

硝安油剤爆薬特集

粒状爆薬に関する研究 (第1報)

AN-FO (硝油爆薬) に関する研究 [I]

若園吉一\*・佐藤忠五郎\*\*

1. 緒言

アメリカ、カナダなどでは AN-FO (硝油爆薬) が盛んに使用されており<sup>1)</sup>、近年わが国においてもその使用の可否が検討されている<sup>2)</sup>。各国の建設業者が東南アジアにおいて、ダム工事を始め各種土木工事に AN-FO を使用している現状であり、われわれも海外における AN-FO 使用の必要性に迫られ、その可能性を検討しようと試みた。

昭和37年初期、わが国で製造されていた硝安は写真1のような粒状硝安であり、写真2に示す外国製品のようなプリル硝安 Prilled ammonium nitrate ではなかった。AN-FO は後述するように表面反応を行なうものであるから、われわれはプリル硝安でなければ爆破が円滑に行なわれないと考えて実験を見合わせていた。

昭和38年初期になって、わが国においてもプリル硝安の製造は可能となったが、まだ量産されるに至らなかったため、AN-FO に通じたプリル硝安の特性は明らかでなかった<sup>3)</sup>。そこでわれわれは外国製品の調査結果にもとづいて、各種プリル硝安を試作し、爆速測定を始め種々の基礎的実験を行ない、外国製品と比較検討した。その結果得られた AN-FO 用プリル硝安の特性について、ここに報告する。この基礎実験は

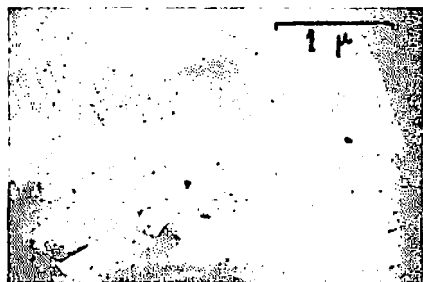


写真1 高比重粒状硝安の電子顕微鏡写真



写真2 プリル硝安の電子顕微鏡写真

昭和38年6月~7月(特に梅雨期)にわたって行なったものである。

2. プリル硝安

(以下プリルと略称)

外国より入手したプリル(後述)のうち、Spencer社のものについてその1粒子の中央部から切片をつくり、それを光学顕微鏡で検査すると写真3のように粒子内部には多数の空隙が認められる。写真4はさらに詳細に観察するため、切片の一部を拡大したものである。これらの写真より、プリルは球形粒子の結晶(一次粒子または単一粒子)が多数集まって、始めて形成



写真3 プリル硝安切片の光学顕微鏡写真①

\*\*\* 現在(昭和39年2月末)では日本産業火薬会でプリル硝安の規格を検討しており、AN-FOの海外調査も報告<sup>3)</sup>されている。

\* 京都大学工学部鉱山学教室 京都市左京区吉田本町  
\*\* 鹿島建設株式会社, 土木工務部 東京都中央区八重洲

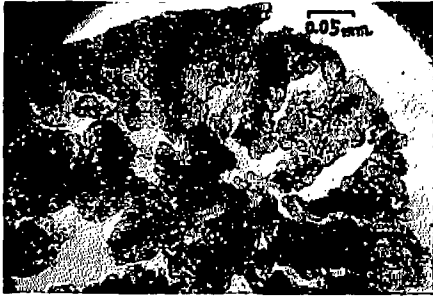


写真 4 プリル硝安切片の光学顕微鏡写真②

された粒状硝安（二次粒子または凝集粒子）であることが明らかである<sup>7)</sup>。

先に掲げた電子顕微鏡写真（写真 2）はカーボンシャドウ<sup>8)</sup>を施し、レプリカ法<sup>9)</sup>によつて撮影したもので、一次粒子の表面状態を示している。これによると表面には隆起があり、また各所に点々と凹部の存在が認められる。なお黒色部分は固化防止剤である。写真 1 は比較のために高比重粒状硝安の表面の一部を、同一方法で撮影した電子顕微鏡写真であるが、表面は非常に滑らかで凹部の存在は認められない。以上の写真から分るように、プリル（二次粒子）の内部には多数の大きな空洞が分布しているばかりでなく、一次粒子相互間にも小さな空隙が存在し、さらに一次粒子表面にも各所に凹部があつて滑らかでなく多孔性である。したがつて硝安の真比重が 1.73 であるにもかかわらず、プリルの仮比重（見掛比重）は、1.0 以下の小さなものになる。それでわれわれは Prilled ammonium nitrate を多孔性・低比重・粒状硝安と解釈している。

