

## プラスチックを用いた爆破試験に関する一考察

伊藤 一郎・佐々 宏 一\*

### 1. 緒 言

爆破による破壊現象などを究明する一手段として小規模な爆破を実施する場合には、従来、被爆破材料としてアクリル酸樹脂板がしばしば利用されている。この樹脂は透明であつて、その内部に発生したき裂の状態を明瞭に観察できるという長所を持つているから、この材料を用いることによつて、岩石を用いた場合には観察することができない材料内部の破壊の様相を明確に理解することができる。したがつて、岩石爆破に関する研究の一手段として、アクリル酸樹脂板を用いた爆破試験はかなり有利であると考えられる。しかし一方、岩石のようなぜい性材料とアクリル酸樹脂のようなプラスチックな材料とでは、それぞれの物理的性質が異なるために、破壊の様相も当然異なつてくるものと考えられる。

その最近な一例として corner fracture の成否の問題をあげることができる。すなわち、二自由面の交角の二等分面内に爆源がある二自由面爆破においては、爆破の対象となる材料が金属やプラスチックである場合には爆源から自由面の交点へ向うき裂（このき裂を corner fracture と呼んでいる）が発生するが、爆破対象物が岩石のようなぜい性材料である場合にはこのようなき裂は生成しない。われわれはすでに、上記のような爆破条件の場合に爆破対象物内に発生する応力状態を解析し、corner fracture の成否には爆破対象物のポアソン比と応力波の波長とが関係していることを明らかにした<sup>1)</sup>。このように、爆破の場合には材料の性質の差異によつて発生するき裂の様相が異なる場合があるので、プラスチックを用いた爆破試験の結果を利用して岩石爆破の研究を進める場合には、材料の性質の差異による応力状態の差異について十分検討し、その結果を念頭に置きながら実験結果の処理を行なわなければならない。

われわれはすでに、2, 3 の爆破条件について材料の性質の差異による応力状態の変化を検討してきているが、ここではそれらのうち、直交する二自由面への

最小抵抗線の長さが異なる二自由面爆破の場合に爆破対象物内に発生する応力状態について検討し考察した結果について報告する。

2. 二自由面爆破の場合の応力解析方法および条件  
内部装薬爆破の場合には装薬の爆轟によつて爆破対象物内へ主として圧縮応力波が投射され、爆破対象物内を伝播して行くが、自由面が存在するとこの圧縮応力波は自由面において反射引張応力波および反射せん断応力波となつて反射し、爆破対象物内へ戻つてくる。したがつて、二自由面爆破の場合に爆破対象物内の任意の点に発生する応力は、Fig. 1 に示すように、爆源  $O$  から直接  $P$  点に入射する圧縮応力波（波動の経路は  $OP$ ）による応力と、爆源から一たん自由面  $X$  または自由面  $Y$  に達し、そこで反射引張応力波となつて  $P$  点に達する波動（その経路は  $OAP$  および  $ODP$ ）による応力、および同じく爆源から一たん自由面に達し、そこで反射せん断応力波となつて反射してくる波動（波動の経路は  $OBP$  および  $OCP$ ）による応力が重畳した非常に複雑なものとなる。しかし、このように5つの波動による応力の重畳によつて決定される二自由面爆破の場合の爆破対象物内の応力状態も電子計算機の出現により解析することが可能となつた。

われわれはすでに、このような爆破条件の場合に爆破対象物内の任意の点に発生する応力状態を解析する計算式を弾性理論から導き出し、それらを用いて爆源が二自由面の交角の二等分面内にあるような二自由面

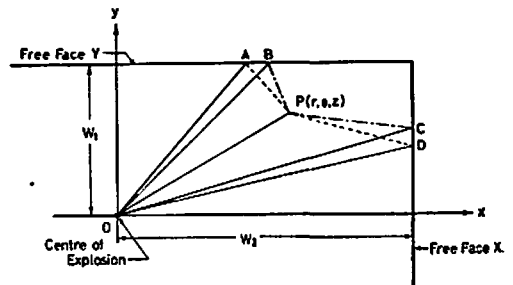


Fig. 1 Paths of the stress waves arrived at an arbitrary point for the case of blasting with two free faces.

