

Table 1 Spline coefficients for the NCLI blast wave data

i	Xk(i)	C(i)	
		Δp	Imp
1		-2.2985E+00	-7.1507E-01
2		1.1684E+00	1.1690E-01
3	4.3325E-01	1.1946E+00	-4.1417E-01
4	6.3327E-01	2.9314E-01	1.8297E-01
5	8.3329E-01	-3.0139E+00	1.6321E+00
6	1.0333E+00	3.6995E-01	-2.1563E+00
7	1.2333E+00	1.1562E+00	7.5549E-01

$$\left. \begin{matrix} \log_{10}(\Delta p) \\ \log_{10}(Imp) \end{matrix} \right\} = C(1) \cdot x + C(2) + \sum_{i=3}^7 C(i) \cdot (x - Xk(i))_+^2$$

$$x = \log_{10}(Rs)$$

Δp ; Static Overpressure (bar)

Imp ; Positive Impulse (bar ; msec)

Rs ; Scaled Distance (m/kg^{1/3})

C(i) ; Spline Coefficients

Xk(i) ; Knot Positions

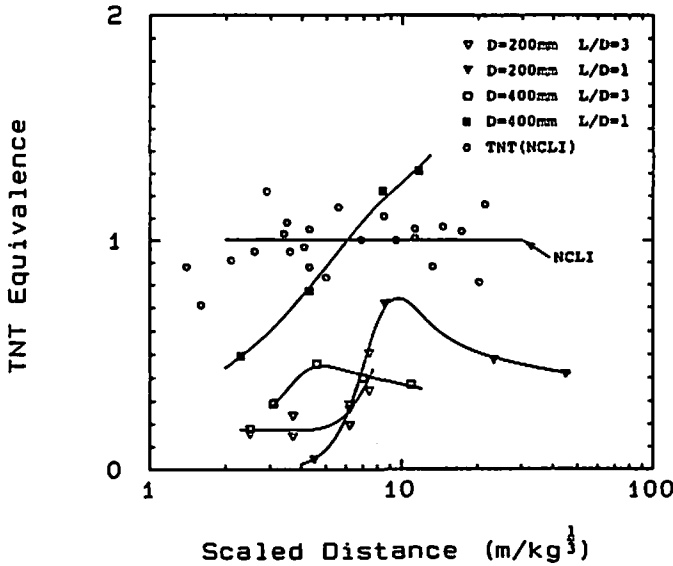


Fig. 1 TNT equivalence of the composite propellants in terms of static overpressure (NCLI)

となる。インパルスによる換算薬量もほぼ同様の手順により推定できる。

3.3 推進薬のTNT換算薬量

推進薬のTNT換算薬量は、ブースタ爆薬と推進薬の両方を含んだ爆風圧のTNT換算薬量(Weq_{B+P})からブースタ爆薬のみの換算薬量(Weq_B)を差し引いて算出した。すなわち、

$$Weq = Weq_{B+P} - Weq_B \quad (3)$$

ここに Weq =推進薬の正味TNT換算薬量である。このようにして求めたTNT換算薬量を換算距離に対してプロットした結果をFig.1~Fig.3に示す。Fig.1はNCLIのピーク静水過圧から推定した結果であり、参考のためKingeryのピーク静水過圧³⁾から求めたTNT換算薬量をFig.2に示した。また、Fig.3はNCLIのインパルスから推定したTNT換算薬量の結果である。

