

Numerical Simulation on Shock Compaction Assembly

正 伊東 繁 (熊大) 〇森本 秀行 (熊大) 道家 清孝 (旭化成) 柿本 悦二 (旭化成)

S.Itoh · Kumamoto Univ. H.Morimoto · Kumamoto Univ.

K.Douke · Asahi Kasei Co E.Kakimoto · Asahi Kasei Co

1.はじめに

本研究室では、水中衝撃波の収束を利用した高圧発生装置により、粉末固化の研究を行っている。実際の装置で使用されている収束容器と粉末容器の間に挟んである紙には、固化した粉末を良好に回収するために粉末部分の容器中へ爆薬部分から伝わる衝撃波を遮断するという重要な働きがある。しかし、この紙については特に着目せず無視して今まで数値解析を行ってきた。そこで今回の数値解析では、紙の代わりに PMMA を用いて衝撃波の遮断を考慮し、従来の遮断しない場合との比較を行った。

2.数値解析方法

Fig.1 に解析モデルを示す。この解析モデルは、軸対称問題として扱う。粉末衝撃固化装置において使用した爆薬は、SEP (爆速 6970m/s, 密度 1310kg/m³, 旭化成(株)製) で、容器は SUS304 (密度 7900kg/m³)、容器の収束部分と粉末部分の間には PMMA (密度 1180kg/m³) を配置し、収束部分と通常粉末を配置する部分には水 (密度 1000kg/m³) を配置した。また、収束角度 α は 30° とした。

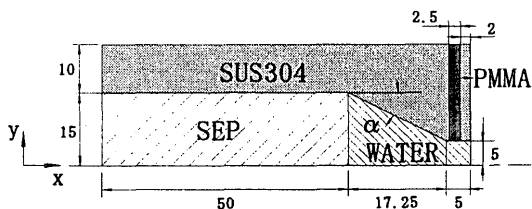


Fig.1 Numerical Simulation Model

数値解析は、一次元質量、運動量、エネルギー保存式に状態方程式を組み合わせた Lagrange 座標を用いて計算を行った。初期条件として、SEP の一番左端のセルに初期爆ごう圧力 D_{cJ} を与えた。

容器と爆薬、水の境界には滑り境界面を与え、滑り処理を行った。この滑り処理には、変形量の小さい容器側を master、変形量の大きい爆薬、水側を slave としてそれぞれを計算し、互いの力の影響を考慮した運動方程式を解き、次の時間における滑り境界面の位置を決定する Mark L. Wilkins の滑り処理法⁽¹⁾を適用した。

爆ごう現象の取扱いとしては、"C-J Volume Burn⁽²⁾"を用いた。C-J Volume Burn ではセルの比体積 $V_{i,j}^{n+1}$ によって爆薬の分解率 W を算出し、各セルの分解率によってセルの爆ごう状態を決定する。 V_0 を爆薬の初期比体積、 V_{CJ} を爆薬の C-J 状態の比体積とすると次式により爆薬の分解率 $W_{i,j}^{n+1}$ がもとまる。

$$W_{i,j}^{n+1} = 1 - \frac{V_0 - V_{i,j}^{n+1}}{V_0 - V_{CJ}}$$

次に W_j^{n+1} と JWL 状態方程式より与えられた圧力 P_{JWL} を

用いて、セル内の圧力 $P_{i,j}^{n+1}$ が次式より求まる。

$$W_j^{n+1} < W_j^n \quad P_{i,j}^{n+1} = (1 - W_{i,j}^{n+1}) P_{JWL}$$

本解析中では、状態方程式 Jones-Wilkins-Lee(JWL)状態方程式⁽³⁾を用いた。各係数を Table 1 に示す。

JWL 状態方程式

$$P_{JWL} = A \left[1 - \frac{\omega}{VR_1} \right] \exp(-R_1 V) + B \left[1 - \frac{\omega}{VR_2} \right] \exp(-R_2 V) + \frac{\omega e}{V}$$

$V = \eta_e$ (初期充填密度) / η (爆ごうガスの密度)
 e : 比内部エネルギー A, B, R_1, R_2, ω : JWL パラメータ

Table 1 JWL Parameter of SEP

A(GPa)	B(GPa)	R ₁	R ₂	ω
365	2.31	4.30	1.00	0.28

SUS304、水、PMMA については Mie-Grüneisen 状態方程式⁽⁴⁾を使用した。各係数を Table 2 に示す。

Mie-Grüneisen 状態方程式

$$P = \frac{\rho_0 c_0^2 \eta}{(1 - s\eta)^2} \left[1 - \frac{\Gamma_0 \eta}{2} \right] + \Gamma_0 \rho_0 e$$

