

ANFO 爆薬の伝爆性に関する研究 II

伊 藤 功 一*

1. ま え が き

先に筆者等は、径 30, 25mm の ANFO 爆薬のポリ筒入り薬包包を夫々内径 35, 27.6mm の鉄管内に装填し、その伝爆性をしらべた¹⁾。その結果の要は次の通りであつた。元来、ANFO 爆薬は通常の粉状爆薬に比べ圧縮に弱い爆薬で、所謂チャンネル効果も受け易い。しかし、プリル硝安のみからなる ANFO 爆薬と、粉碎硝安を混ぜた ANFO 爆薬を比較すると、後者の方が爆速が高いにも拘らず、鉄管中での伝爆長は短い。これはチャンネル効果を受ける時、プリル硝安がポーラスな塊状のものであるため、粉碎硝安を混ぜたものより、圧縮される割合が少く、死圧現象を起す傾向が小さくなるためであらう。プリル硝安はチャンネル効果に対し、特異な抵抗性がある様である、という事であつた。

今回は更に小径の 22mm 80g のポリエチレン筒入り薬包について、同様な鉄管内の伝爆性をしらべてみた所、前回と同様な傾向の結果を得たが、その際 ANFO 爆薬の伝爆には特異な現象がある事を発見したので、その現象についてもあわせて報告する次第である。

2. ANFO 爆薬ポリエチレン薬包の伝爆長

2-1 試験および伝爆試験

前報と同様に、プリルのみおよびプリルに粉碎硝安（150メッシュ通過80%程度のもの）を混ぜた ANFO 爆薬を用い、22 mm 80 g のポリエチレン筒入り薬包（ポリエチレンの厚さ80ミクロン）を作り、内径27.6 mm 内厚 3.2mm 長さ 800mm の鉄管中に薬包を3本装填し、青カーリット 25mm 50g の紙筒薬包を伝爆薬として、鉄管中の伝爆試験を行った。この時、鉄管の両端は軽く紙を張つた程度で略々開放に近い条件下である。鉄管への装填法は、こめ棒で軽く押して、鉄管中に単に並べただけの軽装填と、こめ棒で少し強く押して密装填したものの2種類とした。爆轟長は鉄管の破壊状態から判断した。鉄管の両端を開放した伝爆試験の場合、鉄管の破断は強い燃焼の時のみ起り、弱い燃焼では鉄管は原型のままに近い状態で残り、爆轟時は破れた鉄片の切れ目のぎざぎざで判断出来る。

2-2 結果および考察

伝爆試験の結果は Table 1 に示す。

Table 1 Length of Detonation of ANFO Cartridges (ϕ 22 mm 80 g \times 3 pcs) in steel pipe (ϕ 27.6 mm, 3.2 mm in thickness)

Composition of AN (%)		Velocity of Detonation (in ϕ 35mm steel pipe)		Loading	Length of charge (mm)	Length of Detonation (mm)
Prilled	Powder	m/sec	Density			
100	0	2,800	0.88	Loose	720	240
95	5	2,840	0.92		700	230
85	15	2,720	0.99		635	150
80	20	3,180	1.20		620	125
100	0			Compact	510	510
95	5				490	490
85	15				515	350
80	20				480	250

径22mmの場合も前報の30mm, 25mm径の時と全く同様に、プリル硝安のみからなる ANFO 爆薬の方

が、粉碎硝安を混ぜたものより、固有の爆速は劣つていても、鉄管内の伝爆性がよいという結果を得た。しかし、プリル硝安のみから成るものでも軽装填では伝爆が完全でなく、密装填ではじめて完全に伝爆する事が出来た。この伝爆の中断は矢張り、管と薬包間の隙

昭和45年1月10日 受理

日本カーリット(株) 保土ヶ谷工場 横浜市保土ヶ谷区仏向町1625

* "ANFO 爆薬の伝爆性に関する研究" 工業火薬 29 (4) 269 (1958) を "ANFO 爆薬の伝爆性に関する研究 (I)" に改める

間を先行するシヨック波による圧縮、すなわち所謂チャンネル効果によるものであると考える。プリル硝安のみからなる ANFO 爆薬でも、径22mmの時は軽装填では伝爆性が十分でない。この事は ANFO 爆薬のポリ筒入り薬包では、径22mmが実用時の限界に近い事を示していると考ええる。

