

粒状爆薬に関する研究 (第3報)

ANFO (硝油爆薬) に関する研究 (Ⅲ)

若 園 吉 一*

1. 緒 言

現在、土木工事や露天掘のような爆破作業に、ANFO 爆薬が盛んに採用されている。ANFO 爆薬は爆発物としては安価でしかも安全性が高い反面、その起爆性および伝爆性は他の爆薬と比較して劣っている。とくに、ANFO 爆薬を使用してベンチカットのような大型爆破を行なう場合、ANFO 爆薬の起爆性および伝爆性を考慮して爆破設計を行なわなければ十分な爆破効果は期待できない。しかし、ANFO 爆薬の起爆・伝爆性については不明な点が多く、またその爆発現象についても十分な研究は行なわれていない現状である。そこで、伝爆薬の種類および量、薬径、装填密度などが ANFO 爆薬の爆速に及ぼす影響について検討した。

この実験は、将来大孔径、長孔のベンチカットのような爆破における爆速を測定するための予備実験として行なつたもので、技術報文ともいふべきである。なお、本実験は、昭和39年7月30日～8月7日および昭和39年10月15日～10月19日の2回にわたって滋賀県栗庭野試験場で行なつたものである。

2. 試料および測定法

実験に使用した試料のブリル硝安は Table 1 に示すようなものである。また、ブリル硝安と燃料油の混合比は AN:FO=94.5:5.5 の ANFO 爆薬を使用した。

Table 1 Sample

Bulk density	0.806 g/cc
Particle size	8~20 mesh
Water content	0.02%
Content of surfactant	0.5%

爆速測定はドートリッシュ法を採用した。なお鉄管径は 1~6 inch のものをそれぞれ使用した。

3. 伝爆薬の種類

吉田らの報告¹⁾によれば新桐ダイナマイト、コンポジション B (TNT 40%, RDX 60%), ヘキソゲン (RDX) およびペンスリットを使用して鉄管(口径 35 mm)により最小起爆量を測定した結果では、ダイナマイト 5g~7g, その他のものは 3g で完爆している(6号雷管使用)。

このように 1 inch 附近の小口径のものでさえ、伝爆薬の種類および量によつて差のあることが認められるので、口径の大きい場合には顕著な相違が現われるものと考えられるから、鉄管径 1~4 inch のものについて伝爆薬の種類を変えて爆速測定を行なつた。使用した伝爆薬の種類はテトリル (爆速: 7,850 m/s), ヘキソゲン (7,300m/s), および新桐ダイナマイト (7,000 m/s) で、伝爆薬量はすべて 10g とした。

実験条件および爆速測定の結果を Table 2 に示し、Fig. 1 に図示した。

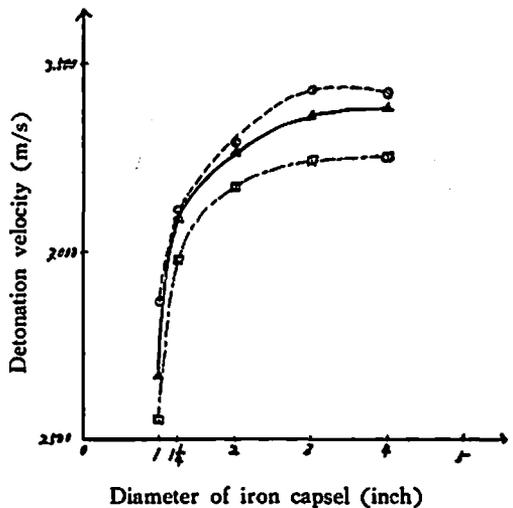


Fig. 1 Influence of primer and diameter on detonation velocity.

◎: Tetryl, △: Hexogen, □: Dynamite
 Length of iron capsel (mm): 250
 Loading density (g/cc) : 0.95
 Method of initiation : NO. 8 Cap

昭和41年10月5日 受理

* 京都市左京区吉田本町 京都大学工学部 電気化学工学教室

Table 2 The relations among primer, diameter and detonation velocity

Diameter		Volume of iron capsul (cm ³)	Weight of loaded ANFO (g)	Detonation velocity (m/s)		
inch	mm			Tetryl	Hexogen	Dynamite
1	25.4	127	121	2,870	2,670	2,550
1 1/4	35.0	240	228	3,110	3,090	2,980
2	50.8	508	483	3,290	3,265	3,170
3	76.2	1,140	1,083	3,430	3,360	3,240
4	101.6	2,030	1,929	3,420	3,380	3,250

