



Table 1 Measuring points and ground surface conditions

場所	観測点名	距離 (m)	地 形 条 件
相馬ヶ原	A	460	凸凹あるも全体的には平坦, 落葉樹繁る, 直視可
	B	630	Aの延長線上, 小高い所にあり, 間には落葉樹繁る, 直視可
	C	360	爆点より高く, 丘の陰にあり, 丘には低い落葉樹あり。
	D	430	間はかなり低地で, 障害物はない。直視可
日出生台	E	300	小高いところにあり, 障害物はない。直視可
	F	600	中間の高地の陰にあり, 高地には落葉樹がまばら。
	G	1,150	緩やかな丘陵地帯で, 爆点近くの丘の影にあたる。
	H	1,750	〃
然別	I	1,850	山裾の爆点より高い所, 低い落葉樹あり, 直視可
	J	3,350	爆点の横側, ならかな凸凹あり, 低い落葉樹あり, 直視可
	K	4,350	山裾の爆点より低い所, 地形は凸凹, 落葉樹繁る。
岩手山	L	2,970	山裾の爆点より低い所, 中間が少し高く, 直視不可, 樹木なし
	M	3,230	山裾の爆点より低い所, 張り出した風根の影, 樹木繁る

地形条件の概要を Table 1 に示す。

## 2.2 爆源条件

爆源は, スラリー爆薬とアンフォ爆薬が主で, 他に 3号桐ダイナマイトや TNT, また時にはそれらが混合されて爆発された場合もある。薬量は 100g~100kg と広範囲にわたり, その状態は, 裸薬包, 塩ビ管内装填, ファイバードラム缶装填等種々である。また, 爆源は, 地表面に置かれた場合と, 木製台上に置かれた場合とがある。これら及び地形条件の詳細は, 通産省から出版された実験報告書に記されている<sup>3)~8)</sup>。

## 2.3 測定及び解析方法

測定は, 初期は, 各種の周波数補正特性で, 波高値及び各種動特性について行ったが, ここでは, 爆発大気振動の超低周波音としての影響を評価するためにリニア又はフラット応答, また爆発騒音としての影響を評価するために, A特性の周波数補正特性を用い, 動特性はインパルス応答とした<sup>10)</sup>。

リニア応答データは, 超低周波音測定器(超低周波マイクロホン RION MV-03 と振動計 RION VM-14B又は RION VM-16の組合せ)により, フラット応答データは, インパルス精密騒音計 RION NA-61の Flat 特性により, また A特性データは NA-61の A特性により求めた。周波数補正特性は, リニア応答では 1.5~80 Hz ( $\pm 1$ dB), Flat 特性では 10~20,000 Hz ( $\pm 1$ dB)が平坦応答であり, A特性は JIS C 1505 (1977)にもとづく周波数補正特性に一致しており, 20Hz で-50.5dB, 16Hz で-56.7dB, 12.5Hz で-63.5dB, 10Hz で-70.4dBの減衰特性を有している。

波形が, 主として 10Hz 以上の周波数成分で構成さ

れている場合には, リニアとフラット応答の測定結果は一致するが, それ以下の周波数成分を多量に含む場合には, 一致しない。そのようになると考えられる場合には, リニア応答, すなわち超低周波音測定器で測定した。したがって, ここではリニアとフラット応答の区別は, 特にはせず, フラット応答も含めてリニア応答と称することにする。

測定値は, 超低周波音測定器又は騒音計の AC 出力信号を, データレコーダで FM 記録し, 後に実験室でその出力信号を, 高速度グラフィックレコーダ, RION LR-50 に入力して, その記録波形から得た。波高値は, その AC 記録波形から, 各動特性レベル値は, レコーダのフルスケール位置よりも, 30dB 以上低い位置に記録した DC 波形から<sup>3)</sup>, 読みとった。

周波数スペクトルは, リニア応答については, 三栄測器のシグナルプロセッサ 7T07A を用いて, デジタル演算(全分析時間 0.7 秒又は 1 秒)によって, パワースペクトルを求め, A特性については, 実時間分析器 RION SA-24 を用いて, 1/3 オクターブ実時間スペクトル(時定数 0.6 秒)を求めた。

