

電氣的ノイズを利用する水中爆発の探知について

清水 武夫*

地上で水中発破の小規模な模擬実験を行い、発破の際に発生する電氣的なノイズの成因と、その形、性質等をしらべ、それによって爆薬の不発残留や爆発状態を探知することについて検討した。ノイズの主な原因は発破器の残留電気であり、爆薬の爆発状態によってかなりその形に特徴があるから、不発、水に触れている雷管の爆発、爆薬の燃焼などを探知することが出来る。二孔発破、多孔発破についても段発を採用することにより探知可能なことを確めた。

1. 緒言

水中発破で爆薬の不発残留を探知する方法については未だ確立された方法はなく机上の考案の範囲を出ないようである。この研究は発破の際に生ずる電氣的なノイズを利用して水中爆発を探知し、不発が起ったかどうかを知る方法について実験的に検討したものである。実験は地上で行ったが、電気系統については出来るだけ海水中の条件を模擬した。

従来提案された不発残留の探知方法を挙げると、磁気探査¹⁾、染料による海水染色、浮標による方法、発音器による方法、発破の際の地振動や水中音波を利用する方法などであるが、深い堆積層がある海底では何れも技術と費用の点で実施が困難である。

本研究による方法を応用すれば、特別な電源、探知装置、器具などを必要とせず、堆積層による妨害もなく、以上の疑点を解決し得るものと思われる。

従来発破に際して電氣的なノイズが生ずることはよく知られており、それは特に発破孔内で抵抗線法により爆速を測定する場合の著しい妨害源であった²⁾従って従来は如何にしてこのノイズを減少させるかに研究の重点があった。この研究ではこれとは反対にノイズを積極的に利用しようとするものである。

2. 探知の原理

筆者は図1のような配線をした場合、爆薬包が爆発するとアース E_1 と E_2 との間にかかなり大きな電位差が発生することを見出した。この電位差をシンクロス

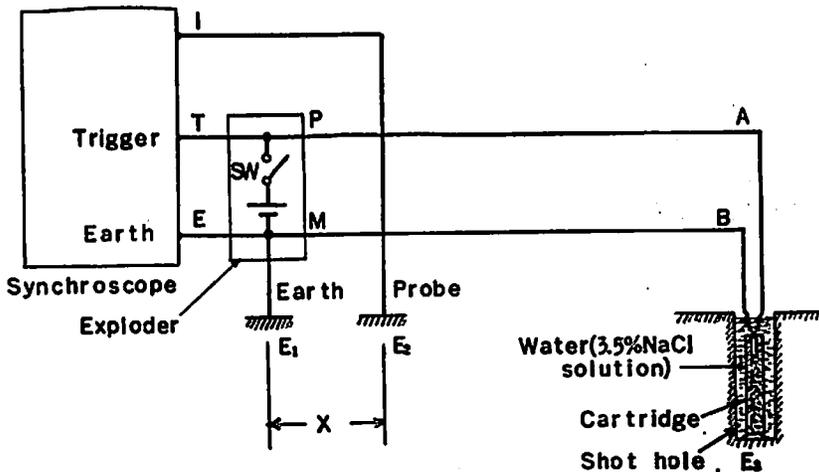


Fig. 1 Circuit which produces a noise from one hole blasting. I =input.

