

自走式小型植穴掘機の諸性能について

瀧本 義彦・藤井 禧雄・藤田 伸一*・赤井 龍男

On the characteristics of mobile planting holer

Yoshihiko TAKIMOTO, Yoshio FUJII, Shinichi FUJITA and Tatsuo AKAI

要 旨

林業用に開発された自走式小型植穴掘機の作業能率及び作業可能傾斜度，振動，騒音特性，作業者の生理的負担，機械の安全性，操作性等について試験したところ，次のようなことが判った。

この機械は緩斜地での植穴掘り作業に適しており，急斜地での作業は横転などの危険性が高く不適当である。植付け作業の能率は傾斜によって異なるが，今回は最大1人当たり75本/時であった。

穴掘り作業時の騒音レベルは低く（75.2dB）振動レベルは140.5dBであり，防振グリップを付けた場合は20dB減衰した。

作業時の労働負担は急斜地で大きく，緩斜地では小さく，既存の穴掘機であるオーガよりも小さかった。

前腕の筋電図から，この機械の作業では，穴掘り時より掘り終って機械を移動させる時に，より大きい筋張力を要することが判った。

ハンドルの形状，固定棒の位置等を改良すれば緩斜地での植付に有効と思われる。

（はじめに）

我が国の林業において，伐木集運材部門に比べて造林部門での機械化は，ブッシュ・クリーナと苗畑関係を除けば十分なものと云えない。また近年の林業労働力不足と高齢化を考えると，造林用各種機械の開発が期待される。

今回，愛知県の農機具メーカーによって開発中の自走式小型植穴掘機（以下ホーラと略す）について①作業能率及び作業可能傾斜度②振動・騒音特性③作業者の生理的負担④機械の安全性・操作性等について試験した。なお，同種の造林機械であるアースオーガ（以下オーガと略す）との比較も行なった。

1. 供試機の概要¹⁾

（ホーラ）（図-1，表-1参照）

本機の構造は2輪耕うん機の車輪部分に4本爪ロータが取付けてあり，爪はナタ刃とノコギリ刃の2種類があり，作業地の状況によって取替えることができる。機械の移動はこの爪ロータを回して行ない，植穴を掘る地点に来れば，機械後部の固定棒を地面に突き立てて機械の移動を

* 埼玉県庁

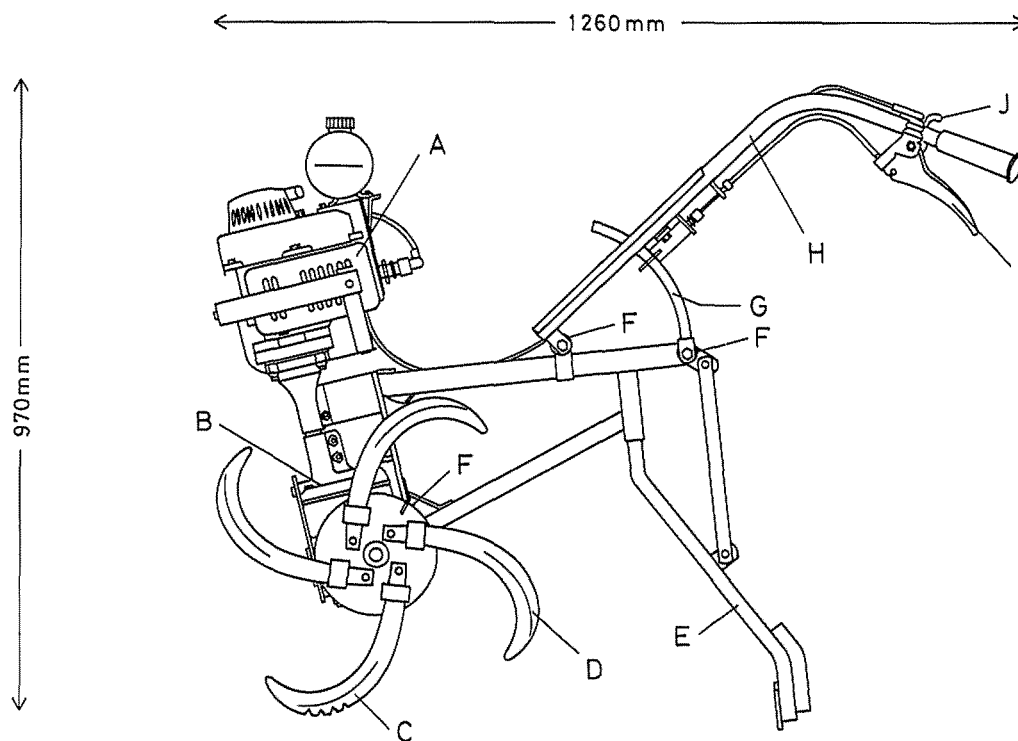


Fig. 1 General view of Holer

A : engine B : worm gear C : hole cutter (saw type)
 D : hole cutter (knife type) E : stopper
 F : A.V.rubber G : handle guide bar H : handle
 I : handle adjustable lever J : throttle lever

Table 1. Specification of Holer

Type	ND Holer
Dimensions	970~1300×590×810~1260mm Height Width Length
Type of engine	Two-cycle gasoline engine, air cooling
stroke volume	78.5cc
power	3.3 PS/5,500rpm
fuel	oil mixed gasoline (20:1)
Rotation	23~26rpm
worm gear ratio	1/193.8
hole	330×300 Width Depth
Roter	8 fingers
workable gradient	below 25~30°
efficiency	about 120 hole/hour
Total weight	35.5kg



