

擬薬包中の爆発雷管の瞬間 X 線写真観察

田中雅夫・吉田 正・松本 栄*

さきに報告された空中懸吊、爆薬包中で爆発した雷管の瞬間 X 線写真観察につづいて、擬薬包中で爆発した雷管管体破片の進展は爆薬中の固体粒子により阻止されるかどうかについて試験した。

これに加えて、爆薬包と擬薬包（食塩）の組合せにより、雷管付薬包から第二薬包への爆発の伝播における不発について研究した。

これらの瞬間 X 線写真から、次の現象を認めた。

1) 爆薬包中で爆発した雷管管体破片の進展は、Fig. 6 に示すように、主として雷管周辺の爆薬の爆発ガス圧によって阻止されるので、あまり速くはない。

2) 爆薬包中では、添装薬爆発後 $7.5 \sim 10 \mu\text{s}$ 以内に雷管の点火玉部空間管体は変形を受け、続いて更に小さく破砕される。

この現象は他の周辺条件：空中懸吊、擬薬包中の雷管爆発ではおこらない。

3) 不発に関する研究では

a) 雷管付薬包が爆発しない時、時々第二薬包が親ダイ中で爆発した雷管の破片により爆発した (Fig. 3 参照)。

もし第二薬包が爆発しなかった時、雷管底部破片が第二薬包中に発見される。

b) Fig. 4, 5 に示すように、親ダイが爆発し第二薬包（食塩）が爆発せず、変形する時には、管体底部破片は、親ダイの爆発ガスの拡散によって軸方向への進展が阻止されるので、第二薬包中には発見されない。

1. ま え が き

筆者等はさきに報告¹⁾、および寄書²⁾において空中、爆薬包中の雷管の爆発挙動について報告したが、本報告は食塩擬薬包中の雷管の爆発挙動について瞬間 X 線写真により観察したもので、これにより爆薬包中で爆発した雷管体の破片の進展は周辺の粉体（食塩）抵抗よりも、主として爆薬の爆発ガス圧により抑制されることを明らかにした。

また、擬薬包を不発薬包と想定して爆薬包との組合せにより薬包内の雷管の爆発挙動、不発薬包の状況について観察したので報告する。

2. 実験項目

ここで行った実験項目は次のごとくである。

- 1) 擬薬包（食塩）中の雷管の爆発挙動について
- 2) 爆薬包と擬薬包の組合せによる雷管および爆薬包の爆発挙動について：すなわち、

Test No.	雷管付薬包 (親ダイ)	第二薬包
2-(a)	擬薬包	爆薬包
2-(b)	爆薬包	擬薬包

3. 実験方法

3-1 実験配置と瞬間 X 線発生装置

実験配置は前報²⁾と同様で 2 チャンネル方式を用いて、2 ケの X 線管は遅延装置により作動する。

ここで用いた瞬間 X 線発生装置は米国 Field Emission 社製 FEXITRON-Series 730 (150~300kV, フラッシュ幅 100 nano sec.) である。

3-2 供試火薬類と擬薬包

a) 爆薬は旭化成工業 K. K. 試製イオン交換型爆薬 (30mmφ, 100g 薬包) を用い、成分については Table 1 に示す。

b) 試験雷管は日本油脂 K. K. 製 6 号電気雷管 (内管 1 ケ, 銅管体) を用いた。

c) 実験項目で述べる擬薬包は主として φ30mm,

昭和47年9月6日受理

* 公害資源研究所資源第4部、北区浮間町 4-26

Table 1 Ingredient and detonation velocity of explosives used for test

NG	9.0%	Detonation Velocity
N/C	0.2	in ϕ 30mm craft paper
NH ₄ Cl	28.0	tube : 1,650 m/s
NaNO ₃	44.4	
NH ₄ NO ₃	12.5	
Guhr gum	0.5	
Starch	5.0	
Ca-Stearate	0.5	