## 3. 実験結果と検討

得られた代表的なリニア(又はフラット)波形例を Fig. 1 に示す。爆発大気振動波形は, 図からみて, 一般的にいえば, 減衰振動波形状であるが, 特に初めの 1 周期ないしは次の半周期までの波の振幅のみが, 著しく高く, それに引き続く波の振幅は急激に低下している。また, Fig. 1 の波形状を, 薬量及び距離の大小との関係に注目して見比べてみると, 薬量が増加し, 及び又は距離が長くなると, 波形がだんだんと時

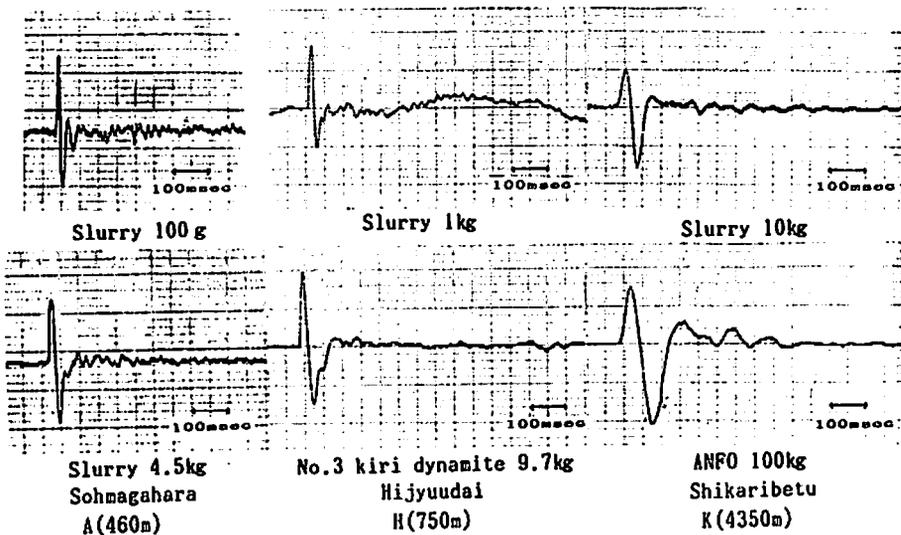


Fig. 1 Typical linear waveforms of air blast noise obtained at 3 measuring points.

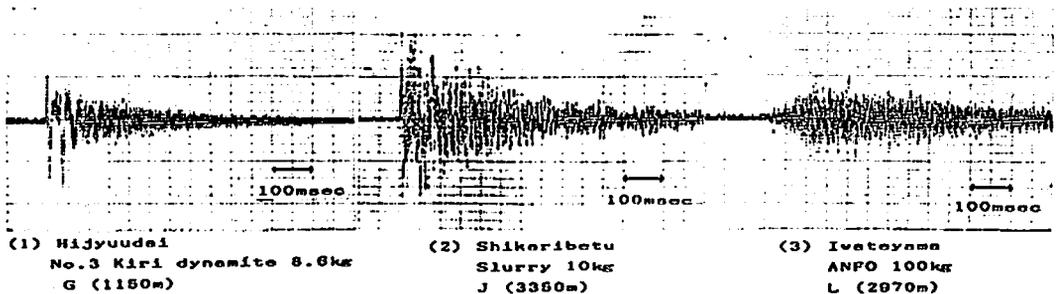


Fig. 2 Typical A weighted waveforms of air blast noise.

間的に拡大されたようになり、低周波成分に富むようになることがわかる。このように、爆発大気振動の主要な特徴は、持続時間が短く、振幅が大きく変動し、非常に低周波周波数成分に富むということである。

代表的なA特性波形例を Fig. 2 に示す。薬量が少なく、距離があまり離れていない場合、たとえば、薬量 10kg 以下、距離 2km 以下の場合や、伝搬経路で遮音や吸音の影響をあまり受けない場合は、(1)に示すように、元の低周波波形が残る、それに高周波波形が重畳された波形となる場合が多い。

薬量及び距離が増加するにつれて、(2)に示すようにだんだんと低周波波形が認められなくなり、初めから急速な立ち上がり的高周波波形となる。さらに、薬量が増え、距離が長くなった場合や、大気振動の伝搬に対して、強く吸音や遮音の影響があった場合、また風が大気振動の伝搬しやすいように影響した場合は、(3)

に示すように振幅がゆっくりと立ち上がり、ある時間の後ピークに達して、その後ゆっくりと減衰する高周波波形となる場合が多い。ただ、この場合には、(2)のような波形になる場合も多くあり、何の原因でそのような波形の違いが生じるかは明確ではない。

