

車輛のころがり抵抗および登坂抵抗に関する模型実験

小 嶋 和 雄

(農学部 農業機械学研究室)

Model Study on the Rolling Resistance and the Climbing Resistance of the Vehicle

Kazuo KOJIMA

Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture

Abstract : The author measured the rolling resistance and the climbing resistance of the vehicle with the model study apparatus. The results were as follows ;

1) Plastic plate, veneer plate and rubber sheet were used as materials on which the model vehicle rolled, and the coefficient of rolling resistance were 0.06, 0.07 and 0.1 respectively. The model vehicle was four wheel type with rubber tire, its weight was 345 g. The vehicle weight varied 545 g, 745 g and 945 g by adding the weight.

2) The rolling resistance and the climbing resistance increased with the increase in the angle of inclination of the plate on which the model vehicle rolled and the weight of the model vehicle.

The difference between measured values and calculated values increased, too.

3) It was difficult to find a certain relation between the material on which the model vehicle rolled and the rolling resistance, the climbing resistance.

緒 言

トラクタや運搬車輛は一般に平坦地で作業したまわ走行するものであるが、畑や果樹園では土地や道路を平坦に造成することがむづかしい場合が多く、その傾斜が車輛の出力、作業能率さらに作業精度に強い影響を与える。

トラクタの作業可能な傾斜の限界は作業の種類、方法、トラクタや作業機の種類、土性などによって異なるが、等高線作業の場合 $12\sim 15^\circ$ 、登降坂作業の場合 $8\sim 15^\circ$ といわれている¹⁾。トラクタや車輛の傾斜地における作業特性や坂道の走行特性に関する研究は、これまで数多くなされているが、ころがり抵抗および登坂抵抗の分析の実験研究は見当たらない。

そこで車輛の登坂性能向上の資料を得るため、模型装置を使用して路面の材質、傾斜角ところがり抵抗および登坂抵抗の関係について簡単な実験を行なったので報告する次第である。

当実験装置でいわゆる登坂抵抗を測定するのはむづかしいので、模型車輛の傾斜面における静止所要力を測定しこれをもって登坂抵抗としたので、理論的には問題はあるが何等かの参考ともなれば幸いである。

実 験 方 法

(1) 実験装置

Fig. 1, 2 のような装置を作った。モータ (単相100V, 2.7A, 1735 rpm) の動力はVベルトにより減速機 (ギヤ減速, 減速比 800) を経てテーブル送り装置へ伝達される。テーブル送り装置はねじ送り機構によってテーブル (長さ60 cm×幅 30 cm) を水平移動させるようになっている。テーブルはモータの回転方向により一定の方向のみしか移動できないが、テーブルが装置の終端に達

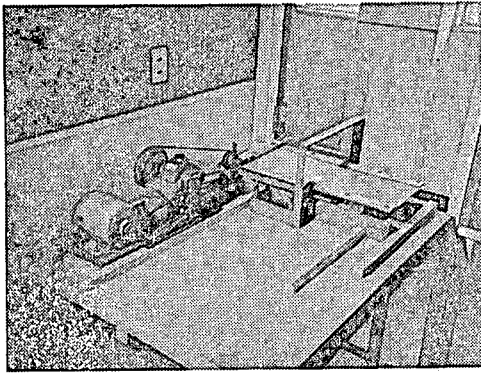
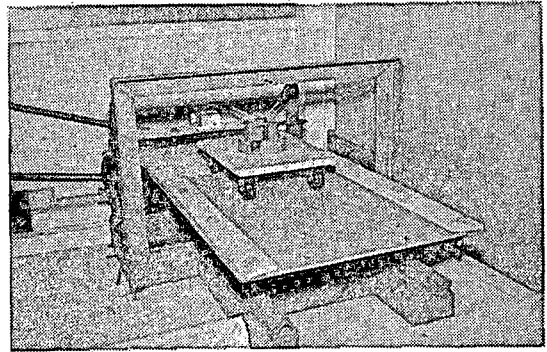


Fig. 1 Experimental apparatus.

