

クローラタイプトラクターのオペレーターとその振動環境

山本 誠・田村 朋厚

(農学部林業工学研究室)

Operators of Crawler-type Tractors in Their Vibrational Environment

Makoto YAMAMOTO and Tomoatsu TAMURA

Laboratory of Forestry Engineering, Faculty of Agriculture

Abstract: To the operator of chain saw, its vibration is local vibration to his body, but the vibration the operator receives through earth moving equipment is over-all vibration. In construction of forest roads in Japanese mountains, the crawler-type equipment is often used, such as hydraulic backhoe, bulldozer and shoveldozer.

Unless the size of the construction is extremely large, only one or two such equipment is ordinarily put in operation for the entire work. Since such equipment is usually operated by one man, the operator is likely to be thrown subject to heavy work load.

It was found during this study that there was a case in which an operator worked as long as four hours a day. The type of the operation is indicated in Table 1 and Table 2. The co-relation between the rate of fatigue and the working hours is shown in Fig. 1.

Efforts were made to contrive a simulation of vibrational environment to determine how the vibrational environment might affect the operator physically. The value of the vibrational environment was measured with the transducer of vibro-acceleration at two spots, one at the foot and the other on the seat of the operator. The operator's physiological response was measured by the method of two stimuli threshold of discrimination (Refer to the Foot Note of Fig. 2). For this experiment, Mitsubishi BS-3C with backhoe was used. The specifications of this equipment are shown in Table 3.

The vibration created by the equipment loses its magnitude as it passes along various sections of the human body. Table 4 shows its phenomena. The extent of fatigue is shown in Fig. 2, which is classified by the type of the operation.

It will be noted that in all these three operations, the rising curve of the fatigue tends to flatten after 1.5 hours of work. This is also true in Fig. 1.

In this experiment, it was learned that the operator of crawler-type tractor is less likely to be tired per hour than the chain saw operator, and that the vibro-acceleration of the crawler-type tractor is smaller than that of the chain saw.

However, the operators who have been subjected to local vibration tend to feel its effect physically on the exterior of their body, while those who have been subjected to over-all vibration are likely to have the effect in their interior organs of the body.

緒 言

チェーンソーを操作する作業者に見られることがあるレイノー現象は、高速の振動を局部的に長期間にわたって断続的に受けたために現われる症状といわれている。もっともそれには機械振動それと、媒体としての作業中・休憩中を含む全生活環境と、作業者の体質・体力・栄養状態などの諸因子の相乗効果による現象と見られている¹⁾²⁾。チェーンソーの振動は諸種の周波数成分の複合したランダム振動であるが、この種の振動を発生する林業機械には、刈払機、植穴掘機のような携帯式機械と、集材機、トラクター、ブルドーザ等の塔乗式のものとのわけることができる。振動が身体に及ぼす影響を考える場合、前者が局部的なものであり、後者は全身的なものとして扱えよう。両者

の振動源の特性と、作業姿勢には相違があるので、いずれが作業者の生理に強く影響するかは論じ難い。前者に関してはレイノー現象の発覚と相まって、多くの研究報告がなされたが³⁾、後者については数編を見る⁴⁾⁵⁾にとどまっている。

そこで、林道開設工事機械として非常に多く利用されているブルドーザ、ショベルドーザのオペレーターを対象とし、これらクローラタイプ車両の振動とオペレーターの経時的生理現象を疲労という形で測定し、そのオペレーターがいかなる振動環境におかれているかを明示すべく、この人間一機械系に関する若干の検討をこころみた。

調 査

林道開設工事に移動するブルドーザ、ショベルドーザのオペレーターの作業強度の判定の基礎資料として、その就労態様と労働生産性の実態を知ろうと、工事中の林道現場でその調査をした。調査は、作業量(土工量)を説明変数とし、その作業工程を構成する挙動の要素作業をオペレーターの現場到着から作業をおえて現場区域を離脱するまでの丸一日の就業時間中の挙動のすべてを分単位で克明に観測し、あわせてオペレーターの経時的疲労度を測定した。

