

粒状爆薬に関する研究 (第2報)

AN-FO (硝油爆薬) に関する研究 (II)

伊藤 一郎*・若岡 吉一*・佐藤忠五郎**

安健 比古**・梅田 貞夫**

1 緒 言

第1報¹⁾において述べた実験では、ブリル硝安(以下ブリルと略称する)がAN-FO用として好適であることが認められた。鹿島建設株式会社においては、近い将来、海外(東南アジア)における土木工事でAN-FOを使用する予定である。この場合の爆破は坑外(露天)爆破であつて、坑内爆破ではないから後ガス²⁾の問題³⁾を考慮する必要がない。また、3インチ以上のクローラードリルを使用して下向孔を掘削し、AN-FOを自由落下装填するから、静電気の発生は無視し得る程度で、装填機を使用する場合に予想されるような危険⁴⁾はない。このような条件を考慮し、海外における土木工事の爆破作業に、AN-FOが果して使用できるかどうか、また使用する場合には、どのような注意が必要であるかなどについて検討するために、以下に述べる実験を行なうことにした。この第2報においては、ブリルを使用して現場実験を行ない、その実用性を検討した結果を報告する。

2. 試 料

試料のブリルとしては、第1報¹⁾で決定した規格に適合するもので、仮比重(見掛比重)が約0.8の無機固化防止剤および有機固化防止剤を添加した2種のブリルを、それぞれ50kgずつ製造した。また仮比重約0.7の有機固化防止剤を添加したもの50kgも準備した。今回の実験を行なった時期(昭和38年8月)には固化防止剤を添加しないブリルは、吸湿性がいちじるしく使用不可能であつたので、試料としては固化防止剤を添加したものに限つた。これらの試料の性状は表1に示す通りである。(製品はすべて住友化学のものである。)

表1 試 料

試料記号	添加剤の種類	仮比重 (g/cc)	吸油率 (g/100gAN)
C-0.8	有機固化防止剤	0.833	11.7
D-0.8	無機固化防止剤	0.813	11.9
C-0.7	有機固化防止剤	0.735	16.8

(備考) 水分はいずれも0.3%以下である。

* 京都大学工学部 京都市左京区吉田本町
** 鹿島建設株式会社 東京都中央区八重洲5-3-3

なお、AN-FOの混合比は、第1報¹⁾と同様すべてAN:FO=94.5:5.5とした。

3. 現場状況

実験場所は新潟県南蒲原郡下田村笠堀ダムの原石山である。現場はすでに坑道発破が行なわれた後で、海拔260mと海拔252.5mにベンチ盤が造成されていた。今回の実験は、海拔260mより海拔252.5mまでのベンチ(高さ約7.5m、巾約50m、奥行き約40m)を利用して行なつた。(写真1参照)

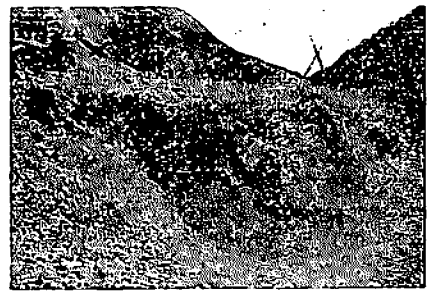


写真1 実験を行なつたベンチ

ベンチを構成している岩石は石英粗面岩で、節理が多くて比較的軟かく、ところどころ、湧水箇所がみられた。

現場における実験は、高速度および常速度カメラによる爆破状況の撮影と、装薬孔内での爆速測定とに分け、これを実験計画にもとずいて適宜行なつた。点火所、指揮所、撮影場所、爆速測定場所などの配置は図1に示す通りである。

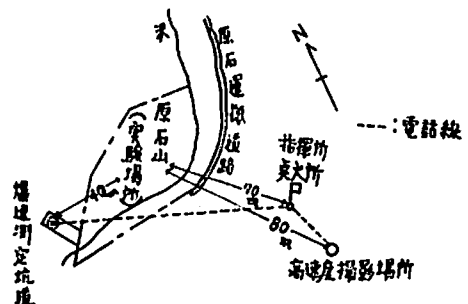


図1 配 置 図

4. AN-FO の現場実験

(ベンチカット)

