

林道路面の良否判定に関する研究

岩 川 治

Osamu IWAKAWA

A Method for the Estimation of Qualities of Forest Roads

緒 言

本研究は筆者が取りまとめた論文“An Estimation of Qualities of Forest Road Surfaces”のなかから Part I の内容を以下のように取りまとめたものである。

本稿を草するに当たり、多年にわたって御懇篤なる御指導を賜った京都大学杉原教授、および多大の助言をいただいた佐々木助教授ならびに林業工学研究室の各位に対し深甚の謝意を捧げる。また本研究の現地調査にさいしては大雪営林署（北海道）、山崎営林署（兵庫）、尾鷲営林署（三重）、京大芦生演習林より多大の御援助を得た。あわせてここに感謝の意を表する。

本研究が将来林道路面の改善と管理において、さらにまたトラックによる木材運搬の能率、運転上の安全性向上に、いささかでも貢献するところがあれば筆者の望外の喜びとするところである。

目 次

I 序 論..... 1	具体化について
II 車両の振動加速度と林道路面の良否... 4	IV 判定法の適用とその数値例.....15
1. 車両振動の原因	1. 路面の良否判定の数値例
2. 車両振動の種類	2. 測定結果と判定結果
3. 上下振動と衝撃荷重の理論的考察	3. 判定法の適用例に関する考察
4. 林道の路面状態と振動加速度	V 結 論.....18
5. 判定法の提起	文 献
III 林道路面の良否判定法について.....10	摘 要
1. 振動加速度の測定法	Résumé
2. 振動波形の解析方法と判定方法の	

I 序 論

木材の陸上における運搬方法は、一般に森林鉄道と林道によって代表される。前者は林業における運材の歴史のなかで、すでに戦前的色彩の強いものであり、後者は戦後急速な発達をとげ、なかでもそれはトラック運材によって代表される。林業において、ここ2、30年の間にこうした運材方法の変遷を経なければならなかった理由は何に求められるであろうか、これについては大別してつぎの3点を考えねばならない。

(1) 貨物自動車は近年急速に性能の向上を成し遂げ、同時に大型化（戦後ははじめには小型4t車クラ

スのものが使われたが、最近では6~6.5 t 車が一般に使用されている)の傾向をとり木材の運搬にいくつかの有利な条件をもたらすにいたったことで、いわゆる運搬手段側の大きな改善があったこと。

(2) 林鉄運材はその施設を半ば恒久的に利用できる大林野、大団地に適している。だが今日そうした大林野は次第に減少して生産地側に少なからぬ変貌が生じたこと。

(3) 林鉄運材においては、近時その諸施設の老朽化が表面化し、ここにいたって既施設の継続か新しい手段(ここでは貨物自動車)の採用によるかその採択をせまられたこと。

などを挙げねばならないであろう。ことに(3)に関しては、貨物自動車による運搬をもっとも有利とする条件が整えられていた。すなわち貨物自動車は、

- 1) 木材運搬にさいして、きわめて大きな機動力が発揮できる。
- 2) 木材を生産地から消費地に直結できる。(迅速な運搬の可能性)
- 3) (1) で述べた貨物自動車の大型化。
- 4) 運搬設備に対する償却を早めうる。
- 5) 木材損傷の可能性を少なくする。(積込、積卸の回数減少)
- 6) これにともなう林道施設は、林業のみならず他産業(例えば電力、観光)への貢献を充分期待できる。

などで代表できるであろう。木材に対する運材方法は、こうした事情を背景として林鉄から貨物自動車へとその運材の主役を托することになった。こうした貨物自動車の飛躍的な発達と林業への進出に対して、一方これを受入れる林道はどんな状態におかれていたか、あるいはその現状はどうか、これについてとくに走行上の条件を中心にして述べれば、林道は概して、

(1) その路面は舗装されていない。したがってデコボコ道の悪路が多い。

(2) 林道の巾員は非常に狭い。

(3) 坂道の路線がきわめて多い。

(4) 小回りのカーブが多い。(最小曲率半径 $r=8\text{ m}$)

等の内容をもつことが多いといえる。

したがって林業における貨物自動車は、こうした悪条件のもとで木材を運搬しなければならない、他産業でのそれよりもつねにはげしい消耗と運転上の危険性を背負っているといえよう。

筆者はさきに「林業用トラックの更新問題」⁶⁾を公表したが、そのなかで林業用車両の補修費(R式)の増大に関して上記の事実を見出すことができたのである。この事実のよってきた原因は何によるものであろうか、それは前述のような林道の現状(走行上の悪条件)と、さらに走行にさいして車両に生ずる衝撃力(車両振動に基因)の異常な増大においてこそ求められるものであろうと考える。林業において貨物自動車の果す役割は、前述のようにきわめて大きく、また木材運搬にはそれが現在最上の手段となっているにもかかわらずこれを受入れる林道については、ほとんど林業における宿命であるかのごとく悪条件のままに放置され、それに応える策がなされていない。その結果トラック運材の作業能率をさまたげ、車両の損耗を早め、かつ運転上の安全性をも相当犠牲に供している。筆者はこうした現状において、林道路面に対する研究の必要性を考えるとともに、まず林道路面の良否に(悪条件の程度に)科学的な根拠を与えていくことの重要性を認め、ここに林道路面の良否判定法に関する研究に着手した。

そこで、まずこの研究に関連のみられるものを述べてみると土木工学方面では、主として舗装道路の仕上げ検定のために路面不陸測定機(変位の測定)による研究があり、また車両工学方面では、乗心地計による車両の乗心地に関する研究がみられるにすぎない。(これらは主として車両についての

Table 1 By the regulation on width of forest road, in Japan

1st class	2nd class
3.6 ~ 4.0 m	3.0 ~ 3.4 m

振動を論じている)したがって林道のごとき悪路については、これに基準を与える研究も、またその方法も現在確立されていない。ここにも研究の必要性がみとめられる。

ところで本研究においては、まず路面の良否とは何を意味し、何を表わすのかこの点を考察しておくことは重要であろう。一般にわれわれが林道路面に関してなす判断(素晴しくよい道、ひどいデコボコ道など)は概して目に映じたもの、あるいは車両での乗心地などによる直感判断である。もちろんこうした直感判断には、比較の基準がないのでその場かぎりの判断で終わってしまいやすい。しかしわれわれが路面の良否を云々する場合、大体つぎの2つのことがらを考えるであろう。

- (1) 路面側から路面の形状(主としてデコボコの大小)路面の状態、構造(たとえば舗装、ヌカルミ、砂利、碎石路面等)の良否
 - (2) また車両側から車両走行のさいの車両振動の大小
- である。しかしこの(1)と(2)の両者には密接な関係が見られそうであり、この仮定をおくことによって問題の出発点を考えることができる。

筆者は上記の仮定に立って、まず車両振動により生ずる振動加速度(衝撃荷重に關係)の理論的考察を行うと共に(振動にもとづく車両の衝撃荷重は路面の形状に大いに関係がある。Ⅱ・3参照)一方実験を基にして車両の振動加速度と実際の路面形状、路面状態との関係を考察(振動加速度は路面のデコボコの大きさ、とくにデコボコの深さに關係して大きくなる。また路面状態にも大いに関係する。Ⅱ・4参照)しその結果、両者に密接な関係があること、および理論と実際が一致することを見出した。(ついでながら本研究での車両振動とは車両の重心附近の位置における振動を意味し、これを研究対象としている。Ⅲ・1で詳述)これらから衝撃荷重の大きさを尺度として林道路面の良否を決めることが考察され、つぎの新しい判定法を提起した。すなわち、いま車両 T_1 を用い、ある路線で測定された左右、上下の振動加速度値がそれぞれ $\alpha_H \cdot g$ 、 $\alpha_V \cdot g$ (g は重力加速度)で与えられたとすると振動加速度の係数 α_H 、 α_V の大きさを他の路線のそれと比較することによって路面の良否を決めることができる。

- (1) α_H 、 α_V が大きいほど、その路面は悪い
- (2) α_H 、 α_V が小さいほど、その路面は良い

とする。(Ⅱ・3で詳述)換言すれば路面の良否についての筆者の考え方は、車両に対する衝撃荷重の大きさがそれを決めるものであるとする見解をとることである。本研究ではこうした判定法を中心として考察論議を行った。本研究の特色は、前述の通り路面の良否判定の尺度として衝撃荷重の大きさをを用いたことであり、これは路面の形状、状態を数値的に代表させる(路面判定)と同時に路面の車両に対する影響の良否を表わし、これによって林業における車両損耗の追究をも可能にしている点にある。なお本研究の主なる適用、応用性はつぎのように要約される。

- (1) 林道路面の良否を直感によらず科学的に判断でき比較の基準が見出される。
- (2) 林道路面改善への一つの基礎となりうる。
- (3) 路面の良否の数値的な把握によって、それを基準とした科学的な路面の補修、管理を可能にし、また林道における車両の運転上の安全性向上に役立ちうる。
- (4) 路面の良否判定の尺度である衝撃荷重の大きさは、とくに悪路での走行を要求される林業用車両の損耗を理解する上に重要な意味をもち、その方面への研究に役立ちうる。

