

applied for the burning rate under reduced or low pressure (Fig. 3). The parameter b in this equation decreased with a decrease of the particle-diameter (Table 1).

The effect of the initial temperature on the burning rate was also investigated. The following results were obtained :

(1) The burning rate increased with an increase of the initial temperature,

and the rate accelerated rapidly above 200°C of the initial temperature (Fig. 7). Spontaneous ignitions seemed to occur at a temperature (ca. 240°C) at which the decomposition of ammonium perchlorate begins.

(2) The temperature coefficient seemed to depend on the ratio rather than on the particle-diameter (Table. 2)

(Defence Academy)

軽装填時における薬包の爆轟性

渡 辺 定 五 ・ 村 田 旺 仁*

発破に際して不発残留薬の発生は災害予防の上からみて重要な問題である。

ボアホールに装填された爆薬薬包の爆轟状態については Shepherd & Grimshaw 等による密閉器内の衝撃波と爆速の関係を写真測定により研究したもの。Johansson 等による 薬径—ボアホール径と爆轟伝爆性の関係を求めた研究等がある。

鉄管内に装填した爆薬包の爆速を回転写真によつて測定する事は測定精度に問題があるので、本研究ではシンクロスコープを用いて旧砲内爆薬の爆轟速度を測定して爆轟波に先行する衝撃波の影響について研究した。

1. 実験法

1.1 測定法

制限された場所、限られた小薬径での爆速、衝撃波速度の多点間測定を実施する関係でドートリッシュ法は勿論、CR 法（爆薬中に挿着したイオン探針を爆轟に伴うイオン化によつて CR 充電回路の C を放電せしめその出力パルスを直接シンクロスコープ蛍光面の掃引線上に印加して爆速を求める法）もそのまま利用出来ないで、サイラトロン法を用いたが特に誘導によるサイラトロン誤作動を防止する意味において図 1 に示すような回路を採用した。

Fig. 1 の回路では、サイラトロン ZD 21 のグリッド回路にコンデンサー C_2 がコンデンサー C_1 を介し

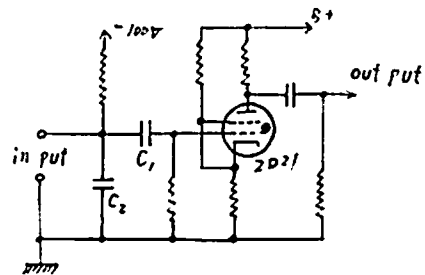


Fig. 1

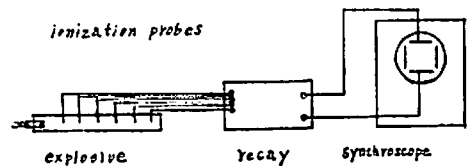


Fig. 2

て並列に配線されているので入力インピーダンスを極めて低く出来るので、旧砲内等制限された場所での爆速測定またはサイラトロン継電器と被測定試料との距離を大にしても、ほとんど誘導によるサイラトロン誤作動を生じない。

本実験では、供試爆薬中の10カ所の測定点を択んだので Fig. 2 中の継電器に Fig. 1 のサイラトロンパルス発生回路を10回路設置したものを用いた。爆速測定用イオン探針は 0.45mm エナメル（又はビニール）被覆銅線を2本振り合せ先端をペンチ等で切断し、供試爆薬に適当に挿入して、その他端を Fig. 1 の入力

昭和36年9月9日受理

*日本油当株式会社 武器工場 愛知県武豊町

端子迄導き接続したもので、供試爆薬の爆轟に伴うイオン化によつて C_2 を放電せしめ、サイラトロン ZD 21 を起動しその出力パルスをシンクロスコープにて記録して爆速測定を行なう。旧砲内空隙中の衝撃波速度測定には、上記イオン探針を Fig. 3 に示す如く供試爆薬に添わせ旧砲内空隙中に適当な位置に配した。