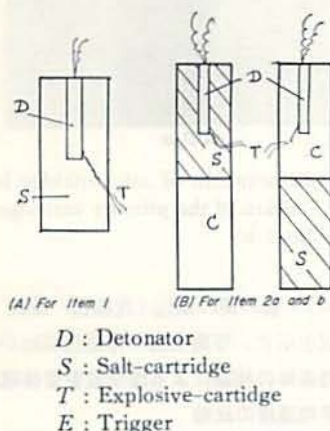


Fig. 1 Testing arrangement

長さ約70mmの爆薬包と同径の紙筒中に粒度100mesh以下の食塩を入れた円柱状の薬包をいう。

4. 試験薬包の作成と組合せ

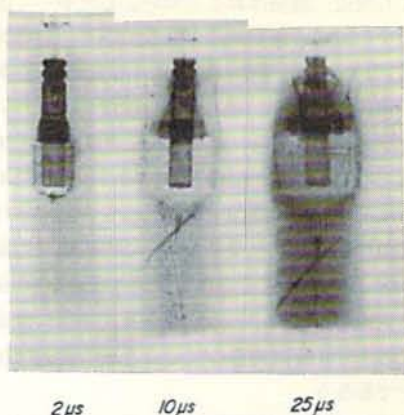
雷管付薬包(爆薬包, 擬薬包何れも同じ)の雷管の装着状況は Fig. 1 [A] に, また爆薬包と擬薬包の組合せ配置は Fig. 1 [B] に示す。なお必要に応じて BaSO₄ 糸³⁾を薬包中に挿入してその移動を観察した。

5. 擬薬包中の雷管の爆発挙動

前報告²⁾において爆薬包中の雷管体の破片の進展は, 周辺の爆薬の爆発ガス圧と爆薬中の粉体抵抗により抑制されたと考えたが, 筆者等はここで擬薬包を用いて爆薬包が不発で粉体抵抗のみの場合を想定して実験を行なった。

Fig. 1 [A] に示す雷管装着状況において, 添装薬部の管体に付けたトリガー作動後の運動時間を 2, 10, 25 μ s と変えた場合の爆発写真を Fig. 2 に示す。

後に述べる周辺条件の相違による雷管体の破片の変位, 速度のグラフ (Fig. 5) にも見られるように, 爆発初期においては前報¹⁾²⁾における空中, 爆薬包中での雷管の爆発挙動と殆んど同様な進展を示すが, その後の進展はこれらと相違し, むしろ前報¹⁾の水中懸吊の爆発状況に近い。なお, 爆薬包中の雷管の爆発にお



TFig. 2 Development of detonated detonator in salt-cartridge

ける点火玉空間部管体の変形, 圧縮さらに二次的な管体破碎は, 周辺部が食塩粉体のために発生しない。

6. 爆薬包と擬薬包との組合せによる実験

二薬包間の伝爆不良の原因として, 爆薬包不良の場合と雷管自体不良の場合が考えられる。ここでは前者の原因を想定して爆薬包と擬薬包との組合せによる雷管の爆発挙動, 爆薬包の爆発状況, および擬薬包の変形状況について観察した。

6-1 雷管付薬包が擬薬包, 第二薬包が爆薬包の場合の爆発の観察。[実験項目 2-(a)]

実験薬包の状況は Fig. 1 [B] に示す。

この場合雷管付薬包は食塩薬包であるので雷管は爆

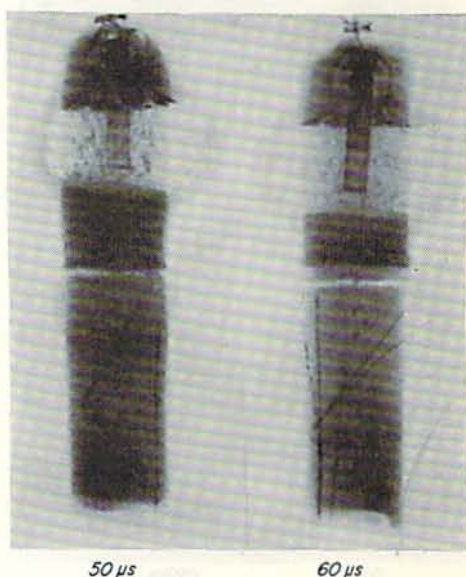


Fig. 3 Detonating process of the second cor-tridge initiated by detonator in salt-cartridge, (Test No. 2-a)

発しても周辺に爆発はおこらない。したがって前述の擬薬包中の雷管の爆発挙動と同様である。遅延時間が $50\mu\text{s}$ になると雷管管体の底部破片は食塩層を貫通して第二薬包に突入し、第二薬包を起爆し、さらに遅延時間 $60\mu\text{s}$ の第二薬包の爆発状況をFig.3に示す。実験中数回、第二薬包が起爆しない場合があったが、この場合は不爆の第二薬包中に爆発雷管の底部破片(以下底部破片という)を発見した。この実験での擬薬包薬長は約 70mm 、雷管底部と擬薬包底面との距離(貫通する食塩層)は約 30mm である。実際には爆薬包薬長は約 130mm であるので恐らく第二薬包は起爆されないであろう。

