

nators. Construction and chemical compositions of the fuse heads studied are shown in Fig. 1 and Table 1. The emission spectra of the flames in air were photographed and species of the bands were assigned. (Table 2). Considering emissivities of DDNP particles and other factors the Na-D line reversal method was applied to the following cases (I) burning in air, (II) burning in oxygen (III) burning in argon, (IV) burning in a copper capsule which has not bottom, (V) burning in a copper copper capsule with small peepholes near the end of the capsule, (VI) the same as (V) except covering the peepholes with a thin sheet of cellophane.

Examples of oscillogram to determine the temperature are shown in Fig. 6. Data obtained are shown in Table 7, 8 and Fig. 8.

Energies input and out-put at the head were estimated, and possibilities of initiation of primary explosive in the detonator by radiation from the burnt gas, conduction of heat from the gas and collision of fragments of the heads were discussed.

抗抵抗法による爆速測定について

佐々宏 一*・G. Larocque**

1. 緒言

爆速測定法にはドートリッシュ法, 高速度写真法, イオン探針法, 抵抗法などの種々の測定法があるが, 装薬室内に装填された爆薬の爆速を測定する場合には

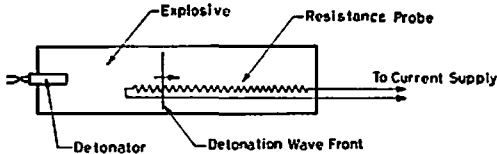


Fig. 1 Principle of Resistance Method

抵抗法¹⁾が有利であると考えられる。そこで本研究においては, 抵抗法を用いて爆速測定を行なう場合にとくに注意しなければならない点について指摘するとともに, 多数の固定抵抗を鎖状に繋ぎ合せた抵抗プローブを試作し, それを用いて装薬室内での爆速測定を行なったので, その結果について報告する。

2. 抵抗プローブおよびその使用に当たりの注意
抵抗法の原理は良く知られているが, Fig. 1 に示

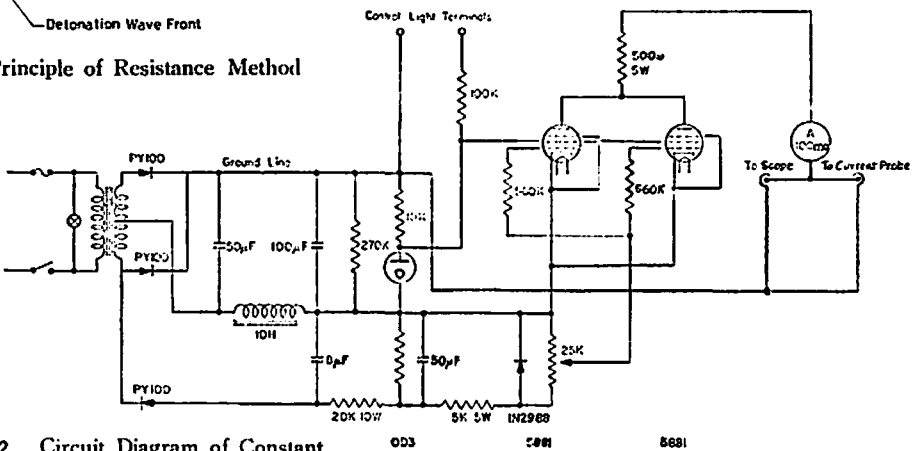


Fig. 2 Circuit Diagram of Constant Current Supply

昭和41年7月4日受理

* 京都大学工学部資源工学教室 京都市左京区吉田本町

** Mines Branch, Department of Mines and Technical Surveys, Ottawa, Canada.

すように爆薬内に爆轟波の進行方向と並行に抵抗線よりなる抵抗プローブを挿入しておくと, 爆轟波面は高温高压のガス体でイオン化しているために, 爆轟波の

進行にもなつて抵抗体が順次短絡され、抵抗プローブの抵抗値が変化化する。したがつて、この抵抗変化を時間の関数として測定することによつて爆速を求めることができる。測定にあつてはプローブに電流を流し、抵抗変化を電圧変化として検出する方法が採用されるが、この場合にプローブの抵抗変化と測定されるプローブ両端の電圧変化との関係を直線的にするためには、その抵抗値に関係なくプローブへは一定の電流を流さなければならない。そこで本研究では、Fig. 2 に示すような定電流装置を用いて実験を行なつた。