旧砲内の爆速測定に際しては、イオン探針の被覆部が衝撃波および爆発生成ガスに侵されて継電器が爆轟波頭の到達（イオン探針先端感応部に）前に作動しないように、No. 3~4 以後より後段の探針リード線は 0.45mm ビニール銅線を ϕ 2mm のエンパイヤチュール内におさめ、再にもその外側を粘着テープを巻いて保護した。このような方法では探針リード線の被覆が旧砲内で先行衝撃波および爆発生成ガスにて侵されて継電器が作動する迄の時間は新桐ダイナマイト級で 100 μ sec 以上を要することがわかつた。

なお、実験に供した旧砲は外径 200mm、内径 30mm、長さ 800mm の貫通型の豆旧砲である。

1.2 供試爆薬

爆轟中断現象の効果を容易ならしめるため、薬径はもつぱら 17.5mm 以下の小薬径の薬包を用い、薬包端

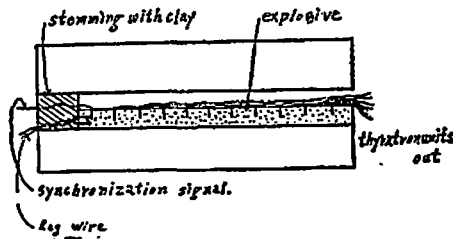


Fig. 3

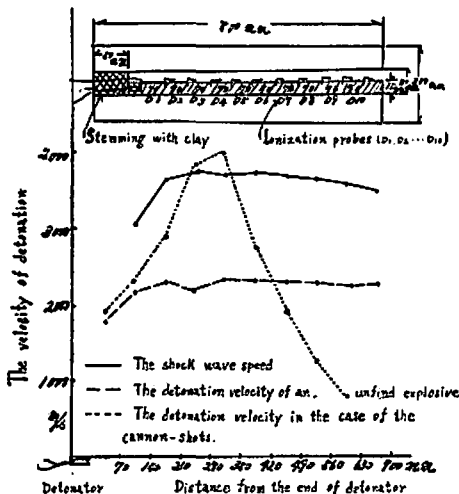


Fig. 4 Measurement of the shock wave speed and detonation velocity. The explosive: Shingiri dynamite NG content 30%

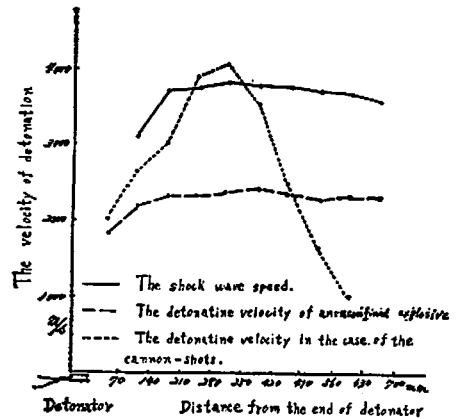


Fig. 5 Measurement of the shock wave speed and detonation velocity. The explosive dynamite Shiraume (permissible dynamite) NG content 35%

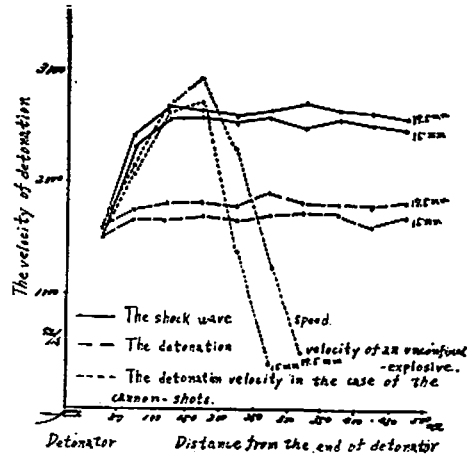


Fig. 6 Measurement of shock wave speed and detonation velocity The explosive: Ammonium nitrate explosive(permissible) NG content 6%

末の折り込み部を除きつなぎ合せ 1 本の長薬長にした薬包を用いた。

爆薬品種は

新桐ダイナマイト

白梅ダイナマイト

硝安爆薬 (低比重のもの)

