

# 急峻地における懸垂式モノレール運材作業

## The Transportation System of a Hanging-Monorail

### Logging-Train on a Steep Slope

酒井秀夫\*, 伊藤幸也\*\*, 南方 康\*, 上飯坂実\*

Hideo SAKAI\*, Kouya ITOU\*\*, Yasushi MINAMIKATA\* and Minoru KAMIIZAKA\*

#### I はじめに

筆者らは先に東京大学農学部附属千葉演習林の比較的平坦な地形で林業用懸垂式モノレールの性能試験を行ったが<sup>1)</sup>, 今回東京大学農学部附属秩父演習林において, 急峻地形における同機の運材性能, 安全性, および路線の架設撤去等について調査・試験を行った。

供試機は前回と同様Y社製懸垂式モノレール「T. R.」である。機関車は2台使用したが, そのうちの1台は横取用ウィンチが装着できるように改良されており, 専ら木寄・積込作業に使用した。他の1台は運材作業専用とし, 両機にそれぞれ待ち時間が発生しないように組合せて使用した。

調査・試験の実施にあたっては, 東京大学秩父演習林の職員各位にひとかたならぬお世話になった。ここに厚く謝意を表する。また本報の理論功程式を導く際に前提となる木寄手の林内歩行に関して, 名古屋大学堀高夫教授からご示唆をいただいた。

#### II 試験地概要

試験地は東京大学農学部附属秩父演習林19林班高平い1小林班ヒノキ42・43年生間伐林に設定した。試験地となる伐区は1.12haあり, 出材材積は84.45m<sup>3</sup>(材積間伐率28%, 本数間伐率45%)である。試験地は国道140号線から90~145m高所に位置し, 通常の集材作業によれば, 集材架線によって国道沿の土場まで直接搬出するところであるが, 若齢林分であるため適

\*東京大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

\*\*東京大学農学部附属秩父演習林

University Forest at Chichibu, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

当な支柱を得ることができず、また伐区内まで作業道を延長するのも不可能であったので、林業用懸垂式モノレールを使用して間伐材搬出を行なった。その結果、モノレールの路線は、図-1, 2に示すように、国道沿の土場から伐区入口まで平均34.0°のほぼ一様な急勾配が205m 続くことになり、曲線半径30m のカーブを経て (曲線長25m), 伐区内中央部まで直線路が旧木馬道沿に95m 架設された。さらにこの路線終点部から180m 撤去して、伐区最下部に65m 張替えた。本報ではレールを支えるワイヤロープの区間によって、路線を第I~IV区間、および張替区間の第V区間に区分することにする。またレール位置を始点からのレール本数で表示することにする。例えば「レールNo20」の地点は、レール長がすべて5 m であるので、路線始点から100m に位置することになる。

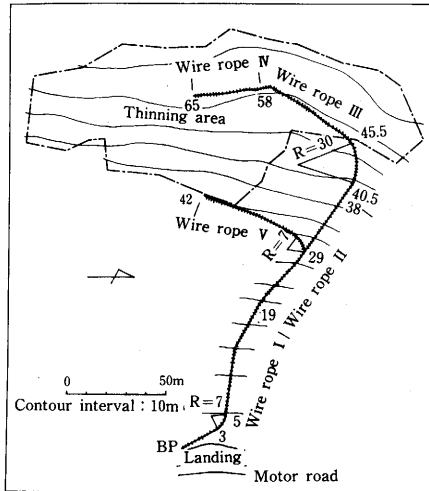


図-1 試験地平面図

Fig. 1 Plan of monorail-road location.  
Numbers indicate the rail No. (5m length rail).

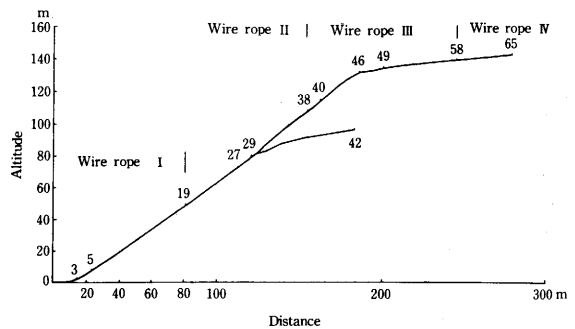


図-2 路線縦断面図

Fig. 2 Longitudinal grade of rails.  
Numbers indicate the rail No.

試験は1982年10月12~15日に第I~IV区間の路線架設を行い、同年11月15日にワイヤロープ張力試験、15・16日に運材試験、17日に登坂試験を行なった。同年12月8日には第III~IV区間を撤去して第V区間に張替えた。

### III 路線の架設・撤去

試験地では、山側に向けてレール運搬用荷積台車、機関車、制動車、資材運搬用トロッコの順で列車編成し、レール・資材を運搬しながら路線の架設作業を進めていった。後述するよう

に当路線上り勾配における実用的な積載荷重は約300kgであるが、荷積台車の容量と他の資材重量の制約から、1回当りレール運搬量は10～11本（1本当り18kg）であった。

供試機の軌道となるレールは、ワイヤロープに吊り下げるだけの構造なので、急勾配や曲線部の前後では、レール位置がずれないようにレールを鎖等で緊張しておく必要がある。試験路線ではレールNo.4, 17, 26, 34, 44でこのレール緊張を行なった。また曲線部では曲中点とレールの継手が一致しないように留意した。

各ワイヤロープ区間の架設人工数は表-1のようになる。第I区間と第III区間では、曲線部と直線部の架設人工数を比較するために、曲線部を分離して架設人工数を求めた。また水平な直線路線と比較するために、千葉演習林の結果も再掲する。両演習林とも架設経験は全くなかったが、架設作業にはすぐ慣れた。またワイヤロープを支える中間支柱を設けるための立木状態は両演習林とも良好であり、これらの点に関しては同一条件とみなしうる。なお当該試験地では予定路線をすでに踏査していたので、当日の路線選定人工数が少なくなっている。レールや資材を繰返し運搬中に調整も済ませたので、特別な試走・手直しは行なわなかった。中間支柱架設とレール懸架について、表-1から次のことが明らかになった。

