

## <分析・測定>

# 衝撃信号の低周波域における分析手法の検討\*

青井 一郎\*\*・松井 千明\*\*・袋谷 実\*\*

## 1. はじめに

衝撃的な信号の測定・評価は、騒音については現行 JIS Z 8731 で騒音計の速い動特性 (Fast) の、また振動は JIS Z 8735 で振動レベル計の動特性 (VL Slow) の指示値の最大値をそれぞれ読み取ることとなっている。しかし、その周波数分析については何ら規定されておらず各現場で個別に対応しているのが現状である。

ところで、一般に低域成分を多く含みかつ継続時間の短い信号の周波数分析に際しては、高域成分が主な信号分析の場合には無視できた測定誤差が分析器の特性により顕著に現われる場合が多い。

そこで、筆者らは、近年新たな問題となっている低周波空気振動の分析手法の確立にむけて、衝撃的な信号のエネルギーに着目し、その低周波域で周波数分析<sup>2)</sup>を行う場合の問題点を分析器の応答という観点から検討したので報告する。

なお、分析器および分析方法の違いにより生ずる測定

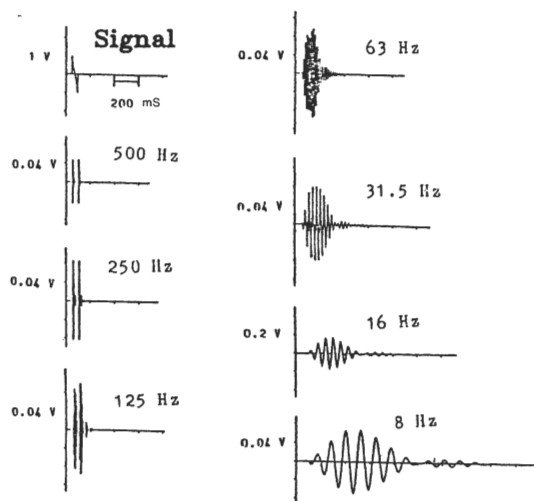


図1 N波を入力したときの各 1/3 Oct. Band Filter の出力波形

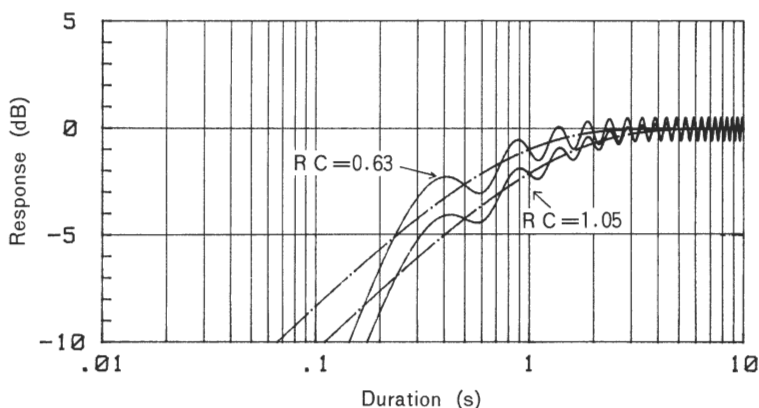


図2 時定数 (RC) の差による実効値検波回路の応答特性  
—: 1 (Hz), - - -: 100 (Hz)

\* Study on Frequency Analysis of Transient Signal within Low Frequency Range.

\*\* Ichiro AOI, Chiaki MATSUI, Minoru FUKUROTANI (大阪府公害監視センター) Osaka Prefectural Environmental Pollution Control Center

誤差を正確に把握するために、試験信号は解析可能であること、また、一般の分析器が AC coupling であること等を考慮して N 波を用いた。

### 2. 分析方法

マイクロホンからの入力信号は、フィルター、2乗器および平均器（積分器）から成る分析系を通過する<sup>3)</sup>。

ここで、正しく信号の2乗積分値<sup>1)</sup>を求めるためには、フィルター出力の全エネルギーを捕らえるだけの積分時間が必要となる。しかし、フィルターのインパルス応答特性<sup>2)</sup>からその時間は、フィルターの帯域幅により異なる。

