

固形伝爆薬について

坪田 優一, 重松 博道, 早川 経敏

伝爆薬を必要とする ANFO 爆薬および粒状 TNT 等の起爆用として固形の伝爆薬 (成分は TNT:RDX:Al=50:35:15 の注填品, 比重 1.60) を試作し, 伝爆薬としての性能およびアクリル樹脂板内における衝撃波減衰特性を求めた。更に発破現場において市場試験を実施し, 連続した区間爆速を測る事で検討を加えた。

その結果, 高い衝撃圧が必要な爆薬の起爆には一般産業爆薬を多量に用いるよりも威力の大きい固形伝爆薬を必要量だけ用いる方が爆薬の有効利用につながる事が確認出来た。

1. 緒言

現在採石場, 土木現場等で多量に使用されている ANFO 爆薬および粒状 TNT 等は感度が鈍感なため, 起爆には伝爆薬を必要とする。しかしながら日本ではこれらの爆薬を起爆させるのに伝爆薬として一般の産業爆薬が用いられており, 固形の伝爆薬は用いられていない現状である。一方諸外国においてはダイナマイト等を伝爆薬として用いるほか固形の伝爆薬もかなり使用されている。過去において伝爆薬の種類および薬量の選定は ANFO 爆薬の発破効果を大きく左右する事になるので若園教授¹⁾, J.L. Condon 等²⁾により種々の検討がなされた。しかしながらいづれの場合も伝爆薬量として少量の場合であったり, または日本では見られない大型発破の場合の検討であるので, 日本の発破現状に合致する試験が必要であった。そこでわれわれは今回 ANFO 爆薬, 粒状 TNT の起爆用として固形の伝爆薬を試作し, その爆薬としての性能に関し, 爆薬一般性能を調べると共にアクリル樹脂板中における衝撃波減衰特性から伝爆薬としての性能を調べる事にした。更に試作した固形伝爆薬が実際の発破現場において ANFO 爆薬や粒状 TNT 爆薬等の性能にどのような影響をおよぼすかについて, 一般に伝爆薬として用いられる産業爆薬と比較しながら, 連続した区間爆速を測る事で検討した。

2. 固形伝爆薬の性能

ANFO 爆薬および粒状 TNT の起爆用として TNT, RDX を主成分とする注填爆薬を試作し, 伝爆薬としての一般性能およびアクリル樹脂板内にお

ける衝撃波減衰特性を求めた。

2.1 固形伝爆薬の一般性能

2.1.1 実験方法

ANFO 爆薬および粒状 TNT 起爆用の伝爆薬として, Fig.1 のような構造のもの (成分は TNT:RDX:Al=50:35:15 の注填品, 比重 1.60) を試作し, 性能としては開放爆速をドートリッシュ法により測定した。(但し, この場合形としては 25φ×200mm/ の紙筒に注填したもので比重 1.60 のものを用いた) 一方鋼板打ち抜き試験としては Fig.1 のものをそのまま用い, 縦 80mm×横 80mm×厚さ 10mm の鋼板を打ち抜いた時の直径を測定した。また水中での使用の場合を考え Fig.1 の雷管孔および全体に静水圧をかけた状態での 6号電気雷管による起爆性をみた。

2.1.2 実験結果

試作した伝爆薬の性能は Table 1 に示す結果の通り

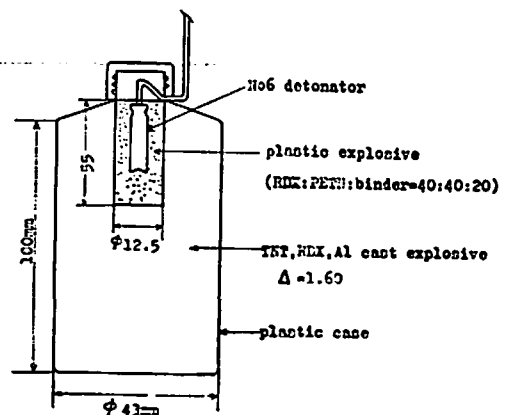


Fig. 1 Structure of booster (200g)