高周波波形は、もともとの大気振動に含まれているもの、伝搬経路で混入したもの、あるいは測定位置周辺の振動体の振動によって二次的に発生したもの等から構成されていると考えられる。

Fig. 3 に 4 箇所の実験場におけるリニア（又はフラット）及びA特性インパルスレベルと相似距離 (scaled distance) との関係を示す。もし地形条件や気象条件が、大気振動の伝搬に対して影響しないならば、近似的に相似法則が成立し、それらの測定値は、薬量や距離によらず、相似距離に対して、ある定まった一つのカーブ上にプロットされる<sup>9)</sup>。しかしながら、ほとん

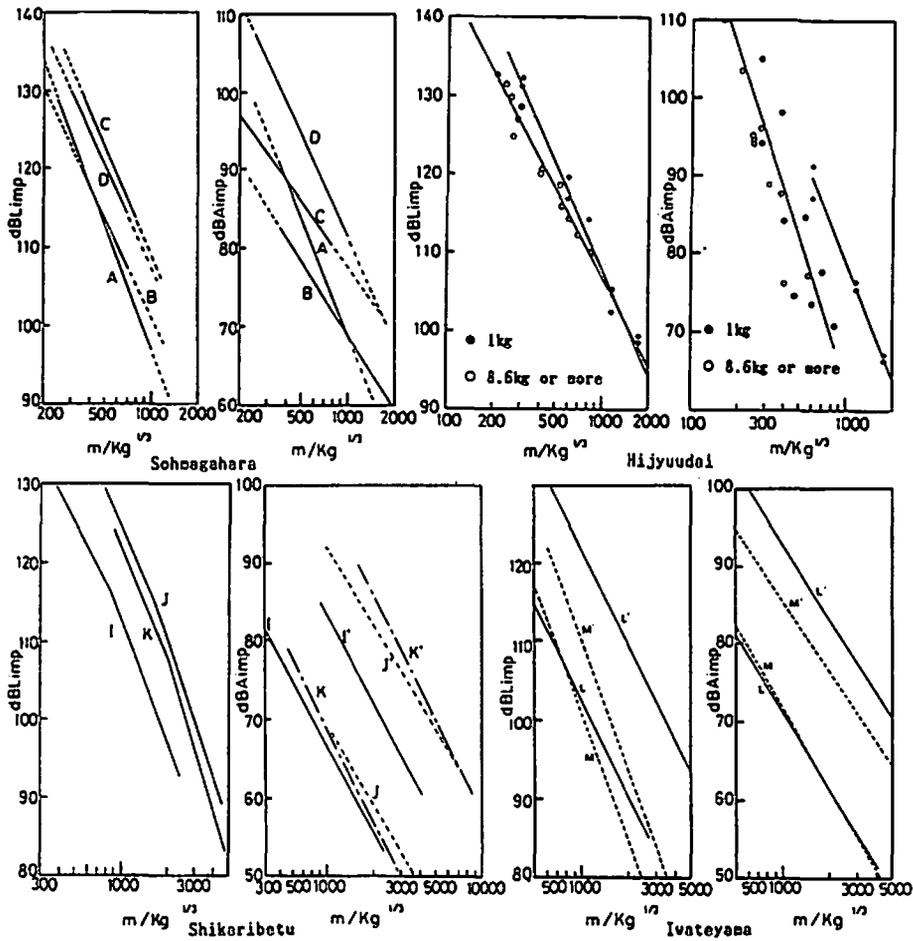


Fig. 3 Linear and A weighted impulse level vs. scaled distance relation.

