

Research Reports of the Research Institute
of Industrial Safety, RIIS-RR-92, 1993
UDC 534.323:534.61:534.83

衝撃型建設工事用機械（油圧式ブレーカ等）の
低騒音評価法に関する研究*

江川義之**

Evaluation of Noise Control for Impact-Machines
for Construction Work*

by Yoshiyuki EGAWA**

Abstract; It is well known that the noise emitted from various impact-machines for construction has a bad influence on machine operation by workers. It has been, therefore, generally carried out to decrease the noise for these impact-machines as the countermeasure of noise control. The noise of these machines consists of two components. One component is the noise which is caused by concrete crushing (hereinafter referred to as "crushing noise") and the other is the noise which is generated from machine's body by the vibration of hitting concrete (vibration noise). These noises emanate nearly at the same time, and the fluctuation of crushing noise for a variety of concrete hardness has a large effect on the vibration noise.

The most common method of noise control for these machines is to use a high damping material for the machine's body to reduce the vibration noise. However, because of large scatter in vibration noise by the fluctuation of crushing noise due to concrete hardness, it is very difficult to evaluate the effect of a high damping material. This paper deals with the accurate measurement to investigate the effect of these materials by observation of vibration noise under the same condition of crushing noise. The method is as follows;

Hydraulic concrete breakers were chosen as the examples of impact-machines used in construction work. The noises emitted from many types of breakers were recorded in magnetic tapes. The duration time of crushing noise wave and that of vibration noise wave were examined from these tapes. By using the oscilloscope with memories, it was clarified that the duration times of crushing and vibration noise were about 5 ms and 50 ms respectively, and it was found that the amplitude of noise wave in one breaker's hitting cycle was decreased exponentially. These noise waves were transferred from the oscilloscope to the computer. RMS^{*1)} value of crushing and vibration wave was calculated using the computer. These results were shown with the correlation figures. In the case of the noise controlled type breaker, a good correlation between RMS value of crushing wave and that of vibration wave was obtained. As the result of the correlation tests, "r" value was more than 0.6 and this value was significant in the noise controlled cases.

Further, a noise comparison simulating system has been developed. This simulating system

*1992年5月31日 日本人間工学会第33回大会において一部発表

**機械研究部 Mechanical Safety Research Division

*1) Root Mean Square の略；二乗平均を開平方した値

was capable of making noise comparison between noise controlled breakers and standard type breakers under the same condition of concrete hardness.

Keywords; Noise Control, Impact-machine, Damping Material, Crushing Noise, Vibration Noise

1. 緒 言

当研究所において「建設工事用小型圧縮空気機械(コンクリートハンドブレイカ)の低騒音化に関する研究」^{1,2,3)}を行ったことがあるが、この研究において次の問題点が指摘された。

低騒音化過程において本体振動音を低下させる際、コンクリート硬度等における破砕衝撃音の変動が激しく本体制振効果が判明しにくい。即ち、チゼルがコンクリートを破砕する時の衝撃の反作用が本体を振動させ騒音が発生する。この本体振動音を低下させるため制振金属並びにパッキング等を使用するわけであるが、コンクリート硬度、チゼルとコンクリートの接触角度等の相違による衝撃の反作用が1衝撃周期ごとに異なり、そのため本体振動音が変動し、ある箇所にパッキングを行うことによる防音効果が改良初期において極めて判明しにくい問題点が指摘された。

さらに、標準型(防音処理を施していないもの)と防音型ブレイカを比較する際にも同様の問題が生じ、特に実験日が異なった場合、コンクリートの性状等により破砕衝撃の反作用が異なり、全く同一の条件において標準型と防音型ブレイカの騒音比較を行うことが出来ない点が指摘された。

本研究の目的として上記問題点を解決するために次に示す3点を検討した。

1. コンクリートブレイカの低騒音化は本体振動音の抑制化にある³⁾が、破砕衝撃波形の変動と本体振動波形変動の関係を定量的に明らかにし、本体振動音の抑制効果を評価する手法について検討する。
2. 標準型と防音型ブレイカの騒音比較を行う際において、破砕衝撃の反作用が同様の条件下、即ちコンクリート硬度等の相違による影響を受けない条件下において騒音の聴き比べが可能な騒音比較シミュレーション装置を試作する。
3. 数種類の防音型ブレイカを試作し騒音評価実験を行う場合、破砕するコンクリート硬度に硬い条件と脆い条件を設定し、どの条件が本体振動音の抑制効果を聴覚で判明しやすいかを実験で明らかにする。

2. 油圧式ブレイカの騒音波形

2.1 油圧式ブレイカ騒音計測

実験に用いた油圧式ブレイカはマツダアステック株式会社のTHBB70型(重量87kg, 全長960mm Fig. 1参照)であり、これを建機台車ヤンマーYB10に乗架し騒音計測を行った。

Fig. 2に油圧式ブレイカの騒音波形を示す。観測条件はブレイカより2mの地点で、エレクトレットコンデンサーマイクロホンにウォークマン・プロフェッショナルを接続しコンクリート破砕状況を録音した波形を、デジタルオシロに掃引したものである。さらに同地点において音圧レベルを計測するとA特性で100~106dB(A)を示した。

