

Fig. 2 Improved blaster

性塗料（アトムハウスペイント製、ワンコート壁用）を素材にして作成した。

その作成法は、水性塗料15gと水20gを混和し、これに石こう50gを加えて混ぜ合せ、それを直径0.7~4cmの範囲の各種の大きさの球状に成形し、20日間自然乾燥した後、サンドペーパーでほぼ球状に仕上げた。その一例をFig. 3に示す。破碎実験に使用する際には、あらかじめ乾燥状態のものを水中で減圧処理して気泡を抜き、次いで硫酸カルシウムの飽和水溶液に7日間浸した。このような処理を行った湿状態のモデル結石は、密度 $1.70\sim 1.72\text{g/cm}^3$ 、水分含有量22.4~22.5%、圧縮強度 $38.0\sim 41.0\text{kg/cm}^2$ 、弾性率 $18.0\sim 22.0\times 10^8\text{dyne/cm}^2$ である。

実験に使用した破碎用火工品は、前報<sup>1)</sup>で述べた実験用の火工品で、アジ化鉛2mg、5mg、10mg、及び20mgをステンレス鋼管に充填したものである。

実験の要領は、細い木枠に張りつけた、厚さ5mm縦横20cmのシリコンゴムの軟かい板を水中に水平に置き、その中央にモデル結石を乗せ、真上に火工品の

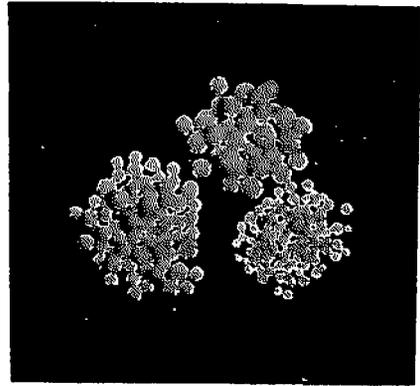


Fig. 3 Model stones used

先端を当てて発破した。

破碎用火工品は強く結石に当てると、破碎結果に差異を生ずるおそれがあるので、重量を100gに調整した

Table 1 Results of external-charge blasting against bladder calculi.

No.	calculi				Quantity of lead azide (mg)	Number of fragments
	Weight (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Minimum diameter (cm)		
1	0.9	0.8	1.1	0.8	5	3
2	1.6	0.8	2.0	0.9	5	4
3	2.1	1.2	1.8	0.9	5	5
4	16.3	10.0	1.6	2.0	5	Not crushed.
5*	16.3	10.0	1.6	2.0	20	6
6	13.7	8.0	1.7	1.6	20	Not crushed.

\* The calculus used in No.4 was again tested.

長さ30cmの銅パイプの先端にとりつけ、自重以外の力が加わらないように横から支え、結石の真上に当てがって発破するようにした。

### 3. 実験結果

実際の結石は数少ないので、極めて粗い実験になったが、結果を整理してTable 1に示した。試料の結石は、なるべく球に近いものを選んだが、それでも不規則のものが多く、また密度、強度等も個々に異っているので、得られた結果は再現性に乏しいと思われるが、およそ最小径1cm以下の結石ならば、アジ化鉛5mgで破砕可能であることが判る。しかし直径が1.5~2.0cm程度の結石になると、20mgでも一度の発破では破砕しにくい。

表中の実験番号No.5は、No.4の最小径2cmの結石が5mg破砕できなかつたので、もう一度20mgで発破した結果である。

モデル結石を発破した結果は、整理してFig.4に示した。図の横軸にはモデル結石の直径の二乗を、縦軸にはアジ化鉛量を取り、○印はモデル結石が破砕されたことを示し、×印は破砕されなかつたことを示している。破砕されたか否かの判定は、大きく二つ以上に割れた時を○とし、爆薬の当たった部分が小さく破砕されても、モデル結石が殆んど原形をとどめている時は×とした。破砕可能な最小限の爆薬量を線で結ぶと図のようにほぼ直線となり、例えば、これから直径1.5cmのモデル結石の破砕可能な最小爆薬量を求めると9mgとなる。

通常発破でも知られているように、はりつけ発破よりも穿孔発破の方が発破効果はよい。もし結石破砕の場合にもこの穿孔発破の手法が適用できれば、使用爆薬量は極端に少なくなり、副作用防止の面でも極めて有効となる。