昭和43年6月30日受理

\* 京都大学工学部賢工学教室 京都市左京区吉田本町

爆破の場合の応力状態を解析し、その結果から推定される破壊の様相と実際に実施した試験爆破によって生成したき裂の状態とがよく一致することを確かめている<sup>23)</sup>。そこで今回は、この応力解析方法を用いて、爆破対象物がアクリル酸樹脂板である場合と大理石ブロックである場合とについて、二自由面爆破の場合に材料内に発生する応力状態を解析した。

さて、爆破対象物内に発生する応力状態は当然材料の性質と使用する爆薬の性質とによって変化する。したがって、今回採用した応力計算プログラムは、爆薬衝撃によって爆破対象物内へ投射される応力波による材料粒子の変位および変位速度などの実測結果をデータとして用いて、衝撃によってその材料内に発生する応力状態を計算するように作られている。なお、応力計算式はかなり複雑なものであり、すでに公表しているので<sup>2)</sup>、ここでは省略する。

今回は、応力解析のために必要なデータを得るために、アクリル酸樹脂板を3号電気雷管で衝撃した場合および、大理石ブロックを1号電気雷管で衝撃した場合に発生する応力波によるそれぞれの材料の粒子の変位および変位速度などをFM容量変位計を用いて測定した。その結果、材料粒子の変位および変位速度の最高値が波動の伝播にともない減衰する状態は近似的に下記の式で示しうることが明らかとなった。

アクリル酸樹脂板を3号電気雷管で衝撃した場合：

$$U_p = 5.5 \times 10^{-2} \cdot r^{-0.83} \quad (1)$$

$$v_p = 6.0 \times 10^3 \cdot r^{-0.95} \quad (2)$$

大理石ブロックを1号電気雷管で衝撃した場合：

$$U_p = 1.0 \times 10^{-1} \cdot r^{-2.2} \quad (3)$$

$$v_p = 1.1 \times 10^4 \cdot r^{-2.1} \quad (4)$$

ここに、 $U_p$ ：変位の最高値 (cm)

$v_p$ ：変位速度の最高値 (cm/sec)

$r$ ：爆源からの距離 (cm)

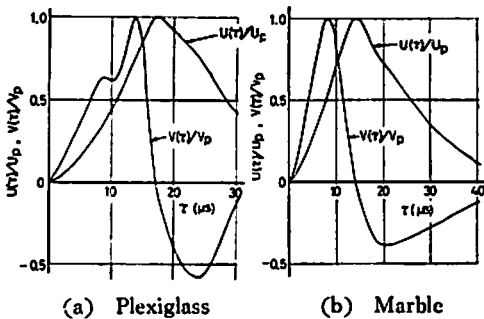


Fig. 2 Changes in displacement and particle velocity with time for explosions of a No. 3 detonator for plexiglass and a No. 1 detonator for marble.

また、Fig. 2 (a) および (b) は、上記の衝撃によってそれぞれの材料内に発生した変位および変位速度の時間的な変化状態を示したものであつて、図の縦軸は任意の時間の変位 ( $U(\tau)$ ) および変位速度 ( $v(\tau)$ ) の値をそれぞれの最高値 ( $U_p$  および  $v_p$ ) で除した値をもつて示している。なお、アクリル酸樹脂板および大理石ブロック内の縦波の伝播速度は、それぞれ 3,000m/s および 6,000m/s であつた。

以上に示したように、振動測定実験によって応力計算に必要な種々のデータが得られたので、これらのデータを用いてアクリル酸樹脂板を3号電気雷管で衝撃した場合および大理石ブロックを1号電気雷管で衝撃した場合について、二自由面爆破の場合にそれぞれの材料内に発生する応力状態を解析した。なお、応力解析は2つの自由面が直交する場合のみならず、斜交する場合についても実施し、さらに、それぞれの自由面への最小抵抗線の長さも種々変化させて実施したが、ここではFig. 1に示したような直交する二自由面を持つ二自由面爆破の場合をとりあげ、主として一方の自由面への最小抵抗線の長さが他の自由面へのその2倍であるような爆破条件の場合の応力状態の解析結果を示すことにする。

### 3. 応力解析結果およびそれらから推定される破壊の様相

まず、3号電気雷管の爆轟によってアクリル酸樹脂板\*内へどのような応力波が投射されるかを(1)、(2)式およびFig. 2 (a) に示した結果などを用いて解析した。その結果はFig. 3 (a) および (b) に示すとお

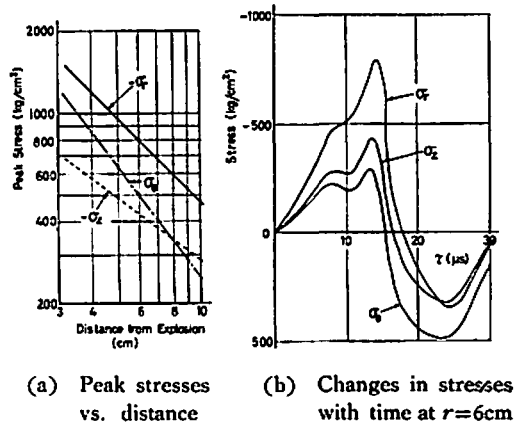


Fig. 3 Behaviour of stress wave projected in plexiglass plate of infinite extent for an explosion of a No. 3 detonator.