なお、ここでプリル硝安がチャンネル効果に対し、抵抗性があると述べたが、これは粉碎硝安を混じた ANFO 爆薬との比較であつて、通常のカーリット、硝安爆薬等の粉状爆薬とくらべれば、前報に示した様により圧縮に弱い爆薬なので、チャンネル効果を受け易いものである事はいうまでもない。

3. ANFO 爆薬、薬包の鉄管中伝爆に際しての特異現象

3-1 現象の発見

前章の試験の際、プリル硝安のみからなる ANFO 爆薬の軽装填の伝爆時、Table 1 に掲げた様に、ポリ筒薬包の1本目は完全に爆轟するが、2本目以下は爆轟せず、大部分は燃焼一部残薬が散らばり、鉄管は残るが、その時端末に近い部分が奇妙にふくれていたり、或は鉄管の中央部はそのまま残るのに端末が破裂していたりする奇妙な現象を発見した。この場合、先に述べた様に、鉄管の両端は開放したままで実験したので、薬包が爆轟した時は鉄管が破裂するが、弱い燃焼では鉄管に変形を与えないで、ガスは抜けてしまう

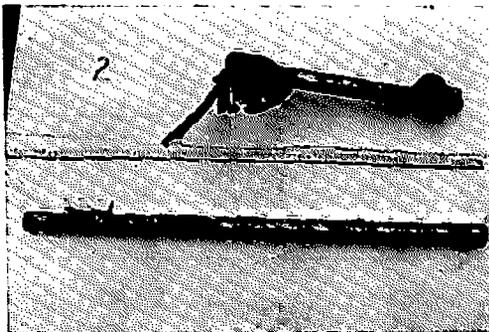
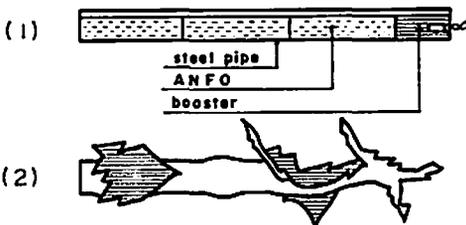


Fig. 1, Photo 1 Three cartridges of ANFO in a steel pipe
 (1) before blasting
 (2) after blasting

のが実状である。したがつて、鉄管の管末に近い所で一日弱まつた或いは一日中断した ANFO 爆薬の燃焼が何年かの理由で強められて、ある長さを隔てて爆燃或いは爆轟に至つたものではなからうかと考えた。この時の状況は Fig. 1 の通りである。

薬包を40g 6ヶにしてみても結果は同じで、現象が顕著になつて、Fig. 2 の様になる事さえあつた。

鉄管内に ANFO 爆薬を直填した場合は、全くこの現象は起つていないから、鉄管と薬包間の隙間に原因しているらしい事、又粉碎硝安をまぜるにしたがつてこの現象が小さくなつてゆくので、プリル硝安の特別な性質によつて起るらしい事が考えられる。

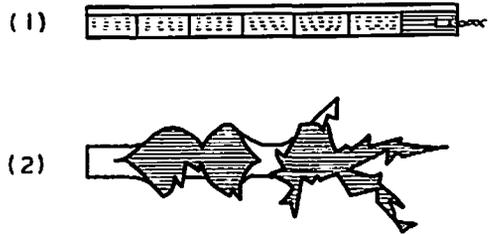


Fig. 2 Six cartridges of ANFO in a Steel pipe
 (1) before blasting
 (2) after blasting

何故この特異現象が起るのか、その成因を解明するため、以下に種々の実験観察を試みた。

3-2 試験方法および結果

3-2-1 試験方法

試験方法は前章と同様、すべて内径27.6mm、肉厚3.2mmの鉄管、長さ800mm~1,000mmの中に、ANFO 爆薬(プリル硝安100%のもの)のポリ筒(厚さ80 μ)入り薬包(径22mm 80g、又は40g)を3本~6本軽装填し、背カーリット25mm 50gを伝爆薬として伝爆試験を行い、その結果を観察した。鉄管の両端末は軽く紙をはつた程度とした。

