

乗用トラクタの振動と人体の振動応答

小嶋 和雄・池見 隆男・綾 俊一

(農学部農業機械学研究室)

Vibration of Farm Tractor and Response of Operator

Kazuo KOJIMA, Takao IKEMI and Toshikazu AYA

Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture

Abstract : The authors examined mainly response of human body to vibration of tractor and sinusoidal vibrator. A summary of the result is shown below.

(1) At tractor running an excellent peak value of power spectrum of vibration acceleration in 3~5 cps of frequency was found to the chassis and the operator and the peak value was far greater in the operator than the chassis.

(2) At running over the artificial track with projections arranged regularly, acceleration ratio of the operator to the chassis was nearly 2 at mean in about 4 cps of frequency of getting over projections.

(3) In the examination of body parts (head, shoulder, waist) response at sitting posture by sinusoidal vibrator, acceleration ratio was above 1.0 up to 5~6 cps of frequency and shoulder had the greatest value as compared with other parts in 3~4 cps. This agrees with the result above-mentioned and means that the natural frequency of human body may be about 4 cps.

(4) Feeling to vibration was, in frequency under 10 cps, comfortable up to about 0.15 g, slightly uncomfortable at 0.15~0.25 g, uncomfortable at 0.25~0.9 g and intolerable over 0.9 g, roughly.

緒 言

乗用トラクタ(以下トラクタ)は水田・畑などのような凹凸のはげしい悪条件下の走行が主であるにもかかわらず、交通用車輛と異なり懸架装置を有せず、座席もきわめて簡単にできている。これは、各種操縦装置の操作が容易であること、良好な視界が得られること、乗降が容易であることなどの理由によるものである。

このため、運転者は常に車体の振動にさらされ、Matthews¹⁾は内臓や脊椎などに障害を来たす者が多いという報告を紹介している。

トラクタの振動の原因として、(1)エンジンの回転によるもの、(2)路面や圃場の凹凸によるもの、(3)装着またはけん引する作業機によるものなどがあげられる。これらの原因によって生ずる振動が重畳して運転者に伝えられると考えられる。これらの原因のうち(1)は高周波の振動を生起し、(2)は低周波の振動の原因となる。

トラクタの振動および人体の振動に関する研究として、例えば、Matthews¹⁻⁴⁾はトラクタの乗心地について、Huang⁵⁾は振動試験装置により人体の生理的影響を調べ、居垣ら⁶⁾はトラクタの振動を振動ばく露規準から検討を行ない、藤井ら⁷⁾は人体をモデル化し工学的立場からその振動特性を解析している。

本報告では、トラクタの各種条件における走行下の振動に対する人体の振動応答を調査し、また作製した機械式加振機によって人体の物理的、感覚的応答を調べ、さらに振動による疲労の調査を試みた。

実験装置および方法

1. 供試トラクタの諸元 国産の小型および中型のトラクタ各1台を使用した。諸元をTable 1.に示す。

Table 1. Tractors used to the test

		Kubota L-15	Kubota L-27
engine power	(PS)	17	27
engine speed	(rpm)	2600	2500
wheel base	(mm)	1300	1730
total weight	(kg)	830	1330
weight distribution (kg)	front wheel	500	790
	rear wheel	330	540
height of center of gravity	(mm)	570	710
tire size	front	4-12	5-15
	rear	7-24	11.2/10-28
	ply number	4	4

2. 計測機器

(1) 加速度計

Table 2. Accelerometer used to the test

type	natural frequency (cps)	damping factor (-)	range (g)
Shinkoh BA-10G	86	0.7	±10
	74	0.7	±10
	67	0.7	±10
Philips PR 9366/01	150	-	±20

(2) 動歪測定器 新興通信工業KK DS6-MTH

(3) ビジグラフ 三栄レコーダー製造KK FR型

(4) 遮断周波数連続可変フィルター

NF Circuit Design Block Co. LTD FV-606T

(5) 加振機 当研究室で試作したものでその概略を Fig. 1. および Fig. 2. に示す。駆動を電気動力計で行なうので振動数は連続可変である。変位振幅は偏心円板カムの取り換えにより変えられる。