これより鉄管口径が1~3inch までの範囲では、伝爆薬量を一定(10g)にした場合、管径が大きくなる程爆速値も大きくなる事が認められる。また爆速値には伝爆薬の種類によつても差があり、すべてテトリル、ヘキソゲン、新桐ダイナマイトの順に爆速が低い値を示している。しかも爆速の高い伝爆薬を使用した方が ANFO 爆薬の爆速をより高くすることを示している。

この結果から实用限界薬径は1inch 附近と認められるが、これは伝爆薬 10g の場合であつて、さらに多量の伝爆薬を使用すれば 1inch 以下でも差支えないものと考えられる。実際に伝爆薬を使用する場合には経済性を考慮してヘキソゲン、テトリルなどの化合爆薬を使用するよりもむしろダイナマイト、カーリットなどを使用することになるから、出来る限り爆速値の大きいものを伝爆薬として使用することが望ましい。

4. 伝爆薬量

口径1~6inch の鉄管(管長250mm)を使用して、伝爆薬量を一定(10g)にした場合と、ANFO 装薬量の1%に変化させた場合の爆速値をそれぞれ測定した結果を Table 3 に示し、Fig. 2 に図示した。伝爆薬はテトリルを用いた。

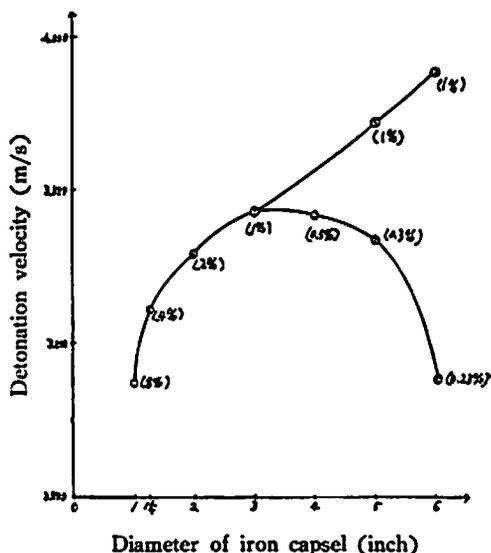


Fig. 2 Influence of weight of primer and diameter on detonation velocity. (The number in brackets indicate the percentage of primer to ANFO.)
 Length of iron capsul (mm) : 250
 Loading density (g/cc) : 0.95
 Primer : Tetryl
 Method of initiation : No. 8 Cap

Table 3 The relations between weight of primer and detonation velocity

Diameter		Volume of iron capsul (cm ³)	Weight of loaded ANFO (g)	Weight of primer		Detonation velocity (m/s)
inch	mm			g	%	
1	25.4	127	121	10	8	2,870
1 1/4	35.0	240	228	10	4	3,110
2	50.8	508	483	10	2	3,290
3	76.2	1,140	1,083	10	1	3,430
4	101.6	2,030	1,929	10	0.5	3,420
5	127.0	3,140	2,983	10	0.3	3,340
				30	1	3,720
6	152.4	4,550	4,323	10	0.23	2,875
				40	1	3,890

これより伝爆薬量 10 g では 3 inch において爆速が最大となり、管径が大きくなるに従って、かえって爆速は減少する。しかしながら、管径の増加に従って伝爆薬量を増加すれば爆速も上昇する。これはブリル硝安 (ANFO) の伝爆性がダイナマイトに比較して低いことを示しており、多量の起爆エネルギーを必要とすることを意味している。

口径 3~6 inch の鉄管について伝爆薬量を検討した結果から、口径が 3 inch 以上の場合には伝爆薬量は

少くとも装薬量の 1% にする必要があると考えられる。しかしながら、細孔の場合は ANFO 爆薬の伝爆性が低下するために大きい起爆エネルギーが必要であり、伝爆薬量は装薬量の数%であることが要求される。

5. 薬径および装填密度

薬径の増大に伴って ANFO 爆薬の爆速は急激に増加する³⁾。装填密度を変化させた場合の爆速と鉄管径の関係の測定した結果は Table 4 であり、Fig. 3 お

