

Fig. 1 Arrangement of card gap test.

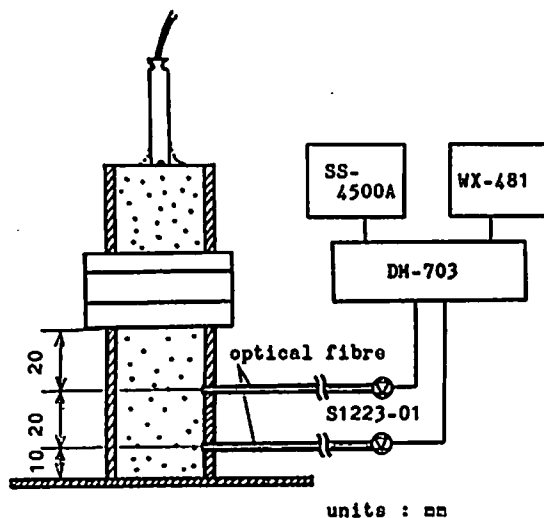


Fig. 2 Schematic of optical fibre method for measuring explosion velocity of powdered ammonium nitrate.

Table 1 Results of card gap test and detonation velocity of powdered ammonium nitrate. (loading density : 0.9-1.0 g/cm³)

Gap length (mm)	Assessment by witness plate ※)	Assessment by explosion light ※)	Mean detonation velocity (m/sec)
10	Ex.	Ex.	2750
15	Non-Ex.	Ex.	1950
20	Non-Ex.	Ex.	1900
25	Non-Ex.	Ex.	1650
30	Non-Ex.	Ex.	1500
35	Non-Ex.	Ex.	1250
40	Non-Ex.	Non-Ex.	—

※) Ex. : Explosion
Non-Ex. : No Explosion

電変換されトランジェントレコーダーに記憶され、さらにシンクロスコープ及びX-Yレコーダーへと導かれる。ここで光ファイバーは三菱レイヨン製エスカSK40 (直径1mm)、フォトダイオードは浜松ホトニクス製 S-1223-01 (感度波長範囲: 430~1140 nm)を用いた。またトランジェントレコーダーは岩通電子製DM-703、シンクロスコープは岩通電子製SS-4500A、X-Yレコーダーは渡辺測器製WX-481を使用した。

尚限界ギャップ長は、従来法では鉄板の爆痕及び残薬の有無により、光ファイバー法では光起電圧の変化

により、いずれも3回の試行においてすべて不爆となったときのギャップ長として求めた。

さらに、2本の光ファイバーを用い、それらの設置間隔を爆発光到達時間差で除することにより爆速を測定した。爆速測定系統図をFig. 2に示す。

3. 試験結果

Fig. 3に粉状硝安の爆発光測定波形例を示す。(a)に見られる様にギャップ長30mmのときには光起電圧は鋭い立ち上がりを見せているが、(b)の様にギャップ長40mmでは爆発光は検知されず、不爆となっている。

Table 2 Results of card gap test

specimen	condition	loading density (g/cm ³)	critical gap length judged by trace on a witness plate (mm)	critical gap length judged by explosion light (mm)	critical shock pressure (kbar)	result of steel tube detonation impact test *)
Ammonium nitrate	powder	0.9-1.0	10	40	12.1	2
Ammonium nitrate	grain	1.0	— **)	40	12.1	4
Ammonium nitrate	prilled	0.85	— **)	35	15.9	4
2, 4-Dinitrotoluene	powder	0.95	35	35	15.9	2
2, 4-Dinitroaniline	powder	0.9-1.0	20	25	21.8	3
Ammonium perchlorate	powder	1.1-1.2	25	25	21.8	3
p-Nitrotoluene	powder	0.70	— **)	20	24.6	5
o-Nitroaniline	powder	0.90	— **)	20	24.6	5
m-Nitrobenzene sulfonic acid Na	powder	0.65	— **)	20	24.6	5
o-Nitroaniline-p-sulfonic acid Na	powder	0.70	— **)	15	27.7	5

*) class 1 & 2 : complete explosion class 3 & 4 : incomplete explosion class 5 : no explosion

