

中形トラクタの砂利路及び草地走行時の座席振動

川 上 克 己*・伊 藤 孝 子*・小 宮 道 士**

Middle-Class Tractor Tested for Ride Vibrations on Gravel Road and Pasture

Katsumi KAWAKAMI*, Takako ITOU*, Michio KOMIYA**
(June 1999)

I 緒 言

乗用形トラクタの座席振動は人間に対し、全身振動による健康障害をもたらすために、ISO で測定方法、振動の評価等が詳細に定義され、今日の新しい大形のトラクタシートではかなり改良がなされていると思われる。この ISO 規格は一つの基準であり、この規格を満足しているから健康障害がないということではない。日本での乗用形トラクタの利用実態、普及動向、利用者層も考慮に入れて考えなければならない。

出力別普及動向を近年の出荷台数で調べた。過去 4 カ年（平成 6－9 年）の乗用形トラクタの国内向け出荷台数は年間 9 万台前後で、出力別では 14.7－22.1 kW 未満が最も多く、全体の 40%以上を占め、次いで 11.0－14.7 kW 未満が 20%以上となっている。地域別特徴を平成 8 年の例でみると、北海道では大形の 51.5－73.6 kW 未満が最も多く、次いで 73.6 kW 以上である。ところが米どころの新潟をはじめとして秋田、宮城、福島など東北では中形の 22.1－29.4 kW が多い。

農業に携わる人、トラクタに乗る人の年齢はだんだん高齢化し、特に府県では北海道以上に進んでいる。また女性の運転者も増えている。従ってトラクタの乗り心地、すなわち座席の振動に対する配慮など真剣に考える時期に来ていると思われる。現在出荷されているトラクタの座席は、大形の機種やキャビン装着の高価な機種ではそれなりの配慮がなされている。ところが中形ではコイルスプリング、小形はゴムブッシュなどである。座席の緩衝装置はトラクタの出荷状況からみても小形、中形の機種に対しても今後十分な配慮が必要と思われる。本報は以上

の状況を踏まえ、中形のコイルスプリング式座席の振動に対する評価を試みたものである。

II 供試機および実験方法

1. 供試トラクタ

供試トラクタは 4 気筒の 25 kW（2700 Erpm）の 4 輪駆動車（170 H 使用）で、主要諸元とオペレータが乗車しない場合の供試時質量条件、および供試作業機装着時の条件を表 1 に示すが、後輪は標準タイヤとして水田用に設計されたハイラグタイヤ（ラグ高さ 35 mm）が装着されている。タイヤ空気圧は前輪、後輪とも標準で、前輪は 0.098 MPa（1.0 kgf/cm²）、後輪は 0.157 MPa（1.6 kgf/cm²）である。

座席は前後の調節が可能で、トラクタ本体への固定金具は後軸前方 417 mm の位置である。座席の金具への固定は前方を支点として、後方で金具に取付けられた左右 2 本の圧縮コイルバネで支えている。乗車したオペレータ質量は 56 kg である。

表 1 供試トラクタ主要諸元

取扱説明書より		実験時供試機質量概数 (kg) 重心位置等	
質量	1,510kg	本体（前頭部ウエイト付）	1,600kg
全長	3,455mm	前後質量比	50 : 50
全幅	1,460	座席位置（後軸前方）	417mm
全高	1,970	重心位置（後軸前方）	925mm
軸距	1,850	フロントローダ装着時	1,960kg
輪距 前輪	1,200	前後質量比	66 : 34
後輪	1,140	重心位置（後軸前方）	1,221mm
タイヤ 前輪	8-16 4PR	ロータリ装着時	1,950kg
後輪	12.4-28 4PR	前後質量比	28 : 72
		重心位置（後軸後方）	518mm
変速段数 前進	16段	フロントローダとローダ装着時	2,280kg
後進	16段	前後質量比	45 : 55
3 点リンク	JIS 1 型	重心位置（後軸後方）	833mm
駆動方式	4 輪駆動		

* 酪農学園大学 酪農学部酪農学科 農業工学
Department of Dairy Science, Agricultural Engineering, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan
** 酪農学園大学 酪農学部酪農学科 畜産システム工学
Department of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

2. 実験方法

1) 座席コイルバネとタイヤの静ばね定数測定方法

2本のコイルバネが装着された座席固定金具をトラクタ機体より取外し、万能材料試験機でコイルバネにゆっくり荷重を与え、変位と荷重の関係を求めた。またコイルバネ上のクッション座席を設置した状態においても同様の試験を実施した。

