

## 炭鉱爆薬の安全度の基礎的実験研究

第1報：酸素価を広範囲に変化せしめた爆薬の  
安全度に及ぼす薬包パラフィンの影響

(昭和28年5月7日受理)

村 田 勉・友 石 尚 之

(日本油脂株式会社 武豊工場)

## I 緒 言

銅製白砲から正の起爆により爆薬を発射してメタンガスの着火を試験する方法は、各国の炭鉱爆薬試験法には例外なく採用されている<sup>1)</sup>。この試験法の意義は実際の発破に於て負荷過大か又は填塞不十分による空発となる場合或は負荷過少又は穿孔長が浅すぎて火薬ガスが吹き破つて噴出する場合に相当するものである。

この試験法に於て、メタンの着火に関与する爆薬の因子としては、色々挙げられているが、例えばNaoum<sup>2)</sup>に依れば爆薬の火焰の温度及びその持続時間の外に爆薬の爆轟ガス圧力が大なる因子であり、従つて比重、爆速、発生ガス量及び総エネルギー、即ち爆薬の総作用力が一一定値を超えると着火を起すと云う。

S. L. Gerhalt<sup>3)</sup>等は高温爆轟ガスが最も点火の主因として有力であると言っている。

又 B. Lewis 及び G. Von Elbe<sup>4)</sup>は爆薬から生ずる固体粒子が主で爆轟ガスが之を助けると云い、衝撃波は二次的意義を有するに過ぎないと言っている。いづれにしても、吾々炭鉱爆薬の研究者にとつて必要なことは、これらのメタン着火の因子を減少せしめたり或は更に進んでメタンガスの燃焼爆発反応そのものを初期の段階に於て阻止する如き物質を求めることである。

メタンの点火抑制作用に関しては、Audibert<sup>5)</sup>はメタンガスの点火は加熱に依る温度上昇によつて生ずる“分子反応”や“分子結合”で起るのではなく、一つの指導的反應の發展による連鎖反應の担体とその連鎖の伝播中心の形成に依るものであるから、この連鎖の伝播を妨げるには抑制剤を以てして始めて可能となると

言っている。

又 A. I. Gol'binder<sup>6)</sup>は爆薬の中に添加する塩類の種類と量を変え又爆薬の組成を変え、爆発温度の殆ど等しい四種類の爆薬のメタンに対する安全度を測定し、不活性物質の役目は熱の問題でなくて連鎖反應の阻止作用であると言っている。

筆者等は若干の減熱剤或は消焰剤に就いてそれらの安全度に及ぼす効果を試験したいと考え、先づ第一着手として塩類の混入によつて爆薬の酸素バランスが変化するので、その場合の薬包の可燃物の影響を見ておく必要があると考え試験を行い、少しの知見を得たので茲にその結果を報告する。

## II 実験装置及び方法

実験装置は既に筆者らがミリセコンド発破の安全性に関する実験<sup>7)</sup>の報告で述べたと全く同じであるので茲では省略する。

方法は爆薬を展列装薬の形式で白砲内に挿入し、正起爆を行う。雷管は6号電気雷管を用いメタンガスの濃度は $9 \pm 0.2\%$ を採用した。不引火最大薬量の決定は白砲損耗の影響を少なくするため2発決定とし、単位は低安全度のものに就いては10gとし、高安全度の爆薬に就いては50gとした。

III 実験・安全度に及ぼす薬包附着  
パラフィンの影響

白砲発射試験に於ては爆薬を被包する物質によつて安全度が変化することは既に古くから確認されているところである。例えば Taffanel<sup>8)</sup>によれば炭礦用グリゾナフタライト(酸素バランス：+13)及びグリゾダイナマイト(酸素バランス：+18)、はパラフィン

をつけない場合は夫々 750 g 及び 1050 g の引火限界薬量を示すのに大量のパラフィン（量は不明）を付ける  
と夫々限界薬量が 175 g 及び 150 g に低下することから  
パラフィン被覆は安全度に悪影響を与えるといつてい  
る。

又日野博士は硝ダイ及び硝爆等の炭酸爆薬がパラ  
フィン紙筒薬包ではガス引火を起さない薬量でも、パ  
ラフィンのないライファン薬包に損めると引火を起す  
ことからパラフィンの不活性作用及びライファンのアル  
ゴンフラッシュバルブの原理に対する作用から、爆  
薬境界層着火論を推定されている。即ち両者の説く所  
が逆になっている。然し上記の結論は何れも僅か一種  
類か二種類の近似的酸素バランスを有する爆薬に就い  
て試験した結果に過ぎないのであつて、現象の一部の  
観察から結論を早計に出した嫌いがある。

即ち Taffanel が実験に用いたグリゾナフタライト  
及びグリゾダイナマイトは酸素バランスが夫々約 +13  
g 及び +18 g であつて何れも非常に酸素過剰である。  
又日野氏の論じて居られる爆薬は恐らく硝ダイ及び硝  
爆であると考えられるから、その酸素バランスは約 +  
0~3 g である。一方包装用パラフィンが完全燃焼する  
ためには相当する酸素が爆薬中になければならぬ。薬  
包紙にパラフィンを付けなくても薬包紙の重量が  
100 g の爆薬に就き約 1 g あるから、その燃焼のため  
には約 1.2 g の酸素が必要である。従つてパラフィン  
等の可燃物の影響を考える場合、単に一定の酸素バ  
ランスの爆薬に就いてのみ論ずることは不適當であつて  
種々なる酸素バランスの爆薬に就いて試験しなければ  
ならぬ。そこで筆者らは表 1 に掲げる四種類の酸素バ  
ランスの異なる爆薬を試製し、薬包をパラフィン付けし  
た場合としない場合の比較安全度試験を行った。

表 1 酸素価を異にする種類の爆薬組成

試料 番号	N.G.	N.C.	W.M.	NaCl	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	仮 比重
M22	8.0	0.3	0.0	1.0	90.7	0.95
M23	8.0	0.3	4.0	1.0	86.7	0.88
M24	8.0	0.3	8.0	1.0	82.7	0.83
M25	8.0	0.3	12.0	1.0	78.7	0.80

次に表 2 に之等の爆薬のパラフィン付けした薬包と  
パラフィン付けしない薬包の不引火最大薬量及び爆発  
温度（爆薬自体の）及び火薬力を示す。

表 1 及び表 2 の如く = トログリセリン 8% 及び綿薬  
0.3% を膠化せるものを鋭感剤とし、食塩を夫々 1%  
含有し硝安と木粉の含有量が互に異なるため酸素バ  
ランスが +18.31 から -0.59 まで変化した四種類の爆薬に

表 2 不引火最大薬量（爆薬自体の）

試料 番号	不引火最大薬量		酸素バ ランス (g)	爆発温 度 (°K)	火薬力 (L·kg/cm <sup>2</sup> )
	パラフ イン 薬包(g)	紙筒の み薬包 (g)			
M22	50	400以上	+18.31	1570	5635
M23	40	180	+12.01	1921	6796
M24	60	40	+ 5.71	2270	7910
M25	100	60	- 0.59	2644	9122

就いて安全度を測定した結果、薬包紙にパラフィン附  
けした場合としない場合の安全度は爆薬の酸素バラン  
スによつて大巾に変化することが判つた。パラフィンを  
“故意に付けない” 場合の薬包は爆薬 100 g につき薬  
包紙重量が約 1 g と予め薬包紙に滲透せしめてあるパ  
ラフィンが約 1 g 計 2 g の可燃物があるわけである。  
“パラフィン付けをした薬包” は此の外に更に約 6 g の  
パラフィンを以つて薬包全体を被覆してある。

表 2 の値を図にて表わすと図 1 及び図 2 の如くな  
る。

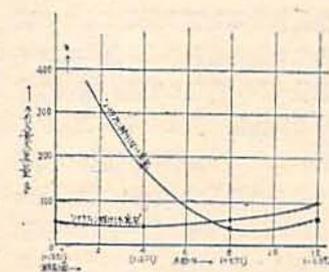


図 1 爆薬の酸素バランスを  
変えた場合パラフィンの  
安全度に及ぼす影響

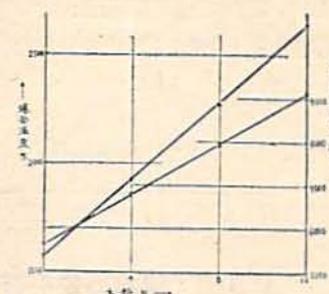


図 2 木粉の混入による特  
徴数の変化

下或は負の場合には、却つて安全度を向上せしめるこ  
とが判つた。亦故意にパラフィン付けしない場合でも  
紙筒に予め滲み込ませてあるパラフィンが爆薬 100 g  
に就き 1 g 宛附着しているのて紙筒自身の重量 1 g と合  
せて合計 2 g の可燃物が爆薬 100 g に附着しているた