Fig. 2 Experimental apparatus. (apparatus)
(The model vehicle is on the table)

したときはベルトをはずし手でプーリを逆回転させることによりもとの位置にもどすことができる。

当実験は車輛の平坦面におけるさらに登坂時のころがり抵抗を測定するのが主目的であるが、模型車輛そのものを一定速度で引張る装置は機構が複雑になるので、模型車輛を乗せたテーブルを後退させることにより相対的に前進状態にし、模型車輛を始めの位置に保持するに要する力をもってころがり抵抗値とした。

テーブルの移動速度は減速機のプーリを取りかえることによりある程度変化できるが、当実験では 1.1 cm/min を採用した。

テーブルにはボルト締めによって各種材質の板材を取り付けられるようにした。当実験ではプラスチック板（商品名パラグラス、厚さ 5 mm、表面平滑）、ベニヤ板（厚さ 5 mm、模型車輛の引張り方向と表面の板目の方向が互に直角になるように取り付けた）、ゴムシート（厚さ 3 mm、表面平滑）を用いた。

(2) 模型車輛

模型車輛は Fig. 3 のような極く簡単なものである。幅 14 cm、長さ 20 cm、厚さ 5 mm のベニヤ板に事務器用の車（車輪は直径 3 cm のゴム製、キャストなし）を 4 個取り付けた。ホイールベースは 15 cm、トレッドは 10 cm とした。車輛重量は 345 g である。模型車輛の中央には重錘を積載固定できるようにボルトを取り付けた。重錘は台秤用の錘りを用いたが、種類は 200 g、400 g、600 g としたので結局模型車輛重量は 345 g、545 g、745 g、945 g の 4 種類となった。

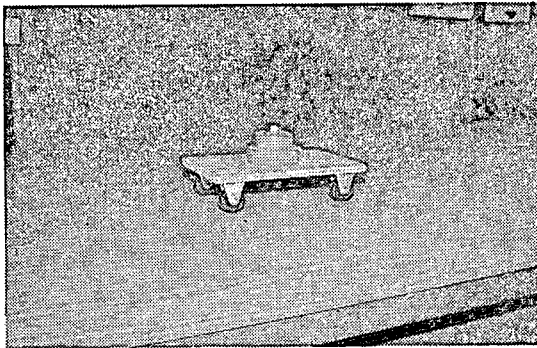


Fig. 3 Model vehicle.

(3) ころがり抵抗および登坂抵抗の測定

テーブル上に測定の対象となる板材（以後ころがり面材と称す）を取り付け、テーブル送り装置の枠組に非接着型ストレインゲージ（Uゲージ、容量 1 kg）を固定し、ころがり面材上に乗せた模型車輛と極く細い銅線で連結した。

この連結用に金属線を用いた理由は、負荷の増減によって連結線に伸縮が生じると測定値が乱れるのでこれを防ぐためである。なおUゲージの受感部と模型車輻の連結線は常にテーブル面と水平になるように調節した。模型車輻の引張力はUゲージの出力をデジタルテスタで読み取りに換算した。

テーブルが水平の場合は登坂抵抗がないので直ちころがり抵抗の測定を行なったが、模型車輻の中心線が正しくUゲージの中心線の方を指すように2～3分間予備運転を行なった。

テーブルを傾斜させる場合は装置全体を傾斜させハンドレベルで角度を測定した。傾斜角は最初に実験したプラスチック板の場合は $5^{\circ}20'$ 、 $8^{\circ}30'$ 、 11° 、 14° 、 18° としたが、ベニヤ板とゴムシートの場合は 5° 、 $8^{\circ}30'$ 、 11° 、 15° 、 18° とした。傾斜角の値には別に理論的根拠はなく緒言で述べたように $12\sim 15^{\circ}$ を作業の限界とし、大体 3° ずつ差をつけるようにしたが装置の構造上多少の端数があった。プラスチック板の場合が他の材質の場合と異なるのは傾斜をつける方法を多少変更したためである。

テーブルを傾斜した場合のころがり抵抗は登坂抵抗を含んでいるが、当実験ではその分離測定ができないので登坂抵抗を含んだ抵抗をもってころがり抵抗とした。登坂抵抗は前述のようにこれだけを測定することができないので、次のような実験値をもって登坂抵抗とした。まずころがり面材上に模型車輻をおき2～3分間装置の運転をして停止し、このときUゲージにかかる力を測定しこれをもって登坂抵抗とした。2～3分間テーブルを移動させる理由はテーブルが水平の場合と同じであるが、そのほかUゲージと模型車輻の連結線に十分な張力を与える目的も含んでいる。