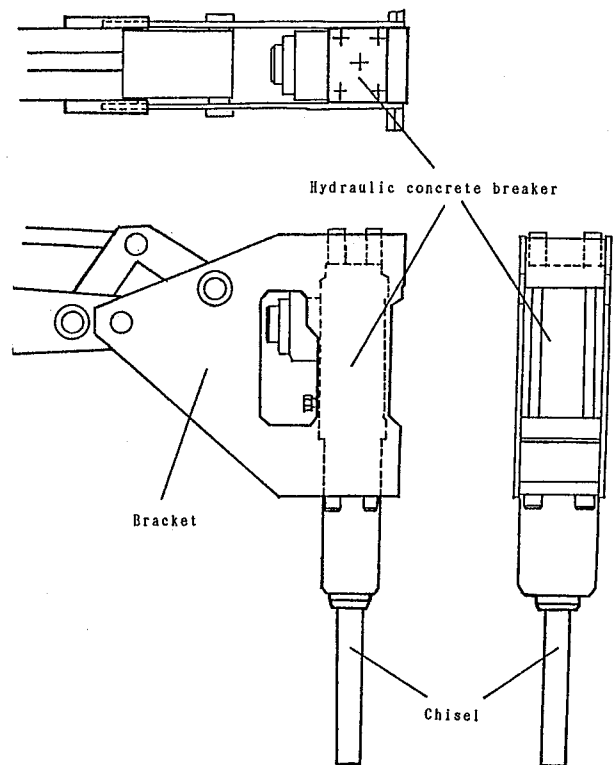


Fig. 1 Hydraulic concrete breaker with bracket
油圧式コンクリートブレイカ(ブラケット付)

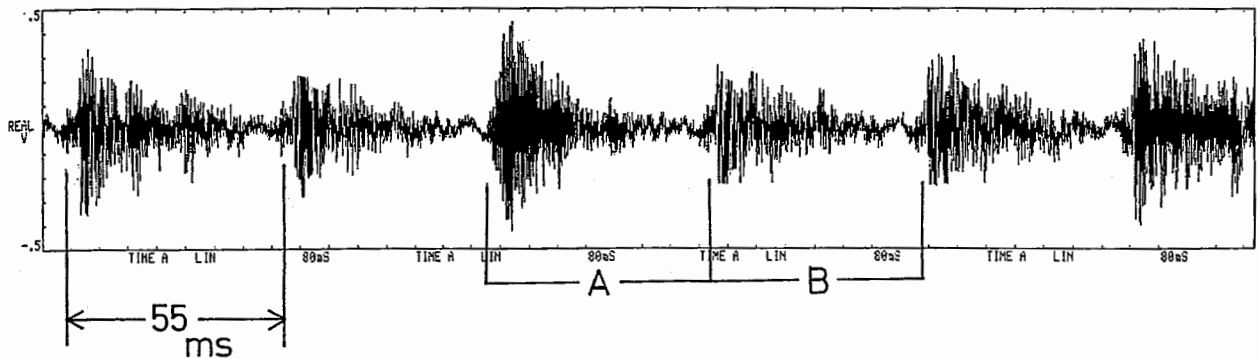


Fig. 2 Noise wave emitted from hydraulic concrete breaker
油圧式ブレーカの騒音波形

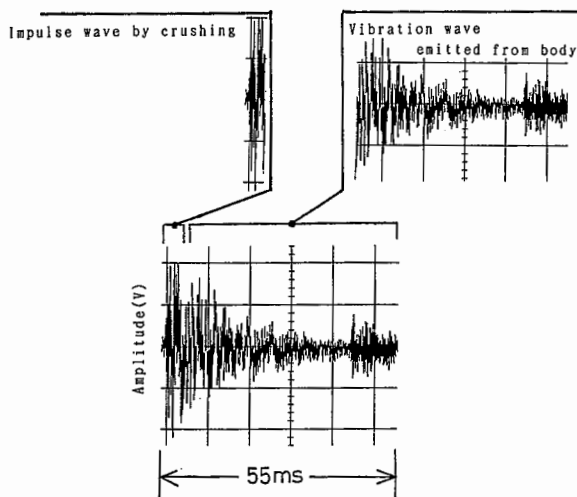


Fig. 3 Impulse wave & vibration wave in breaker's impulsive cycles
ブレーカ衝撃周期における破碎衝撃波形と本体振動波形

Fig. 2 によると、油圧式ブレーカの打撃数は 1100 b.p.m 程度であり、約 55 ms 周期で破碎衝撃を繰り返す、さらに 1 周期ごとの波形にかなり変動のあることが示されている（例えば図中 A と B の周期において）。

油圧式ブレーカの騒音波形は、チゼルがコンクリートを破碎する時の「破碎衝撃波形」と、その反動がブレーカ筐体を振動させ放射される「本体振動波形」とから構成され、これら波形の持続時間を調べると、破碎衝撃波形は約 5 ms 本体振動波形は約 50 ms であることが明らかになった（Fig. 3 参照）。前述した 1 周期ごとの騒音波形にかなり変動がある原因は、

第 1 章で言及した如くコンクリート硬度の不均一性等により破碎衝撃波形そのものがかなり変動しており、その影響が本体振動波形にも現れていることによる。

ここで油圧式ブレーカの低騒音化対策を図ることは筐体の振動を抑える⁴⁾こと、即ち本体振動波形の減衰率を高めることである。その際、コンクリート硬度及びチゼルとコンクリート接触角度等という人為的にコントロールしにくい要因により破碎衝撃波形そのものが変動すると、低騒音化対策初期の時点においては、その反作用に影響を受ける本体振動波形の減衰効果が極めて判定しにくい結果となる。

そこでモデル波形を作成し、破碎衝撃波形及び本体振動波形の変動状況と聴覚による減音効果判定との関係を実験により検討した。

2.2 モデル波形を用いたラウドネス実験

油圧式ブレーカ騒音波形は Fig. 4 右下に提示したように指数減衰型を示す⁵⁾。そこでモデル波形として指数減衰型の振幅変調波形を用い、その最大振幅値をコンクリート硬度、変調幅の減衰率をブレーカの振動抑制効果と仮定して実験を行った。即ち、硬いコンクリートを振動抑制対策が採られているブレーカで破碎する条件と、脆いコンクリートを振動抑制対策が採られていないブレーカで破碎する条件を相互に聴き比べた場合、相対的にどちらの条件における騒音が大きく受聴されるか調べることを実験の目的とした。