これまでのような火工品の先端を結石の表面に当てて発破する方式は、いわばはりつけ発破方式であり、当然発破効率は良くない。そこで穿孔発破方式を採用したらどのような結果が得られるか検討した。

実験方法としては、モデル結石に火工品と同一直径の孔を2mmの深さにあけ、そこに火工品の先端を挿入して発破する方法と、孔をモデル結石の中心まであけて火工品を挿入して発破する方法を採用した。

結果はFig.5、及びFig.6に示した。いずれの場合もはりつけ発破方式の時と同様に、モデル結石の直径の二乗と破砕可能な最小限の爆薬量との関係はほぼ直線となり、Fig.4も含めて、これらの結果から、最適爆薬量  $L$  (mg) と、モデル結石の直径  $D$  (cm) の関係式は、はりつけ発破は  $L=4.0D^2$ 、2mm穿孔発破は  $L=2.36D^2$ 、中心までの穿孔発破は  $L=0.88D^2$  とな

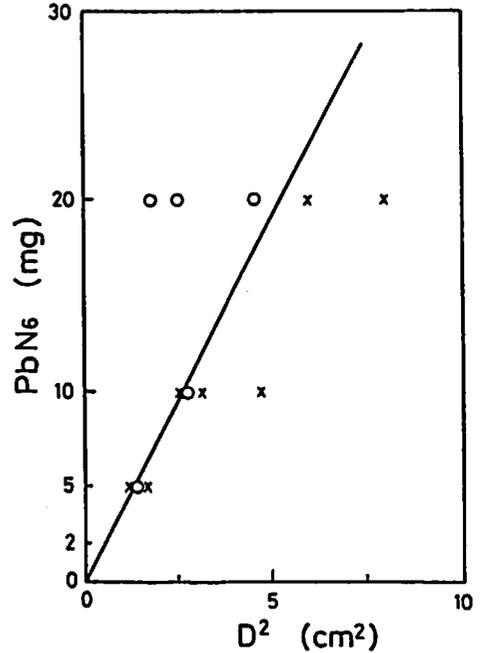


Fig. 4 Result of external-charge blasting. The tip of blaster was attached to the surface of the model stone and the blaster was ignited. D; diameter of the model stone, PbN<sub>6</sub>; lead azide in the blaster, O; broken, X; not broken.

る。これらの式から、例えば直径が2cm及び3cmのものを発破するのに必要なアジ化鉛の最小薬量は、はりつけ発破の場合16.0mg及び36.0mg、2mm穿孔発破の場合9.4mg及び21.2mg、中心まで穿孔発破の場合3.5mg及び7.9mgとなる。このように穿孔発破方式では破砕効率が極めて良くなることが確認された。

はりつけ発破方式では爆薬量が少ないと、大きなモデル結石を割ることができないが、発破を繰返し行ったらどうなるか検討した。

モデル結石は直径3cmのものをいい、同一薬量の破砕用火工品を使って、同一個所にそれを当て、破砕されるまで発破を繰返した結果、爆薬量が5mgの場合は破砕に4~5回の発破を必要とした。ほぼ同じ大きさのモデル結石を破砕するのに爆薬量10mgの場合は2~3回、爆薬量20mgの場合は2回の発破が必要であった。これらの結果の一例をFig.7に示した。

Fig.4によると、一度の発破で直径3cmのモデル結石を破砕するには、36mgのアジ化鉛が必要である。ところが、上の結果のように数回発破を行うつもりなら、毎回の爆薬は5mgでよいことになる。

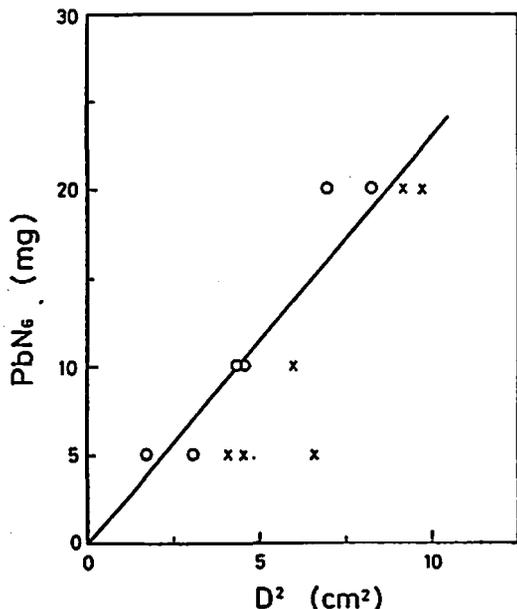


Fig. 5 Result of confined blasting. The tip of a blaster was inserted into a hole of a model stone and was ignited. The depth of the hole was 2mm toward the center of the stone. D; diameter of the model stone,  $PbN_6$ ; lead azide in the blaster, O; broken, X; not broken.