1) レール懸架は2～3人1組で行なったが、所要人工数は路線勾配や曲線部に関係なくほぼ一定しており、両演習林通じて平均8.54人分/本であった。なお急カーブでは、あらかじめレールを曲げておいてから吊り下げるが、これに要した人工数は、レールNo.40.5～45.5の曲線部で、わずかに3.77人分であった。

2) これに対してワイヤロープの中間支柱架設人工数は、路線勾配に比例しており、中間支柱の構成種類によっても異なってくるが、直線部における路線100m当り中間支柱架設人工数  $R_s$  人分/100m は、次式に回帰することができる（図-3）。

$$R_s = 125.1 + 5.84G \quad (\text{相関係数} 0.910) \quad (1)$$

ただし、 $G$ ：路線勾配（度）

さらに中間支柱1個当り平均架設人工数についてみると、門形支柱では勾配が37°位の時でも平坦路線の1.7倍位であるが、鎖・横木式支柱ではその平均架設人工数  $R_c$  人分/個が(1)式同様路線勾配に比例しており、次式に回帰することができた。

$$R_c = 3.51 + 0.28G \quad (\text{相関係数} 0.921) \quad (2)$$

なお表-1には表示していないが、鎖・横木式支柱の架設人工数は個々のバラツキが大きかったのに対して、門形支柱の架設人工数は概ね一定していた。

3) 曲線部の路線100m当り中間支柱架設人工数は、同一勾配の直線部に比べて、1.7～2.0倍要している（図-3）。鎖・横木式支柱の1個当り平均架設人工数も、同一勾配の直線部に比べて1.4～1.6倍要している。

以上1)～3)の結果から、供試機の路線架設において、中間支柱架設が路線勾配や曲線部

表-1 路線架設人工數  
Table 1 Labor required for rigging.

Wire rope setion	Chiba District	I (Straight) (course)	I (Curve)	II (Straight) (course)	III (Straight) (course)	III (Curve)	III (Straight) (course)	IV (Straight) (course)	V (Straight) (course)	
Section length	100m	85m	10m	95m	15m	25m	60m	35m	65m	
Average grade	0.4°	29.6°	31.5°	37.6°	38.2°	36.9°	6.8°	5.6°	15.0°	
Radius of curve	—	—	7m	—	—	30m	—	—	—	
1. Preparation of equipment.	90 man-min.	123.65 man-min.								
2. Route location.	50	—	—	42.95	—	9.12	—	14.12	—	
3. Laying wire rope along the route.	12	14.13	—	1.88	—	1.88	—	—	—	
4. Making spar trees.	125	74.67	—	80.83	—	73.43	—	57.52	—	
5. Rigging intermediate supports. (Per support) (Per 100m)	143 (4.33) 143	244.92 (10.65) (288.14)	50.51 (16.84) (505.10)	324.32 (12.97) (341.39)	55.90 (15.97) (372.73)	163.98 (21.86) (655.92)	141.71 (8.86) (236.18)	37.59 (4.18) (107.4)	107.74 (5.67) (163.75)	
Items	(a) Bracket type (Per support)	43 (4.30)	—	—	—	—	—	—	—	
	(b) Chain or bar type (Per support)	40 (3.08)	50.51 (16.84)	272.19 (13.61)	55.90 (15.97)	163.98 (21.86)	141.71 (8.86)	37.59 (4.18)	107.74 (5.67)	
	(c) Arch type (Per support)	60 (6.00)	—	52.13 (10.43)	—	—	—	—	—	
6. Suspending the wire rope from the supports.	8	—	—	—	—	—	—	—	—	
7. Tightening the wire rope.	28	15.04	—	41.47	—	9.42	—	18.46	—	
8. Suspending rails from the wire rope. (Per rail)	187 (9.35)	152.19 (8.95)	37.30* (18.65)	185.83 (9.78)	20.40 (6.80)	38.83 (7.77)	81.54 (6.80)	45.95 (6.56)	107.62 (8.28)	
Tightening rails.	—	16.20	—	17.0	—	15.6	—	—	6.53	
Binding an intersection point of wire ropes.	—	8.07	—	1.72	—	0.98	—	—	—	
Subtotal from 2 to 8. (Per 100m)	553 (9.22 man-hour)	613.03 (10.75 man-hour)	—	694.12 (12.18 man-hour)	—	612.79 (10.21 man-hour)	—	173.64 (8.27 man-hour)	221.89 (5.69 man-hour)	
9. Hanging a locomotive on the rails.	7.5	—	—	9.43	—	—	—	—	—	
10. Assembling and hanging trucks.	54	—	—	27.00	—	—	—	—	—	
11. Test running.	5	—	—	—	—	—	—	—	—	
12. Making a landing.	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
13. Appurtenant works.	44	—	—	—	—	—	—	—	—	
14. Loading rails.	—	—	—	80.59	—	—	—	—	—	
Unloading rails.	—	—	—	15.68	—	—	—	—	—	
15. Loading materials.	—	—	—	59.65	—	—	—	—	—	
Unloading materials.	—	—	—	22.88	—	—	—	—	—	
16. Refueling.	—	—	—	5.77	—	—	—	—	—	
17. Water feeding of a braking car.	—	—	—	6.47	—	—	—	—	—	
Total	756.5 man-min. (12.6 man-hour)	2444.70 man-min. (12.54 man-hour)								221.89 man-min. (5.69 man-hour)

\*Including rigging intermediate supports.