などを挙げることができる。換言すればこれらは本研究の研究目的でもある。

つぎに本研究において取扱う内容ならびにそれらの関連事項について簡単に記述する。

第Ⅱ章では車両が路面上を走行するさいに生ずる振動、振動の原因、種類を簡単に述べこの振動により車両に生ずる衝撃荷重の大きさを林道路面の良否判定が可能であることを理論考察と併行して現実の路面状態、路面形状に対する実験から明らかにした。第Ⅲ章では第Ⅱ章で提起した判定法に対する筆者の考え方、その具体的方法を述べ、第Ⅳ章では上記判定法の数値的な実例を代表的な路面につ

いて記述し実際上の適用を示した。またV章では本研究により明らかになったいくつかの事項を結論として述べ結びとした。

II 車両の振動加速度と林道路面の良否

1. 車両振動の原因

われわれは車両に乗って林道を走行するとき、一般に大きな振動や衝撃を感じた経験をもっている。しかし同じ車両でも舗装道路を走るときにはこの間の事情は大分異なってくることも事実である。同じ車両でしかも同じ条件で走行するとき、このような相違が存在するのは走行する路面の形状、つまり路面状態の影響に基づくものであると考えざるをえない。路面の良否判定に関する研究の出発点はこれを基点としているといってもよい。したがって車両振動の内、外的な原因について簡単な考察をしておくのも重要であろう。

1・1 車両振動の外的原因

走行中に生ずる車両振動の外的な原因としては、走行路面の形状、構造（主として路面の凸凹）、路面のカーブ、風圧等を考へうるがその大部分は路面によるものであると考えることができる。そこでまず路面からくる車両振動について簡単な振動系を Fig. 1 で考えてみる。

いま Fig. 1 で M はバネ上部の車両の質量、 W は車輪、 S はバネ、 V は車両の走行速度とすると、車両が V の速さで凸凹路面上を走るときそのさい W でうけた振動はバネ S を介して M に伝わる。この振動は路面の凸凹に共振されてたえず発生するものと考えられる。またよく舗装された道路であっても、その路面は比較上のデコボコが小さいだけで車両に対しては、やはり振動を生ぜしめる外的原因となりうる。なお本研究では風圧等による車両振動への影響はとくに考えない。

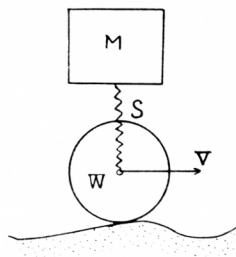


Fig. 1 A simple vibrating system

M : sprung mass S : spring
 W : wheel V : speed of a wheel

1・2 車両振動の内的原因

以上は車両自身とは別の外部的なものが原因となるものであるが、車両自体から生ずる振動をも考えることができる。すなわち、そのなかには車両の機関部の回転を振動源とするもの、車体各部の強制振動、自励振動、共振等いろいろなものが考えられるが、その内的原因として重要なものは、機関回転によるものである。したがってこれについてつぎの考察をしておく。機関回転を振動源とする振動は筆者の測定によれば（車両を停止、機関回転数を最大値まであげる）あとで取扱う振動加速度というものに関して省略しうる値である。ついでながら計器の感度を考慮して大きく見積っても $0.02g$ (0.02 重力加速度に相当) を越えることはない。これに関連したことで国枝氏は国産車の中で機関支持装置の不適切なものにこの振動がみられるとしている。なおこれらの内部的な振動源とは区別されるが車両振動に関係のあるものとして、車両自身の側に含めて考えられるべき、バネ状態の良悪、積荷の有無、タイヤ圧、走行速度等が当然考えられ、これらの故に後述の測定条件の問題が生ずる。

2. 車両振動の種類

車両の振動にはバネ上質量、バネ、バネ下質量、車輪などの有限自由度のバネ質量系としての振動の外に、車体各部の弾性振動、自励振動、共振など無限自由度の振動が考えられるわけであるが、一般に車両振動を論ずるときにはバネ上質量の振動を考える場合が多い。本研究では、これらのなかで

バネ上質量（振動測定はこのバネ上質量に関して行われる）の振動を対象として取扱う。以下本論での車両振動とはバネ上質量の振動を指すものとする。いまバネ上質量が剛体であるとするなら、この質量の運動の自由度は6自由度をもち Fig. 2 で見られる X, Y, Z （3つの変位）と θ, φ, ψ （重心周りの3つの回転）の自由度を考慮することができる。²⁾²¹⁾²²⁾

したがってこの場合の車両振動は、これらの6つの振動を考慮することによって追究される。車両に生ずる振動は実際には上記各種の振動の複合したものであるわけで、ここではこれらについて簡単に記述するにとどめ、さらにそれらの振動について筆者が本研究で取扱う範囲を明らかにしておきたいと考える。

車両振動は一般に下記の2つに大別して考えることができる。

(1) 直線振動

- 1) 左右振動 2) 上下振動 3) 前後振動

(2) 回転振動

- 1) 横揺れ (Rolling) 2) 縦揺れ (Pitching) 3) 偏揺れ (Yawing)

があげられ、このなかで(1)の直線的な振動は Fig. 2 からすぐ理解できるものであるが(2)の回転振動は、車両の重心を含む3軸 X, Y, Z の周りに Fig. 2 のように車両を回転させるように現われるもので Fig. 2 からつぎのように説明できる。

- 1) 横揺れ：Y軸のまわりの回転振動
- 2) 縦揺れ：X軸のまわりの回転振動
- 3) 偏揺れ：Z軸のまわりの回転振動

これらの回転振動は一般に周期が大きく（低振動数で乗用車で2cps¹⁵⁾前後）車両には動揺要素として働くものである。また筆者の使用する振動加速度計でこの要素だけを取り出すことはできない。したがって筆者が本研究のため取扱う範囲は、(1)の直線的な振動であり、そのなかで左右振動、上下振動（(1), (2)の連成振動の場合、その直線方向の大きさ）を、とくに後者を中心対象としている。なお前後振動は車両の制動時などに関係してみられ路面判定の問題で、これは取扱わない。

3. 上下振動と衝撃荷重の理論的考察

すでにⅡ. 2で述べたように車両の走行中に生ずる振動は各種のものがあ、かつこれがいいくつか組合せられる場合が多い（Ⅱ. 2）。たとえば走行する路面が凸凹道である場合には車両は上下、水平に振動動揺し、振動加速度が現われるものと考えられる。

車両の上下振動は厳密には車両のバウンスとピッチング、ローリングの2種類の振動が同時に重なって起っているもので、換言すればこれは車両のバネ上質量の上下振動と重心周りの回転振動の合成であると考えられる。ここではこの上下方向の振動とそれに基づく振動加速度（衝撃荷重）について簡単な例をもって考察を行う。

3・1 前後輪凸部乗上げ

いま車両が、ある瞬間にたとえば前後輪が同時に Fig. 3 のような路面凸部（ h の高さ）に乗上げ

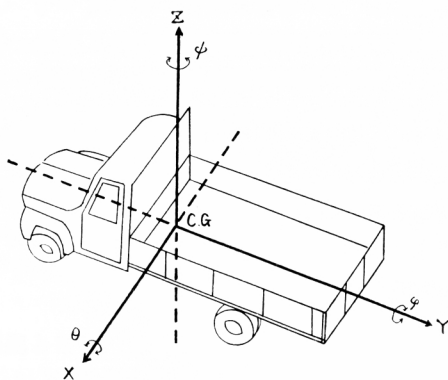


Fig. 2 The vibration with six degrees of freedom
If sprung mass of a given motor-truck were a rigid body, then its motion would be given by six degrees of freedom as seen in Fig. 2

たと仮定し、その場合上向きの加速度 $\alpha \cdot g$ (g = 重力加速度) をうけると、慣性力は反対方向の下向きとなり、その大きさは $M \cdot \alpha \cdot g$ となる。これは上下方向の衝撃荷重に等しい。したがってこのときの車両にかかる全荷重は次式で表わすことができる。

$$W = W_1 + W_2 = (1 + \alpha) M \cdot g \cdots \cdots (1)$$

ここに W = 車両の全荷重

W_1 = 車両の静止時の全荷重

W_2 = 車両の衝撃荷重

M = 車両の質量

α = 加速度の係数

g = 重力加速度 (980 cm/sec²)

m = 積荷 (木材) の質量

R_f = 前輪側反力

R_r = 後輪側反力

なお、車両に荷 (木材) m があるときは (2) 式で与えられる。

$$W = (M + m)g + (M + m)\alpha \cdot g = (M + m)(1 + \alpha) \cdot g \cdots \cdots (2)$$

上の場合 (1), (2) 式において衝撃力 $M \cdot \alpha \cdot g$, $(M + m)\alpha \cdot g$ は走行条件の等しいとき、それぞれ路面の凸部の大きいほど大きくなることが考えられる。換言すれば α の値は凸部の大きさに比例することが考察される。

