

# 爆 発 に 関 す る 研 究

(第3報) 硝安の伝爆性に関する研究

若 園 吉 一

## STUDIES ON THE EXPLOSION (PART 3) : ON THE PROPAGATION OF DETONATION IN PRILLED AN

By Yoshikazu WAKAZONO

### Synopsis

The propagation of detonation of prilled AN has not been sufficiently clarified in spite of many reports on ANFO.

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

The results obtained are as follows:

- (1) The detonation velocity of ANFO depends upon both kinds and quantities of booster. If the booster having higher detonation velocity is used or if the proportion of booster to ANFO is increased, higher detonation velocity of ANFO is attained.
- (2) As the hole diameter or loading density increases, detonation velocity of ANFO increases. But when other explosives are used, even if the diameter or loading density is increased the detonation velocity does not increase so much as ANFO.

### 1. 緒 言

第1報<sup>1)</sup>で述べたプリル硝安と燃料油の混合物は爆発性があるにもかゝらず伝爆薬がなければ爆発しにくい。すなわちダイナマイトのように雷管(起爆薬)だけでは爆発せず、伝爆薬を使用しなければ爆破効果はあがらない。また削孔径が小さいときは完爆しないという欠点もある。一般に爆薬は薬径が小さいと爆破効果は低下するものであるが(これを薬径効果<sup>2)</sup>という)、プリル硝安と燃料油の混合物は薬径効果が特に著しく、孔径1¼インチ以下では爆発しないといわれている<sup>3)</sup>。

以上のことはプリル硝安の起爆性および伝爆性が他の爆薬に比較して劣るためであると考えられるが、同時にこれらの性質は爆発物としては安全性が高いことを意味している。したがって爆発させるためには、多くのエネルギーを与える必要がある。プリル硝安および ANFO 爆薬はたとえ起爆されても、伝爆エネルギーが充分でなければ伝爆性能が劣るため不発になる。プリル硝安の起爆・伝爆性については不明な点が多く、特に口径の大きい場合の爆発現象について充分な研究が行なわれていない現状であるから、伝爆薬・鉄管径などプリル硝安の爆速に及ぼす影響を検討す



Photo. 1. The place for measuring of detonation velocity.

ることにした。

この研究は大型化しつつある土木用 ANFO 爆破の基礎資料を得ることを目的としたもので陸上自衛隊響庭野演習場（滋賀県高島郡今津町）を使用し、昭和39年7月30日～8月7日および昭和39年10月15日～19日の2回にわたって行なったものである。（試験現場 **Photo. 1** 参照）

## 2. 試料および測定法

プリル硝安の試料は **Table 1** に示すようなものである。

Table 1. Sample.

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| Bulk density          | 0.806 g/cc |
| Particle size         | 8~20 mech  |
| Water content         | 0.02%      |
| Content of Surfactant | 0.5%       |

プリルと燃料油との混合比は、AN : FO=94.5 : 5.5 とし、爆速測定には鉄管径が1～6インチのものをそれぞれ使用して第1報<sup>1)</sup>で述べたようにドートリッシュ法を採用した。なお参考のために **Photo. 2, Photo. 3, Photo. 4** に口径1 1/4, 3, 6インチの鉄管をそれぞれ使用した場合の測定状況を示す。



Photo. 2. Measuring of detonation velocity (1).

Photo. 3. Measuring of detonation velocity (2).

Photo. 4. Measuring of detonation velocity (3).

## 3. 伝爆薬の種類

吉田らの報告<sup>4)</sup>によれば新桐ダイナマイト、コンポジション B (TNT 40%, RDX 60%), ヘキソーゲン (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インチ附近の小口径のものでさへ、伝爆薬の種類および量によっ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インチのものについて伝爆薬の種類を変えて爆速測定を行った。使用した伝爆薬の種類はテトリル（爆速：7850 m/s）、ヘキソーゲン（7300 m/s）、および新桐ダイナマイト（7000 m/s）で、伝爆薬量はすべて 10 g とした。

実験条件および爆速測定の結果を **Table 2** に示す。

これを図示したものが **Fig. 1** である。

これより鉄管口径が1～3インチまでの範囲では、伝爆薬量を一定（10 g）にした場合、管径が大きくなる程爆速値も大きくなることが認められる。また爆速値には伝爆薬の種類によっても差があり、すべてテトリル、ヘキソーゲン、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