どの場合に、各種の影響を受けて、観測点毎に異なったカーブ上にプロットされる。このことは、逆の見方をすれば、相似距離に対するプロット位置の違いから、地形条件や気象条件等の影響を評価できることになる。そして、この場合のカーブの勾配は、一定の距離に対するものであるために、薬量による、したがって多分周波数による各種の影響を受ける程度の違いを示すことになる。

薬量が少なく、距離が短い場合（相馬ヶ原）には、地形の凸凹や草樹木など地表面の状態の影響を強く受けて、観測点毎にプロットの位置が異なる。薬量が大、距離が大となると（日出生台）、そのような影響は比較的になくなり、さらに、薬量及び距離が大となると（然別、岩手山）、爆点位置に対する観測点の相対的高度が、大気振動の伝搬に対して、最も重要な因子となり、そして気象条件、特に風の影響を受けやすくなる。

日出生台の場合は、観測点によらず、4個所の観測点のデータが、ある特別の相似特性カーブ上に集まった。これは、地形条件と気象条件の影響がうまく重なりあって、偶然にそうなったと考えられるが、また、比較的に水平な、高度差のない場所で、ある程度距離の離れたところでは、局所的な地形条件の影響を、あまり受けないことも示している。なお、薬量が少なすぎる（この場合は1kg）と、多い場合の一般的相似特性カーブから大きく逸脱する例は、相馬ヶ原や他の実験場のデータにも認められ、その限界の薬量は、薬種や距離により異なった。例えば、相馬ヶ原では、スラリー爆薬 100gで、又アンフォ爆薬では 500gで認められた。

然別や岩手山実験のA特性レベルの場合に、1個所の観測点当り2本引かれているカーブは、風の影響による測定値の分散範囲を示している。これが風の影響によるものであるということは、方向の異なる観測点

間で、風向によって、一方が高ければ、他方は低くなるといった測定値の高低によって、明確に判定できた。風の影響によって、A特性レベルは20dB以上も変化する可能性があることが示されている。リニアレベルに対しては、A特性レベルほど風の影響が認められなかったが、岩手山実験の場合にのみ、明確にその影響が認められた。

全体的にみて、A特性カーブ群の方が、風の影響もあって、分散範囲が広く、リニアレベルの方は少し狭くなっている。リニアレベルの場合には、爆点位置が高く、大気振動が伝搬しやすくなったK, J, L以外のデータは、さらに狭い範囲に集まっている。この狭い範囲のデータの上限は、ほぼ水平な場所で、大気振動の伝搬に対してあまり障害物がない場合の特性を示している。

この場合は、地表上爆発の米国文献データ（ピーク過圧）<sup>9)</sup>と比較すると、相対距離200m/kg<sup>1/3</sup>のところでは、数dB低いだけであるが、1000m/kg<sup>1/3</sup>のところでは、約15dB低くなっている。この場合の特性

カーブの勾配の方が急なためである。この勾配は、当実験の場合は一つの観測点についてのカーブであるので、前述のように薬量による、すなわち基本的には周波数によるリニアレベルの変化の度合を示すことになり、これは、薬量が少なくなれば、各種影響が大薬量の場合よりも強く受けて、大気振動の減衰が大きくなることを示している。なお、A特性レベルの場合は、全体的にみて、この場合よりも特性カーブの勾配がゆるやかで（日出生台は急勾配となっているが）、薬量による変化は少ないことがわかる。

このような相似特性データを集積することによって、大気振動の諸特性値の予測が可能となるであろう。

なお、爆薬の種類、爆薬の包装状態、爆源の数（3つまで）等によって、大気振動特性に明確な差異が認められた場合があったが、それらの影響を評価できるほどのデータは得られていないために、今回はそれを無視した。

インパルスレベルで評価したのは、次のような理由による。家屋等の物理的応答を考える場合には、リニ

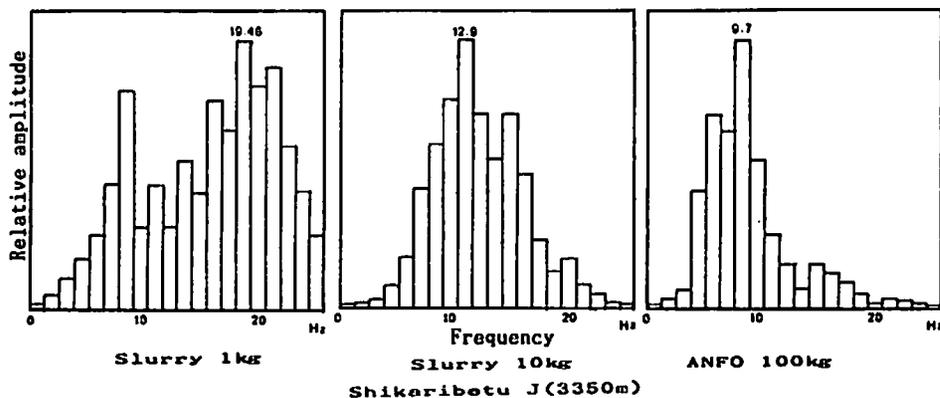


Fig. 4 Examples of power spectrum of each linear air blast noise record.