いうまでもなく AN-FO の爆発反応は硝安（固相）と燃料油（液相）との反応であつて、燃料油の硝安表面におけるいわゆる表面反応であると考えられる。プリルは普通の高比重硝安と比較して比表面積が大きく、燃料油の浸透および吸着が円滑に行なわれ、したがつて反応面積が従来の高比重硝安に比較して急速に進行し、爆発 detonation を起しやすいものと考えられる。このような観点からも反応の基剤となるプリルについて考察した。

### 3. 吸油率および仮比重（見掛比重）

すでに述べたように、プリルとしては多孔性であることが必要である。この多孔性の度合いを判断する一つの目安として、われわれは次に述べるような方法を考案し、吸油率を測定した。図 1 に示すような測定用ガラス管に試料硝安 100 g を入れ、さらに JIS 規格 3 号軽油（AN-FO 用燃料油）100 cc を混入して、一定時間放置する。その後ガラス管下部から軽油を抜き、真空ポンプで残存する軽油を吸引除去する。最後に全

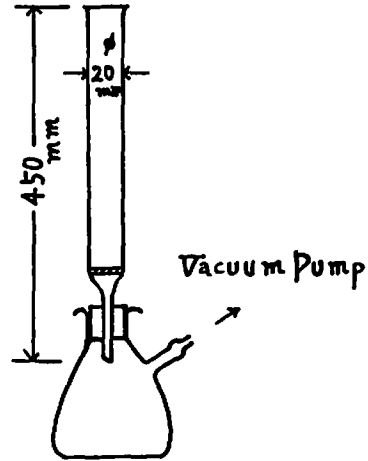


図 1 吸油率の測定

重量を測定し吸油率 (g/100gAN) を算出する。

仮比重（見掛比重）はメスジリンドーを用いて、一定重量の試料硝安の見掛の体積を測定して算出した。

### 4. 爆 速

爆発威力は一応爆速をもつて表わすことにした。爆速測定としてはドートリッシュ法<sup>10)</sup>を採用し、35mm 径、250mm 長、3mm 肉厚の引抜鋼管（JIS 規格）を使用した。装填密度が約 0.95 になるように手装填し、伝爆薬には 10g のテトリールペレットを用いて 8 号電気雷管で起爆した。3 回の測定値の平均をもつて爆速値とした。

### 5. 試 料

外国製品の調査結果は表 1 に示す通りである。そこで、試料プリルとして仮比重（見掛比重）が 1.0, 0.9, 0.8, 0.7 附近のものを試作し、粒度を -6~+20 mesh、水分 0.3% 以下にした。

固化防止剤のないものを標準として、無機固化防止剤（珪藻土）、有機固化防止剤（アルキルアミン酢酸塩）を添加したものの 3 種類としたので、試料数は 12 である。なお比較のため低比重粉状硝安および Spencer 社プリルも加えた。（表 2 参照）

硝安 (AN) と燃料油 (FO) の混合は、すべて AN: FO=94.5:5.5 とし、燃料油には JIS 規格 3 号軽油を用いて、ホーロー引容器内で木棒により、5 分間攪拌した。

### 6. 実験結果

実験結果を一括したものは表 2 である。

#### 6.1 仮比重と爆速

仮比重と爆速の関係は図 2 である。

これより仮比重が小さくなるほど、爆速は大きくなる。また同一仮比重のものでも固化防止剤の種類により爆速値は異なる。

表 1 外国製品の調査結果

製 品	仮比重 (g/cc)	吸油率 (g/100g AN)	粒 度 mesh (%)					水 分 (%)
			+ 8	8~10	10~14	14~20	-20	
Spencer	0.758	14.0	0	42	43	7	8	0.22
Spencer (N-IV)	0.833	11.6	0	82	15	3	0	0.09
Collier	0.758	9.5	1	63	25	5	6	1.18
Monsanto	1.000	3.9	1	35	60	3	1	0.55
Du Pont	0.762	15.9	0	53	35	4	7	0.25