\* ここでは、板の厚さがある程度厚い場合を考えることとする。

りである。まず、Fig. 3 (a) は雷管の軸に直交し、装薬を含む面内に作用する爆源を中心とする半径方向の主応力 $\sigma_r$ の圧縮応力最高値、円周方向に作用する主応力 $\sigma_\theta$ の引張応力最高値、および雷管の軸方向に作用する主応力 $\sigma_z$ の圧縮応力最高値の3つが爆源からの距離によつてどのように変化するかを示したものであり、また Fig. 3 (b) はその平面内において爆源から6 cm はなれた位置における上記の各主応力の時間的な変化状態を示したものである。なお、横軸の $\tau$ は時間であつて、

$$\tau = t - r/c_L \quad (5)$$

で示される。ここに、 $t$ : 爆轟からの時間、 $c_L$ : 圧縮応力波(縦波)の伝播速度、である。さらにまた、Fig. 4 (a) および (b) は大理石ブロックを1号電気雷管で衝撃した場合の主応力状態を(3)、(4)式およびFig. 2 (b) に示した結果などを用いて解析した結果を示したものである。

なお、以後この報告においては、正の符号は引張応力を表わし、負の符号は圧縮応力を表わすものとする。

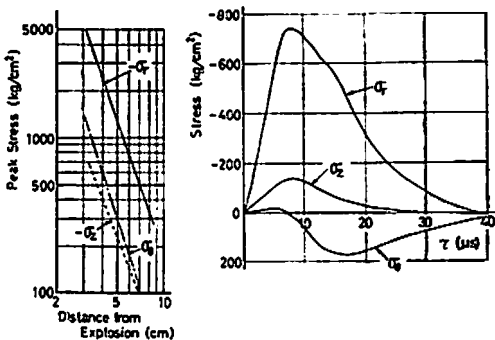
さて、Fig. 3 (a) に示したように、アクリル酸樹脂板内を伝播する応力波の減衰指数の値は Fig. 4 (a) に示した大理石ブロック内のそれよりもかなり小さい。この差の中には、当然、板状試料の場合には応力波の伝播が2次元的であり、ブロック試料の場合にはそれが3次元的であることに起因する差が含まれている。そこで、このことを考慮して Fig. 4 (a) に示した結果を用いて大理石板内における応力波の減衰指数の値を推定し、その値とアクリル酸樹脂板内のそれとを対比した。その結果、アクリル酸樹脂板内を伝播する応力波の伝播にともなう減衰指数の値は大理石板内にお

けるそれよりも小さいであろうと推定することができた。また、Fig. 3 (b) より爆源から投射された応力波によつて、アクリル酸樹脂板内に発生する3つの主応力 $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ はいずれもほぼ同じような時間的な変化状態を示し、はじめは圧縮応力として作用しついで引張応力となるが、大理石ブロックの場合には、Fig. 4 (b) に示すように、 $\sigma_r$ はほとんど圧縮応力として作用し、 $\sigma_\theta$ はほとんど引張応力として作用することがわかる。また、 $\sigma_z$ の値は大理石ブロックの場合にはかなり小さくなつている。なお、このような材料の性質の差異による波形の変化はすでに筆者らが行なつた理論的考察によつても明らかにされている。

このように、雷管による衝撃によつてアクリル酸樹脂板および大理石ブロック内へ投射される応力波の状態が明らかとなつたので、つぎに二自由面爆破の場合の応力状態の一例として、今回は、Fig. 1 に示したように、自由面Xへの最小抵抗線の長さ( $W_2$ )が自由面Yへのそれ( $W_1$ )の2倍である位置に自由面と平行に置かれた柱状装薬が爆轟した場合についての解析結果を示すことにする。いま、この円柱状装薬の軸を $z$ 軸とする円筒座標( $r, \theta, z$ )を考えると、爆薬の爆轟によつて装薬の軸に直交し、装薬を切る平面内の任意の点 $P(r, \theta, z)$ に作用する応力は互いに直交する3つの主応力 $\sigma_1, \sigma_2$ 、および $\sigma_3$ に分割することができる。さて、これら3つの主応力のうちの1つはつねに $z$ 軸方向に作用するが、 $r\theta$ 面内に存在する他の2つの主応力の作用方向は反射波の重畳によつて一般に時間とともに変化する。この報告においては、 $r\theta$ 面内に存在しほぼ半径方向に作用する主応力を $\sigma_1$ 、ほぼ円周方向に作用する主応力を $\sigma_2$ 、装薬の軸方向に作用する主応力を $\sigma_3$ で示すことにする。

