

# 地中爆発からの大気振動

黒田英司\*, 長谷川淳\*\*, 小林直太\*\*,  
藤原修三\*\*\*, 吉田忠雄\*\*\*\*

爆発大気振動の抑制のための基礎データ, また発破からの大気振動の特性とその影響を検討するためのデータを得ることを目的として, 地中爆発からの大気振動を測定する実験を行った。

ここでは, 地中爆発からの大気振動の主要な特性, 特にリニア及びA特性波形, 及びそれらの振幅特性と周波数特性について述べた。

## 1. 序

過去6年間にわたって, 通産省主催の火薬類の保安技術実験において, 各種火薬類の爆発によって発生した大気振動の測定を実施し, 各種火薬類の地表上爆発からの大気振動の特性については, 既に報告した<sup>1)</sup>。

このような地表上爆発の他に, 爆発大気振動の抑制のための基礎データを得るため, 又発破からの大気振動の特性及びその影響を検討するためには, 地中爆発からの大気振動の特性を知る必要がある。そのような地中爆発の実験の一つとして, 集中装薬の場合の地中爆発(一自由面発破)からの大気振動の測定実験を実施した<sup>2)</sup>。この関係の実験データは, 米国でわずかに知られているだけで<sup>3)-9)</sup>, 国内では全く見当らない。その実験は, 昭和56年度, 日出生台実験<sup>3)</sup>で実施したものであるが, 貴重なデータと考えられるので, ここに再整理して報告することにした。

## 2. 実験

### 2.1 爆源条件

爆薬は, スラリー爆薬で, 直径50mm, 薬量1kgの薬包を1, 3及び10本束ねたものを用いた。試験薬量は1, 3及び10kgの3種類である。爆薬の地中への設

置状況を, Fig.1に示す。薬包(3本以上のときは, そのうちの1本に)は, 導爆線を取りつけて略円椎状に掘った孔の底部に, 川砂を置き, その中央部の予め定めた深さのところとに設置した。

薬包の周囲とその上部, 及び見学者等人のいる側は, 川砂によって, その他の部分は, 周囲の粘土質小石混じりの土くれによって埋め戻した。起爆は, 薬包にとりつけた導爆線の他端をわずかに地表に出し, それを6号電気雷管で起爆することによって行った。

埋めの深さは, 地表面から薬包の重心までの長さ $d$ とし, その埋めの深さを薬量 $W$ の3乗根で除した値 $d/W^{1/3}$ , すなわち相似深度 scaled depth 3種類について, 実験を実施した。薬量と相似深度及び実際の埋めの深さの関係を, Table 1に示す。地中爆発の実験回数は, 実験番号1-4以下13回である。

### 2.2 実験場と観測点

実験場は, 陸上自衛隊日出生台演習場で, 場所及び観測点は, 以前報告した地表上爆発からの大気振動の測定を実施した場所<sup>1)</sup>に同じであり, ここでも同じ観測点名称を用いる。再述すると, 実験場は比較的なだらかな, あまり木の生えていない丘陵地帯にある。

