

## 微小爆発による尿路結石の破碎（第2報）

### 試作破碎器とその衝撃波特性

生沼仙三\*, 椎野和夫\*, 田中一三\*, 大森正義\*\*

尿路結石を爆薬で破碎するために、微量のアジ化鉛を細いステンレス鋼管に充填し、点火玉を付した尿路結石破碎器を試作し、それから生ずる衝撃波の空中及び水中に於ける方向性を調べた。その結果、空中、水中とも予期したように圧力は破碎器の前面が最も高く、側面から後方に向かうにしたがって急激に低くなり、衝撃波は一方に集束されていることが判明した。

#### 1. 緒言

人体の腎臓、尿管、膀胱、尿道などのできる尿路結石を取り出すには、普通外科手術が行なわれる。しかし体内でこれを細かく砕くことができれば外科手術することなく排石することができる。それで昔から結石の破碎については色々な手段が考えられて来た。例えば最近ではレーザーや超音波などを利用することも試みられている。また放電により発生する衝撃波で破碎する装置<sup>1)</sup>もある。ところで単に結石を破碎するだけなら、爆薬を使えばよい。ただ対象がきわめて小さいものであること、また体内での発破であることなどの条件があり、これまで爆薬の使用に考え及ばなかったものであろう。われわれは微量の爆薬をうまくコントロールして爆発させることにより人体に副作用を与えることなく、比較的簡単に結石が破碎できるのではないかと考え、この研究を始めた。

尿路結石を破碎するためには、先ず小型で性能の良い破碎器を開発しなければならない。生体内で発破を行なうのであるから、破碎器は効率良く結石を破碎すると同時に生体にはできるだけ損傷を与えぬことが必要条件となる。結石を破碎する主力となるものは爆発により生ずる衝撃波であると同時にまたこれが生体に対する副作用の一因とも考えられるので、破碎器としては、発生する衝撃波が結石の方向に集中できることが望ましい。

破碎器は、小型で丈夫な管体に適量の爆薬を充填し内視鏡につけて膀胱内に挿入し、爆薬の充填部分を結

石に密着させ、点火し発破することのできる微小の火工品である。このようなものを作製するに当って、基礎資料を得るため、使用爆薬の爆性<sup>2)</sup>、尿路結石の成分や強度<sup>3)</sup>などについてすでに検討してきた。

これらの資料をもとにして、先ずアジ化鉛数 mg を細いステンレス鋼管に充填し、点火玉を付した破碎器を試作し、空中及び水中で爆発させた時の衝撃波の圧力分布を調べたのでその結果を報告する。

#### 2. 試作破碎器の構造

爆薬にはアジ化鉛を用いたが、充填、成形を容易にするため、外割で2%の固形パラフィン<sup>4)</sup>を溶剤に溶かして混入させた後、乾燥してから使用した。

このアジ化鉛 2mg, 5mg, 10mg, 15mg, および 20mg を市販の内径 2mm, 外径 3mm, 長さ 20mm のステンレス鋼管 (SUS-304) に充填したが、薬量 2mg の場合は、薬量が少なすぎて充填できなかった。そこでこの場合は、内径 1mm, 外径 3mm のステンレス鋼管に充填した。充填圧力はすべて 1000kg/cm<sup>2</sup> である。先ずステンレス鋼管の強度を見るために、これらを起爆し管の破損状況を観察した。

その結果、薬量 2mg と 5mg のものには管体に異状がなかったが、薬量 10mg 以上のものになると管体に亀裂が入ったり、破片が飛散したりすることが認められた。

生体内で管体が破損しては困るので、更にステンレス鋼管の厚肉のものを作り、強度を検討した。薬量 5mg のものについては、もう一度、再確認の実験を行なってみた。その結果を Table 1 に示したが、薬量 5mg の管には異状がなかった。薬量 25mg の管では、肉厚 1mm の場合、管の先端部分に長さ 2~3mm の亀裂が入ったが、肉厚を 1.5mm にするとそのような異状はほと