まず、Fig. 5 はアクリル酸樹脂板を3号電気雷管で衝撃した場合に短い方の最小抵抗線上の $x=0, y=(3/5)W_1$ の点に発生した主応力状態を示したものである。図に示すように、この点に作用する3つの主応力はいずれもはじめは圧縮応力として作用し、ついで引張応力として作用するが、圧縮応力最高値は $\sigma_1$ に、引張応力最高値は $\sigma_2$ に現われている。また、 $\sigma_1$ の引張応力は爆源から投射された応力波による $\sigma_r$ の引張応力が自由面からの反射引張応力波によつて助長されたいわゆるホプキンソン効果による引張応力であつて、これは自由面に平行なき裂の生成に寄与する応力であり、また $\sigma_2$ の引張応力は主として爆源から投射された応力波および自由面からの反射せん断応力波によつて形成されるものであつて、これは最小抵抗線にそうき裂の発生に寄与する応力である。

同様に Fig. 6 は、爆破対象物を大理石ブロックとし



(a) Peak stresses vs. distance      (b) Changes in stresses with time at  $r=6$ cm

Fig. 4 Behaviour of stress wave projected in marble block with no free face for an explosion of a No. 1 detonator.

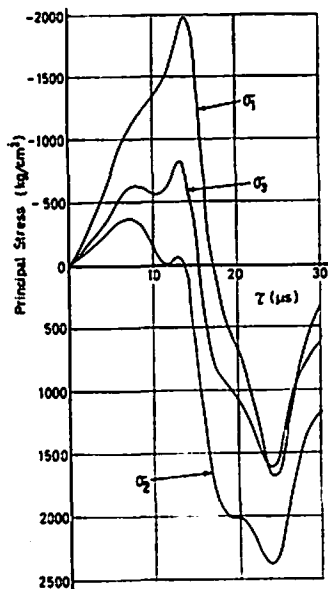


Fig. 5 Behaviour of principal stresses in plexiglass at a point,  $x=0, y=3W_1/5$ , for an explosion of a No. 3 detonator under the condition shown in Fig. 1.

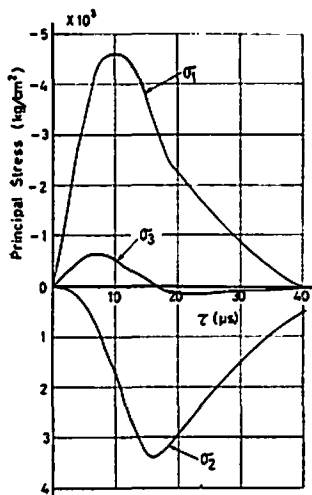


Fig. 6 Behaviour of principal stresses in marble at a point,  $x=0, y=3/4 W_1$ , for an explosion of a No. 1 detonator under the condition shown in Fig. 1.

て、幾何学的には上記の亚克力樹脂板の場合と同一の場所を1号電気雷管で衝撃した場合に短かい方の最小抵抗線上の  $x=0, y=(3/4)W_1$  の点に発生した主応力状態を示したものである。図より爆破対象物が大理石ブロックである場合には、 $\sigma_1$  はほとんど圧縮応力として、また  $\sigma_2$  は引張応力として作用することがわか

る。

さて、材料の破壊理論にはいろいろあるが、それらのうちでかなり正確に破壊現象を説明することができる応力円包絡線説 (Mohr の理論) を用いて上記のような三軸応力状態にある材料の破壊について考えてみると、引張強度が圧縮強度に比して非常に小さい岩石のような材料の場合には、材料の破断は引張応力によって生じ、その方向は引張応力の作用方向に直角な方向になるものと考えてさしつかえない。また、亚克力樹脂板の場合も、岩石の場合ほど極端ではないが、やはり引張強度の方が圧縮強度より小さいので、引張応力が主として破壊に関係しているとみなすことができる。そこでまず、爆破対象物内に発生する引張応力の最高値、すなわち、主として円周方向に作用する  $\sigma_2$  の引張応力最高値がどのように分布しているかを検討してみることにする。

Fig. 7 は亚克力樹脂板を Fig. 1 に示したような位置で3号電気雷管を起爆して衝撃した場合に、樹脂板内に発生した  $\sigma_{2max}$  の値が等しい点を結んだ等  $\sigma_{2max}$  線図を示したものであり、Fig. 8 は爆破対象物が大理石ブロックである場合について得られた等  $\sigma_{2max}$  線図である。

さらに、爆破対象物内の応力状態と破壊との関連性を検討するためには、上記のような引張応力最高値の分布状態のみならず、爆破対象物内のそれぞれの点における引張応力の値がその材料の動的引張強度に達するまでには時間的にどのような差異があるかについても検討しておく必要がある。Fig. 9 は、亚克力樹脂板の動的引張強度を  $1,000 \text{ kg/cm}^2$  (静的引張強度のほぼ1.2倍) と仮定し、 $\sigma_2$  の値がこの動的引張強度の値に達するまでの起爆後の時間が等しい点を結んだ等時間曲線を示したもので、また Fig. 10 は、大理石の動的引張強度を  $100 \text{ kg/cm}^2$  (静的引張強度のほぼ1.4倍) と仮定して求めた同様な等時間曲線を示したものである。