$\eta = 1 - \rho_0$ (媒質の初期密度) / η (媒質の密度)
 e : 比内部エネルギー c_0, s, Γ_0 : 係数

Table 2 Mie-Grüneisen Parameter

	ρ_0 (kg/m ³)	C_0 (m/s)	s	Γ_0
SUS304	7900	4570	1.49	2.17
WATER	1000	1490	1.79	1.65
PMMA	1180	2260	1.82	0.75

3.実験結果及び考察

Fig.2 に爆薬部分、収束部分、それぞれを伝播する衝撃波の挙動を表した圧力分布図を示す。また Fig.3 に、容器 (SUS304) と水の境界面の x 方向に 66.25mm, 70.25mm の場所の圧力履歴を示し、Fig.4 には、PMMA を使用した場合と使用しなかった場合の収束部分付近の圧力分布図を示す。

Fig.2 の 5.0 μ s の図では、爆薬が爆ごうして平面波が進行している様子がわかり、10.0 μ s の図では収束部分においてマッハ反射が生じていることがわかる。

Fig.3 の PMMA を用いた場合の圧力履歴は、用いなかった場合と比較すると、66.25mm の点では 11.0 μ s 付近までは変わらないがそのあと急速に圧力が減少し、70.25mm の点では、圧力のピークが 10GPa 以上小さくなっていて、圧力はあまり上がっていない。このことから、PMMA の前方(66.25mm)では衝撃波が遮断されたと同時に反射波が発生し圧力を減少させ、PMMA の後方(70.25mm)では衝撃波を遮断したことにより、圧力がそれほど上がらなかったこ

とがわかる。

Fig.4における11.0 μ sの図は、衝撃波がPMMAとの境界に達した瞬間の図である。衝撃波の先端がPMMAとの境界まで進行してくると、そこで遮断されると同時に反射波が発生し、後から粉末容器に伝播してくる衝撃波に影響を及ぼす。11.4 μ sの図はその影響が生じはじめている図で、後から伝播してくる衝撃波の圧力は減少している。11.8 μ sの図においては、PMMAを用いなかった場合と比べて、ほとんど衝撃波は遮断されて圧力はそれほど上がっていない。

4.おわりに

今回の数値解析では、粉末衝撃固化装置の衝撃波遮断を調べた。容器の収束部分と粉末部分の間にPMMAを用いて行った結果、ほとんどの衝撃波を遮断することができ、その状況を確認することができた。衝撃波を遮断することができなければ、粉末容器中に衝撃波が伝播し固化した粉末にクラックが発生する可能性があるため、この粉末衝撃固化装置において衝撃波遮断は重要である。

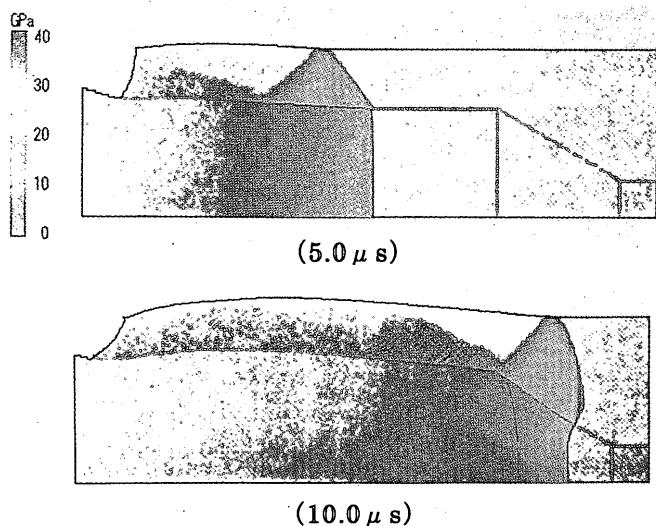


Fig.2 Pressure Contour ($t=5.0 \mu s, 10.0 \mu s$)

