

林道土工建設機械の座席振動

沼田 邦彦・近藤 恵市・山本 俊明・佐々木 功

Vibration on the seat of forest road construction machines

Kunihiiko NUMATA, Keiichi KONDOO, Toshiaki

YAMAMOTO and Isao SASAKI

要 旨

芦生演習林を主要な対象地として従来より林業機械作業における人間工学的研究というテーマで機械土工作業に関する労働環境の調査を行ってきた。今回は林道建設機械であるブルドーザ、ショベルドーザに関する座席振動について調べた。近年特に森林作業の機械化が進み、林道延長も大となり、それにつれてトラクタ作業の占めるウェイトも増大し、トラクタの座席の振動について、労働環境の面からみて改善を要する問題が起ってきた。

調査及び試験は2つの部分に分けられる。まず最初に林道建設の現場作業において停止時、走行時、排土・路面整地作業時などの基本要素作業ごとの分析を行い、その次にシートの素材別（D50Sシート、D6シート、スポンジ、発泡スチロール）の振動分析を停止時について行った。トラクタの振動は停止時と走行時では全く異ったタイプを示すが、主な振動はエンジン回転数 f_0 とその高調波によるものであり、走行時には特に f_0 以下の振動が目立つ。一方素材別の振動については現在使用されているシートでも伝達率が1以上になる周波数域があり、シート素材による振動減衰をも研究していく必要がある。

オペレータの心拍の増加傾向については振動と正の関係にあることは確かである。ただオペレータが通常乗り慣れている機種でない場合はレベル的に高い心拍数を示すので、この点を考慮し、平常乗り慣れている機種についてのオペレータ集団を対象に更に詳細な検討が必要である。

ま え が き

数年前から芦生演習林を主要な調査対象地として、林業機械作業における人間工学的研究というテーマで機械土工作業に関する労働環境の調査を行ってきた。今回は林道建設機械であるブルドーザ、ショベルドーザに関する座席振動について調べた結果を報告する。

近年特に森林作業の機械化が進み、林道開設の延長も大となり、トラクタ作業の占めるウェイトも増大してきており、トラクタの座席振動は労働環境の中でも改善されねばならない重要な問題となってきた。林業土工作業やトラクタ集材などのオペレータが受ける全身振動については近時注目されつつあるが、機械的改善はまだあまり進んでいない現状である。今後林業労働はますます機械力に頼らざるを得なくなることは必須であり、労働安全衛生の面から機械の改善・向上

が図られねばならない。

ブルドーザのオペレータに障害を与える振動は手足の触れる部分の局所振動とシートから受ける全身振動とに分けられよう。そして手・足・背・腰等の各々の部分から伝わる振動は各部分のみならず、相互に干渉し合って人体に作用するものと考えられる。全身振動の報告では動物実験あるいは人体実験から得られたデータから現時点では振動加速度 $0.08g$ 以下で何らかの生理的(生化学的)影響・障害が認められ、 $0.1g$ 以上では、諸種の機能変化が¹⁾発現するとされている。

ブルドーザの振動はその振動の方向・大きさ、周波数構成等が複雑に組み合わさっている。またその振動はエンジン回転による振動、動力伝達装置の振動、および機械の構造、路面の形状とその硬さなどが影響すると考えられる。本報告は振動加速度の小さい座席、特に人体への影響が大きいとされている低周波数域での振動の小さい座席を見い出すための最初のステップとして以下の調査・試験を1976年の11月及び12月の2回にわたって京都大学芦生演習林の林道工事作業現場において行った。最初にブルドーザ2機種(小松D50Sとキャタピラ三菱D6)を用い、停止状態における中速、高速、走行状態及び作業状態の振動加速度を、次に上記2機種の座席の素材の相違による振動加速度の相違を測定した。素材はD50S及びD6のシート、スポンジ、発泡スチロールの手近なものを取り上げて、その振動伝達率の傾向を調べた。

I 林道土工機械による平常作業について

本実験に用いたブルドーザは現在芦生演習林で林道建設に使われているもので、その諸元の主なものを表1に示す。

Table. 1 Dimension of D 50 S and D 6.