Table 2. The relation of booster, diameter and detonation velocity.

| Diameter |       | Volume of iron pipes (cm <sup>3</sup> ) | Weight of loaded ANFO (g) | Detonation velocity (m/s) |         |          |
|----------|-------|-----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|----------|
| inch     | mm    |                                         |                           | Tetryl                    | Hexogen | Dynamite |
| 1        | 25.4  | 127                                     | 121                       | 2870                      | 2670    | 2550     |
| 1½       | 35.0  | 240                                     | 228                       | 3110                      | 3090    | 2980     |
| 2        | 50.8  | 508                                     | 483                       | 3290                      | 3265    | 3170     |
| 3        | 76.2  | 1140                                    | 1083                      | 3430                      | 3360    | 3240     |
| 4        | 101.6 | 2030                                    | 1929                      | 3420                      | 3380    | 3250     |

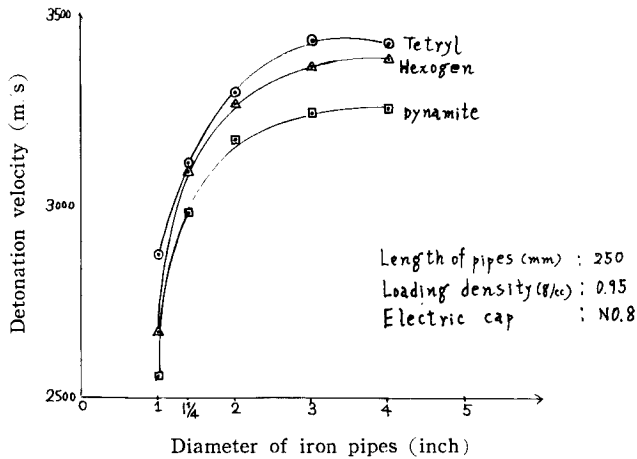


Fig. 1. Influence of booster and diameter on detonation velocity.

した方が ANFO の爆速をより高くすることを示している。

この結果から実用限界管径は 1 インチ附近と認められるが、これは伝爆薬が 10 g の場合であって、さらに多量の伝爆薬を使用すれば 1 インチ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ーゲン、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、その場合は新桐ダイナマイトのような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. 伝爆薬の量

口径 1 ～ 6 インチまでの鉄管を使用して、伝爆薬量を一定 (10 g) にした場合と、ANFO 装薬量の 1 % に変化させた場合の爆速をそれぞれ測定し、伝爆薬量が爆速に及ぼす影響を比較検討した。伝爆薬はすべてテトリルを使用した。その結果を Table 3 に示す。

これより伝爆薬量が 10 g では 3 インチにおいて爆速が最大となり、管径が大きくなるに従って、かへ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 インチ ～ 6 インチの鉄管について伝爆薬量の影響を検討した結果から、口径が 3 インチ以上の場合

Table 3. The relation between the weight of booster and the detonation velocity.

| Diameter        |       | Volume of iron<br>pipes (cm <sup>3</sup> ) | Weight of loaded<br>ANFO (g) | Weight of booster |      | Detonation<br>velocity (m/s) |
|-----------------|-------|--------------------------------------------|------------------------------|-------------------|------|------------------------------|
| inch            | mm    |                                            |                              | g                 | %    |                              |
| 1               | 2.54  | 127                                        | 121                          | 10                | 8    | 2870                         |
| 1 $\frac{1}{4}$ | 3.50  | 240                                        | 228                          | 10                | 4    | 3110                         |
| 2               | 5.08  | 508                                        | 483                          | 10                | 2    | 3290                         |
| 3               | 7.62  | 1140                                       | 1083                         | 10                | 1    | 3430                         |
| 4               | 10.16 | 2030                                       | 1929                         | 10                | 0.5  | 3420                         |
| 5               | 12.70 | 3140                                       | 2983                         | 10                | 0.3  | 3340                         |
|                 |       |                                            |                              | 30                | 1    | 3720                         |
| 6               | 15.24 | 4550                                       | 4323                         | 10                | 0.23 | 2875                         |
|                 |       |                                            |                              | 40                | 1    | 3890                         |

