

チェーンソーの木材鋸断振動 (IV)

防振架台の効果

伏見 知道*・池田 充興**

On the Vibration of the Chainsaw in timber Cross cutting (IV)

The protection provided by the vibration multi-isolating stand worn

Tomomichi FUSHIMI and Mitsuoki IKEDA

Summary: The vibration levels on the anti-vibration handle system are still higher than the levels of ISO exposure criterion of vibration. One of the authors, Ikeda, were devised a vibration muliti-isolating stand (M.I.V. stand) to set the chainsaw with the anti vibration handle system. The authors clarified the variation of the vibration at the handlebar of M.I.V. stand and improved the M.I.V. stand. The vibration of handlebar of the improved Grip-Cut type M.I.V. stand became low level at 7000-8000 rpm, and then the operator is permitted of the continuous exposure 90 minutes per a day (480 minutes).

Author sets the swaying and bending coefficient (Kc) of chainsaw as one of the standard of chainsaw's workability. The improved Grip-Cut type M.I.V. stand has the same workability based upon the coefficient (Kc) as that of chainsaw CP-70. And than, authors set the vibration control criterion on the handles of chainsaw based on the spectra of acceleration of chainsaw handle and the ISO exposure criterion of vibration (1974). The operator is permitted the continuous exposure 90 minutes per a day (480 min.), when the overall level of the vibration situates from 4.5G to 6.8G and the fundamental wave situates from 0.5G to 1.26G at 6000 rpm.

要 旨 各種防振型チェーンソーのハンドル部における振動は、機関部に比べ著しく減衰されているが、許容基準から見るとなお高く、作業時間を著しく規制せざるをえない。振動量を一層減衰させる目的で工夫された多重防振機構の1例である防振架台につき検討し、その改良により作業性の向上をはかった。グリップカット改良架台付防振型チェーンソーは、7000～8000 rpm で振動の影響が最も少なく連続90分程度の暴露が許される。チェーンソーの作業性判別の一指標として揺動定数 ($Kc = \frac{kg}{cm}$) を設けたが、改良架台では揺動定数を改善することができた。

さらに、ISO暴露限界によるチェーンソーハンドル部振動の評価に基づき、その規制基準を検討したが、1日90分の連続暴露が許されるためには、6000 rpm に対し20～500 Hz 帯域で総合値6.8 G以下、基本波帯のレベル1.26 G以下でなければならない。

* 森林工学講座助教授

** 高知営林局松山営林署管理官

1 はじめに

チェーンソーのハンドル部の振動を抑制し、作業者に生ずる振動障害の危険性を軽減するため、いくつかの型式を異にする防振型チェーンソーが開発使用されるに至っている。

しかし、この種の防振型チェーンソーでも、なお、振動値はかなり大きく、暴露許容限界の適用の仕方によっては、危険が指摘されるおそれが多く、作業者に対し作業上の細かい配慮を要求し、精神的過労を生ずるおそれもある。たとえば、ISO暴露限界を適用した例を示すと図-1のとおりであるが、30分連続暴露が許される例は少ない。

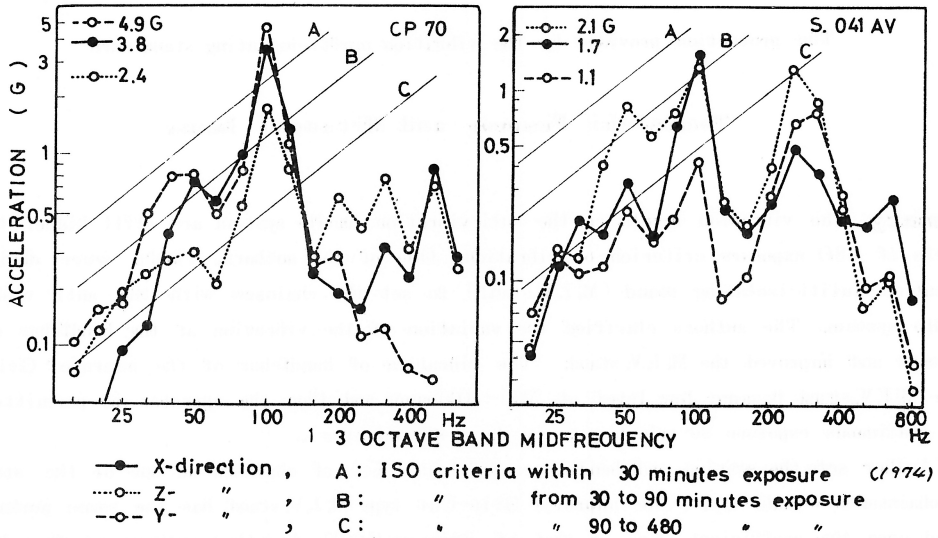


Fig.1 Analysis of acceleration on the handlebar of chainsaw with anti-vibration handle system in timber cutting.

