

トラクタ振動源としてのほ場面おうとつ特性

鳥巢, 諒
九州大学農学部農業機械学教室

松尾, 昌樹
九州大学農学部農業機械学教室

守島, 正太郎
九州大学農学部農業機械学教室

<https://doi.org/10.15017/23289>

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 34 (1/2), pp.7-17, 1979-12-20. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：

トラクタ振動源としてのほ場面おうとつ特性

鳥 巢 諒・松尾昌樹*・守島正太郎**

九州大学農学部農業機械学教室

(1979年6月25日受理)

Characteristics of the Agricultural Surface Undulations as Origins of Farm Tractor Vibrations

RYO TORISU, MASAKI MATSUO*
and SHOTARO MORISHIMA**

Laboratory of Farm Machinery, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, 46-05, Fukuoka 812

緒 言

農道やほ場面のおうとつは、トラクタに限らず広く農用車両の振動に対する外部振動源の一つであり、それらの特性を明らかにすることは、乗り心地・強度・作業精度など振動に関係する諸問題に於いて重要な課題である。

車両振動源としての路面特性は、おうとつのパワースペクトル密度関数 (power spectral density function, 以後 P. S. D. と略記する) で表示され、Wendeborn (1965) をはじめ多くの研究がある。

ここで問題になるのは、車両振動源としての路面おうとつの P. S. D. は、走行路面の変形を考慮しなくてもいいような硬い路面の場合にのみ、車両の伝達関数と関係づけられる (高橋, 1953) というのである。変形を無視できる路面の場合には、その P. S. D. $P(F)$ と車両の上下振動の P. S. D. $S(f)$ は、いくつかの仮定のもとで、次の簡単な式で結ばれる。

$$S(f) = |G(f)|^2 \frac{P(F)}{V} \quad (1)$$

他方、農用車両の走行するほ場面は、一般に軟弱であり走行によつて、車両と土は互いに影響を及ぼし、車両振動とほ場おうとつは (1) 式で示す関係を適用できない。

このため Matthews (1966) や三浦・石川 (1975) は、人工悪路をつくり、変形しない $P(F)$ を与え $S(f)$

あるいは $G(f)$ を究明するという手法をとつている。並河 (1970) は、田植機の上下振動の解析において、変形する $P(F)$ を水田表層土と耕盤の関係で評価している。

本報告は、車両振動源としてのほ場特性を変形する $P(F)$ と土という観点からとらえ、トラクタ振動源としてのほ場特性の変化をおうとつの振幅分布、P. S. D. の変化とコーン指数の変化というそれぞれの量で検討した。また人工悪路などの設計資料に供するため後半で著者らが測定したほ場面・農道の P. S. D. をこれまで得られている結果と比較検討する。

本研究を行うにあたり、人工悪路や ISO の資料などに関し御教示いただいた農業機械化研究所三浦恭志郎氏に厚く御礼申し上げる。また当教室田代克己技官と相田健一郎、古賀浩一郎の両君には場実験の御協力を得た。記して謝意を表す。

実 験 方 法

1. おうとつの測定法

路面・ほ場面おうとつの測定法には、種々の方法 (兼重, 1967) があるが、大別すればおうとつを電気信号などに変換してアナログ量として記録する方法と、ポールとレベルを用いて離散値としてサンプリングする方法とに分類される。

著者ら (1974) も走行するトラクタ上に、ばねで不動点を作り、路面おうとつを静電容量変化に変換記録する長周期振子型のプロフィールメータを試作したが、ほ場などの短波長成分の多いプロフィールを精度よく測

* 現在、千葉大学園芸学部教授

** 九州大学名誉教授

定するためには機構上に問題点が残った。

したがって本報告の測定には、Fig. 1 に示すような方法を採用した。測定は場に長さ 10(m) の鋼線（釣り糸用）を高さ 20(cm) に水平に張つて基準線とし、その水平距離 20(cm) 間隔ごとにプロフィール $z(l)$ (cm) を基準線までの変位として定規で読みとつた。したがって、10(m) 以上の路面波長はカットされ、一種のハイパスフィルタを通してることになる。

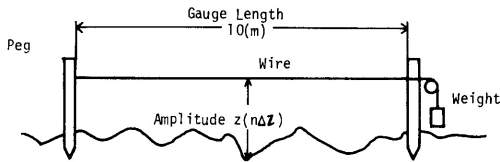


Fig. 1. Measuring method of field profile.



Fig. 2. Unsurfaced road (surface No. m).

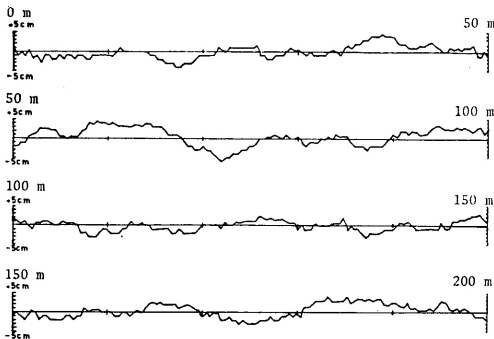


Fig. 3. An example of road roughness.