昭和52年12月23日受理

* 興亞化工株式会社埼玉工場 〒350-12 埼玉県入間郡日高町大字上座山字永谷801-1

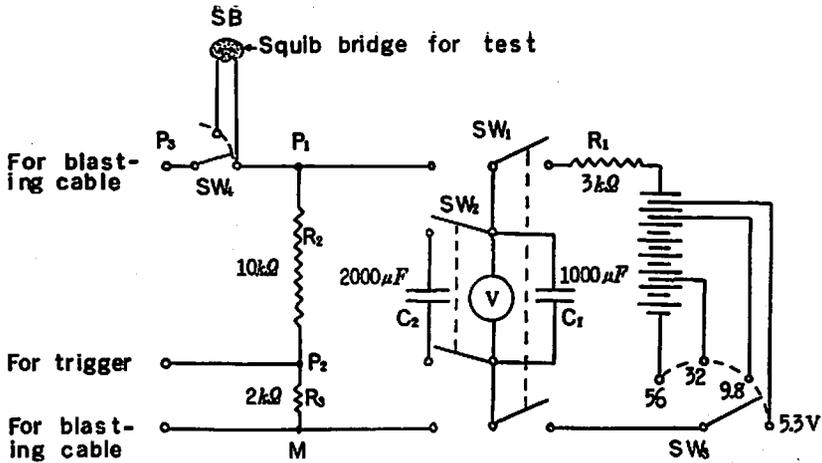


Fig. 2 Circuit of exploder

コープの入力 I に加えると、その時間的变化がノイズ波形になって現われる。この波形は爆薬の種類や爆発状態による特徴がある程度現わすので、これによって爆薬の不発の検知が出来るだけでなく、爆発状態の判定にもかなり役立てることが出来る。これが本方法の原理である。

3. 実験用器具、資材、施設等 (図1)

(1) シングロスコープ: 岩崎通信機KK製, JUNIOR II, 入力インピーダンス: $1M\Omega$, $50pF$ 以下の並列。

(2) 発破器: 自製品で図2の配線によった。

(3) アース E_1 , E_2 : 直径 15mm, 長さ 345mm の黄銅棒を深さ約 300mm ほど土中に打込んで使用した。それぞれの接地抵抗 R_{E1} と R_{E2} との和は $500\sim 1000\Omega$ であった。以下 E_2 をプローブ, X 長を地線長という。

(4) 発破孔 E_3 : 土中に直径 8cm, 深さ約 80cm の孔を掘り、その中に海水を模擬するため 3.5% の食塩水を満した。土質は関東ローム層の固い粘土で、表土を削り取った場所である。

(5) 発破線 PA-BM: 二種類のビニル被覆線を用いた。I: 銅線径 0.6mm, 往復の全抵抗 5.22Ω ; II: 銅線径 1.6mm, 往復の全抵抗 1.77Ω 。[実験目的により I または II の何れかを用いた。]

(6) 入力線 E_2-I : シールド線 (同軸ケーブル, 30m 以上は資材の都合で 5 線ケーブル中の 1 本)。

(7) トリガー線 P-T: 一般に発破器の電圧分圧点 P_2 からトリガー端子 T に接続した (図2)。

(8) 火薬類: 点火玉: $0.85\pm 0.1\Omega$ 。雷管: 6号工業雷管。瞬発電気雷管: 6号, 0.95Ω 。以上何れも日本油脂KK製。段発電気雷管: 上記の点火玉, 鉛丹ケイ素鉄系延時薬, 赤爆剤 (塩素酸カリウム 65%, 鶏冠石

35%, 雷管 1 個当りの薬量約 0.7g), 黄銅管体 (内径 6mm, 厚さ 0.2mm, 長さ 50mm) で自製した。その段数を 5 段とし、それぞれの秒時は 5 アンペア程度の十分な電流を通じたとき 4, 60, 200, 360, 800 ms であった。爆薬: 過塩素酸カリウム 64%, フレーク状アルミニウム微粉 23%, 硫黄 13% の配合薬を内径 35mm 厚さ 2mm のクラフト紙筒に比重約 0.85g/cc に詰め、これの頭部または他端に目的に応じて上記の工業雷管または電気雷管をつけた。これを細長いポリエチレンの袋に入れ、更に外側をビニルテープで巻き防水した。この薬包に二種類の薬量を収容した: 短薬包 (薬量 177~190g, 薬長 220mm) は半爆を、長薬包 (薬量 315~386g, 薬長 440~445mm) は完爆を模擬するために製作した。この爆薬は爆速が小さく、1400m/s 程度であって³⁾、例えば本四架橋工事の水中発破用爆速の $1/4.6$ に当り⁵⁾、短い試験薬包で長い本番の薬包を模擬するのに便利である。この爆速で計算すると、その爆発時間は短薬包 0.16ms, 長薬包 0.32ms となる。球形カプセル入火薬: この火薬は上記の爆薬を糊剤で固め約 4mm の丸薬状に造粒したものをクラフト紙のカプセルに収容したもので³⁾、その薬量は 30~50g である。これは 1ms 程度の燃焼時間を持つから、爆薬が爆轟せずに燃焼する場合を模擬するのに用い、また通電から爆発までの時間が 6~9ms もあることから、これを延時を要する試験資料として用いた。この火薬の点火のためにはコンクリート破砕器用の点火管 (旭化成 KK 製 CCR) を取り付け付けた。