理論的には登坂抵抗は車輻の重量と走行路面の傾斜角に関係するのみであるが、当実験で測定した登坂抵抗は傾斜角のほかころがり面材や車輪の性質にも影響を受けるので傾斜面における静止所要力というべきであるが、当実験ではこれを登坂抵抗とよぶことにした。以上のことから当実験の登坂抵抗を理論値と比較することは無意味で、異なるところがり面材におけるデータを相互に比較することもできない。単に同一ころがり面材の傾斜角の影響を検討するに止めるべきであろう。ししながら登坂抵抗を含めたころがり抵抗の値は理論値との比較検討も許されると思う。

予備運転によって模型車輻の方向を正しくしたあと登坂抵抗を測定し、その後再びテーブルを移動させて模型車輻が発生する引張力つまりころがり抵抗を測定した。測定値はデジタル表示であるので一定時間(約1秒)おきに30～60個の読み取りを行ない平均値を求めた。

実験結果および考察

模型車輻の各ころがり面材に対するころがり抵抗係数は Tab. 1 のようである。同一ころがり面

Table 1. Coefficient of rolling resistance

Weight of vehicle (g)	Plastic	veneer	rubber
345	0.063	0.073	0.095
545	0.058	0.062	0.095
745	0.059	0.076	0.093
945	0.065	0.069	0.101

材の場合でも模型車輻の重量によって多少数値に差があるが、プラスチック板の場合は0.06、ベニヤ板の場合は0.07、ゴムシートの場合は0.1に統一できるようである。

ころがり面が水平面となす角度を θ とすれば、ころがり抵抗 F は理論的には次のようになる。

$$F = fW \cos \theta + W \sin \theta$$

ここで f はころがり抵抗係数, W は車輛重量, 右辺第1項はころがり抵抗, 第2項は登坂抵抗である。

各ころがり面材に対する模型車輛のころがり抵抗および登坂抵抗の測定値と理論値を図示すると Fig. 4~15 のようである。ただし登坂抵抗の測定値は既述したように傾斜面における模型車輛の静止所要力というべき値である。

概括的にみるとどのころがり面材においてもころがり抵抗値はころがり面が水平または傾斜してもその角度が小さいときは (5° 内外), 測定値と理論値との差はほとんどないかあっても大差ではない。ころがり面の傾斜角の増加とともに測定値はほぼ直線的に増加し理論値との差も急増する。つまり急傾斜地では車輛のころがり抵抗は理論値よりも大幅な上昇を示すといえる。

登坂抵抗も上記と大体同じような傾向を示している。しかもころがり面の傾斜角の増大とともに登坂抵抗の占める割合が大きくなっている。

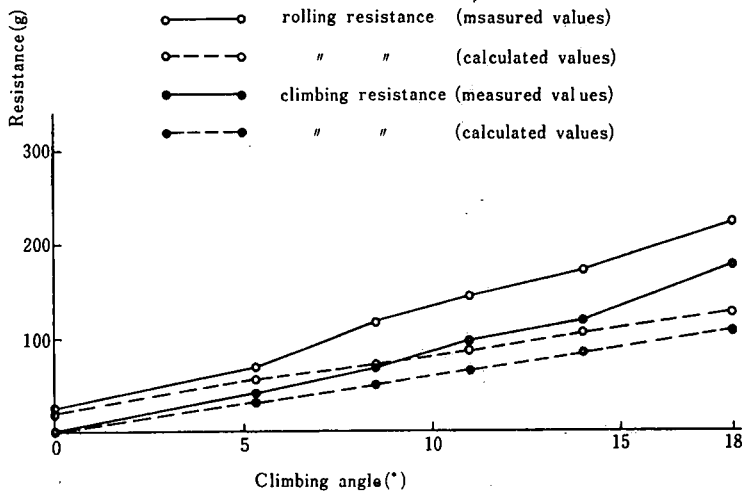


Fig. 4 Rolling resistance and climbing resistance on the plastic plate of the model vehicle (345 g in weight).