上記方法で一般車両および農用車両の頻繁に通行する九大附属農場非舗装悪路 (Fig. 2) について求めた路面プロフィールの一例を Fig. 3 に示す。

2. 振幅分布と P. S. D. の計算

2.1. 振幅分布 測定したプロフィール値からおうとつの振幅分布を算出し、結果を正規確率紙を用いて表わした。

2.2. P. S. D. おうとつの P. S. D. の算出には赤池の Autoregressive model 法と Blackman-Tukey 法（スペクトルウィンドウとして赤池の W_1 ）を併用した。スペクトル解析の原理と数値計算法については、赤池・中川（1972）や日野（1977）などの成書があり、詳細はそれらにゆずる。

なお、これらの数値計算は九州大学中央計数施設 FACOM 230-60 を利用した。

3. コーン貫入試験

走行によつてプロフィールの変化するほ場面では、走行前後のは場の土の強度の変化を調べるために、コーン貫入試験を行つた。供試したコーンの断面積は $6.47 \text{ (cm}^2\text{)}$ で測定値は各試験コースで任意に 5 点を選びその平均値で示した。

4. 供試ほ場条件

供試ほ場として、Fig. 4 に示すデントコーンを刈取つた後、切株などをすき込むためプラウ耕を施し二週間ほど経過したプラウ耕地 (plowed field) と、Fig. 5 に示すロータリ耕うん直後のは場 (rotary-tillaged field) と設定した。Fig. 4 は未走行時のほ



Fig. 4. Plowed field (surface No. i).



Fig. 5. Rotary-tillaged field (surface No. j).

場状態で農用車両が一般に遭遇するもつとも激しいほ場面の一つを、Fig. 5 はロータリ耕うん後の一番膨軟なほ場状態の一つを表わし、通常の変形するほはこの両者の中間に位置すると考えられる。なお、Fig. 5 は、一回走行後のわだちのプロフィールを測定中の写真である。

5. ほ場面変化の測定手順

両ほ場ともに、走行コースを選定し、消石灰で白線を引いた。その線上の未走行時のプロフィール値の測定と、コーン貫入試験とを行った。次に、その白線上をトラクタ左後輪が通過するように運転し、変形後のプロフィール値計測と、コーン貫入試験とを行った。二回走行後の測定も同様な手順で行った。とくに、ロータリ耕地では左右両輪について各測定を行った。

なお、供試したトラクタは、4サイクル・3シリンダ・ディーゼルエンジン搭載の農用車輪型でその諸元は Table 1 に示す。

Table 1. Dimensions of the tractor used for the test.

Engine power	(PS/rpm)	55/2400
Total weight	(kg)	2,135
Front-wheel weight	(kg)	760
Rear-wheel weight	(kg)	1,375
Wheel base	(mm)	1,896
Rear tread	(mm)	1,327
Tire size (front)		6.00—16
Tire size (rear)		12.4/11—36

実験結果と考察

1. トラクタ走行によるほ場特性の変化

1.1. 振幅分布の変化 (おうとつ)の激しいほ場)

1.1.1. 振幅分布の変化 Fig. 6 は、トラクタ走行によるブラウ耕地のほ場面おうとつの振幅分布の変化を示したものである。i-0-L は走行前、i-1-L は一回走行後、i-2-L は二回走行後のそれぞれ左後輪側のおうとつの振幅分布を、正規確率紙上にプロットしたものである。なお、記号 i は測定した路面番号を、数値は 0 が走行前、1 が走行後、2 が二回走行後を、L と R は左右の後車輪側を表わし、以後も同様な記号表現をする。

縦軸がサンプリングした点 ndl の振幅 $z(ndl)$ の

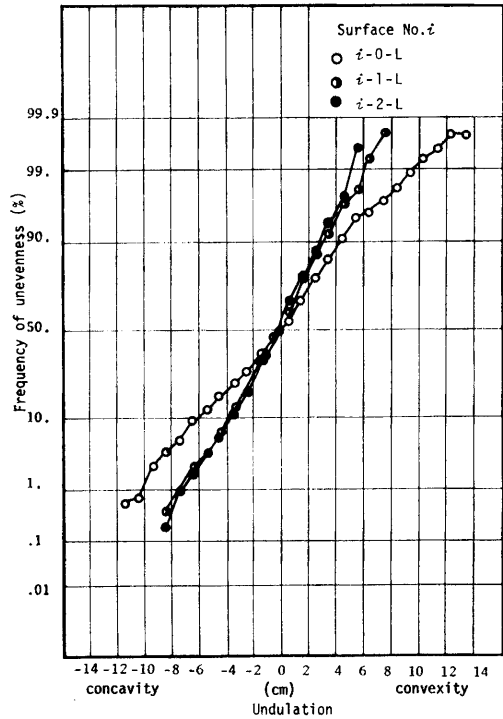


Fig. 6. The change of the amplitude distribution by traffic.

度数の割合を表わし、横軸がおうとつの振幅 $z(ndl)$ を表わす。正規確率紙の性質から明らかなように、ほ場面おうとつはほぼガウス分布をする。しかもトラクタ走行によつても分布は正規性を保存する。しかし、一回目と二回目の走行による振幅分布はほとんど同一の直線関係を示し、両者の差異はほとんどない。

1.2. P. S. D. の変化 Fig. 7 は、トラクタ走行回数の違いによるほ場面おうとつの P. S. D. の変化を示す。一般に land locomotion の走行する路面おうとつの P. S. D. による表現は、

$$P(F) = CF^{-n} \tag{2}$$

で示される。両対数紙上にプロットした Fig. 7 の結果も同様な傾向を示す。したがつて、測定した路面おうとつの P. S. D. はすべて最小二乗法によつて定数 C と n の値を算出した。その結果は他の諸元とともに Table 2 に示す。

Fig. 7 の P. S. D. のうち、i-0-L は、0.5、1.2 と 2.0(c/m) の路面周波数の付近で、また i-1-L は、0.4 と 1.0、1.2、1.5(c/m) の付近でピークパワーがそれぞれ認められ、i-2-L は、滑らかな右さがりの単調な曲線になっている。これは、ブラウ作業に関係す