疲労度を探知する方法は、身体の生理的機能の低下の程度を判定することによって示すにすぎないのが現状であるので、疲労の直接測定およびその測定値を得るということとはできないが、疲労の生起原因を大局的見地から第一義的に排除していく効果をねらいとしての作業疲労の測定および判定は存在する。

疲労検査法を大別すると、生化学的検査法、筋機能検査法、呼吸機能検査法、循環機能検査法、感覚機能検査法、自律神経機能検査法そして心的機能検査法があり、それぞれの検査法にいくつかの測定方法が存在する。

現場で測定しやすい疲労判定法として、(1)近点距離法⁶⁾、(2)本川氏電気閃光法⁶⁾、(3)タッピング法⁶⁾、(4)ブロッキング法(連続色名呼称法)⁶⁾、(5)フリッカー値法⁷⁾、(6)ワップル法⁸⁾、(7)止息時間法⁹⁾、(8)R. M. R.法⁶⁾、(9)二点弁別法(触二点弁別閾値法)⁶⁾などがあるが、短時間に測定ができる、測定方法が簡単、閾値が被験者の時々の内外諸条件によって敏感に影響されることが少ない、その時々の一時的生体機能準位に十分に反応を示す、等の条件を供えていることが望ましいことから、今回は二点弁別法を採用した。二点弁別法は、疲労すれば一般に感覚や知覚が鈍くなる性質を応用した感覚機能検査法に属するもので、皮膚面に与えた二点の同時刺激を二点として弁別できる最短距離を基に、その増加量またはその増加過程をもとに疲労を診断しようとするものである。

測定は作業の連続動作が一段落し、車両が停止した直後にオペレーターが座乗したままの状態です、20~30秒の間に測定を終了させる。また休息、休憩後にも測定し疲労度の変動を調べた。

以上の調査、観測を最も標準的な林道工事現場(横倉線)、と構造物、岩石ともに土工作業工程に影響を与えない程に少量の現場(手結線)とを対象として対照的に調査して、Table 1. 各要素作業の占める割合、を得た。Table 1. の値をもとに工事の難易度、工程管理の良否、物理的生産性の多寡等を評価する資料として Table 2. 就労率と時間当り土工量、を示した。またオペレーターの疲労度は Fig. 1 (a)., Fig. 1 (b). ショベルドーザーオペレーターの疲労度の経時的変動に示した。

Table 1. *The distribution of operation elements of shoveldozer operator on the forest road constructions*

Operation element		Forest road "Tei"*		Forest road "Yokokura"**	
		\bar{x} %	σ	\bar{x} %	σ
Preparation	Walking	1.65	0.22	2.89	1.00
	Equipping	1.53	0.85	3.03	0.88
Actual earth work operation	Excavation	34.21	5.62	28.39	4.45
	Hauling	5.36	1.23	8.75	2.02
	Loading	21.03	1.75	0.00	0.00
	Grading	4.27	1.10	3.15	0.96
	Stump-pulling	3.02	2.05	7.06	4.04
	Carrying	0.57	0.37	1.55	0.77
	Others	0.45	0.29	1.06	0.98
Transfer of equipment	In field	1.14	0.52	4.08	1.38
Forwarding	General cargo	2.29	1.93	7.57	2.44
Waiting	On vehicle	5.41	1.03	2.17	0.95
	Off vehicle	0.75	0.51	1.88	0.33
Rest	Standing	3.78	2.71	5.99	1.32
	Sitting	12.13	1.28	16.16	2.74
Other work	Light labor	2.41	1.43	5.90	4.55
	Heavy labor	—	—	0.37	0.26
Total		100.00		100.00	
Earth volume in m ³ /Day		616.4	11.97	189.2	30.3

* Forest road "Tei" is designed to require only earth working construction

** Forest road "Yokokura" is designed for standard forest road

Table 2. *The percentage of work hours by operations, and the work volume per hour*