(6) フリッカー値測定器 KYS工業KK

KYSポータブルセクター式

(7) 反応時間測定装置 当研究室試作のもので、実験方法の項でくわしく述べるが、これは作業者の反射神経の反応速度を測定する装置である。反応時間の長短が疲労度の目安となる。

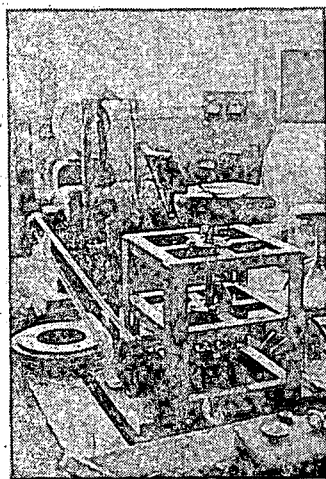


Fig. 1. Vibrator.

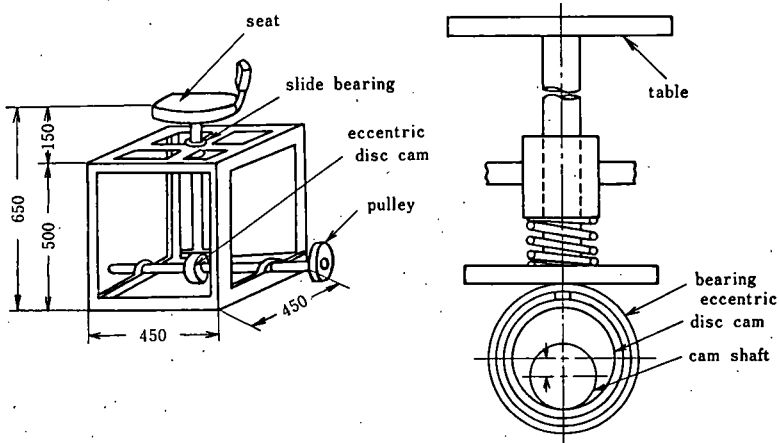


Fig. 2. Outline of vibrator.

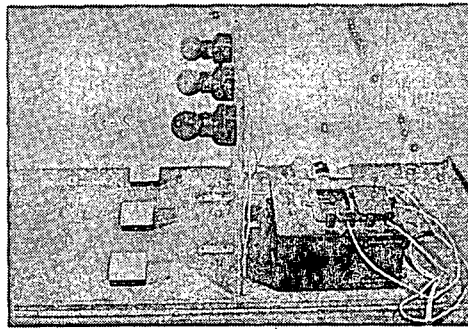


Fig. 3. Reaction time measuring equipment.

3. 実験方法 トラクタ車体および人体の振動加速度を測定するため Table 2. に示す加速度計を使用した。

車体における測定位置は座席直下の最終減速装置ケーシング中央にとり、加速度計を接着剤で貼りつけた。運転者に対しては、頭、肩、腰とし、それぞれこめかみ、鎖骨が背骨と交る点の背中側、骨盤と背骨が交る点に加速度計をゴムバンドでしばりつけた。

運転者は中肉、小柄(身長158 cm, 体重52 kg)である。

試験は付属農場の幹線農道における走行、および同じく水田においてプラウ耕、ロータリ耕さらに等間隔に方形突起を設けた人工路面における走行について測定を行なった。

農道は非舗装で礫が露出していたが、大きな凹凸はなかった。人工路面は Fig. 4. に示すように、平坦な路面に板を約 10 m 敷き、その上に角材をトラクタの進行方向に直角に等間隔に並べることにより、方形の突起を人工的に作った路面である。この突起は間隔および頂部の幅をそれぞれ3種類に変化させた。

振動加速度の記録は前述の動歪測定器を介し、ビジュグラフにより行なった。トラクタ車体の振動加速度についてはエンジンによる比較的高周波の振動をカットするためフィルタを使用した。

次に加振機による試験について述べる。

加振機の構造の概要は Fig. 1., Fig. 2. に示す通りであるが、加振機テーブルにトラクタ座席を固定し、これに被験者が座るようになっている。振動は上下方向の正弦振動のみであるが、変位

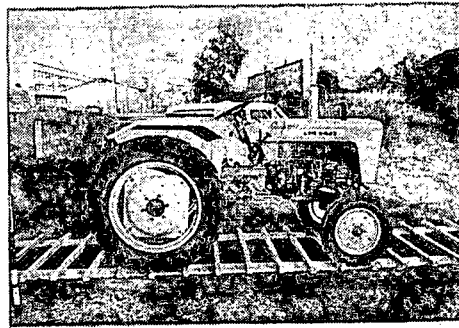


Fig. 4. Artificial track.

