

人工路面における乗用トラクタの走行特性と操縦者の振動応答について

小 嶋 和 雄

(農学部農業機械学研究室)

Running Characteristics of the Tractor and Response of Operator on the Artificial Road

Kazuo KOZIMA

Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture

Abstract : The author measured the slowing down of the tractor speed, the feeling and the acceleration of the operator to the vibration of the tractor when the tractor ran on the artificial track with the projections arranged variously.

The results were as follows :

- 1) The tractor speed decreased 5-40% of the standard speed for the projections of the track. The slowing down of the tractor speed increased as change up the gear.
- 2) The operator had the worst feeling when set the change gear to the 5th (standard speed was 6.8km/h) of the tractor.
- 3) The high frequency contained in the vibration which the tractor made on the artificial track was absorbed into the seat, but the amplitude of the low frequency amplified 1.5-2.0 times.
- 4) The operator could not drive the tractor for many hours when the acceleration of the operator was over 0.9-1.0g.

緒 言

道路以外のところを走行する車両の特性や操縦者におよぼす物理的要因を解析するには、走行路面の性状の数学的解析が先決問題となる。

Bekker¹⁾ は走行路面の起伏を測定する独創的計器を製作し、一般道路について測定した結果、路面の突起の分布は正規分布をなすと結論している。

入力としての路面の特性が車両および操縦者におよぼす影響の解析はむづかしい。トラクタの振動および操縦者の振動に関する実験的研究²⁻⁷⁾ は数多くあるが、路面の特性との関連づけはほとんどなされていない。

1973年に著者らは人工路面上をトラクタが走行した場合の振動特性および操縦者の振動応答について若干実験⁸⁾ を行なったが、トラクタと操縦者はともに周波数が 4 Hz 附近で加速度パワースペクトルのピークがあり、加速度が 0.9g 以上になると操縦者は苦痛を感じる事が判明した。

当実験では上記実験よりさらに路面条件、トラクタの走行速度、車輪の空気圧などの要因を拡大し、また操縦者の快適度の判定を詳細に行なって人間工学的面の測定を重視した。このようなトラクタおよび操縦者の振動応答に関する実験は、実際の路面の種々の条件について行なうべきであろうが、入力としての路面特性の表現がむづかしいので人工路面を走行した場合の応答を測定し、実際面へ拡大適用する方がより合理的と思われる。

実験装置および方法

1) 供試トラクタ 供試トラクタはクボタ式L-27型でその諸元は Table 1 のようである。

Table 1. Tractor used to the test

engine power	(ps)	27	weight distribution	front wheel	790
engine speed	(rpm)	2500	(kg)	rear wheel	540
wheel base	(mm)	1300	tire size	front	5-15
height of center of gravity(mm)		710		rear	11.2 / 10-28
total weight	(kg)	1330		ply number	4

2) 人工路面 Fig. 1, Fig. 2 のように 30mm×60mm×1800mm (高さ×幅×長さ) と 60mm×60mm×1800mm の2種類の角材を用いて「はしご」状の枠組を作り、これを平らなコンクリート路上に置きトラクタの走行路面とした。



Fig. 1. The artificial track and the tractor.

前者の角材を用いた場合は路面の突起の高さは 3 cm に、後者を用いた場合は 6 cm になる。上記の「はしご」状の人工路面の横桟木に当る突起の間隔は高さが 3 cm の場合は 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 80, 100, 120, 140, 160 cm とし、高さが 6 cm の場合は 30, 35, 40, 45cm とした。なお当初は突起の高さが 9 cm の場合も計画したが、突起の高さが 6 cm で突起の間隔が 45 cm の場合ですでに加速度計の測定許容限界である 10g を越えたので、また操縦者の安全面からこれ以上の測定は中止した。

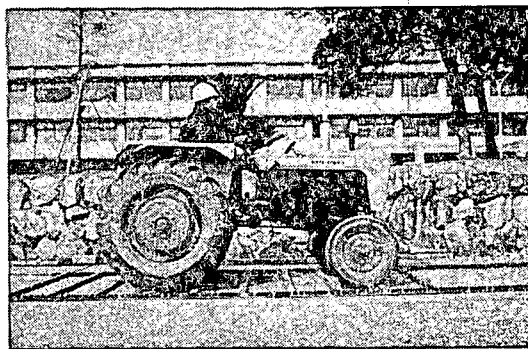


Fig. 2. The artificial track and the tractor.