一例として、N波をアナログ・フィルターに入力した場合の応答特性を図1に示す。

一方、指示値の最大値を読み取る「最大 RMS 法」は、従来から行われている衝撃信号の一般的な分析手法であるが、平均化回路の時定数 RC の取り方により分析結果に大きな影響を与える。とくに、低周波域においては、図2に示すごとく時定数の取り方により大きなリンクンクが現われる。

以上の観点および検波器のクレスト・ファクターの影響を考慮して、本論では、図3に示すように以下の4通りの分析手法について比較検討することとした。

- (1) FFT 法
- (2) Analog 分析器による最大 RMS 法  
(指数平均化法)
- (3) Digital 分析器による最大 RMS 法  
(指数平均化法)
- (4) Digital 分析器による2乗積分法  
(線型平均化法)

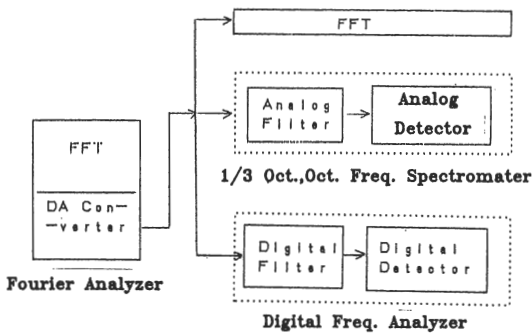


図3 衝撃信号分析のためのシステム構成

### 3. 分析結果の比較

分析対象となる疑似衝撃信号は、前述したようにN波を用いたがその発生方法は、図3のHP社製 Fourier

Analyzer 5451 C に理想的な N 波をプログラミングし、それを DA コンバータを通して発生させた。

N 波の周波数スペクトル  $F(f)$  は、振幅、立上がり時間および周期をそれぞれ、 $A$ 、 $\tau$  および  $T$  として、

$$F(f) = jAT \frac{1}{\pi Tf} \left[ \frac{T}{2\pi} \frac{\sin \pi T \left(1 - \frac{2\tau}{T} f\right)}{\pi T \left(1 - \frac{2\tau}{T} f\right)} - \frac{\sin \pi Tf}{\pi Tf} \right]$$

で得られるが、楕型フィルターを仮定し上式を 1/3 Oct.

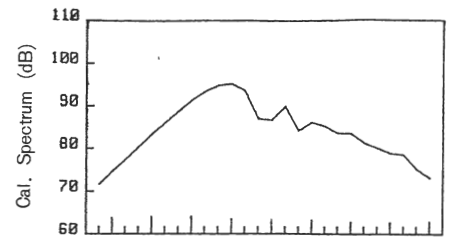
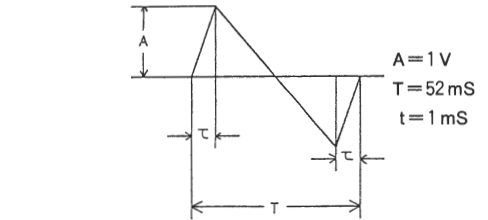


図4-a

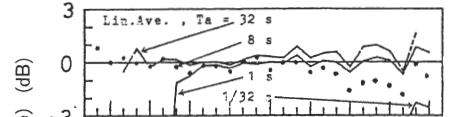


図4-b

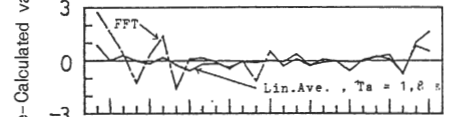


図4-c

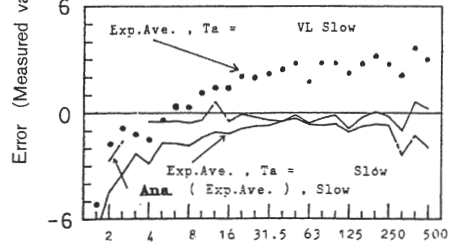


図4-d

図4 理論値と各種測定結果の比較。Lin. Ave.; 線型平均化法, Exp. Ave.; Digital 分析器による指数平均化法, Ana.; Analog 分析器による指数平均化法