3-2-2 鉄管に孔をあけた時

鉄管の側面に径8mmの孔を100mm間隔に一列に

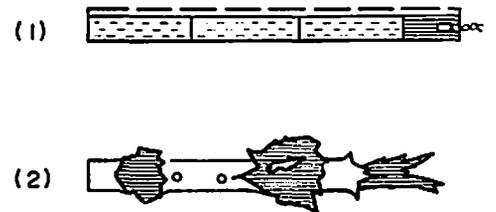


Fig. 3 Perforated steel pipe (ϕ 8 mm holes at 100mm interval)
 (1) before blasting
 (2) after blasting

穿ち、80gの薬包3本を装填して、伝爆実験を行った時は、孔無の時と殆ど同様に特異現象が認められた。(Fig. 3)

しかし、径8mmの孔を35mm間隔で一列に穿つて実験を行うと、Fig. 4の通り、今度は特異現象が全く認められなかった。

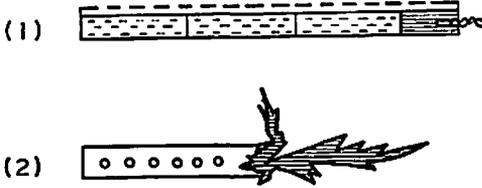


Fig. 4 Perforated steel pipe ($\phi 8$ mm holes at 35 mm interval)
(1) before blasting
(2) after blasting

3-2-3 薬包にゴムシートを巻いて鉄管と薬包間の空隙をふさいだ時

幅30mmのゴムシートを薬包の周囲に巻きつけて、鉄管と薬包の間の隙間をふさいで伝爆実験を行った。ゴムシートは第1薬包と第2薬包に1ヶ所ずつ巻きつけた。Fig. 5に示す様に、第2薬包までは伝爆したが、3本目は残留した。

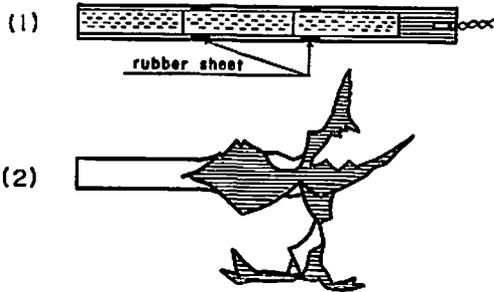


Fig. 5 Cartridge was partially wrapped by rubber sheets
(1) before blasting
(2) after blasting

3-2-4 薬包間に食塩の薬包をおいた時

径22mm 80gの薬包の第1薬包と第2薬包の間に径22mm 40gの食塩入りポリ薬包をおいて、伝爆実験を行った。Fig. 6に示す通り、食塩薬包を隔てた第2薬包の部分で、ANFOの部分的な烈しい反応がみとめられる。食塩薬包を第2薬包と第3薬包の間においた時も同様で、第3薬包の1部に烈しい反応がみとめられた。しかし、食塩薬包を間に入れると、食塩薬包なしの時に比べると、反応はやや弱い。

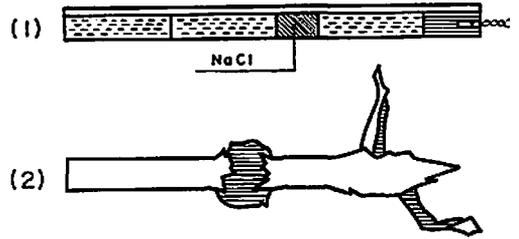


Fig. 6 The second cartridge was substituted by an NaCl cartridge
(1) before blasting
(2) after blasting

3-2-5 ポリ薬包の表面にビニールテープを巻いた時

ポリ薬包に、絶縁用のビニールテープを一重だけ、ぐるぐると巻きつけ、全表面を蔽う様にして、伝爆実験を行つてみた。Fig. 7に示す様に、特異現象は起らず、薬包の被覆強度が増したためか、鉄管の切れ方から判断すると、爆轟は1本目だけで終わっているが、鉄管を略々全面に破裂させるだけの強い燃焼が3本目まで及んでいる事が判る。

