

## 高級爆薬を含まぬ爆破薬の研究 (第2報)

(硝油爆薬の諸性能について)

篠原 昌史\*

### 1. 緒言

前報では AN-FO の爆発性の中、主として爆速について取扱つたが本稿では爆薬としてのその他の性質につき検討した。硝安としては住友化学製及び三菱化成製の Prill 品, oil としては3号軽油を用い、断らないものの配合組成は硝安 94% oil 6% である。

### 2. AN-FO の仕事威力

爆薬の発破に於ける効果は動的なものよりも静的な面が主であると考えられるが事実膠質ダイナマイトに比してかなり爆速の低い AN-FO が相当の実績を示すことは上の推定の裏付けになつていゝと思われる。ここで ANFO の静的な威力を通常の爆薬の試験法及計算法により論じてみたい。実験結果を表1、表2に示す。但し AN-FO は弾動振子試験に於ける file loading では起爆されないので図1の様な状態でほぼ密装填にして試験し1号柱、新桐ダイナマイトは密装填軽装填両方で試験した。尚起爆は全部逆起爆で行つた。又弾動白砲は JIS 法そのままで行い、爆速は現在の JIS 案、即ち 35 mm の鉄管に装填し3桐ダイナマイト 70g を起爆薬として試験した。次に AN-FO の火薬特徴数を他のものと比較すると表3の様になる。尤も特徴数と云うものは計算に用いた諾基礎式により若干偏りが出るが同じ式を用いて計算された値同志は充分比較の対象になる。

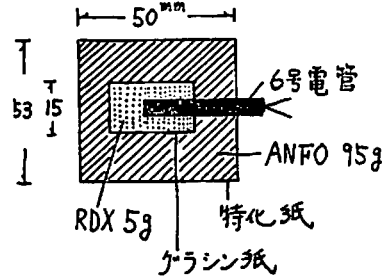


図1 AN-FOの弾動振子試料

表1 硝安の粒度分布

タイラー	AN	Prill A	Prill B	粉状
~10Me'		24.9%	12.8	
~16		66.9	51.2	
~24		7.1	15.6	
24~		1.1	20.4	
~32				1.3
~48				5.8
~60				12.4
~100				43.4
100~				37.1

表2 各爆薬の性能

AN 種類	爆薬の仮比重	装填	弾動振子	同左範囲 n=3	弾動白砲 TNT=100 n=2	爆速 n=2
Prill A	0.87	密	80.6 mm	2.1 mm	131	2,120m/s
Prill B	0.85	密	80.4	2.0		2,200
粉状	1.19	密	80.2	2.1	132	3,500
柱 ダイナマイト	0.80	軽	70.6	0.5	133	4,400
"	0.80	密	81.5	1.8		
新桐ダイナマイト	1.42	軽	86.0	0.2	139	6,300
"	1.42	密	89.1	0.3		

昭和40年7月16日受理

\* 日本油田株式会社武庫工場第2研究課 受知麻武豊町

表 3 各 薬 の 特 徴 数

	比 容 l/kg	爆発温度 °K	爆発熱 kcal/kg	火薬力 l·kg/cm <sup>2</sup>	火薬力よりの 弾動旧砲推定値
AN-FO	964	2,480	920	9,040	131
桂 ダイナマイト	930	2,620	940	9,300	135
新桐ダイナマイト	880	2,970	1,070	9,850	140

これらの実験結果から次の事が云える。

1. ANの粒度により AN-FO 同志の爆速値には大きな差があつても弾動振子及弾動旧砲の値は爆薬の特徴数から予想される様にその化学組成が一定の場合ほぼ一定の値を示す。
2. AN-FO の弾動振子は密装墳のみでしか行かないので普通の工業爆薬の密装墳試験と比較検討すれば、大体火薬力から推定出来る様に桂ダイナマイトを若干下回る静的威力を有すると云へる。従つて代表的な膠質ダイナマイトたる新桐よりも遙かに低い。
3. 然し乍らダイナマイトは使用状件が普通軽装墳であるに対し AN-FO は密装墳なので AN-FO を使用する場合は爆薬同志の比較値よりも若干有利になつて来ることは予想出来る。そこで引張り主応力破壊説<sup>1) 2)</sup>により硬岩に対する爆破係数を計算し AN-FO を評価して見る事にする(表 4 参照)