その他 SDX と TNT を混合したものを実験に供した。

薬包紙は、クラフト紙を約 1 重半に巻いたものを用いた。

2. 測定結果

2.1 膠質ダイナマイトおよび硝安爆薬の爆速

新桐ダイナマイト白梅ダイナマイトおよび硝安爆薬共に開放状態での紙筒爆速は低爆速乍らほとんど一定

Table 1 薬種新桐

項目	1 (70)	2 (70)	3 (70)	4 (70)	5 (70)	6 (70)	7 (70)	8 (70)	9 (70)	10 (70)
白砲内空隙中の衝撃波速度	2900	3050	3650	3760	3700	3750	3700	3680	3600	3500
開放紙筒爆速	1780	2150	2300	2270	2300	2300	2320	2250	2250	2280
白砲内薬包の爆速	1790	2250	2500	3570	3860	2500	1800	1060	550	
	1900	2300	2890	3850	4000	2730	1920	1280	810	

Table 2 薬種白塗
測定箇所 No. () 内は測定間隔 mm

項目	1 (70)	2 (70)	3 (70)	4 (70)	5 (70)	6 (70)	7 (70)	8 (70)	9 (70)	10 (70)
白砲内空隙中の衝撃波速度		3130	3750	3800	3850	3810	3800	3750	3700	3600
開放紙筒爆速	1850	2200	2360	2350	2400	2420	2380	2300	2350	2350
白砲内薬包の爆速	1990	2500	3000	3700	4080	3500	2200	1480	860	
	2030	2650	3050	3930	4100	3570	2500	1680	1030	
	1900	2420	2840	3550	3950	3080	1820	860		

Table 3 薬種硝安爆薬
測定箇所 No. () 内は測定間隔 mm

項目	薬包サイズ	1 (50)	2 (50)	3 (50)	4 (50)	5 (50)	6 (50)	7 (50)	8 (50)	9 (50)	10 (50)
白砲内空隙中の衝撃波速度	15mm	1500	2330	2570	2580	2530	2580	2490	2550	2500	2450
	17.5mm	1600	2400	2630	2640	2580	2630	2700	2620	2600	2570
開放紙筒爆速	15mm	1500	1670	1650	1719	1670	1710	1750	1690	1600	1700
	17.5mm	1600	1750	1830	1850	1810	1900	1820	1850	1800	1830
	15mm	1580	2100	2710	2730	1735	800				
	一重包装	1500	2060	2650	2700	1400	400				
		1450	2000	2530	2550	1135					
	15mm	1610	2030	2470	2820	2600	2040	1670	1080	470	
	二重包装	1500	1950	2370	2780	2420	1900	1350	700		
		1450	1900	2300	2660	2200	1670	980			
	17.5mm	1640	2185	2780	3000	2450	1580	900			
	一重包装	1650	2135	2650	2900	2300	1280	500			
		1550	2050	2580	2800	2110	1030				
	17.5mm	1650	2150	2600	2850	2950	2575	2350	2070	1580	1360
二重包装	1600	2080	2500	2780	2820	2430	2130	1770	1460	1150	
	1570	2020	2400	2670	2720	2320	1970	1410	1110	585	

した爆速を維持して居るが、旧砲内では Fig 4~ Fig 6 および Table 1~Table 3 に見られる如く起爆雷管からの距離と爆速との関係は拋物線を描き、新桐ダイナマイト、白梅ダイナマイトのような膠質ダイナマイトにあつては、その距離が 30cm 前後において最高爆速値を示し、硝安爆薬にあつては 20cm 内外の位置で最高爆速に達する。即ち本実験の測定結果によれば

ボアホール内の爆薬は突発的に爆撃中断が発生するのでなく、連続的な爆速の低下を来して遂に爆轟状態の維持が失われて爆轟が中断される事になる。この間旧砲内空隙の衝撃波はほぼ一定した速度を保ちながら旧砲砲口に達する。旧砲内の爆薬が最高爆速値を示す位置 (d) に到達する迄の衝撃波及び爆轟波の所要時間を夫々 t_s , t_d とすれば次の値を示す。

	d (cm)	t_s (10^{-3} sec)	t_D (10^{-3} sec)	$t_D - t_s$ (10^{-3} sec)
新桐ダイナマイト	38~35	11.76	13.14	1.38
白梅ダイナマイト	28~35	11.23	12.05	0.82
研安爆薬				
薬径 15mmφ	15~20	9.37	9.36	-0.01
薬径 17.5mmφ	15~20	8.99	8.88	-0.11

