

# 密閉容器内の水中爆発

田中一三\*・大久保正八郎\*・疋田 強\*\*

## 1. まえがき

水中爆発の研究は、わが国でも第二次大戦前は、さかに行なわれていたが、戦後はほとんど行なわれなくなった。これは直接軍事研究につながるおそれがあるとのイメージによるのであろうが、そのためこの分野での研究は、あらゆる面において、諸外国に比しての立ち遅れが大きい。このことが痛感されるのは、最近爆発成形において、水中爆発が利用されるようになってからである。爆発成形そのものは、現象的にもよく研究され、多くの報告が出ているが、その原因になる水中衝撃波および水の挙動については、基礎的研究にとぼしい。

筆者らは最近、密閉容器内での水中爆発の実験を行ない、若干の結果を得たのでここに報告する。結果にはまだ不満足なところもあるが、それは今後の追試にまちたい。

この実験の主な対象は、容器内の各部位における圧力変化の測定である。水を満たした容器の壁、蓋などに、ピエゾ圧力計を取り付け、容器の中央で、ペントライト 10~50 g を爆発させた。容器の壁には水中衝撃波が、蓋には水柱の上昇による衝撃が、それぞれ圧力波形を描き出す。得られた結果、および他の実験値との比較は、本文中に述べる。

## 2. 実験装置

### 2.1 容器

実験に用いた容器は、Fig.1 のようなもので、内径 40 cm、深さ 80 cm の円筒形丸底水槽に、頑丈な蓋がボルト締めされている。水槽部分の材質は SS で、厚さは特に断わらぬ限り、5 mm のものを使用した。爆薬は図に示すように容器の中央に吊し、容器内の水面上には、2.5~10 cm のエアギャップを残した。

蓋の中央には、爆薬挿入孔があり、この部分はボルト締めのプラグで密閉される。このほか蓋には Fig.1 の左側に示すような貫通孔があり、これは密閉する場合と、爆圧で自由に抜ける摺動栓(重量約 2 kg、断面

積 6.5 cm<sup>2</sup>) をはめこむ場合とがあつた。

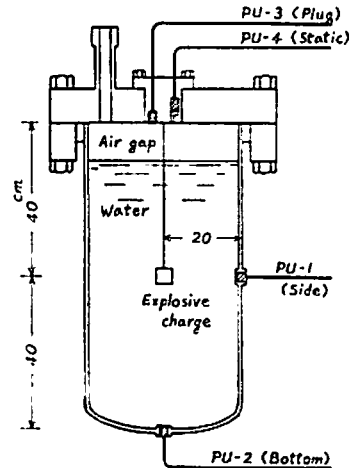


Fig. 1 Vessel showing positions of pressure gauges.

### 2.2 爆薬

爆薬はペントライト (TNT/PETN=50/50) を溶融成形したもので、比重 1.6 である。形状は各薬量とも直径と高さを等しくつた円筒形で、片面に深さ 1 cm の雷管挿入孔が設けられた。爆薬量は 10, 25 および 50 g の 3 種類で、6 号電気雷管により起爆した。

### 2.3 測圧ピックアップ

測定はすべて、Kistler 社製ピックアップ 607 A によつた。このものは水晶を素子とする圧電形ピックアップで、測定圧力は最高 70,000 psi (5,000 kg/cm<sup>2</sup>)、分解能 0.5 psi、感度は 0.15 pcomb/psi である。

ピックアップ本体は、直径 1 cm 弱、長さ 3 cm の小形なものなので、容器に取り付けるときは、これを直径 2.4 cm のアダプターにはめ込んだ (Fig.2)。そして測定箇所には、つねにアダプターごとに取り付けるようにした。ピックアップ本体の固有振動数は 240 kc であり、アダプターを含めたものは 100 kc 前後と思われる。

アダプターの片面の中央には、ピックアップの受圧面が露出しており、裏側には、信号ケーブルを接続す

昭和44年6月27日受理

\* 東京工業試験所第7部 神奈川県平塚市新宿85

\*\* 東京大学工学部燃料工学科 東京都文京区本郷 7-3-1

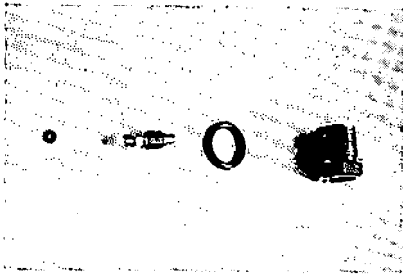


Fig. 2 Pressure gauge and its adapter.