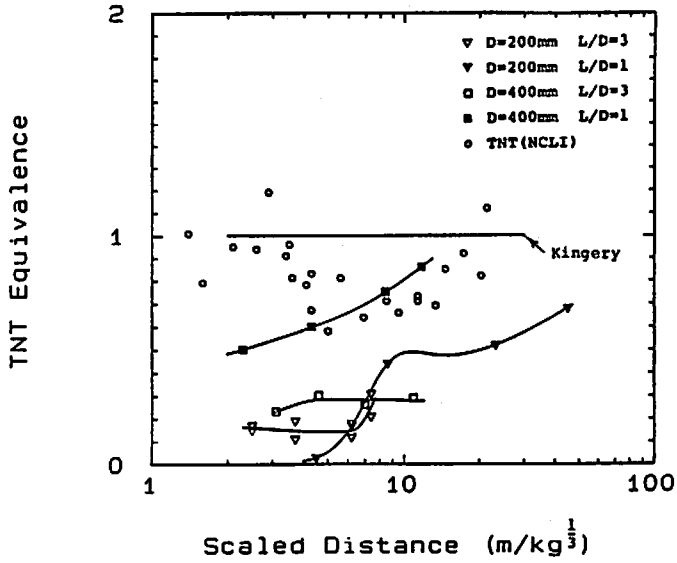


Fig. 2 TNT equivalence of the composite propellants in terms of static overpressure (Kingery)

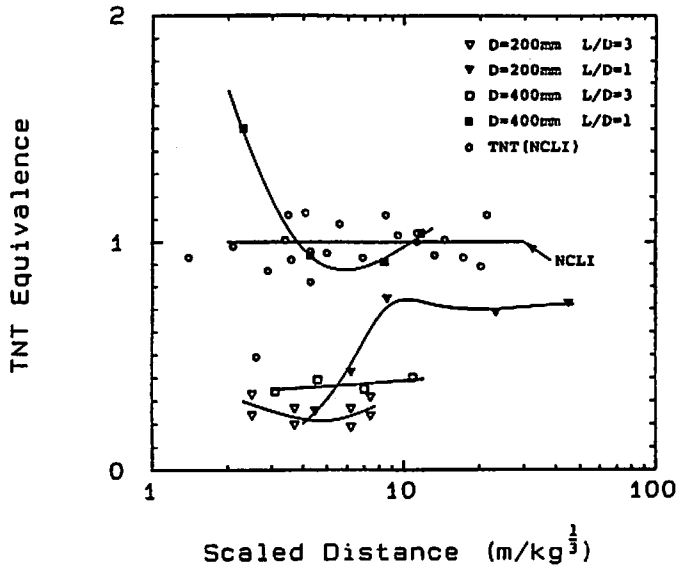


Fig. 3 TNT equivalence of the composite propellants in terms of positive impulse (NCLI)

4. 考 察

4.1 NCLIとKingeryのTNTデータの比較

NCLIのTNTデータは、Fig. 1あるいはFig. 3にあるようにスプラインフィット式のまわりにある程度の分布をもっているが、まずNCLIのTNTデータとKingeryのそれとを比較する。Fig. 2から換算距離 $R_s > 5 \text{ m/kg}^{1/3}$ において、NCLIのデータはKingeryより低めの値になっている。球状爆薬に対する円筒状爆薬

の爆風圧の比は、換算距離 $R_{so} < 3 \text{ m/kg}^{1/3}$ では1より大きい、それより遠方では1より小さくなりはじめ $R_s \sim 8 \text{ m/kg}^{1/3}$ ではその比は約0.8までになる⁴⁾。また実験時の大気圧は935~990mbarの間であったので¹⁾、ピーク圧は最大7%程度小さくなる。一方、爆発高さの影響は、 $R_s \sim 8 \text{ m/kg}^{1/3}$ で5%程度高めめのピーク圧を与える⁴⁾。これらの影響で、NCLIのTNTデータに関してはFig. 2のような結果を得たと思われる。

したがって、遠方でNCLIがKingeryより低い値なので、NCLIを基準にしたTNT換算薬量はKingeryのものより大きくなるのが予想できる。

4.2 TNT換算薬量の距離による変化

Fig. 1およびFig. 2よりピーク静水過圧からのTNT換算薬量は、換算距離が遠くなるにつれ増加傾向のあることが認められる。すなわち、NCLIのピーク静水過圧の結果でみると、 $L/D=3$ 、推進薬34kgの場合20~50%、ミゾ付き飛翔板の34kgの場合で15~35%、そして260kgの場合で30~40%となっている。まとめると、 $L/D=3$ においては、平均して20~50%の範囲にある。一方、 $L/D=1$ の場合には推進薬量11.1kgで30~70%、86.4kgで50~130%となり、やはり距離による増加傾向が認められる。KingeryからのTNT換算薬量はNCLIより小さめではあるが、同様の傾向を示している。このような距離による変化は、推進薬が爆轟せず燃焼したため、そのエネルギーの開放速度がTNT爆薬よりも遅くなり、爆源から遠ざかるにつれて爆風に寄与する推進薬量が増加したためと考えられる。また、 $L/D=1$ の場合にTNT換算薬量が100%を上回る結果がある。これはコンポジット推進薬の爆発熱がTNTよりも大きいことを考慮すると、推進薬のエネルギーは遠方においてほとんどが爆風圧に寄与したと思われる。

