

爆発現象の応用に関する研究 (第2報)

水中爆発とその影響について

若園 吉一・小川 輝繁・中野 雅司

STUDIES ON THE APPLICATION OF EXPLOSION II ON THE UNDERWATER EXPLOSION AND ITS INFLUENCE

By *Yoshikazu WAKAZONO, Terushige OGAWA and Masashi NAKANO*

Synopsis

This investigation was carried out to obtain the basic information on the effective underwater blasting. The results obtained are briefly shown below.

(1) From the underwater pressure caused by explosion of 7 kg of Kiri dynamite, the following formula was obtained.

$$P = 950R^{-1.11}$$

where

P : Pressure (kg/cm²)

R : Distance from explosion point (m)

(2) The pressure by which the young yellowtail was damaged at the underwater blasting was over 5 kg/cm². The shell-fish was hardly influenced by the underwater pressure of 100 kg/cm².

(3) The waveform of the underwater pressure due to explosion of explosives with high detonation velocity, for example, Composition C-3 or Kozumite No. 23, showed sharp peak pressure, but the waveform of other explosives, for example, ANFO, Slurry or dynamite, showed flat peak pressure.

1. 緒 言

近年、土木工事において水中の岩盤掘削、あるいは岩礁除去の作業が非常に多くなってきた。水中の岩盤を破碎する場合重錘によって打ち砕く方法、硬モリブデン鋼のカッターによって削る方法および爆薬による水中爆破などの方法が実施されている。このうち水中爆破による方法は他の二者と比較して非常に有効であるにもかかわらず、あまり実施されていない。これは水中爆破を実施する場合、多額の漁業補償が要求されること、付近の構造物に被害を与えること、および水中爆破に関する科学的資料の乏しいことなどが原因である。われわれはこれらの問題を解明するために、水中爆破に関する研究を行なうことにした。

そこで今回は国立真珠研究所の依頼により、1967年1月、および1967年3月の2回にわたって、三重県志摩郡大王町船越風ヶ崎浦において、次の測定を行なった。

- (1) 水中爆発にともなう水中衝撃圧の測定およびその魚貝類に与える被害状況に関する調査。
 - (2) 水中爆破における最適爆薬の選定基準を得るための、各種爆薬の水中衝撃圧の圧力波形の測定。
- 以上の実験において、二、三の結果が得られたのでここに報告する。

2. 水中爆発による水中衝撃圧と魚貝類の被害について

水中爆破において、もっとも大きな問題点となるのは魚貝類その他海の生物に多大の被害を与えることで

ある。しかしながら具体的な被害状況の調査,あるいは実験については現在のところほとんど行なわれていない。われわれは水中爆破によって発生する水中衝撃波圧の測定を行なうと同時に魚貝類の被害を調べた。この種の実験は辻田ら¹⁾が, Kelvin の化学管を用いることによって圧力測定を行なっているが, 水中衝撃波のような瞬間的な圧力変化の測定には化学管による方法では充分でないと考えられるため, われわれはピエゾ電気を利用した測定法により圧力を測定した。

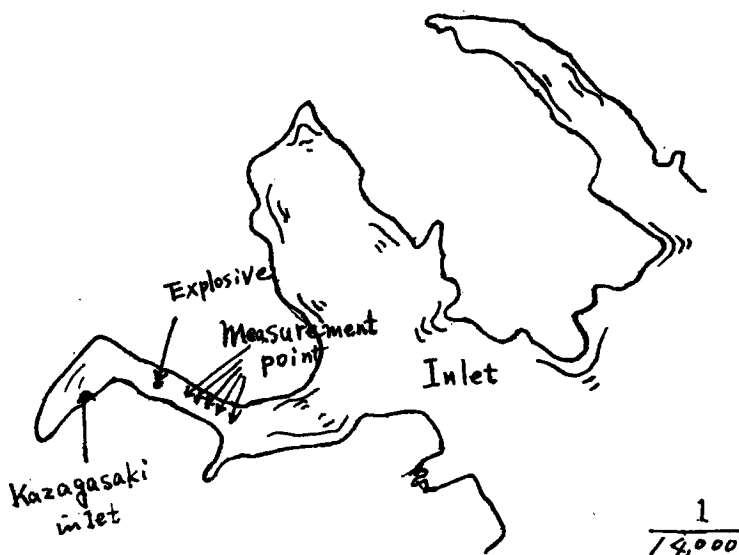


Fig. 1 Experimental area.

