

Fig. 1 Pressure vessel with pressure sensor

ッキングの内径を求めておく。今回使用の破裂板では、内径35.0mm(厚さ2.0mm, 外径60.0mm)のものを用いた。

2.3 実験手順

新しい消防法では、1mm径または9mm径のオリフィス板を取り付けた圧力容器に5gの試料を入れ、破裂圧力が $6.0 \pm 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ の破裂板を取り付けて、100℃から200℃の間で平均1分当り40℃の割合で加熱し、10回の試験で50%以上の確率で破裂板が破裂するか否かを調べることとなった。従って、5回破裂した場合、または6回非破裂の場合その実験を終了し、次に進んだ¹⁰⁾。

実験は、以下に示すような手順で行った。

- 1) 実験の一時前程度から、電気炉に電流を通しておく。
- 2) 測定系の校正をする。
- 3) 試料をアルミ容器に正確に秤り取る。
- 4) 1mm径または9mm径オリフィスを圧力容器に取り付ける。
- 5) 試料の入ったアルミ容器を圧力容器内中央に入れ、アルミニウム破裂板をバイトンゴム製Oリングと銅製パッキング2枚で挟み、蝶ネジでしっかり密閉する。
- 6) 破裂板の熱劣化を防ぐため、破裂板上部に水を張る。
- 7) この容器を電気炉にのせ、同時にストップウォ

ッチを作動させる。

- 8) 試料の分解が予想される30秒前に、データレコーダのスイッチを入れ、圧力上昇を記録する。
- 9) 試料が分解を開始し、分解ガスがオリフィスから噴出するか、または、破裂板が破裂する時間を記録する。
- 10) 圧力測定結果より破裂板が破裂したときの最高圧力、または、破裂板が破裂しないときの最高到達圧力を求める。

3. 結果と考察

3.1 実験結果

産業用爆破薬の消防法圧力容器試験の結果をTable 1に示した。ニトログリセリンを基剤とした3号新桐ダイナマイト、2号榎ダイナマイト、1号特梅ダイナマイトは、いずれも9mm径オリフィスで6回の試験で1回も破裂板は破裂せず、1mm径オリフィスで5回の試験で5回とも破裂した。2号榎ダイナマイトは、破裂板が破裂した時および破裂しないで分解ガスが吹き出した時の合計11回の試験の中で、10回試料が燃焼した。3号新桐ダイナマイトは2回試料の燃焼が観察された。1号特梅ダイナマイトは、1回も試料は燃焼しなかった。このことは、成分に減熱消炎剤として食塩を含んでおり、分解に際して高温になり難いことによると思われる。

