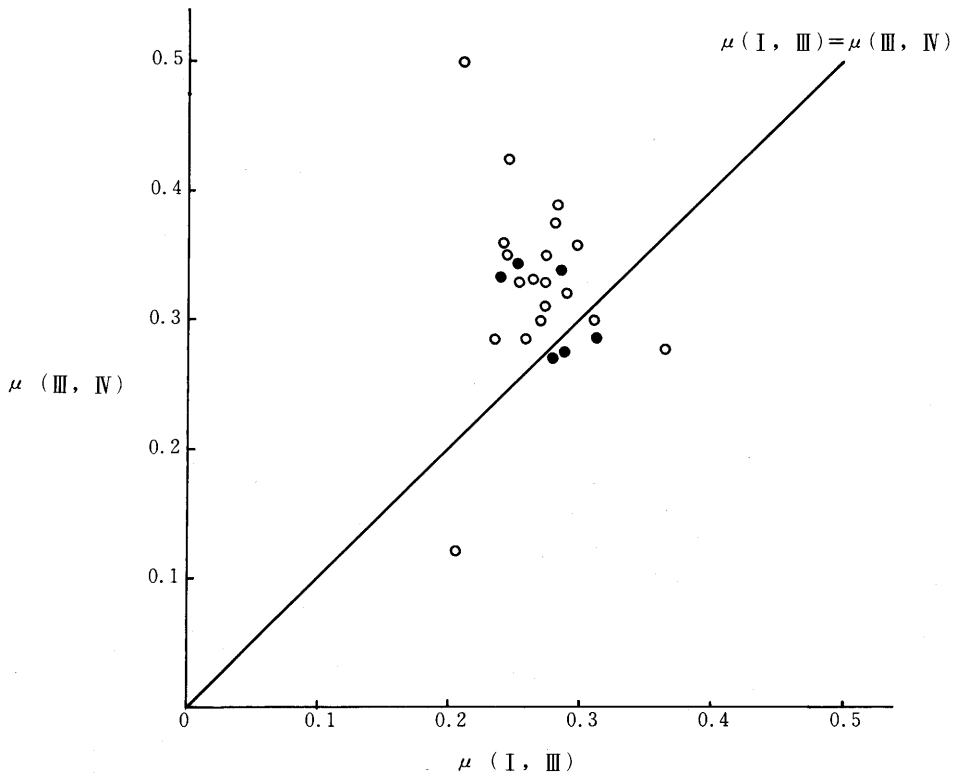


図-7 $\mu(I, III)$ と $\mu(III, IV)$ の比較

Fig. 7 Comparison of $\mu(I, III)$ and $\mu(III, IV)$

● : Sometimes lubricated with water

○ : Lubricated between each chuting with water

その制動力に変化が生じたためか、計算値には二つのピークがみられ、小さい方の平均値は0.182となる。ノレンの影響が全くないわけではないので、実際の μ はさらに小さいものと思われる。なお、降雨時や降雪時は、シュート表面の条件が均一とみなしうるので、 μ は全路線にわたって一定であると考えることができる。