4. ノイズの原因

ノイズには二種類ある。一つは発破器の残留電気によるもの、他の一つは爆薬の爆発によって生ずるもの

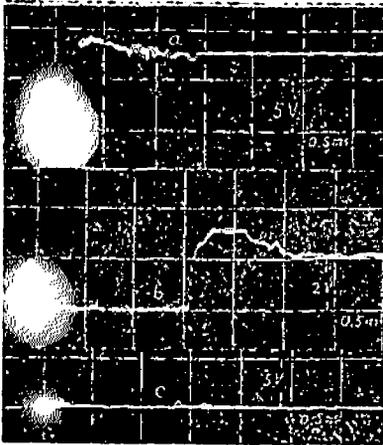


Fig. 3 Noises from a detonator, *a*: blasting voltage for *b*, *b*: noise from a detonator, *c*: noise from a detonator under disconnection of blasting circuit.

である。しかし後者は前者に比較して甚だ弱いものである。以下これ等について確めた。

図 3a, b は発破電圧を比較的低圧 (9.8V) にして電管について行った試験結果を示す。図 1 の回路で電管のみを発破孔 E_2 にさし込み通電すると入力 I に *b* のようなノイズ波形が現われる。この場合の発破器の端子電圧は *a* のようになる。更に発破回路に図 2, SB のように点火玉を直列に入れ同じく電管を発破孔にさし込んで、発破電圧を 50V 程度に高めて通電すると電管が爆発する以前に点火玉のブリッジが切れ発破回路が断線するから、発破器の残留電気は流れなくなる。この場のノイズは *c* のように現われる。地線長は 1m, 発破孔 E_2 とシンクロスコープのアース E_1 との距離は 77m とした。

図 4 は発破電圧を高圧 (56V) にして長薬包について試験した結果で、他の諸条件は図 3 の場合と同一にした。*a* は発破器の端子電圧を、*b* はノイズを、*c* は空中点火玉により残留電気絶った場合のそれを示す。

両図ともノイズの最高電圧は *c* よりも *b* の方が著しく高く、両図の *b* 電圧を比較すると、通電電圧が高いほど高くなっている。*c* 電圧は通電電圧に関係しない。このことは次に別に立証した。図 5 は電気雷管と発破器を用いず、工業雷管と導火線により中薬包を点爆した場合のノイズ (c_2)、および発破回路を測定回路と全く独立させ、アースを発破回路に取らないで長薬包の電気雷管に通電点爆した場合のノイズ (c_3) を示す。図 3, 4 の *c* およびこの c_2 , c_3 の電圧は何れも約 0.5V になっている。 c_2 の通電電圧は 9.8V, シンクロスコープのトリガーにはそれぞれ発生電圧 c_2 , c_3 を用いた。しかし電圧が低いため作動したのは 2/5