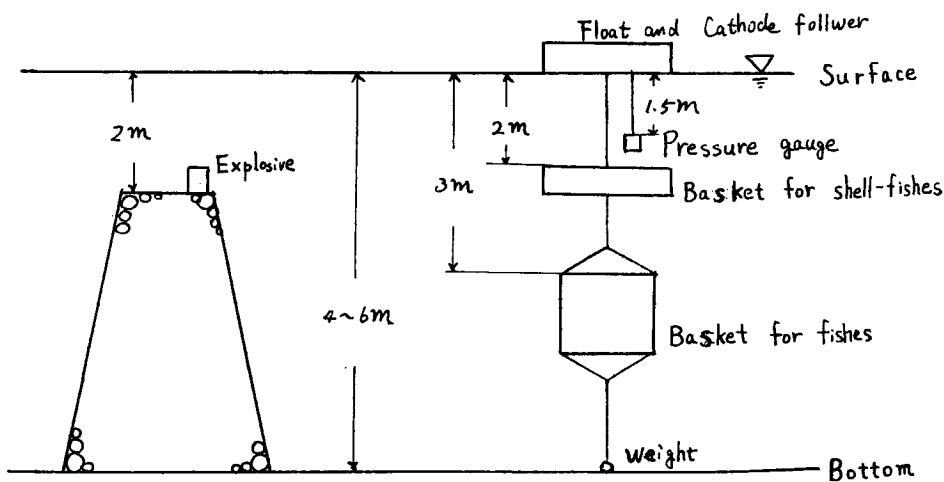


Fig. 2 Arrangement of pressure gauge, shell-fishes and fishes.

2. 1. 実験方法

実験に使用した場所の地形は, Fig. 1 に示したようなリアリス式海岸で, 爆源から直線的に測線をとつ

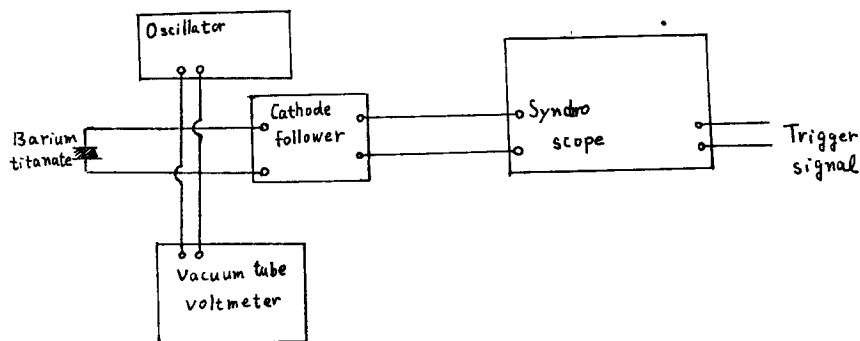


Fig. 3 Blockdiagram of measurement.

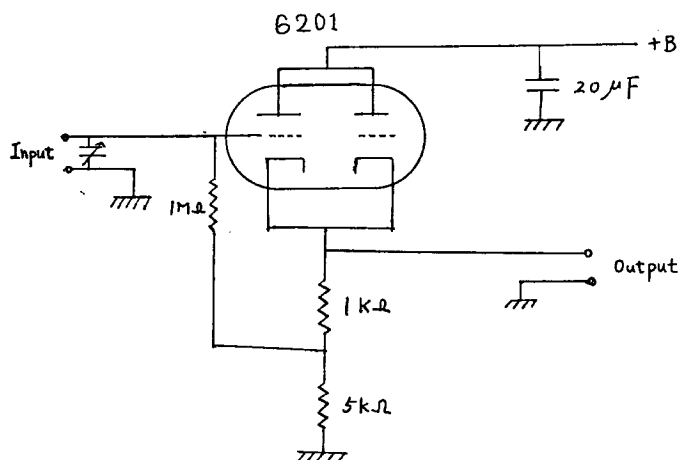


Fig. 4 Circuit of Cathode follower.

