

## 爆薬猛度の実験的研究

## 第XIII報 高速度衝撃下の固体の高次塑性流動波と衝撃波の発生

## (其の2 非金属)

(昭和32年7月20日 受理)

桜井 武 尙

(日本油脂株式会社武豊工場)

## 1. 緒 言

さきに、数種の金属について実験し、衝撃がある限界以上に烈しい爆源近くの領域においては、物質が動的に硬化する衝撃波の性格から解放されて、固体内応力波の様相はむしろ液体的、塑性的性質を帯びることを明かにした<sup>1)</sup>。その様相は、衝撃波にくらべ、波の伝播速度は低く、逆に物質速度は高速となつている。また、このような現象にはかなり明らかな臨界性が存在し、これは物質によつても異なっている。鉄においては、行つた実験圧力(10~20万気圧)でもかかる現象は発生せず、鉛とアルミニウムではこの臨界圧力は10万気圧以下であつた。

本報では、それに引きつづき非金属材料について同様の実験を行つた結果を報告する。

## 2. 実験方法

## 2.1 実験装置及び方法

実験法は第Ⅱ報<sup>2)</sup>と本質的に異つたものではない。すなわち、時間計器としてはブラウン管オシロ(最高掃引速度 1cm/ $\mu$ .sec 単掃引)を使用し、爆薬が試料に与えた衝撃時間の検知は、爆薬と試料の間に置いたイオン探針で、波が試料末端に到達した時間は、微小の間隔( $d=0.025$  mm)をもつコンタクト<sup>3)</sup>の機械的接触による。信号はパルス化されてオシロに送られることは第Ⅱ報<sup>2)</sup>にのべた通りである。

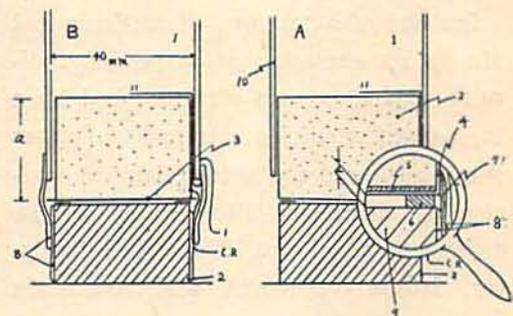
ただ、今度の試料は、それ自身、ほとんど電氣的不良導体であるので、若干の工夫を行つたので次に具体的に説明する。

A法。ガラス、ゴム、合成樹脂(メタアクリル樹脂)、岩石等について行つた方法で、試料の一面を平らに研磨し、厚さ0.025mmの錫箔をはつて共通線に

通ずる。接着剤は試料の引張り強度以上の強さをもつものが望ましく、エポテックを使用した。錫箔と接着剤の厚さは試料と波長にくらべてきわめて薄いのので、急しゆんな波頭の反射の際でも自由面の運動に追隨することは後記の物質速度の測定に関する実験結果からみてもわかる。

この錫箔とコンタクトの鉛柱の間に絶縁紙を介して全体をテープでおいガスタイトにする。この状態を示すと図1Aの如くである。

B法。粘土、液体、粉体等について行つたもので、底面が平滑なブリキ製の容器に試料を納め、ブリキ全体を共通線に連結してコンタクトを形成させ、以下A法に準ずる。この場合、A法に比べ、0.5mmのブリキ層の厚さがあるが、この層を通過するために要する時間は試料内伝播の時間に比べて無視できる。然し、試料自身の物質速度に見合う運動速度は与えることが出来ないから、コンタクト間隔 $d$ を変えて衝撃開始から接触までの時間を求め、自由面速度 $v$ を見出すという物質速度の測定には用いられない。(図1B)



1 爆 薬 5 接 着 剤 9 鉛 柱  
2 試 料 6 電 氣 的 絶 縁 物 10 ボール紙筒  
3 ブリキ容器 7 共 通 線 11 イオン探針  
4 錫 箔 8 テ ー プ

図 1

\* 接触時間おくれは $d/2v$  ( $v$ 波の物質速度)で示される。  
 $v=50$  m/s  $0.95 \times 10^{-6}$  sec

## 2.2 試料等の説明

## 2.2.1 試料

(1) パラフィン 融点 75°C の白色のもの。(2) ゴム ゴム色の赤ゴム。(3) コンクリートモルタル セメント粉末 7分。水 3分。(4) ガラス 厚さ 11.2mm のソーダガラスを 2~3 板、エポラックではり合せた。(5) 石炭 7,820cal 固定炭素 53.27%。(6) 杉 木目平均間隔 4mm の赤色部分、波の進行方向は木目にそり。(7) 粘土 含有水分 26%、粘土細工に手頃な硬さ。

これらの内、パラフィン、大理石、コンクリートモルタル等は第Ⅶ報のものと同品である。

砂、 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{KCl}$  等の粉体は第Ⅷ報に準じて調製した。試料の直径は 38~40mm である。

## 2.2.2 爆薬

爆薬は 42メッシュ通過の TNT 300g を内径 40mm の紙筒に装填し、ボール紙で被ふくする。(d=0.95g/cc) 伝爆薬として RDX を 20g そえ、8号雷管で点爆する。