表 4 爆破係数の計算値

	密 装 墳	軽 装 墳
AN-FO	4.14	—
新 桐	2.56	3.80

但し計算の諸元は次による

爆速  $D$  AN-FO 2,800 m/s ( $d_1.0$ )

装墳後を考慮

新桐ダイナマイト 6,300 m/s ( $d_1.42$ )

軽装墳……孔径  $d_b$  32mmφ,

薬径  $d_0$  25mmφ

岩石係数<sup>3)</sup> 圧縮係数  $k_1$  0.088

粉碎係数  $k_2$  0.169

引張強度係数  $\sigma$  2.26

爆破係数<sup>3)</sup>

$$\text{密装墳 } C = 3.58 \times 10^4 \frac{(1-0.3d)\sigma}{f}$$

$$\frac{[1+k_1 D^2 d(1-0.47d)]^{2.75}}{[1+k_2 D^2 d(1-0.47d)]^3}$$

$$\text{軽装墳 } C = 3.58 \times 10^4 \times \frac{[1-0.3d(d_0/d_b)^2] \sigma}{f}$$

$$\frac{[1+k_1 D^2 d(1-0.47d)(d_b/d_0)^{2.53}]^{2.75}}{[1+k_2 D^2 d(1-0.47d)(d_b/d_0)^{2.53}]^3}$$

この様に AN-FO の爆破係数は新桐の密装墳に比して 62% 軽装墳に比して 9% 大となつている。実際の膠質ダイナマイトの使用時には若干込棒でつくので薬が変形しこの中間に相当するであろうから AN-FO の使用実績が従来のダイナマイト使用時に比して原単位として約 20% 増<sup>4)</sup>前後と云ふことは岩質の変化を考えれば当然予測出来る所である。

### 3. 落錘感度

JIS に準じた方法で Prill 確安を用いた AN-FO の不爆点を求めた結果を表 5 に示す。錘の重さは 5kg である。

表 5 oil % と落錘成統落高

oil%	0	3	6	9
落高 cm				
60	○○○	○○○	○	x'△x'
50	△△△	x△	○	x'△
45	x△△△x	△x'△x	○○○	
40	xxxxxx xxxxxx	x'x'xxx' x'x'xxx'	△○○△	△△x'
35		x'x'x'x' x'	△△	x'x'x'
30		xxx'x' xxx'x'x'	xxxx△ xxxxx	x'x'xxx' xxx'xxx'
25		xxxxx xxxxx	xxxxx xxxxx	xxxxx xxxxx
不爆 点 0/10	40cm	25	25	25

注 ○ 完爆  
△ 半爆  
x' 分解  
x 不爆  
x' 残薬あり且音小さくても鋼柱に跡がのこるもの  
確安 10~16Me'  
試料厚 2.0~2.5mm

確安のみの時は高い不爆点を示すが油が入ると急に下る。比較的判定しにくい x' で踏ずれば oil が 3~9% 迄変化しても不爆点は変らない。然し音残薬から

はつきり判る  $\Delta$ ,  $\circ$ , で判断すると、化学量論比たる oil 6% の点が一番敏感であり、更に oil がそれを越して 9% になると、硝安自身よりも感度曲線がゆるやかになることが予想出来る。即ちこの辺りでは oil による鈍化のきざしが見られている。

然しながら代表的な感度試験法である落槌試験に於て、実用上かなり鈍感と考えられる AN-FO の不爆点がダイナマイトと同等の値を示すと云う事は一見不思議な感もするがこれは試験法に問題があるのかも知れない。

工業爆薬を吸温せしめ殉爆試験による感度試験では鈍感化されると予想されるものがこの落槌試験では敏感に出たことも経験して居り<sup>2)</sup> 何か似通った現象の様に思える。兎に角落槌試験は鈍感な爆薬の感度試験法として問題があると思うので別の機関で取扱う必要があろう。