さて、従来から用いられている抵抗プローブは、連続した抵抗線よりなるものであるが²⁾、本研究におい

ては、まず Fig. 3 に示すような多数の固定抵抗を一定間隔で鎖状に繋ぎ合せたものを試作し、そのプローブの良否などについて検討した。さて、抵抗法による爆速測定実験においてとくに注意しなければならないことは、抵抗プローブを含む回路の分布容量が測定電圧波形におよぼす影響である。とくに、実際の爆破現場での爆速測定にあつては、爆破現場と測定装置との間をかなり長くとらねばならないから、プローブと測定器との間の電線の分布容量はかなり大きくなる。そこでまず、プローブを含む回路の静電容量が測定波形にどのような影響をおよぼすかなどについて検討した。

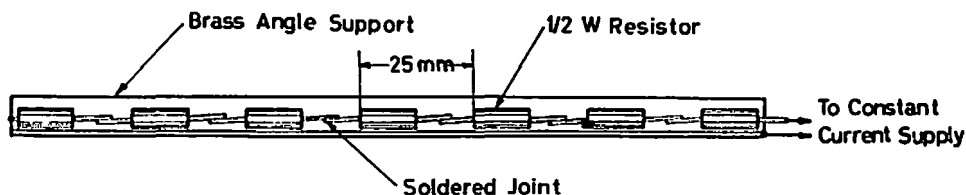


Fig. 3 Original Resistance Probe

この実験に使用した爆薬は直径約 5 cm、長さ約 20 cm の Dishing dynamite と呼ばれているものである。実験に際しては、Fig. 4 に示すように、1 個の爆薬に対して 5 個のイオン探針とプローブとを併用して、イオン探針を用いて測定した爆速と抵抗プローブを用いて測定した爆速とを比較検討した。抵抗プローブとしては、100

Ω 、1/2W 型の固定抵抗 7 個を（したがつてプローブの全抵抗は 700 Ω ）Fig. 3 に示したように 25 mm 間隔で繋ぎ合せたものを使用し、プローブへは 30 mA の一定電流を流して実験を行なつた。実験に際しては、Fig. 4 に示すトリガーイオン探針で 2 要素のシンクロスコープ (TEXTRONIX-555) を起動し、第 1 から第 4 までのイオン探針からの信号をパルス化して 1 要素で記録し、同時に他の要素で抵抗プローブからの信号を記録した。

Fig. 5、Fig. 6 および Fig. 7 はその結果の 1 例を示したものであつて、Fig. 5 はプローブと測定器との間の電線の分布容量に対応する蓄電器を附加していない場合であり、Fig. 6 は 0.001 μF の蓄電器を附加した場合、Fig. 7 は 0.01 μF の蓄電器を附加した場合の記録である。したがつて抵抗プローブと測定装置との間に使用する電線の分布容量を 1 pF/cm

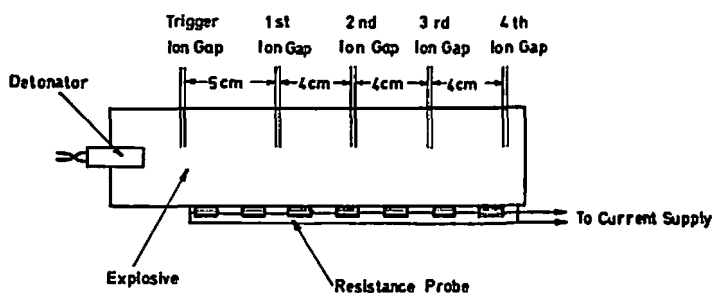
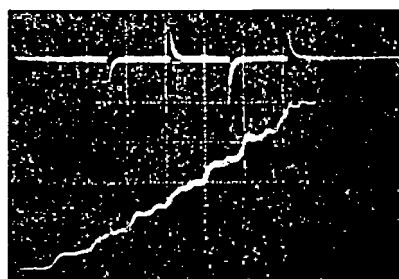


