

## アクティブモーメントムトラップを用いた材料の爆縮・回収装置の開発

安部尊之\*, 吉田正典\*\*, 廣江哲幸\*\*\*,  
松尾日出男\*\*\*, 藤原和人\*\*\*

筆者らは予備実験結果を基に、一次元円筒状収束爆轟波によって固体中にテラパスカル級の超高压を発生させる円筒状収束波発生装置の開発を行った。強い収束衝撃波発生のために主爆薬に高性能爆薬 PBX(plastic bonded explosive)を使い、これを周囲から一斉起爆するために銅細線列の線爆発による PETN(pentaerythritol tetranitrate)の面爆轟波発生装置を用いている。円筒状収束衝撃波発生実験の結果、精度の良い収束衝撃波の発生に成功し、数値シミュレーションと比較して理論検討も行った。また、この円筒状収束波発生装置の中心軸に設置した試料の周りに液体爆薬層を設け、その爆発によって収束衝撃波後方からの膨張波を遮断する回収システム(active momentum trap: AMT)を新たに考案し、極限的な材料圧縮を可能とする装置の開発を行い試料の回収に成功した。これらの結果から、本研究で開発した極限圧縮装置は従来の爆縮装置では到達できなかった超高压領域における材料の圧縮と回収を可能とし、今後高压物性研究や材料合成などへ有効に応用できるものと考えられる。

### 1. 緒言

固体・粉体中に一次元の強い円筒状収束衝撃波を発生させれば、その中心軸近傍に容易に超高压を生成することができ、高压物性や新材料合成の手段として応用できる。平行銅細線列の一斉爆発を用いた面爆轟波発生装置を利用すれば比較的簡単な装置でこのような収束波を生成できる。

そこで筆者らは過去に、並行銅細線列起爆法を用い、主爆薬に PETN, PETN/SR(70/30), PBX80U を用いた円筒状収束衝撃波発生実験を行った<sup>1)2)</sup>。しかし、平行銅細線列起爆法の製作精度上の問題や爆轟波の一次元性についての問題、主爆薬が定常爆轟に到達していない可能性などが指摘された。そこで、平行

銅細線列起爆法に比べてより広い範囲を起爆でき、機械的に高精度の量産が可能な銅メッシュの線爆発を用いることとし PETN の平面起爆実験を行い爆轟波面の平面性、起爆電流を調べ、その有用性を確認した<sup>3)</sup>。また、強い収束衝撃波発生のために主爆薬に高性能爆薬 PBX を用いることとし、精度のよい起爆方法を検討するために衝撃起爆特性を計測し、その起爆方法を検討した<sup>4)</sup>。

本論文ではそれらの予備実験結果を基に円筒状収束衝撃波発生装置を設計し、一次元円筒状固体中収束衝撃波の生成とその計測を行い、数値解析結果との比較検討を通して総合評価を行う。また、開発した円筒状収束波発生装置を爆縮材料圧縮装置に応用することとし、そのための数値シミュレーションおよび回収予備実験について述べる。

### 2. 円筒状収束衝撃波発生実験

#### 2.1 実験方法

本実験に用いた実験装置図を Fig. 1 に示す。外側に銅メッシュによる PETN の面起爆装置を設置し、その内側に主爆薬 PBX、中心に衝撃波面計測用の PMMA (polymethylmethacrylate: アクリル) 円柱を設置している。PBX と面起爆装置の PETN 爆薬層の間にフライヤー (polyethylene terephthalate; PET:

2001年1月9日受付

2001年5月30日受理

\*熊本大学衝撃極限環境研究センター

〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1

TEL 096-342-3690

FAX 096-342-3729

\*\*物質工学工業技術研究所

〒305-8565 茨城県つくば市東1-1

TEL 0298-54-4792

FAX 0298-54-4783

\*\*\*熊本大学工学部知能生産システム工学科

〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1

TEL 096-342-3690

FAX 096-342-3729

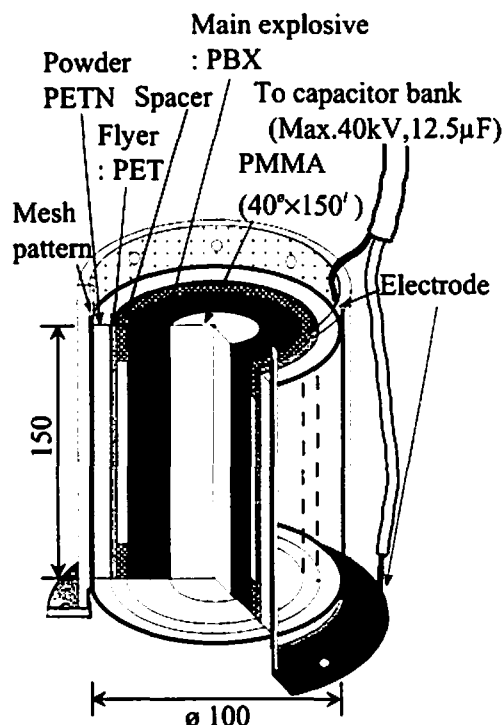


Fig. 1 1 dimensional cylindrical imploding shock generator

0.26 mm) とスペーサーを設置している。

キャパシター(40kV, 12.5 μF, 10kJ)から 35kV の大電流をデバイスの銅メッシュに流すとメッシュの線部分が一斉爆発し PETN を面起爆する。また、それと同時にデバイス上部に設置したクリプトンフラッシュの爆薬を起爆する。この PETN の爆轟波でフライヤーを加速し、主爆薬 PBX に衝突させて PBX を起爆する。この収束衝撃波がデバイスの中心に設置した PMMA 円柱中に進入すると、衝撃波の波面の急激な圧力変化により PMMA 円柱の背後から照射していたクリプトンフラッシュの光が影となる。その影(シャドウグラフ)をストリークカメラ(Cordin Model 116)によって撮影する。

## 2. 2 衝撃圧力の推定方法

実験で得られたストリーク写真を基に PMMA 中の衝撃圧力を推定する。

固体において実験的に次の線形式が成り立つことが知られる。

$$U_s = C_0 + s u_p \quad (1)$$

この式(1)にストリーク写真の軌跡の傾きから求めた衝撃波速度  $U_s$  と、Table 1 に示す PMMA の材料定数を代入し粒子速度  $u_p$  を求める。また、衝撃波前後の運動量保存則は次の式で表される。

Table 1 Materials constants of PMMA

Material	$\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	$C_0$ (km/s)	$S$	$\gamma_0$
PMMA	1.18	2.26	1.82	0.75

Table 2 C-J values of explosives

Explosive	$\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	$P$ (GPa)	$\Gamma_0$
PBX80U	1.75	8.30	3.0
PBX80U	1.75	8.30	4.5
PBX80RU	1.70	8.20	3.0
PBX80RU	1.70	8.20	3.5

$$P - P_0 = \rho_0 U_s u_p \quad (2)$$

式(2)に、 $P_0 = 0$  として  $U_s$  と  $u_p$  を代入すると、衝撃圧力  $P$  を推定することが出来る。

## 2. 3 数値解析方法

本実験における収束衝撃波の一次元性は実験装置を軸方向に十分長く設計していることからほぼ保たれていると考え、一次元ランダムチョイス法(RCM)<sup>5)</sup>による数値解析結果との比較評価を行うこととする。

RCM はリーマン問題の解を、一様乱数を介して直接用いており、差分法のような数値粘性や人工粘性を含まないので、流れの不連続性を平滑化することなく保持できるという特徴がある。そのため、収束衝撃波のような鋭い立ち上がりを持つ衝撃波の解析においても、乱数によるばらつきをのぞけば全体として正確な解を与えるため、本実験の解析に適していると考えられる。

なお、今回用いた RCM のプログラムでは爆薬の爆轟を含む解析はできないので爆薬部分は一次元ラグランジュ座標系の差分法(FDM)<sup>6)</sup>で別途解析しており、起爆後直ちに定常爆轟状態に移行する(Run distance を無視する)と仮定し、爆薬部の収束効果は C-J Volume Burn 法<sup>7)</sup>を用いることにより評価している。

Table 1, Table 2 に解析に用いた PMMA の衝撃データならびに PBX の C-J 値を示す。PBX の C-J 値は文献[2]の Wedge Test で計測したものである。

## 2. 4 実験結果及び考察

実験で得られたストリーク写真を Fig. 2 に示す。アクリルロッド中に入射した衝撃波面が影となって映し出されている。写真から分かる通り収束衝撃波の対称性は保たれていると考えられる。また、衝撃波の軌跡から収束点近傍の衝撃圧力は約 208 GPa と推測され