Forest road	Percentage of operation hours			Volume of earth working per hour		
	Earth working hr. %	Excavating hr. %	Real excavat. hr. %	Per full working hr. m ³ /hr	Per earth working hr. m ³ /hr	Per excavat. hr. m ³ /hr
"Tei"						
x	67.21	34.22	50.91	21.98	32.07	64.71
σ	5.63	5.53	3.98	3.43	4.06	6.92
"Yokokura"						
x	55.08	27.66	50.22	20.20	36.73	73.53
σ	5.75	4.47	6.44	2.89	4.10	8.52

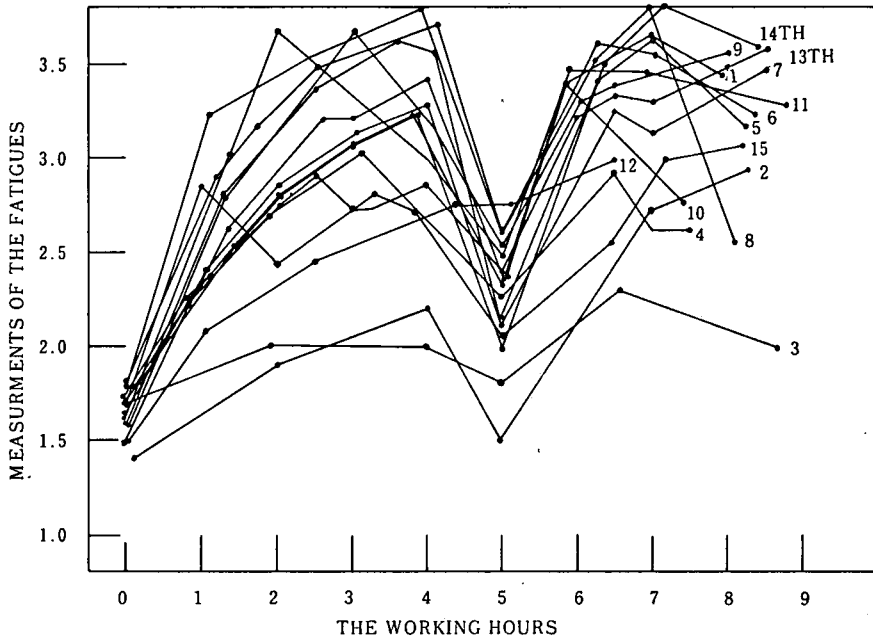


Fig. 1 (a). The correlation between the rate of fatigue and the working hours.

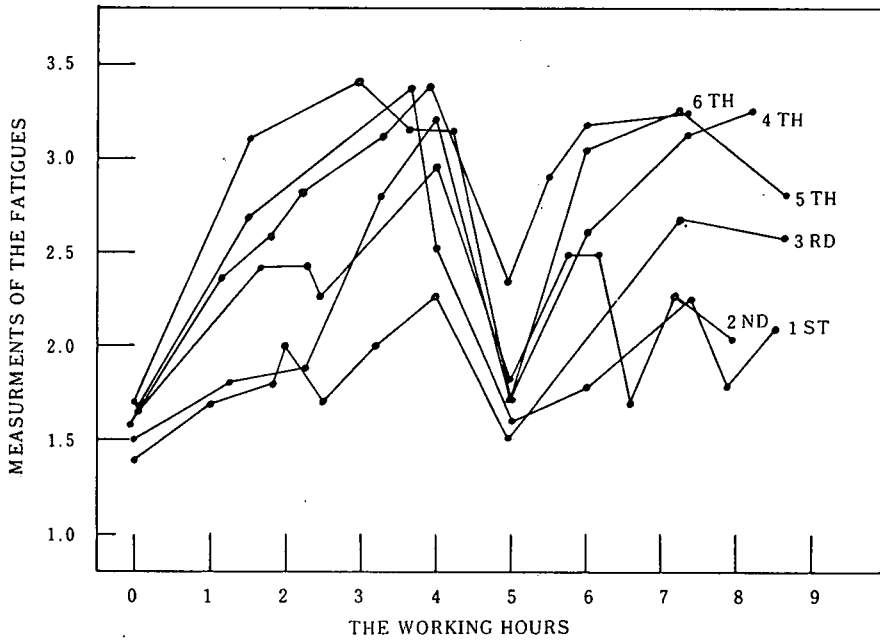


Fig. 2 (b). The correlation between the rate of fatigue and the working hours.

