

(27) 指示特性の違いが騒音計の指示値に及ぼす影響について

山口大学工学部 正○国松 直 山口大学工学部 小嶋直哉
宇部興産(株) 今村 威 山口大学工学部 正 中川浩二

1. はじめに 建設作業において騒音の発生は避け難く、これが住民の苦情の対象となることが多い。特に近年は建設作業用機械の大型化に伴い、その傾向はさらに増加する傾向にあるといえる。建設工事に伴って発生する騒音の規制は昭和43年12月から施行された騒音規制法により実施されている。

一般に、建設騒音の中で高い音を発生すると考えられる発破音やくい打ち機による打撃音はその音が1回だけの場合には衝撃音として、数回にわたり繰り返される場合には分離衝撃音として分類される。

現在、衝撃音の評価に対して明確な規定がなされていないのが現状であるが、次の2つの方法が国際的な流れとなっている¹⁾。その1つは、衝撃音の等価騒音レベルに対する寄与を求めたり、あるいは単発騒音暴露レベル L_{Ae} を求める方法であり、他の1つはIEC Pub. 651に定義されている動特性[I] (Impulseの頭文字の略)を備えた騒音計で測定する方法である。

一方、JIS Z 8731(騒音レベル測定方法)においては衝撃音に対して騒音計の速い動特性(FAST)による指示値の最大値を読み取るとなっている²⁾。ここでFAST特性の立ち上がり時定数は125msであり、IMPULSE特性の35msに対して立ち上がりに要する時間は長い。

そこで、筆者らは動特性[I]およびFAST特性を備えた精密騒音計の指針の応答をマイコンを利用してシミュレートし、音圧レベルおよび騒音レベルを算出するプログラムを作成した。そして、このシミュレーションプログラムを用いることにより騒音計の特性による発破騒音の音圧レベルと騒音レベルの測定値との差異を明確にした。

2. 騒音計とその特性のシミュレーション 騒音レベルは $20 \log_{10}(P_n/P_0)$ で定義された値であり、この値を定量化するための装置が騒音計である。ここで、 P_n は耳の特性に近くなるように補正された音圧の実効値、 P_0 は基準音圧 $20 \mu Pa$ である。騒音計の主要部分は耳の特性に近くなるように補正するための周波数補正回路と指示特性回路から構成されている。そのため騒音計をシミュレートするためには、これらの回路に対して別々にシミュレートした後に、これらを総合して騒音レベルを算出するプログラムを作成することになる。

3. 周波数補正特性回路のシミュレーション 周波数補正回路はA、B、C、Dなどに分類されているが、現在では国際的な規格においてもA特性のみを用いるようになっている³⁾。JIS Z 8731においてもA特性による測定が規定されている。

本研究では最も周波数範囲が広く(20~12500Hz)、A特性に対する許容差が狭い精密騒音計(JIS C 1505)の規格を満たすようにシミュレーションプログラムを作成した。図1はA特性(実線)とJIS C 1505の許容差(精密騒音計:破線)を示す。

3.1 A特性曲線の設定 周波数補正特性回路を音圧波形に対して時系列処理するために、アナログフィルター理論で近似したフィルター関数から、デジタルフィルター理論によって、所要のフィルター関数を求めた⁵⁾。なお、連続時間系と離散時間系の周波数領域への変換操作にはそれぞれラプラス変換とz変換を用いて行うことになる。

この規格を満足するために、周波数補正特性を1

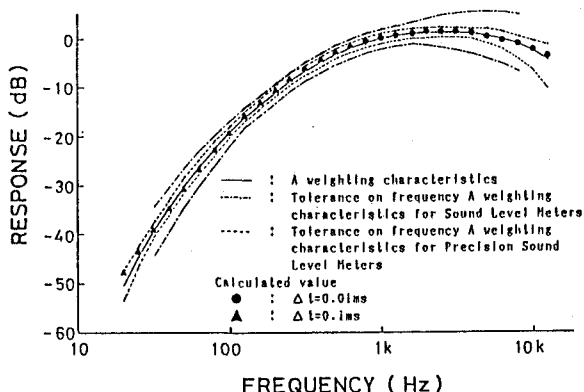


図-1 相対レスポンス(A特性)と周波数の関係

次のハイパス、2次のハイパス、1次のローパスフィルターの組合せとして設計した。音圧波形はこの順番にフィルターがかけられ、その結果としてA特性で重み付けられることになる。以下にその結果を示す。