2) 材の投入初速度

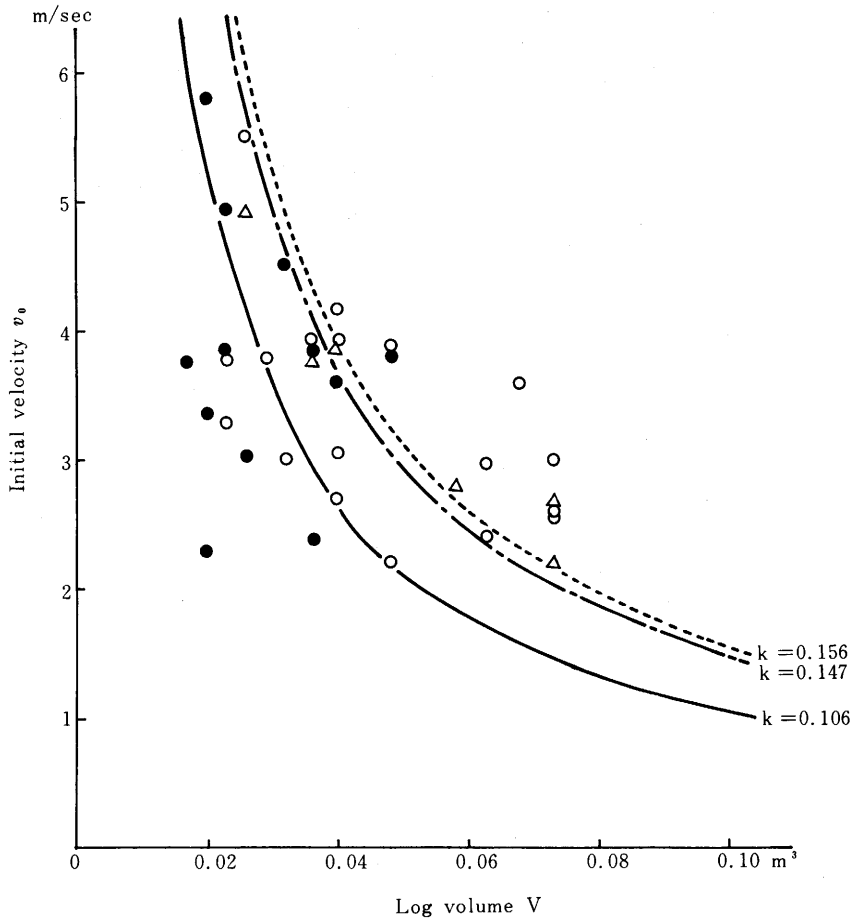
(4)式が示すように、滑走速度は初速度と動摩擦係数に影響され、また、材の投入初速度は作業強度にも影響する。

ここでは材の投入初速度 v_0 を、晴天時の資料については、区間Iで t_1 を測定し、(1), (3)式から求めた。

また、区間I, II, IIIについて、(5)式を変形すると、

$$v_0 = \sqrt{(L_3/t_3)^2 + \alpha_3^2 t_3^2 / 4 - \alpha_3 L_3 - 2(\alpha_1 L_1 + \alpha_2 L_2)} \quad (15)$$

となるので、 t_1, t_2 が欠測の場合は、これより v_0 を求めることもできる。降雪時については、 μ



図一八 V と v_0 の関係

Fig. 8 Relationship between V and v_0

●—— : $0.2 \leq \mu < 0.25$, ○--- : $0.25 \leq \mu < 0.30$, △-·-·- : $0.30 \leq \mu < 0.35$

が一定でもあるので、区間IIIで t_3 を測定し、この方法により v_0 を求めた。

シュートに投入される材積 V ($\text{m}^3/\text{本}$) と初速度の関係として、シュートへの木材投入の運動量が一定であると仮定すると、

$$v_0 = k/V \text{ または, } v_0 V = k \quad (10)$$

ただし、

k : 定数

となる。

図一八は材積と初速度の関係を見たものである。なお、実験の作業時に、 μ が小さくなるにつれて加速度が大きくなるため、 v_0 を小さくして滑走速度を調節することが観察された。そこで、