注)  $T_a = 1.8s$  は、 $T_a = 1s$  及び  $8s$  の両結果の合成

(Hz)	(dB)	70	90	110
1.6	67.0	*****	:	:
2	68.3	*****	:	:
2.5	71.8	*****	:	:
3.15	73.2	*****	:	RC
4	76.4	*****	*****	4
5	79.4	*****	*****	1
6.3	81.7	*****	*****	:
8	84.3	*****	*****	:
10	86.7	*****	*****	:
12.5	88.3	*****	*****	:
16	88.7	*****	*****	:
20	87.3	*****	*****	:
25	80.8	*****	*****	:
31.5	80.6	*****	*****	:
40	83.9	*****	*****	:
50	78.4	*****	*****	:
63	79.5	*****	*****	:
80	79.3	*****	*****	:
100	77.7	*****	*****	:
125	76.9	*****	*****	:
160	75.4	*****	*****	:
200	74.6	*****	*****	:
250	73.0	*****	*****	:
315	72.0	*****	*****	:
400	70.4	*****	*****	:
500	67.8	*****	*****	:

図5 時定数 (RC) の差が分析結果に与える影響

Bandの周波数範囲内で数値積分した結果を図4-aに示した。ここで、N波の諸元は図中に示したとおりである。この計算値を真値とし、各分析手法ごとに得られた結果との差を求めそれぞれ図4-b以下に示した。

まず、図4-bは、線型積分を実行する場合の積分時間  $T_a$  が分析結果に与える影響をみたものである。図より積分時間が、フィルターの応答時間に比べ短すぎると低域の情報が失われ、逆に長すぎるとダイナミックレンジが低下するので、レベルの低い帯域での情報が失われることが分かる。

つまり、広い帯域で正しい情報を得るためには、分析対象の帯域を分割してそれぞれに適した積分時間が必要となる。その一例が、図4-cの実線で示した結果で図4-bで得られた積分時間が8秒と1秒の両結果を16

Hzを境にしてつなぎ合わせたものである。同図の一点鎖線は、FFTを用いて得られた結果をANSI規格のClass 3のフィルター特性に対応するよう積分した値である。

最大RMS法については、図4-dに示したとおりであるが他の報告<sup>5)</sup>にもみられるように、フィルターのちがいがよりも時定数に大きく左右されている。

図の傾向から時定数RCを持つ平均化回路を用いて衝撃信号の2乗積分値を近似的に求めようとする場合、時定数を大きく取って時間補正をすればよいことが分かる。

その補正值については、付録に示すように衝撃信号の場合、線型平均化時間 $\div$ 時定数となるので  $10 \cdot \log RC$  だけ測定値に加えてやればよいことになる。

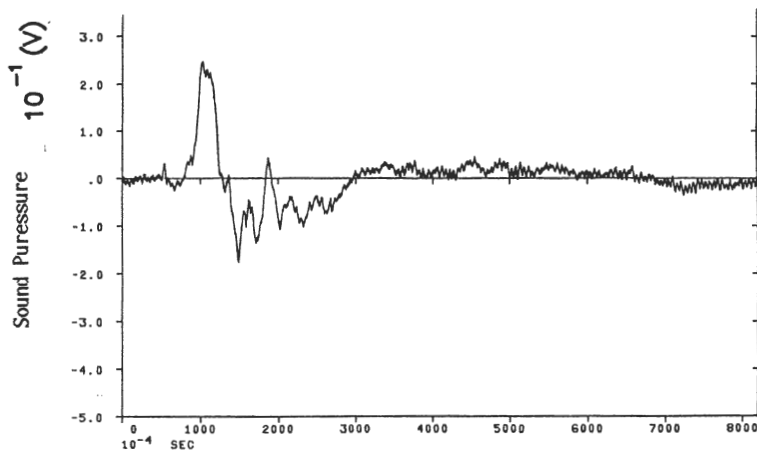


図6 爆発音の音圧波形

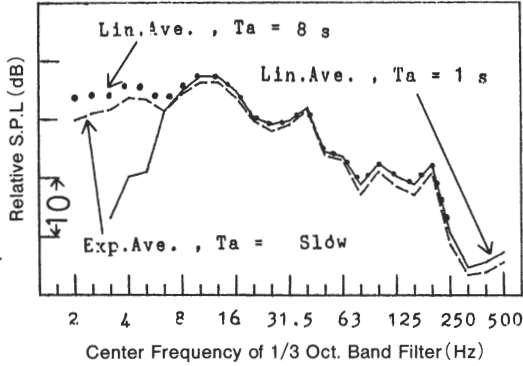


図7 爆発音の音圧レベル

図5は、時定数を1秒（Slow相当）にした場合と4秒の場合の指示値の比較であるが、時定数の補正を行うことにより低域において時定数を長くするほうが良好な結果が得られることが分かる。