3. で述べたベンチにおいて、昭和38年8月18日より24日まで、合計8回の爆破実験を行なった。

3 インチクローラードリルを使用して、6~8m長、3 インチ径の装薬孔を穿孔した。1 回の実験の孔数は7~20 である。装薬量は爆破係数(C)を約0.3として算出し、1 装薬孔につき AN-FO 15kg~18kg とした。

これらの AN-FO は漏斗を使用して、装薬孔内に自由落下させ、塩化ビニール製、長さ 10m の棒によつて数回つきかためを行つて装填し、その後、ポリエチレン袋入りの砂袋を込物として挿入した。また、すべて図2に示したように導爆線使用の底起爆⁴⁾とし、斉発を行なった(爆速測定に際しては導爆線を使用せずに底起爆とした。)

ベンチカット試験発破の状況および薬量、孔長などの詳細について、その一例を図2および表2に示す。

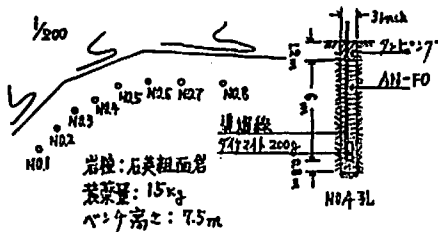


図2 爆破実験の一例

表2 図2に示した爆破実験の詳細

装薬種類	孔番号	孔長 (m)	水深 (m)	装薬量 (kg)	装薬長 (m)	伝爆薬位 (m)	ダイナマイト量 (g)
AN-FO C-0.8	1	6.50	0	15	5.50	0.50	200
	2	7.70	0	15	6.00	0.50	200
	3	7.80	0	15	5.80	0.50	200
	4	8.00	0	15	6.00	0.80	200
	5	7.90	0	15	5.90	0.40	200
	6	8.00	0	15	5.50	0.60	200
	7	7.00	0	15	5.00	0.70	200
	8	7.70	0	15	5.20	0.50	200

図2に示した実験では、AN-FOの総使用量120kgに対し、採石量は約340m³で、1m³あたりの使用薬量は0.35kg/m³であった。

一方、D-0.8およびC-0.7のものについても、1m³あたりの使用薬量に大差はなく、いずれの場合も過装薬であったことが認められた。これはベンチを構成している岩質が軟らかく、しかも以前の坑道発破に

よつて岩盤がゆるんでいたためと考えられる。

5. 高速度撮影

AN-FOによる爆破状況を福原式⁵⁾高速度カメラを用いて、約2,000コマ/秒で撮影した。なお、常速度撮影(60コマ/秒)も併用した。フィルムはコダクローム、カラーネガフィルムを使用した。実験を行なったベンチには、湧水箇所および水孔が存在しており、これらの水孔にはAN-FOが使用できないので、黒カーリット(50mm径、薬量300g)を使用し、AN-FOとの比較をも兼ねることとした。使用薬量は、1装薬孔(3インチ径、8m長)につきAN-FO約15kg、黒カーリット9kg(30本)である。

起爆方法はAN-FOの場合は図2に示した通りであり、ブースターとして、200gえのきダイナマイトを使用し、導爆線によつて起爆した。カーリットの場合は、孔底の薬包に導爆線を装着した。いずれの場合も導爆線の起爆は、装薬孔口に装着した電気雷管によつた。

点火時を0秒として、以下20, 50, 100, 300, 500, 1,500および3,000ms後の爆破状況を写真2~写真9に示した。

点火時に認められる旗の手前に装薬孔がある。8孔のうち左側の4孔はAN-FOを、右側の4孔はカーリットを装薬する予定であつたが、右側から2番目の装薬孔は孔荒れが激しく、装薬不可能であつたからバカ孔とした。そのためAN-FOの装薬は4孔、カーリットの装薬は3孔になつた。これらの写真から両者の爆破状況には顕著な差が認められないことがわかる。

一般にカーリットは湧水、水孔の有無にかかわらず、ほぼ同じ爆破効果を示すものと考えられるから、これらの撮影結果より、AN-FOの爆破効果について考察すると、使用場所その他の条件が適当な場合は、AN-FOもカーリットに劣らない爆破効果を示し、ベンチ爆破に対して十分使用可能であると考えられる。ただカーリットより多量の薬量が必要とするが、これは両者の爆力の差を考慮すれば、当然のことである。