Table 1 Property of booster

	Result	Remarks
Detonation Velocity (m/sec)	n = 4 7100	unconfined
Iron Plate Penetration test	hole diameter n = 3 φ 38	booster size φ43×200g plate size 80×80×10t
Detonability in water	3/3	water pressure 6kg/cm ²

であり、一般の産業爆薬に比べれば爆速は非常に高くまた耐水性も非常に優れたもので、しかも雷管で確実に起爆出来るものであった。

2.2 衝撃波減衰特性

試作した固形伝爆薬の性能把握の一方法として感度試験として行われているカードギャップ法により、アクリル樹脂板中を衝撃波が通過する時の衝撃波の減衰特性を調査し、伝爆薬としての威力の大きさを調べた。

2.2.1 実験方法

実験としてはカードギャップ法における励爆薬として前述した伝爆薬と同じ組成の φ30mm, 33g, 注填品(採薬), 比重1.60のものを作り、吉田氏⁹⁾等によって行われたと同じ方法で、Fig.2 のように鉄ブロック上にギャップ材としてアクリル樹脂板(比重1.19)を置いた。ギャップ長はアクリル樹脂板 60mm口、t=2, 3, 5, 10mm のものを組合せ変化させた。伝播時間測定はギャップ上端および下端にエナメル線をより合わせたイオン探針を設置し、衝撃波による圧縮でイオン探針に電流が流れる事でアクリル樹脂板中の衝撃波通過時間をユニバーサルカウンター(タケダ理研 TR-5588)で測定した。尚、比較のためペントライト

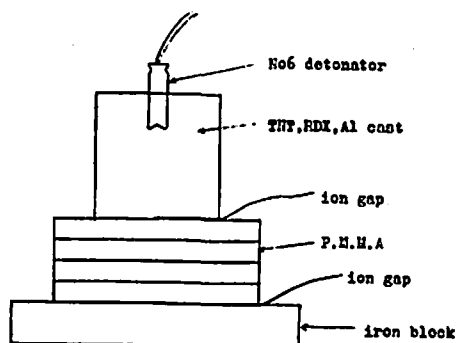


Fig. 2 Schematic arrangement of electrical method for measuring shock passing time

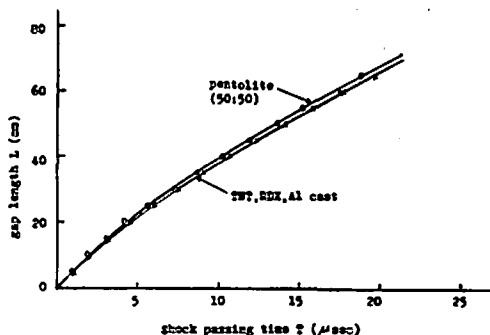


Fig. 3 Relation between gap length and shock passing time

(50:50, 薬径 30mm×高さ 30mm, 薬量 33g)の通過時間も同様に測定した。

2.2.2 実験結果

衝撃波がアクリル樹脂ギャップ中 (l mm) を通過するのに要した時間 (t μsec) の関係を $t = a + bl + ct^2$ の二次関数として最小二乗法で a, b, c を求めると

$$\left. \begin{aligned} &\text{TNT, RDX, Al 注填品} \\ &t = -0.2866 + 0.2173l + 0.00138l^2 \\ &\text{ペントライト (50:50)} \\ &t = -0.2859 + 0.2078l + 0.00138l^2 \end{aligned} \right\} (1)$$

となり、これを図示すると Fig.3 となる。カードギャップ上端面からの距離 l における瞬間衝撃波速度 U_s は(1)式から距離を時間で微分する事で求められる。このようにして(1)式から求めたものが(2)式である。

$$\left. \begin{aligned} &\text{TNT, RDX, Al 注填品} \\ &U_s = \frac{dl}{dt} = \frac{1}{0.2173 + 0.00276l} \\ &\text{ペントライト} \\ &U_s = \frac{dl}{dt} = \frac{1}{0.2078 + 0.00276l} \end{aligned} \right\} (2)$$

