

## Lee-Tarver モデルを用いた高性能爆薬の衝撃起爆過程の 数値解析に関する検討

久保田士郎\*, 島田英樹\*, 松井紀久男\*, 加藤幸夫\*\*,  
高橋勝彦\*\*\*, 吉田正典\*\*\*\*, 劉志躍\*\*\*\*, 伊東 繁\*\*\*\*\*

一般に、衝撃起爆過程における反応領域の状態量の計算には、生成ガスの状態式と未反応固体爆薬の Hugoniot をもとにした状態式により近似的に求める方法が採用される。最近の衝撃起爆の数値計算では、未反応固体爆薬の状態式として Wedge test 等の衝撃起爆実験から得られる Reactive Hugoniot あるいは体積弾性速度とノイマンスパイク点から得られる Hugoniot の両方が使用されている。本報告では反応則として Lee-Tarver モデルを採用して衝撃起爆過程を Lagrange コードにて数値解析し、モデルのパラメータが計算結果に与える影響、ならびに使用する Hugoniot が計算結果に与える影響について検討した。その結果 PBX-9404, Comp.B, PBX-RU 80 について既存の実験結果と数値解析結果との比較が示され、上述したどちらの Hugoniot を用いても衝撃起爆誘導距離と入射圧力の関係は表現可能であることが明らかになった。

### 1. はじめに

爆薬は瞬時に高エネルギーを解放する物質であり、材料開発、資源、土木分野、宇宙開発や医療といった幅広い分野に応用されている。そのエネルギーの有効利用を考えた場合、多くの場合において周辺媒体に発生する衝撃波の制御が必要となる<sup>1)2)</sup>。これは爆発後に周辺媒体中に発生した衝撃波の制御であるが、さらなる精密な解放エネルギーの制御は、衝撃起爆過程まで考慮して実験条件の設定、装置設計とを考えることにより

可能になると考える。それと同時に、複雑な物理現象を応用するため、その設計には数値解析技術の導入が必要である。一般に、衝撃起爆過程は流れの保存式に爆薬の反応率(生成ガスの質量分率  $\lambda$ ,  $\lambda = 0$  は未反応爆薬,  $\lambda = 1$  で反応完了)を規定する反応則を組み合わせて解かれる<sup>3)</sup>。反応速度を規定する速度則は Arrhenius の式, Forest fire モデル<sup>4)</sup>, Lee-Tarver (以下 L-T と略記)モデル<sup>5)</sup>等があげられる。この中で L-T モデルは 1980 年に Lee と Tarver によって提案されたもので、実験結果と計算結果が一致するようにそのパラメータが決定される現象学的モデルである。

本報告では反応則として L-T モデルを採用し衝撃起爆過程を Lagrange 系の流体コードで数値解析し、そのパラメータが計算結果に与える影響、具体的なパラメータの求め方、計算に使用する状態方程式に関する検討結果について報告する。

### 2. 衝撃起爆実験と固体爆薬の状態式

固体爆薬の衝撃起爆過程を数値解析する際に必要となる情報は、1) 生成ガスの状態式、2) 固体爆薬の状態式、3) Pop plot、4) 爆薬中の圧力履歴や粒子速度履歴等が考えられる。生成ガスの状態式については、シリンダー膨張試験により JWL 状態式のパラメータを求めるか、あるいは組成をもとに BKW<sup>6)7)</sup>, KHT<sup>8)</sup>, LJD<sup>3)</sup> 状態式のコードにより等エントロピー状態曲線を決定する。固体爆薬の状態式は一般に、Wedge

2000年7月27日受付

2000年10月12日受理

\*九州大学大学院 工学研究院 地球資源システム工学部門

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

TEL 092-642-3626

FAX 092-642-3614

\*\*日本油脂(株)