ただし、合成樹脂のみは 30mm 角柱とし次の写真的研究と関連せしめるため、RDX 180g の 30mm 角のボール紙製四角筒に装填した。(d=1.05g/cc) 矢張り 8号雷管で点爆する。いずれも、薬包端面の折り代は包装後切断して、テープで止める。

## 3. 各種非金属材料の波の伝播速度の測定

## 3.1 測定結果

表1 各種非金属材料の各距離における応力波平均伝播速度の電気的測定

|        |       | a; 距離 mm |       |      |       |       |       | c; 伝播速度 m/s              |       |       |       |         |       |
|--------|-------|----------|-------|------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|---------|-------|
| コンクリート |       | パラフィン    |       | 粘 土  |       | ガ ラ ス |       | ゴ ム                      |       | 大 理 石 |       | 合 成 樹 脂 |       |
| a      | c     | a        | c     | a    | c     | a     | c     | a                        | c     | a     | c     | a       | c     |
| 15.0   | 3,790 | 11.5     | 4,490 | 10.0 | 3,560 | 11.2  | 4,700 | 12.0                     | 3,870 | 12.0  | 5,220 | 10.5    | 5,190 |
| 21.5   | 3,620 | 21.0     | 5,580 | 20.8 | 3,400 | 22.4  | 5,550 | 21.5                     | 4,390 | 26.0  | 6,660 | 21.1    | 2,490 |
| 30.0   | 3,740 | 31.5     | 4,570 | 30.4 | 3,900 | 33.6  | 4,500 | 37.2                     | 3,100 | 38.7  | 5,860 | 31.1    | 3,980 |
| 46.0   | 4,010 | 50.1     | 3,280 | 50.1 | 4,210 |       |       |                          |       |       |       | 51.7    | 3,040 |
| 76.2   | 4,160 |          |       |      |       |       |       |                          |       |       |       |         |       |
| 石 炭    |       | 杉        |       | 水    |       | 砂     |       | $\text{NH}_4\text{NO}_3$ |       | NaCl  |       | KCl     |       |
| c      | a     | c        | a     | c    | a     | c     | a     | c                        | a     | c     | a     | c       | a     |
| 36.0   | 5,060 | 31.5     | 1,500 | 10   | 4,100 | 10.0  | 2,490 | 9.4                      | 2,950 | 30.5  | 2,830 | 30.7    | 3,020 |
|        |       |          |       | 21   | 3,920 | 21.0  | 2,690 | 20.6                     | 3,700 |       |       |         |       |
|        |       |          |       | 30   | 3,410 | 30.0  | 2,460 | 30.8                     | 3,420 |       |       |         |       |
|        |       |          |       | 50   | 3,270 | 61.0  | 2,340 | 50.5                     | 2,750 |       |       |         |       |

以上のようにして行つた結果を表示すると表1の通りである。

表から、固体においては、合成樹脂以外はいずれも爆源近傍に応力波の低速度伝播領域が存在していることがわかる。このありさまは、表1をもとにして画いたcの距離による変化曲線によれば一層明瞭である。(図2) この低速度領域の範囲と形は材料によつて異なるが、パラフィン、ゴム、大理石、ガラス等の、衝撃波への急峻な立ち上りを見せるものと、コンクリート、砂等の比較的なだらかなものとの比較は対照的である。それにたいして、合成樹脂では、10mmにおいてもこのような現象は現れておらず波の様相は正規衝撃波となつている。

このような爆源部の低速度領域(高次塑性流動領域)が衝撃の強さによつて変化することは金属について第Ⅷ報で明らかにしたが、非金属でも同様の現象が見られる。ここで図2において曲線の急激な変化を示したパラフィンと、なだらかな変化をするコンクリートモルタルの二例について、TNT を基剤として薬勢を変化せしめて得た結果は図3のごとくである。コンクリートはタルク10%以上の薬勢の弱い部分に頂点がある様であり、きわめてなだらかな形となつている。パラフィンにおいてはこの頂点、すなわち、左の高次塑性流動波と、右の衝撃波との臨界点は TNT 単味と、タルク10%の中間にあり、形は一層急峻な山形となつている。これからみても、これらの様相は前報の鉛やアルミニウムと規を一にして考えることができる。