ここでアクリル樹脂ギャップ材中を通過する衝撃波を一次元と仮定すれば Liddiard¹⁰⁾ の実測した一次元衝撃波特性式(3)が適用出来る。

$$\left. \begin{aligned} U_s &= 2.56 + 1.69 U_p \quad U_s > 3.4 \\ U_s &= 2.95 + 0.85 U_p \quad 3.4 > U_s > 3.1 \end{aligned} \right\} (3)$$

U_s : 衝撃波速度 (km/sec)
 U_p : 粒子速度 (km/sec)

また一次元衝撃波の運動量保存式(4)を用いて(1),

$$\left. \begin{aligned} P &= \rho_0 \cdot U_s \cdot U_p \\ \rho_0 &: \text{アクリル樹脂の密度, } 1.19\text{g/cm}^3 \\ P &: \text{衝撃波圧力 (kbar)} \end{aligned} \right\} (4)$$

(2), (3), (5)式から U_s, U_p を消去し衝撃波圧力 P とギャップ長 l の関係を求めると式(5)の関係式が得られた。

$$\begin{aligned}
 & \text{TNT, RDX, Al 注填品} \\
 & P = \frac{3.12 - 0.0497l}{(0.217 + 0.00276l)^2} \quad l < 27.9 \\
 & P = \frac{6.03 - 0.114l}{(0.217 + 0.00276l)^2} \quad 27.9 < l < 38.1 \\
 & \text{ペントライト} \\
 & P = \frac{3.29 - 0.0498l}{(0.208 + 0.00276l)^2} \quad l < 31.3 \\
 & P = \frac{5.42 - 0.114l}{(0.208 + 0.00276l)^2} \quad 31.3 < l < 41.6
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

この結果を Fig. 4 に示した。尚 Fig. 4 中には比較のため公営資源研究所の吉田氏等³⁾が測定したペントライト (50:50) および産業爆薬の結果も併記した。この結果ペントライトについては若干高めではあるが、ほぼ吉田氏等と同様の結果が得られた。一方 TNT, RDX, Al 注填品はペントライトに比し若干低い結果が得られるが、しかし吉田氏等の行った一般産業爆薬に比べれば高爆速のため同じギャップ長においても約 2 倍程度の衝撃圧を有するものである事が確認された。