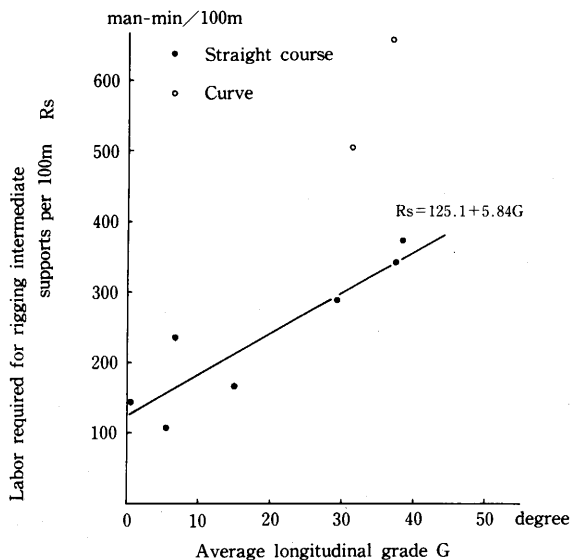


図-3 路線勾配と路線100m 当り中間支柱架設人工数  
Fig. 3 Labor required for rigging intermediate supports.

の影響を受けていることが明らかになったが、同時に、路線勾配や曲線部の有無に応じて、路線の架設人工数がある程度予測することができる。

また架設距離が長くなると、資材準備や列車組立等の所要人工数の割合が小さくなり、m 当り架設人工数が小さくなる。したがって当試験地では急勾配区間が含まれていたにもかかわらず、総架設人工数は12.54人時/100m と、千葉演習林の12.6人時/100m と殆ど変わらなかった。

路線撤去作業については第IV～III区間のみ実測したが、その所要人工数を表-2に示す。中

表-2 路線撤去人工数  
Table 2. Labor required for dismantling.

Wire rope section	IV	III
Section length	35m	100m
Average grade	5.6°	19.0°
1. Spar trees.	10.64 man-min.	9.43 man-min.
2. Intermediate supports.	15.07	117.15
(Per support)	( 1.67)	( 4.34)
(Per 100m)	(43.06)	(117.15)
3. Rails. <sup>1)</sup>	41.25	170.07
(Per rail)	( 5.89)	( 8.50)
4. Rewinding the wire rope.	5.67	17.67
5. Appurtenant works.	7.05	4.14
Total	79.68 man-min.	318.46 man-min.
(Per 100m)	(3.79 man-hour)	(5.31 man-hour)

1) Including loading of rails on arm-trucks.

間支柱や先柱・元柱の撤去人工数は架設人工数に比べて非常に少ないが、レール撤去人工数は継手のボルトはずしがあるため、架設時よりわずかに少ないだけである。表-2の撤去人工数をこれに相当する架設作業(表-1「2~8. 小計」欄)と比較すると、架設時のほぼ1/2となる。なお架設時の資材準備等の人工数も含めると、架設人工数に対する撤去人工数の割合はさらに小さくなる。

#### IV 登坂試験

試験地は下げ荷運材であったが、レール等の資材運搬、あるいは林道下からの上げ荷運材をも想定して、急勾配区間での登坂試験を行なった。

試験区間は、急勾配区間が続くレールNo27~46とした。試験区間の平均勾配は38.2°、区間長95mである。区間内の最急勾配は46°(レールNo30~31)、次が41.8°(レールNo40~41)である。列車編成は山側から機関車、制動車、荷積台車1両の順とし、積載荷重277kgから順次荷重を増加していった。試験結果は図-4のようになり、積載荷重301kgまでは試験区間を1速29.5m/分~30.1m/分で無事に登坂したが、積載荷重が320kg、349kgになると、ようやくのぼりきったという状態であった。349kg積載時に、さらにアーム形台車1個(重量23kg)を連結したところ、発進時において走行至難の状態となり、機関車が41.8°の勾配を過ぎた地点で走行不能となった。さらにアーム形台車を連結して新たに荷積台車1両(重量50kg)としたところ、機関車が46°の最急勾配を通過した地点で停止した。

以上の結果、上げ荷運材では区間内の最急勾配によって積載量が制限されるが、平均38.2°、

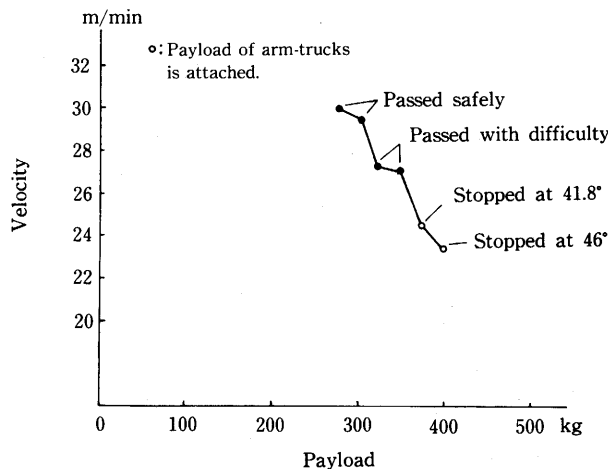


図-4 登坂試験(平均勾配38.2°、区間長95m)

Fig. 4 Critical payload on a steep section (average grade 38.2 degrees, section length 95m).

最急46°の上り勾配では、荷積台車1両に対して積載荷重約300kgまでが、供試機の実用的な積載量であることが明らかになった。

## V 運材作業

### 1. 作業試験

運材作業は荷積2人1組、荷卸2人1組（荷卸は1人でも可能であるが、土場整理も兼ねるため2人とした）の計4人で行ない、荷積台車は2両編成とした。

路線が急勾配であるにもかかわらず、列車の空車返送を2速で行なうことが可能であった。また実車時は、平均36.2°の急勾配下り区間が215m連続するために、1速にすると機関車のブレーキが焼けてしまうおそれがあるので、制動車を連結して2速で走行した。この制動車は実車下りの状態で、80m/分（2速）以上になると遠心ブレーキが作動する機構になっている。作業が11月であるにもかかわらず、制動車のブレーキドラム冷却水（約5.75l）が1回目の運材で40℃前後になり、3～4回目から沸騰して水蒸気を吹きあげ、5回目の運材終了後、冷却水を補給するという状態であった。しかし作業期間中、制動車に異常は認められなかった。