6-2 雷管付薬包が爆薬包、第二薬包は擬薬包の場合の爆ごう観察 [実験項目 2-(b)]

実験薬包状況はFig.1 [B]に示す。Fig.4は遅延時間 70 、 $150\mu\text{s}$ における親ダイの爆発状況と不爆薬包と想定した第二薬包の変形状況を示す。

この場合、底部破片は爆薬包の爆発生成ガスの拡散に抑制されて速度はおそく、また爆ごう波面より先行することはない。雷管付爆薬包が爆発した場合、底部破片が不爆の第二薬包中に突入するかどうかについて調べるため、長さ 130mm の爆薬包に雷管を装着し、爆発させた後、 400 および $800\mu\text{s}$ で観察したが雷管底部破片は爆薬の爆発ガス流により第二薬包内に突入しないようである。

Fig.5に雷管付爆薬包(薬長 130mm)を爆発させ遅



Fig. 5 Detonation of salt-cartridge by detonation of the primary cartridge (Test No. 2-b)

延時間 $400\mu\text{s}$ 後の第二薬包(食塩包、薬長 130mm)の変形状況を示す。写真上部に爆薬包端面がある。

7. 周辺条件の相違による爆発雷管管体破片の変位と平均速度の比較

前報告¹²⁾における空中懸吊、爆薬包中と、この報告の食塩擬薬包中で爆発させた雷管の管体破片の変位および平均速度を管体軸方向と側面方向に対して比較

Table 2 Displacement of fragment of detonator

Detonator	Delay Time (μs)	Displacement of Fragment	
		Axial (mm)	Lateral (mm)
In air	2	5.1	4.4
	10	19.7	21.1
	20	34.5	38.8
	25	44.5	55.6
In salt cartridge	2	5.5	2.6
	10	11.8	6.5
	15	16.8	8.5
	25	16.7	8.9
	35	26.1	15.7
	50	42.0	20.7
In a cartridge	2	3.6	2.0
	10	8.1	3.4
	15	12.7	4.1
	25	14.1	4.4
	35	19.7	7.9
	50	21.5	8.8

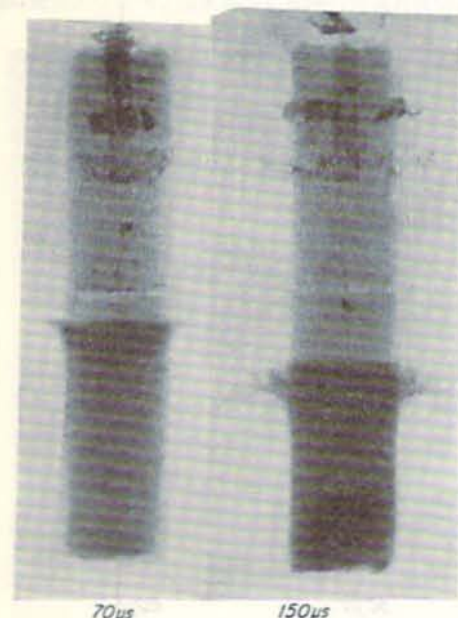


Fig. 4 Deformation of salt-cartridge by detonation of the primary cartridge (Test No. 2-b)

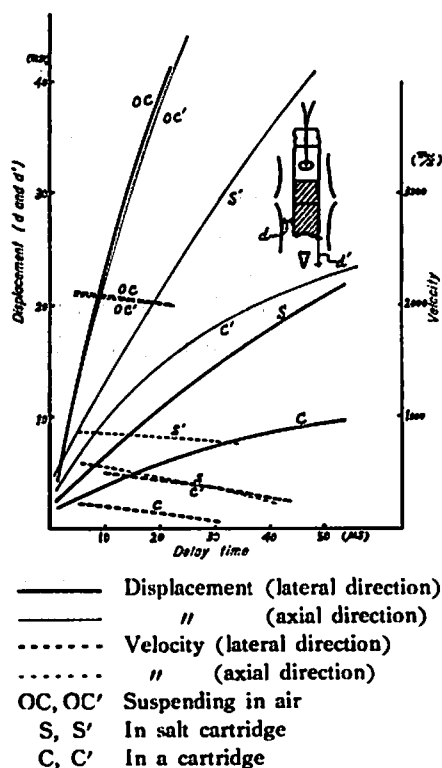


Fig. 6 Displacement and velocity of fragment of detonator shell

した。

Table 2 は空中懸吊、挺薬包中、爆薬包中で爆発させた雷管の管体破片の側面方向と軸方向の変位を示し、Fig. 6 はそれぞれの方向の変位と平均速度を示す。すなわち、空中懸吊の場合が抵抗も少なく最も変位が大で、破片速度も大きく、粉体中での爆発ではその粉体抵抗の影響が見られ、爆薬包中の爆発では主として爆発生成ガス圧に抑制されることを示す。また一般的に軸方向の変位速度が側面方向変位速度に比して大である。