タイヤ静ばね定数は平坦なコンクリート面で荷重変換器を装着したジャッキでタイヤを接地面から離し、タイヤの接地直前と接地した時の変位を軸心より求め、この変位と設置時荷重より静ばね定数を求めた。

2) 振動加速度の測定方法

振動の測定には上下・前後・左右方向の加速度測定が可能な三軸加速度変換器を用い、測定範囲は±10 G、応答周波数範囲は0－350 Hzである。人体の全身振動の測定は座席の座面上のクッションの上に変換器を挿入した鉄板製薄箱(170×170×22 mm)を設置し、その上にオペレータが着座した。また機体側の振動はトラクタ本体に設置された座席固定金具中央に加速度変換器を取付けることにより実施した。また草地走行では後車軸下とエンジンのオイルパン下にも設置した。トラクタのエンジン回転数は2,700 rpmとし、変速位置は9－16段を使用した。走行はトラクタ単体の他に作業機として、ロータリ、フロントローダ、及び両機を同時に装着した場合について走行速度を変化させて実施した。ローダバケットは地上高350 mm、ロータリは回転軸で地上高350 mmとした。

走行距離は砂利路で約50 m、草地では30－100 mである。砂利路表面は良く締め固められ、草地は秋耕前で比較的柔らかい状態である。

データの記憶解析機器としてFFT解析が可能な4CHシグナルプロセッサを用いた。加速度の測定内容は4CHの関係から、砂利路では座席上及び座席下(座席固定金具部)のZ方向(上下)とX方向(前後)とした。草地では座席上、座席下、後車軸下、オイルパン下の4点についてX方向、Y方向、Z方向毎に分けて実施したので、走行毎に走行路は異なる。

解析データ長は1,024個、データ間隔3.906 msとして4秒間の平均値を解析値とした。砂利路では一定距離を変速位置の設定を変えて走行するので、高速になるほど解析データの取込み回数は少なくなる。また草地走行の場合は解析データの取込み回数を一定にしたので、高速になるほど走行距離は長く

なる。従って同一走行路面とはならない。これらデータの取込み条件を表2に示す。

シグナルプロセッサに記録された振動加速度の波形をパーソナルコンピュータで解析出来るよう1解析データ分(1,024データ)ずつデータ変換し、波形解析ソフトで1解析データ長分のRMS(振動加速度値)を求め、その値を解析値とした。取込み回数分の解析値の平均値をもってその条件のRMSとした。

3) 用語

(1) 振動加速度レベル (VaL)

周波数補正を行わない実際の加速度実行値(単位はdB)で、基準の加速度実行値を10⁻⁵m/s²とする。

(2) 振動伝達率 (η)

座席下の加速度実効値(G)に対する座席上の振動加速度実効値(G)の百分率換算である。

三浦等⁴⁾は評価の観点から座席上・下のZ方向振動加速度レベルの差の百分率換算で示している。本報では振動の防止の観点による定義⁵⁾に従って用いる。

4) シグナルプロセッサの解析機能

記憶解析器のシグナルプロセッサは解析データ長(1,024データ)分について、時間軸波形、パワースペクトラム、リニアパワースペクトラム、パワースペクトラム密度、1/3オクターブ等の解析機能があり数値表示、波形表示などができる。

(1) パワースペクトル密度 (PSD)

この用語を簡単に説明することは困難であるが以下に概要を示す。

パワーは仕事をする割合で、パワースペクトルは調和振動の振幅の2乗に比例する。パワースペクトル密度は単位周波数間隔当たりパワーとして定義している¹⁰⁾。FFT解析では時間領域の振動データを周波数領域のデータとして表現できる。周波数軸上にすき間無く並べられた狭帯域フィルターは400本並んでいるが、そのバンド幅は測定する周波数帯域に

表2 データ取込み条件

走行条件(砂利路)		解析データ(1024)	
変速位置	走行速度(km/h)	取込み周期(sec)	取込み回数
9	1.93	12	6
10	2.60	12	6
11	3.04	12	5
12	4.41	8	5
13	5.84	4(連続)	6
14	7.71	4(連続)	5
15	9.00	4(連続)	5
16	13.50	4(連続)	3
草地走行(砂利路と同一)		8	5