3) 加速度の測定 加速度計(新興通信工業KK, BA型, ±10g)を操縦者(24才, 男性, 身長170cm, 体重58kg)およびトラクタに取付けた。操縦者への取付位置は振動が顕著にあらわれる首の下部の背柱上⁸⁾とした。トラクタへの取付位置は座席の裏とした。加速度はストレインメータ, ビジライトにより記録した。なお加速度は基本的振動特性を知ることが目的としたので上下方向のみ測定した。

4) 走行速度の測定 人工路面の最大長は約 16m で、トラクタの助走距離は 10m とした。トラクタの変速は第 3, 4, 5, 6 速とし、エンジンの回転数は第 3, 4, 5 速の場合は 2000rpm, 第 6 速の場合は 2500rpm とした。最後の組合せは供試トラクタでは最高速度となる。なお車輪の空気圧は後車輪のみを 1.0kg/cm² と 1.8kg/cm² の2種類に変え、前車輪は 2.0kg/cm² の一定値にして測定した。

実験結果および考察

1) 路面の形状と走行速度 路面の形状を系統的に表わすため椀木状に配置した突起の高さで突起の間隔を除いた値を求め、これを突起の「間隔—高さ比」と称することにした。

前車輪が完全に接地する場合の突起の「間隔—高さ比」は突起の高さが 3 cm の場合11.67, 高さ 6 cm の場合6.67であった。後車輪が完全に接地する場合の「間隔—高さ比」はそれぞれ 13.33, 7.50であった。

トラクタが平坦なコンクリート上を走行した場合の速度を各変速段数について示すと Table. 2 のようで、これを「基準速度」とする。

Table 2. Tractor speed on plane road

change gear	engine speed	tractor speed	
3rd	2000 rpm	2.41 Km/h	0.67 m/s
4th	2000	3.56	0.99
5th	2000	6.80	1.89
6th	2500	15.98	4.44

人工路面上を走行した場合のトラクタの速度を各変速段数ごとに測定した結果を示すとFig. 3 のようになる。

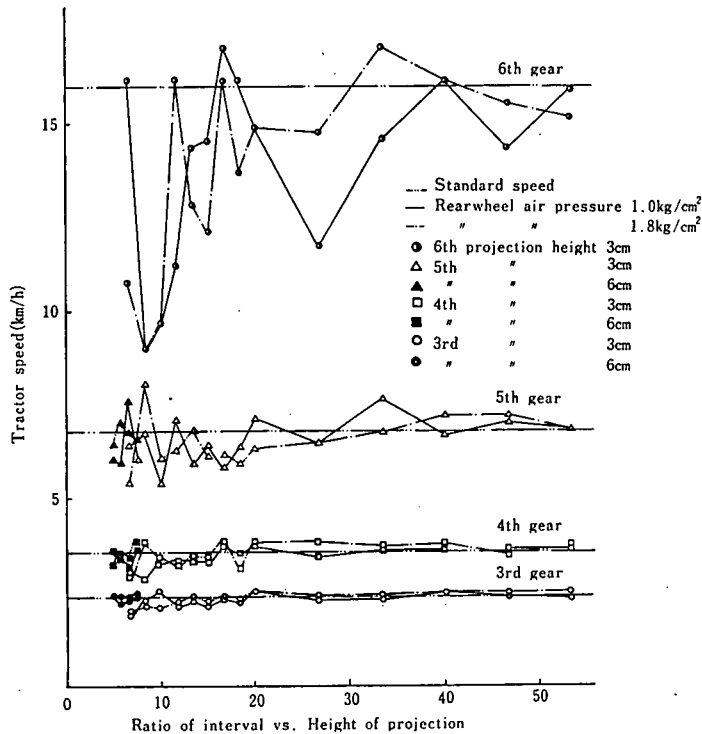


Fig. 3. Relation between roughness of track and tractor speed.

