

林業用懸垂式モノレールの性能試験

The Performances of Hanging Monorail Logging-Train

上飯坂実*, 南方 康*, 酒井秀夫*, 成瀬善高**, 石原 猛**

Minoru KAMIIZAKA, Yasushi MINAMIKATA, Hideo SAKAI, Yoshitaka NARUSE

and Takeshi ISHIHARA

I. はじめに

わが国では、小形機械による間伐材搬出方式として、架空線集材方式、屈曲式単線循環索道、小形運材車、林業用モノレールなどの集運材方式や林業機械が、作業現場の状況に応じて用いられている。中でも最近考案された林業用懸垂式モノレールは、従来の跨座式モノレールに比べて、

- 1) 車体および荷が懸架されているため重心が低く、走行が安定している。
- 2) 積込み高さを低くすることができる。
- 3) レールが柔軟であるので路線設定が容易であり、架設撤去の手間が少ない。
- 4) レールがワイヤロープに吊り下げられているので、地表や障害物の影響をある程度緩和することができる。ワイヤロープを太くすれば谷越え運材も可能である。

などの特長があり、間伐材の効果的な搬出方式の一つとして期待されている。

筆者らは、東京大学農学部附属千葉演習林において、林業用懸垂式モノレール（Y社製）の機械性能および作業性能に関する調査・試験を行ったので、その結果を報告する。

本調査の実施にあたっては、東京大学千葉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次第である。

なお本報告の一部は第32回日本林学会関東支部大会（1980年）、第92回日本林学会大会（1981年）において発表した。

*東京大学農学部林学科

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

**東京大学農学部千葉演習林

University Forest in Chiba, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

II. 供試機

供試機はY社製林業用懸垂式モノレール“T.R.”である。同機の外観を図-1に示す。同機の仕様・概要等についてはすでに報告されているが^{1)~4)}、径8mm(6×19)ワイヤロープに吊り下げられたラック付レールに、機関車、制動車、およびアーム形台車1対で1両をなす通常2両の荷積台車から編成される列車を懸架したものであり、ラックと機関車のピニオンとのかみあいによって走行する機構になっている。機関車にはM社製L2P-2G形、最大出力4PS/5000rpm、最大トルク0.663kgm/3500rpm、排気量105ccのエンジンが搭載されている。制動車は、下り勾配における実車走行時の安全性を高めるために用いられ、遠心ブレーキによって一定速度を保つ機構になっており、ブレーキドラムは水冷式である。レールを吊り下げるワイヤロープは、付属の門形支柱、立木用支柱、およびチェーンや、横木などによって、4~5m間隔で支持される。

最近同機の横取作業を容易にするための専用ウインチが開発されたが、今回の林内木寄は人力作業によって行われた。したがって作業能率の分析にあたっては人力木寄を前提としている。

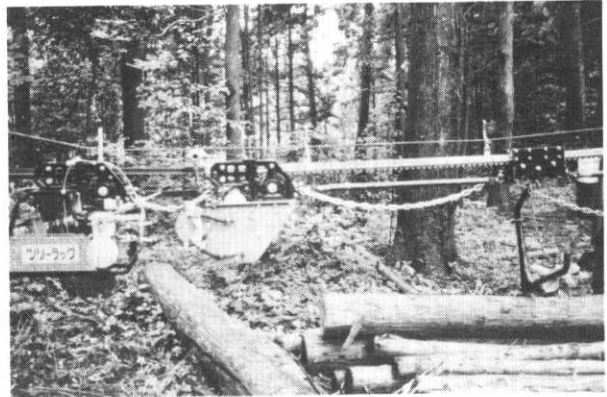


図-1 供試機の外観

Fig. 1 The hanging monorail logging-train. From left, locomotive, braking equipment, and trucks.

III. 試験地・試験路線の概要

試験地は東京大学農学部附属千葉演習林今澄40林班のスギ・ヒノキ53年生間伐林2.96haに選び、試験路線を図-2に示すように林地の小丘をとりまく形で架設した。

試験路線はレールを支えるワイヤ

ロープの交叉によって第I区間と第II区間から成る。第I区間はワイヤロープ区間長112.6m、ワイヤロープを支える支点数33点、各支点間の平均勾配0.4°のほぼ水平な直線区間であるが、第II区間はワイヤロープ区間長115.0m、支点数34点で、平均勾配が5.0°、9.7°、6.5°、23.8°、9.6°、20.6°の種々の区間にわけることができる(図-3)。全体のレール長は両区間あわせて220mである。

路線の架設・試運転は1980年2月1日に行い、作業性能に関する試験は同年3月13, 14,

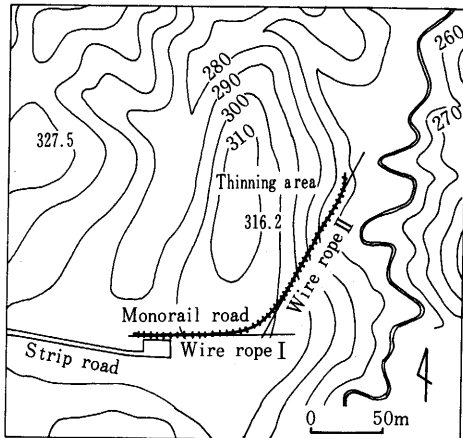


図-2 試験地平面図

Fig. 2 Plane of monorail-road location.