エマルジョン爆薬A、Bおよび含水爆薬は、いずれもその組成中に水を含む爆薬である。これらはいずれ

Table 1 Results of pressure vessel test for commercial blasting explosives

No.	Explosives	Weight [g]	Orifice [mm]	Judgement	Pmax [kgf/cm ²]	dP/dTmax [kgf/cm ² /s]
1	No.3 Shin-kiri D.	5	9	×	0.61	47.84
2	No.3 Shin-kiri D.	5	9	×	0.31	35.69
3	No.3 Shin-kiri D.	5	9	×	0.41	47.28
4	No.3 Shin-kiri D.	5	9	×	0.13	9.08
5	No.3 Shin-kiri D.	5	9	×	0.25	24.56
6	No.3 Shin-kiri D.	5	9	×	0.47	53.09
7	No.3 Shin-kiri D.	5	1	○	6.84	134.13
8	No.3 Shin-kiri D.	5	1	○	6.56	439.38
9	No.3 Shin-kiri D.	5	1	○	7.29	257.99
10	No.3 Shin-kiri D.	5	1	○	7.54	491.32
11	No.3 Shin-kiri D.	5	1	○	6.71	133.11
12	No.2 Enokiri D.	5	1	○	6.16	27.66
13	No.2 Enokiri D.	5	1	○	6.55	118.91
14	No.2 Enokiri D.	5	1	○	5.86	22.22
15	No.2 Enokiri D.	5	1	○	5.82	33.94
16	No.2 Enokiri D.	5	1	○	6.10	32.39
17	No.2 Enokiri D.	5	9	×	.....	.....
18	No.2 Enokiri D.	5	9	×	.....	.....
19	No.2 Enokiri D.	5	9	×	.....	.....
20	No.2 Enokiri D.	5	9	×	.....	.....
21	No.2 Enokiri D.	5	9	×	.....	.....
22	No.2 Enokiri D.	5	9	×	.....	.....
23	No.1 Toku-Ume D.	5	1	○	7.35	276.86
24	No.1 Toku-Ume D.	5	1	○	7.33	367.15
25	No.1 Toku-Ume D.	5	1	○	8.94	337.79
26	No.1 Toku-Ume D.	5	1	○	7.24	460.39
27	No.1 Toku-Ume D.	5	1	○	10.79	337.02
28	No.1 Toku-Ume D.	5	9	×	0.69	67.01
29	No.1 Toku-Ume D.	5	9	×	0.51	65.15
30	No.1 Toku-Ume D.	5	9	×	0.82	145.92
31	No.1 Toku-Ume D.	5	9	×	0.18	3.21
32	No.1 Toku-Ume D.	5	9	×	0.34	41.08
33	No.1 Toku-Ume D.	5	9	×	0.40	25.47
34	Carlit A	1	9	×	1.69	73.80
35	Carlit A	2	9	○	9.22	2662.29
36	Carlit A	2	9	○	9.42	3434.03
37	Carlit A	2	9	○	8.76	3034.46
38	Carlit A	2	9	○	12.36	5903.70
39	Carlit A	2	9	○	10.59	4557.24
40	Carlit A	3	9	○	16.94	13397.90
41	Carlit A	1	1	○	9.76	3061.65
42	Carlit A	2	1	○	11.21	5120.02
43	Carlit A	3	1	○	14.28	8095.74

D.:Dynamite, ○:Burst, ×:Not burst

No.	Explosives	Weight [g]	Orifice [mm]	Judgement	Pmax [kgf/cm ²]	dP/dTmax [kgf/cm ² /s]
44	Emulsion Expl. B	5	1	○	6.20	71.86
45	Emulsion Expl. B	5	1	○	5.78	55.07
46	Emulsion Expl. B	5	1	○	5.90	49.01
47	Emulsion Expl. B	5	1	○	6.42	50.16
48	Emulsion Expl. B	5	1	○	5.56	78.57
49	Emulsion Expl. B	5	9	×	.....	.....
50	Emulsion Expl. B	5	9	×	.....	.....
51	Emulsion Expl. B	5	9	×	.....	.....
52	Emulsion Expl. B	5	9	×	.....	.....
53	Emulsion Expl. B	5	9	×	.....	.....
54	Emulsion Expl. B	5	9	×	.....	.....
55	Emulsion Expl. A	5	1	○	7.24	430.49
56	Emulsion Expl. A	5	1	○	5.65	50.52
57	Emulsion Expl. A	5	1	○	6.82	203.32
58	Emulsion Expl. A	5	1	○	5.87	37.03
59	Emulsion Expl. A	5	1	○	6.18	61.79
60	Emulsion Expl. A	5	9	×	.....	.....
61	Emulsion Expl. A	5	9	×	0.13	21.61
62	Emulsion Expl. A	5	9	×	0.07	0.63
63	Emulsion Expl. A	5	9	×	.....	.....
64	Emulsion Expl. A	5	9	×	0.07	8.08
65	Emulsion Expl. A	5	9	×	.....	.....
66	AN-FO	5	1	×	0.77	4.56
67	AN-FO	5	1	×	0.76	15.30
68	AN-FO	5	1	×	0.46	10.52
69	AN-FO	5	1	×	0.25	6.20
70	AN-FO	5	1	×	.....	.....
71	AN-FO	5	1	×	1.20	9.77
72	Water gel Expl.	5	1	○	6.81	207.91
73	Water gel Expl.	5	1	○	6.90	229.96
74	Water gel Expl.	5	1	○	6.91	209.20
75	Water gel Expl.	5	1	○	6.46	190.73
76	Water gel Expl.	5	1	○	6.47	312.57
77	Water gel Expl.	5	9	×	0.27	33.02
78	Water gel Expl.	5	9	×	0.28	61.34
79	Water gel Expl.	5	9	×	0.27	40.11
80	Water gel Expl.	5	9	×	0.21	31.41
81	Water gel Expl.	5	9	×	0.13	0.82
82	Water gel Expl.	5	9	×	0.18	19.73