さて、Fig. 7, Fig. 8 において、爆源を中心としその半径が  $W_1/2$  以上であるような円周上の各点の  $\sigma_{2max}$  の値をみてみると、亚克力樹脂板の場合も大理石ブロックの場合もともに、それらの円周と自由面  $Y$  への最小抵抗線との交点の  $\sigma_{2max}$  の値がもつとも大きく、さらにまた、Fig. 9 と Fig. 10 とを参照すれば、それらの点における引張応力の値が材料の動的引張強度に達する時間は円周上の他のどの点よりも早いことがわかる。さらに、爆破対象物が亚克力樹脂板である場合には、Fig. 5 に示したように、これらの点の近傍では  $\sigma_1$  の引張応力の値もかなり大きくなるが、 $\sigma_2$  の引張応力の方が  $\sigma_1$  のそれよりも早く材料の動的引

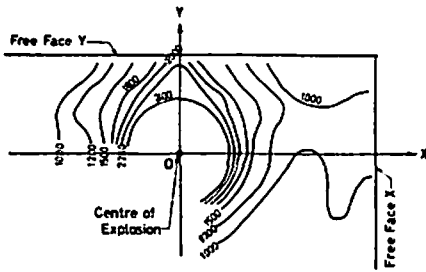


Fig. 7 Contour of maximum tensile stress in  $\sigma_2$  in plexiglass for an explosion of a No. 3 detonator under the condition shown in Fig. 1.  
(The unit of the numbers attached on the curves is  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .)

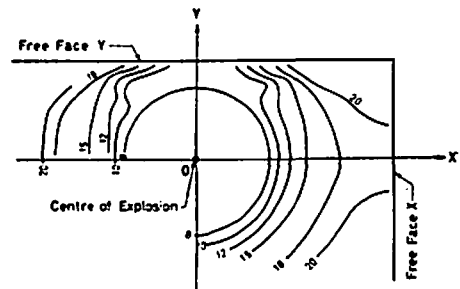


Fig. 10 Equi-time curve for  $\sigma_2=100\text{kg}/\text{cm}^2$  in marble for an explosion of a No. 1 detonator.  
(The unit of the numbers attached on the curves is  $\mu\text{s}$ .)

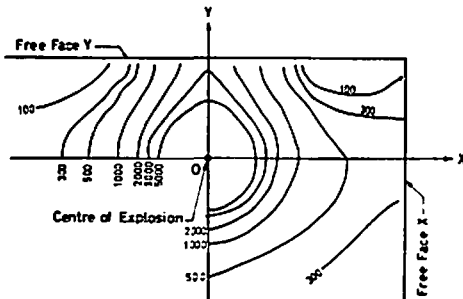


Fig. 8 Contour of maximum tensile stress in  $\sigma_2$  in marble for an explosion of a No. 1 detonator under the condition shown in Fig. 1.  
(The unit of the numbers attached on the curves is  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .)

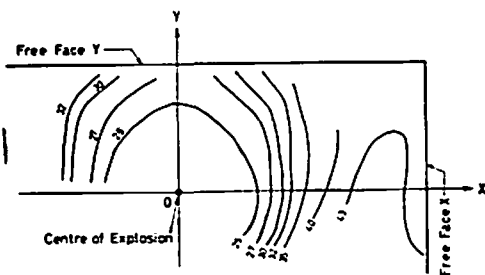


Fig. 9 Equi-time curve for  $\sigma_2=1000\text{kg}/\text{cm}^2$  in plexiglass for an explosion of a No. 3 detonator.  
(The unit of the numbers attached on the curves is  $\mu\text{s}$ .)

線にそうき裂が発生すると、そのき裂の近傍の点の円周方向の引張応力 ( $\sigma_2$ ) は解放されると考えられるので、このき裂の近傍には新たな別のき裂は生成しないものと思われる。したがって、上記のき裂よりやや離れた位置でき裂の発生が予想される場所を探してみると、まず、アクリル酸樹脂板を衝撃した場合には、爆源を中心とする円周上の各点に生ずる引張応力最高値のうちで自由面Yへの最小抵抗線近傍におけるそれについて大きい値を示す位置は、 $x$ 軸に対して  $40^\circ$  および  $140^\circ$  の角をなす方向の近傍にある点であることが Fig. 7 よりわかる。また、Fig. 9 から、上記の二方向の上にある各点では引張応力の値が仮定したアクリル酸樹脂の動的引張強度の値に達するまでの起爆後の時間もその近傍の点に比べてやや早いことがわかる。したがって、この場合には、自由面Yへの最小抵抗線にそうき裂について一自由面爆破の場合に生成するクレータの周縁と類似した方向にき裂が入る可能性がある。