	D50S	D 6
Total length	5090mm	4820mm
Total width	2060mm	3865mm
Total height	2885mm	3105mm
minimum ground clearance	350mm	380mm
Total weight	12200kg	14100kg
engine	KOMATSU 4D120-11 diesel engine 4 cycle water cooling	CATERPILLAR 3306 diesel engine 4 cycle water cooling with turbo charger
maximum power	90 P S	142 P S
maximum torque	46kg m/1000rpm	—
ground contact pressure	0.69/m ²	0.59kg/m ²
speed forward 1	2.5km/h	4 km/h
2	3.5	6.9
3	5.5	10.8
4	9.4	—
backward 1	3.2	4.8
2	5.2	8.4
3	8.0	12.9

1. 実験方法

まず機種と作業状態による振動の相違を明らかにするために次の4つの場合を取り上げた。
①停止状態中速, ②停止状態高速, ③走行状態, ④作業状態。なお中速・高速とはオペレータの日常の感覚から定めたもので, D50Sの場合はエンジン回転数で中速は約1400rpm, 高速は約1800rpm, D6の場合は中速1600rpm, 高速2100rpmである。

林道の作業現場として①硬い岩質, ②軟い岩質の2ヶ所を選んだ。オペレータは熟練者で, 体重約55kgである。測定装置に加速度計 (Accelerometer Type 4344, B&K), 増幅器 (Charge Amplifier Type 2635, B&K), 心電計 (Fb-14, フクダ電子), データレコーダ (R-70A, TEAC) をブルドーザに登載し, そのためにスポンジをクッションにして包み込み, その上からゴムバンドでブルドーザに取り付けた。データレコーダはカセット方式の4チャンネルであり, 2チャンネルを振動測定に, 1チャンネルを心電測定に, 残りの1チャンネルを作業状態などを入れるためのメモアナウンスに使った。メモアナウンスとしてはオペレータ以外の者がブルドーザに載ると作業の障害になるので, トランシーバを用いた。振動加速度の測定はFM方式で行い, この記録再生周波数範囲はDC~625Hzである。

振動の測定位置は座席上部と座席の載っている床板部の2ヶ所で, いずれも上下方向である。振動の方向について上下方向を選んだ主な理由は座席振動の中でも, この方向の振動が最も大きく, それだけ人体への影響も大きいと思われるからである。座席の振動加速度を測定するにあたってシートの上に19cm×53cm×3cmの板を置き, 加速度ピックアップをこの板に台座と共に接着して取り付け, 作業中にオペレータがピックアップに触れないようにすると同時にシート方向の振動がオペレータの姿勢や動作によって変動しないように配慮した。

2. 分析方法

加速度を求めるために, まずカセットテープにとったデータをFACOM U-200でA-D交換し, 1チャンネル当り500サイクルのサンプリングでデジタルデータに変え, このデジタルデータ(a)から1秒毎にR.M.S値($\sqrt{\sum a^2/n}$)で加速度値を整理し, それにもとづいて加速度の平均値を求めた。次に周波数分析は, 周波数分析器(440A MINI-UBIQUITOUS spectrum analyzer, NSC)を使い1.25Hzおきに0~500Hzにわたって分析した。

3. 機種と作動状態によるシート振動について

ブルドーザの作動状態で硬岩質のところでは掘削等の作業状態の調査はできなかったが, まず硬岩と軟岩とによる岩質の相違を見わける1つの指標として, 地震探索を行い, 振動伝達の状態を調べ, その結果をFig. 1に示した。岩石地の振動の伝わる速度をもとにブルドーザ等の土工機械による振動が地面の岩質によって影響を受ける部分をある程度説明できるのではないかと考えたが, 芦生演習林における林地表層の振動伝達速度は盛土部について外見的に硬岩の盛土と軟岩の盛土の相違はほとんどない。盛土部と基岩部とでは伝達速度は基岩部の方が速く, オペレーターの感じる振動感とも関係があると思われるが, 土工現場の関係からこの点を深く調べることができなかった。以下

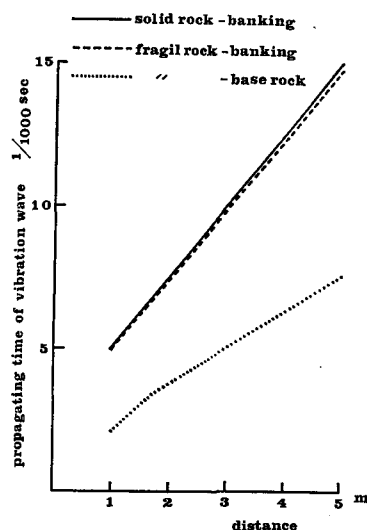


Fig. 1. Propagating time of a vibration wave through the forest ground measured with seismic sencer.