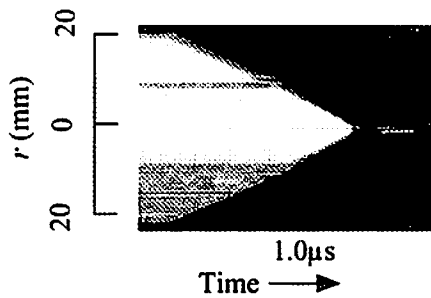


Fig. 2 A typical streak camera record of shock waves

た。計測された衝撃波速度、衝撃圧力について過去に行った実験<sup>1)2)</sup>と併せてTable 3に示す。

本研究および過去に行った同様の実験ではそれぞれ性質の違う5種類の爆薬を主爆薬に用いて円筒爆縮実験を行った。主爆薬についてTable 4にまとめる。ストリーク写真から得られた収束衝撃波の軌跡をプロットしたものをFig. 3に示す。定常爆轟圧力 $P_{CJ}$ の高さから予想されたとおりPBX80U, PBX80RU, PETN/SR(70/30), PETN( $\rho$  1.0), PETN( $\rho$  0.6)の順で収束衝撃波速度が速いという結果を得た。

次に、主爆薬にPBX80Uを用いたタイプ<sup>2)</sup>およびPBX80RUを用いたタイプについてRCMで解析を行い実験結果と比較を行った。

本実験のストリーク写真より得られた衝撃波の軌跡と数値シミュレーションによる解析結果をFig. 4に示す。

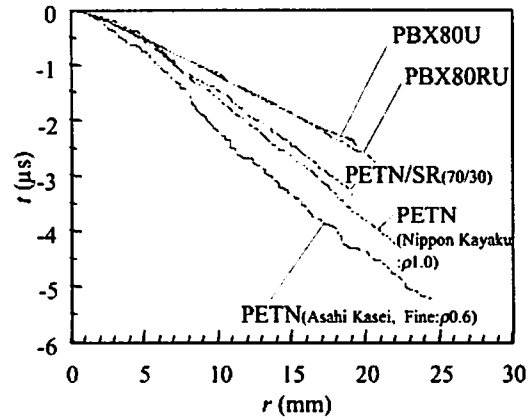


Fig. 3 Shock wave trajectory obtained for various explosives

数値解析は爆轟ガスの比熱比 $\gamma$ をPBX80Uについては3.0と4.5, PBX80RUについては3.0と3.5の2ケースをプロットしており図中には点線と実線でそれぞれ示した。本実験においてPBXの比熱比の計測は行っていないため正確な値は不明であるが、一般的に高性能爆薬の比熱比は2.7~3.0であることが知られており今回用いたPBXも通常の定常爆轟状態においてその範囲内であると思われる。ゆえに $\gamma$ を3.0にした数値シミュレーション結果に近くなると思われるが、図から分かるのとおり実験結果は $\gamma$ をPBX80Uについては4.5, PBX80RUについては3.5にした場合に良く一致している。その理由として解析に用いた

Table 3 Shock velocity and shock pressure

Main Explosive	Incident		Near by focused point		Average	
	$U_s$ (km/s)	$P$ (GPa)	$U_s$ (km/s)	$P$ (GPa)	$U_s$ (km/s)	$P$ (GPa)
1   PETN(Asahi Kasei Fine)	—	—	7.63	26.6	4.95	8.63
2   PETN(Nippon Kayaku)	5.38	10.9	10.4	54.5	6.18	15.7
3   PETN/SR(70/30)	5.06	9.20	15.8	138	5.91	14.0
4   PBX80U	7.42	24.9	22.1	285	7.92	29.2
5   PBX80RU	7.78	27.9	19.1	208	8.01	30.0

Table 4 Main explosives

Main Explosive	Thickness of expl. (mm)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$P_{CJ}$ (GPa)
1   PETN(Asahi Kasei Fine)	15.0	$0.6 \times 10^3$	3.050
2   PETN(Nippon Kayaku)	25.0	$1.0 \times 10^3$	9.751
3   PETN/SR(70/30)	20.8	$1.322 \times 10^3$	15.47
4   PBX80U	20	$1.75 \times 10^3$	30.6
5   PBX80RU	20.3	$1.70 \times 10^3$	28.1

