

爆発ガスの準静的圧力によるぜい性材料の破壊

佐々 宏一*・伊藤 一郎*・花崎 紘一*

球形のコンクリートブロックの中央にある球形装薬室内で燃速の遅い火薬が爆発したと仮定した場合に、生成するき裂の数やその進展状況が薬量の変化によつてどのように変化するかを有限要素法による応力解析結果を用いて検討することによつて、爆発ガスの圧力によるぜい性材料の破壊機構を推論し、さらにセメントモルタルブロックを燃速の遅い火薬を用いて破壊する実験を実施し、上記の推論が妥当であることを確かめた。

その結果、コンクリートブロックの中央で燃速の遅い火薬を爆発させてブロックを破壊する場合に、薬量が減少するにつれて破砕片の数が少なくなるという現象は、装薬室を中心として半径方向に進展しているき裂がブロック表面まで達し、ブロックを分離するまでに、き裂の内部へどれだけ深くまで爆発生成ガスが進入しなければならないかというき裂内へのガスの進入深さと関係していることなどを明らかにした。

1. 結 言

内部装薬爆破の場合のように、材料内部で爆薬を爆発させたときに発生する破壊には、爆轟衝撃によつて材料内へ投射された強力な波動による動的な破壊と、爆轟後かなりの時間装薬室内に作用している爆発生成ガスの圧力による準静的な破壊とが重畳しているものと考えられる¹⁾。一方、爆轟衝撃によつて材料内へ投射される応力波の応力最高値は作用する圧力の立ち上り時間（圧力が作用しはじめてから最高値に達するまでの時間）と密接な関係にあり、一般に、立ち上り時間が長くなるにつれて波動による応力の最高値が減少する²⁾。したがつて、圧力の立ち上り時間が比較的長いと考えられる燃速の遅い火薬類が材料内で爆発した場合に発生する波動の大きさは、ダイナマイトなどの爆薬が爆轟した場合に発生するそれよりもはるかに小さくなる。このことは、燃速の遅い火薬類の一種であるコンクリート破砕薬をセメントモルタルブロック内で爆発させ、それに起因するブロック側面の変位を測定してどのような波動が発生するかを調べた実験結果によつて確かめられている³⁾。したがつて、燃速の遅い火薬類を材料内で爆発させた場合には、材料は主として爆発生成ガスの圧力による準静的な応力によつて破壊するものと考えられることができる。

さて、爆発生成ガスの圧力が装薬室内に作用した場合に、接線方向に作用する引張応力によつて半径方向に進展するき裂が発生し、材料が破壊されるが、こ

の半径方向に進展するき裂によつて材料が破壊する様相を検討するためには、き裂の発生およびその進展にともなつて材料内の応力状態がどのように変化するかを知る必要がある。き裂生成後の材料内の応力状態を理論的に求めることはかなり困難であるが、近年、電子計算機の進歩とともに発達した有限要素法を用いればこのような複雑な条件の場合の応力状態も解析することができる⁴⁾。

一般に、立方体の無筋コンクリートブロックの中央に燃速の遅い火薬類を装填して起爆し、ブロックを破壊する実験を薬量を変化させて行なうと、ブロックにやつとき裂が入る程度の薬量の場合にはブロックは一つのき裂によつて2個に分離するが、薬量を増加させるとそれに応じて順次破砕片の数が多くなり、10~15個程度にまで達するという結果が得られることが多い。そこで、今回はこのような薬量の変化にともなう破壊の様相の変化が何に起因するかを有限要素法による応力解析結果と実験結果とを対比して検討することによつて解明し、さらにガス圧によるぜい性材料の破壊現象の一般的な性質についても検討したので、それらの結果について報告する。

2. 応力解析および結果

立方体のコンクリートブロックの中央に装填した火薬類を爆発させてブロックを破壊する場合に使用する薬包の薬長と薬径との比は一般にそれほど大きくないので、今回は球状装薬と仮定して応力解析を行なうことにした。

弾性理論によれば、無限の拡がりをもつと考えられ

昭和46年10月30日受理

* 京都大学工学部資源工学教室、京都市左京区吉田本町

る材料内に設けられた半径 a の球形空洞に P_0 なる大きさの圧力が作用した場合に、材料内の任意の点に発生する半径方向の応力 σ_r および接線方向の応力 $\sigma_\theta (= \sigma_\phi)$ は次式ようになる。

$$\sigma_r = -(a/r)^3 P_0 \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_\phi = 0.5(a/r)^3 P_0 \quad (2)$$