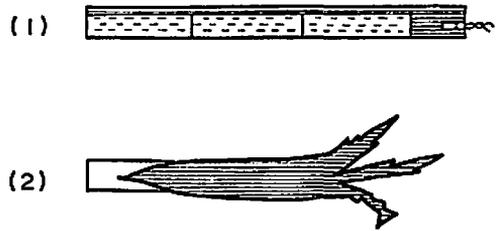


Fig. 7 Cartridge was wrapped by a PVC-type uniformly
(1) before blasting
(2) after blasting

3-2-6 ANFO 爆薬に使用したブリル硝安の粒度を変えた時

(1) 12メツシュ止りのブリル硝安のみの時

ブリル硝安を篩い分け、12メツシュ止りのブリル硝安のみで作った ANFO 爆薬で伝爆実験を行った。粗いブリル硝安の場合は特異現象は最も烈しく、Fig. 8に示す通り、2本目の薬包の後半で中断したものが、3本目の前半で再び爆轟が生起している様である。

(2) 12メツシュ~16メツシュのブリル硝安の時

次に、ブリル硝安の粒度としては中位の12~16メツシュのものをを用い ANFO 爆薬とし、同様な伝爆実験を行うと、Fig. 9に示す様に、特異現象はかなり小さくなって2本目の後半、3本目の前半に生じている。

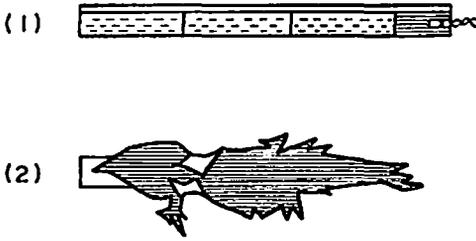


Fig. 8 ANFO consisted of prilled ammonium nitrate (caught by 12 mesh screen)
 (1) before blasting
 (2) after blasting

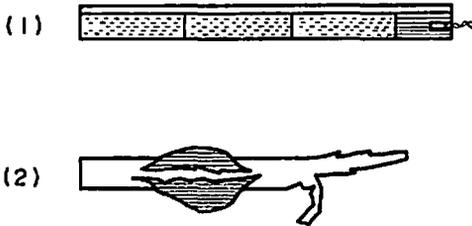


Fig. 9 ANFO consisted of prilled ammonium nitrate (caught between 12 mesh and 16 mesh)
 (1) before blasting
 (2) after blasting

(3) 16メッシュ~35メッシュのプリル硝安の時
 プリル硝安としてはかなり細い、16~35メッシュのプリル硝安を用い ANFO 爆薬とし、同様な伝薬実験を行つてみると、第1薬包の半分位で爆轟は終わり、3本目の位置で鉄管が若干ふくらむが、破裂するまでには至らず、殆ど特異現象は起らなかつた。

結局、粒度の粗い ANFO 爆薬が特異現象を起し易いという事が判る。

3-2-7 背カーリットによる伝爆実験

径22mm 80g のポリ筒入り背カーリットで同様な伝爆実験を行うと、3本共伝爆し、特異現象は全く認められなかつた。

3-2-8 食塩薬包を間にはさみ両端から起爆した時

径 22mm 40g のポリ筒入り ANFO 爆薬包 6 本と食塩の径 22mm 40g のポリ薬包を Fig. 10 の様に鉄管中に装填し、導爆線を使つて、両端から同時に起爆した。

結果は Fig. 10 に示す通りで、両方の端から中央方向へと起る特異現象が、食塩薬包を飛び越して起り、両方が同時に重つたため、この特異現象は強大となり、完全な爆轟が鉄管中央部でみとめられた。