観測点は4箇所で, E観測点は, 爆点から300m, 小高いところにあり, 間にはわずかにすきがある位

昭和60年6月28日受理

\*日本工機株式会社白河製造所

〒961 福島県西白河郡西郷村長坂土生 2-1  
TEL 0248-22-3111

\*\*中央大学理工学部精密機械工学科

〒112 東京都文京区春日 1-13-27  
TEL 03-813-4171

\*\*\*化学技術研究所保安環境化学部

〒305 茨城県筑波郡谷田部町東 1-1  
TEL 0298-54-4788

\*\*\*\*東京大学工学部反応化学科

〒113 東京都文京区本郷 7-3-1  
TEL 03-812-2111

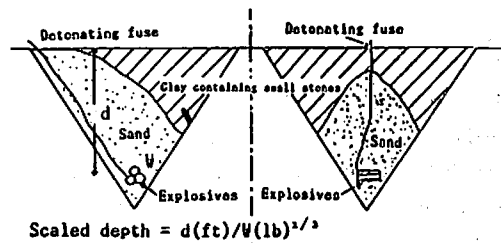


Fig. 1 Arrangement of explosives

Table 1 Charge weight, scaled depth and actual buried depth

Shot No.	Charge weight	Scaled depth	Actual depth
1-1	1 kg	surface	surface
1-2			
1-3		1 ft/1b <sup>1/3</sup>	40 cm
1-4			
1-5			
2-1	3 kg	1/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	29 cm
2-2		1 ft/1b <sup>1/3</sup>	57 cm
2-3			
2-4		3/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	87 cm
2-5			
2-6			
3-1	10 kg	1/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	43 cm
3-2		1 ft/1b <sup>1/3</sup>	85 cm
3-3			
3-4		3/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	128 cm
3-5			

で、爆点を直視することができる。F観測点は、E観測点の延長線上 600m のところ、中間の高地の陰にあり、また爆点よりも低い位置にある。G 及び H 観測点は、1150m, 1750m のところで、間は比較的なだらかであるが、爆点に近い側にかなり高い丘がある。F, G, H 観測点からは、もちろん爆点を直視することはできない。

### 2.3 測定及び解析

地表上爆発からの大気振動の測定<sup>1)</sup>の場合と同じである。使用した測定器と解析器を再述しておく。

音圧の測定……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 VM-16 の組合せ)、インパルス精密騒音計 RION NA-61 の Flat 特性

騒音の測定……インパルス精密騒音計 NA-61 の A 特性

AC 及び DC 波形の書き出し……高速度グラフィックレコーダ RION LR-50

パワースペクトル分析……三栄測器 7T07A

実時間分析……RION SA-24

## 3. 測定結果と検討

### 3.1 大気振動波形の検討

一般に、地中爆発からの大気振動は、相対的に浅い爆発のときは、爆発生成ガスの噴出によって生じる gas release pulse<sup>3), 9)</sup> (gas venting pulse<sup>3), 4)</sup>とも呼ばれている) が優勢に現われ、大気中爆発の場合と同じ生成機構によって生じられる。相対的に深くなれば、

爆発生成ガスは、次第に地中に束縛されるようになり、噴出時刻は次第に遅れ、噴出速度はゆるやかになり、噴出持続時間は長くなる<sup>3), 4)</sup>。

ある限度以上の深さになると、ガスの噴出からの大気振動に先行して、自由面の急速移動ないしは地中の弾性波の自由面透過によって生ずる大気振動、すなわち ground shock induced pulse<sup>3), 4)</sup> (air pressure pulse<sup>8), 9)</sup>とも呼ばれている) が、認められるようになる。そしてさらに相似深度が増すにつれて、両者の強さが逆転し、ついには爆発生成ガスは地中に封じ込められ ground shock induced pulse だけしか認められなくなる。

F, G, H 観測点 (600~1750m) で観測された地中爆発からの大気振動波形は、距離が長いために、その生成時の高周波成分が、伝搬径路において、大気及び地表面に吸収されてなくなり、地表上爆発の場合と同じ波形形状となった。ただしこの場合には、地表上爆発の場合よりも、振幅が低くなり、波形は時間的に拡大され、低周波成分に富むものとなっている。

もっとも近い E 観測点 (300m) で NA-61 によって得られた Fig. 2 に示すような波形には、大気振動生成時の高い周波数成分がまだ残っていて、その形状から、大気振動の生成機構をうかがうことができる。

Fig. 2 の 4 と 6 の 3/2 ft/1b<sup>1/3</sup> のときの波形は、その形状特徴からみて ground shock induced pulse とみることができる。ただ、同じ相似深度のときに、3 の波形には ground shock induced pulse は、その立

