



性といった周波数補正特性、後者には時定数35msのImpulseモード、125msのFastモード、1sのSlowモードがある。これらは対象とする騒音の特性によって適宜組合せて計測することになる。

発破衝撃音の計測について、どのような組合せを用いればそれを適切に評価しうるかについては議論の余地があるが<sup>5),6),7)</sup>、実際の発破衝撃音の規制値は、何らかの形の騒音レベルで与えられると予想される。現在規制値として明確な値が設定されているわけではないが、発破解体における衝撃音に関する指標としては、「コンクリート構造物発破解体工事保安技術指針」<sup>8)</sup>において「周波数補正特性A特性、動特性Fastで測定し、管理対象の保安物件の位置で120dB(A)を管理目標値とする」ことが提唱されている。

本研究の主旨は最終的に発破音に対する砂による減音効果を騒音レベル（音圧レベル）の予測式として表現することである。以下では、まず周波数補正を行わないFlat特性で定義される音圧レベル（以降単に音圧レベルと呼ぶ）を、2種類の動特性、すなわちImpulseの場合とFastの場合について予測する方法について述べ、更に周波数補正の方法としてA特性を用いた騒音レベルの場合についても言及する。

### 3. 砂被覆による発破音圧レベル低減効果の予測 3.1 ピーク過圧の予測式

筆者らのこれまでの研究<sup>4)</sup>によると、爆薬の周囲を半径  $R$ 、高さ  $2R$  の円筒状の砂で被覆した場合の減音効果のある程度の精度（相関係数0.97）で予測できるピーク過圧の予測式は次式で与えられる。

$$P_D = 1.50 \times W^{0.92} \times R^{-2.21} \times D^{-1.00} \quad (1)$$

$P_D$  : 音源からDm地点でのピーク過圧 (Pa)

$W$  : 薬量 (g),  $R$  : 砂被覆厚 (m)

$D$  : 音源からの距離 (m)

あるいは砂被覆厚のかわりに砂の体積  $V$  (m<sup>3</sup>) を用いた場合、 $V = 2\pi R^3$  の関係から、 $R$  を  $(V/2\pi)^{1/3}$  で置き換えて

$$\begin{aligned} P_D &= 1.50 \times W^{0.92} \times (V/2\pi)^{-2.21/3} \times D^{-1.00} \\ &= 5.81 \times W^{0.92} \times V^{-0.74} \times D^{-1.00} \end{aligned} \quad (2)$$

となる。実用的な砂被覆厚である15cm程度の場合、式(2)を用いることで砂被覆の形状にはかかわらず、実際の解体工事に成型爆破線を用いた場合のピーク過圧値が推定されることが確認されている<sup>4)</sup>。

### 3.2 音圧レベルへの変換

周波数補正を伴わない音圧レベルの算定にあたっては指示特性回路のみを介して計算されることになる。指示特性回路は式(3)に示す理論に基づいている。

$$\Delta L = 10 \log \left\{ 1 - \exp \left( \frac{-Tx}{\tau} \right) \right\} \quad (3)$$

ここで  $\Delta L$  : 2Hzの一定振幅の連続正弦波信号による指示計器のふれと、同じ周波数同じ振幅の継続時間  $Tx$  の単一正弦波バースト音信号によるふれの差

$\tau$  : 動特性によって指定される時定数 (Impulseの場合0.035s, Fastの場合0.125s)

である。すなわち音圧レベル  $Lp$  は次式となる。

$$Lp = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right) + \Delta L \quad (4)$$

$P$  : 音圧の実効値 ( $P_0$ )

$P_0$  : 基準音圧 ( $2 \times 10^{-5} P_0$ )

これを用いてピーク過圧  $P_D$  の場合の音圧レベルを求めるには、ピーク値  $P_D$  の非定常音圧波形の実効値を設定する必要がある。これには以下のように考えた。