(備考) 仮比重、吸油率はそれぞれ 3. の方法によつた。

表 2 各試料の実験結果

硝 安 種 類 (試 料)	見掛比重 (g/cc)	吸油率 (g/100g AN)	爆 速 (m/sec)
固化防止剤無 添加のプリル	0.717	17.2	3,200
	0.840	9.6	2,820
	0.918	8.0	2,610
	1.010	4.6	2,340
無機固化防止 剤添加のプリ ル	0.736	20.9	3,370
	0.838	15.3	2,650
	0.874	13.0	2,380
	0.944	10.0	不 燃
有機固化防止 剤添加のプリ ル	0.747	22.4	3,480
	0.848	16.3	3,120
	0.926	11.8	2,980
	1.038	6.3	2,560
低比重粉状	0.500	42.9	3,790
Spencer (N-IV)	0.758 (0.833)	14.0 (11.6)	2,820 (2,500)

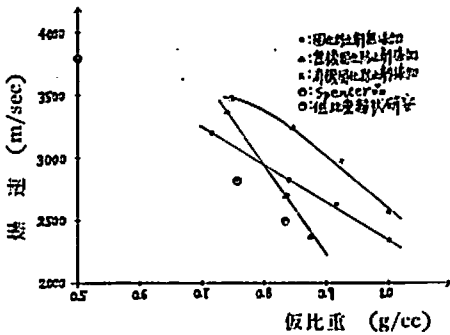


図 2 仮比重と爆速の関係

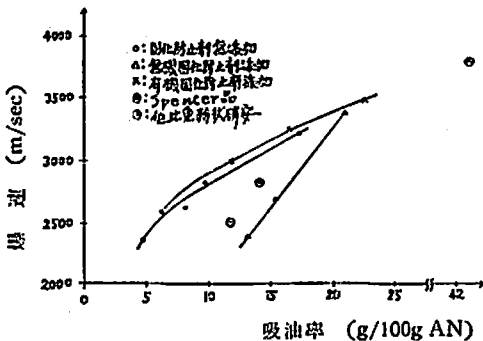


図 3 吸油率と爆速の関係

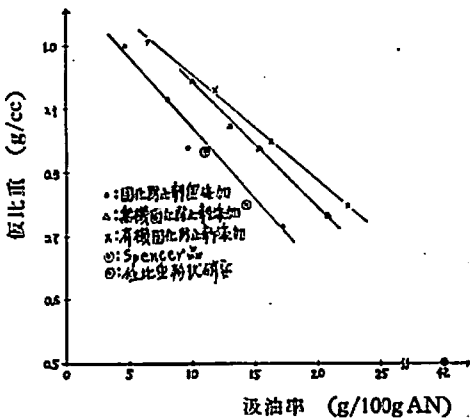


図 4 吸油率と仮比重の関係

### 6.2 吸油率と爆速

吸油率と爆速の関係は図3である。

吸油率の大きいプリルほど爆速値は大きく、このことは多孔性のものほど、硝安と燃料油の反応面積が大きくなることを意味する。また同じ吸油率のものでも固化防止剤の種類により爆速値は異なり、6.1の関係と同じ傾向を示す。

### 6.3 吸油率と仮比重

吸油率と仮比重の関係は図4である。

仮比重と吸油率の関係は一次直線的であり、仮比重が小さくなるほど吸油率は大きくなる。すなわち仮比重の小さいものはプリルの空洞の割合が増大し、多孔性になることを意味している。固化防止剤を添加したものは、同一仮比重の無添加のものと比較して吸油率が大きい。これは適当な固化防止剤あるいは表面活性剤の添加により吸油率を大きくし、爆力を増加させ得ることを示唆している。

### 7. 粒度と爆速

粒度と爆速の関係を求めるために、粒度がそれぞれ +10, 10~14, 14~20, 20~32 mesh の4種類のプリルにつき爆速を測定した。これらのプリルはすべて仮比重約 0.8, 有機同化防止剤を添加したもので、水分は0.25%以下のものである。爆速測定結果は表3に示す通りである。

表3 粒度と爆速

試料	粒度 (mesh)	爆速 (m/sec)
1	+10	2,600
2	-10~+14	2,780
3	-14~+20	3,000
4	-20~+32	3,480