そこで、防振型チェーンソーに取り付け使用するための防振ホルダーや防振架台といった多重防振機構が工夫されている。ここに、防振架台の改造と、それによる振動減衰効果の変化および作業性の改善について検討した。さらにチェーンソーハンドル部振動の規制基準についても考案したので報告する。

2 防振架台とその改造

防振架台は、筆者の1人池田が、防振型チェーンソーCP70型に取り付け使用するために開発したもので、一般的な片持型(I型)とCP型チェーンソーのグリップを取り除いたグリップカット型がある。その基本型は図-2に示すとおりである。

当初は、丸形防振ゴムを適宜使用していたが、後には架台用に特

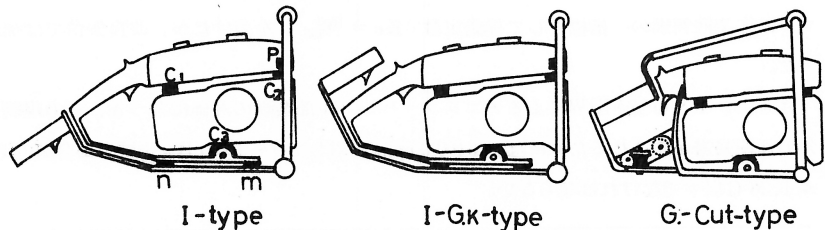


Fig.2 Vibration multi-isolating stand (=M.I.V. stand) sets a chainsaw CP70

注した防振ゴムを使用した（I-W型）。I-W型では、支持板につけたハンドルバーとチェーン本体との間Pに丸形防振ゴム2個、底部と支持板との間はn部とm部で支え、n部に丸形防振ゴム2個、m部に鞍形防振ゴム1個と丸形防振ゴム2個を使用している。

これらの防振架台を装着したチェーンソーの振動系は、チェーンソーの重心と回転中心が異なるため、連成振動が生ずることが考えられる。これを防ぐためには、n部の防振ゴムのバネ定数をm部のそれに比べて極度に小さく（軟らかく）しなければならない。その場合、揺動性を増すから、あまりバネ定数の軟らかいものを使用することは避けざるを得ない。n部にも、鞍形防振ゴムを取りつける場合は丸形防振ゴム2個だけをつける場合に比べ、防振効果はいくらか落ちるか、剛性が増すため、作業性はいくらか良くなるものと考えられる。n部にも鞍形防振ゴムを1個と丸形防振ゴム2個使用したものをI-2W型とする。このようなチェーンソーの揺動性を尺度とした作業性は後で検討する。

筆者の1人伏見は、当初の防振架台を検討した結果、架台のハンドルグリップをチェーンソー本体の側へ突出させて、両ハンドルの把持間隔が、作業者の肩幅に近くなるよう改めることが合理的と考え、I-GK型（図1参照）を試みたところ、振動値に大差がないことが明らかになった。防振架台は、既製のチェーンソーに取りつけ使用するため、特にハンドルグリップは二重に存し、一個は常に不用である。さらに、I-GK型となると、両ハンドル間隔が適性化されたものの、既存のハンドルグリップが邪魔して、チェーンソーを横転使用する場合、架台のハンドルグリップが重心から一層離れて、チェーンソーの横転支持にはより多くの力を必要とし、支持が不安定な状態となる。したがって、伏見の指摘は、チェーンソー本体の不用となっているハンドルグリップを取り除き、その跡へ防振架台のグリップを移すことを要請した。かくして、グリップカット型防振架台（G-Cut型）が池田によって完成されるに至ったのである。

これら防振架台の使用は、ハンドル部の振動値を著しく減少させる反面、重量の増加と切削部のハンドル部に対する揺動性が大きくなるため作業性が悪いとされている。そこで、筆者は、グリップカット型防振架台の支持板固定位置をチェーンソー底部中央から底部前端へ移し、複数の丸形防振ゴムを使用して、防振効果を損ねぬまま揺動性を抑制することを試みた

（G-Cut.k.型）。

3 実験結果と考察

A) 防振架台装着時の振動

これら一連の防振架台付CO70型チェーンソーの、両ハンドル部の振動を測定し、その振動減衰効果を検討した。振動解析は、チタン酸系圧電型素子により検出し三素子広帯域振動計で測定し、データレコーダR-400に記録後、連続スペクトル分析および3分1オクターブ分析により行った。CP70型チェーンソーのハンドル部振動は既報¹⁾のとおりである。