Table 4 The relations among diameter, loading density and detonation velocity

Diameter		Volume of iron capsel (cm ³)	Loading density: 0.8 g/cc		Loading density: 0.9 g/cc		Loading density: 0.95 g/cc		Loading density: 1.0 g/cc	
inch	mm		Weight of ANFO (g)	Detonation velocity (m/s)	Weight of ANFO (g)	Detonation velocity (m/s)	Weight of ANFO (g)	Detonation velocity (m/s)	Weight of ANFO (g)	Detonation velocity (m/s)
1	25.4	127	101	2,545	114	2,820	121	2,870	127	2,885
1 1/4	35.0	240	192	2,955	216	3,085	228	3,110	240	3,120
2	50.8	508	406	3,015	457	3,245	483	3,290	508	3,310
4	101.6	2,030	1,624	3,100	1,827	3,350	1,929	3,420	2,030	3,435

よび Fig. 4 に図示した。

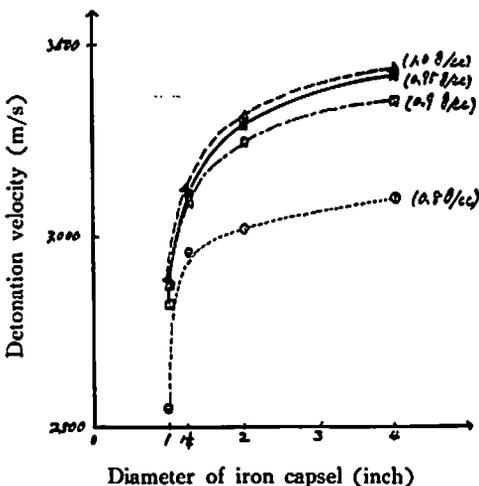


Fig. 3 Influence of diameter and loading density on detonation velocity. (The figures in brackets indicate loading density.)

Length of iron capsel (mm): 250
Primer : Tetryl 10 g
Method of initiation : No. 8 Cap

これより同一装填密度の場合には管径が大きくなる程爆速は大きくなるが、伝爆薬としてテトリル 10 g を使用したときには、口径 2 inch 以上になれば、爆速の上昇は緩慢となる。

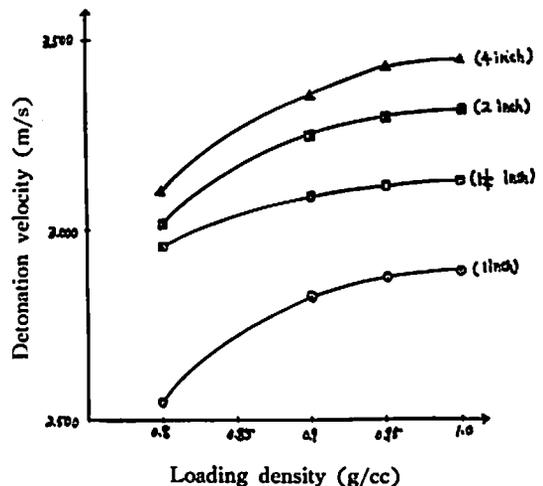


Fig. 4 Influence of loading density and diameter on detonation velocity.

Length of iron capsel (mm): 250
Primer : Tetryl 10 g
Method of initiation : No. 8 Cap

また、装填密度が増大する程、爆速も増加し、装填密度 0.95 附近になると増加の程度は減少することが認められる。この場合はテトリル 10 g を使用した場合の結果であり、さらに多量の伝爆薬を使用すれば爆速値は増大するものと考えられる。

6. 爆速の変化

ANFO 爆薬は起爆性、伝爆性が劣るため、長孔爆

破を行なう場合は伝爆薬を有効に使用して ANFO 爆薬の伝爆性を補う必要がある。そこで長孔の薬室内の爆速の変化を検討する基礎資料として今回は鉄管による爆速試験を行なった。すなわち、口径が 1 $\frac{1}{4}$ inch および 3 inch で管長 2 m の鉄管に ANFO 爆薬を装填し、起爆点から 10 cm, 30 cm, 50 cm, 70 cm, 90 cm, 110 cm, 130 cm, 150 cm, 170 cm および 190 cm の各点における区間爆速を測定した。装填方法は手装填、装填器による装填および自由落下(流し込み)

装填の3種類について行なった。伝爆薬はテトリル、ヘキソゲン、新桐ダイナマイトおよび導爆線を使用した。

6.1 手装填の場合

内径 1 $\frac{1}{4}$ inch, 長さ 2 m の鉄管に ANFO 爆薬を手装填で装填(装填密度 0.95 g/cm³)して、区間爆速を測定した。伝爆薬の配置については Fig. 5 に示すように3種類のものについて行なった。

測定結果は Table 5 に示し, Fig. 5 に図示した。

Table 5 The relations between the distance from primer and detonation velocity (hand package)