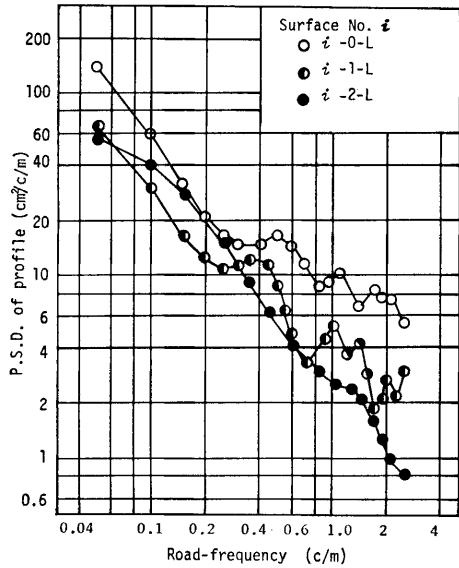


Fig. 7. The change of P.S.D. of profile by traffic.

る路面周波数成分が未走行時の $i-0-L$ にあらわれており、それがトラクタタイヤによって徐々に均平化され、二回走行後には消滅してしまつたものと思われる。しかも、それらは、トラクタの走行回数が増加するにつれて、その勾配が急傾斜になつている。特に $0.3 \sim 2.5$ (c/m) の路面周波数の領域でその傾向は強く表われ、P. S. D. が減少している。また、Fig. 6 では $i-1-L$ と $i-2-L$ の差異がほとんど認められなかつたが、P. S. D. では両者の差が顕著である。なお、 C と n の値については、3.2 で考察する。

1.3. コーン指数の変化 Fig. 8 は、コーン指数の深さによる変化を示したものである。プラウで反転耕起したほ場の土の内部は、5~20 (cm) の深さまで、 3.5 (kg/cm^2) 程度の同一強度を示す。一回目と二回目走行後のコーン指数は、タイヤ面を深さの基準としており、沈下量を考慮していないのであるが、それぞれタイヤ面下 10~15 (cm) の土が強く圧縮されている。

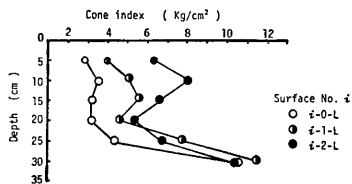


Fig. 8. The change of the cone index by traffic.

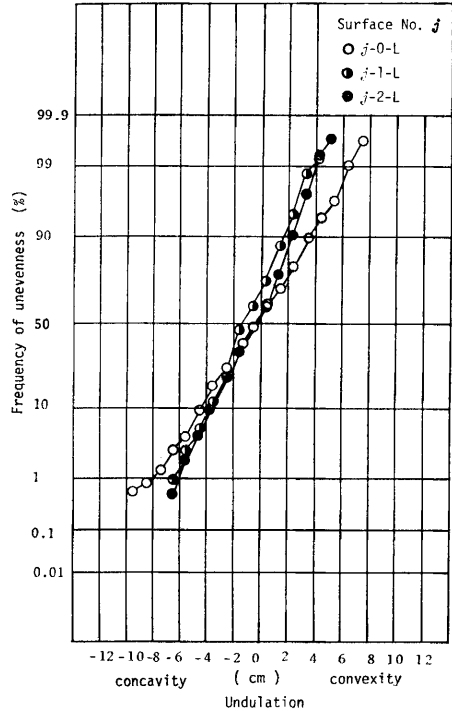


Fig. 9. The change of the amplitude distribution by traffic.

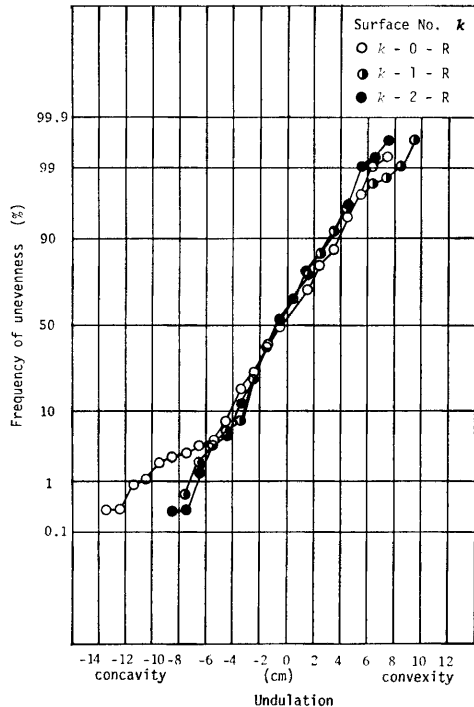


Fig. 10. The change of the amplitude distribution by traffic.

2. ロータリ耕地 (均平化された軟弱なほ場)

2.1. 振幅分布の変化 Figs. 9 と 10 は、ロータリ耕うん後の均平化された軟弱なほ場における左右両輪によるおうとつの振幅分布の変化を示す。ロータリ耕で均平化されたほ場は、走行回数による変化がほとんど認められない。

2.2. P. S. D. の変化 Figs. 11 と 12 に示す

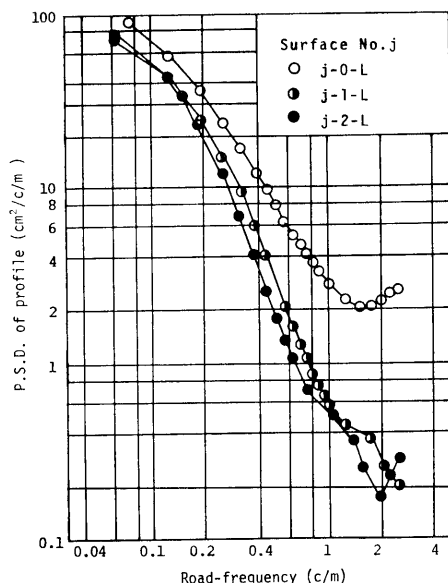


Fig. 11. The change of P.S.D. of profile by traffic.