ここに r は内圧の作用する球形空洞の中心から任意の点までの距離である。いま、内圧 P_0 の値が時間とともに徐々に増大する場合を考えてみると、岩石のような脆性材料の引張強度は圧縮強度に比してかなり小さいので P_0 の値がその材料の引張強度の2倍となったときに空洞壁面上の引張応力の値が材料の引張強度に達するので、(式(2)参照)、空洞壁面から半径方向に進展するき裂が発生することになる。この半径方向に進展するき裂が発生する位置は空洞が完全な球形であり、かつ、材料の強度が全く均一であれば不定でありき裂も無数となると考えられる。しかし、実際には空洞の形状は完全な球形ではあり得ず、さらに、材料の引張強度も壁面上のいたる所で全く同一ということもあり得ないので、 P_0 の値がその材料の引張強度の2倍の値に近づくとき空洞壁面上の最も弱い箇所から半径方向に進展するき裂が生成することになる。このように、ある方向にき裂が生成すると、そのき裂を含む面上の面に直交する方向の引張応力が増大するので、そのき裂は Fig. 1 に示すように球形空洞の中心を通り最初に発生したき裂を含む面内を進展するき裂となり、その先端は球形空洞の中心を中心としてほぼ同心円状に広がることになる。そこで今回は、Fig. 1 に示したようなき裂が発生した場合に材料内にどのような応力状態が発生するかを有限要素法を用いて解析した。応力解析は半径 a の球形装薬室が半径 $47a$ の球形コンクリートブロックの中央にある場合について、Fig. 1 に示した Z 軸を対称軸 (回転軸) とした軸対称問題として行なった。

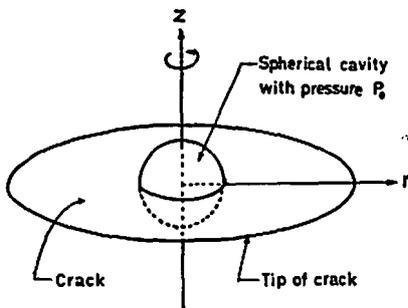


Fig. 1 Configuration of spherical cavity and crack.

装薬室の壁面から半径方向に発生したき裂が進展す

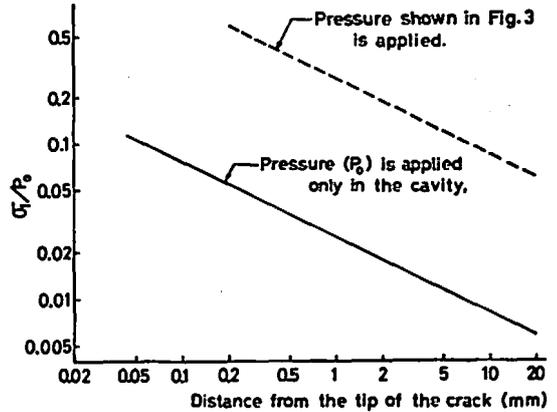


Fig. 2 Relation between the maximum principal stress and the distance from the crack tip along the line perpendicular to the crack when the tip is on the circle of $r = 12.7a$.

るか否かは、き裂先端の応力値と材料の強度とによって決定されるが、き裂先端の応力値はき裂先端の曲率によって変化し、さらにき裂先端近傍においては脆性材料の非弾性的な性質が実際の応力分布にはかなり影響をおよぼしているものと考えられる。しかし、今回はとりあえず、材料を弾性体とみなし、き裂先端の曲率は無限大であると仮定した場合について、き裂先端近傍の要素の大きさを逐次小さくして応力解析を行ない、き裂の先端に近づくにつれてどのように応力値が増大するかをまず計算した。その結果の一例を示したのが Fig. 2 であつて、これは Fig. 1 に示したような円板状のき裂の先端が $r = 12.7a$ の円周上にある場合について、き裂面に垂直な線上の引張主応力 (σ_1) の大きさが外側からき裂の先端に近づくにつれてどのように増大するかを示したものである。なお、図に示した実線は P_0 なる大きさの内圧が装薬室壁面にのみ作用して、き裂内へはガスが進入していない場合の計算結果であり、点線は、 P_0 なる大きさの圧力が装薬室壁面に作用するとともに、さらにき裂内には装

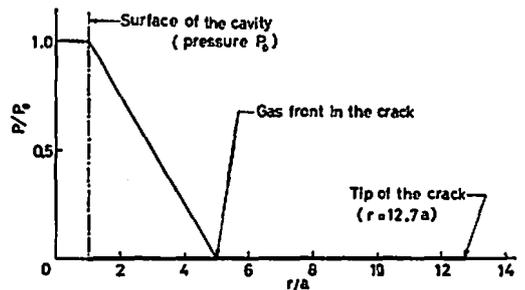


Fig. 3 Pressure in the crack.