**) no explosion

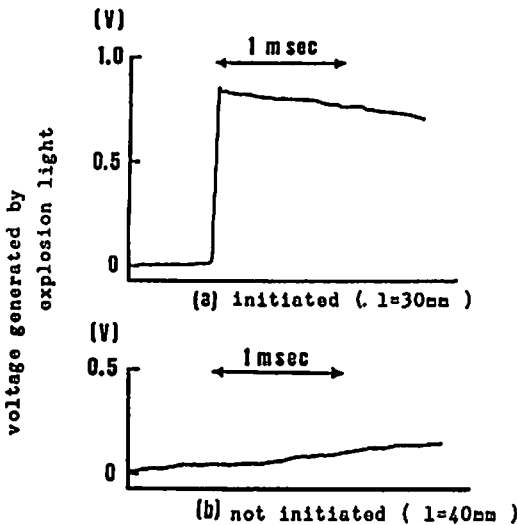


Fig.3 Observed wave forms of explosion light of powdered ammonium nitrate.

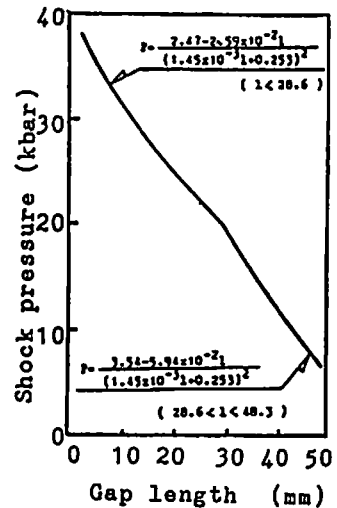


Fig.4 Relation between shock pressure and gap length.

Table 1 に、従来法と光ファイバー法の相違及び各ギャップ長において光ファイバー法によって測定した粉状硝安の爆速の値を併せて示す。これによると粉状硝安は従来法では限界ギャップ長が10mmであるが、光ファイバー法によると40mmと得られており、従来法では不爆と判定されていたギャップ長においても光ファイバー法では爆と判定された。

また、粒状及びブリル状硝安、或いはその他の爆発

性物質について行った試験結果をTable 2 に示す。尚 Table 2 における限界衝撃波圧力は、PMMA 板の上下に挿入した2組のイオンギャップにより測定した衝撃波通過時間 $t(\mu\text{sec})$ とギャップ長 $l(\text{mm})$ の関係式 $t = 7.23 \times 10^{-4} l^2 + 0.253 l - 0.605$ (1) と Liddiard の実測した PMMA 板の1次元衝撃波特性式³⁾ 及び1次元衝撃波の運動量保存則より算出される、衝撃波圧力とギャップ長の関係式

$$P = \frac{2.47 - 2.59 \times 10^{-2} \ell}{(1.45 \times 10^{-3} \ell + 0.253)^2} \quad (\ell < 28.6)$$

$$P = \frac{3.54 - 5.94 \times 10^{-2} \ell}{(1.45 \times 10^{-3} \ell + 0.253)^2} \quad (28.6 < \ell < 48.3)$$

(2)

により求めた。この関係をプロットした衝撃波圧力校正曲線を Fig. 4 に示す。さらに、同時に実施した鉄管起爆試験の方法とその判定基準を Fig. 5 及び Table 3 に示す。

Table 2 より、従来法と光ファイバー法とで同等の限界ギャップ長を示す物質と、光ファイバー法による限界ギャップ長が大きくなる物質のあることがわかった。

4. 考 察

Table 1 に、従来法と光ファイバー法の両法によって得られた粉状硝安の限界ギャップ長を示す。これによると粉状硝安は従来法では限界ギャップ長が 10mm であるのに対し、光ファイバー法では 40mm と得られた。両法でこれだけの差が生じたのは、硝安はギャップ長 10mm 即ち入射衝撃波が強いときには激しく爆発し、鉄板に爆痕を残すに十分な威力を呈するが、ギャップ長が増し、入射衝撃圧力が小さくなった場合には、硝安は感応して爆発しているにも拘わらず弱い爆発であるため、発光は検知されるものの爆痕は認められないという結果になっているものと考えられる。