これにくらべて、水は爆源から低下の一途を辿つて

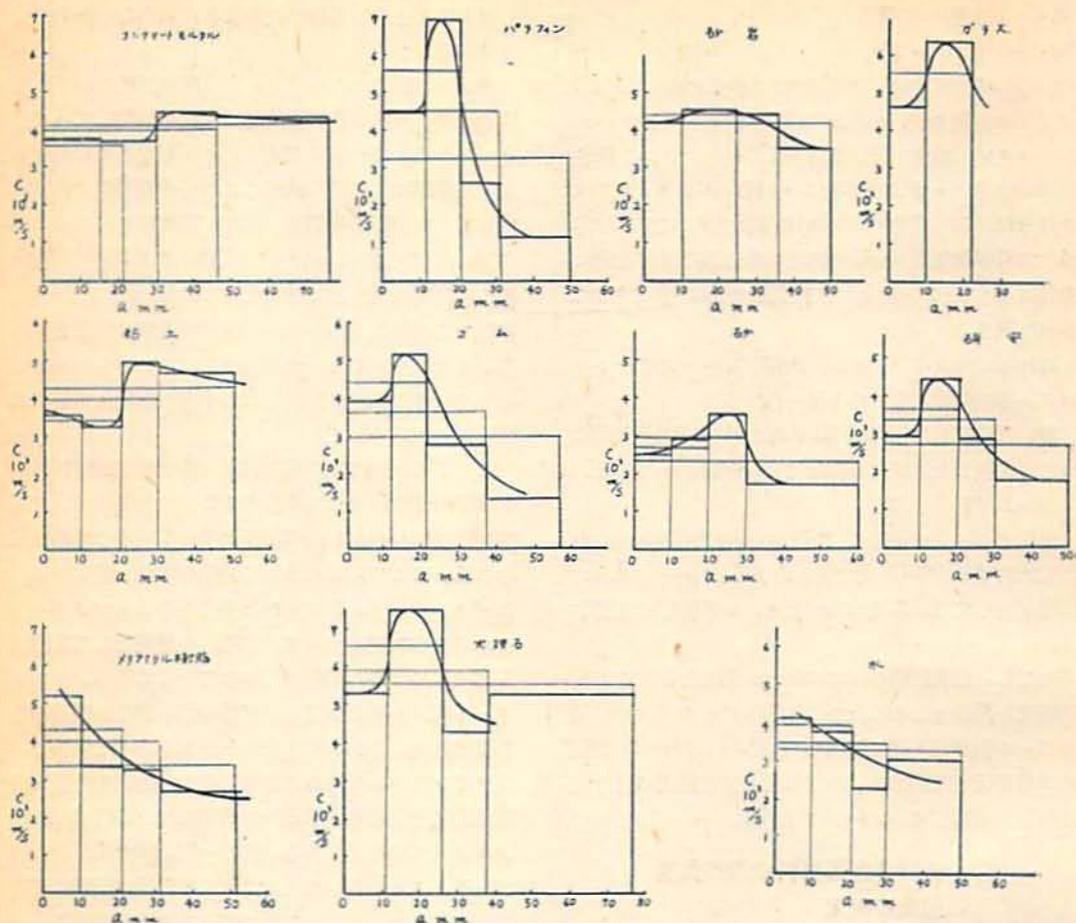


図2 非金属材料の波の伝播速度  $c$  の距離の変化

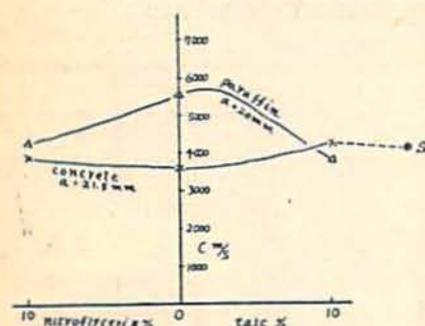


図3 パラフィン及びコンクリートの  
波速変化の実験

おり、空気も  $a=20\text{mm}$  の  $c$  を第X報<sup>2)</sup>に準じて求めると  $6,500\text{m/s}$  となつて、矢張り  $a=30\text{mm}$  の  $6,000\text{m/s}$  よりも高速となつている。水はここに実験した範囲では正規衝撃波の様相を示し、固体と異つて高次塑性現象は未だ見出されていない。

### 3.2 測定の信頼性の吟味

以上の測定値はどれも二回以上の平均であるが、同一条件で実験をくりかえし、測定の信頼性をしらべた。メタクリル樹脂は、この実験条件では爆源に近いほど応力波は高速で、正規衝撃波のみを示す、むしろ特異な例であつた。それでこの点をも吟味できるように、 $a=10, 20\text{mm}$  の両者について、6回の平均として、前者は  $\bar{X}=5,280\text{m/s}$  のもとに  $\beta=\pm 180\text{m/s}$  を、後者は  $\bar{X}=4,130\text{m/s}$ ,  $\beta=\pm 110\text{m/s}$ 、(但  $t=95\%$ ) となつた。明らかに  $a=10\text{mm}$  の方が早い。

次に、パラフィンには表1と同一種のものを用いて新たに铸造して行つたところ、5回の平均として、 $a=10\text{mm}$  では  $3,690\text{m/s}$ ,  $a=20\text{mm}$  で  $4,530\text{m/s}$  となり、この差は調整以上にある。そして、 $a=20\text{mm}$  の方がメタクリル樹脂とは逆に高速である。然し、表1の値はこれよりも低速であることが注目される。今