3・2 片車輪乗上げ落下

つぎに車輪の片側が路面の凸部に乗上げ、または凹部へ落下した2つの場合を考えてみる。

(1) 片車輪凸部乗上げ

Fig. 4 に見られるように h なる高さの凸部に前輪左側が乗上げた場合を例にとると (その瞬間に車両が停止している場合を仮定), 乗上げた側の地面反力 R_{fl} は平坦路面上の右側地面反力 R_{fr} よりも大きくなる。すなわち

$$R_{fl} > R_{fr} \cdots \cdots (3)$$

の関係を考えることができ、その結果前車軸は Fig. 4 (実線方向に) のような、ねじりモーメントをうける。

(2) 片車輪凹部落下

Fig. 5 のように凹部に前輪左側が落下した場合を考えると、前車軸は図のようなねじりモーメントをうけ落下側の地面反力 R_{fl} は右側の地面反力 R_{fr} よりも小さい。すなわち

$$R_{fr} > R_{fl} \cdots \cdots (4)$$

なる関係を考えることができる。

ところで以上述べた地面反力の大きさは車輪が路面の凸凹部で乗上げ、落下したとき、その凸凹の大きさ h , h' に関係して大きくなる (h , h' の大きさに比例する) ことが理論的に考察される。なおここでは左右方向については述べないが、その方向の加速度を測ることができればその衝撃力を知る

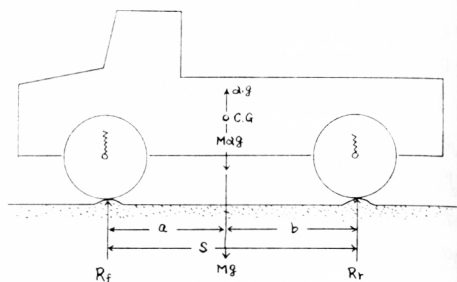


Fig. 3 The impact load and the vibro-acceleration occurring in the motor-truck in the case when it runs on the humps (or convexes)

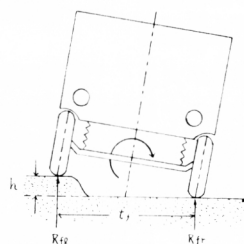


Fig. 4 The reaction force occurring in wheels in the case when a wheel runs on a hump

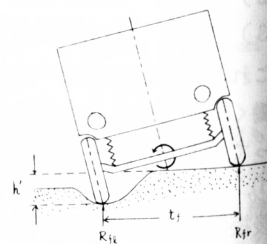


Fig. 5 The reaction force occurring in wheels in the case when a wheel falls in a concave

ことができる。

では実際にそうした関係が見られるかどうか、これにつきⅡ．4で実験を基礎にして述べることにする。

4. 林道の路面状態と振動加速度

Ⅱ．3で述べたように、車両の走行にさいして車両に生ずる衝撃荷重は車両の上下振動と密接な関係をもっていることが考えられ、同時に路面状態のいかん、すなわち路面の種類、路面上のデコボコの大きさ等によって左右されるものと思われる。このような意味から筆者は路面状態のいかんと振動加速度の現われ方について実験による考察を行った。

ついでながら、この考察は路面の良否判定のための根拠となり、また判定の尺度となる衝撃荷重の考え方と現実の路面との結びつきを与えるものである。以下 Table 2 のような代表的な林道路面をとりあげこれについて述べる。

4・1 路面の種類と振動加速度

上の目的から林道路面において測定可能ないろいろなタイプの路面と振動加速度との関係を知っておくことは、ここではきわめて大切である。筆者はその例として京大芦生演習林所属の林道から Photo. 1~9 のようなそれぞれタイプを異にする林道路面を選定し Table 2 のごときものを代表にとりあげ、車両が一定の測定条件の下で（Ⅲ．1 参照）これらの路面上を走行するさい、その車両に生ずる振動加速度の値を測定した。その結果は、路面タイプの説明と同様 Table 2 に示してある。

なお Table 2 の $\bar{g}_H$, $\bar{g}_V$ の値は、それぞれ左右、上下の平均振動加速度値、すなわち測定車に生ずる平均衝撃荷重の大きさを示すが、この求め方、その解説については（Ⅲ．2）ここでは述べない。Table 2 からつぎのことがわかる。

Table 2 The relation between the shape or the type of forest road and the vibro-acceleration

Road Symbol	Kinds of Forest Road	Shape and Character of Forest Road	Distance (m)	Slope (%)	Average Vibro-acceleration.		Notation
					$\bar{g}_H \max (g)$	$\bar{g}_V \max (g)$	
R ₁	Earth, Sand Road	With earth, sand, gravel	200	0	0.26	0.51	Before repairing road surfaces
R ₂	〃 〃	〃 〃	200	0	0.25	0.39	After repairing road surfaces
R ₃	Gravel Road	With gravel (fine)	200	0	0.32	0.49	
R ₄	Muddy Road	Clay, unstable	30	0	0.57	1.20	Muddy surfaces (on the whole surface)
R ₅	Muddy Road	Clay, unstable	30	5.1	0.67	1.20	Muddy surfaces (at one side)
R ₆	Earth Road	Clay, stable	40	5.1	0.47	0.53	
R ₇	Rough Road	Level, with many concaves	60	0	0.53	1.25	Number of concaves $n=65$ (per 100m)
R ₈	Rough Road	Level, with concaves	40	0	0.42	0.61	over depth $h>3\text{cm}$ $n=25$
R ₉	Macadam Road	Slope, macadam, (fine)	60	6.4	0.16	0.43	
R ₁₀	Macadam Road	Slope, macadam, (coarse)	73	6.6	0.38	0.61	V-form surfaces
R ₁₁	Wood Bridge	On the wood plate	20	0	0.10	0.20	

- (1) R_1, R_2 は同一の路面であるがデコボコの補修前と補修直後（凹部に土砂を入れる）では振動加速度値に大きな相違を生ずる。
- (2) ヌカルミ林道 R_4, R_5 では車両の通過により、わだち、穴を生じやすく、そうしたデコボコによる振動が非常に大きくなる。また車両がヌカルミ林道を乗り越え、乾燥路面 R_8 に進出すると、車両の振動加速度は著しく減少する。換言すれば衝撃荷重はきわめて小さくなる。
- (3) 平坦路でのデコボコの多少は R_7, R_8 の路面に見られるように、振動加速度の大きさに密接な関係を有する。
- (4) 碎石のある路面では碎石の大小に大いに関係を有する。また木橋板張り路面 R_{11} では衝撃荷重はきわめて小さいことが知られ、良路面のアスファルト舗装道における結果と共に興味ある事実である。（Ⅳ．1 参照）

以上の例から、路面タイプのいかんにより振動加速度値（あるいは衝撃荷重）がどういふ変化をするものであるか、その傾向をわれわれは容易に推測することができよう。

4・2 路面の形状と振動加速度

つぎに路面上に見られる形状、とくにデコボコの大小と車両に生ずる衝撃荷重の関係を検討してみる。まずデコボコの大きさを Fig. 6 のように表示する。すなわち、 a : 路線方向の穴の長さ、 b : a と直角に交わる穴の長さ、 h : 穴の深さ、としその代表例として Tables 3, 4 の穴、および横断溝をとりあげることにする。

これらの穴上を車両が一定の測定条件の下で通過するとき、車両に生ずる最大振動加速度値（最大衝撃荷重） $g_{H\max}, g_{V\max}$ は Tables 3, 4 に示す通りである。上記の場合、Table 3 は車両の左右両輪のいずれか一方の片車輪が穴上を通過したときの測定結果であり、また Table

4 は左右両輪が、同時に異なったサイズの2つの穴上を通過したときのそれを示す。

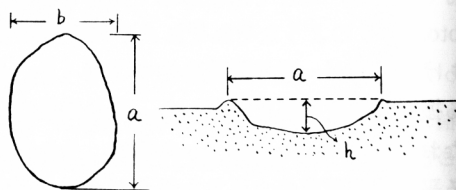


Fig. 6 A sketch showing the size of a concave in road surfaces

a = Major length of a concave

b = Minor length of a concave

h = Depth of the concave (maximum value)

Table 3 The relation between the size of concaves of road surfaces and the maximum vibro-acceleration

Concaves Symbol	Size of Concaves			Maximum Vibro-acceleration		Notation
	a	b	h	$g_{H\max}$	$g_{V\max}$	
	(cm)	(cm)	(cm)	(g)	(g)	
S_1	60	50	3.5	0.23	0.47	Test Motor-truck, T_1
S_2	110	90	4.5	0.20	0.63	
S_3	120	70	4.5	0.27	0.67	
S_4	100	70	5.0	0.21	0.60	
S_5	100	80	6.0	0.30	0.67	
S_6	90	80	7.0	0.20	0.75	
S_7	100	100	7.0	0.27	0.80	
S_8	150	120	7.0	0.39	0.75	
S_9	120	80	9.0	0.45	0.85	
S_{10}	290	120	14.0	0.43	1.12	
S_{11}	400	120	14.0	0.47	1.22	On a Crossing Ditch Runs on wood Bridge
S_{12}	100	—	10.0	1.13	1.55	
S_{13}	100	100	3.5	0.30	0.72	