これより粒子径と爆速の関係を図5に示した。

プリルの粒子径が小さくなるほど爆速値は大きくなる。すなわちこれはプリルの粒子が小さくなるほど、燃料油との反応面積が大きくなることを意味し、表2

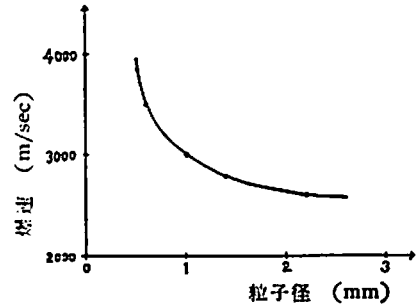


図5 粒子径と爆速の関係

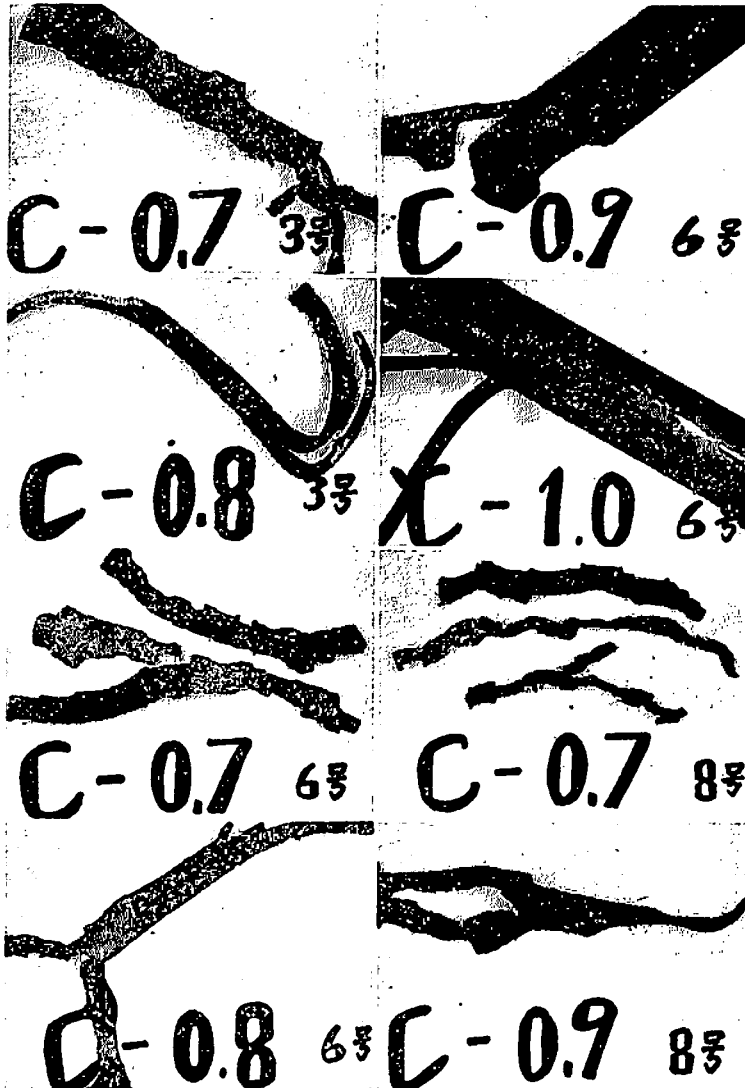


写真5 有機同化防止剤添加プリルの AN-FO 鉄管試験 (号数は雷管の号数を示す)

の低比重粉状硝安が大きな爆速値を示していることとも一致している。これらの結果からブリルの粒度はAN-FOの爆速を決定する一つの重要な因子であることが認められる。

#### 8. 鉄管感度試験

AN-FOの感度は、かならずしも爆速と相関するものではないので、2. で述べた試料および粒状TNT(水分7%)\* について鉄管感度試験を行なった。この鉄管試験は雷管の起爆感度測定を目的としたものではなく、AN-FOの感度試験を目的として行なったもので、大久保、飯田<sup>11)</sup>の危険性物質に関する安全性試験と趣旨を同じくするものである。

各試料を35mm径、250mm長、3mm肉厚の鉄管に装填し(装填密度約0.95)、8号・6号・3号の3種の電気雷管によって起爆し、それぞれの鉄片を採取した。試験結果を写真5~9および表4に示した。