6. 爆速測定

Spencer社のTechnical Data⁶⁾によればAN-FOの使用に際し、図3に示すように3インチ~5インチ口径の装薬孔に対して、途中に伝爆薬Boosterとしてダイナマイトを挿入している。これに対して、下材⁷⁾からはその必要を認めていない。

われわれはこのいずれを選ぶべきかを検討するために、装薬孔内での連続的な爆速測定を試みた。その原理は図4に示すように、抵抗体に一定電流を流しておき爆速波面の進行に伴う抵抗体の短絡による電圧変

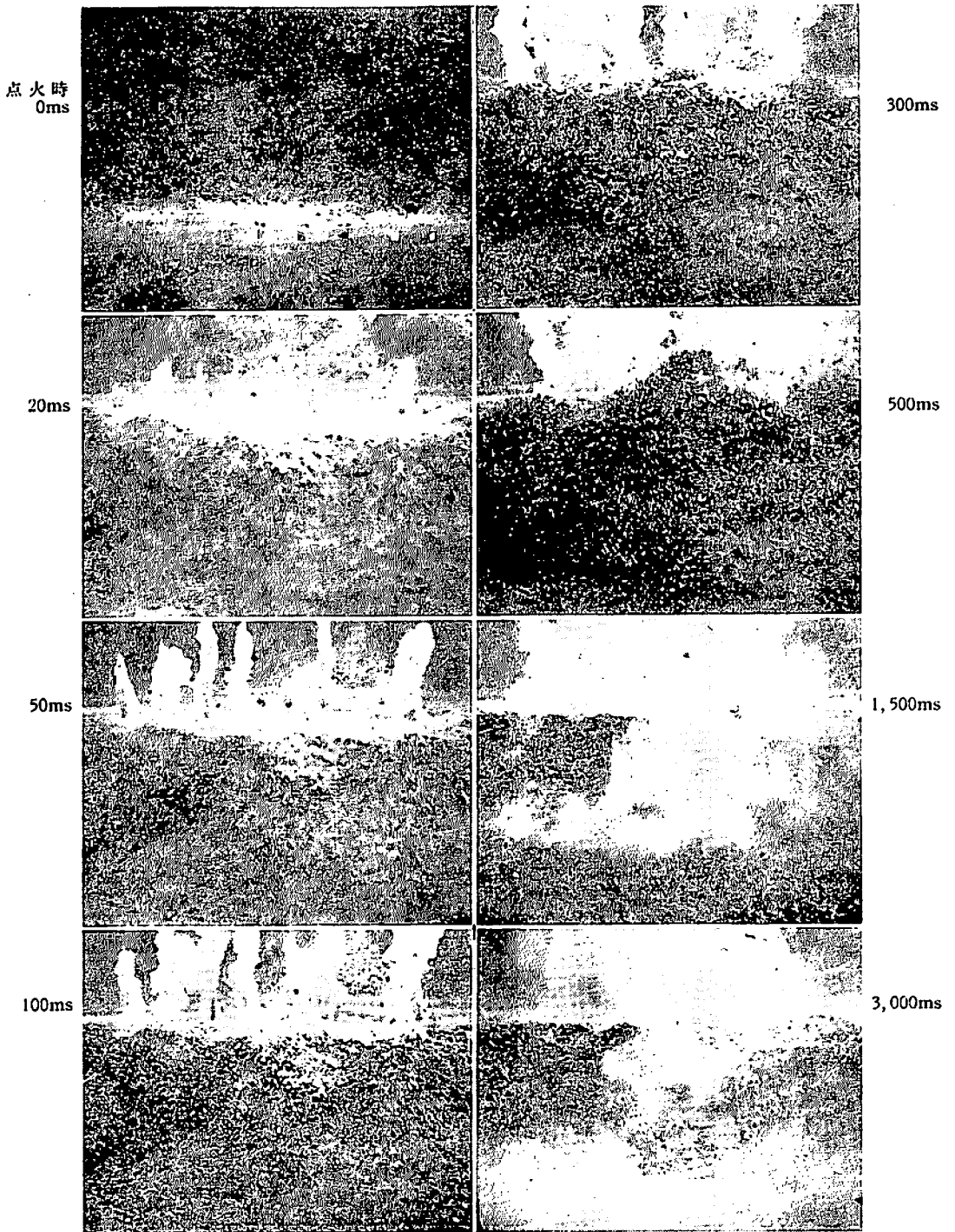


写真 2 高速写真 (2,000コマ/秒)