Table 4 The relation between the size of concaves of both sides and the vibro-acceleration, when both wheels of the motor-truck went over two concaves

Symbol	Size of Concaves			Maximum Vibro-acceleration	
	a (cm)	b (cm)	h (cm)	$g_H \max$ (g)	$g_V \max$ (g)
G_1	L 40	20	1.5	0.27	0.40
	R 90	40	3.5		
G_2	L 50	50	2.5	0.36	0.50
	R 200	90	7.5		
G_3	L 200	90	6.0	0.39	0.63
	R 250	90	6.0		
G_4	L 90	80	6.0	0.36	0.67
	R 120	80	5.5		
G_5	L 200	140	9.0	0.29	0.72
	R 260	120	5.0		
G_6	L 230	120	9.0	0.52	1.08
	R 100	80	7.0		
G_7	L 200	150	8.5	0.39	1.22
	R 100	60	6.5		
G_8	L 400	160	11.0	0.49	1.28
	R 200	110	7.0		
G_9	L 140	120	13.0	0.43	1.62
	R 120	100	12.0		

Notation :

- (1) Test place: Kuchi-Ashū, Kitakuwata-gun, Kyoto
- (2) Test motor-truck: T_1 (see in Table 7)
- (3) L shows a concave on the left hand side of driving direction,
R shows a concave on the right hand side of driving direction.

つぎに Fig. 7 は測定車両 T_1 が溝 S_{12} 上を乗越えたときの振動加速度の時間的变化を示すものであるが、このなかで g_H , g_V における最初の大きい振巾は前輪の通過によるものである。つぎの最大振巾は後輪の通過に基づくものである。なお測定に際しては、穴上通過の有無は、穴の手前（車両の進行に対して）に石灰をまき、石灰上の車輪跡により確認する方法をとった。(Photo. 10, 11)

Tables 3, 4 の結果からつぎのことがわかる。

- (1) 上下の振動加速度は、穴が大きくなると、とくに穴の深さに関係して増大する。
- (2) したがって車両が路面の凸部へ乗上げ、または凹部へ乗下げのとき、上下の振動加速度は非常に大きくなるものと考えられる。

以上の例から、穴の大きさ（とくに h の大きさ）、路面の形状による振動加速度値の変化について、われわれは、それらの関係と傾向を容易に推測することができる。

5. 判定法の提起

林道路面の良否とは何を意味し、何を表わすのか、この問題を考えてみたいと思う。一般にわれわれが林道路面に関し、その良否を云々する場合、つぎの2つの直感的方法を考えるにちがいない。

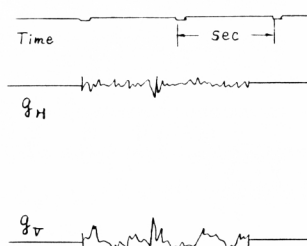


Fig 7 Here is an example of amplitude of vibro-acceleration, when the motor-truck, T_1 , went over a crossing ditch " S_{12} ". In this figure, the first peak of amplitude shows the passage of the front wheels, and the second peak (maximum amplitude) shows the passage of the rear wheels.

- (1) 路面側から路面の形状（主としてデコボコの大きさ）、路面の状態、構造（舗装、ヌカルミ、砂利、碎石路面など）の良否
- (2) 車両側から車両の走行にさいしての車両振動の大きさ

だがこれらに基づく判断は、概していえば目に映じたもの、あるいは車両での乗心地などによる直感判断である。こうした直感判断には比較の基準がないのでそれはその場かぎりの判断で終わってしまう性格をもっている。しかし今とりあげたこの両者（(1)と(2)）の間には密接な関係がみられるのではなかろうか。実は、こうした仮定をおくことにより本研究の問題の出発点が見出される。

ところでⅡ．3における衝撃荷重に対する理論上の考察とⅡ．4における実験の結果は理論と実験の一致を示すものであり、筆者はここにおいて車両に加わる衝撃力（一定の条件下で）の大きさを尺度として路面の良否を決めうることを導き、つぎの新しい判定法を提起することとした。その方法を記述すれば、いま測定車両 T_1 によって振動加速度の測定側 $\alpha_H \cdot g$, $\alpha_V \cdot g$ が与えられたとすると、 α_H , α_V の大きさ（振動加速度の係数）によって路面の良否を決めることである。すなわち、

(1) α_H , α_V が大きいほど悪路

(2) α_H , α_V が小さいほど良路

とするのである（Ⅳ．3参照）。この場合路線が直線路であれば α_V の大きさだけでも十分であり、 α_H を考慮するのはカーブ路線においてである。

以上の判定理由は車両に加わる衝撃荷重の大きさを根拠としている。したがって路面の良否に対する筆者の考えでは、車両に対する衝撃荷重の大きさがそれを決めるものであるとする見解をとるわけである。こうした衝撃荷重を尺度とする判定法は、路面の状態をある意味で代表的に表わすものであると同時に、その路面が車両に対して（ある走行条件下で）、どの程度の衝撃力を与える路面であるかを数値的に示すものであり、車両への影響の良否を代表できるという2面の効果をもっているものと考えることができる。

なお筆者は上記路面の良否判定法の一般性についてつぎのように考える。すなわち、いま測定したい2つの路線（A, B）があって、両者は地理的な関係により、同じ車両（あるいは同種の車両）で測定不可能な場合を考えてみる。2台の測定車は $T_1 \approx T_2$ としよう。いま測定車両 T_1 を用い、いろいろな形状の路面（たとえば Fig. 6 における穴のサイズ a , b , h の値の種々な大きさのもの）について、とくにその場合、各種形状路面の h の大きさと振動加速度値との関係を求めて、これを T_1 車両の h に対する固有の値とし、同様にして T_2 車両においても h に対する固有の値を求めておくなり、その両者の関係を基にして、2路線（A, B）における間接的な路面の比較が可能となり、これによって判定法の一般性を考えることができる。

Ⅲ 林道路面の良否判定法について

前記第Ⅱ章から路面判定の問題は加速度の係数 α を求めることに帰着したわけであるが本章では、この α の測定方法、条件および路面判定法の具体的な問題について述べる。

1. 振動加速度の測定方法

1・1 測定計器とその検討

(1) 計 器

まず車両に加わる外力の大きさ（振動加速度の大きさ）を求めることであるが、このために振動加速度計の使用が考えられる。¹⁵⁾²⁰⁾²³⁾

ところで本研究でとくに問題となる点は、1) 測定が動く車両の中で行われること、2) 測定林道路面は一般にデコボコが多いこと、3) 測定にさいし電源がとれない。などであってこれらが、使用

計器の選定にあたり相当の制限因子となった。筆者はこれらの特殊事情を十分に考慮に入れ、本研究では、下記の機能、性能をもった電池式、ペン書の小型振動加速度計2台を使用した。これは筆者の知る範囲では、軽量でしかも測定に対する特殊な要求を満たすものであった。計器の機能と性能は Table 5 の通りである。

Table 5 Characteristics of the used vibrograph

Contents	Vibrograph	
	M ₁	M ₂
Recording Method	Mechanical Record	Mechanical Record
Weight of Pendulum	1800 g	1800 g
Number of Proper Vibration	1750 cpm	945 cpm
Damped Instrument	By oil	By oil
Fundamental Magnification	10	20
Sensitivity	3 mm/g	2 mm/0.1 g
Measuring Region	$\pm 5 g$, in two directions	$\pm 0.7 g$, in two directions
Measuring Direction	Horizontal and Vertical	Horizontal and Vertical
Roll Paper	65 mm $\times$ 20 m	65 mm $\times$ 20 m
Feed Speed	20, 40 mm/sec	20, 40 mm/sec
Electric Source	DC 7.5 V, (dry cell)	DC 7.5 V, (dry cell)
Size of Vibrograph	190 $\times$ 120 $\times$ 125 (mm)	190 $\times$ 120 $\times$ 125 (mm)
Weight of Vibrograph	4.5 kg	4.7 kg

また計器の構造は Fig. 8 において簡単に示す。

(2) 計器に対する検討

ここで計器の検討をしておきたいと思う。

1) まず振動加速度計の機能から考えてみると、上記の計器は被測定物に現われる振動に基因する振動加速度 $\alpha \cdot g$ ($g=9.8 \text{ m/sec}^2$) を上下、左右の2方向 (いずれも直線的な振動の大きさとして) にペン書記録するもので、そのペン書振巾の大きさから (後述) われわれは車両の特定部に加わる外力の大きさの時間的な変化を連続的に知ることができる。

2) つぎに性能について、その測定範囲を考えてみると、筆者がトラック上で身体を振り回され、舌をかみ切りそうな経験をもったとき $2g$ 以内 (片振巾) であった。したがって一般に車両 (トラック) の走行時の測定には $\pm 5g$ の測定範囲をもつ計器であれば十分すぎるほどであろう。筆者の経験では空車走行を測定条件とし、かつ林道が測定対象となる場合でも、測定範囲は $\pm 2g$ まであれば十分のように考える。また振巾の読みからくる測定範囲は計器 M₁ においては 0.3 mm が