振幅は偏心円板カムを取り換えることにより、1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm, 1.1 mm, 1.3 mm の7個が得られる。

測定は被験者の頭、肩、腰にトラクタ試験の場合と同様に取りつけられた加速度計による加速度の検出を行ない、各種変位振幅、振動数の組合せにおける被験者の快・不快の聞き取り、さらに一定時間加振後のフリッカー試験および反応時間の試験を行なった。

反応時間の測定には Fig. 3. に示す装置を使用した。これには赤、黄、青のランプが並べてあり、それぞれ個々に任意に点灯できる。あるランプが点灯されると被験者はそのランプ専用のスイッチを操作して消灯する。この間の時間を測定して反射神経の反応時間とした。赤、黄、青のランプの点灯操作は被験者にわからないように行なうことができる。

実験結果および考察

1. トラクタの振動と人体の応答 トラクタが種々の路面を走行するとき、あるいは圃場作業を行なうときに生起する振動が運転者の身体にどのように伝達されるかを調べることは、乗心地の改善、疲労等の軽減を試みる上で有意義である。

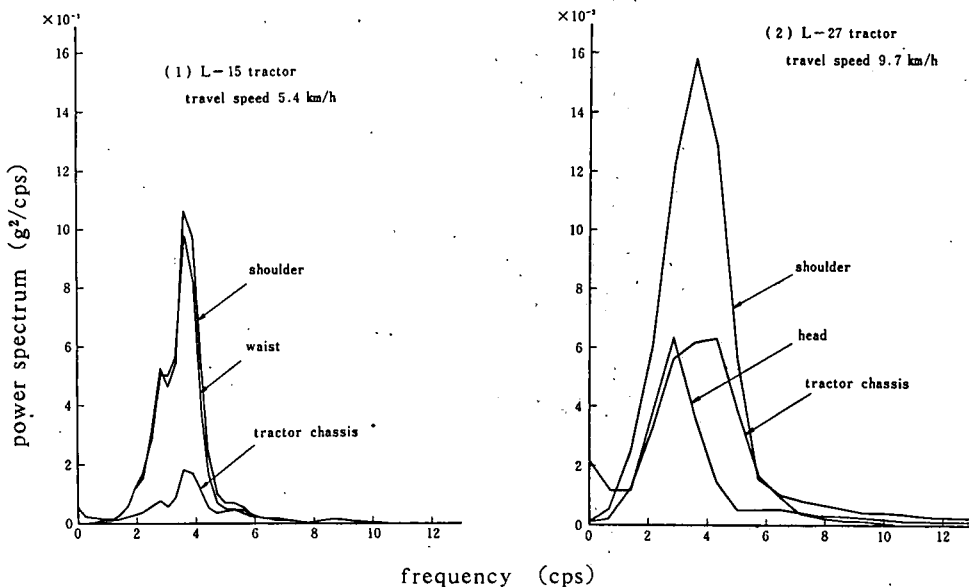


Fig. 5. Power spectrum of vertical vibration of tractor and operator at running over unmetalled farm road.

Fig. 5. は非舗装の農道を走行した場合のトラクタおよび運転者に対し測定された振動加速度をパワースペクトルで表わしたものである。この路面は一般公道と異なり、重量物輸送車の通行はなく大きな凹凸はなかった。なお図中の g は重力の加速度の大きさを表わし、これを加速度の単位とした。

測定は Table 1. に示す国産小型の L-15 および中型 L-27 の 2 台について行なったが、図に示すように両トラクタとも 4 cps 前後に振動加速度パワースペクトルの卓越したピークがあり、これは車体の固有振動によるものと思われる。運転者の身体においても同様に 4 cps 付近に卓越したピークが存在するが、その値は車体に比べはるかに大きく、肩および腰に特に著しいようである。これは車体との共振によるものと思われ、人体の固有振動数がやはり 4 cps 付近であることを示すものである。