一方、爆破対象物が大理石ブロックである場合には、爆源を中心とする円周上の各点のうちで自由面Yへの最小抵抗線近傍の点について大きな  $\sigma_{2\text{max}}$  の値を示す位置は、自由面Xへの最小抵抗線の近傍の点である。しかし、Fig. 10より、 $\sigma_2$ の値が仮定した大理石の動的引張強度の値に達するまでの起爆後の時間は、自由面Yへの最小抵抗線の近傍の点について $x$ 軸とほぼ  $40^\circ$  および  $140^\circ$  をなす方向の近傍の点が早く、自由面Xへの最小抵抗線上にある点がこれらについていることがわかる。したがって、大理石ブロックの場合には、自由面Yへの最小抵抗線にそうき裂が入つたのち、一自由面爆破の場合のクレータの周縁を形成するようなき裂が発生し、ついで、自由面Xへの最小抵抗線にそうき裂が入る可能性があることがわかる。なお、爆破対象物がアクリル酸樹脂板である場合には、

張強度の値に達している。したがって、以上に述べたことから、いずれの材料においても、まず、自由面Yへの最小抵抗線にそうき裂が発生するものと推定することができる。このようにまず自由面Yへの最小抵抗

Fig. 7およびFig. 9を参照すれば明らかなように、今回解析の対象としたような爆破条件の場合には自由面Xへの最小抵抗線にそうき裂が必ずしもつねに発生するとは限らないことも説明できる。

以上に、主として円周方向に作用する引張応力およびそれに起因する爆源からほぼ放射状に生成するき裂について検討した結果を述べたが、ついで、半径方向の主応力 $\sigma_1$ の引張応力について検討してみることにする。さて、Fig. 5に示したように、爆破対象物がアクリル酸樹脂板である場合には、 $\sigma_1$ の引張応力の値は $\sigma_2$ のそれに比してそれほど小さくならない。したがって、 $\sigma_2$ によるき裂が生成した後に $\sigma_1$ によるき裂が生成する可能性がある。Fig. 11は、 $\sigma_1$ の引張応力最高値が等しい点を結んだ等 $\sigma_1$ 引張応力最高値線図であるが、この図より、 $\sigma_1$ の引張応力の値が仮定したアクリル酸樹脂の動的引張強度の値(1,000 kg/cm<sup>2</sup>)以上に達する点は自由面Yへの最小抵抗線近傍の点のみであつて、その最高値は $x=0, y=(5/8)W_1$ の点の近傍に現

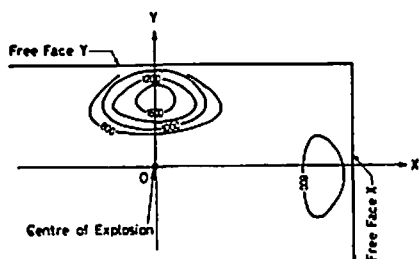


Fig. 11 Contour of maximum tensile stress in  $\sigma_1$  in plexiglass for an explosion of No. 3 detonator.  
(The unit of the numbers attached on the curves is kg/cm<sup>2</sup>.)

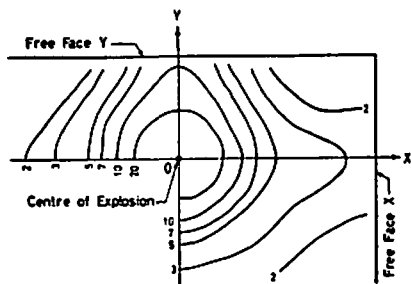


Fig. 12 Effect of decay exponents of displacement and particle velocity in marble on the maximum tensile stress distribution.  
(The decay exponents used for this stress computation are 1.2 and the numbers attached on the curves are the values of  $\sigma_{2max}$  in 10<sup>3</sup>kg/cm<sup>2</sup>.)

