



Title	害敵駆除を目的とする水中爆発について
Author(s)	黒木, 敏郎; KUROKI, Toshiro; 九万田, 一己 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 12(1), 16-31
Issue Date	1961-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23119
Type	departmental bulletin paper
File Information	12(1)_P16-31.pdf



害敵駆除を目的とする水中爆発について

黒木敏郎

(北海道大学水産学部漁具物理学教室)

九万田一己

(鹿児島県水産試験場)

The Effects of Underwater Explosions for the Purpose of Killing Predacious Fishes

Toshiro KUROKI and Kazumi KUMANDA

Abstract

There is a cove in Ushine district at the north end of Tarumizu city in Kyushu (cf. Fig. 1), where the Coastal Fisheries Promotion Association of Kagoshima-Bay projected growing of yellow-tail (*Seriola quinqueradiata*). Because it was necessary that major fishes (common sea-bass, mullet, barracuda etc. as predators) should be annihilated before many larval yellow-tail were placed in the closed cove and fed there, underwater dynamite explosions were planned and carried out in 1960.

In the preliminary tests on Feb. 27th, two charges of 405gr dynamite (N.G. 50%, gelatine dynamite) were set in the middle of this cove and separately exploded through water-tight trains of powder with a time interval of half an hour.

In the operation on Feb. 29th; 46 charges of the same dynamite as preliminary tests were set with ropes and wooden floats at intervals of 15m in 3 rows (distances between one row and next were also 15m). Firstly 27 charges near a dike were exploded simultaneously through electric fuses; secondly 13 charges in the inner-part of cove were set off similarly 25 min. later. Unexploded 6 were removed when the operation was over.

During the time of the test and the operation, underwater pressure was measured by use of new type elements (cf. Fig. 4) at various points; underwater sound was recorded at both the inner-side of the dike and the outer-side. Many injured wild fish in the open and ones in net-baskets for the test were observed anatomically.

The results of measuring, recording and observing are summarized as follows:

a) On the conditions in this cove, underwater pressure P kg/cm² which was induced by one charge of dynamite may be expressed by the formula;

$$P = k \times 10^{-0.126L}$$

(where, L m = distance between measuring point and the center of explosion, $k = 130$ kg/cm² in these experiments), and P' produced by many charges was measured with various deviations from P owing, perhaps, to interferences or conflictions of pressure waves themselves. (cf. Fig. 6 and 7)

b) Recording of underwater sound by microphone pick-ups was done four times.

At the first time in the preliminary tests, pick-up was set underwater outside of the dike. As a result of analyzing and calculating of the record, it was recognized that the maximum peak pressure of sound was about 135 db; the sound consisted of about 80 c/s (small amplitude) waves and 150~200 c/s (large amplitude) ones.

At the second time in the preliminary tests, pick-up was set underwater on the inner side of the dike. This sound was similar to that of first time, but 3300~3900 c/s waves were superposed upon the sound.

It seemed that the dike reduced the underwater sound pressure (equivalent distance of water layer = 1100m), because the max. peak pressure was about 166 db in the second case, and that the dike absorbed high frequency sound waves.

In the main operation, pick-ups were set outside of dike both times. In the first case

(distance between microphone and the center of explosive charges area was about 70m) the peak pressure was 240 db; in the second case (distance was about 180m) the peak pr. was 171 db. These sounds consisted of 150~180 c/s, 300~330 c/s (small amplitude); 170~250 c/s, 300~350 c/s (middle amplitude) and 120~190 c/s (large amplitude) waves, cf. Pl. III A~H.

c) Observed injuries to fishes extended from congestion of lateral muscle to exposure of entrails and destruction of operculum. Seriousness of injury depended on the distance from exploding point, but the relation was complex and it seemed, especially, that injuries to fish were serious near the sea-surface.

Break of vertebra or burst of air-bladder happend often at 15m distance from an explosion point and congestion of vertebral artery was observed even at 20m or more distance.

d) In view of the relation "Peak pressure of explosion is directly proportional to the cube root of charged explosive mass", it is more effective for killing fish to use a large number of charges of small mass; and in the case of using 405gr of dynamite (N.G. 50%) in every charge for the purpose of destroying fishes, a large number of chrges must be used and be set at 7~10m or less distances respectively between the separate ones in a closed cove.

I 緒 言

1914年の火山大爆発で桜島が半島化した際に出来た行きづまり部すなわち鹿児島湾の最奥部の入江は垂水市牛根にある。ここに堰堤を築いて海水出入可能な(干満利用の)池を作り鹿児島湾沿岸漁業振興協会経営のもとにブリ蓄養が行われている。Fig. 1 並びに PL. I A~C 参照。

従来の経験により稚ブリを放養しても池中に大型害魚がいる場合ほとんど捕食されて蓄養の成果は全く挙げられないことが明らかになったので、次年度に予定される数万尾の稚ブリ放養に先立つて蓄養池内の大型魚を全滅せしめたいという希望が生じ具体的な計画が立てられるに至った。1960年2月のことである。

池中の害魚群を駆除するには、網を以て念入りに魚を捕える方法とか毒薬や電気でこれを殺す方法などがあるけれども、面積も広く熔岸の岸をもち且海水交換率の悪いこの蓄養池ではこれらの方法はいずれも適

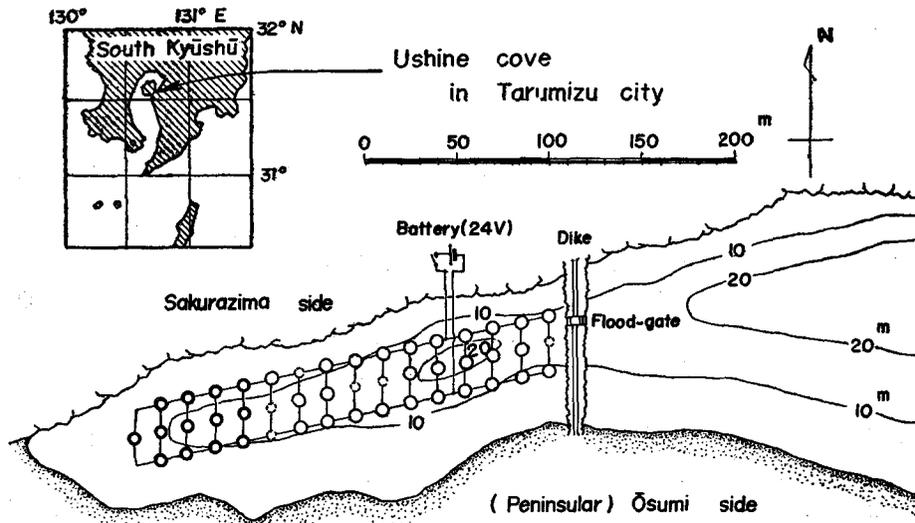


Fig. 1. Map of Ushine cove, showing location of dynamite explosions

Circles: Firstly blasted 27

Double circles: Secondarily blasted 13

Broken circles: Lastly treated 6

当でない。そこでダイナマイトの水中爆発を以て一挙に害魚をせん滅する方法が採られることになった。その工事施工に必要な諸経費は振興協会が負担し水中爆圧の物理的な測定を鹿児島大学水産学部水産工学教室（黒木主班）が行い生物的な効果判定は鹿児島県水産試験場調査部（別府部長指導）が担当した。なお、水中録音はNHK鹿児島放送局技術部の協力参加を得てなされたものである。