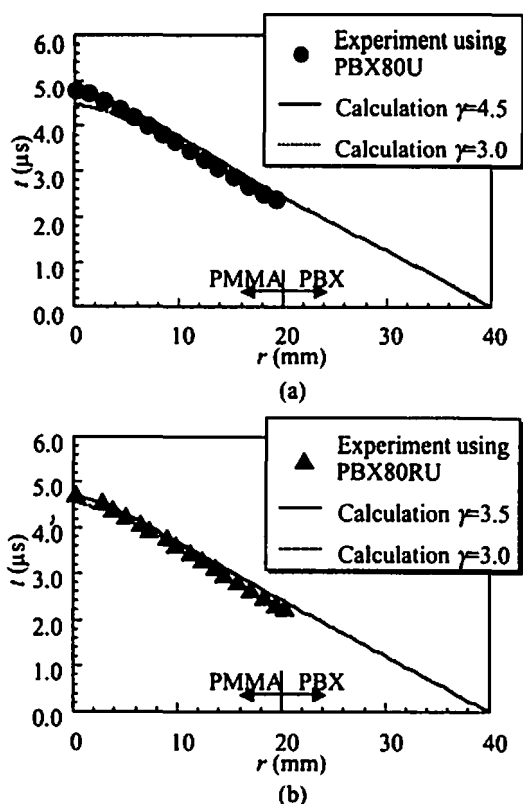


Fig. 4 Comparison with numerical simulations and experiment results  
(a) PBX80U, (b) PBX80RU

PMMAの状態式が本実験のような高圧状態では現象と一致しない可能性や、PBXの爆轟が定常爆轟速度には達しているものの定常爆轟圧力には達していない可能性が考えられる。 $\gamma$ の値を大きくすることはすなわち圧力を低くすることである。PBXのような高性能爆薬が定常爆轟速度には達しても定常爆轟圧力には到達していないという現象については過去にもいくつかの報告があり<sup>7)</sup>、高性能爆薬特有の現象と思われる。PBX80Uに比べPBX80RUの方がより敏感であるため、PBX80RUがより定常爆轟に近いためPBX80Uが一致した $\gamma = 4.5$ より実際の値に近い $\gamma = 3.5$ とした場合に良く一致したものと思われる。また、PBX80RUはPBX80Uよりも爆轟速度が若干遅いにも関わらずほぼ同じ衝撃波軌跡が得られている。このことから本実験のPBX80RUの爆轟がより定常爆轟に近いと推測された。

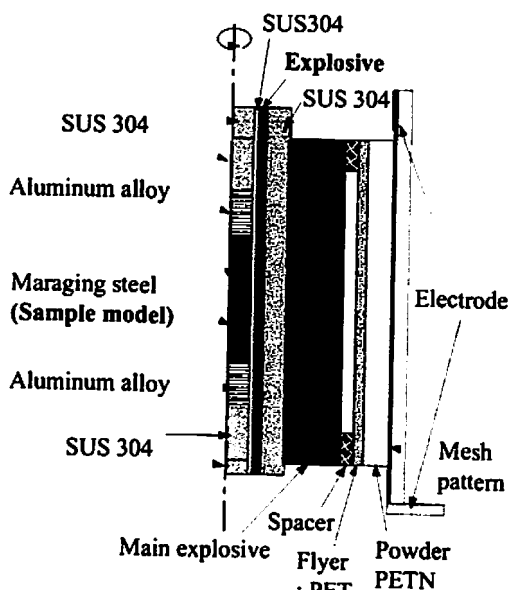


Fig. 5 A longitudinal cross section of recovery system device

### 3. 極限圧縮装置の開発と回収実験

#### 3.1 AMTの設計

##### 3.1.1 計算方法

円筒状収束した強い爆発衝撃波が中心軸で反転した後、反射膨張波と後続膨張波の干渉で中心部に強力な膨張波(引張応力波)が発生して試料物質は飛散する。これを防ぐために中心部の試料カプセルの外側にカプセルの膨張を阻止するための爆薬層(液体爆薬)を設置するアクティブモーメントムトラップ(active momentum trap: AMT)を用いることとする。装置の断面図をFig. 5に示す。前章で説明した円筒爆縮装置の中心に、回収カプセルやAMTの爆薬層等を設置したSUS304の筒を設置している。

まず数値シミュレーションでモーメントムトラップの設計を行った。前章で爆薬部の解析に用いたラグランジ座標系の一次元差分プログラム<sup>6)</sup>を用いた。なお、AMTは衝撃波の通過で直ちに起爆し定常爆轟に達するとしている。Table 5およびTable 6に解析に用いたSUS304の衝撃データ<sup>8)</sup>ならびにAMTに用いる液体爆薬のC-J値<sup>9)</sup>を示す。

なお、中心部の円柱は18% Ni マルエージング鋼(日立金属(株)製 YAG300)であるが、衝撃計算に用いるMie-Grüneisen状態式にはSUS304のデータを代

Table 5 Materials constants of SUS304

Material	$\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	$C_0$ (km/s)	$S$	$\Gamma_0$	Spalling strength(GPa)
SUS304	7.896	4.569	1.490	2.170	4.0