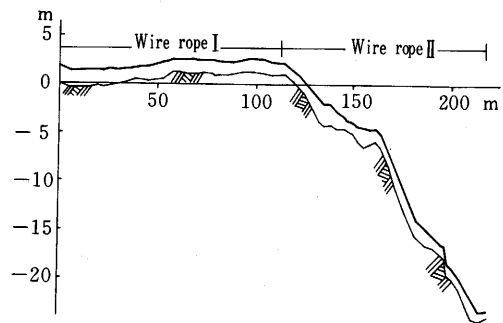


図-3 路線縦断面図

Fig. 3 Longitudinal grade of wire ropes which suspend the rails.

15日に、機械性能・ワイヤロープ張力に関する試験は同年8月6, 7, 8日に行った。

IV. 機械性能

1. 走行抵抗・被けん引抵抗

トランスミッションを中立にした機関車(装備重量 $W_1=94.5\text{kg}$)を区間長7.5mの水平な直線区間で等速けん引し、その引張力 $F_1\text{kg}$ と $W_1\text{kg}$ から機関車の走行抵抗係数 μ_1 を測定した。同様にして荷積台車2両($W_2=127.4\text{kg}$)、制動車付荷積台車2両($W_3=208.7\text{kg}$, 冷却水も含む)の被けん引抵抗係数 μ_2 , μ_3 も測定した。測定の結果、 μ_1 , μ_2 , μ_3 はけん引速度 $v\text{m/分}$ と1次の関係があり、次式で示される(図-4)。

$$\mu_1 = 0.0017v + 0.0621 \quad (1)$$

$$\mu_2 = 0.0003v + 0.0053 \quad (2)$$

$$\mu_3 = 0.00036v + 0.0185 \quad (3)$$

α° の勾配で、 $W_L\text{kg}$ の荷重をけん引した時に、機関車と荷積台車の連結棒に働くけん引力 $F_T\text{kg}$ は、理論的に次式で与えられる。

$$F_T = (W_L + W_2)(\mu_2 \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (4)$$

機関車と荷積台車の間にS社製2トン用ロードセルをとりつけ、支点間の平均勾配 12° 、区間長10.9mの区間で、実際のけん引力 $F_E\text{kg}$ を測定し、 F_T と比較した結果、(2)式による μ_2 の値が妥当であることが検証された(表-1)。

表一 F_T と F_E の比較
Table 1 Drawbar pull.

Payload W_L kg	Running velocity v m/min	Coefficient of pulling resistance μ	Theoretical drawbar pull F_T kg	Experimental drawbar pull †) F_E kg
594.1	35.5 (First gear)	0.016	161	165
594.1	75.2 (Second gear)	0.028	170	175
664.6	35.4 (First gear)	0.016	177	180
664.6	70.3 (Second gear)	0.026	185	185

†) F_E is maximum value in observations because they fluctuate.

2. 走行速度・登坂性能

平均勾配0.7°, 区間長97.9mのほぼ水平な区間と, 平均勾配25.9°, 区間長18.3mの最急区間を選び, 制動車付荷積台車2両に112~708kgの種々の荷重を積載して, その走行速度 v m/分を測定した(図-5)。なお積載荷重708kgは末口直径4~16cm, 材長4mの生材を荷積台車2両に可能なかぎり満載した時の値である(図-6)。

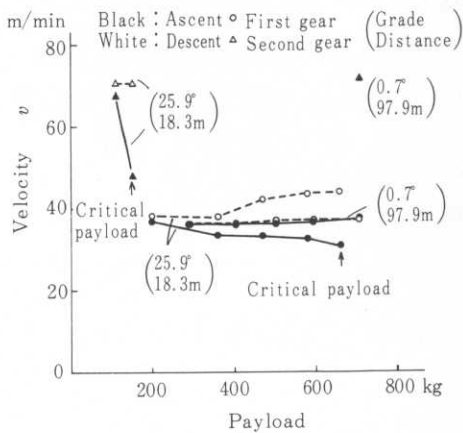


図-5 積載荷重と走行速度

Fig. 5 Relationship between payload and velocity of train.