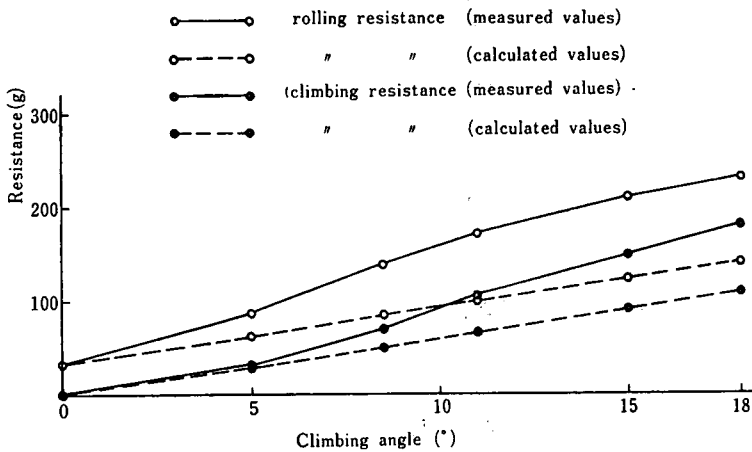


Fig. 5 Rolling resistance and climbing resistance on the plastic plate of the model vehicle (545 g in weight).

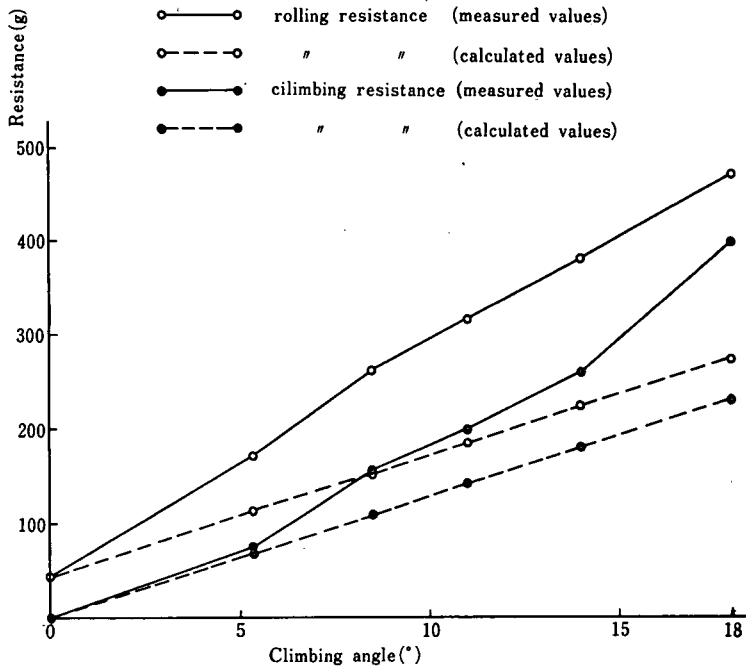


Fig. 6 Rolling resistance and climbing resistance on the plastic plate of the model vehicle (745 g in weight).

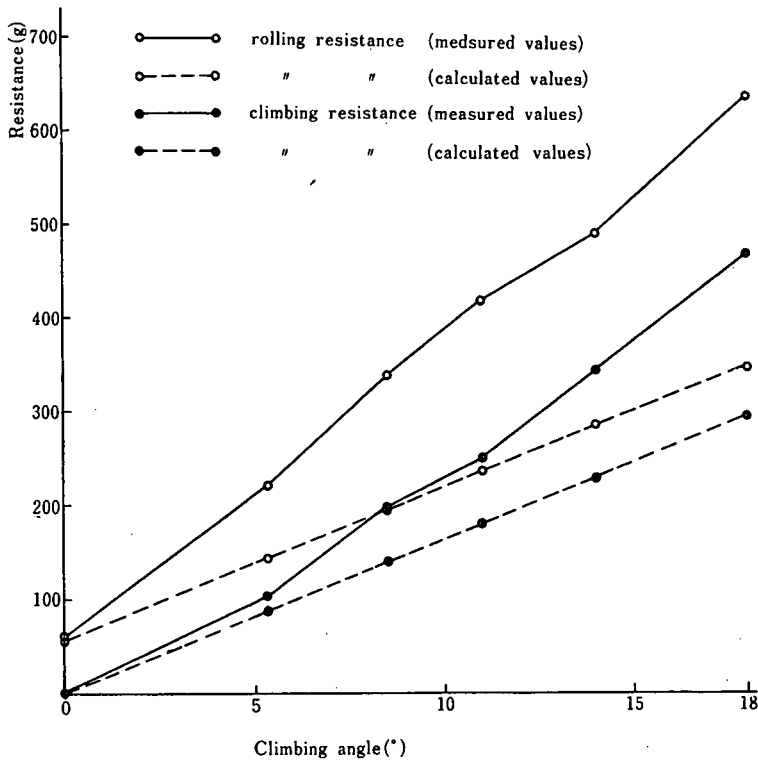


Fig. 7 Rolling resistance and climbing resistance on the plastic plate of the model vehicle (945 g in weight).

