

秩父及び北海道演習林に於ける森林軌道貨車の抵抗について

教授 藤 林 誠
助教授 加 藤 誠 平

Makoto FUJIBAYASI and Seihei KATO:
On the Resistance of the Forest-railway Trolleys Used
in the Tokyo University Forests at Chichibu and in Hokkaido.

目 次

I 緒 言	41	3. 実用抵抗係数	62
II 試 験 法	41	4. 始発抵抗係数	62
III 秩父演習林に於ける試験	45	VI 結 論	62
IV 北海道演習林に於ける試験	51	引用文献	63
V 考 察	53	Résumé	64
1. 走行抵抗係数	53	図 版 I—II	
2. 曲線抵抗係数	57		

I 緒 言

貨車の抵抗値は森林軌道の設計及び軌道運材の計画並に実施上重要な因子となるので、加藤はこれに関する理論的研究を行つて、一応根拠となるべき知見を發表したが、本邦に於ける実測値の發表されたものが殆んど無いのを遺憾としていた。著者等は 1950 年 10, 11 月及び 1951 年 5, 6 月に秩父及び北海道演習林に於いて森林軌道貨車の抵抗値を実測する機会を得た。軌道運材の再検討が強く叫ばれている今日、この種の資料が各地の森林軌道について要求されるので、結果の報告と共に試験法を記載して参考に供し、併せて 2. 3 の新知見を提示する。

本研究は一部文部省科学試験研究費によつたものであり、実測については秩父演習林の住田芳太郎、成瀬善高、北海道演習林の高橋延清、岩佐幸吉の諸氏の外、両演習林職員各位並に森林利用学教室丸山正和氏等に多大の助力を煩わした。茲に甚深の謝意を表する。

II 試 験 法

軌道上の車輛の抵抗測定法に関しては、VOGELPOHL²⁾によれば既に 1863 年 PERDONNET の研究があり、その後有名な FRANK³⁾、SANZIN⁴⁾等による研究結果が基礎となつてその実験公式が広く実用に供されたが、比較的新しくは 1932 年 NORDMANN⁵⁾、1933 年 JUDTMANN⁶⁾が詳細な研究結果を發表している。これら既往の研究によれば、實際問題として極めて複雑な関係にある抵抗というものを走行抵抗、曲線抵抗、勾配抵抗、加速度抵抗、始発抵抗等に分析して各要素をなるべく正確に測定しようとするものと、列車全体の綜合抵抗を全体的に把握しようとするものと

の二つの傾向が認められる。森林軌道の場合、路線の設計や貨車の改善に関する資料としては前者による実験値が必要であり、運材計画や機関車の選定の資料としては後者による実験値が必要且つ便利である。前者の場合走行抵抗を更に軸承の摩擦抵抗、車輪の転動摩擦抵抗、空気抵抗等に分析して各要素を独立に測定しようとする努力も払われているが、車輛の走行中には振動、衝撃、蛇行運動、微細な加速度の変化等に起因する複雑な抵抗も加わるから、余り細い要素に分析することは測定技術並に結果の応用面から見て却つて不都合になる。これらの諸点を考慮して、著者等は先づ車輛の総抵抗を測定し、これを普通の意味の走行抵抗（水平直線路上の走行抵抗）、曲線抵抗（曲線のために増加する抵抗）及び勾配抵抗（輪荷重の勾配線方向の分力による抵抗）に分析し、勾配抵抗値を計算値によつて定めて前二者の値若しくは前二者の合計値（実用抵抗値）を求めることとした。このような目的に対する測定の具体的手段としては（1）惰力走行試験法と（2）牽引試験法がある。（1）は古くから採用されていて、勾配及び曲半径が既知の路線上に車輛を惰力で走行させて速度の変化または加速度を測定して抵抗値を算出するものである。この場合速度または加速度の測定には秒時計、速度計、加速度計、光電管等が用いられるが、要求される精度や現場条件等により適切なものを選ぶことになる。（2）は機関車で貨車を牽引して抵抗値を測定するもので、一般に牽引に要する動力（HP または KW）を測つて抵抗値を求めるのであるが、この目的のための専用計器類を装備した測定車も作られている。森林軌道の場合にも経費が許せば専用測定車を用いるのが望ましいが、荷重が或る限度以内ならば普通の内燃機関車で貨車を牽引し、機関車と貨車の間に適当な張力計を置けば、直接抵抗値を測定することが可能である。この場合停止状態から始発すれば始発抵抗も測定できる。概ね以上の考察に基き著者等は本試験に於ける抵抗値の測定に次の2方法を採用した。

（1）惰力走行試験 Fig. 1 に示すように、路線 PQ 上に一定の距離 $AB=l$ m をとり、

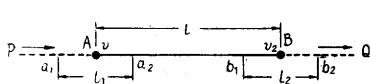


Fig. 1

P から Q の方向に貨車を惰力で走行させ、 A 点に於ける初速 v_1 m/sec と B 点に於ける終速 v_2 m/sec を測定する。 v_1, v_2 の測定には貨車に速度計を取付けることを考

えたが、市販の速度計では精度が低く且つ特別の速度計を製作する経費が無かつたので次の方法を用いた。即ち A 点及び B 点を中心にな一定距離 l_1 m 及び l_2 m を測つて、 $a_1 a_2$ と $b_1 b_2$ の各2点を定め、計時員を配置して $a_1 a_2$ 間の走行時間 t_1 sec と $b_1 b_2$ 間の走行時間 t_2 sec を秒時計で測定し、 $v_1 = l_1/t_1$ 、 $v_2 = l_2/t_2$ と見做した。 l_1 と l_2 は計時の誤差が過大にならぬ範囲で可及的短距離に取つた。普通の簡易測定では走行中の車輛から一定時間（例えば 5 sec）毎に地上に砂を撒いて印とし、後にその間の距離を測定して速度を算出するのであるが、勾配、曲線共に極めて変化の多い森林軌道ではこれに適する試験路線の設定が困難なことにより上記の方法を採用したのである。上記の方法の場合速度の測定値と抵抗係数との関係は次の計算で求められる

今 W : 抵抗 (kg)

$w = W/Q$: 抵抗係数 (kg/t)

Q : 貨車重量 (t)

$M = 1000 \cdot Q/g$: 貨車の質量 (kg sec²/m)

$g = 9.81$: 重力の加速度 (m/sec²)

$M' = (1+r)M$: 回転部の慣性を考慮した質量* (kg sec²/m)

l : AB 間の距離 (m)

v_1 : 初速 (m/sec)

v_2 : 終速 (m/sec)

$a = (v_2^2 - v_1^2)/2l$: AB 間の平均加速度 (m/sec²)

E : A 点と B 点に於ける貨車の運動エネルギーの差 (kgm)

A : AB 間を走行する間に抵抗によつてなされた仕事量 (kgm)

とすれば $E = M'(v_1^2 - v_2^2)/2 = 1000(1+r)Q(v_1^2 - v_2^2)/2g$, $A = W \cdot l$

であるから, $E = A$ の条件より

$$\left. \begin{aligned} W &= \frac{1000(1+r)Q}{g} \cdot \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2l} = \frac{1000(1+r)Q}{g} \cdot (-a) \\ w &= \frac{W}{Q} = \frac{1000(1+r)}{g} \cdot (-a) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

然るに抵抗係数 w を分析すれば

$$w = w_i + w_k \pm s \% \dots\dots\dots (2)$$

但し w_i : 走行抵抗係数 (kg/t), w_k : 曲線抵抗係数 (kg/t),

s : 勾配抵抗係数 (kg/t) = % 勾配値

で示せるから, 直線水平路線で測定を行えば

$$w_i = w \dots\dots\dots (3)$$

直線勾配路線で測定すれば

$$w_i = \mp s \% + w \dots\dots\dots (4)$$

曲線勾配路線で測定すれば

* 一般に森林軌道では同じ路線で同じ条件のもとに走行させても a の値は相当大きなばらつきを示す。これに比べて r の値は通常数%の程度であるから, $r=0$ 即ち $M=M'$ と見做しても差支ない。 r の測定法には勾配が $s_1\%$, $s_2\%$ の二つの直線試験路で惰力走行試験を行う方法と, 勾配 $s\%$ の直線試験路で上下両方向の惰力走行試験を行う方法がある。前者の場合の算式は $1+r = \frac{g}{1000} \cdot \frac{(\pm s_2) - (\mp s_1)}{a_1 - a_2}$, 後者の場合のそれは $1+r = \frac{g}{1000} \cdot \frac{2|s|}{|a_1| + |a_2|}$ である。本試験では後者により予備実験を行つた結果, a の値のばらつきのために $(1+r)$ の値に有意義な数字が得られなかつたので, 実用的見地から $M=M'$ として取扱うこととした。

$$w_k = \text{干 } s \% + w - w_l \dots\dots\dots (5)$$

により抵抗係数値が求められる。*

(2) 牽引試験 Fig. 2 及び図版 II, 7.8 に示すように内燃機関車 (L) により計器用台車に

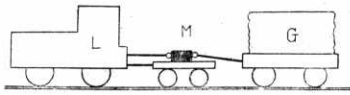


Fig 2 牽引試験装置

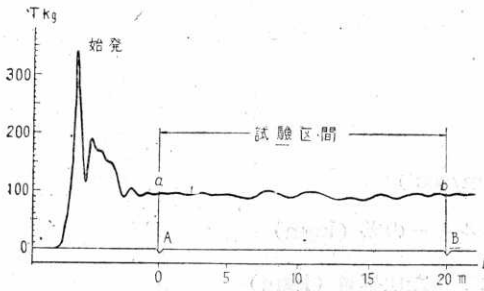


Fig 3 自記記録

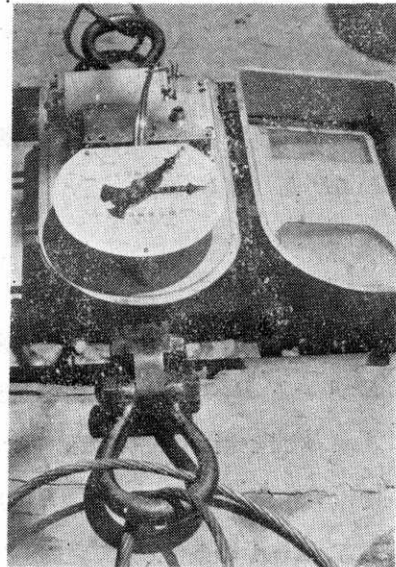


写真-1 張力計

載せた張力計 (M) を介して貨車 (G) を牽引して直接抵抗値を測定する。計器は写

真-1 に示す東京衡機株式会社製 2 t 張力計で、自記装置に本試験に適するような歯車比を用いたものである。この方法によると記録紙に Fig. 3 に例示するような曲線が描かれるから、図上から始発抵抗値と走行中時々刻々の抵抗値を直接知ることが出来る。時々刻々の抵抗値と最大値は張力計の指針でも示されるから、これを直接読み取つて自記値の検定に用いる。試験路線 AB 間の平均抵抗値 W kg は記録紙上で AabB の面積 F をプランメーターで計つて、 F/l を張力の目盛で読むことにより簡単に求められる。記録の波が小さい場合には単に視察により図上から平均値を求めても大きな誤差はない。この牽引試験による張力計の平均指度を T kg とすれば、抵抗及び抵抗係数は

$$W = T, w = T/Q \dots\dots\dots (6)$$

で与えられる。抵抗係数 w の分析は (3) 式と同様であるが、曲線の極めて多い路線では $w_p = w_l + w_k$ の値を実用抵抗係数と考えた方が便利なので、長区間の牽引試験に於いてはこの実用値を求めた。即ち

$$w_p = \text{干 } s \% + w = \text{干 } s \% + T/Q \dots\dots\dots (7)$$

また始発時に於ける最大張力を T_0 とすれば、実用始発抵抗係数は

* 試験路線が水平または逆勾配の場合には貨車は B 点に到達しないで途中で停止することがある。このときは A からの走行距離 l_0 m または走行時間 t_0 sec を測定した。このときの抵抗係数式は $w = \frac{1000(1+\gamma)}{g} \cdot (-a), (-a) = \frac{v_1^2}{2l_0} = \frac{v_1}{t_0}$ で与えられる。

$$w_s = \text{干} s \% + T_s / Q \dots\dots\dots (8)$$

で与えられる。

III 秩父演習林に於ける試験

(1) 軌道の構造及び保線状況 試験路線に選定した区間は入川線及び滝川線の一部であつて、軌道構造は第1表及び Fig.4 に示す通りである。建設後引続き運材実施中の路線で、当初は馬トロ運材、戦後は空車引上げに4t ガソリン機関車を用い乗下げ運材を行つている。戦時中は保線が不良であつたが、現在は 常時 1km 当り 0.5~1.0 人の保線夫を配して保線しており、1 部には橋梁、棧道の架替、枕木交換等を行つた箇所もある。代表的な奥地山岳林の溪沿い軌道であ