Fig. 3においてインパルスに基づいた推進薬のTNT換算薬量は、ほぼピーク過圧に基づいたものに対応する結果となっている。しかし、 $D=400\text{mm}$ 、 $L/D=1$ の場合に、ピーク過圧からの換算薬量が小さい距離でもインパルスからのそれは大きくなった。また、前報で爆風圧のプロファイルが特異な形のものがあったが、それらのTNT換算薬量についてみると、換算距離が約4.5および6.3m/kg^{1/2}で図中■印のシンボルで表示されているデータがそれにあたる。ピーク静水過圧からのTNT換算薬量は小さいが、インパルスからのそれはやや大きめになっている。これらの例に見られるように、推進薬のTNT換算薬量を評価する際にはピーク静水過圧およびインパルスの併用が望ましい。

4.3 薬径および薬長/薬径比の影響

Fig. 1およびFig. 3から、推進薬のTNT換算薬量は薬径により変化し、 $L/D=1, 3$ の両者に対し薬量が大きくなるとTNT換算薬量も大きくなる。

また L/D の影響については、同図で $D=400\text{mm}$ の場合、 L/D が小さい方が換算薬量は大きくなる。しかし $D=200\text{mm}$ の場合、 $L/D=1$ の結果は近距離で $L/D=3$ のものと同程度かやや小さく、遠方において $L/D=3$ より大きくなり、薬径により L/D の影響は若

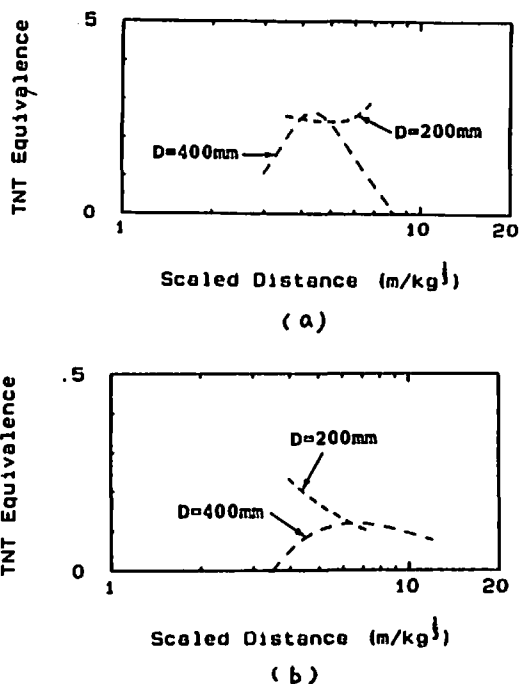


Fig. 4 TNT equivalence of lower two thirds of composite prepellant
(a) in terms of static overpressure (NCLI)
(b) in terms of positive impulse (NCLI)

干異なるように思われる。これについてさらに検討するため、同一薬径の $L/D=3$ の推進薬のTNT換算薬量から $L/D=1$ の推進薬のTNT換算薬量を差し引いた薬量、言い換えれば $L/D=3$ の推進薬の下部3分の2のTNT換算薬量を評価した。 $L/D=3$ の薬量を $W_1\text{kg}$ 、そのTNT換算薬量を $W_1\text{eqkg}$ 、 $L/D=1$ のTNT換算薬量を $W_2\text{eqkg}$ とすると、推進薬の下部3分の2のTNT換算薬量 $R_{2/3}$ は、

