

林業機械作業における人間工学的研究

—機械土工における労働環境の調査—

沼田 邦彦・山本 誠・田村 朋厚・佐々木 功

On the Studies as to Human-machine Relation about
Forest machine Operations

—The Investigations of Work Environment on the
Forest Road Constrution—

Kunihiko NUMATA, Makoto YAMAMOTO,
Tomoatsu TAMURA and Isao SASAKI

目 次

要 旨	144	Ⅲ 要素作業別時間分析と生産性	149
まえがき	145	Ⅳ 生産性とオペレータの生理的現象	150
調査方法	145	Ⅴ 土工量の補正	151
結果と考察	146	ま と め	151
Ⅰ 騒 音	146	引用文献	152
Ⅱ 振 動	147	Résumé	152

要 旨

作業基盤としての林道が見直され、森林の要求にこたえて臨機応変に対処できる林道網が計画実施されるようになり、ショベル・ドーザ、ブル・ドーザ、さく岩機などの林道建設機械による振動・騒音・塵埃などの労働環境が注目されるようになってきた。このような環境に対する作業者の精神的・生理的反応が問題になると考えられるので、今回の調査では林道工事の労働環境を総合的に把握し、詳細な分析をするための問題点の抽出に重点を置いた。

さく岩機の騒音は高周波域でも大きい騒音レベルを示す高エネルギーの騒音である。またオーバ・オール時の騒音でも防御装置を要するほどである。またショベル・ドーザの騒音も100ホン前後の高い騒音レベルである。

さく岩機の振動は非常に高い有害な振動であり、ショベル・ドーザの座席面の平均的振動加速度は0.3gであったが、全身振動としては問題のある加速度である。

工程と生産性などについては今後土工量とオペレータの経時的疲労の進行を関係ずけて分析する必要がある。今回は地山土量を対象に測定したが、林道工事のように機械が複雑に動くところでは簡便な土量測定法と考えられる。

まえがき

森林作業を円滑におこなうには、作業現場まで車で容易に到達でき、人員と資材などの移送が速やかに行なわれる必要がある。そうすれば森林に対する十分な観察・管理・手入れができることになる。そのために林道が開設延長され、最近ではとくに林道が作業の基盤としてその真価を見直されるようになり、森林に必要な作業を施すと同時に森林の要求にこたえて臨機応変の処置ができる林道網が計画実施されるようになってきた。林道建設に使用される機械はショベル・ドーザ、ブル・ドーザ、さく岩機などが主たる機動力となるが、他方ではこのような機械によって作業員が振動・騒音・塵埃などの障害をうける。このような労働環境が作業員に精神的・生理的な種々の反応を与えることになるので、著者らはこれらの労働環境の実態調査をし、人体に対する評価を従来の基準値と比較検討し、作業環境の改善のための手がかりを求めようとした。振動・騒音などについては1973年10月24・25日に京都大学附属芦生演習林内（ブナの木林道）、作業員の生理的影響との関連を知るための工期・動作、その生産量（土工量）と疲労度については高知営林局官内（11月11日～24日横倉林道、12月12日～16日手結羽尾林道）で調査した。この研究は昭48年度文部省科学研究費（試験研究Ⅰ）によったもので関係各位に厚く感謝します。

調査方法

林道工事の現場作業の状況を騒音・振動・生理的反応と工期・動作・土工量について調査を行った。騒音の測定はノードの周波数分析 FA—100、指示騒音計 PS—112 を用い、さく岩機作業は騒音計をさく岩機のハンドル部から 50～70cm 離れた作業員の耳の付近で測定し、ショベル・ドーザによる土工作业は急峻な山地の林道開設作業であるので直接オペレータと共に乗ることは危険であり、またテレメータによる測定ができれば申し分ないのであったが、その装置がないため作業車の外で騒音の測定を行なわざるをえなかった。測定場所は 1.8～7.0m 離れた範囲である。