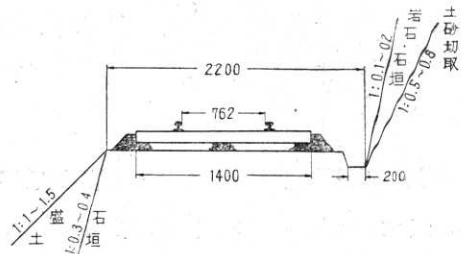


Fig. 4

第 1 表 秩父演習林軌道構造諸元

項 目	寸 度	摘 要
路 盤 全 幅	員 220 cm	
道 床	幅 員 200 cm	
	厚 員 10~15 cm	川砂利及び碎石
枕 木	標 準 寸 法 12×10×140 cm	12×10×150 cm 及び 12×10×135 cm を若干混用
	標 準 間 隔 55 cm	40~70 cm, レール継目 25~30 cm
レ	樹 種 —	クリ・シオジ・ツガ
軌	ル 6,8 kg/m	軽 軌 条
建 設 年 次	間 7.62 mm	
	次 —	入川線昭和 11~24 年, 滝川線昭和 15~22 年

つて、構造保線共に中級または中級の下程度と認められるものである。短区間の試験路線には橋梁及び棧道部を含まない。(図版 I, II 参照)

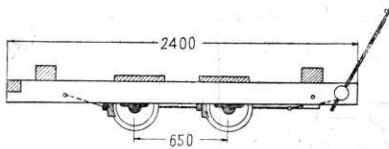


Fig. 5 木製車 (WA)

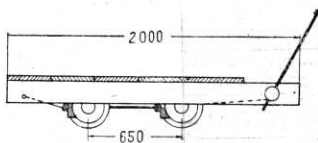


Fig. 6 木製車 (WB)

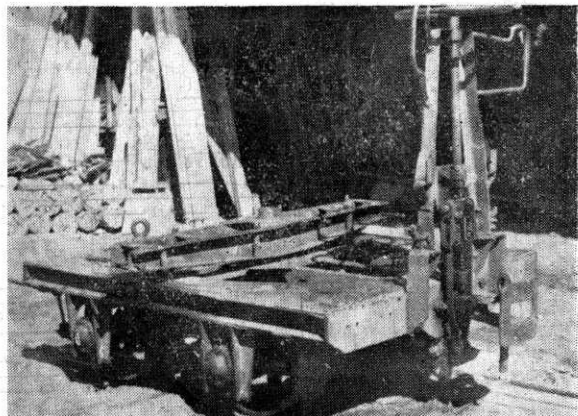


写真-2 鉄製車 (S)

(2) 貨 車 試験に使用した貨車は現に運材等に使用中の木製車2種、鉄製車1種で、

その主要諸元及び形状は第2表及び Fig.5, Fig.6, 写真-2 に示す通りである。車軸の給油状況は試験期日により若干の相異があつたが、木製車 WA を除いては著しい差が認められなかつた。

第2表 試験貨車諸元

種別記号	諸元						自重 (kg)	摘要
	全長 (mm)	軸距 (mm)	軌間 (mm)	車輪直径 (mm)	車軸直径 (mm)	軸承種別		
木製車 WA	2,400	650	760	255	50	ブレーン	260	単車運材用, 荷台なし
木製車 WB	2,000	650	760	250	50	ボール	173	物資運搬用小型
鉄製車 S	1,850	750	760	400	75	ボール	750	ボギー運材用, 回転荷台付

(3) 試験路線 選定した試験路線は第3表の通りである。入川、滝川両線共直線水平区間がなくて勾配の変化が多く殆んど曲線の連続であるために長距離の測定区間をとることが出来なかつた。線形及び保線状況が概ね中庸で且つ測定作業中脱線墜落等の危険の少ない箇所を選んだもので、惰力走行試験路線には測定区間の勾配が一定と見做し得る箇所をとつた。

第3表 試験路線

番号	位置	測定区間				勾配 s(0/00)	曲半径 R(m)	備考
		全長 l(m)	直線部 (比率%)	曲線部 (比率%)	曲線部 (比率%)			
No. 1	入川線矢竹沢	40	40	—	15.4	—	惰力走行及び短区間牽引試験用	
No. 2	滝川線川又	20	20	—	29.8	—	惰力走行試験用	
No. 3	滝川線 5000m	13	—	13	15.8	11.5	〃	
No. 4	滝川線 3850m	10	—	10	51.0	7.5	〃	
No. 5	入川線 4010~5000m	990	549.0(55.5)	441.0(44.5)	50.0	8~140	長区間牽引試験用(Fig.7参照)	
分区-a	4010~4160m	150	88.0(59.7)	62.0(41.3)	45.2	11~140		
分区-b	4160~4400m	240	120.5(50.2)	119.5(49.8)	51.3	8~55		
分区-c	4400~4500m	100	70.5(70.5)	29.5(29.5)	36.1	8~11		
分区-d	4500~4800m	300	197.0(65.7)	103.0(34.3)	46.0	11~41		
分区-e	4800~5000m	200	73.0(36.5)	127.0(63.5)	64.9	13~97		

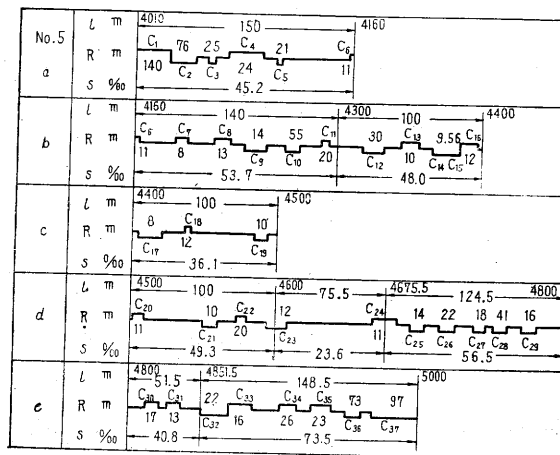


Fig. 7 長区間牽引試験路線

(4) 試験種別及び要項 実施した試験は惰力走行試験（走行抵抗及び曲線抵抗測定）及び牽引試験（走行抵抗，実用抵抗，始発抵抗測定）であつて，その要項は第4表及び第5表の通りである。

第4表 惰力走行試験要項

試験種別	試験番号	試験貨車				試験路 線番号	試験期日	天候	レールの 状態	備考
		種別	自重 (kg)	荷重 (kg)	総重量 Q(t)					
走行抵抗 試験	I-A-1	WA ₁	260	40	0.300	No.1	1950.10.8	晴	乾	下り勾配走行，荷重乗員 1名給油・普通
	I-A-2	WA ₂	260	38	0.298	〃	1950.11.24	曇	乾	同上，給油稍不良
	I-A-3	WA ₃	260	41	0.301	〃	1951.5.29	晴	乾	同上，給油普通
	I-B-1	WB	173	38	0.211	〃	1951.11.24	曇	乾	同上，給油普通
	I-B-2	WB	173	38	0.211	No.2	1951.11.24	小雨	稍湿	同上，給油普通
	I-S-1	S ₁	1,500	370	1.870	No.1	1951.5.29	晴	乾	下り勾配走行，貨車2台 ボギー連結，荷重レール 積載及び乗員1名，給油 普通
曲線抵抗 試験	II-A-1	WA ₁	260	40	0.300	No.3	1950.10.8	晴	乾	下り勾配走行，荷重乗員 1名，給油普通
	II-A-2	WA ₁	260	40	0.300	No.4	1950.10.8	晴	乾	同上

第5表 牽引試験要項

試験種別	試験番号	試験貨車				試験路 線番号	試験期日	天候	レールの 状態	備考
		種別	自重 (kg)	荷重 (kg)	総重量 Q(t)					
走行抵抗 試験	III-S-1	S ₂	1,500	470	1.970	No.1	1951.5.30	晴	稍湿	カトウ4tガソリン機関 車使用，貨車2台ボギー 連結上り勾配牽引，給油 普通，機関車撒水，荷重レ ール積載及び乗員3名
	III-S-2	S ₂	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	同上，荷重レール積載及 び乗員4名。
	III-S-3	S ₂	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	同上，荷重レール積載及 び乗員3名。
実用抵抗 試験	IV-S-1	S ₃	1,500	520	2.020	No.5-a	1951.5.30	晴	稍湿	同上，荷重レール積載及 び乗員4名。
	IV-S-2	S ₃	〃	〃	〃	No.5-b	〃	〃	〃	同上，荷重レール積載及 び乗員3名。
	IV-S-3	S ₂	1,500	470	1.970	No.5-c	〃	〃	〃	同上，荷重レール積載及 び乗員3名。
	IV-S-4	S ₂	〃	〃	〃	No.5-d	〃	〃	〃	同上，荷重レール積載及 び乗員3名。
	IV-S-5	S ₂	〃	〃	〃	No.5-e	〃	〃	〃	同上，荷重レール積載及 び乗員3名。
始発抵抗 試験	V-S-1~8	S ₂ , S ₃	1,500	470, 520	1.970 2.020	No.1. No.5	1951.5.30	晴	稍湿	III-S-1~IV-S-5の 試験に伴い実施

(5) 試験成績 上記要項による各種試験の測定値及び(1)~(8)式による抵抗係数等の算出値は第6,7,8,9,10表の通りである。

第 6 表 走行抵抗係數 (直線路精力走行試驗測定)