薬室の壁面からき裂長さの 1/3 の位置 ($r=5a$ の位置) にまで爆発生成ガスが進入しており, Fig. 3 に示したような進入深さに比例してその値が減少する圧力がき

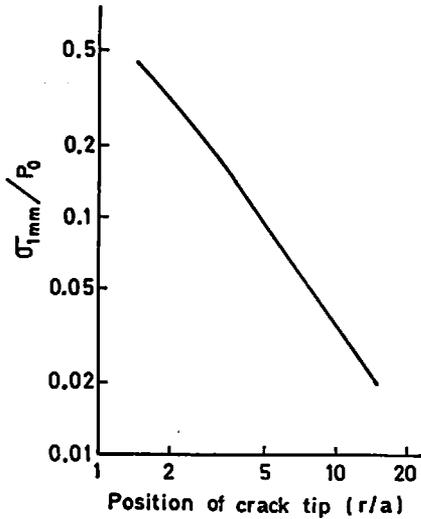


Fig. 4 Decrease of the stress at 1 mm from the crack tip with development of the crack.

— : Pressure (P_0) is applied only in the cavity.
 - - - : Pressure shown in Fig.3 is applied.

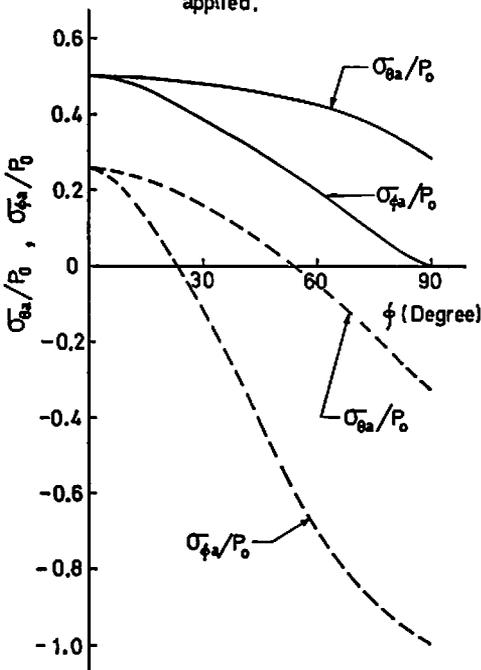


Fig. 5 Stresses on the surface of the spherical cavity when the crack tip in $r\theta$ plane is on the circle of $r=12.7a$.

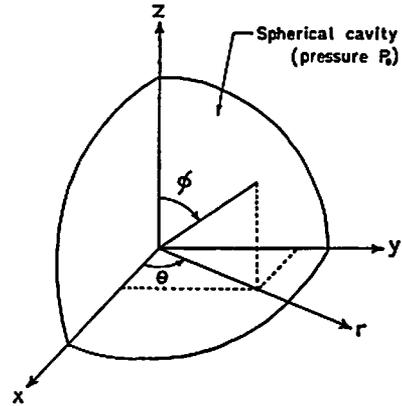


Fig. 6 Coordinate used to explain the stress condition on the surface of the cavity.

裂内壁に作用している場合の計算結果である。Fig. 2 より, き裂の先端のごく近傍の引張主応力の大きさはき裂の先端からの距離のほぼ平方根に逆比例して変化することがわかる。Fig. 4 は, Fig. 2 に示したき裂先端からの距離と応力値との関係を用いて圧力が装薬室の壁面のみ作用している場合について, き裂が進展するにつれてき裂の先端からき裂面に直交する方向に 1 mm だけ離れた点に生ずる引張主応力 (σ_{1mm}) の値がどのように変化するかを示したものである。さらに Fig. 5 は, き裂の先端が $r=12.7a$ の円周にある場合について, 内圧の作用する球形空洞壁面上の θ 方向の応力 $\sigma_{\theta a}$ の値および ϕ 方向の応力 $\sigma_{\phi a}$ の値を示したものであつて, ϕ は Fig. 6 に示すように Z 軸からの角度である。したがつて, $\phi=90^\circ$ の面がき裂面 ($r\theta$ 面, XY 面と同じ) となる。なお, 実線および破線は Fig. 2 の場合と同様で, 実線が空洞内だけに圧力が作用している場合の応力状態であり, 破線がき裂内にガスが進入し, Fig. 3 に示した圧力が作用している場合の結果である。つぎに, これらの計算結果から推定される破壊の様相について考察してみることにする。