振動についてはさく岩作業では日本電子工業の振動騒音分析 FS—300G に 40g 一方向の加速度ピックアップをさく岩機のハンドル部に取り付けて三方向を順次測定した。さく岩機はスタンド付きのレッグドリルとスタンドなしのピックドリルの 2 機種である。ショベル・ドーザの振動はオペレータの座席と床の鉄板の 2 カ所にそれぞれ 10g 三方向の加速度ピックアップを用いて測定した。ピックアップの取付けは座席にはテープで、床板にはボルトで止めた。この振動測定にはショベル・ドーザのヘッド・ガードの上に台を設けて共和電業のデータコーダ RTP—207 装置を設置し、電源は 300 ワットのホンダの発動発電機を搭載した。

工期・動作については作業工程の実態を把握する方法として、その作業工程を構成する要素作業を分析調査し、その結果をもとに総括して全作業を解明する方法と、各種作業の相乗効果として生み出される全観測値から確率的に解析する方法とがあるが、ここでは前者に近い方法をとった。そして作業員の生理的影響との関連をも把握するために各種の工期・動作の時間をオペレータの現場到着から離脱までの丸一日の就業時間の挙動について分単位で観測し、あわせてその生産量と疲労度も測定することによって作業工程などを直接的に求めることにした。疲労度は二点弁別法によった。

結果と考察

I 騒音

普通の騒音では C 特性の読みは B 特性より、B 特性は A 特性より大きい。また各特性での測定値は低周波音にピークをもつ騒音の場合に差が大きく、高周波性の騒音では各特性とも接近した値を示すのであるが、ここでは周波数分析を行なうために C 特性を用いた。測定場所が山地であるから気圧による騒音レベルの低下を生じる。気圧によるその低下はさく岩作業のとき 2.0 dB、ショベル・ドーザのとき 1.8 dB であった。以下の騒音レベルは現場での値を示す。

1) さく岩機の騒音 (レッグドリル)

さく岩機の周波数構成による騒音レベルを表一に示す。さく岩中のオーバ・オール時の騒音は作業者の耳部で108~116ホンの範囲にあり、平常時で115ホン前後となっている。現場は開放されたところであったが、周囲の状況によってはさらに高くなる場合もある。その周波数構成も高い周波数域に至るまで100ホンを越えるきわめて大きいエネルギーをもった騒音であることがわかる。

Table 1. Noise of rock borer (leg drill)

frequency (cps)	noise level (phone)	(cps)	(phone)	(cps)	(phone)	(cps)	(phone)
31.5	70—78	160	94—95	800	100—102	4000	102—105
40	77—80	200	97—101	1000	104—105	5000	100—102
50	73—78	250	96—97	1250	107—108	6300	100—102
63	86—92	315	97—100	1650	104—108	8000	96—97
80	92—95	400	98—100	2000	106—109	10000	92—96
100	90—95	500	97—98	2500	101—103		
125	90—93	630	98—99	3150	101—103		
noise level at over all		108—116 phone					

measuring distance from rock borer : 50—70cm, using C-character, noise level correction of atmospheric pressure : 2.0 phone

2) ショベル・ドーザの騒音 (D 50 S)

切取・廃土作業時の騒音について述べる。オーバ・オール時は 7.0m 離れた地点で86~90ホン、1.8m のところで98~99ホンである。表一にショベル・ドーザの周波数構成による騒音レベルを示したが、騒音源と測定点との距離が一定していないこと、さらに作業中に生じる騒音が

Table 2. Noise of shoveldozer (D50S)

frequency (cps)	noise level (phone)	(cps)	(phone)	(cps)	(phone)	(cps)	(phone)
31.5	60—68	80	75—78	200	75—87	500	80—85
40	62—70	100	70—78	250	74—77	630	75—87
50	71—82	125	82—85	315	76—80	800	70—77
63	81—86	160	75—82	400	75—78	1000	83—85

noise level at over all—measuring distance 7.0m : 86—90 phone, 1.8m : 98—99 phone

using C-character, noise level correction of atmospheric pressure : 1.8 phone

作業の状況や運転操作に応じて非常に大きい変動が生じるので、低い騒音レベルの値のところではこのようなことが関係しているものと考えられる。ここで表わした騒音レベルによって現場の騒音の概略を理解することができよう。騒音は全体的に周波数構成の高低にはあまり変動がみられず、75～85ホンの範囲にある。