表4中の完爆、不完爆、不爆の判定は定量的なもの

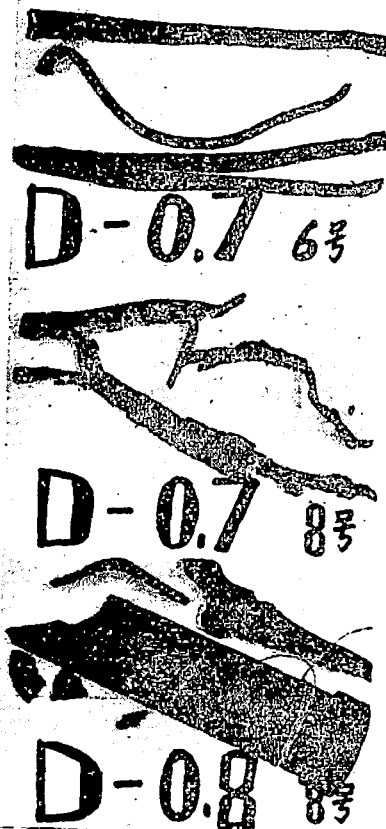


写真6 無機固化防止剤添加ブリルのAN-FO鉄管試験

\* 粒状TNTは水孔(みずあな)の場合、AN-FOの代りに使用するために製造したもので、これについては稿を改めて報告する予定である。



写真7 低比重粉状硝安のAN-FO鉄管試験



写真8 Spencer社ブリルのAN-FO鉄管試験

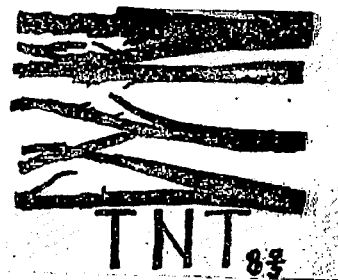


写真9 粒状TNT(水分7%)の鉄管試験

表 4 鉄管感度試験

試 料	仮 比 重	電 気 雷 管		
		8 号	6 号	3 号
有機固防剤 添 加	0.747	○	△	△
	0.848		△	△
	0.926	△	×	
	1.038		×	
無機固防剤 添 加	0.736	△	△	
	0.838	×		
低比重粉状	0.500			△
Spencer	0.758	△	△	
TNT (水分 7%)		×		

(備考) ○：完 爆， △：不完爆  
×：不 爆

ではない。われわれは残留薬を認められる場合は不爆、残留薬は認められないが採取鉄片がもとの鉄管の全長をとどめている場合は不完爆、それよりも採取鉄片が細かく砕かれている場合は完爆と判定した。

この結果から、同一固化防止剤添加のプリルについては、仮比重が大きいほど鈍感であり、また同一仮比重のプリルについては、雷管の号数が小さいものほど鈍感である。固化防止剤の種類によっても感度はことが認められる。

10. 落槌感度試験

鉄管感度試験では、有機固化防止剤添加の仮比重 0.7 のプリルおよび低比重粉状硝安を使用した AN-FO は、水分 7% の粒状 TNT より鋭感であるという結果を得たので、さらにこれを確かめるために、これら 2 種の AN-FO および粒状 TNT (水分 7%) について落槌感度試験<sup>10)</sup>を行なった。

結果は表 5 に示すようなものである。いずれの場合も完爆は認められなかった。表中、半爆とは AN-FO の爆発後、残留薬が認められた場合をいう。

表 5 落 槌 試 験

試 料	感 度 (半爆数/回数)
低比重粉状	4/10
プリル (仮比重: 0.747)	2/10
TNT 粒状 (水分: 7%)	0/10

(備考) 落槌重量: 5kg, 落高: 60cm

落槌試験の結果から、粒状 TNT (水分 7%) よりむしろ仮比重の小さいプリルを使用した AN-FO の方が鋭敏であることが確かめられた。

11. 考 案

以上の結果、爆発威力の大きい AN-FO 用プリルとしては、仮比重が小さく、吸油率が大で、粒子径の小さいものが好ましいが、9, 10 で述べたように爆発威力の大きいプリルは感度が高く、取扱上注意を必要とする。このプリルはダイナマイトに比べてはるかに安全ではあるが、高比重粒状硝安(肥料用)よりは危険であり、添加する固化防止剤あるいは表面活性剤<sup>12)13)</sup>の<sup>14)</sup>種類および量の如何により、さらに危険性を増し、硝安系爆薬に近いものとなり得る。