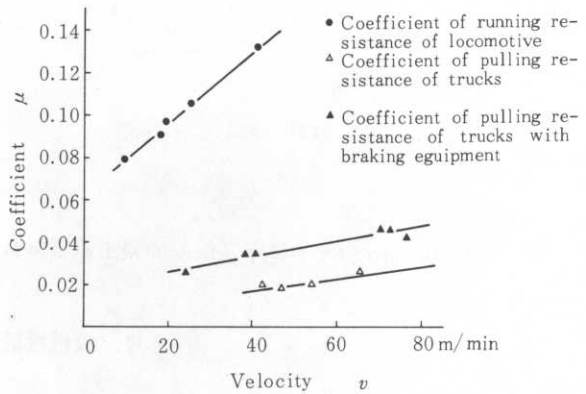


図-4 走行抵抗・被けん引抵抗

Fig. 4 Running resistance and pulling resistance.

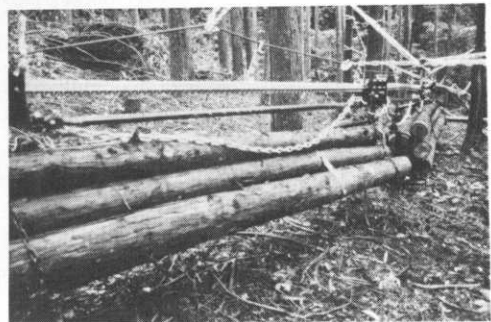


図-6 荷積台車に木材を満載した状態

Fig. 6 The trucks fully loaded with logs.

1速の場合、0.7°の区間では v は積載荷重によってほとんどかわらないが、25.9°の区間では、積載荷重の増加に伴って、上りでは小さくなり、下りでは逆に大きくなっていることがたしかめられた。

0.7°の区間で708kg積載した時は、1速・2速とも走行に余裕がみられたが、25.9°の上り区間における限界積載荷重は、1速時661kg、2速時152kgとなり、ともに当該区間をようやくのぼりきったという状態であった。661kgという値は満載状態に近く、区間勾配もかなり急であることを考えると、実際の作業では登坂性能に支障がないものと思われる。25.9°の区間における限界積載時の登坂所要出力P馬力を計算すると

$$P = \{(W_3 + W_L)(\mu_3 \cos \alpha + \sin \alpha) + W_1(\mu_1 \cos \alpha + \sin \alpha)\} v / 75 \times 60 \quad (5)$$

より、1速時3.1馬力、2速時2.4馬力となる。

実際の作業では2速によって空車返送されることが多いが、空車時2速は78.9m/分(0.7°下り)、79.6m/分(25.9°下り)となり、従前の林業用モノレールに比べて高速であることがたしかめられた⁵⁾。

なお25.9°の下り勾配で、112kgと152kgの木材を2速で運材した際に、走行速度はそれぞれ70.6m/分、70.2m/分であったが、区間が短かったために、制動車の異常な発熱は認められなかった。

V. 作業性能

1. 理論功程式

いま、懸垂式モノレール作業の諸量を、

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 m³/回

木寄能率(1組当り)： V_p m³/時(2人1組)

路線長： L_m

出材量： V_m^3

路線の架設撤去人工数： R 人時

と定め、次の仮定を設けることにする。

1) T_L 、 T_U 、 V_p は地形や伐区の形、丸太材積、木寄距離などに影響されるが、ここでは当該林地の平均値を用いるものとする。

2) 対象林地は林道に接し、 V 、 R は L に比例するものとする。すなわち、

$$V = aL \quad (a : \text{比例定数}) \quad (6)$$

$$R = bL \quad (b : \text{比例定数}) \quad (7)$$

3) 荷卸手は待ち時間中に巻立や検尺等の副作業を行うものとし、荷卸手の待ち時間は特に考慮しないものとする。

このとき、懸垂式モノレール作業の作業能率 $E \text{ m}^3/\text{人時}$ の理論式は以下ようになる。

A : 4人(2組)で先行木寄を行ったのち、荷積2人、荷卸2人で作業を行う場合。

この場合の平均運材距離は $\frac{L}{2}$ となるので、

$$\text{総運材} \cdot \text{荷卸} \cdot \text{荷積時間 } T = \frac{V}{V_T} \left\{ \frac{L}{2} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_L + T_U \right\}$$

$$\text{総木寄時間 } T_P = \frac{V}{2V_P}$$

より、全体の作業能率 $E_A \text{ m}^3/\text{人時}$ は、

$$\begin{aligned} E_A &= \frac{V}{4(T + T_P) + R} \\ &= \frac{V_T}{4 \left\{ \frac{L}{2} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_U + T_L + \frac{V_T}{2V_P} \right\} + C} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{ただし、} C = \frac{b}{a} V_T \text{ 人時/回 (1 荷当りの架設撤去人工)} \quad (9)$$