列車の走行速度をレールNo.14～20、平均勾配34.7°の区間で測定した結果、空車上り2速で平均73.7m/分、実車下り2速（積載荷重393～533kg）で平均91.1m/分であった（図-5）。実車下り2速の走行速度と積載荷重との顕著な関係は認められなかった。なお実車下り2速の数値は、

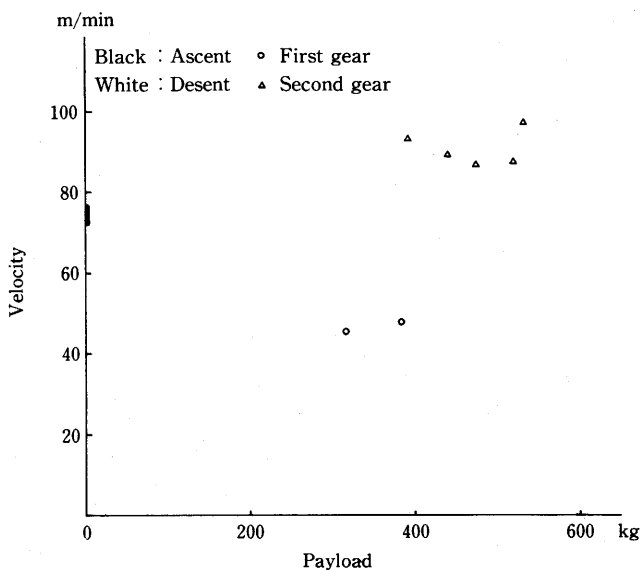


図-5 積載荷重と走行速度（平均勾配34.7°）

Fig. 5 Relationship between payload and velocity of train.

平均勾配25.9°の区間で行なわれた千葉演習林での試験結果<sup>1)</sup>に比べて、20m/分程大きいのが、勾配差や積載荷重の他に、主に遠心ブレーキの調整によるものと思われる。また、実車下り1速でも2回運材を行なったが、平均47.1m/分であった。

燃料消費は、実車下り2速、空車上り2速の状態、平均積載荷重373.1kg、平均勾配28.9°のとき、1,500m/lであった。タンク容量は2.5lであるので、この条件下で片道運材距離を300mとすれば、6.25回往復できることになる。給油に要した時間は、1.20人分/lであった。また制動車の給水には6.47人分要した。

搬出材重量とその正味積込時間（積込準備や荷台整理を除く）の関係を図-6に示す。積込位置は、旧木馬道の足場が良いレールNo52~63である。積込作業は2人1組で行なったが、手積が不可能な場合には、横取用ウィンチを利用して積込を行なった。図-6から積込作業に関して次のことが明らかになった。

1) 搬出材重量が80kgまでは手積が可能であったが、80kg以上になるとウィンチ積込を必要とした。

2) 手積の場合、積込時間は60kgまでは搬出材重量にそれほど関係なく、5秒前後に集中している。時々積込時間がはねあがっているが、その最大値  $T_{Lmax}$  秒は搬出材重量  $W_G$  kgに比例しており、式で示すと、概ね、

$$T_{Lmax} = 0.45W_G \quad (3)$$

となる。

3) ウィンチによる積込時間は3例が20秒前後（荷掛、荷はずしも含む。1例はウィンチ木寄から直接積込む）であり、1例がほぼ(3)式にあてはまる。なおウィンチ積込用のブロック取付に3人で31秒要している。

次に荷積台車の積載荷重と総積込時間の関係を図-7に示す。ただし、積込のための小移動に要した時間は、集積材の状況に大きく左右されるので除くことにする。積込時間  $T_L$  秒/回は積載荷重  $W_T$  kgに比例しており、次に式で表わすことができる。

$$T_L = 0.567W_T \quad (\text{相関係数}0.500) \quad (4)$$

積載荷重  $W_T$  と積載材積  $V_T$  m<sup>3</sup>の間には、

$$V_T = 0.00113W_T \quad (\text{相関係数}0.870) \quad (5)$$

の関係があったので、(4)式を積載材積で表わすと、

$$T_L = 501.8V_T \quad (6)$$

となる。(6)式は前報の結果<sup>1)</sup>に比べて、当試験地の方が積荷の1本当り材積が大きく(0.037m<sup>3</sup>/本に対して0.047m<sup>3</sup>/本)、その分散も大きい(0.00107(m<sup>3</sup>/本)<sup>2</sup>に対して0.00207(m<sup>3</sup>/本)<sup>2</sup>)ためか、係数が大きい。

荷卸作業は荷積台車のロックをはずすだけなので、荷卸時間は積載量には関係なく、28~64



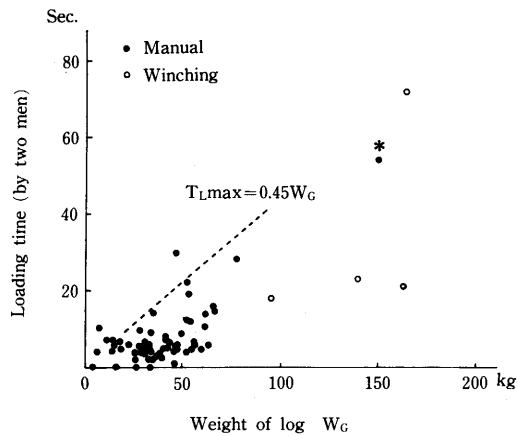


図-6 積込材重量と正味積込時間

Fig. 6 Relationship between weight of log and loading time.

\* A lever is used.