つぎにこれらの作業によって生じる騒音レベルと騒音の評価基準との関係についてみる。ここで曝露時間が問題になるが、さく岩作業の場合には正味さく岩時間は1時間以上、ショベル・ドーザの正味運転時間は4時間以上であった。この曝露時間と音圧に対して、曝露が8時間より短い場合には（曝露時間×音圧の平方根）の積が一定であれば音響エネルギーは等しいとするものと他には（曝露時間×音圧）の積が同じならば耳に与える損傷も等しいという考えがある。“等エネルギー説”は広く用いられているが、これは安全側にたったものであろう。広域騒音の短時間曝露に対する damage risk コンター（図-1）との比較をするとさく岩作業では保護具が必要であり、ショベル・ドーザ作業は耳保護具使用奨励と不可欠との境界に位置する。

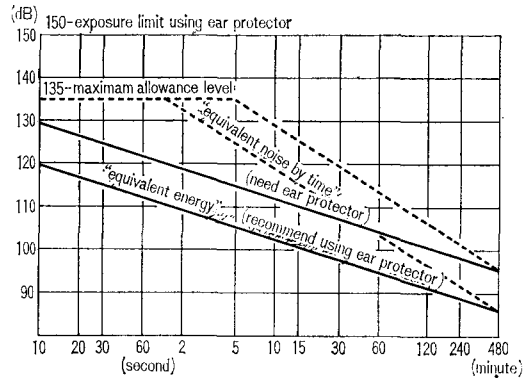


Fig. 1 Damage risk contour on short time exposure in the broad noise range

II 振 動

1) さく岩機の振動

さく岩機のハンドル部は自由に回転できる構造にして振動を分散・緩衝するようになっているので、厳密に三方向を正確に測定することはできなかったが、平常時とピーク時の振動加速度を測ることとした。

・スタンド付きのさく岩機（レグドリル）

表-3から各方向の平常時の振動加速度は5～6gの範囲で、その合成値は8.1～10.4gとなる。各方向の振動加速度がほぼ等しいのはハンドル部やドリルの刃のはめ込み部などで自由に回転したり、スライドできるために平均化されているのであろう。ピーク時の加速度値はドリルの軸方向で最も高く15gにも達し、その他の方向でもそれより少し低い値となっている。このピーク時の値は瞬間的に記録されるものであるが、相当に高い加速度を発生している。

・スタンドのないさく岩機（ピックドリル）

平常時の振動加速度は各方向ともほぼ5gであり、レグドリルより少し低い。ピーク時には方向性による相違はあまりみられない。ピックドリルの場合にはレグドリルのところよりも

Table 3. Vibration of rock borer

unit : g (980cm / sec²)

measuring direction	leg drill		pick drill	
	normal	peak	normal	peak
(I) axis of drill	5—6	15	4—5	14
(II) axis of handle	4—6	12	4—5	14
(III) orthogonal to (I)・(II)	5—6	13	5—6	13

Table 4. Vibration of shoveldozer
unit : g (980cm / sec²)

	operation	floor (I)			standard deviation(σ)	seat (II)			(σ)	(II)/(I) (%)
		max	min	mean		max	min	mean		
rocky area	starting	1.25	0.11	0.53	0.34	0.38	0.11	0.24	0.09	45.5
	backward	1.52	0.09	0.71	0.27	0.53	0.04	0.19	0.11	26.7
	forward cutting	1.37	0.25	0.71	0.24	0.67	0.03	0.20	0.12	28.0
	pushing	0.94	0.37	0.67	0.20	0.60	0.07	0.25	0.14	37.4
	rockbraking	1.33	0.14	0.65	0.28	2.12	0.05	0.36	0.35	55.6
	ground evelling	1.93	0.16	0.77	0.38	1.09	0.02	0.26	0.22	33.2
earth area	starting	0.73	0.23	0.46	0.18	0.10	0.04	0.07	0.02	16.1
	backward	1.47	0.05	0.60	0.33	0.46	0.02	0.16	0.11	26.5
	forward cutting	1.49	0.12	0.67	0.30	0.79	0.00	0.14	0.10	20.9
	pushing	1.29	0.18	0.57	0.25	0.48	0.03	0.20	0.10	35.0