一応外観的に堅い岩を硬岩とし、風化の進んだ比較的こわれやすい岩を軟岩とする。表2にD50 S, D6の作動状態ごとの振動加速度と心拍の関係を示す。

Tab. 2. The vibration and the heart beat number of the operator

Machine	rock area	condition of operation	vibration (RMS) m/s^2		heart beat number (RMS) /min
			on the body	on the seat	
D50S	fragile	stop-middle	2.237	1.218	82.94
		stop-high	2.672	2.106	92.16
		moving	4.123	2.540	97.09
		earthmoving	4.423	2.563	99.35
	solid	stop-middle	3.735	7.092	88.11
		stop-high	4.926	1.975	88.44
		moving	6.583	3.218	94.56
		during rest			88.98
D 6	fragile	stop-middle	12.130	1.820	70.54
		stop-high	13.810	1.766	67.05
		moving	17.420	3.114	78.40
		earthmoving	16.900	2.581	82.80
	solid	stop-middle	10.911	1.861	71.30
		stop-high	14.754	1.567	71.27
		moving	16.237	2.571	78.68
		during rest			72.64

3.1 D50Sの振動

(1) 停止状態

停止した状態ではエンジンの回転、それにつながる動力伝達装置の回転が振動の発生源であ

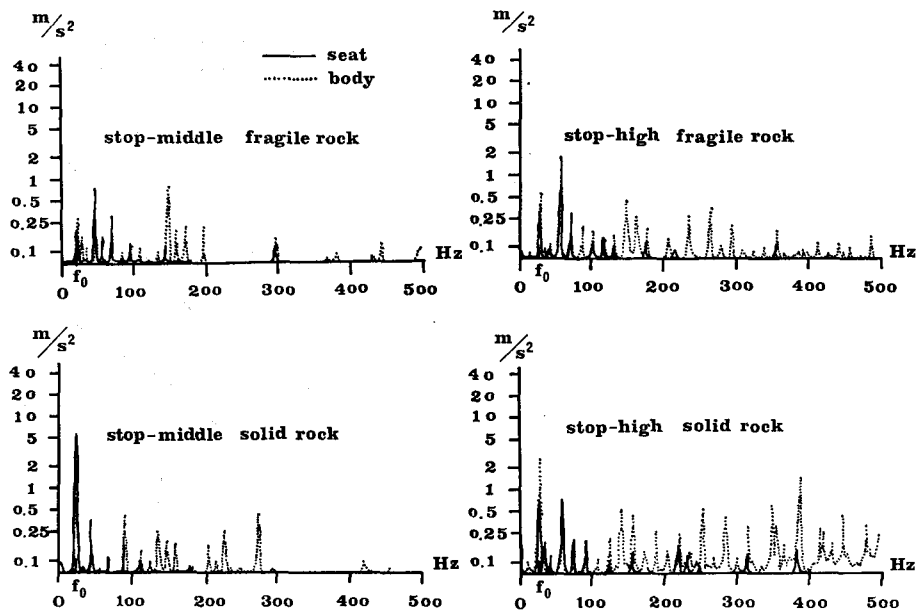


Fig. 2. Frequency analysis of the vibration on (D50S). stop condition

り、その振動によりフレームの各部位及び座席が振動する。D50 Sの停止状態の振動加速度について、表2をみると硬質岩中速状態の座席振動が異常に高くなっているが、周波数分析のFig. 2をみれば、エンジン回転数 f_0 が極端に大きくなっているためにオーバオール振動が高くなったものと考えられる。しかし床板における振動についてみれば、全体的に高速状態の方が中速状態より加速度が大きく、また硬岩の方が軟岩より加速度が大きい。一方周波数分析の結果は f_0 及びその高調波 fn の周波数が顕著に現われている。床板と座席の振動についてみると床板の振動は中速回転（約23Hz）では300Hz以上の振動はあまりなく、高速回転（約31Hz）では床板の振動は500Hzまでエンジン回転数の高調波が比較的均等に現れている。一方座席の振動では100Hzまでの振動が大きく、それ以上の周波数では小さな振動しか現れない。

(2) 走行状態

走行状態の振動源は停止状態のものにキャタピラの駆動、キャタピラによる走行、地面の凹凸が加わる。走行状態の振動加速度を表2からみると、走行状態では停止中速時の2倍近い加速度値を示す。また硬岩の方が軟岩よりも加速度は大きい。周波数分析の結果は、エンジン回転数 f_0 （約24Hz）の周波数で大きな振動加速度があり、その高調波 fn の周波数ではあまり目立たない。また走行状態においては f_0 以下の周波数の振動が大きく、約7Hz、13~61Hzにそれぞれ大きな振動がみられる。床板の振動においては周波数50Hzまでの振動が大きく、それ以上の周波数においては特に大きな振動はみられない。座席の振動では軟岩で約100Hz、硬岩で約150Hzまでの周波数の振動が大きい。