一方爆速の測定結果をみると、ギャップ長 10mm で

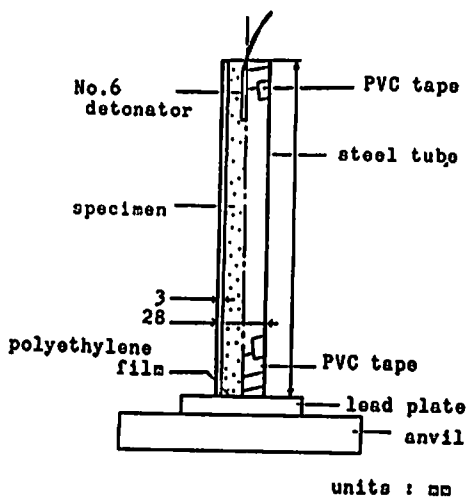


Fig. 5 Arrangement of steel tube detonation impact test

は 2750 m/sec であり他に比べてやや大きい。これに対しギャップ長 15~35mm では従来法では不爆であるが光ファイバー法によれば爆発であり、その際の爆速はギャップ長の増加とともに 1950~1250 m/sec と次第に低下している。爆速は爆発威力の 1 つの目安となることから、ギャップ長 10mm のときには 15mm 以上の場合の爆発に比べ威力が強いと考えられ、両法による限界ギャップ長の差と良好な一致を示している。

一般に高性能爆薬や産業用爆薬は一度起爆されると定常的な爆轟状態に達し爆速も概ね一定値を示すため、

Table 3 Scoring and judgement standard for evaluation of steel tube detonation test results

Class	Steel tube fracture conditions	Lead plate explosion traces	Explosion boom conditions
Class 1	Steel tube is finely fractured	Major	Complete explosion
Class 2	Steel tube is totally fractured, and fragments are large	Major	Complete explosion
Class 3	Steel tube is half-fractured	Medium	Incomplete explosion
Class 4	In the percussion cap vicinity of the steel tube, cracking occurs, or else the tube is heavily bulged in comparison with a blank tube	Minor	Incomplete explosion
Class 5	Same shape as blank tube	None	No explosion

カードギャップテストにおいては爆否の判定が容易であるが、硝安やその他の比較的鈍感な物質或いは爆発威力の弱い物質は、従来の爆痕に基づく判定法では感度を小さく見積ってしまう恐れがあり、この様な物質の評価を行う場合には光ファイバー法は有効な手法であると言える。また鈍感な物質では、入射衝撃圧力を大きくするためにギャップ長を短くするが、そうすると判定板である鉄板に対する励爆薬の影響も無視できないものとなる。従来の様に爆薬を対象とする場合には限界ギャップ長も長く、励爆薬の直接的影響はそれほど問題にはならないが、鈍感な物質を対象とする場合には励爆薬の威力によって爆痕が残ったり、残留するはずの未反応試料も吹き飛ばされてしまう場合が多く、爆否の判定が困難であったことも正確な評価の妨げとなった要因として挙げられる。

次に種々の鈍性爆発性物質について考えてみる。Table 2により従来法と光ファイバー法による限界ギャップ長の比較をすると、両法の結果がほぼ一致しているグループと、両法で大きな差が現われたグループとに大別することができる。

前者のグループには、2, 4-ジニトロトルエン、2, 4-ジニトロアニリンの様にその構造中にニトロ基を2つ含むもの及び過塩素酸アンモニウム等、今回試験を行った物質の内比較的爆発威力の大きいものが含まれている。これらは鉄管起爆試験においても2~4級となっており、ある程度の感度と威力を有しているため、一度起爆されると一定爆速を有する定常爆轟に至り、よって爆否の判定が容易であると考えられる。またこれらは従来法においても光ファイバー法においても限界ギャップ長は25mm以上であり、従来法でも充分に評価可能である。