め、それらと爆薬の反応が考えられるが、事実パラフィン付けしない薬包の安全度は木粉8%附近が最も低く、12%の時は却つて高くなる。爆薬自体の安全度は爆発温度或は火薬力に逆比例すべきであるが（消焰剤の含有量が一定である場合）、紙筒及びそれに滲透せるパラフィンと爆薬との反応の結果、実際の爆発温度が木粉8%の時の方が12%のときよりも高くなると考えられるから上述の結果も肯定されるわけである。吾々の実験では、故意にパラフィン付けした場合としない場合の安全度曲線の交点は、図1から木粉含有量にして7.3%附近で爆薬の酸素バランスにして約+7附近であるが、この交点は薬包中の可燃物の量によつて変化するものでありと考える。例えば市販の爆薬（炭鉄用）の薬包は爆薬100gに就き紙筒1g、パラフィン約7gであるがこの薬包と、もう一つは薄い錫箔か何かの薬包の安全度曲線の交点は図1の場合よりも少し左へずれるかも知れない。又錫箔の如き薬包を用いば爆薬の眞の安全度に近い値が得られ、爆薬の爆発温度或は火薬力と安全度が逆比例すると言ふ結果がもつと明瞭に認められるのではないかと思われる。従つてライファン薬包の如き可燃物の少い薬包と市販の薬包の安全度の差は図1に於ける兩曲線の差よりもつと大きくなると考えられる。何れにしても爆薬と被覆物の反応が行われるので酸素バランスの異つた爆薬の眞の安全度の差異を測定するためには、爆薬の被覆物に可燃物を用いてはいけないと言ふことになる。このことは爆薬組成成分中に種々な塩類を混入して安全度の変化を知る場合重要となる事実である。又 Taffanel の実験及び日野氏の実験結果の考察は夫々現象の一部を論じて居られることも判明した。従つて爆薬境界層着火論も現象の説明としては推論困難であると言わなければならぬ。

#### IV 総 括

### 第2報：爆薬の安全度に及ぼす各種塩類の効果

#### I. 緒 言

爆薬中に塩類を混入して白砲発射による安全度試験を行う場合、爆薬組成中の硝安と塩類を置換して行くと爆薬の酸素バランスが変化する。従つて爆薬の薬包中の可燃物（主としてパラフィン）の燃焼による安全

本報告に於ては白砲発射安全度試験（正起爆）に於て爆薬組成成分中に塩類を添加した場合の影響を研究する前提として、薬包中の可燃物が爆薬と反応して安全度に及ぼす効果を知るために行つた試験に就いて述べた。而してこの試験の結果判明したことは：

- i) 薬包附着パラフィンが爆薬の安全度に及ぼす影響は爆薬の酸素バランスが正になるときは安全度を低下せしめる作用をし、酸素バランスが0に近い或は負の値をとるに従つて爆薬の安全度を高上せしめる作用をなす。即ちパラフィンの影響は爆薬の酸素バランスと共に著しく変化する。
- ii) 従つて爆薬中或は爆薬の周囲に塩類を添加して安全度の変化を試験する場合、その事を考慮しないと得られた結果の解析が間違つたものになる恐れがある。
- iii) 爆薬被覆物の紙及びパラフィンは酸素過剰の爆薬では相当燃焼にあづかるが酸素価が零附近では余り反応にあづからない。

最後に本実験を補佐された血井勝利君に深甚の謝意を表す。

#### 文 献

- (1) 山本祐徳；工火協会誌 11 130 (昭25)
- (2) Naoum；Z. S. S. (1939) 164~169
- (3) S. L. Gerhalt, J. C. Holtz, W. I. Huff；Z. S. S. (1940) S 253
- (4) B. Lewis and G. Von Elbe；Revue de l'Industrie Minérale (1940) 9~18
- (5) Audibert；Res. Ind. Mine (1948) No. 5 22.3
- (6) A. I. Gol'binder；Doklady Akd. Nauk S. S.S.R. R59 (1948)
- (7) 村田勉・友石尙文；工火協会誌 13 164 (昭27)
- (8) Taffanel；Z. S. S. 5 (1910)
- (9) 日野熊雄；工火協会誌 11 71 (昭25)

尙白砲内雷管の位置は総て正起爆の位置とする。

本実験に用いた装置は、第一報に於いて述べた通りである。

II. 実験装置及び方法

第一報に於いて述べた如く、薬包中のパラフィンが

表 1 試験試料爆薬組成

試料番号	組成						類	△
	N.G.	N.C.	W.M.	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	塩			
M 1	8.0	0.3	8.0	83.7	ナシ			0.83
M 11	8.0	0.3	8.0	82.7	NaCl		1.0	0.83
M 12	8.0	0.3	8.0	80.7	〃		3.0	0.83
M 2	8.0	0.3	8.0	78.7	〃		5.0	0.83
M 13	8.0	0.3	8.0	75.7	〃		7.0	0.83
M 14	8.0	0.3	8.0	72.7	〃		10.0	0.83
M 15	8.0	0.3	8.0	67.7	〃		15.0	0.83
M 73	8.0	0.3	8.0	63.7	〃		20.0	0.83
M 20	8.0	0.3	8.0	82.7	KCl		1.0	0.83
M 19	8.0	0.3	8.0	80.7	〃		3.0	0.83
M 3	8.0	0.3	8.0	78.7	〃		5.0	0.83
M 21	8.0	0.3	8.0	76.7	〃		7.0	0.83
M 18	8.0	0.3	8.0	73.7	〃		10.0	0.83
M 46	8.0	0.3	8.0	78.7	NH <sub>4</sub> Cl		5.0	0.83
M 47	8.0	0.3	0.8	73.7	NH <sub>4</sub> Cl		10.0	0.83
M 8	8.0	0.3	8.0	78.7	Talc		5.0	0.83
M 16	8.0	0.3	8.0	73.7	〃		10.0	0.83
M 17	8.0	0.3	8.0	68.7	〃		15.0	0.83
M 44	8.0	0.3	8.0	80.7	NaNO <sub>3</sub>		3.0	0.83
M 4	8.0	0.3	8.0	78.7	〃		5.0	0.83
M 37	8.0	0.3	8.0	73.7	〃		10.0	0.83
M 38	8.0	0.3	8.0	68.7	〃		15.0	0.83
M 45	8.0	0.3	8.0	80.7	KNO <sub>3</sub>		3.0	0.83
M 5	8.0	0.3	8.0	78.7	〃		5.0	0.83
M 39	8.0	0.3	8.0	73.7	〃		10.0	0.83
M 40	8.0	0.3	8.0	68.7	〃		15.0	0.83
M 41	8.0	0.3	8.0	78.7	CaCl <sub>2</sub>		5.0	0.83
M 42	8.0	0.3	8.0	73.7	〃		10.0	0.83
M 9	8.0	0.3	8.0	78.7	H <sub>2</sub> O		5.0	0.88
M 35	8.0	0.3	8.0	76.7	〃		7.0	0.95
M 36	8.0	0.3	8.0	73.7	〃		10.0	1.00
M 6	8.0	0.3	8.0	78.7	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		5.0	0.83
M 7	8.0	0.3	8.0	78.7	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		5.0	0.83
M 43	8.0	0.3	8.0	78.7	(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>6</sub> ·K·Na) +4H <sub>2</sub> O		5.0	0.83
M 49	8.0	0.3	8.0	83.4	ICl <sub>3</sub>		0.3	0.83
M 50	8.0	0.3	8.0	76.7	ICl <sub>3</sub> 1.0 Talc		3.0 3.0	0.83
M 51	8.0	0.3	8.0	74.7	ICl <sub>3</sub> 3.0 Talc		3.0 3.0	0.83
M 48	8.0	0.3	8.0	78.7	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O		5.0	0.83
M 52	8.0	0.3	8.0	78.7	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> Na·3H <sub>2</sub> O		5.0	0.83

爆薬の安全度に著しく影響を及ぼすので、眞の意味で塩類の安全度に及ぼす影響を見るためには可燃物を含まない薬包で試験する必要のあることを知つたが、筆者らが試験せんとする塩類の中大部分は酸素価に影響を与えない塩類であり、従つて硝安との置換に於てそれらを爆薬組成成分中に混入して行つた場合爆薬の酸素価の変化は塩類の混入量と同量の硝安の減少に伴う酸素価の変化があるだけである。而も Blank Test に用いる試料の酸素価は +5.71 であるから、塩類の混入量が 15% のときでも、爆薬の酸素価は +3.71 であつて変化は極めて少く、第 1 報よりも判る如くその位の酸素価の変化ではパラフィン附けた薬包と、パラフィン附けしない紙薬包の安全度の差は比較的小さい。又実用的な見地からは紙筒にパラフィン附けたものが望ましいので、一応筆者らはパラフィン附けた薬包の安全度を測定することにした。その他の方法等は凡て第 1 報の通りである。

III. 実験試料

実験に用いた試料は凡て礫製乳鉢内にて一回に 5kg 宛、手及び木製乳棒を以つて、なるべく同一の條件で試製したものを用いた。試製の年月日によつて組成中の諸材料の諸元が多少変化するが、それは、多量の爆薬を試製する際には止むを得ないことであつた。薬包は上述の如く普通の場合は爆薬 100g に就き紙筒 1g とパラフィン約 7g から