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う場合。

機関車、木寄兼荷積手ともに待ち時間なしで作業できる距離 $L_B \text{ m}$ は、(総木寄時間) = (総運材時間) + (総荷卸時間) の関係より

$$\begin{aligned} \frac{V}{V_P} &= \frac{L_B}{2} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) \frac{V}{V_T} + T_U \frac{V}{V_T} \\ \therefore L_B &= \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} \left(\frac{V_T}{V_P} - T_U \right) \end{aligned} \quad (10)$$

となる。 $L \leq L_B$ のときは、機関車に待ちが生じ、作業能率は結局、木寄せと荷積に依存することになる。したがってこのときの作業能率 $E_B (L \leq L_B) \text{ m}^3/\text{人時}$ は、

$$E_B (L \leq L_B) = \frac{V}{4 \left(\frac{V}{V_P} + T_L \frac{V}{V_T} \right) + R}$$

$$= \frac{V_T}{4 \left(\frac{V_T}{V_P} + T_L \right) + C} \quad (11)$$

$L > L_B$ になると、木寄兼荷積手には荷積待ちが生じるので、区間 $[L_B, L]$ での作業能率 $E_B(L_B, L)$ 人時/m³ は

$$\begin{aligned} E_B(L_B, L) &= \frac{V(L_B, L)}{4 \left\{ \left(L_B + \frac{L - L_B}{2} \right) \frac{V(L_B, L)}{V_T} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + \frac{V(L_B, L)}{V_T} (T_L + T_U) \right\} + R(L_B, L)} \\ &= \frac{V_T}{4 \left\{ \frac{L}{2} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + \frac{V_T}{V_P} + T_L \right\} + C} \quad (12) \end{aligned}$$

となる。したがって $L > L_B$ のときの全体の作業能率 $E_B(L > L_B)$ m³/人時 は

$$\begin{aligned} E_B(L > L_B) &= \frac{V}{\frac{V \cdot L_B}{E_B(L \leq L_B)} + \frac{V \cdot (L - L_B)}{E_B(L_B, L)}} \\ &= \frac{V_T}{4 \left\{ \frac{L}{2} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + T_L + T_U \right\} + C} \quad (13) \end{aligned}$$

となり、結局機関車の平均運材時間と荷積・荷卸時間に左右されることになる。

C：荷卸2人，木寄兼荷積4人（2組）の計6人で作業を行う場合。

Bと同様にして，機関車，木寄兼荷積手ともに待ち時間なしで作業できる距離 L_c m および全体の作業能率 E_c m³/人時 は，次式で与えられる。

$$L_c = \frac{2 v_1 v_2}{v_1 + v_2} \left(\frac{V_T}{2 V_P} - T_U \right) \quad (14)$$

$$E_c(L \leq L_c) = \frac{V_T}{3 \left(\frac{V_T}{V_P} + T_L \right) + C} \quad (15)$$

$$E_c(L > L_c) = \frac{V_T}{6 \left\{ \frac{L}{2} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) + \frac{T_L + T_U}{2} \right\} + C} \quad (16)$$

D：荷卸2人，木寄2人，木寄兼荷積2人計6人で作業を行う場合。

Cと同様にして L_D ， E_D を求めると， $E_D(L < L_D) = E_c(L < L_c)$ となるが， $L_c > L_D$ となるので， $E_c(L > L_c) > E_D(L > L_D)$ となり，結局Cの方が作業能率が高くなる。したがって以下では，代表的な作業形態と考えられるA，B，Cの場合について比較を行うことにする。

2. 作業試験

林業用懸垂式モノレールを用いて実際に間伐材搬出作業を行ったので、このときの作業結果を分析するとともに、前節の理論方程式にあてはめてみることにする。分析にあたっては、3月14日・15日に第II区間最後部付近の路線長184~206mの区間において実測した14サイクルの資料を用いた。

第I区間でレール長100mの路線を架設したときの架設手順および所要人工は表-2のようになり、12.6人時/100mを要した²⁾。作業者の架設経験は全くなかったが、当区間が水平で条件のよい場所であったことを考慮して、理論方程式へのあてはめに際しては、架設18人時/100m、撤去6人時/100mとすることに⁵⁾。このとき(7)式のbは0.24人時/mとなる。

林内木寄は2人1組の人力作業によって斜面下方に行われ、木寄能率 $V_p m^3/時$ は、平均傾斜41°、平均木寄距離12m、平均搬出材積 $0.038m^3$ (材長2mまたは4mの生材。末口自乗法により算

表-2 架設手順および所要人工数 (路線長100m)

Table 2 Rigging procedures and labor required (100 m-rail set).

