

森林鉄道に関する研究 (第1報)

森林鉄道貨車の走行抵抗について

上 田 実⁽¹⁾ 斎 藤 敏 彦⁽²⁾
風 間 貢⁽³⁾ 石 橋 泰 彦⁽⁴⁾
三 村 和 男⁽⁵⁾

I 緒 言

森林鉄道(以下林鉄と省略する)貨車の抵抗値は林鉄の設計および林鉄運材の計画ならびに実施上重要な要因である。特に運輸事業の円滑なる運営をはかる上に必要な運転線図を作成する上に欠くべからざる基礎的資料であるが、本邦における実測値の発表されたもの¹⁾は僅少であるので、筆者らは上松運輸営林署において1952年3月、1953年3月予備調査を行い測定計機の整備をみた上でふたたび同署において1954年8月木曾型貨車について、また1955年3月三股営林署においてモノコックトロについてその抵抗値を実測した。

林鉄運材の合理化と災害防止の上から強くその再検討が叫ばれている今日、本試験の結果を報告する。

なお、本試験を実行するにあたっては、上松運輸営林署において伊藤正元署長、柳文次郎前署長、小沢俊前運輸課長、渡辺敦太前機工課長、大脇今次郎現機工課長、三股営林署において篠原幹夫署長、森田一彦前事業課長、木曾分場宮川信一作業研究室長の各位および日本国有鉄道技術研究所丸山深雪、吉越新太郎の両氏になみなみなぬ御配慮をいただいたほか、測定に際し上松運輸営林署運輸課森下定一技官、機工課小沢四郎事務官、木曾分場作業研究室員石井邦彦技官、高樋孝一、和田重郎両業手らに多大の助力を煩わした。また、取り纏めに際し本場元作業科長本多三雄技官ならびに測定研究室長大友栄松技官の教示を仰いだ。ここに深甚の謝意を表する。

II 試 験 法

列車が線路上を運転する場合には摩擦による抵抗、勾配を上るとき抵抗または速度を増加させるための抵抗等種々の抵抗があり、これらを総称して列車抵抗といい、その性質から出発抵抗、走行抵抗、勾配抵抗、曲線抵抗、加速度抵抗の5種類に分けるのが普通であるが、このなかで運転線図作成上必要な走行抵抗はその値を重量1t当りkgで表わし、主として速度の函数で表わしている。また、その測定にあたり日本国有鉄道技術研究所においては勾配一定の直線路線において力行運転を行い、その時の牽引力と速度を自記々録し、等速運転を行つている個所の値によつて走行抵抗を求めている²⁾。

1. 試験路線の選定

林鉄は国有鉄道に比べるとほとんど曲線部の連続であり、また勾配も長区間一定というところは少なく、かつ保線の状態も国鉄の比でないため、車輛の動揺振動がはなはだしく、たえず列車は加速減速を繰返し、圧力計にこの影響とみなされる波がでることが予備調査の結果判明したので、まず基準的な走行抵

(1) 経営部作業科機械研究室長 (2)~(5) 経営部作業科機械研究室員

抗を求める意味で路線は勾配の変化がなく、かつ直線路が多い区間で、試験に使う貨車を待機させておく側線が最寄にあるところを選ぶことにした。

2. 試験計画

林鉄は主として往きは空車、復えりは積車で運用されているから、その走行抵抗も空車と積車ごとに試験を行うことにした。

路線の乾湿による影響については、曲線部通過の際に散水するのをよくみるし、路面に露が降りた時などに列車暴走の事故がよくあるので、路面に散水した場合と乾燥している場合について試験を行うことにした。

つぎに速度による抵抗値の変化は、国有鉄道その他で発表されたものはみな 20 km/h 以上のものであるが、林鉄で普通用いられる速度は 5~20 km/h であるので、5, 10, 15, 20 km/h の4水準の速度で試験を行うことにした。

また、上松運輸営林署においては軸受も滑り軸受と転り軸受の2種があり、車体も木製のものと鉄製のものがあるので、それぞれの種類について試験を行うことにした。

このほかに路面に氷が張っている場合とか、草をおしつぶした場合とか、夏と冬のように気温の異なつた場合とか、従来の経験から走行抵抗値に大きな変化があると考えられる要因もあるが、今回は通常頻繁に現われる要因について試験を行うことにした。

いま抵抗値の平均を μ 、空車と積車すなわち重量による影響を α 、路面の乾燥している場合と散水している場合による影響を β 、滑り軸受と転り軸受と軸受による影響を γ 、木製と鉄製による影響を δ とし、それぞれ前者を 0、後者を 1 で表わし、速度による影響を kx なる速度 x の函数で表わし、抵抗値 y の構造を次のように仮定する。

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + kx_{ijkl} + \varepsilon_{ijkl} \dots \dots \dots (\text{上松運輸の場合})$$

ただし i, j, k, l は 0 または 1

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + kx_{ij} + \varepsilon_{ij} \dots \dots \dots (\text{三股の場合})$$

以上のごとく考えると、この試験は上松運輸の場合を例にとると 2^4 型の実験となる。すなわち、繰返えしを2回とし、速度を4水準にして各組合わせを試験することになると全実験回数は128回となり、試験期間は4日を要することになる。ゆえに、試験期間中における不慮の誤差を均等に配分する考慮から、あらかじめ各要因の組合わせを4群に分けて、主効果は試験日に交絡しないよう第1表のような試験計画を樹てた。すなわち、各測定日の組合わせは4で、速度はそれぞれ4水準あるから、16種類の測定を行うことになり、その順序は当初はランダムに行つたが、供試車の入替えに多大の手間と時間を食うこ

第1表 試験計画

試験日	第1日				第2日				第3日				第4日			
組合わせ	空	乾	玉	木	積	乾	面	木	積	乾	玉	木	空	乾	面	木
	積	乾	面	鉄	空	乾	玉	鉄	空	乾	面	鉄	積	乾	玉	鉄
	空	湿	面	木	積	湿	玉	木	積	湿	面	木	空	湿	玉	木
	積	湿	玉	鉄	空	湿	面	鉄	空	湿	玉	鉄	積	湿	面	鉄

備考 空は空車、積は積車；乾は路面乾燥、湿は同湿潤；玉は転り軸受、面は滑り軸受；
木は木製貨車、鉄は鉄製貨車

とと、測定期日に制限がある上に測定計器の故障や天候に災されて、計画どおりに試験を実施することは断念せざるを得なくなり、各供試車はいつたん連結すると4水準の速度で全部試験を行うことにした。ただし速度はランダムに選ぶようつとめた。

3. 測定法

1) 測定を行えるように設備した測定用貨車をガソリン機関車で牽引し、この測定用貨車と供試車との間に油圧筒を入れて連結し(写真1, 2), 測定用貨車の一方の車軸に取り付けた駆動ピンの回転により工進精工所製記録積算速度計 KS—6 を動かし、走行中の速度を自記々録させ、同時にこの駆動装置からさらに試験区間を走行する間に一回転するドラムに油圧筒の圧力を自記させるようにした圧力計を取り付けた(第1図, 写真3, 4, 5, 6)。速度ならびに圧力の自記々録紙に測定地点をしるす電磁式チェッカーを用意し(第2図), 10 m ごとに試験区間に立てた杭を通過するごとに測定員がボタンを押して、記録紙にマークした。

2) 試験中の走行速度は所定の速度で等速運転するよう運転手に運転要領を会得させ、試験区にはいる前に速度により異なるが充分の助走区間を設け、試験区にはいつてからの速度の変化はなるべく少なくするよう努めた。