るコネクタが出ています。ピックアップとアダプター、およびアダプターと容器本体とは、いずれもネジ止めとし、ネジ部分からの漏水防止には、パッキン、Oリングに、グリースまたはシールテープを並用しました。

#### 2. 4 測定点

Fig. 1 に斜線で示したのは、前述のアダプターの取り付け位置で、測定箇所はつぎの4点である。水槽の部分は肉厚がうすいので、取り付け位置の周辺を、アダプターの厚さ(3 cm)に補強してある。

##### 1. 側壁

Fig. 1 に、PU-1 で示した水槽の側壁で、高さは容器のちょうど半分、爆薬の正面にあたる。

##### 2. 底

図には PU-2 で示し、水槽の底の中央である。側壁と底の位置は、直接に水中衝撃波を受ける。

##### 3. プラグ

図に PU-3 で示したプラグの底面の位置で、ここは水面上部のエアギャップに面しているの、直接に水中衝撃波を受けることはない。主として爆発による上昇水面の衝撃圧を受ける。

##### 4. 静圧

水面上部のエアギャップ内の圧力変化を測る目的で、図の PU-4 のように、水の衝撃を避けたプラグ内部の空洞に面してアダプターを設けた。この空洞とエアギャップは、径 2 mm の細い孔でつながっている。

#### 2. 5 測定系

圧力測定の実験回路と記録方式は、Fig. 3 のようであつた。

ピックアップには、測定点の圧力値に比例した電荷量が現われ、ピエゾ増幅器によつてこれを電圧に変換する。この信号は同軸ケーブルを通過して測定室の多チャンネル増幅器に導かれ、適当に増幅されてデータレコーダーに記録される。データレコーダーには、上記4個所の測定信号が、同様な回路を通過して、別々のチャンネルに記録される。同時に、発火電流の通電時刻

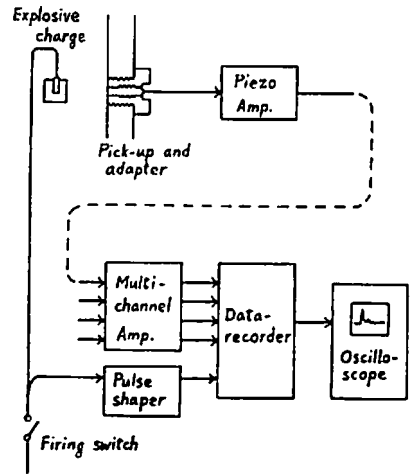


Fig. 3 Schematic diagram for pressure measurement.

を、パルスとして別チャンネルに記録しておく。後者は、記録信号を再生するとき、時間軸の原点として、オシロスコープのトリガーパルスに使用される。

つぎに個々の測定器の特性を簡単に説明しておく。

##### 1. ピエゾ増幅器

これは入力インピーダンス 100 M $\Omega$ 、出力インピーダンス 75  $\Omega$  の、いわばインピーダンス変換器であつて、電圧利得 0dB、周波数帯域 5 Hz~200 kHz ( $\pm 0.5$  dB) である。入力側には、0.05  $\mu$  または 0.005  $\mu$ F のコンデンサーを挿入して、電荷量を電圧に変換しており、その時定数は 5 sec または 0.5 sec である。

##### 2. 多チャンネル増幅器

電圧利得を 0 dB から +40 dB まで切り換えられる交流増幅器で、周波数帯域は 5 Hz~1 MHz ( $\pm 0.5$  dB, 40 dB のときは  $\pm 1$  dB) である。同一特性のものを、測定点の数だけ揃えた。入力インピーダンスは 1 M $\Omega$ 、出力インピーダンス 600  $\Omega$  である。

##### 3. データレコーダー

Ampex 社製 FR-1300 型で、記録方式には FM と AM があり、この実験では FM 方式を用いた。このときの周波数帯域は DC~20 kHz で、記録時の入力インピーダンス 20 k $\Omega$ 、再生時の出力インピーダンス 600  $\Omega$  である。

AM 方式による周波数帯域は 300 Hz~300 kHz で、この実験のように比較的長い継続時間を含む現象には、AM 記録は明らかに不十分であると思われた。しかし実際には、FM 方式のみでも不満足な場合があり、これについては後に考察の項で述べる。

### 3. 実験結果

#### 3.1 概 要

実験によって得られた各測定点の圧力波形は、例えば Fig. 4 のようなものである。

図の上は、薬量 50 g, エアギャップ 5 cm のときのもので、上から順に、側壁、底、プラグの波形を示す。下は、薬量 25 g, エアギャップ 2.5 cm のときのもので、上から順に、側壁、プラグ、静圧の圧力波形である。