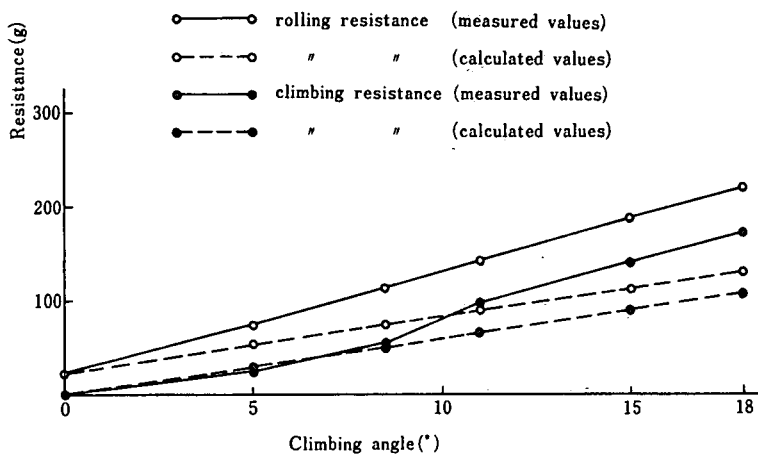


Fig. 8 Rolling resistance and climbing resistance on the veneer of the model vehicle (345 g in weight).

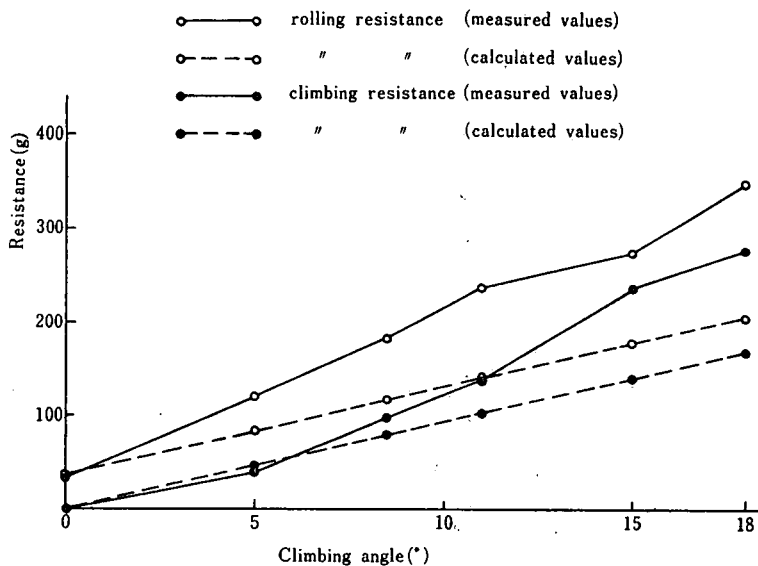


Fig. 9 Rolling resistance and climbing resistance on the veneer of the model vehicle (545 g in weight).