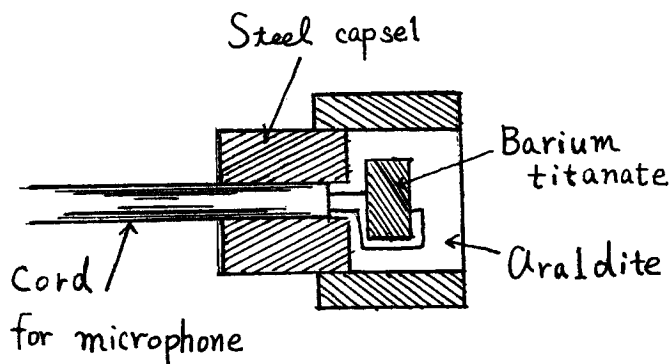


Fig. 5 The Structure of pressure gauge.

た。各測点には、Fig. 2 のように水中圧力計、試験魚、試験具などをつるした。試験魚にははまちを用い、直径、高さともに 1.1 m の円筒型の網いけすに收容した。さらに貝類にはあこや貝、さざえ、あわ

びを用い真珠養殖用の金網かごに入れた。

水中の圧力波の測定方法は、チタン酸バリウム磁器圧電体によって圧力波を受圧し、圧電体より発生する電気信号をカソードフォロアーを通してシンクロスコープによって記録した。測定回路の概念図は Fig.3 に示したとおりである。圧力計のインピーダンスを変換させるためのカソードフォロアーの回路は、Fig. 4 に示す。圧力計は Fig. 5 に示すように、銅製の容器の中にチタン酸バリウムを入れ、アラルダイトでチタン酸バリウムを囲むことによって水密性をもたせた。

使用した爆薬は3号桐ダイナマイト(爆速 5,500 m/sec)であり、薬量は 7 kg を使用し、直径 20 cm, 高さ 40 cm の円筒型の薬包としたものである。実験に使用した水域の水深は 4~6 m である。

2. 2. 実験結果および考察

爆源から測点までの距離と水中衝撃圧の関係を示し、Fig. 6 に図示する。Fig. 6 からわかるように、水中衝撃圧の減衰状況はほぼ直線上で表わされ、実験式としては次のようになる。

Table 1 Attenuation of pressure against distance.

Distance from explosive (m)		5	11	12.5	20	23	45	93
Pressure (kg/cm ²)	No. 1	240	78	75	41	32	—	—
	No. 2				39	—	18	7
	No. 3				29	—	12	6
	Kirkwood-Brinkley's formula	190	78	68	40	34	17	7.3

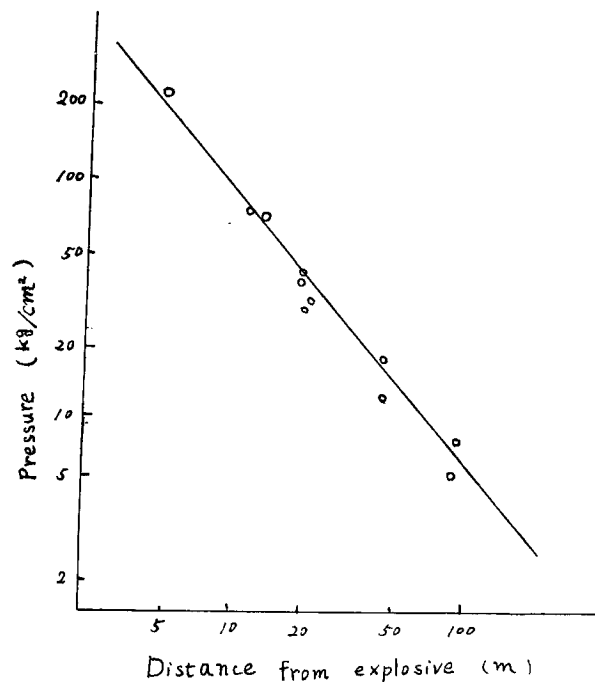


Fig. 6 Logarithmic plot of maximum pressure against distance from shot point for 7 kg cartridge of dynamite.