Expl.:Explosive, AN-FO:Ammonium Nitrate-Fuel Oil, ○:Burst, ×:Not burst

もダイナマイトと同様に9mm径オリフィスで6回の試験で1回も破裂板は破裂せず、1mm径オリフィスで5回の試験で5回とも破裂した。エマルジョン爆薬A、Bは、破裂板が破裂した場合に試料の燃焼がそれぞれ2回および3回観察された。含水爆薬は、2度爆発音が聞こえた時が1度だけあった。試料容器の変形具合

いより、おそらく、一度目は正常な破裂板の破裂音であり、その時試料容器が飛び出して破裂板の閉口部を閉息した状態にあり、二度目は、試料容器よりこぼれ出した試料の熱爆発によりさらに破裂板を破裂させたと思われる。

硝安油剤爆薬は、1mm径オリフィスで6回の試験で

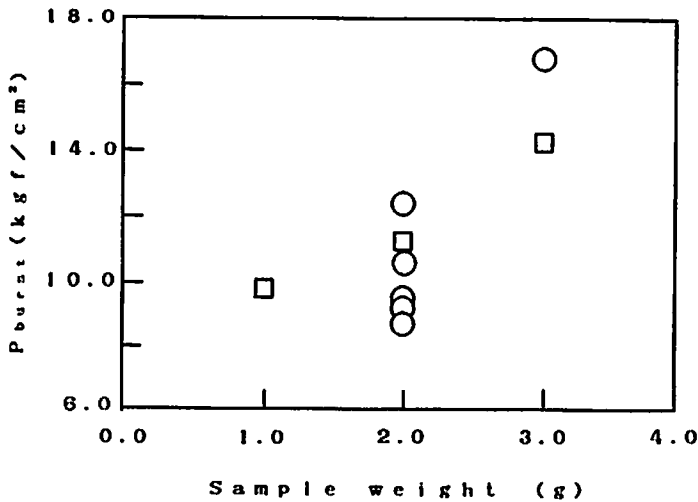


Fig. 2 Plot of bursting pressure of rupture disk vs. sample weight of Carlit A for pressure vessel test

○ 9mm orifice □ 1mm orifice

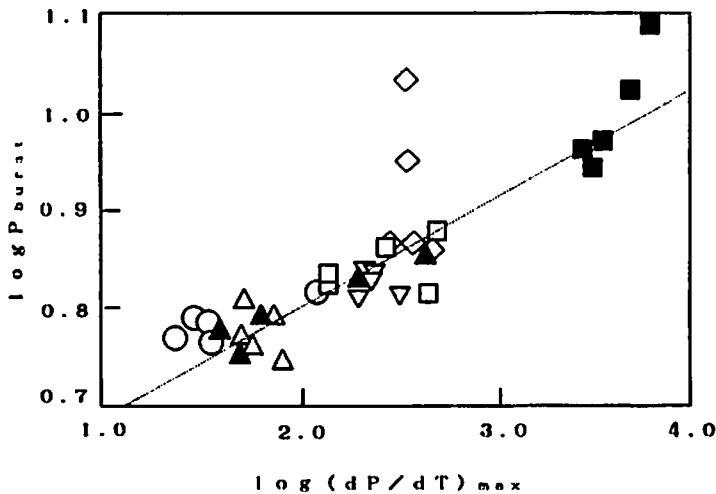


Fig. 3 Plot of $\log P_{burst}$ vs. $\log (dP/dT)_{max}$ for pressure vessel test of commercial blasting explosives

□ No.3 Shin-Kiri D. ○ No.2 Enoki D.
 ◇ No.1 Toku-Urme D. ■ Carlit A
 △ Emulsion Explo. B ▲ Emulsion Explo. A
 ▽ Water gel Explo.