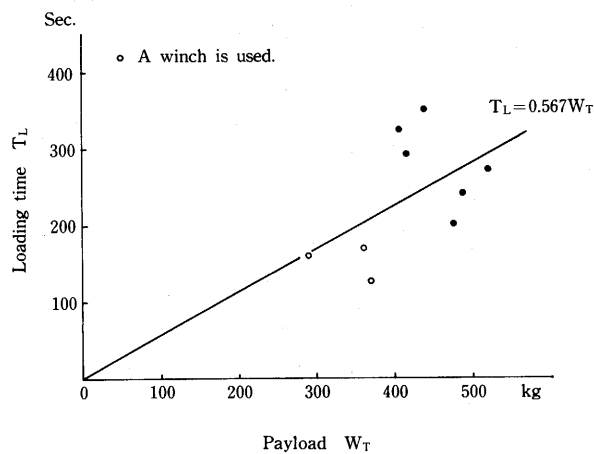


図-7 積込荷重と総積込時間

Fig. 7 Relationship between payload and loading time.

秒、平均43.3秒であった。列車が荷卸場に到着してから、出発までに要した時間は、荷積台車の返送準備も含めて56～97秒、平均79秒であった（ただし、給油、制動車の注水は除く）。これは前報の結果<sup>1)</sup>とほぼ一致している。

## 2. 作業能率

林業用懸垂式モノレールの理論功程式は前報<sup>1)</sup>ですでに示したが、木寄兼荷積手の待時間が区間全体で平均して最小になるように、機関車の運行にあわせて木寄することが前提となっている。この考え方は作業能率の上限値を与えるものであるが、その後の検討の結果、待時間を

最小にするための木寄手の林内移動の影響を無視しえないことが明らかになった。また路線長が長くなるとそのような移動は現実には不可能である。そこで本報では、多少の待時間はやむをえないものとして、このような待時間を最小にするための木寄手の移動を考えない場合について、その理論方程式を求めてみる。

いま諸量を前報と同様に次のように定める。

運転速度： $v_1$ m/時（実車）， $v_2$ m/時（空車）

1 荷当り荷積時間： $T_L$ 時/回

1 荷当り荷卸時間： $T_U$ 時/回

1 荷当り積載量： $V_T$  m<sup>3</sup>/回

当該林地の平均木寄能率（1組当り）： $V_P$  m<sup>3</sup>/時（2人1組）

路線長： $L_m$

出材量： $V$  m<sup>3</sup>

路線の架設撤去人工数： $R$ 人時

作業形態は次の3通りについて考える。

A：4人（2組）で木寄を行なったのち、荷積2人、荷卸2人で運材作業を行なう場合。

B：荷卸2人、木寄兼荷積2人で、木寄と運材を並行しながら作業を行なう場合。

C：荷卸2人、木寄兼荷積4人（2組）の計6人で作業を行なう場合。

まず伐区が林道に接している場合を考える。 $V$ 、 $R$ は $L$ に比例するものとするれば、

$$V = aL \quad (a : \text{比例定数}) \quad (7)$$

$$R = bL \quad (b : \text{比例定数}) \quad (8)$$

このとき、懸垂式モノレール作業の作業能率 $E$  m<sup>3</sup>/人時の理論式は以下のようになる。

i) Aの場合

前報と同じく、区間全体の作業能率 $E_{A2}$  m<sup>3</sup>/人時は、

$$E_{A2} = \frac{V_T}{4 \left\{ \frac{L}{2} \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_U + T_L + \frac{V_T}{2V_P} \right\} + C} \quad (9)$$

ただし、

$$C = \frac{b}{a} V_T \text{人時/回} \quad (1 \text{ 荷当り架設撤去人工数}) \quad (10)$$

ii) Bの場合

機関車の運行と木寄能率がつりあう距離 $L_{B2}$  mは、

$$L_{B2} \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_U = \frac{V_T}{V_P}$$

より、

$$L_{B2} = \frac{v_1 v_2}{v_1 + v_2} \left( \frac{V_T}{V_P} - T_U \right) \quad (11)$$

$L \leq L_{B2}$ のときは、機関車に待ちが生じるので、作業能率は結局、木寄と荷積に依存することになり、このときの作業能率 $E_{B2}(L \leq L_{B2})$   $m^3/人時$ は、前報と同じく、

$$E_{B2}(L \leq L_{B2}) = \frac{V_T}{4 \left( \frac{V_T}{V_P} + T_L \right) + C} \quad (12)$$

$L > L_{B2}$ になると、 $L_{B2}$ をこえる区間の作業能率 $E_{B2}[L_{B2}, L]$   $m^3/人時$ は機関車の運行に依存することになり、

$$\begin{aligned} E_{B2}[L_{B2}, L] &= \frac{V[L_{B2}, L]}{4 \left\{ \left( L_{B2} + \frac{L - L_{B2}}{2} \right) \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_L + T_U \right\} - \frac{V[L_{B2}, L]}{V_T} + R[L_{B2}, L]} \\ &= \frac{V_T}{4 \left\{ \frac{L}{2} \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + \frac{V_T}{2V_P} + \frac{T_U}{2} + T_L \right\} + C} \end{aligned} \quad (13)$$

となる。したがって $L > L_{B2}$ のときの全体の作業能率 $E_{B2}(L > L_{B2})$   $m^3/人時$ は、(12)、(13)式を合成して<sup>1)</sup>、

$$\begin{aligned} E_{B2}(L > L_{B2}) &= \frac{V_T}{4 \left\{ \frac{L}{2} \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_L + T_U + \frac{v_1 v_2}{2L(v_1 + v_2)} \left( \frac{V_T}{V_P} - T_U \right)^2 \right\} + C} \end{aligned} \quad (14)$$

となる。

iii) Cの場合

Bの場合と同様にして、

$$L_{C2} = \frac{v_1 v_2}{v_1 + v_2} \left( \frac{V_T}{2V_P} - T_U \right) \quad (15)$$

$$E_{C2}(L \leq L_{C2}) = \frac{V_T}{3 \left( \frac{V_T}{V_P} + T_L \right) + C} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} E_{C2}(L > L_{C2}) &= \frac{V_T}{3 \left\{ L \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + 2T_U + T_L + \frac{v_1 v_2}{L(v_1 + v_2)} \left( \frac{V_T}{2V_P} - T_U \right)^2 \right\} + C} \end{aligned} \quad (17)$$