一方圃場における耕うん作業時の車体の振動および人体の応答は Fig. 6. および Fig. 7. のような傾向を示した。

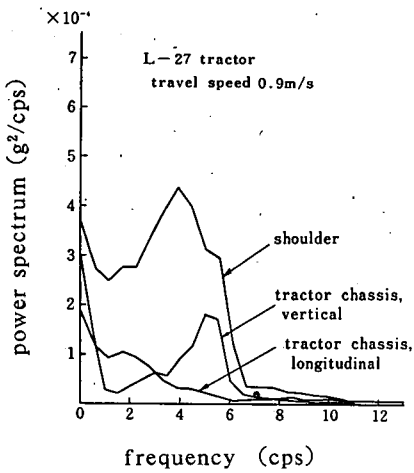


Fig. 6. Power spectrum of vibration of tractor and operator at plowing.

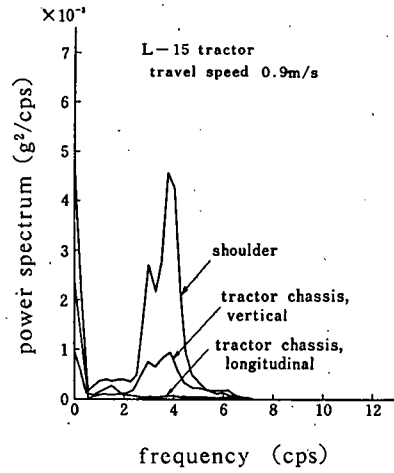


Fig. 7. Power spectrum of vibration of tractor and operator at rotary cultivation.

プラウ耕は L-27 トラクタで行なったが、道路走行時に比べパワースペクトルは 6 cps 付近まで比較的平坦である。車体には上下方向にはほぼ 5 cps でピークがみられるが、これはプラウ装着の影響によるものと思われる。人体については Fig. 5: 同様約 4 cps にピークが現れている。

ロータリ耕はプラウ耕跡を L-15 トラクタによって行なったのであるが、土れきの影響と思われる明白なピークがあり、その値も大きく、道路走行時のパワースペクトル分布とよく似た傾向を示した。

なお、両トラクタの座席のクッションの特性を Table 3. に示す。

Table 3. Characteristics of tractor seat cushions

(1) L-15 tractor seat

load (kg)	spring constant (kg/cm)	damping factor (-)	natural frequency (cps)
42.5	11.18	0.37	6.8
52.5	12.51	0.31	5.8
61.9	13.75	0.39	5.6

(2) L-27 tractor seat

load (kg)	spring constant (kg/cm)	damping factor (-)	natural frequency (cps)
42.5	12.88	0.47	8.5
52.5	15.01	0.43	8.2
61.9	16.72	0.39	8.6