3) 路面の散水は制動手2名が行うことにし、如露でそれぞれ軌条に散水することにした(写真7)。散水した路面の状態は充分ぬれた時の状態を呈していた。

4) また、試験開始直前、制輪子が車輪に接触していないよう特に注意した。



写真1. 油圧筒

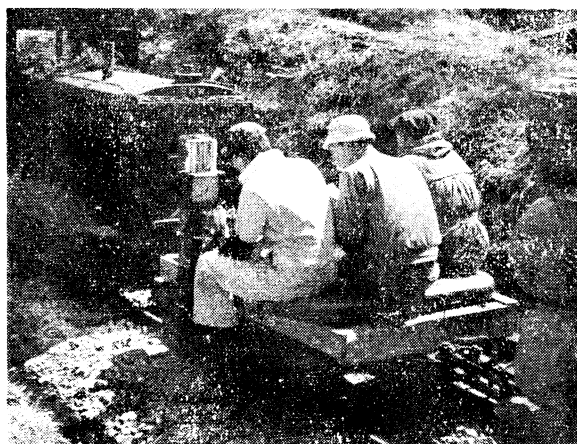


写真2. 測定用貨車

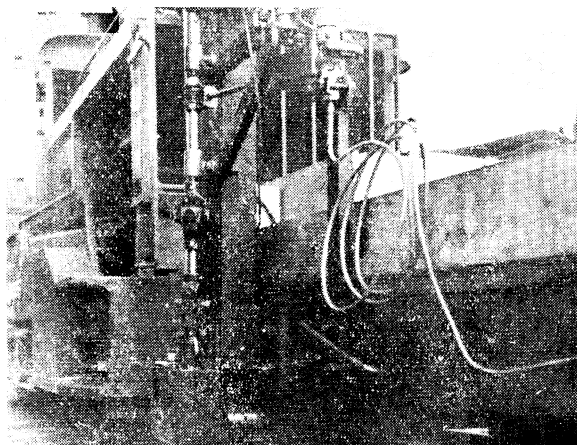
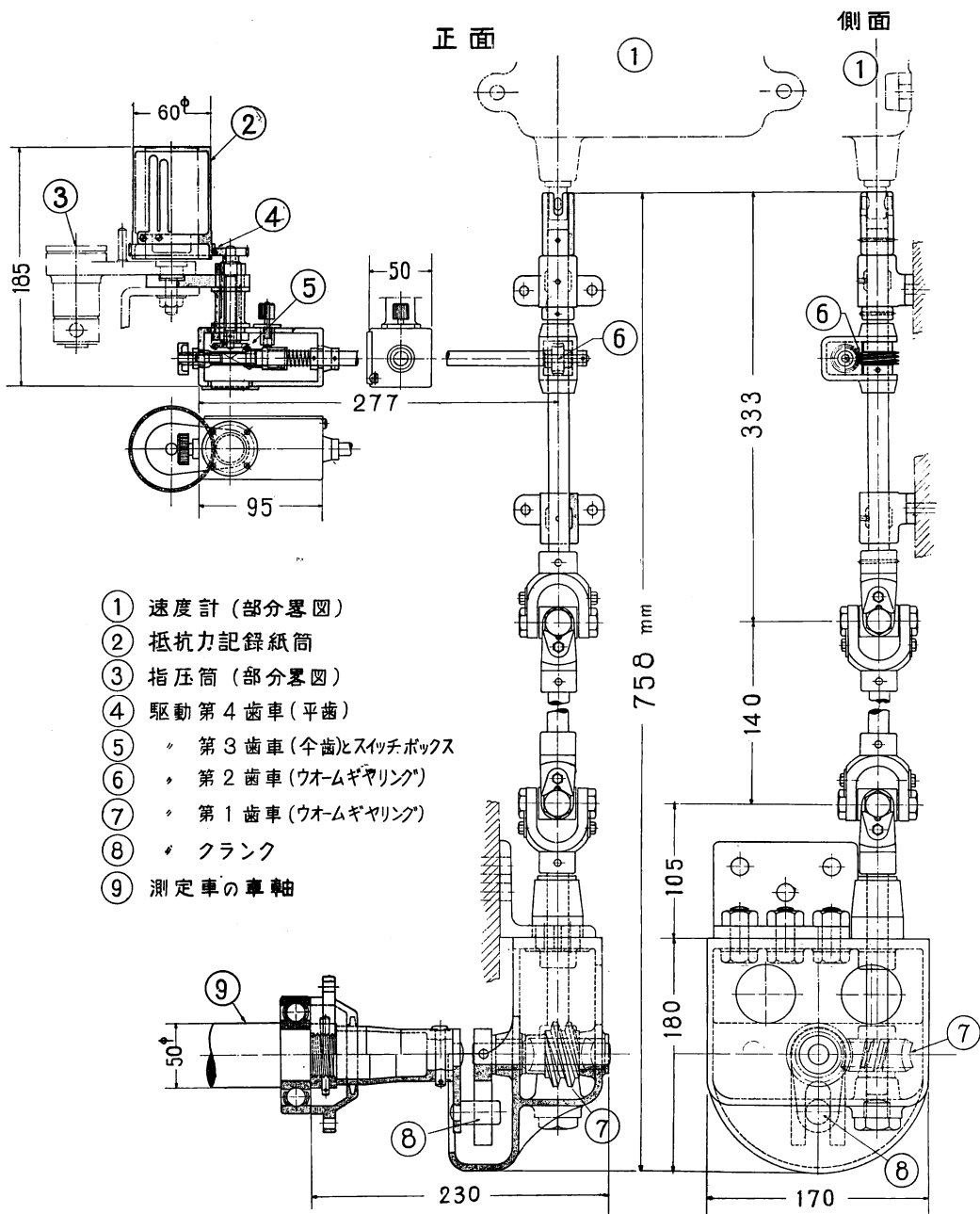
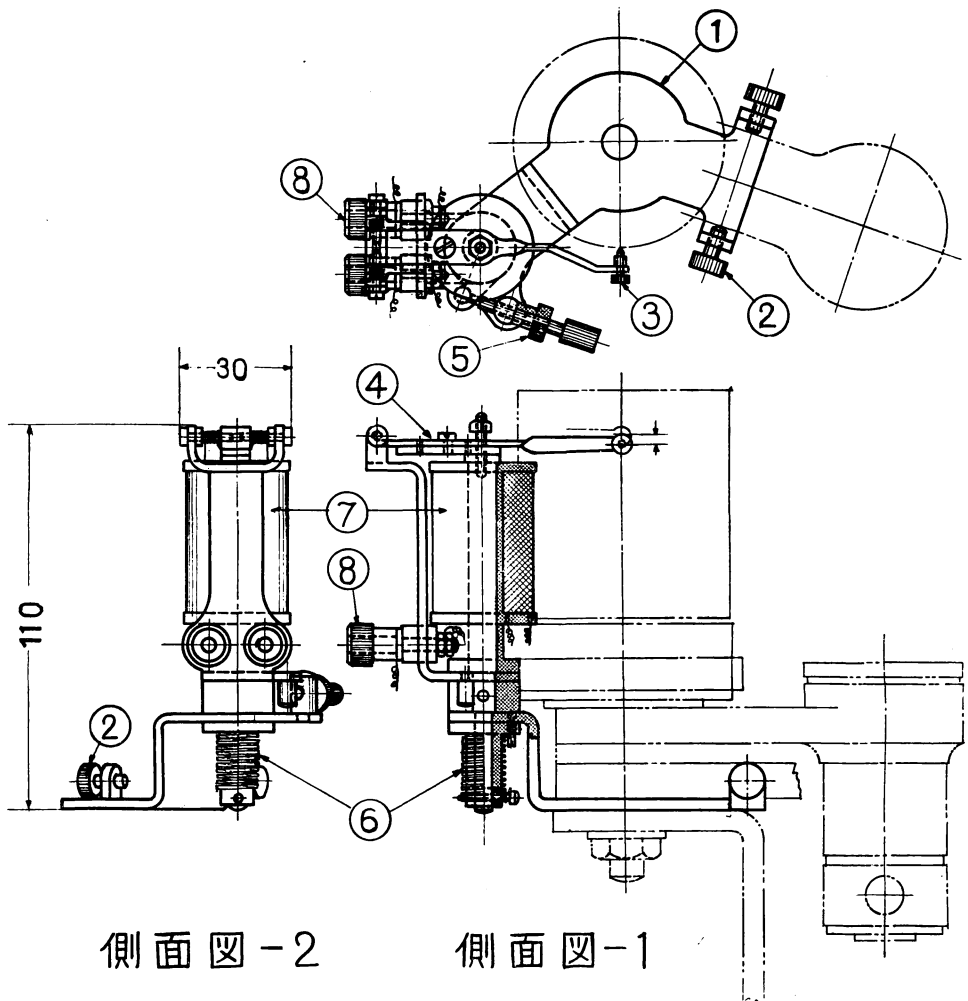


写真3. 駆動装置



第1図 速度と抵抗力記録計器駆動装置図

平面図



側面図-2

側面図-1

- ① 支持棒
- ② " 固定ボルト
- ③ ペン（金属針）
- ④ " ホルダー（電磁接点）
- ⑤ " 圧面加減ボルト，ナット
- ⑥ " " スプリング
- ⑦ 電磁コイル部分
- ⑧ 電線タミナール

第2図 電磁式チェッカー



写真 4. 記録積算速度計
工進精工所製 KS—6

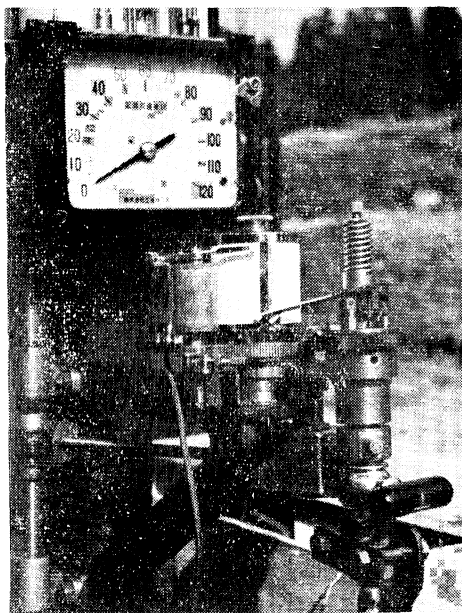


写真 5. 自記圧力計および
電磁式チェッカー

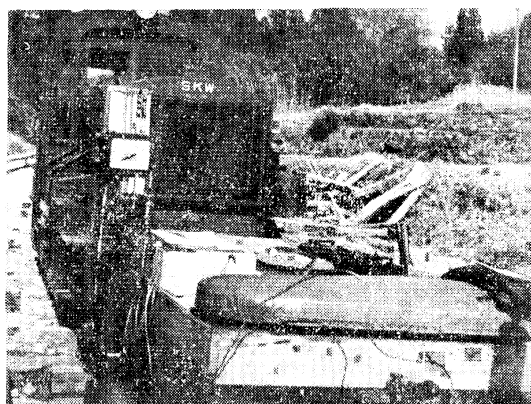


写真 6. 測定計機の概要



写真 7. 散水状況

5) 供試車はあらかじめ検車係において標準的なものを選定準備しておいてもらい、上松運輸営林署においては3車連結(1車とは2輛連結をいう)、三殿営林署においては2車連結とし、積車は約20石積とした。また、三殿営林署においては空車積車

ごとに供試車を2列車準備し、積車の積荷は空車に積み替え、各供試車ごとに空車積車の試験を行つた。

4. データの取纏め要領

直線路運行中の列車抵抗は勾配抵抗と走行抵抗に分けられるが、同一貨車が同一路線を走る時に速度を変えたり、または路面の状態を乾湿に変えた場合におこる列車抵抗の変化は勾配抵抗は一定であるから、

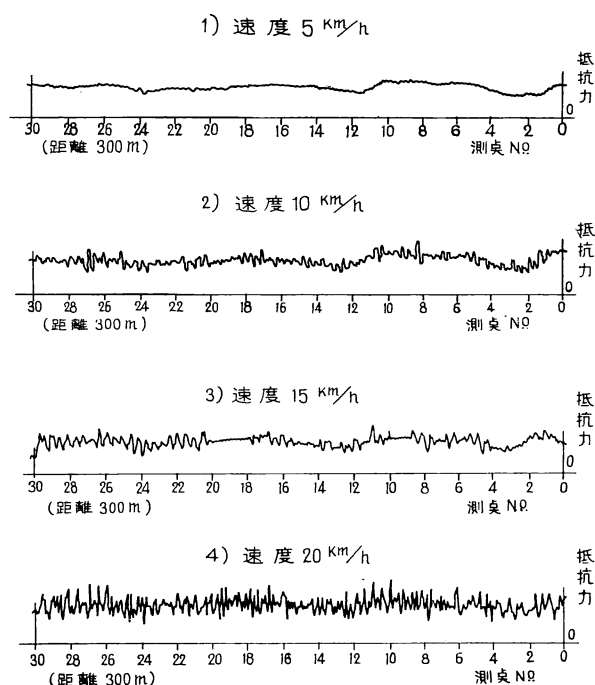
その変化は走行抵抗の変化によるものと考えられる。しかして試験区の路線は最良に近いものを選んだつもりだったが、試験中の速度は理想的な等速運転はなされず、たえず加減速の小さな変化が速度計にあらわれていた。これはレールの継目を渡る時の振動が牽引車に負荷を及ぼし、そのあおりで等速運転がくずれるための影響と考えられるが、走行中はほとんど列車のどこかの部分がこの継目を渡っているのであるから、理想的な力行等速運転をしているデータを求めることは困難であり、ほぼ力行等速運転をしているデータを集めても欠足値が多くなり、本試験の目的である前記各要因の効果を求める上に支障をきたすことと、路線の勾配を $1m$ ごとに調査したところ、かなり勾配の変化があることがわかつたので、等速運転中の特定箇所からのデータから走行抵抗を求めることは無理であると考えた。

そこで同一貨車のデータだけをとつてみてゆくと、 5 km/h の抵抗はおおむね振動も少なく、ほぼ線状に自記され、勾配抵抗線図によく合致した抵抗の変化がみられるので、さらに速度の速いデータについてみてゆくと、最も上下に大きな変動を示している 20 km/h の抵抗も、その振巾は 5 km/h の抵抗変化線図を中心に上下していることが各供試車についていえることが認められた（第3図）（試験中乗務員の重量は各供試車とも同一とした）。ゆえに各供試車の 5 km/h のデータを基準型として、これに対して速度の異なる同一供試車のデータを透視して 5 km/h の抵抗の変化に極力合致するようその振巾の中心をもつてゆき、その時の抵抗の零線の差を読みとつた。この差はすなわち速度による影響とみなされる。同様にして同一供試車のレール乾燥の場合と湿の場合の 5 km/h のデータの差を求めれば、この差は乾湿の影響とみ

なされる。この総抵抗差の値を求め、供試車重量にて除し、 t 当り kg の値にすれば速度ならびに乾湿による抵抗係数の影響は求められる。

次に供試車間の差は基準型（ 5 km/h ）のデータをなるべく細分割して、その圧力から抵抗値を求め、これを t 当り kg の抵抗線図に書き改め、前の要領で透視して零線の差を読みとれば、任意の供試車を基準においた場合の各供試車間の抵抗差は t 当り kg で求められる。

最後にこの基準供試車の抵抗線図の変化と路線調査により求めた勾配抵抗線図とを透視し、両図の抵抗線が合致したところの零線の差を読みとれば、これが基準供試車の平均走行抵抗となる。