〒150-6019 東京都渋谷区恵比寿 4-20-3

TEL 03-5424-6724

FAX 03-5448-9557

\*\*\*日本油脂(株)愛知事業所 武豊工場研究開発部

〒470-2398 愛知県知多郡武豊町字北小松谷61-1

TEL 0569-72-0921

FAX 0569-73-7376

\*\*\*\*工業技術院物資工学工業技術研究所 極限反応部

〒305-8565 茨城県つくば市東 1-1

TEL 0298-61-4729

FAX 0298-61-4783

\*\*\*\*\*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 096-342-3299

FAX 096-342-3299

test<sup>9)</sup>と呼ばれる衝撃起爆実験により求められる。Wedge testはくさび形の試料爆薬に一次元的衝撃荷重を作用させ、試料爆薬の自由面を伝播する衝撃波の軌跡を計測する実験であり、試料爆薬の傾斜部分に光を入射させて、その反射光をストリーク撮影することにより衝撃波の軌跡を得、それをもとにHugoniot上の一点を求めるものである。初期のWedge testにおいては傾斜面上に特殊な薄いフィルムを貼り付けて撮影が行われていたが、Lindstromはこのフィルムが衝撃波の計測に悪影響を及ぼすことを指摘し、その後はフィルムでカバーすることなしに実験が行われるようになった<sup>10)11)</sup>。Campbell<sup>9)</sup>は衝撃起爆実験結果をもとに次のことを示した。固体爆薬は局所的な密度の不連続を有するため、そこに入射した衝撃波は局所的に収束し、反応はその小さな領域で起こる。そこで解放されるエネルギーは、衝撃起爆の主要な寄与となる。Mader<sup>12)</sup>は爆薬中の局所的な密度の不連続を、ニトロメタン中に空隙を有する計算場でモデル化し、その数値解析結果より空隙を衝撃波が通過する際にhot spotsが生成され、そのエネルギーは衝撃波の通過とともに解放されることを示した。彼等の結果をもとにRamsayとPopolato(1965)<sup>13)</sup>はWedge test等の衝撃起爆実験で観測されるのは反応波であり、それにより得られる結果は、スパイク点よりもむしろC-J点を推定すると指摘した。同時に衝撃波速度-粒子速度面に実験点をプロットするとほとんど直線的であり、衝撃誘導相変化が確認されないこと、その直線の延長線上にC-J点があることを示し、Wedge test等の衝撃起爆実験からは未反応固体爆薬に対する情報は得られないと結論付けた。さらに衝撃波速度-粒子速度面で体積弾性波速度とスパイク点を結ぶ直線により未反応爆薬のHugoniotが表現できる可能性を示した。

流体力学コードによる固体爆薬の反応領域の状態量の計算は一般に、生成ガスの状態式と未反応固体爆薬の状態式ならびに反応率とが組み合わされて計算される。計算方法の詳細は後述するが、その考え方に基づいて数値計算を行う場合、固体爆薬のHugoniotとして用いられるものは純粋に未反応状態のものである必要がある。半経験的なForest fireモデルではそのパラメータを求めるためにReactive Hugoniotと未反応爆薬のHugoniotの両方が用いられ両者は完全に区別されている<sup>4)</sup>。一方、L-TモデルではWedge testで得られるReactive Hugoniotが未反応爆薬の状態式として使用されることもある。たとえば、LeeとTarverによる初期の論文<sup>5)</sup>で用いられているPBX-9404のHugoniotはRamsayとPopolatoによって予測された未反応爆薬のHugoniotに非常に近いものであり、後

のTarver<sup>14)</sup>やMurphy<sup>15)</sup>の論文ではWedge testにより得られたReactive Hugoniotが使用された。

衝撃起爆過程まで考慮して爆発エネルギーを有効に制御することを考えた場合、まず、外部からの衝撃にたいして、定常爆轟に至るまでの距離を正確に予測することが数値解析に求められる。本報告では、L-Tモデルを用いて衝撃起爆過程を評価する場合、Wedge testから得られるHugoniotあるいはRamsy等の方法で得られるHugoniotのどちらを固体爆薬の状態式として採用しても、実験で得られる衝撃誘導距離と入射圧力との関係が再現でき、爆薬の有効利用を目指した数値解析にL-Tモデルが十分有効であることを示す。

### 3. 数値解析手法

L-Tモデルは、第一項のIgnition項と2項目のGrowth項を用いて次のように表せる。

$$\frac{d\lambda}{dt} = I(1-\lambda)^x \eta^r + G(1-\lambda)^y \lambda^z P^2 \quad (1)$$

ここで、Pは圧力、 $\eta = (V_0/V) - 1$ 、Vは比体積であり、添え字0は圧縮前の固体爆薬状態を示す。x, r, y, z, G, Iは爆薬の特性ならびに形状に依存するパラメータで圧力履歴等の衝撃起爆実験結果と上式を用いた流体力学コードによる計算結果とが一致するように決められる。PBX, PETN, TNT等の数種類の高性能爆薬についてパラメータが求められており、 $x=2/9$ ,  $y=2/3$ ,  $r=4$ の値をとる。反応則により $\lambda$ が規定されると、それを用いて反応領域の状態量を決定する。その方法として、固体爆薬の状態式ならびに爆轟生成ガスの状態式をもとに決定する方法がよく採用される<sup>16)</sup>。すなわち、V, Eをそれぞれ反応領域の比体積と内部エネルギーとし、固体状態を添え字s, 完全反応した生成ガス状態を添え字gで表すとV, Eは

$$(1-\lambda)V_s + \lambda V_g = V \quad (2)$$

$$(1-\lambda)E_s + \lambda E_g = E \quad (3)$$

のように表せる。さらに圧力平衡式 $P = P_s = P_g$ 、あるいは温度平衡式 $T = T_s = T_g$ を満足するようにNewton-Raphson法により圧力が求められる。