これを図に示すと Fig. 2 になる。

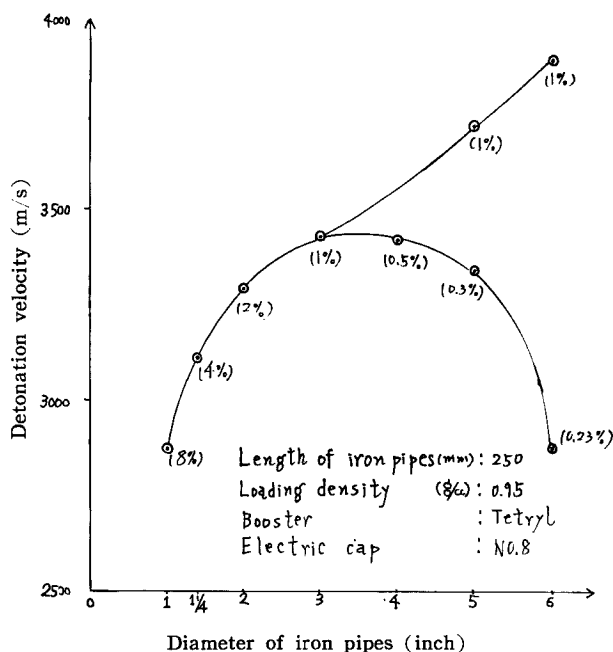


Fig. 2. Influence of weight of booster and diameter on detonation velocity.

に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。このことは第 2 報<sup>5)</sup>で述べた 3 インチ孔径、8 m 孔長の現場試験（ベンチカット）において、ANFO 15 kg に対し伝爆薬として“えのき”ダイナマイト 200 g を使用した試験結果と、ほぼ同一であることが認められる。

しかしながら細孔の場合は ANFO 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。なお、1 インチ以下の場合は約 10% といわれている<sup>6)</sup>。

## 5. 薬 径（管 径）

薬径の増大に伴って ANFO の爆速は急激に増大するといわれている<sup>6)</sup>。装填密度を変化させた場合の爆速と鉄管径の関係を測定した結果は **Table 4** である。管径と爆速との関係を図示したものは **Fig. 3** である。

Table 4. The relation of diameter, loading density and detonation velocity.

| Diameter |       | Volume of iron pipes (cm <sup>3</sup> ) | 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    |                                         | Loaded ANFO (g)            | Detonation velocity (m/s) | Loaded ANFO (g)            | Detonation velocity (m/s) | Loaded ANFO (g)             | Detonation velocity (m/s) | Loaded ANFO (g)            | Detonation velocity (m/s) |
| 1        | 2.54  | 127                                     | 101                        | 2545                      | 114                        | 2820                      | 121                         | 2870                      | 127                        | 2885                      |
| 1½       | 3.50  | 240                                     | 192                        | 2955                      | 216                        | 3085                      | 228                         | 3110                      | 240                        | 3120                      |
| 2        | 5.08  | 508                                     | 406                        | 3015                      | 457                        | 3245                      | 483                         | 3290                      | 508                        | 3310                      |
| 4        | 10.16 | 2030                                    | 1624                       | 3100                      | 1827                       | 3350                      | 1929                        | 3420                      | 2030                       | 3435                      |

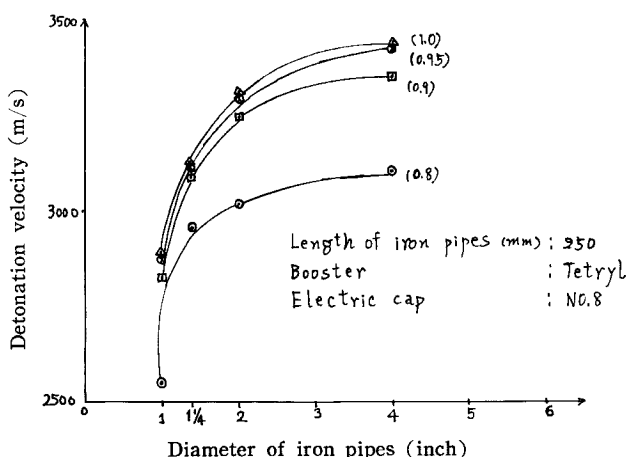


Fig. 3. Influence of diameter and loading density on detonation velocity.

