

泡による爆発音の消音(Ⅲ)

4 m立方網内での爆発の泡による消音効果

和田有司*, 大橋正満**, 國川明輝**, 橋爪 清***

劉 榮海****, 小林直太*****, 斎藤照光*****, 吉田忠雄*

泡による爆発音の消音効果を測定するために、4 m立方のプラスチック網で囲まれた空間を作り、100 gまでの爆薬を爆発させた。

泡単独で被覆した時、6号雷管1本の爆発音を爆源から30 m地点で測定すると、騒音レベルは泡厚1 mにつき約23 dB低下した。25 g程度の爆薬では泡厚2 mで約40 dB程度低下すると思われる。

泡厚2 mの時に薬量が増加したときの騒音レベルの増加の割合は、砂厚20 cmの時や空気中での割合より大きく、泡単独による被覆は薬量が少ないときの方がより有効であることがわかった。

砂被覆と泡被覆を併用した実験では、砂が泡を貫いて飛散する様子が観察され、騒音レベルの低下も泡単独の被覆の時より小さい。

1. はじめに

泡による爆発及び爆発騒音についてはRaspet及びGriffiths¹⁾の研究があり、それ以後いくつかの関連した研究が発表されている^{2)~6)}。Raspetらはプラスチックシートで囲まれた直方体の空間に泡を満ちし、その中で爆薬を爆発させ、泡が爆風の抑制に効果のあることを示した。そして、騒音抑制に対する泡厚、泡密度及び爆薬量の影響を示すスケール則を提案している。

Panczak, Krier及びButler²⁾は、泡による爆風の減衰を理論解析し、得られたモデルがRaspetらの実験結果¹⁾と良い一致を示すとした。Raspet⁶⁾らはプラスチックシートに泡を入れる代わりに暗きょ用鉄筒中に泡を満ちして、その中で爆薬を爆発させ、泡の消

音効果を検討している。Raspetらの研究は150 dB以上の中間的爆風の減衰を目標としたものであった。

ロックウッドシステムズコーポレーションではテロリストによる爆弾の爆風被害を減少させるために泡を用いる特許を申請している⁷⁾。

筆者らは別な見地から爆風抑制及び爆発騒音抑制の研究を始めた。筆者らは先に砂、段ボール板、ガラスマイクロバルーンなどが弱い衝撃波の効果的な吸収材であることを小型ギャップ試験⁸⁾を用いて示し⁹⁾、この結果を靱技術用紙雷管の安全な包装方法に活用した。筆者らはまた、砂中爆発法¹⁰⁾を用いて、強い衝撃波吸収材としては鉄ブロックや砂が優れていることを示し、この成果を爆薬の安全な収納庫の開発に活用した¹¹⁾。

砂は以上のように強い衝撃波に対しても弱い衝撃波に対しても有効な吸収材であることから消音材としても活用することを計画した。都市構造物の発破に応用することを前提として、鉄板の爆発切断¹²⁾、鉄骨入りコンクリートブロックの爆破¹³⁾、鉄棒の成型爆薬切断¹⁴⁾及び鉄筋コンクリート柱から発破で露出させた鉄筋の成型爆薬切断¹⁵⁾に砂被覆を適用して、砂が消音効果を持つことを確かめた。筆者らはさらに雪の爆発音消音効果を検討し、砂と類似の消音効果のあることを確かめた¹⁶⁾。

砂や雪(あるいは雪状の水)は爆発騒音の抑制効果を持ち、また、飛散物の抑制効果も合わせ持っており、

昭和63年10月3日受理

*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(Ext. 7291)