(a)



(b)



(c)

Photo 1 Digging operations with Holer

Table 2. Specification of earth Auger

Type	FAG 10
Dimension	360×365×660mm (without drill) Height Width Length
Type of engine	Two-eyele gasoline engine, air cooling
stroke volume	52.5cc
power	2.3 PS/7,200rpm
fuel	oil mixed gasoline (20~25:1)
Rotation	170rpm
worm gear ratio	1/35
hole	∅ 150×560mm
drill	S 150 (150×560mm)
Total weight	13.0kg

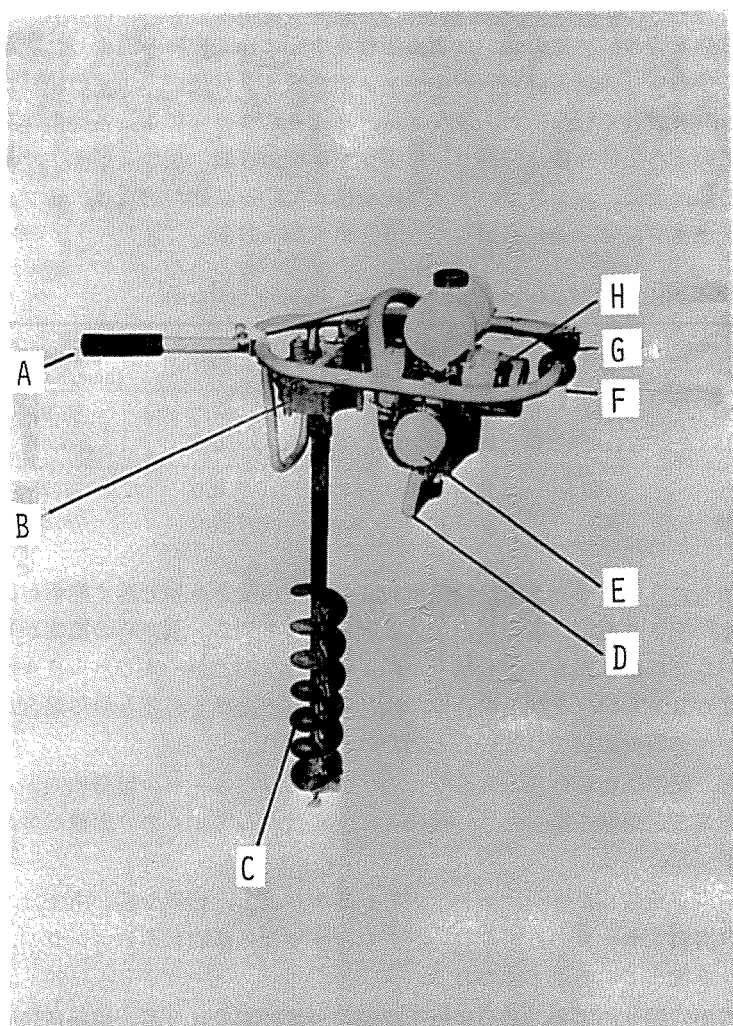


Photo 2 General view of Earth-Auger
 A : left handle B : worm gear C : drill
 D : stand E : air cleaner F : throttle lever
 G : right handle H : rope starter

止め、爪ロータの回転により植穴を掘る。また斜面に応じてハンドルの角度をハンドル上下レバーの操作により、水平から上方に約75度の範囲で変化させることが出来る。

エンジンの動力は遠心クラッチを介してウォームギアで減速され、爪ロータに伝わり、約30×30cmの穴を深さ30cm程度まで掘る事が出来る。爪ロータは毎分23～26回転の低速で回転し、掘り起した土を飛散させない。また、減速比が大きいため、トルクが大きく、かなりの大きさの根まで切断することが出来る。(写真一1 a～e 参照)

(オーガ) (表一2, 写真一2 参照)

前述のホーラと比較するために使用したオーガの様子は別表の通りである。

2. 作業能率

ホーラによる作業時の、林地の傾斜による影響を中心に作業能率を調査した。調査は滋賀県の琵琶湖の北西に位置する大津営林署管内のマキノ担当区 519 林班で、スギの植林地に傾斜角30度と15度のプロットを設けて行なった。表一3は、タイムスタディによる各要素作業別の所要時間を%で表わしている。主体作業は穴掘り、付帯作業は機械移動、根つる類除去、足場固め、ハンドル上下、その他は点検、エンスト、トラブルを含んでいる。燃料消費は、各プロットでの作業終了後に燃料を満タンにする為に必要なガソリン量で測った。

Table 3. Time ratio of digging operation

	gradient (degree)	total hour (sec)	main operation (%)	sub operation (%)	others (%)	digging efficiency (hole/hour)	fuel consumption (cc/hole)
holer	30	3687	38.5	57.1	4.3	85.9	5.68
	15	1152	60.9	39.1	0.0	150.0	3.13
earth auger	30	743	75.4	24.6	0.0	72.7	9.33
	16	690	69.7	30.3	0.0	78.3	9.33