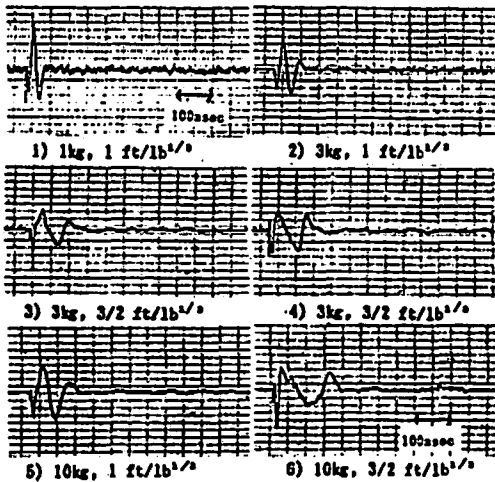


Fig. 2 Typical waveforms of air vibrations by underground explosions.

上がり部分にわずかに認められるだけで、gas release pulseの方が優勢に現われている。これら以外の浅い爆発のときには、いずれもgas release pulseによる波形しか認められない。

Sandia Laboratoryの研究<sup>3),4)</sup>によれば、最大漏斗孔条件、すなわちクレータ寸法を最大にする深さ(1.25 ft/lb<sup>1/3</sup>)で、gas release pulseの振幅は、ground shock induced pulseの振幅の3倍で、それより浅くなると、gas release pulseの方が顕著となり、0.5 ft/lb<sup>1/3</sup>では、先行するground shock induced pulseに追いつき、両者の見分けはつかなくなるとされている<sup>3),4)</sup>。また、玄武岩中と土壤中で、ほとんど差異は認められないとしている。

当実験の測定は、最も近いところでも300mと離れたところで行っており、先に生じたground shock induced pulseに、後に生じたgas release pulseが、伝播過程の間に追いつき、両pulseは融合する傾向がある。また測定は真上ではなく、傾方向で行い、高周波成分は回折されにくいために、高周波成分が失われた波形となる傾向がある。また、当実験では、爆薬を埋め戻した土壤中で爆発させた。そのために、普通には、gas release pulseの方が、生じやすいと考えられた。しかしながら、1.5 ft/lb<sup>1/3</sup>での波形をみると、ground shock induced pulseと考えられる波形の方が、優勢に現われている。爆源周囲を砂で覆い、上部を土くいで埋め戻したために、上部自由面が移動し易くなり、そのようななったと考えられる(目視で上部土壤がもたらがるのが観測された)。

このようないくつかの理由によって、当実験データからだけでは、地中爆発で、どのような機構によって

大気振動が生成されたか、また生成機構の変化はどの深さで生じたかは、正確には決定できなかったが、3/2 ft/lb<sup>1/3</sup>以上の深さでは、ground shock induced pulseが明確に認められ、深くなるにつれて次第に優勢になるといえるであろう。なお、Fig. 2のNA-61によって得られた波形例において、最も初期に現われている負の信号は、NA-61のマイクロホンの構造に寄因する擬似信号波形と考えられた<sup>9)</sup>。なお、これは後の実験において、実証された<sup>10)</sup>。このような擬似信号波形は、MV-03による波形には認められない。

A特性波形は、一般に、薬量が小で、距離が短い場合には、A特性周波数補正回路を通したとしても、リニア波形が残っており、それが優勢に現われ、その波形に高周波の波形がのる波形となった。薬量が大、距離が大となるにつれて、次第に高周波の波形が優勢となり、一番遠いH観測点では、高周波の波形のみとなる場合が多かった。これらは、いずれも初めに最大ピークまで立上り、その後漸減する形状となったが、風の影響が強かった場合には、漸増して最大ピークに達し、その後漸減する波形となった。なお、埋めの深さによる波形の変化は明確には認められなかった。