6回とも破裂板は破裂しなかった。その組成中の軽油が先に蒸発したことによるのかも知れない。硝安油剤爆薬の圧力容器中での分解の平均到達圧力は0.69kgf/cm²であった。

カーリットAは、危険性を考慮して9mmオリフィスを用いて試料量1gより試験を開始した。試料量2gで破裂板が破裂した。3gでは破裂圧力が17kgf/cm²となり、圧力上昇速度が10,000kgf/cm²/s以上となり

装置および実験者の安全を考慮して試料量2gで合計5回の試験を行った。また、参考のために1mm径オリフィスで試料量1g, 2g, 3gとして1回ずつ試験した。Fig. 2にその結果を示した。9mm径および1mm径オリフィスの時の時間-圧力曲線をFig. 4(d)(e)に示した。分解パターンおよび圧力上昇はほとんど変わらない結果である。急激に分解する場合、オリフィス径の影響はそれほどないようである。

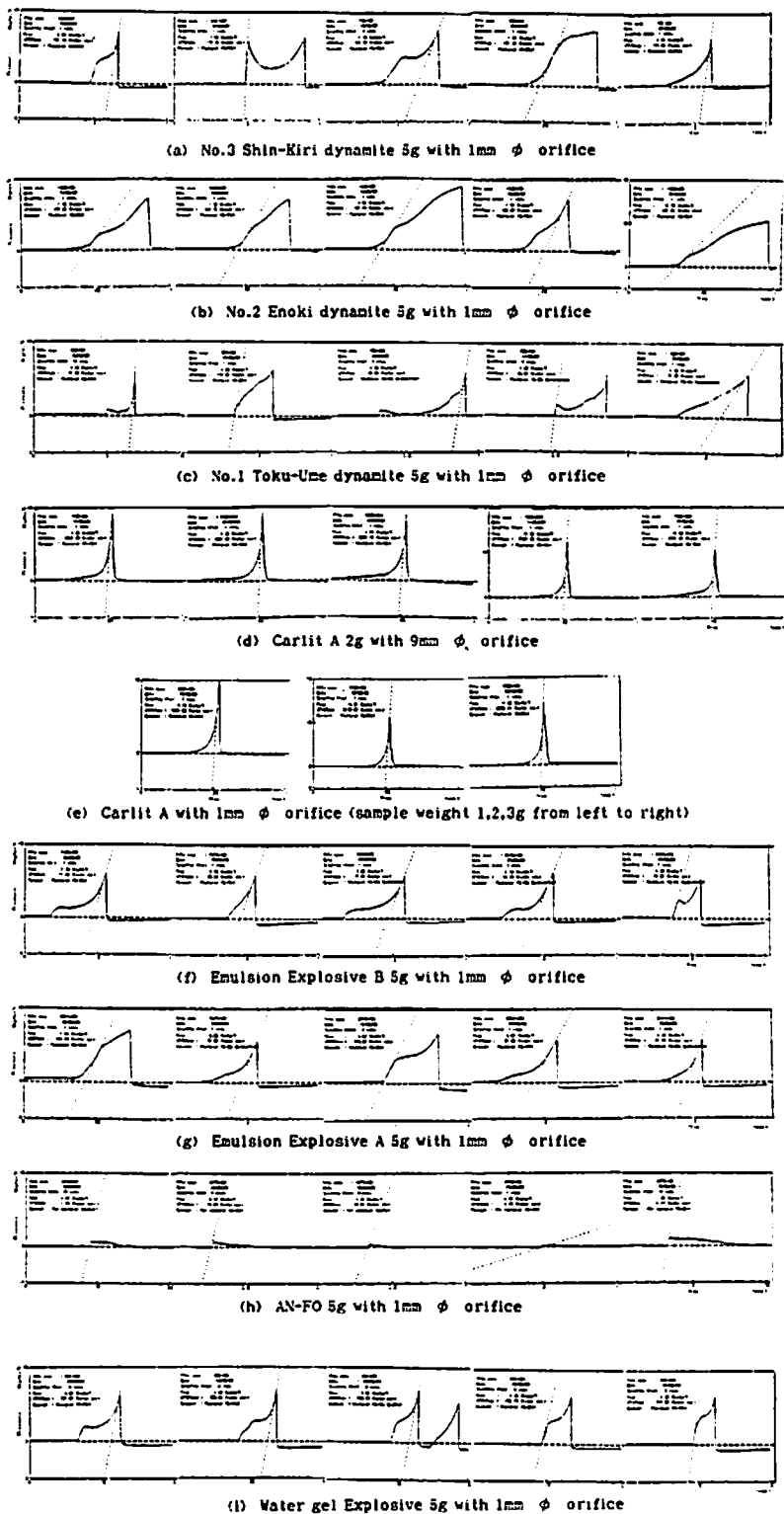


Fig. 4 Time—pressure curves of the pressure vessel test

カーリットAのようにあらかじめ激しい分解が予想されるものは、装置の保全および実験者の安全のため

に消防法に規定された試料量5gより少ない破裂板の破裂する最少量で試験を行い判定する方が合理的であ

Table 2 Average value and standard deviation of bursting pressure of rupture disk

Explosives	\bar{x} [kgf/cm ²]	σ [kgf/cm ²]
No.3 Shin-Kiri dynamite	7.01	0.35
No.2 Enoki dynamite	6.10	0.26
No.1 Toku-Ume dynamite	8.33	1.38
Carlit A	10.07	1.29
Emulsion explosive A	6.35	0.59
Emulsion explosive B	5.97	0.30
Water gel explosive	6.71	0.20
70% AIBN (30% alumina)	6.00	0.28

と思われる。

3.2 破裂板破裂圧力のバラツキ