度のパラフィン、鋳造に当り、急冷したため内部に微細な気泡を含み、表1のものよりも全体が白色味が強いものであった。そこで、この2種のパラフィンの差は、鋳造の際の空隙の存在が現象に大きな差を与えることを物語っている。この点は、コンクリートモルタルや砂のように粒子性に富み、気泡を含むと塑性流動波と衝撃波の臨界性が不明瞭となり、言いかえれば、塑性流動現象の因子が強くなる結果と一致している。また、鉛の結晶が微粒化すると塑性流動が起り易くなることも同様の現象であると思われる。結局塑性流動現象は同一種材料でもその粒子構造性や気泡の存在にかなり影響されるので、時にはこのための差が測定の見誤差以上になり得ることがわかる。

表2 非金属材料の物質速度の測定

$a$ : 距離 mm  
 $p$ : 円板厚さ mm  
 $v_p$ : 円板法による物質速度 m/s  
 $v_d$ : 直接法による物質速度 m/s

| コンクリートモルタル |      |       |       |
|------------|------|-------|-------|
| $a$        | $p$  | $v_p$ | $v_d$ |
| 11.8       | 2.1  | 334   | 625   |
| 21.3       | 2.25 | 125   | 400   |
| 31.1       | 1.9  | 123   | 132   |
|            | 7.4  | 86    |       |
| 41.3       | 2.1  | 57    | 68    |
|            | 6.6  | 30    |       |
| 71.0       | 1.8  | 20    | -     |

| パラフィン |       | ゴム   |       |
|-------|-------|------|-------|
| $a$   | $v_d$ | $a$  | $v_d$ |
| 10.0  | 960以上 | 12.0 | 830   |
| 21.0  | 700以上 | 21.5 | 285   |
| 31.5  | 245   | 37.2 | 200   |
| 50.0  | 130   | 57.0 | 156   |

| 大理石  |       | メタアクリル樹脂 |       |
|------|-------|----------|-------|
| $a$  | $v_d$ | $a$      | $v_d$ |
| 12.0 | 455   | 10.6     | 715   |
| 26.0 | 167   | 21.1     | 385   |
| 38.7 | 115   | 31.1     | 278   |
| 77.0 | 54    | 51.7     | 209   |

#### 4. 非金属材料内の応力波の物質速度の測定

第Ⅱ報において金属材料内の応力波の物質速度を測定したが、この方法を応用して、非金属材料について行つた。然し、さきにも述べたように非金属材料のほとんどは電気的不導体であるため、矢張り、電気的に測定するとすれば、前述の波の伝播速度測定法に準じて行ななければならない。

まず、コンクリートモルタルについて図1Aの  $d$  を変化させ、衝撃開始からコンタクト接触までの時間  $\tau$  を求め、 $\tau \sim d$  曲線を書き、各試料長  $a$  の各々の曲線