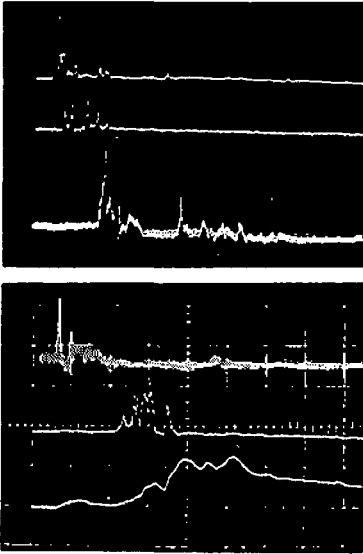


Fig. 4 Typical records obtained (time scale 0.5 ms/div)

Upper : charge weight 50g, beams show SIDE, BOTTOM and PLUG positions.

Lower : charge weight 25g, showing SIDE, PLUG and STATIC positions,

これらはいずれも、発火通電時刻を時間軸の始点にとり、0.5 msec/div で撚引させたものである。(真の爆発時刻は、雷管の発火遅れを考慮しなければならぬ) 縦軸のスケールは、測定点ごとに異なる。

これから、現象全体の時間関係が、ほぼ明らかになる。側壁、底のような、水を入れた容器の壁では、主な信号は、水中衝撃波とそれに伴う波である。プラグには、上昇水面の衝撃圧が現われるが、その時刻は、爆発後 1~2.5 msec で、薬量およびエアギャップによって変わる。静圧の変化は最もなだらかで、10 msec 以上継続する。時には第 2 波の現われることがあり、蓋を完全に密閉した条件では、週期的な脈動の見られることもあつた。

つぎに個々の測定点についての結果を述べる。

#### 3.2 側壁および底

側壁および底に現われる圧力は、最初の部分に特徴的な波形があり、後方の波は、明らかに反射波と思われるものを除いて、再現性にとぼしかった。

Fig. 5 は、得られた圧力波形の例である。これらは発火信号から適当な遅延時間をとつて、時間軸を 0.1 msec/div に拡大したものである。

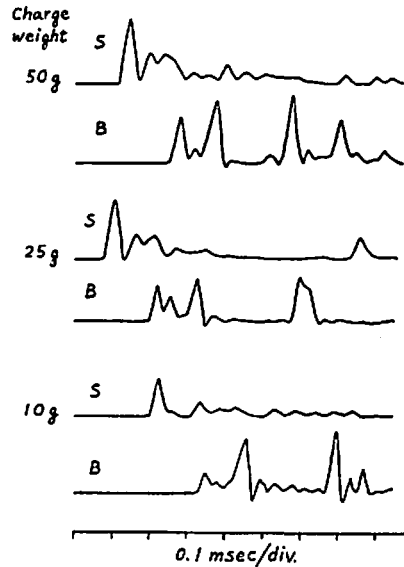


Fig. 5 Pressure waves obtained at side (S) and bottom (B).

側壁の波形は、図に示すように、鋭い衝撃波のあと比較的なだらかな第 2 波がくる。この間の時間間隔は必ずしも一定していないが、容器の壁が厚くなるほど短くなる傾向にある。Fig. 5 の下は、厚さ 5 mm の容器であるが、上の二つは 20 mm のものである。

底の波形は、第 1 波のあと、小さな山をはさんでかなり大きな第 2 波がくる。そして第 2 波のあとで圧力は急激に下がる。

水中衝撃波の伝播速度は、空気中と違つて、圧力値による変化がさほど大きくない。20°C の場合、音速が 1490 m/sec であるのに対し、500, 1,000 および 2,000 kg/cm<sup>2</sup> のときの速度はそれぞれ 1,570, 1,640 および 1,800 m/sec である。事実この実験でも、側壁と底への衝撃波の到達時間差と、測定点の爆薬からの距離の差から、衝撃波の平均伝播速度を求めると、ほぼこの範囲にくる。ただし爆薬の吊し方が密着でなかつたためか、得られた圧力値との相関では、むしろばらつきの方が大きかつた。

このことから底の波形は、第 1 波が爆薬からの直接衝撃波、第 2 波は容器の壁で一度反射した波の到来と

みなされる。後者は、爆薬が正確に中央に吊されていれば、全円周での反射が同時にくるため、距離による減衰を考えても、第1波より強くなる可能性がある。二つの波の時間差は、衝撃波速度を1,600 m/secとしたとき、幾何学的計算により、0.10 msecとなる。Fig. 5の結果はそれに一致している。第2波のあとの急激な圧力低下は、強い衝撃波によるキャビテーションの発生を思わせるが、それについての実験的な確証はない。

