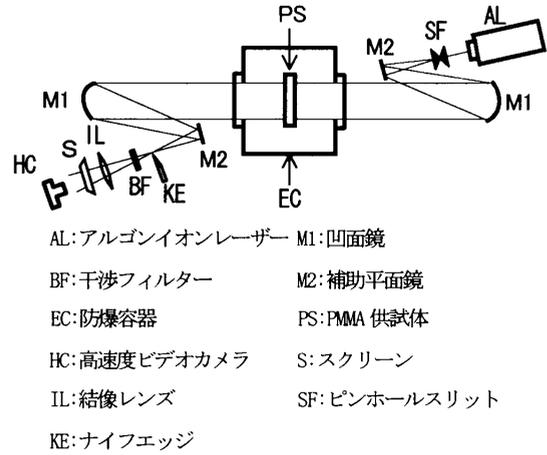


## 爆破に伴う応力波とき裂の連続可視化観察とき裂制御への応用

八代高専, 旭化成ジオテック(株)<sup>1)</sup> 正会員中村裕一, 藪健治, 桐谷能生, 山本雅昭<sup>1)</sup>, 松永博文<sup>1)</sup>

### 1. はじめに

爆破に伴う応力波, 爆発ガス, き裂進展を高速撮影観察することによって, 高精度で効率的なき裂制御爆破工法を確立するための有益な情報を得ることができる。爆破現象を解明するためには, 応力波とき裂挙動を同時に高速撮影することができれば, 非常に有効となる。このため, 本研究では, 高速ビデオカメラとアルゴン・イオンレーザーを光源に使用したシュリーレン法による連続可視化画像観察を行っている。本報告では, 連続可視化画像撮影システムの概要, これを使用して行った切り欠きを有する円孔と干渉する応力波とき裂の挙動, き裂と応力波の干渉挙動の可視化観察結果や, き裂制御爆破工法の有効性に関する実験結果を示す。



AL:アルゴンイオンレーザー M1:凹面鏡  
BF:干渉フィルター M2:補助平面鏡  
EC:防爆容器 PS:PMMA 供試体  
HC:高速ビデオカメラ S:スクリーン  
IL:結像レンズ SF:ピンホールスリット  
KE:ナイフエッジ

図-1 光学系装置の配置

### 2. 実験装置及び実験方法

#### 2.1 連続可視化観察のための装置及び方法

可視化観察法として, アルゴン・イオンレーザー (最大出力 4W) を光源に使用したシュリーレン法における光学系の配置を図-1 示す。2 個の凹面鏡 (焦点位置 1.5m, 有効径 20cm) を用いた 2 面対向法である。光源からの光は補助平面鏡, 凹面鏡を経て平行光線となり, 供試体中を通過する。供試体中の密度変化によって生じる光の濃淡は受光側の凹面鏡, 補助平面鏡によって再び集光されたのち, 結像レンズによってスクリーン上に映し出される。この可視化画像は, 高速ビデオカメラによって記録される。使用した高速ビデオカメラはデジタルメモリー方式の画像記録装置で, トリガー機能によって爆破現象に同期させて簡単に画像記録ができる。可視化観察のモデル実験には, 爆破実験における供試材料としてその有効性が認められている PMMA 板を使用した。本実験では, 現象と計測システムとの同期の点から, 起爆遅れのバラツキが少ない地震探鉱用電気雷管 (6 号) を装薬として使用した。岩質材料における爆破き裂の挙動を観察するためにモルタル供試体を作成し使用した。この実験では, 供試体表面は 2 個のハロゲンランプで照明される。