Ⅱ 試験経過概要

当初電気雷管によらず導火線を用いて爆発させる案が出たので、これを水中で採用する際の悪影響を予想して導火線の水槽内燃焼試験を行い2月18日までに採らないことに決定した。併行して試作受圧測定器の校正実験を行う。2月27日、ダイナマイト爆発効果検討のため単発（導火線使用）予備試験を2回にわたって実施、測圧・魚体被圧・水中録音などほぼ予想通りの結果を得た。同28日、15m間隔に約50発（各約405gr）の火薬を吊下すべき支綱を張り立てる作業並びに電線結合作業を完了。同29日、最干時14時45分に、電気瞬発雷管をもつて一斉に爆発せしめようとしたが、結線不良の箇所があつたのか電源に近い堰堤側27箇のみが爆発した。そこで入江の奥部へ電源を移して15時15分にスイッチを入れ残りのうち13箇を爆発せしめた。それでも導通不良その他の理由により不発のものが6箇残つたのでこれをまとめて16時40分に最深部で爆発処理しおつた。この日の前2回（計40箇）の爆発を本文では本試験と称するが、勿論水中爆圧測定・魚体被圧状況観察・水中音記録等の重点はこれに置かれたのである。当日爆発終了直後の潜水観察は底部の濁りが甚しく視界1mの狭さであつたし間もなく夕暗ともなつたので、漁獲3箱の集収にとどめ、翌3月1日改めて潜水により害魚死滅状況を観察した。以上の概況を写真（PL. I D～H）に示す。被爆により海面に浮かんだ魚は殆ど小型（10数cm以下、特に扁平型）のものが多くて、大型魚の大部分は海底に沈み、爆発で舞い上つた底泥を被つて横たわつているものが多かつた。なお、収穫魚は7箱に及んだが、一斉爆発にならなかつたことと充分な爆圧の行きわたり得ない水域があつたことなどの理由により若干の親魚が生き残る結果となつた。しかしこれは泥を被つて発見されずに残された死魚や小さな浮死魚の掃除役となり結局1カ月の後にこれら生残魚も毒入りの餌で全く駆除されたものである。

Ⅲ 各試験の詳細と結果の検討

1 導火線試験

火薬取扱いの責任者が処理の容易さと安全さとの観点から導火線による多点爆発を提案した。広い蓄養場内でこれを行う場合始発と終発とは数分乃至10分の時刻差が生ずることになり（時刻差を少くしようとすれば導火線の長さの選択に困難を生ずることとなり）多点式爆発となつても魚群移動その他の理由より見て良策ではないと思われた。特に導火線より泡が出たり硫黄化合物その他可溶性無機物が浸出したりすると慮外の現象を生ずるおそれがある。そこで導火線の燃え進みの速度測定を兼ねて水中での燃焼状態を観察する試験を行つた。供試品^{*}を30, 50, 100cmの3種の長さに切り、末端をセメダインで密封したものとしないものとの両方につき空中と水中（水深約50～60cm）とで燃焼させて比較した。

空気中では末端を閉じたものと閉じないものとで殆ど差がなくその燃焼速度は平均0.43m/minであつたが、水中での燃焼速度はやや早くなり端を閉じたもので0.45m/min、閉じないままで0.46m/minという測定値を得た。（Fig. 2 参照）水中では速度が5～7%増大することになるから実用上注意を要する。

水中での燃焼状況は写真（PL. II A, B）に示すように、燃焼済みの部分の線肌から直径1mm内外の小泡が無数に立昇り肌の色が白色から黄緑または黄褐色に変ずる。点火した方の端を水中に投入した場合この端口から3～5mmの泡が不規則に沢山出る。これらの泡は水面で泡の群となつたり箇別に破れたり

* 帝國火工品製造株式会社（植木工場）製、第二種導火線。これは学術研究用として鹿児島市田中銃砲店より必要量を提供して頂いたものである。御厚意に対して謝意を表する次第である。

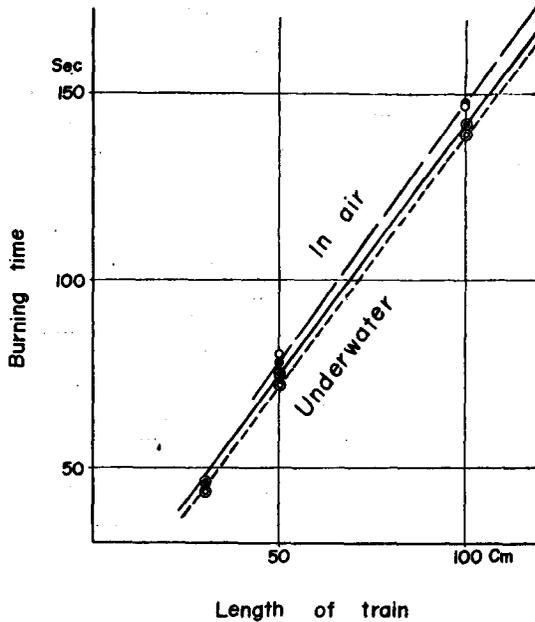


Fig. 2. Combustion velocity in trains of powder
Single circles: in air (mean value=0.43 m/min)

Double circles: underwater
 { Black dowble: Closed end (0.45 m/min)
 { White dowble: Open end (0.46 m/min)

いう方式を採用した。あらかじめ銅片と鉛片との兩種を選び円錐頂 $47^\circ \times 2$ の鋼棒尖端を以て色々な力で押しつけた時の凹部を実物幻灯器で拡大して測定した結果 Fig. 3 に示すような結果を得て、この場合荷重が凹径の 2.3 剽に比例することを知った。

Fig. 4 に試作した測圧器の断面を示す。 $60^\circ \times 2$ の頂角をもつ鋼製受圧片 A は、厚さ 4 mm の鉛円板 B の面にその頂点を接触するような姿勢で本体 C (鉄製) の前部円筒孔に収められ、薄いビニール膜で包み込まれている。本体 C の右半下部には適当な空洞 E が作られ、その蓋 F には径 1 mm の小孔が開けてあるから、本器を水中に入れるとこの孔から海水が浸入しはじめ空洞 E 内の空気は外圧と平衡するまで圧搾される。受圧片 A を収めた部分へもこの空洞から空気通路 D が通じているのでその圧力の空気はビニール膜 G を受圧片側からも押しつけて内外の圧力は平衡し、円錐頂は鉛面に接触しているだけの状態であるが瞬間圧力が受圧片 A の左側円形端面 (面積 1 cm^2) に加われば空気は圧縮されて円錐頂が鉛円板 B の左面に凹みを作るわけである。