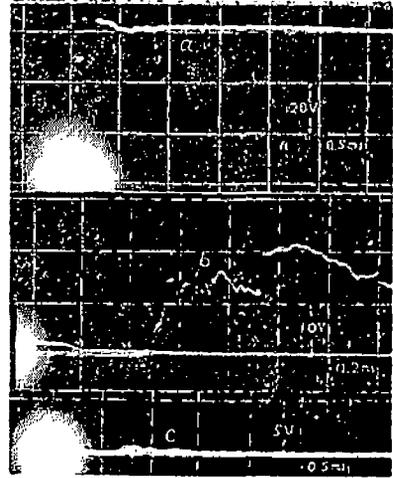


Fig. 4 Noises from an explosive charge in a long cartridge (diameter:35mm, length:440mm, charge:315-386g, detonation velocity:1400m/s), *a*: blasting voltage, *b*: noise from a charge, *c*: noise from a charge under disconnection of blasting circuit.

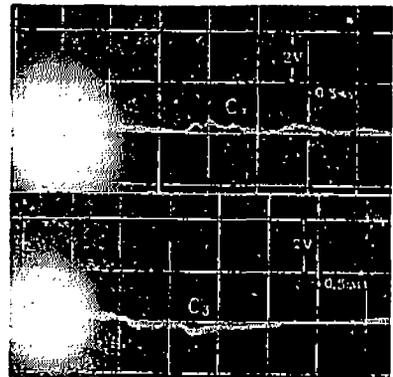


Fig. 5 Noises from an explosive charge in a short cartridge (diameter:35mm, length:220mm, charge 177-190g, detonation velocity:1400m/s), c_1 : noise from a charge without electric initiation, c_2 : noise from a charge with electric initiation which is independent of the measuring circuit.

回であった)。

以上によってノイズ *b* は発破器の残留電気によるもの、 c_1 , c_2 , c_3 はこれとは全く別の原因により発生するもの (何等かの、火薬の爆発現象に原因するものであろう) であることが立証された。なおシンクロスコープのトリガーにイオンギャップを用いる場合にはその回路が発破器を用いる場合と同じになるので、イオンギャップ用の電源が *b* と同じノイズを発生する。

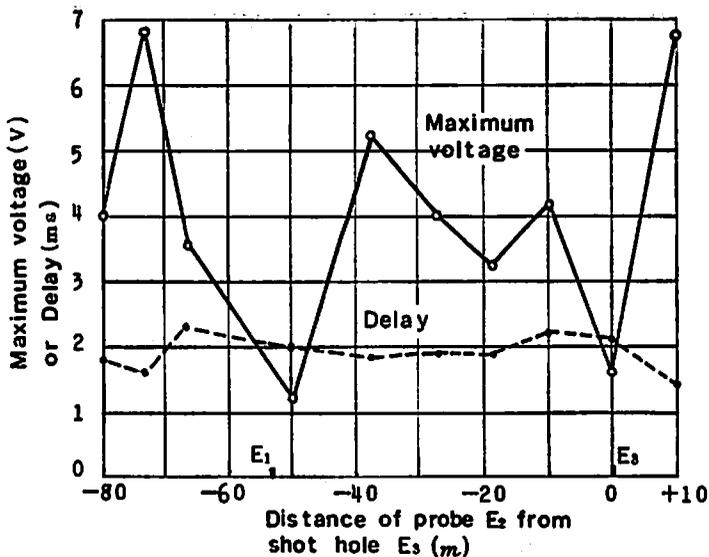


Fig. 6 Influence of the position of the probe E_2 to the shot hole E_3 and to the earth of the exploder E_1 on the voltage of a noise. (Delay times from switching on to the initiation of a detonator are also shown.)