生成ガスの状態式はJWL状態式<sup>17)</sup>を、固体爆薬の状態式はHugoniot曲線をJWL式でフィットしたものを用いた。JWL状態式は次式で表せる。

$$P = A\left(1 - \frac{\omega}{R_1\zeta}\right)\exp(-R_1\zeta) + B\left(1 - \frac{\omega}{R_2\zeta}\right)\exp(-R_2\zeta) + \frac{\omega}{\zeta}E \quad (4)$$

Table 1 JWL parameters of PBX-9404 explosive

PBX-9404	A(Mbar)	B(Mbar)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	ω
Product gas	8.524	0.1802	4.6	1.3	0.38
Solid	69.69	-1.727	7.8	3.9	0.86
Reactive	9522.0	-0.0594	14.1	1.41	0.89

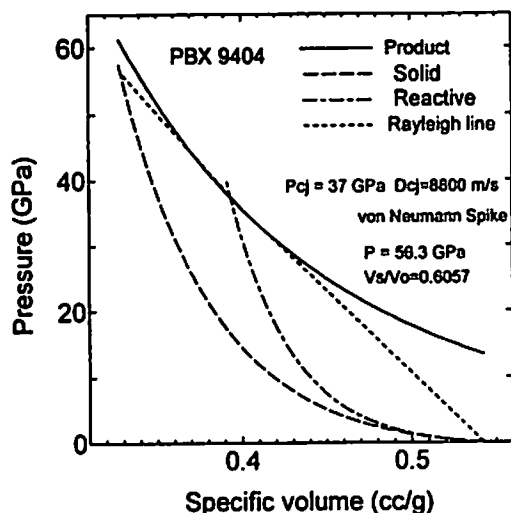


Fig. 1 Hugoniot and isentrope curves of PBX-9404

ここで  $\epsilon = V/V_0$  であり, A, B, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ω のパラメータは定数である。Table 1 に状態方程式のパラメータ, Fig. 1 に P-V 線図を示す。図中 Solid は Lee と Tarver の初期の論文で使用された Hugoniot であり, Reactive は Murphy 等が使用した Hugoniot である。

数値解析には SIN コード<sup>18)</sup> を参考にして作成した一次元流体力学コードを用いた。

#### 4. 数値解析結果と考察

##### 4. 1 パラメータの評価方法

2.5 GPa の衝撃圧が持続的に作用する場合の爆薬中の圧力の伝播過程ならびに圧力履歴をそれぞれ Fig. 2, Fig. 3 に示す。計算は一次元計算で, 衝撃圧力は爆薬に接触した厚さ 2 cm の Al 全体にある粒子速度を与えることで発生させた。これらの図より, 衝撃波の伝播とともに先頭衝撃波後方で反応が進行し, ある程度成長すると後方の反応波が先頭衝撃波に急速に追いつき通常の爆轟波に移行する様子がわかる。この現象はもともと, マンガニンゲージを爆薬中に埋め込んだ実験結果から明らかにされたもので<sup>19)</sup>, L-T モデルはパラメータを調整することにより, それらの圧力履歴あるいは粒子速度履歴と流体計算コードによる結果を一致させることができるように工夫されたモデルであ