昭和55年1月14日 受理

\*化学技術研究所

〒305 茨城県筑波郡谷田町東1-1

\*\*細谷火工株式会社

〒197 東京都秋川市菅生大沢1847

Table 1. Results of strength tests of stainless steel tube

No.	Amount of explosive (mg)	Dimension of stainless steel tube			Results	
		Length (mm)	Inner diam. (mm)	Outer diam. (mm)	Expansion of tube (mm)	Rate of expansion (%)
1	5	20	1	3	3	0
2	25	20	2	4	4.2	105
3	25	20	2	4	4.2	105
4	25	20	2	5	5.15	103
5	25	20	2	5	5.2	105

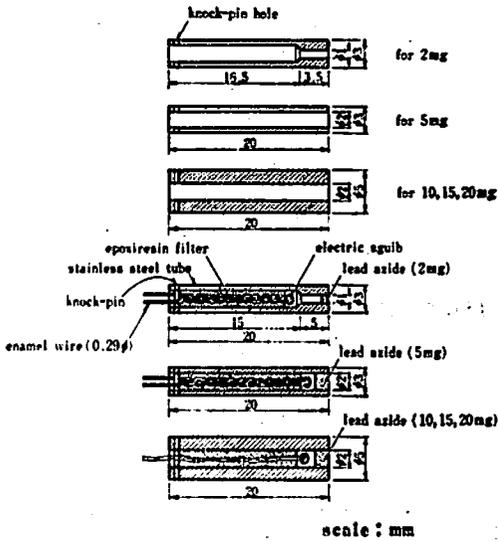


Fig. 1 Structural view of stainless steel tube and blaster used in tests.

んど認められなくなった。

以上の結果から、Fig. 1に示した構造の破砕器を作製した。点火玉は、衝撃波、ガスなどが発生しないジルコニウム系遅時薬でつくり、破砕器の爆発特性に影響しないようにした。

### 3. 衝撃波の方向性

破砕器で尿路結石を破砕する場合、爆薬の爆発による衝撃波のために生体が損傷を受けることが予想され、この問題を検討する必要を感じたので、破砕器から生ずる空中および水中衝撃波の方向性を調べた。

圧力測定には、空中、水中ともキスラー社製706A型のピエゾ圧電素子を用いたが、空中の場合、それを前報<sup>6)</sup>で使用した鉛ブロックホルダーに装着した。水中の場合は、水中衝撃圧測定用の大型ホルダー<sup>7)</sup>に装着した。そして爆薬方向に向けて置いた。その際使用したチャージアンプは、同社の545A型フィルター内蔵の504E型である。圧力波形は一度、岩通電子製

DM-703型デジタルメモリーに記憶させ、同社のSS-4511型オシロスコープで観測した。

Fig. 2には、薬量10mg入りと5mg入り破砕器の空中、水中における正面及び45°、95°、135°方向における衝撃波のピーク圧測定値を示した。測定装置の配置図は、前報<sup>8)</sup>に示してある。Fig. 3には、その値を基にして書いた衝撃波の等圧線図を示した。図の同心円は火薬の中心から2cm間隔で目盛ったものである。図から空中、水中とも衝撃波に方向性があることが判る。これらの圧力波形の一例をFig. 4に示した。

Fig. 5には試作破砕器について、それぞれ正面方向の水中衝撃波のピーク圧測定値を示したが、薬量の少ない破砕器程低い値になっている。これらの測定値は換算距離( $d/\sqrt{W}$ )で整理してあるから、薬量の違う破砕器間に相似性があれば一つの直線になるはずであるが、図はそれが無いことを示している。

### 4. 鉄製容器中の電気雷管の衝撃波特性

前記のように小型破砕器から生ずる衝撃波の方向性は確認できたが、より詳しく構造と圧力の強度及び方向性との関係を知るための実験を行なった。ただし、結石破砕器のように微小薬量のもので検討するよりも大薬量のものを使った方が再現性のある結果が得られるので、大型鉄製容器入り6号電気雷管の衝撃波を測定し、それから上記破砕器の衝撃波の挙動を推測することにした。空中では、雷管の破片などの飛散物がビニロン面やホルダーに当たり、結果に影響するので、実験は水中で行なった。電気雷管を入れる容器は、爆発で変形しないよう厚肉にした。