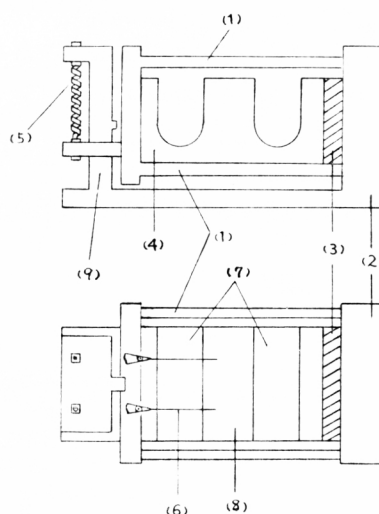


Fig. 8 This sketch shows a construction of the vibrograph used in this test

(1) Bar spring (2) Base plate (3) Damper by means of oil (4) Pendulum (5) Coil spring (6) Pen (7) Feeder: a reel for setting roll paper (8) Feeder: a reel for rolling up the record paper (9) Roll paper (10) Suspension

験では空車走行を測定条件とし、かつ林道が測定対象となる場合でも、測定範囲は $\pm 2g$ まであれば十分のように考える。また振巾の読みからくる測定範囲は計器 M₁ においては 0.3 mm が

0.1 g であるから記録紙から (0.5 mm 製図用物指でルーペで読むことにより) 0.02 g 以上のものなら十分とらえることが可能である。また M_2 では 2 mm が 0.1 g であるから舗装された良路でも十分の精度を期待できる。したがって M_1 , M_2 の 2 台の計器を用いることにより、路面上での振動加速度の測定は満足できる。

3) 自己振動数と特性曲線について、

この計器 (M_1) の自己振動数は 29 cps である。したがってトラックとの共振状態を考えると大体 17 cps 以下の振動数のものでは信頼できるように考える。²²⁾ しかし本計器での特性曲線からつぎの点を考慮しなければならない。(M_1 について述べる)

- (a) 左右方向においては 4 g 以上、8 cps を越える振動数のものでは振巾の読みを調整する必要がある。
- (b) 上下方向において 4 g 以上、13 cps を越える振動数のものでは、やはり特性曲線による読み調整が必要である。

なお上下、左右のいずれにおいても 18 cps 以上になると次第に読みが不正確になることが考えられるが、本試験では左右方向について 5~13 cps、上下方向について 3~7 cps のものが大部分で、ことに 18 cps 以上の振動数のものは記録されなかった。

4) 記録について

送り速度を 20 mm/sec とし走行速度を 20 km/h とすると路線の長さ 50 m の測定では、記録紙のなかで約 18 cm の長さのなかに振動加速度の時間的変化がすべてインク書されることになる。したがってインク書された振巾の読み (ある大きさのものについては特性曲線による調整を行うことにより) から重力速度の α 倍の振動加速度の大きさを知ることができる。

1・2 測定条件について

さきに車両振動の内的原因のところで測定条件の設定の必要性につき言及しておいたが、振動加速度の測定のために十分な測定効果を期待するにはつぎのような測定条件を考えておかねばならない。というのは走行中の車両振動は路面のいかんにより大きく支配されるとしても、その現われ方は路面のみにより左右されると考えることはできず、下記の 5 条件によっても振動の現われ方は変化するものと考えられる (これに対する考察はすでに日林誌において大部分を公表した、⁹⁻¹³⁾ なおこの条件において振動に関係する風圧、自励振動、共振等の条件はとくにここではとりあげない)。したがって路面との関係を知るためにはこれらの条件を無視することはできない。

以下振動に関係のある大きな条件を列記し測定にさいして筆者のとった方法を述べる。

(1) 測定位置 (一定)

一般に振動に関するすべての変位、加速度等は重心位置で測定するのがもっともよいとされている。^{2,5,6,24)} しかし測定車両 (トラック) においては実際には重心位置での測定は困難であり測定上の実用的立場を考慮して測定位置を車両の荷台上に求め Fig. 9 に示す 6 箇所を考えることにした。

測定位置の位置関係は Fig. 9 に示す通りで①は計器の固定位置 No. 1 とし以下同様にして⑥は No. 6 というように呼ぶこととする。また L は車軸距、 l は荷台巾を示す。計器固定位置のなかで No. 1 は車両の重心上あるいは

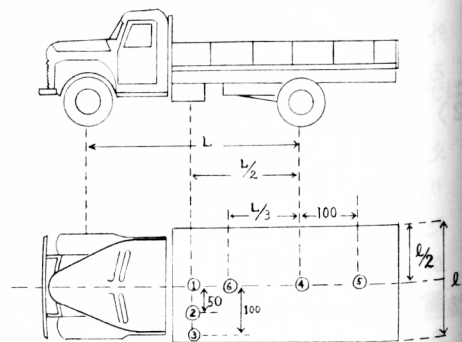


Fig. 9 A sketch showing various positions on which the vibrograph was fixed

その附近にもっとも近い位置であると考えられる場所であり、さらに No. 6 は車両の貨物満載時における重心の移動位置附近と推定される場所である。筆者は本研究を通じて測定位置の基準を No. 1 の場所としたが、それは上記の理由によっている。なお No. 2~No. 6 の各点は No. 1 と共に測定位置としての最適場所を考察するためのものである。(振動加速度は No. 1 でもっとも小さい：日林誌 Vol. 45 (11) に詳述¹⁰⁾)

(2) 測定中の走行速度 (一定)

測定中に走行速度が変わると車両振動の大きさも変わることが考えられ、できるだけ一定速度に保って走行することを条件とする。林道ではデコボコ道路が多く、一般に平均して高速度走行することは困難であり、かかる路面での一般的な可能性から平均時速 20 km/h をとるようにした。(この理由については日林誌 Vol. 46 (5) で詳述した¹¹⁾)

(3) 積荷の有無

荷台上での測定では空車走行の場合が計器の固定上好都合であり、積荷量をゼロとして空車走行による測定を基準とした。(これについては日林誌 Vol. 46 (6) で詳述した¹²⁾)

(4) タイヤ圧 (一定)

車両のタイヤ圧が車両振動に関係があることは当然考えられ測定にさいしては前、後車輪のタイヤ圧を一定にしておくことが要求される。(この理由については日林誌 Vol. 46 (7) で詳述した¹³⁾)

(5) 車種の一定

各路線間の路面の比較は、同一車両あるいは同じ車種による測定結果で行われることが必要である。理想的には一定の測定車を考えることが望ましい。しかし車種が止むをえず変わる場合には、路面形状と振動加速度の関係 (Ⅱ, 5 で述べた h の大きさと振動速度との関係から間接比較) を求めることにより一般化の可能性を考えうる。

以上の条件を前提として車両に生ずる振動加速度値 $\alpha \cdot g$ を測定するわけである。

2. 振動波形の解析方法と判定方法の具体化について

振動加速度の時間的な変化に対する記録の解析方法と路面判定法のための具体的な取扱を以下に述べる。

2・1 振動波形の解析

($g_{\max}$ の決定)

振動加速度値の時間的な変化は、計器の記録紙上に Fig. 10, 11 のごとく左右と上下の2方向に分かれてペン書記録される。

振動加速度値はこれらの振動波形の振巾の大きさを読むことにより (後述のように) 求められるので筆者はつぎの解析方法をとった。すなわち Fig. 10 の振動波形について、
※ 波形の中心線からの偏りを考え、そ

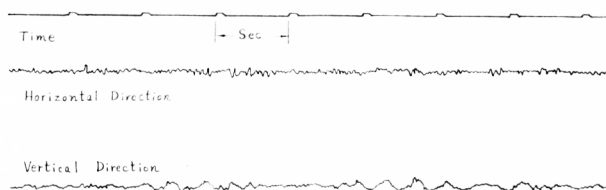


Fig. 10 An example for vibrating waves of the vibro-acceleration measured on Odai forest road. The used vibrograph was M_1 , (3 mm/g)

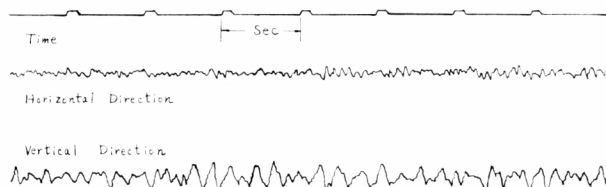


Fig. 11 An example for vibrating waves of the vibro-acceleration measured on the concrete road at Kameoka, Kyoto. The used vibrograph was M_2 , (2 mm/0.1 g)

※ 中心線は振巾 0 の点、すなわち記録紙上では直線に見えるところ、もしくは振動が、ほとんど停止したごとく見える点を 2, 3 点おさえることにより容易に得られる。