実 験

ショベルドーザーによる土工作業中にオペレーターの受ける振動を以下の条件で測定した。

実験車両 Table 3. に示す高知大学農学部附属演習林の BS-3C 型ショベルドーザーを供した。

Table 3. The specifications of Mitsubishi BS-3C shovel dozer with hydraulic backhoe

Size		Performance	
Gross vehicle weight	4850kg	Engine capacity	
Capacity of bucket	0.4m ³		1986cc
Overall length	4330mm	Rated horsepower	35ps
Overall width	1690mm	Revolutions of engine	2500r. p. m.
Overall height	2790mm	Speed Low F. 2. 6, Low R. 3. 3	
C. to C. of crawlers	1130mm	2nd F. 3. 6, 2nd R. 4. 6	
width of shoe	300mm	3rd F. 5. 3, 3rd R. 6. 7	
Contact area	10200mm	Top F. 8. 7, Top R. 11. 0	
Contact pressure	0.47kg/cm ²		

オペレーター ショベルドーザー等、重機械の運転経験の無い身体強健な22才の学生を、18時間ショベルドーザーの運転を体験させた後に本実験を開始した。すなわち、18時間程度の塔乗体験で生理的に機械振動や騒音に職業人のそれのように慣れるとは考えられないが、心理的には一応慣れ、異常な興奮状態もとれ、心理的作用が描く習熟曲線も安定するものと仮定して実験にはいった。

場所および条件 本学農学部構内の礫まじり砂質土 (Ks 値 = 8.3 ± 0.7) で床掘掘削作業を進め、その間に振動測定と疲労測定をおこなった。振動測定は1サイクルを単位としてランダムスナップリーディングし、疲労測定は15~30分間隔におこなった。

振動の測定は、機械とオペレーターの接点として、オペレーターの座席と脚許の床面の2個所で、生体に伝導された振動の伝播分布としては、膝、肩、頭頂で、それぞれ許容量10gの振動加速度変換器を3方向に使ってとり、動歪計、ラピコーダを介して記録した。また不整地における突起部乗越え時の緩慢な動揺は振動として感知しないケースが多いので、これをメモーションカメラで追跡し、画像処理した。

これら一連の実験で、ショベルドーザによる各種要素作業中における機械振動の実測値と、その環境下のオペレーターの生理現象の一端をとらえることができたものと考え、Fig. 2. 要素作業別二点弁別値の変動、Table. 4. 要素作業別振動加速度および人体各部位への伝導率、を示した。