振幅  $P_D$  の正弦波の場合、その実効値は振幅の  $1/\sqrt{2}$  になる。また発破に起因した音圧波形をある程度継続した非定常波と捉えれば、国松<sup>9)</sup>と同様の考察により、VanmarckeとLaiによる継続時間の概念(式(5))<sup>10)</sup>を用いて正弦波と非定常波の実効値の比が0.516であることが求まる。すなわち正弦波からなる音のピーク値を元にした場合と実効値を元にした場合の音圧レベルとの差は、 $20 \log (1/\sqrt{2}) = -3.0$ より約3dB、非定常音の場合と正弦波からなる音の音圧レベルとの差は  $20 \log 0.516 = -5.7$ より約6dBとなる。

$$T_1 = (2.74)^2 E/P_D^2 \quad (5)$$

ただし、 $E = \int_0^\infty p^2 dt$

ここで、 $Tx$  : 非定常波の継続時間 (s)

$E$  : 音圧変動の総エネルギー ( $\text{Pa}^2\text{s}$ )

$p$  : 音圧 (Pa)  $t$  : 時間 (t)

これらを用いると式(4)より音圧レベル  $Lp$  は次式となる。

$$\begin{aligned} Lp &= 20 \log \left( \frac{P_D}{P_0} \right) + \Delta L - 3 - 6 \\ &= 20 \log P_D + 85 + \Delta L \end{aligned} \quad (6)$$

文献4)と同様の円筒状の砂被覆を用いた発破衝撃音の実測波形から算定した総エネルギーとピーク過圧から、(5)式によりそれぞれの継続時間  $Tx$  を求め、砂被覆厚との関係を示したものがFig. 1である。図からわかるように砂被覆厚と継続時間には明らかに相関関係があり、回帰式として式(7)が得られた。

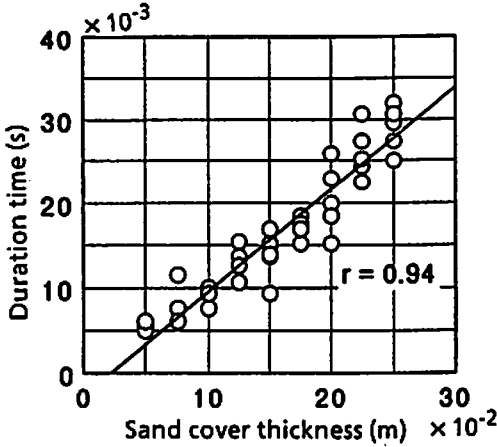


Fig. 1 Relationship between duration time  $T_x$  and sand cover thickness  $R$

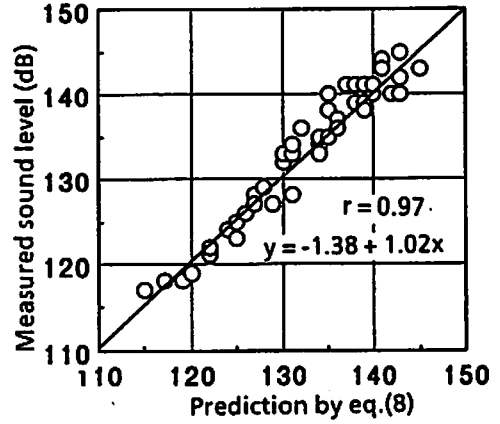


Fig. 2 Relationship between measured sound level (Impulse, Flat) and prediction by eq. (8)  $L_{DP}$

Table 1 The list of correct value  $\Delta L$

Sand cover thickness (cm)	Correct value $\Delta L$ (dB)	
	Impulse	Fast
5.0	-11	-13
7.5	-8	-12
10.0	-6	-10
12.5	-5	-9
15.0	-5	-9
17.5	-4	-8
20.0	-3	-8
22.5	-3	-7
25.0	-3	-7

$$T_x = -0.0027 + 0.12R \quad (7)$$

式(7)を式(3)に代入して求めた各砂厚毎の $\Delta L$ の計算結果をTable 1に示す。更に $P_D$ に式(1)を代入することにより、結局音圧レベル予測式として式(8)が得られる。

$$\begin{aligned} L_{DP} &= 20 \log (1.50 \times W^{0.92} \times R^{-2.21} \times D^{-1.00}) \\ &\quad + 85 + \Delta L \\ &= 18.4 \log W - 44.2 \log R - 20 \log D + \\ &\quad 89 + \Delta L \end{aligned} \quad (8)$$

ここで、 $L_{DP}$ :音源から $D$ m地点での動特性ImpulseあるいはFastで計測した場合の音圧レベルの予測値 (dB)