$$R_{2/3} = (W_1\text{eq} - W_2\text{eq}) / (2W_{1/2}) \quad (4)$$

となる。Fig. 4にNCLIのピーク過圧あるいはインパルスから算出した(4)式の結果を示す。Fig. 4から推進薬の下部3分の2によるTNT換算薬量 $R_{2/3}$ は、 $D=400\text{mm}$ の場合最大値を中間にもち、遠方で減少する傾向がある。一方、 $D=200\text{mm}$ の場合、 $R_{2/3}$ はピーク過圧からはやや増加しつつあるが、インパルスからは一様な減少を示す。この傾向は前報で報告した、爆風圧特性値のひとつである衝撃波立ち上がり直後の圧力減衰速度 $(-dp/dt)$ を考察すると、 $D=200\text{mm}$ の結果は $D=400\text{mm}$ のものより大きくなっている。したがって、距離の測定範囲が狭くデータ点数も少ないうえに測定誤差も存在するが、Fig. 4にある薬径の影響は推進薬の化学反応の形態が若干異なっ

ているためと考えられる。

ソフィー計画では、ほぼ同一組成の推進薬の TNT 換算薬量は不爆であるのに～200%になっている⁹⁾。したがって、実用の固体ロケット推進薬では薬径ならびに L/D は本実験よりもかなり大きいので、そのような条件で衝撃超高压が作用した時の推進薬の挙動を調べることは今後の課題であろう。

5. まとめ

薬量が 34～260kg の 4 種類のコンポジット推進薬に衝撃超高压を加えて起爆し、発生する爆風圧から推進薬の TNT 換算薬量を推定して次の結果を得た。

(1) 薬径 $D=200, 400\text{mm}$ 、薬長薬径比 $L/D=1, 3$ の超高压を受けたコンポジット推進薬の TNT 換算薬量をピーク過圧およびインパルスから求めた。

(2) TNT 換算薬量は平均して約 0.2～1.3 となり、薬径および薬長/薬径比により変化する。

(3) $L/D=1, 3$ の両者に対し薬径が大きくなると TNT 換算薬量は大きくなる。

(4) $D=400\text{mm}$ の場合、 L/D が小さい方が換算薬量

は大きい、 $D=200\text{mm}$ では、 $L/D=1$ の結果は近距離で $L/D=3$ のものと同程度かやや小さく、遠方においては $L/D=3$ より大きくなる。

謝 辞

実験の実施にあたり、関係諸官庁、産業火薬業界をはじめとして多数の方の協力を得た。ここに、深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 通商産業省立地公害局保安課・工業技術院化学技術研究所，“火薬類保安技術実験報告書” (1984～86)
- 2) 中山良男他，工業火薬，50, 81 (1989)
- 3) C. N. Kingery and B. F. Pannill, BRL Memorandum Report No. 1518 (1964)
- 4) M. M. Swisdak, Jr. “Explosion Effects and Properties Part I—Explosion Effects in Air”, NSWC/WOL/TR 75-116 (1975)
- 5) R. B. Elwell et al., “Project Sophy—Solid Propellant Hazard Program”

Explosions of composite propellants by ultra-high pressure initiation

(2) TNT equivalences

by Yoshio NAKAYAMA*, Masataka YOSHIDA*, Yohzo KAKUDATE*
Mitsuaki IIDA*, Noboru ISHIKAWA*, Kazushige KATO**
Hiroshi SAKAI**, Shyu USUBA*, Katsutoshi AOKI*
Nitaro KUWABARA*, Katsumi TANAKA*, Kazumi TANAKA*
Shyuzo FUJIWARA*

In order to determine the TNT equivalences, airblast measurements were made on the composite propellants and TNT cylinders. Two diameter sizes of propellants, 200mm and 400mm, and two length-to-diameter ratios (L/D), one and three, were used. The results showed that TNT equivalences of the propellants, in terms of static overpressure, ranged from 20 percents at the closer distances to 130 percents at the larger distances. And for both L/D ratios of one and three, the larger the diameter of the propellants, the larger the TNT equivalence. TNT equivalences appeared to vary owing to the effect of the L/D ratio.

(*National Chemical Laboratory for Industry, Higashi, Tsukuba-shi, Ibaraki-Pref., 305

**Nipon Oil and Fats Co., Taketoyo-cho, Chita-gun, Aichi-Pref., 470-23)