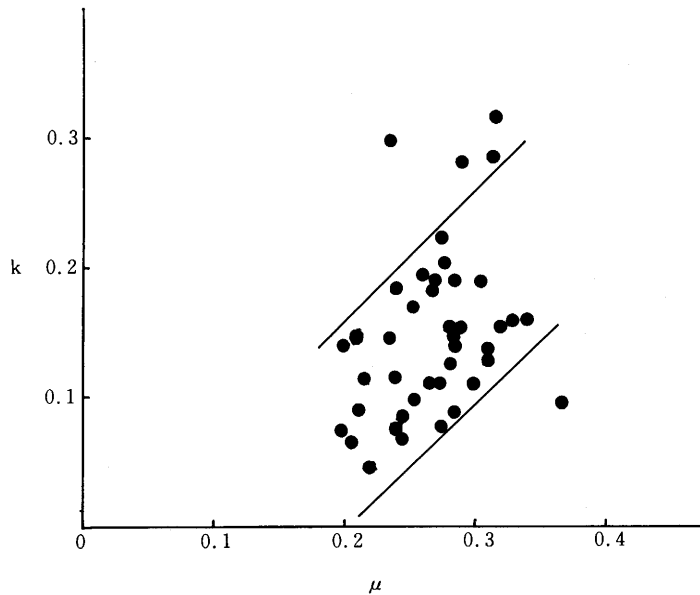


図-9 μ とkの関係

Fig. 9 Relationship between μ and k

ここでは便宜的に、 $0.20 \leq \mu < 0.25$ 、 $0.25 \leq \mu < 0.30$ 、 $0.30 \leq \mu < 0.35$ に分けて、kを求めた。実際、kと μ の関係をみると、図-9のようになる。kは本来、路線勾配や作業員の体力、疲労程度によっても異なるはずであり、図-9においてもレンジが大きいが、図中の各点を2本の直線で囲ってみると、 μ が小さくなるにつれて、kすなわち v_0 を小さくして木材投入の運動量を調節していることが確認できる。2本の直線で囲まれた点について、 $0.20 \leq \mu < 0.25$ 、 $0.25 \leq \mu < 0.30$ 、 $0.30 \leq \mu < 0.35$ に分けて求めたkの平均値は、それぞれ0.106、0.147、0.156となる。なお試験に供した木材の比重は 875 kg/m^3 であった。

図-8は厳密には各点のkは違うのであるが、図-8から、シュートへの木材投入の運動量が一定とみなしてもさしつかえないことがたしかめられる。したがって、投入木材が大きくなると、初速度は小さくなる。この場合に、初速度を無理に大きくしようとすると、初速度に比例して、運動量すなわち作業強度が増大することになる。

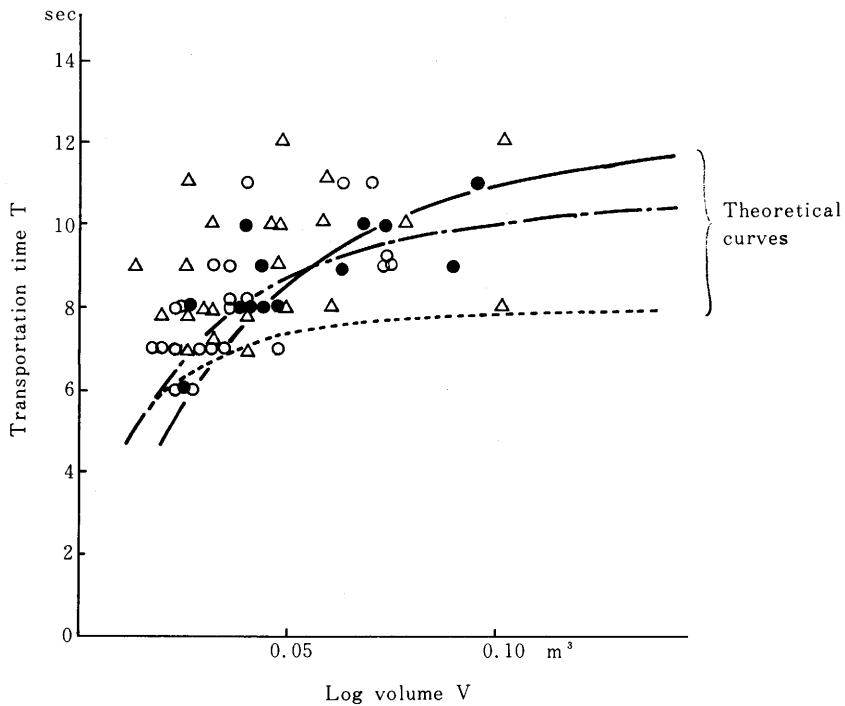
材が最下端に到着するまでの時間は、

$$T = \sum_{i=1}^n t_i \quad (17)$$

で与えられる。全区間の路線勾配が一定であれば、(5)、(16)式より、全路線長L (m)に対して、

$$T = \{-k/V + \sqrt{(k/V)^2 + 2\alpha L}\} / \alpha \quad (18)$$

となり、Vの関数となる。しかし試験路線では、 v_0 すなわちkが動摩擦係数に応じて適当に調整されたため、晴天時と降雪時とのTの差異は認められなかった(図-10)。