3. 解析結果から推定される破壊の様相

燃速の違い火薬類の中で比較的燃速が遅く, 爆発圧力も低いと考えられるコンクリート破砕薬でも, その爆発圧力はほぼ $1,000 \text{ kg/cm}^2$ であるから²⁾, 火薬類の爆発によって装薬室内に作用する圧力の最高値は一般のぜい性材料の引張強度の 10 倍以上となる。そこで, まず, ぜい性材料の引張強度の 10 倍以上の大きさまで時間とともに増大する圧力が球形空洞内だけに作用する場合について考えてみることにする。前節にも示したように, このような圧力が作用した場合には, その圧力値が材料の引張強度 (S_t) の 2 倍となつた時に壁面上に生ずる引張応力の値が材料の引張強度に達する

ので、球形装薬室の壁面上で最も弱い所からき裂が発生し、一つのき裂面を形成することになる。しかし、このき裂の先端に発生する引張応力の値はき裂が進展するにつれて減少するので、き裂がある程度進展するとその値は $0.5 P_0$ 以下となってしまう。このことは Fig. 2 および Fig. 4 に示した結果から理解することができる。したがって、装薬室壁面上の最も弱い所から発生したき裂はその先端に発生する引張応力の値が $0.5 P_0$ となる位置まで進展してしまえばそれ以上は内圧の値が $2S_i$ よりも大きくならなければ進展し得なくなる。一方、Fig. 5 に示したように、装薬室壁面上の $\phi=0^\circ$ の位置、すなわち、まず最初に発生したき裂の面と直交する Z 軸と装薬室壁面との交点の位置の応力値はき裂が発生しても変化せず、 $0.5 P_0$ という引張応力となっている。このことは、装薬室壁面上の最も弱い点を含むき裂がまず発生したとしても、そのき裂の先端に発生する引張応力の値はき裂が進展するにつれて減少するので、き裂がある程度進展すれば装薬室壁面上に発生している引張応力の最高値 ($\phi=0^\circ$ の位置の $\sigma_{\phi a} (= \sigma_{\theta a})$ でその値は $0.5 P_0$) の方がき裂先端に発生している引張応力の値よりも大きくなる。したがって、上記の第 1 のき裂がまず発生してもそれに引きつづいてすぐ $\phi=0^\circ$ の位置に発生している $\sigma_{\phi a}$ によって第 1 のき裂に直交する第 2 のき裂が発生し、進展するものと考えることができる。さらに、Fig. 5 に示した $\phi=90^\circ$ の位置における $\sigma_{\theta a}$ の値がほぼ $0.3 P_0$ であるという計算結果と、き裂の先端が $r=2a$ の位置まで進展したときにき裂の先端から 1 mm の位置における引張応力の値が $0.3 P_0$ であるということ (Fig. 4 参照)、および、き裂先端に発生する引張応力の値はき裂の長さが同じであつてもき裂の数が多くなるにつれて減少するという計算結果⁶⁾ などから考えて、上記の 2 つのき裂がそれほど進展しないうちにこれらのいずれとも直交する第 3 のき裂が発生するものと考えることができる。すなわち、Fig. 6 に示した XY 面内にまず第 1 のき裂が発生したとすると、それに引き続いてすぐ XY 面上を進展するき裂が生成し、その後少し遅れて YZ 面上を進展するき裂が発生し、これら 3 つのき裂はその先端に発生する引張応力の値が材料の引張強度にまで低下する位置まで進展することになる。

以上の検討の結果から、装薬室内のみに圧力が作用しているという条件で生成するき裂がブロックの表面まで達し、ブロックが分離する場合 (装薬量が多い場合) には、ブロックは Fig. 7 に示すように 3 つのき裂によつて 8 個に分離することになり、またき裂は圧力の立ち上り時間内に完成するものと考えられるか

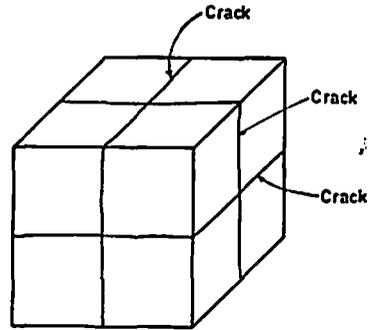


Fig. 7 Pattern of the cracks presumed from the stress analysis in the case that the cracks have been completed by only the pressure in the cavity.