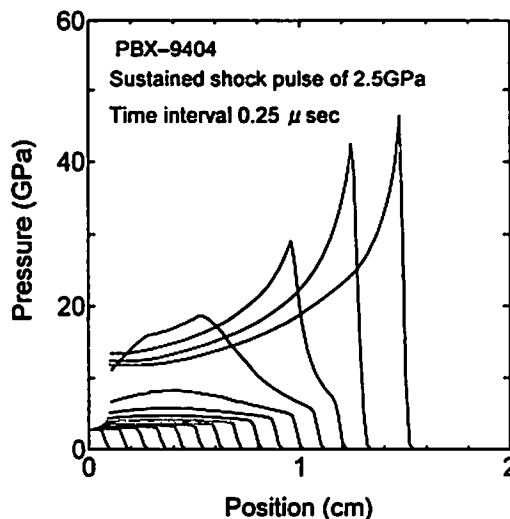


Fig. 2 Numerical simulation of propagation of shock wave in PBX-9404

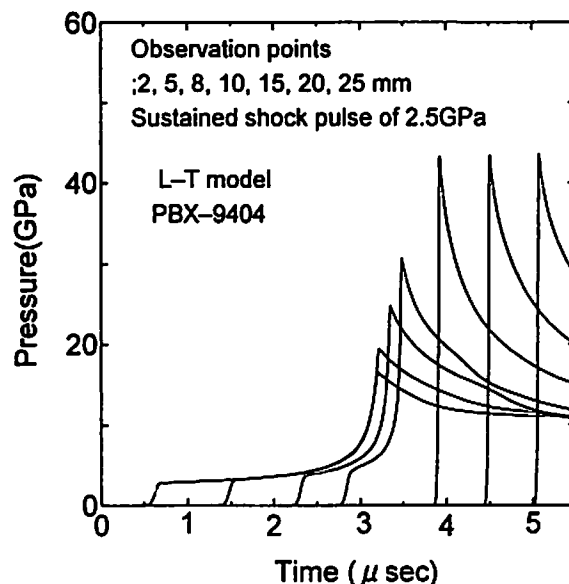


Fig. 3 Pressure histories in PBX-9404

る。本研究でも Lee-Tarver の論文<sup>5)</sup> で取り上げられている衝撃起爆実験と同じ計算を行い, それらの実験結果と一致することを確認した。Fig. 4 は爆薬中を伝播する衝撃波先頭に関する距離-時間線図である。同図は計算時間刻み毎に, 擾乱が到達していない端面から毎セル(初期の格子間隔 0.2 mm)ごとに衝撃波先頭の圧力を調べ, 最初に圧力が 1.0 GPa を越えたときのセルの中心の位置を衝撃波先頭の位置として求め, 作成したものである。爆薬に作用する衝撃圧が大きいかほど初期の傾きは大きく, 完全な爆轟波に移行すれば初期衝撃圧によらず, C-J 爆轟速度近傍で安定する。

8 通りの衝撃圧力に対して, Fig. 4 に示したような距離-時間線図を求め, それをもとに衝撃起爆誘導距

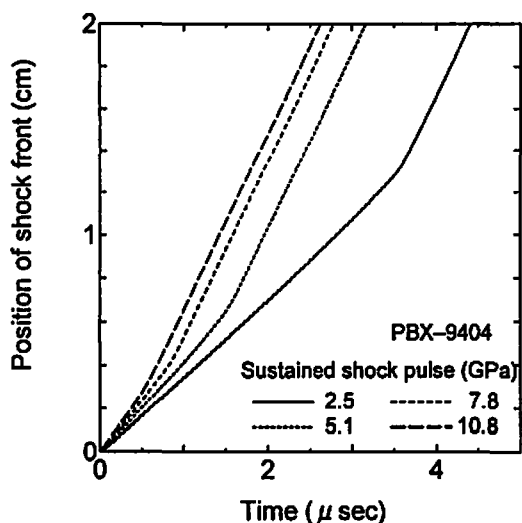


Fig. 4 Relationship between positions of shock front and time in PBX-9404 with different initial shock pressures

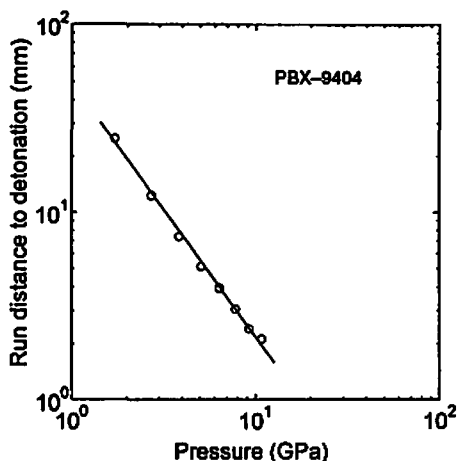


Fig. 5 Run distance to detonation vs. shock pressure on PBX-9404

離と衝撃圧の関係をプロットしたものがFig. 5の○である。実験的には衝撃起爆誘導距離と衝撃圧との関係が両対数グラフ上でほぼ直線関係になることが知られており、発案者 Popolato の名前をもとに Pop plot と呼ばれている<sup>3)</sup>。爆薬の種類あるいは  $G$ ,  $z$  等のパラメータを変化させて、衝撃起爆誘導距離と衝撃圧との関係を求めると、L-Tモデルを用いた衝撃起爆過程の数値計算でも、Fig. 5に示してあるような直線関係が得られる。L-Tモデルの妥当なパラメータとしてこのPop plotを再現できるようなパラメータが選ばれる。