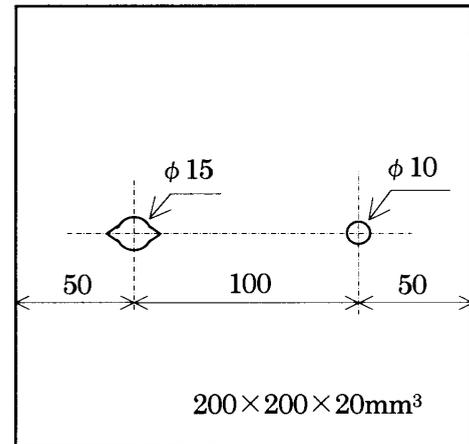


図-2 PMMA 供試体の形状

#### 2.2 爆破き裂制御のための方法

##### (1) 切り欠きを有するガイドホールを使用する方法

装薬孔に近接して円孔のガイドホール (空孔) を設けておくと, その方向へ爆破き裂を進展させることができるといわれているが, その効果の評価については幅があり, ガイドホールのき裂制御のメカニズムについても十分な解明がなされていない。本報告では, 可視化実験の成果に基づいたき裂制御方法として, 切り欠きを有す

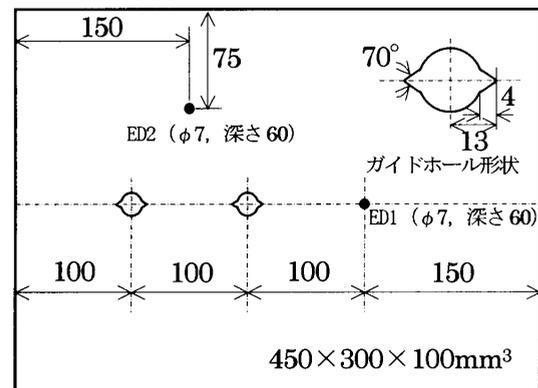


図-3 モルタル供試体の形状

キーワード: 爆破き裂制御, 可視化観察, ガイドホール, 応力波

〒866-8501 八代市平山新町 2627, 電話 0965-53-1334, FAX0965-33-1349

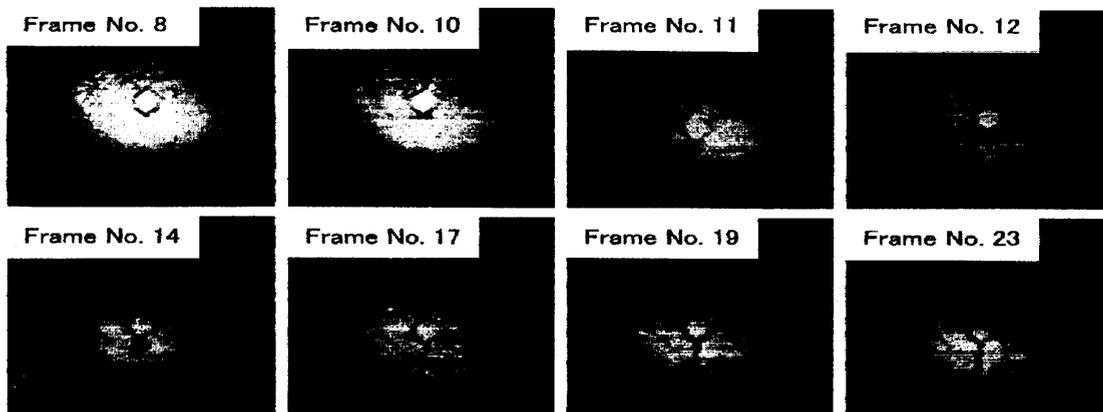


写真-1 切り欠きを有するガイドホールと応力波の干渉挙動の可視化ビデオ画像  
(ビデオ撮影速度:40500f/s)

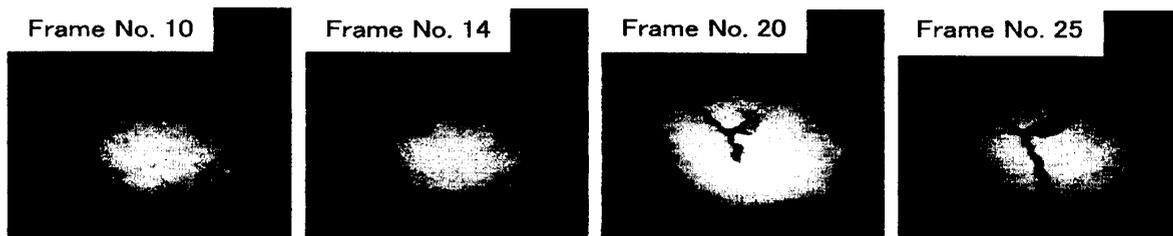


写真-2 伝播するき裂と応力波の干渉によって生じる PMMA 供試体中のき裂挙動を示す高速度ビデオ画像  
(ビデオ撮影速度:40500f/s)