表一3から判るように、ホーラでは傾斜角30度の場合15度より半分近く能率が低下する。また、このことは主体作業より付帯作業の割合が大きい事からも判る。調査時の観察から、30度の傾斜地では斜面に対して真直ぐ昇りながら植穴を掘る場合はなんとか一人でホーラを操作出来るが、左右に向きを変えながら植穴を掘る場合は、操作手以外の助けを必要とする場合がしばしばあったので、これが作業限界傾斜ではないかと思われた。

オーガの場合、傾斜の影響はほとんど受けない。これは、オーガの場合植穴から次の植穴までの移動時に、作業者が機械を持ったり、杖代りに支えたりして歩くので影響が少なかったものと思われる。

ホーラとオーガを比較した場合、ホーラの方が能率が良く、傾斜の緩い所では2倍近い能率である。また燃料消費もホーラの方が少ない。これはホーラは低回転型のエンジン、オーガは高回転型のエンジンを使っている為と思われる。

ホーラによる植穴掘りの場合、苗の植付手は傾斜角度30度では2名、傾斜角15度では1名で手持ちが少なかった。したがってホーラによる植付作業は緩斜地で1人当り75本/時、急斜地(30度位)では28.6本/時と見込まれる。

3. 騒音・振動特性

ホーラの操業時の騒音，振動特性を調べ，併わせて樽型スプリングを使った防振グリップの効果を検討した。

京都大学上賀茂試験地で，ホーラの林内走行，砂利道走行，穴掘り，アイドリング時の騒音，振動を測定した。騒音は，精密騒音計（PS-112）のマイクロホンをオペレータの右耳付近でエンジンへ向けて支え，計測した。振動はホーラの左右ハンドル把持部，エンジン本体の3カ所で，各々3方向（上下(X)，左右(Y)，前後(Z))について，加速度ピックアップ（PCB303A型）で計測した。騒音，振動とも，データを現場でデータレコーダに集録し，後でFFTアナライザー（CF 400）を使って1/3オクターブバンドフィルターを通して解析した。なお，比較の為に測定したオーガの場合も同様の方法を使った。

表-4，5はホーラとオーガの測定結果である。振動はエンジンの回転数に対応する周波数での加速度値（100dB=1m/sec²），騒音はオーバーオール dB 値で表示した。

ホーラの振動の場合，走行時，アイドリング時は左ハンドル上下方向が大きく，穴掘り時は右ハンドル上下方向が大きい。また，アイドリング時に左ハンドル上下方向で一番大きい振動152.5 dBを測定している。騒音については，穴掘り時が一番大きく，89.2 dBを測定している。

Table 4. Level of Noise and Vibration of Holer

		traveling on the forest road		traveling in the stand		digging	idling
		uphill	downhill	uphill	downhill		
Noise level (dB)		82.2	81.1	81.1	81.9	89.2	75.2
vibration level (dB)							
right handle	X	130.4	127.2	127.8	127.7	140.5	128.4
	Y	144.9	139.4	138.5	147.2	131.4	149.3
	Z	136.7	135.4	139.3	137.0	124.2	145.6
left handle	X	150.6	151.3	150.1	149.1	127.5	152.5
	Y	145.8	144.7	145.8	141.7	127.8	145.1
	Z	134.9	131.3	132.4	133.3	134.9	124.0

Table 5. Level of Noise and Vibration of Earth Auger

			digging	idling	
				on the ground	with hand
Noise Level (dB)			104.4	87.7	89.5
Vibration Level (dB)					
right handle	X		138.2	127.6	121.5
	Y		132.9	112.6	112.0
	Z		147.8	119.4	116.6
left handle	X		132.1	118.4	117.6
	Y		127.5	129.3	125.3
	Z		139.7	123.1	124.8

オーガの振動は、穴掘り時の右ハンドル前後方向が一番大きく147.8dBを測定している。アイドリング時は左ハンドル左右方向が大きい。騒音については、穴掘り時が一番大きく、104.4 dBを測定している。

ホーラとオーガを比較した場合、振動では穴掘り時にはオーガの方が大きい、アイドリング時にはホーラの方が大きい。騒音ではいずれの場合もオーガの方が大きく、特に穴掘り時には15 dBも大きい。

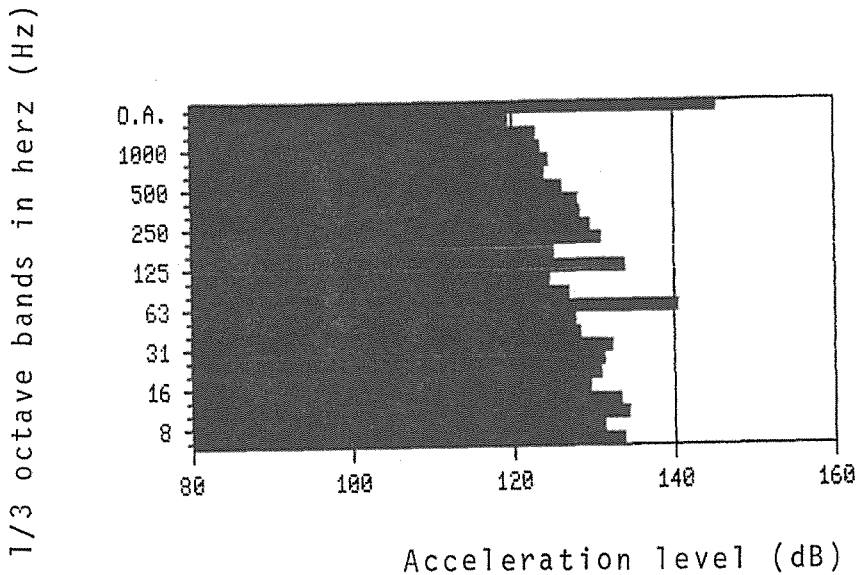


Fig. 2 Holer vibration at the right grip (X direction, digging)