Table 2 Typical predominant frequencies for various charge weights and distances.

Explosive	Charge weight (kg)	I. Measuring point (1550m)			J. Measuring point (2350m)			K. Measuring point (4350m)		
		1,	2,	3,	1,	2,	3,	1,	2,	3,
Slurry	1	16.2	17.8	14.5	21.0	19.4	22.6	21.0	14.5	16.2
"	10	14.5	16.2	11.3	12.9	14.5	16.2	11.3	12.9	8.1
"	20	9.7	8.1	6.4	9.7	8.1	11.3			
ANFO	100	9.7	11.3	8.1	9.7	8.1	4.8	6.4	8.1	4.8

(Power spectrum frequency : Hz)

ア波高値（ピーク過圧）をとった方が、適当であると考えられるが、一方A特性については、ファストレベル又はスローレベルが適当であるとされている。ここに、比較検討のためには、両方を同じ評価単位で表示した方が都合よく、そのために両方に対してある程度妥当な評価を与え、波高値とファストレベルの中間の値となるインパルスレベルを採用した。

インパルスレベルは、インパルス性音のラウドネスとの関係は、まだ明確ではないが、物理的には明確に定義された量である。すなわち、IEC Pub. 179A (1973) に適合した騒音計や記録計を用いれば、簡単に直読でき、かつ再現性ある結果を得ることができる。それゆえに、得られたインパルスレベルは、波高値やファスト又はスローレベルと相関性があり、一般的にある範囲内で互いに換算することができる。

以上のようなインパルスレベルと、波高値（ピーク過圧）また普通の騒音計で使用されているファストやスローレベルとの差は、葉量、距離、地形条件、気象条件等の影響によって変わる。リニア波形の場合には、測定範囲内で、波高値とインパルスレベルの差は3～9dB、インパルスとファストレベルの差は2.5～5.5dB、ファストとスローレベルの差は6.0～9.5dBであった。

これらの差は、一般に葉量が小、距離が小、また地形条件の影響（障害の方の）が少なくなるほど、大となる傾向がある。相馬ヶ原実験の場合は、葉量小、距離小であるために、前記差の範囲の数値の大きい方であり、一方、然別や岩手山実験のように、遠距離での測定の場合には、数値の小さい方にある。なお、A特性の3つの動特性レベル間の差は、リニアの場合とほぼ同じであった。また、風の影響が強かったり、暗騒音が高い場合には、他のレベルとスローレベルとの差は非常に小さくなった。

リニアとA特性間のレベル差は、爆発大気振動が低周波であることから、20～50dBと非常に大きく、葉量大、距離が大となるほど、その差は大きくなった。ただ、暗騒音が高い場合や、大気振動によって励起される二次発生騒音がある場合には、A特性レベルが高くなり、その差は小さくなった。

リニア波形のパワースペクトルの一例を Fig. 4 に示す。この図には、爆発葉量によって、周波数スペクトルの変化する状況が示されている。このような爆発大気振動の周波数スペクトルは、ある特定の周波数だけに集中してピークをもつのではなく、ある周波数範囲に広がったものとなることがわかる。

このようなパワースペクトルにおいて、ピーク振幅を示す周波数（以下卓越周波数と呼ぶ）と、葉量及び

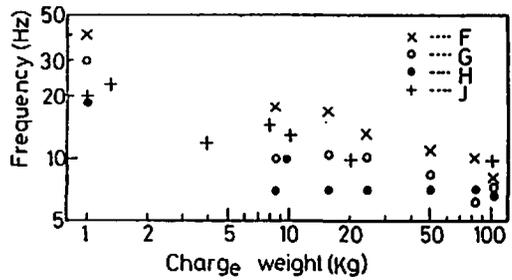


Fig. 5 Predominant frequency vs. charge weight and distance relation.