Fig. 6の上には、その左下図に示すように外径30mm、内径7mm、長さ50mmの鉄製容器に電気雷管を入れ、矢印方向の衝撃波のピーク圧を測定した結果を示した。その正面方向(0°)の値は、電気雷管単独で爆発させた時の値よりごく僅かではあるが低いようであった。Fig. 6の下には、上図を基に等圧線図を示した。この圧力測定で得られた波形の一例をFig. 7に示した。こ

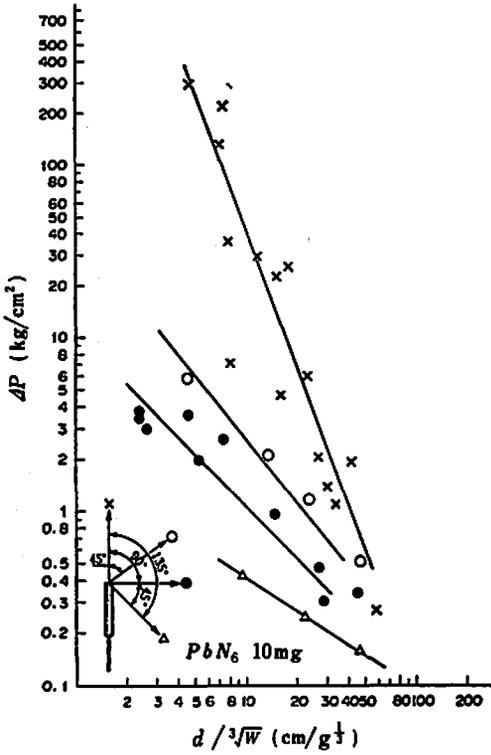


Fig. 2 Peak pressure vs. reduced distance  
 Up : Blaster ( $PbN_6$  10mg), in air  
 Down : Blaster ( $PbN_6$  5mg), under water

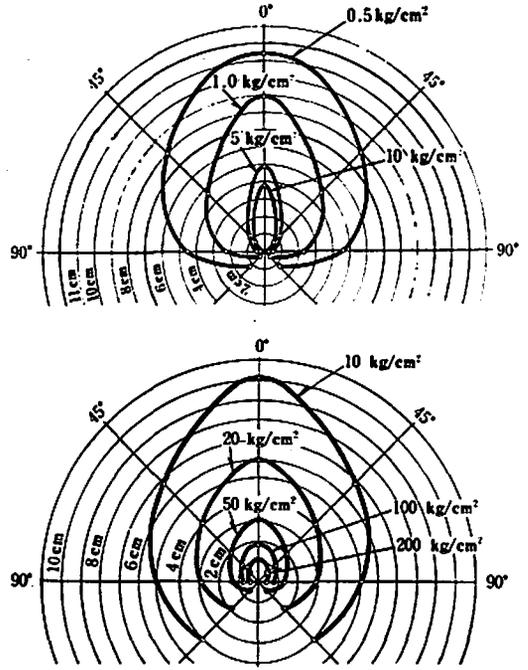
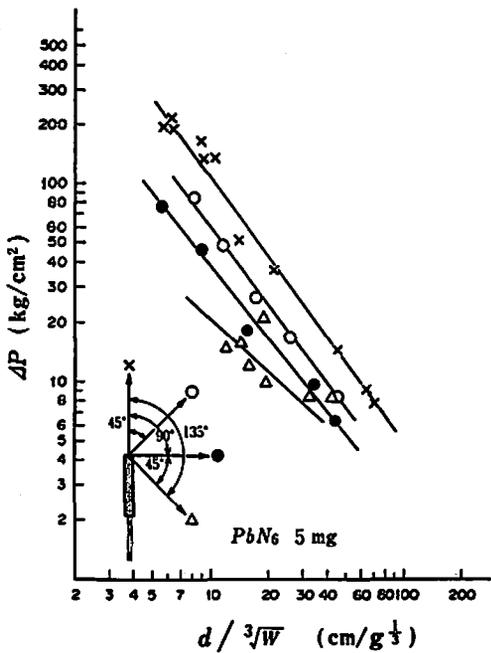


Fig. 3 Directional characteristics of shock wave from blaster  
 Up :  $PbN_6$  10mg, in air  
 Down :  $PbN_6$  5mg, under water

