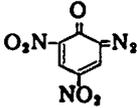
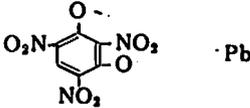
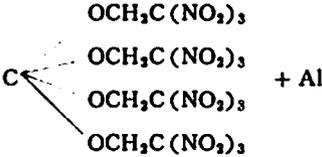


Table 1 Explosives tested

Explosive	Chemical formula
Diazodinitrophenol (DDNP)	
Lead trinitroresolcinat (trincinat)	
Mixture of TNEOC* (87%) and aluminum (1.3%) (TNEOC-Al)	
Silver acetylide	Ag_2C_2
Mixture of potassium perchlorate (68%), aluminum (25%) and sulphur (7%)	$KClO_4 + Al + S$

*trinitroethylorthocarbonate

いおそれがあるので、微量でもデトネーションするアジ化鉛をイオンギャップの周りに詰め、ギャップが確実に短絡するようにした。このようにして一端から点火玉で起爆し、タイムカウンターを使って、ギャップ間の爆発伝播時間を測定し、爆速を求めた。

(3) デントテスト

厚さ6mmの鉛板上に試料火工品を立て、点火爆発させ、生じた爆痕の容積をアルコールを使ってマイクロシリンジで測定した。

(4) 水中衝撃波の測定

これまで常に使用してきたキスラー社製のピエゾ圧電素子 607 A を Type E¹⁰⁾ のホルダーに装着し水中に沈め、その正面に向けて、いろいろ距離を変えて設置した火工品を爆発させ、圧力波形及びそのピーク圧値を測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 モデル結石の破砕

モデル結石を各種爆薬充填の火工品により発破した結果、アセチレン銀や過塩素酸カリウム-アルミニウ

ム-硫黄系の雷薬では、薬量10~20mg使っても直径0.5cmのモデル結石を割ることができなかった。

薬量が少ないうちは、やはりアジ化鉛が最も破砕力が大きく、薬量5mg及び10mgの場合、それぞれ直径1.4cm及び1.7cmのモデル結石を1回の発破で割ることができた。

DDNP、トリシネートあるいはTNEOC-Al系では、薬量が少いうちはアジ化鉛に比べて破砕力は弱いが、薬量が増すに従い、急に破砕力は増す傾向が見られた。これらの破砕実験結果は整理して Fig. 1~4に示した。横軸はモデル結石の直径の2乗、縦軸は使用薬量であり、破砕の結果は○×の記号で書き入れてある。○印は破砕できた場合で、モデル結石が2等分以上破砕したことを示し、×印はそれ以下の場合を示す。

○印と×印の間の点を結んだ線を一応破砕可能な最小限の爆薬量と考えてL(mg)で表わすと、アジ化鉛については $L=2.4D^2$ 、DDNPについては $L=1.8D^2+4.0$ 、トリシネートについては $L=1.8D^2+10.0$ 、TNEOC-Al系については $L=2.4D^2+5.5$ となった。ここに

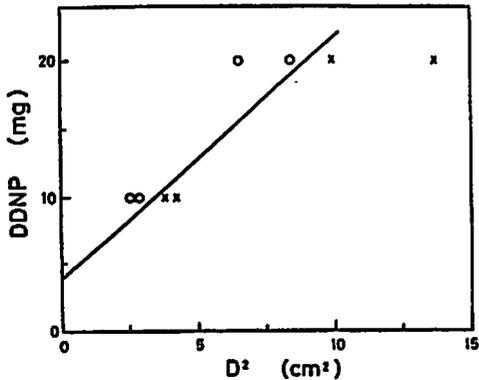


Fig. 1 Result of external-charge blasting by blasters containing 10mg or 20mg of DDNP. D; diameter of model stone, DDNP; charged diazodinitrophenol. ○ indicates that the stone was crushed, while × does that it was not.