よって異なり、測定結果の比較が困難になる。そこでバンド幅を 1 Hz 当たりには換算したものが PSD である。本機器の単位は G^2/Hz として示される。

振動加速度のエネルギーが大きい周波数領域を知ることが出来る。

(2) 1/3 オクターブ

全身振動の暴露基準は ISO (国際標準化機構) 2631 に規定され、周波数範囲が 1–80 Hz で、垂直、水平振動等に適用される。測定された振動は 1/3 オクターブまたはそれ以下の狭帯域フィルターで分析され、評価曲線から暴露時間が決められる。垂直振動 (Z) については中心周波数が 4–8 Hz で、水平振動 (X, Y) では 1–2 Hz で最大値を持つとしている。

III 実験結果及び考察

1. 座席コイルバネとタイヤの静ばね定数の測定結果

座席固定金具上のばねの垂直変位と荷重の関係は直線となり、980 kN の荷重で 20 mm の変位が得られた。

またバネの上にクッションを設置した時も垂直変位と荷重の関係は直線となり、980 kN の荷重に対して、37 mm の変位が得られた。

以上の結果をもとにバネ 2 本装着した状態での静ばね定数はクッションの無、有それぞれ 49.0, 26.5 kN/m で、クッションの設置によりほぼ半減した。オペレータの質量が 56 kg の時の固有振動数を求めるとそれぞれ 4.7, 3.5 Hz となった。

タイヤの静ばね定数は後輪が 198 kN/m、前輪が 143 kN/m で、トラクタ単体のみのタイヤの固有振動数を求めると前輪が 3.0 Hz、後輪が 3.5 Hz となった。この固有振動数はタイヤに対する荷重が増えたと小さくなり、また荷重が減少すると大きくなる。

供試トラクタは座席とタイヤの固有振動数がほぼ一致し、オペレータに対しこの振動周波数で振動加速度が大きくなることが予想される。

2. 砂利路走行の実験結果

1) 振動加速度レベル (VaL) 解析

T (トラクタ単体), F (フロントロード装着), R (ロータリ装着), FR (フロントロードとロータリ装着) の座席下の Z 方向, X 方向の VaL を図 1, 2 に示す。

Z 方向の VaL については T が最も小さくほぼ 115 dB で、作業機を装着することにより 1 dB ほど

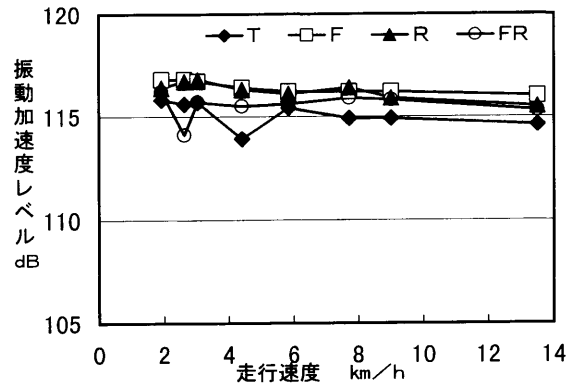


図 1 座席下振動加速度レベル (Z 方向)

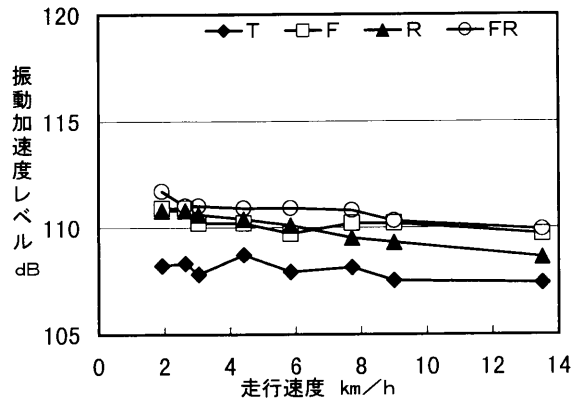


図 2 座席下振動加速度レベル (X 方向)

増加する傾向であったが、作業機の種類による影響は少なかった。走行速度の増加に伴ってわずかに減少する傾向を示した。また X 方向については Z 方向と同様 T が最も小さく、ほぼ 108 dB 程度である。作業機の装着により 2.5 dB 程度増加した。作業機の種類による影響は Z 方向と同様に少なかった。走行速度の影響については Z 方向と同様にわずかながら減少する傾向を示した。