昭和 29.8.25

積車・木製・滑り軸受・レール面湿・
総重量 $15,430\text{ kg}$

第3図 走行抵抗力の記録例

Ⅲ 上松運輸営林署における試験

1. 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2種で、それぞれ軸受は黄銅軸受とテ

第2表 試験貨車諸元

種別略号	諸 元					摘 要
	全 長 mm	軸 巨 mm	軌 間 mm	車輪直径 mm	軸 受 種 号	
面 木	2200 台枠1700	700	760	305 チル鑄鉄	黄 銅 軸 受	ボギー運材用鉄製回転荷台付
面 鉄	2360 台枠1830	813	"	"	"	
玉 木	2049 台枠1780	700	"	"	テーパーローラー # 30212	
玉 鉄	1990 台枠1660	700	"	"	"	

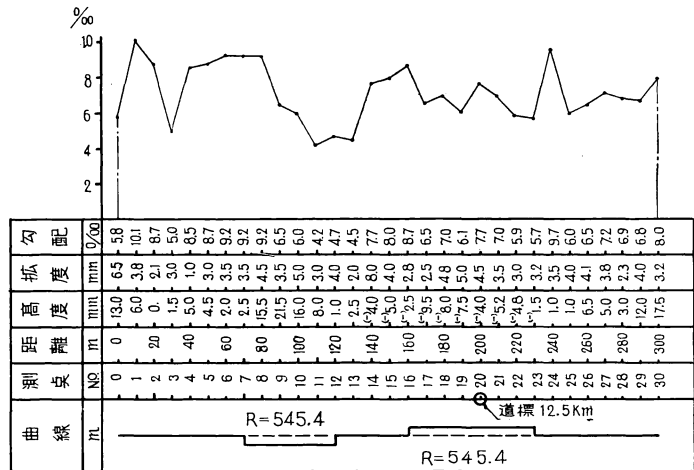
第3表 供試車自重ならびに積荷重量

供試車種別	空 車		積 車						摘 要	
	自 重 kg	車番号	自 重 kg	積荷重量 kg	合 計 kg	備 考			車 長 (m)	
						材積(石)	本数	車番号	空 車	積 車
面 木	630	243	720							
	620	249	740	3,600	5,060	19.17	17	311 76		
	650	278	700							
	680	51	740	3,600	5,040	17.47	9	658 268		
	670	428	670	4,000	5,330	18.49	11	89 712		
計	3,910		4,230	11,200	15,430	55.13	37		12.75	15.95
面 鉄	720	1229	860							
	700	1230	840	3,900	5,600	18.05	9	1161 1023		
	790	1218	820							
	750	1018	760	4,700	6,280	16.45	9	1147 1182		
	760	1088	760							
計	4,440		4,780	12,000	16,780	53.55	30	1029 1228	13.70	15.90
玉 木	680	794	740							
	650	314	740	3,900	5,380	18.65	14	411 783		
	690	149	740							
	660	437	740	4,500	5,980	18.27	11	731 494		
	530	288	650	4,000	5,330	19.17	8	5 736		
計	3,740		4,290	12,400	16,690	56.09	33		11.75	16.80
玉 鉄	700	1300	700							
	720	1299	690	4,200	5,590	18.96	17	1301 1302		
	700	1274	720							
	720	1273	700	4,100	5,520	18.95	20	1294 1293		
	740	1284	690							
計	4,280		4,160	12,600	16,760	56.67	47	1237	11.40	15.43

ーパーローラー軸受の各一種で、その主要諸元および形状は第2表および Plate 1, 2 のとおりである。また、供試車の自重ならびに積荷重量は第3表のとおりである。

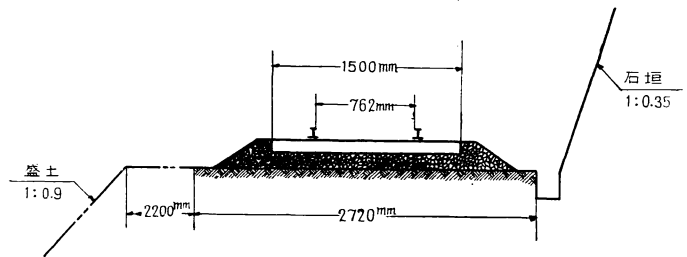
2. 試験路線

選定した試験路線は王滝線の道標 12.5 km の前後 300 m の区間で、その前後に直線路に近い約 80 m の助走ならびに惰走区間をもち、かつ供試車を退避させておく側線が近所にあるなど試験を円滑に行う上の条件がほぼ備わつたところである。幸い王滝線としては保守の状況が標準的な路線とみなされ、直線部分があり、勾配も 7/1,000 前後の路線である。路線の状態は第4図ならびに Plate



場所 上松運輸営林署王滝線（道標 12.5 km 付近）

第4図 試験路線図



試験当時の王滝線 12.5 km 地点

第5図 鉄道構造図

3のとおりであり、レールの重量は 12 kg/m である。また、鉄道の構造は第5図のとおりである。

3. 試験要領

試験順序は II—2 で述べたごとく当初計画したとおりにできなかった。その順序等試験の概要を示すと第4表のとおりである。

4. 試験成績

前記要項による各種試験のデータを II—4 の要領で空車、積車別に纏めると第5表、第6表のようになる。

1) 空車

今、空車の走行抵抗の平均値を μ 、路面の乾湿による影響を α_i とし、乾は α_1 、湿は α_2 であらわす。同様に木車・鉄車による影響を τ_j とし、軸受の玉軸受・面軸受による影響を γ_k とし、それぞれ j, k は前者は 1、後者は 2 とする。交互作用は無視し速度 x の一次関数として、空車走行抵抗値 y の構造を次のように考える。

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \gamma_k + bx_{ijkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

$$(i=1, 2 \quad j=1, 2 \quad k=1, 2 \quad l=1, 2, \dots, 10)$$

第 4 表 試 驗 要 項

試 驗 種 目	速 度 順 序	試 驗 貨 車			試 驗 条 件			
		自 重 <i>kg</i>	積 荷 <i>kg</i>	總重量 <i>kg</i>	年 月 日	天 候	時 刻	溫度 (°C)
空 湿 面 木	5, 15, 10, 20, 25	3,910		3,910	1954. 8. 21.	晴	時 分 時 分 7.24~ 8.55	21~22
空 乾 玉 木	5, 20, 15, 10, 25	3,740		3,740	"	"	9.25~10.30	23~24
空 乾 面 鉄	10, 20, 5, 15, 25	4,440		4,440	"	"	11.37~13.36	26~29
空 乾 面 木	5, 15, 20, 10, 25	3,910		3,910	"	"	14.20~15.36	27~25
積 乾 玉 鉄	10, 5, 15, 20	4,160	12,600	16,760	1954. 8. 22.	"	7.20~ 8.30	21~21
積 湿 玉 鉄	10, 15, 5, 20	4,160	12,600	16,760	"	"	9.31~11.24	23~26
空 乾 玉 鉄	10, 5, 20, 15, 25	4,280		4,280	"	"	13.27~14.15	27~29
空 湿 玉 鉄	5, 15, 25	4,280		4,280	"	"	15.47~16.20	28
同 上	10, 20	"		"	1954. 8. 23.	"	9.10~ 9.15	22
空 湿 玉 木	10, 15, 5, 20, 25	3,740		3,740	"	"	9.25~11.20	26
空 湿 面 鉄	5, 15, 10, 25, 20	4,440		4,440	"	"	13.30~14.25	25
積 乾 面 鉄	5, 10, 15, 20	4,780	12,000	16,780	1954. 8. 25.	"	5.00~ 7.40	24~22
積 湿 面 鉄	20, 15, 10, 5	4,780	12,000	16,780	"	"	8.20~11.13	23~25
積 乾 面 木	20, 15, 10, 5	4,230	11,200	15,430	"	"	11.53~13.35	25
積 湿 面 木	20, 10, 15, 5	4,230	11,200	15,430	"	"	13.50~15.05	25
積 乾 玉 木	5, 10, 15, 20	4,290	12,400	16,690	1954. 8. 26.	"	5.20~ 6.20	—
積 湿 玉 木	5, 10, 15, 20	4,290	12,400	16,690	"	"	6.25~ 7.40	—

第 5 表 空 車 走 行 抵 抗 (kg/t)

種 別	デ ー タ		速 度 水 準 5 km/h		10 km/h		15 km/h		20 km/h		25 km/h	
				平均速度		平均速度		平均速度		平均速度		平均速度
空 湿 玉 木	10.10	5.9	9.44	11.5	12.42	18.8	11.09	19.2	15.08	22.0		
	(10.10)	(5.9)	10.10	11.6	12.76	16.0	14.41	20.7	16.41	21.5		
空 湿 玉 鉄	8.75	6.6	7.58	11.0	10.50	14.9	11.67	19.2	(14.00)	(21.8)		
	(8.75)	(6.6)	13.13	12.0	13.43	16.3	12.55	19.7	14.00	21.8		
空 湿 面 木	10.55	6.0	14.71	11.5	15.67	15.1	17.90	19.9	15.35	22.0		
	(10.55)	(6.0)	14.71	10.7	(15.67)	(15.1)	16.95	19.9	14.71	19.3		
空 湿 面 鉄	13.00	6.7	13.00	11.0	16.43	16.0	17.58	18.3	21.00	21.5		
	(13.00)	(6.7)	13.00	10.4	15.86	18.6	18.15	18.9	15.57	21.5		
空 乾 玉 木	7.06	5.9	11.11	8.4	10.10	15.0	11.79	19.8	12.47	22.5		
	7.39	5.9	10.10	9.9	10.10	15.1	11.11	19.7	12.47	22.1		
空 乾 玉 鉄	9.34	6.2	11.12	11.4	14.37	16.6	13.49	19.8	12.59	22.2		
	8.75	6.3	10.23	11.7	12.30	15.8	12.30	20.0	13.78	21.7		
空 乾 面 木	10.55	6.3	11.19	11.7	10.55	15.2	13.75	19.9	13.75	22.0		
	10.55	6.0	10.55	11.4	13.75	15.1	10.87	20.6	13.11	22.2		
空 乾 面 鉄	11.57	5.9	13.86	9.7	15.00	16.8	13.86	18.5	13.57	22.1		
	12.14	5.9	13.00	9.4	14.14	16.9	13.86	18.6	15.00	22.2		

ただし () 書は欠足値を補充したもの。

第5表のデータを用い最小二乗法により各因子を推定する²⁾。

(1) X 表

μ	乾 α_1	湿 α_2	木 τ_1	鉄 τ_2	玉 γ_1	面 γ_2	β	デ ー タ
1		1	1		1		5.9	10.1
1		1	1		1		5.9	10.1
1		1	1		1		11.5	9.4
1		1	1		1		11.6	10.1
1		1	1		1		18.8	12.4
1		1	1		1		16.0	12.8
1		1	1		1		19.2	11.1
1		1	1		1		20.7	14.4
1		1	1		1		22.0	15.1
1		1	1		1		21.5	16.4
1		1		1	1		6.6	8.8
1		1		1	1		6.6	8.8
1		1		1	1		11.0	7.6
1		1		1	1		12.0	13.1
1		1		1	1		14.9	10.5
1		1		1	1		16.3	13.4
1		1		1	1		19.2	11.7
1		1		1	1		19.7	12.6
1		1		1	1		21.8	14.0
1		1		1	1		21.8	14.0
1		1	1			1	6.0	10.6
1		1	1			1	6.0	10.6
1		1	1			1	11.5	14.7
1		1	1			1	10.7	14.7
1		1	1			1	15.1	15.7
1		1	1			1	19.9	17.9
1		1	1			1	19.9	17.0
1		1	1			1	22.0	15.4
1		1	1			1	19.3	14.7
1		1	1			1	15.1	15.7
1		1		1		1	6.7	13.0
1		1		1		1	6.7	13.0
1		1		1		1	11.0	13.0
1		1		1		1	10.4	13.0
1		1		1		1	16.0	16.4
1		1		1		1	18.3	17.6
1		1		1		1	18.6	15.9
1		1		1		1	18.9	18.1
1		1		1		1	21.5	21.0
1		1		1		1	21.5	15.6
1	1		1		1		5.9	7.1
1	1		1		1		5.9	7.4
1	1		1		1		8.4	11.1
1	1		1		1		9.9	10.1
1	1		1		1		15.0	10.1
1	1		1		1		15.1	10.1
1	1		1		1		19.8	11.8
1	1		1		1		19.7	11.1
1	1		1		1		22.5	12.5
1	1		1		1		22.1	12.5
1	1			1	1		6.2	9.3
1	1			1	1		6.3	8.8
1	1			1	1		11.4	11.1
1	1			1	1		11.7	10.2
1	1			1	1		16.6	14.4
1	1			1	1		15.8	12.3
1	1			1	1		19.8	13.5
1	1			1	1		20.0	12.3
1	1			1	1		22.2	12.6
1	1			1	1		21.7	13.8