Table 1および式(8)から求めた値と実際の計測値との相関を、動特性ImpulseについてFig. 2に示す。

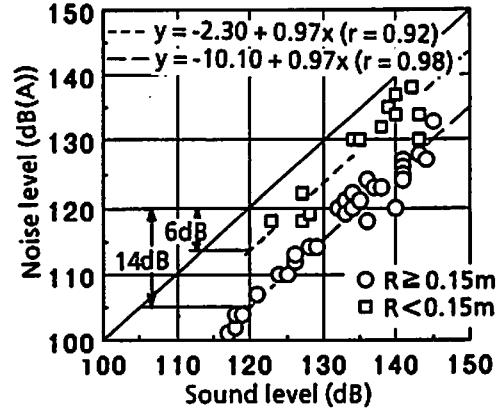


Fig. 3 Relationship between noise level (Impulse, A-weight) and sound level (Impulse, Flat)

0.97という高い相関係数が得られており、式(8)は予測式として充分実用性があると判断できる。

### 3.3 騒音レベルについて

A特性補正処理後の波形より読み取れるピーク値をもとに、先に述べた音圧レベルの場合と同様の式の展開により、騒音レベルの予測式が導出できるが、実用上は実測した音圧レベルと騒音レベルの差を用いて式(8)を補正することで充分と考えられる。

ここで砂被覆厚が15cm以上のとき音圧変動の周波数特性に変化が見られ、200Hz以上の変動成分が激減することが確かめられている<sup>4)</sup>。ここではその砂被覆厚15cmに着目しこれを境にグループ分割すると、Fig. 3に示すように音圧レベルの測定値と騒音レベルの測定値の間には高い相関が見られる。Fig. 3から読み

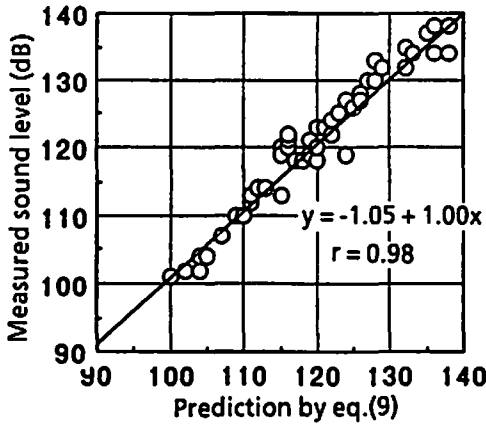


Fig. 4 Relationship between measured noise level (Impulse, A-weight) and prediction by eq.(9)  $L_{DA}$

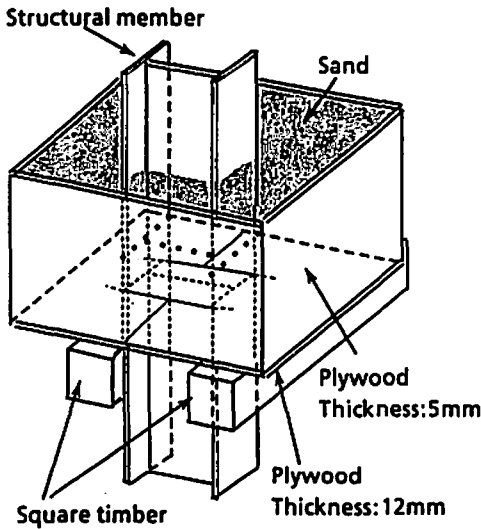


Fig. 5 An example of sound attenuation box  
.....; Linear shaped charges

取れる音圧レベルと騒音レベルの差は、音圧レベル120 dBに着目すると砂被覆厚15cm以下で6dB、15cm以上で14dBとなるが、実用的には砂被覆厚を15cm以上にして使用することになるため式(9)となる。

$$L_{DA} = L_{Dp} - 14 \quad (R \geq 15\text{cm}) \quad (9)$$

ここで、 $L_{DA}$ :音源からDm地点での騒音レベルの予測値 (dB(A))

式(9)と実測値の相関をImpulseの場合についてFig. 4に示す。

#### 4. 実施工への適用

##### 4.1 実施工例

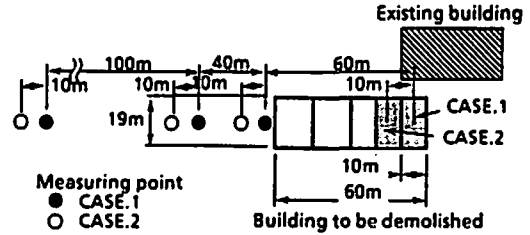


Fig. 6 Plan of demolition site (CASE 1, CASE 2)