外国製プリルの仮比重が 0.75 以上であり、爆速値が約 2,800m/sec 以下であることから、外国では取扱を厳重にする代り、プリルの感度を押えて安全性を計るという方針ではないかと推定される<sup>15)16)</sup>。われわれが海外で、1,000 ton 以上の大量の AN-FO を使用して土木工事を行なう場合、国内におけるような火薬類取締法規などの拘束を受けずに爆破を行なうことになるので、保安上好ましくない。そこで、第 2 報で述べる現場実験の結果をも考慮して、プリルの性能に上限を設けて、感度を押さえ安全を計ることにした。なお下限は AN-FO 用としての性能を失なわない限度をもつて決めた。この範囲から表 6 に示すような規格を設けた。なお参考のために Spencer 社プリルの値を掲げておく。

表 6 プリルの規格

規 格 項 目	プリルの規格	Spencer (N-IV)
仮比重 (g/cc)	0.75~0.85	0.758 (0.833)
吸油率(g/100gAN)	10~20	14.0 (11.6)
粒 度 (mesh)	6~22	8~20 (8~16)
水 分 (%)	0.35以下	0.22 (0.09)
爆 速 (m/sec)	2,500~3,300	2,820 (2,500)
鉄管感度試験	8号雷管1個で完爆せぬこと	8号雷管1個で完爆せず

水分と爆速の関係については目下検討中であるが、表 1 の調査結果およびわが国硝安メーカーの現状から、水分 0.35% 附近が妥当であると考えられる。

12. 結 言

われわれが海外で AN-FO (硝油爆薬) を使用する場合(現場混合)、プリル硝安としては、表 6 に示すような規格のものを使用する方針である。

最後に各種の援助を受けた日本化薬 K K, 昭和火薬 K K, 住友化学 K K の各メーカーならびに京都大学伊藤一郎教授以下研究員、鹿島建設 K K 土木工務部各位に対して御礼申上げる。また、文献の提供を受けた東京大学難波桂芳教授、電子顕微鏡写真について教示を得た松下電子 K K 小笹稔博士にあわせて感謝する。

## 文 献

- 1) A. E. Dymont: Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, Aug. 551 (1962)
- 2) W. C. Maurer: Quarterly of the Colorado School of Mines, 58, No. 2, April, (1963)
- 3) 日本鉱業協会, 石灰石鉱業協会: AN-FO の鉱山における発砲試験, 昭和38年3月
- 4) 下村弥太郎: 昭和38年度日本鉱業会秋季大会, 分科研究会, Nov. (1963)
- 5) 東宣夫, 大坪忠一: AN-FO 海外調査の概要, 日本鉱業協会技術部, 昭和38年12月
- 6) 日本産業火薬会, 日本鉱業協会: 硝油燃薬調査団報告, 昭和38年12月
- 7) 久保輝一郎, 水渡英二, 中川有三, 早川宗八郎: 粉体, 昭和37年12月, 丸善
- 8) 深見章: 実験化学講座 I, 基礎技術 I (下), 373, 昭和32年8月, 丸善
- 9) 水渡英二: 同上 433
- 10) 山本祐徳: 一般火薬学, 一橋書房, 昭和36年9月
- 11) 大久保正八郎, 飯田稔: 工業火薬協会誌, 24, 329, (1963)
- 12) 日野熊雄, 横川六雄, 三井志郎: 特許公告, No. 9591 および No. 9592, 昭和38年6月
- 13) 友石尚之, 増井勝: 特許公告, No. 9590, 昭和38年6月
- 14) 土屋能男: 特許公告, No. 9593, 昭和38年6月
- 15) Bureau of Mines: Safety Recommendations for Sensitized Ammonium Nitrate Blasting Agents, No. 8179, Jan. (1963)
- 16) National Fire Protection Association: NFPA, No. 495, May (1962)

### Studies on the Granular Explosives (1st Report)

#### On the AN-FO Blasting Agents (1)

by Yoshikazu Wakazono and Chūgorō Satō

We observed prilled ammonium nitrate by the electron and optical microscopes. We also measured its bulk density, ratio of oil absorption and the detonation velocity of ammonium nitrate fuel oil blasting agents, i. e. the mixture of the prilled AN and FO. We further made the cap sensitivity tests and the drop hammer tests.

Through these measurings and testings, we

concluded that the prilled AN which had the following properties was the most suitable for AN-FO blasting agents; bulk density: 0.75~0.85g/cc. ratio of oil absorption: 10~20g/100g AN, water content: 0.35% or below, detonation velocity: 2,500~3,300m/sec, cap sensitivity: unable to be detonated by a No. 8 cap.