なお残留電気によるノイズを得るためには発破回路などの電源回路と測定回路とがアース E_1 を共有していることが必要であるが、トリガー線 TP は本質的に必要なものではない(図1)。

5. プローブの位置とノイズの大きさ

発破器の残留電気によるノイズは電圧が高いため、爆薬の不発残留などを検知するのに有用である。以下この種のノイズのみについて述べる。

この研究の範囲ではアース E_1 と発破孔 E_3 の位置を一定にした場合、プローブの位置とノイズ電圧の高さとの相関関係は見出せなかった。換言すれば爆薬が通電され爆発を起すと、地面の電位は至るところアース E_1 に対して上昇(時には下降)し、それは発破孔からの距離と一定の関係はない。図6はこの関係を示す。但しこの図は E_1 と E_3 の距離を 53m とし、ほぼその直線上に沿ってプローブ位置 E_2 を点々と移動してノイズを測定した結果である。爆発の試料は電気雷管で、発破線は II を用い、発破器からの通電電圧は 9.8V とした。なお参考のため通電からノイズの山形波の立ち上がりまでの時間も示してある(点線)。

以上の実験でアース E_1 にプローブ E_2 をかなり近づけても高い電圧のノイズが得られることが予想される。これを行った結果は次の通りになった。地線長 E_1E_3 を発破孔 E_3 に向かって横 1m にとった場合、ノイズの最高電圧は 4.3V, 2.8V, 縦 1m で 3.6V, 3.3V, 横 50cm で 3.2V, 2.8V, 縦 50cm で 4.2V, 3.0V, 横 10cm で 4.2V, 縦 10cm で 2.2V。即ち

E_1 に E_2 を 10cm 程度に近づけてもなお十分な高さのノイズ電圧が得られることが分った。この場合地線長の縦横の方向はノイズ雷管には関しないとみなしてよい。(この実験条件は、プローブの位置が変わっているほかは図6のものと同じであった。)

6. ノイズの形

ノイズの電圧時間曲線の形は電気雷管のみと爆薬の場合それぞれ以下述べるような特徴があり、両者を容易に見分けることが出来る。また爆薬の場合、プローブを発破孔に直接さし込んだ場合と、両者を離れた場合とでは著しい差が見られる。

(1)電気雷管のみの爆発: ノイズの形は図7のようになった。通電電流が大きい場合(3.3A)はまず一つの尖頭パルスが生じ、次いである時間をおいて山形が現われる(a)。電流が小さい場合(1.6A)はパルスに続いて直ぐに山形が現われ(b)、または山形の中をパルスが突きぬけて現われ(c)、あるいはパルスと山形は立ち上りで一致する(d)。パルスの発生時間がかよりに通電電流によって影響されることから、これは雷管中の点火玉のブリッジの切断に原因するものと思われる。雷管体が金属であるため、ブリッジの切断の際その電路が外界と何等かの電氣的接触を生ずるためであろう。雷管を完全に被覆してある爆薬包の場合はこの尖頭パルスは現われなかった。山形波は雷管が破壊され、その電路が外界と電氣的接触を生じて発生するものとみなされ、その立ち上がりが雷管の燃発時刻を示すものとしてよいであろう。

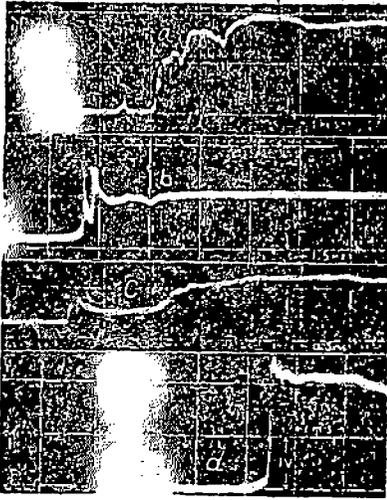


Fig. 7 Noises from a detonator, blasting current: a:3.3A; b,c,d:1.6A.