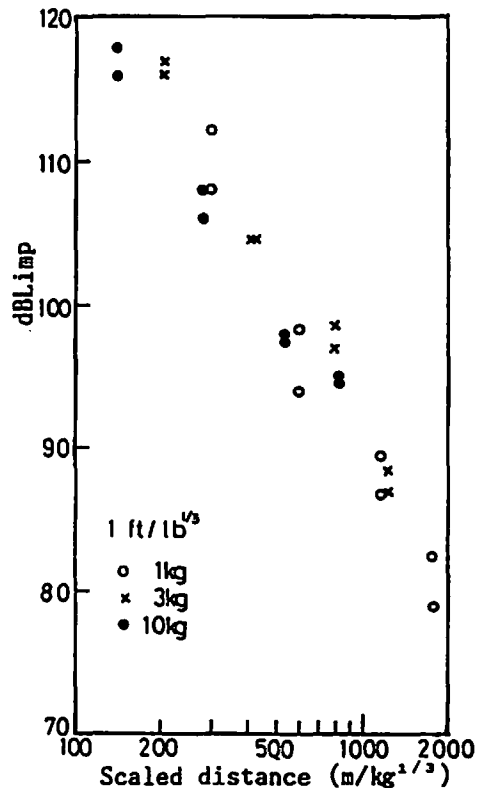


Fig. 3 dBLim vs scaled distance for underground explosions at scaled depth (ft/lb<sup>1/3</sup>) = 1

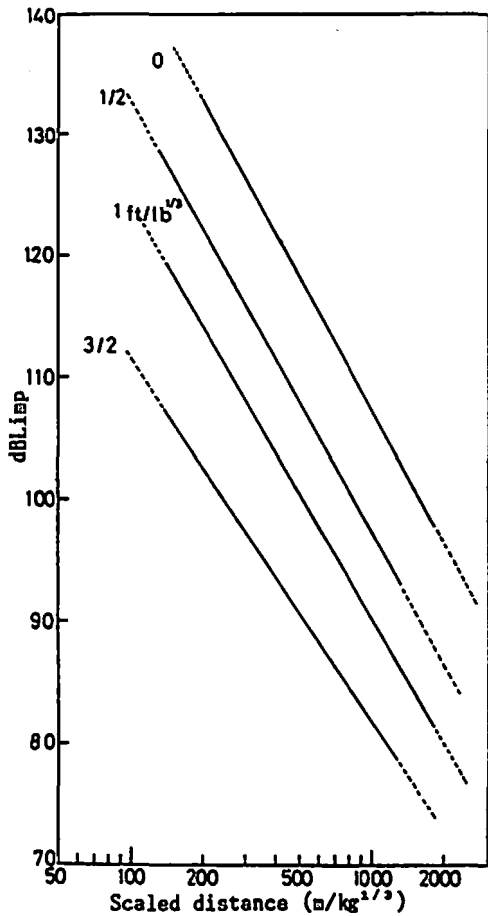


Fig. 4 dBLimp vs scaled distance for surface and underground (at three scaled depths) explosions.

### 3.2 大気振動の振幅

リア大気振動波形を、実効値波形に変換(true rms 回路によるものと一致)<sup>12)</sup>して、それから読みとったピークリニアインパルスレベルと相似距離(scaled distance)の関係の一例として、相似深度  $1 \text{ ft/lb}^{1/3}$  の地中爆発からのデータを、Fig. 3 に示す。このデータは、300 から 1750m までの 4 観測点における、1, 3, 10kg の 3 薬量からのデータを、全て含んでいる。かなり大きなプロットのバラツキが認められるが、爆点からの距離や薬量による系統的な逸脱は認められない。他の相似深度においても、同様であった。このように相似距離と相似深度によって、大気振動の振幅が定まり、相似法則が成立することがわかる。

なお、爆点からの距離に対して相似法則が成立したのは、前報告<sup>1)</sup>で述べたように、地形と地表面の状態及び風の影響がうまく重なりあって、偶然に生じたも

のと考えられ、普通には複雑な地形が多いので、それらの影響は、観測点毎に異なる場合が多い。

Fig. 4 に、地表上爆発と 3 種の相似深度の地中爆発からのリニアインパルスレベル (dBLimp) と相似距離関係の適合カーブを示す。地表爆発の場合には、薬量が少ないと、卓越周波数が高くなるためか、相似関係からの逸脱が認められるので、比較基準データとしては、同一場所で得られた 8.6kg 以上の薬量の地表上爆発からのデータを用いた。