座席上の VaL については図 3, 4 に示す。走行速度との関係では座席下の VaL とは逆に速度の増加につれて増加し、特に Z 方向の増加が著しくなった。

作業機の装着条件別では、Z 方向では最も質量の大きい FR が小さく、質量の小さい T は大きくなる傾向であった。また X 方向では Z 方向とは逆に T が小さく、FR が大きくなった。

2) 振動伝達率 (η)

図 5 に Z 方向, 図 6 に X 方向の η を示す。

Z 方向では T が最も大きく、作業機質量の最も大きい FR は最も小さくなった。図 1 から座席下の VaL では T のとき最も小さくなるが、 η が最も大

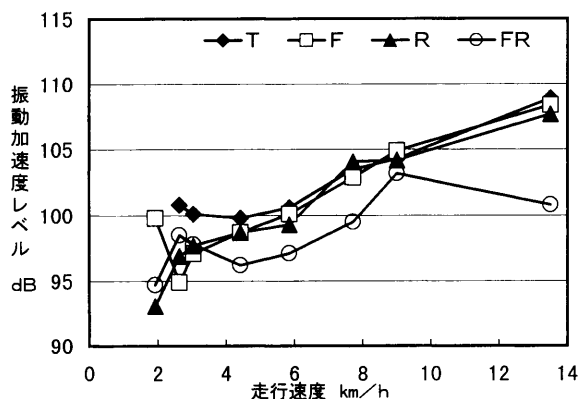


図3 座席上振動加速度レベル (Z方向)

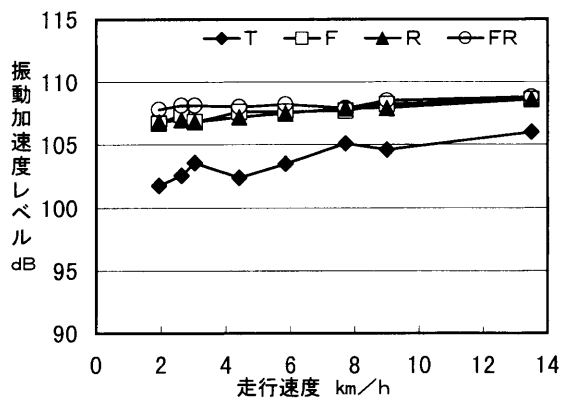


図4 座席上振動加速度レベル (X方向)

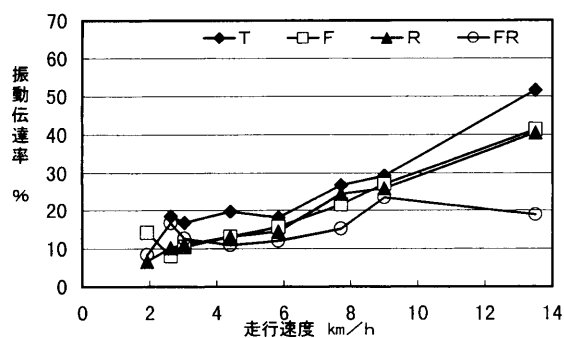


図5 砂利路走行振動伝達率 (Z方向)

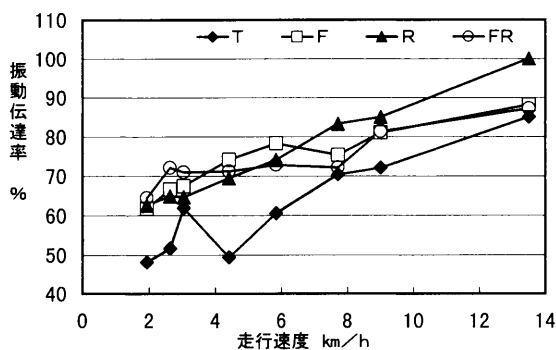


図6 砂利路走行振動伝達率 (X方向)

きいたために図3に示した座席上のVaLは最も大きくなった。逆に、 η の最も小さいFRは座席上のVaLは最も小さくなった。すなわち作業機のトラクタへ装着する位置によるタイヤの固有振動数の変化、重心の移動による回転振動の影響の変化等により、このような現象が生じたものと思われる。

X方向についての η はZ方向より大きく、座席下のVaLの大小がそのまま座席上のVaLの大小として伝達された。

3) パワースペクトラム密度 (PSD) 解析

トラクタの座席下振動に影響する周波数成分としてはエンジン回転数、トラクタのタイヤラグ数、供試路面のプロフィール、タイヤの固有振動数等である。座席上振動へ大きな影響を与えるZ方向についてのみ解析を行った。