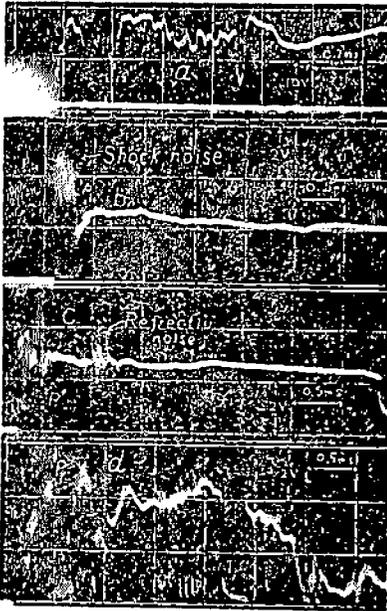


Fig. 8 Noises from an explosive charge. The probe E_2 and the shot hole E_3 are separated in the case of a and connected in the case of b, c and d (long cartridge, s. Fig.4 and 5).

(2) 爆薬の爆発：ノイズの代表的な形を図8に示してある。aは地線長 $X = E_1E_2$ を1mとし、アース E_1 と発破孔 E_2 との距離77m、頭に電気雷管をつけた長薬包で発破電圧を56Vにした。0.16msから爆轟が始まり0.74msの間比較的ゆるやかな楕形波が続き、次いで山形波になる。爆速から計算した長薬包

の爆轟時間は0.32msであるからこれを図に当てはめると p の下向きのパルスが爆轟終点に相当する。b以下は、発破孔に銅線の直径2.5mmのビニル被覆線(長さ1m)の下半分を露出したものをプローブとしてさし込み E_2 と E_3 とを一致させたもので、 E_1 と E_3 との距離は52mにとった。このように直接に発破孔からノイズ波を取り出すと爆轟時間をかなり明瞭に見取ることが出来る。即ちノイズはゆるやかな山形をバックグラウンドとし、衝撃ノイズとも称すべき周波数の非常に高いノイズ帯が現われる(b)。更にその反射波とも見られる帯が現われることがある(c)。ただしb, cはそれぞれ長薬包の尻に電気雷管をつけたものである。これに反してdは、長薬包の頭に電気雷管をつけたものである。dの場合は多数の反射ノイズが重なり合っ爆轟の終点パルス p 点の判定はかなり困難であるがバックグラウンドのノイズの切れ目に着目するのは一つの方法であろう。

発破孔から直接にノイズ波を取り出した場合、以上の方法で写真面上から試料の爆轟時間を測定し、これと爆速による計算値と比較すると次表のようになった。 E_2 と E_3 を離した場合については、本研究ではまだ十分な実験がなされていない。最終パルスが不明瞭な場合があるので、以上の爆轟時間の判定方法は万能ではない。

Time of the so-called "shock noises" compared with time of detonation

Cartridge	Time of detonation (calculated)	Time of shock noise measured	Difference
	ms	ms	ms
Short	0.16	0.17	-0.01
"	"	0.11	0.05
"	"	0.18	-0.02
"	"	0.10	0.06
Long	0.32	0.32	0.00
"	"	0.36	-0.04
"	"	0.31	0.01
"	"	0.30	0.02

(3) 爆薬の燃焼：球形カプセル入の造粒火薬を用いて、爆薬が爆轟しないで燃焼する場合を模擬した。この実験結果によるとノイズ波の立ち上りの時機を除いては、衝撃ノイズや尖頭パルスを発生しないのが特徴であった。

7. 二孔発破及び多孔発破

先ず二孔発破ではどんな信号が発生するかを室内実験により、図9に示す装置と配線を用いて確かめた。金属製のボールに3.5%の食塩水を満たして、これを大地または海水とみなす。IおよびIIは点火玉のブリッ

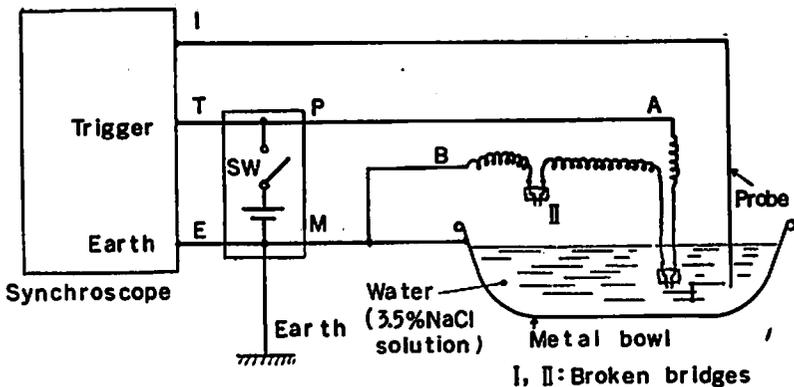


Fig. 9 Circuit for imitation test of noises from two hole blasting in a room.
 I = input, SW = switch in exploder.