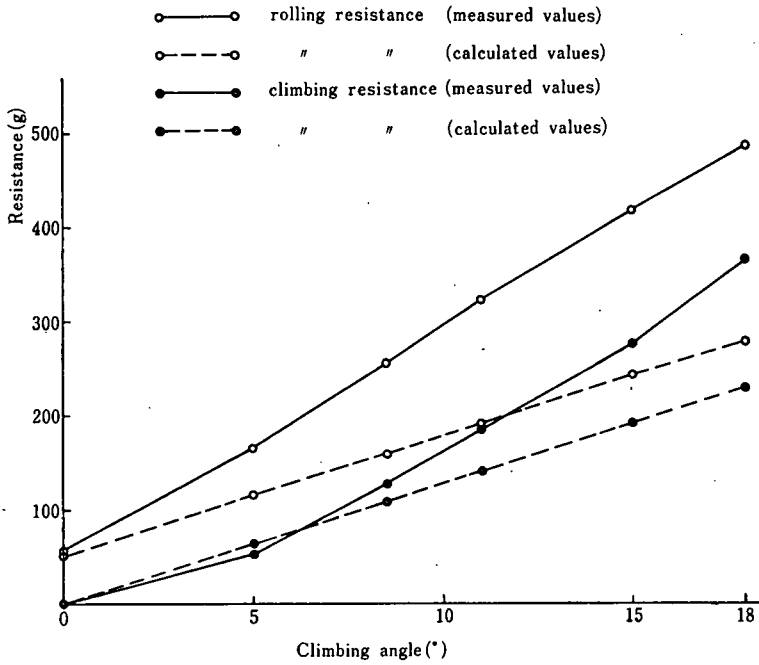


Fig. 10 Rolling resistance and climbing resistance on the veneer of the model vehicle (745 g in weight).

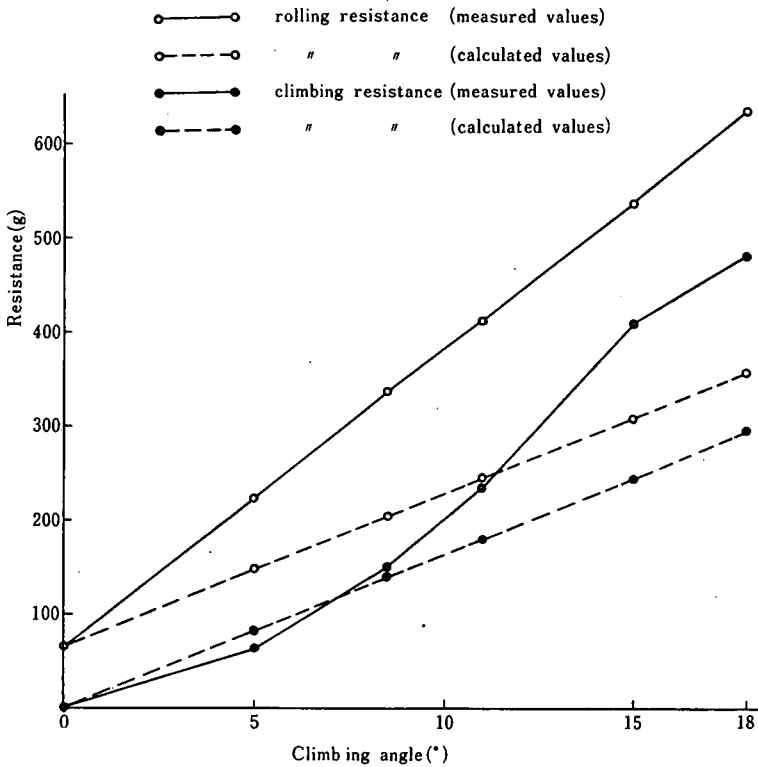


Fig. 11 Rolling resistance and climbing resistance on the veneer of the model vehicle (945 g in weight).

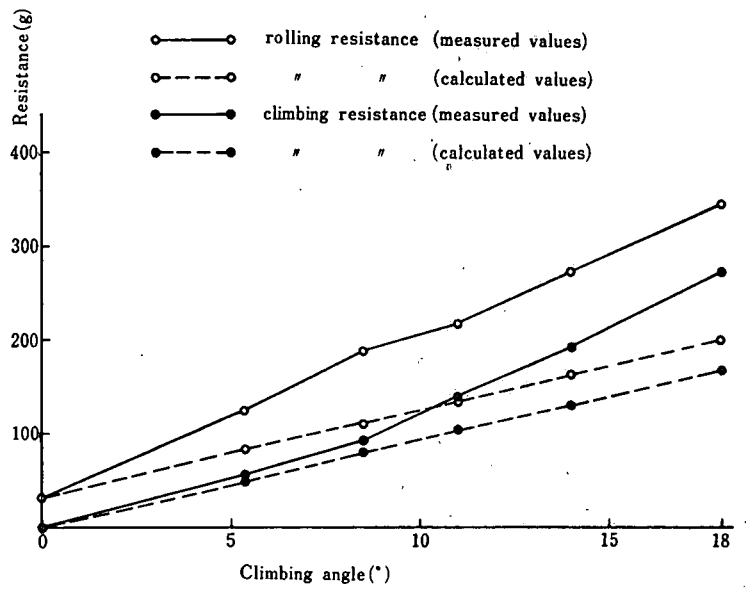


Fig. 12 Rolling resistance and climbing resistance on the rubber sheet of the model vehicle (345 g in weight).