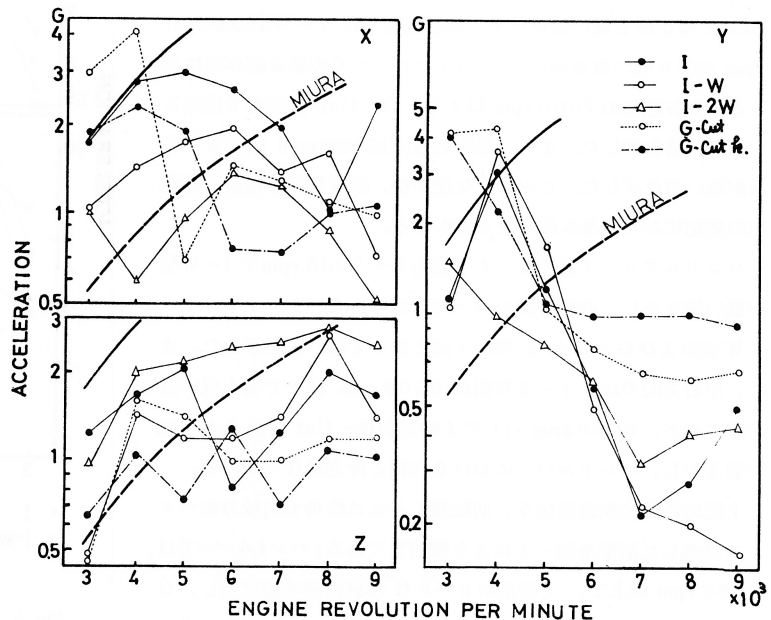


Fig.3 The change of acceleration at the upper part of handlebar of M.I.V. stands with the chainsaw CP70 in racing.

(i) 空転時振動加速度の変化

CP70型チェーンソーに、前記各種防振架台を装着した時の、振動加速度のうち、ハンドルバーでの変化を図-3に、ハンドルグリップでの変化を図-4に示す。

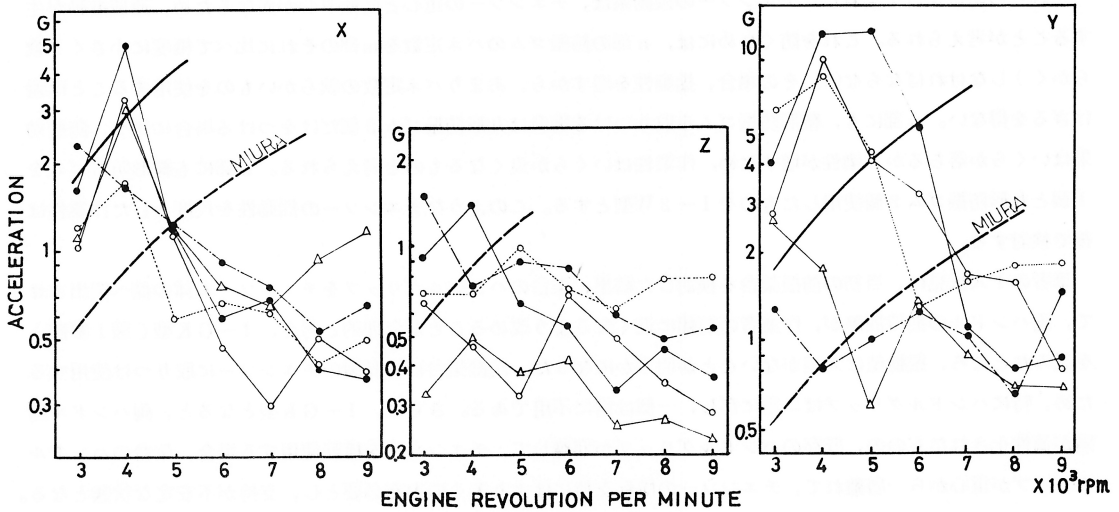


Fig.4 The change of acceleration at the upper part of handle grip of M.I.V. stands with the chainsaw CP70 in racing.

ハンドルバー上部の上下方向(X)では、8~9000rpmでI-2W型が、6~7000rpmではG-Cut k型が最も低い値を示した。左右方向では6000rpmでI型が、7000rpm以上ではG-Cut k型が最も低い値を示す。前後方向ではI-W型の6000rpmが最も低い値を示した。ハンドルバーでの値を総体的に見ると、左右方向の7000rpm以上で、G-Cut型系がI型系よりも低い値を示した。また、前後方向(Y)の7000rpm以上でI型系が低い値を示した。このような違いが、防振架台の両系の振動値の変化における基本的な差と思われる。

ハンドルグリップ部では、上下方向6~7000rpmでI-W型が低い値を示し、前後方向の7~8000rpmでは、I型、I-2W型およびG-Cut k型が1回となって低い値を示した。また、左右方向では、I-2W型が6000rpm以上で最も低い値を示すなど、6000rpm以上でI型系がG-Cut型系よりも低い値を示し、ハンドルバーにおける様相とは逆になっている。

上記の各振動加速度値を、回転数ごとに直角方向成分のベクトル合成した結果を図-5により検討してみる。ハンドルバーでは、6000rpm以上で、I型系が2~3Gの域にあるのに対し、G-Cut型系は2G以下、特にG-Cut k型が1.5G程度の低い値を示した。ハンドルグリップ部では、7000rpmでほぼ2G以下、そのチラバリは1G程度で、I-2W型が最も低い値を示