Fig. 6は、側壁および底に得られた水中衝撃波（第1波）のピーク値を、薬量との関係において、両対数グラフにプロットしたものである。図に実線で示したのは、R. H. Coleの著書<sup>1)</sup>にある実験式を、この実験の尺度に合わせて計算した結果で、爆薬の種類は同じペントライトである。実験値のプロットは、すべて厚さ5 mmの容器の結果である。

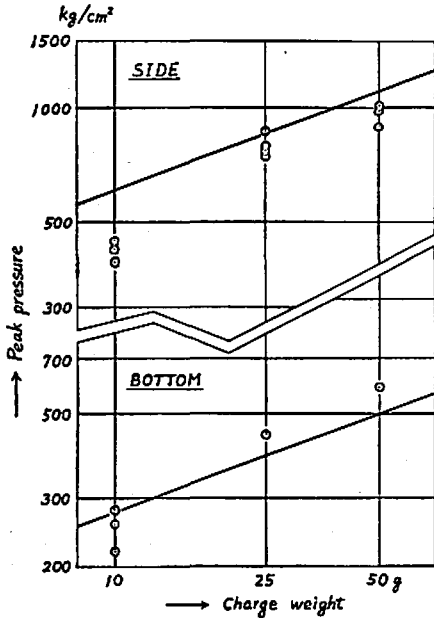


Fig. 6 Logarithmic diagram, first peak pressure vs. charge weight for underwater shock wave.

衝撃波の時間幅は、第1波について、薬量にかかわりなくほとんど0.06 msecであつた。前出のColeはこれについても実験式を与え、波形を指数減衰曲線とみなしたとき、その減衰時定数（ピーク値の37%まで低下する時間）が、この条件では0.02~0.04 msecとなつている。

### 3.3 プラグ

プラグに現われた波形は、現象の性質上、かなり不

規則なものであつた。時間的には1~数 msecの間に尖つたいくつかのパルスが現われる。そのピーク値を薬量との関係において両対数グラフにプロットすると、Fig. 7のようになる。実験値が少ないのは、最初のうち現象の予測ができず、測定レンジの設定を誤つたためである。

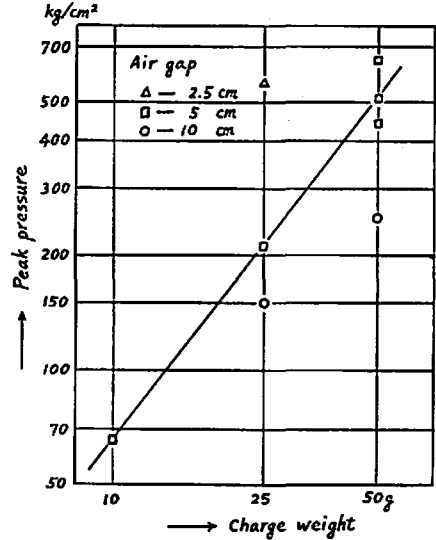


Fig. 7 Logarithmic diagram, peak pressure on plug vs. charge weight.

この測定点では、水中衝撃値の場合と異なり、エアギャップの長さが利いてくる。図ではエアギャップ5 cmのデータについて、実験値を結ぶ直線を引いてみた。

プラグにおける測定信号が、容器内の水の衝撃によるものとすれば、信号の到達時間から、水面の上昇速度が求められる。Fig. 8は、横軸にエアギャップの長さを取り、縦軸にプラグ信号の到達時刻をとつて、実験値をプロットしたものである。ここで時間軸の原点は、便宜上、水中衝撃波が側壁に到達した時刻にとつてある。このとき真の爆発時刻は、この目盛で-0.12 msecあたりにくる。

図で各薬量について、水の上昇速度が一定であるとの大まかな仮定から、実験値を直線で結んで、水面の動きはじめた時刻を外押してみると、この目盛で約0.5 msecとなる。水中衝撃波が水面に到達する時刻は、0.1 msecでいどであるから、このことはプラグに衝撃を与える水が、衝撃波に伴う物質速度で飛び出したものではないことを意味する。これの裏付けはつぎの項でなされる。