のなかで、片側の最大振巾を読むことにより、一単位の路線区間（後述）における最大振動加速度 $g_{\max}$ を決定する。この具体的な方法は後述する。

2・2 路面良否の代表値の決定と判定法の数式化

路面の良否、あるいは路面の形状、状態を表現するために下記の2つの方法を考えた。

(1) 最大振動加速度値 ($g_{\max}$) による方法

その一つは以下に述べるように一定区間の路線の最大振動加速度をもって代表させるもので、つぎのような取扱いにより決定する。

- 1) まず測定すべき路線について振動加速度の分析の一単位を50mとして考える。したがって路線全長を L とし、 N 個の分析単位があるとする、 $L/N=50$ m となる。またこの場合、測定走行速度 20 km/h では一単位の 50 m 区間の記録は 18 cm の記録紙に全て描かれる。
- 2) 車両の特定部（測定位置に等しい）に生ずる振動加速度の時間的変化は、自記記録紙に連続してペン書されるので、今述べた一単位の路線について描かれた振動波のなかから振動加速度値の最大振巾のものを選び、これを $g_{\max}$ とすることに規定する。しかし、そのさい少なくとも同一傾向の大きさの波形が2個以上連続して現われるか、2個以上そのような波形が見られる場合を条件としておく。たとえば突発的に Fig. 12 のように極端に大きい振巾が現われる場合、これは $g_{\max}$ からとりはずすことにする。



Fig. 12 A sketch of the extreme amplitude which might occur in the running motor-truck.

（この決め方は JIS の表面粗さの決め方に準ずる）

- 3) 路線全長 L に対する全体の平均を次式で表わす。

$$\bar{g} = \sum g_{\max} / N = \alpha \cdot g \quad \dots\dots\dots (5)$$

したがって、ここでもし $N=20$ であるとする、路線長は 1 km ということになり、また $\bar{g}$ の値は 1 km の路線の路面の代表値ということになる。

- 4) 以上で路面の代表値 $\bar{g}$ が決まるわけであるが、使用計器では左右、上下の2方向に同時に $\bar{g}$ を決定することができるので、左右、上下の代表値をつぎの式で表わすことにする。

$$g_H = \bar{g}_H \pm \varepsilon_H \cdot g = (\alpha_H \pm \varepsilon_H) \cdot g \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$g_V = \bar{g}_V \pm \varepsilon_V \cdot g = (\alpha_V \pm \varepsilon_V) \cdot g \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに
 g_H : 左右方向の振動加速度
 g_V : 上下方向の振動加速度
 α_H : 左右方向の振動加速度の係数
 α_V : 上下方向の振動加速度の係数
 g : 重力加速度

$\pm \varepsilon_H, \pm \varepsilon_V$: 95 % の信頼限界における計算値の上限と下限を表わす。

なお $\varepsilon_H, \varepsilon_V$ はつぎの式で求める。

$$\varepsilon_H, \varepsilon_V = \frac{S \cdot t}{\sqrt{N}}$$

ここに S は g_H, g_V の標準偏差； t は 95 % の信頼度における t 分布の値； N は測定数

以上の式のなかで、 α_H, α_V の値が筆者が求めようとする値である。換言すれば、 α_H, α_V の値は路面の良否の判定の基準となりうるわけである。実際には、これらの値によりつぎのように判定する。すなわち、数値的に α_H, α_V の値が小さいとき、その路面は良路であり、反対に大きいとき、または大きいほど悪路の部類に入るという判定をしていくことになる。この理由は、すでに述べてきたように α_H, α_V の値が大きいほど、衝撃荷重が大きい（その場合車両に悪影響を与える路面）ということに根拠をおくものである。しかし実質的には α_H と α_V の値のなかで路面のデコボコの状態を決定

するのは α_V であると考えることができ、 α_V の大小だけを考えることでもよい。ただ α_H が必要となってくるのは、（ここでは述べないが）カーブ路線を考えるときであってその場合 α_H が大いに有用となる。

(2) 振動加速度の頻度

もう一つの方法は、ある振動加速度よりも大きい加速度値（具体的には測定路線における $\bar{g}$ ）が記録紙中にどういう割合で見られるか、換言すれば、その頻度の大小を問題にすることである。したがって頻度数を F で表わすならば、 F が小さいほど、測定路線は良路であり、また大きいほど悪路という判定になる。

ところで以上の2つの方法は、路面判定にさいし、同時に考慮されるべきものなのかどうか、これについて筆者はつぎの見解をもっている。すなわち筆者の実験によれば（Ⅳ．3） α_H 、 α_V による判定と F による判定は同一結果を導くものであり、(1)の方法による判定で十分である。

Ⅳ 路面の良否判定法の適用とその数値例

本章ではつぎの3つの場合を代表的にとりあげ、現地での測定車両と測定路線を対比させて路面判定の数値例を述べる。

Table 6 The characteristics of tested roads

Symbol	Place	Characteristics					Note
		Classifi- cation	Wedth (m)	All Length (km)	Numbers of Curve ($r \leq 30m$) per km	Average Slope (%)	
A	Ashū~Tauta	1st Class (Forest Road)	4.0	5.6	3	4.5	Asphalt
B	Ashū~Nittō	1st Class (" ")	4.0	3.3	4	3.6	
C	Nittō~Keyaki	2nd Class (" ")	3.0	3.7	14	8.2	
P ₁	Kinkaku	2nd National Road	5.5~6.5	1.0	0	0	
P ₂	Kinkaku	" "	5.5	0.5	0	0	
P ₃	Takao	" "	5.5~6.5	1.8	0	4.0	
P ₄	Kinkaku ~Ninna	" "	5.5~6.5	1.0	0	4.0	
D	Rubeshinai	1st Class (Forest Road)	4.0	1.0	0	0	
E	Otofukeye	2nd "	3.6	1.0	5	6.7	
F	Nutakuyanbe	2nd "	3.6	0.85	0	3.3	
G	Yuni-Ishikari	2nd "	3.6	1.0	0	0	
H	Sōunkyō	2nd National Road	7.0	1.05	0	0	
I	Akasai	2nd Class (Forest Road)	3.6	1.0	7	1.8	rough
J	Akasai-Office	2nd "	3.6	0.6	5	4.2	
K	Shin-Akasai	2nd "	3.6	0.5	10	7.7	

1. 路面の良否判定の数値例

(1) 林道とアスファルト舗装道

対象林道を京大芦生演習林林道 (A, B, C) から, またアスファルト舗装道路 (P_1, P_2, P_3, P_4) を京都小浜線 (高雄近郊) から選び Table 6 にその概要を示す。

この場合の測定車両 (T_1) は芦生演習林所属のトヨタ 4.0 t 車で Table 7 にその概要を示す。

(2) 大雪営林署林道

測定林道は北海道大雪営林署の管理林道から予備踏査の上選んだもので, その概要は Table 6 において, また測定車両 (T_3, T_4, T_5) は Table 7 においてそれぞれ示す。

(3) 山崎営林署林道

対象林道は兵庫県山崎営林署の赤西, カンカケ林道から選び, 測定車両 (T_6, T_7) は同営林署所属の2台のトラックを使用した。

これらの説明は Table 7 において簡単に示した。

2. 測定結果と判定結果

上記各路線に対する振動加速度の測定結果および, その結果から得られる路面の良否判定の適用は, それぞれ Tables 8, 9, 10, 11 に示す通りである。なお林道, アスファルト舗装の坂路に関しては, ここでは上り方向のもののみについて述べておいた。

またⅣ. 1の(1)では α_H, α_V の値による路面判定に加えて, 振動加速度の頻度数 F_H, F_V の値からの判定を同時に Table 9 で示した。

これについては以下の考察で述べる。

Table 7 All the used motor-trucks for this test are given in Table 7

Symbol of Motor-truck	Type of Motor-truck	Place	Service Years before Test	Horse Power (PS)	Weight of Motor-truck (kg)	Maximum Payload (t)	Wheel base (m)	Tire-Pressure (Pounds/inch ²)			Spring Structure (Leaves)		
								Front	Inside	Rear Outside	Front	Main	Sub.
T_1	Toyota 54	Ashū (Kyoto)	8~9	85	3,565	4.0	4.0	40	70	70	10	14	9
T_2	Toyota 63	"	1	110	3,920	5.0	4.2	50	80	80	11	14	6
T_3	Hino 57	Taisetsu (Hokkaidō)	5	125	6,070	6.5	4.2	50	95	100	14	14	7
T_4	Isuzu 56	"	6	105	4,400	5.0	4.0	40	80	80	11	14	12
T_5	Isuzu 60	"	1.3	125	4,780	6.0	4.0	50	95	100	14	15	9+8
T_6	Isuzu 56	Yamasaki (Hyogo)	6.3	105	4,400	5.0	4.0	40	85	90	11	14	12
T_7	Isuzu 59	"	3.3	120	4,095	5.0	4.0	40	85	90	12	15	10
T_8	Isuzu 61	Owase (Mie)	2	125	4,310	6.0	4.0	65	80	80	14	15	10
T_9	Isuzu 62	"	1	125	4,340	6.0	4.0	65	90	90	14	16	9
T_{10}	Toyota (Light)	"	2.7	60	1,420	1.75	2.8	30	70		5	8	

Table 8 Results of the judgment by means of the value of α_H and α_V

Symbol of Road	Driven Speed (km/h)	Position of Vibrograph	Coefficient of Vibro-acceleration		Judgment Order
			α_H	α_V	
A	20	No. 1	0.54 (± 0.04)	0.86 (± 0.09)	5
B	〃	〃	0.61 (± 0.02)	0.95 (± 0.05)	6
C	〃	〃	0.70 (± 0.05)	1.35 (± 0.11)	7
P ₁	〃	〃	0.12 (± 0.02)	0.19 (± 0.01)	2
P ₂	〃	〃	0.10 (± 0.01)	0.17 (± 0.02)	1
P ₃	〃	〃	0.13 (± 0.02)	0.22 (± 0.02)	3
P ₄	〃	〃	0.14 (± 0.01)	0.23 (± 0.02)	4

Notation :

- (1) When values of α_H and α_V are smaller, the road is better on the quality of road surfaces.
- (2) Values of α_H and α_V on the asphalt road P are noticeably smaller than those on forest roads.
- (3) The value of vibro-acceleration is based on the above or below (one side) amplitude from a basic line.