破裂板破裂圧力は同一試料、同一質量を用いてもバラツキがある。各5回の実験で得られたバラツキはTable 2のようになった。破裂板のバラツキ(σ)は、境界物質70% AIBN(30%アルミナ希釈)を用いた実験では0.3kgf/cm²程度あった⁹⁾。Table 2から、破裂板の破裂圧力が6 kgf/cm²前後では、破裂圧力のバラツキは、70% AIBNの場合とあまり変わらないようである。しかし、破裂圧力の大きい1号特梅ダイナマイトおよびカーリットAはバラツキが大きい結果となった。

3.3 破裂板破裂圧力と最大圧力上昇速度との相関

破裂板破裂圧力の対数を最大圧力上昇速度の対数に対してプロットしたのがFig. 3である。経験式として $\log P_{burst} = 0.11 \log (dP/dT)_{max} + 0.58$ が得られる。この式で表される直線を図中に示した。

3.4 産業用爆破薬の分解昇圧曲線

試験した産業用爆破薬の分解昇圧曲線をFig. 4に示した。

3号新桐ダイナマイトでは、1mm径オリフィスで5回の破裂の内、分解昇圧曲線が2段になっているのが3回観察され、その内1回は完全に2つのピークに分かれている。その他の2回は、分解昇圧曲線が1段である。9mmオリフィス径では、破裂しなかった6回は、いずれも到達圧力が小さく、平均で0.36kgf/cm²、最高値で0.61kgf/cm²であった。

2号榎ダイナマイトでは、1mm径オリフィスで5回の破裂の内、5回とも2段で分解している。9mmオリフィス径では、破裂しなかった6回とも圧力上昇が小さく、トリガーが切れず、測定できなかった。

1号特梅ダイナマイトでは、1mm径オリフィスで、1段目の昇圧後、緩やかな昇圧を経て、2段目で破裂

板が破裂した。9mmオリフィス径では、やはり圧力上昇は小さく、平均で0.49kgf/cm²、最高値で0.82kgf/cm²であった。

カーリットAでは、9mmオリフィス径で、試料量2gで5回の試験で5回とも破裂板が破裂した。高い圧力上昇速度が示すように、分解昇圧曲線は鋭く立ち上がっている。1mm径オリフィスでも同じ結果であった。

エマルジョン爆薬Bでは、1mm径オリフィスで、5回中4回は2段で分解し、残りの1回は、1段目の分解が明らかでなく、そのまま圧力上昇して破裂している。9mmオリフィス径では、破裂しなかった6回とも圧力上昇が小さく、トリガーが切れず、測定できなかった。