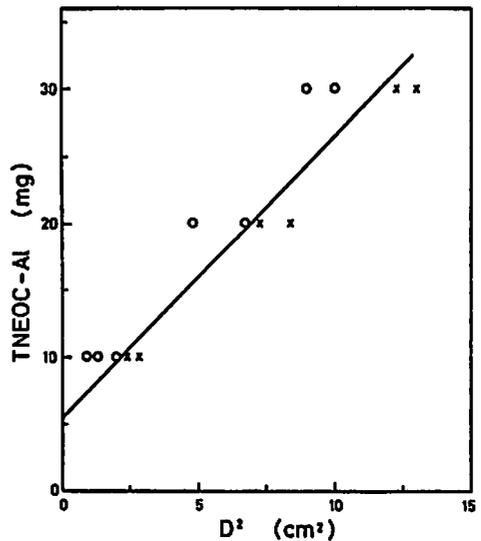


Fig. 3 Result of external-charge blasting by blasters containing 10mg, 20mg or 30 mg of TNEOC-Al. D; diameter of model stone, TNEOC-Al; charged explosive

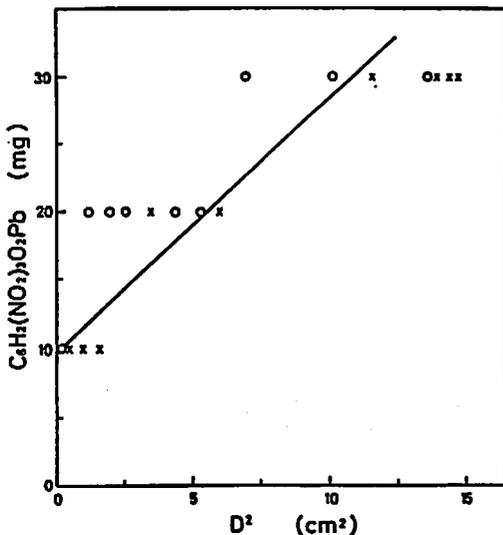


Fig. 2 Result of external charge blasting by blasters containing 10mg, 20mg or 30 mg of triciniate. D; diameter of model stones, C₆H₅(NO₂)₃O₂pb; charged triciniate.

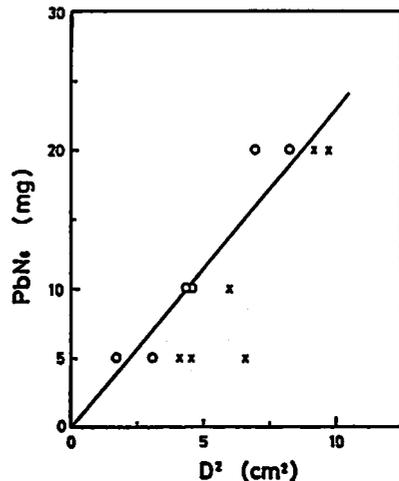


Fig. 4 Result of external-charge blasting by blasters containing 5mg, 10mg or 20 mg of lead azide. D; diameter of model stone, pbN₆; charged lead azide.

D (cm) はモデル結石の直径である。

アジ化鉛についての Fig. 4 の直線は原点を通るが、Fig. 1~Fig. 3 では D=0 のときに L は有限の大きさを持っている。即ち DDNP なら 4mg、トリシネート 10mg、TNEOC-Al 系 5mg 等、これ等破砕薬はこれ以下ではどんな小さなモデル結石でも割ることができない。すなわち、アジ化鉛は薬量が少なくても、モデル結石を割る力はあるが、他の破砕薬は一定量以上に

ならないと破砕力を示さない。

3. 2 爆速測定

爆速値を Table 2 に示したが、これを見ても TNEOC-Al 系は完全にデトネーションしていない。アセチレン銀と雷薬は 200~300m/sec 程度の爆速しか示していない。このようにその二種類の破砕薬はデトネーションしないので、全く破砕力がないものと考えられる。

Table 2 Detonation velocities

Explosive	Loading density (g/ml)	Detonation velocity (m/sec)
Tricinate	2.75	4255
	2.93	4651
TNEOC-Al	1.41	794
	1.75	1274
Ag ₂ C ₂	2.10	241
	5.55	314
KClO ₄ -Al-S	1.64	143
	1.74	276
DDNP	1.58 ⁶⁾	6900

3.3 デントテスト

デントテストの結果は Table 3 に示したが、薬量が少いうちはアジ化鉛が最も爆痕が大きい。このことから、膀胱結石の破碎には、破碎薬としてアジ化鉛のような重金属アザイドが適しているように思われる。