Table 9 Results of the judgment by means of F_H and F_V

Symbol of Road	Driven Speed (km/h)	Position of Vibrograph	Frequency of Vibro-acceleration		Judgment Order
			F_H	F_V	
A	20	No. 1	$F_H = 17$	$F_V = 19$	1
B	〃	〃	$= 19$	$= 30$	2
C	〃	〃	$= 55$	$= 78$	3

Notation :

The values of F_H and F_V show the frequency on the vibro-acceleration which exceeds its average value g_H , g_V , on the road A, per km.

Table 10 Results on the judgment of qualities of forest roads by means of α_H and α_V

Symbol of Motor-truck	Symbol of Road	Driven Speed (km/h)	Position of Vibrograph	Coefficient of Vibro-acceleration		Judgment Order
				α_H	α_V	
T ₃ Hino 57	D	20	No. 1	0.26 (± 0.02)	0.37 (± 0.02)	3
	E	20	〃	0.35 (± 0.07)	0.34 (± 0.05)	4
	F	20	〃	0.18 (± 0.01)	0.24 (± 0.02)	1
	G	20	〃	0.28 (± 0.03)	0.32 (± 0.03)	2
	H	16	〃	0.46 (± 0.06)	0.64 (± 0.07)	5
T ₅ Isuzu 60	D	20	No. 1	0.27 (± 0.02)	0.37 (± 0.02)	3
	E	20	〃	0.43 (± 0.04)	0.42 (± 0.04)	4
	F	20	〃	0.21 (± 0.03)	0.21 (± 0.04)	1
	G	19	〃	0.24 (± 0.02)	0.29 (± 0.03)	2
	H	20	〃	0.83 (± 0.16)	1.21 (± 0.24)	5

Table 11 Results on the judgment of qualities of forest roads by means of α_H and α_V

Symbol of Motor-truck	Symbol of Road	Driven Speed (km/h)	Position of Vibrograph	Coefficient of Vibro-acceleration		Judgment Order
				α_H	α_V	
T ₆ Isuzu 56	I	21	No. 1	0.32 (± 0.02)	0.43 (± 0.02)	2
	J	21	ノ	0.25 (± 0.02)	0.32 (± 0.02)	1
	K	20	ノ	0.45	0.68	3
T ₇ Isuzu 59	I	20	No. 1	0.33 (± 0.04)	0.39 (± 0.05)	2
	J	21	ノ	0.26 (± 0.02)	0.30 (± 0.02)	1
	K	20	ノ	0.51	0.60	3

3. 判定法の適用例に対する考察

さきに述べた判定例と判定の対象となった現実路面に関して、つぎのことが考察される。すなわち、

- (1) 路面の良否の判定結果を、ここに現実の路面 (Table 6) にたちもどって検討してみると一般に良い路面として考えられるアスファルト舗装道路 P₁~P₄ は α_H , α_V の値が、きわめて小さく、林道路面の A, B, C における大きな値と対照をなしていることが知られる。また同じ林道でも林道路面の種類によって α_H , α_V の値には Tables 8, 10, 11 のごとく、それぞれ大きさの異なった固有の値がみられ、それを基として判定順位が決ってくる。
- (2) したがって α_H , および α_V の値の小さいものほど、その路面がよく良路であるとする判定は結局車両に与える疲労、消耗に対して、その路面がどれほどの比重をもっているか (影響の良否) を数量で決めることに等しい。筆者はすでに目でみたり、乗心地を基にした判断は直感の域を出ず、それはその場かぎりのものに終わってしまいやすいということを述べたが、先に判定例が示したように α_H , α_V の値はこうした問題を解決し、直感による判定に対し科学的な根拠を与えることが可能となる。(車両の損耗という問題にいたっては、これがとくに重要な意味をもってくるものと考えられる)
- (3) Tables 10, 11 であげた例では、測定車両の種類と判定結果を説明するものであるが、 α_H , α_V の値が車両種で異なるけれども判定順位に対する結果は同じになることを知ることができる。(車両種により α_H , α_V の絶対値は異なってもその値の増減はほぼ比例的である)
- (4) 平坦路と坂路とでは、いくらか α_H , α_V の値に相違がみられ (P₁, P₂ と P₃, P₄ の比較により) 坂路では少し大きくなることが考えられる。これについての考察はここでは省略するが勾配は路面判定上のマイナス側の因子と考えることができる。
- (5) Table 9 においては α_H , α_V による判定と振動加速度の頻度 F_H , F_V による判定の2つを一例としてあげたが、この一例は両者による判定が、同一の結果を導くものであることを示すものである。筆者の経験では、こうした例を根拠として、測定路線に対する判定は、 α_H , α_V の値を求めることで十分である。

V 結 論

本研究の第Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ章で述べた理論的および実験的考察, 論議の結果, それらを基にしてつぎの結論を導くことができる。

林道路面の形状および状態, 構造のいかんは一定条件の下で走行する車両に生ずる振動加速度 (衝撃荷重) の大きさと密接な関係をもっている。したがって、この関係を基礎として衝撃荷重の大きさ

(具体的には振動加速度の係数 α_H , α_V の大きさ) を尺度として, 林道路面の良否を判定する一つの方法を確立することができる。(Ⅱ. 3, 4, 5; Ⅳ. 2)

この場合直線路線を対象とするときは上下方向の振動加速度の係数 α_V の値を比較するだけでも十分であるが, カーブ路線 ($r \leq 30$ m, 測定上の走行速度を 20 km/h とするとき) に対しては, 左右方向の振動加速度の係数 α_H をも同時に考慮する必要がある。

筆者は上記の方法による判定が林道路面の良否についての, われわれの直感的, 常識的な判断の結果とよく一致することを実験により確認したが, α_H , α_V の値による判定は, そうした直感判断に科学的な根拠を与えることができ, 林道路面の良否判定の一つの適切な方法と言える。

なお結論とは異なるが以下の点を付言して結びとしたい。さきに緒言において述べたように, 本稿は筆者の論文から Part I を取りまとめたものであり林道路面の良否判定法の提起と, 筆者のそれに対する考え方, 方法, 適用等に関し紙面の許すかぎりこれらを記述した。しかし路面判定の尺度となる振動加速度について, その測定諸条件間との関係や, 派生的諸問題についての考察は, ほとんど本稿において記述できなかった。Part II はこれらに関し詳細に考察したものであるが, その大半は日本林学会誌に部分的に公表してきたので, それらを本稿の参考にさせていただきたいと考える。