**能美防災工業(株)研究所
〒360-02 埼玉県大里郡妻沼町大字妻沼5058

***日本化薬(株)火薬事業部
〒100 東京都千代田区丸の内1-2-1

****華東工学院化学工程系
中国南京孝陵衛200号

*****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

***** (社)全国火薬類保安協会
〒102 東京都千代田区九段北1-12-4

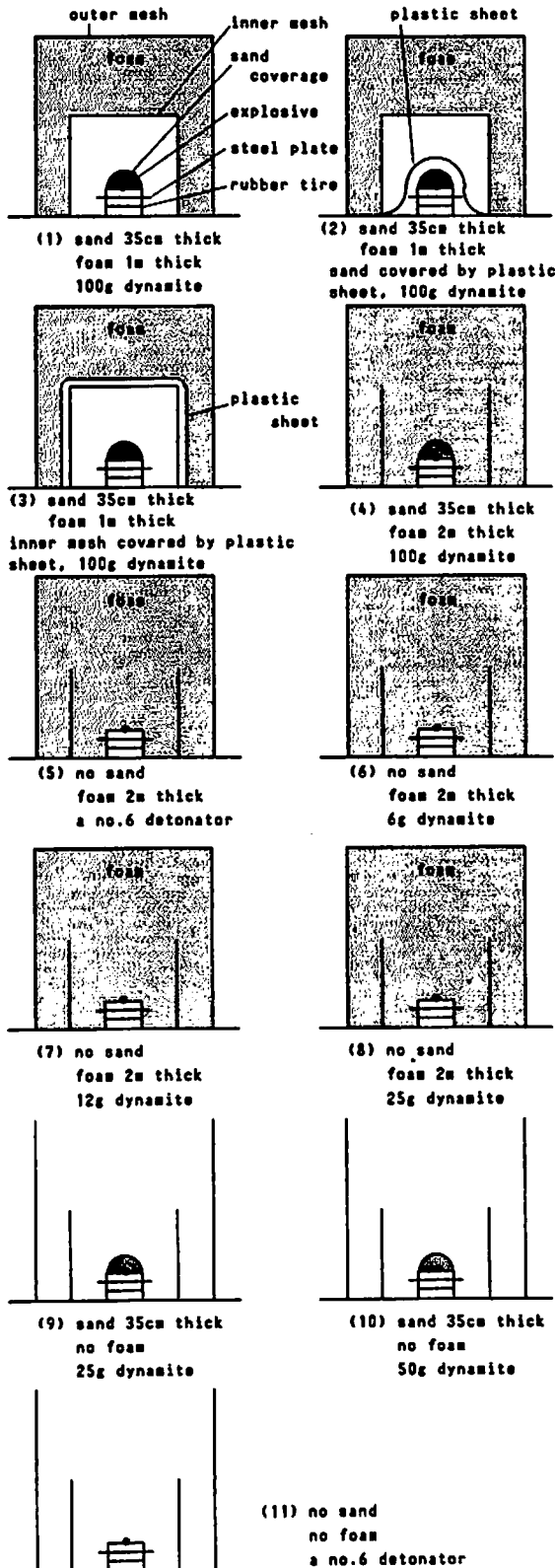


Fig. 1 Experimental setup of explosion in aqueous foam.

有用な爆破公害防止材である。地表面構造物や地下構造物の発破解体ではそれだけで十分に使用することができる。しかし、2階以上の建物部分の発破解体では砂や雪だけでは騒音を抑止することはできない。発音箇所を全て砂や雪で覆うことができず、音が漏れる場所が残ってしまうからである。

この問題点を克服するために泡の利用を考えた。泡は軽く、室内に充満したり、建物の養生網の間に充満することができる。この様な泡被覆によって2階以上の建物の発破解体においては消音材としての泡の活用が考えられた。

まず最初は鏡技用紙雷管の爆発を音源として用いて泡の消音効果を調べた。亜鉛引鉄板で作った2重円筒を用いた。鏡技用紙雷管に直接泡が接触することを防ぐためである。この実験で10~20cmの厚さでも泡には消音効果があること及び泡の発泡倍率によって消音効果はあまり変わらないことを確かめた¹⁷⁾。さらに、2m立方の金網張りの箱を作り、その中でダイナマイト25gまでの爆薬を爆発させて、泡の消音効果及び2,3の条件の影響を調べた¹⁸⁾。

ここでは、さらに規模の大きい4m立方のプラスチック網で囲まれた空間を作り、その中に前回使用した2m立方の金網の箱を置き、その中で、100gまでの爆薬を爆発させて、泡の消音効果を検討した。