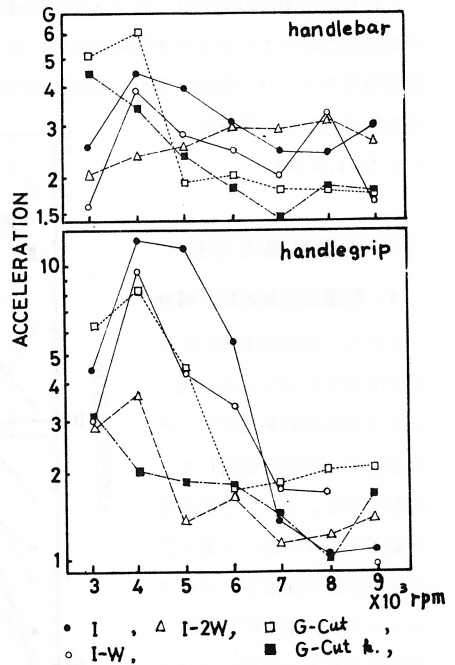


Fig.5 Resultant vector of vibration at handles of M.I.V. stand with the chainsaw CP70 in racing.

た。しかし、8000 rpmではG-Cut k型が、9000 rpmではI-W型が、最も低い値を示した。

両ハンドル部を併せて考えると、7000および8000 rpmでG-Cut k型が、また、9000 rpmではI-W型が低い値を示すと言えよう。

(ii) 空転時振動加速度の周波数分析

防振架台に装着したチェンソーCP70型自体の振動加速度分析結果は既報¹⁾のとおりであるが、ハンドル部では、各回転数とも、機関回転数に対応した基本振動波が1 G内外のレベルを示すほか、次第に減衰する数次の高調波が、かなり判然と認められるうえ、1 KHz を超える成分も微弱ながら認められる。

チェンソーCP70にI型防振架台を装着した場合のハンドル部上部の分析例を図-6に示す。周波数成分を見ると、400Hz以上の高周波数域には、CP70型程度に目立つ成分は認められない。ハンドルバーの6000 rpmでは、基本振動波のレベルが、上下方向で1 G以下、他の2方向では0.3 G以下、その他の成分はほとんど0.1 G以下である。9000 rpmでは、基本振動波が上下方向で1 G以上であるのに対し、他の2方向では0.3 G内外である。また、上下方向では第2高調波と40~50 Hzの低周波域でやや高いが、他の方向ではすべて0.1 G以下に減衰している。

以上、防振架台I型の振動加速度分析結果につき述べたが、他の各防振架台の装着によっても、ほぼ同様の波形構成と減衰効果が認められる。この場合、機関回転数に対応した基本振動波が、必ず高いレベルで残り、その第2高調波が、時にかなり明らかに認められるほか、基本振動数より低い周波数域で、連続周波数成分による2~3個の山形波形が著しくあらわれるのであるが、そのレベルはいずれも基本振動波の10分の1あるいはそれ以下にすぎない。なお400Hzより高い周波数成分は、一層減衰しているのが共通した特徴である。

(iii) 木材切削時の振動

グリップカット型防振架台付CP70チェンソーの手持M₁支持(手のひらをひろげ、ハンドルバーを握らない)し、自重

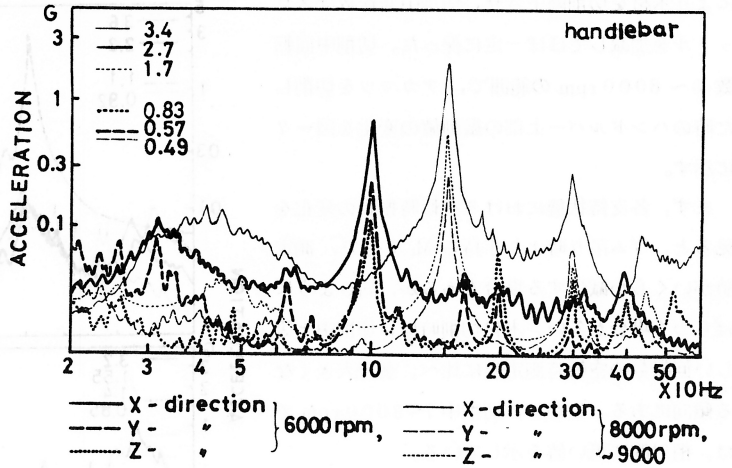


Fig. 6 The spectra of acceleration at upper part of handles of I type M.I.V. stand with the chainsaw CP70 in racing.