水面上昇の時間原点がわかると、上昇速度が求めら

れる。Fig. 8 から、薬量 10, 25 および 50 g のときの水面上昇速度は、それぞれ 25, 36 および 45 m/sec となる。

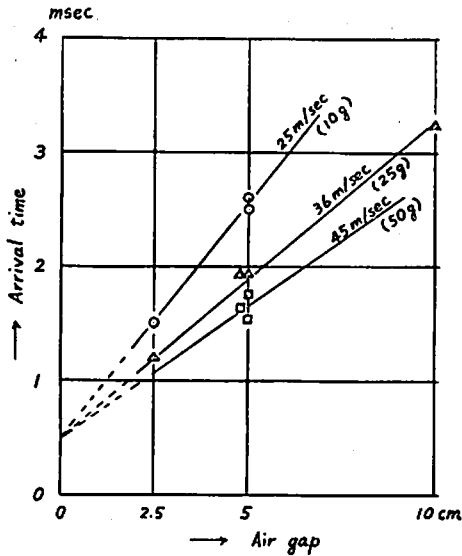


Fig. 8 Distance vs. time relation for elevation of water spray.

### 3. 4 静 圧

エアギャップ内の圧力変化を示す静圧の測定結果は、例えば Fig. 9 のようになった。図の時間軸の始点は、最初の小さな山の立ち上がりにとつてあるが、この時刻はほぼ衝撃波が水面に到達したときにあたる。この信号はおそらく直接の衝撃波によるものであつて、後に考察の項であらためて取り上げる。これとは別に、エアギャップ内の圧力上昇ははじまるのは、この時間軸で見て、約 0.5 msec 付近であることがわかる。静圧の増加は水面上昇によるものと考えれば、この結果は、さきの Fig. 8 で、水面上昇が側壁への波の到達から 0.5 msec 後にはじまるとみなしたのに一致する。

静圧の変化は、もちろんプラグの位置でも測定できるはずであるが、測定レンジが大幅に違う。

静圧の測定結果から得られるピーク圧の位置は、若干の遅れを考慮すれば、プラグに現われたピークの位置に見合っている。しかし静圧に第 2 波の現われる場合プラグには相当信号が現われない。これは静圧における後の信号が、比較的小さな水面上昇によることを意味している。

Fig. 1 に見られる容器の蓋にけられた孔は、実験時には完全に密閉されるか、または摺動栓でふさがれた。完全密閉のとき、エアギャップ内の静圧は、Fig. 9

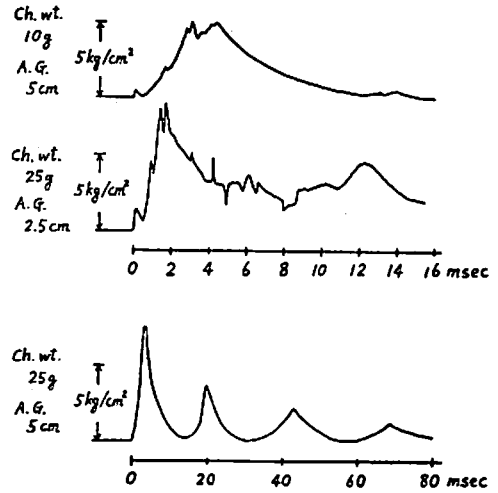


Fig. 9 Typical pressure changes in air gap.

の下のよう、脈動を示すことがあつた。摺動栓を取り付けた場合は、これが初速 4~6 m/sec で飛び出し静圧の変化は約 20 msec で終わってしまう。

静圧のピーク値は、エアギャップ 5 cm のとき、薬量 10 g で 5 kg/cm<sup>2</sup>、25 g および 50 g では、それぞれ約 8 および 50 kg/cm<sup>2</sup> であつた。この値は栓を密閉したときのもので、摺動栓のあるときは、25 g および 50 g でも、ピーク値は約 8 kg/cm<sup>2</sup> であつた。

## 4. 考 察

### 4. 1 水中衝撃波

Fig. 6 で、水中衝撃波のピーク圧を比較している R. H. Cole の実験式は、自由水中のものである。自由水中と、器壁における測定とは、特に本実験のように壁に衝突した流体の逃げ場のないときには、明らかに違った値を示すはずである。境界面での圧力は、媒体間のインピーダンスの比によつてきまる。

水から容器の鉄に入るとき衝撃波は、媒体のインピーダンスの比が約 28 倍であるから、ふつうの音響学的計算によれば、反射係数は 0.93、従つて境界面での圧力は、入射圧の 1.93 倍となる。このことを考慮したとき、Fig. 6 にプロットされた結果は、やや小さ過ぎるようにみえる。