試驗番号	貨車種別	試驗番号	試驗路綫		測定回数	測定計時		初速 $v_1 = I_1/t_1$ (m/sec)	終速 $v_2 = I_2/t_2$ (m/sec)	平均速度 $v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$ (m/sec)	平均加速度 $a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2l}$ (m/sec ²)	總抵抗係數 $w = \frac{g}{a}$ (kg/t)	走行抵抗係數 $w_f = s + w$ (kg/t)	備考
			走行距離 s (0/00)	走行標點距離 l (m)		A點 t_1 (sec)	B點 t_2 (sec)							
I-A-1 WA ₁		No.1	15.4	40	1	2.0	1.8	3.00	3.33	3.17	0.026	-2.7	12.7	○印最大値 △印最小値
					2	2.2	2.0	2.73	3.00	2.87	0.019	-1.9	13.5	
					3	1.9	1.8	3.15	3.33	3.24	0.015	-1.5	13.9	
					4	2.1	2.0	2.86	3.00	2.93	0.010	-1.0	○14.4	
					5	2.5	2.2	2.40	2.73	2.57	0.021	-2.1	13.3	
					6	2.3	2.0	2.61	3.00	2.81	0.027	-2.8	12.6	
					7	1.7	1.5	3.53	4.00	3.77	0.044	-4.5	10.9	
					8	1.3	1.2	4.62	5.00	4.81	0.046	-4.7	△10.7	
											Av. 12.8			
I-A-2 WA ₂		No.1	15.4	40	1	1.6	2.0	3.75	3.00	3.38	-0.063	6.4	○21.8	同上
					2	1.7	2.0	3.53	3.27	3.27	-0.043	4.4	19.8	
					3	1.3	1.3	4.62	4.62	4.62	0.000	0.0	△15.4	
					4	2.0	2.1	3.00	2.86	2.93	-0.010	1.0	16.4	
					5	2.2	2.2	2.73	2.73	2.73	0.000	0.0	15.4	
					6	2.5	2.6	2.40	2.31	2.36	-0.002	0.2	15.6	
											Av. 11.6			
I-A-3 WA ₃		No.1	15.4	40	1	1.5	1.5	4.00	4.00	4.00	0.000	0.0	15.4	同上
					2	1.8	1.9	3.33	3.15	3.24	-0.013	1.3	○16.7	
					3	1.9	1.9	3.15	3.15	3.15	0.000	0.0	15.4	
					4	2.2	2.2	2.73	2.73	2.73	0.000	0.0	15.4	
					5	2.9	2.7	2.07	2.22	2.15	0.003	-0.8	14.6	
					6	1.7	1.5	3.53	4.00	3.77	0.044	-4.5	△10.9	
					7	1.4	1.4	4.29	4.29	4.29	0.000	0.0	15.4	
					8	1.8	1.8	3.33	3.33	3.33	0.000	0.0	Av. 14.9	
											Av. 12.0			

I-B-1 WB	No.1	15.8	40	6	6	1	1.8	1.4	3.33	4.29	3.81	○13.7	0.091	-9.3	△ 6.1	同	上
						2	2.0	1.6	3.00	3.75	3.38	12.9	0.063	-6.4	9.0		
						3	2.0	1.5	3.00	4.00	3.50	12.6	0.088	-9.0	6.4		
						4	1.9	1.5	3.15	4.00	3.58	12.9	0.078	-8.0	7.4		
						5	2.8	1.8	2.14	3.33	2.74	9.9	0.082	-8.4	7.0		
						6	3.0	2.2	2.00	2.73	2.37	△ 8.5	0.043	-4.4	○11.0		
						7	3.1	2.0	1.94	3.00	2.47	8.9	0.070	-7.1	8.3		
								Av. 11.3		Av. 7.9							
I-B-2 WB	No.1	29.8	20	5	5	1	4.0	1.6	1.25	3.13	2.19	7.9	0.206	-20.8	9.0	同	上
						2	4.1	1.6	1.22	3.13	2.18	△ 7.8	0.208	-21.0	8.8		
						3	3.5	1.7	1.43	2.94	2.19	7.9	0.165	-16.7	13.1		
						4	2.6	1.5	1.92	3.33	2.63	9.5	0.159	-16.1	○13.7		
						5	2.5	1.4	2.00	3.57	2.79	○10.0	0.209	-21.1	△ 8.7		
								Av. 8.6		Av. 10.7							
I-S-1 WS ₁	No.1	15.4	40	6	6	1	3.6	2.1	1.66	2.85	2.25	8.1	0.067	-6.8	8.6	同	上
						2	2.8	1.8	2.14	3.33	2.74	9.9	0.081	-8.3	7.1		
						3	3.9	2.0	1.54	3.00	2.27	8.2	0.082	-8.5	△ 6.9		
						4	3.7	2.1	1.62	2.85	2.24	8.1	0.068	-7.0	8.4		
						5	4.4	2.3	1.36	2.61	1.99	7.2	0.062	-6.3	○ 9.1		
								Av. 8.3		Av. 8.0							

第 8 表 走行抵抗係数 (短区間直線牽引試験測定)

試験番号	試験貨車		試験路 番号	線 勾配 s (0/100)	走行 距離 l (m)	走行 時間 t (sec)	平均速度		張力計指度		自記記録 平均 T (kg)	総抵抗 係数 w = T/Q (kg/t)	走行抵 抗係数 w _s = w - s (kg/t)	備 考
	種別	総重量 Q (t)					v = l/t (m/t)	V = 3.6v (kg/hr)	最大	最小				
Ⅲ-S-1	S ₃	1.970	No.1	15.4	40	35.3	1.13	4.1	85	10	43	21.8	6.4	始発は試験路線 の手前15mで行 つたギヤ第2速 ギヤ第2第3速 ギヤ第3速
Ⅲ-S-2	"	"	"	"	"	22.1	1.81	6.5	95	25	45	22.8	7.4	
Ⅲ-S-3	"	"	"	"	"	15.9	2.52	9.1	100	30	50	15.9	10.0	

第 9 表 実用抵抗係数 (長区間牽引試験測定)

試験番号	試験貨車		試験路 番号	線 勾配 s (0/100)	走行 距離 l (m)	走行 時間 t (sec)	平均速度		張力計指度		自記記録 平均 T (kg)	総抵抗 係数 w = T/Q (kg/t)	実用抵 抗係数 w _p = w - s (kg/t)	備 考
	種別	総重量 Q (t)					v = l/t (m/sec)	V = 3.6v (kg/hr)	最大	最小				
Ⅳ-S-1	S ₃	2.020	No.5 a	45.2	150	112.9	1.33	4.8	160	80	109	54.0	9.8	測定は分区 毎に分割し て行つた。 始発は試験 路線の手前 10~20mで 行い試験分 区終点通過 直後停止さ せた。機関 車ギヤ第2 速。
Ⅳ-S-2	S ₃	2.020	No.5 b	53.7	140	92.2	1.52	5.5	200	80	140	69.3	15.6	
				48.0	100	73.3	1.37	4.9	250	90	150	74.3	26.3	
				平均 51.3	小計 240	小計 165.5	平均 1.45	平均 5.2	250	80	—	—	21.0	
Ⅳ-S-3	S ₃	1.970	No.5 c	36.1	100	79.0	1.27	4.6	280	60	133	67.5	23.4	
Ⅳ-S-4	S ₂	1.970	No.5 d	49.3	100	89.0	1.12	4.0	200	100	140	71.1	21.8	
				23.6	75.5	156.5	1.28	4.6	200	60	80	40.6	17.0	
				56.5	124.5				180	120	160	81.2	24.7	
				平均 43.6	小計 300	小計 245.5	平均 1.22	平均 4.4	200	60	—	—	21.2	
Ⅳ-S-5	S ₂	1.970	No.5 e	40.8	51.5	169.2	1.18	4.2	180	100	135	68.6	27.8	
				73.5	148.5				240	100	167	84.8	11.3	
				平均 64.9	小計 200.0	小計 169.2	平均 1.18	平均 4.2	240	100	—	—	19.6	
計				平均 50.0	990	772.1	平均 1.28	平均 4.6	280	60	—	—	平均 19.0	

第 10 表 始発抵抗係数 (牽引試験測定)

試験番号	試験貨車		試験地点			張力計指度 (最大値針 読度) T ₀ (kg)	始発時総抵 抗係数 w ₀ = T ₀ /Q (kg/t)	実用始発抵抗 係数 (水平路 線換算値) w _s = w ₀ - s	備 考	
	種別	総重量 Q(t)	位置	勾配 s(0/100)	路線 R(m)					
V-S-1	S ₃	1.970	No.1	前	18.0	直線部	340	173	155	張力計指度 T ₀ は 始発時の最大指度 で殆んど瞬間的張 力である。機関車 の牽引桿に緩衝装 置がないのでこの 張力は急激に生じ 急激に消滅する。 このような指度が 2,3 回連続して現 れた場合もあつた が, その場合には 大きい方の値をと
V-S-2	"	"	"	"	"	"	460	234	216	
V-S-3	"	"	"	"	"	"	200	102	84	
V-S-4	S ₃	2.020	No.5	a前	45.2	R=140	300	149	104	
V-S-5	"	"	No.5	b前	"	直線部	420	208	163	
V-S-6	S ₂	1.970	No.5	c前	48.0	R=12	400	198	150	

第7表 曲線抵抗係数(曲線路惰力走行試験測定)

試験番号	貨車種別	試験路線						測定回	測定計時		初速		終速	平均速度		平均加速度	総抵抗係数	(走行+曲線)抵抗係数	曲線抵抗係数	備考
		番号	勾配 s (0/00)	曲半径 R (m)	走行距離 l (m)	標点距離 l ₁ (m)	標点距離 l ₂ (m)		A点 t ₁ (sec)	B点 t ₂ (sec)	$v_1 = \frac{l_1}{t_1}$ (m/sec)	$V_1 = 3.6v_1$ (m/sec)	$v_2 = \frac{l_2}{t_2}$ (m/sec)	$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$ (m/sec)	$V_m = 3.6v_m$ (km/hr)	$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2l}$ (m/sec ²)	$w = \frac{1000}{g}(-a)$ (kg/t)	$w_l + w_k$ =s+w (kg/t)	w_k =s+w-w _l (kg/t)	
Ⅱ A-1	WA ₁	No. 3	15.8	11.5	13	4	4	1	1.0	2.4	4.00	14.4	1.67	2.84	10.2	-0.508	51.8	67.6	54.8	○印最大値 △印最小値 曲線抵抗係数 w _k の算出に用いた走行抵抗係数 w _l の値は I A 1 の平均値 w _l = 12.8kg/t
								2	1.4	4.2	2.86	10.3	0.93	1.90	6.8	-0.281	28.6	44.4	31.6	
								3	1.3	3.2	3.07	11.1	1.25	2.16	7.8	-0.303	30.9	46.7	33.9	
								4	0.9	1.8	4.44	16.0	2.22	3.33	○12.0	-0.569	58.0	○73.8	○61.0	
								5	1.0	1.8	4.00	14.4	2.22	3.11	11.2	-0.426	43.5	59.3	46.5	
								6	1.6	3.6	2.50	9.0	1.11	1.81	6.5	-0.193	19.7	△35.5	△22.7	
								7	1.7	5.8	2.35	8.5	0.69	1.52	△5.5	-0.194	19.8	35.6	22.8	
													Av. 8.6		Av. 51.8	Av. 39.0				
Ⅱ A 2	WA ₁	No. 4	51.0	7.5	10	3	3	1	0.8	1.2	3.75	13.5	2.50	3.13	11.3	-0.391	39.9	90.9	78.1	同上
								2	0.7	1.0	4.29	15.4	3.00	3.65	13.1	-0.470	47.9	○98.9	○86.1	
								3	0.8	1.0	3.75	13.5	3.00	3.38	12.2	-0.253	25.8	76.8	64.0	
								4	1.0	1.4	3.00	10.8	2.14	2.57	9.3	-0.221	22.5	73.5	60.7	
								5	1.5	2.6	2.00	7.2	1.15	1.58	△5.7	-0.134	13.7	△64.7	△51.9	
								6	0.6	0.8	5.00	18.0	3.75	4.38	○15.8	-0.291	29.7	80.7	67.9	
													Av. 11.2		Av. 80.9	Av. 68.1				
Ⅱ B-1	WB	No. 4	51.0	7.5	10	3	3	1	2.8	2.1	1.07	3.9	1.43	1.25	4.5	0.045	-4.6	46.4	37.1	同上 曲線抵抗係数 w _k の算出に用いた走行抵抗係数 w _l の値は I B 1, I B 2 の平均値 w _l = 9.3kg/t
								2	2.1	1.9	1.43	5.1	1.58	1.51	5.4	0.023	-2.3	○48.7	39.4	
								3	2.1	1.9	1.43	5.1	1.58	1.51	5.4	0.023	-2.3	48.7	39.4	
								4	2.9	2.0	1.03	3.7	1.50	1.27	△4.6	0.059	-6.0	45.0	35.7	
								5	2.9	1.9	1.03	3.7	1.58	1.31	4.7	0.072	-7.3	△43.7	34.4	
													Av. 4.9		Av. 46.4	Av. 37.2				