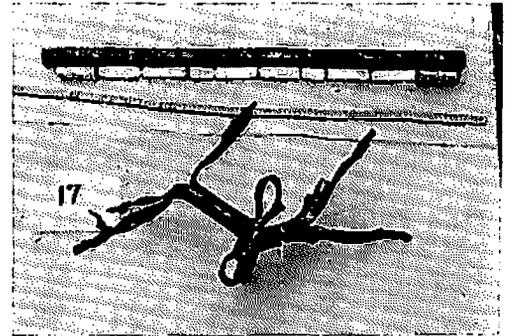
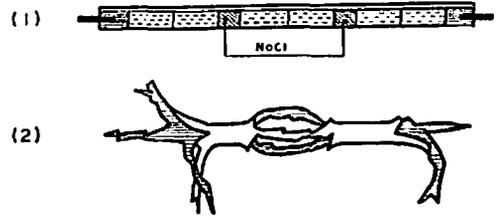


Fig. 10, Photo 2 ANFO was ignited at both the ends simultaneously. Here the third and the sixth cartridges were substituted by NaCl cartridges
 (1) before blasting
 (2) after blasting

3-3 考 察

この特異現象が薬包と鉄管の管壁間の間隙に起因している事は、孔を管壁にあげた実験、ゴムシートを薬包に巻いた実験、食塩薬包を介させた実験等の結果から見て明らかである。又、他の爆薬でも条件がととのえば、この様な現象が起るかも知れないが、目下の所、ANFO 爆薬ポリ薬包について、最も起り易い特異な現象の様である。

この様な爆轟がある距離をへだてて、新に起る現象には、M. A. Cook がスラリー 爆薬について発見した jumping detonation がある²⁾。筆者が観察した今回の現象も、一種の jumping detonation と考えられるが、管壁と薬包間の間隙の原因が加わっている点が、Cook の報告の現象と異つている様に考えられる。

プリル硝安の粗いもの程、この現象が烈しい事は、プリル硝安中の独立気泡の数にも関係がある事を推量させ、管壁と薬包間の間隙を先行するショック波の衝撃圧縮によつて、ある距離をへだてて発火が起る様に考えられるが、まだ、今までの実験結果だけではこれらの現象を明確に説明し得る発火機構が考えられないので、今回は現象の報告だけに止める。

前報で、プリル硝安 100% で作った ANFO 爆薬々包の方が、粉碎硝安をまぜたものより、低爆速にも拘らず伝爆性がよいのは、プリル硝安の圧縮に対する

抵抗性によるのであろうと報告したが、それ以外に、この jumping detonation 類似の現象を観察するにおよんで、この特異な現象がプリル硝安について最も起り易い点も、大きな一因になっているのではないかと考える。薬包径と鉄管径との関係が最適の条件下ではこの現象が連続して起こる事が考えられ、その時は伝爆が中断しがたくなる筈である。

4. あとがき

22mm 径の ANFO 爆薬のポリ薬包の伝爆性についてしらべている際に、図らずも特異な、新な燃焼乃至爆轟がある距離を隔てて起こる現象を見出した。この現象は目下の所、プリル硝安を使用した ANFO 爆薬

のポリ薬包についてのみ確めた現象である。今回は現象の報告にのみ止まるが、この現象の機構解明に更に研究を続けてゆきたいと考える。

謝 辞

本研究の実施にあたっては、福島正、筒井央の両氏の多大な援助を受けた。深く感謝する次第である。(本報告は昭和44年5月、工業火薬協会年会の研究発表会で発表したものである。)

文 献

- 1) 伊藤, 大森, 筒井工業火薬, 29 (4) 269 (1968)
- 2) M. A. Cook, "The Science of High Explosives" p. 57 (1958)

Study on the Propagation of Detonation in ANFO (II)

by K. Ito

The propagation of detonation in ANFO cartridges set in steel tubes whose inner diameters were a little larger than diameters of the cartridges was studied.

The propagation in ANFO which consists of prilled ammonium nitrate was much easier than that in ANFO which consists of mixture of prilled ammonium nitrate and pulverized ammonium nitrate, though the former had low detonation velocity than the latter.

A novel phenomenon was observed. For instance, when the first of three cartridges of ANFO had initiated in a steel pipe, detonation had faded at the end of the first cartridge; nevertheless some parts of the third cartridge had ignited again beyond the second cartridge.

(The Japan Carlift Co. Ltd. Hodogaya Plant)