2. 実験

2.1 試料

爆発音は日本化薬(株)製の6号電気雷管及び3号桐ダイナマイトによって発生させた。ダイナマイトは球状装薬とした。消音用の泡は合成界面活性剤泡消火薬剤ノーマフォームエースを3%水溶液とし、発泡器により発泡倍率約500倍として用いた。地表コンクリートの保護のために2段に積んだ古タイヤに砂を詰め、その上に厚さ5mmの鉄板を置き、さらにその上に古タイヤ1個を置き砂を詰め、その上で爆発実験を行った。

2.2 実験方法

実験は埼玉県大里郡妻沼町にある能美防災工業(株)の研究所内の敷地で行った。Fig. 1に示す4m立方のプラスチック網を張った木枠及び2m立方の金網を張った鉄枠の中で爆発実験を行い、泡その他の条件の効果を調べた。また、泡が無い時の参照データを得るために、兵庫県姫路市にある日本化薬(株)姫路工場内の敷地で実験を行った。

2.3 計測

騒音レベルの測定はリオン(株)製精密騒音計NA-61を用いて行った。Aファースト特性でピーク値を目視で観察、記録した。観察位置は爆源から15m, 30m及び60mであるが、15m位置の測定値はビデオカメラ

Table 1 Results of explosion experiments using aqueous foam as noise reducer.

Run	Explosive	Sand Thickness [cm]	Foam Thickness [m]	Sheet	Noise level dB(A-fast)		
					15 m	30 m	60 m
1	100 g dynamite	35	1	no	91	87	80
2	100 g dynamite	35	1	on sand	93	83	80
3	100 g dynamite	35	1	on 8m ² frame	90	87	78
4	100 g dynamite	35	2	no	86	84	73
5	a no. 6 detonator	0	2	no	66	64	<60
6	6 g dynamite	0	2	no	71	68	60
7	12 g dynamite	0	2	no	79	74	65
8	25 g dynamite	0	2	no	85	81	74
9	25 g dynamite	35	0	no	96	92	80
10	50 g dynamite	35	0	no	97	93	82
11	a no. 6 detonator	0	0	no	114	111	101

ラに録画し、再生して読み取り、記録した。なお、爆源付近の地面はコンクリート舗装で、28m付近からは芝生となっている。

3. 結果と考察

3.1 実験結果

実験結果をTable 1及びTable 2に示した。

3.2 無被覆爆発における泡単独の消音効果

泡単独の消音効果はTable 1の実験5及び実験11を比較して得られる。6号雷管1本の爆発の場合にはまわりに2mの厚さの泡が存在すると47~48dBの騒音の低下がみられる。雷管以外の爆発の騒音抑制効果については砂や泡を用いない実験を行うことができな

かったので直接比較はできない。

しかし、33gの高性能爆薬で砂や泡を用いない他の場所で行った実験結果がある(Table 2, R-1, R-2)。このデータとTable 1の実験8を比較すると30m及び60m地点で38~39dBの騒音の減少がみられる。R-1やR-2は草地で行われた実験であり、今回の実験は、爆薬量は少ないがコンクリート面上で行われた実験である。一般に草地上よりコンクリート面上では音は大きくなる。このことを考察すると25g程度の爆薬の爆発では、2mの厚さの泡によって40dB程度の消音効果が期待できる。

3.3 無被覆爆発における泡厚の効果

Table 2 Results of explosion experiments without aqueous foam.

Run	Explosives	Sand Thickness [cm]	Noise level dB(A-fast)				Ref.
			15 m	20 m	30 m	60 m	
1	a no. 6 detonator	0	96		91	86	
2	a no. 6 detonator	0	96		91	87	
3	6 g dynamite	14	82		76	74	
4	6 g dynamite	14	80		74	70	
5	12 g dynamite	14	84		78	74	
6	12 g dynamite	14	94		90	85	

Reference Data

R-1	33 g high explosives	0	122	119	112	a)
R-2	33 g high explosives	0	127	120	114	a)
R-3	a no. 6 detonator	0		90	83	b)
R-4	a no. 6 detonator	0	104	95	81	b)

a) Ref. 16)

b) Experiments on a ground covered with snow ; unpublished data.