参 考 引 用 文 献

- 1) Ahlborn, G. & Mayor, R. A : New Development in BPR Roughness Indicator and Tests on California Pavement, HRB Bull. 139, 1956. Washington
- 2) 平尾收, 亘理厚他 : 理論自動車工学, 昭36, 山海堂
- 3) Honsel, W. S. : Pavement Profil Surveys to correlate Michigan Design Practice with Service Behavior, Proc. HRB 1959, Washington
- 4) 穂坂衛, 石川次郎 : 乗心地の量的表現とその計測方法, 鉄道研究所資料, Vol. 8, 17., 1951
- 5) 石本巳四雄 : 振動実験及測定法, 昭9, 共立社
- 6) 岩川 治 : 林業用トラックの更新問題, 日本林学会誌, Vol. 41 (8), 1959
- 7) 岩川 治 : 林道路面の良悪の判定について, 日本林学会誌, Vol. 44 (3), 1962
- 8) 岩川 治 : 車両振動と林道路面の良否判定法の適用, 日本林学会誌, Vol. 45 (2), 1963
- 9) 岩川 治 : 路線のカーブと車両の振動加速度との関係, 日本林学会誌, Vol. 45 (4), 1963
- 10) Iwakawa, O. Takada, O : The Relationship between the Vibro-acceleration of Motor-trucks and the measuring Position on their Loading Decks. J. Jap. Forest Soc. Vol. 45 (11), 1963
- 11) Iwakawa, O : The Relationship between the driven Speed of Motor-trucks and the Vibro-acceleration J. Jap. Forest Soc. Vol. 46 (5), 1964
- 12) Iwakawa, O : The Relationship between the Vibro-acceleration and the Amounts of loaded Timber on the Loading Deck of Motor-trucks. J. Jap. Forest Soc. Vol. 46 (6), 1964
- 13) Iwakawa, O : The Relationship between Tire-pressure and Vibro-acceleration occuring in the Running Motor-truck J. Jap. Forest Soc. Vol. 46 (7), 1964
- 14) 片野 洋 : 舗装の表面の凹凸測定について, 第5回日本道路会議(講演集)昭34
- 15) 国枝正春, 横瀬景司 : 自動車の乗心地試験とその考察, 鉄道研究所資料 Vol. 10, 10, 1953
- 16) 松平 精, 松井 哲 : 走行中の自動車の振動, 日本機械学会誌, Vol. 55, 403, 1953
- 17) 松平 精 : 基礎振動学, 共立出版社
- 18) 岡田 清 : 最近のコンクリート系舗装, 土木学会道路工学テキスト, 昭35
- 19) Rowell, H. S. : Principle of Vehicle Suspension Proc. Inst. Autom. Eng. 17, 1923
- 20) 妹沢 克雄 : 振動学, 昭7, 岩波書店
- 21) 谷口 修 : 振動工学, 1962, コロナ書店
- 22) 谷口 修 : デンハルトク, 機械振動論邦訳, 1944, コロナ書店
- 23) 武蔵 倉治 : 振動計, 昭19, 岩波書店
- 24) Timoshenko, S. : Vibration Problems in Engineering D. Van Nost Rand Company, Inc. New York
- 25) 山本 峰雄 : 自動車工学講座, No. 1, 昭36, 山海堂書店
- 26) 山脇 三平, 他 : 運材トラックの燃費と振動, 第67回, 日本林学会講演集, 1957

摘 要

本研究は車両の振動現象を利用し、車両に生ずる衝撃荷重の大きさを尺度として、林道路面の良否を判定することを目的としたものである。第Ⅱ章、Ⅲ章、Ⅳ章は本課題に対する研究の母体をなすものであるが、筆者はこれら各章のなかで、林道路面の良否判定法についてこれが確立にいたるまでの理論的および実験的考察を中心とし、さらに判定法の実際の適用例を示した。

1. まず本研究については、つぎの2つの仮定が問題の出発点となっている。すなわち、
 - (1) われわれの経験によれば、同じ車両でしかも同一の条件で走行する場合でも、路面が異なれば（例えば林道と舗装道路では）車両の振動、衝撃は大いに相違する。こうした相違は、走行路面自体の影響に基づくものであると考えざるをえない。
 - (2) 路面の形状、構造のいかんと車両の振動との間には密接な関係がある。

以上の2つの仮定である。この見地から、つぎに筆者は車両振動の原因、車両振動の種類などについて簡単な考察を行い、本研究が車両振動に関して取扱う範囲を明らかにした。また路面のいかんによる車両振動について、上下振動とそれに基づく上下の衝撃荷重に関し、車両が凸部乗上げ、凹部落下を例として理論的考察を行った。その結果、衝撃荷重が凸凹部の大きさに大に関係があることを見出すとともに、さらにモデル路面をつかった実験によりその事実を確かめた。（Ⅱ・3、4）

筆者は、上に述べた理論と実験の結びつきによって、ここに衝撃荷重の大きさを尺度として林道路面の良否判定を行う方法を確立し、これを提起した。

2. つぎにⅢ章では、上記判定法のための具体的な問題を取りあげ、振動加速度の測定方法、振動計により記録された振動波の解析の仕方、振動加速度値の計算法等を示し、 α_H 、 α_V の値による実際上の路面判定につき詳述した。

3. Ⅳ章では、代表的な路面、路線をいくつかとりあげ、判定法の適用とその数値例を中心に述べた。またそれらの実験例は、われわれが一般になす直感判断による結果と一致するものであり、 α_H 、 α_V による路面判定がその直感判断に対して科学的な根拠を与えうることをも同時に示した。

Résumé

The main purpose of this investigation was to establish a scientific method for estimating the qualities of forest roads by means of the vibro-acceleration occurring in a running motor-truck, that is, by means of the impact load produced in the motor-truck.

The bases of this paper were described in detail in chapters II~IV respectively.

1. On the basis of the following two assumptions I started this investigation:
 - (1) Driving on a forest road by a motor-truck, we often have experiences of uncomfortable riding caused by the great vibration, that is, the impact force occurring in the running motor-truck. On the contrary, driving on an asphalt road (paved road), we have experiences of comfortable riding, that is, smaller vibration. How can we explain this fact? It is one of my assumptions that this fact may be dependent on a difference of the qualities of road surfaces between a forest road and an asphalt road.
 - (2) The other assumption is that the impact load resulting from the motor-truck which runs on rough roads may be dependent on many kinds of shape and type of road surfaces as well as the shake in a vertical direction.

These assumptions based on the above fact gave me a start of this study.

From this point of view, I first pointed out causes for the vibration of the motor-truck and the kinds of vibration, and then made clear the region of vibration which I dealt with in this study. Secondly, assuming that front and rear wheels ran on humps, or one of them fell in a concave on road surfaces, I carried out a theoretical consideration of the vertical vibration of motor-trucks and their impact load. Thirdly, in order to make sure of the above assumptions I made many experiments for obtaining the relation between the shape or the type of road surfaces studied and the vibro-acceleration. These assumptions were justified here by the fact that the theoretical consideration gave a good agreement with the experimental evidence as discussed in chapters II. 3 and II. 4.

On the basis of this fact I could establish a method for the estimation of the qualities of forest roads by vibro-acceleration, in practice, by means of comparison of each coefficient, α_H and α_V , of the vibro-acceleration for each road.

2. The following practical problems of this investigation were discussed in chapter III :
 - (1) method of measurement; (2) examination in regard to the sensitivity of used vibrograph; (3) condition of measurement; (4) analysis of amplitude by the vibrograph; (5) practical calculation of vibro-acceleration and so on. In addition, the practical examples for the judgments by means of each coefficient α_H and α_V were given in this chapter.
3. The practical applications of this method were discussed on the basis of the above examples in chapter IV. I showed that the estimation by means of the above-mentioned method was in good agreement with the estimation based on an intuition, and that a scientific ground could be given for the intuitive estimation.

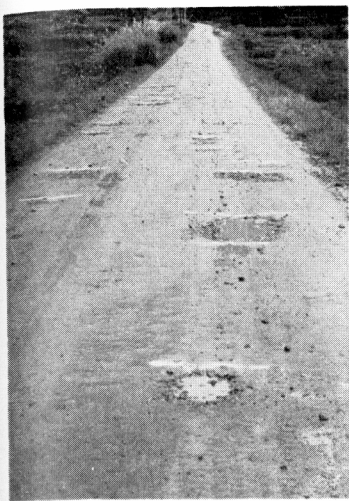


Photo. 1 Forest road R_1 before repairing road surfaces

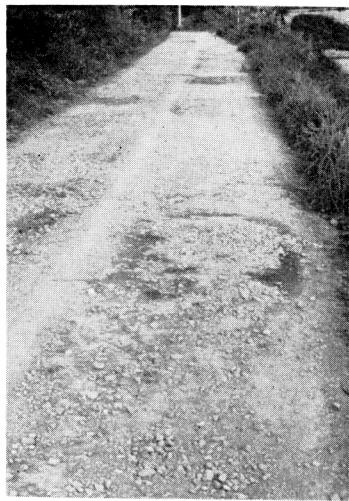


Photo. 2 Forest road R_2 after repairing road surfaces



Photo. 3 Forest road R_4 , a muddy road surface on the whole

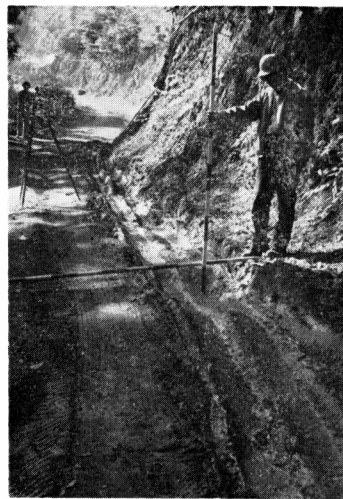


Photo. 4 Forest road R_5 , a muddy road surface on one side



Photo. 5 Forest road R_7 , with many concaves, rough road



Photo. 6 Forest road R_8 , with concaves



Photo. 7 Forest road R_9 a macadam road surface



Photo. 8 Forest road R_{10} a macadam road surface



Photo. 9 Forest road, R_{11} , on wooden bridge



Photo. 10 An example of concaves used in this test



Photo. 11 A crossing ditch used in this test and the white line (by lime)