表 2 パラフィン紙筒薬包の場合の爆薬安全度に及ぼす塩類の影響

試料番号	塩類の含有量 %	酸素価 Weight %	不引火最大薬量 g	引火最小薬量 g
M 1	ナシ	+ 5.71	20	30
M 11	NaCl 1	+ 5.51	150	200
M 12	NaCl 3	+ 5.11	300	350
M 2	NaCl 5	+ 4.71	500	550
M 13	NaCl 7	+ 4.31	500	550
M 14	NaCl 10	+ 3.71	550	600
M 15	NaCl 15	+ 2.71	700	750
M 20	KCl 1	+ 5.51	200	250
M 19	KCl 3	+ 5.11	300	350
M 3	KCl 5	+ 4.71	450	500
M 21	KCl 7	+ 4.31	650	700
M 18	KCl 10	+ 3.71	700	750
M 46	NH <sub>4</sub> Cl 5	+ 2.37	90	100
M 47	NH <sub>4</sub> Cl 10	- 0.96	100	120
M 8	Talc 5	+ 4.71	50	60
M 16	Talc 10	+ 3.71	80	100
M 17	Talc 15	+ 2.71	(殉爆せず)	
M 44	NaNO <sub>3</sub> 3	+ 6.52	100	150
M 4	NaNO <sub>3</sub> 5	+ 7.06	100	150
M 37	NaNO <sub>3</sub> 10	+ 8.42	60	80
M 38	NaNO <sub>3</sub> 15	+ 9.78	60	80
M 45	KNO <sub>3</sub> 3	+ 6.30	150	200
M 5	KNO <sub>3</sub> 5	+ 6.69	100	150
M 39	KNO <sub>3</sub> 10	+ 7.67	60	80
M 40	KNO <sub>3</sub> 15	+ 8.65	40	60
M 41	CaCl <sub>2</sub> 5	+ 4.71	100	150
M 42	CaCl <sub>2</sub> 10	+ 3.71	200	250
M 9	H <sub>2</sub> O 5	+ 4.71	30	40
M 35	H <sub>2</sub> O 7	+ 4.31	(爆轟中断)	
M 36	H <sub>2</sub> O 10	+ 3.71	(不起爆)	
M 6	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 5	+ 4.71	200	250
M 7	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 5	+ 4.71	200	250
M 43	(C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>8</sub> KNa) · 4H <sub>2</sub> O 5.0	+ 3.57	200	250
M 49	ICl <sub>3</sub> 0.3	+ 5.64	-	100
M 50	ICl <sub>3</sub> 1.0 NaCl 3.0 Talc 3.0	+ 4.24	100	150
M 51	ICl <sub>3</sub> 3.0 NaCl 3.0 Talc 3.0	+ 3.84	200	250
M 48	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O 5.0	-	50	60
M 52	CH <sub>3</sub> COONa · 3H <sub>2</sub> O 5.0	+ 1.77	200	250

KNO<sub>3</sub> は NaCl の次に位し、NaNO<sub>3</sub> は K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 等と略同等の効果を示すが混入量が更に増すとタルクや磷酸ソーダ等よりも低い安全度を示す。この特別な

薬包を用いた。試料の比重は成るべく一定になる様努めたが、極端な場合は必ずしも一定にならなかつた。塩類を混入しない Blank Test の基準爆薬はニトログリセリンゲル 8.3% を鋭感剤とし、可燃物として木粉 8% を含み残り 83.7% が硝安である爆薬を用いた。従つて塩類を混入する場合は凡てこの爆薬を基準として硝安と塩類を置換した。塩類は例外を除きよく乾燥したものを用い、60me の篩を全通したものをを用いた。実験に用いた試料の組成を示すと表 1 の通りである。

#### IV. 実験結果並びに考察

前記試料を用いて正起爆による白砲発射の安全度試験を行った結果を表 2 に示す。但し表中不引火最大薬量とは 2~3 回の発射試験でメタンガスに引火を起さなかつた最大薬量を表わし、引火最小薬量とは 2~3 回の試験中 1 回或はそれ以上引火を起した最小の薬量を表わす。それらの決定のための薬量の単位は低安全度の爆薬と高安全度の爆薬の間で 10~50g にとつた。

表 2 の値から塩類の含有量に対する不引火最大薬量をグラフに画くと図 1 の如くなる。

表 2 或は図 1 より同一混入量に於ける塩類の爆薬安全度に及ぼす影響を比較すると安全度を向上せしめる順序は、KCl > NaCl > K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ≒ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ≒ CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>Na · 3H<sub>2</sub>O ≒ C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>8</sub>K · Na · 4H<sub>2</sub>O > CaCl<sub>2</sub> > NH<sub>4</sub>Cl > Talc ≒ Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O > H<sub>2</sub>O である。但し、KNO<sub>3</sub> 及び NaNO<sub>3</sub> は特別な挙動をとり 3% 混入したときは、

挙動に就いては、後に第 3 報に於て報告する予定であるので茲では省略する。

ICl<sub>3</sub> は単独或はタルク 3% に分散せしめ NaCl と併

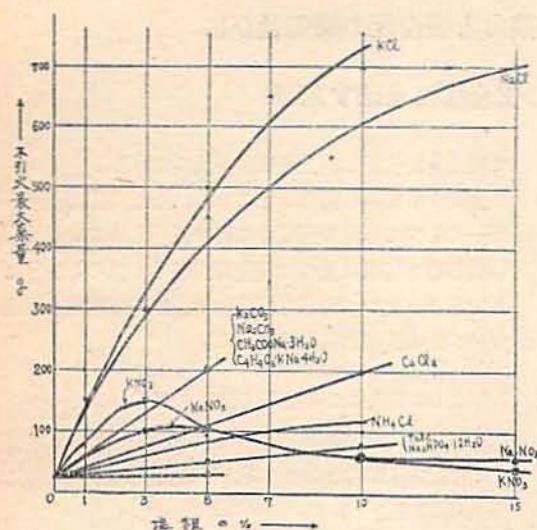


図 1 塩類の混入率とメタンガスに対する爆薬の安全度(正起爆の場合)  
 N.G. gel 8.3% 一定  
 W. M. 8.0% 一定  
 塩類と硝安とを置換

用した場合効果を示さなかつた。

K, Na, 等のアルカリ金属の塩化物(一般にはハロゲン化物)の効果は他の塩類に比し格段の効果を示しているが之は無煙火薬の消焰剤に関する北川博士の研究<sup>1)</sup>結果と似ている。又炭塵爆発の抑制に関する足田博士<sup>2)</sup>吉田氏<sup>3)</sup>及び房村氏<sup>4)</sup>等の研究結果と一致する。之等の塩類は僅かの混入によつて著しい効果を示すので所謂“消焰剤”と言うことが出来よう。之に反して水やタルク等は所謂“減熱剤”的な効果しか示さない様である。従つて之等のものをメタンガス点火の抑制剤或は爆薬自身の抑制剤として混入するには、非常に大量に亘つて混入しなければ効果が無い。ハロゲン化物でも  $\text{CaCl}_2$  や  $\text{NH}_4\text{Cl}$  の如きものは“消焰剤”の効果有余りない。ハロゲンの効果は  $\text{ICl}_3$  で試験したが、食塩と併用した場合、却つて安全度が低下する様な結果で消焰効果はない様である。水素と酸素の反応に対するハロゲンの効果は Hinshelwood<sup>5)</sup>に依り明らかな如くであるし、前記足田氏、吉田氏及び房村氏による炭塵爆発に対するハロゲンの影響も水素と同じく、妨害効果であることが判明している。従つてメタンの場合と炭塵の場合、或は水素の場合では、ハロゲンの効果は異なるものと考えられる。

アルカリ金属の塩類でも、陰イオンの相違によつて例えばハロゲン化物と磷酸化物とでは、全然効果が異なることは注目すべきことである。これは、北川博士の無煙火薬の消焰に関する実験に於ても見られた現象である。

之等の塩類の添加によつて爆薬自身の爆発温度或は火薬力が低下して居り、その影響も同時に考察して行かなければいけないがそれに就いては第3報に於て報告する。

## V. 総 括

本報告に於てはニトログル 8.3%, 木粉 8%, 硝安 83.7% を基準とする非炭酸爆薬に14種類の塩類を硝安との置換に於て混入し、且つ大部分の塩類に就いてその混入率を変化せしめて臼砲発射に於ける不引火最大薬量の測定を行つた結果を報告した。即ち要約すれば