ここで前報の試験結果と同じ数値<sup>1)</sup>を用いて $E_{A2}$ 、 $E_{B2}$ 、 $E_{C2}$ を計算してみる。前報では実車時1速であったが、さらに $v_1$ 、 $v_2$ のみ当試験地の数値を用いて( $v_1 = 88 \times 60m/時$ 、 $v_2 = 74 \times 60m/時$ )、往復2速とした時の運材速度の影響も調べてみる。計算結果は図-8に示すようになり、 $L$ が大きくなるにつれて作業形態がA、C、Bの順に最大となる作業能率が得られた。ま

た往復2速にすると、作業形態AではLによる作業能率低下が緩慢となり、作業形態B、Cでは $L_{B2}$ 、 $L_{C2}$ が長くなった分だけ作業能率が向上している。なお本報の $E_{B2}$ 、 $E_{C2}$ を前報の $E_B$ 、 $E_C$ と比較すると、 $2L_{B2}(=L_B)$ 、 $2L_{C2}(=L_C)$ 付近で作業能率の差が最も大きくなっているが、全体の数値としては殆ど変わらない。

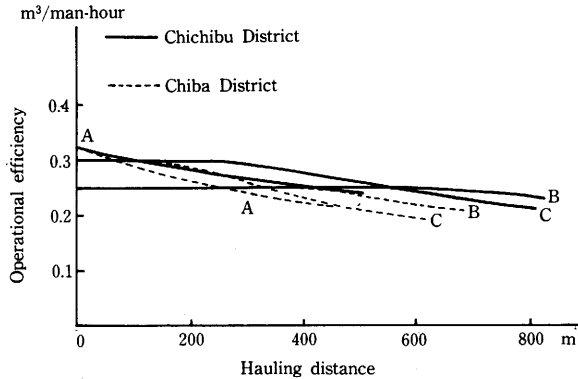


図-8 作業能率

Fig. 8 Operational efficiency

- A : Four-man-crew (After prehauling, two men for loading, and two men for unloading.) ;
- B : Four-man-crew (Two men for prehauling and loading, and two men for unloading.) ;
- C : Six-man-crew (Four men for prehauling and loading, and two men for unloading.) .

次に、当試験地では伐区が道路から離れているので、その場合の理論方程式を導くことにする。

いま路線の始点（土場）から伐区入口までの距離を  $L_0$  m とする。出材量  $V$  m³ は

$$V = a(L - L_0) \quad (L > L_0) \tag{18}$$

となるので、1 荷当り架設撤去人工数  $C(L)$  人時/回は、

$$C(L) = \frac{bL}{a(L - L_0)} V_T \tag{19}$$

となる。このとき、各作業形態における伐区内の作業能率は以下ようになる。なお  $L_0 = 0$  のとき、前記 i) ~ iii) と一致する。

iv) A の場合

$$E_{A0} = \frac{V}{4 \left[ \frac{V}{V_T} \left\{ \left( \frac{L - L_0}{2} + L_0 \right) \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_L + T_U \right\} + \frac{V}{2V_P} \right]} + R$$

$$= \frac{V_T}{4 \left\{ \frac{L + L_0}{2} \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_L + T_U + \frac{V_T}{2V_P} \right\}} + C(L) \tag{20}$$

v) B の場合

i)  $L \leq L_{B2}$  のとき：(12)式と同様に、

$$E_{B0}(L \leq L_{B2}) = \frac{V_T}{4 \left( \frac{V_T}{V_P} + T_L \right) + C(L)} \quad (21)$$

ロ)  $L_{B2} \leq L_0$  のとき：Aの運材作業と同じになるので、

$$E_{B0}(L_{B2} \leq L_0) = \frac{V_T}{4 \left\{ \frac{L+L_0}{2} \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_L + T_U \right\} + C(L)} \quad (22)$$

ハ)  $L_0 < L_{B2} < L$  のとき： $(L_0, L_{B2})$ の区間では、(21)式と同様に、

$$E_{B0}[L_0, L_{B2}] = \frac{V_T}{4 \left( \frac{V_T}{V_P} + T_L \right) + \frac{bL_{B2}}{a(L_{B2}-L_0)} V_T} \quad (23)$$

$(L_{B2}, L)$ の区間では、(13)式と同じになる。

(13), (23)式を合成して、

$$\begin{aligned} E_{B0}(L_0 < L_{B2} < L) &= \frac{V_T}{\frac{4}{L-L_0} \left\{ \frac{L^2}{2} \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + L(T_U + T_L) - L_0 \left( \frac{V_T}{V_P} + T_L \right) \right.} \\ &\quad \left. + \frac{v_1 v_2}{2(v_1 + v_2)} \left( \frac{V_T}{V_P} - T_U \right)^2 \right\} + C(L)} \end{aligned} \quad (24)$$

を得る。

vi) Cの場合

Bの場合と同様にして、

$$E_{C0}(L \leq L_{C2}) = \frac{V_T}{3 \left( \frac{V_T}{V_P} + T_L \right) + C(L)} \quad (25)$$

$$E_{C0}(L_{C2} \leq L_0) = \frac{V_T}{3 \left\{ (L+L_0) \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + 2T_U + T_L \right\} + C(L)} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} E_{C0}(L_0 < L_{C2} < L) &= \frac{V_T}{\frac{3}{L-L_0} \left\{ L^2 \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + L(2T_U + T_L) - L_0 \left( \frac{V_T}{V_P} + T_L \right) \right.} \\ &\quad \left. + \frac{v_1 v_2}{(v_1 + v_2)} \left( \frac{V_T}{2V_P} - T_U \right)^2 \right\} + C(L)} \end{aligned} \quad (27)$$