#### 4. 2 パラメータ $G$ , $z$ の影響

Lee と Tarver<sup>5)</sup> はパラメータ  $G$ ,  $z$  の値としてそれぞれ、単位質量あたりの燃焼表面積、燃焼速度の圧力指数に相当する値を設定することによって衝撃起爆の

数値計算結果は実験結果と良く一致することを示している。後に Murphy 等<sup>15)</sup> は  $G$  の値は爆薬の Failure diameter と相関があり、 $z$  は Pop plot の傾きに影響を与える因子と考えて、数値計算からそれらの値を決定している。ここで取り扱う PBX-9404 をはじめ PENT や TNT 等の高性能爆薬についてモデルのパラメータのほとんどはすでに決定されているが、パラメータ  $G$  ならびに  $z$  に関しては Lee と Tarver による値と Murphy 等の値を比較すると、同じ PBX-9404 であってもその値が異なる。L-Tモデルは、最終的にはこのモデルを用いた衝撃起爆計算が実験結果と一致するようにモデルのパラメータが決定される現象学的なモデルである。したがって、厳密には実験値から直接パラメータを決定することはできない。本論文では L-Tモデルを衝撃起爆実験が再現可能である工学的に有効なモデルであると考え、各パラメータが持つ物理的な意味について検討するのではなく、計算結果に与える影響だけを考えることにする。まず Murphy の論文を参考にして  $z=2$  とし、 $G$  を変化させてその影響について述べる。Fig. 6 は  $z$  を 2 として固定し、パラメータ  $G$  を変化させた計算例を比較したものである。ただし、 $G$  の値は L-Tモデルに関連する論文において、PBX 9404 について設定されている値の範囲 200~850 の間で任意に変化させた。 $G$  が大きいほど衝撃起爆誘導距離が短くなるのが容易に理解でき、ほぼ平行に直線が移動している。Fig. 7 は  $G=500$  で固定して  $z$  を変化させた計算例を比較したものであり、Fig. 6 と同様な傾向を示した。以上の結果より、 $z$ ,  $G$  はどちらも独立して変化させた場合、Pop plot の傾きに影響を与えるよりも、Pop plot 全体がほぼ平行に移動するように影響することが理解できる。これ

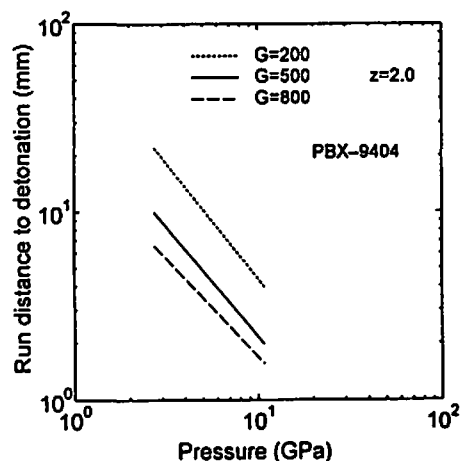


Fig. 6 Effect of  $G$  parameter on run distance to detonation vs. shock pressure on PBX-9404

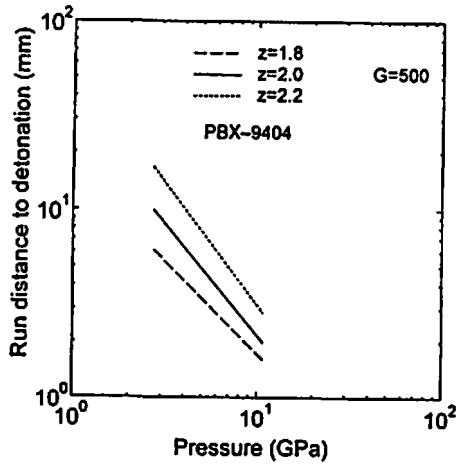


Fig. 7 Effect of  $z$  parameter on run distance to detonation vs. shock pressure on PBX-9404

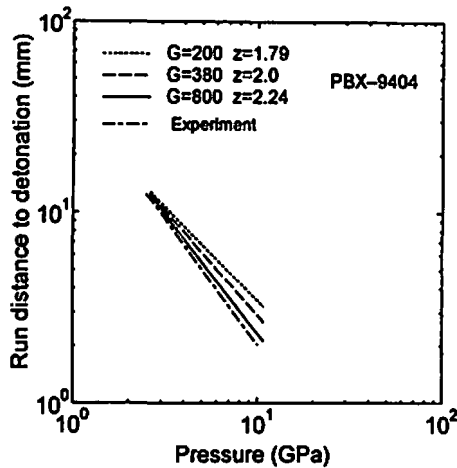


Fig. 8 Effect of  $G$  and  $z$  on run distance to detonation vs. shock pressure on PBX-9404