V-S 7	"	1.970	No. 5 d前	36.1	R=10	430	213	177	つた。機関車の運 転の仕方により値 のむらが多いので 实用係数のみを算 出した。 最大216kg/t, 最小72kg/t
V-S 8	"	"	No. 5 e前	56.5	直線部	280	139	72	
							Av. 177	Av. 140	

IV 北海道演習林に於ける試験

(1) 軌道の構造及び保線状況 試験路線は西達布線に予定したが同線は数年来本格的な使用を中止中のため保線状態悪く且つ夏山運材再開に備えて全線に互り改修工事中のため、適切な試験資料を得難く思われたので、保線状態の稍々良好な西達布土場内に短区間試験路線を設けた。軌道の諸元は第 11 表の通りである。代燃装置付ガソリン機関車（総重量 7~8 t）を用いて列車

第 11 表 北海道演習林西達布線軌道諸元

項 目	寸 度	摘 要
路 盤 幅 員	220 cm	5寸×3寸×5尺 ナラ、カバ、ア カダモ等 軽軌条 大正9年~昭和 2年
道 床 { 幅 員 員 厚 さ	200 cm	
枕 木 { 標 準 寸 法 標 準 間 隔 樹 種	10~20 cm	
	15.1×9.1×151cm	
	50 cm	
レ ー ル	6kg/m, 8kg/m	
軌 間	762 mm	
建 設 年 次	—	

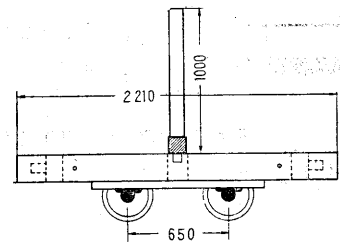


Fig. 8 木製車 (WC)

運転を行っていたもので、レールは大部分 8 kg (16 lbs) 軌条であるが、一部 6 kg (12 lbs) 軌条を使用している。西達布線は平均勾配 5%、逆勾配（惰力勾配）7.7%、最小半径 60 m の軌道で構造は中級と認められるものである。（図版 I, 3 参照）

(2) 貨車 試験に使用した貨車は現に使用中の木製車 1 種で、その主要諸元及び形状は第 12 表及び Fig. 8 の通りである。制動器を装備していないので北海道地方で一般に使用されている同種の木製車よりも軽量である。

第 12 表 試験貨車諸元

種別・記号	諸 元						自 重 (kg)	摘 要
	全 長 (mm)	軸 距 (mm)	軌 間 (mm)	車輪直径 (mm)	車軸直径 (mm)	軸 承 別		
木製車 WC	2,210	650	760	300	65	プレーン	400	ボギー運材用、回転荷台付制動器なし

(3) 試験路線 選定した試験路線は第 13 表の通りである。何れも直線水平路で、惰力走行試験と牽引試験に並用した。

(4) 試験種別及び要項 実施した試験は惰力走行試験（走行抵抗測定）及び牽引試験（走行抵抗測定）で、試験法は惰力走行試験に於ては II (1) 脚註の方法により、牽引試験は秩父演

習林の場合と同様である。試験要項は第 14, 15 表の通りである。

第 13 表 試 験 路 線

番号	位置	測定区間			備考
		全長 (m)	惰力走行試験走行距離 (m)	牽引試験区 (m)	
No. 1	西達布土場内	100	27.2~39.1	50	6kg 軌条, 軌道内に雑草若干あり, 保線稍々不良
No. 2	〃	100	12.9~62.9	50	8kg 軌条, 保線稍々良

第 14 表 惰力走行試験要項

試験種別	試験番号	試験種別	試験貨車			試験路線番号	試験期日	天候	レールの状態	備考
			自重 (kg)	荷重 (kg)	総重量 Q(t)					
走行抵抗試験	I-C-1	WC ₁	800	4,252	5.052	No. 1	1951・6・30	晴	乾	貨車 2 台ボギー連結, 荷重枕木積載, カトウ 6t ガソリン機関車にて突放
	I-C-2	〃	〃	〃	〃	No. 2	〃	〃	〃	

第 15 表 牽引試験要項

試験種別	試験番号	試験種別	試験貨車			試験路線番号	試験期日	天候	レールの状態	備考
			自重 (kg)	荷重 (kg)	総重量 Q(t)					
走行抵抗試験	II-C-1	WC ₁	800	4,252	5.052	No. 1	1951・6・30	晴	乾	カトウ 6t ガソリン機関車使用, 荷重枕木積載, 貨車 2 台ボギー連結 同上 同上, 貨車 4 台, 2 台宛ボギー連結
	II-C-2	〃	〃	〃	No. 2	〃	〃	〃		
	II-C-3	WC ₂	1,600	8,715	10.315	No. 2	〃	〃	〃	
始発抵抗試験	III-C-1	WC ₁	800	4,252	5.052	No. 1	1951・6・30	晴	乾	II-C-1 の試験に伴い実施
	III-C-2	〃	〃	〃	〃	No. 2	〃	〃	II-C-2 〃	
	III-C-3	WC ₂	1,600	8,715	10.315	No. 2	〃	〃	II-C-3 〃	

(5) 試験成績 上記要項による各種試験の測定値及び抵抗係数等の算出値は第 16, 17, 18 表の通りである。

第 16 表 走行抵抗係数 (直線路惰力走行試験測定)

試験番号	貨車種別	試験路線番号	試験路線 勾配 s/100	標点距離 (A点) l ₁ (m)	測定回数	測定計	初速	終速	平均速度	走行平均加速度	走行抵抗係数	
						(A点) t ₁ (sec)	$v_1 = l_1/t_1$ (m/sec)	v_2 (m/sec)	$v_m = \frac{v_1+v_2}{2}$ (m/sec)	$a = -\frac{v_1^2}{2l_0}$ (m/sec ²)	$w_l = \frac{1000}{g}(-a)$ (kg/t)	
I-C-2	WC ₁	No. 1	0	5	1	2.0	2.50	0	1.25	4.527.2	-0.115	○11.7
					2	2.0	2.50	0	1.25	4.533.4	-0.094	9.6
					3	1.9	2.63	0	1.32	○4.839.1	-0.035	8.7
					4	2.2	2.27	0	1.14	4.127.3	-0.094	9.6
					5	2.2	2.27	0	1.14	△4.134.6	-0.074	△7.5
								Av.4.4		Av.9.4		
I-C-2	WC ₁	No. 2	0	5	1	2.4	2.27	0	1.14	4.122.5	-0.114	○11.6
					2	1.4	3.57	0	1.79	○6.462.9	-0.101	10.3
					3	3.2	1.56	0	0.78	△2.812.9	-0.094	9.6
					4	3.0	1.67	0	0.84	3.019.1	-0.073	△7.4
					5	2.0	2.50	0	1.25	4.536.9	-0.035	8.7
								Av.4.2		Av.9.5		

備考 ○印最大値 △印最小値

第 17 表 走行抵抗係数 (直線路牽引試験測定)

試験 番号	試験貨車		試験路線		測 定 回	走行 時間 t (sec)	平均速度		張力計指度 (自記記録)			走行抵抗係 数 $w_i = T/Q$ (kg/t)	備 考	
	種別	総重量 $Q(t)$	番号	勾配 走行距 離 s (%) l (m)			$v = l/t$ (m/ sec)	$V = 3.6v$ (k m/hr)	最大 (kg)	最小 (kg)	平均 T (kg)			
II-C-1	CW ₁	5.052	No. 1	0	50	1	109.4	0.46	1.7	80	20	47	9.3	機関車ギヤ 第1速 // 第2速 // 第3速 // 第4速
						2	34.4	1.45	5.2	160	10	55	10.9	
						3	22.2	2.25	8.1	230	0	65	12.9	
						4	16.4	3.05	11.0	220	0	90	17.8	
						Av. 6.5			Av. 12.7					
II-C-2	CW ₁	5.052	No. 2	0	50	1	61.2	0.82	3.0	180	0	63	12.5	// 第1速 // 第2速 // 第3速 // 第4速
						2	26.2	1.91	6.9	220	0	65	12.9	
						3	16.2	3.09	11.1	210	0	70	13.9	
						4	13.4	3.73	13.4	300	0	110	21.8	
						Av. 8.6			Av. 15.3					
II-C-3	CW ₂	10.315	No. 2	0	50	1	37.0	1.95	4.9	260	0	115	11.1	// 第2速 // 第3速 // 第4速
						2	19.4	2.58	9.2	350	0	150	14.5	
						3	18.4	2.72	9.8	360	0	160	15.5	
						Av. 8.0			Av. 13.7					

第 18 表 始発抵抗係数 (直線路牽引試験測定)

試験 番号	試験貨車		試験地点		測 定 回	張力計指度 (最大値針 読度) T_0 (kg)	実用始発抵抗 係数 $w_s = T_0/Q$ (kg/t)	機関車 ギヤ	備 考	
	種別	総重量 $Q(t)$	位置	勾配 s (%) 路線						
III-C-1	WC ₁	5.052	No. 1 前	0	直線部	1	245	48.4	第1速 第2速 第3速 第4速	T_0 は始発時瞬間張 力最大値
						2	280	55.4		
						3	290	57.4		
						4	440	87.1		
						Av. 62.1				
III-C-2	WC ₁	5.052	No. 2 前	0	直線部	1	412	81.6	第1速 第2速 第3速 第4速	同 上
						2	590	116.8		
						3	750	148.5		
						4	1000	197.9		
						Av. 136.2				
III-C-3	WC ₃	10.315	No. 2 前	0	直線部	1	750	72.7	第2速 第3速 第4速	同 上
						2	780	75.6		
						3	710	68.8		
						Av. 72.4				

V 考 察

(1) 走行抵抗係数 (w_i)