モデル波形は任意波形発生器で作成した。ブレーカは 2000 Hz 帯域にピーク周波数を有す騒音を発生

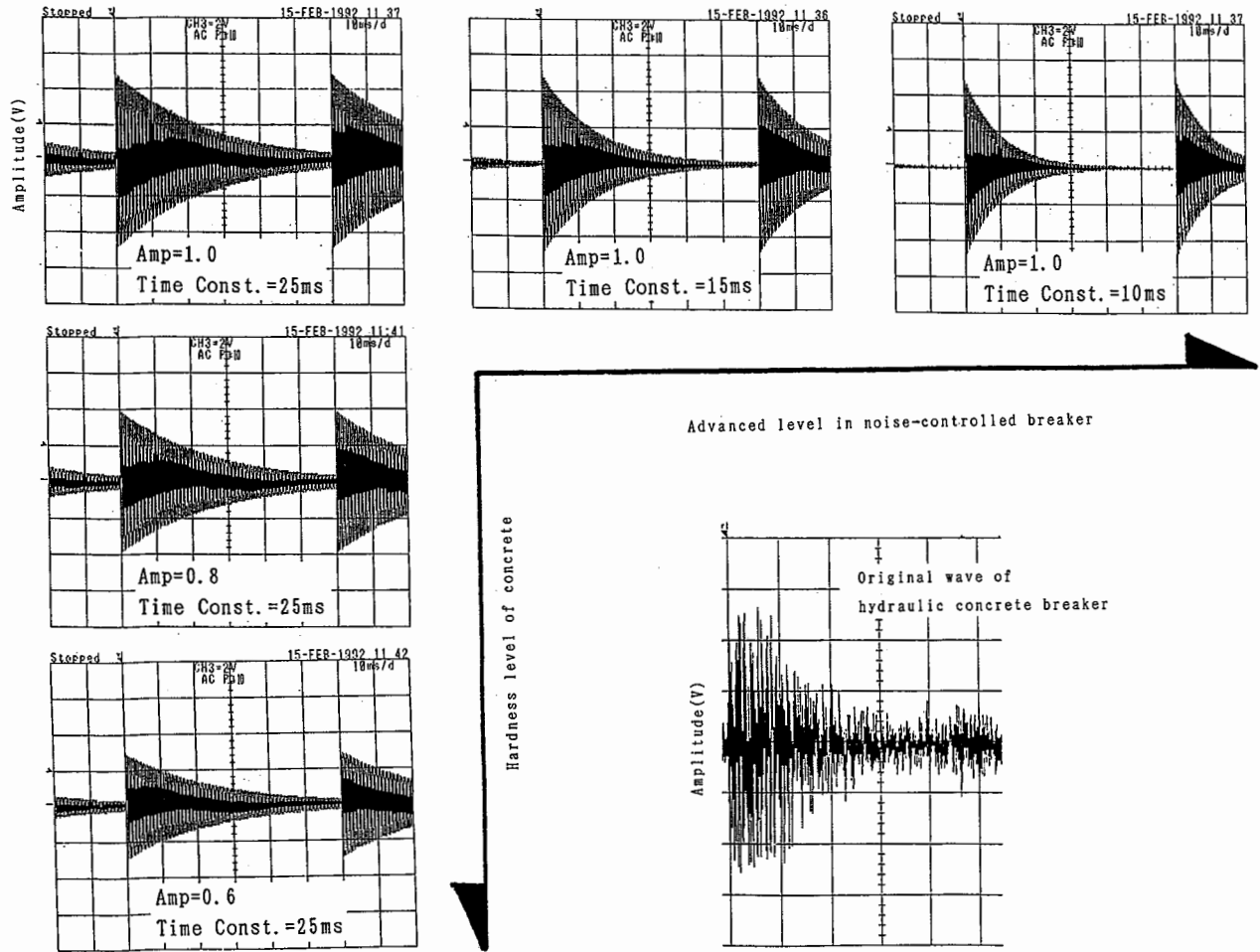


Fig. 4 Model waves used for loudness experiment
ラウドネス実験に用いたモデル波形

する⁶⁾ことを参考に、搬送波として 2000 Hz の正弦波を用い、これに指数減衰型の信号波で振幅変調をかけてモデル波形を作成した。即ち、Fig. 4 に示したように、最大振幅値 (Amp) を 3 水準に変化 (図中縦列; コンクリート硬度に相当) させ、さらに信号波の減衰率 (Time const.) を同じく 3 水準に変化 (図中横行; ブレーカの振動抑制効果に相当) させた波形を作成した。これら 9 種類の騒音波形のラウドネスの相違を、被験者調整法⁷⁾を用いて調べた。被験者調整法とは、Fig. 5 に示したようにモデル波形 A と B のラウドネスを相互に比較する際、これを直接比較することせず、モデル波形と搬送周波数の等しい 2000 Hz 正弦波で比較波形を作成し、この音量を調整することにより、等ラウドネスを調べる方法である。即ち比較波形 C の音量を調整して、モデル

波形 A と同じ大きさ (等ラウドネス) に聴こえた波形を D、さらにモデル波形 B と同じ大きさに聴こえた波形を E とすると、モデル波形 A と B の聴感度上の相対的評価 (以下 Auditory Gain; AG という) は次式で示される。

$$AG_{AB} = 10 \text{ Log } (D \text{ の RMS} / E \text{ の RMS}) \quad (1)$$

モデル波形と比較波形は任意波形発生器よりアナログ変換して出力させ、その際モデル波形の衝撃周期は 60 ms とした。被験者には比較波形の音量をコントロールしながら、スイッチを切り替えさせてモデル波形との等ラウドネスを調べさせた。モデル波形と比較波形の呈示順序、並びにその持続時間による影響を避けるため受聴音の切り替えと調整に要す