Fig. 4 からわかるように、地表上爆発から、 $1/2$ ,  $1$ ,  $3/2 \text{ ft/lb}^{1/3}$  と相似深度が増すにつれて、約 10dB づつ振幅が低下しており、その距離減衰指数はわずかづつ低くなっていることがわかる。 $3/2 \text{ ft/lb}^{1/3}$  に相当する深さだけ爆薬を埋めれば、地表上爆発の場合よりも約 30dB だけレベルが低下する。

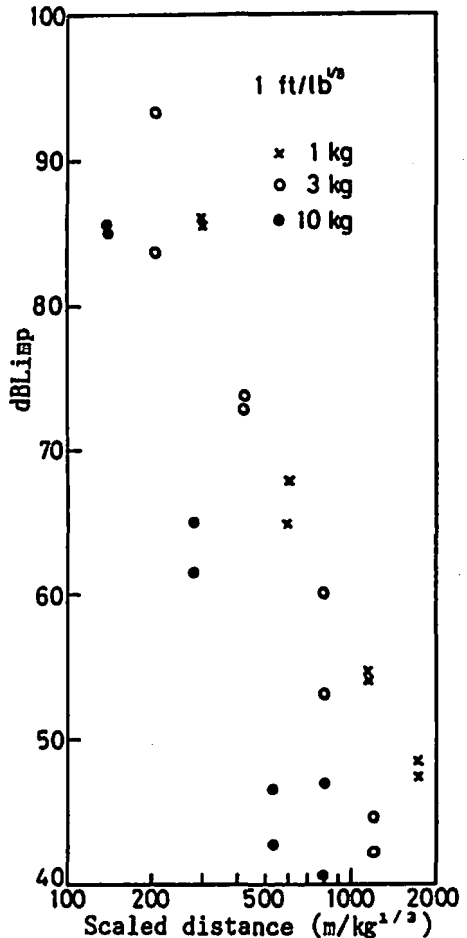


Fig. 5 dBAimp scaled distance for surface and underground (at scaled depth  $(\text{ft/lb}^{1/3}) = 1$ ) explosions.

Table 2 Various amplitudes of air vibrations from underground explosions (at measuring point E)

Charge weight	Scaled depth	Peak	dBLimp	dBLfast	dBAimp	dBAfast
1 kg	surface	110.0	105.0	99.0	76.0	72.0
	1 ft/1b <sup>1/3</sup>	93.0	88.0	84.0	54.0	51.0
3 kg	1/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	106.0	101.0	97.0	68.5	64.5
	1 ft/1b <sup>1/3</sup>	101.0	97.0	93.0	57.0	53.0
	3/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	89.5	86.5	83.5	34.0	32.0
10 kg	1/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	111.0	107.0	103.0	52.0	50.0
	1 ft/1b <sup>1/3</sup>	100.5	98.0	94.0	44.5	42.5
	3/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	93.5	90.5	86.5	33.0	32.0

Fig. 5 に、1 ft/1b<sup>1/3</sup> の地中爆発からの A 特性インパルスレベルと相似距離の関係を示す。地表上爆発の場合は、リニアレベルの場合と同じく、薬量がある程度 (8.6 kg) 以上であれば、その dBAimp の相似距離に対するプロットは、ある直線の近くに集まる (相似法則が成立する) 傾向を示すが、リニアレベルの場合よりもプロットの拡がり大きい<sup>1)</sup>。地中爆発の A 特性レベルの場合は、リニアレベルの場合と異なって、相似深度に対して相似法則が成立せず、薬量によって異なったカーブとなる。すなわち、薬量が多くなると、相似グラフ上で、相対的にレベルが低くなり、距離減衰指数は大きくなる。またその指数は、リニアレベルの場合よりも、A 特性レベルの場合が少し大きい。