ら、装薬室の壁面に圧力が作用しはじめてからき裂が完成し破砕片が移動を開始するまでに要する時間はかなり短かいであろうと推定することができる。なお、実際の爆破の場合には、材料が不均質であるためにき裂は互いに直交するとはかぎらないので、生成する破砕片の数は 8 ~ 15 個程度となるものと考えられる。

つぎに、装薬室の壁面のみに圧力が作用しているという条件で生成するき裂がブロックの表面まで達しない場合 (装薬量が少ない場合) について考えてみる。装薬室壁面上のみに圧力が作用しているという条件で生成するき裂の長さは近似的には装薬室内にその火薬の爆発圧力の最適値 (P_{max}) が作用したときに生成するき裂の長さで規定され、そのき裂は爆発圧力が最高値に達したときに完成すると考えられる。一方、爆発生成ガスの圧力は最高値に達した後は温度低下と膨張とによつて時間とともにその値は減少するが、かなりの時間装薬室内に作用していると考えられる。この爆発生成ガスは当然すでに生成しているき裂内へ進入するから、き裂によつて発生した面 (き裂の内面) にも圧力が作用することになり、この圧力によつて、Fig. 2 に示した計算結果からも明らかなように、き裂の先端の引張応力の値が上昇するから、装薬室内に作用している圧力の値が P_{max} より低下してもき裂はさらに進展することになる。このように、装薬室内の圧力が P_{max} に達した後に成長するき裂がどこまで進展するかはガスの圧力値およびき裂内へどこまでガスが進入するかの両者によつて規定され、一般にガスが進入する深さが深くなるにつれてき裂の長さも長くなる。

一方、き裂内へ進入したガスの圧力による影響としては、上記のようにガスが進入したき裂の先端の応力値を上昇させるという効果のほか、ガスの進入深さが異なるき裂が混在している場合には、深くまでガスが進入しているき裂内に作用しているガス圧はそのき

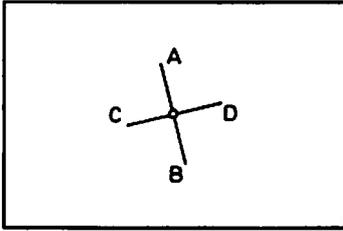


Fig. 8 Pattern of the cracks just before the gas penetration into the cracks.

裂よりガスの進入深さが浅い他のき裂の先端の引張応力を低下させるとともに、そのき裂の幅を小さくしてガスの進入速度を低下させようとする効果がある。この効果は、Fig. 5 に示したガスがき裂内に進入した場合の装薬室壁面上の応力状態にも現われている。すなわち、 $\phi=90^\circ$ の位置に発生する $\sigma_{\theta\theta}$ の値はき裂内へのガスの進入によって引張応力から圧縮応力へと変化しており、さらに、 $\phi=0^\circ$ の位置では $\sigma_{\theta\theta}$ および $\sigma_{\phi\phi}$ の値がガスが進入していない場合のほぼ 1/2 に低下している。このことからたとえば、XY, YZ, ZX 面内を進展している3つのき裂のすべてにガスが進入している場合でも、たとえば XY 面内にあるき裂内へ最も深くガスが進入しているとすると、そのガス圧は YZ および ZX 面内にあるき裂の進展を妨害するように作用するものと推定することができる。したがってたとえば、装薬室壁面のみならず平面内に Fig. 8 に示したような様相のき裂が発生したとすると、き裂 AB の先端の方がき裂 CD の先端よりもより自由面に近いために、装薬室内に作用している圧力によって開いている装薬室壁面上のき裂の幅はき裂 AB の方が大きくなる。したがって、き裂 AB 内へ進入するガスの進入速度の方がき裂 CD 内へ進入するそれよりも大きくなるから、き裂 AB 内へ進入したガスの先端の位置の方がき裂 CD 内のそれよりも遠くなる。よって、き裂 AB の方がより長く進展するとともに、き裂 AB 内に進入したガスの圧力はき裂 CD の幅を減少させるように作用することとなり、き裂 CD 内へのガスの進入速度はますます低下し、き裂 AB の長さとき裂 CD の長さとの比はき裂 AB 内へ進入するガスの深さが深くなるにつれて増大するものと考えられる。したがって、やつとブロックを分離しようという装薬条件の場合の破壊は、き裂内へかなり深くまでガスが進入したときにはじめてき裂 AB が自由面に達したという場合に対応しているから、一つのき裂によってブロックは2個に分離し、装薬室内に圧力が作用しはじめてからブロックが分離するまでにはかなりの時間がかかるものと推定すること