(3) 作業状態

作業状態の振動源は排土板が地面を削ることによって生ずる振動等が走行状態の振動に加わる。ここで行った作業状態とは走行しながら掘削する作業であったから、走行状態とあまり変わらない結果になっている。周波数分析の結果は床板の振動では50Hz以下の振動が目立つ。50Hz以下の周波数では走行状態と同様にエンジン回転数 f_0 （約24Hz）と8Hz、14Hzにそれぞれ大きな振動がみられる。それ以上の周波数では150Hzと250Hz付近にそれぞれ大きな振動がみられる。座席の振動も走行状態とほとんど同じ傾向を示

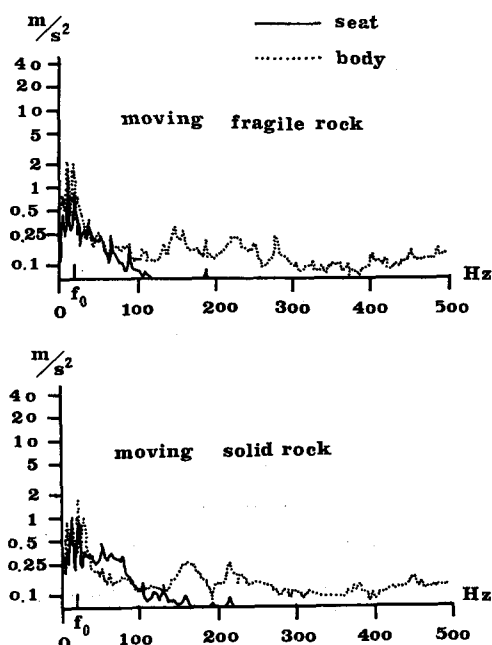


Fig. 3. Frequency analysis of the vibration on (D 50 S). moving condition

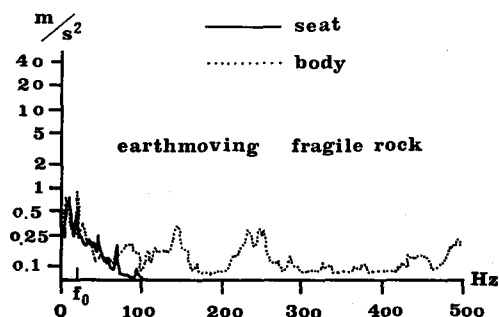


Fig. 4. Frequency analysis of the vibration on (D 50 S). earthmoving condition

し、100Hz以下に大きな振動がみられる。また床板と同様に8Hz, 14Hz, f_0 に大きな振動がみられ、周波数が高くなると振動は小さくなる。

3.2 D 6の振動

(1) 停止状態

D 6の停止状態は硬岩と軟岩の相違はあまり認められない。床板においては高速状態の方が振動が大きく、座席では逆に中速状態の方が振動が大きい。周波数分析によると床板ではどの周波

