機械・作業者システムの解析について

特に農業機械の振動と騒音の分析

東海近畿農業試験場：小堀乃・山川勇・倉田久治

Osamu KOBORI, Isamu YAMAKAWA and Hisaharu KURATA:

On the Analysis of Machine-Worker System—Analysis of
Vibration and Noise Generated by Agricultural Machinery.

農作業の快適性は、作業環境によっても影響され、そのような影響のなさを作業環境の快適性とすれば、それを支配する主な要因の計測と解析が必要である。作業環境の快適性の計測には、作業機械が作業者に与える影響、そのような影響を作業者がどのように受けとめるかという相互関連性をひくくめて考えねばならぬが、そのような相互関連性をここでは、かりに「機械・作業者システム」と呼ぶことにする。このような機械・作業者システム解析のための要因として、従来から、騒音と振動が問題とされている。騒音については、Suggs (1969)氏、Bellinger (1961)氏が、その重要性を述べているところであり、Hutchings and Vasey (1964)氏、Shambaugh (1966)氏は、トラクタの騒音が作業者の聴力をうばう場合のあることを明らかにしており、各種農業機械騒音の実態については、Matthews (1968)氏によつて詳細に検討されている。振動については、Matthews

(1964-a, 1964-b, 1965, 1966)氏がトラクタの乗心地という観点から検討し、Suggs (1969)氏は振動数と振動加速度の両面から検討している。また、機械の振動の人体への伝導については、藤井 (1970)氏がチエンソーに生ずる振動の人体各部位への伝導について、振動加速度ならびに振動加速度の周波数の分析を行ない、伝導振動加速度周波数が、作業者の手—腕—肩系の共振振動数の範囲にあることを明らかにしている。筆者たちも、農業機械の騒音と振動についての簡単な測定と、測定結果の解析を試みているので、その結果の概要について報告する。

1. 農業機械の騒音

1) 測定法

指示騒音計 (NM-13型) を用いて、ダイナミックマイクロフォンが感受する騒音レベルをdB (ホン) の単位で測定した。騒音レベルはJIS Z

第1表 農業機械の騒音

作 業	作 業 機	出 力 PS	騒 音	
			マフラー 附 近	オペレー ター耳元
耕耘作業	牽引型耕耘機	3	102	84
	兼用型耕耘機	6	104	92
	中型トラクタ	17	101	93
	大型トラクタ	40	93	90
収穫作業	バインダー	4	102	91
	自脱型コンバイン	28	94	88
	普通型コンバイン	35	100	97
	"	50	94	86
移植作業	田植機 A	3	117	86
	" B	3.5	113	89
	" C	3	105	87
	" D	1	109	92
	" E	1.7	104	91
	" F	1.7	100	86

8731 - 1966 騒音レベル測定方法を参照して、音の大小に関係なく、A特性（40 phon の等聴感度曲線）に近似して測定した。

2) 農業機械のまわりの騒音

農業機械の騒音は、マフラー附近が最も高く、マフラーから遠ざかるほど減衰する。したがって、作業者の耳もとでの騒音は、マフラー附近の騒音が低ければ低いほど、作業者の耳の位置がマフラーから遠ければ遠いほど低い傾向が認められる。たとえば、作業者の耳もとでの騒音は、多くの場合、マフラー側の耳もとがわずかに高い。農業機械の騒音が、作業者の耳もとに達するまでに、どのように減衰するかを表現する一つの方法として、農業機械のまわりの騒音レベルの分布を測定し、同レベルの騒音を受ける点がどのような位置に並んでいるかを示すことが考えられる。それが、等騒音線図と呼ばれているものであり、1例としてある大型トラクタのまわりの等騒音線図を示せば、第1図のとおりである。

第1図の測定点の間隔は2mとし、その間では距離と騒音レベルとは近似的に逆比例するものとして、等騒音線を作図した。等騒音線図は左方（マフラー側）および前方にひろがり、右方および後方がつまった形を示し、特に真後方向は独特の凸凹を示すことが認められ、農業機械のまわりの騒音レベルの特性を示す指標とできることが推察された。しかし、マフラーから座席までの騒音の減衰は、それほど大きくなく、農業機械から作業者が受ける騒音が、かなり大きいことも推察された。

3) 農業機械から作業者が受ける騒音

そこで、農業機械から作業者が受ける騒音の例として、耕耘機・乗用トラクタによる耕耘作業、田植機による移植作業、および収穫機による水稻および小麦収穫作業中の騒音について測定した結果は第1表のとおりであつた。測定したすべての機械において、騒音のレベルは80 dB 以上であった。