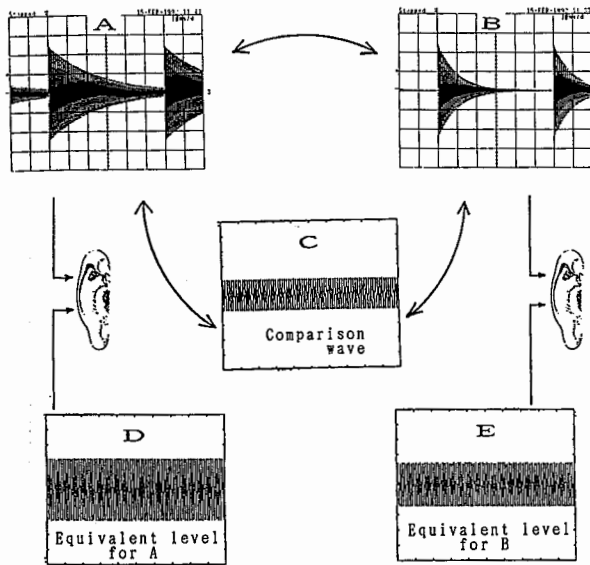


Fig. 5 Experimental method of P.S.E.
被験者調整法による実験

る時間は被験者の任意とした。さらに、調整開始時点においてモデル波形に及ぼす比較波形の影響を避けるため、被験者は比較波形の音量を一度絞り込み、それから音量を増大させることにより調整を行った⁷⁾。なお被験者には正常な聴力を有する（オーディオメータ検査実施）21～43歳の男10名を用いた。

Fig. 6に実験結果を示す。横軸にブレーカの振動抑制効果に該当する信号波の減衰率（Time const.）を、縦軸には9種類のモデル波形において最も小さく受聴されたモデル波形（Time const.=10, Amp=0.6）を0 dBとして、その波形との相対的ラウドネスを示し、そしてパラメータとしてコンクリート硬度に該当する最大振幅値（Amp）を示した。図中○印は全被験者が5回行った平均値をプロットした。

硬いコンクリートを振動抑制対策が採られているブレーカで破碎する条件（Amp=1.0, Time const.=10 ms）と、脆いコンクリートを振動抑制対策が採られていないブレーカで破碎する条件（Amp=0.6, Time const.=25 ms）を相互に聴き比べた場合、相対的にどちらの条件におけるラウドネスが大きく受聴されるか調べることを実験の目的として設定したが、コンクリート硬度のラウドネスに与える影響は大きく、上記した条件の相対的ラウドネスを調べると約0.5 dB程度の相違が生じている。

以上の実験結果より、標準型及び低騒音改良型ブ

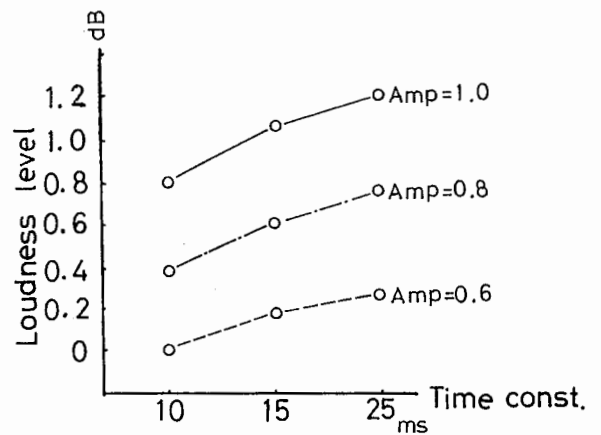


Fig. 6 Relation between loudness level and time constant of artificial wave form at different amplitude
モデル波形の減衰率とラウドネスの関係

レーカの騒音比較を行う場合において、被破碎物等の条件を一定にする必要性が示唆された。

3. 油圧式ブレーカ防音効果評価法

油圧式ブレーカの低騒音化は本体振動音の抑制化である⁴⁾ことについて言及したが、本章においては破碎衝撃波形の変動と本体振動波形の変動との関係を定量的に把握し、本体振動音の抑制効果を評価するための手法について検討した。

本体振動波形はコンクリート破碎時における衝撃の反動の影響を受けるので、ここでは破碎衝撃波形と本体振動波形の変動を散布図上に示すことにおいてそれら波形の関連性を調べた。

方法は次に示す通りである。

- テープレコーダに収録した油圧式ブレーカの騒音波形をメモリ・スコープに取り込む。本器のメモリは64Kあるので、80 msを2048メモリで記憶させた場合、約45衝撃周期の取り込みが可能になる。
- 油圧式ブレーカの騒音波形を1衝撃周期づつメモリスコープからパーソナル・コンピュータに転送し、それを破碎衝撃波形と本体振動波形に分離し（Fig. 3参照）、各々のRMS値を計算する。
- b.の結果について散布図を作成する。