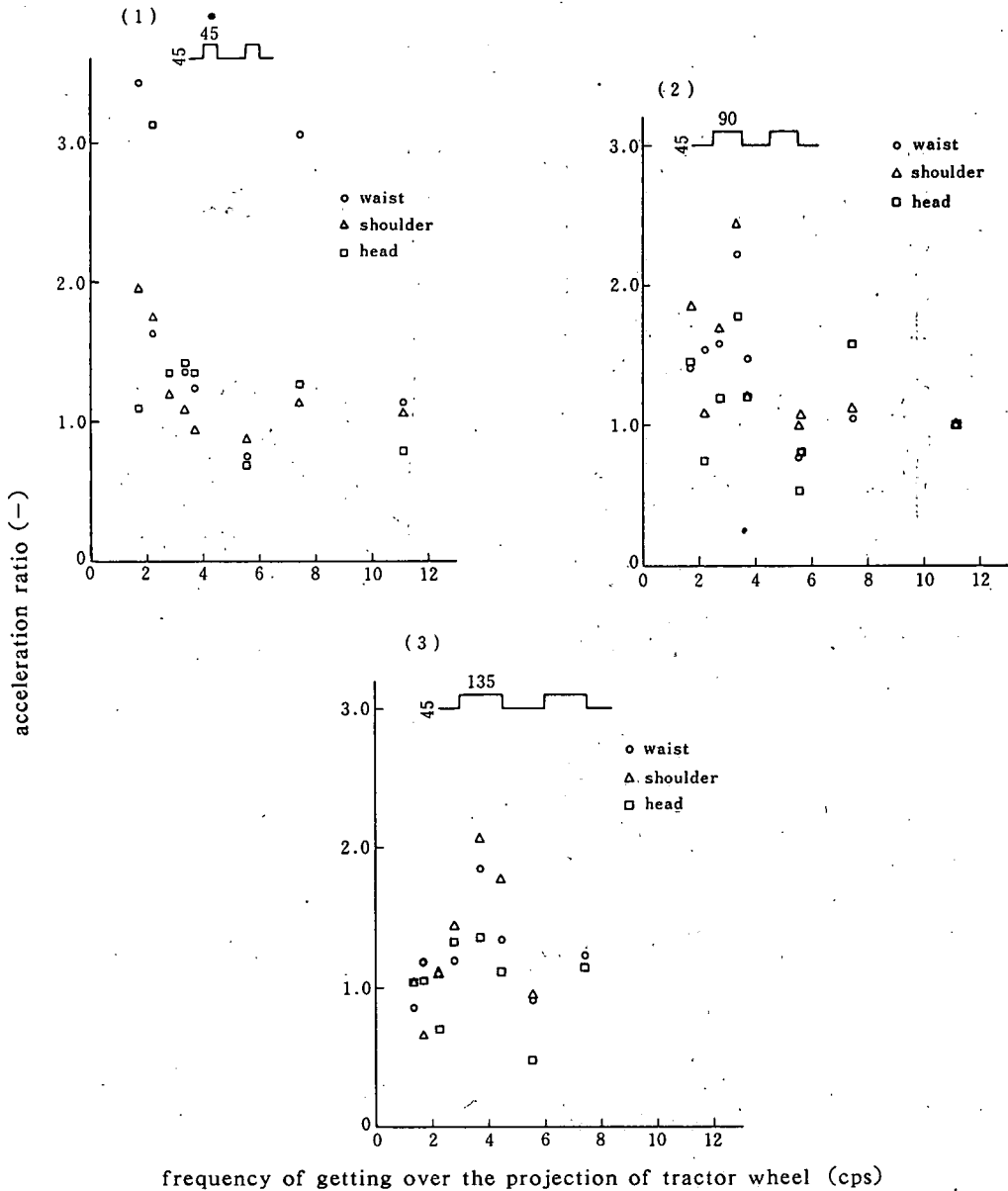


Fig. 8. Acceleration ratio of vertical vibration of operator through seat to tractor chassis, at running over the track with rectangular projections arranged regularly.

次に、凹凸の高さおよび周期を一定にした人工路面を走行した場合についての結果を Fig. 8. に示す。振動加速度は図示していないが、車体および人体いずれも一定の周期を持つ波形を示した。

トラクタの走行は突起の各配列に対し、0.6 m/s, 1.0 m/s, 2.0 m/s の3つの速度で行ない、車輪のタイヤ圧は前輪 2.1 kg/cm², 後輪 1.5 kg/cm² であった。

Fig. 8. において、横軸はトラクタ車輪が進行する際1秒間当たり突起を乗り越す度数を表わし、縦軸は車体に生ずる上下振動の加速度に対する人体に伝達された上下振動の加速度の比を表わす。

突起乗り越す度数が4 cps 以下において人体では車体から伝達される振動加速度を自身で1~2倍の間で増幅しており、甚だしくは2倍以上となる場合がある。人体の各部については、著明ではないが、肩、腰、頭の順で増幅の度合いが大きいようである。

2. 加振機による人体の振動応答 人体へ伝達される振動加速度は、Fig. 5.~Fig. 7. からわかるように、4 cps 前後で大きく増幅され、ほぼ 10 cps 以上の振動数になると伝達される加速度は減衰が大きくなるようである。

そこで、トラクタ座席を介する人体の振動応答を詳しく調べるため、当研究室で試作した上下方向正弦振動加振機を使用し、座乗姿勢における上半身の加速度伝達を求めた。その結果を Fig. 9. に示す。なお、6 cps までは同一振動数において加振機テーブルの変位を 3 mm, 5 mm, 9 mm とし、7 cps 以上は振幅が 9 mm になると跳躍が生ずるので 3 mm, 5 mm の2点とした。また姿勢については背骨を伸ばした緊張姿勢と背骨をゆるめた弛緩姿勢の両姿勢をとった。