Rigging procedures	Labor required (man-minutes)
1. Preparation of equipments.	90
2. Route location.	50
3. Laying a wire rope along the route.	12
4. Making spar trees.	125
5. Rigging intermediate supports.	
(a) Bracket type (Number of supports: 10)	43
(b) Chain type (Number of supports: 13)	40
(c) Arch type (Number of supports: 10)	60
6. Suspending the wire rope from the supports.	8
7. Tightening the wire rope.	28
8. Suspending rails from the wire rope.	187
9. Hanging a locomotive and a braking equipment on the rails.	7.5
10. Assembling and hanging trucks.	54
11. Test running.	5
12. Making a landing.	3
13. Appurtenant works.	44
Total	756.5 (= 12.6 man-hour)

定)の林地において、 $1.88\text{m}^3/2\text{人}\cdot\text{時}$ (正味3.1時間、最長連続2時間作業時)であった。 V_p は他の因子と異なって、林地の条件に大きく影響されるので、今後は傾斜や木寄距離などが異なる種々の作業条件下において資料を収集する必要がある。

搬出材が末口直径4.5~22.0cm、平均8.8cm、材長2mまたは4mと大小不揃いであるため、荷積時間 T_L 時/回は荷積本数には比例していなかったが、積載量 $V_T\text{m}^3$ /回に比例していることがたしかめられた(図-7)。図中+印は末口直径19.5cmの4m材が混入していたために手間どったものである。同図では荷積台車の積込位置を変えるための機械の移動時間約3~8秒が含まれていないが、これを無視することになれば、次の実験式が得られる。

$$T_L = dV_T \quad (d: \text{比例定数})$$

$$391.7\text{秒}/\text{m}^3 \quad (17)$$

(17式を(11), (15式に代入すると、

$$E_B (L \leq L_B) = \frac{1}{4\left(\frac{1}{V_p} + d\right) + \frac{b}{a}} \quad (18)$$

$$E_C (L \leq L_C) = \frac{1}{3\left(\frac{1}{V_p} + d\right) + \frac{b}{a}} \quad (19)$$

となり、 L_C 、 L_B は V_T 、 T_U の影響

があるが、 $E_B (L \leq L_B)$ 、 $E_C (L \leq L_C)$ は V_p のみの関数になることが示される。

荷積台車2両の満載量は、 0.79m^3 であったが(図-6)、作業時における平均積載量 $V_T\text{m}^3$ /回は、積込能率や最急勾配の影響をうけて 0.40m^3 /回であった。したがって平均荷積時間 T_L 時/回は(17式より)157秒/回となる。

荷卸は台車のロックをはずすだけであるので、荷卸時間 T_U 時/回と積載量との相関は認められず、44~92秒/回、平均71秒/回であった。

走行速度に関しては前章でも試験を行ったが、作業時の平均走行速度は、 $v_1 = 35 \times 60\text{m}/\text{時}$ 、 $v_2 = 78 \times 60\text{m}/\text{時}$ であった。

試験地における(6式)の a は $0.17\text{m}^3/\text{m}$ であった。

以上の諸量を前節の理論方程式にあてはめると、当試験地における最大作業能率は図-8で示される。同図から、路線長が70mまではAの作業形態が、70m~380mまではCの作業形態

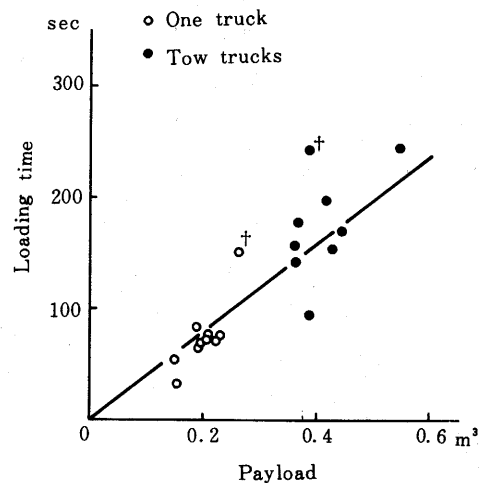


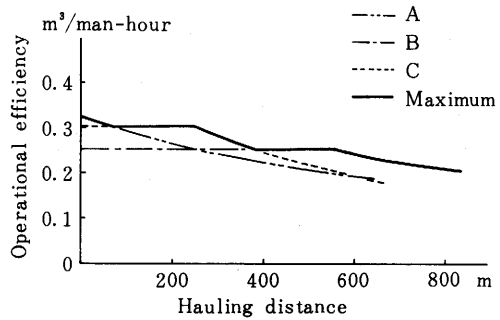
図-7 積載量と荷積時間

Fig. 7 Relationship between payload and loading time.