従つてここではその他の感度試験として雷管起爆法を採用したので次に説明する。

#### 4. oil % と雷管起爆性

種々の oil % の AN-FO を直径 53 mm 長さ 20cm のボール紙筒につめ 6 号雷管で起爆するかどうか雷管の本数を 3 段階とり試験した。判定は薬筒の底に鉛板 (Dautriche 用) を敷き鉛板上の爆痕及び残薬の程度を考慮して行つた。その結果を表 6 及図 2 に示す。

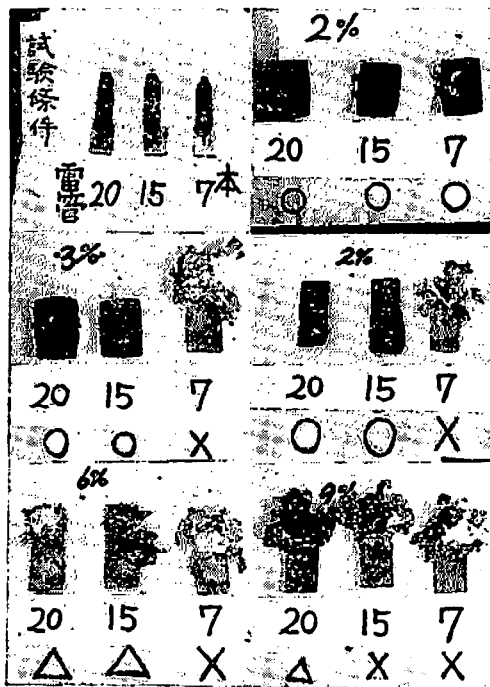


図 2 AN-FO の oil % と雷管起爆性 (x% は oil の配合率)

表 6 oil % と雷管起爆性

oil (%)	雷管(本)	7	15	20
0		×	×	×
1		×	○	○
2		<u>○</u> ×	<u>○</u> <u>○</u>	<u>○</u> <u>○</u>
3		× ×	<u>○</u> <u>○</u>	<u>○</u> ○
4		× ×	○ <u>△</u>	○ <u>△</u>
6		<u>×</u> ×	<u>△</u> <u>△</u>	<u>△</u> <u>△</u>
9		× <u>×</u>	<u>×</u>	× <u>△</u>
12		×	×	×

註 × 不爆 残薬あり 鉛板不変  
 $\Delta$  半爆 残薬あり 鉛板変形  
 $\circ$  完爆 残薬なし 鉛板変形  
 仮比重 0.85~0.92

under line は図 2 に示されているもの。

この実験では化学量論的に最も強力な oil 6% の時よりも 2~3% の時の方が敏感であり、落槌試験の結果と一致していない。M. A. Cook によれば<sup>3)</sup> 肥料用硝安或は粉状硝安の場合についてこの現象の理由も説明されているが、Prill 硝安については oil 6% が一番敏感と述べている。上の実験結果は彼等の硝安の Prill 化のちがいを示すものではなわろうか。然し Cook の実験した Prill AN が彼国の Prill AN の代表とは必ずしも云えないと思う、と云うのは筆者等のテストした米国の Prill AN には日本のよりも鈍感なものもあつたからである。

#### 5. 塩ビパイプ及鉄管装填品の雷管起爆性

現在の AN-FO は通常 35mmφ の塩ビパイプで 6

表 7 鉄管塩ビ管起爆実験結果

材質	直径 mm	Prill A	Prill B
鉄	35	<u>○</u> <u>○</u> <u>○</u>	○ <u>△</u>
	53	<u>△</u> <u>△</u> <u>△</u> <u>△</u>	× <u>△</u>
	100	× × ×	× ×
塩ビ	35	× × × ×	× ×
	53	× × × ×	× ×