この受圧片に $1 \sim 150 \text{ kg/cm}^2$ の圧力をかけて実際の円板面に凹孔を生ぜしめた結果を PL. II C に示す。Fig. 5 には凹部の直径 (2 点ずつあるのは長径と短径) と 10 sec 間かけた圧力との関係を示したもので両対数図表上で直線となり圧力は凹径の 2.05 剽に比例することを知る。また同図に重ねて黒点を含むほぼ水平な直線で示されているのは圧力を 50 kg/cm^2 一定とした時の凹部の直径と加圧時間との関係である。後述のように水中爆圧のピーク時間幅は 10^{-2} sec 程度であるから凹径の大きさから爆圧を計算

して燃焼ガスの煙 (黄白色) を立て火薬臭を發する。このような現象は魚群に聴覚的・味覚または嗅覚的な刺激を与えるであろうし、そのために魚を平常状態外に追いやるであろうから、結果としては導火線による水中多点爆発法を採用しないことに決めたのである。

2 水中測圧試験

2.1 圧力測定器とその検定試験

圧力の測定には色々な方法があるけれども爆発圧力を測るのには繰返爆圧 (内燃機関等) にダイヤフラム変位方式を用いることのほか大抵は金属変形方式が採用されるようである。空中の爆発 (気体) 圧力を測るのに鉛板の組織変形を活用することは最もよく行われるが、深い水中での圧力測定ともなれば静圧も混入して較正が甚だ困難となるおそれを生ずる。振動圧力が加わる時には受圧部の慣性力その他も考慮されねばならないから 10^{-4} sec 程度の短周期受圧の時には薄板式を採用せざるを得ないであろうが、この場合水中爆発の減衰振動の周期は $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ sec}$ 程度と予想された¹⁾ ので製作個数の多さや経費の問題も考えて、円錐頂の鋼片で鉛面を押圧させその鉛片の凹部の径を測ることによつて受圧力を測ると

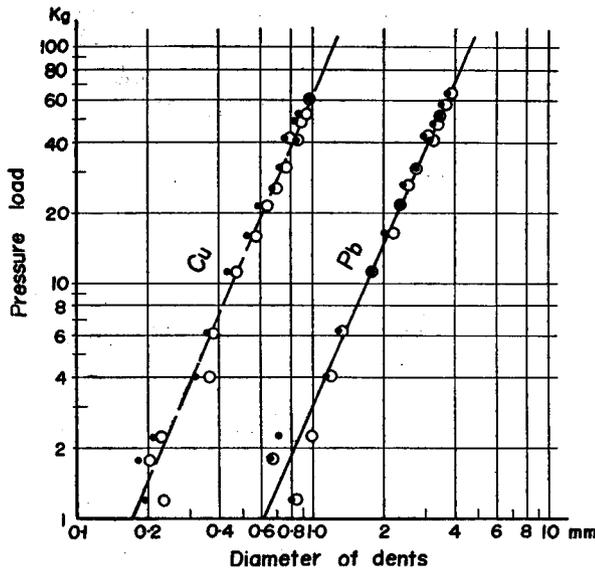


Fig. 3. Relations between pressure load and diameter of dent

(With cone angle: $47^\circ \times 2$)

Cu: $62 \times d^{2.3}$, Pb: $3.1 \times d^{2.3}$ (kg)

つて点火した。

測圧器の敷設箇所としては、第1回目では爆心と等深線上に水平距離 4 m, 5 m, 7.5 m, 10 m の 4 距離を採り、第2回目では爆心から水平に 2.1 m 離れた所で水面より 0.2 m, 2.5 m, 5 m, 10 m という水深に置いた。後の場合実際の直線距離は爆心からそれぞれ 5.7 m, 3.6 m, 2.1 m, 4.9 m となつた訳である。

測圧結果は Fig. 6 のように示される (白丸印第1回目, 黒丸印第2回目)。爆心からの距離 L m なる点での爆圧を P kg/cm² とすれば,

$$P = 130 \times 10^{-0.126L}$$

という関係があることになる。爆薬の中心近くまでこの関係式が成立するものとすれば、 $L = 0$ のときつまり爆発の中心では有効最高圧力が約 130 kg/cm² と推定される。*)

するのにはこの関係を以て修正を施さねばならない。慣性力補正もこの修正値の中に含まれるものとする。

さてこのような測圧器を数十個作り、爆心から色々の距離に紐で吊して置くわけである。以下予備実験と本試験とに区分して測圧結果を述べよう。

2.2 予備実験単爆発測圧結果

2月27日、蓄養池のほぼ中央(海深約 10 m)の辺で爆薬の吊下される水深が 6 m となるように仕掛けて前後 2 回爆発せしめた。各回の薬量は約 405 gr (1 包み 45 gr の爆薬 9 筒を合して 1 発分に固めたもの)である。使用した爆薬はサクラダイナマイト(耐水性、ゼラチン状、ニトログリセリン 48~52%, 爆燃速度 5.5~6.5 km/s)で、簡便のため導火線によ

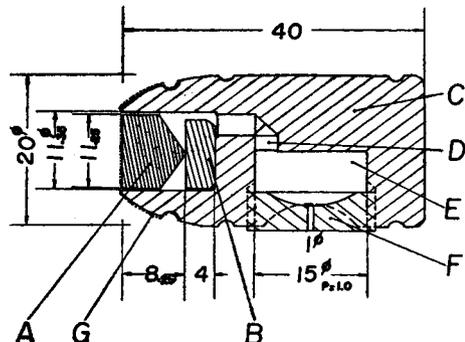


Fig. 4. Measuring instrument of underwater explosive pressure

- A: Cone piece against pressure (steel)
- B: Piece to be dented (lead)
- C: Case body (iron)
- D: Air path (dia. 3 mm)
- E: Pressure regulating hollow
- F: Hollow cap with pinhole
- G: Thin cover (vinyl membrane)

* HUBBS 等 (1952) が Scrips Submarine Canyon で測定した実験では、 L と P との両軸対数目盛で直線になるとして $P = k' \times L^{-2.6}$ を与えている。つまり、爆圧は爆心からの距離の 2.6 乗に反比例するというのである。我々の実験値でも両対数目盛で直線をなすものとして (距離大の点で外れるけれどもこれを除外して) 考えた場合 $P = k' \times L^{-1.8}$ 程度とあらわされ、この値は従来言われていた実験式 $P = k' \times L^{-1.15}$ [但し、広い海洋で] との間にあることを知る。1,2)

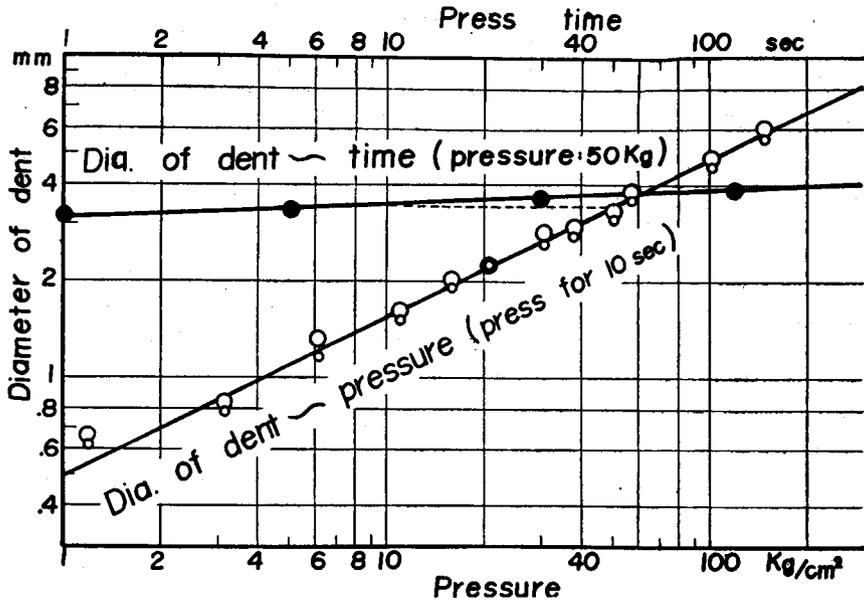


Fig. 5. Relations between diameter of dent and pressure, press time
 (With cone angle: $60^\circ \times 2$)
 Correction time at the explosive pressure = 10^{-3} sec