伐区が林道から離れると、1荷当りの架設撤去人工数が大きくなり、また木寄手に待時間が生じる区間の割合も増大したりするので、伐区が林道に接している場合よりも作業能率は低下する（証明略）。当試験地ではBの作業形態で作業が行なわれたが、Cの作業形態も想定して(11), (15)および(21)~(27)式に当試験地の試験結果をあてはめてみる。使用した数値は次のとおりである。なお林内木寄は、人力木寄の他に同機専用の横取用ウィンチも併用したが、ここでは木寄能率の平均値を使用することにする。

$$\left. \begin{aligned} L_0 &= 230, & L &= 325, & V_p &= 2.4, & V_T &= 0.45, & T_L &= \frac{225}{3600}, \\ T_U &= \frac{79}{3600}, & v_1 &= 88 \times 60, & v_2 &= 74 \times 60, & a &= 0.17, & b &= 0.18 \end{aligned} \right\} (28)$$

計算結果は  $L_{B2} = 399\text{m}$ ,  $L_{C2} = 173\text{m}$  となり、作業形態が B のときは  $L < L_{B2}$  となり、伐区内の作業能率  $E_{B0} (L < L_{B2})$  は (21) 式から  $0.171\text{m}^3/\text{人時}$  となる。作業形態が C のときは、木寄作業が 2 組になるので  $L_{C2} < L_0$  となるが、(26) 式より  $E_{C0} (L_{C2} < L_0) = 0.179\text{m}^3/\text{人時}$  となり、 $L$  が大きいために作業能率は B と殆どかわらないことがわかる。

なお以上の作業能率には路線の架設撤去人工数が含まれているので、出材量や伐区内区間長の影響が大きい。そこで運材時のサイクルタイムから、路線長に対する運材能率  $E\text{m}^3/\text{人時}$  を求めると次式のようになる。ただし運材時の作業員は 4 人とし、他工程との間に待時間がないものとする。

$$E = \frac{V_T}{4 \left\{ L \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_L + T_U \right\}} \quad (29)$$

当試験地の運材距離は林業用懸垂式モノレールとしては長い方に属すると思われるが、平均運材距離  $278\text{m}$  として、上式に (28) の数値を代入すると、平均運材能率は  $0.562\text{m}^3/\text{人時}$  となる。なお実車時 1 速として  $v_1 = 35 \times 60\text{m}/\text{時}$  のときは、 $0.403\text{m}^3/\text{人時}$  となる。

さらに (29) 式に、前記登坂試験の結果を代入し ( $v_1 = 30 \times 60\text{m}/\text{時}$ , 最大積載量  $0.34\text{m}^3$ 。このとき (6) 式より  $T_L = 170\text{秒}/\text{回}$ )、急勾配上り運材時の運材能率  $E_U\text{m}^3/\text{人時}$  を求めると、

$$E_U = \frac{1}{0.0092L + 0.8137} \quad (30)$$

となり、 $L$  に対する能率低下が著しく、当試験地と同等の運材能率を得るには、 $L = 100\text{m}$  が限度となる。したがって急勾配上り運材は可能ではあるが、長距離にするのは得策でないことが確認される。

## VI ワイヤロープ張力

急勾配部において、レールを支えるワイヤロープに発生する張力を調べるために、第 I 区間ワイヤロープの上部支点に S 社製 2t 用ロードセルを設置し、列車の運行に伴って発生する張力を Y 社製レコーダに記録した。列車編成は山側から機関車、制動車、荷積台車 2 両の順とし、全装備重量は  $303\text{kg}$  である。ワイヤロープ (径  $8\text{mm}$  ( $6 \times 19$ )) は標準的な架設方法にしたがって各支点間ともたるみのないように架設したが、このとき上部支点の基礎張力は  $335\text{kg}$  であった。積載荷重は  $314\text{kg}$  から  $533\text{kg}$  まで種々に変化させた。  $533\text{kg}$  は  $0.593\text{m}^3$  の生材を満載した状態である。

533kg積載したときの上部支点におけるワイヤロープの張力変化を図-9に示す。他の積載荷重の場合もワイヤロープ張力は533kg積載時よりは小さいが、図-9と相似の曲線が順次得られることがたしかめられた<sup>1)</sup>。図-9において、張力変動は列車の支点通過によって生じるものであるが<sup>1),2)</sup>、上部支点の最大張力は、列車が当上部支点を通過した時と、図中\*、\*\*印を通過した時に生じている。ある支点間に発生した張力は、隣接支点を通じて支点変位によって減少しながら伝達していくが<sup>1),2)</sup>、\*印を列車が通過した時に当該支点間に最大張力が生じていることが予測される。林業用懸垂式モノレールのワイヤロープの最大張力は列車荷重が最長支点間内にあるときに生じるが<sup>2)</sup>、\*印は支点間距離が最長の区間であり（平均支点間距離3.6mに対して4.5m）、同時にまた、第I区間の支間中央にもなっており、ワイヤロープ張力に対して最悪の条件となっている。533kg積載した列車が\*印の支点間を通過した時に発生した張力を上部支点の張力から推定すると<sup>2)</sup>、274kgとなり、基礎張力を考慮すればこのときの張力安全率は少なくとも5.8となる。なお当路線では勾配がなるべく一樣になるように架設したが、急激な勾配変化は避けるべきである<sup>1),2)</sup>。

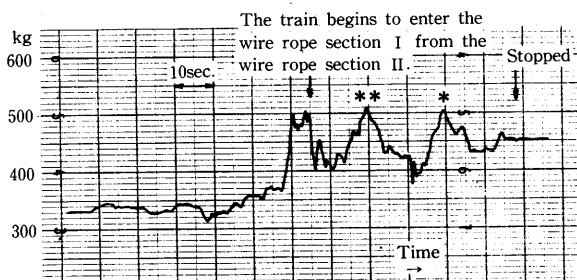


図-9 ワイヤロープ張力の例（533kg積載）

Fig.9 An example of wire rope tension at the upper support of wire rope section I (Payload is 533kg).