らのことより次のことが推察可能である。もし計算結果と実験結果で Pop plot の傾きが異なる場合は、 $G$  と  $z$  両方のパラメータを調整する必要があり、両者の傾きが同じである場合はどちらかのパラメータを調整すれば実験結果を再現できるパラメータを求めることができる。

Fig. 8 は  $G$  と  $z$  両方を変化させた計算結果の比較であり、図中 Experiment は Lee-Tarver の論文を参照したものである。実験結果に合うようなパラメータは次のように求めた。まず  $G=200$  として Fig. 3 で示したような圧力履歴になるようなパラメータ  $z$  を求め Pop plot を比較する。Fig. 8 より傾きを変化させる必要があるので、 $z$  を大きくして Fig. 3 の圧力履歴になるような  $G$  を求め、実験結果と計算結果が一致するまでその操作を繰り返す。以上の方法で容易に Pop plot を再現できる L-T モデルのパラメータを求めることが可能であることが Fig. 8 よりわかる。

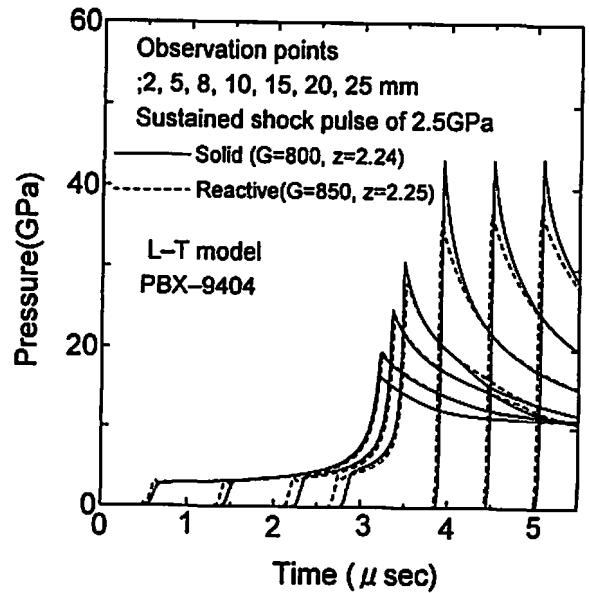


Fig. 9 Comparison to calculated pressure histories using solid and reactive Hugoniots on PBX-9404

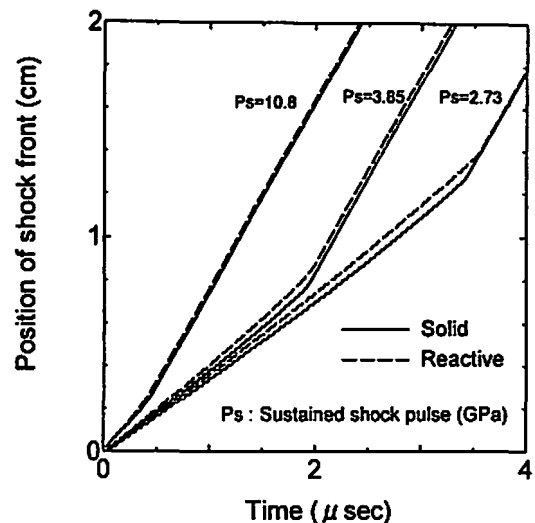


Fig. 10 Comparison to relationship on position of shock front and time calculated by solid and reactive Hugoniots

#### 4. 3 Hugoniot の違いが計算結果に及ぼす影響

Fig. 9 ならびに Fig. 10 は反応領域の状態量計算に Fig. 1 に示す Solid を用いた場合と Reactive を用いた場合の計算結果を比較したものであり、それぞれ圧力履歴と距離-時間線図を示す。反応モデルのパラメータは Solid の場合は実験結果と数値解析結果がよく一致する  $G=800$ ,  $z=2.24$  とした。一方 Reactive の場合は Solid と同じパラメータで計算すると実験結果よりも反応速度が大きくなる傾向を示した。そこで、Murphy の論文を参考にして、 $G=850$  とし、 $Z$  の値を圧力履歴ならびに Pop plot をもとに決定した。Fig.