3.4 水中衝撃波特性

水中衝撃圧及びその波形を観察した結果でも、Fig. 5 に示したようにアジ化鉛は微量でも波形の立上りがすどく、ピーク圧に達する時間が短く、その圧力値も高い。これに対しても、他の破碎薬はいずれも波形の立上りが鈍く、しかもピーク圧測定値も Fig. 6~9 に見られるように低い。DDNP やトリシネート、TNEOC-Al 系は薬量が増すと波形の立上りは次第に鋭くなる。その一例を Fig. 10 に示した。これらのこ

Table 3 Dent test results

Explosive Charge weight (mg)	DDNP	Lead azide	TNEOC-Al	Tricinate	KClO ₄ -Al-S
30	—	60	40	70	—
20	110	35	20	65	2
10	25	20	1.5	2	1
5	3	5	0	0	0

The volumes (μ l) of the dents produced by explosion are shown.

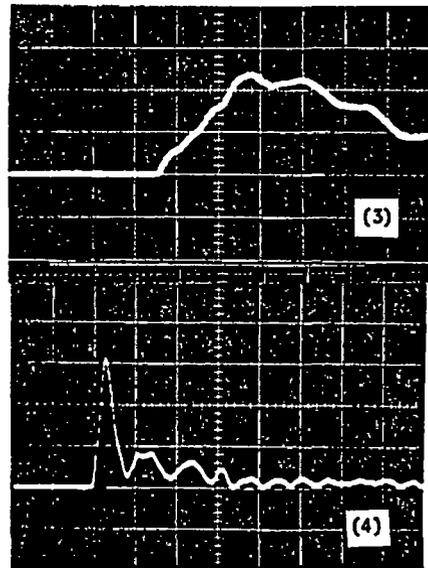
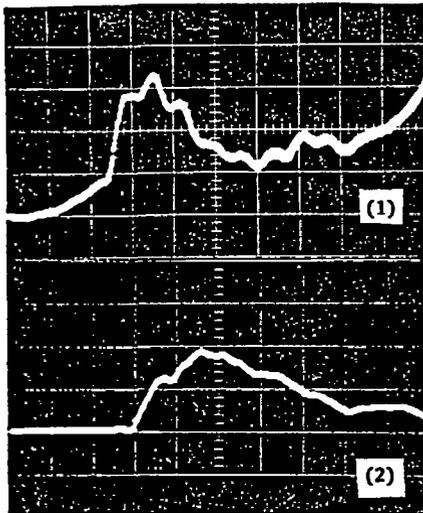


Fig. 5 Examples of shock wave profiles from blasters containing various explosives.

(1): KClO₄-Al-S 30mg, peak pressure 72.0kg/cm², sweep 10 μ sec/div. (2): DDNP 20mg, peak pressure 104.0kg/cm², sweep 5 μ sec/div. (3): tricinate 30mg, peak pressure 46.0kg/cm², sweep 5 μ sec/div. (4): lead azide 10mg, peak pressure 32kg/cm², sweep 10 μ sec/div.

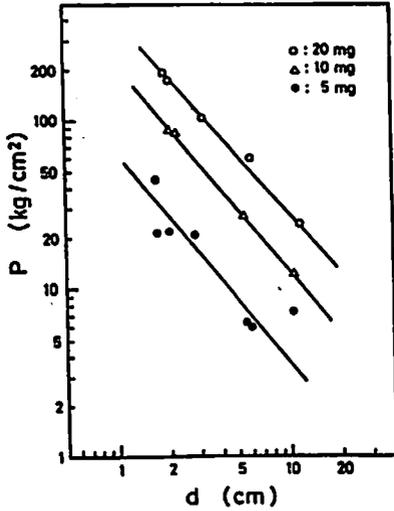


Fig. 6 Peak pressure vs. distance. Blasters filled with 5mg, 10mg or 20mg of DDNP were used. d; test distance, p; peak pressure.