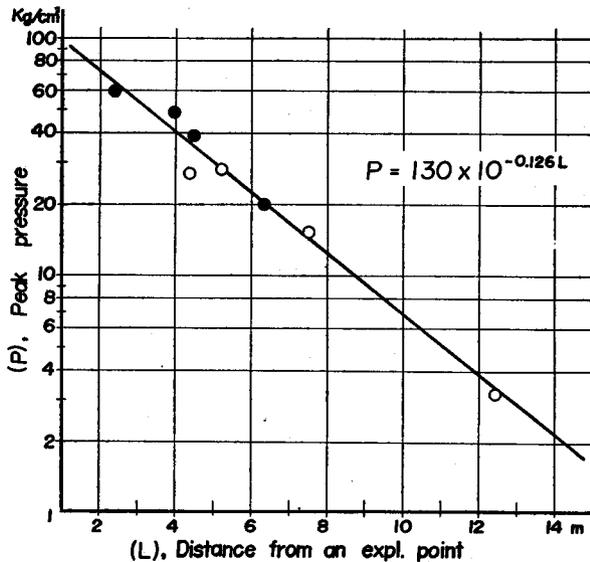


Fig. 6. Decay with distance of underwater pressure by one charge of 50% gelatine dynamite 405 gr
 Black circle: On a vertical line (second expl. in the preliminary test)
 White circle: On an equidepth line (first explosion in the one)

2.3 本試験多爆発測圧結果

2月29日、50発に近い爆薬を一斉に爆発させるために、電気瞬発雷管を準備した。Fig. 1に示すように入江縦長に沿って間隔15mに3列のロープを張り中央のものは単なる吊下用に使用したが岸側（大隅半島側）と熔岸側（桜島側）との2列は電源48V（8V×6ヶ）からの直列結線用電纜支持にも利用した。爆薬は上述サクラダイナマイト約405gr（45gr×9ヶ±1ヶ）を使用した。装備個数が多いので結線作業中に爆薬が水に溶けたり雷管附近に浸水が生じたりすることを慮り、6cm×10cmの楕円体状に固めたものを防水用ポリエチレン袋に包み、これを3列のロープ上に15m間隔16行に配って、その点の水深の2/3の深さに吊下した。最奥の行は中央列1点のみであるから爆点は46となり中央列の16点は並列結線による点火となる。また水深が大であつたり岸までが遠くて魚群のひそむ場

所の多い所であつたりした点には2ヶの爆薬を1点に同時装着して効果の確實を期した。

このような配置では2点以上の爆圧を測ることになるので慎重に7爆心点を選び、水平方向6本と垂直方向5本と合計11本の測圧線を設定した。爆心よりの距離は予備実験の場合と同様である。すなわち基準爆心より水平方向には4, 5, 7.5, 10, 15m (堰堤外に及ぶ線上では20m, 30mを含む)とし、垂直方向には水面から0.2, 2.5, 5, 10mと測圧器を吊下したのであるから、他の爆心からの距離は幾何学的に計算で求められる。測圧器52ヶを海中に吊下設定したけれども紐の切断等の理由によつて実際に回収されたものはそのうちの44ヶであつた。

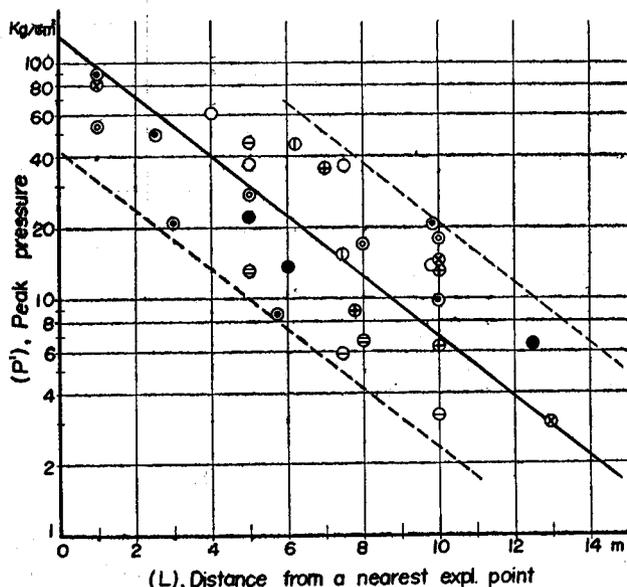


Fig. 7. Deviation of peak pressure from $P=130 \times 10^{-0.126L}$, in measuring of explosions by 27 charges. Every charges were arranged at 15 m distances each other.

それぞれの測圧器に最も近い爆心(基準)からの距離を横軸にとつて、較正された爆圧を画いたのがFig. 7である。見るように測圧結果は相当に乱れている。各爆心は15m間隔平方に配置されているのであるから、多点一斉爆発の場合には最も近いものからの影響のみならず他の2ヶ以上の爆心からの影響を重畳されるであろうことは当然予想されたのであるが、加圧作用のみならず減圧の測定結果の得られたことは興味深い。選ばれた7爆心のうち3点は前述2倍量の爆薬を仕掛けた点であるが、これを基準点として設けられた測定線上のものが必ずしも2倍圧を示さず、減圧とすら見られる測定値を示した。Fig. 7に太い実線を以て示された斜線はFig. 6に得られた単発の場合の距離~爆圧関係であつて、これに平行な上下2本の点線はそれぞれ単発の3倍量と1/3量とに相当

する線である。実験測圧点が殆どこの両点線内にplotされたということは、このような爆薬装備の仕方では遠近複数の爆心からの爆圧重畳や干渉があつたとしても、単発の爆圧の3倍を超えずまた1/3以下になることもない、という結果を示すものである。

もし、HUBBS等¹⁾の言うように魚の死が爆圧2.8kg/cm²で始まり5.5kg/cm²で殆ど魚は死ぬというものならば、本試験のやり方では爆心から9.5~14.5m程度で死ぬ魚が生じ、7m以内の魚は殆ど致死するということが考えられる。(被圧の傷害程度は後章に述べる。)この場合、底深7~20mの海中で水面からほぼ5~15mの深さに爆薬を15m間隔方形に吊下して置いたのであるから、最も近い爆心から測つても11.7m距つた点が海庭に生ずることになる。従つて魚が必ずしも致死しない帯域もあつた訳ではある。