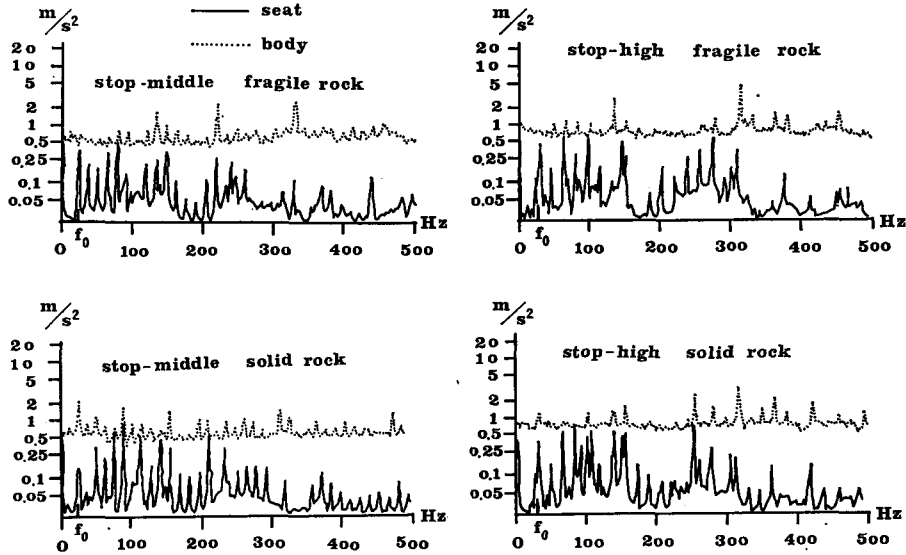


Fig. 5. Frequency analysis of the vibration (D 6). on stop condition

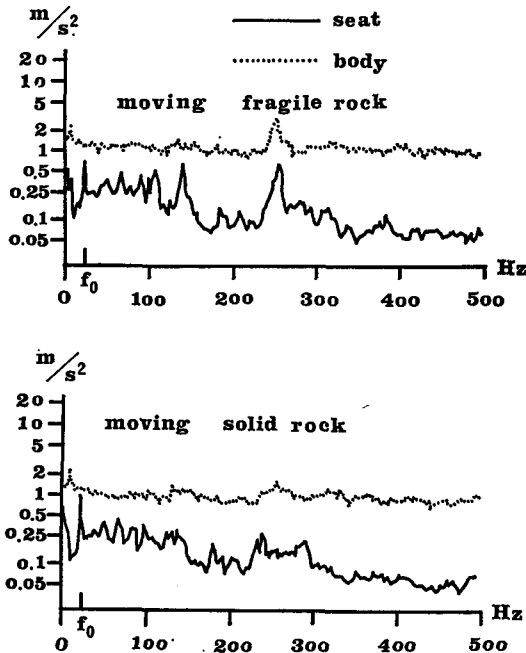


Fig. 6. Frequency analysis of the vibration (D 6). on moving condition

数も平均的に高い値を示す。このことは中速約27Hz)でも高速(約35Hz)でもいえることである。床板の振動では f_0 の高調波 f_n の周波数100~150Hz, 200~250Hz, 300~350Hz付近で大きな振動になるところがみられる。座席の振動は床板の振動とはかなり異なる。床板に比較して座席は7Hz以下, f_0 , その高調波 f_n の周波数でのみ大きな振動がみられる。

(2) 走行状態

走行状態の振動は停止状態のものより大きい。走行状態の振動を周波数分析すると床板の振動は停止状態のものとあまり変わらず、すべての周波数域にわたって平均的に高い値を示す。また250Hz付近に大きな振動がみられ、 f_0 (約27Hz)の高調波 f_n の振動は停止状態の場合ほど顕著でない。座席の振

動は7 Hz以下、 f_0 その高調波で大きな振動がみられる。しかし走行状態では f_0 、 f_n 以外の周波数の振動は停止状態に比較して大きく、 f_0 、 f_n の振動とそれ以外の周波数の振動の差は小さくなっている。また座席の振動を全体的にみると、0～150Hzで大きな値をとり、150～200Hzでいったん小さくなり、220～300Hzで再び大きな値をとり、300Hz以上では徐々に小さくなっている。

(3) 作業状態

作業状態では床板、座席とも走行状態とほとんど同じ様相を示す。床板では周波数域の全域にわたりあまり差のない振動があらわれている。座席では7 Hz以下及び f_0 、その高調波 f_n の振動が大きく、また全体的には0～150 Hzで大きく、150～220Hzで小さくなり、220～300Hzで再び大きくなっている。作業状態のとき450Hz付近の振動が目立つが、全体的にみた場合周波数が高くなるに従って振動は小さくなっている。

3.3 オペレータの心拍と振動

表2からD50Sの場合の方がD6のときより、オペレータの心拍数のレベルがはるかに高くなっている。機種としての安定感やパワーなど種々の原因が考えられるが、このオペレータは平常D6を専用していることから、D50Sに対して心理的緊張状態が強く反映されたものとも考えられる。Fig. 8に心拍と振動の関係を示した。この図から心拍と振動とは強い関係にあるとみられるが、振動の高い走行、作業の状態では、心拍に関する条件は振動の他に運転操作等が関係しており、総合的に心拍を高めていると考えられる。この点に関しては平常操作している機種を用いて、多数のオペレータに対して岩質、作動状態等を定めて更に詳細な検討が必要である。