Tの変速位置16, 走行速度13.50 km/hでの座席下, 座席上のPSDは図7の如く示される。座席下では後輪タイヤの固有振動数3.5 Hz付近とエンジン振動(2,700 Erpm)の周波数90 Hz付近がピークとなった。

タイヤラグの影響を調べるため後輪ラグ数とラグピッチ, 走行速度から近江谷⁷⁾の計算方法によりラグ接地回数を求めた。ラグはハの字で2個が1組と

なって接地する為この計算値の2倍が接地振動になると考えられる。表3にその計算結果を示す。実際のトラクタは後車輪が2個, 前車輪が2個あり複雑となるが, 走行速度の増加と共にピーク値の周波数成分が増加すればラグの影響があると思われる。しかし実験の結果からラグ数の影響は明確にならなかった。座席上PSDが3.5 Hz付近で大きな値に

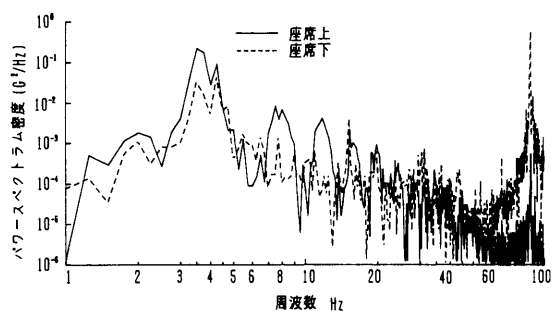
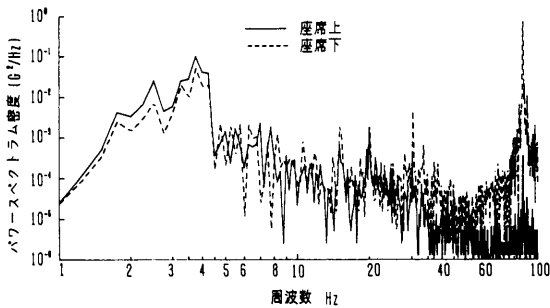


図7 トラクタ単体の砂利路走行

表3 後車輪ラグによる接地回数 (計算例)

走行速度 km/h	1.93	2.60	3.04	4.41	5.84	7.71	9.00	13.50
接地回数 回/s	4.4	6.0	7.0	10.0	13.4	17.6	20.6	31.0



なったのは座席コイルバネの固有振動数と一致した為と考えられる。Fのように重心が前方に移動し、オペレータと重心との距離が大きくなると、機体は縦揺れや横揺れによる重心を中心とした回転振動の影響を受け、座席下、座席上のPSDは図8のようになる。3.5 Hz付近より小さい周波数で現れる波形の山の値がTより大きいのは回転振動によるものと思われる。運転感覚としては後輪タイヤが一定の周期で浮上する様な状況で、タイヤと凹凸路面との接地が不安定であった事、後輪タイヤの接地荷重の減少によりタイヤの固有振動数が大きくなった事などが考えられる。

4) 1/3 オクターブバンド解析

解析器シグナルプロセッサに数値表示される 1/3 オクターブバンドの最低中心周波数は 5 Hz であった為、垂直振動で振動感度の最も高い 5 - 8 Hz の VaL を求め、表 4 に示す。また垂直振動で感度の最も高い周波数帯 4 - 8 Hz の ISO 2631 に示される全身振動暴露基準の値を表 5 に示す。表 4 の値が表 5 のレベル以下であれば ISO の評価としては健康上問題がないことになる。1 日の作業時間を

表 4 上下方向 5 - 8 Hz (1/3 オクターブバンド) 平均振動加速度レベル (dB)

走行速度 km/h	T		F		R		FR	
	下	上	下	上	下	上	下	上
2.60	86.4	86.4	84.4	83.7	80.2	81.5	78.0	78.3
4.41	89.9	88.4	88.3	87.0	86.9	87.4	85.5	84.7
5.84	88.9	87.6	88.8	86.6	86.7	86.2	90.4	88.5
9.00	92.5	91.4	89.5	89.7	89.2	88.7	86.1	85.4
13.75	93.7	96.0	94.3	95.2	90.2	89.8	87.5	87.3