① 旧砲内の爆速上昇が先行する衝撃波の作用によるものとすれば粉状の研安爆薬が最もその影響を受易く、白梅、新桐の順となる。

② 研安爆薬にあつては $(t_D - t_s) \leq 0$ の位置から爆速が降下し始める結果が得られたが、爆速測定点を更に細かにわければ $t_D - t_s \geq 0$ の値を示すものと考ええる。即ち上記の t_s , t_D は最高爆速値を示す測定点でないと考えた。

③ $t_D - t_s$ の最大値は d 点の手前に現われる。即ち d 点近傍においては $t_D - t_s$ の値が小さくなり再び $t_D - t_s$ の値が大となるが、爆速は d 点以降下降線をたどり遂に爆轟が中断する点から見て、旧砲内の爆薬の死圧は旧砲内空隙を先行する衝撃波単独の作用だけでは説明出来ない。福田さんは器壁による衝撃波の反射等を考慮する必要があるとしておりますが、これらの作用因子については更に定量的な研究が必要であろう。爆撃中断の不発残留薬を調べて見たが、研安爆薬の場合起爆前 15mm の薬径が 13mm まで圧縮されていた。

④ 爆撃中断現象が先行衝撃波の一次的或いは二次的作用によつて発生するものとすれば、爆撃中断のおき易い爆薬或いは、そのような発射条件の下でブースターを使用すれば、却つて爆撃中断が発生し易いと考

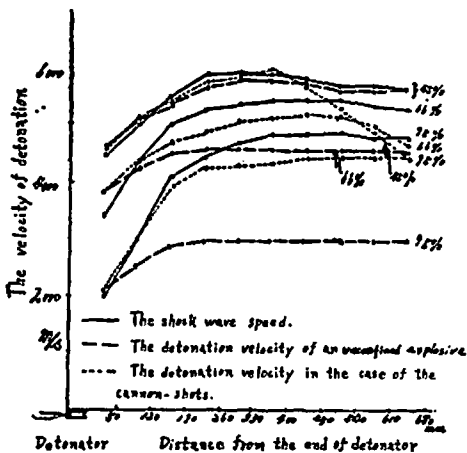


Fig. 7 Measurement of the shock wave speed and detonation velocity. The explosive: A mixture of RDX and TNT

えられる。強力なブースターは空隙を先行する衝撃波の作用を強めるからである。

本研究については今後の問題として進めたい。起爆初期の爆速上昇現象は爆薬が旧砲内では数万気圧の衝撃波および先行ガス圧にて包含された状態におかれて密閉度が高まる事と、先行ガスにより爆薬が加圧され比重が高まるために爆速上昇することが考えられる。包装条件の相違による爆速への影響については薬包紙 1 重では最高爆速点に早く到達し、しかもその曲線が急峻でついには不爆点に達する。薬包紙 2 重 (本実験での 2 重とは、ガス加圧の緩衝帯を設け加圧現象を遅らす意味において 1 重薬包紙の外側に直径 1 mm の銅線を荒く巻き、その外側を再びクラフト紙で包装したものをを用いた) では最高爆速点に到達する事がおくれで現われる。

また、薬径が大きくなれば最高爆速値は高くなるが、最高爆速点、爆轟中断点の現われるのがおくれる (Table 3 参照)。

この事はやはり薬径が大きくなるため薬包の加圧に長い時間を要するためと考えられる (爆轟中断点ののびる事は、上記の理由のみでなく薬径の太くなるため薬包自身の伝爆性が良好になる事も考えなければならぬ)。

2.2 RDX+TNT の爆速

Fig. 7 および Table 4 によれば RDX+TNT 中、TNT の配合比率が増大すればする程開放紙筒爆速と旧砲内爆速、旧砲内爆速と旧砲内空隙の衝撃波速度に差が生ずるが、夫々の値は定常値を示し爆轟中断現象は認められない。