が、さらに 380 m 以上では B の作業形態が、それぞれの路線長に対して最適な作業形態であることが明らかになった。

一方、実際の作業試験では、木寄専任 2 人、荷積専任 2 人、荷卸 2 人の計 6 人で作業を行った。荷積手には待ち時間が発生したが、荷卸土場からの路線長が 200 m 前後であったため、木寄能率と機関車の運行がちょうどつりあい、木寄および運材の作業能率は $4.539 \text{ m}^3 / 6 \text{ 人} \times 151 \text{ 分} = 0.30 \text{ m}^3 / \text{人時}$ と、

好成績を収めることができた。この値は、当作業形態で木寄能率と機関車の運行がつりあった時の理論値 $\frac{V_p}{6} = 0.31 \text{ m}^3 / \text{人時}$ にはほぼ一致する。これに架設撤去工程の所要人工を加算すると、最終的な作業能率は、 $4.539 / (6 \times 151 / 60 + 0.24 \times 4.539 / 0.17) = 0.21 \text{ m}^3 / \text{人時}$ となり、図一 8 の結果と比較して低い値となるが、荷積作業が専任であることによる能率低下を考慮すると、以上の実験結果から、図一 8 の作業能率の上限値はほぼ妥当な線であると思われる。



図一 8 作業能率

Fig. 8 Operational efficiency.

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

3. 屈曲式単線循環索道との作業能率の比較

屈曲式単線循環索道は間伐材の有効な搬出方法の 1 つとして、現在各所で使用されている方式であるので、同方式と林業用懸垂式モノレールとの作業能率を比較することにする。作業地は懸垂式モノレールで仮定した林地と同一条件とし (図一 9), 4 人で先行木寄ののち、荷掛 2 人、荷卸 2 人で運材を行うものと仮定する。

架設撤去人工 R' 人時は、循環索の索長 L' m に比例するものとすれば、

$$R' = b'L' \quad (b': \text{比例定数}) \tag{20}$$

林内木寄は人力作業によるものとし、木寄能率 $V'_p \text{ m}^3 / 2 \text{ 人} \cdot \text{時}$ は木寄距離に逆比例するものとする。図一 9 の林地では、屈曲式単線循環索道の平均木寄距離は懸垂式モノレールの場合の

$$\frac{DL}{2L'} \Big/ \frac{D}{2} = \frac{L}{L'} \quad \text{倍となり、} V'_p \text{ は}$$

$$V'_p = \frac{L'}{L} V_p \tag{21}$$

となる。したがって木寄人工 S' 人時は

$$S' = 2 \frac{V}{V_p}$$

$$= \frac{2LV}{L'V_p} \quad (22)$$

運転・荷掛・荷卸人工 K' 人時は、荷卸手の待ち時間を考慮しなければ、

$$K' = \frac{4VT'_L}{V_T} \quad (23)$$

ただし、 V_T 、 T'_L はそれぞれ 1 荷当り材積 (m^3 /回)、荷掛時間 (時/回) である。

以上より、当該林地における屈曲式単線循環索道の総人工 T' 人時は

$$T' = R' + S' + K'$$

$$= b'L' + \frac{2VL}{L'V_p} + \frac{4VT'_L}{V_T} \quad (24)$$

となり、 $\frac{\partial T'}{\partial L'} = 0$ より、 $L' = V \sqrt{\frac{2}{ab'V_p}}$ のとき、

$$T'_{\min} = 2V \sqrt{\frac{2b'}{aV_p}} + \frac{4VT'_L}{V_T} \quad (25)$$

となる。したがって最大作業能率 E'_{\max} m^3 /人時は、

$$E'_{\max} = \frac{V}{T'_{\min}}$$

$$= \frac{1}{2 \sqrt{\frac{2b'}{aV_p}} + \frac{4T'_L}{V_T}} \quad (26)$$

となる。上式より、 E'_{\max} は L' に全く無関係であり、 b' 、 V_p 、 T'_L 、 V_T によって一定の値をとることが明らかである。

M 社社有林における作業結果から得られた諸量、 $b' = 0.09$ 人時/m、 $T'_L = 35 \times \frac{1}{3600}$ 時/回、 $V_T = 0.02 m^3$ /回を (26) 式に援用すると、 $E'_{\max} = 0.29 m^3$ /人時となる。E および E'_{\max} は、共に各種パラメータの変動に対して敏感であるので、一般的な比較はむずかしいが、この E'_{\max} の値を図-8 の当試験地における林業用懸垂式モノレールの作業能率と比較すると、 $L = 270 m$

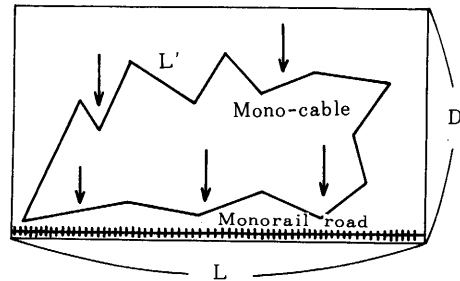


図-9 林業用懸垂式モノレールと屈曲式単線循環索道

Fig. 9 A model of the hauling system with hanging monorail logging-train or mono-cable system. Arrows express the directions of downhill manual prehauling.