T：トラクタ本体
 F：フロントローダ装着
 R：ロータリ装着
 FR：フロントローダとロータリ装着

下：座席下（座席固定金具）
 上：座席上（座面上）

表5 ISO 2631 の上下方向 4 - 8 Hz 全身振動暴露基準

振動加速度レベル (dB)	83	87	90	94	97	101	105	107	109
暴露時間	24h	16h	8h	4h	2.5h	1h	25min	16min	1min

8 時間以内とすれば、基準 VaL は 90 dB で、供試トラクタでの日常作業は砂利路走行の観点からはほぼ問題がないといえる。しかしフロントローダに積荷があったり、走行路面に凹凸がある場合は、オペレータの振動による影響は増加する。

X 方向については 5 Hz の VaL が作業機装着のどの条件に於いても 50-65 dB の範囲にあり、周波数補正を行えば振動レベルはこの値より小さくなる為、ISO の評価としては健康上ほとんど問題とはならない。

3. 草地走行の実験結果

草地走行での VaL について Z 方向の結果を図 9 に示す。

重心位置から遠いエンジン下が最も大きく、次に車軸下、重心に近い座席下が121-123 dBの範囲で最も小さく、砂利路の115 dBより大きな値となった。しかし座席上では100-110 dBで砂利路とほぼ同じで、 η については図10に示すが、Z方向では8-27%と図5の砂利路より小さくなった。

Z 方向で走行速度の影響を受けたのは座席上のみ

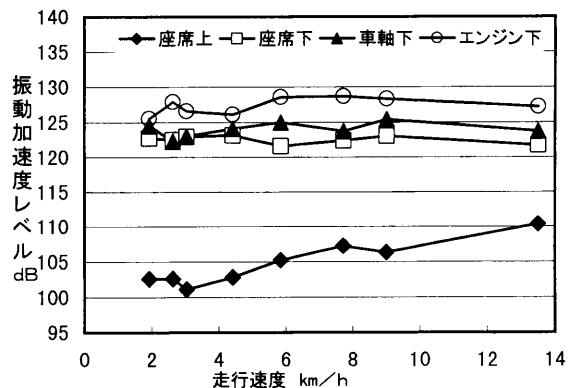


図9 草地走行振動加速度レベル (Z方向)

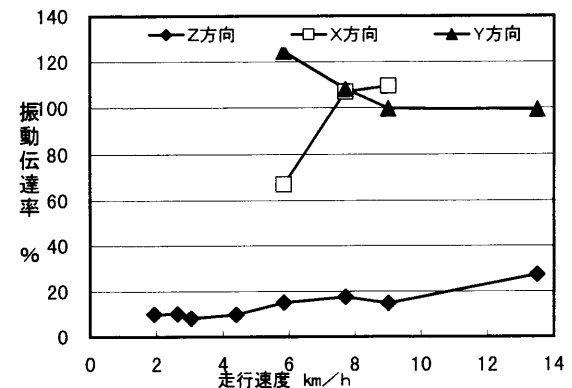


図 10 草地走行振動伝達率

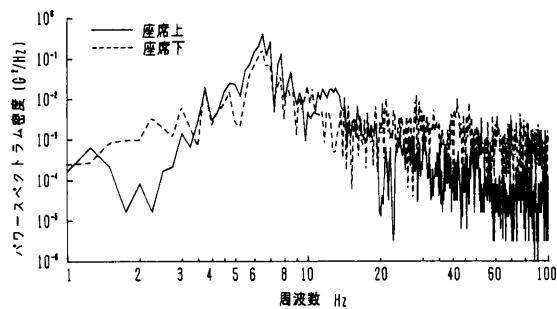


図 11 トラクタ単体の草地走行

で、砂利路同様速度の上昇に伴って VaL は増加した。

また X 方向の VaL については座席下、上とも走行速度の影響を強く受け、速度の増加と共に上昇し、砂利路より大きくなった。走行速度 9 km/h で座席下、上とも 126 dB であった。Y 方向については走行速度の影響はなく、座席下、上ともほぼ 117–119 dB にあった。従って X 方向、Y 方向の η は 100% 以上となる事があった。

草地走行の PSD の特徴を走行速度 13.75 km/h の Z 方向の事例を図 11 に示す。どの速度においても 6–7 Hz 付近で高い値となり、座席上は座席下を上回った。草地の特徴として、1–4 Hz 程度での値も砂利路に比べて大きくなり、トラクタ機体の回転振動の影響と思われる。