次にホーラの振動の周波数特性を検討して見る。図一2は穴掘り時の右グリップ上下方向の振動を、1/3 オクターブバンド周波数で表示してある。63 Hz にエンジン回転数に対応する最大ピーク (140.5dB) があり、125Hz にはその2次高調波のピーク (133.8 dB) が見られる。3次以上の高調波は、ピークとしてはっきり判からない。また、63Hz 以下の低周波域は約130dBの値である。このようにホーラの振動は6.3Hz~500 Hzまで130 dB前後の振動レベルであり、本機に使用してある防振ゴム以上の防振性能を持った装置の取付けが望ましい。

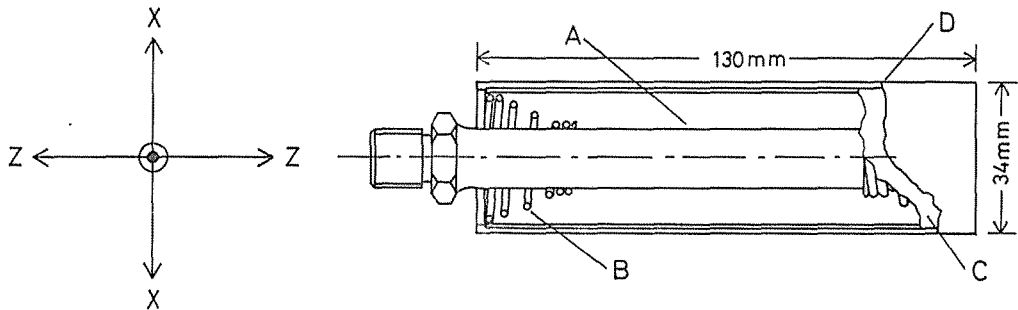
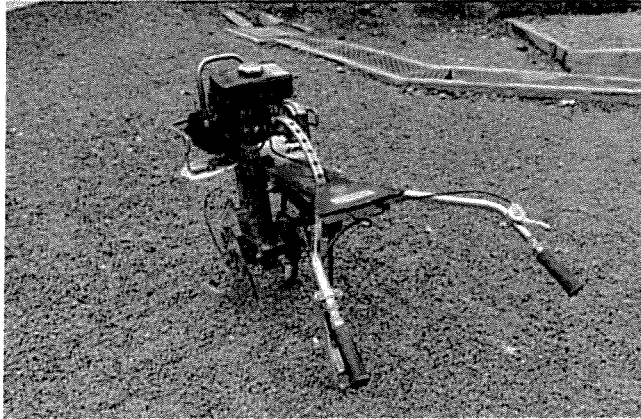


Fig. 3 Construction of A.V.grip and direction of axes (Y direction is perpendicular to X and Z)

A : shaft B : coil spring (ϕ 1.8mm)
C : casing D : rubber cover



Standard paraller grip (STD par. g.)

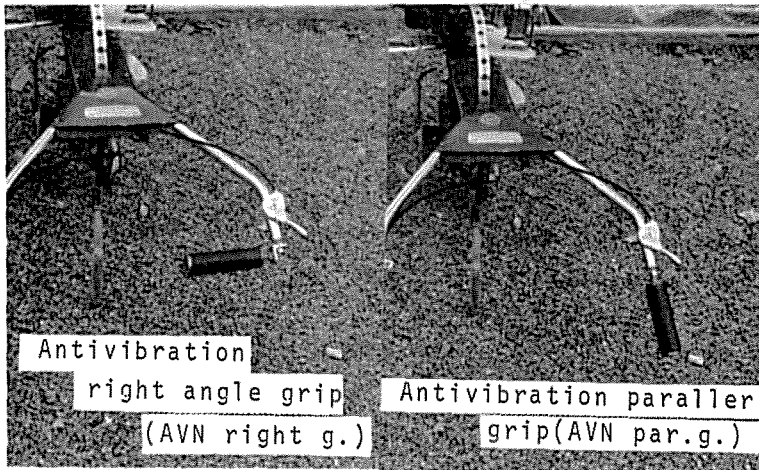


Photo 3 Three types of Grip and the directions attached at the handle of Holer

そこで、ホーラの防振性能を向上させるために、模型スプリング付防振グリップを取付けて、その効果を調査した。防振グリップの構造は図-3の通りで、取付け方向は写真-5の通りである。防振グリップは標準グリップと同じ取付け方向とそれに対して直角になる方向とについて検討した。また、防振グリップには、ウエイト大(400g)、小(250g)の2種類を取り付ける事により固有振動数を変化させて見た。固有振動数は、「防振グリップ、ウエイト無し」(以下、「防振グリップ・N」あるいはANNと略す)では26.3Hz、「防振グリップ・ウエイト小付」(以下、「防振グリップ・S」あるいはAVSと略す)では17.5Hz、「防振グリップ・ウエイト大付」(以下、「防振グリップ・L」あるいはAVLと略す)では15.0Hzであった。