ができる。

さらに上に述べたような検討の結果から考えて、上記の2条件の中間の場合、すなわち、装薬室内のみに圧力が作用するという条件ではき裂は自由面まで達しないが、き裂内に深くまでガスが進入しなくてもき裂が自由に到達するような場合には、装薬室内に圧力が作用しはじめてからき裂が完成するまでに要する時間も短くなると考えられ、さらに、き裂内へ進入するガスの深さが短かければき裂内へ最も深く進入しているガス圧によって他のき裂の幅が狭められるという効果もそれほど顕著に現われないので、分離するブロックの数もき裂を完成させるのに要するガスの進入深さが短くなるにつれて多くなると推定することができる。

4. 実験による検証とその考察

前節においては、コンクリートブロックをコンクリート破砕薬のような燃速の遅い火薬類を用いて破砕する場合には、装薬量を順次増加させると分離する破砕片の数が多くなるという現象を応力解析結果を用いて説明したが、さらに上記の推論を確かめるために、セメントモルタルブロック内で燃速の遅い火薬類を爆発させ、それによって生成した破砕片の数と破砕片が移動を開始するまでの時間との関係を測定する実験を実施した。

実験に際しては、セメントモルタルブロックのほぼ中央に燃速の遅い火薬類を装填し、セメントモルタルを用いてタンピングを行ない、それが固結したのちに点火してセメントモルタルブロックを破砕するとともに装薬の中心から相対するブロックの2側面に下した

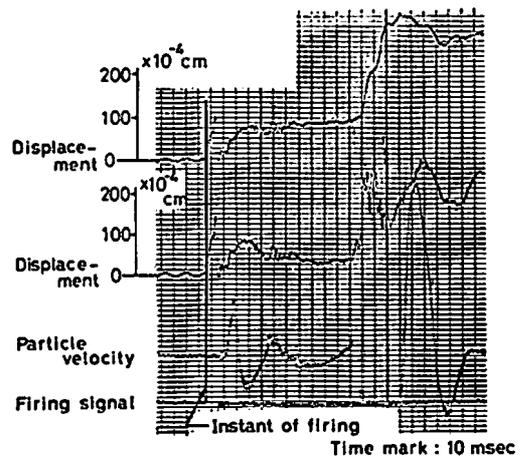


Fig. 9 An example of oscillograms of displacements and particle velocity at block surface in the case that the block is broken in two pieces.

垂線とブロック側面との交点の位置での変位を容量型微小変位計を用いて測定した。

得られた結果の一例として、まず Fig.9 は、ブロックが一つのき裂によつて2個に分離した場合に得られた変位記録の一例を示したものであつて、変位記録の基線より上方への振れがブロック側面がふくらむ方向への変位に対応している。

Fig.9において、通電からほぼ15 msec 経過したときから発生しはじめ、ほぼ30 msec 経過したときに一つのピークを形成しているほぼ70ミクロンの変位は、装薬室内に圧力が作用したことによつて生じた壁面のふくらみに対応し、通電後ほぼ120 msec 後に現われている300ミクロン以上の大きな変位は、き裂がブロックの壁面まで達してブロックが分離し、移動を開始したために生じたブロックの剛体変位である。したがつて、Fig.9に示した記録より、ブロックが2個に分離する場合には、装薬室内に圧力が作用しはじめてからき裂が完成するまでにかかりの時間がかかっていることがわかる。Fig.10は、ブロックが2個に分離した場合について、圧力が作用しはじめてからブロックが分離して移動を開始するまでの時間と生成したき裂の幅との関係を示した図である。Fig.10に示した結果は、き裂内に深く爆発生成ガスが進入してやつとブロックを分離しようような条件の場合には、き裂が完成した時にはガスの圧力はかなり低下しているために、き裂によつて分離したブロックをそれほど移動させる