2.3 衝撃波感度

TNT, RDX, Al 注填品およびペントライトを用い ANFO 爆薬および粒状 TNT の限界ギャップ長および臨界衝撃波圧力を求めた。

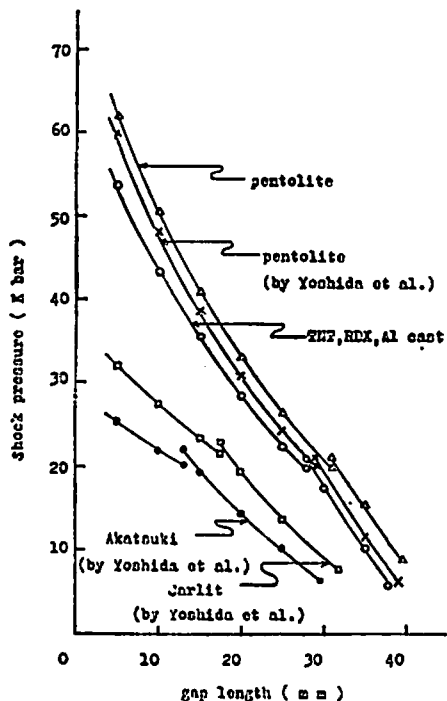


Fig. 4 Relation between shock pressure and gap length

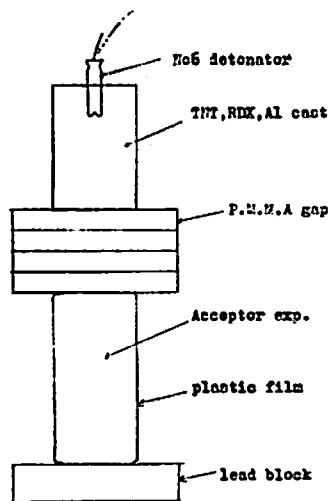


Fig. 5 Schematic arrangement of card gap test

2.3.1 実験方法

限界ギャップ長および臨界衝撃波圧力の測定は Fig. 5 に示す方法で行った。励爆薬としては TNT, RDX, Al 注填品およびペントライトで、衝撃波伝播時間測定時と同じ寸法、重量のものを用いた。一方受爆薬としては ANFO 爆薬および粒状 TNT (水分約 8%) を $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ のポリエチレン袋に入れ上端はビニールテープで平坦にしたものを用いた。受爆薬の底部には鉛板を置き爆発で起爆の有無を判定した。アクリル樹脂板は厚さ 2, 3, 5, 10mm のものを用いてギャップ長を変化させ、爆発率 1/3~3/3 の所で限界ギャップ長を求め、P.M.M.A. の衝撃波インピーダンスが受爆薬のそれに近似していると考え、限界ギャップ長に対応する Fig. 4 から得られる圧力値を受爆薬の臨界衝撃波圧力とした。

2.3.2 実験結果

この方法で求めた限界ギャップ長および臨界衝撃波圧力は Table 2 に示す。ANFO 爆薬および粒状 TNT (水分約 8%) は励爆薬として TNT, RDX, Al 注填品またはペントライトいづれを用いた時もそれぞれ同じギャップ長を示した。しかしながら TNT, RDX, Al 注填品およびペントライトの衝撃波減衰特性には差があるため臨界衝撃波圧としては ANFO 爆薬の場合 18~27kbar, 粒状 TNT の場合 54~65kbar の範囲にあるものと考えられる。ANFO 爆薬の臨界衝撃波圧力は佐々木氏⁹⁾の示した 6~20kbar に比べると若干高い値を示しているが、これは ANFO 爆薬の包装状況等の実験条件の差を考えればほぼ同様の結果であると思われる。一方、粒状 TNT については水

Table 2 Donor explosives, Acceptor explosives and critical initiation values

Donor explosive	Acceptor explosive		Critical gap length(mm)	Critical shock pressure(kbar)
	name of exp.	density (g/cm ³)		
TNT, ROX, Al cast	ANFO	0.80	25.0~30.0	18~23
	Granular TNT	0.91	4.0~5.0	54~56
Pentolite (50 : 50)	ANFO	0.80	25.0~30.0	21~27
	Granular TNT	0.91	4.0~5.0	62~65

分が在るという事もあるが、衝撃波感度は ANFO 爆薬よりも数段鈍いもので起爆には相当高い衝撃波圧力 54~65kbar 以上を必要とするものである事が判った。以上 2.1), 2.2), 2.3) の実験結果から伝爆薬として、TNT, RDX, Al 注填品の性能は一般の産業爆薬に比べれば優れたものであり、ANFO 爆薬および粒状 TNT を起爆するのに充分な威力を有するものである事が確認された。

3. 伝爆薬による連続区間爆速

実際の発破現場において ANFO 爆薬および粒状 TNT 等の性能が伝爆薬の種類および薬量によりどのような影響を受けるかについて、前述の固形伝爆薬および一般の産業爆薬を伝爆薬として用い、連続した区間爆速を測る事で調べた。