2. 農業機械の振動

1) 測定法

振動の測定には2種類の方法を用いた。第1の方法は、チタン酸バリウム型振動ピックアップで振動を受感し、振動加速度を指示することができる振動

第2図 耕耘機のエンジン回転数と振動加速度との関係

第2表 農業機械の作業者に与える振動加速度

作業	機械	馬力	ハンドル振動加速度
耕耘作業	牽引型耕耘機	3	5
	兼用型耕耘機	6	10
	中型トラクタ	17	4
	大型トラクタ	40	6
移植作業	田植機 D	1	3
	E	1.7	2
	F	1.7	1

加速度計（柴田化学器械工業式）により振動加速度の平均値を推定する方法であり、第2の方法は、振動加速度測定用トランスジューサーから無線送信機を通じて、テレメーター受信機で受信記録することにより、振動加速度の時々刻々の変化および振動周波数を測定する方法である。テレメーターは2Way Telemeter（フクダエレクトロ式）を用いた。

2) 農業機械の振動加速度

農業機械の振動加速度はエンジン回転速度によって相当大きく変化する場合がある。第2図はその1例であり、エンジン回転速度の増加にともない、ハンドル振動加速度は著しく増加することがみとめられる。同時にハンドルを持つ作業者の手首の振動加速度を測定したが、手首の振動加速度はそれほど増加しない。したがって手首から先の部分が、加速度を吸収する役割をはたしているものと思われる、ハンドルと手首の振動加速度の差は、Gをはるかにこえた値を示した。

3) 農業機械から作業者が受ける振動

そこで、農業機械から作業者が受ける振動の例として、耕耘機、乗用トラクタによる耕耘作業、田植

機による移植作業中のハンドル部振動加速度について測定した結果は第2表のとおりであった。測定したすべての機械において、振動加速度はG以上であった。

3. 騒音・振動の解析

1) 解析法

前述のように、現在農業に利用されている機械の騒音および振動は、通常、決して小さくないが、騒音、振動の発生源は、エンジンおよび動力伝達歯車のみではない。したがって、農業機械の騒音、振動に対して適切な対応策を構ずる場合、その騒音、振動が、どのような発生源から、どのような割合で発生しているかを知る必要がある。そのための一つの方法として、数理的手法による発生源毎の騒音、振動の程度の推定を試みた。

たとえば、3要因からオペレーターに騒音あるいは振動が与えられ、3要因間の相互影響は無視できると考えれば、それら影響は模式的に第3図のように表現できる。

第3図中のa, b, cはそれぞれA, B, C要因からオペレーターに達するまでの減衰を示す係数である。そこで、Aのみ、AとB, AとC, ABCすべて、の4種類の振動あるいは騒音をオペレーターに与えることができれば、それら4者は、それぞれ

$$\begin{aligned} Aa &= r \\ Aa + Bb &= s \\ Aa + Cc &= t \\ Aa + Bb + Cc &= u \end{aligned}$$

第3図 3要因からのオペレーターへの影響

という4種類の数式で表現することができる。r, s, t, uはそれぞれの騒音あるいは一定の方向についての振動加速度の測定値である。これらの式からA, B, Cなどを推定することはできないが、Aa, Bb, Cc, の値は、連立方程式

$$\begin{aligned} 4Aa + 2Bb + 2Cc &= r + s + t + u \\ 2Aa + 2Bb + Cc &= s + u \\ 2Aa + Bb + 2Cc &= t + u \end{aligned}$$

を解くことにより、近似的に推定することができる。

すなわち

$$\begin{aligned} Aa &= \frac{1}{4} (3r + s + t - u) \\ Bb &= \frac{1}{2} (-r + s - t + u) \\ Cc &= \frac{1}{2} (-r - s + t + u) \end{aligned}$$

から推定することができる。

同様に、4種類の情報について、

$$\begin{aligned} Aa &= r \\ Aa + Bb &= s \\ Aa + Cc &= t \\ Aa + Bb + Cc &= u \\ Aa + Bb + Cc + Dd &= v \end{aligned}$$

からAa, Bb, Cc, Ddをもとめることができる。

すなわち

$$\begin{aligned} Aa &= \frac{1}{4} (3r + s + t - u) \\ Bb &= \frac{1}{2} (-r + s - t + u) \\ Cc &= \frac{1}{2} (-r - s + t + u) \\ Dd &= \frac{1}{4} (r - s - t - 3u + 4v) \end{aligned}$$