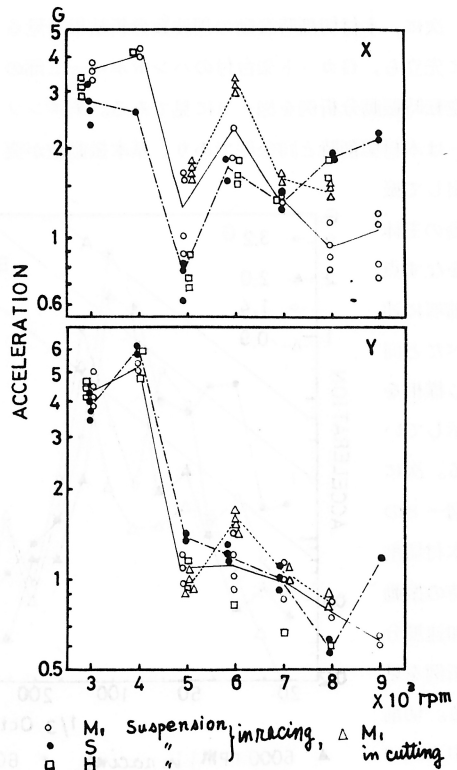


Fig. 7 The change of vibration level at handlebar of G-cut type M.I.V. stand in timber cutting.

により木材を切削降下させ、切削中回転数はロットルを加減してほぼ一定に保った。切削中回転数 5~8000 rpm の範囲で、アカマツを切削した時のハンドルバー上部の振動値の変化を図-7に示す。

まず、各支持状態における空転時振動の変化を見ると、ゴム吊り時より手持ち M_1 支持で、測定値がいくらか減少する場合もあるが、同じようにばらつく場合が多い。木材切削時は、切削中と等しい回転数の空転時測定値に比べ、幾分大きくなる傾向にある。しかし、切削中 7~8000 rpm では、相対的に低い値を示している。

木材切削時振動は、樹種その他切削条件の違いによって振動値が変動するから、切削回転数を適切に保って、三浦が示した「レイノー現象を示すような訴えが全く見られない水準」を超えないよう努める必要があるが、上記の 7000~8000 rpm は1つの目安を与える。

次に、木材切削時振動の周波数分析結果を見るに先立ち、Gカット架台付のハンドルバー上部の空転時振動分析例を図-8に見てみる。チェーン

ーは木材切削時と同条件であり、基本振動波が突出して振動の主体をなす点、前項に述べたと同じ様相を示している。次に図-8の木材切削時の振動加速度分析例を見る。切削中 6000 rpm および 7800 rpm とも、

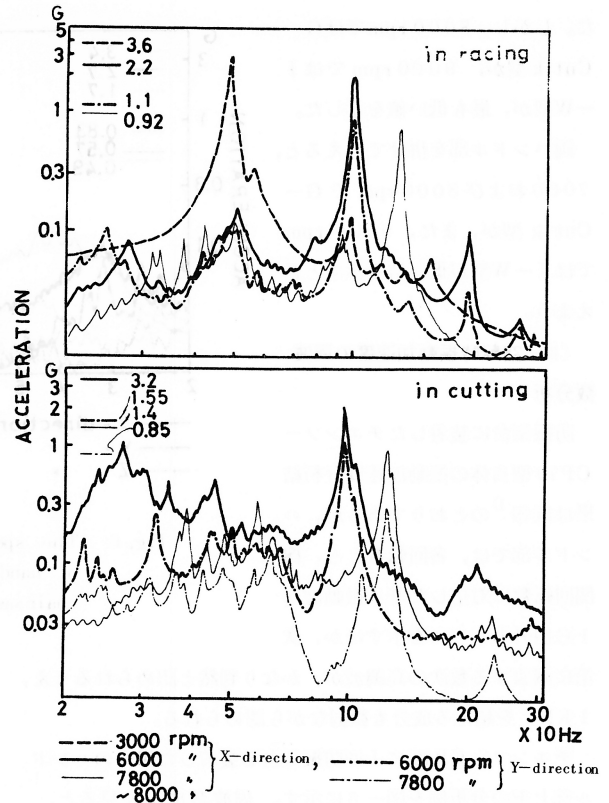


Fig. 8 The spectra of acceleration at upper part of handle bar of G-cut type M.I.V. stand in timber cutting (M_1 , $T=2\%$)