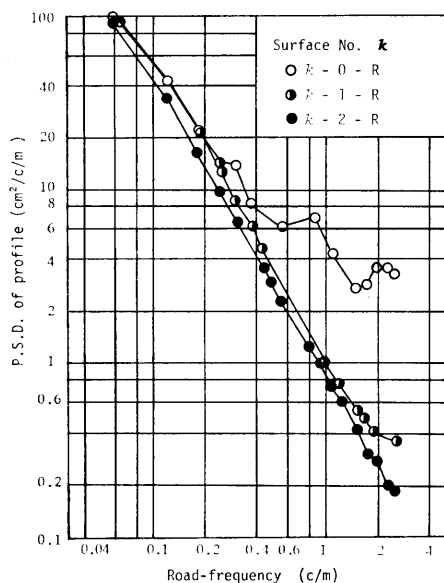


Fig. 12. The change of P.S.D. of profile by traffic.

P. S. D. の変化は、未走行時と一回目で大きく、一回目と二回目ではほとんど差異がない。未走行時の P. S. D. が 0.3~2.5(c/m) の路面周波数領域で大きいのに比して、走行後のそれは、急激に減少するものになっている。

また、未走行時のほ場面スペクトル (j-0-L, k-0-R) は 0.3~2.5(c/m) の路面周波数の範囲で僅かのピークを示すが、Fig. 7 の i-0-L に比較すると滑らかであり、ロータリ作業機が特定波長成分を生成しないことを示している。

2.3. コーン指数の変化 Figs. 13 と 14 はコーン指数の変化を示したものである。ロータリ耕うんされたほ場の土の強度は、ほぼ深さに比例した貫入抵抗を示し、Fig. 8 と比較し膨軟であることを示している。また、トラクタ走行によつて急激に締め固められ、タイヤ面下 10~20 (cm) の深さのコーン指数値が増加する。

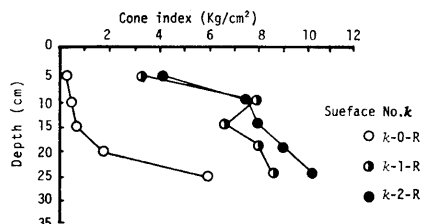


Fig. 13. The change of the cone index by traffic.

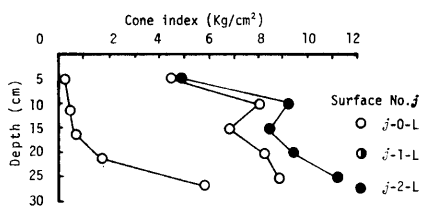


Fig. 14. The change of the cone index by traffic.

3. 考察

3.1. 振幅分布 ほ場面おうとつの振幅は、正規分布をする。この性質は、トラクタ走行によつても不変である。振幅の大きいおうとつは、走行回数の増加にしたがつて、小さくなり均平化されるが、特におうとつの激しいほ場の場合 (Fig. 6), 未走行時と一回走行時では、とつ部の変化の割合は、おう部のそれよりも二倍ほど大きい。このことは、タイヤによる土の変形過程において、とつ部が圧縮、破碎される傾向がおう部に比較して大きいことを表わしている。他方、均一で膨軟なほ場 (Figs. 9, 10) では、トラクタ走行によ

つて、わだちは明瞭に形成されるにもかかわらず振幅分布の変化は小さい。

トラクタタイヤは、ほ場面を下方へ圧縮沈下させると同時に、タイヤ横方向へも土を排除する。特に Fig. 5 に見られるようにロータリ耕地の場合、わだちの沈下は大きい。しかし、Figs. 6, 9, 10 に示されるように、トラクタ走行によるほ場おうとつの振幅分布は、わだちプロファイルの絶対的基準面の変化にもかかわらず、最大振幅が $\pm 8(\text{cm})$ 前後であり、しかも走行回数によっても変化がない。

このことは、ほ場面おうとつのタイヤによる変形過程が、通常の悪路の生成のパターンと異なっていることを意味する。波状路の生成パターンは、自動車のばね下質量の固有振動数によつて、波長の短い小さなおうとつが大きいおうとつを形成する過程(巨理, 1958; 森田・旧代, 1970)であり、走行回数によつて悪路の振幅は増大するからである。

なお、ほ場面おうとつの振幅分布の問題は大型機械による大規模ほ場の精密播種の問題などでそれ自体問題になるであろう。

3.2. P. S. D. ほ場面おうとつの P. S. D. はトラクタの走行前後で変化する。走行前のほ場面 P. S. D. は、 $0.3 \sim 2.5(\text{c/m})$ の周波数領域で大きい分布を示す。走行回数の増加にしたがい、その周波数領域で、P. S. D. の成分は減少する。これは、走行回数の増加にしたがい、 $0.4 \sim 2.5(\text{c/m})$ の波長成分が特に均平化されていることを意味する。硬いほ場と比較した場合、膨軟なほ場では、P. S. D. (Figs. 11, 12) の変化が大きく、一回目と二回目のそれを比較すると、 $0.6 \sim 2.5(\text{c/m})$ の波長成分が強く均平化される傾向にある。