Distance from primer (cm)	Detonation velocity (m/s)		
	Kinds and quantities of primer or booster		
	A: Tetryl 10g	B: Tetryl 20g	C: Hexogen 10g+10g
10	2,930	3,450	2,705
30	3,430	3,260	-
50	3,560	3,500	3,520
70	3,260	3,630	3,250
90	3,560	3,628	3,450
110	3,380	3,700	3,430
130	3,080	3,360	3,460
150	3,070	3,220	-
170	3,030	3,610	3,520
190	3,100	3,660	3,240

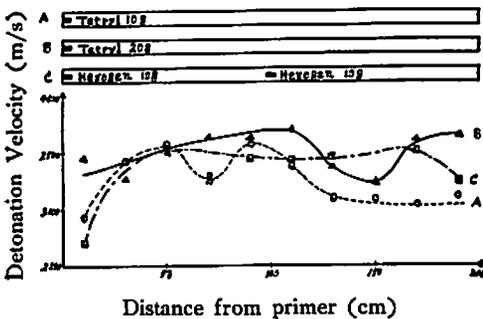


Fig. 5 Change in detonation velocity with the distance from primer (hand package).

Diameter of charge (inch): 1 $\frac{1}{4}$
 Loading density (g/cc) : 0.95
 Method of initiation : No. 8 Cap

これより A (テトリル 10 g) の場合は 起爆点から 120 cm 以上離れると爆速は低下する傾向が現われている。しかしながら, C (ヘキソゲン 10 g+10 g) の場合は起爆点より 100 cm の位置に挿入したヘキソゲンの影響を受けて爆速の低下は認められない。ま

た B (テトリル 20 g) の場合, 起爆点から 130 cm 付近で一度爆速は低下するが再び上昇しているのが認められる。

このように伝爆薬の量および配置によつて爆速の変化の様相に差異が生じている。

6.2 機械装填の場合

装填密度を高くするために口径 1 $\frac{1}{4}$ inch, 長さ 2 m の鉄管に ANFO 装填器を用いて ANFO 爆薬を装填(装填密度 1.0 g/cm³)し, 爆速の変化を測定した。伝爆薬は新桐ダイナマイト 100 g を使用し, Fig. 6 に示すように装填した。

実験結果は Table 6 に示し, Fig. 6 に図示した。

これより手装填の場合と比較して爆速値はバラツキが少なく, 一様に増加していくことが認められる。しかしながら, 薬長が長くなると爆速が低下し始めるところがあるものと考えられるがこのことについては今後の実験に譲ることとする。また伝爆薬を中間に挿入した場合としない場合とを比較すると大差が認められない。これについては下村も同様の報告をしている³⁾。

Table 6 The relations between the distance from primer and detonation velocity (anoloader loading).

Distance from primer (cm)	Detonation velocity (m/s)	
	Kinds and quantities of primer or booster	
	A: Dynamite 100g	B: Dynamite 50g+50g
10	2,030	2,280
30	2,960	2,930
50	3,065	3,105
70	2,950	3,060
90	3,200	2,965
110	3,000	2,990
130	3,285	3,090
150	3,200	3,075
170	3,360	3,405
190	3,380	-

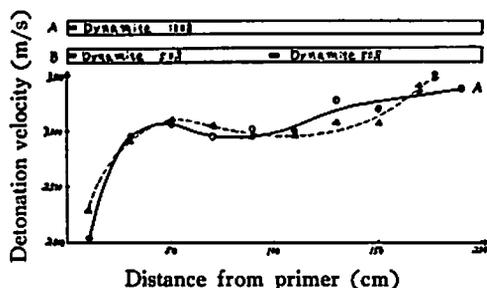


Fig. 6 Change in detonation velocity with the distance from primer (anoloader loading).

Diameter of charge (inch): $1\frac{1}{4}$
 Loading density (g/cc) : 1.0
 Method of initiation : No. 8 Cap

6.3 自由落下 (流し込み) 装填の場合

ベンチカットの場合、孔径が大きく、また下向き孔が多いので、ANFO 爆薬を孔の中へ自由落下させるという装填方法が採用されている。

そこで、ANFO 爆薬を口径 3 inch 長さ 2 m の鉄管の中へ流し込み Fig. 7 に示す種類の条件のもとで爆速を測定した (装填密度 0.80 g/cm³)。

実験結果は Table 7 に示し、Fig. 7 に図示した。

この結果、自由落下装填では爆速値に大きなバラツキが認められる。しかしながら、爆速値の変化の全般的な傾向としては手装填の場合と同様である。また爆速値が全体的に高い値を示しているのは薬径が大きいためであろうと考えられる。

Table 7 The relations between the distance from primer and detonation velocity (free loading).