- (i) 同一混入量に於ける抑制効果の大なる塩類の順序は、 $\text{KCl} > \text{NaCl} > \text{K}_2\text{CO}_3 \approx \text{Na}_2\text{CO}_3 \approx \text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O} \approx \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{K} \cdot \text{Na} \cdot 4\text{H}_2\text{O} > \text{CaCl}_2 > \text{NH}_4\text{Cl} > \text{Talc.} \approx \text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} > \text{H}_2\text{O} > \text{ICl}_3$  である。但し  $\text{KNO}_3$  及び  $\text{NaNO}_3$  は混入率と共に効果の傾向が変動する。かくの如く物質により安全度が大差を生ずることは化学的效果を示唆している。
- (ii) アルカリ金属のハロゲン化物は顕著な消焰効果があるが同じハロゲン化物でも Ca や  $\text{NH}_4$  等の塩化物は大した効果がない。又同じアルカリ金属でもハロゲン化物以外との化合物は大した効果がない。
- (iii) ハロゲンそのものはメタンの引火に対しては大した効果が無い様である。

最後に本実験を補佐していただいた皿井勝利、沼田善夫、鈴木幸太郎三君の勞苦に深甚の謝意を表する。

## 文 献

- (1) 村田勉・友石尚之：工火協誌14巻本号第1報
- (2) 北川徹三：未公表、海軍火薬廠での研究報告
- (3) 足田強：工火協誌 11 15  
     ◇ 11 87 (昭25)
- (4) 吉田銀次郎・長田英世：工火協誌 9 133 (昭24. 3)
- (5) 房村信夫：日本製業会誌 63 409 (昭27)
- (6) Hinshelwood; Proc. Roy. Soc. A 130 653 (1931)

## 第3報：爆薬の爆発温度火薬力と安全度の関係並びに

## 食塩、硝曹、硝石の安全度に及ぼす効果

## I. 緒言

第2報に於て各種塩類の混入率と白砲発射に於ける爆薬のメタンガスに対する安全度に関して報告したが本報に於ては、第2報のデータの詳細考察と二、三の補充的実験の結果に就いて述べる。

## II. 実験装置並びに方法

新に行つた実験(補充的)の装置並びに方法は第1報或は第2報と全く同様である。

## III. 爆薬の爆発温度と安全度

第2報の結果に基づき、塩類の混入による爆発温度の変化を計算可能なものに就いて計算し、それらの計算結果と安全度の関係を検討して見ることにする。表1に計算を行つた試料の爆発温度並びに火薬力と安全度の値(第2報より転載)を比較記載する。但し計算に用いた比熱式は、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 及び $\text{O}_2$ に就いては、Beyling-Drekopf<sup>1)</sup>の式を使用し $\text{H}_2\text{O}$ 並びに固体の比熱式は村田式<sup>2)</sup>を使用した。表1に之等の結果を記す。

表1の結果から爆発温度と不引火最大薬量の関係を求め図示すると図1の如くなる。

表1或は図1から明らかな如く、硝酸ソーダの如きそれ自身が可燃物である塩類は例外として、塩類の混入率が増すと共に爆発温度が低下し、その低下に対する安全度の増大をグラフに画くと混入塩類の種類に依つて曲線が著しく異なる。

図1に於て曲線が右側にあるものほど爆発温度に対する安全度が高い。曲線が右側にあるものから順番に記すと $\text{KCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{K}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{KNO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaNO}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、及び $\text{H}_2\text{O}$ の順である。但し、 $\text{KNO}_3$ と $\text{NaNO}_3$ は後述の如く特殊な挙動を示し混入率が3~5%を超えると却つ

て安全度が低下し、上記順序が異つて来る。

上記の事実から明らかなことは、爆薬の爆発温度が同一であつてもその爆薬中に特に混入されている塩類(抑制剤)の種類に依つて安全度が著しく異なることである。従つて塩類の特殊な効果があると言う理由の一つが説明されるわけである。

表1 塩類の混入による爆発温度及び火薬力の変化と不引火最大薬量  
(但し計算可能なもののみ、不引火最大薬量は第2報より)

試料番号	塩類の含有量(%)	不引火最大薬量g	爆発温度 $^{\circ}\text{K}$	火薬力 $\text{kg-l/cm}^2$
M 1	ナシ	20	2275	8016
M 11	$\text{NaCl}$	1	2270	7910
M 12	$\text{NaCl}$	3	2261	7717
M 2	$\text{NaCl}$	5	2251	7512
M 13	$\text{NaCl}$	7	2241	7311
M 14	$\text{NaCl}$	10	2227	7021
M 15	$\text{NaCl}$	15	2202	6542
M 20	$\text{KCl}$	1	2273	7928
M 19	$\text{KCl}$	3	2271	7751
M 3	$\text{KCl}$	5	2268	7569
M 21	$\text{KCl}$	7	2265	7400
M 18	$\text{KCl}$	10	2262	7133
M 46	$\text{NH}_4\text{Cl}$	5	2225	7748
M 47	$\text{NH}_4\text{Cl}$	10	2085	7051
M 44	$\text{NaNO}_3$	3	2241	7731
M 4	$\text{NaNO}_3$	5	2219	7547
M 37	$\text{NaNO}_3$	10	2161	7084
M 38	$\text{NaNO}_3$	15	2101	6628
M 45	$\text{KNO}_3$	3	2246	7737
M 5	$\text{KNO}_3$	5	2227	7549
M 39	$\text{KNO}_3$	10	2178	7093
M 40	$\text{KNO}_3$	15	2126	6643
M 41	$\text{CaCl}_2$	5	2272	7585
M 42	$\text{CaCl}_2$	10	2269	7152
M 9	$\text{H}_2\text{O}$	5	2198	7853
M 6	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	5	2222	7414
M 7	$\text{K}_2\text{CO}_3$	5	2244	7488
M 52	$\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	5	2437	8604

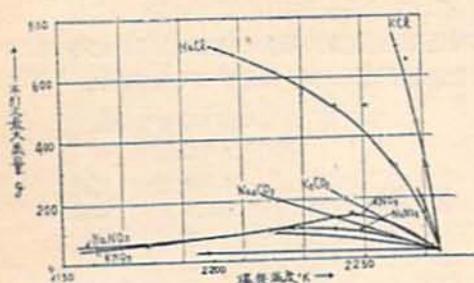


図1 塩類の混入に依る爆発温度の変化と安全度 但し N.G.gel 8.3%, W.M.8.0%, 塩類と硝安置換

一般に爆薬の爆発温度の高い爆薬程安全度が低いと仮定した場合は、之等塩類の効果の大小の順序は上記順序と一致する。但し  $\text{CaCl}_2$  は爆薬に混じた場合、直ちに吸湿するため実爆発温度は理論爆発温度よりも相当差があると考えられる。

#### IV. 火薬力と安全度

次に塩類の混入に依つて変化する火薬力と安全度の関係に就いて述べて見る。表1の結果から塩類の混入に依る火薬力の変化に対する安全度の変化を図に示して見ると図2の如くなる。

図2から明らかなことは、爆発温度の場合と同様混入塩類の種類に依つて爆薬の力が同等でも不引火最大薬量が著しく異なることである。同一火薬力に於て、大なる安全度を与える塩類の順位は  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  である。但し  $\text{NH}_4\text{Cl}$  は5%混入のときと10%混入のときとは不引火最大薬量に大差がなかつたので火薬力-不引火最大薬量曲線が他の塩類と異つた形を示した。

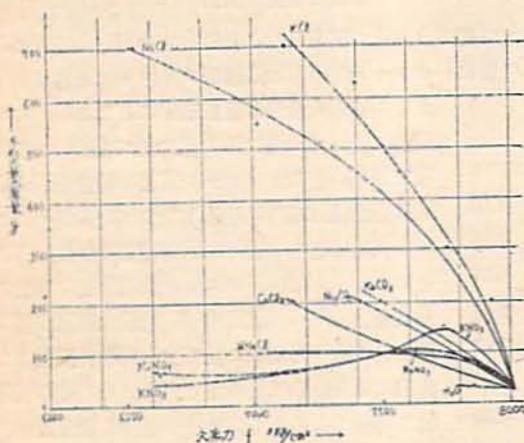


図2 塩類の混入に依る火薬力の変化と安全度 但し N.G.gel 8.3%, W.M.8.0%, 塩類と硝安置換

又  $\text{KNO}_3$  及び  $\text{NaNO}_3$  は混入率が3~5%附近よりも大になると却つて安全度が低下することは前に述べた通りである。

図2から、塩類のうち、火薬力の低下が少い時でも顕著な安全度向上作用を示すもの、即ち“消焰剤”と火薬力の低下の割に安全度に変化を著しく来たさないもの即ち“低下剤”(或は減熱剤)にすぎないもの及び両者の中間的作用を示すものの三者が存在することが判明した。即ち  $\text{KCl}$  や  $\text{NaCl}$  はそれらの混入により威力が僅かしか低下しない場合でも著しく爆薬の安全度を向上せしめるので、“消焰剤”と言うことが出来よう。勿論  $\text{KCl}$  や  $\text{NaCl}$  と雖も低下剤的作用を有しているわけであるが“消焰剤”的作用の方が遙かに大であるので“消焰剤”と言つても差支えないと考える。之に反して  $\text{H}_2\text{O}$  或はタルク(但しタルクに就いては、特徴数の計算が困難であるため、計算を行わなかつたが、威力の低下剤としての作用は食塩等と大差ないと考えられる)はそれらの混入によつて低下した威力に比較して安全度は殆ど変化が無く、従つて単なる“低下剤”と言うことが言えよう。従つて単なる物理的な低下のみでは安全度の向上は困難である。