騒音計測条件を一定にすることにより、破碎衝撃波形と本体振動波形のRMSを各散布図上において

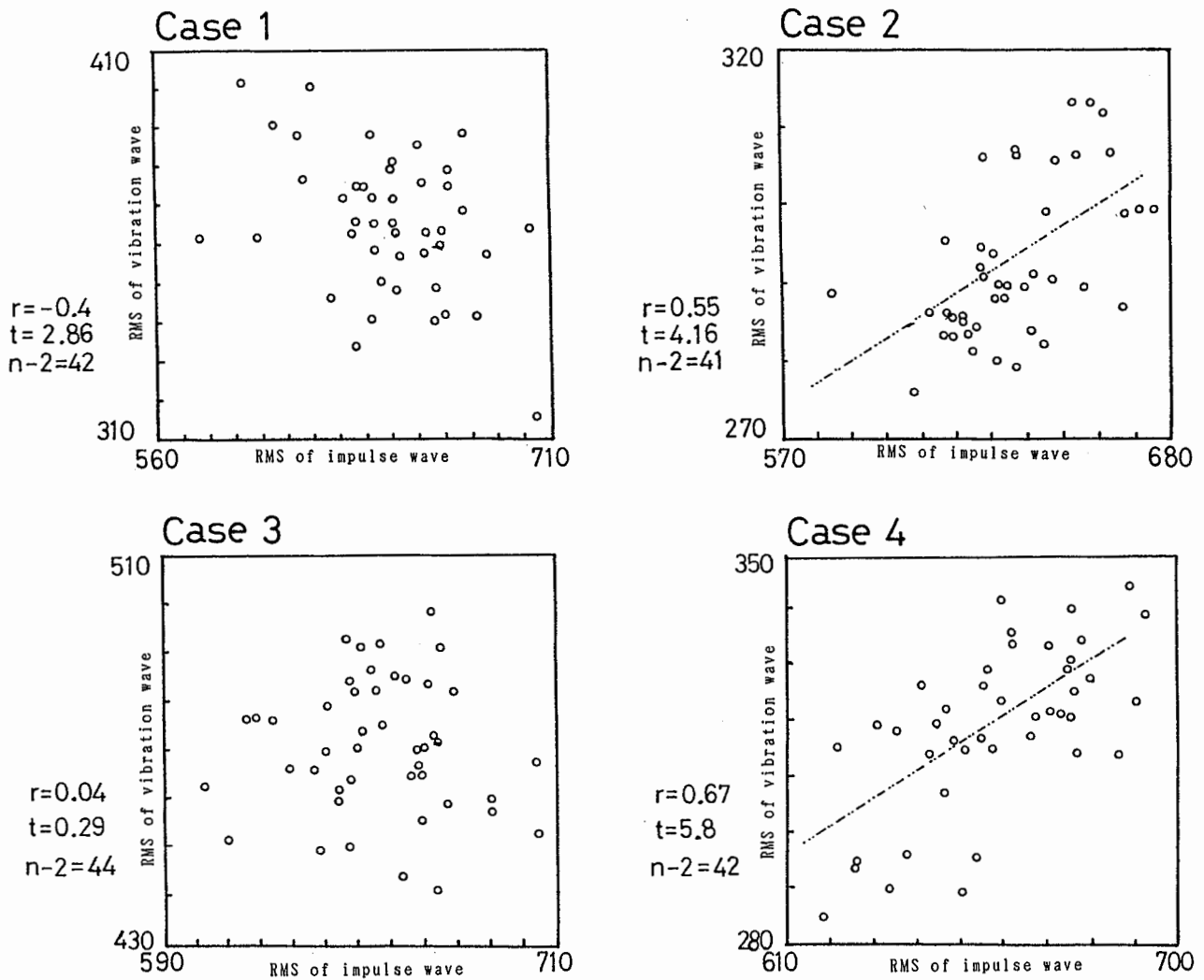


Fig. 7 Correlation between impulse and vibration wave by RMS value
 破砕衝撃と本体振動波形のRMS値の相関関係

相対的に比較することを試みた。計測条件は次に述べる通りである。

打撃圧 130 kg/cm²でコンクリート破砕時の騒音を本体より 2m 離れ、高さ 1.2m のポイントにマイクを設置し計測した。なお、すべての条件において、ブラケット板をブレーカに装着した。

条件 1; 標準型ブレーカ。即ち、全く防音処理が施されていないブレーカ。騒音 105 dB(A)。

条件 2; ブレーカ本体とブラケットの間隙より高周波騒音が発生しているため、この間隙に吸音材(グラスウール)を埋め込み低騒音化を図った。騒音 100 dB(A)。

条件 3; ブラケット内壁面に約 2 mm の鉛シートを貼

付し、ブラケットの振動を抑制した。騒音 103 dB(A) 条件 4; ブラケットと本体の間に防振ゴム板を装着し、さらにブラケット中央部孔にプラスチック製の蓋を取り付け低騒音化を図った。騒音 98 dB(A)

Fig. 7 が上記各条件における散布図であり、横軸に破砕衝撃波形の、縦軸に本体振動波形の RMS 値が示してある。この図によると、破砕衝撃波形の RMS 値は約 600 ~ 700 の間にあることから、各条件ともコンクリート硬度等による破砕に伴う反動はほぼ同程度と考えられる。しかし、その影響を受ける本体振動波形の RMS 値は、相対的に騒音量が低く低騒音化処理が効果を示した条件 2 と 4 においては低く抑制されている(条件 1 と 3 では 330 ~ 500 であるの