Fig. 9. に示すように人体の応答を加速度比で見ると、頭、肩、腰いずれも 4 cps できわめて大きな値をとり、肩が最も大きく、腰、頭の順となる。5 cps 以上になると各部とも値は急激に低下し、加速度は減衰されている。このことは人体の固有振動数が 4 cps 前後であることを意味している。姿勢の相違については、緊張姿勢の方が幾分加速度比が大きく、増幅の度合いが大きいようである。

座席の影響については、固有振動数が L-15 トラクタ座席の場合ほぼ 6 cps であり、L-27 トラクタ座席の場合ほぼ 8 cps であるので、共振の影響は現れていないが、減衰には影響を与えているようである。すなわち、4 cps において L-15 トラクタ座席の場合が L-27 トラクタ座席の場合より加速度比は各部とも大きい。しかし、6 cps 以上になると減衰の程度は L-27 の場合が劣るようである。これはクッションのバネ定数、ダンピング係数の相違によるもので、Table 3. に示すように前者は L-15 で 12~13 kg/cm 前後、L-27 で 15~16 kg/cm 前後であり、後者は L-15 で 0.35 前後、L-27 で 0.45 前後である。

また、図にみられるように、同一振動数においても加速度の大きさによって加速度比が大きくはらついており、人体を単に線形要素として取扱うのは困難のようである。

次に加振機テーブルの変位振幅 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm に対し振動数を変化させ、座乗姿勢においてそれぞれの振動を受けた場合の振動に対する感覚を快適、やや不快、耐えられないの4段階に評価して調べた。振動数範囲は道路および圃場における結果から 10 cps までとした。結果を Fig. 10. に示す。

人体は 0.15 g 以下までは快適であると感じ、約 0.15~0.25 g の間ではやや不快、約 0.25~0.9 g の間で不快と感じるが、約 0.9 g 以上になると、もはや長時間は耐えられなくなることがわかった。

振動による疲労現象を調べるため、振動ばく露前後におけるフリッカー値、単純反応時間および選択反応時間の測定を行なった。結果は Fig. 11. および Fig. 12. のようである。フリッカー値、反応時間いずれも振動ばく露の値に対するばく露時間 10分、15分、20分、60分において、ばく露直