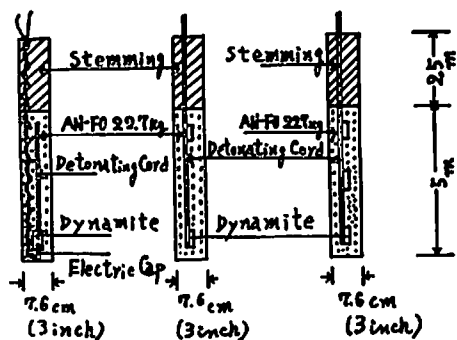


図3 Spencer Technical Data

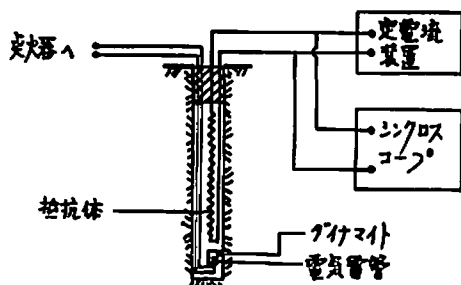
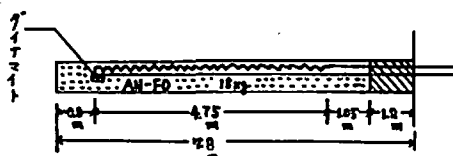
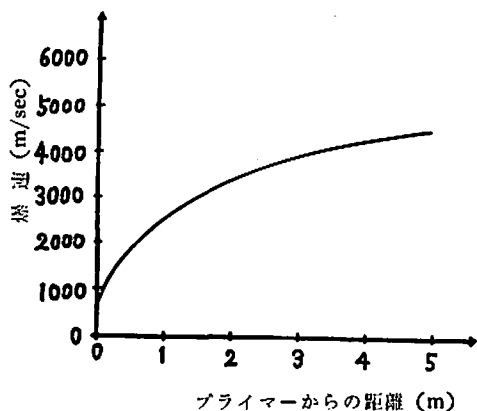


図4 爆速測定装置

化をシンクロスコープで記録するものである。

このような装薬孔内での爆速測定の解析結果の一例を図5に示した。



(装填密度): 約 0.92
 (プライマー): えのきダイナマイト 200g
 (雷管): 6号電気雷管

図5 爆速測定結果

図5に明らかなように、われわれの実験では、装薬孔内での爆速低下は認められなかった。したがって、今回の実験結果からは、装薬孔の途中に、伝爆薬を挿入する必要はないものと考えられる。

7. 経時変化および燃料油の分離

7.1 プリルの経時変化

現場実験に先だつて、昭和38年7月17日から1ヶ月間、プリルそのものの経時変化が爆速におよぼす影響について、あらかじめ検討を加えた。

有機固化防止剤添加、仮比重0.7および0.8の2種類のプリルを、ポリエチレン製の袋中に密封した状態で1か月間貯蔵し、その後燃料油と混合し、その直後にドートリッシュ法⁵⁾により爆速を測定した。その結果を表3に示す。

表3 プリルそのものの経時変化

プリルの種類	S. 38. 7. 17 の測定値	S. 38. 8. 15 の測定値
C-0.7	3,480 m/sec	3,117 m/sec
C-0.8	3,120 m/sec	2,925 m/sec

この結果から、プリルそのものも経時変化し、AN-FOの爆速を低下させることが認められた。ポリエチレン製の袋中に貯蔵した場合は、吸湿は無視し得る程度であるから、この経時変化は温度によるものであろうと推察される。

7.2 AN-FOの経時変化

AN-FOの経時変化を調べるために、7.1と同じプリルを燃料油と混合した後、24時間ポリエチレン製の袋中に貯蔵し、爆速を測定した。その結果は表4に示す通りである。

表4 AN-FO混合後の経時変化

プリルの種類	混合直後の測定値	混合後24時間後の測定値
C-0.7	3,117 m/sec	3,030 m/sec
C-0.8	2,925 m/sec	2,790 m/sec