$$P=950R^{-1.11}$$

P : 圧力 (kg/cm²)

R : 爆源からの距離 (m)

従来, Kirkwood-Brinkley,²⁾ その他によって種々の実験式が示されているが, われわれの結果もこれらの実験式による値と大差は認められなかった。このことは今回の実験場のような浅いリアス式海岸においてもこれらの式が適用できることを示している。このことは水中衝撃波は最初のパルスの持続時間が 30~40 μ sec と非常に短いので反射波および屈折波などの重複を受けることが少ないためと考えられる。

魚の被害状況を Table 2 に示し, 貝類の被害状況は Table 3 に示す。

Table 2 Damage to the young yellowtail.

Distance from explosive (m)	5	11	12.5	20	23	93	150	205	250
Number of sample	4	4	7	7	6	6	5	5	4
Damage	Instantaneous death 3 Convulsions 1	Instantaneous death 2 Convulsions 2	Instantaneous death 3 Convulsions 4	Instantaneous death 2 Convulsions 5	Instantaneous death 1 Convulsions 5	Bleeding of internal organ 6	×	×	×

× : No damage

Table 3 Damage to shell-fishes.

Distance from explosive(m)	10	20	37	45	93	200
Top-shell	Breakage of shell 5 (12)	Breakage of shell 1 (12)	×	×	×	×
Ear-shell	×	×	×	×	×	×
Mother of pearl	×	×	×	×	×	×

() : Number of sample

× : No damage

Table 2 において「Convulsions」と示されている魚は, 爆破後観察した時にけいれん状態にあったものをいう。この結果 20 m 以内のはまちは全滅した。さらに 93 m 以遠のはまちは生きていたので6日間

蓄養して解剖した。その結果、93 m 地点のはまちだけは内臓の器管に内出血がみられた。これらのことから考えると、ダイナマイト 7kg では 93 m 以内の魚は直接の被害があらわれており、この結果から 5 kg/cm^2 以上の衝撃圧があればはまちは被害を受けるものと推察される。

なお貝類は魚と比較するとはるかに強く、特に今回の実験場において問題* となっているあごや貝には障害は認められなかった。貝の中でもさざえは爆源から 20m においても損傷が見られ、比較的弱いことが認められた。

この結果、水中爆破による魚の直接被害はかなりあるものと考えられ、その他魚が漁場を離れるという間接被害もあり得ると考えられる。そのため今後水中圧力波の伝播を防止する方法などの検討も考えねばならない。

3. 各種爆薬の圧力波形について

水中爆破において、爆薬の選定は重要なことであるが、現在は経験的に行なわれているにすぎない。それで爆薬の爆源付近の水中圧力波形を測定し、水中における爆薬の爆発特性と破壊効果との関連性についての資料を得ようとした。

3. 1. 実験方法

爆薬、圧力計を Fig. 7 に示すように設置してダイナマイト、Al スラリー、TNT スラリー、ANFO、コーズマイト 23号、および Composition C-3 の 6 種類の爆薬の爆発による水中衝撃圧の圧力波形の測定を行なった。