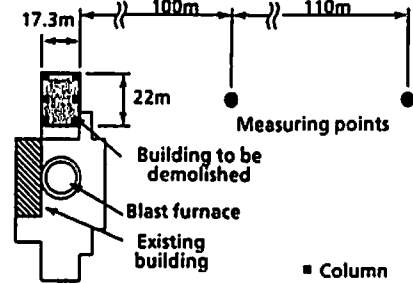
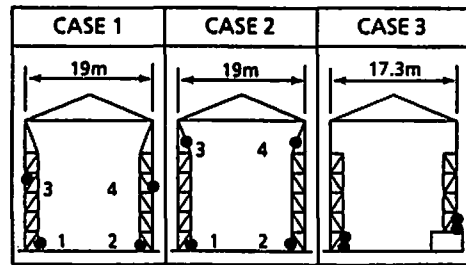


Fig. 7 Plan of demolition site (CASE 3)



●; Blasting point  
Number; Order of initiation  
Fig. 8 Planning of loading the charge

本節では筆者らがこれまでに行った実際の鋼構造物の発破解体工事に適用した砂による減音対策の施工例を示すと共に、これらの減音効果に対する式(8)の適用について述べる。

筆者らは、砂を爆薬周辺に固定する方法として部材を包むように木箱を取り付け、その中に砂を入れることとした。Fig. 5に減音器具の取り付け状況を示す。

砂を用いた減音器具による実施工例としては鉄骨建家発破解体実験工事<sup>11)</sup>(以下CASE 1, CASE 2と呼ぶ)、鉄骨建家発破解体工事<sup>12)</sup>(以下CASE 3と呼ぶ)の2例があり、いずれも既存の工場建家を成型爆破線(爆薬としてベントライトを使用)を用いて倒壊させた例である。建家周辺の様子と騒音計(リオン製

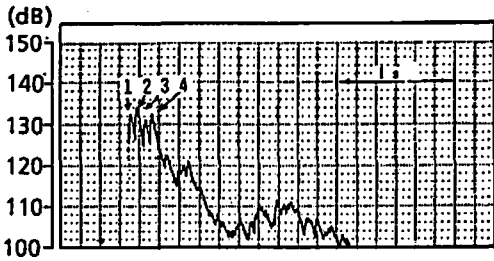


Fig. 9 Sound level (Impulse, Flat) measured in actual demolition work (CASE 1, 100 m)  
Number ; Peak generated by every delay

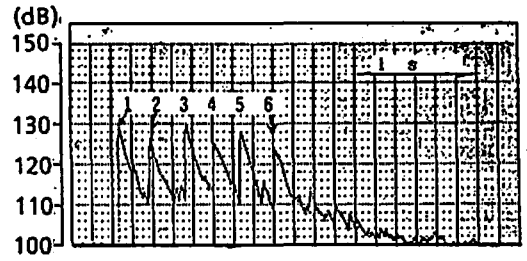


Fig. 10 Sound level (Impulse, Flat) measured in actual demolition work (CASE 3, 100 m)  
Number ; Peak generated by every delay

Table 2 Measured sound level (dB) in three actual demolition works

Peak No.	CASE. 1				CASE. 2				CASE. 3					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
60m	134	136	136	136	130	131	130	131						
100m	130	131	130	132	127	127	128	128	129	126	130	125	128	124
200m	121	122	122	122	119	119	118	120						
210m									120	117	120	116	117	114

NA-17, 測定範囲60~150dB, 周波数特性DC~1000 Hz)の配置を合わせてそれぞれFig. 6, Fig. 7に示す。さらに各ケースの爆薬装着箇所をFig. 8に示す。