岩石が軟かいところであったことによって平常時の加速度が低くなったのか、それとも構造的な要因によるのかは明らかでない。

2) ショベル・ドーザの振動

ショベル・ドーザの振動を土質を異にする岩石地と山土砂地の2カ所の作業現場で床板面と座席面の振動加速度を測定した結果を表-4に示す。まず岩石地についてみると、床板面の振動の最高値は路面整地の1.9gであるが、平均的には0.7g前後である。座席面の最高値は2gを超える非常に高いものがあるが、このように高い値になるのはオペレータが座席から受ける加速度ではなく、逆にオペレータが瞬間的に座席に加える衝撃によるものと考えられる。座席面の平均値は0.3g前後に低下している。また床板面と座席面の間の振動の低下は削岩作業以外では50%以下となり、とくに後進・前進切取作業では30%以下に低下している。

山土砂地の現場についてみると床板面・座席面のいずれに対しても岩石地より振動加速度は少し低い。とくに床板面と座席面の間の振動の低下に対して前進切取作業で顕著に低下している。

振動加速度の個々のデータの変動は非常に大きなバラツキのあることは標準偏差値から明らかであるが、土質、測定部位、前後進の3つの要素について振動加速度の分散分析を求めた結果は床板面と座席面の差による寄与率が45%、岩石地と山土砂地の差が1%強、前進作業と後進作業の差が0.3%である。前2者は99%の有意差、後者は95%の有意差となっている。

振動に対する人体との関係について、さく岩作業では局所振動であり、手持工具の振動範囲としては手に慢性の振動障害を与える範囲に入る非常に高い振動加速度といえる。^{1,2)}

ショベル・ドーザの全身振動に対しては座席面の振動を受け流すためにオペレータが適当に身体をコントロールするので、直接ここで示す加速度値を全身振動の加速度と判断することはできないが、常時このような振動加速度を受ける状態にさらされているといえる。主振動の周波数を全振動から読み取った結果は5, 33, 65 cpsである。これを自動車で受ける振動周波数(McFarland, Teichner)から見ると1~6 cpsは大きな車体振動、6~20 cpsは車体支持装置のスプリングを介さない部分に生じる2次振動、20~60 cpsはハンドルおよび車体支持装置により生ずる衝撃となっている。これをショベル・ドーザの主振動と比べると車体振動とハンドルおよび車体支持装置より生ずる衝撃振動とさらに高い周波数の振動からなっていることになる。また全身振動による影響についてmuller³⁾は臀部、頭部は4 cpsの時に振幅増大が最大となり、身体の最大共振範囲は常に2~5 cpsの辺にあると述べており、30 cps以上の高振動数は人体で著

しく減衰されて伝達し、50 cps 以上で振動感は下腿に集中する。したがって低振動数では体内器官が影響され、一方高振動数の振動は体表面に作用するとある。現時点では動物実験あるいは人体より得られたデータから振動加速度 $0.08g$ 以下では何らの生理的影響、障害が認められないといわれているが、ショベル・ドーザの座席振動はこの値よりはるかに高いことを考えると何らかの防御処置が必要であろう。