から推定することができる。

2) 解析例

たとえば、自脱型コンバインの座席振動加速度の発生源には、エンジン(E), 走行部(W), 刈取脱穀部(C), 刈取脱穀作業によって作物からうける力(H)が考えられる。そして、これらの発生源からの振動加速度は、独立に座席(S)に伝達するものとすれば、発生源の大きさと伝達中の減衰率と

第3表 自脱コンバイン座席の振動加速度

記号	運 転 操 作 の 内 容
r	停止状態でエンジンのみ作動
s	刈取脱穀部を作動せず前進
t	停止状態で刈取脱穀部作動
u	作物のない状態で刈取脱穀部を作動して走行
v	刈取脱穀作業中

第4表 推定値と推定誤差

記 号	測 定 値	推 定 値	誤 差
r	1.0	0.6	0.4
s	2.0	2.4	0.4
t	1.0	1.4	0.4
u	3.5	3.2	0.3
v	4.3	4.4	0.1

に分けて推定することはできないが、座席振動加速度をどのように分担しているかは推定することができる。したがって第3表に示した種類の運転操作を行えば、E, W, C, Hに関する5種類の実験式に相当する振動加速度を実測することができる。

第3表の5種類の運転操作の結果得られた実測値を実験式にあてはめれば、

$$E = 1.0 \quad (= r)$$

$$E + W = 2.0 \quad (= s)$$

$$E + C = 1.0 \quad (= t)$$

$$E + W + C = 3.5 \quad (= u)$$

$$E + W + C + H = 4.3 \quad (= v)$$

であるから、E, W, C, Hは、

$$E = \frac{1}{4} (3r + s + t - u) = 0.6$$

$$W = \frac{1}{2} (-r + s - t + u) = 1.8$$

$$C = \frac{1}{2} (-r - s + t + u) = 0.8$$

$$H = \frac{1}{4} (r - s - t - 3u + 4v) = 1.2$$

のように推定することができる。このようにして推定したE, W, C, Hに関する推定値から算出したr, s, t, u, vの値と、実測値とを比較すれば第4表のとおりである。

第4表に明らかなように、若干の推定誤差はともなうが、かなり明瞭に、座席振動加速度の垂直方向成分を、各発生源からの分担値に分割できる。このような分析により、自脱コンバインの座席振動におよぼす走行部の影響が、全発生源の40%を占めていることがわかる。

この解析法は騒音にも適用でき、いろいろな農業機械作業における、機械・作業システムの解析のための効果的な手段と考えられた。

4. 摘 要

作業環境の快適性について、作業機械が作業者に与える影響と、そのような影響を作業者がどのよう

に受けとめるかという相互関連性、すなわち「機械・作業システム」としての解析法について検討した。

農業機械のまわりの騒音、および農業機械から作業者が受ける騒音について測定した結果、農業機械の騒音はマフラー附近が最も高く、真後方向に独特の減衰を示すが、作業者の耳もとでの騒音のレベルは、測定したすべての機械において80 dB(ホン)以上であった。

農業機械の振動加速度、および農業機械から作業者が受ける振動について測定した結果、農業機械の振動加速度はエンジン回転速度によって変化するが、作業者の手首の振動加速度はほとんど変化せず、手首から先の部分が加速度を吸収するものと思われたが、測定したすべての機械において、ハンドルの振動加速度はG以上であった。

農業機械の騒音および振動を、発生源毎の分担値に分割するための、数的手法について検討し、自脱型コンバインの座席振動加速度の垂直方向成分を、実際に分析し、機械がどのようにして作業者に振動を与えるかについての解析を試みた。

5. 引 用 文 献

- 1) Bellinger, P.L. (1969): Man-machine compatibility. Agr. Eng. 50: 17~21.
- 2) Matthews (1964): Ride confort for tractor operators. I. Jour. Agr. Eng. Res. 9: 3~31.
- 3) 全 上 (1964): 全上 II. Jour. Agr. Eng. Res. 9: 147~158
- 4) 全 上 他(1965): 全上 III. Jour. Agr. Eng. Res. 10: 93~108
- 5) 全 上 (1966): 全上 IV. Jour. Agr. Eng. Res. 11: 44~57
- 6) Suggs, C.W. (1969): To utilize human engineering principles in agriculture. Agr. Eng. 50: 402~410.
- 7) 藤井禧雄 (1970): チェンソー振動の人体への伝導について、京大演習林報告 41: 137~143.