### 3. 実測例

実信号の分析例として図6に示すような音圧波形を持つベンチカット方式の爆発音（距離390m，火薬326kg）の低域における分析結果を図7に示す。

### 5. まとめ

衝撃信号のエネルギーを基準にして、低周波域での周波数分析を行う場合の問題点を、とくに、分析器の応答特性から検討した。

信号のエネルギー値を精度よく得るには2乗積分法が望ましい。しかし、2乗積分を実行するには、実行開始時のトリガのかけ方や積分時間の取り方、さらに騒音・振動分析が市町村ベースで行われているという点から、現状の分析体制では対応が難しいように思われる。

一方、従来の「最大RMS法」については、できるだけ長い時定数で分析を行えば低域成分を正しく評価できよう。ただし、現状の分析体制を考慮してSlow相当とするのが妥当と考える。

### — 引用文献 —

- 1) 矢野，橋；“衝撃性騒音・振動の測定方法”，騒音制御，Vol. 6 No. 6, pp. 303~308 (1982).
- 2) 青井，袋谷，厚井；“衝撃信号の低周波域における分析器の応答”，日本音響学会講演論文集，pp. 415~416 (1983, 春).
- 3) B & K; Impulse Precision Sound Level Meter Type 2204 (July 1969).
- 4) J. T. Broch, H. P. Olesen; On the Frequency Analysis of Mechanical Shocks and Single Impulses, B & K Technical Review No. 3 (1970).
- 5) 大門，石川，和田；“周波数分析器の過渡応答特性”，日本音響学会講演論文集，pp. 491~492 (1982, 秋).

### 付 録

平均化時間 ( $T$ ) と時定数 ( $RC$ ) との関係

- (1) 入力信号が White Noise の場合。  
平均化回路のシステム関数  $Ha(j\omega)$  は、

$$Ha(j\omega) = \frac{1/RC}{1/RC + j\omega}$$

- 一方、White Noise の Power Spectrum 密度  $Pi(\omega) = K$  (一定) であるから、出力 Power Spectrum 密度  $Po(\omega)$  は、

$$Po(\omega) = |Ha(j\omega)|^2 Pi(\omega) \\ = K \frac{(1/RC)^2}{(1/RC)^2 + \omega^2}$$

よって、出力  $y(t)$  の自乗平均値は、

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} (y(t))^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Po(\omega) d\omega$$

$$= \frac{K}{2RC}$$

結局、 $T = 2 * RC$  となる。

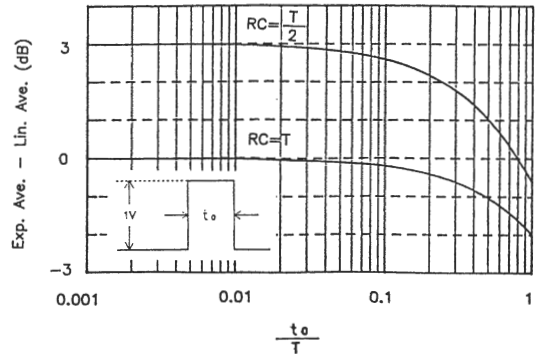
- (2) 入力信号が衝撃性の場合。  
入力信号がクロネッカのデルタ関数  $\delta(t)$  の場合、線形平均をとると、

$$\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \delta(\tau) d\tau = \frac{1}{T}$$

一方、指数平均の場合には、

$$\frac{1}{RC} \int_0^t \delta(\tau) \exp(-t\tau/RC) d\tau \\ = \frac{1}{RC} \exp(-t/RC)$$

となる。上二式を最大値と比較すると、 $T = RC$  となる。近似的に入力信号を方形波とし、その継続時間  $t_0$  で比較すると、図A.1に示すとおりとなる。



図A.1 継続時間  $t_0$  なる方形波を入力した場合の指数平均値と線型平均値の比較