II シート素材による振動について

機種としてD50S及びD6を用い、エンジン回転数を、D50Sの中速（約1400rpm）、高速（約1800rpm）、D

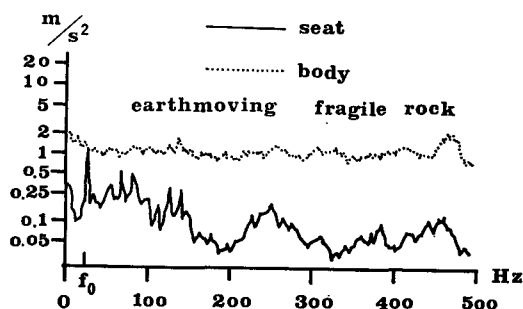


Fig. 7. Frequency analysis of the vibration (D 6). on earthmoving condition

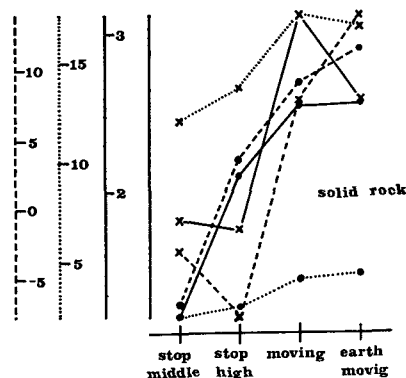
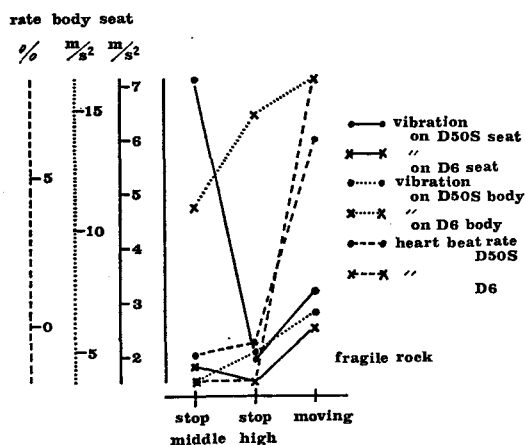


Fig. 8. The relation between heart beat rate and vibration.

6の中速(1600rpm)、高速(約2100rpm)の2段階についてシート素材(D50Sのシート、D6のシート、スポンジ、発泡スチロール)に対する振動を比較した。ここでは停止状態の場合のみについて調べることにした。シートにかかる荷重は61.5kgのデッドマスである。

1. D50Sを使った場合

(1) 中速状態

各素材に対する振動加速度を表3に示した。D50S中速状態の座席の加速度はD50Sのシートが最も低く、つづいてD6のシート、スポンジ、発泡スチロールの順である。D50Sのシートが

Tab. 3. The vibration of seat used from the different materials

Machine	on stop condition engine revolution	seat material	vibration (m/s ²)			
			on the seat		on the body	
			mean	max	mean	max
D50S	stop-middle	D50S seat	1.404	3.441	1.475	4.904
		D 6 seat	1.440	3.292	2.451	6.731
		sponge	1.586	3.510	1.395	4.486
		stylene foam	2.254	6.060	1.994	5.635
	stop-high	D50S seat	1.802	3.930	2.470	8.474
		D 6 seat	1.104	3.313	2.748	8.226
		sponge	1.496	3.642	2.345	8.783
		stylene foam	2.563	7.435	2.746	9.317
D 6	stop-middle	D 6 seat	2.313	5.332	9.420	29.511
		sponge	1.636	4.212	6.336	26.268
		stylene foam	6.861	20.079	6.631	25.438
	stop-high	D 6 seat	2.734	6.625	11.308	32.598
		sponge	1.804	4.623	7.523	27.639
		stylene foam	8.412	29.360	8.536	19.933

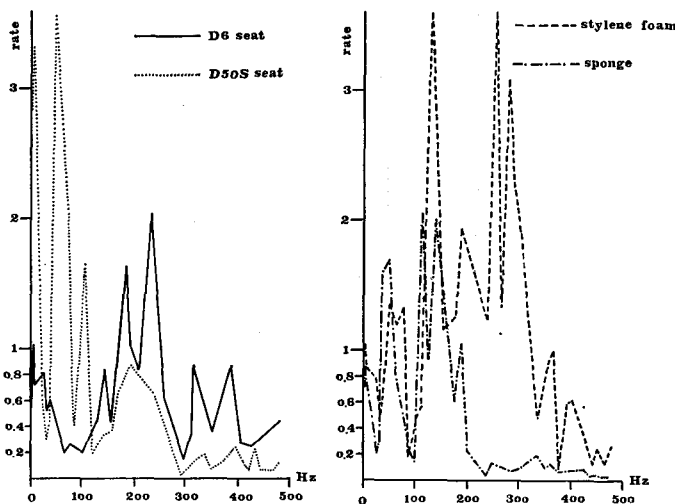


Fig. 9. The rate of vibration transmission on stop-middle condition (D 50 S).

最も振動に対して適合していることになるが、次にこれら4つの素材についての周波数ごとの伝達率は次の如くである。

D50Sのシートの場合、100Hz以下で伝達率が大きく、ついで200Hz付近で伝達率は1以下であるが、かなり伝達率が大きくなっている。300Hz以上ではスポンジと並び伝達率は小さい。また7Hz以下では特に伝達率が大きい。