Table 6 C-J values of explosives

Explosive	$\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	$P$ (GPa)	$\Gamma_0$
Nitromethane	1.128	6.264	2.624
HN/HH(55/45)	1.267	7.805	3.035
HN/HH(63.4/36.6)	1.314	8.011	3.078
HN/HH(75/25)	1.414	8.474	3.077

用した。なお、YAG300の化学成分と機械的特性をTable 7およびTable 8に示す。

主爆薬にPBX80RU, AMTにニトロメタン, マルエージング鋼円柱を保持する筒の材質にSUS304の組合せで数値シミュレーションを行い最適な値を決定する。計算条件についてFig. 6に示す。なお、本解析では破壊については応力依存の破壊則を用いており完全塑性体で計算した負の圧力がある一定以下になるとスポールとして取り扱っている。

### 3. 1. 2 AMTの位置の影響

まずAMTの位置を決定するためFig. 6中のAMTの厚さ $t_{AMT}$ を1mmに固定し位置 $r_{AMT}$ を7mmから18mmまで1mmごとに変化させて計算を行った。回収するためには半径7mmのカプセル部分の外径が、時間が経っても広がらないことが望ましい。したがって、回収可能性をカプセル(円柱)の外径(初期位置7mm)の、100 $\mu$ s後の位置で評価することとする。AMTの位置と100 $\mu$ s後のカプセル外径の位置をプロットしたものをFig. 7(a)に示す。Fig. 7(a)から分かるとおりAMTの位置は中心に近いほど効果が高いことが分かった。カプセルのサイズと工作上的制限から、AMTの位置 $r_{AMT}$ は9mmとする。

### 3. 1. 3 AMTの厚さの影響

次にAMTの位置 $r_{AMT}$ を9mmに固定し厚さ $t_{AMT}$ を0mm, 0.5mmおよび1mmから10mmまで1

Table 7 Chemical components of maraging steel YAG300

Ni	Co	Mo	Ti	Al
18	9	5	0.9	0.1

Table 8 Mechanical characteristics of maraging steel YAG300

Proof strength (GPa)	Tensile strength (GPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
1.91	2.01	10	45

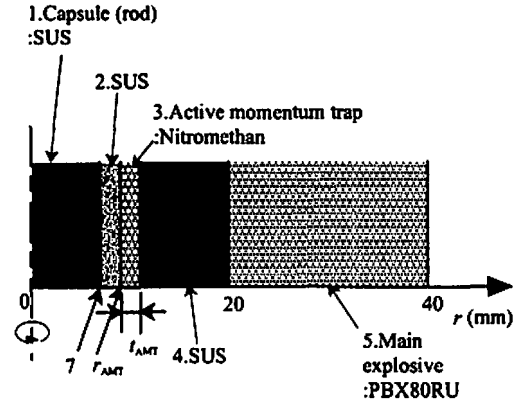


Fig. 6 An illustration of calculation model

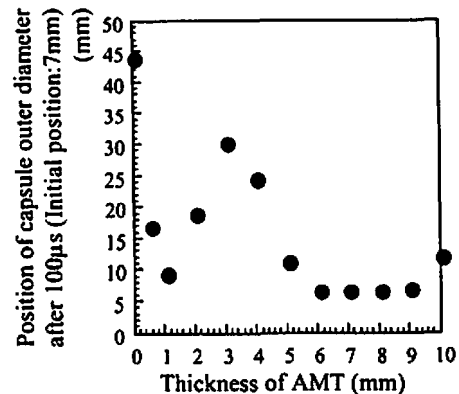
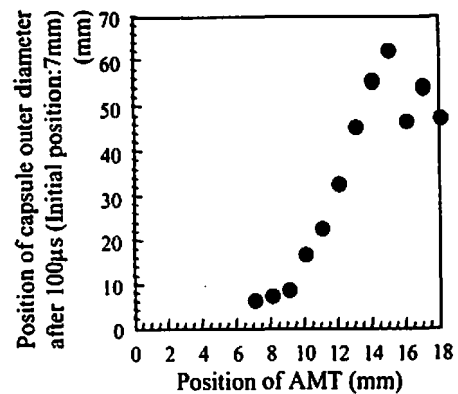


Fig. 7 Position of capsule outer diameter after 100 micro second ((a): by position of AMT, (b): by thickness of AMT)

mm 毎に変化させた計算を行った。AMTの厚さと100 $\mu$ s後のカプセル外径の位置をプロットしたものをFig. 7(b)に示す。Fig. 7(b)から分かるとおりAMTの厚さは1mmおよび6~9mmのものがよいことが分かった。AMTが6~9mmのものは主爆薬による