るガイドホールを使用する方法が有効であることを示す。図-2 に、切り欠きを有するガイドホールを使用した PMMA 供試体の形状を示す。

### (2) 破断面制御のための時間制御起爆

図-3 は、装薬 ED1 の起爆によって、切り欠きガイドホールによるき裂方向制御を実現し、次に、ED2 の時間制御起爆によって、破碎域を爆破し、破断面制御を行うことを意図した爆破モデル実験に使用したモルタル供試体の形状を示している。本実験において、ED1 の装薬孔には、切り欠き円孔とスプリットチューブが組み合わせて使用されている。また、き裂方向制御が実現できると、き裂と応力波の干渉現象の可視化観察が可能となる。

### 3. 実験結果及び考察

写真-1 から 2 は、記録したビデオ画像をビデオプリンターで出力したものである。起爆回路と高速度ビデオカメラの同期時刻はフレーム番号が-1 から+1 になる間であり、装薬として使用した地震探鉱用電気雷管の起爆遅れがあるので、爆破現象は約  $120\mu$  秒後に生じることになる。起爆遅れのバラツキは $\pm 10\mu$  秒程度である。

写真-1 は、図-2 の PMMA 供試体を使用して可視化観察したビデオ画像である。写真上側から下側へ爆源から伝播する応力波と切り欠きを有するガイドホールの干渉挙動が撮影されている。円孔壁面の周囲に不透明の領域が生じ、応力波の通過に伴って、その領域が移動する。その後、両端の切り欠き先端部分に強い応力集中を示すシャドウスポットが生じ、それらは互いに逆向きに予定破断面に沿って伝播することがわかる。写真-2 は、伝播するき裂と応力波の干渉によって生じる PMMA 供試

体中のき裂挙動を示す高速度ビデオ画像である。10 コマ目で ED1 の応力波と、切り欠きを有するガイドホールが干渉し、切り欠きを有するガイドホールの切り欠き部分から、前後にき裂が伸びる。その後、ED2 が起爆する。20 コマ目で ED1 で入ったき裂と ED2 の応力波が干渉し、ED1 によって生じたき裂から ED2 の爆源方向へ新たなき裂が生じた。これは、応力波と伝播するき裂の干渉効果と考えられる。この実験より、き裂進展方向の制御を行い、そのき裂に応力波をうまく干渉させる事によって、破碎性を高められるのではないかとと思われる。図-3 のモルタル供試体を使用した 2 段階制御起爆実験では、ED1 の起爆と切り欠きを有するガイドホールによって、予定破断面に沿ってき裂が進展し、遅延時間  $1.3\text{ms}$  に設定された ED2 の起爆による爆源からのき裂は、予定破断面を越えて進展しないことがわかった。これにより、モルタル中における切り欠きを有するガイドホールのき裂制御への有効性と、破断面形成のための時間制御起爆の有効性が明らかになった。

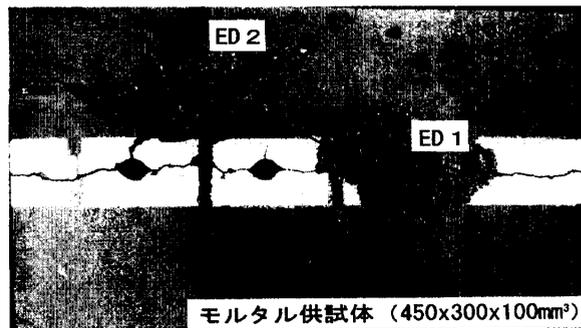


図-4 モルタル供試体