註 ○ 完爆  
 $\Delta$  半爆  
 $\Delta'$  爆燃  
 × 不爆

仮比重 0.88~0.91

管長 15cm 厚さ 3mm

under line は図 3 に示されているもの。

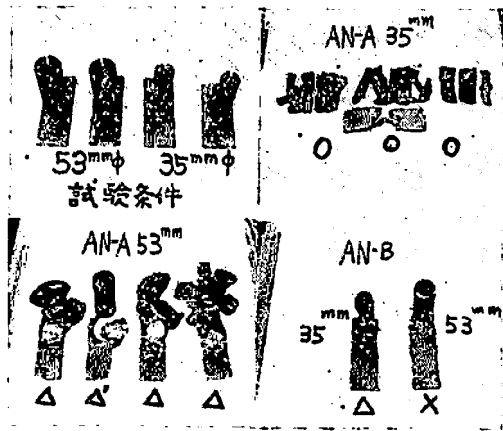


図 3 鉄管装填品の起爆性

号雷管1本で起爆されないが更に密閉強度の大きい鉄管に装填された場合については条件も異なるので実験した。その試験結果を表7, 図3に示す。

この実験に用いた硝安では塩ビパイプでは全然起爆されないが鉄管の場合は径が細い時は完爆し, 太くなるにつれて起爆されにくくなり 100mmφ では遂に不爆となる。これらの径に於ける定常爆速は前報<sup>2)</sup>に示した様に計算値迄径の増大と共に漸増することが明かなのでこれは鈍感な爆薬の起爆と伝播現象についての興味ある問題をなげかけていると思う。ただ注意しなければならぬ事は, これらの試験はすべて同一 Lot の硝安で行なわれたと云う事で硝安の Lot によつては或は 53mmφ 鉄管でも起爆されるもの或は又不爆のものもあるかもしれない。然し少くとも従来開放状態で Capsensitive の爆薬についての経験では或限界薬径以上であれば必ず1本の雷管で完爆すると云う事であつたが AN-FO の場合には必ずしもそうでなく或被覆条件に於いて或範囲の薬径のみにつき雷管起爆性があると云う事になる。更に条件により爆燃現象を呈することがある事も興味深い。即ち鉄管は破壊されないのに, 底に敷いた鉛板は他より強く打抜かれている例がある。即ち一種の推進効果を呈している。

これは爆薬を鉄管で被覆することにより所謂 lateral loss が減少する他に鉄の被覆が別の機構で起爆に参与しているのではなからうか。管換えると普通の cap sensitive な爆薬の場合には雷管のエネルギーが直接, その近傍の爆薬を起爆させ球面波を形成しその進行に伴つて平面波に近づいて行くと考えられるが AN-FO の場合には雷管の爆発による衝撃波が AN-FO を励起しつつ進行して器壁に衝突し, そこでエネルギーの転換集中がおこり AN-FO の起爆源を形成すると云う機構をとるのではなからうか。而して径が太くなり過ぎると衝撃波の減衰が著しく器壁に衝突しても

充分な起爆エネルギーが得られないのではなからうか。雷管数を増加したり或は質, 量共にすぐれた起爆薬を用いれば径が大きくても完爆することは已に報告してある<sup>3)</sup>がこれらは常識的に考え衝撃波の中が広くなり減衰しにくいためであろう。勿論普通の爆薬の様に伝爆するための限界薬径は存在すると思うがその方はここでは扱はない。これらを model 化して考えてみると図4の様になるのではなからうか。この問題を明らかにするためにもう少し起爆実験を試みたので次に説明する。