第3速では「間隔—高さ比」が20.00以下において、Table. 2 に示した基準速度の7~20%の速度低下がみられるが、「間隔—高さ比」が20.00以上になると基準速度と大差はなくなる。

第4速では「間隔—高さ比」が30.00以下において基準速度の5~19%の速度低下が生じているが、「間隔—高さ比」が30.00以上になると第3速と同じように基準速度に等しくなる。また後車輪の空気圧が低い場合が路面の突起による速度低下が大きい傾向がみられる。

第5速では「間隔—高さ比」に対する走行速度の変動が大きくなっている。つまり基準速度の20~30%ほど上下している。速度低下は前後車輪が完全に接地する「間隔—高さ比」以下、すなわち13.33前後以下の 場合が大きく基準速度の5~22%となっている。「間隔—高さ比」が50.00以上になると基準速度への接近がみられる。なお後車輪の空気圧の大小と速度との間に一定の傾向はみられない。

第6速では「間隔—高さ比」に対する速度変化がはげしく、基準速度の約47%の幅をもって上下している。速度低下率は7~44%で「間隔—高さ比」が50.00でも約10%の速度低下がみられる。「間隔—高さ比」が26.67附近で速度低下が大きくなっている原因は前後車輪がほとんど同時に路面の突起を乗り越えるためと思われる。後車輪の空気圧の大小と速度変化の間に一定の傾向はみられない。

各変速段数を通じて総合的に考察するに、路面の突起高の種類が少なく走行長も長くとれなかったので傾向を完全に把握することはむづかしいが、ブラウやロータリを装着して行なう一般的農作業ではトラクタは0.3~1m/s (供試トラクタでは第4速以下) の速度で走行するので、「間隔—高さ比」が20以下の路面つまり距離が60cm またはそれ以下ごとに高さ3cmの突起があるような路面では最大約0.2m/sの速度低下が生ずるといえる。さらに前後車輪がともに路面の突起で支えられて接地できない状況では、つまり突起の「間隔—高さ比」が11.67以下の場合にはトラクタの速度は路面の影響を強く受けるといえる。

砕土、整地、播種などは1m/s以上の速度で作業することが多いので、トラクタの変速段数は第5速を用いることになる。また道路走行時は最高速度を採用するのが一般であるから供試トラクタでは第6速ということになり、これらの場合はトラクタの速度は路面の影響を強く受けることになる。

以上は単に路面の突起の高低、配列状態とトラクタの走行速度との関係であって、操縦者の快適度つまり乗り心地の面は全く加味されてない。トラクタが走行する場合その速度を制限する要素は、トラクタが路面より受ける機械的なものより操縦者が受ける肉体的なものの方が強いと思われるので、各種路面を走行した場合操縦者が感じる快適度を調査した。

2) 操縦者の快適度 操縦者の快適度を数量的に示す良い方法がないので操縦者の感覚を次の5段階を尺度としてあらわすことにした。

(a) 快適 (b) 適 (c) やや不快 (d) 不快 (e) 非常に不快、(a)は路面の形状によるトラクタの振動をほとんど感じない快適な状態である。(b)は路面に起因する振動を多少感じるが、操縦者の乗り心地には影響をおよぼさない状態である。(c)は路面の起伏によって生ずる振動を感じ、操縦者は多少忍体する必要がある場合。(d)は路面の影響が大きく乗り心地は文字どおり不快である。(e)は路面の影響が著るしく、短時間でも乗っておれない状態である。実際の農作業においては操縦者の状態は上記の(a)、(b)であるべきで、特別の場合でも(c)の状態より悪くってはならない。