図一10 材の到達時間

Fig. 10 Transportation time (50 m distance)

- : Sometimes lubricated with water
- : Lubricated between each chuting with water
- △——— : Snowy conditions

3) 生産性

シュート作業のサイクルタイム C (sec/回) は,

$$C = T + tf \quad (19)$$

ただし,

tf : 材の投入およびシュート終端部の材の整理等に関する時間の合計 (sec) となり, (18式から V の関数となる。このときの生産性 P (m^2 /人時) は,

$$P = 3600V/mC \quad (20)$$

ただし,

m : 作業人員 (人)

となる。

たとえば, $V=0.03$, $C=10$, $m=3$ のとき, $3.6m^2$ /人時となる。

表一 2 滑路架設人工数 (3人作業時)

Table 2 Labor required for construction of a route (three-man crew)

	50 m	100 m	
	(Actual)	(Assumption)	
	Man-hour		Man-hour
Route location	0.392	×2	0.784
Stopper construction	0.887		0.887
Transporting a 6 m section	0.048		0.048
Transporting 2 m sections	1.248	×4	4.993
End section construction (6 m)	1.402		1.402
Connecting sections	0.840	×2	1.679
Fixing chutes	0.437	×2	0.874
Checking	0.102	×2	0.204
Adjusting	0.029	×2	0.059
Landing construction	0.191		0.191
Total	5.576		11.121

4) 可搬式シュートの架設撤去

50mの試験路線を架設するのに5.57人時を要した。これより100m路線の場合を推定すると、11.12人時となる(表一2)。

50m路線の撤去人工数は、2.76人時であった。

5) エネルギー節約

いま可搬式シュートと同程度の生産性を上げうる林業機械を仮想し、現実的林業機械の実績からその燃料消費量を2.5ℓ/時とする。

作業人員はシュートも他の林業機械も同じとし、シュートの架設やその他副作業も含めた生産性をいずれも8m³/時と仮定し、燃料単価を100円/ℓとすると、重力を利用する可搬式シュートでは、燃料代として約31円/m³節約することができる。

この他に、他の林業機械の購入価格は50m路線のシュートに対して、たとえば50円/m³あるいはそれ以上高価であることが予想される。

V 路線選定

1) 路線勾配

可搬式シュートの路線選定は、搬出作業の成否につながるので重要な作業である。

まず路線勾配は、円滑な搬送を行うために、十分な平均勾配を有していなければならない。すなわち概して $\tan^{-1}\mu$ 以上でなければならない。 μ の実験結果から、各種作業条件に対する供

表-3 路線勾配の目安 ($\tan^{-1}\mu$)Table 3 Slope or grade of aluminum-alloy chute
($\tan^{-1}\mu$, degrees)

Dry	29
Someties lubticate with water	16
Lubricate between each chuting with water	15
Snowy conditions	10

試シュートの路線勾配の目安は表-3のようになる。

2) 路線間隔

搬出する材が伐区内の1地点に集積されているならば、あえて路線間隔を考慮する必要はない。しかし、集材範囲が十分に広く、材が散在している場合には、最適な路線間隔を決定しなければならない。

ここでは図-11に示す伐区モデルを想定する。間伐材を対象とし、シュートまでの木寄は人力による下げ木集材とする。木寄用ウインチ等の他の林業機械の併用は、一応ここでは考えないものとする。

V_d , V_t , R をそれぞれ林地内の搬出材積分布密度 (m^3/m^2)、シュートへの平均投入材積 ($\text{m}^3/\text{人回}$)、路線の架設撤去人工数 (人時/m) とする。路線沿に木寄するものとし、材のある地点からシュートまでの往復木寄速度を v_{p1} , v_{p2} (m/時) とする。