μ	α_1	α_2	τ_1	τ_2	γ_1	γ_2	β	デ - タ
1	1		1			1	6.3	10.6
1	1		1			1	6.0	10.6
1	1		1			1	11.7	11.2
1	1		1			1	11.4	10.6
1	1		1			1	15.2	10.6
1	1		1			1	15.1	13.8
1	1		1			1	19.9	13.8
1	1		1			1	20.6	10.9
1	1		1			1	22.0	13.6
1	1		1			1	22.2	13.1
1	1			1		1	5.9	11.6
1	1			1		1	5.9	12.1
1	1			1		1	9.7	13.9
1	1			1		1	9.4	13.0
1	1			1		1	16.8	15.0
1	1			1		1	16.9	14.1
1	1			1		1	18.5	13.9
1	1			1		1	18.6	13.9
1	1			1		1	22.1	13.6
1	1			1		1	22.2	15.0

(2) A 表 (正規方程式)

m	a_1	a_2	t_1	t_2	c_1	c_2	b	=	1
80	40	40	40	40	40	40	1,190.5 (x...)	1,017.0 (y...)	
40	40		20	20	20	20	592.4 (x _{1..})	477.0 (y _{1..})	
40		40	20	20	20	20	598.1 (x _{2..})	540.0 (y _{2..})	
40	20	20	40		20	20	593.3 (x _{..1})	491.5 (y _{..1})	
40	20	20		40	20	20	597.2 (x _{..2})	525.5 (y _{..2})	
40	20	20	20	20	40		599.0 (x _{..1})	458.5 (y _{..1})	
40	20	20	20	20		40	591.5 (x _{..2})	558.5 (y _{..2})	
1,190.5	592.4	598.1	593.3	597.2	599.0	591.5	20,377.17 (Σx^2)	15,854.54 (Σxy)	
(付加)	1	1							0
			1	1					0
					1	1			0

 (3) 方程式 Σxy から b 以外の未知数を追出すと

$$b = \frac{\Sigma xy - \frac{1}{40}(\Sigma x_{i..} y_{i..} + \Sigma x_{.j.} y_{.j.} + \Sigma x_{..k} y_{..k}) + \frac{1}{40} x_{...} y_{...}}{\Sigma x^2 - \frac{1}{40}(\Sigma x_{i..}^2 + \Sigma x_{.j.}^2 + \Sigma x_{..k}^2) + \frac{1}{40} x_{...}^2} = 0.2720335 \dots$$

b を用いて

$$\begin{cases} m = \frac{1}{80}(y_{...} - bx_{...}) = 8.6643 \\ a_1 = \frac{1}{80}\{(y_{1..} - y_{2..}) - b(x_{1..} - x_{2..})\} = -0.7681 & \therefore a_2 = 0.7581 \\ t_1 = \frac{1}{80}\{(y_{..1} - y_{..2}) - b(x_{..1} - x_{..2})\} = -0.4117 & \therefore t_2 = 0.4117 \\ c_1 = \frac{1}{80}\{(y_{..1} - y_{..2}) - b(x_{..1} - x_{..2})\} = -1.2755 & \therefore c_2 = 1.2755 \end{cases}$$

$$(4) \text{ 残差平方和 } SS_E = S_E(yy) - \frac{S_E(xy)^2}{S_E(xx)} = 356.26 - \frac{723.54^2}{2,659.74} = 159.43$$

$$\left\{ \begin{array}{l} S_E(yy) = \sum y^2 - \frac{1}{40} (\sum y_{i..}^2 + \sum y_{.j.}^2 + \sum y_{..k}^2) + \frac{y_{...}^2}{40} = 356.26 \\ \text{ただし } S_E(xy) = \sum xy - \frac{1}{40} (\sum x_{i..} y_{i..} + \sum x_{.j.} y_{.j.} + \sum x_{..k} y_{..k}) + \frac{x_{...} y_{...}}{40} = 723.54 \\ S_E(xx) = \sum x^2 - \frac{1}{40} (\sum x_{i..}^2 + \sum x_{.j.}^2 + \sum x_{..k}^2) + \frac{x_{...}^2}{40} = 2,659.74 \end{array} \right.$$

$$\text{自由度 } DF_e = N - (1 + 2 + 2 + 2 + 1) + 3 = 80 - 5 = 75$$

(5) 仮説 $H_0: \beta = 0$ の検定

$$\text{第1段 } SS_E = 159.43, \quad DF_E = 75$$

$$\text{第2段 } SS^0_E = S_E(yy) = 356.26, \quad DF^0_E = N - 4 = 76$$

$$\text{第3段 } SSH = SS^0_E - SS_E = \frac{S_E(xy)^2}{S_E(xx)} = 196.83, \quad DFH = DF^0_E - DF_E = 1$$

$$\text{第4段 } \frac{SSH}{DFH} / \frac{SS_E}{DF_E} = \frac{196.83}{1} / \frac{159.43}{75} = 92.9^{**} > F_{75}^1(0.01)$$

(6) 仮説 $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0$ の検定

$$\text{第1段 } SS_E = 159.43 \quad DF_E = 75$$

$$S_A(yy) = \frac{\sum y_{i..}^2}{40} - \frac{y_{...}^2}{80} = 49.61$$

$$\text{第2段 } S_A(xy) = \frac{\sum x_{i..} y_{i..}}{40} - \frac{x_{...} y_{...}}{80} = 4.49$$

$$S_A(xx) = \frac{\sum x_{i..}^2}{40} - \frac{x_{...}^2}{80} = 0.40$$

$$S_{A+E}(yy) = S_A(yy) + S_E(yy) = 49.61 + 356.26 = 405.87$$

$$S_{A+E}(xy) = S_A(xy) + S_E(xy) = 4.49 + 723.54 = 728.03$$

$$S_{A+E}(xx) = S_A(xx) + S_E(xx) = 0.40 + 2659.74 = 2660.14$$

$$SS^0_E = S_{A+E}(yy) - \frac{S_{A+E}(xy)^2}{S_{A+E}(xx)} = 405.87 - \frac{728.03^2}{2660.14} = 206.62$$

$$DF^0_E = N - 4 = 76$$

$$\text{第3段 } SSH = SS^0_E - SS_E = 47.19$$

$$DFH = DF^0_E - DF_E = 1$$

$$\text{第4段 } \frac{SSH}{DFH} / \frac{SS_E}{DF_E} = \frac{47.19}{1} / \frac{159.43}{75} = 22.2^{**} > F_{75}^1(0.01)$$

(7) 前同様 $H_0: \tau_1 = \tau_2 = 0$ および $H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = 0$ についても検定を行い、これを分散分析表に纏めると次のとおりである。

(8) 以上、各仮説 H_0 は棄却されるので、 $\alpha_i, \tau_j, \gamma_k, \beta$ の推定値を使って各組合せの抵抗値 y_{ijk} の回帰式を求めると次のようになる。

$$\text{乾木玉 } y_{111} = 8.6643 - 0.7681 - 0.4117 - 1.2755 + 0.2720x = 6.209 + 0.272x$$

$$\text{乾木面 } y_{112} = 8.6643 - 0.7681 - 0.4117 + 1.2755 + 0.2720x = 8.760 + 0.272x$$

α, τ, γ の効果を検定するための分散分析表

変動因	自由度	S(xx)	S(xy)	S(yy)	$S(yy) - \frac{S(xy)^2}{S(xx)}$	自由度	不偏分散	分散比
A 間	1	0.40	4.49	49.61				
T 間	1	0.19	1.66	14.45				
C 間	1	0.70	-9.38	125.00				
E(残差)	76	2,659.74	723.54	356.26	SS_E 159.43	75	2.12	
総	79	2,661.03	720.31	545.32				
A + E		2,660.14	728.03	405.87	206.62	76		
Aの効果を検定する行					47.19	1	47.19	22.2**
T + E		2,659.93	725.20	370.71	172.99	76		
Tの効果を検定する行					13.56	1	13.56	6.4*
C + E		2,660.44	714.16	481.26	289.56	76		
Cの効果を検定する行					130.13	1	130.13	61.3**

回帰 β を検定するための分散分析表

変	動	因	平 方 和	自 由 度	不 偏 分 散	分 散 比
A	間	(未 調 整)	49.61	1	—	
T	間	(未 調 整)	14.45	1	—	
C	間	(未 調 整)	125.00	1	—	
回 帰	β	(調整ずみ)	196.83	1	196.83	92.9**
	E		159.43	75	2.12	
総			545.32	79	—	

同様にして

$$\text{乾鉄玉 } y_{121} = 7.032 + 0.272x$$

$$\text{乾鉄面 } y_{122} = 9.583 + 0.272x$$

$$\text{湿木玉 } y_{211} = 7.745 + 0.272x$$

$$\text{湿木面 } y_{212} = 10.296 + 0.272x$$

$$\text{湿鉄玉 } y_{221} = 8.568 + 0.272x$$

$$\text{湿鉄面 } y_{222} = 11.119 + 0.272x$$

ただし x は 5~22 までの値である。また、分散 $V(\theta_{ijk}^*)$ は近似的に次式で求められる。

$$V(\theta_{ijk}^*) = \left\{ 0.05 + \frac{(15-x)^2}{2660} \right\} \times 2.12$$

2) 積 車

前同様積車のデータ第6表について取纏めを行うと次のとおりである。

第6表 積車走行抵抗 (kg/t)

種 別	データ		速度水準 5 km/h		10 km/h		15 km/h		20 km/h	
			平均速度		平均速度		平均速度		平均速度	
積 湿 玉 木	6.9	5.6	6.9	11.1	6.12	16.5	7.54	20.3		
	(6.9)	(5.6)	(5.6)	11.1	6.9	16.6	8.09	20.0		
積 湿 玉 鉄	6.3	6.2	8.3	11.4	7.99	14.7	8.42	20.9		
	(6.3)	(6.2)	6.3	11.0	7.65	14.8	9.29	20.4		
積 湿 面 木	8.1	5.8	9.26	10.7	8.88	16.0	9.69	19.8		
	(8.1)	(5.8)	9.03	10.2	9.07	16.0	11.08	19.8		
積 湿 面 鉄	9.7	5.8	9.7	11.7	10.64	16.5	11.15	21.1		
	(9.7)	(5.8)	9.7	11.8	10.92	16.9	11.48	20.0		
積 乾 玉 木	5.68	5.6	6.9	11.0	6.9	14.4	7.57	19.8		
	5.76	5.5	6.36	10.7	6.9	16.2	6.9	19.5		
積 乾 玉 鉄	6.5	6.5	8.01	10.6	7.18	16.3	7.34	18.5		
	7.15	6.2	7.72	11.1	7.12	14.6	7.74	18.5		
積 乾 面 木	9.26	5.5	9.48	11.0	10.18	16.1	10.42	19.2		
	9.66	5.5	9.66	10.7	9.43	16.3	10.00	19.8		
積 乾 面 鉄	9.7	6.2	10.32	10.4	11.46	16.2	10.91	20.2		
	8.91	6.0	8.65	10.4	11.07	17.3	11.31	19.3		