CASE 1, CASE 2ではFig. 8に示す構面ふたつ分を対象としているため, 発破箇所はそれぞれ $4 \times 2 = 8$ で8カ所ずつである。CASE 1では1カ所につき440gの成型爆破線を用いており, 40msの時差をつけて2カ所ずつ4段発で発破している。CASE 2では1カ所460gと1カ所75gの2カ所を1つの組として, CASE 1同様40msの時差をつけて1組ずつ4段発で発破している。Fig. 9に示すImpulse, Flat特性で計測した音圧レベルについては, 各々のピークが接近しており, いくらかは前段の発破音の影響を受けていると思われるものの, 4つのピーク値に大きな差はなく, その影響は小さいと考えられる。したがって各ケースにつき4回ずつの発破について60m, 100m, 200mの3点で計測しており, 合計24個の実測例が得られていることになる。

一方CASE 3では6本の柱について1本あたり2カ所ずつ合計12カ所を柱1本ごとにCASE 1同様同時に起爆し, 合計6段発で発破している。1カ所当りの薬量は4, 6段目が600gでその他は760gである。各柱の起爆間隔は公称250msとしているため, 計測された音圧レベルのピークは各々ほとんど独立して計測されており (Fig. 10), それぞれのピーク値を柱1本分 (段

発1段分) に対応した音圧レベル値として評価できると考えられる。また計測点は100m, 210mの2点である。したがって本工事から実測例として12個のデータが得られていることになる。

以上2例の場合の動特性としてImpulseを用いた音圧レベルの測定結果をTable 2にまとめた。

#### 4.2 推定式の実施工への適用について

実際の工事例では減音のための被覆は直方体形状の木箱に入れた砂で行っているため, これらの減音効果を評価するにあたっては, 式(8)中のRを $(V/2\pi)^{1/3}$ で置きかえた式(10)を用いる。式(10)はImpulseモードの場合である。

$$L_{Dp} = 18.4 \log W - 14.7 \log V - 20 \log D + 100 + \Delta L \quad (10)$$

なお, 各ケース2カ所ずつ爆破しているが, 2カ所で同時に発生した騒音については, Fig. 9, Fig. 10に示すように波形がほぼ完全に重なっていることから, 箇所毎の音圧レベルの予測値を音圧に変換した値の単純和を再度音圧レベルに変換した。

$$L_{Dp}' = 20 \log (10^{p/20} + 10^{q/20}) \text{ dB} \quad (11)$$

$p, q$ : 音圧レベルの予測値

$L_{Dp}'$ :  $p$ dBの騒音と $q$ dBの騒音が同時に観測された場合の音圧レベルの予測値

Table 3 Predictions of sound pressure level using eq.(10) and eq.(11)

		CASE 1	CASE. 2		CASE. 3	
Weight of explosives at every points (g)		440	460	75	76	60
Volume of sand at every points (m <sup>3</sup> )		0.1215	0.1215	0.008	0.24	0.24
Predicted values for every blast (dB)	60m①	122	122	125		
	100m②	117	117	120	117	115
	200m③	111	111	114		
	210m④				111	109
Added up predicted values (dB)	60m	128 ①×2	130			
	100m	123 ②×2	125		123 ②×2	121 ②×2
	200m	117 ③×2	119			
	210m				117 ④×2	115 ④×2

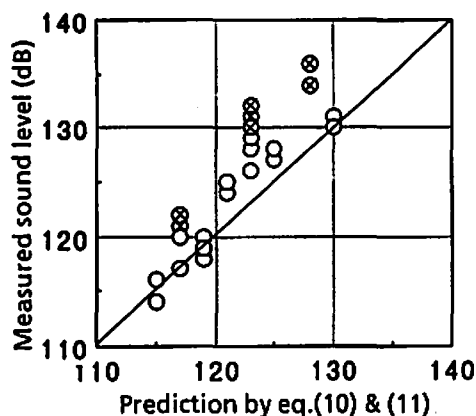


Fig. 11 Relationship between measured sound level (Impulse, Flat) and prediction by eq. (10) & (11)  $L_{DP}$  in actual demolition works

以上の考え方に基づいた音圧レベルの予測値の計算をTable 3に、また計測値と予測値の比較をFig. 11に示す。ただしここでは式 (10) における $\Delta L$ を-5とした。図中×印をつけたデータを除いて最大でも4 dBの誤差範囲で予測できており、式 (10) は実用的には十分な精度を有していると考えられる。ここで見られ