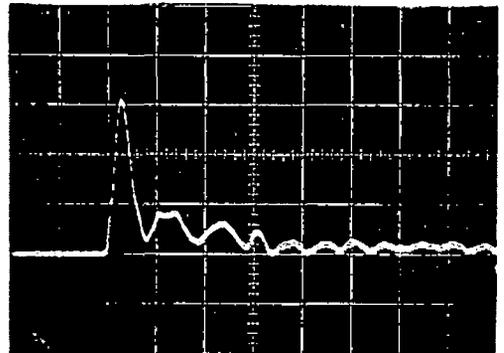


Fig. 4 Examples of wave form diagrams of shock waves from blaster under water

A blaster filled with 10mg. lead azide was tested. This diagram shows the shock wave at the  $0^\circ$  direction asterisked in Fig.2.

Tested distance : 12.2cm  
 Scale : 10usec/div.  
 10kg/cm<sup>2</sup>/div.

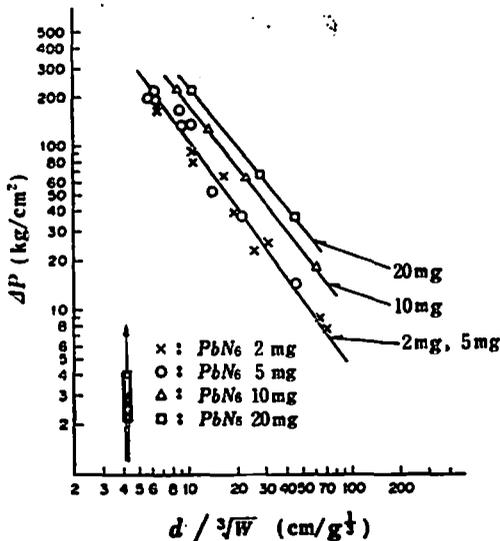


Fig. 5 Collation of peak pressure data under water of trial-manufactured blasters.

の図で微小の破砕器では見られなかった特異な点は、 $135^\circ$ 方向の波形がなだらかなことである。

このように容器の形状、大きさなどで圧力波形、分布が大きく変わる様子なので、更なるこの点を詳しく検討してみた。 $135^\circ$ 方向のなだらかな波形は二つの波が重なっているためであると考えられる。その一つは鉄製容器を透過してくる波であり、もう一つは容器の正面方向( $0^\circ$ )から水中を伝わってくる波であろう。Fig. 8はそれらの経路を示したものであるが、図では爆発がはじまる位置を電気雷管の底から7mm上としてある。鉄中の弾性波速度を5000m/sec、水中の衝撃波速度を1460m/sec、爆薬(雷管)の爆速を5000m/secとすると、ピエゾの位置を鉄製容器の底面より、後方(P)に置いた時、距離(x)の所にあるP点に最も早く到達する波は、ADを通りPに達する波である。ADは45.5mm、DPは $\sqrt{x^2 - 91.9x + 2725}$ mmであるから、この経路を通過する波の所要時間は、 $(\sqrt{x^2 - 91.9x + 2725}/1.46 + 45.5/5) \mu \text{ sec}$ である。ただしCADは雷管の部分も含まれるが、波は5000  $\mu \text{ sec}$ で伝播するとした。Fig. 7における $135^\circ$ 方向図の距離15cm(x)の場合には82.4  $\mu \text{ sec}$ を要することになる。

もう一つの前面方向( $0^\circ$ )からくる最も速い波は、BCPの水中を通るものである。ABは7mm、BCは15mm、CPは $\sqrt{x^2 - 21.2x + 225}$ mmであるから、この経路を通過する波の所要時間は、

$$[7/5 + (15 + \sqrt{x^2 - 21.2x + 225})/1.45] \mu \text{ sec}$$

である。したがってFig. 7に於ける $135^\circ$ 方向図の距離15cm(x)の場合には107.4  $\mu \text{ sec}$ を要することになる。