この結果から、AN-FOの経時変化は、プリルそのものの経時変化よりも大きいことが認められる。

7.3 燃料油の分離

昭和38年8月13日に混合したAN-FO(プリルは7.1, 7.2と同一の2種)をポリエチレン製の袋中に室温で貯蔵したところ、約3週間後に、いずれも燃料油の分離が顕著に認められ、ポリエチレン製の袋の一部が、分離した油によつておかされている状態となった。この事実から、AN-FOをポリエチレン製の袋中に貯蔵することは、ことに夏季においては適切でない

と認められる。ブリルと油との分離は、AN-FOの爆発における表面反応にとって無視できない問題であると考えられる。

7.4 冬季における AN-FO の経時変化

冬季における AN-FO の経時変化が爆速におよぼす影響を調べた。すなわち、昭和 38 年 12 月 18 日に AN-FO を混合してポリエチレン製の袋中に室温で貯蔵し、1 日後、1 週間後、2 週間後、3 週間後、5 週間後にそれぞれ爆速を測定した。

試料として使用したブリルは有機固化防止剤添加、仮比重 0.8 のもの、および Spencer 社のブリル (N-IV) である。

実験結果は図 6 に示す通りである。

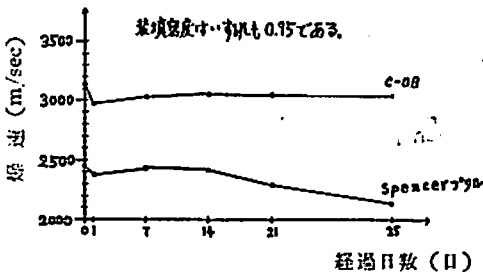


図 6 AN-FO の経時変化

この結果より、いずれも混合後 1 日経てば爆速の低下が認められるが、その後 35 日程度の範囲内では爆速はほぼ一定の値を示す。なお、この実験においては AN-FO 貯蔵中の油の分離は、夏季における場合に比較して、ほとんど認められない程度であった。このことより油の分離に対しては温度の影響が大きいことが推察される。

このように、防潮を考慮してブリルを袋の中に貯蔵したとしても、ブリルそのものが温度の影響によって経時変化するものと考えられ、また AN-FO として、混合後においても、油の分離は温度の影響を大きく受けることが明らかであるから、海外での AN-FO の使用に際して、ブリルの輸送、貯蔵、および AN-FO 混合後の貯蔵には厳しい気象条件の変化を十分考慮しなければならないことになる。このようなことから AN-FO は混合後できる限り早く使用することが望ましい。

8. 染料

燃料油にごく少量の染料を添加し着色すれば、ブリルと燃料油の混合状況、および燃料油のブリルへの浸透状況を確認することができる。また着色した AN-FO によって、作業員にブリルそのものとの識別を容易に了解させ得るばかりでなく、致種の染料を選び

混合日時を色により区別して、混合後直ちに使用させるよう取り計らうことができる。染料の添加量は燃料油 100cc につき約 10mg が適当である。色および染料名を表 5 に示す。

表 5 染料	
着 色	染 料
赤	Oleosol Red BB
	Sumiplast Red AS
	Sumiplast Pink FF
青	Oleosol Blue G
	Sumiplast Blue
黄	Sumiplast Orange 3G
黒	Sumiplast Black B

9. 考察ならびに結論

今回実施した種々の実験の結果から、軟岩の爆破に対しては AN-FO を使用することが可能であると認められた。そこで、さしあたって海外における土木工事に AN-FO を使用する場合を対象として、その使用基準について検討を加え、次のような案を作成した。なお、さらに今後に残された問題点についても検討を加えた。

(1) 爆破はベンチカットとする。

爆破を露天で行なうことになるから、後ガスなどの問題²⁾について考慮する必要がない。

(2) 穿孔には口径 3 インチ以上のクローラードリルを使用する。

孔径が 3 インチ以上の場合には装薬孔内での薬切れのおそれがなく、実用限界薬径 (1 1/4 インチ)³⁾をはるかに上廻るので、AN-FO を完爆させることができる。