又  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  及び  $\text{NH}_4\text{Cl}$  等は消焰剤と“低下剤”との中間的な効果を有しているので之等は単なる低下剤でも無く又消焰剤と言ふほどのものでも無いことが判る。言わば“減熱消焰剤”とも言うべきものである。

之等の異つた塩類の効果は何に基因するものであるかと言うことは未だ判明していないが例えば、W.V. Smith<sup>9)</sup>の研究に依れば  $\text{H}_2$  と  $\text{O}_2$  との反応に於ける連鎖担体即ちH或はOH等の器壁に於ける消滅が器壁の内面を覆つた塩類の種類によつて著しく変化することを述べて居り、その理由としては、之等連鎖担体の器壁に対する衝突の結果、担体が器壁面に吸着される確率が器壁面の塩類によつて異なるからであるとしている。而して担体の種類によつて吸着される確率が同一の塩類に対しても著しく異なるのである。又、山崎氏等の研究に依つてメタンガスに対して顕著な効果を示す塩類でも炭酸に対しては、余り効果が無いものがあることが判つているが、之等の事実から、爆薬中に混入された塩類がメタンガスの燃焼爆発を抑制する作用はメタンの酸化連鎖担体の吸着による消滅化にあるのではないかと定性的に考えられる。然し爆薬の爆発する時の条件によつて energy の集中地点に之等の塩類の雲が充分拡散していない様な場合には、之等の効

果は無いので当然消焰剤の機能も単なる物理的な抑制効果のみに終るわけであつて、その様な條件に匹敵するのが別報で述べた様な白砲内での逆起爆或は懸吊爆発試験法である。

以上述べた如く混入塩類の種類によつて、同一安全度の爆薬を創製するにも種々なる威力の爆薬を得ることが出来ると言ふことになる。従つて威力の大なる炭酸爆薬を創製するには、現在用いられている如きKCl或はNaClを爆薬中に混入することは望ましいことである。

#### V. 食塩の混入率と安全度並びに包装物の影響

第1報に於て爆薬の酸素バランスが変化すると爆薬の安全度に及ぼす包装用パラフィン（或は紙）の影響が逆転することを述べた。

また第2報に於ては、食塩の如く直接酸素バランスに影響を与えない物質を爆薬に混入する場合、爆薬の酸素バランスの変化は硝安の減少によるものだけと言ふことになり、大した変化ではないので実用的な意味もあり試験薬包は凡てパラフィン附薬包にしたことを述べたが筆者らは更に爆薬自体の安全度により近い結果を知るために食塩の混入率を0から20%まで略2%置きに変化させて爆薬を試製し、それ等を可燃物の量の少ないライファン筒（約1g/100g爆薬）に装填して安全度を試験し、第2報に於けるパラフィン紙筒薬包の安全度と比較検討すると共に食塩の混入による威力の低下と安全度の増大とを併せて考察した。ライファン薬包に装填して試験した試料の組成は表2に示す通りである。

表2に示した如く食塩の含有量は0~14%までは2%置きに混入し、14%の次には20%混入して試料を調整し、1本の重量が約1gのライファン筒(32mm)に

表 2

試料番号	N.G.	N.C.	W.M.	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NaCl	Δg/cc
No. 1	8.0	0.3	8.0	83.7	0	0.83
No. 2	8.0	0.3	8.0	81.7	2	0.85
No. 3	8.0	0.3	8.0	79.7	4	0.87
No. 4	8.0	0.3	8.0	77.7	6	0.87
No. 5	8.0	0.3	8.0	75.7	8	0.87
No. 6	8.0	0.3	8.0	73.7	10	0.90
No. 7	8.0	0.3	8.0	71.7	12	0.90
No. 8	8.0	0.3	8.0	69.7	14	0.92
No. 9	8.0	0.3	8.0	63.7	20	0.95

装填して安全度を測定した。この場合の薬包の可燃物の重量は普通包装の場合の約半である。之等の試料の安全度測定結果は表3に示す如くなつた。

表 3 食塩の混入率と安全度  
(ライファン薬包)

試料番号	食塩量 %	不引火最大薬量 g	引火最小薬量 g
No. 1	0	20	30
No. 2	2	80	100
No. 3	4	200	250
No. 4	6	400	450
No. 5	8	400	450
No. 6	10	450	500
No. 7	12	500	550
No. 8	14	500	550
No. 9	20	550	600

表3の値及び表1中の食塩に対する値をグラフと比較記載すると図3の如くなる。

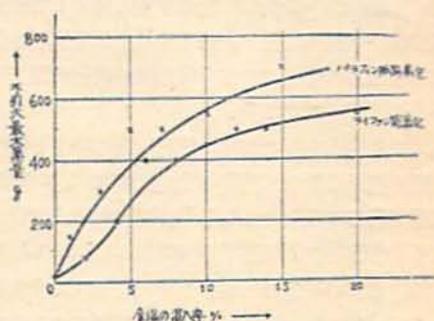


図 3 食塩の混入率を変えた場合の薬包材質の安全度に及ぼす影響  
但し N. G. gel 8.3%, W. M. 8.0%,  
食塩と硝安を置換

図3より先づ明らかなことは食塩を混入して行くと常にパラフィン附けた薬包がライファン薬包よりも大なる不引火最大薬量を示すことである。この理由に就いては既に第1報に於て述べたと同様である。次にライファン薬包の場合不引火最大薬量曲線は略“S”字形となつて居るがパラフィン紙筒薬包の場合は二次曲線となつて居ることであるが、之はパラフィン紙筒薬包の場合の食塩含有量0~5%附近の不引火最大薬量が第2報に於て述べた実験に於て少し大きく出過ぎた傾向にあるためであらうと思う。その後の補足的な実験によるともつとその部分の安全度は低いことが判つた。従つてパラフィン紙筒の場合でも眞実は“S”字形曲線を示すであらう。と

ころでそうであるとするパラフィン紙とライファン筒の場合の不引火最大薬量の差は食塩の混入率が増すと共に増す傾向にあり第1報の結果と良く一致し又筆者らの考察が正しかつた事が判る。食塩の含有量が20%のとき即ち市販の硝安ダイナマイトの附近では、その差は実に150~200gもある様である。従つてパラフィン紙筒の硝安ダイナマイトが600gで合格するのにライファン薬包に装填した硝安ダイナマイトが600gの検定試験に不合格となり400gで合格した事実も肯定される所である。

ライファン薬包の場合の“S”字形曲線は、爆薬自体の安全度に近いものを示していると考えて良いから之に就いて考察すると、先ず食塩の混入率が0から2%附近までは大した変化はないが2~8%の間で急速に不引火最大薬量が増大し8~20%殊に14~20%の間では増大が僅かである。此の曲線の特徴は炭鉱爆薬によるメタンガスの爆発が単なる熱爆発でなく連鎖分岐爆発が強く表われていることを示している。又定性的に言つて塩類の連鎖反応切断作用があることをも示していると考えられる。

次にライファン薬包の場合に於ける爆薬の威力と安全度の関係をグラフに求めて見ると図4の如くなる。

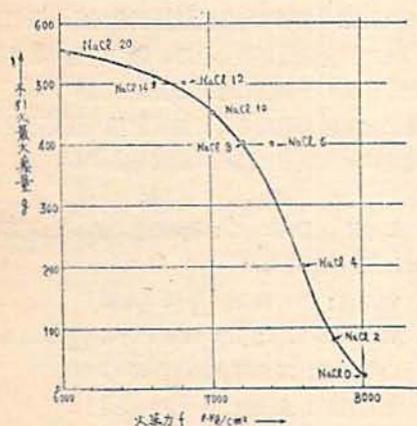


図4 火薬力と不引火最大薬量の関係

{但し N.G.gel 8.3%, W.M. 80%  
NaCl と  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  置換による f 変化, ライファン薬包}

図4から明らかな様に筆者等が試験した系列の爆薬にあつては、食塩の混入量が12~14%附近よりも増大しても威力の低下の割に安全度は高くなる事が判る。即ち図4に於て f が 8,000 から 7,000  $\text{kg/cm}^2$  に低下することにより不引火最大薬量は 20g から 45g に増大するのに対して f が 7,000 から 6,000  $\text{kg/cm}^2$

に低下しても不引火最大薬量は 450g から 550g に増大したに過ぎない。即ち前者は 1,000  $\text{kg/cm}^2$  の f の低下に対して 430g の絶対値を以て安全度が増大したのに反して後者は同じ 1,000  $\text{kg/cm}^2$  の f の低下に対して僅か 100g の絶対値を以て安全度が増大したに過ぎずその割合は 4.3 : 1 である。従つて威力の低下をも併せて安全度を確保するためには、食塩等の消焰剤の含有量は一考を要するものがあるであろう(但し他の安全度試験法から検討する必要のあることは論を俟たない)。