走行抵抗の絶対値が貨車の総重量に使配されることは云うまでもないが、貨車 1t 重量当りの抵抗値、即ち kg/t. 単位で示した抵抗係数値に影響を及ぼすべき主要な因子として試験法、路線条件、走行速度、貨車種別及び荷重、軸受の種類、給油状態等を取り上げて検討した結果及び

それらの因子の影響を慮考して総括した各種貨車の走行抵抗値は概ね下記の通りである。

a. 試験法との関係 各種条件が類似の場合には惰力走行試験による結果と牽引走行試験による結果とは概してよく一致する。同一試験路線，同一貨車について行つた試験結果を比較すると次表の通りであつて，走行速度の影響も考慮に入れば試験法の相違による w_i 係数值（平均値）の差は僅少である。然し惰力走行試験による測定値はばらつきが大きいから，試験法としては牽引試験の方が優れていると思われる。惰力走行試験の測定値は秒時計による計時技術にも影響されるから計測には相当の熟練を要する。IVに掲げた試験成績は予備実験を併せて表示した測定回数よりも遙かに多くの測定を行い，その中から明かに人為的過誤があると認められたものを除いて集計したものである。牽引試験に於いて著者等が使用した 2 t 張力計では指度の差が 10 kg 以下の場合の記録が稍々不明瞭なので，更に指針の倍率の高い計器を用いた方がよい。但しこのためには牽引装置に緩衝設備を附設して始発または停車時等に生ずる過張力を避ける必要がある貨車台数または荷重が大きくて過張力がかかる虞れのある場合には牽引索（又は桿）と計器の間に簡単な鉄製挺子装置を挿入して倍率を下げればよい。この装置は一応用意したが本試験には使用しなかつた。

比較例	試験法	試験番号	走行抵抗係数 (平均値) w_i (kg/t)	摘	要
1	牽引	Ⅲ-S-1,2,3	6.6	平均 $V=7.9$ km/hr	秩父演習林, 路線No. 1貨車鉄製(S)
	惰力走行	I-S-1	8.0	" $V=8.3$ "	
2	牽引	Ⅱ-C-1,2,3	13.6	平均 $V=7.7$ km/hr	北海道演習林, 路線 No. 1, No. 2, 貨車木製(WC)
	惰力走行	I-C-1,2	9.5	" $V=4.3$ "	

b. 路線条件との関係 路線条件を定量的に示すことが困難なこと並に路線条件の異なる多数の試験路線で同種の試験を実施し得なかつたことにより，常識的なこと以上の結果は出ていない林野庁試作の自記加速度計※7)8)の如き計器を使用して特定台車で路線特性を検出すれば，路線条件と w_i の関係を或る程度判つきりさせることが可能であると予想されるが，路線特性は路線毎に測定しなければならないので，実際問題としては路線毎に実用抵抗係数を直接測定した方が便利であるから，路線特性の検出は抵抗係数の測定に関する限り余り意味がない。

c. 走行速度との関係 走行速度は走行抵抗係数に最も強く影響する因子と認められる。速度の範囲を最も大きくとつた試験例（Ⅱ-C-1,2,3）では平均速度 $V=13$ km/hr に於けるの w_i 値は $V=2$ km/hr に於けるその倍の値を示している。即ち一般に V の増大に伴つて w_i が増大する傾向が見られ小型木製車空車の場合にはこの関係が稍々不規則であるが，鉄製少量積載

* 東京大学生産技術研究所教授糸川英夫の考案で3軸方向の加速度をインクリタイマーで自記させる。記録の波を分析すれば貨車と路線の特性が出る。

車 (S, ボール軸承) 及び木製積載車 (WC, 面軸受) の場合には w_i と V の間には略々比例的關係がある。Fig.9 は各試験結果を V との關係に於て示したものであつて、牽引試験 (同図

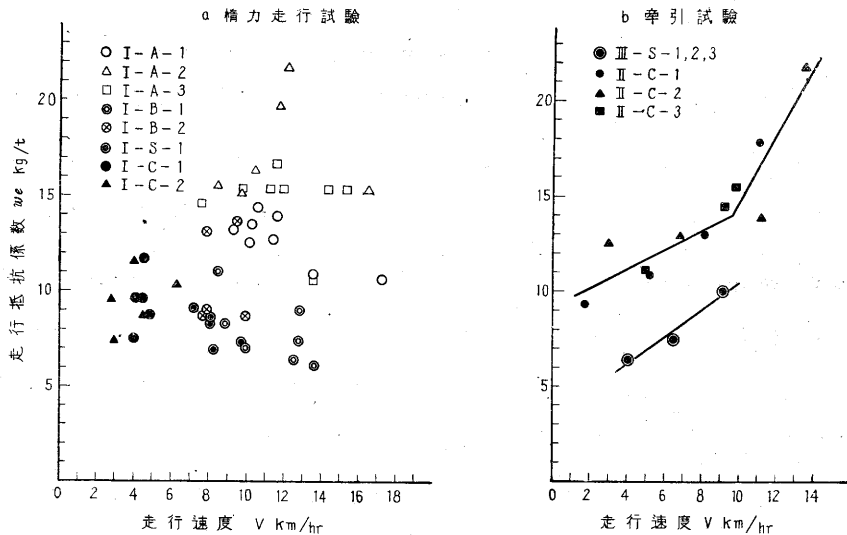


Fig.9 走行速度と走行抵抗係数の關係

[註] I-A-1,3: 小型木製車, 空車, 面軸承, 給油普通
 I-A-2 : " , " , " , 給油稍不良
 I-B-1, : " , " ボール軸承, 給油普通
 I-S1 } 大型鉄製車, 少量積載,
 I-S2,3 } ボール軸承, 給油普通,
 I-C1,2 } 普通型木製車, 積載,
 II-C1,2,3 } 面軸承, 給油普通

b) ではこの比例關係が極めて明瞭に現われており、特に木製積載車 (WC) では $V=10$ km/hr 附近を境として比例常数が格段の差を示している。今牽引試験による走行抵抗係数を $w_i=f(V)=a+bV$ の直線式で示せば、係数 a, b は概ね次式の値をとる。

$$\begin{aligned} \text{鉄製車 (S)} &: w_i = (3.7 + 0.7V) \text{ kg/t} \dots\dots (V=4 \sim 9 \text{ km/hr}) \dots\dots\dots (9) \\ \text{木製車 (WC)} &: w_i = (9.2 + 0.5V) \text{ kg/t} \dots\dots (V=2 \sim 9.6 \text{ km/hr}) \\ & \quad w_i = (-3.3 + 1.8V) \text{ kg/t} \dots\dots (V=9.6 \sim 14 \text{ km/hr}) \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{鉄製車 (S)} \\ \text{木製車 (WC)} \end{aligned}} \right\} \dots\dots (10)$$

惰力走行試験に於ても試験走行速度は 18 km/hr 以下であるから、空気抵抗の影響は無視し得る。従つて V の増大に伴つて w_i が急激に増大するのは、レール面及びレール継目等の不整その他に基く衝撃作用乃至は蛇行の影響と考えられ、小型空車の場合に w_i と V の關係が不規則なことも貨車が軽量のためその影響が不規則に現れるものと解釈し得る。

d. 貨車重量との關係 貨車重量 Q または積載荷重の絶対値は w_i に対して他の因子程強い影響を及ぼさない。軸承の構造及び給油状態が類似するものを選び、面軸承のものでは小型木製空車 (WA_1, WA_3) と普通型積載車 (WC_1, WC_2)、ボール軸承のものでは小型木製車 (WB) と鉄製車 (S) の惰力走行試験による結果を比較すると次表の通りであつて、 Q が大きいものは w_i の値が小さいが、ボール軸承車は面軸承車よりもその差が顕著でない。而もこの表の数値の中には軌道条件及び速度の影響も含まれているから、これらを除外して考えると Q の相異 (同

じ貨車ならば積載量の相異)による w_i の差は僅少なものと推定される。

比較例	試験番号	貨車重量 $Q(t)$	走行抵抗係 数平均値 $w_i(kg/t)$	摘	要
1	I-A-1,3	0.300~0.301	13.9	秩父演習林, 路線 No.1, 平均 $V=11.9$ km/hr WA 北海道演習林, 路線 No.12, 平均 $V=4.3$ km/hr WC	} 面軸承
	I-A-1,2	5.052~5.263	9.5		
2	I-B-1,2	0.211	9.3	秩父演習林, 路線 No.1, 平均 $V=10.0$ km/hr, WB " " , 平均 $V=8.3$ km/hr, S	} 面軸承
	I-S-1	1.870	8.0		

e. 軸承の種別との関係 ボール軸承車は面軸承車に比べて明らかに走行抵抗係数の値が小さい。その比較例は次表の通りである。両者の差は走行速度が増大するに従つて増大し、貨車重量が小さい程大きい傾向があり、普通の運行速度(略 4~12 km/hr)の範囲では w_i の値の比が重量車(WC, S)では凡そ 1:2/3, 軽量車(WA, WB)では凡そ 1:3/4 である。

比較例	試験番号	貨車種別	軸承種別	走行抵抗係 数平均値 $w_i(kg/t)$	摘	要
1	I-A-1,3	小型木製車 (WA)	面軸承	13.9	$Q=0.300\sim0.301t$, 平均 $V=11.9$ km/hr 秩父演習林, 路線 No.1 $Q=0.0211t$, 平均 $V=10.0$ km/hr "	"
	I-B-1,2	" (WB)	ボール軸承	9.5		
2	I-C-1,2, II-C-1,2,3	普通型木製車 (WC)	面軸承	12.1	$Q=5.052\sim10.315t$, 平均 $V=6.3$ km/hr 北海道演習林, 路線 No.1,2 $Q=1.970\sim2.020t$, 平均 $V=7.0$ km/hr 秩父演習林, 路線 No.1	"
	I-S-1, II-S-1,2,3	鉄製車 (S)	ボール軸承	8.0		

f. 給油状態との関係 給油の良否は明かに走行抵抗係数に影響し、面軸承車では特にこれが著しい。同一路線、同一貨車で給油状態の異なるものについて行つた試験成績の比較を示せば次表の通りであつて、給油状態が良好ならば係数値が低いばかりでなく、そのばらつきも少い。給油状態の不良のものがその反対の傾向を有する理由は潤滑作用の不完全並にその不整不同に基くものと考えられる。

試験番号	給油状態	走行抵抗係数 $w_i(kg/t)$			摘	要
		平均	最大	最小		
I-A-1,3	普通	13.9	16.7	10.7	小型木製車 WA ₁ WA ₃ (面軸承), $V=7.7\sim17.3$ km/hr 秩父演習林, 路線 No.1 " WA ₂ ("), $V=8.5\sim16.6$ km/hr "	"
I-A-2	稍不良	18.9	21.8	15.4		

g. 走行抵抗係数値 以上の考察結果を総合して試験成績を再検討し、推定せられる平均的な数値よりも甚しく偏倚した測定値は原因不明の誤差または特例的事象によるものと仮定してこれを除外し、給油状態が普通の場合について各試験貨車の常用運行速度(4~12 km/hr, 平均 8 km/hr)に於ける平均走行抵抗係数値を帰納的に算定した結果は次表の通りである。