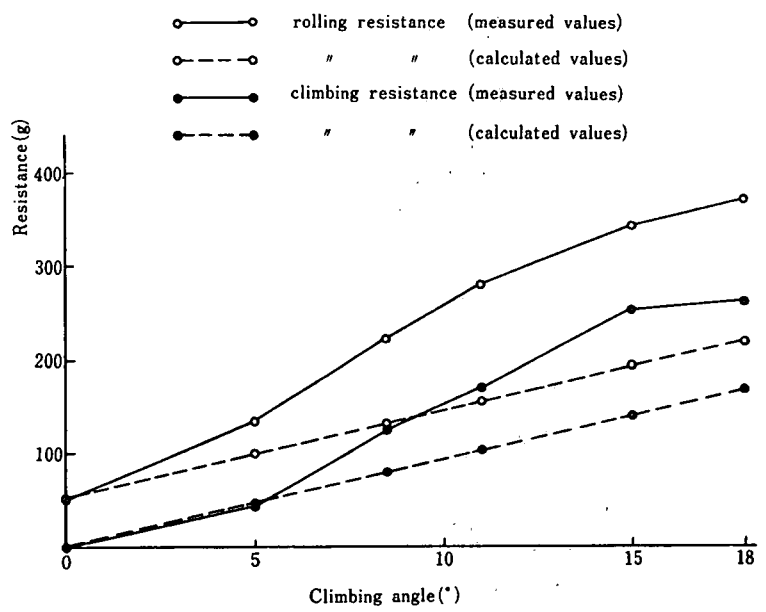


Fig. 13 Rolling resistance and climbing resistance on the rubber sheet of the model vehicle (545 g in weight).

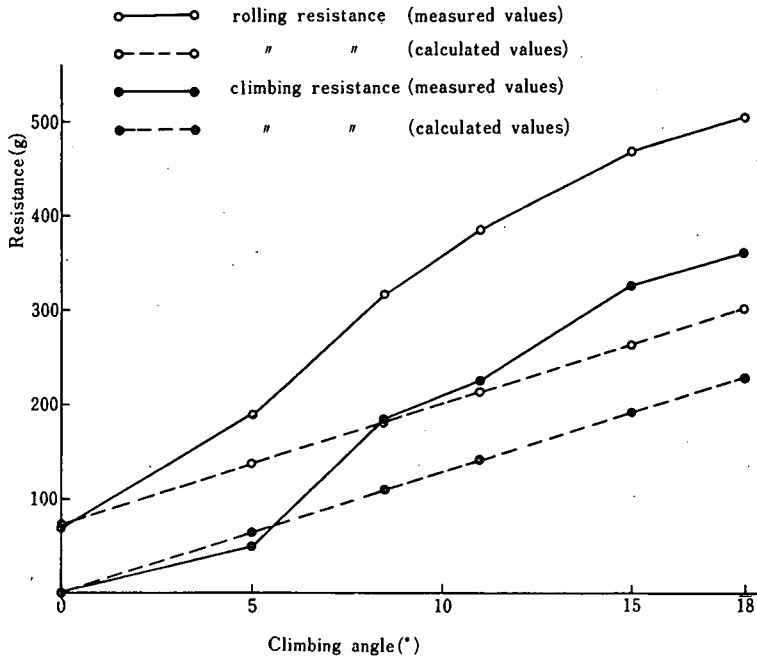


Fig. 14 Rolling resistance and climbing resistance on the rubber sheet of the model vehicle (745 g in weight).