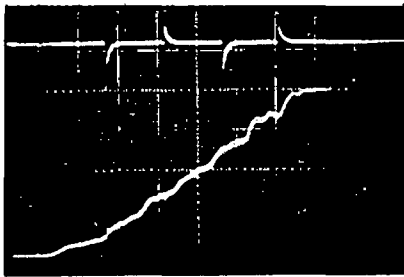
Fig. 4 Experimental Arrangement



Sweep Velocity: 5 $\mu\text{s}/\text{div.}$

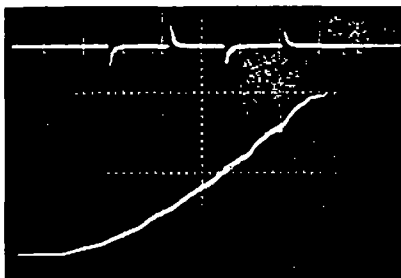
Fig. 5 An Example of Oscillograms obtained by 700 Ω Original Resistance Probe without External Capacitance

* マイクロホンコードと呼ばれている普通のシールド線の分布容量はほぼ 3 pF/cm、ビニール被覆並行線および同軸ケーブル 3C-2V の分布容量はそれぞれほぼ 0.5 pF/cm および 0.7 pF/cm である。



Sweep Velocity: $5 \mu\text{s}/\text{div}$.

Fig. 6 An Example of Oscillograms obtained by 700Ω Original Resistance Probe with $0.001 \mu\text{F}$ External Capacitance

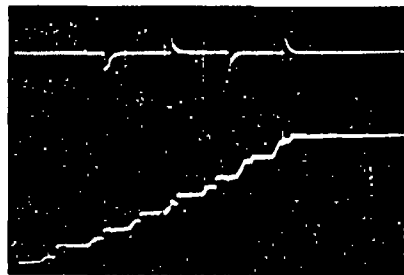


Sweep Velocity: $5 \mu\text{s}/\text{div}$.

Fig. 7 An Example of Oscillograms obtained by 700Ω Original Resistance Probe with $0.01 \mu\text{F}$ External Capacitance

と仮定すれば*, は Fig. 6 この種の電線を 10 m 用いた場合に相当し, Fig. 7 は 100m 使用した場合に相当する。これらの図において, 上の掃引がイオン探針からの信号であり, 下の掃引が抵抗プローブからのものである。さて, 定電流装置と連続した抵抗線よりなる抵抗プローブとを組み合わせた爆速測定においては, もし爆速が一定であれば記録される電圧変化は傾斜した直線でなければならない。しかし, プローブを含む回路の分布容量が大きくなると, 仮りに爆速が一定であっても電圧変化は直線的にならず下にくぼんだ形となる。このようなプローブを含む回路の静電容量に起因する波形のひずみは上記の抵抗値を有するプローブに 30 mA の電流を流した場合には, プローブに $0.001 \mu\text{F}$ を附加した場合の Fig. 6 ではあまり認められないが, $0.01 \mu\text{F}$ を附加した場合の Fig. 7 では顕著に現われている。すなわち, Fig. 5 においてはイオン探針を用いて測定した爆速と抵抗プローブを用いて求めた爆速とは非常に良く一致し, とともに $5,300 \text{m/s}$ という値が得られ, 記録されたプローブの電圧変化はノイズは多いが忠実にその抵抗変化を記録している

ことがわかる。しかし, 静電容量が多い場合の Fig. 7 においては, イオン探針からの記録からは第 1 区間の平均爆速が $5,200 \text{m/s}$, 第 2 区間および第 3 区間の爆速はともに $5,500 \text{m/s}$ という値が得られているにもかかわらず, 抵抗プローブからの電圧変化から爆速を求めてみると, 最初は $3,600 \text{m/s}$ であり, その後徐々に増加して最後には $7,000 \text{m/s}$ にも達するというように読み取られ, 実際の爆速, したがってプローブの抵抗変化が忠実に記録されていないことがわかる。また, Fig. 5 に示すプローブの電圧変化はノイズが多く, 期待された階段状の波形* が得られなかったので, Fig. 3 に示す抵抗体全体を厚さ 0.05mm の薄い真ちゆう管内に挿入し, しかるのち, とゆ状のものの中に固定するという方式を採用し, プローブのノイズを軽減させることを試みた。Fig. 8 は 22Ω の固定抵抗を 25mm 間隔で 7 本繋いだものを真ちゆう管内に挿入したプローブを用いた場合に得られた記録を示したものであつて, Fig. 5 に示した真ちゆう管を用いない場合に得られた記録と比較することによって, 真ちゆう管の効果を理解することができる。すなわち, 抵抗体全体を薄い金属管内に挿入することによってノイズは消失し, 明確な階段状の波形が得られ, また, 測定された爆速も正確にイオン探針による測定結果と一致している。したがって以後はすべて抵抗体を真ちゆう管内に挿入した形式のプローブを使用して実験を行なつた。