ジの切断されたもので、これを自由に上下して水中に浸けることが出来るようにしておく。シンクロスコープ、発破器、アース、プローブを図のように配線し、I、IIを発破回路に直列に入れると、図1と等価な二孔発破の回路が得られる。この場合のI、E間の抵抗値は $3,000\Omega$ であった(プローブの位置を変えてもこの値は殆んど変らなかった)。発破器のコンデンサー容量 $3,000\mu F$ 電圧 $48V$ とした。まず発破線のプラス側のIだけを水に浸けておき発破器を作動させて通電すると、Iがまず破裂して水と電気的に接触することを模擬することが出来る。続いてIIを水に浸けると、この操作でIIがIよりも遅れて破裂し水と電気的に接触することを模擬することが出来る。このとき得られたプローブからの入力電圧を示すと図10のa線のようなになる。これで第二段目の爆発を示すパルスがマイナスの方向に出ることが分かる。次に全く以上に反対に

発破線のマイナス側のIIだけを先に水に浸け続いてIを浸けた場合にはb線が得られる。これによって、この場合は第二段目の爆発を示すパルスがプラス方向に出ることが分かる。以上の実験により、段発を行うときは2孔発破の場合のそれぞれの爆薬の爆発を識別し得ることが原理的に明らかになった。またその時のノイズ波形に生ずる爆発パルスの方向は、前段に発破線のプラスをつなげば後段はマイナス方向に、これに反すれば逆になることが分った。以下前段に発破線のプラスをつなぐ結線をプラス結線、その反対につなぐ結線をマイナス結線と称することとする。

図11は戸外で二孔発破を行ったとき得られたノイズの例を示す。aはプラス結線、bはマイナス結線の場合で、第一段には電管を、第二段には延時の長い球形カプセル入火薬を用いた。これで見られるように、まずa,bともに通電開始から $2.2ms$ のところ

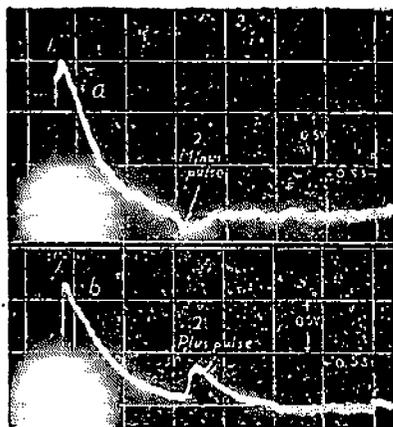


Fig. 10 Noises from an imitation test, a: the plus terminal of the exploder is connected to the broken bridge which is firstly put into the water, b: contrary to a.

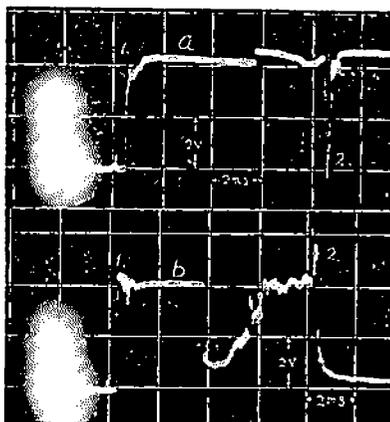


Fig. 11 Noises from a two hole blasting, a and b correspond to those in Fig. 10 respectively. 1.: from a detonator, 2.: from a small cartridge which explodes with a delay.