収束衝撃波が爆薬層に入射した際、圧力が1 mmのものより下がるので望ましくない。よってAMTの厚さは1 mmが最適であると判断した。

### 3. 1. 4 AMTの設計

以上の計算結果を総合的に判断してモーメントムトラップの最終的の設計を行った。設計した装置をFig. 5に示す。中心のマルエージング鋼の上下に設置してあるSUSやアルミニウム合金の円柱は両端からの膨張波の影響を防ぐモーメントムトラップである。設定したAMTを使う場合(実験No. 1, 2)と使わない場合(実験No. 3)の数値シミュレーションによる $x-t$ 線図をFig. 8に示す。図から分かるとおりAMTを使わないものはカプセルが大きく広がり飛散するが、AMTを使うものは飛散が押さえられると推測された。また、両者とも中心付近で1.2TPa以上の圧力が発生すると推測された。

## 3. 2 回収実験

### 3. 2. 1 実験条件

前節の数値シミュレーションを基にAMTにニトロメタンを用い半径7 mmの位置から厚さ1 mmの厚さで設置した実験No. 1を基本に、比較実験として

AMTである爆薬の代わりに、AMTではないが破壊に対する緩衝材として実績の多い水を用いた実験No. 2、モーメントムトラップを使わない実験No. 3の3種類の実験を行った。各実験の数値シミュレーションによる $x-t$ 線図をFig. 8に示す。

### 3. 2. 2 実験結果

実験の結果、実験No. 1, 2で円柱が壊れずに回収ができ、実験No. 3は破壊・飛散した。回収した円柱の写真をFig. 9, 10, 11に示す。

実験No. 1, 2ともほぼ同じ結果で、写真から分か

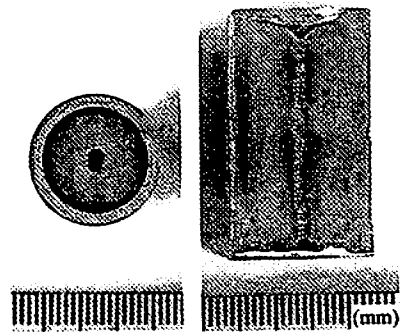


Fig. 9 The maraging steel rod which is recovered (Test No. 1) (Left: cross section, Right: longitudinal section)

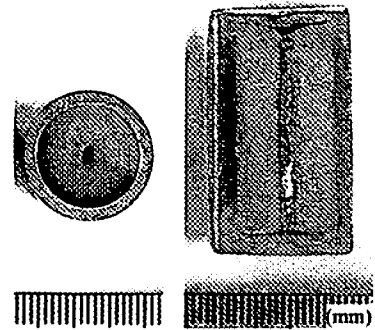


Fig. 10 The maraging steel rod which is recovered (Test No. 2) (Left: cross section, Right: longitudinal section)



Fig. 11 The maraging steel rod which is recovered (Test No. 3)