1次のハイパスフィルター

$$y1_i=K_1\left(b_{10}x_i+b_{11}x_{i-1}\right)-a_{11}y1_{i-1}$$

ここに、 x_i 、 $y1_i$ はそれぞれ*i*ステップ目の入力および出力時系列である。また各係数は以下の式で与えられる。

$$b_{10}=1、b_{11}=-1、a_{11}=-\exp\left(-\omega_1\Delta t\right)、\omega_1=2\pi f_1$$

2次のハイパスフィルター

$$y2_i=K_2\left(b_{20}y1_i+b_{21}y1_{i-1}+b_{22}y1_{i-2}\right)-a_{21}y2_{i-1}-a_{22}y2_{i-2}$$

$$b_{20}=\omega_3-\omega_2$$

$$b_{21}=-\left(\omega_3-\omega_2\right)+\left(\omega_2\exp\left(-\omega_3\Delta t\right)-\omega_3\exp\left(-\omega_2\Delta t\right)\right)$$

$$b_{22}=-\left(\omega_2\exp\left(-\omega_3\Delta t\right)-\omega_3\exp\left(-\omega_2\Delta t\right)\right)$$

$$a_{21}=-\left(\exp\left(-\omega_2\Delta t\right)+\exp\left(-\omega_3\Delta t\right)\right)$$

$$a_{22}=\exp\left(-\left(\omega_2+\omega_3\right)\Delta t\right)$$

$$\omega_2=2\pi f_2、\omega_3=2\pi f_3$$

1次のローパスフィルター

$$y3_i=K_3\left(b_{30}y2_i+b_{31}y2_{i-1}\right)-a_{31}y3_{i-1}$$

$$b_{30}=0、b_{31}=1-\exp\left(-\omega_4\Delta t\right)$$

$$a_{31}=-\exp\left(-\omega_4\Delta t\right)、\omega_4=2\pi f_4$$

$f_1\sim f_4$ は折点周波数、 $K_1\sim K_3$ は利得を1にするための定数である。

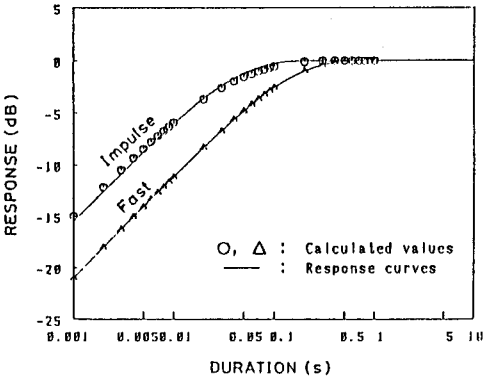
精密騒音計は対象とする周波数範囲が広い。そこで、規格を満足するためにはアナログ音圧波形をデジタル変換するためのサンプリング時間 Δt により、折点周波数とKの値を若干変更しなければならない。今回は $\Delta t=0.1\text{ms}$ 、 0.01ms の2つの場合についてJIS規格を満足する値を求めた。表1はその結果である。図1の▲は $\Delta t=0.1\text{ms}$ 、●は $\Delta t=0.01\text{ms}$ の場合のシミュレーション結果であり、規格に適合していることがわかる。 $\Delta t=0.1\text{ms}$ では20Hz～1000Hz、 $\Delta t=0.01\text{ms}$ では400Hz～12500Hzまで規格を満足することを確認している。従って、対象とする衝撃音の周波数帯域により両者の値を使い分ける必要がある。