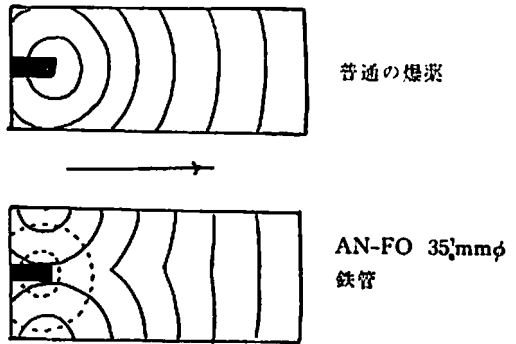


図 4 爆燃波形成推定模型図

### 6. 鉄管装填 AN-FO の起爆性

先述の 53mmφ の鉄管で完爆しない AN-FO につき種々条件を変えて起爆性を調べたのでその結果を表8, 図5に示す。

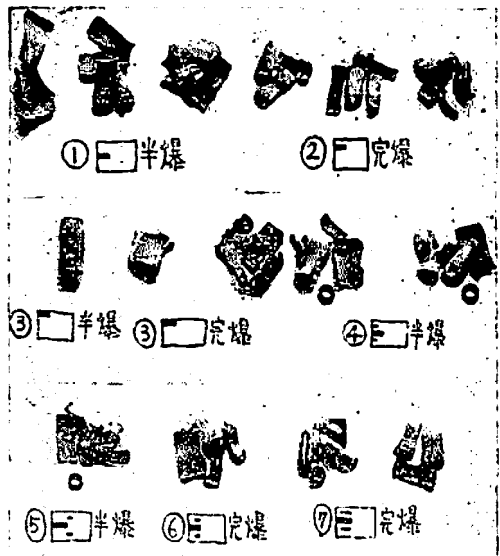


図 5 条件をかえた場合の AN-FO の鉄管起爆性

表 8 AN-FO の起爆試験 53mmφ 鉄管

写真 No.	条 件	結果及回数	破片数計	1 回 当 り 破 片 数	備 考
1	雷 管 位 置	△ 3	8	2.7	ring の大きさ 35mmφ×10mm
2	"	○ 3	12	4	
3	"	○ 2	8	2.7	
4	雷管の回りに ring をつける	△ 2	6	3	
5	"	△ 1	3	3	
6	"	○ 1	4	4	
7	"	○ 2	7	3.5	
8	肉 厚 の 影 響	× 2	—	—	ring の大きさ 35mmφ×30mm 50mmφ 5mmt
9	"	× 2	—	—	53mmφ 3mmt
10	ブランク 35mmφ	○ 1	8	8	35mmφ

No. 1~No. 7 の AN-FO の仮比重 0.88~0.91

No. 8~No. 10 の AN-FO の仮比重 0.85

起爆の判定は前にならうが更に起爆の烈しさを示す尺度として各試験後の鉄管の割れた破片数をとつてみた。完爆と判定された時の破片数は 3.5 以上である。この結果について考察してみよう。No. 1~3 は雷管の位置の影響であるが No. 2 が明かに烈しい爆発を示している。これは一方面についての衝撃波の減衰が少いため衝突の効果が現れたものと思う。No. 3 は No. 1 より烈しい時の他爆燃が 1 例ある。条件として No. 1 よりはよいと思うが雷管が壁面に密着しているためそこから発した波が近傍の壁面で衝突する角度が直角でなくなるため No. 2 程の効果が出にくいものと思われる。

No. 4~7 は雷管の衝撃波を葉中のどの部分で受けとめるのが有効かと云う意味で ring を挿入してテストしたものであるが添装葉の近くでの衝突 No. 6 が有効である。No. 5 は幾何学的に等威力線の死角に入るためあつて余り効果がないのかも知れない。こう考えると No. 7 の完爆も No. 6 に相当する部分に ring があるからと云えよう。No. 8 は密閉強度を強めるために厚肉鉄管を使用した実験であるが No. 9 No. 10 と共に別の Lot の硝安を使つたため 53mmφ で不爆であつた。尚その硝安でも 35mmφ 鉄管の場合 (No. 10) には完爆する。即約 50mmφ の時は多少密閉強度を変更しても起爆性に大きく影響しない。不爆から半爆に「昇格」する気配も見られなかつた。このことは今の場合には密閉強度は余り重要な意味をもたないと云える。

これらの実験から前項で推定した様に、径が細い時には鉄管が、雷管からの衝撃波の反射板として有効に

作用して AN-FO を起爆させるに反し径が太くなるにつれて反射前の衝撃波の減衰が大きくなり反射現象をもつてしても完爆せしめ得なくなり更に径が大となると壁面に到達する迄に殆ど消滅して不爆に到ると云うことが説明出来る。