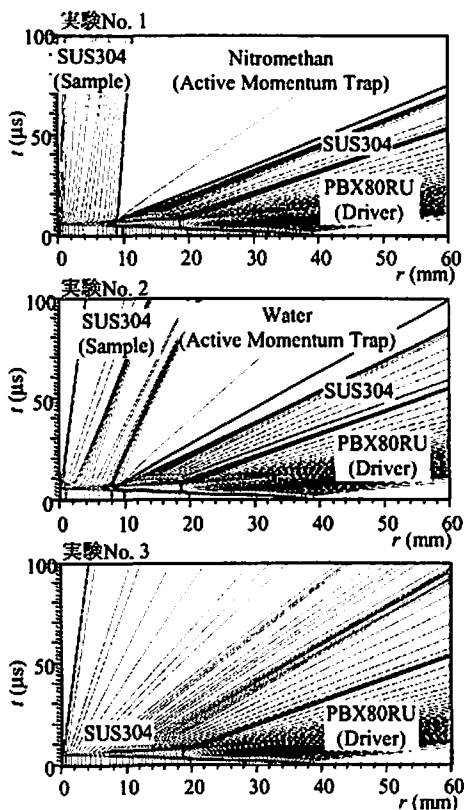


Fig. 8 X-t wave diagram obtain by numerical calculation

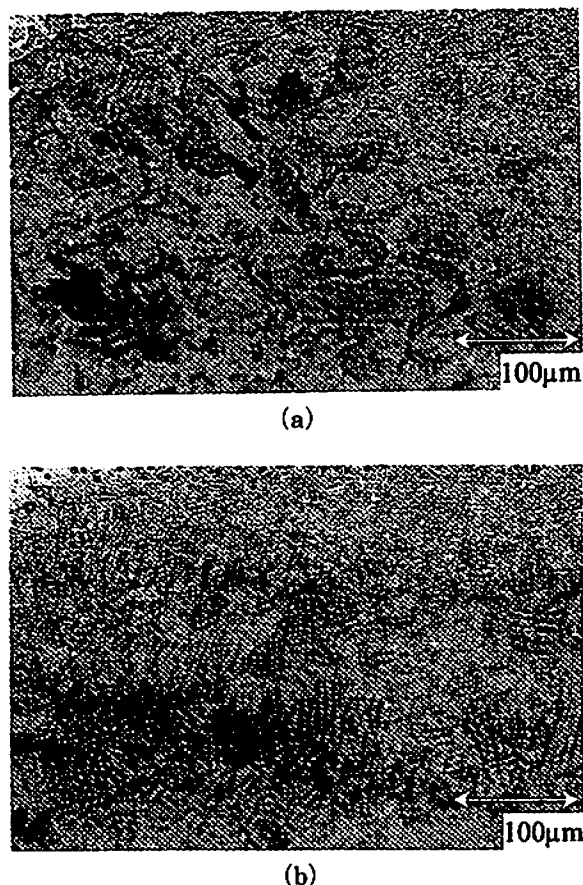


Fig. 12 A longitudinal cross section of recovered maraging rod ( $\times 200$ ), (a) at end, (b) at near center. (Test No. 1)

るとおり円柱の中心部分が蒸発して長径 3 mm 短径 2 mm 程度の穴が開いている。実験 No. 1 の軸方向断面の顕微鏡写真(200 倍)を Fig.12 に示す。Fig.12(a) が端部で Fig.12(b) が中心付近であり、向きは横が軸方向、縦が半径方向で下が中心である。ある半径を境に中心付近の組織が変化している事が分かる。

### 3. 3 考 察

#### 3. 3. 1 回収装置内部の圧力分布

数値シミュレーションによる実験装置内部の圧力分布の推定からモーメントムトラップの効果について次のように考察した。

モーメントムトラップを設置しない場合(実験 No. 3), 収束波の通過後中心付近及び端からの膨張波が発生し、その干渉でより強い引張圧力が発生し円柱が破壊する。水のモーメントムトラップを設置した場合(実験 No. 2), 中心付近と端とでモーメントムトラップの層を境に分離するため膨張波の干渉が起こらず強い引張応力が発生しない。そのため回収に成功したものである。AMT 使用の場合(実験 No. 1), 液体爆薬の爆発による圧力で、更に引張圧力を打ち消すた

め試料の保護にはより有効であると思われる。

#### 3. 3. 2 材料合成装置への応用

本研究の装置を実際に材料合成に応用する際、マルエージング鋼の中空のカプセルに粉体材料などを封入したものを用いるためカプセルの強度はブロックより低い。ゆえに回収は更に困難であると予想される。そこで、数値シミュレーションで粉体を圧縮する場合について計算し、その回収可能性を検討した。

今回行った予備実験と同じ条件で実際に Al2024 の粉体を圧縮する回収実験について数値シミュレーションを行った。回収カプセルはマルエージング鋼のブロック(直径 14 mm, 長さ 30 mm)の中央部に直径 7 mm, 長さ 10 mm の穴をあけたものを用い、内部に充填率 65% で Al2024 の粉体を封入することとした。

計算の結果、衝撃波が粉体に入射する際に圧力が下がるため回収予備実験の計算結果に較べて中心付近の衝撃圧力は下がることがわかった。また、AMT の厚さを 2 mm にした計算では同様の条件でブロックを圧縮する計算よりも発散は押さえられており、回収に成功した実験 No. 2 の計算結果よりも発散が小さい。ゆえに回収可能である可能性が高いと思われる。

### 4. 結 論

銅メッシュ爆発による面起爆装置と主爆薬として高性能爆薬 PBX を用いた一次元円筒状収束波発生装置を開発し、精度の良い収束衝撃波の発生に成功した。その収束点近傍での衝撃圧力は 200 ~ 300 GPa と推測された。PBX80U および PBX80RU について実験結果と収束点近傍での解析精度が良い一次元ランダムチョイス法(RCM)による数値シミュレーションとを比較したところ予想どおり PBX80RU の方がより定常に近い爆轟を得ていると判断された。