Table 2 に示すように、ほ場面特性式(2)の定数 C と n の値は、走行回数の増加によつて変化するが、プラウ耕の場合 $n=0.6 \sim 1.2$; $C=10.7 \sim 2.8$ である。このことは、路面波長が短いものほど平滑化されていることを示す。

膨軟なロータリ耕地では、左右両輪の平均は $n=1.0 \sim 1.8$; $C=4.7 \sim 0.7$ であり、この場合も路面波長が短いものほど平滑化されている。

通常のは場面プロファイルは、プラウ耕地とロータリ耕地の中間的性質を有すると考えられるので、 n と C の変化の割合もこの間の値をとるであろうと思われる。

3.3. コーン指数 トラクタ走行によるコーン指数値は、走行回数に比例して増加する。トラクタ

イヤによる上の締め固め (soil compaction) は、植生、トラフィカビリティなどの関連で、種々の研究があるが、トラクタ走行後の土の締め固めを土の密度変化で評価している Raghavan *et al.* (1976) の結果も、タイヤ下面 $10 \sim 30(\text{cm})$ の土の内部密度が一番大きくなるとしており、今回の実験結果と一致する。また、おうとつの激しいプラウ耕地では P. S. D. の変化の割合 (Fig. 7) とコーン指数の変化の割合 (Fig. 8) が走行回数に比例して段階的に変化するのに対し、膨軟なロータリ耕地では P. S. D. (Figs. 11, 12) とコーン指数 (Figs. 13, 14) が、一回目の走行で両者とも急激に変化している。コーン指数の変化と P. S. D. の変化の間には若干の相関関係が存在するようである。

上の振動的性質は複雑であり、ほ場走行中の農用車両の振動と関連する土の諸性質の解明とともに、逆に応答のわかっている車両を走行させるることによつて、ほ場の振動特性を見いだすことも一つの方法であろう。

II 農道・ほ場面プロファイルの分類

ほ場面・路面おうとつは、車両の上下振動に対する

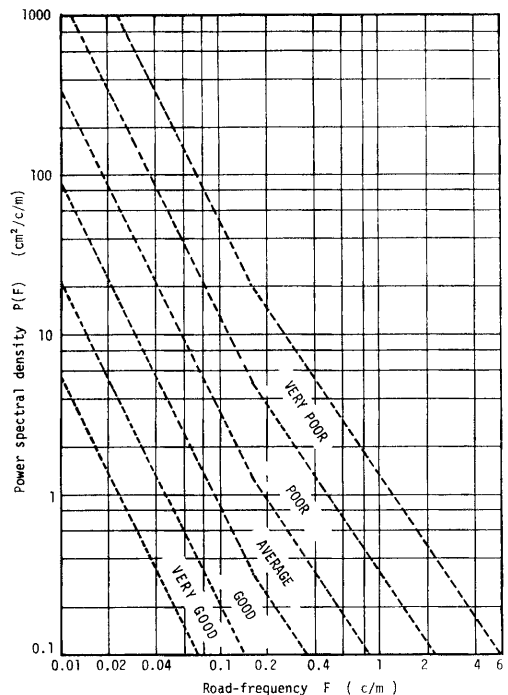


Fig. 15. Proposed classification of road surfaces by power spectral density (ISO).