防振グリップを取付けた場合の振動測定方法は、前述のホーラの振動測定と同じで、同様の解析を行なった。また、防振ハンドルの防振効果の評価は、それぞれの測定時のエンジン回転数や負荷状態が必ずしも一致しないで、ハンドル部の振動の大きさだけでは判断しにくい。そこで、エンジン本体の振動デシベルとハンドル把持部の振動デシベルの差、即ち振動の感衰量で評価する。また、上下、左右、前後の3方向について測定したが、穴掘り時に振動の一番大きい右ハンドル上下方向についてのみ記しておく。

Attached in right angle

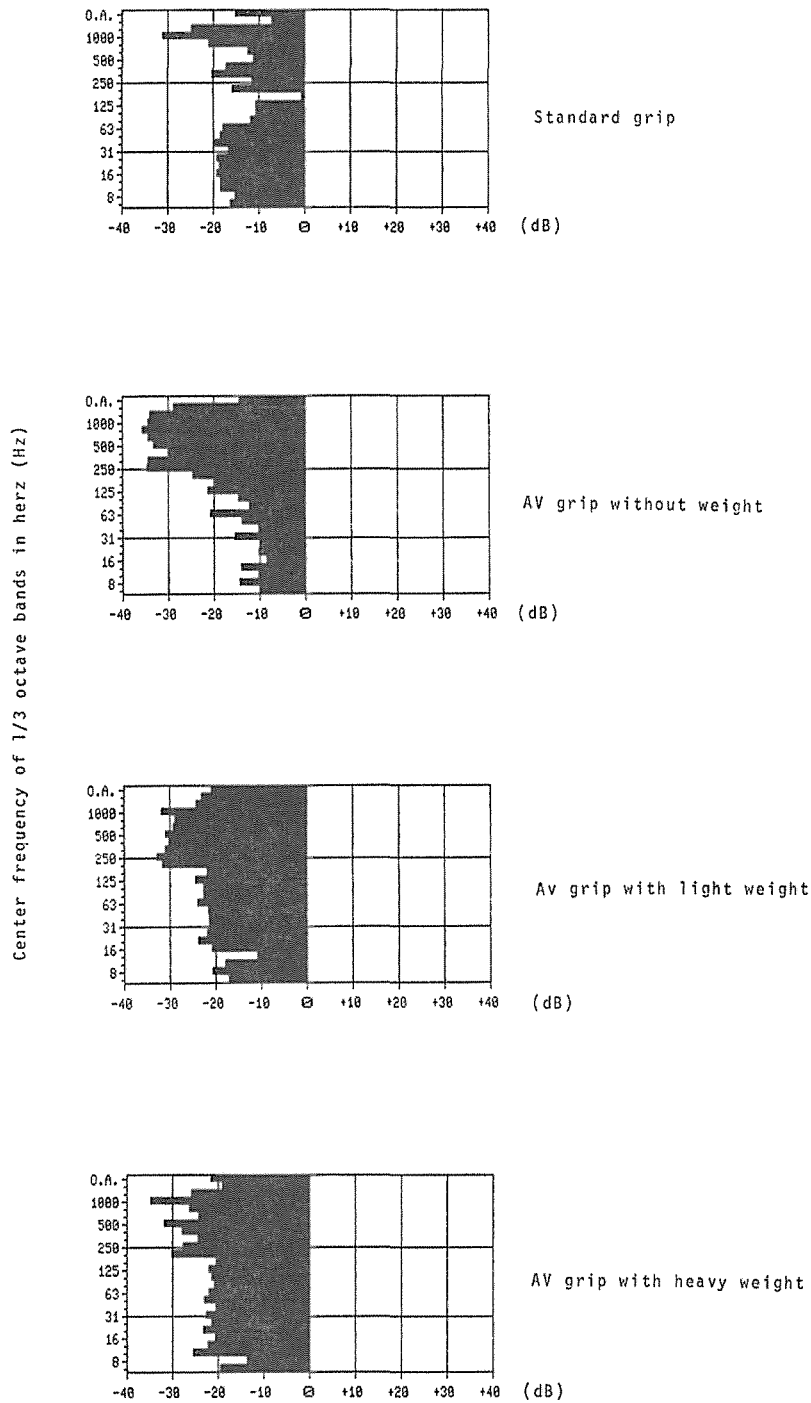


Fig. 5 Decrease of Acceleration Value (engine-right angle attached grip) (X direction, digging)

図4-5はハンドル部での振動増減量を表わしたグラフで、一側に伸びていると減衰しており、十側に伸びていると増巾していることを表わしている。また、エンジン回転数に対応する周波数での振動が一番大きいので、この周波数での減衰量が、防振効果の判定に重要である。

標準取付けの場合、「標準グリップ」のエンジン回転数に相当する周波数及びオーバーオール値（以下OAと略す）での減衰量はそれぞれ-23.2dB（80Hz）と-15.6dB（OA）である。OAで比較すると「防振グリップ・S」が-17.9dBと最も減衰しているが、エンジン回転数に相当する80Hzでは「防振グリップ・L」が-24.3dBで最も減衰している。「防振グリップ・N」は前二者の間である。

直角取付の場合、「標準グリップ」のエンジン回転数に相当する周波数及びOAでの減衰量は、それぞれ-11.6dB（80Hz）と-15.2dB（OA）である。エンジン回転数に相当する80Hzで比較すると、「防振グリップ・L」が-21.9dB、「防振グリップ・S」が-24.0dB、「防振グリップ・N」が-12.2dBとなっているが、「防振グリップ・L」の方が、各周波数でまんべんなく減衰しており、OAの減衰量も-12.5dBと量も大きい。