電気点火の結果、堰堤に近い27点がまず斉爆した。上記の測圧結果は爾後の爆圧により測定値に混迷を生ぜしめないため、この第1回目の爆発の直後に測圧器を回収し、後日検討して得られたものである。電源を入江の奥に移し、母線も結び替えて第2回目は8Vで点火せしめたところ13点が爆発した。

第1回目から約30分を経過している。更に未発のもの6点が残つたのであるから、大型魚を全滅したいという目的に対しては、時間的にも空間的にも完璧を期し得なかつたものであるが、野外実験の粗放さの中でこのような資料が蓄積されて行くことこそ重要な進み方であると信じ、敢えて実状を本節に追記する次第である。

3 水中音とその解析

音圧としては前述の如く最高圧の形として受圧片でこれを捕捉したけれども、爆発は単発の場合でも海表面や海底、岸などで反射して余韻のある音として聞こえるであろう。そこでマイクを水中に入れてこれを録音しようと試みた。^{*} 使用された水中マイクは沖電気K.K.製T-18型、感度102.8 db (容量12900 pF) のもので、録音再生機はPT-14S型 (入出力インピーダンス共に600Ω), 入力レベル-72db mic, 出力レベル-22dbを使用した。以後再録したりブラウン管オシログラフに掛ける際には入出力レベルを検定しつつ行つた。文中の音圧表示はその最終的計算結果のみで示す。

前節測圧試験の項でも述べたように、爆発は予備実験として単発2回、本試験として多発2回を行つたので、その4回の分につき1/10 sec または 1/100 sec の掃引時間で撮影したオシロによる音波形の数例をPL. III A~Hに示す。これらを解析検討した結果から次のようなことがまとめられる。

3.1 予備実験(単爆発)の場合

第1回目の場合爆心(単発、薬量405 gr)が蓄養池のほぼ中央にあるのに対して水中マイクはそれから160m離れた点堰堤外において録音した。計算によれば最高圧は135 db となり振幅の小さい波動は80 c/s程度、大振幅のものは150~200c/s程度の音として伝わつて来ている。幾つかのピークの現われる時間々隔が水中音速を1500 m/sとした時に7.5~17m相当に示されていることから判断すると水深方向(海面と海底と)での反響音も含まれて到来したものとと思われる。

第2回目では爆心条件は第1回と同様であるが、水中マイクを堰堤の内側(爆心の側)に置いている。この時の最高音圧値は166 dbと示され、前回との差は約31 dbであつて爆心からの距離(150m)から勘定すると堰堤による減圧効果はこの海域約1100mの距離だけ距てたのと等値になる。前回の音波形と異なる点は3300~3900c/sの高い周波数の音が重畳していることであつて、これは兩岸の熔岩その他の反響音が直接音圧の大きな大振幅波形に乗つたものであると思われる。なお大振幅の波間の時間々隔を距離に換算すれば約114mとなるので、これは爆心からの直接音と奥の方へ行つた音のはね返り音との時隔であると推定される。また、前回と同じく大振幅と中振幅との時間々隔12m相当というような水深反響間隔も見受けられた。

3.2 本試験(多爆発)の場合

この場合には使用する総計の薬量が多いのでマイク破損を顧慮して2回とも堰堤の外側に置いて録音した。第1回目は堰堤に近い側27点の同時爆発なので音圧最大を示し約240dbと計算された。第2回目は堰堤より遠い方(奥側)で13点爆発させたがその時の音圧は最大171dbであつた。各回の爆発点の置かれた帯域のほぼ中心から水中マイクまでの距離はそれぞれ約70m, 180m, である。波形は区々でなかなかまとめ難いけれども両場合を通じて大振幅の音波には120~190c/sが多く中振幅で170~250c/sと300~350c/s, 小振幅では150~180c/sと300~330c/sというような周波数が見られる。

すべての録音を相当に絞つて再生せしめこれを聞いた時の感じを形容すれば、予備(単発)実験第2回目でも唐紙を破るようなバリバリッといった音に聞えることのほか、その第1回目も本試験(多発)の両回と

* 鹿大水産工学教室でもクリスタル・マイクを水中用に改良したものをを用いて2カ所別々に録音したが、マイク増幅録音系の増幅度について疑義が生じたので、録音テープによる波形解析はもっぱらNHK技術部の協力を得て採取した水中音のみを撮影解析の対象として取扱つた。鹿児島放送局の高橋技師並びに御協力頂いた各位に対し深甚の謝意を表す。

も共に厚板または厚い鉄板を叩くような音である。どの場合でも2回に分れて(例えばドンドコンというふうに)聞こえることは、水中音が直接波と池奥からの反射波とに大別されて水中マイクへ到来したためと考えられる。前述予備実験第1回目(単爆発を堰堤外で pick-up した場合)の 135db という音圧値は、空中の人間の耳の感じに引き直すと極く近い大雷鳴(130db といわれる)程度の筈であつて、これを使いなれた圧力単位で示せば僅かに約 0.001 気圧に過ぎない。これから考えると本試験第1回目(多爆発を堰堤外で pick-up したが、平均距離は 70m であつた)の場合の音圧値 240 db 200 気圧という値は如何に強大な音圧であるか想像に余るものがある。それにしても、この 240 db (200 気圧)という値は、測圧試験の項で述べた爆心圧力(薬量 405 gr, 単発)の 130 kg/cm²(約 236 db)に近い値であり、距離や発数(薬量)を勘案する時、試作測圧器による実測値と録音波形の解析計算から求めた値とが殆ど等しいことを示すものであつて両方の測定や計算が正しいことを裏づけるものであると言わねばならない。

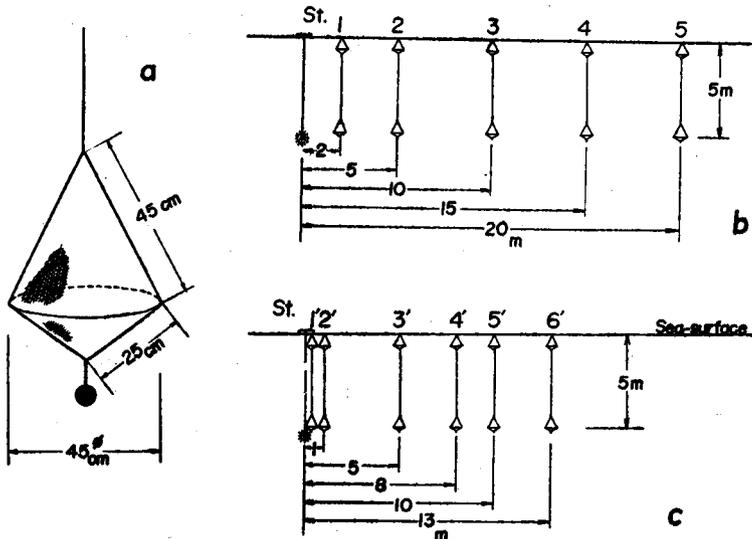


Fig. 8. Net-basket used

- a : Shape and size of net-basket
- b : Arrangement of net-baskets in the preliminary test explosions (Feb. 27)
- c : Arrangement of net-baskets in the operation (Feb. 29)