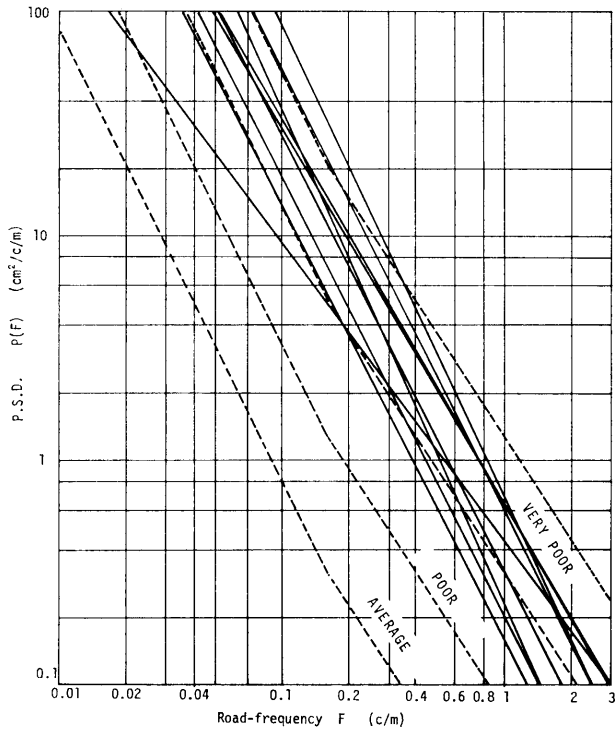


Fig. 16. Power spectra for unsurfaced farm roads,

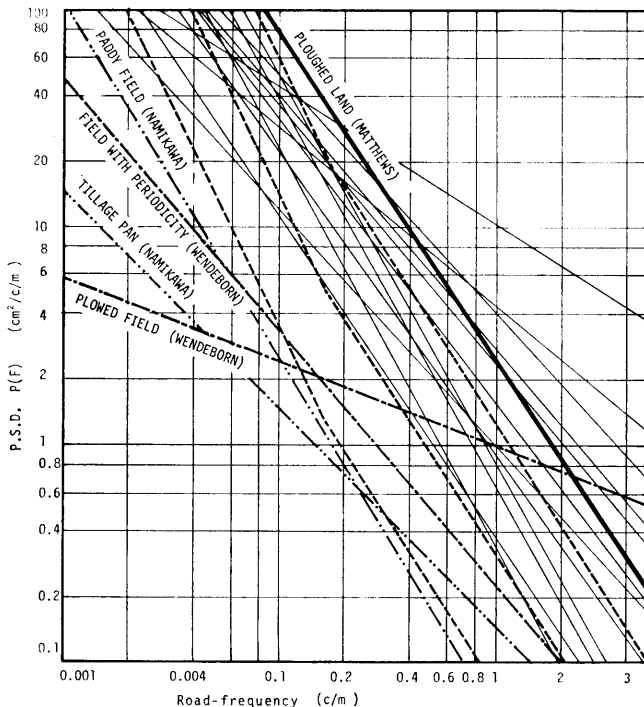


Fig. 17. Power spectra for deformable farm lands,

入力源である。このうち、一般道路については多くの研究者によって種々の路面プロフィールの P. S. D. が測定されている。Fig. 15 は、自動車の国際化に伴う懸架装置の設計方針のため、ISO で検討されている道路の分級案である (ISO, 1972; 国枝, 1974)。

1. 農道のプロフィールの P. S. D.

農用車両の走行する道路は、一般に非舗装道路である。Fig. 16 は、Table 2 の road を実線で示したもので、すべて附属農場構内の非舗装農用道路である。破線は、ISO (1972) の分級案のうち、very poor, poor, average の三区区分を示している。

測定した農道は、ほとんどが ISO 分類の very poor の範囲に属し、一般の非舗装道路は very poor の上限の範囲に位置する (ISO, 1972) ということ を考慮すれば、農用車両振動源としての人工悪路などのシミュレーションなどには、この very poor の範囲を適用するのが妥当であろう。

2. ほ場面プロフィールの P. S. D.

ほ場面プロフィールは、Wendeborn (1965) をはじめ幾人かの研究者によって測定されているが、一般道路ほどデータの蓄積はない。

Fig. 17 は、Table 2 に示した供試ほ場のプロフィールの P. S. D. を細線で、破線は前述の ISO (1972) 分級案の very poor と poor の範囲を示す。一点鎖線は、Wendeborn (1965) のプラウ耕地とうねに交差した周期性を有する耕地のそれぞれ平均の P. S. D. である。二点鎖線は、並河 (1970) の水田と耕盤のそれぞれ平均の P. S. D. である。肉太実線は、Matthews (1966) のプラウ耕プロフィールの平均的 P. S. D. を示す¹⁾。

Table 3 に、それぞれの測定値の平均値を示す。

著者らの測定結果は、Matthews (1966) の結果とはほぼ同様な傾向を有し、ISO (1972) による一般悪路より、ほ場プロフィールの P. S. D. のレベルが大き

い傾向にある。Wendeborn (1965) のそれと比較すると、プラウ耕地でさえもかなりのパワーの差が存在する。この差を Matthews (1966) は、英独における測定は場面の違いや地勢、耕法の相違などでその差がでてくるとしている。しかし、Wendeborn (1965) とかなり一致している並河 (1970) の水田おうとつの測定結果と比較するとき、水田がかなり均平化されていることを考慮すれば、Wendeborn (1965) の結果は、ややパワーが小さいのではないかと思われる。

一般道路においては式 (2) の定数 C は路面の良し悪しの程度を表わし、定数 n は 2 付近の値となることが多いとされている (山川, 1976)。著者らの測定した変形しない農用道路は平均 $n=1.74$ (Table 3) である。

ほ場面プロフィールにおいては、 n の値が Table 2 と 3 に示されるように、0.4~1.5 の範囲の値をとる。このうち $n=0.4$ は、Wendeborn (1966) による値で、おうとつの激しいプラウ耕地のそれであり、著者らの測定でもおうとつの激しいほ場は、 $n>1.0$ という傾向を示す。また n の上限値は $n=1.5$ である。 C の値は、ほ場面プロフィールの程度の良い悪いを表わすが、これは測定者によって若干の違いがあるようである。

車両は、一般に 4 入力系であり少なくとも左右輪は違った軌跡となる。これら両輪の P. S. D. に関する情報は少ない。Table 2 の $j: k, 1-L: 1-R, m-L: m-R$ は供試トラクタ左右両輪の P. S. D. を示す。しかし n と C の値を比較すると各々大差はないようである。

3. 路面周波数と農用車両の振動

ほ場面プロフィールの P. S. D. をどの位の路面周波数領域で測定すればいいのかは、上の変形の問題や車輪径とおうとつの関係、あるいは、測定時の煩雑さなどからいろいろ問題になるところである。車両振動の時間周波数領域を 1.0~20.0(Hz) (兼重, 1968) に限定し一定車速 V が 0.5~4.0(m/s) の範囲にあるとすれば、路面周波数 F は 0.2~20.0(c/m) の範囲にある (Fig. 18)²⁾。この場合、サンプリング間隔は $\Delta l=2.5(\text{cm})$ ということになるが、トラクタなどの大型車両の場合、タイヤ曲率を考慮すると上限値は $\Delta l=20(\text{cm})$ ほどでよいであろう。Figs. 7, 11, 12 に示すようにほ場面プロフィールの P. S. D. では、0.2~2.5(c/m) の路面周波数領域でパワーの変動が大きい。この傾向は、Wendeborn (1965) や Matthews (1966) らの結果にも見られる。したがってほ場の路

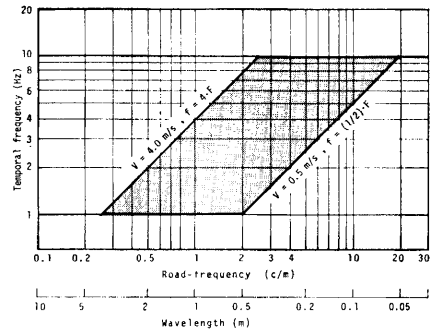


Fig. 18. Relation between road-frequency and temporal frequency for tractor vibration.