これより同一装填密度の場合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、口径が 2 インチ以上になれば、爆速の上昇は緩慢となる。

## 6. 装 填 密 度

**Table 4** より装填密度と爆速の関係を図示したものが **Fig. 4** である。この場合、装填密度 0.8 は自由落下装填（流し込み）、0.9 および 0.95 は手装填、1.0 は装填器により、それぞれ装填したものである。

この結果、装填密度が増大する程、爆速も増加し、装填密度が 0.95 附近になると増加の度合は減少することが認められる。この場合は 5. で述べたように伝爆薬としてテトリル 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。

## 7. 考察および結言

プリル硝安と燃料油の混合物である ANFO の爆発反応の速度は、伝爆薬種・伝爆薬量・装填の条件などを一定にした場合、プ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

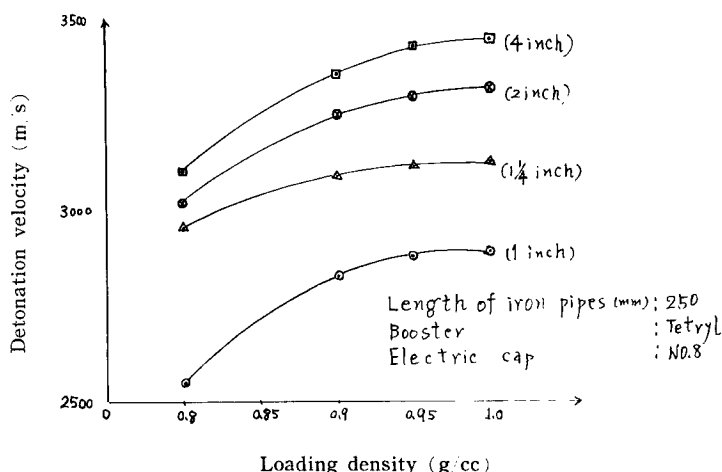


Fig. 4. Influence of loading density and diameter on detonation velocity.

1 報において述べた。

プリル硝安の諸性質を一定にして、伝爆薬種・伝爆薬量・装填密度・薬径と爆速との相関性を求めたものが本実験である。その結果、ANFO の爆速は伝爆薬の種類によって異なり、爆速値の大きい伝爆薬を使用した方が ANFO の爆速値はより大きくなる。また伝爆薬量も爆速を左右し、伝爆薬量が多い程 ANFO の爆速は上昇する。なお、薬径が2 インチ以下の場合、十分な爆速を得るためには数%の伝爆薬量が要求され、3 インチ以上6 インチ附近においては少くとも1%が必要である。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 インチの範囲で)、また装填密度が高くなる程(0.8~1.0 の範囲で)、爆速値は増大する。

このように ANFO の爆速は伝爆薬の種類、伝爆薬の量、装填密度、薬径にも著しく影響されることが明らかとなった。このことは ANFO が他の爆薬、例えばダイナマイトや TNT と本質的に異なることを示すものであり、ANFO による爆破を効果的に行なう上にも充分な考慮を払わなければならない点である。すなわち、ANFO による有効な爆破効果を得るためには、爆破を行う場所の岩質、現場状況、予定掘削量、穿孔長、穿孔径をはじめ、プリル硝安の諸性質を考慮して、装填密度、伝爆薬種、伝爆薬量を決定しなければならない。

ANFO の爆発性に関与する以上の諸条件の良好な選択を行なうことが ANFO 使用上の主眼点となり、この選択の適不適こそが爆破効果の良否を決定するといっても過言ではない。またこのことは、逆に、適当な起爆エネルギーの与え方によって、ANFO の爆発性が制御され得ることも示唆している。

最後に今回の実験において、種々の御教示を得た防災研究所長石原藤次郎先生に厚く御礼申上げる。また、陸上自衛隊響庭野演習場使用に際して、各種の支援を受けた陸上自衛隊第4施設団青山左武郎団長以下各位に深く感謝する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 若園吉一、北尾盛功：爆発に関する研究(第1報)、前出。
- 2) 若園吉一、佐藤忠五郎：爆破1, 土木学会誌, 48巻, 8号, 1963, pp. 94-101.
- 3) 日本産業火薬会, 日本鉱業協会：硝油爆薬調査報告, 昭. 38. 12.
- 4) 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.
- 5) 若園吉一, 佐藤忠五郎, 梅田貞夫：爆発に関する研究(第2報)、前出。
- 6) 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,