観測点（距離）との関係を Fig. 5 に示す。また、Table 2 には、然別実験での3個所の観測点における4種の葉量からの大気振動の、卓越周波数を示している。この場合には、パワースペクトルにおいて、振幅の高い順に、3番目までの周波数を示している。

これらには、葉量及び距離が大となるほど、比較的規則的に、卓越周波数は低下し、特に距離による周波数の低下が著しいことが示されている (Fig. 5)。ただ、詳細にこれらのデータを眺めると、規則性からの逸脱もかなり認められる（然別データ）。これらは、地形条件と気象条件の影響によると考えられるが、それらの影響は、前述のように、長い距離にわたって作用するので、その評価は非常に困難である。なお、地形条件の影響は、明確に認められた。気象条件、特に風は、大気振動のレベルに、大きな影響を与える場合があったが、その場合でも卓越周波数には明確な影響をあまり与えず、観測点毎に、ほぼ葉量によって定まる周波数が観測された。

このように、実際に公害となるような、数100g以上の葉量で、数100m以上の距離のところまで伝搬していった大気振動は、ほとんど50Hz以下の卓越周波数をもち、もっと葉量と距離が大となれば、ほとんど20Hz以下の超低周波音周波数成分が主となることがわかる。

次に、爆発大気振動の騒音としての影響を調べるために、A特性波形の実時間スペクトルを検討する。Fig. 6に、3種の葉量からの1/3オクターブ実時間スペクトルを示す。また、Table 3に、岩手山実験での1/3オクターブ実時間スペクトルの卓越周波数を示す。この場合も振幅の高い順に、3番目までの周波数を示している。

卓越周波数は、葉量や距離とあまり相関性を示していないが、その主要周波数は100(300)～800Hzにあることがわかる。A特性波形のところで述べたように、このようなA特性波形の主要周波数には、大気振動そ

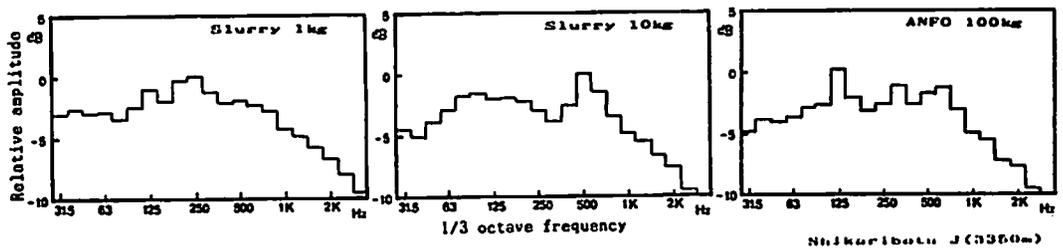


Fig. 6 Examples of 1/3 octave real time spectrum of each A weighted air blast noise record.

Table 3 Typical predominant frequencies of 1/3 octave real time spectrum of A weighted air blast noise record.

Explosives		Frequency (Hz)		
		1	2	3
Slurry	10kg	400	800	315
Slurry	20kg	315	800	400
TNT	50kg	630	800	500
TNT	100kg	800	630	500
ANFO	100kg	630	500	400
	"	500	400	630
	"	500	400	800

のものに含まれているもの、伝搬経路の途中で混入したものと、及び観測点周辺で二次的に発生したもの等が含まれている。

また、A特性波形に含まれているような高周波成分は、地形の凸凹の影響を非常に受けやすく、また草樹木等による吸音を受けやすく、さらに風の影響も非常に受けやすいために、偶発的なものに左右され、非常に変動しやすくなったのであろう。

なお、小薬量、近距離の場合は、直接の大気振動の振幅が、A特性回路のフィルタを通されたとしても、少し周波数が高く、かつ初期振幅が非常に高いために、残存し、100Hz以下の周波数が卓越周波数となる。また、屋外での測定では、1KHzを越える周波数はほとんど観測されないが、屋内では、あるリニアレベル以上となると、1KHz以上の周波数成分を含む場合が多くなる。

#### 4. 結 言

地表上爆薬爆発からの大気振動の概要を述べた。得られた測定値は、地形や地表面の状態及び気象条件の影響を受けて、一般的に整理することが困難であったが、他の一般騒音と比べてときの、その特徴は明白に示された。主な結果は次の通りである。

1) 爆発大気振動の主要な特徴は、持続時間が短く、

振幅が大幅に変動し、非常に低周波成分に富むことである。

2) 爆発大気振動のリニア及びA特性インパルスレベルと相似距離との関係から、それらのレベルに影響する各種因子を検討した。このような影響因子の評価データと相似特性データの集積によって、大気振動の諸特性の予測が可能となるであろう。