つぎにショベル・ドーザの振動とオペレータの心拍数の関係の一部を図一

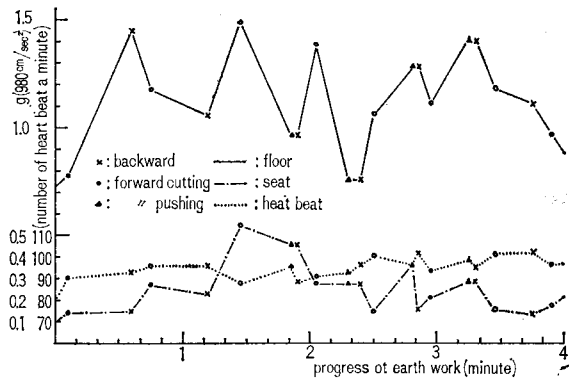


Fig. 2 Relation between Vibration (maximum acceleration) and heart beat

2に示す。振動加速度としては平均振動加速度と最大振動加速度の2種について調べた。最大振動加速度を選んだ理由は心拍数との関係において、心理的影響を最も反映するのではないかと考えたからである。この結果は作業始めの頃は振動と心拍数の対応関係がみられるが、いずれの加速度を指標にしても作業進行につれて振動との対応関係がみられなくなる。これは作業始めには全身振動に対して敏感に反応するが、作業進行につれて振動への慣れの状態に入るためであろう。心拍数はむしろ作業状態の変化による心理面の負荷の大小に強く影響されるのではないかと考えられる。

III 要素作業別時間分析と生産性

調査対象路線について説明すると、横倉林道では幹線公共事業として行なわれ、幅員 3.6m + 側溝 0.3m, 平均縦断勾配はショベル・ドーザ (D 50 S) の作業方向に 5.5 % の逆勾配であり、曲線率は 18 個 / km, 土質割合は石灰岩系粘性ローム (硬岩 0.2, 軟岩 0.3, 土石 0.5), 四国・南近畿の林道構造・工種に関して最もポピュラーなものと思われる。工期に対する測定時期は 35 % 時, オペレータ (30才, 身長 167cm, 体重約 70kg, 脂肪体質, 経験 11年) の熟練度が高く, 現場の工期管理の上手さで定評がある。オペレータは測定開始前 2 日間は降雨で休養し, 測定開始後は 14 日間無休であった。

手結羽尾林道について前者と相違する点を上げると平均縦断勾配はショベル・ドーザ (D 50 S) の作業方向に 7.3 % の逆勾配, 曲線率 19 個 / km, 土質割合は石灰岩系粘性ロームの赤土 (硬岩 0, 軟岩 0.2, 土石 0.8), 大きな構造物が皆無であり, 発破作業がわずかで, 土質が均一であった。風致上切取土の捨土が許されない。工期に対する測定時期は 60 % 時, オペレータ (43才, 身長 163cm, 体重 54kg, 筋肉細身, 経験 7年) の熟練者で, 現場の工期管理は良好である。オペレータは測定開始までに既に 16 日間無休で就労している。

測定結果の分析は表一五「作業内容別取纏め表」に示した。時間当たり土工量は従来の調査結果よりやや高率の結果が出ている。このことは地山土量を測定しているところから測定土の大きな誤差は考えられないので, 実質的に高い工期があがっていたものとみられる。1 日の土工量は手結羽尾林道の山土砂地の方が 1.2 倍 (225.6 / 189.2) 高く, 就労率に対しても少し高くなっている。時間当たりの土工量に直すと就業時間当たりで 1.1 倍 (21.98 / 20.10) と山土砂地のほうが高く, 土工作业時間当たりと掘削時間当たりではそれぞれ 0.9 倍となり, 岩石地の横倉林道の方が高い。