(1) A 表

m	a ₁	a ₂	t ₁	t ₂	c ₁	c ₂	b	=	l
64	32	32	32	32	32	32	841.2		543.9
32	32		16	16	16	16	415.1		272.1
32		32	16	16	16	16	426.1		271.8
32	16	16	32		16	16	417.7		259.3
32	16	16		32	16	16	423.5		284.6
32	16	16	16	16	32		417.4		227.3
32	16	16	16	16		32	423.8		316.6
841.2	415.1	426.1	417.7	423.5	417.4	423.8	12,873.74		7,345.75
(付加)	1	1							0
			1	1					0
					1	1			0

(2) 解

$$b = 0.102361 \dots \dots$$

$$m = 7.1531$$

$$a_1 = 0.0223$$

$$a_2 = -0.0223$$

$$t_1 = -0.3860$$

$$t_2 = 0.3860$$

$$c_1 = -1.3850$$

$$c_2 = 1.3850$$

$$(3) \quad SS_E = 14.91, \quad DF_E = 64 - 5 = 59$$

$$(4) \quad \text{仮説 } H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0, \quad \tau_1 = \tau_2 = 0, \quad \gamma_1 = \gamma_2 = 0 \text{ および } \beta = 0 \text{ の検定}$$

α, τ, γ の効果を検定するための分散分析表

変動因	自由度	S(xx)	S(xy)	S(yy)	$S(yy) - \frac{S(xy)^2}{S(xx)}$	自由度	不偏分散	分散比
A 間	1	1.89	-0.05	8.49				
T 間	1	0.53	2.30	10.00				
C 間	1	0.64	8.93	124.60				
E	60	1,814.16	185.70	33.92	SS _E 14.91	59	0.25	
総	63	1,817.22	196.88	177.01				
A + E		1,816.05	185.65	42.41	23.44	60		
Aの効果を検定する行					8.53	1	8.53	34**
T + E		1,814.69	188.00	43.92	24.45	60		
Tの効果を検定する行					9.54	1	9.54	38**
C + E		1,814.80	194.63	158.52	137.65	60		
Cの効果を検定する行					122.74	1	122.74	491**

回帰 β を検定するための分散分析表

変	動	因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
A	間	(未調整)	8.49	1	—	
T	間	(未調整)	10.00	1	—	
C	間	(未調整)	124.60	1	—	
回	帰	β (調整済み)	19.01	1	19.01	76.0**
		E	14.91	59	0.25	
総			177.01	63	—	

(5) 以上, 各仮説 H_0 は棄却されるので, $\alpha_i, \tau_j, \gamma_k, \beta$ の推定値を使つて各組合わせの抵抗値 y_{ijk} の回帰式を求めると次のようになる。

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{乾 木 玉} & y_{111} = 5.404 + 0.102x \\ \text{乾 木 面} & y_{112} = 8.174 + 0.102x \\ \text{乾 鉄 玉} & y_{121} = 6.176 + 0.102x \\ \text{乾 鉄 面} & y_{122} = 8.946 + 0.102x \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{ll} \text{湿 木 玉} & y_{211} = 5.360 + 0.102x \\ \text{湿 木 面} & y_{212} = 3.130 + 0.102x \\ \text{湿 鉄 玉} & y_{221} = 6.132 + 0.102x \\ \text{湿 鉄 面} & y_{222} = 8.902 + 0.102x \end{array} \right.$$

また, 分散 $V(\theta_{ijk}^*)$ は近似的に次式で求められる。

$$V(\theta_{ijk}^*) = \left\{ 0.0625 + \frac{(13-x)^2}{1800} \right\} \times 0.25$$

ただし $x = 5 \sim 20$

IV 三殿営林署における試験

1. 貨 車

試験に使用した貨車は現に運材等に使用中のモノコックトロ1種類で, その主要諸元および形状は第7

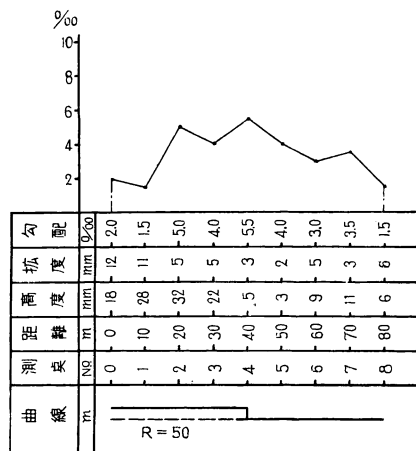
表, Plate 4 のとおりである。また, 供試車の自重ならびに積荷重量は第8表のとおりである。

第7表 試験貨車諸元

	諸 元					摘 要
	全 長 (mm)	軸 巨 (mm)	軌 間 (mm)	車輪直径 (mm)	軸受番号	
モノコックトロ	全長1920 台車1400	700	760	300 鋳鋼	# 2311	ボギー運材用鉄製回転荷台付

第8表 供試車自重ならびに積荷重量

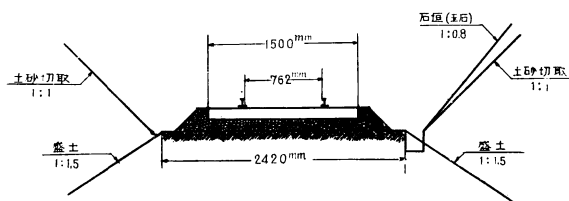
車 番	記 号	空 車		積 車				
		自 重 (kg)	車 長 (m)	積荷重量 (kg)	合 計 (kg)	備 考		
						材積(石)	本数(本)	車長(m)
23—46	I	1140	6.35	3730	4870	17.16	13	11.30
55—56		1090		3050	4140	17.57	7	
	計	2230		6780	9010	34.73	20	
31—33	II	1160	6.35	3430	4590	15.39	7	11.00
59—61		1160		3360	4520	16.05	8	
	計	2320		6790	9110	31.44	15	
42—50	III	1100	6.35	3430	4530	15.39	7	11.00
47—64		1110		3360	4470	16.05	8	
	計	2210		6790	9000	31.44	15	
32—48	IV	1110	6.35	3730	4840	17.16	13	11.35
37—38		1090		3050	4140	17.57	7	
	計	2200		6780	8980	34.73	20	



場所, 三殿営林署与川線 (道標 5 km 付近)
第6図 試験路線図

2. 試験路線

選定した試験路線は与川線の道標 5 km, 勾配 5/1,000 前後の 80 m の区間で, 季節的にちょうど道床の手入の始まった時であつたため, 上松において行つたような選定基準からは大部はずれた路線である。すなわち試験路



三殿試験地 4.8~5.0 km 地点
第7図 鉄道構造図

線区の前半分は半径 50 m の曲線部があり、後半の直線部の試験路線を通過して 10 m でふたたび曲線部があり、道床も 1 週間前に手入が行われたばかりの路線のため、枕木の沈下も不同であり、理想的な試験区ではない。路線の状態は第 6 図ならびに Plate 5 のとおりであり、レールの重量は 9 kg/m である。鉄道の構造は第 7 図のとおりである。

3. 試験要領

試験順序は II—2 で述べたごとく当初計画したとおりにできなかった。その順序等試験の要領を示すと第 9 表のとおりである。

第 9 表 試験要項

試験 種 目	速 度 順 序	試 験 貨 車				試 験 条 件			
		記号	自 重 (kg)	積 荷 (kg)	総重量 (kg)	年 月 日	天候	時 刻	温度 (°C)
積 湿	15, 10, 20, 5	III	2210	6790	9000	1955. 3. 20	晴	時 分 時 分 10.52~14.08	9.5
積 乾	10, 5, 15, 20	III	2210	6790	9000	"	"	15.18~16.01	13.5
積 湿	5, 15, 10, 20	I	2230	6780	9010	1955. 3. 27	"	9.10~10.15	9.0
積 乾	10, 5, 15, 20	I	2230	6780	9010	"	"	10.18~10.54	11.0
空 湿	5, 10, 15, 20	II	2320		2320	"	"	11.23~12.07	14.0
空 乾	15, 10, 20, 5	II	2320		2320	"	"	13.22~13.51	15.5
空 乾	20, 15, 10, 5	IV	2200		2200	"	"	14.00~14.30	15.0
空 湿	5, 10, 20, 15	IV	2200		2200	"	"	14.36~15.17	14.0
空 乾	5, 15, 10, 20	III	2210		2210	1955. 3. 29	曇	9.00~ 9.39	9.5
空 乾	10, 15, 5, 20	I	2230		2230	"	"	9.42~10.12	12.5
積 乾	5, 15, 10, 20	II	2320	6790	9110	"	"	10.21~10.54	12.5
積 乾	5, 10, 20, 15	IV	2200	6780	8980	"	"	11.05~11.50	12.5
空 湿	5, 20, 10, 15	I	2230		2230	"	"	12.55~13.26	12.0
積 湿	5, 15, 20, 10	II	2320	6790	9110	"	晴	13.35~14.10	14.5
積 湿	5, 20, 15, 10	IV	2200	6780	8980	"	"	14.20~14.51	14.0
空 湿	5, 15, 20, 10	III	2210		2210	"	"	15.00~15.37	14.0

なお、上松の試験要項と異なる点は、供試車数が 2 車連結であることと、上松では行わなかつた同一車についての空積別の試験を行つたこと、また同一試験を 4 つの供試車で行つたことである。

4. 試験成績

前記要項による各種試験のデータを II—4 の要領で空車、積車別に纏めると第 10, 11 表のようになる。ただし、空車、積車の走行抵抗 y の平均値を μ 、供試車による影響を α とし、供試車記号 I による効果を α_1 であらわし、一般に α_i とする。i は 1 から 4 までをとる。次に路面の乾湿による影響を τ_j とし、乾は τ_1 、湿は τ_2 であらわす。交互作用は無視し、速度の一次函数として y の構造を次のよう

に考える。

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \beta x_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i=1, 2, 3, 4; \quad j=1, 2; \quad k=1, 2, 3, 4$$

前回同様最小二乗法により各因子を求めると、次のようになる。

1) 空 車

第 10 表 空 車 走 行 抵 抗 (kg/t)

デー タ 種別	速度水準 5 km/h		10 km/h		15 m/h		20 km/h	
		平均速度		平均速度		平均速度		平均速度
I 乾	7.0	5.5	7.0	8.5	7.0	15.0	7.0	17.6
II 乾	7.0	6.2	7.0	12.2	10.0	16.6	9.9	21.2
III 乾	7.0	4.9	7.0	9.3	9.5	16.7	7.0	21.4
IV 乾	5.6	5.5	5.6	7.8	2.8	15.3	5.6	20.3
I 湿	7.3	4.9	7.3	11.1	9.6	15.7	7.6	19.4
II 湿	7.0	4.4	8.5	9.5	12.5	15.5	14.1	19.7
III 湿	7.0	4.4	7.2	11.0	5.7	15.0	10.1	21.0
IV 湿	7.0	4.4	7.0	11.4	8.8	17.3	9.4	21.0

(1) 解

$$\begin{cases} m=5.94 & a_1=-0.19 \\ b=0.1418 & a_2=1.67 \\ t_1=-0.75 & a_3=-0.20 \\ t_2=0.75 & a_4=-1.28 \end{cases}$$

(2) 仮説 $H_0: \alpha_1=\alpha_2=\alpha_3=\alpha_4=0, \tau_1=\tau_2=0, \beta=0$ の検定