3. 2 指示特性回路のシミュレーション

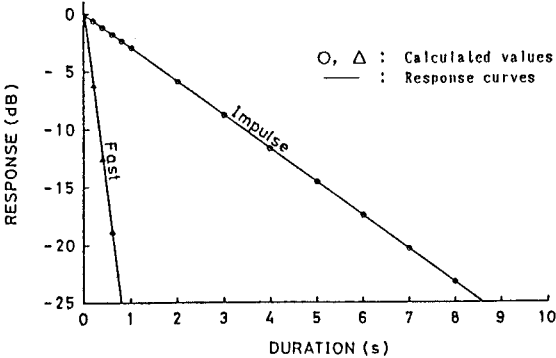
騒音計の指示特性回路は振動レベル計のそれと同様に整流回路（実効値検波回路）および指示特性回路からなる。筆者らは先に振動レベル計のシミュレーションプログラムを作成した⁵⁾が、騒音計の指示特性回路のシミュレーションについても振動レベル計のそれと同様に立ち上がりと減衰において特性が異なる非線形な電気回路を用いてシミュ

表－1 折点周波数と利得を1にするための定数

Δt (ms)	f_1	f_2	f_3	f_4	K_1	K_2	K_3
0.1	37	140	650	7500	0.8	$1.1/(\omega_3-\omega_2)$	1.1
0.01	27	140	650	7500	1.0	$1.1/(\omega_3-\omega_2)$	1.1



図－2 立ち上がり特性（時定数による曲線とシミュレーション結果）



図－3 減衰特性（時定数による曲線とシミュレーション結果）

レートした。シミュレーションについては振動レベル計の減衰特性シミュレーションで示したものと同様であり、定数が異なるのみであるのでここでは省略する。

騒音計の動特性のうち、立ち上がり時定数は IEC規格により IMPULSE 35ms、FAST 125msと定められている。図2は周波数1000Hzの連続正弦波形に対する IMPULSE (○)、FAST (△) のシミュレーション結果とそれぞれの時定数を用いて計算された立ち上がり特性(実線)である。この図よりシミュレーション結果は立ち上がり特性を満足しているといえる。次に、図3は IMPULSE (○)、FAST (△) の減衰特性のシミュレーション結果である。実線は時定数 1.5s (IMPULSE)、138ms (FAST) の減衰特性である。この図より、FASTの減衰は IMPULSEに比べれば非常に速いといえる。また、シミュレーション結果は非常によく減衰特性を満足している。指示特性回路のシミュレーションに用いた非線形な電気回路を構成するコンデンサー、抵抗について決定された値を示せば、IMPULSEにおいて $C=100\mu F$ 、 $R_1=0.17k\Omega$ 、 $R_2=15k\Omega$ 、FASTにおいて $C=100\mu F$ 、 $R_1=13k\Omega$ 、 $R_2=1.38k\Omega$ である。

以上より、音圧波形の時系列をプログラムに入力すれば、騒音計の指示値に等しい音圧レベルや騒音レベルの値を、時刻歴で求めることが可能となる。

4. 発破音への適用例 発破音は発破方法によって音圧波形の継続時間や間欠時間間隔(段発の秒時差)や回数が変化し、その波形も振幅が急激に変化する衝撃的な波形であるといえる。その測定方法や評価に対して十分な検討がなされているとはいいがたい。本研究のシミュレーションプログラムを用いれば、図2、図3に示したように理論通りの動特性(時定数を用いて計算される曲線)で正確に音圧レベルや騒音レベルを求めることができる。以下では、同一音圧波形に対する動特性の違い(FAST、IMPULSE特性)による騒音レベルの差や音圧レベルと騒音レベルの差について検討する。