取付け方向については、「防振グリップ・N」、「防振グリップ・S」、「防振グリップ・L」ともに直角取付けの方が、標準取付けより良く減衰している。したがって、「防振グリップ・L」は固有振動周波数も一番低くこれを直角取付けした場合に減衰効果が一番良く期待できる。

4. ホーラの作業特性

本機を操作する作業者が、どの程度の作業負担を受けているのかを明らかにするために表6のような因子と水準を組合せた各種条件下で作業を行ない、その際の作業者の心電図（心拍数、HR）及び前腕の表面筋電図（EMG）を無線テレメータ方式にて測定した。表面筋電図（以下EMGと称する）は前腕（橈側手根伸筋）にてそれぞれ左右一ヶ所ずつ測定したが、この筋は手を閉じる作用を主として司るとされているものである。

作業者は共に20才台の大学院生で、ホーラ操作の経験はあるが常に作業している者ではない。林地の勾配は本機の限界が約30°といわれているので、それを考慮して選んだ。また、前章で触れた防振グリップが作業におよぼす影響を調べるために、標準グリップの場合と比較できるように配慮した。それから、本機は穴掘り場所まで自走できるので、林道上を走行する場合についても表-6とは別枠で同様の計測を行なった。

心電図、EMGは一度データレコーダに収録し、後日研究室にてそれぞれの目的に応じて解析した。心電図データは、大型計算センターのFACOM U200でAD変換した後主システムFACOM M382に掛け、2秒ごとの心拍数を算出、プロットし、さらに各作業ごとの平均心拍数等を計算した。EMGは、原波形をアナログのまま積分器に通し整流し、2.5秒ごとの積分レベル曲線を求めた。

Table 6. Factor and level in the experiment

Factor	Level
Subject	Y, H
Gradient of mountainside	15°, 30°
Kind of grip	STD par. g. AVN par. g. AVN right a. g.
Kind of machine	Holer, Earth-Auger

Table 7. The number of increase of HR in the digging operation
(unit: beats/min.)

	Subject Y			Subject H		
	Gradient (deg.)		Traveling on for road	Gradient (deg.)		Traveling on for road
	15	30		15	30	
Holer						
STD par. grip	36.5	76.3	34.6	42.3	90.0	24.4
AVN par. grip	46.6	103.1	41.1	37.5	101.1	18.8
AVN right a. grip	60.1	89.5	56.3	60.7	106.9	36.2
Earth-Auger STD handle	53.4	75.7	—	75.4	96.5	—

N.B.: Number of increase of HR=HR while working—HR at rest

得られた平均心拍数から、平均心拍増加数、つまり各作業中の平均心拍数と安静時心拍数との差を計算し、この増加数によって作業負担の度合を示すこととし表一七に一括して示した。同表からまず判かることは、標準グリップ、したがって本機の平常の仕様による作業の場合、平均心拍増加数（以下増加数と称する）は当然のことながら勾配15°より30°の場合の方が大きく、林道走行時が最も低い値を示したという点である。そこでこれ等増加数のレベルをみるに、表一八に我々が計測してきた他の林業作業の場合の増加数を示したが、対照すると、緩傾斜の場合は低い作業レベルに止まっているが、急斜地では非常に高いレベルであることが判かる。表一八の値がベテラン揃いによる作業の場合であり、今回は大学院生が作業者であったということを割引いたとしても急斜地でのホーラによる作業はかなり負担が大きいと思われた。

Table 8. The number of increase of HR in the various forest working by skillful workers

Kind of work	Number of increase of HR
Felling	43~67 beats/min.
Bucking	49~88
Branching with axe	54~81
Brush cutting (Releasing)	51~59
Slope ascending with a chain saw	50~80
Slope descending with a chain saw	38~53

つぎに、ホーラとオーガとを比較してみると、急斜地ではオーガと同レベルが少々低目、緩斜地では明らかに低い値を示した。この点を EMG によって定性的に比較検討してみる。図一六に標準ハンドルホーラ及びオーガによる穴掘中の EMG 原波形と EMG 積分レベル曲線の一例を示したが、ホーラの場合穴掘中は EMG 振巾や積分レベルが小さく、穴掘前後の機械移動時に振巾やレベルが大きくなっている。これに対しオーガの場合には EMG 振巾等に穴掘及び機械移動の区別が認められない。つまりホーラはオーガに較べ穴掘中機械を支える力が少なくて済むということを示しており、この分作業負担や筋張力が少なくなったものと推察された（本来、これ等のことを EMG 積分値を用いて定量的に明らかにする予定であったが、データレコーダへの収録時のトラブル等により、定量的に扱うには問題があると判断し一例を示して定性的にのみ述べた）。