また、この円筒状収束波発生装置に新たに考案した回収システムを組み込み極限的な材料圧縮を可能とする装置の開発を行った。収束衝撃波通過後の希薄波で試料が飛散するのを防ぐため、液体爆薬の爆発による圧力を利用するアクティブモーメントムトラップ(AMT)を利用することとし、数値シミュレーションを繰り返し回収装置の最適設計を行いマルエージング鋼の円柱試料を対象とした回収実験を行った。AMT にニトロメタンを用いたもの、AMT の代わりに水を用いたもので回収に成功し、モーメントムトラップを用いないものでは試料は破壊・飛散した。回収に成功した試料では中心部が極限的な高温高压に達し昇華したため中心軸に沿って穿孔跡が観察され孔近傍では組織の変化が見られた。

これらの結果から、本研究で開発した極限圧縮装置は従来の爆縮装置では到達できなかった超高压領域における材料の圧縮と回収が可能となり、今後材料合成などへ応用できると考えられる。

#### 謝 辞

本研究を遂行するに当たり、PBXの製造にご協力いただいた日本油脂(株)武豊工場の研究者の方々に厚く御礼を申し上げます。また、本研究の一部は財団法人火薬工業技術奨励会研究助成金により実施いたしました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 廣江哲幸, 松尾日出男, 藤原和人, 吉田正典, 藤原修三, 宮田政信, 田之上辰郎, 工業火薬協会誌, 55, 24(1994)
- 2) Tetsuyuki Hiroe, Hideo Matsuo, Kazuhito Fujiwara, Shinji Sakai, Takayuki Abe, Masatake Yoshida, Shuzo, Proc. APS Topical Conf. on Shock Compression of Condensed Matter, 977(1996)
- 3) 安部尊之, 吉田正典, 廣江哲幸, 藤原和人, 松尾日出男, 火薬学会誌, 60, 226(1999)
- 4) 安部尊之, 吉田正典, 廣江哲幸, 藤原和人, 松尾日出男, 村田健司, 高橋勝彦, 加藤幸夫, 火薬学会誌, 60, 177(1999)
- 5) T. Hiroe, H. Matsuo and K. Fujiwara, J. Appl. Phys., Vol. 72, No. 7, 2605(1992)
- 6) M. Yoshida, "Program MY1DL One Dimensional Lagrangian Hydrodynamic Code", (1986), Center for Explosives Technology Report, CETR. (For the current version, see <http://www.aist.go.jp/NIMC/cmeme/my1dl/>)
- 7) Charles L. Mader "Numerical Modeling of Detonation", University of California press, 101 (1979)
- 8) Stanley P. Marsh, "LASL Shock Hugoniot Data", (1980), University of California Press.
- 9) R. Gibbs, A. Popolato "LASL Explosive Property Data", (1980), University of California Press.





## Development of a recovery system for extremely high pressure compaction of materials using explosively driven imploding shocks and the active momentum trap

Takayuki ABE\*, Masatake YOSHIDA\*\*, Tetsuyuki HIROE\*\*\*,  
Kazuhito FUJIWARA\*\*\*, and Hideo MATSUO\*\*\*

The authors have developed a cylindrical imploding shock generator, which produces super high pressure of Tera Pascal region in solids by focusing one-dimensional cylindrical shocks on the basis of preliminary experimental results. In this study, surface initiation of the PBX (plastic bonded explosive) explosive shell begins at the collision of a cylindrical thin flyer driven by the detonation of low-density PETN (pentaerythritol tetranitrate) shell, which is initiated by the explosion of a etched copper mesh using a high voltage impulsive current. Observed imploding shocks are focusing in PMMA cylinders inside the PBX shell with a fairly good axisymmetry. The comparison with numerical simulation has suggested that the C-J pressure is almost achieved in the PBX in this study.

The authors have constructed a recovery system for extremely high pressure compaction of material applying the imploding shock generator. In this system, the explosion of liquid explosive NM (nitromethane) is newly installed outside the sample material to weaken the influence of the explosion waves, which is called AMT (active momentum trap). In the experiment using the AMT system, the model blocks have been recovered successfully. The experimental results and the additional numerical study suggest that the developed AMT is effective for recovery and this total system has a possibility to compress materials up to Tera Pascal region without fracture.

(\*Shock Wave and Condensed Matter Research Center, Kumamoto University, 2-39-1, Kurokami, Kumamoto 860-8555, JAPAN

\*\*Department of Advanced Chemical Technology, Energetic Materials Laboratory, National Institute of Materials and Chemical Research, 1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8565, JAPAN

\*\*\*Department of Materials Science & Resource Eng., Kumamoto University, 2-39-1, Kurokami, Kumamoto 860-8555, JAPAN)