人工路面の突起の高さ、配列状態は前項と同じとし、この上をトラクタを走行させたときの操縦者の快適度を聞き取り調査した。その結果は Fig. 4 のようである。

第3速では全般的に「快適」または「適」であるといえるが、「間隔—高さ比」が20.00以下

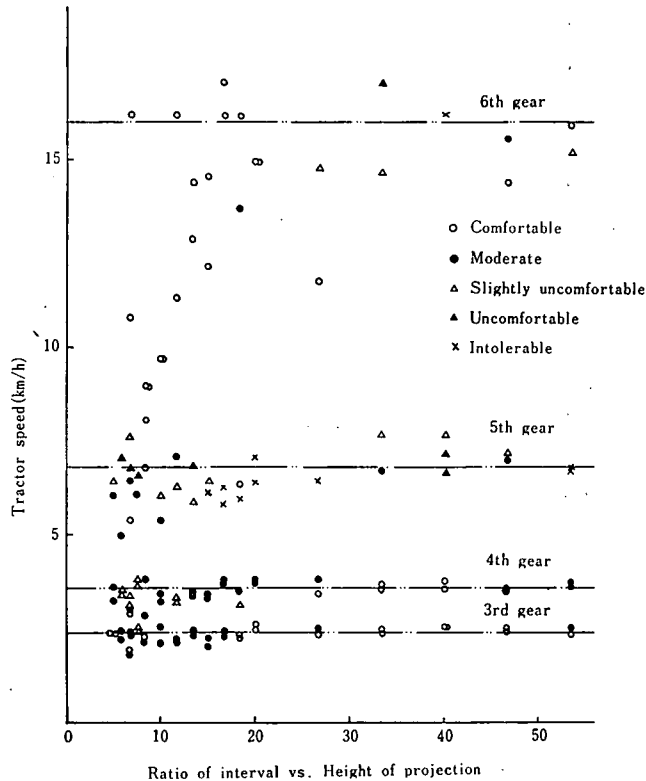


Fig. 4. Feeling of tractor operator on artificial track.

で「やや不快」の判定がみられる。これは突起の高さが 6 cm の場合で「間隔——高さ比」は 7.50 に当り、前後車輪とも突起の間で完全に接地しとくに後車輪の接地の衝撃が原因となっている。

第 4 速は大体において第 3 速の場合と同じとみてよいであろう。「間隔——高さ比」が 7.50 附近で「やや不快」の判定があるのは、第 3 速の場合と同じ理由である。「間隔——高さ比」が 11.67 附近で「やや不快」の判定がみられるのは突起の高さが 3 cm のとき前車輪が接地し始めるところであり、この前車輪の影響がでたものと思われる。

第 5 速になると全般的に「やや不快」となり、「間隔——高さ比」が 20.00 以下では「不快」、「非常に不快」の判定もあらわれている。同じ路面状態でトラクタの変速段数をあげて速度を早めればトラクタの振動、動揺がはげしくなり、操縦者の乗り心地が悪化するのは当然であろう。

第 6 速になると上記とは逆の現象を示し、「やや不快」の判定が散見されるが全般的に「快適」となっている。前項にみられるように第 6 速では路面の突起による走行速度の低下は著しいが、基準速度そのものは大であるためトラクタは路面の突起の頂点から頂点を跳ぶように走行することになり、操縦者への衝撃はかえって減少したものと思われる。しかしながら第 6 速での走行は操縦者の快適度とは逆に危険性を強く感じるので、平坦な道路以外は第 6 速またはそれ以上の速度で走行しないことが肝要である。