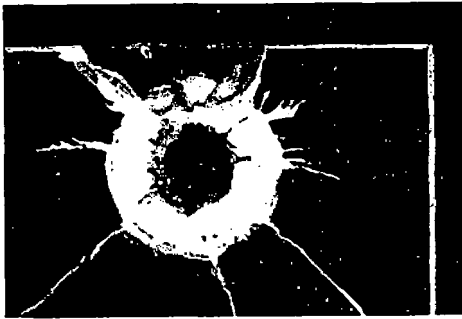
われている。このような $\sigma_1$ の引張応力最高値の分布状態はホプキンソン効果による引張応力の発生機構から容易に理解することができるが、これらのことから、アクリル酸樹脂板の場合には、自由面Yに平行なき裂が自由面Yへの最小抵抗線近傍の点に発生する可能性があることがわかる。しかし、前に述べたように、このようなき裂が発生する前に必ず最小抵抗線にそうき裂が発生するものである。なお、爆破対象物が大理石ブロックである場合には、Fig. 6より明らかなように、 $\sigma_1$ には引張応力は現れないために、当然自由面Yに平行なき裂は発生しない。

以上にある程度の厚みがあるアクリル酸樹脂板を衝撃した場合、および大理石ブロックを衝撃した場合に発生する主応力状態を示したが、材料の物理的性質の差異と主応力状態との関係について検討するためには、さらに大理石ブロックを衝撃した場合に発生する主応力状態と大理石板を衝撃した場合に発生するそれとを対比しておく必要がある。

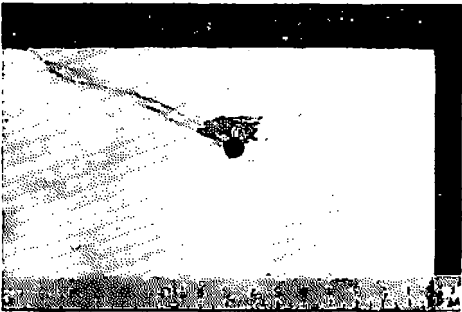
さて、すでに指摘したように、板状試料を衝撃した場合に発生する応力波の伝播は2次元的であり、ブロックを衝撃した場合にはそれが3次元的であるから、応力波の伝播にともなう減衰指数の値は板状試料の場合の方がブロックの場合よりもかなり小さくなる。そこで応力波による材料粒子の変位および変位速度の減衰指数の値以外の諸数値は同一とし、減衰指数の値のみを2.2~1.2の間で変化させて大理石内に発生する主応力状態を計算し、減衰指数の値と主応力状態との関係を検討した。その結果の一例を示したのがFig. 12である。Fig. 12は(3)、(4)式に示したように大理石ブロックを衝撃した場合に得られた2.2および2.0という減衰指数の値をともに1.2とした場合の等 $\sigma_{2max}$ 線図であるが、図より、減衰指数の値が変化すれば当然応力の絶対値は変化するが、Fig. 12に示した $\sigma_{2max}$ の分布状態とFig. 8に示したそれとを対比すれば明らかなように、 $\sigma_{2max}$ の分布状態が示す傾向は減衰指数の値が変化してもほとんど変化しないことがわかる。このことは、試料内に発生する $\sigma_{2max}$ の大きさは試料の形状が板状である場合とブロックである場合とでかなり変化するが、最小抵抗線の長さが等しい場合には、その分布の様相はほとんど変化しないことを示している。

#### 4. 爆破試験結果および考察

以上に、応力解析結果およびそれらから推定される破壊の様相について示したが、これらの結果を確認するために、応力解析を実施した条件と全く同一の条件でアクリル酸樹脂板および大理石ブロックについて爆破実験を実施し、発生したき裂の様相を観察した。こ



(a) Plexiglass



(b) Marble

Fig. 13 Photographs of the result of cratering shot under the condition same as that used for the stress computation.

これらの実験で得られた結果の一例を示したのがFig. 13 (a) および (b) である。これらの図に示すように、アクリル酸樹脂板の場合も大理石ブロックの場合もともに、短い方の最小抵抗線にそうき裂が明らかに認められ、さらに、自由面Yのみが存在すると考えた場合のクレータの周縁に相当する方向にそつたき裂が認められる。しかし、応力解析結果においても指摘したように、大理石ブロックの場合には長い方の最小抵抗線にそうき裂が生成しているが、アクリル酸樹脂板の場合にはこのようなき裂は認められない。なお、今回の実験においては、 $\sigma_1$ の引張応力による自由面に平行なき裂の発生はアクリル酸樹脂板の場合にも認められなかつた。

以上に、応力解析および爆破試験のそれぞれにおいて得られた結果を示したが、これらより、直交する2つの自由面をもつ二自由面爆破において、一方の自由面への最小抵抗線の長さが他方へのその2倍となる位置に爆源がある場合には、爆破対象物の物理的性質の差異によつて、長い方の最小抵抗線にそうき裂が生成する場合と生成しない場合とがあること、および最小抵抗線近傍の点に発生する $\sigma_1$ の引張応力の大きさもまた材料の性質によつてかなり変化することが明らか

となつた。したがつて、一自由面爆破および上記のような条件の二自由面爆破に関連した爆破試験をアクリル酸樹脂板を用いて実施し、その結果を用いて爆破対象物が岩石である場合の破壊の様相を推定する場合には、上記のような材料の性質の差異による応力状態の変化を念頭において爆破試験の結果を解析しなければならない。