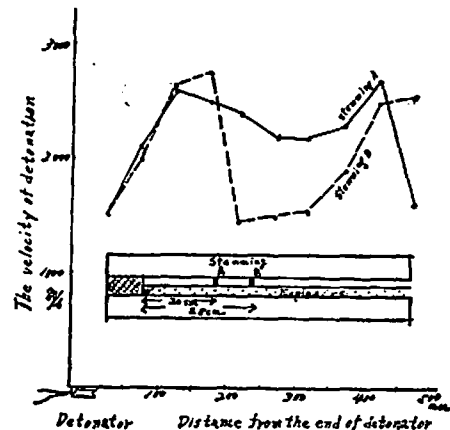


Fig. 8 The effect of stemming A and B on the measurement of the shock wave speed and detonation velocity in the case of the cannon-shots. The explosive: Ammonium nitrate explosive. NG content 6%

Table 4 RDY+TNT 爆薬

項目	TNTの 測定点	1 (50)	2 (70)	3 (70)	4 (70)	5 (70)	6 (70)	7 (70)	8 (80)	9(70)	10 (70)
旧砲内空隙 中の衝撃波 速度	95	2000	3000	4100	4480	4710	4840	4880	4900	4880	4850
	66	3400	4410	5100	5290	5350	5400	5400	5400	5350	5300
	45	4480	5110	5630	5900	5980	5960	5960	5770	5700	5650
旧砲内の爆 速	95	2100	2500	2850	2960	3000	3000	3000	3000	3000	3000
	66	3800	4300	4500	4610	4640	4650	4650	4630	4600	4600
	45	4660	5030	5450	5750	5850	5850	5800	5700	5650	5650
開放銃筒爆 速	95	2100	3000	3950	4280	4350	4380	4500	4500	4500	4500
	66	3800	4390	4700	4910	5080	5150	5200	5210	5000	4700
	45	4670	5060	5470	5780	5950	6000	5730	5280	4850	4510

Table 5 薬種硝安爆薬
測定箇所 No. ()内は測定間隔 mm

旧砲内の爆速	1 (50)	2 (50)	3 (50)	4 (50)	5 (50)	6 (50)	7 (50)	8 (50)	9 (50)	10 (50)
粘土タンピングA の場合	1500	2100	2600	2500	2400	2200	2200	2300	2700	1600
粘土タンピングB の場合	1500	2050	2620	2770	1460	1500	1580	1900	2500	2550
ボール紙の場合	1500	2050	2700	2700	2200	1000				

Table 6 薬種硝安爆薬
測定箇所 No. ()内は測定間隔 mm

薬包間隙	1 (50)	2 (50)	3 (50)	4 (50)	5 (50)	6 (50)	7 (50)			
L = 2 mm	1500	2000	2700	1500	2500	1100	500			
L = 5 mm	1500	2000	2700	1100	2000	800				
L = 10mm	1500	2000	2700	400	1200	450				

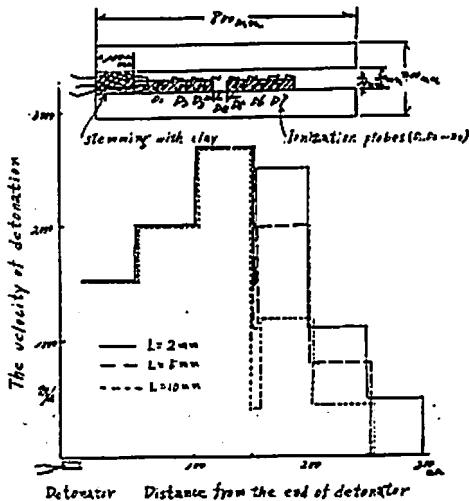


Fig. 9 The effect of air gap on the propagation of the detonation. L is the length of air gap. The explosive: Ammonium nitrate explosive. NG content 6%