つぎに防振グリップの作業性に対する影響であるが、前述のように振動加速度値では概略標準

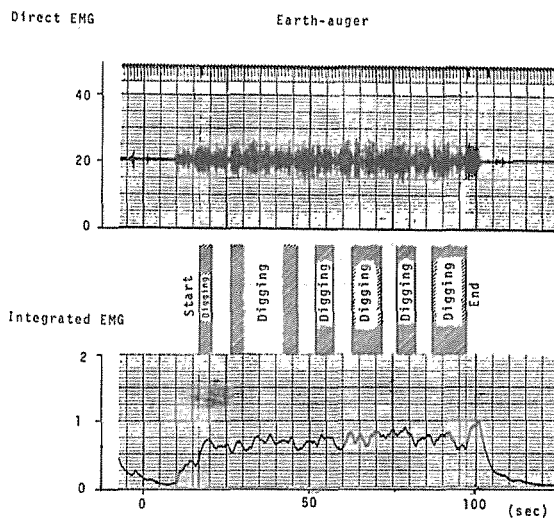
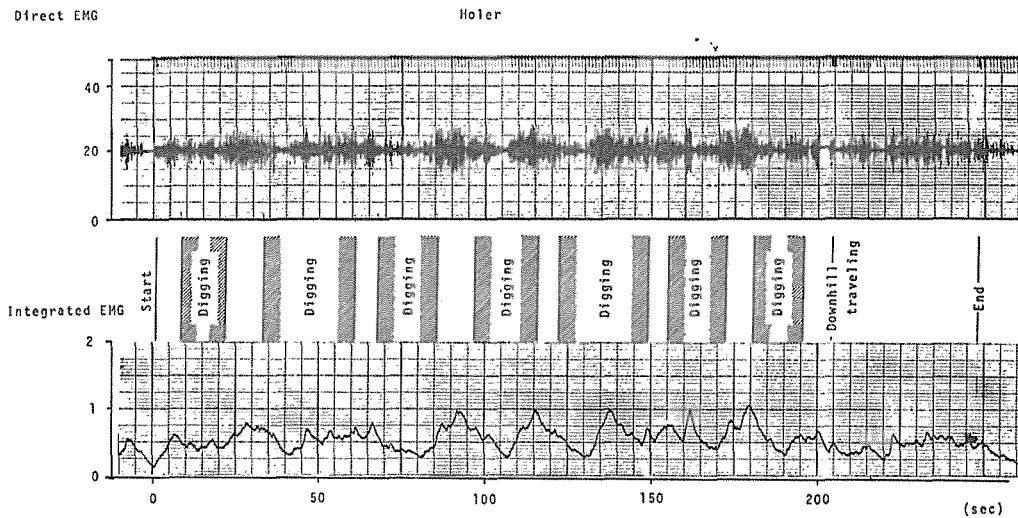


Fig. 6 Surface EMG of the forearm in the digging operations (Subject H)

平行取付け, 防振平行, 防振直角の順に値が低くなり, その効果が認められた。しかし, 作業負担という観点からみると表一七から明らかなように, 防振グリップ装着時の方が心拍増加数が大きく, 負担が大きかったことを示している。とりわけ直角取付けの場合はそれが著るしかった。林地の勾配ごとに各種ハンドルやグリップ装着時の作業中の心拍数変化を図一七に示したが, 上述の傾向がよく表われている。すなわち, 防振グリップ装着時はグリップに内挿されたタル型スプリングを介して握ることになるので, ハンドルの遊びが大きく, 穴掘作業中本機をコントロールするために余分の注意力和筋力とを必要としたことが分かる。直角取付けの場合, 防振効果そのものは平行取付けより優れているのだが (コイルスプリングの巻き方向特性のために), 防振グリップ自体の長さが十分でなかったこと及び取り付け方法が不完全であったため, 今回は作業