Table 5. operation contents of D50S driver

	YOKOKURA		TEIHAO	
	mean (%)	standard deviation (σ)	mean (%)	(σ)
preparing time				
on foot	2.89	1.00	1.65	0.22
regulating machine, supplying oil	3.03	3.88	1.53	0.85
earth work time (I) (a total)	(55.08)	(5.75)	(67.26)	(6.08)
cutting (II)	27.69	4.45	34.21	5.62
pushing	10.30	2.02	4.84	1.23
loading	—	—	21.03	1.75
ground evelling	3.15	0.96	4.27	1.10
pulling stumps out	7.06	4.04	3.51	2.05
others	1.06	0.98	0.45	0.29
travelling time to ride	4.08	1.38	1.14	0.52
transporting time	7.57	2.44	2.29	1.93
waiting time				
on D50S	2.17	0.95	5.41	1.02
out D50S	2.58	1.88	1.86	0.75
recess				
on standing	5.99	1.33	3.78	2.71
on sitting	16.18	2.74	12.44	1.28
other operating time				
light work	5.90	4.55	2.41	1.43
heavy work	0.37	0.36	—	—
working time a day (III) (minute)	563	50	616.4	11.97
earth volume a day (m ³)	189.2	30.3	225.6	33.3
working rate (%)				
(I)/(III)	55.08	5.75	67.2	5.63
(II)/(III)	27.69	4.45	34.2	5.63
(II)/(I)	50.36	6.44	52.1	3.98
earth volume an hour (m ³ /hr)				
(III)	20.20	2.89	21.98	3.43
(II)	36.73	4.10	32.07	4.06
(I)	73.53	8.52	64.71	6.92

IV 生産性とオペレータの生理的現象

オペレータの生理的現象と土工作业の関連を知るために、その生理現象を疲労現象の測定で把握しようと試みたが、作業の労働負担度を対応させてみることはできなかった。また疲労の蓄積の有無を知るべく、2点弁別値と経過時間のかこむ面積比で判定しようとしたが、オペレータのバイオリズム、夜間の過ごし方、休養、睡眠時間などの要素が混在し、理論的に充分説明のつく結果はえられなかった。そこでただ単に2点弁別値をプロットしたグラフを図-3に示す。この図から横倉林道のオペレータは就労始めから250分頃と400分頃に2点弁別値が高く、逆に就労始めが最も低く弁別反応が敏感であり、また300分頃にも谷を形成し反応がよくなっている。手結羽

尾林道のオペレータに対しても同様の傾向がみられる。

V 土工量の補正

林道開設工において、その工期の30%時から70%時までの間は安定した高い工期が持続するものであるが、今回の測定は2路線ともその期間内にある。そこで測定期間外の任意の時期の土工量の推測ならびに測定を実施した時期の工期が全工期中の工期変動のなかでどの位置にあるかを知るために図-4を作成した。図-4に示す折線の勾配から相対的に任意時期の土工量を求めることができる。なお図によると2路線とも測定期間の土工量は最大値を示している。横倉林道の工期20~30%期の工期はMilton Harrisのバナナ曲線^{5,6)}の下限値を下まわっているものと思われる。そのため30%~40%期にかけて工期アップの努力がなされたものと考えられる。

ま と め

今回の調査では林道工事の労働環境をできるだけ総合的に把握することが目的であり、詳細な分析をするための問題点の抽出に重点を置いた。

騒音の問題に対しては、さく岩機の騒音は高周波領域でも100ホンを超えるエネルギーの高い騒音であり、またオーバ・オール時の騒音でも防御装置を要する環境を作っている。さく岩作業では岩質、コンプレッサーの圧力、さく岩機の構造、作業環境の周囲が開放された現場か閉鎖的かの相違についてさらに現場の環境条件を詳細に取り上げていく必要があろう。

ショベル・ドーザの騒音ではテレメータ装置によりオペレータの感知する騒音を測定する必要があるが、今回の調査結果から判断して100ホン近い高騒音レベルの環境であると云える。

振動の問題ではさく岩機の振動は非常に高く、適切な防御具か何らかの改善を必要とする。ショベル・ドーザの振動は全身振動であり、座席面の平均振動加速度で0.3gであるから全身振動の障害などのみられない0.08gからはかなりのひらきがあり、