3.1 実験方法

伝爆薬の種類および薬量としては次のものを用いた。

固形伝爆薬 (TNT, RDX, Al 注填品) : 50g,

産業爆薬 {
あかつき爆薬
50φ×750g
コーズマイト 2号
30φ×100g, 30φ×200g

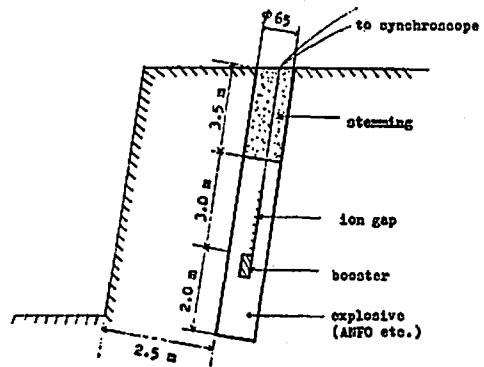


Fig. 6 Measuring method of detonation Velocity

Table 3 Influence of booster on detonation velocity (km/sec)

Explosive*	Booster			Distance from booster (cm)							
	Kinds	Weight		20	40	70	100	130	160	190	220
		g	%								
ANFO	TNT, RDX, Al Cast	50	0.4	2.7	3.5	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4
		100	0.8	2.9	3.1	3.8	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5
	Kohzmite No.2	200	1.7	2.8	3.2	4.1	4.2	3.6	3.6	3.6	3.6
Granular TNT	TNT, RDX, Al Cast	100	0.7	3.8	4.4	4.7	4.7	4.4	4.4	4.4	4.4
		200	1.3	4.3	4.5	4.8	4.9	4.7	4.7	4.7	4.7
	Akatsuki	750	5.0	3.9	4.3	4.6	4.6	4.4	4.4	4.4	4.4
Kohzmite No.32	6EC only	—	—	2.9	3.4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
		100	0.8	3.3	3.8	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
		200	1.7	3.8	4.2	4.3	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8

* Loading density (ANFO=0.7, Granular TNT=0.9, Kohzmite No.32=0.7)

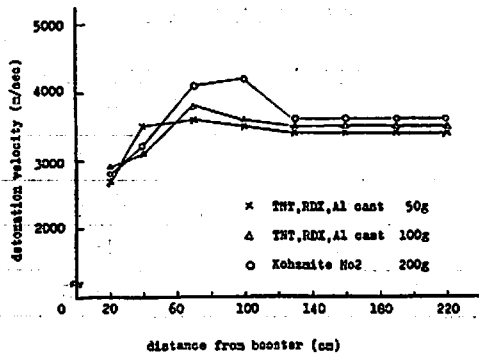


Fig. 7 Detonation velocity of ANFO by various boosters

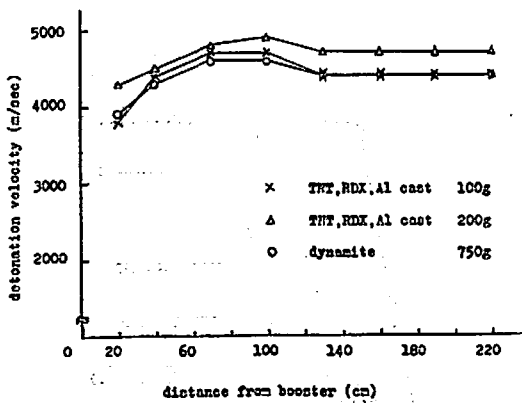


Fig. 8 Detonation velocity of Granular TNT by various boosters

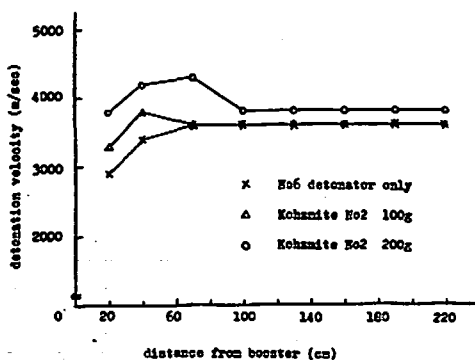


Fig. 9 Detonation velocity of Kohzmit No.32 by various boosters

100g, 200g (Fig.1)

