

Fig. 1 Illustration of experimental setup

3. 結果と考察

3.1 鋼板へこみ試験

Table 1 に鋼板へこみ試験の結果を示す。本研究で用いた試料容器の場合には、TBPの重量混合範囲が13~34%の領域で証拠板に1.23~1.90mmのへこみ(デント)が形成され、この条件では試料が爆轟に至ったと思われる。爆轟に至らなかったと思われる混合条件では、起爆後の証拠板上に腐食対策用のフッ素樹脂製粘着テープが貼り付いたままの状態、或いは、証拠板に近い部分の容器が一部破壊されずに残っているケースもあった。

本研究で取り扱うような液体試料の爆轟現象では、しばしば爆轟波背後の容器壁面付近で発生したfailure wave⁴⁾が爆轟波面に追いつき、爆轟中断を起こす事がある。本研究の場合も容器の内部でfailure waveが発生している可能性は否定できず、もし、failure waveが発生していれば証拠板により得られた爆・不爆の判定結果は、本来の爆轟範囲より狭くなってしまふ。この点に関しては今後の検討課題である。

3.2 爆速測定および爆轟圧力の推定

TBPと硝酸の理論混合比(TBP/HNO₃=22/78 wt.%)の試料を起爆し、高速度カメラにより撮影した

Table 1 Experimental result of dent test

TBP/HNO ₃ composition (wt.%)	Result after ignition	Depth of dent (mm)
10/90	×	0
12/88	×	0
13/87	○	1.23
14/86	○	1.41
15/85	○	1.57
22/78*	○	1.80
(stoichiometric)	○	1.90
25/75	○	1.60
30/70	○	1.57
33/67	○	1.48
34/66	○	1.38
35/65	×	0
40/60	×	0

○=Detonated, ×=Not detonated

*Measured detonation velocity=6.45 km/s (optically)

ストリーク写真をFig. 2に示す。自発光が弱いため、爆轟波面を鮮明に捕らえることは困難であるが、爆轟波面は一定速度(約6.45 km/s)で進行している。試みに、この爆速と試料の初期密度(約1322 kg/m³)から以下の式

$$P_{CJ} = \rho_0 D^2 / (\gamma + 1) \approx \rho_0 D^2 / 4$$

ただし

$$\gamma = -(\partial \ln P / \partial \ln V)_s = (1 - P_0/P) / (V_0/V - 1)$$

に従って爆轟圧力 P_{CJ} を推定すると、その値は約14 GPaに達し、硝酸エチルに匹敵する爆轟圧力⁵⁾を有する事がわかる。ここで、 ρ_0 は試料(爆薬)の密度、 D は爆速である。また、 γ はC-J点を通って等エントロピー膨張する爆轟ガスの圧力と体積の関係を表す指数(≈ 3)である。参考として、当該試料の爆発特性について別途実施した化学平衡計算(Cheetahコード⁶⁾)によれば、爆速6.88 km/s、爆轟圧14.5 GPaとなり、実験結果と矛盾しない結果を与えている。なお、爆速の実験値が計算値より低くなったのは、20mmという薬径の効果によるものと考えられる。

以上の結果、本研究で用いたTBP/硝酸の混合物を取扱う際には爆薬としての認識をもって作業にあたる必要のあることが明らかとなった。

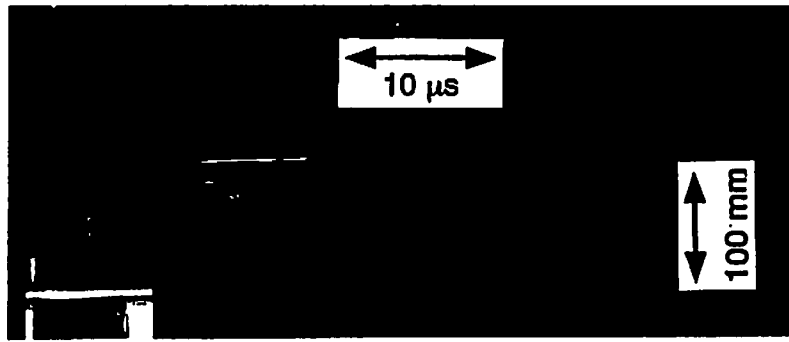


Fig. 2 Streak photograph of propagating detonation (composition: TBP/HNO₃=22/78 wt.%, streak rate: 2.5 mm/μs, slit width: 100 μm)

4. おわりに

TBP/発煙硝酸の混合物に対して火薬類の試験法である鋼板へこみ試験を適用し、試料の爆轟性について検討した。得られた結果を以下に要約する。

- (1) 内径20mmの容器を用いた場合、試料はTBPの混合範囲が13～34%の領域で爆轟に至った。
- (2) TBPと発煙硝酸が理論混合比の場合、爆轟時には軟鋼製の証拠板に最大1.9mmのへこみ(デント)が形成される。爆速および試料の初期密度から推定して、約14GPaの爆轟圧力が発生している。

文 献

- 1) 浅田忠一, 大山彰 他監修, 「原子力ハンドブック」, (1994), オーム社
- 2) 松村知治, 中山良男, 飯田光明, 吉田正典, 平成9年度火薬学会秋季研究発表講演会要旨集, pp. 39-40(1997)
- 3) T. R. Gibbs, A. Popolato(ed.), "LASL Explosive Property Data", 280(1980), University of California Press
- 4) C. Leiber, Physikaisch/chemische Prinzipien der Slurries, 工業火薬, 46, 270(1985)
- 5) 田中克己, 「爆薬の爆轟特性解析」, 145(1983), 化学技術研究所
- 6) L. E. Fried, "CHEETAH 1.0 User's Manual", (1994), Lawrence Livermore National Laboratory

Detonability of tri-butyl phosphate and nitric acid mixture

by Tomoharu MATSUMURA*, Yoshio NAKAYAMA*, Masatake YOSHIDA*
and Shuzo FUJIWARA*

In the present study, mixture of tri-butyl phosphate (TBP) and fuming nitric acid was used as a sample material. This mixture has been commonly used in the chemical reprocessing of spent nuclear fuel. Not esterificated mixtures of organic solvent and nitric acid will not detonate under normal condition of pressure and temperature. These mixtures, however, will detonate by certain ignition method, and will show explosion strength. This article reports the detonability of TBP and fuming nitric acid mixture by a dent test of steel plates. Detonation velocity at the condition of a stoichiometric mixture was measured optically, and detonation pressure was estimated. It was found, when using a plastic sample container of 20 mm inner dia. and under condition of TBP content ranging from 13 to 34 wt. %, that the dent of 1.23 to 1.90 mm in depth was created on the steel plates. These results show that sample mixture was detonated. It was also found that detonation velocity of the stoichiometric mixture was 6.45 km/s, and detonation pressure was estimated to be approx. 14 GPa.

(*National Institute of Materials and Chemical Research, 1-1 Higashi,
Tsukuba, Ibaraki 305-8565, JAPAN)