この原因の一つは、器壁の厚さの影響があるように思われる。測定回数が少ないので本報告には含めなかつたが、厚さ 20 mm の容器の測定結果では、ピーク値が本実験の 50% ほど大きく出ている。このことは衝撃波による器壁の後退の影響とも思われる。すなわち前述の境界圧の計算は、鉄の厚さを無限にとつたものであるが、実際にはすぐ近くに自由面があり、鉄の中の粒子速度は、理想的計算値の倍になるからであ

る。このとき器壁の運動は、その厚さのほかに、容器全体の構造から動きやすさが定まるので、容器が薄くなるほど、境界圧は計算値より低くなるであろう。

なお厚さ 5 mm の容器の変形は、爆発ごとに明らかに塑性変形が見られ、10 回の実験の後の累積歪は、中央胴部で、直径の増加分が約 15% に達した。

測定値が理論値より小さくなったもう一つの原因は、測定系の高周波特性が、現象に追従し得なかつたことである。これらの影響するのは、衝撃波の立ち上がり部分だけであるが、2.5 節で述べたように、データレコーダーの FM 記録の特性が、20kHz までしかなかった点に問題がある。これを検討するため、後に雷管の爆発を測定して、FM、AM の両方式で記録してみた結果は、Fig. 10 に示すようになった。衝撃波の微細な波形は、明らかに FM では不十分であり、ピークの高さなども、小さいことがわかる。しかし AM では遅い現象の記録ができず、この図でも波形の後部がマイナスになるのは、低周波特性の不足による。結局本実験のような場合、衝撃波の波形を忠実に捕えるには、FM、AM の同時記録が必要であつた。

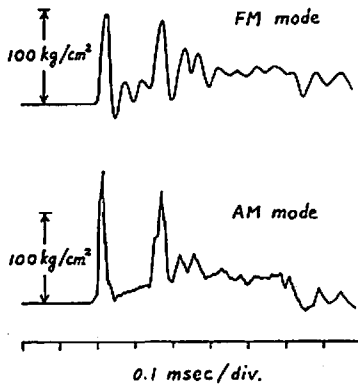


Fig. 10 Variation of wave form depending on recording characteristics, two records above were obtained by same shot of detonator.

水中衝撃波の立ち上がり時間は、AM 方式で記録したときにはかなり急峻である。Fig. 10 では、約 10  $\mu\text{sec}$  と算定される。信号には、周波数 100 kc 強の微小振動が重疊しているのがみえるが、これはピックアップをとりつけたアダプターの固有振動と思われる。

衝撃波の時間幅を、3.2 節で 60  $\mu\text{sec}$  としたのも、同様な意味で誤りをおかしている可能性がある。雷管についての Fig. 10 では、FM 記録は 50  $\mu\text{sec}$ 、AM 記録は 40  $\mu\text{sec}$  となつており、オーダーとしては違わない。しかし本実験では、Fig. 5 の第 1 波について

薬量による時間幅の変化が見られないのは、記録忠実度の不足によるものであろう。

高周波特性の不足によるピーク値の低下は、尖つたパルスほどいちじるしい。爆薬の量が少ないほど、波の時間幅は小さくなることを思えば、Fig. 6 のプロットが、小薬量のものほど小さく出る傾向にあるのは、この原因によるのかもしれない。

この実験と同じような密閉容器内の水中衝撃波については、Rees<sup>9)</sup>の実験がある。彼は直径 2 ft の鉄製容器で、薬量 2 オンスの composition B を爆発させ、容器各部位での圧力波形を測っている。その結果、水中衝撃波の波形は、筆者らの得たものとほとんど同じで、第 1 波のピーク圧については、器壁で 10,000~20,000 psi のオーダーを得ており、これは Cole の結果の 1~2 倍である。測定値には、筆者らのものと同じでいどのばらつきがある。

McGrath<sup>10)</sup>は、水中で線爆発を起こし、そのとき生ずる衝撃波のピーク圧を測っている。その結果は、電気エネルギーを爆薬の化学エネルギーに換算して、Cole の用いた実験値と同じグラフにプロットされているが、ここでも測定値は、Cole のものの 1.5 倍でいどに出ている。

#### 4.2 水の挙動

爆薬からの衝撃波が水面に達したとき、表面近くの水の粒子は高速で飛び出すはずであるが、この水はプラグへの衝撃圧を与えない。これは自由面における反射波の場合、水の粒子は微細な飛沫となつてしまうからである。水中爆発を高速写真に撮ると、この現象に相当して、水柱の上がる前に、水面近くにもややした水煙の見えることがある。