而して、これらの実験結果が示す様に、その現象はかなり delicate であり、衝撃波の減衰が急激であることを物語っている。

この項は AN-FO の実用と云う事と直接結びつかないが、鈍感な爆薬の起爆現象として興味ある事実を見出したので取扱つた次第である。

## 7. 総 括

1. AN-FO の静的威力は火薬力弾動板子等から判断すると爆薬それ自身は桂ダイナマイトを若干下回る性能しかないが密装填で使用されるため実質的に弾振動子 80 mm 程度の効果を有するであろう。(新桐の軽装填時 86 mm)
2. 落穂感度試験はこの様な鈍感な爆薬に対しては問題があるので雷管起爆試験をし化学量論比よりも低い oil % に最も敏感な領域があることを確認した。
3. 鉄管に装填された AN-FO の雷管起爆性は特異な現象を示し、径が太くなると起爆されにくくなる。これは鉄管が、lateral loss の減少と云う効果よりも雷管の衝撃波の反射板として起爆に参加していると考察した。径が太くなりすぎると衝撃波の減衰が著しく例へ反射しても起爆に役立たぬものと考えられる。

実験を補佐された。大石謙治、間瀬直良、落谷鷹志、松

島勝の諸君に感謝致します。

文 献

1) 村田, 田中, 工火 17, 19 (昭31)

2) 同 上 工火 17, 85 (昭31)

3) チタ火薬パンフレット No. 14(日本油脂K.K.)

4) 日本鉱業協会集計資料 (昭40年5月)

5) 渡辺, 根本, 高橋, 工火 24, 339 (昭38)

6) M. A. Cook The Science of High Explosives  
p. 313

7) 篠原, 工火 26, 88 (昭40)

8) G. P. Cachir, Proc. Roy. Soc. A-246, 268  
(1958)

Explosives not Containing High Explosives (II)

“Explosive Properties of AN-FO”

Masashi Shinohara

The strength of AN-FO is a little lower than that of Katsura dynamite (powdery ammonium type). But as AN-FO is fired almost under density loading condition, the actual strength in blasting is considered equivalent to explosives which show 80mm in the Ballistic Pendulum Test. Katsura and Shinkiri dynamites (gelatinous ammonium type) are 70mm and 86mm in that test respectively.

Regarding the sensitivity to detonators when cartridged in paper tubes of 53mm $\phi$ , AN-FO containing 2~3% oil is most sensitive.

The larger the diameter of iron pipes, the less sensitive to a detonator the AN-FO filled in them is, when pipes from 35 to 100mm diameter are tested. It means that in case of 35mm diameter tube, the reflection of shock wave initially liberated from the detonator at the wall participates positively in the complete detonation of AN-FO, but in 53mm tube the shock is too weak to let AN-FO detonate completely and in 100mm tube the shock wave almost degrades before collision with iron wall and fails to initiate.

(Nippon Oils and Fats Co., Ltd. Taketoyo Plant)

ニ ュ ー ス

爆 発 で 超 強 力 磁 場

—ソ連の学者が新装置—

【モスクワ 22 日タス=共同】ソ連の物理学者サハロフ教授を中心とする科学者グループはこのほど、爆発によつて強力な磁場をつくる装置を完成した。この装置は、現代の最大級の加速器でも加速することができない荷電粒子を、この超強力な磁場で加速することができると思はれている。

この装置は、爆発エネルギーを磁場のエネルギーに変えるという新しい研究の分野の成果であり、同グループは「MK1」と「MK2」という二つの装置を試作した。強磁場は従来の方法では150万エルステッド（磁場の強さの単位）を限度とする。しかし「MK1」は、爆薬に包まれた金属管とその回りの電流コイルで構成されており、実験によるとそこに生

ずる磁場は、爆発によつて強まり、250万エルステッドほどにもなった。「MK2」はこれをさらに上回る強磁場をつくり出した。

同グループによると、これらの装置で発生した強磁場の持続時間は10万分の1秒で、数千億電子ボルトの荷電粒子を瞬間的に加速することが可能になり、これはモスクワ近郊セルプコフで建設中の世界最大の加速器（注=700億電子ボルトの加速器）の15倍も強力であるという。

【注】東大物性研究所の近角教授の話では、この研究は米国でも進んでおり、フランスなども始めている。米国ではすでに同じ方法で1,300万エルステッドの強磁場を100万分の1秒持続させた。爆発による強磁場の発生装置や、温プラズマの研究や超高温の星の生成過程など天文学的研究にも役立つという。

(日本経済新聞 40.12.23)