D6のシートは100Hz付近で最も伝達率が小さくなる。100Hz以上では伝達率が大きくなり、特に150~250Hz付近で顕

著に大きくなっている。

スポンジは200Hz以下で伝達率が大きくなっているが、200Hz以上では伝達率は非常に小さくなっている。

発泡スチロールは100Hz以下では伝達率はスポンジと似ているが、100Hzを越えると伝達率は大きくなり、特に300Hz付近で大きくなる。

(2) 高速状態

座席の加速度はD 6のシートが最も低く、つづいてスポンジ、D50Sのシート、発泡スチロールの順で高くなる。周

波数ごとの伝達率については、D50Sのシートの伝達率は7Hz以下で大きく250Hz以上で小さくなっている。

D 6のシートの伝達率は7Hz以下では小さいが、それ以上では比較的大きい。特に50Hz、200Hz、400Hz付近で伝達率が大きくなっている。

スポンジはD50Sのシートとよく似た伝達率を示すが、7Hz以下の伝達率はD50Sのシートほど大きくない。また200Hz以上で伝達率が小さくなっている。

発泡スチロールの伝達率は7Hz以上ではD50Sのシートと並んで大きく7～100Hzまでは小さくなり、100Hz以上で再び大きくなっている。発泡スチロールの伝達率は150～250Hz付近で特に大きくなっている。

2. D 6を使った場合

D 6を用いたとき、D50SのシートがD 6の座席に載らず測定できなかったため、他の3つの素材の振動加速度を測定した。

(1) 中速状態

座席の振動加速度はスポンジが最も小さく、D 6のシート、発泡スチロールの順に大きくなっている。D 6のシートとスポンジは床板に比較して振動加速度は約 $\frac{1}{4}$ に低下しているが、発泡スチロールは床板の振動加速度と座席の振動加速度がほぼ等しい。

D 6のシートの伝達率は7Hz以下で3つの素材の中で最も大きい。50Hz付近で伝達率は小さくなるが、100Hz付近で再び大きくなり、150Hz以上ではほぼ一定した状態で小さくなる。

スポンジの伝達率はD 6のシートとよく似た傾向を示す。スポンジの伝達率は7Hz以下ではD 6のシートほど大きくないが、150Hz付近で小さくなり、100～150Hz付近で大きくなり、200Hz以上ではほぼ一定した状態で小さくなる。

発泡スチロールの伝達率は7Hz以下が大きく、7～100Hzまでは小さくなるが、100Hz以上では再び大きくなる。発泡スチロールの伝達率は250～400Hzで特に大きい。

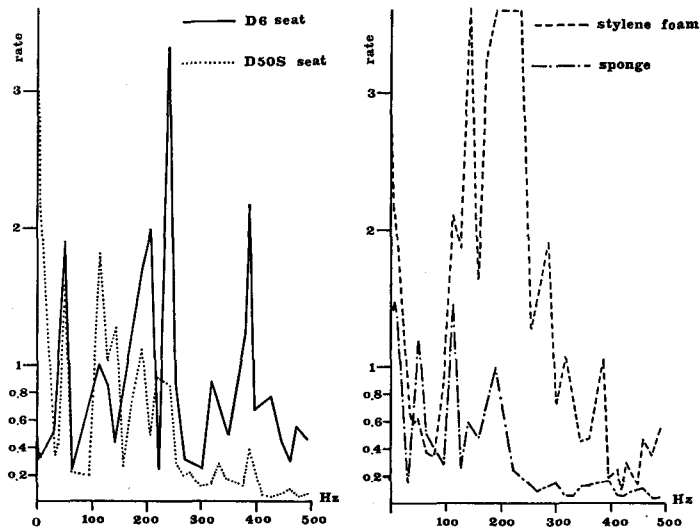


Fig. 10. The rate of vibration transmission on stop-high condition (D 50 S).

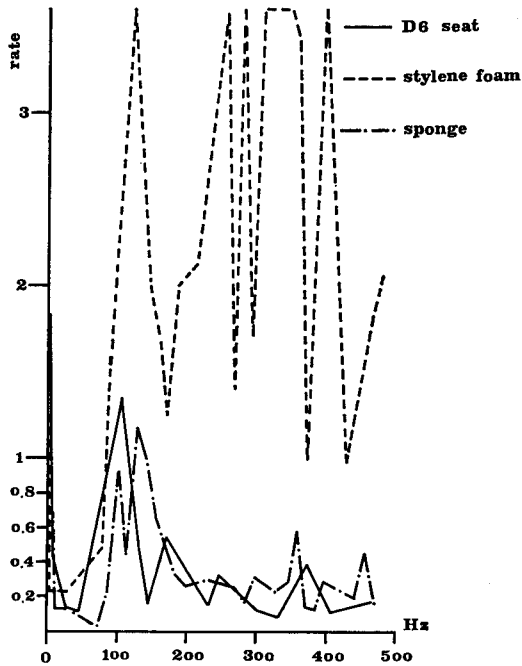


Fig. 11. The rate of vibration transmission on stop-middle condition (D 6).