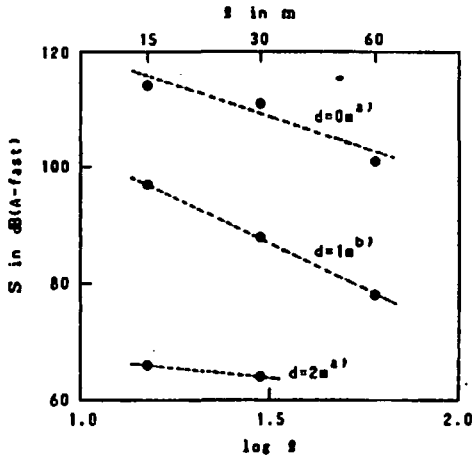


Fig. 2 Plot of noise level (S) vs. logarithm of distance (l) for the explosion of a no.6 detonator. Effect of foam thickness (d). a) This work. b) Ref. 16)

前回の実験では 2 m 立方の泡の中に 6 号雷管を吊して実験を行い、今回の実験では 4 m 立方の泡の中に 6 号雷管を吊して実験を行った。また、今回は泡なしの場合の 6 号雷管 1 本の実験も行った。その結果を Fig. 2 に示す。

データ数が少なく、全てが同じ条件で実験されたわけではないので詳細な議論はできないが、30 m 地点における騒音レベルの観測結果から泡厚 1 m 当り約 23 dB の騒音レベルの低下がみられる。15 m 地点における距離減衰傾向の違いは、今回の実験が古タイヤに詰められた砂の上で行われたのに対して前回の実験¹⁶⁾は中空

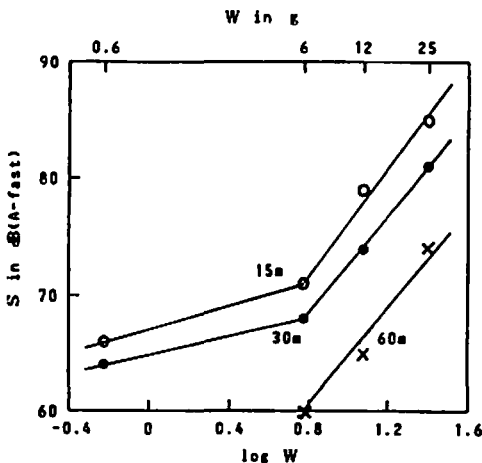


Fig. 3 Plot of noise level (S) vs. logarithm of charge weight (W) for explosion in aqueous foam of 64m^3

吊して行われたための違いが現れたものであろう。砂上爆発の場合は爆源近傍では爆発音が上方に向かい、見かけ上地上では大きな音が観測されないためである。

3.4 無被覆爆発における薬量効果

砂をかぶせず泡だけを用いたときの爆発の薬量 (W) の影響を Fig. 3 に示した。薬量が 6 g ~ 25 g の範囲では薬量が 2 倍になると騒音レベルは約 7 dB 増加した。30 m 地点における騒音レベル (S) は次のように表すことができる。

$$S_{30\text{m}} = 21 \times \log W + 52 \text{ [dB]}$$

この薬量効果の係数 21 は、20 cm の砂中での係数 12.5 に比べて大きい。また、空気中での騒音の薬量効果の係数は 10 ~ 16 程度といわれている¹⁹⁾ のでそれよりも大きい。このことは、泡による被覆は薬量の少ないときにより有効で、泡に対して薬量が大きくなると消音効果が悪くなることを示している。

3.5 砂と泡の複合効果

35 cm の砂を被覆した時の騒音レベルと、さらに泡を併用した時の騒音レベルを Fig. 4 に示した。泡が無い時の 35 cm の砂で被覆された 100 g の爆薬の騒音レベルは Table 1 の実験 9 及び実験 10 から 15 m、30 m 及び 60 m の騒音レベルをそれぞれ 98 dB、94 dB 及び 84 dB と推定した。