著者の1人加藤は森林軌道の設計に際して走行抵抗係数値として $w_i=6\sim16$ kg/t, 中級軌道に

貨 車 種 別	走行抵抗係数 w_t (kg/t)	摘 要
小型木製車(面軸承) WA	13.5	秩父演習林, I-A-1,2 試験成績より算定
小型木製車(ボール軸承) WB	8.5	" , I-B 1,2 "
普通型木製車(面軸承) WC	13.0	北海道演習林, I-C-1,2, II-C-1,2,3 試験成績より算定
大型鉄製車(ボール軸承) S	8.5	秩父演習林, I-S-1, III-S-1,2,3 "

対して 10~12 kg/t を用うべき旨を提案したが、⁹⁾ 上表の数字はこれが概ね妥当であることを証している。

(2) 曲線抵抗係数 (w_k)

曲線抵抗係数に影響を及ぼすべき因子としては走行抵抗について考えられた前記因子の外に曲半径、曲線長、貨車の軸距、軌間、軸承構造、レール面の状態、カント、スラック等があるが、本試験に於いてはそれらの総ての関係を明らかにすることは不能であつた。測定結果より 2~3 の顕著な事象について考察すれば次の通りである。

a. 試験法との関係 惰力走行試験による w_k の値は牽引試験によるそれよりも甚しく大きな値を示した。この理由の中には試験貨車が軽量車 (**WA**, **WB**) であつたこと並に走行速度の影響も若干含まれているが、曲線抵抗係数算出式に用いた仮定が実際と異なることが最大の原因と思われる。即ち貨車の走行状況を観察すると惰力走行試験の場合には直線部から曲線部に移行した直後 (2~3 m) に於いて最も大きな抵抗を稍々衝撃的に受けて大きく減速され、曲線部走行初期の減速度は末期の減速度に比べて著しく大である。従つてこの変加速度運動に於ける抵抗値を平均減速度を用いて算定すれば平均曲線抵抗係数値が過大となるのは当然であつて、この種の変加速度運動の測定に適する特別の計器を使用して測定せぬ限り、惰力走行試験法には大きな欠陥がある。換言すれば本試験の惰力走行試験は各曲線部の抵抗の相対的關係を見るのには役立つが、係数の絶対値を知る上には殆んど無意味である。著者等が測定を少数に止めた理由もここにある。惰力走行試験に於けるこのような問題は自動車の走行試験の場合にも屢々問題となり、精密な加速度計の使用も試みられているが、普通の加速度計では車体の振動等の影響が強く現れてその中から曲線抵抗の影響を抽出することが困難である。これに対処し得る計器は現在考案されつつあるので、¹⁰⁾ その完成を俟つて再検討し度い。牽引試験に於ても後記の如く曲線部に走入初期に於て比較的大きな抵抗値を示す傾向が見られるけれども、走行速度は略々一定しているので平均曲線抵抗係数値には余り大きな影響はないものと認められる。尙両試験法による係数値の差の中にはレール面乾湿の影響も含まれている。

b. 惰力走行試験結果に見られる諸間係 上記の如く係数の絶対値は真実値と相異なるが、一応これを従来^{*}の公式値と比較すると Röckl 系の公式は全く当てはまらず、在来公式中稍々適

* 1) 参 照

すると思われる PROTOPAPADAKIS 公式による算出値と測定の平均値を比較すると次表の通りで、測定値は算出値の 1.4~2.6 倍の値を示している。

試験番号	試験貨車		試験路線			曲線抵抗係数 w_k (kg/t)		備考		
	種別	軸承種別	軸距 A (m)	番号	曲半軌間径 R (m)	レール面 e (m)	測定値		PROTOPAPADAKIS 公式による算出値	
II-A-1	小型木製車 WA	面軸承	0.65	No. 3	11.50	0.76	乾	39.0	16.8	PROTOPAPADAKIS 公式 $w_k = \frac{0.50 f(e + \sqrt{e^2 + A^2})}{R}$ (kg/t) 但し $f = 220$ kg/t (レール乾) $e = 0.76$, $A = 0.65$
II-A-2	"	"	"	No. 4	7.5	"	"	68.1	25.9	
II-B-1	小型木製車 WB	ボール軸承	0.65	No. 4	7.5	"	"	37.2	25.9	

このような傾向と測定時に於ける走行状況の観察に基き、平均曲線抵抗値が第7表の数値の 1/2 になるものと仮定すると、牽引試験結果と余りかけはなれた値にならないので、このような

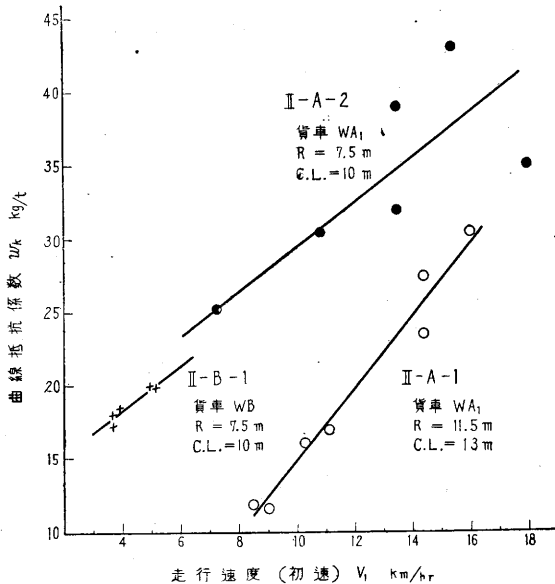


Fig. 10 走行速度と曲線抵抗係数の関係

修正値を用いて相対的關係のみについて吟味すると次のような傾向が認められる。

走行速度 (曲線部走入初速 V_1 km/hr) と w_k の関係は Fig. 10 の通りであつて、特定速度の範囲内では両者の間には大体比例關係が存在する。高速鉄道では $w_k = f(R, V_1)$ の形で示した公式*も用いられているが、森林軌道貨車の場合には寧ろこれに類似した關係が存在する如くと思われる。

貨車の種類は軸承の異なる小型木製車のみ測定であるから重量車の場合果して上記と同じ傾向が現われるか否か多少疑わしいが、軸承構造との關係のみについて見れば、面軸承貨車 (WA₁)

試験番号	貨車種別	軸承種別	曲線抵抗係数 w_k (kg/t)	摘要
II-A-2	小型木製車 (WA) 軸距 650 mm, 給油普通	面軸承	23.2	秩父演習林, 路線 No. 4, R=7.5 m, CL=10 m w_k の値は第 10 表に対する修正値を用い Fig. 10 を援用して $V_1 = 6.0$ km/hr の場合に換算したものである。
II-B-1	小型木製車 (WB) 軸距 650 mm, 給油普通	ボール軸承	21.4	

とボール軸承貨車 (WB) とでは上表の通り前者の方が w_k の値が僅かに大きい。著者等は一般に現業関係者によつてその反対のことが称えられていることに対し、果してそれが真に軸承構造

* Illinois 大学公式 $w_k = 32V/R$ (単位 w_k : kg/t, R: m, V: km/hr)

の相異によるものであるか否かの疑問を抱いていたが、この実験結果により益々他の原因を追急する必要を感じる。

c. 牽引試験結果に見られる諸関係 曲線部で牽引試験を行つたのは秩父演習線の鉄製車(S)のみで而も主として実用抵抗係数測定のために日常の運行に最も近い上り勾配の運転を行つたものであるから走行速度も一定範囲である。従つて貨車種別による比較も係数値と速度との関係も明かにし得なかつたが、曲線抵抗係数の性格については未知の分野に若干の知見を得た。長区間牽引試験に於て張力計に現われる抵抗値の中には正常な走行抵抗と曲線抵抗及び勾配抵抗の他にレール面の不整や運転技術に左右される不定の抵抗も含まれるので、公式的曲線抵抗を把握することは困難であるが、自記記録及び併用した指針読取の結果を吟味した結果、次のような傾向が認められた。

(i) 直線部より曲線部に走入したときの自記グラフの典型的な形は Fig.11 に例示(縮尺

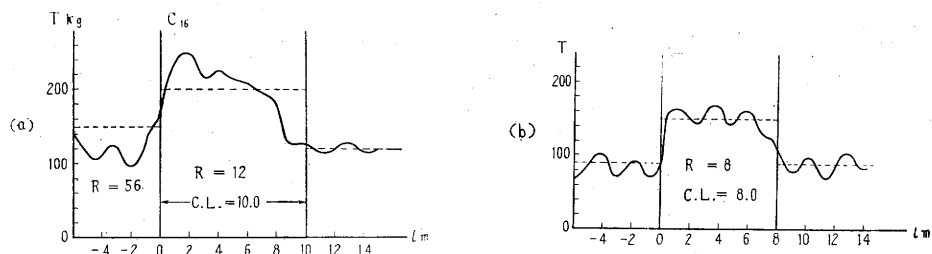


Fig.11 曲線部牽引張力自記グラフの形状

変更)する通りであつて、(a)は機関車速度が曲線部走行初期に低下した場合、(b)は然らざる場合を示し、運転手が意識的に減速を防いだときは(b)の形が現われ、然らざる場合は(a)の形が現われる傾向があつた。即ち定速で牽引している場合曲線部に進入した機関車が曲線抵抗のために減速されるので、貨車は曲線の直前で牽引抵抗を一旦減じその反動による瞬間的加速度抵抗と貨車に対する曲線抵抗が組合さつて曲線部走行初期に牽引抵抗は最大値に達するが、これは徐々に減少して行くから、曲線部全長の平均値は遙かに小さな値を示す。この最大値と平均値の関係は前記の如き他の因子の介入によつて不規則に現われているが、前者は瞬間的のものに過ぎないから実用上は平均値を主に考えてよい訳である。

(ii) 第9表の実用抵抗係数 w_p から走行抵抗係数 w_l を減じた値を w_a とすれば、 w_a は一応曲線の影響を示す値であつて、特定区間内の平均的な実用上の曲線抵抗係数は $w_k=w_a$ と見做して差支えない。ここでは w_a を実用曲線抵抗係数と名付ける。よつて前記(9)式の $w_l=(3.7+0.7V)$ により算出した w_l の値を用いて各試験路線の w_a を求めると次表の通りである。

このように各区間毎に w_a の値に大差があるのは Fig.7 に示したように各区間の線形に差異があるためと思われる。

(iii) 上記の考察により w_a の値に影響を及ぼす主要な因子は曲線数、曲線長及び曲半径で

試験路線	勾配抵抗係数 $s(\%)$	配抵抗係数 $w(\text{kg/t})$	総抵抗係数 $w_p = w - s$ (kg/t)	平均速度 V (kg/hr)	走行抵抗係数 $w_l = 3.7 + 0.7V$ (kg/t)	実用曲線抵抗係数 $w_d = w_p - w_l$ (kg/t)	摘要
No. 5-a	45.2	54.0	9.8	4.8	7.1	2.7	秩父演習林, 鉄製車(S)
No. 5-b-1	53.7	69.3	15.6	5.5	7.6	8.0	
No. 5-b-2	48.0	74.3	26.3	4.9	7.1	19.2	
No. 5-c	36.1	67.5	23.4	4.6	6.9	16.5	
No. 5-d-1	49.3	71.1	21.8	4.0	6.5	15.3	
No. 5-d-2	23.6	40.6	17.0	4.6	6.9	10.1	
No. 5-d-3	53.5	81.2	24.7	4.6	6.9	17.8	
No. 5-e-1	40.8	68.6	27.8	4.2	6.6	21.2	
No. 5-e-2	73.5	84.8	11.3	4.2	6.6	4.7	