一方爆薬としては ANFO 爆薬, 粒状 TNT (水分約 8%, 粒度 6メッシュ~20メッシュ), コーズマイト 32号 (ブリル 硝安: 3, 軽油 87: 103, 仮比重 0.83,

6号電気雷管で起爆可能, 鋼管爆速 3,500m/sec) を用い石灰鉱山におけるベンチカットで Fig.6 の発破仕様で発破した。薬量としては 1孔当り ANFO 爆薬の場合 12kg, 粒状 TNT の場合 15kg, コーズマイト 32号の場合 12kg であった。爆速測定は伝爆薬端面から 0, 20, 40, 70, 100, 130, 160, 190, 220cm の位置にイオン探針を設置しシンクロスコープを用い写真撮影して測定した。但し粒状 TNT は水を含有するので, イオン探針として市販の補助脚線を用い, 被服をかぶったまま銅線を切断し, よじったものを用いた。またイオン探針の位置の固定のため 22φ の塩ビ管をタテに 2つ割りし, その一方の端に伝爆薬を固定し更に伝爆薬端面から一定の距離の所にイオン探針を固定させた。尚, 測定に当ってはノイズによるトラブルを防ぐため各々 3回づつ測定を行い, その平均値から区間爆速の解析を行った。

3.2 実験結果

伝爆薬の薬種および薬量を変化させた時の ANFO 爆薬, 粒状 TNT, コーズマイト 32号の爆速の変化は Table 3 に示す結果であった。この結果を各爆薬毎にグラフにしたものが Fig.7, 8, 9 である。

いずれの場合も起爆点から 1~1.3m までは伝爆薬の影響を受け, 1.3m 以降は伝爆薬の威力に応じた定常爆速となる。更に起爆点からの爆速の変化は起爆後一旦, 伝爆薬の爆速よりも低い爆速を示しその後すぐに上昇するという傾向が見られた。この傾向については ANFO 爆薬における若園教授¹⁾, 八東氏²⁾等の結果も同様であり今後詳細な検討が必要であると考えられる。

一方コーズマイト 32号の例に見られるように 6号電気雷管 1本で弱い起爆を行わせた場合は爆速は徐々に上昇し, 起爆点から 70cm 位の所で定常爆速に到るようである。また粒状 TNT, コーズマイト 32号の場合には伝爆薬として威力の大きい固形伝爆薬を用いる程, 更に薬量の多い程定常爆速の値が大きくなる。しかし ANFO 爆薬については伝爆薬の薬種よりも薬量が多い程定常爆速も大きい値を示した。

4. 考察

今回われわれは固形伝爆薬の性能を調査し, その結果試作した TNT, RDX, Al 注填品は一般の産業爆薬に比べ伝爆薬としての能力は大きいものである事を確認した。しかし実際の発破現場で ANFO 爆薬用として用いた場合, 粒状 TNT の起爆用として用いた場合と異なり伝爆薬としての威力の効果が余りみられなかった。この原因は今回の試験に用いた固形伝爆薬の ANFO 爆薬量に占める割合が Table 3 に示したように 0.4~0.8% であり, 従来からいわれてい

る¹⁰⁾1~3% に比べると少く、一方産業爆薬(コースマイト2号)を伝爆薬とした場合は伝爆薬量の割合が1.6% という値であり、このためコースマイト2号を用いた場合は十分な効果が表われ固形伝爆薬の場合は効果がそれ程表われなかったものと考えられる。この事はまたANFO爆薬のカードギャップテストによる起爆感度の結果からも推論出来る。即ち、ANFO爆薬の臨界衝撃波圧力が18~27kbar という値であり、Fig. 4 中の吉田氏等の一般産業爆薬の衝撃波減衰特性を参考として考えれば一般の産業爆薬でも容易にANFO爆薬の起爆に必要な圧力以上が得られる。このためANFO爆薬の爆速には起爆時の衝撃圧の大小以上に圧力の作用時間の影響、即ち薬量の効果が大きく表われる事になるだろうと考えられるからである。一方粒状TNTの場合は臨界衝撃波圧力が54~65kbar という高い値であるので起爆には高い衝撃圧が必要となり一般産業爆薬を多量に用いるよりも威力の大きい固形伝爆薬を必要量だけ用いた方が爆速向上に大きく効果があるものと考えられる。更に発破という面から考えるとFig. 7, 8, 9に見られる如く1~1.3m位まで伝爆薬の影響を受け、伝爆薬の効果の大きいもの程定常爆速よりも高い爆速を示すので、特に穿孔長の短い発破を行う場合には威力の大きい伝爆薬を用いる方が発破が有利に行えるものと考えられる。