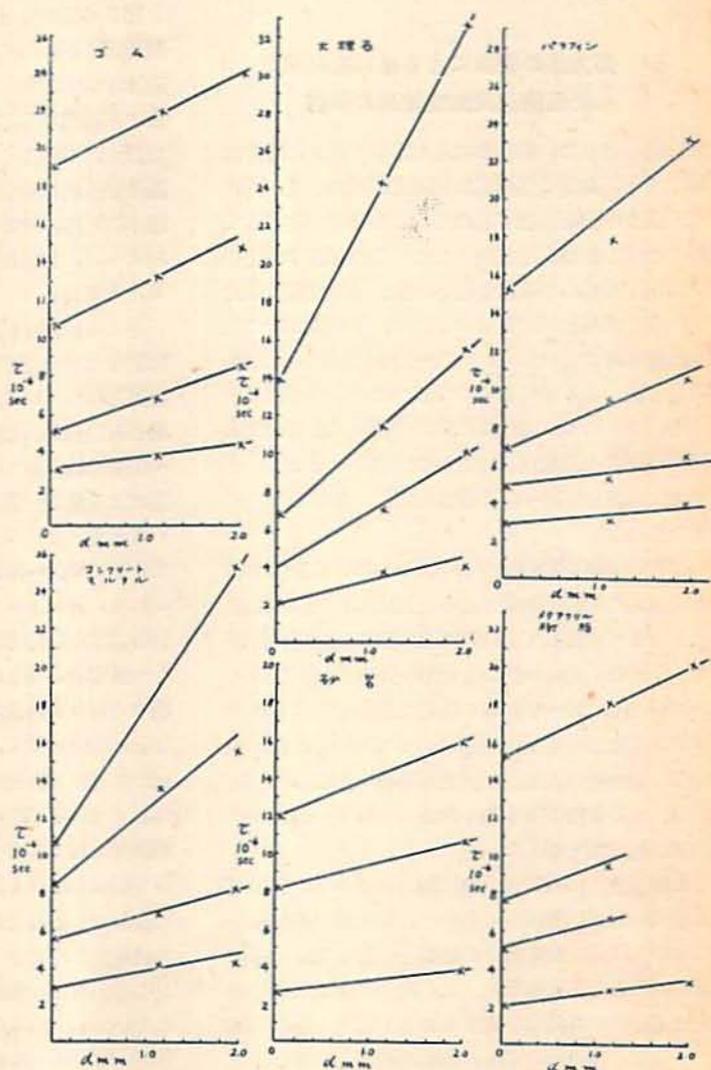


図4 非金属材料の  $\tau \sim d$  曲線

の傾斜から物質速度を得た。次に、試料と同一材質の円板(直径20mm)を作り、その表面に鉛箔をはりつけ、第Ⅱ報の円板法と同様の手段で物質速度を求めた。これらの結果は表3に示すごとくであつて、円板法と $r-d$ 法(直接法)とは $a=30\text{mm}$ 以上の距離においては近い値を与えるが、爆源に近づくとき直接法の方が大きな結果となることは第Ⅱ報の結果と同一であつて、試料の自由面に強い接着剤の薄い層ではられた鉛箔は自由面の運動に追隨していると見てよいようである。従つて、以下、図2Aを応用した直接法で測定することにした。求めた $r-d$ 曲線は図5の通りである。表3によると、いずれも、低速度領域に入ると物質速度の上昇は急激であつて、ゴム等は特に顕著である。

### 5. 応力波の衝突による亀裂を利用した伝播速度測定結果の検討

本研究の初めに、鉛柱の両端に爆薬を置き、対称に衝撃すると、高圧の圧縮応力波同志が衝突して、試料内に引張り亀裂面を生ずるので、この効果を利用して鉛柱内の応力波測定法を試みたり。この方法は時間の測定に爆速既知の導線線を用い、応力波の捕捉には力学的な波の衝突効果を利用するので、その後に行つた電気的測定法にたいして、火薬～力学的な方法、または力学的な方法とも称すべきものであつた。この方法は、まず鉛柱のみについて行つたが、原理的に波の衝突部附近の局所的な速度を求めるものであり、従つて、そのままでは波の時間～距離曲線を完全に求めることはできなかつた。

そこで、爆薬(TNT $d=0.95\text{g/cc}$ )による鉄内の応力波は正規の弾性波形式であると仮定し、鉄柱を鉛柱にはり合せて実験して鉛柱内の波の完全な時間～距離曲線を定めた。鉛柱の完全な時間～距離曲線が定まれば、種々の材料について同様の手段で測定することができ、次に金属の電気的測定によつて力学的な方法の基準とした鉄や鉛内の応力波速度を直接に測定し、その結果、先の仮定による差を補正して種々の物質内の応力波伝播速度を定めた。

また第Ⅱ報において、特に爆源近傍にきかかると金属内の波の伝播速度をしらべ、鉄、銅、高純度の鉛においては全く第Ⅱ報の結果と一致したが、鉛は純度の低下とともに衝撃波よりも高次の衝撃形式である塑性流動波が容易に発生することを知り、さらに種々の非金属材料についても、衝撃の強さと物性によつて、爆源部に塑性流動波の存在が認められた。

そこで、これらの各材料に関する直接測定値と、基準として用いた鉛柱をすべて高純度品と見なして行つた力学的な方法による値とを比較するとやはり力学的な方法に使用した鉛柱には強く塑性流動を起すロットが存在していたことが明らかとなり、この点からも、第Ⅱ報の実験結果を裏づけることができる。

第Ⅱ報、及び本報において行つた値と力学的測定法の値<sup>2)</sup>とを比較すると、一致するものには、鉄、銅、コンクリートモルタル、大理石、並びに空気、硝安等の粉体がある。他は力学的測定結果が高速である。これらの一致する場合は、当然基準として使用した鉛柱は波の高速性を示していたわけであり、念のために鉄について純度99.18%の鉛柱を使用して力学的な方法を行うと図6の鉄△印となり、これらをつなぐ曲線は鉄と鉛の境界面で、前回に一致する。逆に、前回の基準鉛が低速性を示すと考へて、その時の実験値をもとに作図し直すと同図の○印となり、鉄内の波として1,300m/sを示す。このような速度は考えられないから、前回の基準鉛が高速性を示していたことは明らかである。同様のことは、鉄について行つた銅、コンクリートモルタル、大理石についてもいうことができる。(図6、大理石)

ところが第Ⅱ報の粘土以下の固体、ならびにそれに引きつづいて行つた液体までは一様に力学的な方法は高速となつてゐる。然し、これらは、前回の力学的な方法の実験値に、低速性を示す低純度鉛(99.18%)の時間～距離曲線をあてはめて作図し直すと、今回の直接測定による値と一致する。その一例として、花崗岩について示すと図6のようになる。×印は前回画いた曲線で、鉛の時間～距離曲線は高速の場合を探つてある。これを、純度99.18%の鉛の時間～距離曲線を用いて置き直すと○印となつて、今回の電気的測定結果と全く一致する。さらに、これを確かめるために、花崗岩を種々の厚みの純度の鉛柱にはり合せ、電気的に実験すると△印となつて、○印とはほぼ一致した結果である。従つて、前に花崗岩と共に使用した鉛柱は純度が99.18%以下で、TNTの衝撃による爆源近傍に強い塑性流動領域を起すものであつたことがわかる。同様の例として粘土の場合も示しておく(図6粘土)。この傾向は液体にも及んでおり、液体の例としては水及び水銀の例をかかしておく。