1 m の厚さの泡を用いることによって約 7 dB、2 m の厚さの泡を用いることによって約 11 dB の騒音レベルの低下がみられる。遠方での騒音レベルの低下は小さかった。

泡による消音効果は 60 m 地点で小さくなっている。これは 100 g の爆薬の爆発によって上方に砂が飛散し、このために上方に隙間ができて、そこから漏れた音波

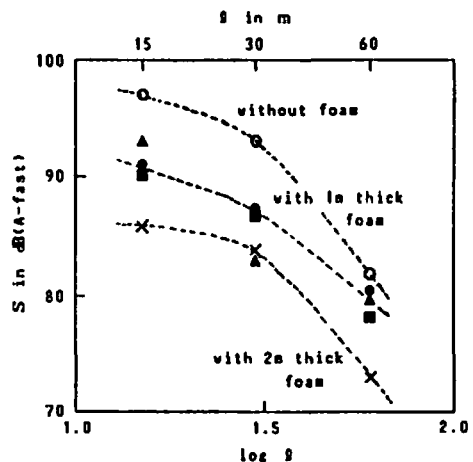


Fig. 4 Plot of S vs. log l for undersand explosion with and without aqueous foam.

は上方に向かうため、15m地点や30m地点には一部達し難くなるためと考えられる。

このことを確かめるために、砂または金網をシートで覆った実験を行った。しかし、砂を直接シートで覆った場合にはシートが破れてしまい効果がなく、金網をシートで覆った場合にも効果はあまりみられなかった。

3.6 地面の性質による爆発騒音の差異

雷管を無被覆で爆発させる実験が3ヵ所で行われた。30m地点における騒音レベルは111dB(コンクリート面)、91dB(土面)、91及び95dB(半雪面)であった。コンクリート面と軟らかい地面上での実験では20dBに近い差が出る。爆発させる場所の近傍の地面、壁面の影響を騒音に関して留意する必要がある。