4 魚体の被圧状況

物理的な測定と併行して魚類の受ける被圧損傷の程度がどのようになるかを観察するために Fig. 8 a に示すような網かごを準備した。

予備実験ではこの網かごを Fig. 8 b のように爆心から 2, 5, 10, 15, 20m の距離にそれぞれ水面附近と水深 5 m の所に 2 ケずつ吊下した。これらの 5 点をそれぞれ St. 1, 2, 3, 4, 5 と名づける。

本試験においては岸側(大隅半島側)の列の堰堤に最も近い爆心を選び、Fig. 8 c のように距離 0.2, 1, 5, 8, 10, 13m の点(これをそれぞれ St. 1', 2', 3', 4', 5', 6' と名づける)に前と同じく水面附近と 5 m 水深層とにそれぞれ 2 ケずつの網かごを吊した。

爆発後予備実験では 10 min. 後に、本試験では 50 min. 後に網かごを採り上げそれぞれの中の実験魚を観察し、網かご外の魚も捕集して調査の参考にした。魚体の損傷については外観的観察と簡単な解剖肉眼

的観察とを行つたのであるが、網かごに封じた実験観察用の魚は、体長 95~165mm のマアジ (*Trachurus japonicus* TEMMINCK & S. HILGEL) 97 尾と体長 51~70mm のクロホシイシモチ (*Apogon notatus* HOOTUYN) 13 尾と合計 110 尾にのぼる数である。観察結果の詳細を Table 1 and 2 に掲げる。

4.1 予備実験の場合

a) 損傷の状況

大損傷はクロホシイシモチで鰓蓋損傷・内臓露出がそれぞれ 2 例みられた。これらの鰓蓋は殆ど両側ともはずれており、内臓は食道・胃だけを残して他の臓器は認められなかつた。

外傷・皮下損傷では鰓蓋損傷が 7 例で最も多く、次いで体側筋肉損傷・胸鰭・眼球の溢血等がみられた。鰓蓋は後半部が脱落しており、体側筋肉損傷は胸鰭の前方上部が削り落されたようになっていた。(魚体番号 1~5, 19)

内臓器官損傷では脊椎動脈溢血が 32 例で最も多く、次いで体側筋肉溢血 25 例、鰓組織断裂 21 例のほか腎臓損傷・鰓血管充血等が多くみられた。脊椎損傷はマアジでは殆んど鰓後方の上部にあたる第 8 椎骨と第 9 椎骨がはずれていた。肋骨の骨折は主として第 2~第 6 肋骨の鰓の側面にあたる部分にみられた。脊椎動脈溢血は著しいものでは尾椎末端にまで至るもので、周辺の筋肉にはつきりとその溢血が認められ、溢血が尾椎末端にまで至らないものでは間血管棘 Interhaemal spine が脊椎骨と交叉する附近で特に著しくみられた。体腔側筋肉断裂は鰓組織が断裂し、肋骨の折れた魚体にみられやすく、従つて肋骨の折れた部分の筋肉断裂となつて認められることが多い。体腔側筋肉溢血は主に体腔後部の側筋に認められ、間血管棘の受けた衝撃によつて惹き起されるものではないかと思われる。腎臓・胆嚢の損傷は、組織の一部崩壊、或は溢血斑となつてあらわれていたが、これらも鰓組織の断裂と併行してあらわれやすい。なお、肉眼的観察によつて胃・腸・肝臓等にその異常を見出すことはやや困難であつた。

b) 定点による被害程度の相異

[St. 1] の表層、5 m 層でも大損傷という程のものはみられない。5 m 層では外傷は全然みとめられないのに対して表層ではすべてのものが鰓蓋・胸鰭・体側筋肉の損傷をうけている。内臓器官でも表層のすべてのものが肋骨・腎臓・胆嚢・鰓組織断裂・脊椎動脈溢血・体腔側筋肉断裂等の損傷をうけ脊椎損傷も 1 例みられた。5 m 層ですべての魚体にみられる損傷は鰓組織断裂だけで他の損傷は 1~2 例ずつあらわれていた。

[St. 2] は St. 1 に比べ被害はやや小さくなつている。ここでも表層の方が被害は大きく、マアジの損傷としては鰓組織断裂が多く、肋骨の骨折・腎臓・鰓の血管充血・脊椎動脈溢血等が 1~3 例ずつ認められた。5 m 層では鰓組織断裂は 1 例だけであるが脊椎動脈・体腔側筋肉溢血などがやや増えているほか腎臓損傷・鰓血管充血がみられた。クロホシイシモチでは表層で鰓蓋・内臓露出等の大損傷のほかに外傷もみられ、すべての魚体に脊椎・肋骨の骨折・腎臓損傷・鰓組織断裂等がみられてマアジより大きな被害を受けている。5 m 層では鰓断裂と血管充血 1 例ずつで表層に比べて被害は小さくなつている。

[St. 3] になれば外傷は表層のクロホシイシモチ 1 例だけ(魚体番号 32)で他は外部的に何ら異常を認めない。マアジでは腎臓損傷・鰓血管充血・動脈溢血・体腔側筋肉断裂溢血等がみられ、動脈溢血と体腔側筋肉損傷は 5 m 層の方が大きくあらわれている。クロホシイシモチでは表層で鰓蓋損傷、5 m 層で肋骨の骨折・鰓組織断裂等がみられた。

[St. 4] では外部的に全然異常を認めず、表層のすべてのものに動脈溢血がみられたほかは、鰓血管充血・体腔側筋肉溢血が 1 例ずつあつた。5 m 層で鰓組織断裂 1 例、動脈溢血その他が 1~2 例ずつみられた。

[St. 5] も外部異常認めず。表層、5 m 層ともに同じ程度の被害がみられ、鰓血管充血・動脈溢血・体腔側筋肉溢血が 2~4 例ずつであつた。

魚体番号別に生死の判定をすることができなかつたが、爆発後、完全に斃死していたものは St. 1 では全部、St. 2 では表層で3尾、5m層で2尾、St. 3 では表層で4尾、5m層で0尾、St. 4 では表層で0尾、5m層で1尾、St. 5 は上下層とも0尾で、他はやや苦悶している程度であつた。

4.2 本試験の場合

a) 損傷の状況 予備実験とほぼ同様であつた。

b) 定点による被害程度の相異

予備実験の場合と同じく表層の方が5m層より被害の大きいことが多かつた。

〔St. 1' 2'〕の表層においては外傷がみられるが、5m層とSt. 3' 以遠の定点では外部損傷は全然認められない。大損傷としては St. 1' の表層でクロホシイシモチに1例だけあつた。また、〔St. 1' 2'〕ではすべての魚体に鰓組織断裂、腎臓損傷がみられたほか脊椎・肋骨骨折・胆嚢損傷・動脈溢血・体筋肉溢血等が多くみられた。〔St. 4'〕までは鰓組織の断裂もみられたが、〔St. 1' 2'〕に比べると著しく少なくなつて鰓血管充血・脊椎動脈溢血等の損傷が増加している。