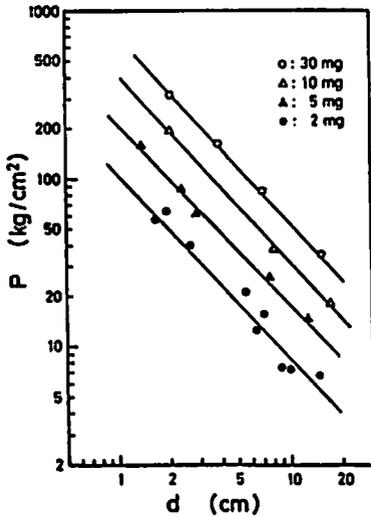


Fig. 7 Peak pressure vs. distance. Blasters filled with 2mg, 5mg, 10mg or 30mg of lead azide were used. d; test distance, p; peak pressure.

とからもアジ化鉛は完全にデトネーションし結石破砕力も大きい、他の爆薬は微量ではデトネーションしにくい、一部が燃焼で終わっているために破砕力が小さいのであると考えられる。

しかし薬量が増した場合、例えばアジ化鉛と DDNP とでは、その破砕力は逆転する。この点は薬量にして約 20mg とところにある。水中衝撃波のピーク圧測

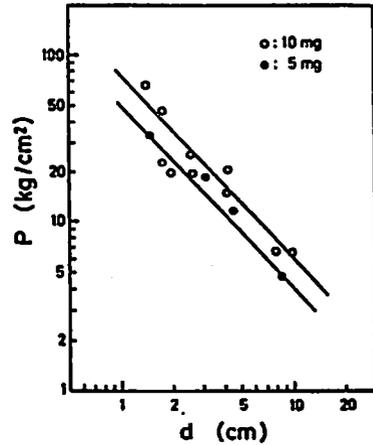


Fig. 8 Peak pressure vs. distance. Blasters filled with 5mg or 10mg of $KClO_4$ -Al-S were used. d; test distance, p; peak pressure.

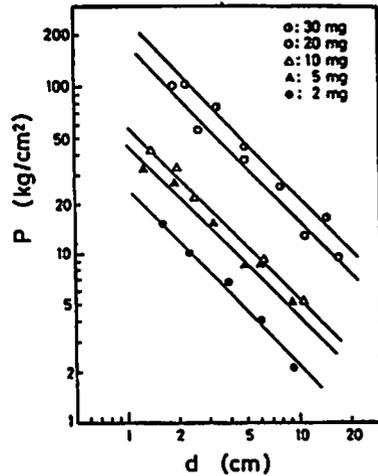


Fig. 9 Peak pressure vs. distance. Blasters filled with 2mg, 5mg, 10mg, 20mg, or 30mg of trinitrate were used. d; test distance, p; peak pressure.

定値だけを考えて、アジ化鉛 5mg と DDNP 20mg とでその値がほぼ等しい。アジ化鉛 20mg と DDNP 20mg とを比べるとアジ化鉛の方がはるかにピーク圧は高い。それなのに DDNP 20mg の破砕力は、アジ化鉛 5mg よりはるかに大きく、またアジ化鉛 20mg と比べても優っている。デントテストの結果でも、このあたりの薬量では DDNP の方がアジ化鉛に比べて爆痕は大きい。

上述の水中衝撃波の圧力波形を見ると、アジ化鉛に比べ DDNP などの破砕薬の波形は、同一薬量ではピーク圧は低いが持続時間は長い。

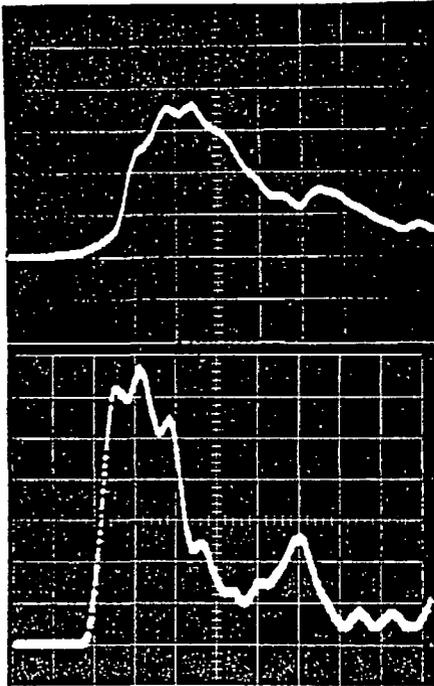


Fig. 10 Examples of shock wave profiles from blasters containing triciniate.
Upper: triciniate 10mg, Peak pressure 34.9kg/cm², 10μsec/div. Lower: triciniate 20mg, peak pressure 102.3kg/cm², 10μsec/div.