α, τ の効果を検定するための分散分析表

変動因	自由度	S(xx)	S(xy)	S(yy)	$S(yy) - \frac{S(xy)^2}{S(xx)}$	自由度	不偏分散	分散比
A 間	3	3.96	5.44	38.39				
T 間	1	0.05	0.98	18.15				
E	27	1,098.94	155.83	78.57	SS _E 56.48	26	2.17	
総	31	1,102.95	162.25	135.11				
A + E		1,102.90	161.27	116.96	93.38	29		
Aの効果を検定する行					36.90	3	12.30	5.6**
T + E		1,098.99	156.81	96.72	74.35	27		
Tの効果を検定する行					17.87	1	17.87	8.2**

回帰 β を検定するための分散分析表

変 動 因	平 方 和	自 由 度	不 偏 分 散	分 散 比
A 間 (未 調 整)	38.39	3	—	
T 間 (未 調 整)	18.15	1	—	
回 帰 β (調整済み)	22.09	1	22.09	10.1**
E	56.48	26	2.17	
総	135.11	31	—	

(3) 以上, 各仮説 H_0 は棄却されるので, α_i , τ_j , β の推定値を使つて各組合わせの抵抗値 y_{ij} の回帰式を求めると次のようになる。

$$\begin{array}{lcl}
 & & \text{分 散} \\
 \left\{ \begin{array}{l}
 \text{I 乾 } y_{11}=5.00+0.142 x \quad \left\{0.156+\frac{(12-x)^2}{1100}\right\} \times 2.17 \\
 \text{II 乾 } y_{21}=6.86+0.142 x \quad \left\{0.156+\frac{(13-x)^2}{1100}\right\} \times 2.17 \\
 \text{III 乾 } y_{31}=4.99+0.142 x \quad \text{同 上} \\
 \text{IV 乾 } y_{41}=3.91+0.142 x \quad \text{同 上} \\
 \text{I 湿 } y_{12}=6.50+0.142 x \quad \left\{0.156+\frac{(12-x)^2}{1100}\right\} \times 2.17 \\
 \text{II 湿 } y_{22}=8.36+0.142 x \quad \left\{0.156+\frac{(13-x)^2}{1100}\right\} \times 2.17 \\
 \text{III 湿 } y_{32}=6.49+0.142 x \quad \text{同 上} \\
 \text{IV 湿 } y_{42}=5.41+0.142 x \quad \text{同 上}
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

ただし x は 5~20 までの値である。

2) 積 車

 第 11 表 積 車 走 行 抵 抗 (kg/t)

データ 種別	速度水準 5 km/h		10 km/h		15 km/h		20 km/h	
		平均速度		平均速度		平均速度		平均速度
I 乾	5.0	5.5	5.0	9.5	6.2	15.7	8.4	21.2
II 乾	5.0	5.3	5.0	9.3	5.0	15.3	6.7	20.7
III 乾	5.0	5.8	5.8	8.8	6.8	13.9	11.2	19.2
IV 乾	5.0	4.3	3.0	9.3	5.8	16.4	5.0	19.9
I 湿	5.0	4.9	5.8	9.7	6.7	15.8	5.0	19.4
II 湿	5.0	4.4	5.0	10.6	6.0	14.8	6.9	21.2
III 湿	7.1	4.4	7.1	8.7	10.0	16.4	12.7	22.2
IV 湿	5.0	5.3	5.0	9.4	6.1	15.3	6.4	20.0

(1) 解

$$\left\{ \begin{array}{ll}
 m=3.95 & a_1=-0.34 \\
 b=0.1797 & a_2=-0.66 \\
 t_1=-0.32 & a_3=2.03 \\
 t_2=0.32 & a_4=-1.03
 \end{array} \right.$$

(2) 仮説 $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0, \tau_1 = \tau_2 = 0, \beta = 0$ の検定

α, τ の効果を検定するための分散分析表

変動因	自由度	S (xx)	S (xy)	S (yy)	$S (yy) - \frac{S(xy)^2}{S(xx)}$	自由度	不偏分散	分散比
A 間	3	0.51	-2.66	44.92				
T 間	1	0.18	0.82	3.71				
E	27	1,122.26	201.66	71.84	SS_E 35.60	26	1.37	
総	31	1,122.95	199.82	120.47				
A + E		1,122.77	199.00	116.76	81.49	29		
A の効果を検定する行					45.89	3	15.29	11.1**
T + E		1,122.44	202.48	75.55	39.03	27		
T の効果を検定する行					3.43	1	3.43	2.5

回帰 β を検定するための分散分析表

変 動 因	平 方 和	自 由 度	不 偏 分 散	分 散 比
A 間 (未調整)	44.92	3	—	
T 間 (未調整)	3.71	1	—	
回 帰 β (調整済み)	36.24	1	36.24	31.9**
E	35.60	26	1.37	
総	120.47	31	—	

(3) 以上, $\tau_1 = \tau_2 = 0$ の仮説を除き各仮説 H_0 は棄却されるので, α_i, β の推定値を使つて各組合せの抵抗値 y_i の回帰式を求めると次のようになる。

$$\begin{array}{lcl}
 & & \text{分 散} \\
 \left\{ \begin{array}{ll} \text{I} & y_1 = 3.61 + 0.180x \\ \text{II} & y_2 = 3.29 + 0.180x \\ \text{III} & y_3 = 5.98 + 0.180x \\ \text{IV} & y_4 = 2.92 + 0.180x \end{array} \right. & \begin{array}{l} \left\{ 0.156 + \frac{(13-x)^2}{1123} \right\} \times 1.37 \\ \left\{ 0.156 + \frac{(13-x)^2}{1123} \right\} \times 1.37 \\ \left\{ 0.156 + \frac{(12-x)^2}{1123} \right\} \times 1.37 \\ \text{同 上} \end{array}
 \end{array}$$

ただし x は 5~20 までの値である。

V 考 察

走行抵抗の絶対値が貨車の総重量に支配されることはいうまでもないが, 貨車 1t 重量当りの抵抗値, すなわち kg/t 単位で示した抵抗係数値に影響をおよぼす主要な因子として路面の乾湿, 走行速度, 軸受の種類, 木車鉄車別を取りあげて各組合せについて試験を行つた結果を最小二乗法によりそれぞれの効果を求め, これを表示すると第 12 表のとおりである。また, これを図示すると第 8, 9 図のとおりである。これらの資料から貨車の走行抵抗値はおおむね下記のとおりである。

第 12 表 各 要 因 の 効 果 (単位 kg/t)

		m	b	レール面		軸受		車体	
				乾	湿	玉	面	木	鉄
空車	木曾型	8.66	0.272	-0.7681	0.7681	-1.2755	1.2755	-0.4117	0.4117
	モノコック	5.94	0.142	-0.75	0.75				
積車	木曾型	7.15	0.102	0.0223	-0.0223	-1.3850	1.3850	-0.3860	0.3860
	モノコック	3.95	0.180	0	0				

1. 貨車重量による影響

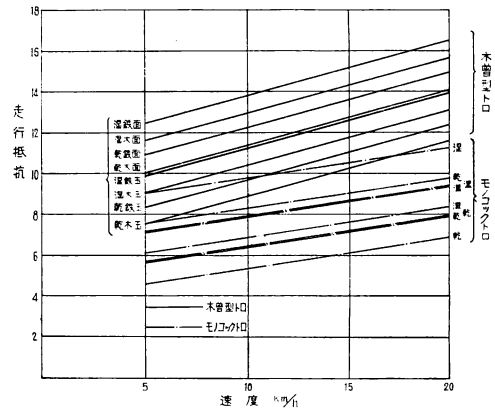
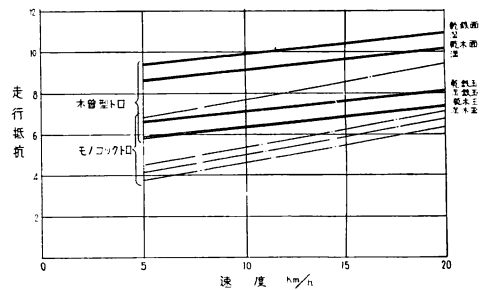
一般に空車の走行抵抗係数は積車のそれより大きいことがわかっているが、本試験においても第 12 表にみるごとく木曾型の 12 kg 軌条試験で空車の m が 8.66 に対し積車の m が 7.15 と約 1.5 kg/t 大きく、モノコックの 9 kg 軌条試験で空車の m が 5.94 に対し積車の m が 3.95 と約 2.0 kg/t 大きい。

2. 走行速度による影響

走行抵抗係数が走行速度に影響されることは国鉄そのほかの文献においても走行抵抗係数を走行速度の 1 次ないし 2 次関数であらわしていることで明らかであるが、本試験の結果を一次の回帰式であらわし、その回帰係数を求めると第 12 表の b 欄のようになる。すなわち木曾型において空車は 0.272、積車は 0.102；モノコックにおいて空車は 0.142、積車は 0.180 となつている。ここに木曾型は空車と積車の差が大きいため空車は速度が 10 km/h 変ると 2.7 kg/t も抵抗を増すが、積車はその影響があまり小さく 1.0 kg/t である。それに比べてモノコックは空車、積車ともほぼ同じぐらいの値をもち、速度が 10 km/h 増すとその抵抗係数値は約 1.5 kg/t 増す。

3. レール面の乾湿による影響

曲線半径の小なる部分を通過する際、牽引抵抗を小ならしめるため散水することは作業軌道等によくみられるところであり、またバラバラ雨で路面がわずかに湿っている時列車の暴走事故等があることに鑑みこの試験を行つた。しかしながらわずかに湿った状態に全試験を通じて均等に路面に散水することは困難であるので、本試験の場合は充分路面が湿っている状態にして行つたものであり、かつ路線は直線路であるため、ただちに目的に則した試験ではない憾みはあるが、その結果は第 12 表の乾湿の欄にみるように、乾湿の差は空車の場合にのみみられ、積車の場合にはほとんど差がみられなかつた。しかして、曲線


 第 8 図 空車走行抵抗 (単位 kg/t)

 第 9 図 積車走行抵抗 (単位 kg/t)

部通過に際して散水することは転動摩擦を軽減することではなく車輪のフランジが軌条の側面ときしる摺動摩擦を少なくするために行われるものと解されるが、空車の場合木曾型もモノコックもともに軌条面が乾の方が軌条面が湿の場合より約 1.5 kg/t 低く、当初の予想とは逆の結果がでた。このことから考えられることは、国鉄貨車のように重量が大きくなるとその影響は現われないが、林鉄特に空車のように重量が小さい場合には林鉄特有のなんらかの原因があつて乾の方が湿の方より抵抗係数が小になるものと考えられる。

4. 車体の木製と鉄製とによる影響

走行中の車体の左右動ならびに上下動の振動に対して、木製貨車は鉄製貨車にくらべて順応性があると常識的に考えられるが、反面軸受が同じ場合には差がないとも考えられる。試験結果は第12表の構造の欄のように木製の貨車は鉄製の貨車にくらべ空車の場合 0.8 kg/t 、積車の場合 0.7 kg/t 、その抵抗係数はそれぞれ低い結果がでたが、さらに試験を重ねて検討を行いたい。

5. 軸受による影響

滑り軸受と転り軸受との差は近來軸受が逐次転り軸受に取り替えられてゆくことでもわかるように、後者の抵抗係数が前者に比し小さい。その差は空車の場合 2.5 kg/t 、積車の場合 2.7 kg/t で走行速度による影響よりも大きい。