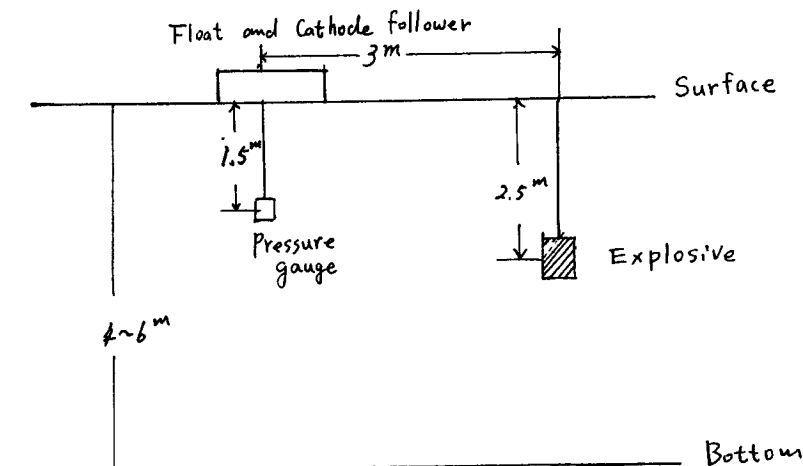


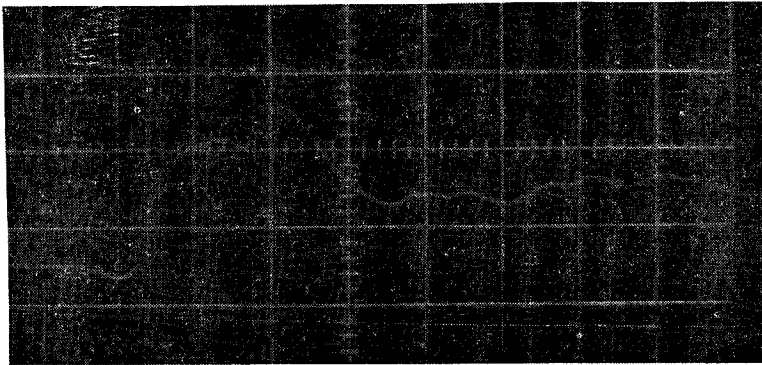
Fig. 7 Arrangement of pressure gauge.

圧力測定法は 2.2 で述べた方法と同様である。特に水中衝撃圧は非常に高周波の波であるため測定回路の周波数特性に注意した。さらに爆薬は直径 87 mm、高さ 190 mm の円筒型のブリキ製容器に充填した。起爆についてはダイナマイトは 6 号電気雷管、Al スラリーおよび Composition C-3 は 8 号電気雷管、TNT スラリーおよび ANFO は 6 号電気雷管と伝爆薬としてペントリット 20 g およびテトリル 10g (合計 30g) を用いて起爆した。さらに、コーズマイト 23号 (TNT および RDX が主成分である) はコーズマイト用伝爆薬 (テトリル) を 6 号電気雷管により起爆する起爆法によった。