### 3.3 大気振動の振幅特性について

波高値、リニアインパルスとファストレベル、及び A 特性インパルスとファストレベルデータの一例を Table 2 に示す。これは G 観測点で得られたデータであ

る。波高値、すなわちリニア波形のピーク値とリニアインパルスレベルの差は 3~5 dB、インパルスとファストレベルの差は、リニアで 3.5~4.5 dB、A 特性で 2~4 dB であった<sup>13)</sup>。A 特性レベルの小さい差は、暗騒音のせいによる。スローレベルについては、風による暗騒音の影響を強く受け、不規則なデータとなったので、ここでは除いた。暗騒音の影響が少なかった場合には、リニア、A 特性レベルとも、ファストレベルよりも 6~8 dB 低い値となった。

Table 3 に、リニアと A 特性インパルスレベルの差を示す。爆点からの距離が遠くなるほど、薬量が増えるほど、また埋めの深さが大となるほど、それら間の差が大きくなることが示されている。規則性からはずれたものは、A 特性レベルが、風によって生じた暗騒音によって高くなったことによると考えられる。

### 3.4 大気振動の卓越周波数

地中爆発からのリニア大気振動の 1/3 オクターブ実

Table 3 Differences between linear and A weighted impulse level.

Charge weight	Scaled depth	Measuring point			
		E (300m)	F (600m)	G (1150m)	H (1750m)
1 kg	Surface	21.0	29.0	28.0	35.0
	1 ft/1b <sup>1/3</sup>	24.0	30.0	34.0	32.5
3 kg	1/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	26.0	28.5	32.5	37.5
	1 ft/1b <sup>1/3</sup>	28.0	31.5	40.0	44.5
	3/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	25.0	39.5	52.5	37.5
10 kg	1/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	29.0	35.5	54.5	46.5
	1 ft/1b <sup>1/3</sup>	31.5	43.5	53.0	51.5
	3/2 ft/1b <sup>1/3</sup>	26.0	55.3	51.5	48.5

(dB)

Table 4 Predominant frequencies of linear air vibrations from underground explosions.

Charge weight	Scaled depth $ft/lb^{1/3}$	1/3 octave real time spector				Power spector			
		E	F	G	H	E	F	G	H
		300m	600m	1150m	1750m	300m	600m	1150m	1750m
1kg	0	40	31.5	31.5	20	41	36	32	21
	1	40	20	25	25	28	28	21	19
3kg	1/2	31.5	25	25	20	29	24	21	20
	1	25	25	25	20	23	21	22	10
	3/2	12.5	12.5	12.5	8	11	12	11	11
10kg	1/2	25	20	16	12.5	15	18	11	8
	1	16	16	12.5	10	13	14	10	10
	3/2	8	8	8	5	7	10	7	8

(Hz)

時間周波数スペクトル及びパワースペクトルにおいて、ピーク振幅を示す周波数（以下卓越周波数とよぶ）を、Table 4に示す。また、パワースペクトルの卓越周波数を、Fig. 6に、相似深度に対してプロットした。これから、薬量、距離及び相似深度が増加するにつれて、それぞれ卓越周波数が低くなることわかる。

地中爆発からの大気振動の周波数は、地表上爆発の場合に比べて、大きく低下するのではなく、やや低くなる程度であることがわかった。ただ1から3/2  $ft/lb^{1/3}$ と深くなるに、大きな周波数の低下が認められる。これは、大気振動の生成機構の変化と関係があるように思われる。また、地中爆発からの大気振動の卓越周波数は、全て30Hz以下となっていることが注目される。

A特性波形の卓越周波数は、30~100Hzの低周波域にピークを示す場合と、100~800Hzの高周波域にピークを示す場合があり、ほとんど両者が混在し、匹敵する振幅をもっている場合が多かった。特に、薬量が小で、距離が短い場合には、低周波成分の方が強く、薬量が増え、距離が長くなると、また風の影響を強く受けた場合には、高周波成分が強く現われた。