6. 木曾型とモノコックとの比較

木曾型とモノコックとの抵抗差を空車、積車別にみると空車において 2.7 kg/t 、積車において 3.2 kg/t と木曾型の方が大きくなっているが、この原因はモノコックを同一路線で同一時期に試験を行わなかつたので、軌条による影響かあるいは車輪の違いによる影響か、または季節の差による影響か不明である。今、これら要因について考察を加えると、

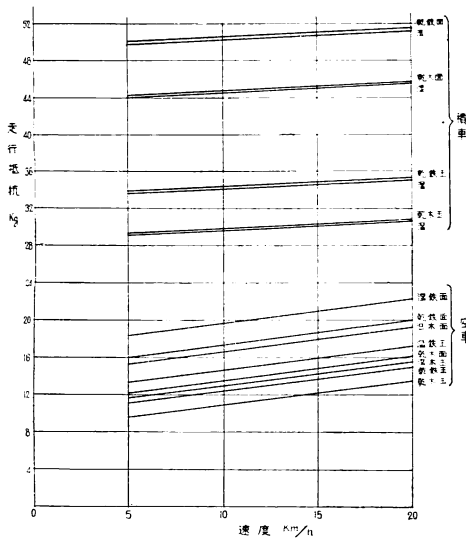
1) 軌条による影響としては軌条の太さが違つて車輪との接触具合が違つていることと、レール面の平滑状態が違つていることが挙げられる。上松の場合路線は毎日10本ぐらゐの列車が往復しているため、国鉄の軌条のように平滑であるのに反し、三股の場合は冬期運材がないため、赤錆が少々でたあまり平滑ではない状態であつたこと、また前者より後者の方が枕木の沈降状態がはなはだしく、特に積車の場合供試車通過に際しそれが顕著にみられたことなど、いろいろ路線の状態は異なつていたが総じて三股のモノコックの路線条件は上松の木曾型に比し悪かつた。

2) 車輪は木曾型はチル鋳鉄であり、モノコックは鋳鋼であるが、林鉄のように曲線部の多い路線では摩擦係数はチル鋳鉄の方が鋳鋼より小とされている¹⁾。

3) 季節による影響は夏季は冬季より小さい値をもち、国鉄の場合その差は約 1.5 kg/t と示されている²⁾。本試験の場合、上松は8月下旬、三股は3月下旬とちようど夏冬における試験であるため、夏試験を行つた木曾型の方が抵抗値は小さく現われているわけである。

以上軌条、車輪、季節と3要因について検討してみると、一見木曾型に有利な条件下で試験が行われているにもかかわらず、モノコックの方が空車、積車ともそれぞれ約 3 kg/t 抵抗係数が小さく現われたことは興味あることである。

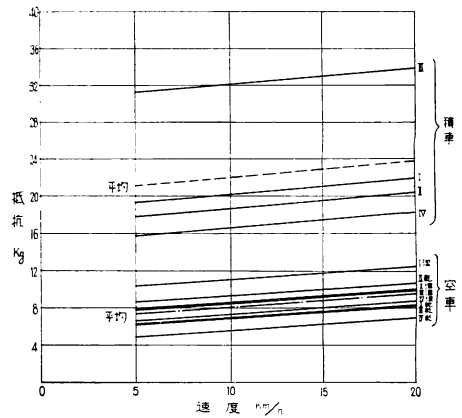
いま、第8、9図においてその t 当り重量に対する抵抗値を比較すると、木曾型の最も低い値をもつ軌条面乾燥、木製、玉軸受の貨車の抵抗線図でもモノコックにくらべると上部にゆく。これを1車当り走行



備考 各車の重量は平均値をとつて次のとおりとする。

貨車の種類	空車 (kg)	積車 (kg)
鉄 面	1,546	5,540
木 面	1,360	5,360
鉄 玉	1,410	5,410
木 玉	1,340	5,340

第 10 図 木曾型トロの 1 車当り走行抵抗 (単位 kg)



備考 各車の重量は平均値をとつて次のとおりとする。

貨車番号	空車 (kg)	積車 (kg)
I	1,115	5,115
II	1,160	5,160
III	1,105	5,105
IV	1,100	5,100

第 11 図 モノコックトロの 1 車当り走行抵抗 (単位 kg)

抵抗の絶対値で比較すると、第 10, 11 図となる。ここに積車の抵抗値は比較を容易にするため積荷は 4t として求めた。両図をみるとモノコックが軽量であるためかなりの差があらわれ、特に滑り軸受の場合と比較すると、木曾型の空車の抵抗値とモノコックの積車の抵抗値とがほぼ相等しく、注目に値する。しかしながら前記要因について検討したとはいえ、あくまで条件の異なつた試験結果を基にして比較したものであるから、にわか結論を下すことは性急であるが、モノコックの抵抗値が木曾型に比し小なることはある程度うかがえる。

Ⅵ 総 括

森林鉄道貨車の抵抗に関する諸事項を明らかにするため上松運輸営林署および三股営林署の鉄道（軌間 762 mm, 軌条 12.9 kg）に試験路線を設定して直線路における牽引抵抗試験を行い、その結果について考察を加えた結果を要約すればおおむね次のとおりである。

1. 夏季 12 kg 軌条を走る木曾型貨車の t 当り重量の抵抗値 すなわち kg/t 単位で示した 走行抵抗係数値 y は一般に速度 x の函数として次の回帰式で与えられる。

$$\text{空 車} \quad y = 8.66 + 0.272x \quad (x = 5 \sim 22)$$

$$\text{積 車} \quad y = 7.15 + 0.102x \quad (x = 5 \sim 20)$$

ただし軌条面が乾いている場合と湿っている場合、軸受が転り軸受である場合と滑り軸受である場合、

車体が木製である場合と鉄製である場合と走行抵抗係数に及ぼす要因の効果は下表のとおりであるから、各組合わせについての個々の走行抵抗係数値は回帰式の第1項（空車の場合 8.66，積車の場合 7.15）にそれらの効果を「+」，「-」して求められる。

空積別	要 因	軌 条 面		軸 受		車 体	
		乾	湿	玉	面	木	鉄
空 車		-0.7681	+0.7681	-1.2755	+1.2755	-0.4117	+0.4117
積 車		+0.0223	-0.0223	-1.3850	+1.3850	-0.3860	+0.3860

備考 単位 kg/t

2. 冬季 9 kg 軌条を走るモノコックトロの走行抵抗係数値は前同様次の回帰式で与えられる。

$$\text{空 車} \quad y = 5.94 + 0.142x \quad (x=5 \sim 20)$$

$$\text{積 車} \quad y = 3.95 + 0.180x \quad (x=5 \sim 20)$$

ただし空車の場合のみ軌条面の乾湿の影響がある。その効果は乾 $-0.75 \text{ } kg/t$ ，湿 $+0.75 \text{ } kg/t$

3. 夏季 12 kg 軌条を走る各種木曾型貨車の 1 車当りの走行抵抗値を図示すると第 10 図のとおりである。

4. 冬季 9 kg 軌条を走るモノコックトロの 1 車当りの走行抵抗値を図示すると第 11 図のとおりである。

5. 木曾型貨車とモノコックトロとの走行抵抗値を比較すると、試験条件が異なつてはいるが概して後者の方がはるかに低い。

文 献

- 1) 藤林 誠・加藤誠平：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，東京大学農学部演習林報告，44，（昭.28）
- 2) 機関車工学会：機関車の構造及理論 下巻，交友社，（昭.25）p. 32
- 3) 森口繁一：共分散分析のための最小二乗法，日本化学会関東支部，（昭.28）p. 13
- 4) 小坂猗二：客貨車工学（上巻），日本機械学会，（昭.23）p. 215

Studies on the Forest-railway. (The First Report)

On the running resistance of a logging train.

Minoru UEDA, Toshihiko SAITO, Mitsugu KAZAMA,

Yasuhiko ISHIBASHI and Kazuo MIMURA

(Résumé)

To obtain some fundamental data on the running resistance of a logging train, the authors performed a traction experiment with the Kiso-type trollies on the straight part of the forest railway under the jurisdiction of the Agematsu Forest Transportation Office in August 1954, and another similar test for the monocoque-type trolley on the railway of the Midono Forest Office in March 1955. In the experiments a gasoline locomotive pulled either empty trollies or full-loaded bogies (about 4 tons). Nearly constant train speeds were selected in the range of 5, 10, 15, and 20 *km/hr*. As other factors which influence the resistance, they took into account whether dry or wet condition of the track, brass or roller bearing type of trolley axles, and wooden or steel make of the trolley frame. Tabulating the experiments and analyzing the results by a statistical method, the following summaries are obtained.

1) For the Kiso-type trolley running on rails of 12 *kg* weight per meter, the resistance is expressed in *kg* per *ton* of car weight by the following experimental formulas.

At no load $y = 8.66 + 0.272x$ *kg/t*

At full load $y = 7.15 + 0.102x$ *kg/t*

where $x = 5 \sim 20$ *km/hr*.

The first term of the righthand side of each expression receives the following effects due to the above-mentioned factors as shown in the table.

Load condition	Factors	State of track		Axle bearing type		Trolley frame make	
		Dry	Wet	Roller	Brass	Wooden	Steel
No load trolley		-0.7681	+0.7681	-1.2755	+1.2755	-0.4117	+0.4117
Full load trolley		+0.0223	-0.0223	-1.3850	+1.3850	-0.3860	+0.3860

2) For the monocoque-type trolley running on the rails of 9 *kg* weight per meter, the resistances are as follows.

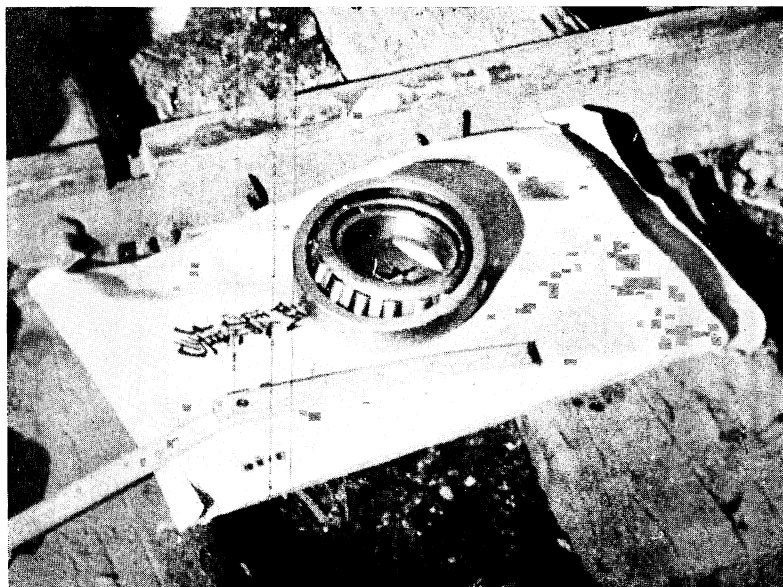
At no load, $y = 5.94 + 0.142x$ *kg/t*

At full load, $y = 3.95 + 0.180x$ *kg/t*

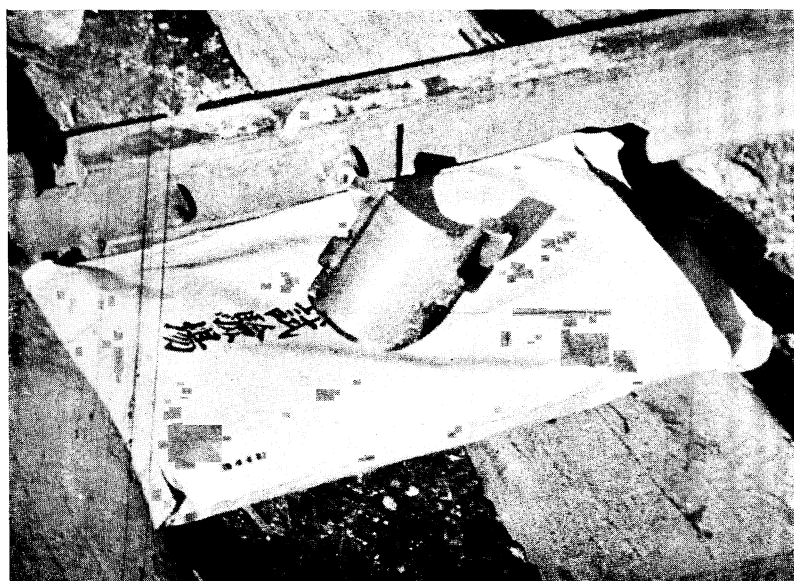
In this case only the effect of track condition on the constant term of the former formula appears, and gives such figures as -0.75 when dry and +0.75 when wet.