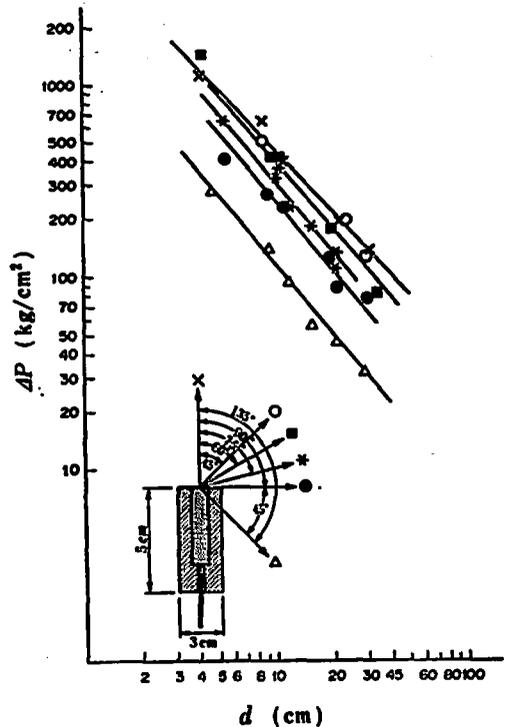
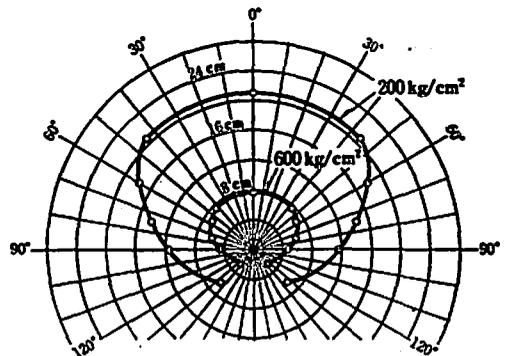


Fig. 6 Experimental data of No. 6 electric blasting caps under water in iron vessel.

Up : Peak pressure vs. reduced distance

Down : Directional characteristics of shock wave under water from No. 6 electric blasting caps in iron vessel.

The experimental data shown in the above diagram are plotted in the diagram shown beneath.



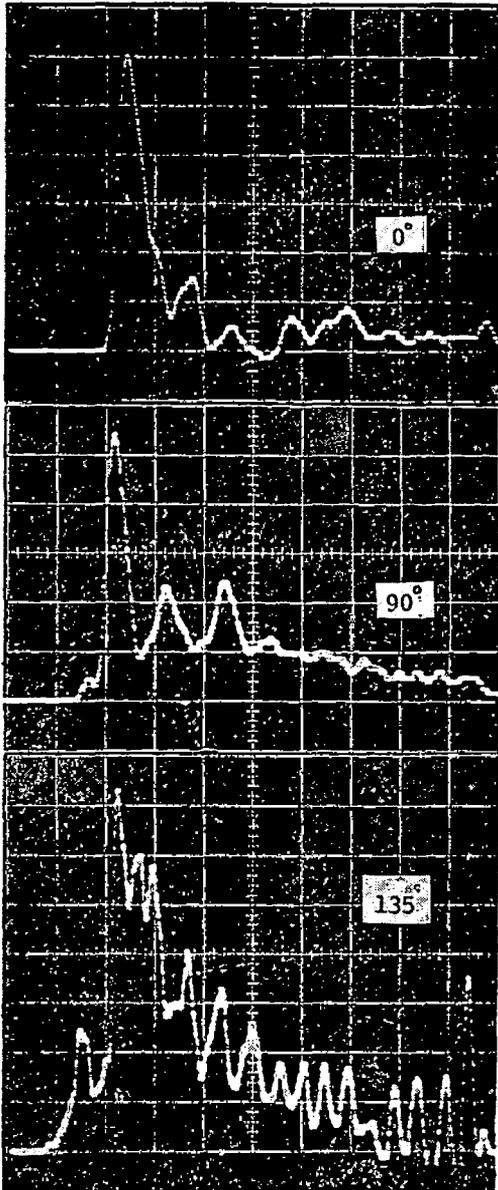


Fig. 7 Examples of shock wave form diagrams of blasting caps under water in iron vessel.

Up :  $10\mu$  sec/div.,  $32\text{kg}/\text{cm}^2/\text{div.}$ ,  
21.3cm (tested dist.)  
Middle :  $10\mu$  sec/div.,  $16\text{kg}/\text{cm}^2/\text{div.}$ ,  
21.4cm (tested dist.)  
Down :  $20\mu$  sec/div.,  $16\text{kg}/\text{cm}^2/\text{div.}$ ,  
15.0cm (tested dist.)