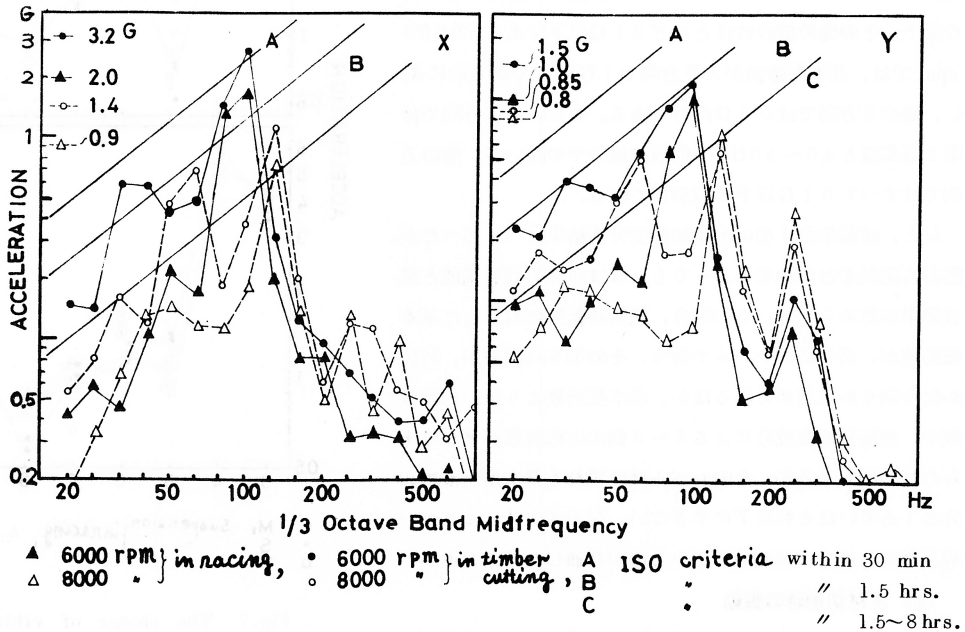


Fig. 9 The evaluation of the vibration at handle bar of M.I.V. stand with the chainsaw CP 70 by the ISO proposal.

総合値の変動に対応して基本振動波のレベルが、わずかに上下するほか、木材切削により強調される、基本振動波より低い周波数帯域の成分が、高いレベルを示すけれども、高調波成分は微弱である。これら木材切削時振動を3分1オクターブバンド分析し、「ISO暴露限界」に照らしてみたのが図-9である。空転時および木材切削時とも、約8000rpmで1.5時間以内の連続暴露が一応の許容限度となる。

以上の周波数分析結果からみても、切削時回転数を7~8000rpmと高めの方に保つようにすることが「局所振動に関する暴露基準」に対して安全を期し得る方向である。

B 防振架台装着チェンソーの揺動性と作業性

チェンソーのソーチェン案内板は、それ自体ある程度の可撓性を持っている。ハンドル部を固定した場合は、ハンドル固定部を基点としたチェンソー本体の撓み加わる。

防振型チェンソーでは、防振効果を高めるためにバネ定数の小さい防振ゴムを使用するため、案内板自体の可撓性が変わらないにもかかわらず、本体のハンドル部に対する揺動性が増加して、著しく可撓性を増したような結果になる。したがって、作業時の案内板の揺動可能域が大きくなり、作業者に不安感を与え、作業性が劣るという指摘が生ずることになる。

古来使用されてきた手挽鋸は、可撓性の鋼板からなり、揺動するが、軽量であるから、揺動による作業の不安感 は起こりにくい。しかし、チェンソーは重量が大きいので、揺動を抑制しつつ安全に作業するためには、作業者の注意力和肉体的負担を集中する必要が生ずる。したがって、チェンソー案内板部の揺動性の大小が、チェンソーの作業性を評価する1因子とされ得るのである。

そこで、チェンソー・ハンドル部に対する本体および鋸部の揺れ幅の割合を示すものとして揺動率を、また、単位の揺れ幅(変位)を生ぜしめる力を揺動定数(Kc)とし、チェンソーの作業性を示す一指標とした。

(i) 揺れ幅の測定

チェンソーのハンドル部を固定し、ソーチェン案内板の有効長先端部を、案内板に対し直角に上下および左右方向に、それぞれ3kgの張力で牽引した場合の案内板中心線の静止位置からの撓み量を計測する(表-1の図参照)。上・下および左・右の撓み量(Su, Sd; Sℓ, Sr)のそれぞれの合計を上下および左右方向の揺れ幅とし、ハンドルバー中央位置から、案内板有効長前端までの長さ(b)に対する割合と、揺動定数(Kc)を次のようにして求めた。

$$\text{揺動率} \quad \text{上下方向} \quad \frac{S_u + S_d}{b} \times 100$$

$$\text{左右方向} \quad \frac{S_\ell + S_r}{b} \times 100$$

$$\text{揺動定数(Kc)}; \text{上下方向} \quad k_{c.v} = \frac{3 \times 2}{S_u + S_d}$$

$$\text{左右方向} \quad k_{c.h} = \frac{3 \times 2}{S_\ell + S_r}$$

(ii) 結果と考察

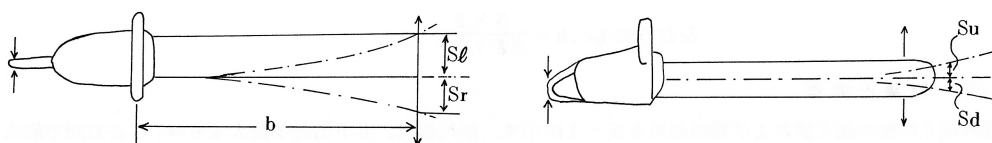
揺れ幅その他の測定値および算出結果を表-1に示す。揺れ幅は、上下方向で最大4.6cm、左右方向で最大11cmで、一般に上下方向より左右方向で大きい。

固定形ハンドルバー付無防振型チェンソーは、上下方向の揺れ幅が零であるが、左右方向では4~6%の揺動率を示す。もちろん、チェンソーの構造の違いもあるが、主として案内板の剛性の違いによって差が生ずるものである。