エマルジョン爆薬Aでは、1mm径オリフィスで、5回中4回は初め緩やかに分解し、2段目で破裂板が破裂した。残りの1回は、1段目の分解が明らかでなく、そのまま圧力上昇して破裂している。9mmオリフィス径では、6回中3回測定が出来、3回の平均到達圧力は、0.09kgf/cm²で、最高値で0.13kgf/cm²であった。

硝安油剤爆薬は、1mm径オリフィスで、6回の試験で何れも破裂板は破裂せず、その内5回測定が出来た。昇圧が観察されるが、オリフィス孔より分解ガスが排出され、最高でも5秒で圧力容器内の圧力が大気圧に戻っている。

含水爆薬では、1mm径オリフィスで、最初小さく2段で昇圧し、その後3段目の昇圧で破裂板が破裂した。9mmオリフィス径では、到達圧力は小さく、6回の平均で0.22kgf/cm²で、最高値で0.28kgf/cm²であった。

このように、分解昇圧曲線を観察することにより、オリフィス径の違いによる圧力上昇の違いがよくわかった。

また、同じ試料でも分解昇圧曲線が1段のもの、2段のもの等、均一ではなく、熱分解が複雑に起こっていることがわかった。

謝 辞

火薬技術奨励会の助成および葦持科学器械(株)葦持勇氏の援助に対して謝意を表します。爆薬類を提供して下さった産業爆薬各社に感謝します。

文 献

- 1) 吉田忠雄, 田村昌三, 伊藤 葵, 新井 充, 大内 博, 「化学薬品の安全」, 大成出版社(1982)
- 2) 吉田忠雄, 田村昌三編著, 「反応性化学物質と火工品の安全」, 大成出版社(1988)
- 3) A. M. E. Simens, "The Hazards of Organic

- Peroxides", Brit. Plast., 35, 357 (1962)
- 4) D. C. Noller, S. J. Mazurowski, G. F. Linden, F. J. G. de Leeuw, O. L. Mageli, "A Relative Hazard Classification of Organic Peroxides" Ind. Eng. Chem. 56, 12 (1964)
 - 5) 消防庁危険物委員会, 「危険物の試験法」, (Sept. 1988)
 - 6) 昭和63年法律第55号
 - 7) Y. Wada, H. Yabashi, T. Matsuzawa, M. Tamura, F. Hosoya, T. Yoshida, "A Shock Sensitivity of Blasting Explosive Cartridges" J. of Energetic Materials in contribution
 - 8) 矢橋英郎他, 未発表
 - 9) 委沢俊雄, 和田有司, 田村昌三, 吉田忠雄, 「圧力容器試験における破裂板の破裂圧力」, 安全工学 投稿中
 - 10) 消防庁危険物規制課監修「危険物確認試験実施マニュアル」新日本法規(1989)

Pressure Vessel Test of Commercial Blasting Explosives

by Toshio MATSUZAWA*, Yuji WADA** Hideo YABASHI**
Masamitsu TAMURA**, Fumio HOSOYA*** and Tadao YOSHIDA**

We carried out the pressure vessel test of commercial blasting explosives in accordance with a method regulated by Japan Fire Protection Law, and examined the violence of thermal decomposition of the explosives.

As a result, we found that both dynamites and slurry explosives burst the rupture disks with 1mm ϕ orifice plate, and didn't with 9mm ϕ orifice plate. ANFO explosive didn't burst the rupture disks with 1mm ϕ orifice plate. Also, in case of Carlit A, only 2g sample burst the rupture disk with 9mm ϕ orifice plate, so we continued the test by this weight and all burst. When the violent decomposition will be anticipated beforehand, it is recommended to test by minimum sample which bursts the rupture disk for the safety of equipment and operator. And also it was pointed that the bursting pressure related to the pressure rising rate, and the thermal decomposition was did complicatedly even if the same test condition.

(*Explosive Division, Nippon Kayaku Co., Ltd. Tokyo Kaijyo Build., 1-2-1, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan.

**Department of Reaction Chemistry, Faculty of Engineering, The University of Tokyo, 1-7-3, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan.

***Technology Development Center, Hosoya Kako Co., Ltd. 1847 Osawa, Sugao, Akikawa-shi, Tokyo 197, Japan.)