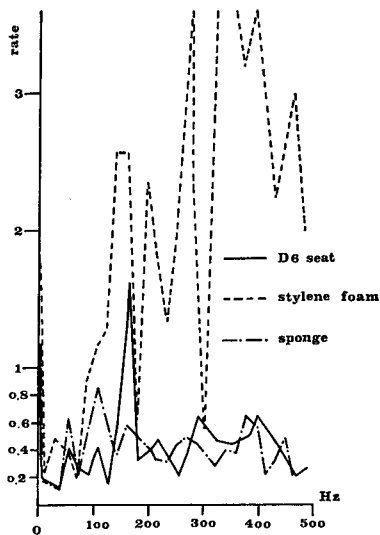


Fig. 12. The rate of vibration transmission on stop-high condition (D 6).

ま と め

今回の実験では機種と作動状態の相違によって生じる振動加速度の現状分析を行なったが、ここで取り上げた振動方向は上下方向のみであり、今後前後・左右方向についても検討する必要がある。また座席の素材に対してもスプリングやダンパー等を計画的に組み込んだシートを用いて座席振動について研究していく必要がある。

(2) 高速状態

座席の加速度はスポンジが最も小さく、D 6 のシート、発泡スチロールの順に大きくなっている。D 6 のシートとスポンジの場合の座席の振動加速度は床板の約 $\frac{1}{4}$ である。一方発泡スチロールでは座席と床板の振動加速度はほぼ等しい。高速状態の振動加速度の関係は中速状態の場合と同様の傾向を示している。

D 6 のシートの伝達率は 7 Hz 以下と 150 Hz 付近で大きい。それ以外の周波数では約 0.2~0.6 の間にあり、比較的一定している。

スポンジの伝達率は 7 Hz 以下と 100 Hz 付近で大きく、それ以外の数周波では D 6 のシート同様に約 0.2~0.6 の間で比較的一定している。

発泡スチロールの伝達率は 7 Hz 以下で大きい。そして 7~80 Hz 付近で小さく、100 Hz 以上で大きくなり、特に 250~400 Hz で伝達率が大きい。

最後に、D50S 及び D 6 のシートはスポンジとバネによって構成されており、負荷荷重に対する変位の変化を生ずるバネ系に対応できるのに対して、一方発泡スチロールは負荷荷重に対する変位の変化はほとんどなく、直接振動を受けるのに等しいと考えられるが、100 Hz 付近を境界に振動加速度の伝達率で特長のある反応を示す。すなわち低周波数域で有効な振動伝達の低下を示すことが注目される。

参 考 文 献

- 1) 岡田 晃：全身振動による影響，障害，労働科学41巻1号2）（1965）1971
- 3) IUFRO DIVISION NO. 3 “FOREST OPERATION AND TECHNIQUES” : Lars Sjøflot : some Methods and Results from Tractor Vibration Studies, IUFRO SEMINAR SILVIFUTURUM Hurdal, Norway, 1971
- 2) 森田紘一：ホイールトラクタの座席振動に関する実験的研究（第1報）—平坦地における基礎実験一，九大農演報，第47号（1973）

Résumé

We have continued the examination of the forest labour environment to accomplish the study of human-machine relations about forest operations with forest machines mainly in Ashiu forest experimental place belonged to Kyoto University since 1971. Especially, we have taken up the problem of rock borer operations which are the worst labour in the forest operations. This paper reports the vibration on the seat of forest road construction machines such as a bulldozer (Caterpillar Mitsubishi D 6) and shoveldozer (Komatsu D 50 S). Recently, the mechanization of forest operations have been promoted, and the forest road length extended and then the ratio of tractor operations increased, therefore it is the most important problem that the vibration on the seat of forest machines must be improved in the forest labour environment.

This report's examination was divided into two sections. In the first, we studied the vibration analysis about each elemental operation such as conditions of stopping, moving, earth-moving and so on, and as follows, about each seat material used with a D 50 S, a D 6, sponge and styrene foam. The vibration of tractors gives the different type between on stop and on moving condition, and main vibration frequencies are engine rotation f_0 and its harmonics. The vibrations which are lower than f_0 are remarkable. On the other hand, even the seats used with forest machines have the frequency range that the ratio of vibration transmission is higher than 1. Therefore we have to promote the study about seat materials to decrease the vibration on the seats.

On an increasing tendency of tractor operator's heart beat number, we can indeed observe the positive relation between the heart beat number and the vibration which influences human body. Speaking to the case that an operator uses the machine which he doesn't use usually, we can observe the high level of a heart beat number, and for that reason we have to study the relation between the heart beat number and the vibration on the condition that operators use the machines which they use usually.

We shall have the chance to report the paper of spectrum analysis regarding to vibrations of forest machines and operator's heart beat number.