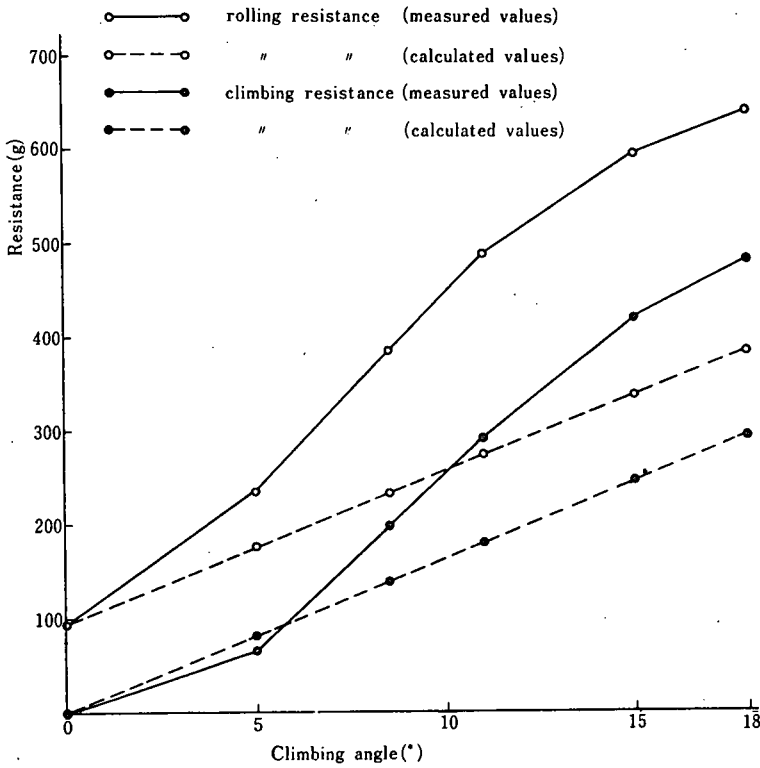


Fig. 15 Rolling resistance and climbing resistance on the rubber sheet of the model vehicle (945 g in weight).

またころがり抵抗と登坂抵抗は模型車輛の重量の増加とともに増加していて、理論値との差も増大している。つまり傾斜角および車輛重量が大きいほど所要馬力が増加し、理論値との差も著しくなるといえる。

ころがり抵抗の測定値が理論値より増大する原因はころがり面の傾斜角が大なる場合は、傾斜による後車輪の接地圧の増大つまり車体重量転移が考えられる。付加重錘の取付けは模型車輛の重心位置にしたが、傾斜が急になると前後車輪の重量配分が異なってくるのは当然であろう。さらに車輛重量の増加により車軸と軸受の摩擦抵抗の増大などがこれに加わり、ころがり抵抗の測定値の増大を招いたといえる。

次にころがり面材別のころがり抵抗の値をみるに、ころがり面材の相違によるころがり抵抗の差は小さく、特に車輛重量が軽い場合はそうである。このことを考察すると、既述したようにころがり抵抗係数はプラスチック板、ベニヤ板そしてゴムシートの場合それぞれ0.06, 0.07, 0.1である。これを実際の場合にあてはめると前二者は乾いた固い土道に相当し、後者は堅い地盤の上の芝生や刈取った草地に相当する¹⁾。実際の場合ころがり抵抗係数のわずかの差でも路面の状況はかなり異なる。いかえると実際の場合には車輛重量が重いので路面の変化は直ちころがり抵抗に影響を及ぼすが、ころがり抵抗係数の差はさほど大きくならない。模型車輛は重量が極端に軽いのでころがり面材の相違によるころがり抵抗の差は小さい。とくに付加重量が少ない場合そうである。またころがり抵抗係数の差の影響はころがり面の傾斜角が大きくなっても明らかでない。

摘 要

模型実験装置により車輛のころがり抵抗、登坂抵抗を測定したが、その結果は次のようである。

1) 模型車輛のころがり面がプラスチック板、ベニヤ板、ゴムシートの3種類としたが、ころがり抵抗係数はそれぞれ0.06, 0.07, 0.1であった。供試模型車輛はゴムタイヤをつけた4輪型で車輛重量は345 gである。なお車輛重量は重錘の付加により545 g, 745 g, 945 gに変化させた。

2) ころがり抵抗と登坂抵抗はころがり面の傾斜角および車輛重量の増加とともに増大する。またころがり抵抗および登坂抵抗の測定値と理論値の差も増大する。

3) ころがり面の材質ところがり抵抗および登坂抵抗の間に一定の傾向はみられない。

参 考 文 献

- 1) 農業機械学会編：農業機械ハンドブック，コロナ社，昭44，p. 328
- 2) 園村光雄ほか：農業機械学，朝倉書店，昭41，p. 110

(昭和52年7月14日受理)

(昭和52年10月14日分冊発行)