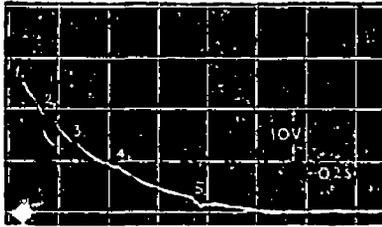


Fig. 12 A noise from a five step delay blasting using delay detonators.

よる尖頭パルスが現われ、続いて 2.4ms のところで山形波が立ち上り、ここで雷管が爆発したことを示す(1)。次いで約 10ms のところで a はマイナスに、 b はプラスに鋭い尖頭パルスが現われているが(2)、これは上の室内実験の結果から見て、何れも第二段の火薬の爆発を誘起していることは明らかである。この場合の実験条件は $E_1E_2 = 2m$ 、発破孔間隔 2m、 E_1 と発破孔群との距離約 50m、発破線は II を用い、発破電圧 9.8V、発破器コンデンサー容積 1,000 μF 、 E_1 と E_2 との直列抵抗 800 Ω であった。

多孔発破の場合の爆発パルスの発生の原理は二孔発破の場合と全く同じである。図12は戸外で多孔発破を行ったとき得られたノイズの例を示す。段発のためには自製の段発電気雷管五段を用い、爆薬包は用いず、プラス結線にした。この実験条件は $E_1E_2 = 1m$ 、五つの発破孔は大体直線上にあり、各間隔は 2m、 E_1 と発破孔群との距離約 75m、発破線 II、発破電圧 48V、コンデンサー 3,000 μF 、 E_1E_2 の直列抵抗 750 Ω 。

8. 結論

以上主としてノイズの発生条件とその形と応用につ

いて述べた。ノイズはプローブを発破孔にさし込んだ場合最も鮮明であったが、実用上からはプローブを発破器の近くにおいた方が、はるかに経済的である。不発の判定は簡単であるが、爆発状態の判定には更に多くの波形のデータを積み重ねる必要がある。この回路の特徴は発破器の一方の端子を計測器のアースにつないでいることである。この方法は水中、有線、段発々破に適用される。水中無線発破および陸上発破についてもこの種の方法が適用出来るかどうかは今後の検討にまつ。

本研究は日本産業火薬会の依頼によって行ったものである。海底発破について懇切なご教示をいただいた水谷寛氏、及び本報告につき詳細にご検討をいただいた田中一三氏に対し深甚な謝意を表する。

文 献

- 1) 通産省立地公害局保安課：残留薬探知機の取扱いについて、火薬類、高圧ガス月報、139、55 (昭和51年8月)
- 2) 佐々宏一、G. Larocque：抵抗線法による爆速測定について、工火誌、27、223 (1966)
- 3) 田中一三、清水武夫、田中克巳、正田強：構造体試験用低速火薬、工火誌36、76 (1975)
- 4) 田中一三：電気雷管の発火性と瞬断発破回路、工火誌35、50 (1974)
- 5) 水谷寛、米田昭昭：水中発破の問題点、工火誌84、283 (1973)、工業火薬協会：発破ハンドブック、253 (1976)、水谷寛：水中発破、その爆薬火工品、附属品について(その2)、火薬と保安7、No.2、23 (1975)

Detection of explosion in under water blasting from electrical noises

by Takeo Shimizu

Electrical noises produced in under water borehole blasting has been studied by imitation tests on the land in small scale. The noises are produced mainly from the electricity which remains in an exploder after the initiation of an explosive charge. From the configuration of each of the noises we can know distinguishably the corresponding phenomenon, i.e. a failure in initiation of the charge, an explosion of an only detonator which is in contact with water, a detonation of the charge etc. This method applies to a single hole blasting or a multihole blasting with electric wires.

(Koa Firework Co., Ltd., 801-1 Nagatani, Kamikayama, Hidaka-machi, Iruma-gun, Saitama-ken)