Distance from primer (cm)	Detonation velocity (m/s)		
	Kinds and quantities of primer or booster		
	A:Tetryl 10g	B:Tetryl 90g	C: Dynamite 10g+10g
10	3,460	2,990	2,420
30	-	3,610	3,150
50	3,335	3,480	2,550
70	-	3,660	3,610
90	3,405	3,930	3,640
110	-	2,980	3,710
130	2,640	-	3,340
150	-	3,560	3,400
170	2,550	-	3,580
190	-	3,940	3,670

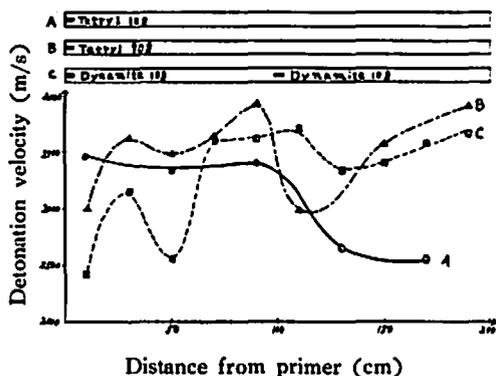


Fig. 7 Change in detonation velocity with the distance from primer (Free loading).

Diameter of charge (inch): 3
 Loading density (g/cc) : 0.8
 Method of initiation : No. 8 Cap

6. 4 導爆線を用いた場合

Spencer 社の Technical Data⁴⁾ の中には Fig. 8 に示すように導爆線を押入したものがある。しかし一

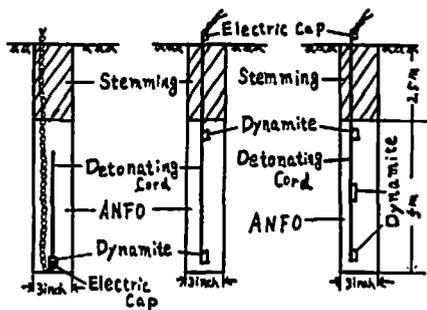


Fig. 8 Spencer's technical data

方、導爆線を伝爆薬として使用しても良好な結果が得られないという報告もある⁵⁾。

そこで口径 3 inch、管長 2 m の鉄管に Fig. 9 に示すように導爆線を押入して爆速を測定した。また ANFO 爆薬の装填方法は自由落下（流し込み）装填とし、テトリル 90 g を伝爆薬として併用した (Fig. 9 参照)。

実験結果は Table 8 に示し、Fig. 9 に図示した。

これより導爆線は ANFO 爆薬の伝爆性に対し、かえって悪影響を及ぼすことが認められる。

7. 考察および結論

ANFO 爆薬の爆速は、伝爆薬種、伝爆薬量、装填条件なども一定にした場合、ブリル硝安の見掛比重、吸油率、粒度および添加剤の種類に影響されることをすでに第 1 報において述べた⁵⁾。

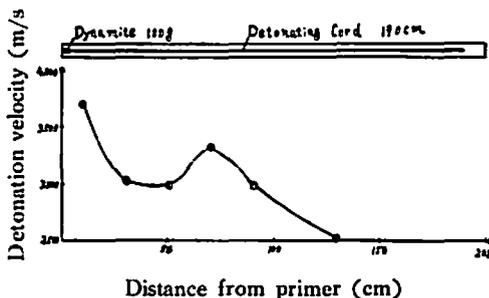


Fig. 9 Change in detonation velocity with distance from primer (In the case of the detonating cord is inerted to ANFO).

Diameter of charge (inch): 3
 Loading density (g/cc) : 0.8
 Method of initiation : No. 8 Cap

Table 8 The relations between the distance from primer and detonation velocity. (Primer and Booster: Dynamite 100 g and Detonating cord 1.9 m)

Distance from primer (m)	Detonation velocity (m/s)
10	3,710
30	3,010
50	2,980
70	3,320
90	2,990
110	-
130	2,505
150	-