このとき最適路線間隔 D (m) は、路線単位長当りの木寄および路線の架設撤去人工数の合計 $f(n)$ (人時)、

$$f(n) = \{Y_w(1/v_{p1} + 1/v_{p2})/2n\} Y_w V_d/V_t + nR \quad (23)$$

ただし、

Y_w : 伐区幅 (m)

n : 路線本数

を最小にする n に対して、

$$D = Y_w/n \\ = \sqrt{2 V_t R v_{p1} v_{p2} / V_d (v_{p1} + v_{p2})} \quad (24)$$

として、与えることができる。このとき木寄人工数と路線の架設撤去人工数とは等しくなっている。

R , V_t , v_{p1} , v_{p2} はそれほど変化がないので、路線間隔はおもに林地内の搬出材積分布密度 V_d に影響されることになる。しかし、たとえば、 $R=0.166$, $V_t=0.03$, $v_{p1}=25 \times 60$, $v_{p2}=20 \times 60$ とすれば、路線間隔は、 $V_d=0.008$ のとき29m, $V_d=0.005$ のとき36mとなるので、通常は30

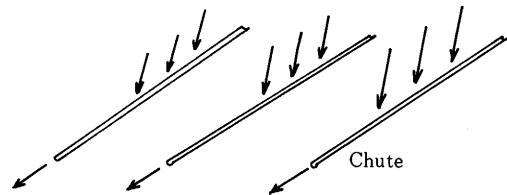


図-11 可搬式シュートによる間伐材搬出

Fig. 11 Logs from thinnings on portable chutes
Arrows indicate the directions of logs.

m前後が目安になるものと思われる。

要 旨

修羅は搬出材の重力を利用した合理的な木材搬出方式として、かつては広く使用されていたが、修羅までの木奇と滑路の設営に多大の人力労働と特殊技術を必要とするため、伐出作業の機械化に伴い、今日ではほとんど見ることができなくなった。しかし近年わが国において、修羅は間伐材搬出用に、アルミ合金やグラスファイバー製の可搬式の成型品に姿をかえて、「可搬式シュート」として数種類のもので市販されるようになっている。ここでは、アルミ合金製のものについて、東京大学秩父演習林29林班の間伐林内にほぼ直線の50m 路線を架設し、滑走速度やシュートの摩擦等について分析を行った。おもな結果は以下のとおりである。

- (1) シュートの路線を路線勾配によって区間 I, II, III, ……に分割すると、各区間最下端における木材の速度 v_i と当該区間を通過するのに要する時間 t_i は、 $v_i = \sqrt{v_0^2 + 2 \sum_{j=1}^i \alpha_j L_j}$, $t_i = (-v_{i-1} + \sqrt{v_0^2 + 2 \sum_{j=1}^i \alpha_j L_j}) / \alpha_i$ (添字, 区間番号; $\alpha_i = g (\sin \theta_i - \mu \cos \theta_i)$, 滑走加速度 (m/sec²); θ_i , シュートの勾配; μ , シュートと木材の動摩擦係数; v_0 , 木材投入の初速度 (m/sec); g , 重力加速度 (m/sec²)) となる。晴天時に t_1 , t_3 を測定し、上記理論式から動摩擦係数 μ を計算した結果、潤滑のために少量の水を(a)時々流す場合0.289, (b)木材投入のたびに流す場合0.261となった。(a)と(b)は1%水準で有意差が認められた。また、降雪時には、 μ は0.182であった。
- (2) 晴天時の μ は、滑走するにつれて大きくなる傾向が認められた。これは潤滑のための水分が次第に損失することに起因するものと思われる。
- (3) 材積 V (m³) と初速度の関係として、 $v_0 = k/V$ を得た。これはシュートへの木材投入の運動量が一定であることを意味する。実際の作業では μ に応じて木材投入の初速度を調整していることが観測されたが、 μ が小さくなるにつれて k が小さくなる傾向が確かめられた。0.20 ≤ μ < 0.25, 0.25 ≤ μ < 0.30, 0.30 ≤ μ < 0.35に分けて求めた k の平均値は、それぞれ0.106, 0.147, 0.156となった。
- (4) 材が最下端に到着するまでの時間 T (sec) は、路線勾配が一定であれば、全路線長 L (m) に対して、木材投入の運動量一定の条件から、 $T = \{-k/V + \sqrt{(k/V)^2 + 2\alpha L}\} / \alpha$ となるが、 k すなわち v_0 が μ に応じて適当に調整されるため、試験路線においては晴天時も降雪時も差異はなかった。
- (5) シュート作業のサイクルタイム C (sec/回) から生産性を試算すると、たとえば $V = 0.03$, $C = 10$, 作業人員3人のとき、3.6m³/人時となる。
- (6) 可搬式シュートと同人数の作業員で同程度の生産性を上げうる林業機械を仮想し、その