3) The above expressions for the Kiso-type and the monocoque-type trollies are graphically shown in Fig. 13 and 14 respectively.

4) It is found that the monocoque-type trolley shows generally a smaller resistance than the Kiso-type, apart from the different conditions and seasons in the experiments.



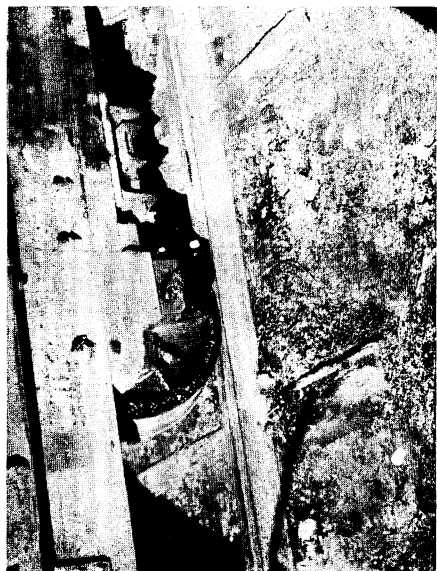
1. テーパーローラー軸受



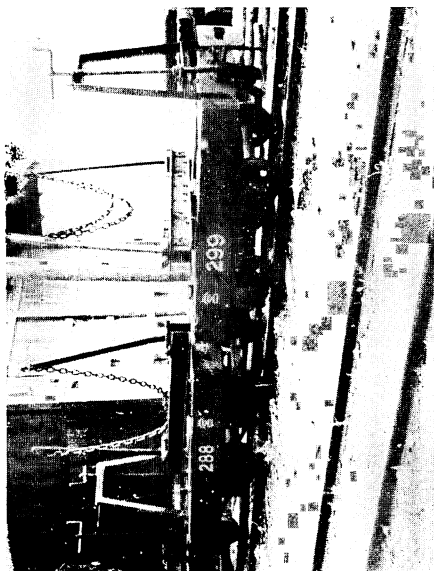
2. 黄銅軸受



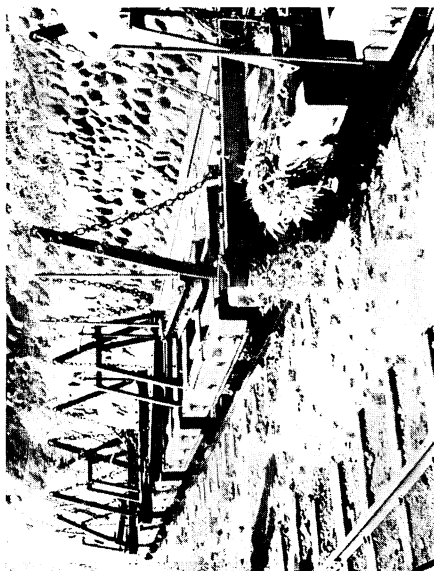
3. 鉄車・玉軸受



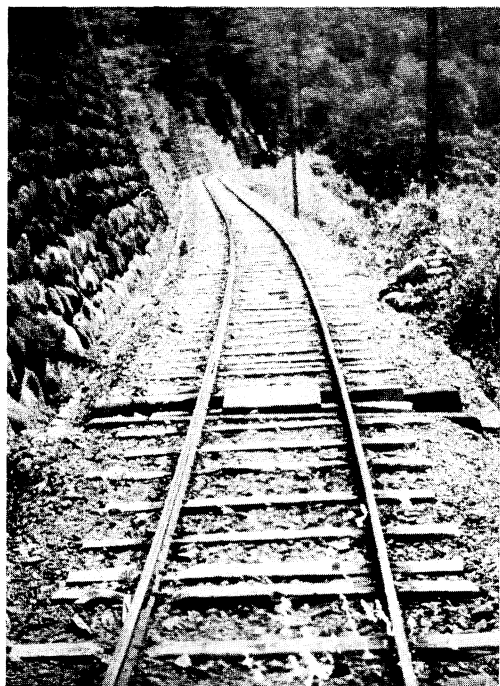
4. 鉄車・面軸受



5. 木車・玉軸受



6. 木車・面軸受



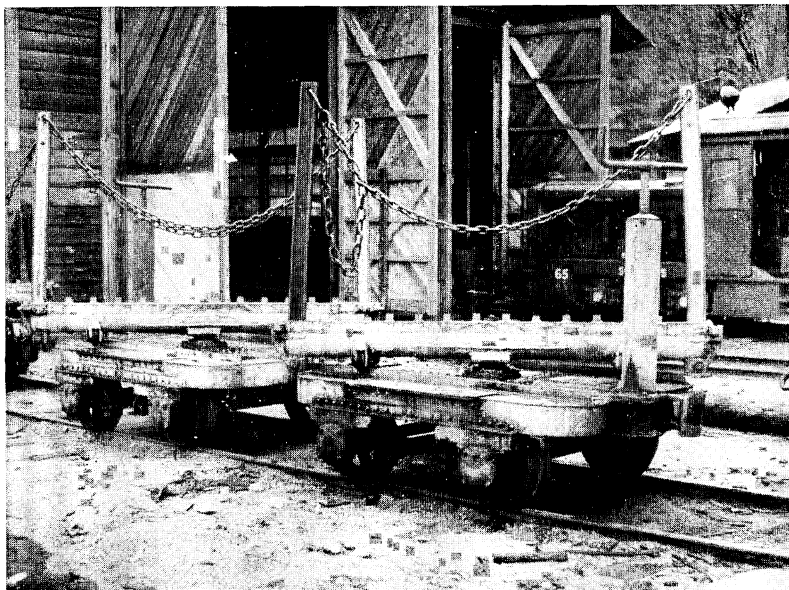
7. 上松運輸營林署王滝線試驗路線



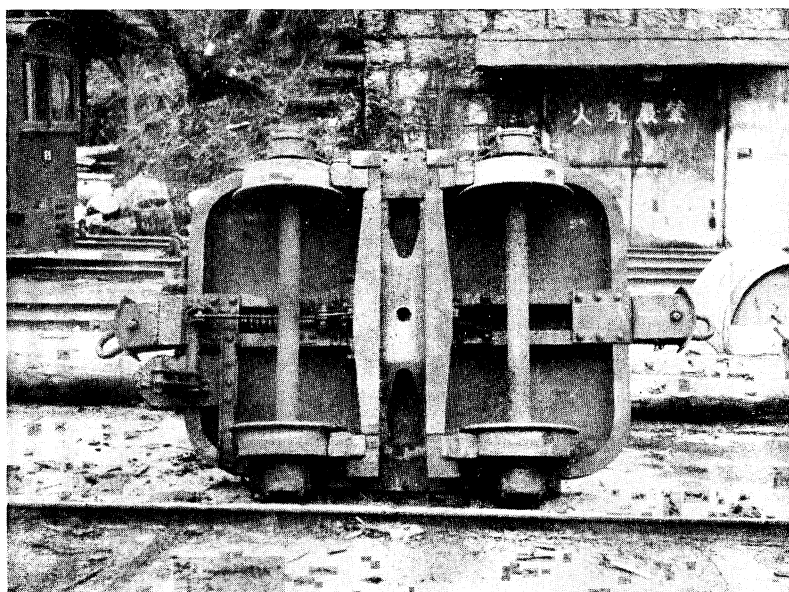
8. 同 左



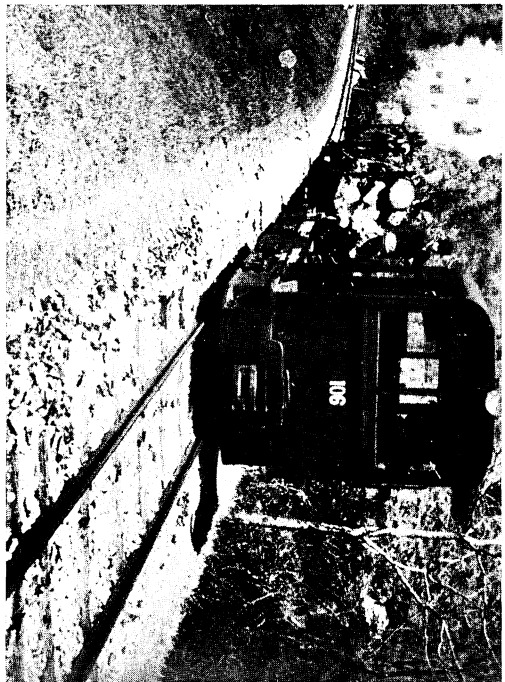
9. 同 左



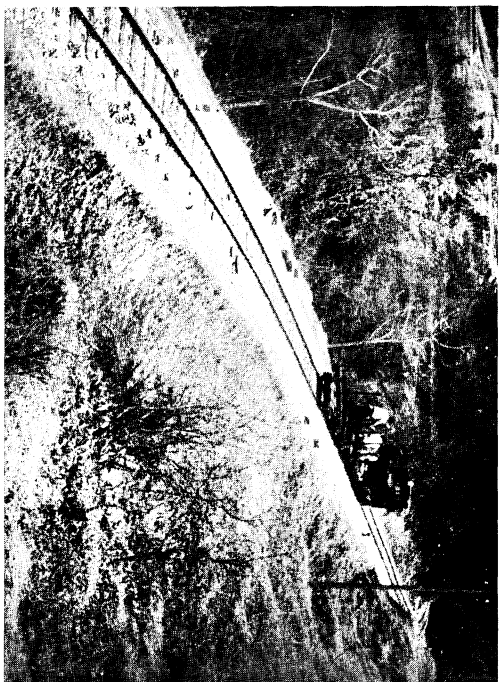
10. モノコクトロ



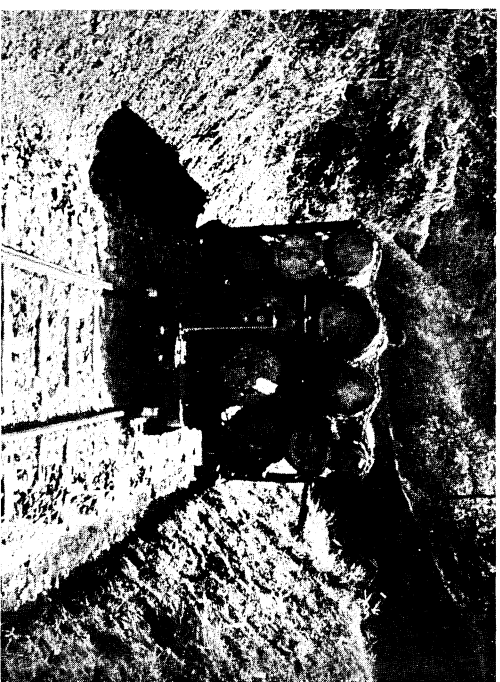
11. モノコクトロの裏面



12. 三股宮林署与川
線試験状況
曲線部通過中



13. 同上
直線部通過中



14. 同上
試験終了地点