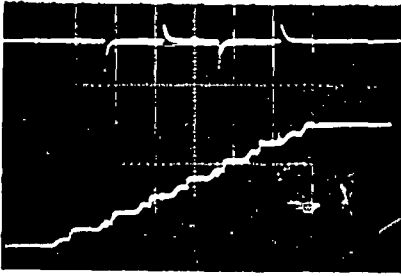


Sweep Velocity: $5 \mu\text{s}/\text{div}$.

Fig. 8 An Example of Oscillograms obtained by 154Ω Modified Resistance Probe without External Capacitance

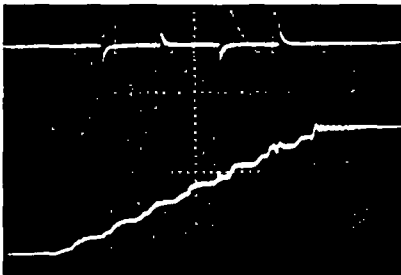
さて, Fig. 7 に示したような静電容量にもとづく波形のひずみを軽減させるためには, プローブの抵抗値を減らし, プローブへ流す電流を増大させればよいので, 22Ω の固定抵抗を 7 本繋ぎ合せ, 全抵抗を 154

* 固定抵抗を繋ぎ合せているため, 抵抗体と抵抗体との間の導体の部分を爆轟波が進行する間は電圧は変化しないはずである。



Sweep Velocity: $5\mu\text{s}/\text{div.}$

Fig. 9 An Example of Oscillograms obtained by 154Ω Modified Resistance Probe with $0.001\mu\text{F}$ External Capacitance



Sweep Velocity: $5\mu\text{s}/\text{div.}$

Fig. 10 An Example of Oscillograms obtained by 154Ω Modified Resistance Probe with $0.01\mu\text{F}$ External Capacitance

Ω としたプローブを試作し、プローブには 100 mA の電流を流して同様の実験を行なった。Fig. 8, Fig. 9 および Fig. 10 はその実験結果を示したものであつて、Fig. 8 は電線の分布容量に相当する蓄電器を附加しない場合に得られた記録であり、Fig. 9 は $0.001\mu\text{F}$ 、Fig. 10 は $0.01\mu\text{F}$ の蓄電器を附加した場合に得られた記録である。これらの記録より明らかなように、プローブの全抵抗が 154Ω の抵抗プローブに 100 mA の電流を流した場合には、 $0.01\mu\text{F}$ の分布容量が存在しても波形のひずみがほとんど認められず、当然のことながら、イオン探針を用いて測定した爆速と抵抗プローブを用いて測定した爆速とは一致している。

以上に示したように、抵抗プローブを用いて爆速を測定する場合には、プローブと測定器との間の電線の分布容量に起因する波形のひずみに十分注意する必要がある、ひずみが生じた場合にはそれに対する対策をたてなければ、たとえ爆速が一定であつてもあたかも爆速が徐々に増大するという誤まつた測定結果が得られ、真の爆速は測定できない。なお、連続した抵抗線

を用いた場合には、分布容量にもとづく波形のひずみを補正することは面倒であるが、上記の固定抵抗を用いたプローブの場合には電圧の1ステップが抵抗間隔に対応するから、波形のひずみの補正は簡単であり、また、電流源として電池を使用した場合のように、抵抗プローブに流れる電流が抵抗値の変化に応じて変化するような場合でも爆速を測定することが可能となる。

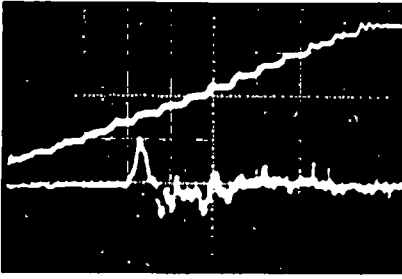
3. 装薬室内における爆速の測定

爆薬の爆轟によつて岩石内に発生する応力状態を解析するための実験の一部として、装薬室内における爆速とその爆轟によつて岩石内に発生した応力波による岩石粒子の振動状態を岩石内部において測定する実験を行なつた²⁾。この報告では装薬孔内における爆速を上記の抵抗プローブを用いて測定した結果のみについて報告することにする。