本試験の魚は爆発後、約50分にとりあげたが全部斃死していた。

なお本試験終了後・苦悶して池の表層を泳いでいたボラ・アイゴ・クロサギを採捕して解剖した結果、外傷は全然認めず鰓断裂・腎臓胆嚢損傷・動脈溢血が認められた。

以上の観察結果を要約すると

i) 爆心から10~15m位の距離にある定点では表層の方が爆心からの実際距離は長いにも拘らず被害の大きい場合が多い。

ii) アマアジでは極く近距離でも405gr位の爆薬量では大損傷は認められず、小型のクロホシイシモチで僅か内臓露出と鰓蓋損傷が認められた。

iii) 外傷は極く近距離のもので、しかも表層に位置していたものだけにあらわれ、他は外部的に全然異常を認め得ない。外傷の種類としては鰓蓋、胸鱗、体側筋肉損傷がみられた。

iv) 鰓断裂の魚体では肋骨の骨折、動脈溢血、体筋肉断裂、腎臓・胆嚢などの損傷が平行して認められやすく、鰓断裂は爆心からの距離15m位までにみられることもあるが、就中7m位までのものに多い。

v) 鰓断裂のみられない魚体では血管充血と体腔側筋肉溢血がみられやすい。

vi) 脊椎動脈溢血は最も多くあらわれる損傷で、20mのところにおいてあつた魚体にも認められた。

IV 結 言

広い海洋に比べると奥行250m幅100m水深20mといった蓄養池はまことに狭いものであろうが、この中に約50点総計火薬量23kgの爆点を設けこれを一挙に破裂させるという計画は、危険防止の面からも効果確保の面からも甚だ実施困難な点が多く、関係者に肉体的なかつ精神的な負担を大きく課したものであつた。

本試験で一斉点火ならず2回に分離した多点爆発を行わざるを得ない結果にはなつたけれども、まず予備実験ではほぼ所期の成果を得て本試験に入り大きな誤りや致命的な事故も生ぜず大体の目的を達し得たとみてよいであろう。これは計画立案施行の主腦者各位や当日協力して下さつた100名に近い人々の努力のおかげであると筆者等は心からありがたく思つている。本報告での資料の整理方法や成果検討の仕方には粗硬な点や至らない面が多々見出されるであろうが、それらについては今後の諸賢の御叱正にまつこととして、わが国にはこの種の研究³⁾⁴⁾⁵⁾や試験報告が非常に少ないので敢えてここに発表するものである。

この全作業を通じ立案計画から実施まで御指導御協力下さつた鹿児島県当局特に同県水産試験場の西田場長・別府調査部長をはじめ又木技師その他の各位並びに鹿児島湾沿岸漁業振興協会中村理事・地元関係者・火薬取扱責任者河野氏、更に録音や測圧に終始協力して頂いた鹿児島大学水産工学教室中山・有田両氏、撮影や、爆発監視に尽力して下さつた同大学奈良迫・江波両助教授・練習船しろやま丸高橋船長以下乗組員各

位，水中録音に心から御協を頂いたNHK関係者，最後に音波形撮影に努力して下さった北大水産学部佐藤助教授・同漁具物理学教室の加藤教室員，以上の皆さんに対して本論を結ぶに当たり深甚の謝意を表する次第である。

文 献

- 1) Hubbs, C.L. & Rehnitz, A.B. (1952). On Experiments Designed to Determine Effects of Underwater Explosions on Fish Life. *Calif. Fish and Game*. 33 (1), 333-365.
- 2) Aplin, J.A. (1947). The Effect of Explosives on Marine Life. *Ibid.* 33 (1), 23-27.
- 3) 末広恭雄^他 (1957). 魚群に及ぼす砲声の影響に関する研究. 農林水産応用研究費による協同研究報告.
- 4) Suyehiro, Y. *et al* (1957). Movement of the Fish in Response to Sound Stimuli with Reference to Sound-intensity. *Jap. Jour. Ichthyol.* 6 (4/5/6), 136-140.
- 5) 大浦政芳 (1959). 水中における大発破施工法の一考察について. 運輸省第4港湾建設局(工業火薬協会).

EXPLANATION OF PLATES

PLATE I

Scenes of the explosions of dynamite charges in Ushine cove

A: Outside of dike at the cove

B: Near the dike (left-hand outside)

C: Inner-side of the cove

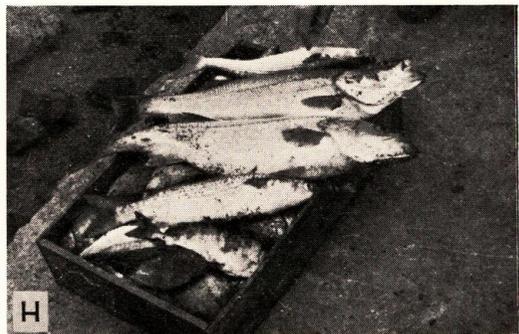
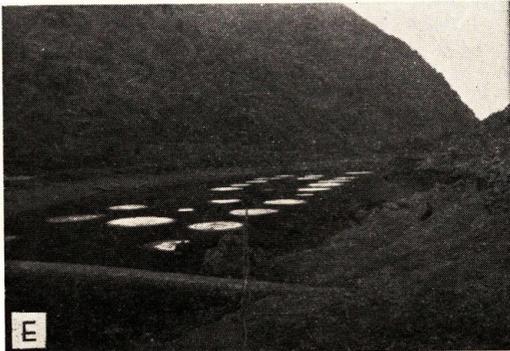
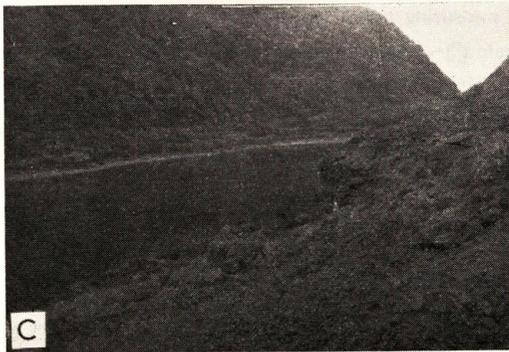
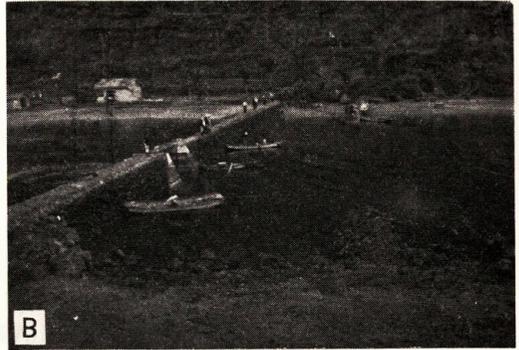
D: Blasts of first 27 charges in the operation Feb. 29 (early camera-shuttered)

E: Gas boils produced by 27 charges

F: Blasts of second 13 charges on same day

G: Gas boils produced by the second explosions

H: Free fishes killed (one box of 7 ones)



T.KUROKI & K.KUMANDA : Effects of Underwater Explosions

PLATE II

Burning test of powder-train and pressure measuring instrument

A: Gas bubbles blown up from burning train (3~5 mm bubbles from burned end, 1 mm or less dia. ones from skin of burned part of train)