る差については一般騒音予測に用いられる市販ソフトを用いて数値解析的に周辺構造物による反射、回折、透過の影響を考慮することにより精度をあげることが可能であろう。なお×印をつけたデータは、CASE 1のものであり、このときには計測方向に後の実験ケースで倒壊予定の構造物が40mにわたって残存しており、これらがあたかもメガホンのような効果を発揮したものと考えられる。

### 5. むすび

本研究では、今後の都市部での発破による構造物解体工法の実用化に対して大きな環境問題と考えられる騒音問題に関し、その対策として砂を用いた場合の騒音レベルの予測式を提案するとともに、予測式の実施工への適用について述べた。

本研究は基礎的なものであり、実際の工事を考えると、砂被覆による減音メカニズムを明確にした上で、よりコンパクトで施工性のよい減音器具を考案することが必要であると考えられる。

### 文 献

- 1) 齊藤照光他, 工業火薬, 48, 41 (1987), 火薬と保安, 19, 21(1987), 20, 23 (1988), 20, 17 (1988), 工業火薬, 50, 16 (1989)
- 2) 和田有司他, 工業火薬, 50.3, 174 (1989), 安全工

- 学, 28, 102 (1989), 工業火薬, 51, 22 (1990)
- 3) 和田有可他, 工業火薬, 49, 375 (1988)
  - 4) 小林茂雄, 世一英俊, 池田義之, 中川浩二, 土木学会論文集, 462, 43 (1993)
  - 5) 国松 直, 小島直哉, 今村 威, 中川浩二, 工業火薬, 48, 395 (1987)
  - 6) 佐々宏一, 岡本昌直, 伊藤一郎, 工業火薬, 39, 307 (1978)
  - 7) 難波精一郎, 桑野園子, 日本音響学会誌, 38, 774 (1977)
  - 8) 全国火薬類保安協会, 「コンクリート構造物発破解体工事保安技術指針」, P43 (1991)
  - 9) 国松 直, 京都大学学位論文, (1990)
  - 10) E. H. Vanmarche and S. P. Lai, Bulletin of the Seismological Society of America, 70, 1293 (1980)
  - 11) 小林茂雄, 草深守人, 池田義之, 中川浩二, 土木学会論文集, 415, 145 (1990)
  - 12) 小林茂雄, 木下雅敬, 中津賢一, 中川浩二, 構造工学論文集, 38A, 1213 (1992)
-

# A study on the prediction of the attenuation effect of sand cover on impulsive blast noise

by Shigeo KOBAYASHI\*, Hidetoshi YOICHI\*\*  
Yoshiyuki IKEDA\*\*\* and Koji NAKAGAWA\*\*\*\*

In blasting demolition work of structures, it is very important to reduce the level of impulsive blast noise to less than the permissible level prescribed by local authorities as well as problems of ground vibration and flying debris. In this paper we describe the attenuation effect of sand covering the blast point against the impulsive blast noise and the equation for predicting the blast noise level (sound pressure level, A-weighted sound pressure level).

We based the study on the experiments on the peak over-pressure characteristics of air blast reduced by sand cover. We have gotten the equation empirically by investigating the corrective effect of weighting against different sand cover thickness. The predictions of sound pressure level  $L_{Dp}$  and A-weighted sound pressure level  $L_{DA}$  corrected by Impulse or Fast detector-indicator characteristic were obtained as follows :

$$L_{Dp} \text{ (dB)} = 18.4 \log W - 44.2 \log R - 20 \log D + 89 + \Delta L$$
$$L_{DA} \text{ (dB (A))} = L_{Dp} - 14$$

where  $W$  : explosives weight (g),  $R$  : sand cover thickness (m),  $D$  : distance (m) from the sound source,  $\Delta L$  : correct value (dB).

The prediction obtained from the empirical equation was compared with the values measured in the field of actual demolition work, and proved to be good for practical purposes.

(\*Civil Engineering Division, Nippon Steel Corporation, 20-1 Shintomi, Futtsu, Chiba 299-12, Japan

\*\*Technical Research Institute, Hazama Corporation, 515-1 Nisimukae, Karimaaza, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

\*\*\*Asa Factory, Nippon Kayaku Corporation, Sanyo, Asa, Yamaguchi 757, Japan

\*\*\*\*Faculty of Engineering, Yamaguchi University, Tokiwadai, Ube, Yamaguchi 755, Japan)