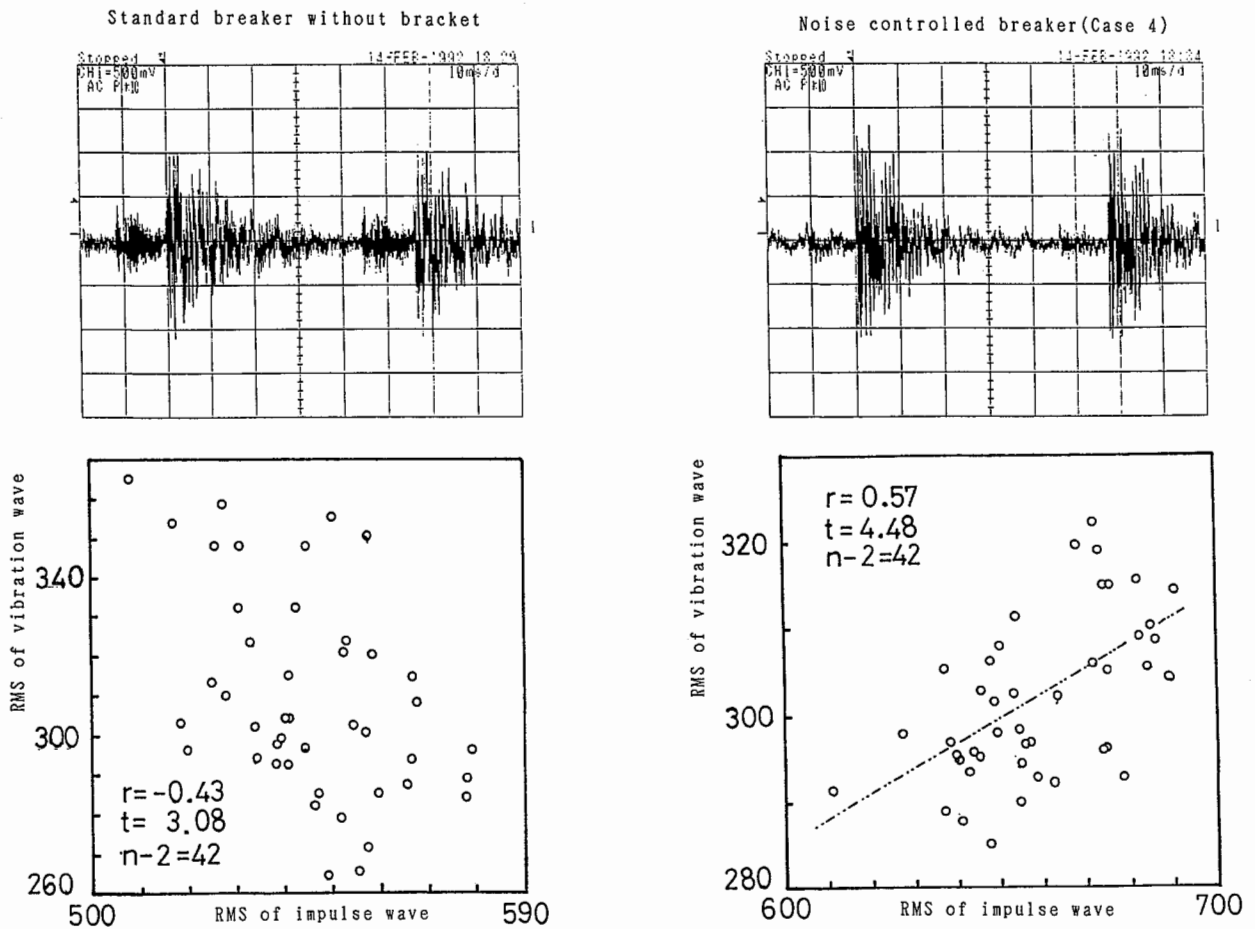


Fig. 8 Comparison of noise waves between noise controlled and non-controlled breaker
低騒音型ブレーカと標準型ブレーカの騒音波形比較

に比較し、条件2と4では280～350)結果が得られた。さらにこれらのブレーカでは、相関係数の r 値が+0.5以上の値を示しており、試料数(ブレーカ打撃回数)と r 値をもとに、相関検定⁸⁾(試料数100以下なので t 検定を用いた)を試みた結果、条件2と4においては $t = 4.2$ と 5.8 の値が得られ、1%の危険率において相関関係があるという結果が得られた。これより、低騒音化のための制振処理が効果を発揮し始めると、本体振動の変動は破碎衝撃変動に比例してくると推測される。

以上の結果より、油圧ブレーカ等の衝撃型工事用機械の低騒音化の効果を定量的に評価する手法のひとつとして、破碎衝撃波形と本体振動波形を分離し、そのRMS値の相関を調べる方法の有効性が指摘された。

ブレーカ騒音は、被破碎物の硬度等の影響を受け

ることについて述べたが、今回の計測において次に示すようなデータが得られた。

Fig. 8 左上の騒音波形は、ブラケットピン及びブレーカ本体とブラケット板の接触騒音を無くす目的でブラケットを外した状態で騒音を測定した波形であり、右上は前記した条件4の低騒音型ブレーカの波形である。これらの騒音は本体から2m離れた地点において、双方とも98～100 dB(A)と同程度に計測された。この測定結果よりブレーカを建機台車に乗架するために必要なブラケットは、騒音源にもなり得る可能性が指摘されるため、それについての検討を行った。

前述した散布図により破碎衝撃波形と本体振動波形のRMS値の関係を調べてみた結果がFig. 8 下段に示してある。これによると、正の相関が低騒音型ブレーカ(右側)には現れているが、ブラケット板を

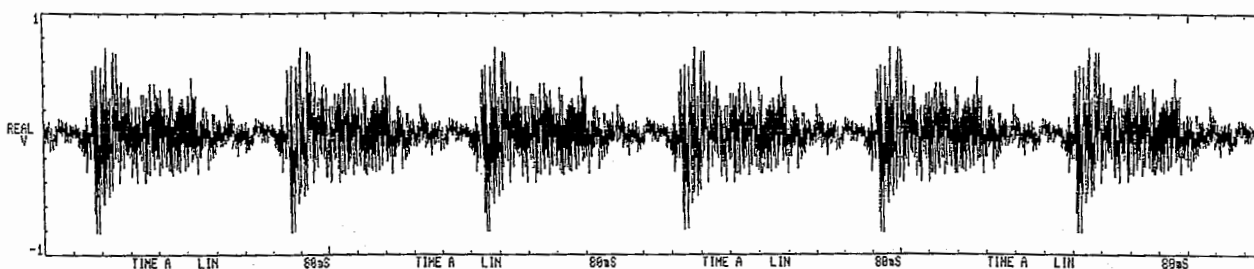


Fig. 9 Noise wave from arbitrary wave generator
任意波形発生器から出力された騒音波形

装着しないブレーカ（左側）では現れていない。さらに破碎衝撃波形の RMS 値が右側に比較し左側は相対的に低い結果が得られている。これより左側の騒音波形はコンクリート硬度等が低い条件下で騒音の測定がなされたものと推測され、その影響を受け本体振動音も低く抑えられ、全体の騒音量が低くなったと考察された。

以上述べたように、破碎衝撃波形と本体振動波形の RMS 値を散布図に示し検討を行うことは、騒音計では得られない情報を提供することが明らかになった。

4. 騒音比較シミュレーション装置

第 2 章 2 節において油圧式ブレーカ等の騒音のラウドネスは、破碎に伴う反動の影響、即ちコンクリート硬度・チゼルとコンクリートの接触角度等の制御不可能な要因の影響を受けることについて言及した。