上記の波の時間差を求めてみると  $107.4 - 82.4 = 25$  ( $\mu\text{sec}$ ) になり、これは波形の立ち上がりはじめてからピーク値までの時間である。これを確かめるために上記と同じ条件で、鉄製容器入り電気雷管の正面方向からくる波、つまり Fig. 8 の ABCP の経路の波を遅ら

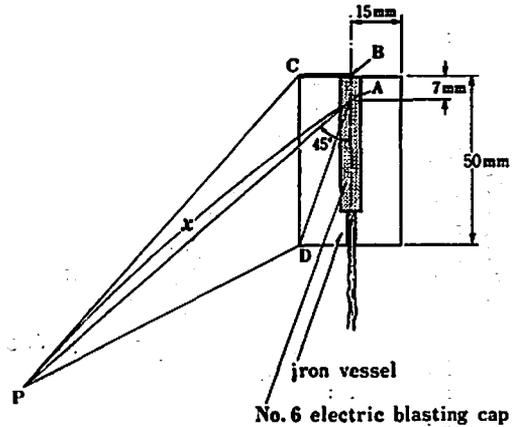


Fig. 8 Course of propagation of shock wave.

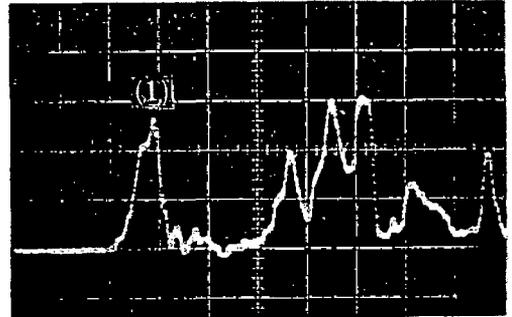


Fig. 9 A wave form diagram (1) of the shock wave propagating through the wall of iron vessel.

Test direction :  $135^\circ$   
Scale :  $20\mu$  sec/div.  
 $20\text{kg}/\text{cm}^2/\text{div.}$   
Tested distance : 15cm

せるよう、その鉄製容器の前面に外径30mm、内径7mm、長さ56mmの鉄管を接着剤でつないだ。その結果は、Fig. 9に見られるように二つの波に分かれた。その添字(1)の波形が前記 Fig. 7における $135^\circ$ 方向の波形の立ち上がり部分と似ており、鉄製容器の壁を透過してくる波であると考えられる。その後に見われている幅の広い、比較的圧力の高い波が前面方向からくる波のように思える。

したがって、電気雷管入り鉄製容器の側面や後方では、このような二つの波が重なったような圧力が測定されていると言えよう。尿路結石破砕器の場合には、そのような現象は観察されなかったが、当然生じているはずである。

次に鉄製容器の外径を変えた場合、正面方向において、衝撃波の波形がどう変わるかを調べた。Fig. 10にそれらの波形の一例を示した。これらの波形には数多くのノイズのようなものがある。このうち特徴のある



Fig. 10 Examples of wave form diagrams of shock wave from electric blasting caps under water in iron vessel

Scale :  $20\mu$  sec/div.

Outer diameter of iron vessel :

Up = 5cm

Middle = 10cm

Down = 15cm

Tested distance : Up = 16.2cm

: Middle = 10.0cm

: Down = 27.7cm

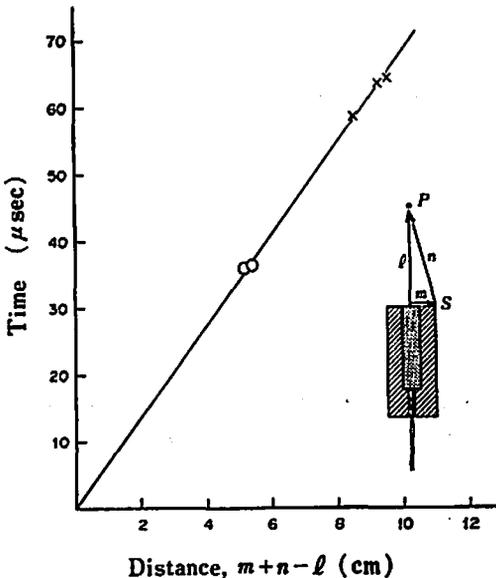


Fig. 11 Time vs. distance.