そこで、今回は施工条件となる伝爆薬種、伝爆薬量、装填密度と爆速の相関性について検討した。その結果、ANFO 爆薬の爆速は伝爆薬の種類によつて異なり、爆速値の大きい伝爆薬を使用した方が ANFO 爆薬の爆速値は大きくなる。また伝爆薬量も爆速を左右し、伝爆薬量が多い程 ANFO 爆薬の爆速は上昇する。また薬径が 2 inch 以下の場合、十分な爆速を得るためには数 % の伝爆薬量が要求され、3 inch 以上 6 inch 附近においては少なくとも 1% が必要である。なお、1 inch 以下の場合には約 10% 必要といわれている⁵⁾。伝爆薬種および薬量を一定にした場合、薬径が大きくなる程 (1~4 inch の範囲で)、また装填密度が高くなる程 (0.8~1.0 の範囲で) 爆速値は増加している。鉄管が長い場合、伝爆薬量が多いと高爆速の持続距離が長くなる。また、中間の適当な位置に伝爆薬を挿入すると爆速値は低下せず高爆速持続距離を有効

に延長することができる。装填密度が小さいと爆速値の変動が大きく、不安定である。なお、起爆後、一旦爆速は低下し、再び上昇するという傾向が見られる。これは下村⁴⁾、八東⁶⁾も同様の結果を得ており、興味のあることであろう。導爆線を使用した場合、導爆線の起爆能力が不足のためか、良好な結果は得られなかつた。一方 Spencer 社の Technical Data によると使用可能のようである。これは彼我の導爆線の相違によるものではなからうか。

このように ANFO 爆薬の爆速は伝爆薬の種類、伝爆薬の量、装填密度、薬径に著しく影響されることが明らかとなつた。このことは ANFO 爆薬がダイナマイトのような爆薬と本質的に異なることを示すものである。従つて、ANFO 爆薬による有効な爆破効果を得るには、現場の施工条件を十分考慮して、装填密度、伝爆薬量、伝爆薬種、伝爆薬の配置などを決定しなければならない。特に大型の爆破を行なう際には、これらの考慮が一層必要である。

今後、さらに長孔の爆破孔を使用して、孔内の ANFO 爆薬の爆速を伊藤、佐々⁷⁾によつて開発された爆速測定法により測定し、ANFO 爆薬の爆発性と起爆および伝爆エネルギーとの相関性について検討する方

針である。

最後に、本実験について教示を受けた伊藤一郎教授および佐々宏一博士に厚く御礼申し上げるとともに、協力を得た北尾盛功、岡田和彦、吉田信生、小川輝繁および中野雅司の諸君に感謝する。

文 献

- 1) 吉田正、赤羽周作、田中雅夫、松本栄; ANFO 爆薬に関する試験結果、工業技術院報告、昭38、11、
- 2) 下村弥太郎; ANFO の鉱石における発破試験、(日本鉱業協会、石灰石鉱業協会)、昭38、3、
- 3) 下村弥太郎; ANFO 混合剤について; 昭和年 38 年度鉱業関係学協会合同秋季大会、昭和38、11、
- 4) Spencer Chemical Co.: Use of Prilled Ammonium Nitrate Fuel Oil Mixture in Stripping, Quarrying, and Metal Mining, Spencer Technical Data, Sept. 1960
- 5) 若園吉一; 佐藤忠五郎; 工業火薬協会誌、25巻、63頁、昭38、
- 6) 八東清美; 工業火薬協会誌、25巻、107頁、昭38、
- 7) 佐々宏一、伊藤一郎; 工業火薬協会、昭和41年度研究発表会、昭41、

Studies on the Granular Explosives (Third Report)

On the ANFO Blasting Agents (3)

by Yoshikazu Wakazono

The state of detonating propagation of prilled AN has not been sufficiently clarified in spite of many studies on ANFO has been conducted so far.

In order to clarify this problem, the author has investigated the effects of primer and booster, and loading conditions on the detonation velocity of ANFO.

The results obtained are as follows:

- (1) The detonation velocity of ANFO depends on both the kinds and quantities of primer and booster, that is, if the explosives having higher detonation velocity are used or if the ratio of the primer and booster to ANFO is increased, the detonation velocity of ANFO gets higher.
- (2) As the hole diameter or the loading density increases, the detonation velocity of ANFO increases. While, in the case of the other high explosives, the change in the detonation velocity due to the variation of the diameter or loading density is not conspicuous so much as ANFO.
- (3) In the case where the loading density of ANFO and quantities of primer are not sufficient, the detonation velocity of ANFO falls at a certain distance from primer in ANFO. Therefore, it suggests us that the insertion of the booster at an appropriate location in ANFO should be effective for a long hole blasting.