#### 4. 考察

地中爆発からの大気振動の特性に関しては、米国 B RL<sup>6)</sup>, 7)(Ballistic Research Laboratory) と地下核爆発と関係して得られた Sandia (National) Laboratory<sup>8)</sup>, 9)の実験結果が知られているだけで、国内では全くデータは得られていない。それらの報告には、主として近距離での爆風過圧に関して述べているだけで、周波数に関する記述はなく、爆発薬量は非常に多い。

そこで、我々は1~10kgの小薬量を、適当な相似深度で、埋めの状況ができるだけ一様になるように地中に埋めて爆発させ、主として大気振動による公害問

題を検討するために、地中爆発からの大気振動の振幅と周波数に関するデータを得ることにした<sup>2)</sup>。

爆発を地中に埋める深さは、米国文献にならって、相似深度 scaled depth によって定め、その単位も同じく  $ft/lb^{1/3}$  を採用し、その深さは1/2, 1, 3/2  $ft/lb^{1/3}$  の3種類とした。1  $ft/lb^{1/3}$  は0.3967  $m/kg^{1/3}$  に相当する。

これは、実際の発破からの大気振動の振幅が、一段発当りの薬量としたときには、当実験のような一自由面発破の3/2  $ft/lb^{1/3}$  の深度のときの振幅に近く<sup>7), 8)</sup>、また1と3/2  $ft/lb^{1/3}$  間で、大気振動の生成機構が変わるということが知られていることによる<sup>3), 4)</sup>。

大気振動の生成機構の検討は、大気振動波形の面からは、測定位置が爆源より遠く隠れていたことや、埋めの不均一さによって、十分ではなかった。ただ3/2  $ft/lb^{1/3}$  の深さでは、ground shock induced pulse が明確に認められ、これ以上の深さでは、この生成機構による大気振動が優勢になることは推定できる。

当実験は、地中爆発からの大気振動の公害としての

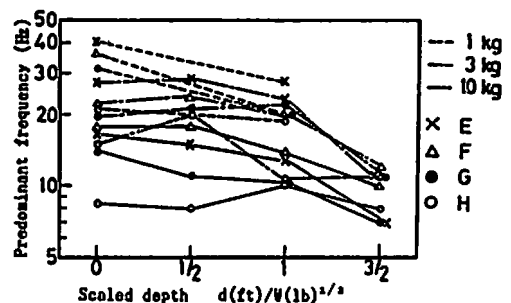


Fig. 6 Predominant frequencies vs scaled depths for 3 charge weights and 4 measuring points.

影響を検討するためのデータを得ることを目的としており、この点に関しては、相似深度によって、振幅と周波数、及び騒音の性質が変化するデータが得られ、ほぼ満足できた<sup>2)</sup>。

大気振動の振幅に関して、他の文献との比較は、公回データの大きく離れたところで得られ、しかも地形条件の影響を大きく受けたこともあって、直接の比較は困難である。データ範囲が一部重複するBRLのデータ<sup>6)</sup>との比較を試みる。

BRLのデータは、広い平坦地(砂漠)で得られたのに対し、当実験のデータは、丘陵地帯で得られた。そのために距離減衰指数が大きく異なる。BRLの距離減衰指数が、1.15~1.35に対して、当実験の場合は1.4~2.0であった。<sup>10)</sup>

このために、絶対値の直接比較はできないが、地表上爆発からの相対的減音量として、かつBRLのデータは過圧、当実験ではリニアインパルスレベルであることを考慮(Table 2参照)に入れて、またBRLのデータを大きい距離範囲まで外挿して、埋めの深さによる減音量を比較すると、2~5 dBの差があるがほぼ一致している。諸条件の違いを考慮に入れると、良い一致であるといえよう。

これから、比較的近距离ではBRLデータ<sup>6), 7)</sup>、遠距離では当実験データを用いて、埋めの深さによる大気振動の振幅の低下を予測できることがわかる。

このように、埋めの深さに応じて、その振幅を減じる一方、その卓越周波数も徐々に低くなる。特に3/2 ft/lb<sup>1/3</sup>における周波数の低下が著しい。今回の地中爆発からの大気振動の卓越周波数は7~25 Hzであった。