防振型チェンソーでは、機関本体とハンドル部の間に向らかの形で、防振ゴムを介在させているので、一般に、揺れ幅が無防振型より大きい。ただ、スチール041AV型では、上下方向でほとんど無視し得る値であるばかりでなく、左右方向でも揺れ幅が小さく、揺動定数が大きくて、無防振型に匹敵し、作業性も高いことを示した。

Table 1 The swaying and bending coefficient of chainsaw

test chainsaw	site		swayed and bended width			swaying and bending rate		swaying and bending coefficient	
	b	Su	Sd	S ℓ	Sr	u-d	ℓ -r	Kc. v	Kc. h
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(%)	(%)		
without vibration isolator									
Mac.2-10	54.5	0	0	1.7	1.8	0	6.42	—	1.714
Hg. 65	51.0	0	0	1.1	1.5	0	5.40	—	2.308
D. A303	46.0	0	0	1.0	1.0	0	4.35	—	3.000
vibration isolating type									
Hg. 180 S	48.0	1.3	1.1	1.5	1.8	5.00	6.88	2.50	1.818
"	51.0	1.5	1.3	1.7	2.1	5.49	7.65	2.14	1.579
S. 041 AV	55.0	0.1	0.1	1.7	1.3	0.00	5.45	30.00	2.000
M. CP70	53.0	1.1	1.4	2.0	3.0	4.72	9.43	2.40	1.200
M.I.V. stand type (M. CP 70)									
I-type	53.0	1.4	1.3	2.8	3.0	5.09	10.90	2.20	1.035
	54.5	1.7	1.8	3.2	3.1	6.60	11.56	1.71	0.950
	63.0	1.8	1.9	4.2	4.4	5.87	13.65	1.62	0.698
I-W type	53.0	1.9	1.8	2.8	3.1	6.98	11.13	1.62	1.017
	54.5	—	—	2.8	3.2	—	11.01	—	1.000
	63.0	2.2	1.9	3.7	4.7	6.51	13.33	1.46	0.714
I-2W type	53.0	2.4	2.0	3.1	4.1	8.30	13.58	1.36	0.833
	54.5	—	—	3.1	3.6	—	12.29	—	0.895
	63.0	2.1	2.5	5.7	5.5	7.30	17.78	1.30	0.536
G-Cut type	54.5	—	—	3.4	3.5	—	12.66	—	0.969
	63.0	—	—	4.6	4.6	—	14.60	—	0.651
G-Cut.k.type	53.0	1.3	1.0	2.5	2.4	4.34	9.25	2.60	1.225
	54.5	1.1	1.4	2.3	3.4	4.91	10.46	2.30	1.052
	63.0	1.4	1.5	3.8	4.1	4.60	12.54	2.06	0.760



防振架台付防振型チェーンソーでは、多重防振構造となるため、揺れ幅は防振型チェーンソーより一層大きく、揺動定数も小さい。しかし、グリップカット改良型は、揺れ幅が両方向ともやや小さく、揺動定数もやや大きくなっていて、防振架台型の中では、揺れに対する抵抗が最も大きい。その値は、防振架台に装着するCP70チェーンソー自体が示す値に近く、それだけ作業性も改善されているといえよう。

4 ハンドル部振動の規制基準

振動障害防止を前提として考えた場合、当然チェンソーは防振型構造を取る。この前提のもとに、チェンソーハンドル部の木材切削時振動の規制について考察する。

まず、防振型チェンソーハンドル部の振動加速度値を、ISO暴露限界(1974)に照らしてみると図-10のとおりである。400~500 Hz 帯以上の帯域では、ほとんどのレベルがISO限界以下にあって、許容限度を左右する周波数成分は、主として20~200 Hz 帯域であると言えよう。したがって、ハンドル部振動の規制の対象は、主としてこの帯域内成分のレベルであるから、規制限界はこれら帯域を含めて考慮すべき周波数帯域とその帯域内各成分のレベル、およびそれらによって生ずる総合値(O.A.)によって示すことができる。考慮すべき帯域成分のレベルとしては、20~250 Hz 帯ではISO暴露限界レベルとし、315 Hz 帯以上については測定値の上限(図-10の点線参照)を取り、この範囲内で各暴露限界に対応した規制限界の総合値を算出した結果、および基本振動波帯の規制基準は表-2のとおりである。この総合値に対する高い周波数帯のレベルの影響は、A基準(30分内連続暴露)では500 Hz 帯まで考慮すれば十分であることを示している。BおよびC基準でも630 Hz 帯以上の成分の影響は低帯域成分の影響より少ない。結局、1日8時間連続暴露が許されるためには、総合値約4.5 G以下、基本振動波が常用6000 rpmでは0.5 G以下でなければならない、きわめて厳しいものとなる。そこで、当面の規制限界としては、B基準の総合値約4.4~6.8 G、基本振動波のレベル6000 rpmで約0.5~1.26 Gにより、実作業連続1.5時間以内とするが、ソ連やスウェーデンの現状を堪案したうえで妥当なものとする。