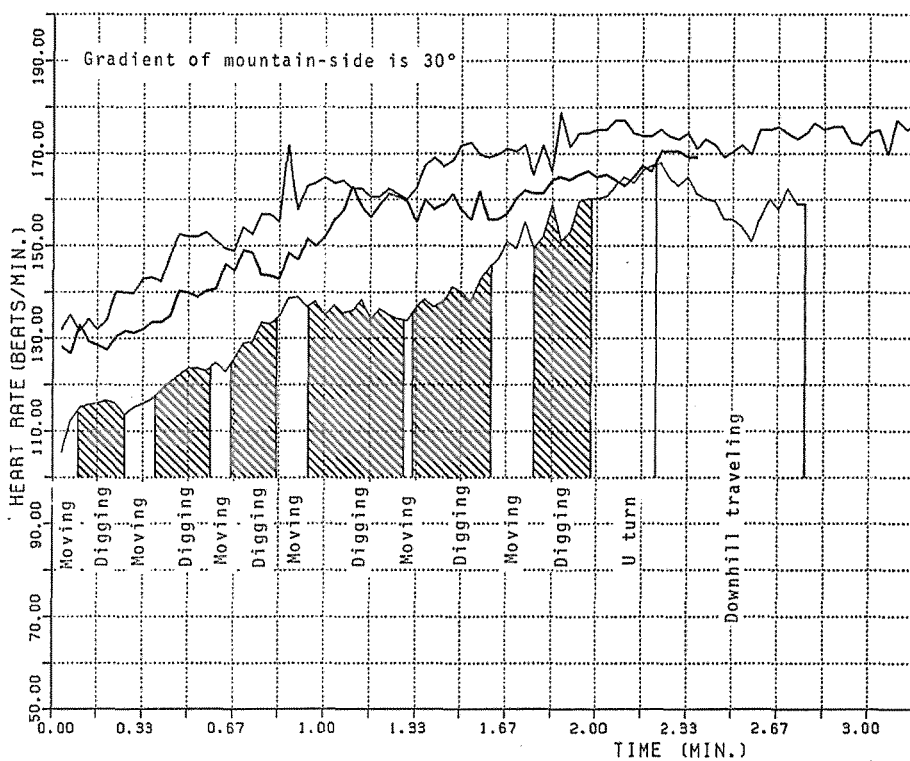
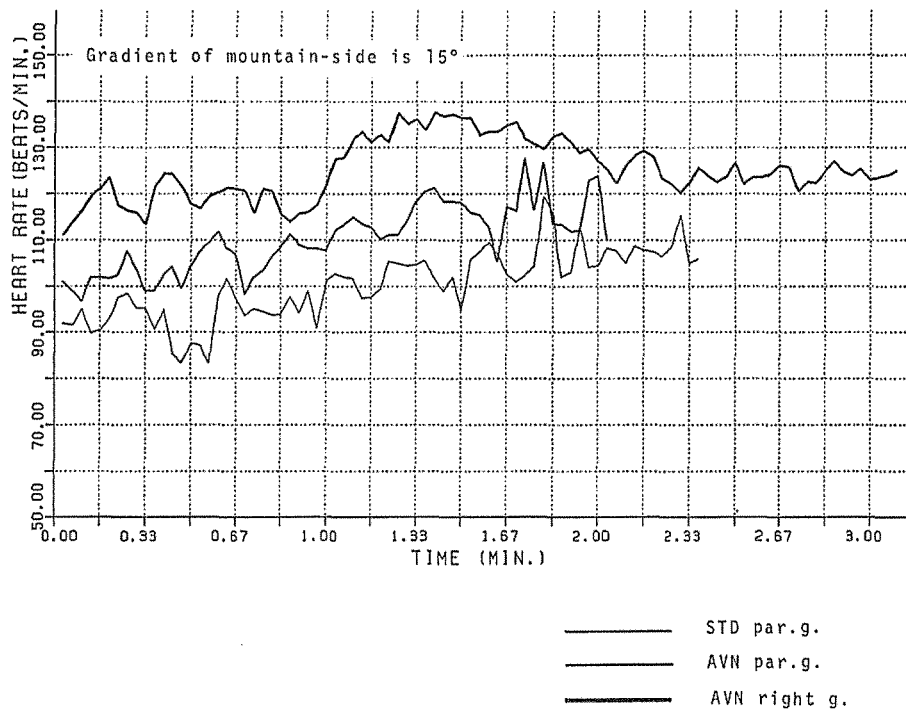


Fig. 7 Time series changes of HR of subject Y in the digging operations with Holer

がしづらかったようで、今後このグリップの防振効果を活かすには耕耘機にみられるようなループ式ハンドルにし、それに防振グリップを挿入するという方法を採用すべきであろうと思われた。

(ま と め)

以上に述べた調査結果を総合して、次のような結論を得た。

①ホーラを植穴掘り作業に使う場合、緩斜地で有効である。急斜地での使用は、横転などの危険性が多く、望ましくない。このことは、心拍数の測定で、作業者の負担が急激に増加したことから判った。今回の調査ではホーラの植穴掘り能力は85.9~150穴/時であった。

②ホーラの作業時の振動は最大151.3dBを測定しており、既存の防振ゴムによる防振だけでは不十分である。今回テストした防振グリップを取付ければ20dBの減衰効果が期待できるが、操作性の面では改良が必要である。

筋電図による測定では、ホーラの場合、穴掘り時より移動時に、「標準グリップ」より「防振グリップ」の方が前腕の筋張力が大であった。

④ホーラの形状については、ハンドルをループ状に変えて、何処を把っても操作出来るように改良し、固定棒の取付け位置を前方に移して穴掘り後に走行へ移る時の作業負担を少なくするように改良するのが望ましい。

⑤オーガと比べると、ホーラの方が穴掘り能率で13~72穴/時すぐれ、ガソリン消費も少ない。振動は穴掘り時は小さく、騒音も小さい。自走式であり、緩斜地では、移動時、穴掘り時の作業負担は少ない。しかし、アイドリング時の振動は大きく、急斜地での移動時は転倒の危険があり、重量が2倍以上もあって作業負担も大きい。

最後に、本実験に際して御協力をいただいた天津営林署マキノ担当区の方々、京都大学上賀茂試験地の方々に御礼を述べるとともに、供試機を提供していただいたKKオータケに厚く御礼を申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 藤田伸一：自走式植栽用植穴掘機の諸性能について、京大農卒論，1983
- 2) 瀧本義彦ら；チェーンソー用防振ハンドルの試作，京大農演報，54号，1982

Résumé

Here we report the result of the performance test of the new type forest machine "Holer", which is mobile type and continuously able to dig the hole for planting, in viewpoints of efficiency, noise and vibration, stress to the operator and safety.

Holer could make 85.9~150holes per an hour. Noise level was 75.2~89.2dB. Vibration level was 140.5~152.5dB and so it was no good for operator. Then we tried to decrease of vibration level using the AV grip, and then got-20 dB effects. (Fig. 3~5)

It was obvious that the work load in the digging operation with traditional Auger was remarkably large, as compared with the other forest working (Table 6~8). In the case of operation with Holer, the work load was relatively small, especially in the working on the gentle mountain-side, because operators could hold the handle with smaller grasping power in both the digging and moving.

In conclusion, it was judged that Holer could be effectively used in the gentle mountain-side but could not be used in the steep.