## VII おわりに

当試験地のように地形急峻で、しかも伐区が道路から離れている場合には、従来ならば搬出方法として架空線集材方式が用いられるところであるが、本試験の結果、林業用懸垂式モノレールは、急斜地においても路線架設が簡便で、安全性も高く、下り運材ならば往復2速でかなりの距離を搬出できることがたしかめられた。したがって、架空索を張るにも適当な支柱を得ることがむずかしい急斜地の若齢林分の間伐にも、林業用懸垂式モノレールはその機能を発揮しうるものと思われる。またこのような急斜地では概して作業道作設単価が高いので、森林作業の資材運搬用施設としても十分機能しうる。その際、積載荷重が約300kgまでなら登坂可能で

あり（平均勾配38.2°の時）、短距離ならば運材作業も可能である。

なお今回、林内木寄に同機専用の横取用ウィンチを使用した。他の木寄方法も含めて、林内木寄工程の詳細については別の機会に報告する。

## 要 旨

東京大学農学部附属秩父演習林において、急峻地における林業用懸垂式モノレールの運材試験を行なった。主な結果は次のとおりである。

- 1) レール懸架の所要人工数は、路線勾配や曲線部に関係なくほぼ一定しており、平均8.54人分/本である。
- 2) レールを支えるワイヤロープの中間支柱架設人工数は路線勾配に比例しており、直線部の路線100m 当り中間支柱架設人工数は、本文(1)式に回帰することができる。
- 3) 曲線部の路線100m 当り中間支柱架設人工数は、同一勾配直線部の1.7~2.0倍要している。
- 4) 路線の撤去人工数は、架設時のほぼ1/2である。
- 5) 登坂時の最大積載量は路線の最急勾配によって制限されるが、平均38.2°、区間長95mの上り勾配における実用的な積載荷重は約300kgである。このときの走行速度は約30m/分(1速)であった。
- 6) 当路線では、下り運材時は制動車を使用することにより、往復2速で走行可能であった。平均勾配34.7°の区間における平均走行速度は、空車上りが73.7m/分、実車下り(積載荷重393~533kg)が、91.1m/分である。測定区間において積載荷重と走行速度の顕著な関係は認められなかった。
- 7) 搬出材重量が80kgまでは人力による積込(2人1組)が可能であった。積込時間の最大値は搬出材重量に比例しているが、60kgまでは殆どが5秒前後に集中している。
- 8) 搬出材重量が80kg以上になるとウィンチ積込を必要としたが、積込時間は4例中3例が20秒前後である。
- 9) 1荷当り積込時間は積載量に比例しており、当試験地では本文(4)または(6)式に回帰できる。
- 10) 荷卸時間は積載量に関係なく、荷卸土場に列車が到着してから出発するまで平均79秒である。
- 11) 作業能率は、作業人員、木寄能率、積載量、運材距離、走行速度、荷卸・荷積時間の関数として、作業形態に応じて理論的に与えることができる。当試験地は往復2速で走行可能なので、実車1速で運材せざるをえない路線よりは運材能率がよく、平均運材能率は0.562m<sup>3</sup>/



人時（運材距離230～325m。4人作業とし、路線の架設撤去人工数は除く）である。

12) 平均勾配が29.8°の第I区間は、最長支点間がちょうど支間中央にあるため、ワイヤロープ張力に対して最悪条件となっているが、第I区間上部支点でワイヤロープ張力を測定したところ、533kgの生材を満載した時の張力安全率は5.8であった。

## 引用文献

- 1) 上飯坂実・南方康・酒井秀夫・成瀬善高・石原猛：林業用懸垂式モノレールの性能試験，東大演報71：85～99，1981
- 2) 堀高夫・近藤稔：集材用懸垂式モノレールにおける架空索の張力に関する静力学的研究，日林誌65：17～22，1983

(1983年5月31日受理)

## Summary

The transportation system of a hanging-monorail logging-train, especially in a steep mountainous region, on the Tokyo University Forest in the Chichibu district was investigated. The results are as follows :

- 1) Labor for suspending a 5 m-rail from the supporting wire rope requires 8.54 man-minutes, not depending both on longitudinal grade and radius of curve.
- 2) Labor required for rigging intermediate supports per 100m is related to the longitudinal grade. The relationship can be expressed as a regression line (1).
- 3) For the curves, labor for rigging intermediate supports requires 1.7-2.0 times as much as for a straight course of the same grade.
- 4) Labor required for dismantling rails and intermediate supports is about half of that for rigging.
- 5) The maximum payload of uphill transportation depends on the steepest section of the route. Practical payload of an up-grade of 38.2 degrees (section length 95m) is approximately 300kg. Its velocity is 30m/min. (first gear).
- 6) At a setting located above a motor road, logs were transported in high gear using a braking-car. This resulted in better operational efficiency than the route necessitating first gear. Velocity on an average grade of 34.7 degrees is 73.7m/min. ascending with no load, and 91.1m/min. descending with a payload of 393-533kg. There are no distinct relationships between payload and velocity.
- 7) Manual loading (two men) can be practiced up to a log weight of 80kg. Although the maximum loading time is related to the log weight, most of the loading time concentrates nearly on the five-second line.
- 8) A winch is required for loading logs of more than 80kg. Three examples of such loading times were about twenty seconds each.

- 9) The loading time of trucks is related to the payload, and regression lines of (4) or (6) are obtained.
- 10) Unloading time does not depend on the payload. The average time from arrival to departure at the landing is 79 seconds.
- 11) Operational efficiency can be expressed as a function of crew size, prehauling time, hauling distance, velocity of train, loading time, and unloading time. Average operational efficiency (excluding rigging and dismantling) on the experimental area with a hauling distance of 230-325m is  $0.562\text{m}^3/\text{man-hour}$  (four-man-crew).
- 12) The additional tension of the wire rope, 8mm in diameter, which suspends the rails is measured at the upper supports of the wire rope section I. Although the longest span is set just in the middle of the wire rope length, the factor of safety in tension is 5.8 when the trucks are fully loaded with 533kg in spite of the worst conditions.