5. 結 言

ANFO爆薬、粒状TNT等の伝爆薬を必要とする爆薬の起爆用として固形伝爆薬(TNT, RDX, Al注填品)を試作し一般性能を調べた。更にこの伝爆薬の衝撃波減衰特性を求める事で伝爆薬としての威力が一般の産業爆薬に比べ充分大きい事を確認した。一方この固形伝爆薬およびペントライトを励爆薬とし

カードギャップテストでANFO爆薬、粒状TNT(水分約8%)の限界ギャップ長および臨界衝撃波圧力を調べた結果、臨界衝撃波圧力としてANFO爆薬は18~27kbar、粒状TNTは54~65kbarである事が判った。更にこの固形伝爆薬をANFO爆薬、粒状TNT、コースマイト32号に用い、実際のベンチ発破現場で連続した区間爆速を測定する事により伝爆薬としての威力を産業爆薬と比較しながら調べた結果、粒状TNT様な起爆に際し非常に大きな衝撃波圧力を必要とするものには少量でも爆速向上に効果がある事が判った。最後に紙面をお借りし本実験の現場実験に当り岡山県の足立石灰工業(株)の御協力をいただきました事に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 若岡吉一：工業火薬協会誌，27，288 (1966)
- 2) 中村重敏：石灰石，160，587 (1976) より引用，
原典は J. L. Condon, J. J. Snodgrass : Mining Congress Journal. June 1974
- 3) 松本 栄，田中雅夫，吉田 正：工業火薬協会誌，37，173 (1976)
- 4) 飯田 稔，藤原修三，日下部正夫：工業火薬協会誌，33，291 (1972)
- 5) 文献3)に記載，原典は T. P. Liddiard : in 4th Symposium on Detonation p. 214, U. S., N. O. L. 1965
- 6) 橋爪清，佐々木信彦：工業火薬協会誌，36，34，(1975)
- 7) 八東清榮：工業火薬協会誌，25，106 (1964)
- 8) 伊藤一郎：日本鉱業会誌，84，449 (1968)
- 9) 伊藤一郎，若岡吉一，佐藤忠五郎，安健比古，梅田貞夫：工業火薬協会誌，25，70 (1964)

Studies on a solid booster

by, Yuichi Tsubota, Hiromichi Shigematsu, Tsunetoshi Hayakawa

Usually, a dynamite is used as a booster for ANFO, granular TNT (wet state) and slurry explosives. We made a solid booster (Fig.1) for initiating these blasting agents or blasting explosives, and studied some explosive properties of the booster (Table.1).

We measured the pressure of shock wave passed through PMMA gap attached to this booster (Fig.4), and determined the critical shock initiation pressures of ANFO and granular TNT by this card gap test (Table. 2)

At lime stone mine, we measured the serial interval detonation velocities of ANFO, granular TNT and another type of blasting explosive (Kohzumite No.32) using this booster or dynamites as the booster.

From these results, we recognized this solid booster (TNT, RDX, Al Cast) is useful for granular TNT which needs large shock pressure to initiate.

(Chugoku Kayaku Co. Ltd., Etajima plant, Hitotsu Kojima,
Etajima-cho, Aki-gun, Hiroshima, Japan)