9は衝撃起爆条件が比較的低压領域の場合であり、次の特徴が挙げられる。(1) 観測位置2mmにおいては衝撃波の到達時間がほとんど一致する。(2) 5, 8, 10mmの位置において到達時間には若干の食い違いが見られる。(3) 各位置において時間が経過するに従い圧力履歴が一致し、後方の反応波が先頭に追いついた後(図中15mm以上)は爆轟波の到達時間が一致し、両者とも爆轟速度で伝播する。上述した特徴について以下のようなことが考えられる。(1) 両方のHugoniotにおいて、衝撃波と粒子速度の関係は大気圧近傍ではほとんど差が無い。すなわち、圧力の低い領域では両者の衝撃特性の差は小さく、衝撃波は同じような挙動を示す。(2) 起爆条件が低压領域である衝撃起爆計算にReactiveを使用した場合、爆轟に至る前の衝撃波の到達時間について、実験結果と数値解析結果を一致させることはできない。これは反応率が小さいために衝撃波先頭が計算に用いたHugoniotに大きく依存するためである。(3) しかしながら、モデルのパラメータを調整することで反応速度をSolidの場合とほぼ一致させることが可能である。Fig.10では両者は立ち上がりの傾きに若干の違いが見られるものの、起爆誘導時間ならびに距離のずれは小さい。Fig.11はPBX-9404, Comp.B, ならびにPBX-RU80についてPop plotを示したものである。PBX-9404はFig.10の結果をもとにプロットしたものであり、SolidならびにReactiveを用いた計算はほぼ一致している。Comp.Bの実験値は文献<sup>20)</sup>のfit式をもとにしたもので、数値計算に用いた固体爆薬のHugoniotは

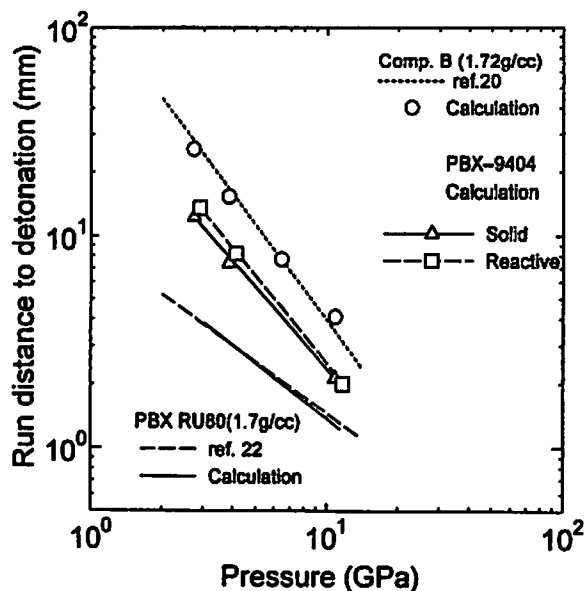


Fig. 11 Calculated and experimental run distance to detonation vs. shock pressure of several explosives with different Hugoniot

Maderが衝撃起爆計算に用いたSolid Hugoniot<sup>21)</sup>を使用した。PBX-UR 80の実験値は安部等<sup>22)</sup>により行われたWedge testにより得られたデータのfit式であり、また数値計算で必要になる固体爆薬のHugoniotについても同実験で得られた値を用いた。生成ガスの状態式のパラメータはComp.BについてはMaderがBKW状態式をもとに求めたものを用い、PBX-RU 80についてはKHT状態式<sup>9)</sup>をもとに求めた。いずれの場合も実験と数値解析結果が一致していることから、Wedge test等の衝撃起爆実験から得られるHugoniotあるいは体積弾性速度とノイマンスパイク点から評価されるHugoniotを用いてもPop plotを再現できるL-Tモデルのパラメータを求めることが可能である。

衝撃起爆過程まで考慮して超高压発生装置等を設計する場合、定常爆轟に至るまでの細かな反応過程あるいはスパイク圧の正確な表現よりも、外部からの衝撃に対して、定常爆轟に至るまでの距離を正確に予測することが重要であり、以上の結果より、L-Tモデルを用いた衝撃起爆計算は爆発エネルギーを有効に利用する観点から非常に有効である。

## 5. まとめ

反応則としてLee-Tarverモデルを採用し衝撃起爆過程をLagrange系の流体コードで数値解析し、反応モデルのパラメータが計算結果に与える影響、ならびに計算に使用するHugoniotが計算結果に与える影響について検討した。その結果、適当な反応則のパラメータを取ることにより、実験的に得られたPop plotが再現できることを示し、Lee-Tarverモデルを用いた衝撃起爆計算は爆発エネルギーを有効に利用する観点から衝撃起爆計算に非常に有効であることを示した。