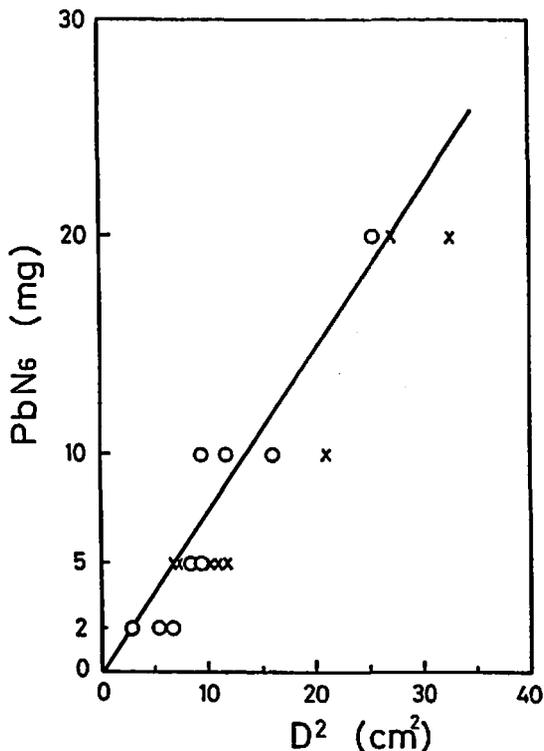


Fig. 6 Result of confined blasting. The tip of a blaster was inserted into a hole of a model stone and was ignited. The hole reached the center of the stone. D; diameter of the model stone,  $PbN_6$ ; lead azide in the blaster. O; broken. X; not broken.

#### 4. 考 察

膀胱結石を水中で破砕する実験を行った結果、結石の直径が1 cm程度以下ならば、アジ化鉛5mg入りの破砕用火工品で破砕できるが、直径が1.5~2.5cmとなると、アジ化鉛20mg入りの中でも一度の発破では破砕しにくいことが認められた。

予備実験<sup>4)</sup>の段階では、直径2cm程度の結石はアジ化鉛5mgで十分破砕できることが予想されていたので、この結果の違いを考察する。

先ず膀胱結石は個々に結石が異なるから、本実験で使った結石が、たまたま強いものであったこともあり得る。

次に予備実験では試料に乾燥結石を用いており、本実験では十分空気を追い出した湿潤状態の結石を用いたという実験条件の違いが考えられる。

膀胱結石は、無機のカルシウム塩のような主成分のほかに、ムコ蛋白質、酸性ムコ多糖類、ヘキソサミンのような高分子の有機物を含んでおり、これらが無機塩の粒子を繋ぎ合わせるバインダーの役目をしていると考えると、乾燥状態では結石は硬く、強性率は大きくて脆いが、湿潤状態では含まれている有機物が膨潤し、

結石全体が軟かく、弾性率が小さくなると思われる。そのため通常の発破作業で言う「しわい石」的なものとなり、ショックで割れにくくなるのではないかと推測される。

モデル結石の場合も、石こうと水だけで作成したもののよりも、アクリル系水性塗料を加えて弾性率を成る程度小さくしたモデル結石の方が、水中で割れにくいのもこれに似た現象であろう。

モデル結石の破砕実験で、穿孔発破方式を試みたが、この方法を採用すれば破砕効果が格段によくなることは予想した通りであった。ただ現在膀胱結石に穿孔する手段が確立されていないので、いまのところ現実的とは言えないと思う。しかし将来レーザーとの使用によって多少なりとも穿孔が可能になれば、極めて有望な破砕手段となるであろう。