B: Yellow and powder-smelling gas bubbles at the water surface

C: Pressure receiving instrument and lead pieces dented by various pressures

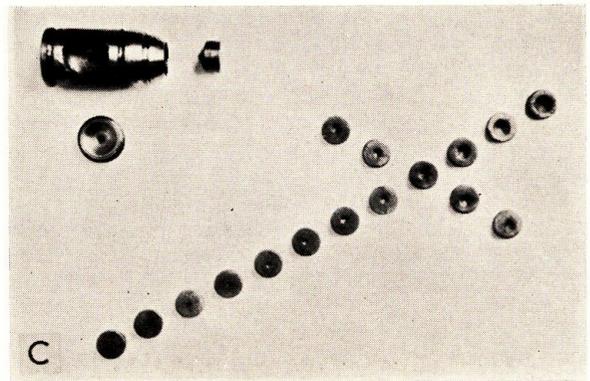
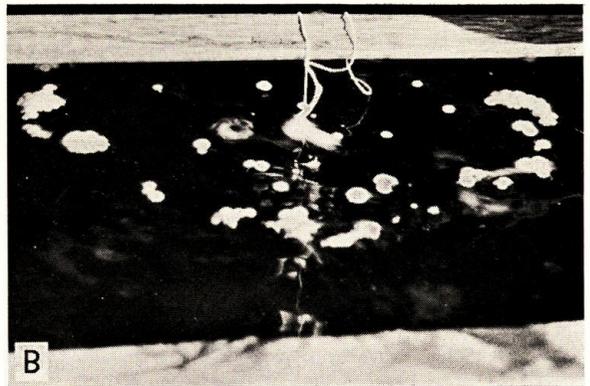
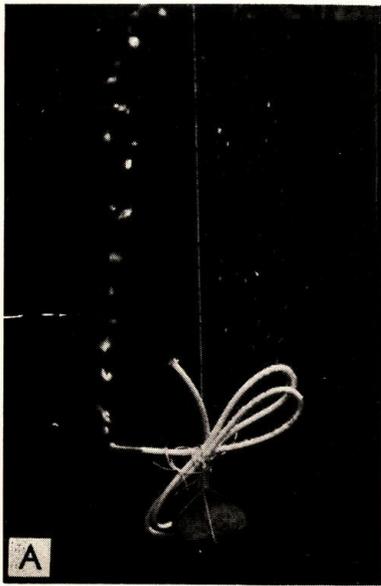
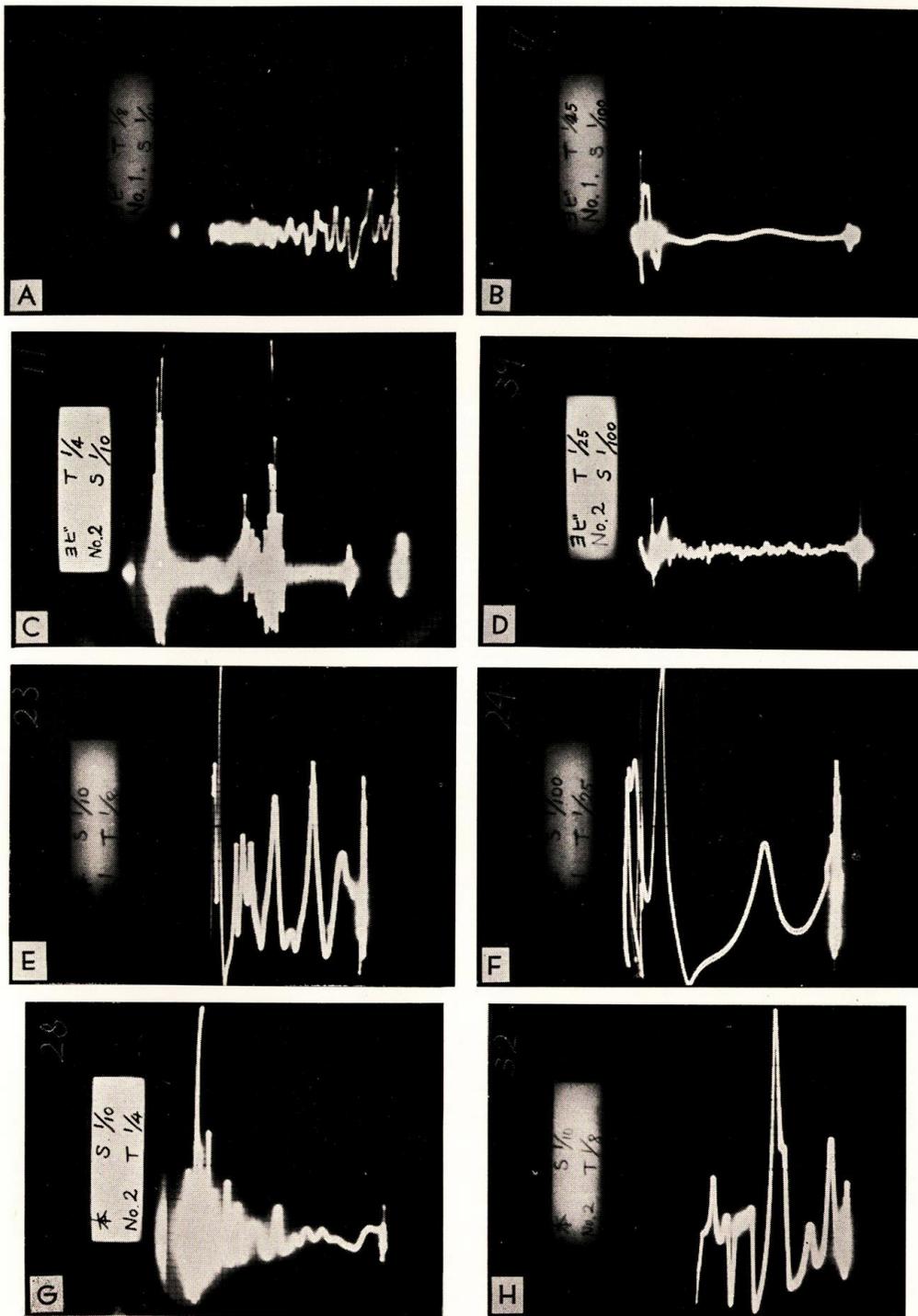


PLATE III

Oscillograms of underwater sound waves

- A: Sound wave by first explosion in the preliminary tests (sweep $1/10$ sec, exposure $1/8$ sec)
- B: Ditto (sweep $1/100$ sec, exposure $1/25$ sec)
- C: Sound wave by second explosion in the preliminary tests (sweep $1/10$ sec, exposure $1/4$ sec)
- D: Ditto (sweep $1/100$ sec, exposure $1/25$ sec)
- E: Sound wave by explosions of 27 charges (sweep $1/10$ sec, exposure $1/8$ sec)
- F: Ditto (sweep $1/100$ sec, exposure $1/25$ sec)
- G: Sound wave by explosions of 13 charges (sweep $1/10$ sec, exposure $1/4$ sec)
- H: Ditto (sweep $1/10$ sec, exposure $1/8$ sec)



T.KUROKI & K.KUMANDA : Effects of Underwater Explosions