燃料消費量を2.5ℓ/時、シュートの架設やその他副作業も含めた生産性をいずれも8m³/時、燃料単価を100円/ℓとすると、重力を利用する可搬式シュートによれば、燃料代として約31円/m³節約することができる。この他にこれら林業機械の購入価格は、50m路線のシュートに対して、たとえば50円/m³あるいはそれ以上さらに高価であることが予想される。

- (7) 50mの試験路線を架設するのに5.57人時を要した。これより100m路線の場合を推定すると、11.12人時となる。50m路線の撤去人工数は、2.76人時であった。
- (8) 可搬式シュートの路線選定は、搬出作業の成否につながるので重要な作業であり、平均勾配は $\tan^{-1}\mu$ 以上でなければならないが、 μ の実験結果によれば、供試シュートの路線勾配の目安は、シュート乾燥時29°、時々水を流す場合16°、木材投入のたびに水を流す場合15°、積雪時10°となる。
- (9) 間伐材が伐区内の1地点に集積されているならば、あえて路線間隔を考慮する必要はないが、集材範囲が十分に広く、材が散在している場合には、最適な路線間隔を決定しなければならない。最適路線間隔D(m)は、路線単位長当りの木寄および路線の架設撤去人工数の合計を最小にする路線間隔として、 $D = \sqrt{2 V_t R v_{p1} v_{p2} / V_d (v_{p1} + v_{p2})}$ (V_d , 林地内の搬出材積分布密度 (m³/m²) ; V_t , シュートへの平均投入材積 (m³/人回) ; R , 路線の架設撤去人工数 (人時/m) ; v_{p1} , v_{p2} , 往復木寄速度 (m/時)) となる。 R , V_t , v_{p1} , v_{p2} はそれほど変化がないので、路線間隔はおもに林地内の搬出材積分布密度に影響されることになるが、通常は30m前後が目安となる。

引用文献

- (1) BROWN, N.C. : Logging-Transportation. 327pp, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1936
- (2) 石原猛志 : シュラシューターを使用して, 林経協月報 247 : 10~11, 1982
- (3) 中原正虎 : 実用伐木運材法, 311pp, 三浦書店, 東京, 1930
- (4) 林業機械化協会編 : 小型林内作業用機械とその作業, 林業機械シリーズNo70, 263pp, 林業機械化協会, 東京, 1983
- (5) 住友林業(株)山林部 : アルミ修羅を用いた間伐材搬出法, 機械化林業 339 : 51~56, 1982

(1985年5月28日受理)

Summary

Chute logging had been used widely for many centuries before logging operations were mechanized. It required special techniques and much manpower to construct chutes and to

prehaul logs to the chutes. Of late, chute logging seldom has been seen. However, now it is being revived in Japan to transport logs from thinnings. Such chutes are designed as portable units of aluminum-alloy or glass-fiber (FRP). They are capable of high productivity when the routes are located suitably, and the logs are stacked along the chutes. We constructed a nearly-straight course of 50 m made of portable aluminum-alloy sections in the University of Tokyo Forest at Chichibu and investigated its characteristics for logging. The results and conclusions were as follows:

- 1) When the chute route was divided into sections 1, 2, 3, ..., the velocity of logs at the lowest point of each section and the time needed to pass the section could be expressed as $v_i = \sqrt{v_0^2 + 2 \sum_{j=1}^i \alpha_j L_j}$ and $t_i = (-v_{i-1} + \sqrt{v_0^2 + 2 \sum_{j=1}^i \alpha_j L_j}) / \alpha_i$, respectively, where the suffix indicates the section number, $\alpha_i = g (\sin \theta_i - \mu \cos \theta_i)$, θ_i is the grade, μ is the coefficient of friction, v_0 is the initial velocity, L_i is the length of the section, and g is the acceleration of gravity. The coefficient μ was calculated by the pair t_1 and t_2 or t_1 and t_3 , and so on. The average of μ is (a) 0.289 when the chute is lubricated sometimes with water, and (b) 0.261 when it is lubricated between each chuting with water. There is a slight difference between (a) and (b) at the 1% significant level. In winter, μ under snowy conditions was estimated as 0.182.
- 2) It was observed that μ of (a) and (b) grows slightly as the log slides down, probably because of the lack of lubricating water.
- 3) The relationship between the initial velocity, v_0 (m²/sec), and the volume of logs, V (m³), was regressed as $v_0 = k/V$. This means that the momentum of initial chuting is constant. The coefficient of the constant k was 0.106, 0.147, and 0.156 when $0.20 \leq \mu < 0.25$, $0.25 \leq \mu < 0.30$, and $0.30 \leq \mu < 0.35$, respectively. The coefficient of constant k becomes smaller as μ becomes smaller. Actually, it was noted that the operators adjusted the initial velocity according to the degree of μ .
- 4) Under the condition that the momentum of initial chuting is constant, transportation time of chuting, T , can be expressed as a function of V , that is, $T = \{-k/V + \sqrt{(k/V)^2 + 2\alpha L}\} / \alpha$ where the grade is nearly constant. But in actual operations, no differences in T could be seen between dry and snowy conditions because the initial velocity was adjusted in response to the coefficient of friction.
- 5) Productivity of chute logging can be derived from the cycle time, C . For example, the volume transported reaches 3.6 m³/man-hour when $V = 0.03$ (m³), $C = 10$ (sec), and there is a three-man crew.
- 6) Portable chutes can save fuel cost as much as about thirty yen/m³ compared with other Japanese logging machines whose crew size and productivity are the same as portable-chute logging. In addition, the costs of these machines are sure to be greater, for example, by 50 yen/m³ or more over the 50 m-chute set.
- 7) Labor required for building the portable chute was 5.57 man-hours for a 50 m length, and 11.12 man-hours for an assumed 100 m length. Labor required for dismantling was 2.76 man-hours per 50 m of length.

- 8) Route location is an important matter for success in chute logging. Chutes must be built with a sufficiently steep grade of over $\tan^{-1}\mu$ to operate smoothly. From the results of the experiment, $\tan^{-1}\mu$ of the aluminum-alloy chutes was 29 degrees dry, 16 degrees when lubricated sometimes with water, 15 degrees when lubricated between each chuting with water, and 10 degrees under snowy conditions.
- 9) The optimum chute spacing must be considered when the thinning area is large. The optimum spacing, D (m), can be derived from the situation where the amount of labor required for prehauling to the chute and for dismantling and resetting a route is minimum. That is, $D = \sqrt{2V_t R v_{p1} v_{p2} / V_d (v_{p1} + v_{p2})}$ where V_t is the average sawlog volume, V_d is the density of the volume prehauled, R is the labor required for building and dismantling a route of unit length, and v_{p1} and v_{p2} are velocities of downhill manual prehauling of moving up and down. Since the conditions v_{p1} , v_{p2} , V_t , and R do not vary widely, the optimum spacing is affected mostly by the density of the volume prehauled. Generally, the optimum spacing, D , is about thirty meters.