(3) 孔長は 10m 前後とする。

今回の実験では孔長 8m 程度として良好な結果を得たが、今後さらに長孔を必要とする場合は、現場実験を行なつて検討する。

(4) ブリルと燃料油との混合比は 94.5 : 5.5 とする。

今回の実験では JIS 規格 3 号軽油を用いて混合比 94.5 : 5.5 において良好な結果を得た。今後は燃料油の活性化、揮発性、ブリルの吸着性について検討する予定である。

(5) 現場混合を行なう。

海外における AN-FO の使用に際しては、輸送、貯蔵、消費などの点を考慮して、現場混合とする。

(6) 染料を混入する。

AN-FO とプリルとの区別、混合状態の観察、混合日時の識別などを明らかにする。

- (7) プリル、燃料油および染料以外のものは混入しない。

第1報¹⁾に報告したように、プリルは添加剤によつて鋭感となることが認められるので、安全性の点から、他の爆薬や鋭感剤などの混入を行なわない。

- (8) 混合後1週間以内に使用する。

AN-FO の経時変化、油の分離などを考慮すれば、混合後できるだけ早く使用することが望ましい。

- (9) AN-FO の貯蔵には、ビニール製、ポリエチレン製などの袋の単独使用を避けること。

ビニール、ポリエチレンなどの高分子材料は油におかされるから、貯蔵にはたとえば multipaper bag⁹⁾ のようなものを使用すべきである。

- (10) 装填は自由落下による。

装薬孔はすべて下向孔とし、漏斗を使用して自由落下で装薬する。装填機を使用しないので、静電気の問題¹⁰⁾については無視し得る。外国においても大口徑の装薬孔に対しては自由落下装填を採用している¹⁰⁾。

- (11) 底起爆 (bottom priming) とする。

AN-FO の起爆法には、正起爆、底起爆など各種の方法がある。文献によれば底起爆が採用されている場合が多い^{3, 11)}。下村らによれば正起爆、底起爆のいずれによつても爆破効果に差がないとされている⁹⁾。今回の実験では底起爆を採用し良好な結果を得たので、底起爆で爆破する方針である。しかし今後、現場における実際の爆破により、両起爆法を検討する予定である。なお、AN-FO は密装填になるから、岩盤の状態によつては過装薬になる可能性があるから、Spacer¹¹⁾使用の必要性も生じてくるものと考えられる。これについても今後現場実験をもつて検討する方針である。

- (12) 装薬の途中には伝爆薬を入れない。

6. の燃速測定の結果からこれを決定した。

- (13) 伝爆薬は AN-FO 装薬量の 1~2% とし、導爆線で起爆する。

4. で述べたように、今回の実験では AN-FO 15kg に対してプライマーとしてえのきダイナマイト 200g を使用したが、第1報¹⁾で述べた鉄管試験などを考慮すれば、1% でも差し支えないも

のと考えられる。ダイナマイトの起爆は原則として導爆線で行なう。

- (14) 水孔に対しては AN-FO を使用しない。

AN-FO 使用上の最も重要な問題点は水孔対策である。湧水、漏水のある場所では装薬孔中の水を除くことが困難であり、たとえ AN-FO をポリエチレンなどの防水袋に入れて装薬するにしても、比重が1以下であるため、装填が難しい。AN-FO の比重を高くするために、硝石などを混入することも考えられているが¹²⁾、むしろ水孔に対しては AN-FO を使用せずに粒状 TNT を使用の方が好ましいと考えている。粒状 TNT については稿を改めて報告する。

- (15) 硬岩に対しては AN-FO を使用しない。

5. に述べた高速度撮影の結果より、AN-FO はカーリットと比較して爆力が劣ることは明らかである。AN-FO は、今回のような比較的軟い岩石に対しては効果的であるが、さらに硬い岩石に対しても使用できるかどうかは、今後検討すべき問題である。現在のところ、AN-FO の使用は軟岩に限り、硬岩に対してはすでに述べた黒カーリットまたは粒状 TNT を使用する方針である。