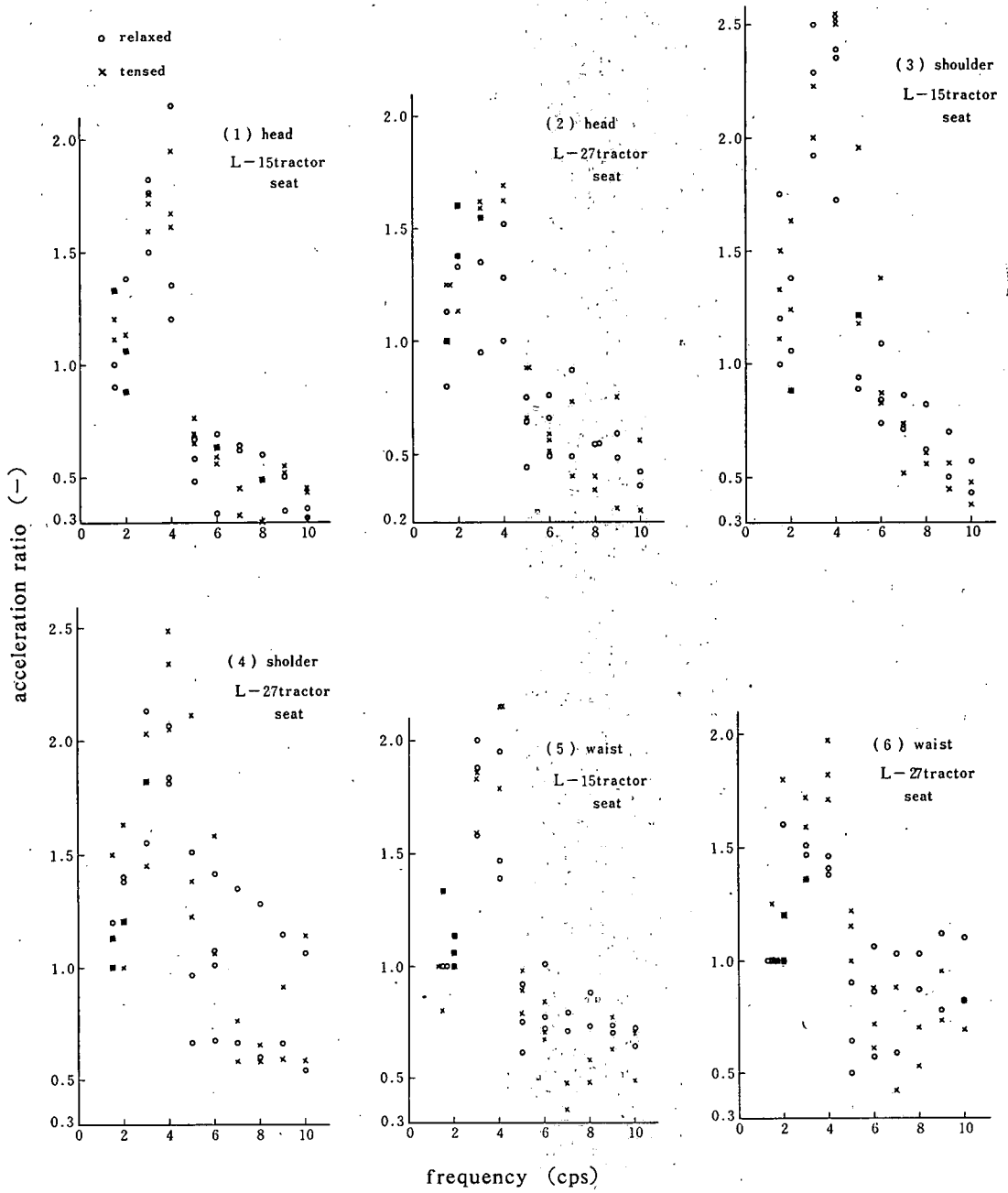


Fig. 9. Acceleration ratio of vertical vibration of human body, at sitting, through tractor seat to table of sinusoidal vibrator.

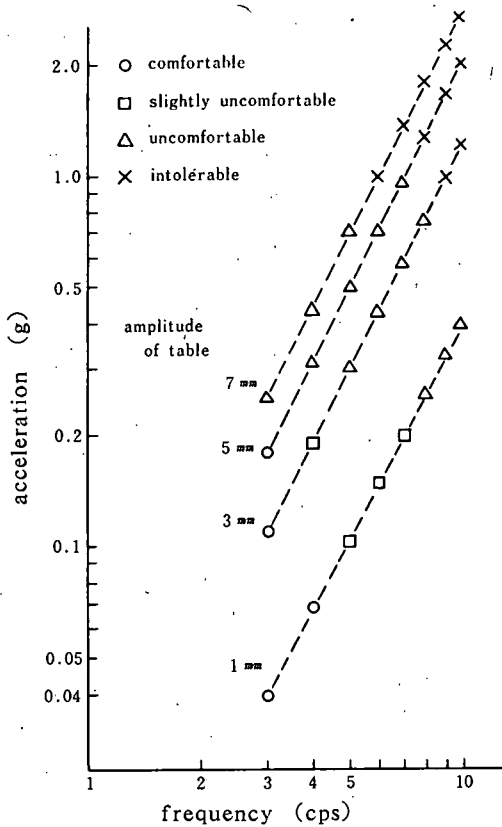


Fig. 10. Feeling to vibration.

後、30分後、90分後の比を百分率で表わした。

Fig. 11. はフリッカー値の変化を示したものであるが、短時間のばく露の場合直後に低下し、疲労が認められるが、1時間後には回復している。ばく露1時間では直後はむしろ上昇しているが、これは神経を逆に興奮させたためと思われ、30分後には低下して疲労が現われているようである。

Fig. 12. は反応時間を測定した結果であるが、疲労を示す値の低下が一部にはみられるが、逆に上昇している場合もあり、明らかでない。

要 約

トラクタの振動と人体の振動応答を調べた結果を得た。

(1). 走行時トラクタには4 cps 付近に振

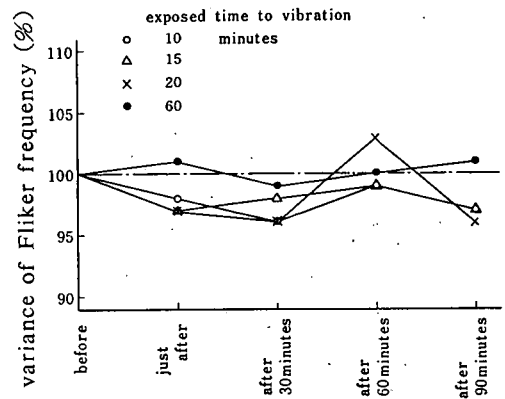


Fig. 11. Variance of Flicker frequency after exposed to vibration.