実験を行なつた場所は Specularite と磁鉄鉱とを主成分とする鉄鉱床の露頭であつて、鉱石の圧縮強度の平均値は $2,400\text{ kg}/\text{cm}^2$ である。

実験に際しては、直径 47 mm および 97 mm のダイヤモンドビットを用いて深さ約 10 m の装薬孔を露頭より垂直に穿孔し、その底部に爆薬を装填した。使用した爆薬は Geogel 60% (Straight plastic gelatine dynamite) および Cilgel B 70% (plastic ammonia semi-gelatine dynamite) であつて、それらの密度および直径 47 mm の薬包を大気中で起爆した場合の爆速はそれぞれ $1.5\text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.2\text{ g}/\text{cm}^3$ および $6,200\text{ m}/\text{s}$ 、 $4,000\text{ m}/\text{s}$ である。装薬孔内に装填する爆薬の重量は薬長が薬径のほぼ3倍となるように定めた。すなわち、直径約 100 mm の装薬孔の場合には、Geogel 60% は $3,400\text{ g}$ 、Cilgel B 70% は $2,950\text{ g}$ であり、直径約 50 mm の装薬孔に関しては Geogel 60% のみについて実験を行ない。その重量は 425 g であつた。なお爆薬の上部には約 1 m の砂タンピングを施した。今回の実験では、抵抗プローブと測定器との間の導線としてビニール被覆の並行線を使用して電線の分布容量を減少させ、分布容量によつて波形にひずみが生じないようにした。なお、使用した並行線の長さは約 75 m である。

Fig. 11 は孔経約 100 mm の装薬孔に Cilgel B 70% を $2,950\text{ g}$ 装填した場合に得られた結果の一例を示したものであつて、上の掃引が爆速測定結果でその掃引速度は $10\mu\text{s}/\text{div.}$ であり、下の掃引はこの爆轟に起因する岩石粒子の変位加速度を岩石内で測定した結果でその掃引速度は $0.2\text{ ms}/\text{div.}$ である。なお、使用した抵抗プローブは 22Ω の固定抵抗を 25 mm 間隔に14個繋ぎ合せたものであつて、プローブには



Sweep Velocity: Upper Beam; 10 μ s/div.,
Lower Beam; 0.2ms/div.

Fig. 11 An Examples of Oscillograms of Field Test Shot.

100 mA の電流を流した。今回の実験では Fig. 11 に示したように、分布容量による波形のひずみはほとんど認められず、比較的明瞭な階段状の波形が得られた。Table 1 は今回の実験結果をまとめて示したもの

Table 1 Summized Results of Experiment

Type of Explosive	Detonation Velocity (m/s)	
	for 50 mm bore hole	for 100 mm bore hole
Geogel 60%	6,350	5,900
	6,450	6,160
	6,350	6,050
	6,300	6,350
	6,350	6,500
	6,350	6,420
	6,350	
	6,030	
	5,990	
	6,600	
	6,350	
	Average	6,320
Cilgel B 70%	4,400	
	3,920	
	4,120	
	4,110	
Average	4,140	

であつて、表に示すように、Geogel 60% については直径が約 100 mm の装薬孔に装填した場合の爆速は直径が約 50 mm の装薬孔に装填した場合のそれより約 100 m/s 速くなつており、直径約 100 mm の装薬孔に装填した Cilgel B 70% の爆速は、大気中における直径 47 mm の薬包のそれより約 100 m/s 増加し

ている。このような爆速の変化は理にかなつてはいるが、この程度の変化であれば一応この種の爆薬で直径が 50 mm 程度以上になれば密閉効果が爆速におよぼす影響はあまり顕著でないとみなす方が妥当であろうと考えられる。ただし、今回の実験では装薬に先だつて圧縮空気を用いて孔内の水を排除したが、完全に排除することは不可能であつたためわずかの水が孔底に残留していた。したがつて、今回の実験結果には水分が爆速におよぼす影響が当然含まれているものと考えられる。