2.3 旧砲内に衝撃波緩衝物を施した場合

旧砲内に装填された爆薬が旧砲内空隙を先行する衝撃波の作用により爆轟速度が上昇線から引き続いて下降線をたどり遂に爆轟の中断現象を来すとすれば最高爆速到達点近傍に粘土タンピングを設けて旧砲内の空隙をなくして衝撃波の進行を阻止すれば粘土タンピングの位置から後の薬包は再び雷管起爆時の状態にもどり低爆速から高爆速への上昇線をたどる事が予想される。Fig. 8 はタンピングAは 20cm, タンピングは B 28cm の位置に粘土タンピングを施した場合の旧砲内爆薬の爆速の変化を示す。

粘土タンピングをしなれば 30cm 前後の地点で爆轟が中断されるが、AあるいはBの地点で粘土タンピングをすれば再び爆速は上昇し爆轟の中断は現われない。旧砲の空隙をその形状に切り取ったボール紙1枚を粘土タンピングの代りに使用したが、ボール紙1枚ではタンピングの効果は現われない。

以上の実験から長孔の全装薬を完全に爆轟させるには適当な位置で薬包を圧縮しポアホールに密装し先

行する衝撃波を適当に阻止する工夫をする事も一つの方法である。

2.4 薬包間に間隙のある場合

本実験では薬径が極めて細い (ϕ 15mm) 故もあつて 5~10mm の薬包間隔で爆轟中断現象が促進される結果が出た (Fig. 9 および Table 6 参照) 10mm の間隔を設けた場合では約 30 μ sec の殉爆遅れがともない、それだけ先行衝撃波および爆発生成ガスの作用を長時間受ける事になる。2mm の薬包間隔では薬包密

着の場合と差はない。

なお、薬包端面は粘着テープ1枚を張り付けてある。

3. 総括

本報告では、すべて実用薬径と異りしかも旧砲内逆起爆における実験成績であるから火際の発破に対してどう利用し得るかについては明らかでないが、旧砲内装薬の爆轟中断は突発的に発生するのではなく爆速の低下は連続的な結果が得られた。

The Propagation of Detonation Under the Conditions of Partial Confinement

Teigo Watanabe, Ojin Murata

Cartridges have been fired when held in the hole of the cannon of 30mm internal diameter and 80mm length.

In the procedure finally adopted, the cartridges of explosives 15mm in diameter are used. The explosives used are an ammonia gelatin—Shinkiri dynamite, a permissible gelatin—Shiraume dynamite and a permissible ammonium nitrate explosive—Ko-Shoan Bakuyaku.

As follows from Fig. 4 Shinkiri dynamite shows the maximum velocity of detonation at the distance of 28—35 cm from the end of the detonator. After that point the detonation velocity is continuously dropping and the detonation stop at the distance of 56—63cm. Shiraume dynamite and Ko-Shoan Bakuyaku are respectively shown in Fig. 5 and Fig. 6. Ko-Shoan Bakuyaku shows the maximum velocity at 15—20cm and the detonation stops at 25—35cm from the end of the detonator.

Cartridges of explosives are not forcibly pressed into the hole when they are loaded. Thus, as the shothole has a larger diameter than that of the cartridge there is a crescent-shaped cavity surrounding the charge as it rests on the bottom of the hole.

As the shockwave travels along this space ahead of the detonation wave it is shrouding the charge and compresses the air in the hole to such an extent as to make the density of the cartridge arise.

Then, there is no region of stationary propagation in the case of firing the explosives in the cannon and the detonation velocity does not abruptly decrease but falls continuously.

When the space of the bore hole is partially packed with clay the stop of the detonation does not appear but the velocity decreases for a while and then it increases again. (see Fig. 8)

The results to be drawn from the foregoing data are as follows.

1. The shock wave maintains a high average velocity along the air space and the cartridge is compressed.

2. A typical curve obtained in the speed measurement of detonation wave is shown in Fig. 4, 5, 6, 7. The velocity decreases continuously.

3. When the space of the hole is partially packed with clay the explosives charged in the cannon completely detonate.

4. It is assumed that the booster which