4. 1 動特性の違いによる騒音レベルの差 図4は1自由面発破により生じた音圧波形を爆源から150mの地点で、インパルス騒音計(リオン製 NA-61)を用いて平坦特性で記録した音圧波形の1例である⁶⁾。この音圧波形からわかるように、発破音は極めて短い継続時間をもつ衝撃音である。このような発破音圧波形について、IMPULSE、FASTの動特性による音圧レベル、騒音レベルをシミュレーションにより算出した。その結果を表3に示す。音圧レベル、騒音レベルともIMPULSEに対する値よりもFASTに対する値は明らかに低く、約5 dBの差が生じていることがわかる。一般に音圧レベル、騒音レベルを動特性FASTで測定した場合にはIMPULSEに対して低めに評価する傾向にある。図2の立ち上がり特性からもわかるように、その差は継続時間により異なるため一概に論じることができない。しかし、図2から継続時間が長くなればFASTおよびIMPULSEで計測されたレベル値の差が小さくなることは明らかである。

4. 2 音圧レベルと騒音レベルの差 音圧レベルと騒音レベルの差は図1の周波数補正特性(A特性)が関係するため、音圧波形の周波数成分に大きく依存するといえる。図1から低周波数成分が卓越している場合にはこの差は大きく、高周波成分が卓越している場合にはこの差は小さいといえる。表3の実験結果は砂中発破によるものなので卓越周波数が岩盤の発破によるものより低く、IMPULSE特性において佐々らの報告⁷⁾に見られるレベル差(約12 dB)よりさらに低い値(約20 dB)を示している。

5. 動特性の違いと間欠正弦波形の音圧レベル 衝撃音に対しては立ち上がり特性の違いが指示値に大きく影響するといえる。しかし、分離衝撃音を対象とすると

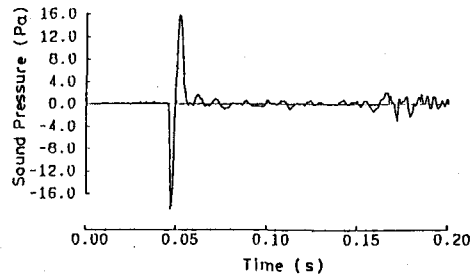


図-4 発破音圧波形(砂中発破の1例)

表-2 同一波形に対するIMPULSE特性とFAST特性の指示値

Sample No.	Calculated value with Impulse char. (dB)		Calculated value with Fast char. (dB)	
	SPL	SL	SPL	SL
1	96.1	74.8	90.9	69.9
2	101.9	80.5	96.7	75.4
3	108.4	84.1	103.3	79.3
4	98.5	74.0	96.6	68.3
5	104.3	76.7	100.4	71.7
6	108.9	92.7	103.6	87.4

きには図3の減衰特性も音圧レベル、騒音レベルの指示値に影響を与えることになる。

ここでは、精密騒音計に関するシミュレーションプログラムを用いて図5に示すような段発発破の音圧波形を模擬した周波数100Hz、振幅20Pa（実効値）、継続時間20ms、秒時差50msの間欠正弦波形を入力してIMPULSE、FASTに対する音圧レベルの変動を求めた結果を図7、8に示す。図からみられるように、IMPULSE特性では速やかに立ち上がり、かつ音が継続しない間のレベルの低下が小さい。これに対し、FAST特性ではIMPULSE特性の場合より立ち上がりが緩やかであり、減衰が速やかである。その結果、IMPULSE特性によって測定されたレベル値はFAST特性によって測定されたレベル値よりかなり大きな値を与えることになる。ちなみに、振幅20Pa（実効値）の連続正弦波形の音圧レベルは定義上120dB（シミュレーションでも120dB）となるが、段発発破の音圧波形を模擬した上記の間欠正弦波形に対するIMPULSEの最大値は119.7dB、FASTの最大値は116.6dBとなり、動特性の違いによる最大値の差は約3.1dBであった。分離衝撃音に対する動特性の違いによるレベル差はその波形の継続時間と個々の事象が生じる間隔により大きく異なる。