また第 3 章では、これら要因による変動と筐体の振動との関係を定量的に評価する手法を提示した。

そこで第 4 章においては、破碎に伴う反動がほぼ同程度の状況においてタイプの異なるブレーカの騒音を聴き比べるための騒音シミュレーション装置について述べる。

タイプの異なるブレーカの騒音波形を前章で掲載した散布図で現し、各々について破碎衝撃波形の RMS 値が等しい衝撃周期を捜し出し、その衝撃波形を繰り返し再生すれば騒音の比較が可能であることに着目し、次の方法を検討した。

- テープレコーダに収録したタイプの異なる油圧式ブレーカ (Type 1 と Type 2) の騒音波形をメモリ・スコープに取り込み、それぞれの波形をディスクに記録する。
- 各騒音波形を 1 衝撃周期ずつディスクからパーソナル・コンピュータに転送し、破碎衝撃波形

と本体振動波形の RMS 値を計算する。その際、衝撃周期番号とメモリ・スコープ上のアドレスの対応付けを図る。

- b. の結果について Type 1 と Type 2 の散布図を作成（散布図上の点に衝撃周期番号を印す）し、各々について破碎衝撃波形の RMS 値の等しい衝撃周期番号を捜し出す（図中●点、RMS=630）。
- 捜し出した衝撃周期の騒音波形を各々任意波形発生器の各チャンネルに転送し、その周期波形を繰り返し再生させることにより騒音比較を行う。

Fig. 9 は上記方法において任意波形発生器から出力された騒音波形であり、Fig. 2 と比較すると各衝撃周期の波形が同じ形態で再生されている。

以上述べた騒音比較シミュレーション装置のブロック図を Fig. 10 に示す。

5. コンクリート硬度とラウドネスの関係

ブレーカの低騒音化は筐体の振動を抑制することにあるが、その際コンクリート硬度等による破碎に伴う反動のバラツキが激しく、本体振動波形の抑制効果が判明しにくい。そこで第 4 章では、騒音比較シミュレーション装置を考案し、破碎に伴う反動の均一化を図ることを試みた。本章では、この装置を用いて次に述べるラウドネス実験を行った。

即ち、防音型ブレーカを試作し、標準型（防音処理を施していないもの）との騒音比較を現場で行う際、破碎するコンクリートの硬度が硬い場合と脆い場合について、どちらの方が本体振動音の減音効果が聴感度上明らかになるかについてのラウドネス実験を行った。