他方、後者のグループには、p-ニトロトルエン、o-ニトロアニリン等その構造中にニトロ基を1つ含むもの及び各種の硝安などがある。これらの物質は従来法によると粉状硝安以外はすべて不爆であったが、光ファイバー法によると硝安では限界ギャップ長が35~40mm、それ以外の物質でも15~20mmとなった。先にも述べた様に、これらの物質は爆発威力が弱く、入射衝撃波に感応しても爆否の判定に用いる鉄板に充分な爆痕が残らないため、従来法では感度が低いと判定されていたわけである。特に粒状やブリラ状の硝安は鉄管起爆試験や従来法による判定では粉状硝安に比べ感度は低いとされてきたが、今回実施した爆発光を捉える方法により、衝撃波に対する感度は同等であることが明らかとなった。

従来よりカードギャップテストは鈍感な物質や威力の弱い物質には適用が困難とされてきたが、爆発光の

変化を捉えることによりこれら物質への適用が可能となった。また、光ファイバー法は複雑な装置も不要で操作も簡便であるため、爆速の測定を並行して行うことができれば、単に爆否の判定のみならず、起爆機構や爆轟への転移現象の解明にも役立つものと考えられる。

5. 結 言

各種硝安を始めとする比較的鈍感な爆発性物質についてカードギャップテストを行った結果、以下の事柄が明らかとなった。

- (1) 粉状硝安は入射衝撃波の強さにより爆発威力に差異が生ずるため従来法では鈍感であると判定されていたが、爆発光を捉える光ファイバー法では限界ギャップ長は40mm、最低衝撃波圧力は12.1kbarと得られた。また爆速測定の結果、ギャップ長10mmでは2750 m/sec、15~35mmでは1950~1250 m/secとなった。
- (2) 粒状及びブリラ状硝安は爆発威力が弱いために粉状硝安に比べ鈍感と考えられてきたが、爆発光の検知により、粉状硝安と同程度の衝撃波感度を有することがわかった。
- (3) 従来の爆否判定法他に、爆発光の検知によって爆否を判定する光ファイバー法を提案し、これにより種々の爆発性物質の衝撃波感度の評価を行ったところ、これまでは爆発威力が弱いために不爆と判定されていたが、光ファイバー法で爆発と判定され得る物質があることを見出した。

謝 辞

本研究を行うにあたり御協力と御助言を賜った、日本カーリット(株)保土ヶ谷工場 安部隆幸氏、青木章哲氏に感謝いたします。

また本研究は、財団法人火薬工業技術奨励会の援助により行うことができました。厚く感謝いたします。

文 献

- 1) 福山郁生, 小川輝繁: 硝安の爆発性(第1報), 工業火薬, 44, No.2, p78~82(1983)
- 2) 工業火薬協会感度専門部会編: 工業火薬協会規格(II), P46~47(1985)
- 3) 飯田 稔, 藤原修三, 日下部正夫: 爆発性物質の衝撃波感度試験(第1報), 工業火薬, 33, No.5, p291~297(1972), 但し原典は, T. P. Liddiard: in 4th Symposium of Detonation, p214, U. S., N. O. L. (1965)
- 4) 三宅淳巳, 小川輝繁, 福山郁生, 青木章哲, 安部隆幸: 硝酸アンモニウムの衝撃感度, 工業火薬協会, 昭和61年度年会講演要旨集, p36~37(1986)

Explosion Sensitivity of Ammonium Nitrate (II)

—Card Gap Test for Ammonium Nitrate—

Atsumi MIYAKE*, Terushige OGAWA*and Ikuo FUKUYAMA*

To estimate the explosion sensitivity of ammonium nitrate we carried out card gap test, which is one of the popular shock sensitivity tests for high explosives.

Whether acceptor is initiated or not is judged by the dent trace on a witness plate, but the dent trace is not quantitative and sometimes causes the misjudgement in the test of the insensitive explosive substances. Then we proposed a new method which used an optical fibre to detect light of acceptor's explosion and we obtained many interesting results.

Further we measured detonation velocities of powdered ammonium nitrate with optical fibres.

When gap length was 10mm, 2750 m/sec was observed and when 15-35mm, 1950-1250 m/sec were obtained.

(*Faculty of Engineering, Yokohama National University,
156 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240, Japan)