6. まとめ 本研究では衝撃音対策に対するアプローチとして精密騒音計のデジタルシミュレーションプログラムを作成した。また、そのプログラムを用いて衝撃音である1自由面発破により生じた音圧波形について、同一波形で騒音計の動特性が異なる場合の音圧レベル、騒音レベルの指示値の差について検討した。さらに、段発発破の場合のような分離衝撃音について、間欠正弦波形を模擬波形としてレベル差を検討した。その結果、衝撃音や分離衝撃音については騒音計の動特性（IMPULSE、FAST）の選択によりその指示値（音圧レベル、騒音レベル）が大きく異なることを示した。これらの指示値の差は音圧波形の継続時間や卓越周波数により変化することが推察される。したがって、これらの値を推定する場合には音圧波形の継続時間や卓越周波数を考慮に入れて考える必要があると思われる。

参考文献

- 1) 曾根：衝撃音のラウドネス，日本音響学会，騒音研究会資料，(1986)。
- 2) 日本規格協会：日本工業規格 騒音レベル測定方法，JIS Z 8731。
- 3) 子安・五十嵐・石井・時田・西宮：騒音・振動（上），コロナ社，(1983)。
- 4) 成田：デジタルシステム制御—理論と応用—，昭晃堂，(1984)。
- 5) 国松・中川・三浦・今村：発破振動における振動レベルの推定，土木学会論文集，第367号／VI-4，pp.45～51，(1986)。
- 6) 国松・小嶋・今村・中川：一自由面発破における発破音特性，土木学会第42回年講，第6部門，pp.40～41，(1987)。
- 7) 佐々・岡本・伊藤：発破音の感覚的大きさについて，工業火薬協会誌，Vol.39，No.6，pp.307～312，(1978)。

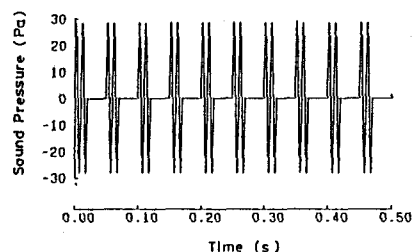


図-5 段発発破の模擬音圧波形

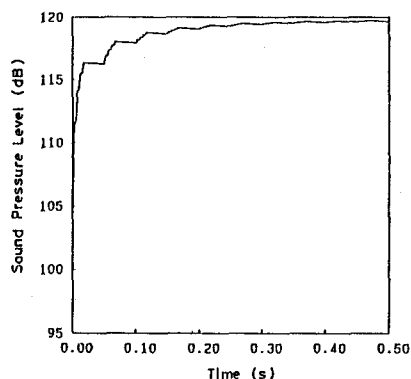


図-6 IMPULSE特性による音圧レベルの時刻歴

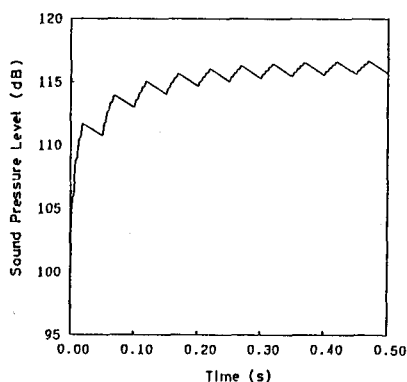


図-7 FAST特性による音圧レベルの時刻歴

(27) NUMERICAL SIMULATION OF PRECISION SOUND LEVEL METER
TO ESTIMATE SPL AND SL OF THE IMPULSIVE NOISE

by

S.KUNIMATSU^{*}, N.KOJIMA^{*}, T.IMAMURA^{**} AND K.NAKAGAWA^{*}

Two methods for measuring and evaluating an impulsive noise are temporarily employed in the field work. One of them is to measure an impulsive noise by a sound level meter [I] detector-indicator characteristic defined in IEC Pub.651

The computer program was developed to simulate the characteristic of Precision Sound Level Meter that satisfies IEC Pub.651 and JIS C 1505. The calculated Sound Pressure Level(SPL) and Sound Level(SL) were compared with those measured ones through the Precision Sound Level Meter for the same sound pressure time history. As a result, the expected errors in this simulation program were very small within 1dB.

Using this simulation program, the difference of SPL or SL between [I]mpulse and [F]ast detector characteristics were also investigated.

* Faculty of engineering, Yamaguchi University

** Cement Division, Ube Industries LTD.