を境に、270m 以下では懸垂式モノレールの方が有利となることが示された。

VI. ワイヤロープの張力特性と安全性

レールを支えるワイヤロープに発生する張力の安全性を検討するために、第 I 区間および第 II 区間の荷卸場側ワイヤロープ支柱に最も近い部分に S 社製 2 トン用ロードセルを設置しておき、機関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。列車編成は荷卸場方向から機関車、制動車、荷積台車 2 両の順とし、全装備重量は 303.2kg であった。第 I 区間において測定した発生張力の 1 例を図-10 に示す。ワイヤロープは標準的な架設方法に従って、各支点間ともたるみのないように強く張られているが、このときのワイヤロープの基礎張力は 500kg であり、積載荷重は 502kg であった。機関車がロードセルを設置した地点に近づくにつれて、発生張力が振動しながら増大していることが認められる。この振動は、機関車の位置

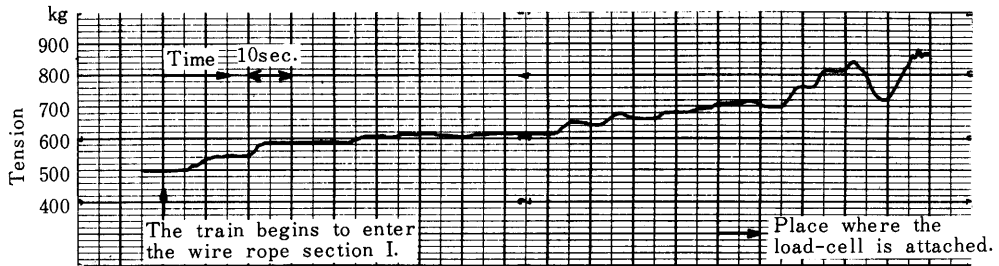


図-10 第 I 区間のワイヤロープ発生張力
 Fig. 10 An example of wire rope tension (Payload is 502kg).

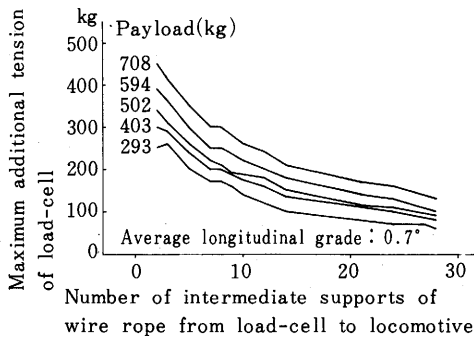


図-11 第 I 区間の最大発生張力
 Fig. 11 Maximum additional tension of the wire rope section I due to the travel of the train.

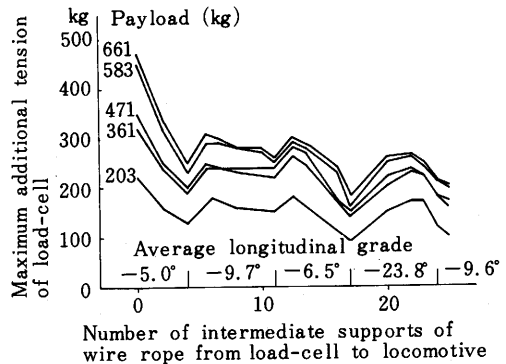


図-12 第 II 区間の最大発生張力
 Fig. 12 Maximum additional tension of the wire rope section II due to the travel of the train.

とワイヤロープの支点位置とを対比した結果、機関車の支点通過によって生じていることが明らかになった。積載荷重を293kg, 403kg, 594kg, 708kgと種々に変化させた結果、図-10と類似の曲線が順次得られた。図-11はこのときの張力変動の最大値を機関車のロードセルからの支点数に対して包絡させたものである。

いま図-11においてワイヤロープの支点1個につき100 α %の張力伝達ロスがあるものと仮定すれば、Tkgの発生張力が働いている点からn個の支点を隔てた点に伝達する張力T_nkgは、次式で示すことができる。

$$\begin{aligned} T_n &= (1 - \alpha)^n T \\ &= e^{n \ln(1 - \alpha)} T \end{aligned} \quad (27)$$

図-11から隣接する支点ごとに α を求めた結果、 $\alpha=0.05$ となり、積載荷重による α の差は認められなかった(分散比 $F=0.13 < F_{1,24}^*(0.05)=2.45$)。