面周波数はトラクタなどの大型機械の場合、0.2~2.5 (c/m) の範囲にあれば妥当であろう。

ただ、ほ場を走行中の農用車両の場合 (i) 走行速度が非常に遅い、(ii) 使用される車輪径の範囲が大きい、(iii) ほ場面が変形する、などの条件のため、(1°) 車輪の半径が路面のおうとつの曲率に比べて十分小さい、(2°) タイヤから車体までは上下方向だけの 1 次元線形振動系である。などの仮定 (高橋, 1953) を満足しない。したがって、式 (1) で示される簡単な関係は存在しない。しかし変形する土の上を必然的に走行する農用車両の場合、上記 (i), (ii), (iii) などを考慮したアプローチが今後必要であろう。

要 約

農用車両振動源としてのほ場面おうとつは一般に車両走行によつて変化する。トラクタ走行によつてほ場特性が変化する過程を、おうとつの振幅分布、P. S. D コーン指数の各値で調べた。また、変形しない農用道路の P. S. D. による分類を行った。

1. ほ場面おうとつの P. S. D. は、路面周波数 0.2~2.5(c/m) の範囲で変動が大きく、作業機などによる特定波長成分が、この周波数範囲で生成されている。

2. ほ場面おうとつの P. S. D. は、トラクタ走行回数の増加にしたがつて減少し、特に 0.2~2.5(c/m) の範囲で平滑化の傾向が強く、両対数紙上で滑らかな右さがりの直線になる。

3. ほ場おうとつの振幅は、正規分布をする。トラクタ走行によつて未走行時の振幅は小さくなるが、一回目と二回目のわだちあとの振幅分布にはほとんど差異がなく、わだちあとと内部は表面から 15(cm) 付近が強く圧縮されている。

Table 2. Dimensions of the measured road and fields.

Surface No.	Fields and roads	Length (m)	- n	C
a	Sowed sorgo-field	67	1.389	0.910
b	Dent corn stubble field	122	1.172	2.360
c	Farm road	275	1.924	0.322
d	Road	240	2.094	0.697
e	Sowed dent corn-field	61	1.087	1.011
f	Sowed sorgo-field	60	1.287	1.587
g	Road	244	1.674	0.641
h	Fallow land	154	1.461	0.387
i-0	Plowed field	99	0.618	10.699
i-1-L	(Rut profile)	100	0.804	4.441
i-2-L	(Rut profile)	100	1.153	2.767
j-0-L	Rotary-tillaged field	69	1.076	4.209
j-1-L	(Rut profile)	69	1.769	0.851
j-2-L	(Rut profile)	69	1.770	0.654
k-0-R	(Rut profile, right)	69	0.837	5.316
k-1-R	(Rut profile, right)	69	1.630	1.148
k-2-R	(Rut profile, right)	69	1.700	0.828
l-L	Road (Left wheel)	166	1.928	0.214
l-R	(Right wheel)	166	2.151	0.259
m-L	Road (Left wheel)	168	1.940	0.159
m-R	(Right wheel)	168	1.962	0.610
n	Road	336	1.212	0.850
o	Road	66	1.386	0.638
p	Farm road	141	1.607	0.353
q	Road	331	1.575	0.247
r	Sowed sorgo-field	119	1.831	1.196

Table 3. First approximation expression of P.S.D. of profiles obtained from literature.

	Surfaces	P.S.D. (cm ² /c/m)
Wendeborn (1965)	plowed field (average)	: $P(F) = 1.00 F^{-0.38}$
	field with periodicity (average)	: $P(F) = 0.23 F^{-1.15}$
Matthews (1966)	ploughed land (average)	: $P(F) = 2.45 F^{-1.05}$
Namikawa (1970)	paddy field (average)	: $P(F) = 0.06 F^{-1.16}$
	tillage pan (average)	: $P(F) = 0.15 F^{-1.00}$
ISO (1972)	very poor road (average)	: $P(F) = \begin{cases} 0.65 F^{-1.50} & (F > 0.16) \\ 0.26 F^{-1.00} & (F < 0.16) \end{cases}$
Authors	farm field (average)	: $P(F) = 2.48 F^{-1.31}$
	farm road (average)	: $P(F) = 0.48 F^{-1.74}$

4. ほ場面プロフィールの P. S. D. は, $P(F) = CF^{-n}$ (cm²/c/m) の表現式において, $n=0.6\sim 1.5$, $C=10.7\sim 1.0$ の範囲に存在し, おうとつが激しいものほど n の値が小さく C の値が大きく Matthews (1966) の測定値とほぼ同範囲にあつた.

5. 農道の P. S. D. は ISO 分級案の very poor の上限値とほぼ同じ程度にあり, ほ場面のそれよりも小さい値を示した.

註 1) Matthews (1966) の数値は, 同論文 49 頁の Fig. 3 から算出したものである. なお wendeborn (1965) は, 路面周波数の単位を $(2\pi m)^{-1}$ としているが, これは m^{-1} の誤りであろう. というのは同論文 38 頁の Bild 22 中, 路面周波数 F と逆数関係にある路面波長 λ の単位までが逆になっているからである.