8. 総括

前報告¹⁾と本報告を総括して考えると、

1) 如何なる周辺条件においても雷管の爆発初期 ($2\mu\text{s}$ 前後) においては点爆薬、添装薬の爆発により、管体変形、爆発ガス進展状況は殆んど同様であるが、その後爆薬包中で爆発した雷管は周辺爆薬の爆発圧に

より管体変形、変位を抑制される。とくに点火玉部空間管体は約 $1.5 \sim 10\mu\text{s}$ 後に内部に変形、圧縮される。この状況は他の周辺条件ではおこらない。

2) Fig. 6 に示すように周辺条件 (空中、挺薬包中、爆薬包中) により雷管管体破片の進展がことなり、上述の理由から爆薬包中の雷管管体破片の進展はさほど速くない。

3) 爆薬包中の雷管破片とくに点火玉空間部の管体破片は二次的の破碎をうけるので、他の周辺条件の場合に比して破片は小さくなる。

4) 爆薬包中で爆発した雷管底部破片は爆薬の爆ごう波より先行することはない。

挺薬包と爆薬包の組合せによる実験から：

5) 雷管付薬包不良の場合、雷管底部破片により第二薬包を起爆したが、このような例は一般には稀であり、普通は第二薬包を起爆しない。その時第二薬包中にその底部破片が発見される。

6) 雷管付薬包正常で第二薬包不良の場合、その雷管底部破片が第二薬包に突入することは稀である。何故なれば、雷管付薬包中で底部破片は爆薬の爆発ガス流のために前進を阻止される。したがって第二薬包中に底部破片は発見されがたい。

9. むすび

前報告¹⁾と本報告により、爆薬包中の雷管の爆発挙動について各種条件と比較して瞬間X線写真法により観察した。

また現場発破の不発残留薬の原因の一部について解明した。

将来、爆薬包中の雷管の爆発初期から爆薬の起爆過程について研究したい。

終りに、試験試料を提供して頂いた火薬メーカーに謝意を表する。

文 献

- 1) 吉田、赤羽、田中、松本：雷管の爆発現象の研究：工業火薬、31、319～325 (1970)
- 2) 田中、吉田、松本：瞬間X線写真法による爆薬包中の雷管爆発挙動について：工業火薬、33、99～103 (1972)
- 3) 田中、松本、赤羽、吉田：瞬間X線写真による炭鉱爆薬の爆ごうの研究：工業火薬、32、252～258 (1971)

Radiographic Observation of Detonators Exploded in Dummy (Salt) Cartridge

by M.Tanaka, T.Yoshida and S.Matsumoto

The suppressive effect of particles in explosives on the development of shell fragments of detonators exploded in cartridges is tested, following the series of radiographic observation of the detonator exploded in air, or in cartridges.

Additionally, we study failure of transmission of detonation from the priming cartridge to the secondary one, with the arrangement of the primary dummy cartridges and secondary explosive cartridges (as shown in Fig.2-B).

From these radiographs, following phenomena are recognized:

- 1) It is ascertained that development of fragments of detonator's shell in a cartridge is not so rapid, because it is suppressed mainly by the gas pressure of detonating explosives surrounding detonator (as shown in Fig.6).
- 2) In the cartridge, the upper part of the shell (fuse head's space) is deformed within $7.5 \sim 10 \mu s$. after detonation of base charge, and is crushed smaller successively, by detonation of explosives surrounding the detonator.

This phenomenon does not occur under other testing condition; in air or in dummy salt cartridge.

- 3) Concerning the tests for misfire;
 - a) When the priming cartridge (salt) is not exploded, the secondary cartridge is initiated occasionally by the detonator exploded in the priming cartridge (as shown in Fig.3).

When the secondary cartridge is not initiated by the detonator, we find the bottom fragments of detonator in it.

- b) When the secondary cartridge (salt) is not exploded and deformed by detonation of priming cartridge (as shown in Fig.4 and 5), the bottom fragments are not found in it, because their axial development is suppressed by the expanding gas flow of detonating priming cartridge.

(National Research Institute for Pollution and Resources)