あると推定されるので、これら因子と共に日記グラフにより各区間曲線部に於ける平均抵抗値を隣接直線部のそれと比較して見ると次表の通りである。

試験路線	曲線番号	曲半径 $R(\text{m})$	曲線長 $C.L.(\text{m})$	曲線部平均張力 $T_k(\text{kg})$	隣接直線部平均張力 $T_s(\text{kg})$	差 $T_k - T_s$ (kg)	試験路線	曲線番号	曲半径 $R(\text{m})$	曲線長 $C.L.(\text{m})$	曲線部平均張力 $T_k(\text{kg})$	隣接直線部平均張力 $T_s(\text{kg})$	差 $T_k - T_s$ (kg)	
No. 5-a	C_1	140	23.5	118	110	8	No. 5-d-1	C_{20}	11	7.0	160	125	35	
	C_2	76	17.5	113	110	3		C_{21}	10	10.0	145	125	20	
	C_3	25	5.0	130	110	20		C_{22}	20	7.0	140	125	15	
	C_4	24	11.0	130	110	20		No. 5-d-2	C_{23}	12	12.0	200	100	100
	C_5	21	3.0	110	110	0			C_{31}	11	8.5	180	100	80
	C_6	11	2.0	120	110	10			No. 5-d-3	C_{24}	11	8.0	180	130
No. 5-b-1	C_6	11	3.0	140	90	50	C_{25}			14	9.0	180	130	50
	C_7	8	8.0	150	90	60	C_{26}	22		12.0	160	130	30	
	C_8	13	10.0	150	90	60	C_{27}	18		8.5	160	130	30	
	C_9	14	10.5	140	90	50	C_{28}	41		9.5	140	130	10	
	C_{10}	55	9.5	150	90	60	C_{29}	16		11.5	180	130	50	
	C_{11}	20	5.0	120	90	30	No. 5-e-1	C_{30}	17	12.0	150	130	20	
No. 5-b-2	C_{12}	30	14.5	140	120	20		C_{31}	13	10.0	170	130	40	
	C_{13}	10	11.5	170	120	50	No. 5-e-2	C_{32}	22	17.5	160	130	30	
	C_{14}	9	11.0	180	120	60		C_{33}	16	16.5	200	130	70	
	C_{15}	56	11.0	150	120	30		C_{34}	26	12.0	160	130	30	
	C_{16}	12	10.0	200	120	80		C_{35}	23	15.0	200	130	70	
No. 5-c	C_{17}	8	17.5	230	125	105		C_{36}	73	11.0	190	130	60	
	C_{18}	12	4.0	180	125	55	C_{37}	97	33.0	140	130	10		
	C_{19}	10	8.0	140	125	15								

上表より曲線部と隣接直線部の平均張力の差 $T_k - T_s$ と曲半径 R 及び曲線長 $C.L.$ の関係をグラフにして見ると数値が分散していて一定の原則が握握し難いが、測定精度から考えて $T_k - T_s$ の値が 20 kg よりも大きな場合を有意義の値とすれば、全曲線数 37 箇所中 2~3 の例外を除き抵抗値の増大に有意義に影響する曲線は $R < 25 \text{ m}$ の曲率を有するもので、それより緩い曲線は影響が少いことが知れる。同時にまた各区間の曲線数及び曲線長が w_d に影響を持つことも明らかである。よつて今茲に

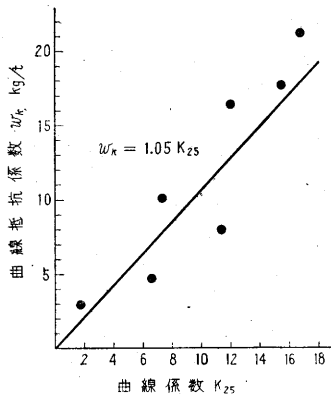
K_n = 路線距離 1 km の間に存在する曲線部の数 = 曲線数指数

K_l = $\frac{\text{曲線部総延長}}{\text{路線総延長}}$ = 曲線長指数

$K = K_n \times K_l$ = 曲線指数

なるものを考えて、 K_{n25} を $R < 25$ m の曲線数指数、 K_{l25} を $R < 25$ m の曲線長指数、 K_{25} を $R < 25$ m の曲線指数とし、各区間毎に K_{25} の値を算出して実用曲線抵抗係数と比較すると次表のようになる。

路線区間	距離 l (m)	$R < 25$ m の 曲線数 n	$R < 25$ m の曲 線部延長 $\sum C.L. (m)$	曲線数指数 $K_{n,25} = 1000 \cdot \frac{n}{l}$	曲線長指数 $K_{l,25} = \frac{\sum C.L.}{l}$	曲線指数 $K_{25} = K_{n,25} \cdot K_{l,25}$	実用曲線抵抗係数 w_d	備考
No.5 a	150	4	10.0	27	0.07	1.9	2.7	
No.5 b-1	140	5	35.0	35	0.26	9.4	8.0	
No.5 b-2	100	3	32.5	30	0.33	9.6	19.2	(作図除外)
No.5 c	100	3	39.5	30	0.40	12.0	16.5	
No.5 d-1	100	3	24.0	30	0.24	7.2	15.3	(作図除外)
No.5 a-2	75.5	2	20.5	27	0.27	7.3	10.1	
No.5 d-3	124.5	5	49.0	40	0.39	15.6	17.8	
No.5 e-1	51.5	2	22.0	39	0.43	16.8	21.2	
No.5 e-2	148.5	3	49.0	20	0.33	6.6	4.7	



このうち b-2 及び d-1 は自記グラフより推察して軌道の不整または運転上の関係により若干過大の値を示すように認められるので、これを除外して K と w_d の関係を図示すると Fig. 12 の如く、その間に概ね直線的比例関係が見出される。依つて $w_k = w_d$ と見做すことは差支えないと思われるから、 $w_k = \alpha K_{25}$ と置いて係数 α を算出すれば、秩父演習林入川軌道上り勾配に於いて鉄製車 (S) を 4.0~5.5 kg/hr の速度で牽引するときの曲線抵抗係数が次式で与えられる。

Fig. 12 曲線指数と曲線抵抗係数の関係

$$w_k = \alpha \cdot K_{25} = 1.05 K_{25} \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{但し } K_{25} = K_i = K_{ni} \cdot K_{li} = 1000 \frac{n}{l} \cdot \frac{\sum C.L.}{l}$$

この形の式は曲線指数 K_i の i の値を適当に取れば他の森林軌道に対しても応用し得るのである。特に我が国の森林軌道は軌間が 762 mm に一定して居り、車輛の軸距が略々一定の小範囲にあり、常用運行速度にも甚しい相異が見られず、曲線の多い路線で散水運転を行うことも常識化されている。従つて曲線抵抗係数を在来公式の如く、 $w_k = f(R)$ 、 $w_k = (R, f, e, A)$ 、 $w_k = f(R, V)$ 等の函数 (R : 曲半径、 f : 車輪の摺動係数、 e : 軌間、 A : 軸距、 V : 速度) で示すよりも $w_k = \alpha \cdot K$ として曲線指数の函数で示した方が便利である。若しこれを是認すれば貨車の総抵抗係数は次の如く表示出来るので実用上好都合である。

$$w = \pm s\% + w_i + w_k = \pm s\% + (a + bV) + \alpha \cdot K_i \dots \dots \dots (12)$$

但し a, b, α : 係数, K_i : 曲線指数

(3) 実用抵抗係数 (w_p)

第9表に示した w_p の値は総抵抗から勾配抵抗のみを差引いた抵抗係数値で、走行抵抗と曲線抵抗の外に若干の附加的抵抗の影響も含まれている。測定全区间 990 m, 平均速度 4.6 km/hr に於ける w_p の平均値は 19 kg/t である。これを小山梯が木曾地方の森林軌道に対する標準値として推定した実用抵抗係数(曲線走行抵抗係数)値、即ち木曾型鉄製面軸承のもので $w_p = 16$ kg/t, モノコックトロ(小型鉄製ボール軸承車)で $w_p = 12$ kg/t と比較すると可なり高い値を示している。同じ速度に於ける走行抵抗係数を(9)式から算出すると $w_i = 6.9$ であつて、 w_p は w_i の 2.75 倍を示し、秩父の曲線の多い山岳地軌道の特性がこれにより明らかに示されている。単に1曲線のみを考えず全路線に於ける曲線の組合せを曲線指数 K の如き尺度で示して曲線抵抗の因子に取り入れることの合理性がこれからも立証される。従つて一般に実用抵抗係数は $w_p = w \mp s\% = w_i + w_k = (a + bV) + \alpha \cdot K_i$ の形で示し得るであろう。

(4) 始発抵抗係数 (w_s)

第10表及び第18表より明らかかなように運転の仕方により w_s の値は極めて大きく変化する。その絶対値は始発時平均加速度により算定した値に比べて遙かに大きい、瞬間的なものであるから、牽引桿に緩衝装置を設ければ著しく減少することが可能であり、実際に列車編成を行つて牽引する場合には各貨車の始動に時間的ずれがあるから、機関車に及ぼす抵抗値は全列車重量に w_s を乗じた数よりも遙かに小さくなる。従つて本成績は一応参考に供する程度の意味を有するに過ぎないが、聯結桿の設計等にはこの数値が直接役立つであろう。

VI 結 論

森林軌道貨車の抵抗に関する諸事項を明らかにするため秩父演習林及び北海道演習林軌道(軌間 762 mm, レール 6,8 kg)に試験路線を設定して惰力走行試験及び牽引抵抗試験を行い、その成績について考察を加えた結果を要約すれば概ね次の通りである。

(1) 走行抵抗 a) 惰力走行試験と牽引試験の結果は概してよく一致するが、試験法としては後者の方が優れている。b) 走行速度を V km/hr とするとき走行抵抗係数は $w_i = (a + bV)$ kg/t の形の式で与えられる。秩父演習林軌道に於いて使用中の鉄製運材貨車(ボール軸承)では $w_i = 3.7 + 0.7V$ であつた。c) 重量車は軽量車に比して係数値が低いが、ボール軸承貨車ではその差が少い。d) 面軸承車とボール軸承車の係数値の比は常用速度の場合 1:2/3~1:3/4 で、係数値の差は速度が増大する程増大し、貨車重量が増大する程減少する傾向がある。e) 給油状態の悪いものは明かに係数値が大である。f) 平均速度 8 km/hr に於ける係数値は秩父演習林

のものは 8.5 kg/t (ボール軸承鉄製大型車及び小型木製車) 及び 13.5 kg/t (面軸受小型木製車), 北海道演習林のものは 13.0 kg/t (面軸承普通型木製車) であつた。

(2) 曲線抵抗 a) 惰力走行試験法は特別の計器を使用せぬ限り不適當であるが、相對的關係を知るためには役立つ。b) 係数值は在來公式の与える数值と一致しない。単一曲線では特定の速度の範囲内で $w_k = f(R, V)$ の形で示されるのではないかと推定されるけれども、 $R=7.5\sim 30$ m の範囲では w_k と R の間には明確な關係が存在しない。c) 単一曲線では軸承の相異による係数值の差は殆んどない。d) 単一曲線の抵抗値から直ちに全路線の抵抗値を推定することは困難である。抵抗値は 1 路線を構成する直線と曲線の組合せによつて異なる。e) 平均曲線抵抗値は著者等の名付けた曲線指数 (K_i) の函数で示される。秩父演習林軌道入川線に於て鉄製車を常用速度 ($V=4.2\sim 5.5$ km/hr) で牽引した場合の係数值は $w_k = 1.05 K_{25}$ であつた。即ち曲半径 $R > 25$ m の曲線は係数值に影響が無く、 $R < 25$ m の急曲部の数及び $R < 25$ m の曲線部の曲線長の合計によつてきまる曲線指数 K_{25} と係数值 w_k との間に比例關係があることが認められた。f) 一般に森林軌道貨車の曲線抵抗は $w = \alpha K_i$ で示し得るものと思われる。