このように、先の力学的な方法と、今回の直接測定とにくらべるとのみならぬ場合、基準鉛柱に低純度品(99.18%程度)の時間距離曲線を用いることによつて両者を一致させることができる。

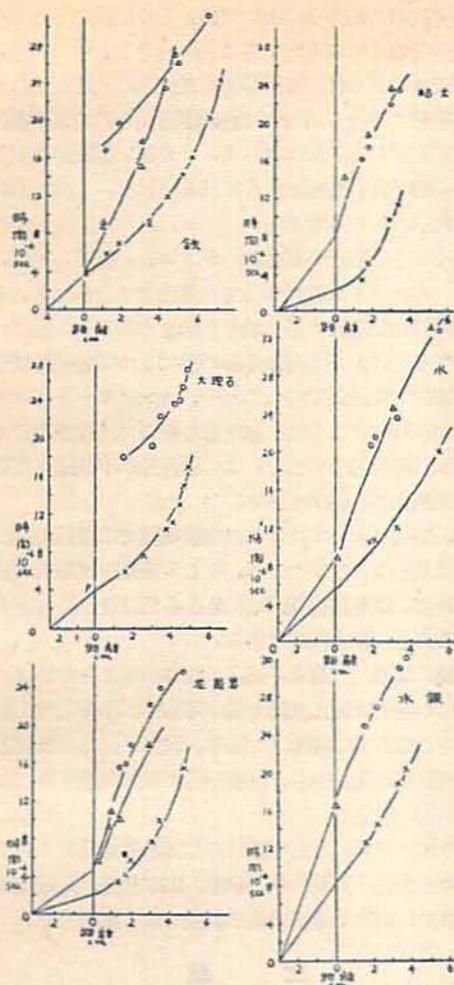


図5 力学的測定結果の吟味

結局、先の力学的測定結果をここに再録し、今回の直接測定結果と比べると表3となつて、ここにはじめて各種材料の真の応力波速度が決定し、力学的測定と直接測定の差から前報<sup>1)</sup>でのべたように鉛の衝撃波と高次塑性波の臨界性が純度や結晶粒子の大きさにきよつて変化する結論を裏づけることができたわけである。

### 6. 結 論

固体に加えらるる衝撃が低速の間は、弾性波、または低次の塑性波が伝播するが、高速、高圧の衝撃となれば、高速度で伝播する衝撃波が発生する。然しさらに衝撃が強くなると、固体は、特有の強い振集エネルギーを保持することができなくなつて、再び塑性流動を起し始める。この塑性流動は固体が液体的様相を

表3 力学的測定と、電氣的測定による波の伝播速度のc比較

| 固 体          |   | 距離<br>a<br>mm | 力学的<br>方法のc<br>m/s | 電氣的<br>方法のc<br>m/s            | 力学的<br>方法使用鉛<br>柱の性質 |
|--------------|---|---------------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| 鉄            |   | 20            | 5,900              | 5,200                         | c, 高速性               |
| 鉛            |   | 45            | 4,100              | 4,100                         | △                    |
| 銅            |   | 20            | 4,200~<br>4,600    | 4,200                         | △                    |
| コンクリート       |   | 25            | 3,300~<br>3,500    | 3,690~<br>3,740 <sup>1)</sup> | △                    |
| 大理石          |   | 25            | 5,800~<br>6,100    | 6,660                         | △                    |
| 粘<br>(26%含水) | 土 | 30            | >7,500             | 3,900                         | c, 低速性               |
| 石 炭          |   | 30            | 6,000~<br>6,300    |                               |                      |
| 花 崗 岩        |   | 32            |                    | 5,750                         | △                    |
| パ ラ フ イ ン    |   | 30            | 6,500~<br>6,800    | 3,990 <sup>2)</sup>           | △                    |
| 杉            |   | 30            | 1,900              | 7,500                         | △                    |
| ガ ラ ス        |   | 32            | 7,500~<br>8,200    | 4,400                         | △                    |
| ゴ ム          |   | 25            | 6,600~<br>7,000    | 3,100~<br>4,310 <sup>3)</sup> | △                    |

<sup>1)</sup> a=21.5~30.0

<sup>2)</sup> a=25.0

<sup>3)</sup> a=21.5~37.2

### 液体、空気、粉体

| 物 質 名 | 距離<br>a<br>mm | 力学的<br>方法による<br>c<br>m/s | 電氣的<br>方法による<br>c<br>m/s | 力学的<br>方法に<br>使用した<br>鉛柱の性質 |
|-------|---------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 水     | 30            | 4,300~<br>4,700          | 3,410                    | c, 低速性                      |
| 水 銀   | 30            | 3,100~<br>3,400          | 1,850                    | △                           |
| 空 気   | 30            | 6,000                    | 6,160                    | c, 高速性                      |
| 硝 安   | 30            | 3,100                    | 3,420                    | △                           |
| 食 塩   | 30            | 2,200                    | 2,830                    | △                           |
| 硝 石   | 30            | 2,000                    | 3,020                    | △                           |