しかし水面の上昇はなくても、空気中へ透過する衝撃波は存在する。この衝撃波は、水と空気の境界で、大部分水中に反射して、空気中にはわずかし出ない。Fig. 9 で、静圧の波形のはじめに出るのは、これによると思われる。そして静圧位置の測定では、エアギャップから細い孔を通るため、衝撃波はさらに減衰しているはずである。プラグにおける測定波形から、感度を十分大きくとると、この信号の見られるものがあるが、それによれば薬量 25 g、エアギャップ 2.5 cm のときで、ピーク圧約 10 kg/cm<sup>2</sup> であつた。

Fig. 8 の解析で、水面の上昇を等速と仮定したが、その場合、エアギャップ内の残された空間の圧力は双曲線的に増加するであろう。これは Fig. 9 の圧力波形が、上に凹の形をしていることと符合する。

Fig. 7 に得られたプラグの衝撃圧は異常に高くみえるが、Drevon<sup>11)</sup>が直径 25 cm の容器内で、やはり 5 cm のエアギャップを設けて実験した結果は、爆薬

(RDX) 量 15, 30 および 60 g に応じて、ピーク圧はそれぞれ 4,050, 6,780 および 12,930 psi となっている。彼らの実験値が筆者らのものより大きいのは、容器の直径が小さいためと思われる。

同様な傾向はさきの Rees<sup>2)</sup> の報告にもあり、彼は衝撃圧の到達時間から水の上昇速度を求め、約 60 m/sec との結果を得ている。そしてプラグへの衝撃圧を

$$p = \rho cu$$

( $\rho$  は水の密度、 $c$  は水中の音速、 $u$  は水の流速) の関係から求めた値と比較して、これより大きいことを述べている。さきの Drevon らの結果は、上式とよく一致すると述べている。

筆者らの結果は、Fig. 8 の流速を用いて上式から計算した値とくらべると、薬量 50 g のときにほぼ一致し、薬量の小さいところでは、これよりもかなり小さい。上の関係は、定常な圧力波の内部に適用されるものであるから、水の衝撃がよほど強くないと、この種の現象にはあてはまらないと思われる。

エアギャップ内の静圧の変化は、第1波で終わるものと、第2波の存在するもの、および減衰しながら脈動するものがあつた。第1波については、プラグのところで考察したのと同じく、水柱の上昇が原因になっている。第2波は、第1波のち 10 msec 前後に小さな山を持つものが多い。これは時間的には、爆発ガス球が水面まで到達したところである。前出の Cole が引用している Arons ら<sup>3)</sup> の実験によれば、25 g のテトリルを水深 15 m で爆発させたとき、ガス球の半径は爆発後 10 msec で約 35 cm までひろがっている。この実験では水深が浅いことを思えば、ガス球が水面に達するのは 10 msec 以下である。そしてそれ以前にガス球は器壁の側面にも達し、複雑な挙動を示すであろう。なお薬量 25 g から発生したガスが、半径 20 cm まで断熱膨張する過程を考えると、ガス圧力ははじめの約 4 万の 1 に低下することになるから、たかだか数気圧しか残らない。

しかしこのときもし水面が破れなければ、圧縮されたエアギャップが逆に水面を押しかえし、このくりかえしが圧力の脈動変化を生む可能性がある。このようなモデルについては、Sorenson ら<sup>4)</sup> がさらに大型の容器について、計算例を挙げている。Fig. 9 の下に示した脈動は、このような機構によるものかもしれない。深い水中で起こるガス球と静水圧とのバランスによる脈動は、さきの Aron らの実験例で、薬量 25 g、水深 15 m のとき、周期は 75 msec である。

容器が完全に密閉されていれば、静圧の測定値は、最終的には爆発ガスの発生した分だけ、プラスの圧力が残らなければならない。この測定系は、直流までは含まないので、残留静圧の測定はできないが、実際に爆発のあと、プラグをはずすときにも、容器内に圧力の残っている気配はなかつた。したがって容器の密閉度は、かならずしも完全ではなかつたようである。

## 5. ま と め

内径 40 cm、深さ 80 cm、厚さ 5 mm の鉄製容器に丈夫な蓋を取付けられるようにし、容器には上部に数 cm のエアギャップを残して水を満たした。この中央で 10~50 g のペントライトを爆発させたとき、容器の側壁、底および蓋にかかる圧力を、ピエゾ圧力計により測定した。