この実験を行なうにあたり、各種の援助を受けた火薬メーカー、硝安メーカーに感謝する。

文 献

- 1) 若岡吉一、佐藤忠五郎：工業火薬協会誌、25巻、63頁 (1964)
- 2) H. Ahlmann, J. Casper: World Mining, 26, Oct. (1961)
- 3) J. A. Hurry: Engineering and Mining Journal, 163, 90₂(1962)
- 4) Spencer Chemical Co.: Technical Data, Sept. (1960)
- 5) 福原達三：応用物理、10, 110 (1941)
- 6) 下村弥太郎 (日本鉱業協会、石灰石鉱業協会)：AN-FO の鉱山における発破試験、昭和38年3月
- 7) 伊藤一郎、平尾敏朗：日本鉱業会春季大会、昭和39年4月
- 8) 山本祐徳：一般火薬学、一橋杏房、昭和36年9月
- 9) 日本産業火薬会、日本鉱業協会：硝油爆薬調査団報告、昭和38年12月
- 10) I. B. Machintosh: Mine & Quarry Engineering, 29, 485 (1963)
- 11) W. C. Maurer: Quarterly of the Colorado School of Mines, 58, No. 2, April (1963)
- 12) H. E. Farnam Jr.: Can. Mining Met., Bull., 818, Oct. (1960)

Studies on the Granular Explosives (2nd Report)

On the AN-FO Blasting Agents (2)

by Ichirō Itō, Yoshikazu Wakazono, Chūgorō Satō,
Takehiko Yasu and Sadao Umeda

Using the AN-FO blasting agents of the prilled AN which had the properties described in our previous report, we tried the practical blasting by the bench cut method at the dam site consisted of quartz trachyte at Kasabori, Niigata Prefecture, Japan. We used approximately 15kg of the AN-FO blasting agents for each bore hole.

Through the practical blasting, we came to the conclusions that the AN-FO blasting agents were inferior to ammonium perchlorate explosives (Carlit) in view of the blasting force, and that the AN-FO blasting agents were usable and effective only when used in the dry holes.

AN-FO 爆薬に関する研究 (第1報)

—性能試験結果について—

吉田 正・赤羽 周作・田中 雅夫・松本 栄*

1. ま え が き

1955年に米国の Lee と Akre が硝安に少量のカーボンブラック、微粉炭等の炭素系物質を混合した爆薬の特許をとり、Akremite¹⁾と名付けた。これは現場で簡単に混合製造され、その低コストのために大口径の発破に適用されるようになり、石炭の露天掘、石灰石、頁岩の採掘等に、ポリエチレンの袋に入れて、または直接の流し込みの方法によつて次第に広く使用されるようになった。その後硝安の鋭感剤としては固体のカーボンブラック等よりは、液体の燃料油が混合の均一性、混合時間、価格、発破効果等の点ですぐれているので、これが使用されるようになった。燃料油としては種々の液体燃料が使用できるが、価格、安全度、粘度等を考慮して、現在では主としてディーゼル油、軽油が使用されている。硝安は始めは粉状、結晶状、肥料用の粒状のもの等が用いられていたが、カナダの Consolidated Mining & Smelting Co. で作られたブリルという多孔質の小球状の硝安が、吸油性も良く、貯蔵中の固化もなく、装てん機による装てんにも適しており、発破効果も良いので主に使用されてい

る。これは硝安(Ammonium Nitrate)と燃料油(Fuel Oil)の混合による爆薬であるので、AN-FO 爆薬、硝油爆薬等(法規上では硝安、油剤混合爆薬)と呼ばれている。

AN-FO 爆薬は始めは大口径、露天掘の発破にのみ使用されてきたが、硝安、界面活性剤、混合、装てん、起爆法等の技術的進歩にともなつて1958年頃よりスエーデン、アメリカ、カナダにおいて小口径、坑内使用の試験が始められてきた²⁾。AN-FO爆薬の適用範囲は次第に増加しており、アメリカ、カナダの爆薬使用量の中でAN-FO爆薬の占める割合は近年大幅に増加している³⁾。

わが国においては、昭和37年に鉱工業技術補助金を受け、日本鉱業協会と石灰石鉱業協会とが協同してAN-FO 爆薬の鉱山における発破試験を代表的な6鉱山で行ない⁴⁾、一方産業火薬会においても研究を報告し⁵⁾、昭和38年に日本産業火薬会と日本鉱業協会の協同のAN-FO爆薬調査団が欧米に派遣されて、各国の使用および法規上の取扱状況の調査を行なつた⁶⁾。

昭和38年5月に鉱山保安局、鉱山局および軽工業局より工業技術院長宛の依頼にもとづき、工業技術院よ

*資源技術試験所 東京都北区河原町