示す現象と考えることができる。

鉄や銅においては、原子間の振集エネルギーが高い準位にあるため、10~20万気圧程度の衝撃圧力を与える中級威力の爆薬では、このような現象は起らず、特に鉄は衝撃波の発生すら認められない。それに対し、鉛やアルミニウムでは10万気圧以下の衝撃圧力、あるいは200~300m/sの衝撃速度で塑性流動波があらわれ、これは衝撃条件を強力にするほど強く起る。

この領域内の波の伝播速度を測定すると、衝撃波速度よりも低速であり、この意義は、図6上のようなε~応力曲線の傾斜が臨界点Aから切り立つこと、

すなわち、変形が急に容易になる状態にほかならず、従つて次式に従う伝播速度は低下するのである。

$$c = \left( \frac{1}{\rho_0} \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \right)^{\frac{1}{2}}$$

従つて、図6下において、衝撃源からある距離内の脆性流動波領域の終点(図6 A、B)で急激な $c$ の上

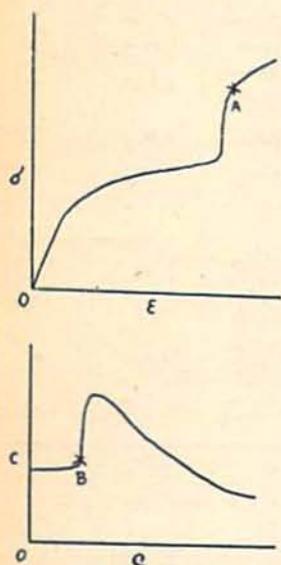


図 6 \*

昇があり、そこから衝撃波領域に移つていく。また、脆性流動領域の物質速度は、 $c$ と逆に高速であつて、物質移動が波面の移動に近づく傾向をもち、この点からも現象の意義が脆性流動的であることをうなづくことができる。

この脆性流動波は、鉛においては少量の不純物の介在で強く発生するようになり、純度99.7%では TNT ( $d=0.95\text{g/cc}$ ) に

\*  $\sigma$ ,  $\varepsilon$ , 縦横逆

脆性流動波の臨界点においては、その固体のもろさの極限が発揮されると考えることができる。すなわち、爆源近傍に $c$ の低い領域がある条件下の破片をしらべると前報のごとく明らかに爆源附近からは脆性流動的破片が発生し、それに対して、 $c$ の低い領域が存在しない条件では、脆性的破片は発見されず、もろい形式の破片があるのみである。

このような様相の変化は、ガラス、岩石、ゴム、粘土、パラフィン等についても見出すことができ、その本質的性質は全く鉛の場合と同様であつた。特に、パラフィンにおいて製造条件の差によつて鉛の純度変化に類似する結果を得たことや、コンクリートモルタル、木、砂等のように気泡を含む物質では衝撃波よりも脆性流動的因子が強く、この臨界性が不明瞭となることは興味ある結果である。

水、空気においては、この実験範囲では脆性流動波現象は見出されなかつたが、もしも衝撃が理想的に強くなれば、衝撃波現象の崩壊点が見出されるであろう。この点は鉄も同様である。

結局、理想的に高速、高圧の衝撃が与えられれば、すべての物質は液化流動を起す可能性があると考えられ、その臨界点の機構には固体、液体、気体の凝集力の動的評価の見地から、破壊物性の根本問題が横たわつていると言える。

終りにのぞみ、たえず温情ある御指導を頂いている村田勉博士と、東京大学工学部、山本祐徳、疋田強両教授並びに同理学部平田森三教授に深く感謝する。

#### 文 献

- 1) 桜井武尚 火協誌 18 225 (1957)
- 2) " " 17 35 (1956)
- 3) " " 16 24 (1955)
- 4) " " 15 257 (1954)

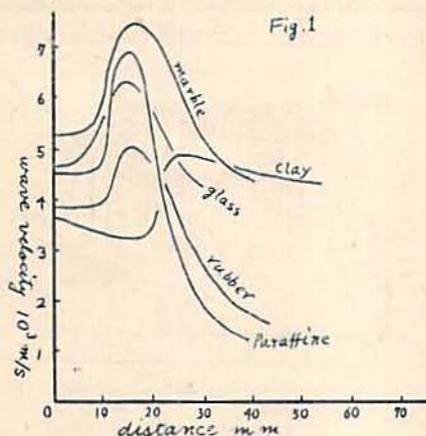
On Brisance of Explosives (XIII)

High-order plastic deformation in non-metallic solid by detonation of explosives

by T. Sakurai

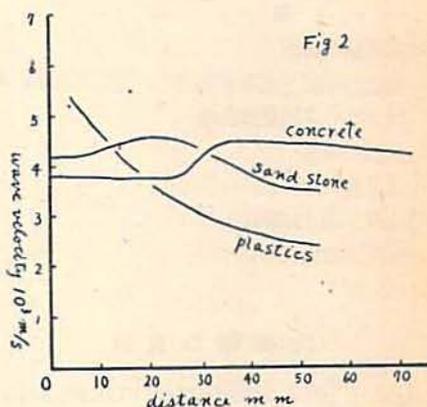
If a solid body is subjected to a violent impact above a certain limit, the solid is released from its own cohesion and acts as a liquid or a plastic matter; this plastic wave can be named as a high-order plastic wave and characterised by a low wave velocity and a high particle velocity.