こうしてみると、結石を破碎する力は、衝撃波のピーク圧値だけに関係するのではなく、圧力の持続時間の影響も大きいと言える。

結石破碎に使用する破碎薬は、できるだけ少量であることが望ましいが、副作用が薬量に比例して増すとしても、もし20~30mg程度であれば、人体にそれほど障害を及ぼさないことになる。大きい結石の場合には、アジ化鉛ではなく、DDNPのようなものを使用した方がよいことになる。

4. 結 言

結石破碎用として、アジ化鉛以外の5種類の破碎薬について検討した。

爆速、水中の衝撃波の圧力値、圧力波形等の測定またデントテストの結果等から判断すると、DDNP、トリシネート、アセチレン銀、TNEOC-AI系、雷薬等は、10mg程度以下の微量では完全にデトネーションしないことが推測された。したがって、微量の場合はデトネーションしやすいアジ化鉛に比べると、これら破碎薬の破壊力はかなり弱い。しかし薬量が増すとアセチレン銀、雷薬を除いて爆速も高くなり、衝撃波のピーク圧値も急速に高まり、また衝撃波の持続時間が長いので、薬量がある程度以上になると、結石の破碎力は同薬量のアジ化鉛に匹敵するようになる。デントテストの結果では、大薬量のところでアジ化鉛よりむしろ大きな爆痕をのこしているの、大きな結石を破碎するために薬量が増大した場合は、破碎薬として、アジ化鉛よりもDDNPやトリシネートの方が適当になると考えられる。

本実験を行うに当り、細谷火工の大森正義氏の助言を得た。ここに付記して感謝する次第である。

- 1) 生沼仙三, 椎野和夫, 田中一三, 飯田光明, 工業火薬 44 182 (1983)
- 2) 生沼仙三, 藤原修三, 工業火薬 37, 237 (1976)
- 3) 渡辺 決, 生沼仙三, 日泌尿会誌 68, 243 (1977)
- 4) 渡辺康介ら, 日泌尿会誌 71, 15 (1980)
- 5) 生沼仙三, 椎野和夫, 田中一三, 飯田光明, 化技研 77, 473 (1982)
- 6) 工業火薬ハンドブック, p 106 (1966), 共立出版
- 7) T. Urbanski, "Chemistry and Technology" vol. 3, (1967) p 217, pergamon press.
- 8) 疋田 強, 工火誌, 3, 331 (1942)
- 9) U. S. P 3306939 (1979)
- 10) 生沼仙三, 田中一三, 椎野和夫, 工火誌, 40 370 (1979)

Studies on Lithotripsy by Micro Explosion

(V) Surgical Blasters Containing Several Explosives

by Senzo OINUMA*, Kazuo SHIINO*, Kazumi TANAKA*,
and Mitsuaki IIDA*

Surgical blasters were constructed of fine stainless steel tubes filled with DDNP, tricinate, $\text{KClO}_4\text{-Al-S}$, TNEOC-Al, silver acetylide or lead azide, which can be ignited by an electric squib. Using the blasters, crush experiments of model stones which consisted of calcium sulfate and water paint were carried out in water. The following experimental equations were obtained: $L=1.8D^2+4.0$ (for DDNP), $L=2.4D^2$ (for PbN_6), $L=2.4D^2 \div 5.5$ (for TNEOC-Al) and $L=1.8D^2 \div 10.0$ (for tricinate), where D stands for the diameter (in cm) of the model stone and L for the weight (in mg) of the explosive. More than 4.0mg of DDNP, 10mg of tricinate of 5.5mg of TNEOC-Al were required to crush model stone. In the case of silver acetylide and $\text{KClO}_4\text{-Al-S}$, model stones were not crushed at all. The difference was discussed taking into account the detonation velocity, shock wave pressure and results of dent test of these explosives.

(*National Chemical Laboratory for Industry, 1-1 Yatabe-cho,
Tsukuba-gun, Ibaraki-ken, Japan)