のは、添字(1)と(2)で、添字(1)は鉄製容器の径に関係なく同じ位置に現われているが、添字(2)はその容器の径によって移動する。添字(1)の原因は今のところ判らないが、添字(2)は稀薄波に起因する圧力の減衰のように

考えられる。稀薄波はインピーダンスの小さい所に衝撃波がくるとその界面から発生する。この場合は鉄製容器の側面であることが予想される。Fig.11の右下に示したように衝撃波が水中を矢印方向に鉄製容器の側面(S)に達し、そこから稀薄波がピエゾ面(P)に到達して圧力の減衰が起るはずである。そうすると、Fig.10の波形(中及び下)の立ち上がりから添字(2)の圧力減衰位置までの時間は、Fig.11の右下図で示せば  $m+n-l$  の距離を稀薄波が進むに要する時間になるはずである。この関係をプロットしたのがFig.11の直線であるが、図の×印は外径150mmの容器、○印は100mm外径の容器を使って測定した値である。これより稀薄波速度1480m/secが得られた。

上記の結果は、鉄製容器の外径が大きくなる程、ピーク値から稀薄波による圧力の減衰位置までの時間が長くなる、即ち衝撃波の持続時間が長くなることである。このような現象は微小の破砕器にも起り得るはずであり、この場合も管体の径が大きいく程、衝撃波の持続時間は長くなることが推測される。

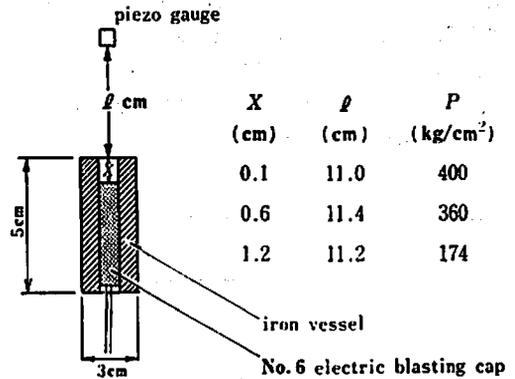


Table 2 Variation of peak pressure of shock wave by location of blasting caps under water in iron vessel.

次に鉄管に電気雷管を入れ、その位置による衝撃波の圧力変化を調べた。使用鉄管は外径30mm、内径7mm、長さ50mmである。ピエゾは電気雷管の底方向に向けて置いた。その結果、鉄管の端から電気雷管の位置を離すと急に衝撃波の圧力は低くなる傾向を示した。Table 2はそのピーク圧測定値を示したものである。普通、衝撃波の圧力を制御しようとする時、薬種、薬量で行なうが、上記の結果は、その制御に新しい知見を与えるものであり、性能異なる破砕器を作る場合の一つの手段になるものと考えられる。

以上、水中衝撃波の挙動を電気雷管を使って検討してきたが、空中においても原理的には同様のことが言えるものと考えられる。

## 5. 結 言

アジ化鉛を細いステンレス鋼管に充填し、それを点火玉で着火する構造の尿路結石破砕器を作製した。この破砕器から生ずる衝撃波は、膀胱壁などに対して副作用を与えるおそれがあるので、本報では、空中、水中における衝撃波の方向性を調べた。その結果、空中、水中とも予期したように圧力は破砕器の前面が最も高く、側面から後方に向うにしたがって急激に低くなり衝撃波は一方向に集束されていることが判明した。

次に、このような薬量が極端に少ないものの衝撃波を測定するより、薬量の多いものについて測定する方が再現性のある結果が得られると考えられたので、大型鉄製容器入り6号電気雷管を使って実験を行ない、その結果から上記破砕器の衝撃波の挙動を考察した。