1/3 オクターブ分析での Z 方向 4–8 Hz の VaL は走行速度 13.75 km/h の時 78.5 dB で、表 5 の暴露基準からは問題にする大きさとはならなかった。

IV 摘 要

中形トラクタ (25 kW) の座席振動特性を評価する為、砂利路と草地圃場の走行試験でトラクタの加速度を測定し解析した。走行速度は 1.93–13.50 km/h で、装着作業機はフロントローダとロータリである。実験結果を以下に要約する。

1. 砂利路で座席上垂直方向振動加速度レベルの最も大きくなるのは作業機を装着しない場合で、その時の座席装置による振動伝達率はほぼ 20–50% であった。最も小さくなるのはフロントローダとロータリを同時に装着した場合で、振動伝達率はほぼ 10–20% であった。
2. 座席上前後方向振動加速度レベルでは最も大きくなるのは、フロントローダとロータリを同時に装着した場合で、座席装置の振動伝達率はほぼ 60–90% であった。

最も小さくなるのは作業機を装着しない場合で、振動伝達率はほぼ 50–90% であった。

3. 砂利路走行での座席上垂直方向振動加速度レベルは草地圃場走行とほぼ同じになった。
4. 座席上垂直方向加速度のパワースペクトラムは座席及びタイヤの共振周波数 3.5 Hz 付近で増加した。
5. 座席上垂直方向の 1/3 オクターブバンドの加速度はほぼ ISO の 8 時間暴露基準以下であった。

参考文献

- 1) ISO2631, 1985. Evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1; General requirements.
- 2) ISO5008, 1979. Agricultural wheeled tractors and field machinery-Measurement of whole-body vibration of the operator.
- 3) 倉部 誠, 市原千治, 1993. 振動モード解析入門, pp. 71–7, 日刊工業新聞社, 東京.
- 4) 三浦恭志郎, 他 2 名, 1982. トラクタ座席振動の測定と評価 (第 1 報), 農業機械学会誌, 44 (3): 499–506.
- 5) 日本音響材料協会, 1993. 騒音・振動対策ハンドブック, pp. 433–435, 技報堂出版, 東京.
- 6) 日本農業機械化協会, 1998. 農業機械化広報(10), NO. 342, 東京.
- 7) 近江谷和彦, 1985. 農用トラクタの回転振動に関する研究(第 1 報), 農業機械学会誌, 47 (3): 321–327.
- 8) 近江谷和彦, 1988. 農用トラクタの回転振動に関する研究(第 2 報), 農業機械学会誌, 50 (2): 3–10.
- 9) 新農林社, 1998. 98 農業機械年鑑, pp. 80–81, 東京.
- 10) 桜井良文, 小畑耕郎, 1967. 振動・衝撃の計測, pp. 143. 朝倉書店, 東京.
- 11) 佐藤秀紀, 岡部佐規一, 岩田佳雄, 1995. 機械振動学, 工業調査会, 東京.
- 12) 田中 孝, 他 2 名, 1974. トラクタの座席振動に関する研究(続報), 農業機械学会誌, 36 (3): 361–366.

Summary

To evaluate a middle-class tractor for ride vibrations we test-drove the tractor on gravel road and pasture. Acceleration of the tractor was analyzed with and without implements mounted on the tractor. A front-end loader and a rotary were the implements used in the tests. Results showed :

1. Vertical vibration registered the highest acceleration level in the tractor driven on gravel road without any implements attached, and during that ride 20 to 50% of the vertical vibrations were transmissible to the seat. Acceleration level was lowest when both the front-end loader and rotary were mounted on the tractor, resulting in 10 to 20% transmissibility of the vibration to the seat.
2. Longitudinal vibration was highest when both the front-end loader and rotary were mounted on the tractor, reaching 60 to 90% transmissibility of the vibration to the seat. Without any implements mounted on the tractor the acceleration level was lower, but still the vibration transmissibility to the seat was 50 to 90%.
3. Acceleration level of the vertical vibration obtained on a gravel road was almost the same as that of the tractor driven on pasture.
4. The power spectrum of the acceleration level showed that, in the vertical ride-vibrations, density increased when the resonant frequencies of the seat and tires were around 3.5 Hz.
5. Accelerations in the one-third-octaveband of the vertical vibrations remained under the ISO 8-hour exposure limit.