3) 操縦者に生ずる加速度

(1) トラクタの平均加速度と操縦者の平均加速度 操縦者の「快適度」をパラメータとしてまとめると Fig. 5 のようになる。路面の形状に起因する振動のうち高周波部分はトラクタの座席によって減衰されるが、低周波の振動は操縦者に対し逆に 1.5~2.0 倍に増幅された。操縦者の「快適度」は操縦者とトラクタの平均加速度がともに 0~0.5 g では「快適」または「適」、操縦者の平均

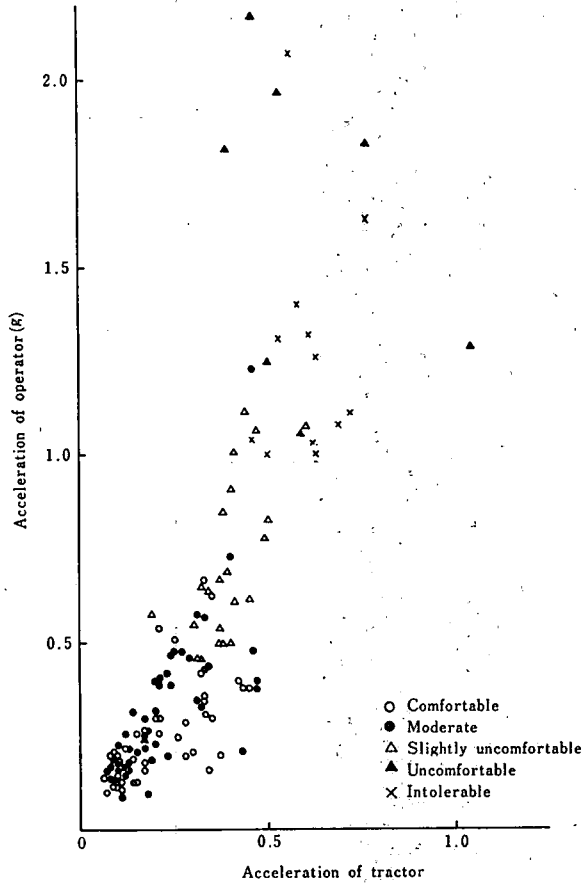


Fig. 5. Relation between feeling of operator and acceleration.

加速度が $0.5 \sim 1.0 \text{ g}$ になると、トラクタの平均加速度が $0.3 \sim 0.5 \text{ g}$ のときでも「やや不快」、操縦者の平均加速度が 1.0 g 以上、トラクタの平均加速度が 0.5 g 以上では「不快」または「非常に不快」な状態を示している。

1973年に行なった実験⁹⁾でも同じような結果を示していて、操縦者の平均加速度が 0.9 g 以上になるとトラクタ作業はできないと判定している。

図示はしなかったが操縦者にかかる瞬間的的最大加速度が $+3.5 \text{ g}$ 、 -1.0 g 以上になると「不快」または「非常に不快」となる。負の加速度とは下向きの加速度のことで、上向きの場合は操縦者の働きは何等さまげられないが、下向きの場合は座席によって人体の動きが制限されるのでその衝撃が「快適度」に影響すると思われる。

(2) トラクタの速度と操縦者の平均加速度

トラクタの速度の大小とこれによって生ずる操縦者の平均加速度を、操縦者の「快適度」をパラメータとして示すと Fig. 6 のようである。

第3速では操縦者の平均加速度は大体において $0.1 \sim 0.5 \text{ g}$ で、操縦者の「快適度」は全般的に「快適」または「適」で良好である。

第4速では平均加速度は $0.1 \sim 0.9 \text{ g}$ で $0.5 \sim 0.9 \text{ g}$ を示すときは「やや不快」となる。

第5速では平均加速度は $0.2 \sim 2.2 \text{ g}$ で $1.0 \sim 2.2 \text{ g}$ を示すときは「不快」または「非常に不快」な状態である。