(3) 实用抵抗 a) 秩父演習林入川線に於ける鉄製車の实用抵抗係数は平均速度 4.6 km/hr の場合 $w_p = 19$ kg/t を示した。b) この値は走行抵抗係数の 2.75 倍に相当し、山岳地森林軌道の特性を示すものである。c) 一般に实用抵抗係数は $w_p = w_l + w_k = (a + bV) + \alpha K_i$ の形で示し得る。

(4) 始発抵抗 a) 始発抵抗は極めて不規則である。最大値はかなり大きいが瞬間的なものであるから、運転法及び聯結法の改善によつて相当減少させ得る余地がある。列車編成の場合には係数值は遙かに低下する筈であり、実用上は大した問題とならぬであろう。

引用文献

- (1) 加藤誠平:「森林軌道の最急勾配に関する研究」東京大学農学部演習報告第 39 号, 昭和 26 年
- (2) VOGELPOHL: "Die physikalische Natur der Bewegungswiderstände von Eisenbahnfahrzeugen", Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, H. 28, 1935.
- (3) FRANK: "Die Widerstände der Lokomotiven und Bahnzügen", 1886.
"Die Widerstände der Eisenbahnzüge und zu ihrer Berechnung dienenden Formeln", Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, 1906, 1907.
- (4) SANZIN: "Versuche zur Ermittlung der Fahrwiderstandes des Mittenwaldbahnlokomotive", Elektrische kraftbetriebe und Bahnen. H. II, 1919.
- (5) NORDMANN: "Die Mechanik der Zugförderung in ihrer Entwicklung und ihren neuesten Ergebnissen", Glasers Annalen, H. 1~15 XII, 1932.

- (6) JUDTMANN, Otto: "Motorzugförderung auf Schienen", 1938.
- (7) 糸川英夫:「生研式インクライターとその応用」生産研究第3巻第6号, 昭和26年
- (8) 糸川英夫:「森林鉄道用自記加速計に就いて」林業機械化情報第13号, 昭和26年
- (9) 加藤誠平:林業土木学, 昭和26年, p.168.
- (10) 生産技術研究所:変位微分型自記速度計の試作(生研ニュース)生産研究第4巻第9号, 昭和27年
- (11) 小山 梯:「森林鉄道用運材トロの検討」其の一, 林業機械化情報第13号, 昭和26年

Résumé

To investigate the character and the amount of the trolley resistance on the forest-railway tracks, the authors performed various field experiments in the Tokyo University Forests at Chichibu and in Hokkaido. The explanation of the methods of the experiments, the numerical results, and the discussion about them are noted in this report. Concluding the discussion, the authors state as follows.

1. About the rolling resistance:

(a) Though the results of the push-off experiments and those of the traction experiments are fairly coincident with each other, the latter method is more superior than the former.

(b) The coefficient of the resistance in kg/t may be given by the formula $w_t = a + bV$; for the steel trollies (Chichibu), $w_t = 3.7 + 0.7V$, where V denotes the average running velocity in km/hr.

(c) The value of the coefficient for a heavy trolley is less than that of a lighter one; Smaller differences appear in the case of the trollies with ball-bearings.

(d) Lubrication of the axle-bearings effects largely on the value of the coefficient.

(e) The average numerical values of the the coefficient of rolling resistance at average velocity $v=8$ km/hr:

For large size steel trolley with ball-bearings (Chichibu), $w_t = 8.5$ kg/t

For small size wooden trolley with ball-bearings (Chichibu), $w_t = 8.5$ kg/t

For normal size wooden trolley with plane-bearings (Hokkaido), $w_t = 13.0$ kg/t

For small size wooden trolley with plane-bearings (Chichibu), $w_t = 13.5$ kg/t

2. About the curve-resistance:

(a) The push off experiments are unsatisfactory unless some special measuring instruments are devised.

(b) The values of the coefficient of the curve-resistance are not coincident with

any calculated values of the ordinary formulas.

(c) For a single curve, the kinds of the axle-bearings give little effects on the value of the coefficient.

(d) It is difficult to presume the amount of the curve-resistance along a certain distance of the rail track by the individual value of each single curve-resistance. The behavior of the curve-resistance and the average value of the coefficient of it seem to depend upon the number and the length of the curves inserted between the straight lines within a certain distance of the track under consideration.

(e) The authors found that the value of the coefficient w_k is proportional to the "Curve-factor" or K_i of the line, which was denominated by the authors. If $K_{i,i}$ denotes the ratio

$$\frac{\text{Total sum of length of curves, the radius of curvature of which are less than } i \text{ m,}}{\text{Total length of the line}}$$

and $K_{i,i}$ the frequency of curves within one km of the line, then $K_i = K_{i,i} \times K_{i,i}$. For the steel trolleys (Chichibu) w_k is given by the formula $w_k = 1.05 K_{25}$, when the average velocity $V = 4.2 \sim 5.5$ km/hr.

(f) In general, the coefficient may be given by the formula $w_k = \alpha K_i$.

3. About the practical coefficient of resistance:

(a) The average value of the practical coefficient of resistance for the steel trolleys (Chichibu) $w_p = 19$ kg/t, when average velocity $V = 4.6$ km/hr.

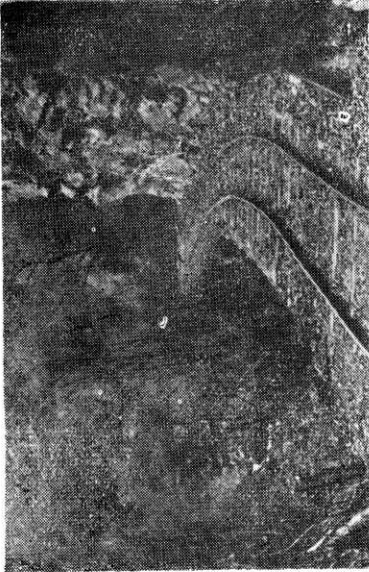
(b) Such high value, 2.75 times larger than the value of the coefficient of the rolling resistance w_l , indicates the characteristics of the railway lines in the ragged mountain forests.

(c) In general, the average value may be given by the formula $w_p = w \mp s\% = w_l + w_k = (a + bV) + \alpha K_i$.

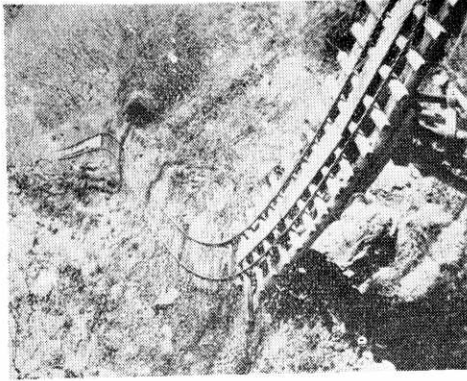
4. About the start-resistance:

(a) The amount of the start-resistance appears to be much irregular.

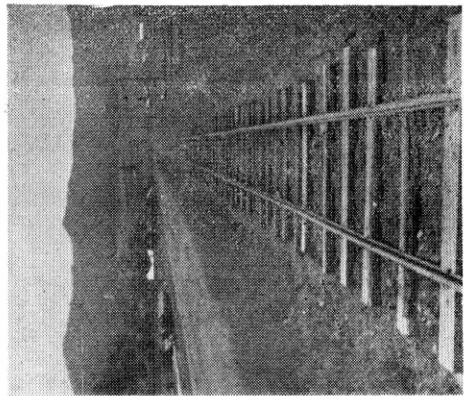
(b) Though the maximum value of the start-resistance is very high, it occurs only instantaneously and seems to bring little effect upon the practical problems.



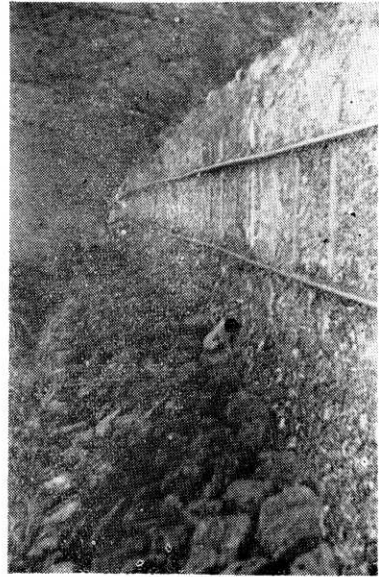
1. 秩父演習林軌道入川線



2. 同滝川線



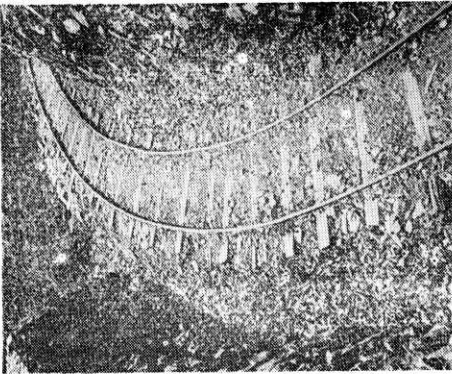
3. 北海道演習林軌道西達布線



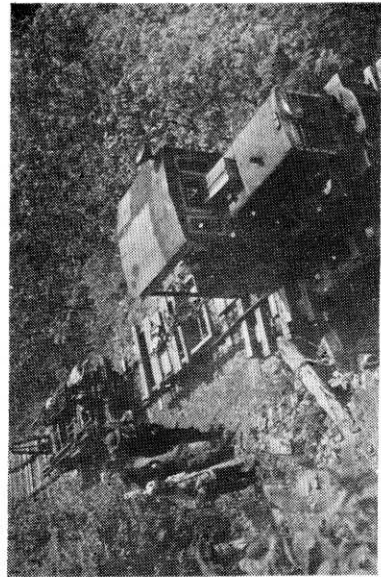
4. 秩父演習林試驗線 No. 1



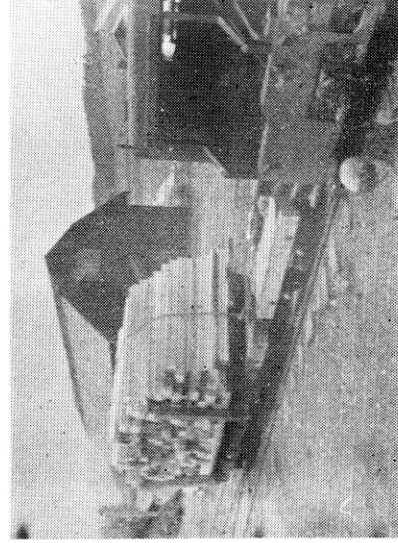
6. 同 No. 4



5. 秩父演習林試験線路 No. 3



7. 同 入川線に於ける牽引試験



8. 北海道演習林西達布土場に於ける牽引試験