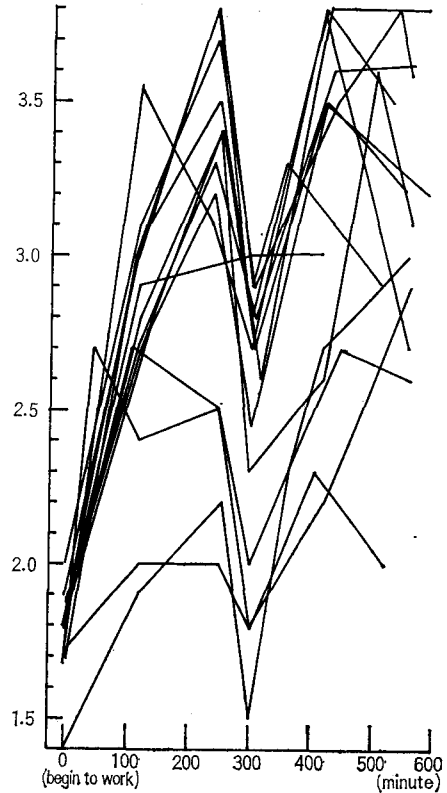


Fig. 3 Two points discrimination value on YOKOKURA forest road : operator (30 years old, 167cm high, 70kg)

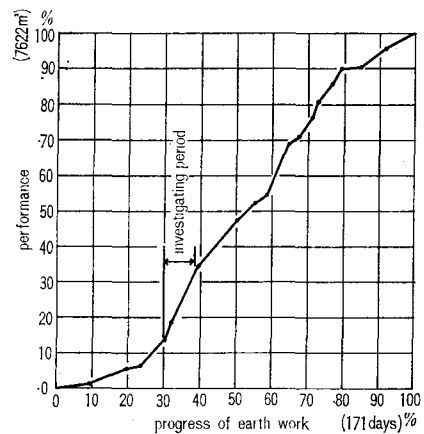


Fig. 4 Earth work performance accumulation curve on YOKOKURA forest road

何らかの改善が必要であろう。

工期と生産性などの問題に対しては、今回の測定方法は地山土量を対象に測定した。この方法は林道工事のように機械が複雑に動く場合の土量測定には1サイクル毎の土工量は測定できないが、簡便で正確な方法と考えられる。今回の調査では土工量とオペレータの経時的疲労の進行を関連づけて分析しえなかったので将来の課題としたい。

参 考 文 献

- 1) 科学技術庁(資源調査所)監修 人間-環境系編集委員会編:人間環境系 人間機能データブック, 人間と技術社, 285-708, (1973)
- 2) 三浦豊彦・木村菊二・富永洋志夫・肘付邦憲: 局所振動障害としての職業性レイノー症候群, 労働科学, 42, 725-747, (1966)
- 3) 岡田 晃: 全身振動による影響・障害, 労働科学, 41, 9-18, (1965)
- 4) 田村朋厚: 林道施工におけるドーザショベルの排土工程に関する研究(I), 高知大学農学部演習林報告 2号, 33-45, (1968), (II), 同上第3号, 1-14, (1971), (III), 同上第4号, 1-20, (1973)
- 5) 上坂飯実: ブルドーザによる林道施工計画法, 林業機械化協会, 71-77, (1962)
- 6) Farkas, L. L.: management of Technical Field operations, McGraw-Hill, (1970)

Résumé

Forest roads have been re-evaluated as the base of operations in forests. A net-work of forest roads to cope with forest demands has been planned and put into operation. It has also been noticed that the operation of construction machines such as shovel dozers, bulldozes and so on, has a great effect on the environment. These problems in forests have become a subject of Human-Machine Relations.

In this report, we try to evaluate the synthetic operation environment of forest road construction and outline the problems in order to analyse them fully in future.

The noise of rock borers has a strong noise level of high frequency and produces harmful environment causing a need for protectors at over all. The noise of shoveldozers has a high noise level of about 100 phone.

The vibration of rock borers is harmful and the mean acceleration of vibration on the seat of a shoveldozer is about 0.3g which will cause problems.

We must analyse performance and productivity in connection with earth volume and increasing fatigue of operators. In this investigation we chose cutting earth volume as the object of measurement which we think simple and useful since construction machines work irregularly.