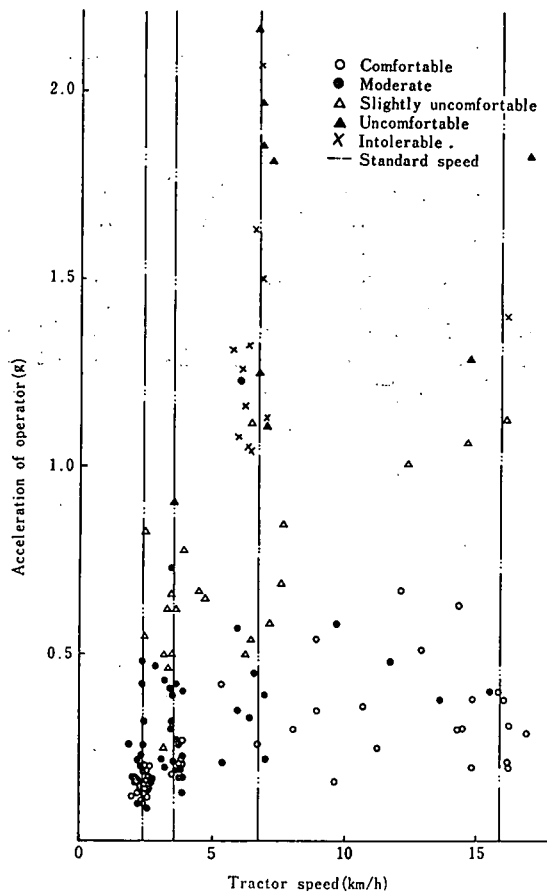


Fig. 6. Relation between tractor speed and acceleration of operator.

第6速では平均加速度は第5速の場合より低下し0.2~1.8gを示している。0.2~0.5gでは「快適」または「適」であるが、1.0g以上では「不快」または「非常に不快」となっている。

以上を総合して考察するに第3、第4速のような低速の場合は操縦者にかかる平均加速度は小さく快適度も良好であるが、変速段数をあげると平均加速度は上昇し快適度は悪化する。しかしさらに変速段数をあげると平均加速度は逆に低下し快適度も向上する。このことは路面の起伏状態に対しトラクタは最も不適な速度があることを示している。また操縦者におよぼす物理的、心理的現象は単にトラクタの速度の大小のみで判定できないことを示している。

摘 要

路面の起伏状態を種々変えた人工路面を、トラクタが走行した場合の速度低下、操縦者の快適度、加速度を測定したがその結果は次のようである。

(1) 路面の起伏によってトラクタの速度は5~40%低下する。トラクタの変速段数が高いほど速度低下が著しい。

(2) 操縦者の快適度が最も悪くなるトラクタの速度が存在する。供試トラクタでは第5速(平坦地走行の基準速度は6.8km/h)のとき最も悪かった。

(3) 路面の起伏によって生ずるトラクタの振動のうち高周波部分は座席によって吸収されるが、

低周波部分は1.5~2.0倍に増幅された。

(4) 操縦者に生ずる加速度が0.9~1.0g以上になると長時間の運転は不可能である。

参 考 文 献

- 1) Bekker, M. G., "Off-the-Road Locomotion", Univ. Michigan Press, p. 41 (1960).
- 2) Matthews, J., *J. agric. Engng Res.*, 9 (1), 147-158 (1964).
- 3) Matthews, J., *J. agric. Engng Res.*, 9 (2), 3-31 (1964).
- 4) Matthews, J., *J. agric. Engng Res.*, 10 (2), 93-108 (1965).
- 5) Matthews, J., *J. agric. Engng Res.*, 11 (1), 44-57 (1966).
- 6) Huang, B. K. and Suggs, C. W., *Transactions of the ASAE*, 10 (4), 478-482 (1967).
- 7) 居垣千尋・小泉武紀・山本博昭・宮石進介, 農業機械学会関西支部報, 第26号, 8-10 (1969).
- 8) 小嶋和雄・池見隆男・綾 俊一, 高知大学学術研究報告, 22, 農学, 3, 17-26 (1973).

(昭和53年7月10日受理)

(昭和53年12月7日発行)