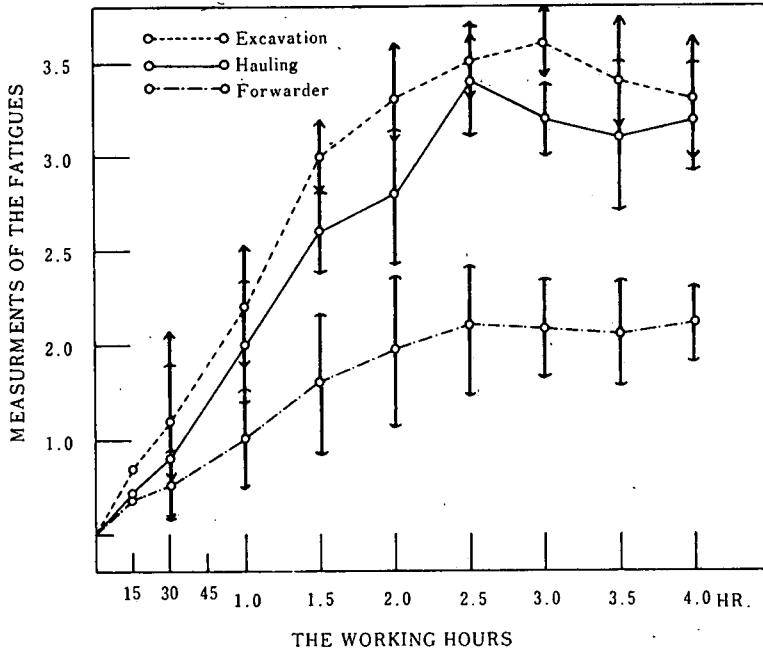


Fig. 2. Changes in skin sensitivity, by operation and time.

Note : The skin sensitivity is measured by the person's ability to identify two stimuli separately applied simultaneously to the surface of the skin. What he may identify as two separate stimuli may be recognized as one stimulus if he is tired, unless the two stimuli are applied wide apart. The distance between the two stimuli is measured with the medical slide calipre. In this experiment, the stimuli were given below the temple.

Table 4. The value of vibro-acceleration classified by operation, and the rate of transitivity of vibration from the shoveldozer to human body

Positions	Excavation	Hauling	Loading	Carrying	Idling
Floor of the pit	(100) % 0.81 g	(100) % 0.80 g	(100) % 0.66 g	(100) % 0.50 g	(100) % 0.06 g
Sheat	(148) 1.20	(123) 0.98	(68) 0.45	(66) 0.33	(83) 0.05
Knee cap	(377) 3.00	(119) 0.95	(47) 0.31	(42) 0.41	(83) 0.05
Shoulder	(28) 0.23	(35) 0.28	(38) 0.25	(98) 0.49	(50) 0.03
Top of the head	(37) 0.33	(83) 0.66	(26) 0.17	(20) 0.10	(33) 0.02

These value were composited of three dimensional vectors

*) Means peed of vehicle is 10km/hr

$$\text{The rate of transitivity} = \frac{\text{Vibrational acceleration at the each human bodies}}{\text{Vibrational acceleration at the floor}}$$

考 察

オペレーターの作業強度の判定基準を得る目的でおこなった要素作業別就労時間分析によると、重機械の間断なく稼働できる条件下の現場、すなわち土工作业が100%に近いケースで全就業時間中ショベルドーザに座乗している時間は77%、一般的な現場では63%（ただし、運搬捨土のための積込時間が21%含まれている）とかなり長時間であることが判明した。もっとも、この調査実施時期は全工期中の35~55パーセントの工期に当るので工期累加曲線では最急勾配区間にあたる。したがって全工期をとおして考える場合には、更にこの65%ほどになる⁹⁾。よって、一日当りの実働時間の最大値は3~4時間と考えられる。この値を基準として、全実働時間中に何らの休憩もはさむことなく連続作業をした場合のオペレーターの疲労的生理現象の傾向を見た結果が Fig. 2. である。これは同一要素作業のみを模擬的に4時間連続で作業させたものであるが、図示の3種の作業とも作業開始後1.5時間まで疲労の上昇傾向は続くが、2時間後には作業種に関係なく緩勾配に変る。これは、被験者の特性か、一般的なものか Fig. 2. のみでは判断できないが、Fig. 1 (a), Fig. 1 (b). を参照すると現象の表われる経過時間長に変動があるとしても1~2時間目ごろから傾斜は緩くなるのが推察できる。一方現場における二点弁別値は、諸種の要素作業と休憩、休息が混在した結果値であるが、熟練した作業者にとっては、休憩をとるとすみやかに、弁別閾値は減少する。ただ基準値に対し約1.5倍以上の弁別閾値に達すると容易に下降、すなわち疲労の回復しない傾向を両オペレーター共通に見ることができる。このようなオペレーターの生理現象を生起する環境としての振動は、ショベルドーザのエンジンが起振エネルギー源として存在していることは自明だが、その振動はそれを支持する路盤の剛度によってオペレーターに伝導される振動加速度が相異なる。本実験における支持路盤は、シュミットテストハンマーによる反発度で $K_s = 8.3 \pm 0.7$ で、比較的柔軟な支持盤と解釈できる。この路盤上における稼働中のショベルドーザ床面と座席を接点とするオペレーターへ伝導された振動加速度は表示の如く、最小値0.06gあるいはそれ以下、最大値3.0gを示した。頭頂部以下の各部における共振振動数は、3~110c/s に分布していたが、この分布は、5~7c/s, 10~14c/s, 19~28c/s に群状に多頻度でみられた。立位、座位における生体の固有振動数が4~6c/s, 10~12c/s の範囲にあることから、共振領域と重なる結果となる。オペレーターへの共振エネルギーの伝導率はチェンソー等によるものに比較すれば高いと考えられるから、20c/s以上の振動数は量的にも15%に満たないし、これ等は体内で著しく減衰される¹⁰⁾のでさして問題にはならないだろう。