前記の積載荷重708kgは、末口直径4~16cm、材長4mの生材を可能な限り満載した時の値であるが(図-6)、(27式)において $n=2$ 、 $T_2=450$ kgとおくことにより、このときのワイヤロープの最大発生張力は499kgと推定され、基礎張力480kgを加算すると、張力安全率は3.9となる。第II区間についても第I区間とはほぼ同様の結果が得られたが(図-12)、路線の勾配変換点において、機関車の乗り移りによる張力の大きな変動が認められた。このときの最大積載荷重は路線勾配の影響により661kgであったが、(27式)を用いてワイヤロープの最大発生張力を過大評価した結果、張力安全率は3.1であった。平常作業時の積載荷重は荷積能率や路線勾配の影響をうけて実際には400kg前後であり、しかも運転・荷卸時の衝撃が小さかったことなどを考えると、ワイヤロープの安全性は高いといえるが、極端な勾配変化は避けた方が良い。

なお実験中に木材を満載した荷積台車が地面にひっかかる事故が発生したが、最寄りの門形支柱や立木用支柱が数カ所座屈、転倒したのみで、ワイヤロープは破断されなかった。これらの中間支柱がワイヤロープの安全弁の役割をはたしているともいえるが、今後はワイヤロープよりもむしろ中間支柱の強度について検討する必要があるものと思われる。

Ⅶ. おわりに

以上、林業用懸垂式モノレールの機械性能、作業性能および安全性等について分析したが、今後は作業条件をいろいろ変えて、地形との適用性や林内木奇の問題などについても検討を加えていく予定である。

要 旨

間伐材の有用な搬出方式の一つとして期待されている林業用懸垂式モノレールの性能試験を、東京大学農学部附属千葉演習林において行った。主な結果は次のとおりである。

1) 0.7°のほぼ水平な区間で708kgの生材を満載した時の走行速度は38.1m/分であった。最急勾配25.9°の上り区間の限界積載荷重は661kgであり、走行速度30.9m/分であった。空車時2速は78.9m/分(0.7°下り)~79.6m/分(25.9°下り)と、従来の林業用モノレールに比べて高速であることがたしかめられた。以上の積載荷重、走行速度は、運材能力として十分であると思われる。

2) 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理論的に表現することができる。運材距離が長くなるにつれて作業能率は下がるが、機関車の運行と木寄・荷積作業の待ち時間を調整しながら、運材距離に適した作業形態を選択することによって、作業能率を最大に維持できることが明らかになった。しかし、運材距離が長くなると(当試験地では270m位)、屈曲式単線循環索道の方が有利になる。当試験地の運材距離184~206mにおける木寄および運材の作業能率は、木寄能率と機関車の運行がちょうどつりあって、0.30m³/人時(6人作業時)であった。

3) 列車の通過によってレールを吊るすワイヤロープに発生する張力は、列車がワイヤロープの支点を次々に通過しながら遠ざかっていくのに伴って、減少していくことがたしかめられた。ふつうに架設された水平区間で、708kgの生材を満載した時のワイヤロープの張力安全率は3.9となり、一般的にはワイヤロープの安全性は十分であるといえる。

引用文献

- 1) 伏見知道・江崎次夫・藤久正文：ツリーラックによる間伐材搬出法について，愛媛大演報 17：61~68，1980
- 2) 石原猛・成瀬善高・酒井秀夫：間伐材の簡易集材ツリーラックの使用について，32回日林関東支論 149~150，1980
- 3) 上飯坂実：懸垂式モノレールによる間伐材搬出，森林利用研究会ニュース 4：2~3，1979
- 4) 三島美智雄：間伐材搬出機=ツリーラック，ひろしまの林業 356：6~7，1980
- 5) 中田清二：林業用モノレールによる搬出，坂口勝美監修「間伐のすべて」p.123~144，日本林業調査会，1980

(1981年4月23日受理)

Summary

We investigated the performances of hanging monorail logging-train, which is suitable for hauling small thinned logs, in the Tokyo University Forest in Chiba. The results are as follows:

- 1) Velocity on the average grade of 0.7 degree is 38.1 m/min with the full payload of 708 kg. Velocity on the up grade of 25.9 degree is 30.9 m/min with the critical payload of 661 kg. Velocity in high gear with no load is 78.9-79.6 m/min, which is higher than any other monorail logging-train. It is recognizable that the velocities and payload capability are sufficient to haul small thinned logs.
- 2) Operational efficiency can be expressed as the function of crew size, prehauling time, payload, hauling distance, velocity of train, loading time, and unloading time. Though operational efficiency decreases with the increase of hauling distance, it can be promoted by selecting the appropriate working system, that is, by adjusting the works of prehauling and loading to the travel time of the train. But it is also clarified that mono-cable system comes to be more profitable than monorail logging-train in case of long hauling distance (in this experiment, more than 270m). The operational efficiency in the experimental area was $0.3 \text{ m}^3/\text{man-hour}$ by a six-men-crew.
- 3) The additional tension of the wire rope, 8 mm in diameter, which suspends the rails decreases as the train passes the intermediate supports of the wire rope one after another. Factor of safety in wire rope tension was 3.9 in the horizontal section when the trucks were fully loaded with 708 kg logs. It may be said that the safety of the wire rope is sufficient.