現実には、域る程度大きな結石に対しては5mg程度の爆薬を使って、何回か発破を行うのが最適の方法のように思える。大薬量で一度に破砕するよりも、使用

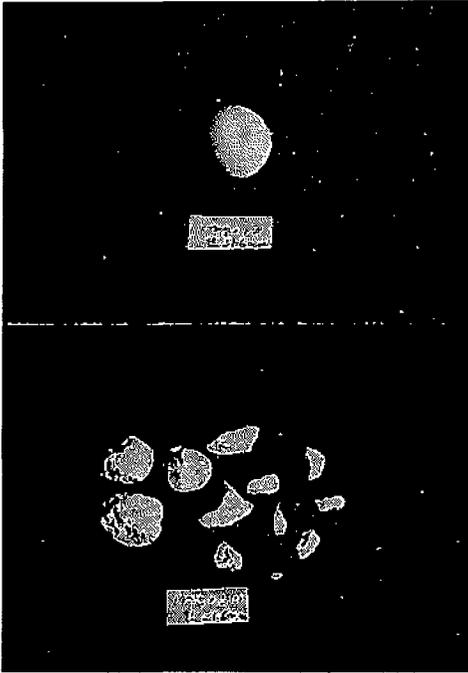


Fig. 7 Repeated blasting. A model stone of 3.2cm in diameter was used. A blaster which contained 10mg of lead azide was attached to the surface of the stone and was ignited. The stone was crushed into twelve pieces after the third blasting. Upper; the first blasting, Lower; after the third blasting.

爆薬量が少く、副作用の面で有利であるからである。

## 5. 結 言

試料の膀胱結石は完全に脱気し湿潤状態のものをを用い

たが、アジ化鉛5mg入りの破砕用火工品では直径1cm以上の結石を一度で破砕することはできなかった。また最小径1.5cm以上になると、アジ化鉛2.0mg入りの破砕用火工品を使っても一度の発破で破砕することは困難であった。

そこでモデル結石を使った破砕実験では、破砕用火工品の先端を結石に当てて発破する方式のほかに、モデル結石に深さ2mmまたは中心までの穿孔発破を行った。その結果、これらの穿孔発破方式は極めて破砕効率が良いことを認めた。しかし結石に多少なりとも穿孔する技術が確立されていない現状では、この方法は現実的とは言えないので、少量で繰返し発破を行った。

その結果、1回の発破で破砕するにはアジ化鉛16mgを必要とする直径2cmのモデル結石が、アジ化鉛5mgで4回発破を繰返すことで完全に破砕できることが判った。この繰返し発破方式が、大きな結石に対しては、今のところ最も適当な破砕方法と考えられる。

## 付 記

本研究は、昭和54年及び55年に科学技術庁より特別研究促進調整費を得て行なわれたものである。

本報をまとめるに当っては、細谷火工の大森正義氏の助言を得た。

## 文 献

- 1) 生沼仙三, 椎野和夫, 田中一三, 大森正義, 工火誌 41, 98 (1980)
- 2) 村田庄平, 渡辺 決, 高橋 徹, 渡辺康介, 古江治英, 生沼仙三, 日泌尿会誌, 68, 249 (1977)
- 3) 生沼仙三, 椎野和夫, 工火誌 39, 270 (1978)
- 4) 渡辺 決, 生沼仙三, 日泌尿会誌 68, 243 (1977)
- 5) 園田孝夫, 日本医師会雑誌 68, 653 (1971)

## Studies on Lithotripsy by Micro Explosion

### (IV) Crush Experiment of Bladder Calculi and their Model Stones in Vitro

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

Crush experiments of bladder calculi and their model stones which consisted of calcium sulfate and water paint were carried out in water with surgical blasters. In the case of the bladder calculi, the experiments were done by the so-called external-charge blasting, i. e., the tip of a blaster was attached to the calculus surface and the blaster was ignited. The calculi of diameters less than 10 mm were crushed by the blasters containing 5 mg of lead azide. The calculi of diameters greater than 15 mm, on the other hand, were not crushed even by blasters containing 20 mg of lead azide. For model stones, the experiments using the method of confined blasting were carried out in addition to those with the method described above. The model stone was bored by a drill and the blaster was inserted into the hole. The results showed that the model stones were readily crushed by this method. Moreover, the effect of repeated blasting of the model stones by an external-charge were examined.

(\*National Chemical Laboratory for Industry, Div. of Safety and Environmental Chemistry, Tsukuba, Ibaraki, Japan)

---