その結果、(1)破砕器の側面や後方で測定される衝撃波は、破砕器の正面方向から水中を伝わってくる衝撃波と、破砕器のステンレス管の壁を透過してくる衝撃波が重なったものである。(2)破砕器正面方向の衝撃波の持続時間は、その破砕器の径の大きさによっても左右される。(3)爆薬量が一定でも、爆薬装填位置によって衝撃波の圧力は変わる。以上のことが推測された。

これらのことは、破砕器の性能にかかわるものであり、たとえば同一威力の破砕器を作る場合、単に薬種、薬量を同一にするだけではなく、破砕器の形状、爆薬の装填位置を同一にしなければいけないことが(2)、(3)のことから判るし、(1)のことからは破砕器から生ずる

衝撃波の方向性をよくする手掛かりが得られそうである。

尿路結石破砕器の作製は今回が初めてであるので、衝撃波の方向性だけをとってみても、まだ改良すべきところがあって充分とは言えないようである。本報では、試作破砕器の衝撃波の挙動を調べたと言うだけに止まってしまったが、これを参考にして更に破砕器の性能を高めてゆきたいと思っている。

## 付 記

化学技術研究所の藤原徳三氏には、本稿をまとめるに当り助言を得た。また法政大学の遠藤治行氏には実験を行なうに際し協力を得た。ここに両氏に謝意を表する次第である。

## 文 献

- 1) URAT-1, 膀胱結石破砕装置使用書
- 2) 生沼仙三, 藤原徳三, 工火誌, 37, 237 (1976).
- 3) 渡辺 決, 生沼仙三, 日泌尿会誌, 68, 243(1977).
- 4) 村田庄平, 渡辺 決, 高橋徹, 渡辺康介, 古江治美, 生沼仙三, 日泌尿会誌, 68, 249 (1977).
- 5) 生沼仙三, 金子宏, 古江治美, 渡辺 決, 工火誌, 39, 270 (1978).
- 6) , 生沼仙三, 椎野和夫, 田中一三, 工火誌, 40, 23 (1979).
- 7) 生沼仙三, 田中一三, 椎野和夫, 工火誌, 40, 370 (1979)

## ニ ュ ー ス

### GE社新物質タグを開発

米ゼネラル・エレクトリック (GE) 社は、爆発物による犯罪人の割り出しに大きな威力が期待できる新物質を開発した。この新物質は「タグ」(荷札の意)と呼ばれるもので、紫外線を照射すると、強い光を発生する性質をもつ。この光がいわば、爆薬

の“身分証明書”の役割を果たし、爆薬の製造業者名、出荷日その他犯人割り出しに役立つ情報を提供できる。

出典：日刊工業新聞 昭和55年2月22日号

(吉田忠雄)

**Study on Lithotripsy by Micro Explosion (II)**  
**Trial-Manufactured Infinitesimal Surgical**  
**Blaster and its Shock Wave Characteristics**

by Senzo OINUMA\*, Kazuo SHIINO\*, Kazumi TANAKA\*  
and Masayoshi OHMORI\*\*

An infinitesimal surgical "blaster" intended for use in removing urinary calculi has been trial-manufactured, comprising a fine stainless steel tube filled with pressed lead azide and initiated by an electric squib.

It is clinically essential to measure the directionality in the propagation of the shock wave produced by detonation of the blaster, therefore in the present research the study was focussed to the determination of the directionality of the course of the shock wave, and it has been ascertained that the directionality is fairly attained both in air and under water. Undoubtedly, reproductivity in the experimental results is far reliable in case a larger amount of explosive is used than in case of smaller amount of explosive, consequently in this experiment, underwater shock wave from the explosive in a larger scale iron cylinder by a No. 6 electric blasting cap was determined. From the experimental results, the behavior of the shock wave from the blaster with infinitesimal amount of explosive has been extrapolated.

From them the following suppositions are drawn;

- 1) Shock waves determined at the side and base directions of the blaster tube are the composite waves of the shock wave from the head of the stainless steel tube and that propagating through the wall of the tube.
- 2) The width of the shock wave at the head direction of the tube also depends upon the diameter of the cylinder.
- 3) The location of explosive in the cylinder influences the pressure of the shock wave.

(\*National Chemical Laboratory for Industry. Toukuba Research Center, Ibaragi 305

\*\*Hosoya Kako Co. Ltd.. Ohsawa, Sugao, Akikawa 197)