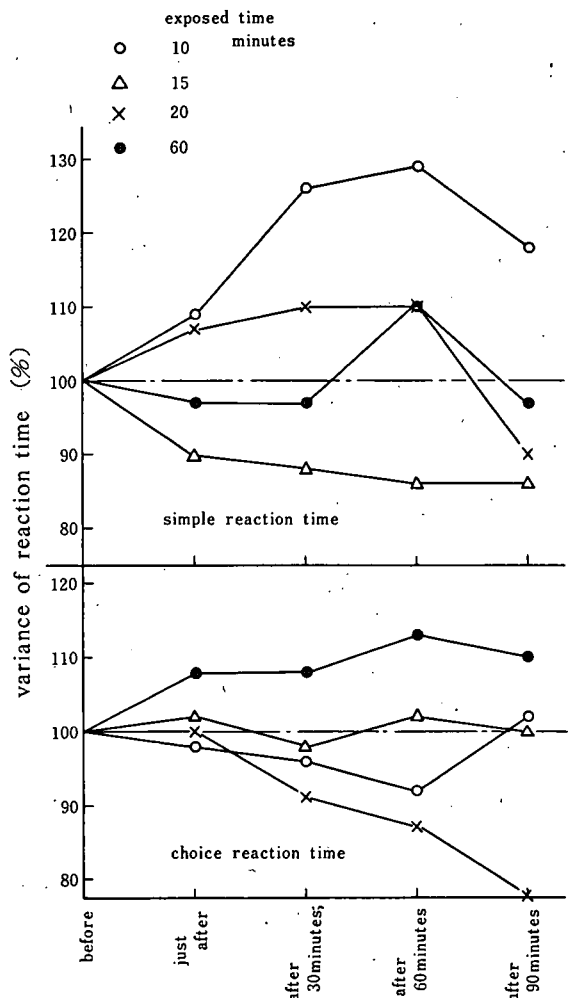


Fig. 12. Variance of simple reaction time and choice reaction time after exposed to vibration.

動加速度パワースペクトルの卓越したピークがみられた。運転者においても同様の傾向がみられたが、そのピーク値ははるかに大きかった。

(2) 方形突起を等間隔に配列した人工路面において車体に対する人体の加速度比を調べた結果、単位時間突起乗り越え度数がほぼ4 cpsで加速度比は最も大きく、ほぼ2前後を示した。

(3) 加振機による座乗姿勢の人体の応答を調べた結果、振動数5～6 cpsまでは加速度比は1以上で増幅の傾向にあり、3～4 cpsで最も大きい。これは前述の結果と一致し、人体の固有振動数が4 cps前後にあることを示すものである。また人体各部については、肩、腰、頭の順に加速度比が大きくなり、肩が最も増幅されやすいことがわかった。

(4) 振動に対する感覚は、大体において0.15 gでいどまでは快適、0.15～0.25 gでやや不快、0.25～0.9 gで不快、0.9 g以上では苦痛を感じることがわかった。

最後に、実験および資料整理に熱心に協力された当時の専攻学生の成定正則、古谷和彦の両君に感謝申し上げる。

文 献

- 1) Matthews, J., *J. agric. Engng Res.*, 9 (1), 3-31 (1964).
- 2) Matthews, J., *J. agric. Engng Res.*, 9 (2), 147-158 (1964).
- 3) Matthews, J., *J. agric. Engng Res.*, 10 (2), 93-108 (1965).
- 4) Matthews, J., *J. agric. Engng Res.*, 11 (1), 44-57 (1966).
- 5) Huang, B. K. and Suggs, C. W., *Transactions of the ASAE*, 10 (4), 478-482 (1967).
- 6) 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).
- 7) 藤井太一, 日本機械学会講演論文集, No. 710-4 (1971).

(昭和48年9月6日受理)