Therefore, in a diagram of wave velocity and distance as shown in Fig. 1, the region of high-order plastic, wave with low wave velocity exists over a distance of about 10~20mm from impact source and then the wave suddenly gets a higher velocity at the points of forming a shock wave. While, the particle velocity of a high-order plastic wave is higher than that of shock wave.



These phenomena are distinctly found in glass, marble and paraffine etc, but unclearly in concrete or sand stone.

On the contrary, these phenomena cannot be found in "Perspex" as shown in Fig. 2.



The explosive used in the present experiments was TNT with density of 0.95g/cc.

Table. Particle velocities at front of stress waves in non-metallic solids,  $a$  is distance mm and  $v$  is particle velocity m/s.

| concrete |     | paraffine |     | rubber |     |
|----------|-----|-----------|-----|--------|-----|
| $a$      | $v$ | $a$       | $v$ | $a$    | $v$ |
| 11.8     | 625 | 10.0      | 960 | 12.0   | 830 |
| 21.3     | 400 | 21.0      | 700 | 21.5   | 285 |
| 31.1     | 132 | 31.5      | 245 | 37.2   | 200 |
| 41.3     | 68  | 50.0      | 130 | 57.0   | 156 |

(Nihon Yushi Co., Taketoyo Plant.)

# 小型火薬庫の爆発実験について

(昭和32年8月19日受理)

浜野元継, 竹内不二雄, 伊藤清蔵, 高橋軍二

(通商産業省軽工業局無機化学課火薬班)

## 要 旨

この実験は火薬庫の爆発が周囲に及ぼす被害を実験的に調査し、火薬庫設計の資料を得ようとするものである。その予備実験として昭和31年8月、栃木県葛生町に三級火薬庫型式の鉄筋コンクリート造およびコンクリートブロック造各1棟づつを準備し、9月18日に爆発実験を行った。そして火薬庫の破壊状況、爆風衝動圧の強さおよび飛散物の散布状況を観測した。

## 目 次

- I. 実験の目的
- II. 実験の準備 (火薬庫の構造, 使用火薬類, コンクリート強度試験等)
- III. 実験の実施
- IV. 火薬庫の爆発後の状況について
- V. 爆発圧力 (衝動圧) について
- VI. 爆発飛散物について
- VII. 結 び

### I. 実験の目的

火薬庫の貯蔵量と保安距離については火薬類取締法施行規則に規定されて居り、何れも理論的根拠と経験とに基づくものではあるが、一方火薬庫を実際に爆発させてその状況及影響を見るという実験は経費等の関係上諸外国でも余り実施されていない。火薬類の不測の爆発災害事故の事例に依る経験が重要な参考資料になっている。従って予め計画された状況及諸元のもとにこの種の実験を行うことは、技術上の基準の検討の上からも、又危害予防の業務昂揚の上からも、有意義であると考えられるので、先づ第一の対象として三級火薬庫を採りあげ、

- 1° 火薬庫の周囲からの延焼に際して貯蔵された火薬類が安全な状態を維持出来るか、
- 2° 万一貯蔵された火薬類が爆発したとき、どんな影響を附近に及ぼすか、
- 3° 保安距離10mを基準にすれば万一の爆発に際してどんな火薬庫の構造が妥当であるか、
- 4° 火薬類貯蔵量はどの位が妥当であるか、またその量に対してはどの位の保安距離をとらせるべきか、土堤は如何にすべきか。

等を実験によって知り度いと考へた。然し乍ら予算等の関係もあつて、1回にその目的を達する様な実験を行うことは出来ないので、取敢えず、予備実験的段階として、三級火薬庫に貯蔵中の火薬類が万一爆発した場合

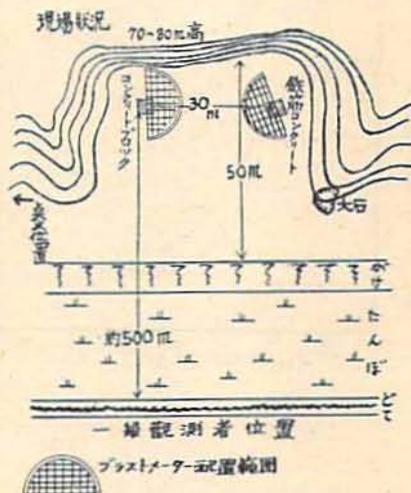
- イ. 火薬庫の破壊状況
- ロ. 隔壁の効果
- ハ. 飛散物の形状及その飛散状況
- ニ. 爆発の結果が附近に及ぼす影響

について調査することとした。

### II. 実験の準備

#### 1° 場 所

栃木県安蘇郡葛生町郊外にある石灰石採石場跡を選定した。その理由はここは三方が70~80mの山に囲



図I 現場状況並ブラストメーター配置範囲