## VI. 硝酸ソーダ及び硝酸カリの特殊な効果

既に第2報に於て示した如く硝酸ソーダ及び硝酸カリを爆薬に混入した場合普通のパラフィン紙筒薬包で安全度を試験すると不引火最大薬量が混入率3~5%のとき最大となり混入率を更に増すと減少して行く。この硝酸ソーダ及び硝石の特殊な効果はそれらの塩類が自身で酸化剤の役目をしそのため薬包と反応して安全度に変化を与えることに起因すると考えられるのでその点を確めるため、ライファン薬包で硝曹及び硝石の効果を試験した。そして之等の試料に就いて得られた安全度をパラフィン紙筒の場合の結果と比較記載すると表4の如くである。

表4 パラフィン紙筒薬包に於ける硝曹並びに硝石の安全度に及ぼす影響

試料 番号	塩類含有量	パラフィン紙筒薬包		ライファン筒薬包	
		不引火最大薬量	引火最大薬量	不引火最大薬量	引火最大薬量
No.1	NaCl 3%	100g	150	100g	150
No.2	NaCl 5	100	150	150	200
No.3	NaCl 10	60	80	150	200
No.4	NaCl 15	60	80	200	250
No.5	$\text{KNO}_3$ 3	150	200	150	200
No.6	$\text{KNO}_3$ 5	100	150	150	200
No.7	$\text{KNO}_3$ 10	60	80	100	150
No.8	$\text{KNO}_3$ 15	40	60	150	200

表4の如く不引火最大薬量の決定は 100g 以上の薬量では 50g, 100g 以下の薬量では 20g 単位で行つたので正確な不引火最大薬量は明らかでなく、之をグラフに表わすことは困難であるが一応曲線を書いて見ると図5の如くなる。

表4或は図5から明らかな如くパラフィン紙筒薬包の場合には硝曹及び硝石共に3~5%混入したとき最大安全度を示し、それ以上混入すると却つて低下するの

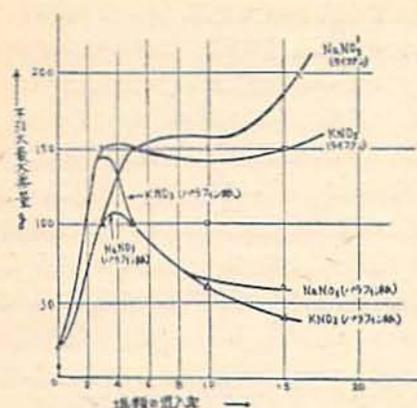


図 5 パラフィン紙筒薬包とライファン筒薬包に於ける硝酸ソーダ及び硝酸カリの安全度に及ぼす影響の比較

反してライファン薬包の場合は混入率が増すと共に安全度も増して行く。硝石10%を混入した試料 No. 7は150gで引火を起したが、之は実験の誤差である様に思われるので実際は図5の曲線は少し違つて来るかも知れない。とにかく硝石及び硝曹はその混入によつて実際は減熱的或は消焰的效果を表わすのであることが判る。従つて前にも述べた如くパラフィン紙筒薬包に於て安全度の低下を来たすのはその酸化剤としての性質の方が強く表われるからであると言ふことが言えるであろう。北川博士<sup>3)</sup>の無煙火薬の消焰剤に関する研究に於て、硝石は始め消焰効果があるがその混入量が増大すると却つて爆発焔が大きくなると言ふ事実と筆者等の炭酸爆薬に関する実験結果は相似の関係にある。

## Ⅶ. 結 論

本報告に於ては白砲から正起爆による爆発によつてメタンガスに対する安全度を試験した結果に就いて述べたがそれらを總括すると大体的な如くなる。

- (i) 爆薬に混入した塩類の種類が異なる場合爆薬の爆発温度と安全度との間には逆比例関係の如き特別な関係は見出せない。即ち物質による特性は優勢的で

あつて化学作用をはつきり認め得る。

- (ii) 爆薬に混入した塩類の種類が異なる場合爆薬の威力*f*と安全度との間には規則正しい関係は見出せない。
- (iii) 爆薬の威力と安全度を考慮した場合最も効果のある塩類はアルカリ金属のハロゲン化物であつて之等は眞の意味の“消焰剤”と言ふことが出来るが之に反して水やタルク等は、単なる物理的な“低下剤”(減熱剤)に過ぎない。又炭酸カリ、炭酸ソーダ、硝石、硝曹、塩化カルシウム及び塩化アンモニウム等は中間的で言わば“減熱消焰剤”である。
- (iv) 同一塩類を爆薬に混入して爆薬の酸素バランスに変化を来たす場合薬包に大量の可燃物が含まれていると安全度に対する塩類の眞の効果が判らないので可燃物を含まない薬包或は可燃物の少ない薬包を用いて試験する必要がある。
- (v) 食塩を爆薬に混入した時は混入率が2~8%の間で顕著な安全度の上昇が見られるが14~20%では著しい上昇は見られない。従つて威力と安全度の双方を考慮するとき混入すべき食塩の量に就いては一考を要するであろう(但しNGgel 8.3%を鋭感剤とする硝安系ダイナマイトに於てである)。
- (vi) 硝酸ソーダ及び硝石は爆薬に混入した場合、安全度に及ぼす効果は“減熱消焰剤”的效果と酸化剤の効果との総合効果が表われる。即ち少量のときは消焰効果があるが多量になると効果が減少する。
- 最後に本実験を補佐された皿井勝利、沼田善夫並びに鈴木幸太郎の諸君に深甚の謝意を表する。

## 文 献

- (1) Beyling Drekopf; Sprengstoffe und Zündmittel (1936) 43
- (2) 村田勉; 工火協会誌 9 65 (昭23)
- (3) W. V. Smith; J. Chem Phys. 11 110(1943)
- (4) 山崎隆重; 工火協会誌 12 47 (昭26)
- (5) 北川徹三; 未発表

## 第4報: 懸垂爆発試験に於ける二・三の実験結果

### I. 緒 言

第1報~第3報に於て白砲発射試験法による爆薬の安全度に就いて述べ、又別報<sup>1)</sup>に於て懸垂安全度試験

の抗道直径の影響に就いて述べ炭酸爆薬の大部分は懸垂試験に於て、メタンガスに引火を起す因子として衝撃波及びその反射波の影響を有して居り、特殊な型の爆薬、即ち懸垂状態に於て高爆速を有する爆薬はその

爆発によつて生ずる火焰か或は単独衝撃波等の因子によつて、メタンガスに引火を生ぜしめることを述べたが筆者らは之等の報告に先立つて懸垂条件の種々異なる場合に就いての安全度試験を実施していたのでそれらの結果をまとめて此処に第4報とする。

## II. 実験装置及び方法

この報告に於て述べる実験は凡て内径 1.2m 長さ 1.7m 米の爆発室を有し全長 3.7m の鋼鉄製肉厚約 10 耗の試験坑道を使用して行つたものである。この試験坑道に就いては既に第 1 報に於て述べたので茲では省略する。但し実験条件を変えた場合に就いては実験の説明の所でその都度述べることにする。実験方法に就いては別報<sup>2)</sup>に於て述べたと同様である。但しメタンガスの濃度の変化の影響を見る実験の場合は所期の濃度に達したときに直ちに起爆を行う点だけが違つている。

## III. メタンガスの濃度と爆薬の不引火最大薬量

爆薬の爆発に依るメタンガスの点火がメタンの濃度によつて影響されることは既に知られている通りであるが、例えば我が国に於ても札幌石炭坑爆発予防試験所の報告<sup>2)</sup>に依ると懸垂爆発試験に於て硝安爆薬 112.5g を用いた場合のメタンガス点火限界は坑内ガスに於て 7.70~9.02% であり、天然ガスに於て 7.70~9.48% であることが報ぜられている。次に硝安ダイナマイト 112.5g × 3 本を用いた場合点火限界は、坑内ガスが 5.0~12.0% で天然ガスが 5~12.3% であると言つてゐる。この様にメタンの濃度が或範囲内にあるときにのみ一定量の爆薬によつて、メタンガスが点火されることが明らかである。又メタンガスの種類によつても多少点火限界が異なることが明らかである。この報告によれば天然ガスの方が坑内ガスよりも点火可能上限濃度が大きい。

Taffanel<sup>3)</sup> は 12% のニトログリセリンを含むグリゾナイトを 40 耗白砲より発射してメタンの濃度を変えて試験した場合坑内ガスで 8~8.5% が良い結果 (均一な) を示すと報じている。英国<sup>4)</sup>に於ては、メタンの場合 9.25% が最も爆薬によつて引火を起し易いと言つてゐる。

各国に於ける炭鉱爆薬の検定試験に於けるメタンの濃度も国によつてまちまちである。例えば英国の Buxton に於ては 9±0.25%、米国の Bruceton に於ては 8%、独逸は 8~9% でベルギーは 8~8.5% 等である。