## 5. 結 言

今回は、爆破対象物としてアクリル酸樹脂板と大理石ブロックとを選び、これらの材料を用いて二自由面爆破試験を実施した際に材料内に発生する応力状態について解析し、その結果から推定される破壊の様相について考察するとともに、これらと爆破試験によつて実際に生成したき裂の様相とを比較検討した。得られた結果を要約して示すところのとおりである。

(1) アクリル酸樹脂板を雷管で衝撃した場合に、装薬の軸に直交し、装薬を切る平面内で爆源から6cmの位置に発生する爆源を中心とする半径方向の応力および円周方向の応力は、ともに初めは圧縮応力として作用し、ついで引張応力として作用するが、圧縮応力の最高値は半径方向に現われ、引張応力の最高値は円周方向に現われる。なお、半径方向の引張応力最高値は円周方向のそれに比してそれほど小さくならない。しかし、爆破対象物が大理石ブロックである場合に上記と同じ点に発生する半径方向の応力はほとんど圧縮応力のみとして作用し、円周方向の応力はほとんど引張応力のみとして作用する。

(2) 直交する2つの自由面の一方への最小抵抗線の長さが他方へのその2倍であるような位置に爆源がある二自由面爆破においては、爆破対象物が岩石である場合にはそれぞれの自由面への最小抵抗線にそうき裂が発生するが、爆破対象物がアクリル酸樹脂板である場合には短い方の最小抵抗線にそうき裂は発生するが、長い方の最小抵抗線にそうき裂は必ずしもつねに発生するとは限らない。

(3) 反射引張応力波によつて生成し主として半径方向に作用する引張応力の値は、爆破対象物がアクリル酸樹脂板である場合には材料を破断しうる程度の大きさに達するが、爆破対象物が大理石ブロックである場合にはそれほど大きくはならない。

(4) (1)、(2) および (3) に示したように、爆破対象物の性質の差異によつて材料内に発生する応力状態およびそれに起因する破壊の様相が異なつてくるので、アクリル酸樹脂板などを用いて岩石爆破に関する研究を行なう場合には、実験結果の解釈は十分注意して行なわなければならない。

(5) 今回の応力解析結果から推定した破壊の様相

は実際に実施した試験爆破によつて生成したそれらとよく一致した。このことは、今回採用した応力の解析方法がかなり正確に二自由面爆破の場合の応力状態を解析できる方法であることを示唆しているものと考えることができる。

#### 附 辞

この研究の実施にあつては、当時研究生であつた重松健二君の多大の援助をうけた。ここに記して感謝する次第である。また、この研究は昭和42年度文部省科学研究費の補助を受けて実施したものであることを付記しておく。

#### 文 献

- 1) 伊藤一郎, 佐々宏一, 重松健二: 日本鉱業会昭和43年春季研究発表会において講演, 日本鉱業会誌に投稿中。
- 2) 伊藤一郎, 佐々宏一, 重松健二: 日本鉱業会誌, 83巻, 952号, 昭和42年8月, 983~990頁。
- 3) 伊藤一郎, 佐々宏一, 重松健二: 日本鉱業会昭和43年春季研究発表会において講演, 日本鉱業会誌に投稿中。
- 4) 伊藤一郎, 佐々宏一: 水曜会誌, 16巻, 2号, 昭和41年12月, 75~78頁。

### Comments on Use of Plastics for Blasting Studies

by I. Ito and K. Sassa

The stress distributions induced within two different kinds of materials by the explosions under confined condition were analyzed for the case of blasting with two free faces by applying the values of measured radial displacement, particle velocity and so on to equations derived from the theory of elasticity. In this study, a kind of plastics (plexiglass) and a marble were used as a specimen.

As the results, it was confirmed that the fracture pattern presumed from the results of this stress analysis coincided fairly well with that obtained practically by the crater studies, and also it was clarified both theoretically and experimentally that the patterns of the stress distribution in the above two different materials caused by blasting with two free faces were changed with their physical properties, resulting the fracture pattern produced in the plexiglass differed from that in the marble. It suggests us that the application of plastics as the material of experiments bearing with rock blasting must be careful for some cases. (Faculty of Engineering, Univ. Kyoto)

#### ニ ュ ー ス

アメリカの Explosives Corp は新しい液体爆薬 Astrolite を紹介した。これは安全で安定しており威力において核エネルギーに次ぐものといわれている。会社によれば軍の関係者がこの爆薬は興味があるが液体爆薬は不安定であるから注意しなければならないといっているとのことである。

あるが液体爆薬は不安定であるから注意しなければならないといっているとのことである。

(Chem. Week 4-27-68, p.40) 木村 真