以上のことから、爆薬を埋めて爆発させることによって、大気振動の振幅は大きく低下し、その影響範囲は狭くなることがわかる。そしてリニアとA特性レベル間の差が大きくなり、またその卓越周波数が家屋構成要素(特にガラス窓)の固有振動数に近くなることから、その影響は、ほとんど超低周波音としての影響だけとなることがわかる。

#### 5. まとめ

- 1) 集中装薬の地中爆発(一自由面発破)からの大気振動の主要な特性が得られた。このような爆発からの大気振動の振幅は、相似深度と相似距離の函数として表わすことができることを示し、またいくつかの条件のもとで、その卓越周波数データを得た。
- 2) 地中爆発からの大気振動の波形には、gas release pulseとground shock induced pulseが認められ浅い時には前者が顕著で、深い場合(3/2

ft/lb<sup>1/3</sup>)には、後者が顕著に認められた。なお、大気振動の生成機構の詳細な検討は、測定距離が大で、埋めの状態が一樣でなかったために、十分にはできなかった。

- 3) 当実験によって得られた地中爆発からの大気振動の振幅特性は、諸条件の違いを考慮に入れるとBRLのデータとほぼ一致した。
- 4) 地中に埋めることによって、リニアとA特性間の振幅の差は、非常に大きくなり、またその卓越周波数は、7~25 Hzと家屋構成要素の固有振動数に近くなるために、地中爆発からの大気振動は、爆発騒音としての影響よりも、超低周波音としての影響はるかに大きいことが示された。

#### 〔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昭和56年度日出生台火薬類の保安技術実験において、実施された。実験を援助された関係各位に深く謝意を表する。特に、全国火薬類保安協会の伊藤清蔵氏、斉藤照光氏、日本産業火薬会の松田幹雄氏、また化学技術研究所の担当者であった日下部正夫氏に、深く感謝する。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にも深く謝意を表する。

#### 文 献

- 1) 黒田英司、長谷川淳、小林直太、日下部正夫、吉田忠雄、工業火薬協会誌、46、32 (1985)
- 2) 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部編、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)
- 3) L. J. Vortman, J. A. S. A 43, 229 (1966)
- 4) L. J. Vortman, Annals of the New York Academy of Sciences 152, 362 (1968)
- 5) J. W. Reed, SAND-82-1869C (1982), SAND-83-0770C (1983)
- 6) Perkins, Beauregard, Jr and W. F. Jackson, BRL Rept. No. 1240 (1964)
- 7) H. R. Nicholls, C. F. Sumner and W. I. Duvall, Bureau, of Mines Bull. 656 (1971)
- 8) D. E. Siskind and V. J. Stachura, Bureau of Mines RI-8485 (PB81-148918) (1981)
- 9) J. F. Wiss and P. W. Linehan, PB-299899 (1978)
- 10) 黒田英司、中川政之、小林直太、吉田忠雄、伊藤清蔵、日下部正夫、工業火薬協会昭和57年度年会、講演要旨集 71p (1982. 5)
- 11) 黒田英司、長谷川淳、小林直太、日下部正夫、工業火薬協会昭和60年度年会、講演要旨集、19p (1985. 5)

- 12) 黒田英司, 長谷川淳, 小林直太, 日下部正夫, 工業火薬協会昭和60年度年会, 講演要旨集, 21p (1985. 5)
- 13) 黒田英司, 小林直太, 工業火薬協会誌, 43, 233 (1982)

---

**Air Vibrations from Underground Explosions**

by Eishi KURODA\*, Jun HASEGAWA\*\*, Naota KOBAYASHI\*\*,  
Shuzo FUJIWARA\*\*\*, and Tadao YOSHIDA\*\*\*

A series of measurement on air vibrations from underground explosions were carried out for the investigation of their characters and effects, and further for the control of them.

In this paper, main characters of them, especially waveforms, amplitudes, and frequencies of linear and A weighted air vibrations, were presented.

(\*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 Tokyo, Japan)