文 献

- 1) R. Raspet and S. K. Griffiths, "The reduction of blast noise with aqueous foam", J. Acoust. Soc. Am., 74 (6), 1757 (1983).
- 2) T. D. Panczak, P. B. Butler and H. Krier, "Shock propagation and blast attenuation through aqueous foams", J. Haz. Mat., 14, 321 (1987).
- 3) J. M. Powers and H. Krier, "Attenuation of blast waves when detonating explosives inside barriers", J. Haz. Mat., 13, 121 (1986).
- 4) T. D. Panczak and H. Krier, "Shock propagation blast attenuation through aqueous foams", UILU ENG 83-4003, Urbana, Illinois, 1983.
- 5) D. L. Evans, D. F. Jankowski and E. D. Hirleman, "A preliminary investigation of aqueous foam for blast wave attenuation", ERC-R 78050, College of Engineering and Applied Sciences, Arizona State University, Tempe, Arizona, 1979.
- 6) R. Raspet, P. B. Butler and F. Jahani, "The Reduction of Blast Overpressures from Aqueous Foam in a Rigid Confinement", Applied Acoustics, 22, 35 (1987).
- 7) C. J. クラーク, E. M. ベネット, 「火薬の爆風制御方法」(出願人ロックウッドシステムズコーポレーション), 公開特許公報(A), 昭61-272600 (昭61.12.2公開)
- 8) 松永猛裕, 村永浩太郎, 伊藤 葵, 蔵持 勇, 田村昌三, 吉田忠雄, 「Mk III 弾動臼砲の性能と応用(XI) - 弾動臼砲を用いた小型ギャップ衝撃感度試験法 -」, 工業火薬, 46(5), 327(1985)
- 9) 吉田忠雄, 松永猛裕, 村永浩太郎, 「爆薬の殉爆に対する緩衝材の効果」, 火薬と保安, 19(3), 26(1987)
- 10) 松永猛裕, 村永浩太郎, 黒田英司, 伊藤 葵, 田村昌三, 安部隆幸, 斎藤照光, 吉田忠雄, 「砂中爆発法の性質と応用(I) - 漏斗孔容積と伝爆性 -」, 工業火薬, 47(5), 309(1986)
- 11) 全国火薬類保安協会, 「カプセル方式による火薬類貯蔵法の研究」, 火薬と保安(特集号), 19(3), 1~76(1987)
- 12) 斎藤照光, 小林直太, 黒川孝一, 田村昌三, 松永猛裕, 吉田忠雄, 「砂中爆発法の性質と応用(II) - 爆薬による鉄板切断における川砂の防音効果 -」, 火薬と保安, 19(4), 21(1987)
- 13) 斎藤照光, 小林直太, 黒川孝一, 田崎陽治, 川村実, 和田有司, 吉田忠雄, 「砂中爆発法の性質と応用(III) - 爆薬によるH型鋼入りコンクリートブロック破砕における川砂の防音効果 -」, 火薬と保安, 20(2), 23(1988)
- 14) 斎藤照光, 小林直太, 和田有司, 橋爪 清, 中村聡藏, 吉田信生, 松永猛裕, 吉田忠雄, 「砂中爆発法の性質と応用(IV) - 爆薬による鉄棒切断における川砂の防音効果 -」, 火薬と保安, 20(4), 17(1988)
- 15) 斎藤照光, 二瀬 薫, 黒田英司, 和田有司, 小出浩平, 林 実, 小林直太, 吉田忠雄, 「砂中爆発法の性質と応用(V) - 鉄筋コンクリート構造物の露出鉄筋の低騒音発破 -」, 工業火薬, 50(3), 168(1989)
- 16) 和田有司, 黒田英司, 角田信一, 田村昌三, 林実, 小林直太, 吉田忠雄, 「雪による爆発音の消音(I) - 天然雪の消音効果 -」, 工業火薬, 49(6), 375(1988)
- 17) 和田有司, 小出浩平, 田村昌三, 小林直太, 國川明輝, 大橋正満, 吉田忠雄, 「泡による爆発音の消音(I) - 紙雷管の爆発音の泡による消音効果 -」, 工業火薬, 50(3), 174(1989)
- 18) 和田有司, 大橋正満, 國川明輝, 橋爪 清, 田村昌三, 小林直太, 吉田忠雄, 「泡による爆発音の消音(II) - 泡と砂による複合消音 -」, 安全工学, 28(2), 102(1989)
- 19) 工業火薬協会編, 「発破ハンドブック」, 山海堂, p. 328(1976)

Reduction of Blasting Noise by Foam (III)
Reduction of Explosion Noise in a 4m Cubic
Plastic Mesh Filled with Foam

by Yuji WADA*, Masamitsu OHASHI**, Akiteru KUNIKAWA**,
Kiyoshi HASHIZUME***, Rong-Hai LIU****, Naota KOBAYASHI*****,
Terumitsu SAITO***** and Tadao YOSHIDA*

The reduction of blasting noise was measured using a no.6 detonator and less than 100g no.3 Kiri dynamite in a 4m cubic plastic mesh filled with an aqueous foam. When a no.6 detonator was initiated with only foam coverage, the reduction of noise at 30m distance was about 23dB for 1m thick foam coverage. If about 25g explosive explodes, the reduction of noise will about 40dB for 2m thick foam coverage. The increase of noise with the increase of weight of an explosive in 2m foam was bigger than that without coverage or in 20cm sand coverage. So, the more the mass of explosives are, the less effective the coverage with the foam is. The experiment which used the foam over the sand coverage showed that the sand were blown away through the foam by the explosion and the reduction of blasting noise was less than the coverage with the foam only.

(*Department of Reaction Chemistry, Faculty of Engineering,

The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan.

**Nohmi Bosai Kogyo Co., Ltd.,

5058 Menuma, Menuma-machi, Ohsato-gun, Saitama 360-02, Japan.

***Explosives Division, Nippon Kayaku Co., Ltd.,

1-2-1 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan.

****Chemical Engineering Department, East China Institute of Technology,

200 Xiao LingWei, Nanjing, China.

*****Faculty of Science and Engineering, Chuo University,

1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112, Japan.

*****All Japan Association for Security of Explosives,

1-12-4 Kudankita, Chiyoda-ku, Tokyo 102, Japan.)