* 三重県英虞 (あご) 湾においては真珠養殖が漁業の中心であり、従ってあごや貝 (真珠貝) の水中爆破による被害が問題となっている。

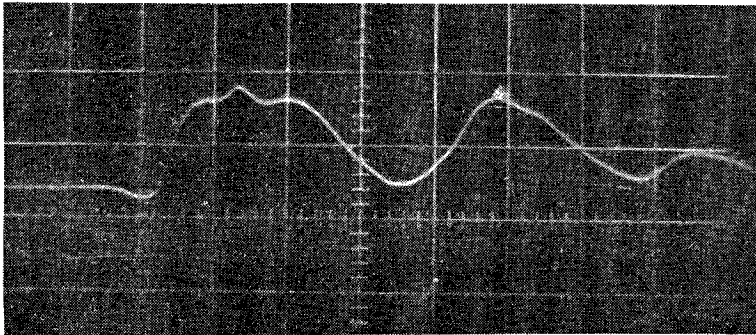
3. 2. 実験結果および考察

Fig. 8, 9, 10, 11, 12 はそれぞれの爆薬の圧力波形の1例である。それぞれの爆薬の薬量，公称爆速，ピーク圧力を Table 4 に示す。



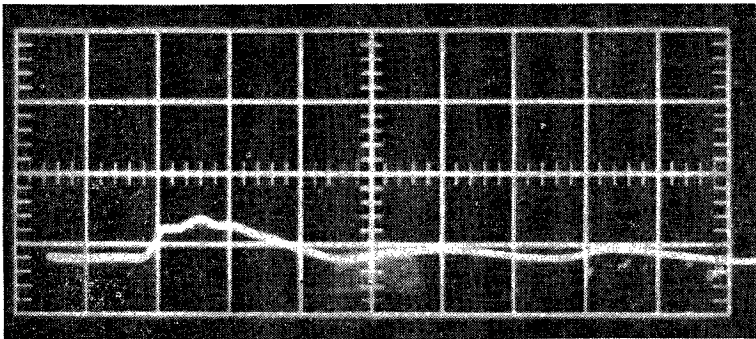
Sweep velocity: $10\mu\text{s}/\text{div}$.

Fig. 8 Example of oscillogram caused by ANFO.



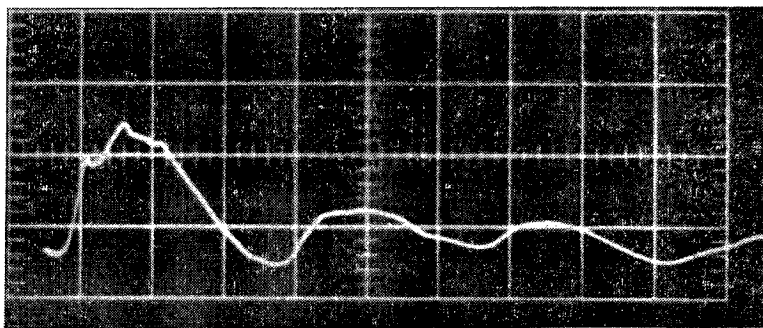
Sweep velocity: $10\mu\text{s}/\text{div}$.

Fig. 9 Example of oscillogram caused by Al-Slurry.



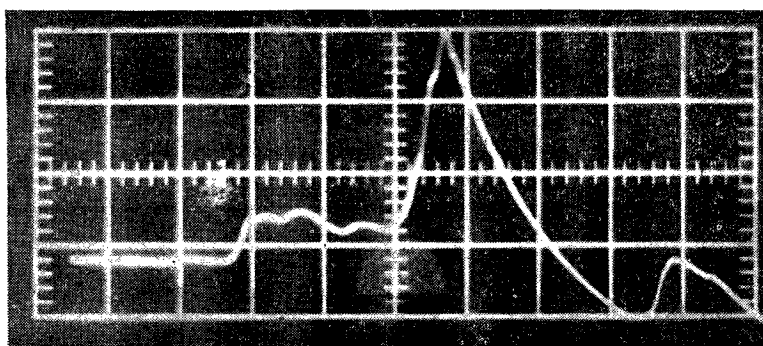
Sweep velocity: $10\mu\text{s}/\text{div}$.

Fig. 10 Example of oscillogram caused by TNT-Slurry.



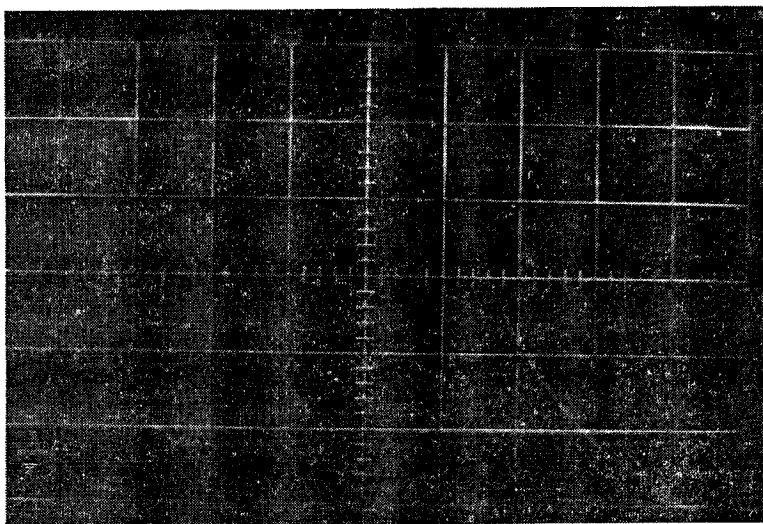
Sweep velocity: $10\mu\text{s}/\text{div.}$

Fig. 11 Example of oscillogram caused by Kiri dynamite.