## 文 献

- 1) S. Itoh, S. Kubota, S. Nagano and M. Fujita, J. pressure vessel technology, 120, 51 (1998)
- 2) 長野司郎, 伊東繁, 火薬学会誌, 61, 43 (2000)
- 3) C. L. Mader, "Numerical Modeling of Detonations", (1979), University of California Press
- 4) C. A. Forest, LASL report, LA-7245 (1978)
- 5) E. L. Lee and C. M. Tarver, Phys. Fluids, 23, 2362 (1980)
- 6) R. D. Cowan and W. Fickett, J. Chem. Phys., 24, 932 (1956)
- 7) C. L. Mader, LASL report, LA-3704 (1967)
- 8) 田中克己, 「爆薬の爆轟特性解析」, (1983), 化学技術研究所

- 9) A. W. Campbell, W. C. Davis, J. B. Ramsay and J. R. Travis, *Phys. Fluids*, 4, 511 (1961)
- 10) I. E. Lindstrom, *J. Appl. Phys.*, 37, 4873 (1966)
- 11) D. Stirpe, J. O. Johnson and J. Wackerle, *J. Appl. Phys.*, 41, 3884 (1970)
- 12) C. L. Mader, LASL report, LA-3235 (1965)
- 13) J. B. Ramsay and A. Popolato, Proc. 4 th Symposium (International) on Detonation, pp 233-238 (1965)
- 14) C. M. Tarver and J. O. Hallquist, Proc. 7 th Symposium (International) on Detonation, pp 488-497 (1981)
- 15) M. J. Murphy, E. L. Lee, A. M. Weston and A. E. Williams, Proc. 10th Symposium (International) on Detonation, pp 963-970 (1993)
- 16) J. N. Johnson, P. K. Tang and C. A. Forest, *J. Appl. Phys.* 57, 4323 (1985)
- 17) H. Hornberg and F. Volk, *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 14, 199 (1989)
- 18) C. L. Mader and W. R. Gage, LASL report, LA-3720 (1967)
- 19) J. Wackerle, J. O. Johnson and P. M. Halleck, Proc. 6 th Symposium (International) on Detonation, pp 20-28 (1976)
- 20) P. W. Cooper, Proc. 10 th Symposium (International) on Detonation, pp 690-695 (1993)
- 21) C. L. Mader, LASL report, LA-6259 (1976)
- 22) 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)

---

## Numerical investigation on shock initiation of high explosive using Lee-Tarver model

Shiro KUBOTA<sup>1</sup>, Hideki SHIMADA<sup>1</sup>, Kikuo MATSUI<sup>1</sup>, Yukio KATO<sup>2</sup>,  
Katsuhiko TAKAHASHI<sup>3</sup>, Masatake YOSHIDA<sup>4</sup>, Zhi-yue LIU<sup>5</sup>,  
and Shigeru ITOH<sup>6</sup>

In general, the equations of state for detonation product and un-reacted explosive based on un-reacted Hugoniot are used to calculate the states of mixture at the reaction zone in explosive. In recent numerical simulations on the shock initiation of heterogeneous explosives two types of Hugoniot have been used as the un-reacted Hugoniot. One is the reacted Hugoniot obtained by wedge test and the other is Hugoniot estimated by bulk sound velocity point and spike point in shock wave - particle velocity plane. In this paper we carried out the numerical simulations on the shock initiation of heterogeneous explosive using Lee-Tarver model to investigate the effect of the difference in value of parameters and the choice of the mentioned Hugoniots on results of numerical calculations. The results of calculation on shock initiation of heterogeneous explosive such as PBX-9404, Comp. B, PBX-RU80 are compared with published experimental data. The results demonstrate that both types of mentioned Hugoniots can express the relation between run distance to detonation and incident pressure which are obtained by shock initiation experiments.

<sup>1</sup>Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581, JAPAN

<sup>2</sup>NOF Corporation, 20-3, Ebisu 4-Chome, Shibuya-Ku, Tokyo 150-6019, JAPAN

<sup>3</sup>NOF Corporation, 61-1, Kitakomatsudani, Taketoyo-cho, Chita-gun, Aichi 470-2398, JAPAN

<sup>4</sup>National Institute of Materials and Chemical Research, 1-1 Higasi, Tukuba, Ibaraki 305-8565, JAPAN

<sup>5</sup>Shock Wave and Condensed Matter Research Center, Kumamoto University, 2-39-1, Kurokami, Kumamoto 860-0855, JAPAN)