註 2) 一般道路の路面波長の場合, ISO (1972) に

よると車両振動の周波数領域を $f: 0.25\sim 40$ (Hz); 車速 $V: 10\sim 50$ (m/s)としているし, Macauley (1963) は, $f: 0.5\sim 100$ (Hz); $V: 9\sim 45$ (m/s)としている.

Nomenclature

- C : constant , ---
- f : temporal frequency , Hz
- F : road-frequency or profile frequency , c/m
- G(f) : complex frequency response of vehicle , ---
- dl : distance between measured profile points , cm
- L : distance or length of course , m
- n : serial number in series or constant , ---

$n dl$: horizontal distance over surface	, m
$P(f)$: power spectral density function, in a temporal mode	, $\text{cm}^2/\text{c}/\text{s}$
$P(F)$: power spectral density function, in a spatial mode	, $\text{cm}^2/\text{c}/\text{m}$
$S(f)$: power spectral density function of vehicle	, $\text{cm}^2/\text{c}/\text{s}$
V	: velocity of vehicle over surface	, cm/s
$z(n dl)$: random function of distance, surface height	, cm
λ	: wavelength	, m
ω	: temporal angular frequency	, rad/s
ϱ	: spatial angular frequency	, rad/m

文 献

- 赤池弘次・中川東一郎 1972 ダイナミックシステムの統計的解析と制御. サイエンス社, 東京
- 日野幹雄 1977 スペクトル解析. 朝倉書店, 東京
- ISO TC 108/WG 9 N5 1972 Proposals for generalised road inputs to vehicles.
- 兼重一郎 1967 道路凹凸特性の解析. いすず技報, 50: 1-7
- 兼重一郎 1968 自動車の走行中の振動データのとりあつかい. 磯部孝編: 相関関数およびスペクトル. 東京大学出版会, 東京, 97-108 頁
- 岡枝正春 1974 ISO/TC 108「機械振動と衝撃」の現況. 日本機械学会誌, 77(667): 78-83
- Macauley, M. A. 1963 Measurement of road surfaces. In "Advances in automobile engineering—Vehicle ride," ed. by G. H. Tidbury, Pergamon Press, Oxford, pp. 93-119
- Matthews, J. 1966 Ride comfort for tractor operators (4). *J. agric. Engng. Res.*, 11(1): 44-57
- 三浦恭志郎・石川文武 1975 人工悪路について(乗り心地の立場から). 農業機械学会講演要旨集
- 森田 敬・田代綾夫 1970 路面プロフィルの研究 自動車技術, 24(4): 362-367
- 並河 清 1970 水田のおうとつと田植機の上下振動 農業機械学会誌, 32(3): 186-192
- Raghavan, G. S., E. McKyes and M. Chasse 1976 Soil compaction patterns caused by off-road vehicles in easter Canadian agricultural soils. *J. Terramechanics*, 13(2): 107-115
- 高橋安人 1953 路面の性質と自動車振動を結ぶ一理論 自動車技術, 7(11-12): 286-290
- 鳥巢 諒・田代克己・守島正太郎 1974 ほ場面おうとつ計の試作研究. 農業機械学会九州支部誌, 23: 23-27
- 亘理 厚 1958 III振動および乗心地 平尾ら編: 理論自動車工学. 山海堂, 東京, 217-264 頁
- Wendeborn, Von J. O. 1965 Die Unebenheiten landwirtschaftlicher Fahrbahnen als Schwingungserreger landwirtschaftlicher Fahrzeuge. *Grundl. Landtechn.*, 15(2): 33-64
- Wendeborn, Von J. O. 1966 The irregularities of farm roads and fields as sorces of farm vehicle vibrations. *J. Terramechanics*, 3(3): 9-40
- 山川新二 1976 第25章自動車および車両の振動, 振動工学ハンドブック. 振動工学ハンドブック編集委員会編, 養賢堂, 東京, 1127-1174 頁

Summary

A survey of the agricultural surface irregularities are reported as sources of tractor vibrations. Farm surfaces are generally liable to change with repeated travel over them. The changes of field characteristics by traffic are evaluated by the changes of frequency distributions, power spectral densities and cone indexes. Power spectra of hard farm roads are measured and compared with ISO's generalised road classification. Power spectra of deformable farm lands are compared with several reports of other investigators.

(1) Power spectral densities of farm fields had several conspicuous peaks in the road frequency range 0.2-2.5 (c/m). The peaks were caused by tractors or other agricultural machines.

(2) On the deformable farm lands, the changes of the power spectral density curves by traffic were noticeable in the range of 0.2-2.5 (c/m). The slopes of curves plotted on log-log scales were steeper in proportion to the numbers of passes of the same rut.

(3) A frequency distribution curves of the farm field roughness gave a straight line when plotted on normal probability papers. There was not a bit of difference

between the frequency distribution curves of the rut profiles for single tractor pass and those for two passes.

(4) Power spectra of measured arables showed that all can be approximated by the well known simple relationship $P(F) = CF^{-n}$ ($\text{cm}^2/\text{c}/\text{m}$). As the undulations of them were severer, the value of C was smaller and that of n was larger. The range of C was from 1.0 to 10.7 and that of n was from 0.6 to 1.5. Power spectral densities of unsurfaced farm roads fell in the lower end of class E in the ISO's classification. The mean values of C and n were 0.48 and 1.74 respectively.