即ちこの様に各国で試験する場合のメタンの濃度が異なるのは夫々使用するガスの組成が異なるため爆薬によつて点火される最適濃度が異なるためであると考えられる。

筆者等が実験に使用したガスは天然ガスであつてその組成は、メタン 92.7、CO<sub>2</sub> 7.0 及び O<sub>2</sub> 0.3% であつて新潟県産出のものである。この天然ガスに就いて筆者等は、最も点火を起し易いメタンの濃度を求めるため 3 種類の爆薬、即ち硝安ダイナマイト及びもみぢダイナマイトの炭鉱爆薬と非炭鉱爆薬として新桐ダイナマイトを選びメタンガスの濃度と不引火最大薬量の関係を求めて見た。その結果は図 1 の如くなつた。

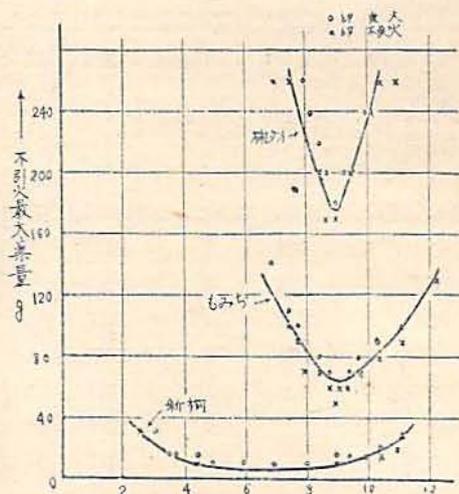


図 1. メタンガス中のメタン濃度の変化に対する不引火最大薬量の変化

図 1 から硝ダイ及びもみぢは明らかに 9% 附近に不引火最大薬量曲線の谷があり従つてこの附近が最も点火を起し易いことが明らかである。新桐の場合は 10g の小薬量でも点火を起したのでそれ以下の薬量では余りに小薬量で完全に起爆されないかも知れないを考慮実験を行わなかつたから明確な曲線の谷を求められなかつたが大體 7~8% の間にあるものと思われる。新桐の場合は相当メタンの濃度が少ないときでも点火を起すが、その点火の判定が濃度が少ないときには困難であり、夜間実験を行つたがそれでも点火、不点火の判定がはつきり出来なかつた。

吾々が行わんとする炭鉱爆薬の安全度試験に於ては筆者らの用いんとする天然ガスに関する限り 9% のメタン濃度が最も点火し易い濃度であることが判明した。そこで今後の実験は凡て 9±0.2% で行うことにした。

#### IV. 懸垂試験に於ける爆薬の安全度に及ぼす食塩の影響

白砲発射安全度試験法を採用する場合、爆薬中に混入した塩類によつて安全度が著しく変化し、塩類は所謂“化学的消焰剤”と“減熱消焰剤”及び“物理的減熱剤”に区別されることを第3報で述べたが、それより前に筆者等は、それらの塩類を混入せる爆薬の懸垂安全度試験を実施して白砲発射に於けると、全く異つた結果を得た。今その中で特に食塩の場合のみを代表的な例として記述して見る。

第3報と同様ニトログリセリン8.3%, 木粉を一定にとり残余を硝安と食塩の置換により変化せしめた一連の爆薬を試製しそれらの爆薬の懸垂安全度を測定した。

供試爆薬の組成は表1の通りである。

表 1.

番号	N.G.	N.C.	W.M.	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NaCl
1	8	0.3	8	83.7	0
2	8	0.3	8	82.7	1
3	8	0.3	8	80.7	3
4	8	0.3	8	78.7	5
5	8	0.3	8	76.7	7
6	8	0.3	8	73.7	10
7	8	0.3	8	68.7	15

次に表1に掲げた爆薬の懸垂試験に於ける不引火最大薬量と引火最小薬量及び紙筒爆速の値を表2に記す。

表 2.

番号	NaCl	紙筒爆速 m/s	不引火最大薬量 g	引火最小薬量 g
1	0	2390	40	50
2	1	1930	90	100
3	3	1840	120	140
4	5	1940	90	100
5	7	1980	100	120
6	10	1880	100	120
7	15	1810	100	120

但し紙筒爆速は、32mm×100gの薬包を2本直列に並べて第1薬包より起爆した場合の第2薬包の平均爆速を示す。又懸垂試験に用いた装置は内径1.2米の試験坑道である。

表2から明らかな様に白砲発射の場合と全く異り食

塩の影響は極めて小さく、不引火最大薬量の比率は食塩の含有量が0のときと15%のときで1:2.5に過ぎない。之に反して第3報で述べた如く白砲発射に於ては食塩0のときと、食塩15%のときの不引火最大薬量の比率は1:35である。又白砲発射の場合は食塩の混入量と共に不引火最大薬量も規則正しく増大するのに対して、懸垂試験の場合はそうでない。この理由は白砲発射の場合は比較的密度大なるため爆薬の爆轟が懸垂の場合に比し、より完爆に近いためであると考えられる。懸垂試験に於ては、必ずしも“消焰剤”の含有量によつて安全度が決定されるのでなく爆薬の調整に用いる材料の品質とか調整の条件による爆速などが相当影響を与えることが表2より明らかである。

以上の点より懸垂試験に於いては塩類の中で所謂“消焰剤”と“減熱剤”の区別は判然とせず一般的に言つて“減熱剤”的な効果が主体となつていることがこの塩類の影響も併せて考察したとき推定せられる。この推定は現用炭酸爆薬の凡てが検定試験に於て400g以上の薬量で不引火と云う結果を得ているにも拘らず懸垂試験に於ては30~200gでメタンガスの引火を起す事実(第3報)と一致する。即ち懸垂爆発に於ては、爆薬中に混入せられた塩類がメタンガスの点火点に於て充分作用出来ない状態にあると考えられる。然しその理由が消焰剤の分散に関する空間的分布に起因するものであるか或は時間的分布に起因するものであるかは今後の研究に俟たねばならない。

#### V. 坑道内に於ける爆薬の懸垂位置の影響

懸垂試験に於いて坑道直径により不引火最大薬量が著しく影響を受ける炭酸爆薬がありそれらの爆薬によるメタンガスの点火の因子は主として爆薬から生ずる衝撃波及びその反射の作用にあるであろうことを前に述べたが更にそれより先に筆者らは、衝撃波及びその反射の影響を見るために二、三の実験を行つて居りその中の一つとして内径1.2米長さ1.7米の爆発室を有する試験坑道内で懸垂位置を変えて爆薬を爆発せしめてメタンガスに点火せしめる実験を行つた。

##### (イ)の方法

この方法は図2に示す如き方法である。

即ち爆発室の中心軸と爆薬の軸の中心が一致する様にし、坑道の閉端面と爆薬の雷管の

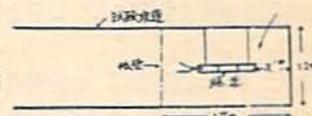


図 2.

ついていない方の薬包端との距離 $x$ cmを変化せしめて

懸垂爆発せしめ、引火率を測定した。用いた爆薬は試製爆薬で薬量は400gである。結果は表3に記す。

表 3.

距離 $x$ cm	10	30	50	60	80	100
引火率	$\frac{2}{3}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$

即ち距離  $x$  が80cm以上になると引火が起らないが30cm以下であると良く引火する。この事実はこの試料によるメタンの点火が火焰或は粒子による点火でなく反射衝撃波のためであろうことを推定させる根拠となる。

(ロ)の方法

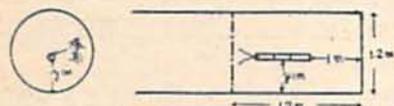


図 3.

この方法では雷管のついていない方の薬包端と坑道閉端との距離を1mとし坑道下端と薬包軸中心との距離  $y$  を変化せしめて懸垂爆発させメタンガスに対する引火率を測定した。使用爆薬は試製爆薬で(イ)法に用いたものと同じである。尚薬量は400gであつた。試験結果は表4の如くなつた。

表 4.