振動加速度に関しては White が人間では0.08g以下では生理的影響が見られないが0.1g以上では諸種の機能的変化をおこすと述べている。現にトラクター運転手の57%が胃、背柱、膝に異常をうたえている⁵⁾。

今回は振動の周波数分析を充分おこなえなかったが、振動加速度に関しては、レイノー現象が認められているびょう打工、さく岩夫、伐木夫のうける値よりは、一般に低い値を観測した。局所振動による症状は一般に生理的变化が表面にあらわれるのに対して、全身振動の場合は体内に変化がおこる傾向があること¹¹⁾から、振動の暴露時間と現実の振動環境に対するオペレーターの耐性基準をみいだすのは今後の急がれる課題であろう。

要 約

全身振動がオペレーターに及ぼす影響を現場調査と模擬実験から検討した結果、振幅、振動加速度、そして疲労において、既してチェンソーのそれより小さい値を得た。

引用文献

- 1) 三浦豊彦・他, 振動工具による障害について, 一IV. 労働科学, 35, 62-63 (1959)
- 2) 岡田 晃, 振動の生体に及ぼす影響について, 北方産業衛生, 17, 1-18 (1958)
- 3) たとえば三浦豊彦・富永洋志夫・肝付邦憲・辻隆道・石井邦彦, 林業機械ことにチェンソーの振動, 騒音による障害とその対策, 労働科学, 45, 449-485 (1969)
- 4) 加藤誠平・丸山正和・大河原昭二・森岡昇, トラクタ, トレーラトラックおよび普通トラックの運転手に及ぼす振動と疲労の測定, 森林利用研究会資料, 4629, (1959)
- 5) Akervold, M., Ergonomic studies of three forest tractors, *Report of Norwegian For. Res. Inst.* 6, 145-172, (1967)
- 6) 桐原葆見・他(編), 疲労判定のための機能検査法, 234-264, 同文書院, 東京 (1962)
- 7) 大島正光, 疲労の研究, 29-32, 同文書院, 東京 (1964)
- 8) 穂坂 衛・石川次郎, 乗心地の量的表現とその計測方法, 鉄道業務研究資料, 8, (17), 13-16 (1951)
- 9) 沼田邦彦・山本 誠・田村朋厚・佐々木功, 林業機械作業における人間工学的研究, 京大演報, 46, 144-152 (1974)
- 10) Coermann, R., Ziegenruecker, G. H., Wittwer, A. L. and von Gierke, H. E., The passive dynamic mechanical properties of the human thorax-abdomen system and the whole body system, *Aerospace Medicine*, 31, 443-455, (1960)
- 11) Sjøflot, L., Some methods and results from tractor vibration studies. In "Methods in Ergonomic Research in Forestry" ed. by Kaminsky, G. 45-62, IUFRO Division No. 3, Hurdal (1971)

(昭和49年9月30日受理)