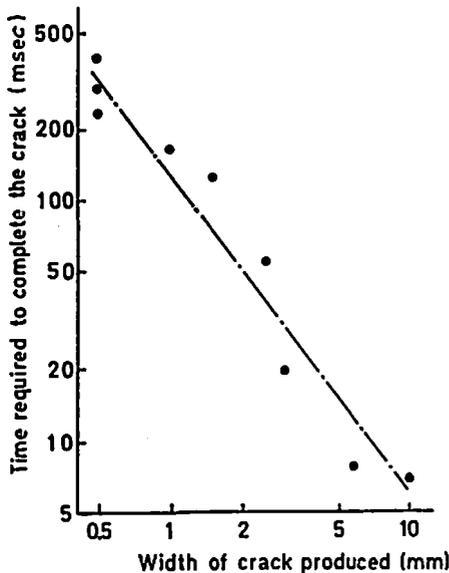


Fig. 10 Relation between the time required to complete the crack and the width of the crack in the case that the block is broken in two pieces.

ことができず、したがつて生成するき裂の幅も小さくなることを示しており、この結果は、前節で詳しく述べた破壊の様相についての解析結果からの推論が妥当であつたことを裏づけているものと考えられる。

つぎに、セメントモルタルブロックが2個以上に分離した場合に得られた記録の一部を Fig.11 および Fig.12に示したが、これらの記録から、ブロックが3個以上に分離した場合でも、装薬室内に作用する爆発圧力の最高値に対応する一つのピークが変位記録に現われてから破砕片が移動を開始するまでにき裂内へのガスの進入時間に対応する破壊遅れ時間が存在することがわかる。この破壊遅れ時間は Fig.11 に示した3個に破壊した場合には1.6 msec であり、Fig.12に示した7個に破壊した場合には0.5 msec である。なお、ブロックが15個に破壊した場合の変位記録には、Fig.11, Fig.12に示した記録に見られるようなステップ現

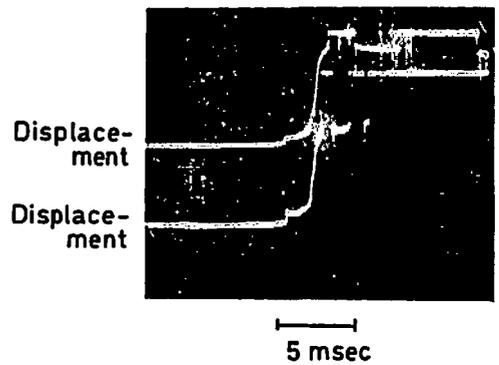


Fig. 11 An example of oscillograms in the case that the block is broken in three pieces.
(Gas penetration time : 1.6msec.)

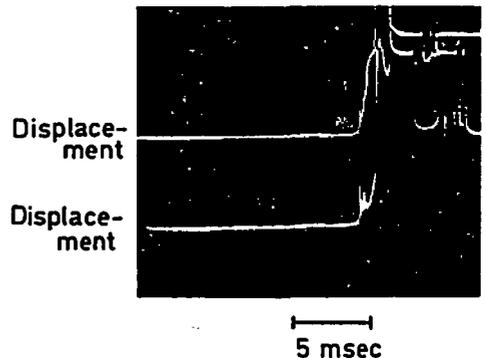


Fig. 12 An example of oscillograms in the case that the block is broken in seven pieces.
(Gas penetration time : 0.5 msec.)

象は認められず、破壊遅れ時間は零であった。Table. 1 は実験によつて得られた破壊遅れ時間と生成した破砕片の数との関係を示したものであるが、Fig. 11, Fig. 12 および Table 1 より破砕片の数が多くなるにつれて破壊遅れ時間が短くなること、したがつて、破砕片の数はき裂内へのガスの進入深さと関係があるということを明瞭に理解することができる。このこともまた、前節の解析結果から推定した破壊機構が正しいことを裏づけている。

Table 1. Relation between the time which is required to penetrate the gas into cracks and the number of broken pieces.