Sweep velocity: $10\mu\text{s}/\text{div.}$

Fig. 12 Example of oscillogram caused by Kozumite No.23.



Sweep velocity: $10\mu\text{s}/\text{div.}$

Fig. 13 Example of oscillogram caused by Composition C-3.

Table 4 Detonation velocity, Quantity of explosives and maximum pressure.

	Detonation velocity (m/s)	Quantity (kg)	Pressure (kg/cm ²)
Kiri dynamite	6,000	1.0	84.1
Al-slurry	4,200	1.2	89.0
TNT-slurry	5,000	1.4	116
ANFO	3,000	0.96	50.2
Kozumite	6,800	0.75	96
Composition C-3	7,000	1.7	201

圧力波の伝播速度は爆源付近（圧力の高い付近）では大きくなるが、この値が一定であると仮定することにより、伝播速度とこの円筒型爆薬の爆速の値からピックアップに到達する圧力の持続時間を計算すると、それぞれ ANFO は $63 \mu\text{s}$ 、Al スラリーは $40 \mu\text{s}$ 、TNT スラリーは $38 \mu\text{s}$ 、ダイナマイトは $35 \mu\text{s}$ 、コーズマイト23号は $28 \mu\text{s}$ 、Composition C-3 は $27 \mu\text{s}$ となり、コーズマイト、Composition C-3 以外は、圧力波形とよく対応している。H.W. Cole⁹⁾ は Line charge でもって実験を行ない、薬長と波形の対応性について検討を行なっている。しかしながらコーズマイト23号および Composition C-3 は他の爆薬と違って爆速との対応性は認められず、鋭い三角波のピーク圧力が認められる。元来コーズマイト23号は水中爆破用爆薬で水中貼り付け爆破にもしばしば用いられて効果をしめしている爆薬であり、さらに Composition C-3 は高爆速の強力な破壊力をもった爆薬である。ダイナマイトなどの一般産業用爆薬と比較して特に強力な破壊力をもった爆薬の圧力波形がこのような Shock wave の形状を示しているのは注目されることである。今後これらの爆薬の水中圧力波形と破壊効果との関連性について検討する予定である。

4. 結 言

(1) 水中における3号桐ダイナマイトの爆発による水中衝撃圧は薬量では次の式であらわされる。

$$P = 950R^{-1.11}$$

P : 圧力 (kg/cm²)

R : 爆源からの距離 (m)

(2) 魚貝類の影響についてははまちでは 5 kg/cm^2 以上の圧力で、障害を受けるものとみなされ、3号桐ダイナマイト 7 kg では約 100 m 以内のはまちは障害を受けている。貝類は一般に強くさざえ以外は爆源近傍でもほとんど被害を受けないようである。

(3) コーズマイト23号や Composition C-3 のような強力爆薬の圧力波形は3号桐ダイナマイト、TNT スラリー、Al スラリーあるいは ANFO のような爆薬の波形と異なって鋭いピーク圧をもった三角波となっていることが認められる。

最後にこの実験を行なうに当たって種々の御教示および御援助を得た国立真珠研究所沢田保夫博士に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 辻田時美、藤田明光、上野義郎：ダイナマイト水底爆発における水圧とその水族におよぼす影響、水中発破の魚族におよぼす影響に関する参考資料、第1輯、水中発破技術研究会、昭和37、p.1.
- 2) J.G. Kirkwood and S.R. Brinkley, Jr.: Theory of the propagation of shock waves from explosive sources in air and water, ODSRD 4814, 1945.
- 3) R.H. Cole: Underwater Explosions, Princeton University Press, 1948, p.248.