以上は、往復機械付チェンソーの例であるが、回転機械付チェンソーの例(文献²⁾の図-5参照)では、その振動特性からみて、往復機械のような基本振動波の突出が少なく、防振対策上有利である。しかし、木材切削時は基本振動波を含む木材切削時成分のレベルが高く、結局、規制の対象として残る可能性の強い成分は、前述同様に20~200 Hz 帯域あるいは250 Hz 帯域であることを示している。

したがって、チェンソーハンドル部振動の規制基準としては、総合値のレベルと基本振動波を含む木材切削時成分のレベルに対する限定が必要であり、表-2に示した①、②、③の区分は、防振対策進展の過渡段階を考慮した規制基準を適切に示していると言えよう。

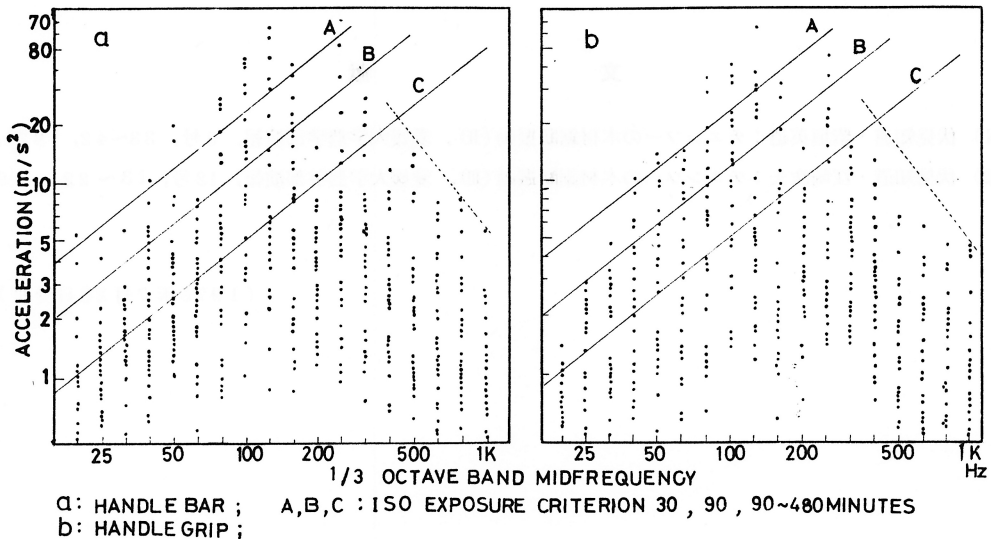


Fig.10 The distribution of the acceleration levels at handle of anti-vibration type chainsaws.

Table 2 Vibration control criterion of chainsaw handle.

$\frac{1}{30}$ octave Band Midfrequency Hz	allowable vibration level and time for the continuity of exposure					
	A (30 minutes)		B (30 ~ 90 min)		C (90 ~ 480 min)	
	dBL	m/sec^2	dBAL	m/sec^2	dBAL	m/sec^2
① 20 ~ 200	139.0	89.1	132.0	39.8	126.0	20.0
② 20 ~ 400	140.7	108.4	136.5	66.9	132.4	41.7
③ 20 ~ 500	140.8	109.6	136.7	68.4	132.9	44.2
20 ~ 630	140.8	109.6	136.8	69.2	133.2	45.7
80	126.0	19.9	120.0	9.9	112.0	3.9
100	128.0	25.1	122.0	12.6	114.0	5.0
125	130.0	31.6	124.0	15.9	116.0	6.3
160	132.0	39.8	126.0	19.9	118.0	7.9

$$\text{dBAL: vibration acceleration level } 20 \log_{10} \frac{a}{a_{\text{ref}}}$$

$$a: (\text{m}/\text{sec}^2, \text{ or } G), \quad a_{\text{ref}}: [10^{-5} \text{ m}/\text{sec}^2 (\text{rms})]$$

5 お わ り に

防振架台付チェーンソーの性能を検討した。両ハンドル部を合せ考えると、グリップカット改良型は、7000~8000 rpm で振動の影響も少ないうえ、ハンドル間隔や揺動性の改善による作業性の向上が認められる。しかし、チェーンソーハンドル部振動をISO暴露基準に照らし検討した結果はきわめて厳しく、防振対策を前提とした今後のチェーンソーとしては、往復機械型から回転機械型へ、さらには手持運搬型から、車載型伐採機の方へ進まなければならぬであろう。

文 献

- 1) 伏見知道・紫垣英道：チェーンソーの木材鋸断振動(Ⅱ)。愛媛大学農学部演報，8号，33~42，1971。
- 2) 伏見知道・江崎次夫：チェーンソーの木材鋸断振動(Ⅲ)。愛媛大学農学部演報，12号，13~22，1975。

(1975年7月28日受理)