Number of pieces	Gas penetration time(msec)
3	1.6
6	0.7
7	0.5
8	0.3
15	0

5. 結 言

一般に、無筋コンクリートブロックの中央に燃速の遅い火薬類を装填して起爆し、ブロックを破壊する実験を薬量を変化させて行なうと、ブロックにやつとき裂が入る程度の薬量の場合には、ブロックは一つのかき裂によつて2個に分離し、順次薬量を増加させると破砕片の数が多くなり、10~15個程度にまで達することが多い。そこで今回は、このような薬量の変化にともなう破壊の様相の変化を、まず有限要素法による応力解析結果を用いて説明することによつて、爆発ガスの圧力による材料の破壊機構を推論した。ついで、セメントモルタルブロック内で燃速の遅い火薬類を爆発させ、それによつて生成した破砕片の数と装薬室内に圧力が作用しはじめてからき裂が完成し破砕片が移動を開始するまでの時間との関係を測定する実験を実施し、応力解析結果から推論した破壊機構について検証した。

得られた結果を総括して示すとつぎのとおりである。装薬量が多く装薬室の壁面のみに圧力が作用しているという荷重条件、すなわち、爆発圧力がその最高値に達するまでに生成したき裂によつてブロックを分

離しうるような装薬条件の場合には、ブロックは多くのき裂によつて8~15個程度に分離する。しかし、装薬室内に爆発圧力の最高値が作用したときに生成しているき裂がブロックの表面まで達していない場合には、その後はき裂は装薬室内に作用している圧力とき裂内へ進入した爆発ガスの圧力とによつて進展することになる。したがつて、き裂がどこまで進展するかは装薬室内およびき裂内に作用している爆発生成ガスの圧力の値と、き裂内にどこまで深くガスが進入するかの両者によつて規定される。さらに、あるき裂内へかなりの深さまでガスが進入すると、このガス圧はガスの進入深さが浅い他のき裂の幅を減少させるように作用するので、それぞれのき裂内へ進入したガスの先端の位置の差違は、ある特定の一つのき裂内へ進入したガスの深さが深くなるにつれて大きくなる。したがつて、ブロック表面までき裂を進展させるために要求されるガスの進入深さが深くなるにつれて生長するき裂の数が減少するので、生成する破砕片の数も少なくなり、装薬室内に圧力が作用しはじめてからき裂が完成するまでに要する時間も長くなる。このことは実験的にも確かめられている。

なお、今回実施した応力計算は京都大学大型計算機センターにある電子計算機 FACOM 230-60 を使用して行なつたものである。また、セメントモルタルブロックを火薬類を用いて破壊する実験は、西松建設株式会社、旭化成工業株式会社雷管工場および日本油脂株式会社武豊工場と共同して実施したものである。ここに記して感謝する次第である。さらに、今回の応力解析は当時学生であつた植出和雄君の協力を得て実施したことを附記しておく。

文 献

- 1) 例えば、材料学会編：岩石力学とその応用、341頁~362頁、丸善、1966
- 2) 伊藤、佐々、谷本：材料、20巻、209号、203~208頁、1971
- 3) 伊藤、佐々、谷本：土木学会論文報告集、投稿中
- 4) 伊藤、佐々、谷本：工業火薬協会誌、32巻、第1冊、13頁~17頁、1971
- 5) 佐々、谷本、伊藤：工業火薬協会昭和44年秋季研究発表会講演要旨集
- 6) 参考文献 4)

Breakage of Brittle Material by Quasi-Static Pressure of Explosion Gas

by Koichi Sassa,* Ichiro Ito* and Koichi Hanasaki*

An explosive of a low deflagration velocity breaks a brittle material mainly by the gas pressure. The mechanism of this breakage is discussed with the aid of the stress analyses by the finite element method. Experiments are carried out to prove the above mechanism.

The results are shown briefly below. In the case that the tips of the cracks which had been produced by only the pressure acting in the cavity have reached to the surface of the block, namely, the cracks are completed before the pressure in the cavity attains its maximum, the block is separated in many pieces. And in the case that the cracks do not reach yet to the surface at the instant when the pressure in the cavity attains its maximum, the cracks grow further by the penetration of the explosion gas into the cracks although the pressure is lower than its maximum. In this case, the final length of the cracks depends on both the pressure and the depth of the gas penetration, and the number of the cracks is also determined by the depth of the gas penetration. Therefore, the number of the broken pieces produced by a blasting with an explosive of a low deflagration velocity increases with the charge weight.

(*Faculty of Engineering, Kyoto University, Kyoto, Japan.)

ニュース

スクラップとなつた鋳型の爆破による破壊
スクラップとなつた鋳型はキュボラやLD転炉に用
いるためにできるだけ小さくすることが要求されて
きた。
キュボラでは銑鉄の代りに、LD転炉ではスクラ

ップの代りに用いられる。水中で爆破したあと機械
的に破碎するとキュボラ用細片が95%の歩留りで
製造され機械的方法よりも安価になつた。
J. H. John, J. Iron & Steel Inst. 209 [2] 96
—99 ('71) (木村 真)