4. 結 言

本研究においては、まず、爆速測定に抵抗法を用いる場合には、抵抗体全体を薄い金属箔で覆つた方がノイズの少ない良好な結果が得られることを示し、さらに抵抗プローブと測定器との間の電線の分布容量による波形のひずみが、プローブの抵抗が大きく、かつ、プローブに流す電流が少ない場合に顕著なることを示し、爆破現場での抵抗プローブの使用に当つては、測定結果が忠実に実際の爆速を示しているかどうかについて十分注意して検討する必要があることを指摘した。さらに試作した多数の固定抵抗を一定間隔で顔状に繋ぎ合せたものを金属箔で覆つたプローブを用いて装薬室内における爆速の測定を行ない、その結果、薬包の直径が 50 mm 以上であれば、今回使用した爆薬の場合には装薬室に装填することによる爆速の増大はあまり顕著でないという結果が得られた。

なお、本研究は佐々がカナダの Department of Mines and Technical Surveys に出張中に G. Larocque と共同して行なつた研究の一部である。ここに記して上記の研究の方々の種々の援助に対し深く感謝する次第である。

文 献

- 1) 伊藤, 若園, 佐藤, 安, 梅田: 工業火薬協会誌, 第25巻, 第2冊, 昭和39年3, 4月
W. C. Maurer: Quarterly of the Colorado School of Mines, Vol. 58, No. 2, 1963.
- 2) 例えば, F. C. Gibson, M. L. Bowser and C. M. Mason: Review of Scientific Instruments, Vol. 30, No. 10, 1959.
- 3) G. Larocque, K. Sassa and J. A. Darling: Divisional Report FMP 65/104, Department of Mines and Technical Surveys, 1965.
- 4) K. Sassa: Divisional Report FMP 65/121, Department of Mines and Technical Surveys, 1965.

Measurement of Detonation Velocity by means of a Resistance Probe

by Koichi Sassa* and G. Larocque**

A specially designed resistance probe which was made of several 1/2W resistors located 1" apart each other forming a chain along the axis of the probe was used to measure the detonation velocity of an explosive. As the laboratory experiments indicated that the probe produced "noisy" records, the probe was sheathed in a 2 mill brass foil tube. As the result, the probe produced a clear step wave form. It was pointed out that, in the use of a resistance probe, the effect of cable capacitance on the wave form must be attentioned.

The measurements of the detonation velocities of relatively high explosives loaded in 50 mm ϕ and 100 mm ϕ bore holes were performed by means of the resistance probe, and significant increase in detonation velocity due to confinement was not observed

* Department of Mineral Science and Technology, Faculty of Engineering, Kyoto University, Kyoto.

** Mines Branch, Department of Mines and Technical Surveys, Ottawa, Canada.

水中衝撃波法による爆轟圧の測定

佐々宏一・伊藤一郎*

1. 緒言

爆薬の爆轟圧力すなわち C-J 面における圧力の測定はかなり困難な問題であるが、近年種々の測定器および測定法の急速な発達にもなつて、200 K Bar から 300 K Bar にもおよぶ強大な爆轟圧の測定が可能となつたことは周知の事実である。この爆轟圧の測定方法としては種々の方法が発表されており^{1)~4)}、それらは順次より高い精度の測定法へ、またより簡単な測定方法へと移行しつつあるのが現状のようである。

さて爆薬を水中で爆轟させると、水中へ投射された高圧衝撃波によつて水がイオン化し、そのために水の電気伝導度が急激に変化する。そこで本研究においては、この現象を利用して水中衝撃波の伝播速度を爆薬端面の近傍において測定し、この測定結果を用いて爆薬と水との接触面上における圧力を求め、この値を結合計算式に適用して爆轟圧を算出するという方法を用

いて数種の爆薬の爆轟圧を測定したので、その測定方法および測定結果について報告する。

2. 測定原理

Fig. 1 に示すように、爆薬で水を衝撃すると水中に衝撃波が生成される。この水中衝撃波の伝播速度と

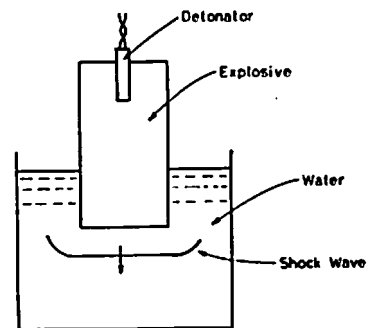


Fig. 1 Principle of Aquarium Technique

昭和41年5月21日受

* 京都大学工学部資源工学教室 京都市左京区吉田本