側壁および底に現われる水中衝撃波は、これを R. H. Cole の自由水中における実験式と比較し、ピーク値についてはよい一致を見た。しかしこの実験の条件は、反対波の影響があるため、自由水中の値より大きく出るべきである。容器の厚さを 20 mm として試みた結果は、ピーク値が約 50% 増加した。

蓋に取りつけた圧力計では、エアギャップ内の圧力変化 および蓋への衝撃圧を測定した。蓋への衝撃圧は、水面の上昇によるもので、水面の上昇は爆発後 0.6~0.7 msec 後にはじまり、上昇速度は薬量 10~50 g に応じて 25~45 m/sec と算定された。またこれによつて蓋の受ける圧力は、60~500 kg/cm<sup>2</sup> であつた。水の衝撃を受けない位置で測つたエアギャップ内の圧力は、5~50 kg/cm<sup>2</sup> であつた。後者は、時に 20 msec ていどの週期で、脈動現象をみせることがあつた。

この報告の内容は、昭和44年5月13日、工業火薬協会研究発表会で報告したものである。

## 文 献

- 1) R. H. Cole, "Underwater Explosion", Princeton University Press (1948)
- 2) N. J. M. Rees, UKAEA
- 3) J. R. Mc Grath, J. Appl. Phys, 37, 4439 (1966)
- 4) G. A. V. Drevon, M. F. G. Falgayrettes and F. J. Walford, UKAEA
- 5) A. B. Arons, A. Borden, B. Stiller, OSRD 6239 (1946)
- 6) H. C. Sorenson, S. H. Fistedis, AEC Research and Development Report, ANL-7214 (1966)

## Underwater Explosion in Closed Vessel

by K. Tanaka, S. Ohkubo and T. Hikita

Experiments were carried out in a water-filled vessel, made of steel, having 40 cm of diameter, 80 cm deep and 5 mm thick, to which a solid lid was fastened with bolts. An air gap was remained above the water surface. The explosive charges, 10, 25 or 50 g of cast pentolite, were fired in the middle of the vessel. Pressure gauges were installed on several positions inside the vessel and the lid.

Peak pressures observed at the vessel wall were compatible with the values from the experimental formula cited from Cole's text, which was derived from underwater shock waves in, the open space. Considering the present condition that the shock wave should be reflected at the wall, we can estimate that observed values would be larger than that in the open space. In fact, it showed an increase of 50 percent over the open space value, when we used a vessel of 20 mm thick.

The impulsive pressure on the lid and the pressure change in the air gap were measured. The spraying began nearly 0.6 msec after explosion and had the velocity of 25 to 45 m/sec and impulsive pressure of 60 to 500 kg/cm<sup>2</sup> on the gauge, according to the change of the charge weight from 10 to 50 g. In the air gap, the maximum pressures were 5 to 50 kg/cm<sup>2</sup>.

### ニュース

#### 粉末材料を大砲装置で爆発発射し部品に耐 摩耗被覆

大砲のような形をした装置で炭化タングステンのような耐摩耗性材料の粒子を打出し、それで部品に耐摩耗被覆をほどこす「デトネーション・ガン・コーティング・プロセス」がアメリカ・ユニオン・カーバイド社で開発され、現にアメリカで7ヶ所、外国で6ヶ所、この処理を行なう工場が動いている。粉末を打出すには、まず酸素・アセチレンおよび窒素に浮遊させた被覆機粉末を計量して、燃焼室につめる。そして点火栓の火花で点火すると爆発し、高温高速のガス流ができ、それが粉末を秒速 2,500m で破身から打出す。この粒子が前方にある部品の表面に超音速でぶつかり、そこで顕微鏡的な溶接作用が起き、粒子が部品の表面に冶金学および機械学的に結合、この操作を何回かくり返すと、所要の厚

さの被覆ができる。この厚さは普通 0.01 インチ以下。砲身の中の温度は 3,300°C 位の高温になるが部品の温度は 150°C 以下なので部品の冶金学的性質は変わらず、部品は変形や物理的变化を起すことがない。この被覆の結合強度は 8,000~25,000 PSC で粒子は界面によくは入りこみ、ち密で均一に分散するので、被覆の多孔率は炭化タングステンや炭化クロムの場合に、わずかに 1/4~1% である。この被覆を施すことのできるの、鋼、鉤鉄、アルミ、チタン、銅、ニッケルおよび、種々の合金であるが粒子の衝突で変形しないような厚さと堅さを持つていなくてはならない。被覆材は前記の炭化物のほか、アルミナ、アルミナと酸化チタンの混合物、銅ニッケル・インジウム合金、等があげられる。

(日刊工業新聞 昭和44年8月5日)(伊藤功一)