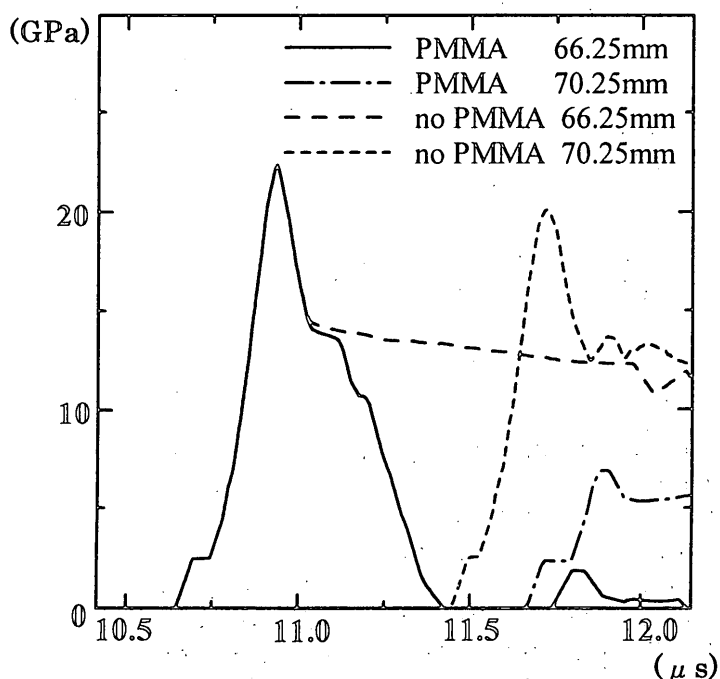


Fig.3 Pressure Histories

参考文献

- (1) Mark L. Wilkins, Computer Simulation of Dynamic Phenomena (1998)
- (2) Charles L. Mader and William R. Gage, FORTRAN SIN A One-Dimensional Hydrodynamic Code for Problems Which Include Chemical Reactions, Elastic-Plastic Flow, Spalling and Phase Transitions, LOS ALAMOS SCIENTIFIC LABORATORY Report LA-3720, (1967)
- (3) E. L. Lee, M. Finger and W. Collins, JWL Equation of state Coefficients for High Explosives, Lawrence Livermore Laboratory, UCID-16189 (1973)
- (4) S. P. Marsh, LASL Shock Hugoniot Data, University of California Press (1980)

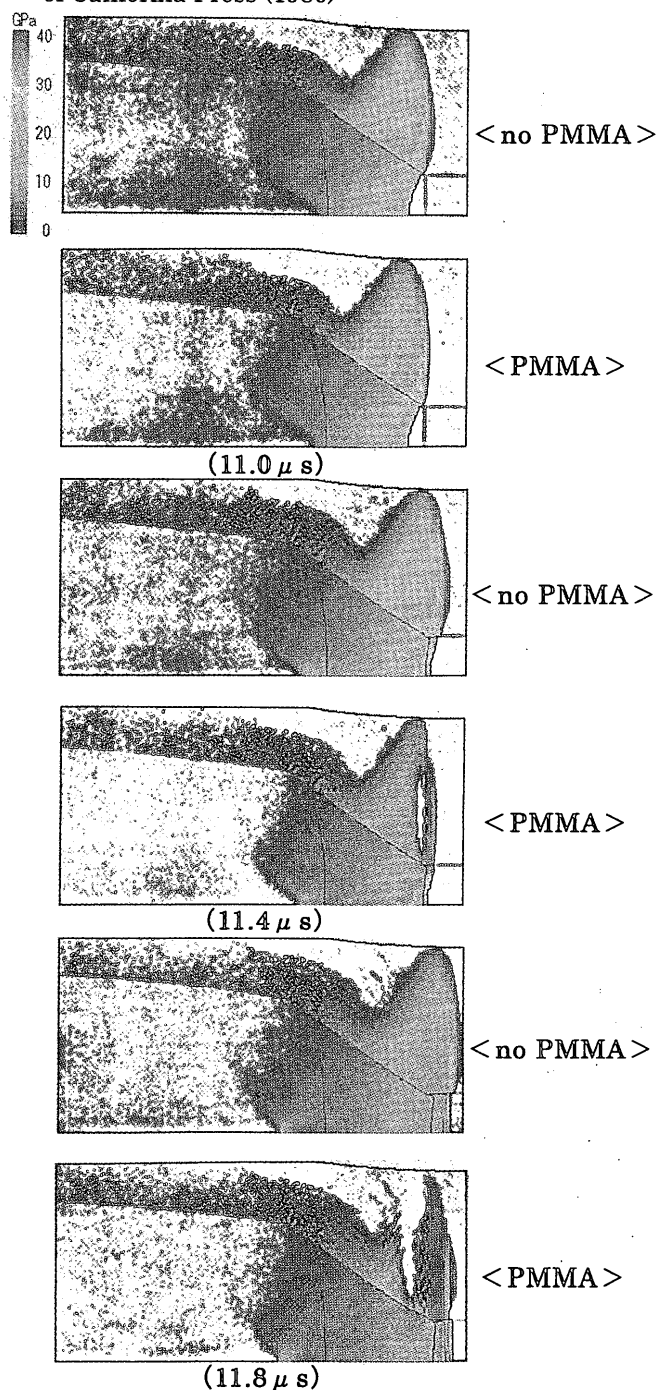


Fig.4 Pressure Contour