実験条件が Fig. 11 に示してある。横軸は破碎衝撃波形の、縦軸は本体振動波形の RMS 値であり、グラフ上部の点集合は標準型の、下部は防音型の波形

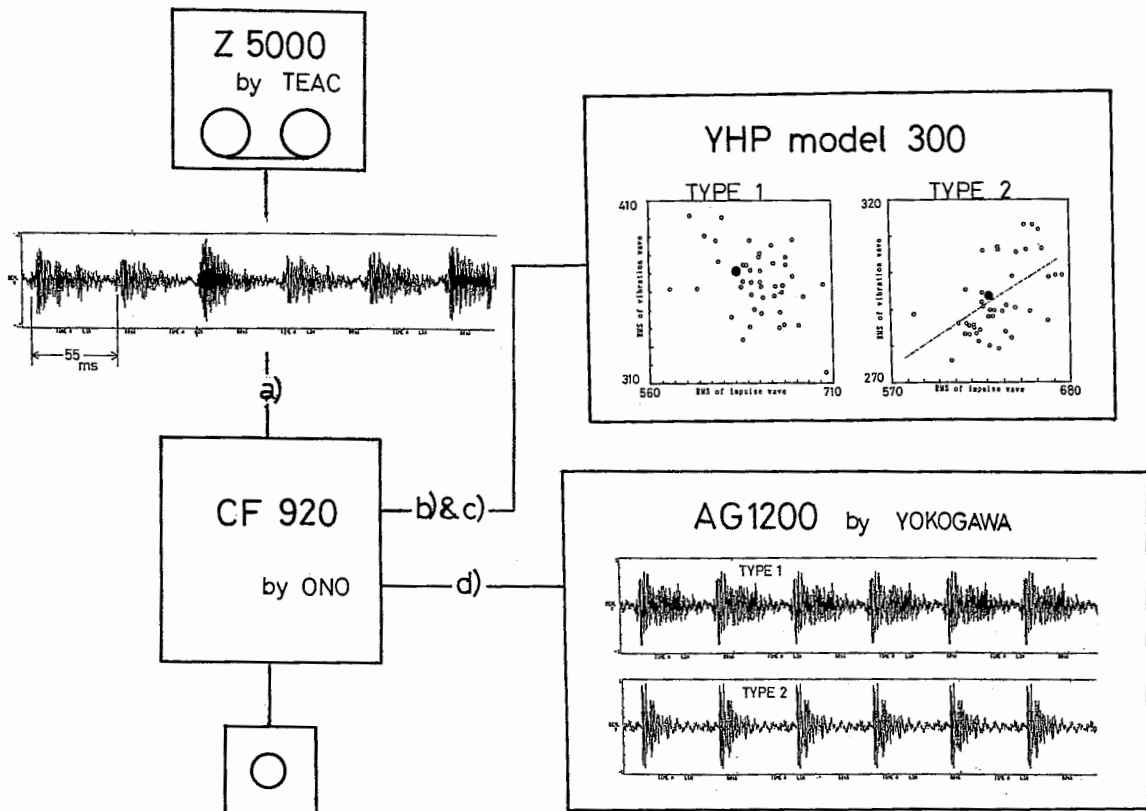


Fig. 10 Block diagram of noise simulation system
騒音比較シミュレーション装置

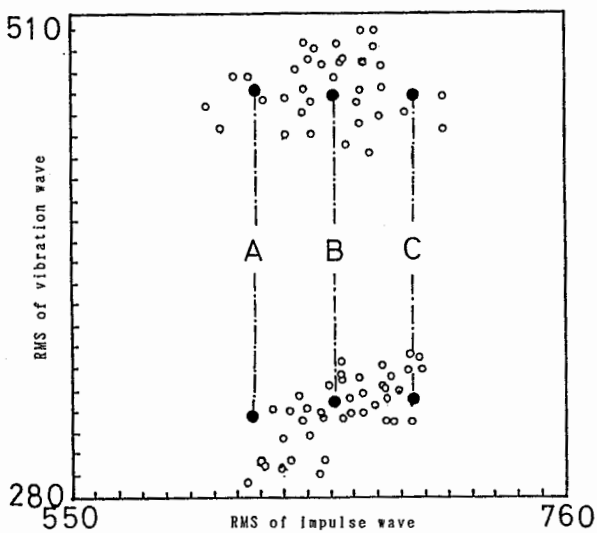


Fig. 11 Condition of impulse wave for loudness experiment
ラウドネス実験における破砕衝撃波形の条件

がプロットされている。ここで破砕衝撃波形の RMS 値を A・B・C (C が最も硬いコンクリート、即ち破砕に伴う反動が強い) の 3 レベル設定し、本体振動波形の RMS 値はほぼ等しくなる点を標準型・防音型よりそれぞれ 3 点を選び出し (図中●点)、前章で述べた方法によりこれら各波形を繰り返し再生させて、3 条件において標準型と防音型の騒音比較実験を行った。

実験方法は第 2 章 2 節に述べた被験者調整法を用いており、他の条件においても 2 節と同様にした。またラウドネスレベルとしては (標準型/防音型) の対数を 10 倍した値を用いた。

実験結果が Fig. 12 に示してある。横軸は実験条件 A・B・C であり、縦軸はラウドネスレベルである。このグラフによると条件 A において最もラウドネスレベルが高く現れており、これはコンクリート硬度等が低く破砕に伴う反動が小さい場合において、標準型と防音型の騒音の差異が明らかになり、聴覚上においてブレーカ筐体の振動抑制効果が判定しやす

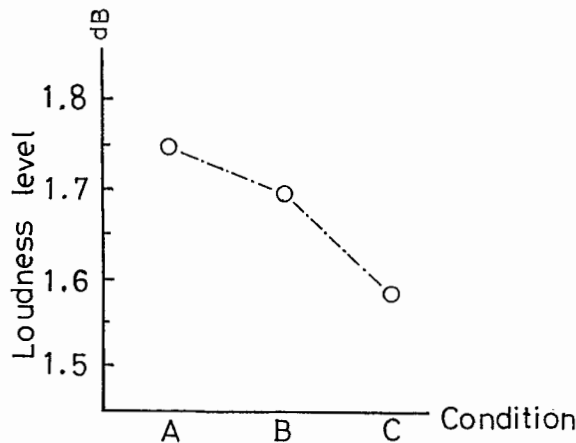


Fig. 12 Relation between loudness level and RMS of impulse wave
 破碎衝撃波形のRMSとラウドネスの関係

い結果を示していると考えられる。

6. 結 語

以上、衝撃型建設工事用機械の低騒音評価法について検討を加えてきたが、それらの大要をまとめると以下のようなものである。

- (1) 衝撃型建設工事用機械の例として油圧式ブレーカを対象として、その騒音波形を観測すると、1衝撃周期ごとの波形の変動が大きい。その原因を「破碎衝撃波形」と「本体振動波形」に分離し検討すると、コンクリート硬度、チゼルとコンクリートの接触角度等に影響を受ける破碎衝撃波形に変動要因があることを明らかにした(第1章)。
- (2) ブレーカの低騒音化は本体振動波形の低減化にある。そこで、破碎衝撃波形と本体振動波形の大きさを变化させたモデル波形を用いてラウドネス実験を行った。その結果、破碎衝撃波形のラウドネスに与える影響は大きく、そのため破碎衝撃波形の均一化を図ることが、本体振動波形の低減化を聴感度上判定するために重要であ

ることを明らかにした(第2章)。

- (3) ブレーカの低騒音評価法として、破碎衝撃波形と本体振動波形のRMS値を散布図で現す方法を検討した。その結果、低騒音ブレーカは本体振動波形のRMS値が低く、相関検定を行うと r 値が正の相関を示すことを明らかにした(第3章)。
- (4) タイプの異なるブレーカの騒音を比較する場合、破碎衝撃の反作用が同様の条件下、即ち破碎衝撃波形のRMS値が等しい条件において、騒音の聴き比べが可能なシミュレーション装置を考案した(第4章)。
- (5) 現場でブレーカの騒音計測を行う場合、被破碎物であるコンクリートの条件は、脆い方が筐体の振動抑制効果を判定しやすいことをラウドネス実験で明らかにした(第5章)。

(平成5年4月30日受理)

参 考 文 献

- 1) 橋内・ほか3名, 建設工事用小型圧縮空気機械(コンクリートハンドブレーカ)の低騒音化に関する研究, 環境保全研究成果集:騒音・振動の防止及び評価に関する総合研究, (1985), pp. 97. 1-16.
- 2) 同上, (1986), pp. 93. 1~9.
- 3) 同上, (1987), pp. 92. 1~10.
- 4) 太田 宏・境 友昭, 建設騒音の測定と予測, (1984), p. 115, 森北出版株式会社.
- 5) 江川義之, 繰り返し衝撃騒音の衝撃周期とラウドネスの関係, 人間工学, 28-1 (1992), pp. 10-11.
- 6) 藤田録郎, ブレーカの騒音対策, 建設の機械化, 通巻320 (1976), pp. 57-60.
- 7) 大山 正, 心理学研究法2 実験II, (1973), pp. 183-188, 東京大学出版会.
- 8) 例えば, スネデガー・コクラン, 統計的方法, (1980), pp. 176-177, 岩波書店.