3) 爆発大気振動のリニア波形とA特性波形の、周波数スペクトルを検討した。リニア波形の卓越周波数は、ほとんど50Hz以下で、実際に公害として問題となる薬量及び距離のところでは、20Hz以下の超低周波音となる場合が多く、距離が大、薬量が大となるほど、また地形条件の影響が強くなるほど、その卓越周波数は低くなった。

A特性波形の卓越周波数は、屋外では100~800Hzで、これらは各種の影響を受けやすく、大きく変動した。

爆発大気振動は、当報告に述べたような特性をもつために、直接のその可聴周波数成分を耳で聴くことによる爆発騒音としての影響と、大気振動の圧力による物理的作用にもとづく影響、いわゆる超低周波音としての影響を与える。後者の影響は、非常に遠く離れたところまで及び、普通に公害として問題となるような

場所では、この影響の方が重大である。

このような超低周波音としての影響を検討するために、家屋と関係した各種の測定も、大気振動の測定と併行して実施しており、これらについては次の機会に報告する予定である。

〔付記〕当実験は、通産省立地公害局保安課及び工業技術院化学技術研究所保安環境化学部主催の火薬類の保安技術実験において、一つのテーマ実験として実施された。関係各位に深く謝意を表す。また計測や解析を援助された中央大学小林研究室、東京大学吉田研究室及び科学警察研究所の中村順氏に、深く謝意を表す。

#### 文 献

- 1) 黒田英司, 日下部正夫, 工業火薬協会誌, 41, 51 (1980)
- 2) 黒田英司, 吉田忠雄, 伊藤清蔵, 小林直太, 工業火薬協会誌, 43, 225 (1982)
- 3) 黒田英司, 小林直太, 工業火薬協会誌, 43, 233 (1980)
- 4) 黒田英司, 長谷川淳, 小林直太, 吉田忠雄, 工業火薬協会秋季研究発表講演会要旨 57 (昭和57年10月)
- 5) 通産省立地公害局保安課, 工業技術院化学技術研究所保安環境化学課編, 昭和54年度相馬ヶ原(群馬県)爆発実験報告書 (1980, 3)
- 6) 同上, 昭和56年度日出生台(大分県)火薬類の保安技術実験報告書 (1982, 3)
- 7) 同上, 昭和57年度然別(北海道)火薬類の保安技術実験報告書 (1983, 3)
- 8) 同上, 昭和58年度岩手山(岩手県)火薬類の保安技術実験報告書 (1984, 3)
- 9) 黒田英司, 工業火薬協会誌, 39, 297 (1978)
- 10) 黒田英司, 長谷川淳, 小林直太, 吉田忠雄, 日下部正夫, 工業火薬協会昭和59年度年会講演要旨集 27, 29 (1984, 5)

## Air Blast Noise from Surface Explosion

by Eishi KURODA\*, Jun HASEGAWA\*\*, Naota KOBAYASHI\*\*,  
Masao KUSAKABE\*\*\* and Tadao YOSHIDA\*\*\*\*

The air blast noise caused by the explosion of various explosives set on the surface of the ground in the field experiments promoted by the Ministry of International Trade and Industry has been measured for the past five years. The results obtained from these measurements were not sufficiently analizable because they were much affected by many conditions such as topographic and meteorologic ones. The characteristics of the air blast noise in comparison with the ordinal noise would be clarified. The air blast noise from surface explosions has shorter time-durations, more fluctuable peak-amplitudes, and lower frequency-components than the ordinal noise.

The analyses of the principal measurements of air blast noise from various explosives set on the surface of the ground, which were obtained at twelve measuring sites in four experimental fields, were repored herein. Especially, the analyses included the characteristics concerning the amplitude and frequency of the blast noise.

(\*Shirakawa Plant, Nippon Koki Co., Ltd., Nishigoh-mura  
Nishishirakawa-gun, Fukushima, Japan

\*\*Department of Precision Mechanics, Faculty of Science and Engineering,  
Chuo University. 1-13, Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

\*\*\*National Chemical Laboratory for Industry, Safety and Environmental  
Chemistry Division. 1-1 Yatabehigashi, Tukuba-gun, Ibaraki, Japan

\*\*\*\*Department of Reaction Chemistry, Faculty of Engineering,  
The University of Tokyo. 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku, Japan)