距離 $y$ cm	20	30	35	40	60
引火率	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$

この結果から  $y$  が35cm以下になると急に引火を起し易くなり30cmで100%の引火率となるが40cm以上では0である。尚坑道内径が1.2mであるから  $y$  の最大は60cmである。この結果は(イ)法に於けると同一傾向を示すものである。従つて爆薬からの衝撃波の反射波の影響があることは略々間違いないと思われる。次に  $x$  と  $y$  方向の何れが大なる影響を有しているかを見るため表3及び表4の値からグラフを書いて見ると図4の通りである。

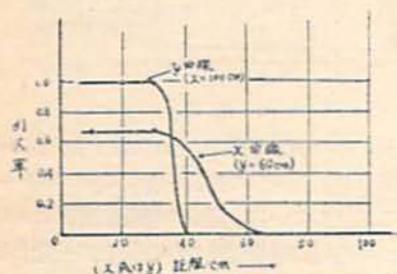
図 4.  $x$  及び  $y$  の変化と引火率

図4の  $x$  及び  $y$  の両引火率曲線を比較して見ると  $x$  曲線の方は、曲線が  $y$  曲線に比しゆるやかであつて両

曲線は途中で交叉している。曲線の交点、即ち  $x=36$ cm  $y=60$ cm の点と  $x=100$ cm  $y=36$ cm の地点に爆薬を吊したときの引火率は相等しいことを示している。又最大引火率は  $y$  曲線の方では  $y=30$ cm 以下で1.0となる。即ち引火100%となるが  $x$  曲線の方では  $x=30$ cm 以下で0.67で一定となる。即ち  $y$  の変化に依る方が  $x$  の変化によるよりも引火し易い状態になり得る。即ち薬包の端面方向よりも側面方向に阻止物がある場合の方が危険である様である。但し坑道の側壁は円形であることを考慮しなければならぬ。即ち円からの反射衝撃波は平面からのそれに比べ集中し易いのである。

## VI. 試験坑道内に阻止物を置いた場合の懸垂爆発によるメタンガス引火試験

(V)に於て述べたと略同様な実験であるが異なるのは(V)に於ては、試験坑道内に於て爆薬の懸垂位置を試験坑道壁に対して直接相対的に変化せしめて、爆発試験したが、茲では試験坑道内に鉄板を置き、それに対する爆薬位置を変化せしめて試験した。その装置を示すと図5の通りである。

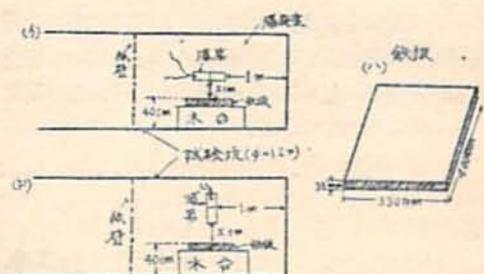


図 5.

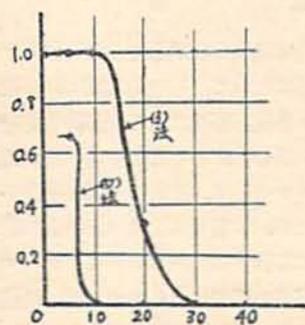
図 6.  $x$  の変化と引火率

図5の(ハ)に示す如き鉄板を(イ)及び(ロ)図の如く試験坑道内に置き、爆薬の懸垂方法を(イ)及び(ロ)図の如く2種とする。(V)の方法では  $x$  及び  $y$  が夫々変化するため爆薬の側面方向と端面方向の阻止物の影響を厳密に見ることが出来なかつたが、この方法では(イ)法及び(ロ)法、共に爆薬の中心を坑道器壁に対して略同一にして且つ側面及び端面の

方向にある鉄板の影響を見ることが出来るわけである。

この方法に於て一号特種のサイズ32mm×112.5g薬包2本を直列にして懸垂爆発せしめた場合の結果は表5の通りである。

距離 cm	方法	
	(イ)法	(ロ)法
0	2/3	-
5	1/1	2/3
10	2/3	2/3
20	1/3	2/3
30	2/3	-
40	2/1	-

表5の値を図に示すと図6の通りである。図6から明らかな様に(イ)法の方が(ロ)法に比し引火率が大きい。即ち換言すれば爆薬の端面方向よりも側面方向に鉄板がある場合の方が引火を起し易いと言ふことで(V)の結果と一致する。又之等の結果は前報に於て述べた坑道直径の影響と同じ傾向を有するもので炭鉱爆薬の中の或型のもは懸垂爆発に於て明らかに、反射衝撃波の介入によつてメタンガスを点火せしめることを意味するものである。

## Ⅶ. 総括

本報告では懸垂引火試験に於けるメタンの濃度と爆薬の引火最大薬量に及ぼす影響、坑道内に於ける爆薬懸垂位置の影響及び坑道内に阻止鉄板を置いた場合の懸垂爆発試験の結果に就いて述べたがそれらの結果をまとめると次の如くなる。

- i) 炭鉱爆薬の懸垂爆発に於て最も点火を起し易いメタンの濃度は筆者らの用いた天然ガスの場合9%である。
- ii) 新開ダイナマイトに就いては最も点火し易いメタンの濃度は厳密に測定出来なかつたが大體7~8%附近である。
- iii) 懸垂試験の様な条件では爆薬に混入した塩類の顕著な消焰効果は認められず、塩類の効果は主として物理的な効果即ち威力低下による安全度の向上の様である。即ち白砲発射試験の場合と全く異なる。
- iv) 爆薬の近傍に阻止物がある場合は、或種の爆薬は引火率が影響を受ける。従つてこの様な爆薬のメタンガス点火の主因は衝撃波の反射波であると考えられる。
- v) 阻止物の影響は爆薬の端面方向よりも側面方向の方が大である。即ち同一薬量で爆薬の側面近くに阻止物がある場合は、引火率が100%であつても側面近くに阻止物がある場合は100%以下である。

## 文 献

- (1) 村田勉・友石尚之：白砲ガスポケット白砲及び懸垂爆発に於ける炭鉱爆薬の安全度試験成績 工火協会誌 14, 38 (昭 28)
- (2) 札幌石炭坑爆発予防試験所研究報告 第3号
- (3) Taffanel: Z. S. S. 5, 333 (1910)
- (4) S. M. R. B paper No. 53

## 第5報 ガスポケット白砲による実験

### I. 緒言

別の報告<sup>1)</sup>に於て炭鉱爆薬の懸垂爆発によるメタンガスの点火は炭鉱爆薬によつて、その火焰或は、単独衝撃波で行われるものと坑道器壁による衝撃波の反射集中波によつて行われるものがあることを述べた。又反射衝撃波のうち、マツハ波は、点火の主因ではない様であることも述べたが、本報告に於ては、坑道内径が極端に小さい場合に相当する内径250mmのガスポケット白砲中に吊した爆薬の爆発によるメタンガスの点火に就いて述べ先の報告の結果と比較検討した。

### Ⅱ. 実験装置及び方法

実験に用いた装置の概略は、図1に示す通りである。

図1に示した如く装置は内径1.2m, 爆発室長1.7

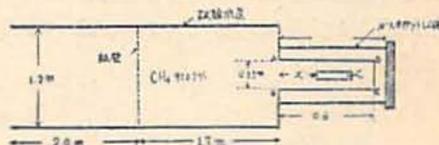


図 1.

m, 全長3.7mの試験坑道と、それに接する内径25cm, 深さ60cmの断面円形の穿孔を有するガスポケット白砲とから成立している。爆薬の懸垂位置はガスポケット白砲の中心線と爆薬包軸の中心線とが一致する様に穿孔前面、即ちABを結ぶ線と薬包の雷管のついてない方の薬端との距離 $\phi$ を変化させる。メタンの濃度はBlank Testに於て白砲内部まで略坑道の爆発室と同

一であることを確認している。雷管の位置は図の如く穿孔の奥側であつて所謂“inverse shot”で発射する。その他の條件は別報りと同様である。

### III. 実験結果並びに考察

ガスポケット臼砲内に爆薬を懸垂した場合のメタンガスの点火がマツハ波によるものであるかどうかを見るために図1の臼砲孔口AB面を特にハトロン紙で遮断し、孔内にガスを入れない様にした場合とそうでない普通の場合に就いて $x$ を色々に変えて試験した。AB面を遮断しない場合は、先に述べた如く爆発室とガスポケット臼砲孔内部のメタン濃度は均一であるから爆発室内のメタン濃度を $9 \pm 0.2\%$ にすればガスポケット臼砲の穿孔内部も略それと同等である。次にAB面を特に遮断して爆発室にメタンを導入した場合は爆発室のメタン濃度を $9\%$ にしたときのガスポケット臼砲孔内部のメタン濃度は $1 \sim 2\%$ であつた。

表 1. 砲口遮断の場合の一号特硝によるガスポケット臼砲引火試験結果 (サイズ 32mm×112.5g : 1本)

AB面と薬端との距離	引 火 率	
	AB面開放の場合 (穿孔内ガス9%)	AB面遮断の場合 (穿孔内ガス1~2%)
5	0/2	0/2
7	0/3	1/3
8	4/4	1/1
10	2/2	4/5
15	3/3	2/2
20	3/3	2/2
25	-	2/2
30	-	2/2
35	-	2/2
40	2/3	0/2

実験結果は表1或は図2に示す通りである。但し、使用爆薬は一号特硝で薬量は112.5gである。

この実験結果は非常に興味のあるものである。即ちAB面開放即ち爆発室のメタンガスがポケット臼砲穿孔内部にも自由拡散している場合は $x$ が7cm以下では引火率は0であるが8cm以上になると急に100%となり、 $x$ が40cmに至るまで100%である。然るにAB面に紙を張つて遮断した場合は引火率が0から100%に至る経過がよりゆるやかであつて $x$ が10cmのときに80%で $x$ が15cmのときに始めて100%となる。然もこの場合は $x$ が40cmになると再び引火率が0になる。この実験結果から推定されることは次の如きものである。

即ち先づAB面を遮断した場合前述の如く懸垂爆薬

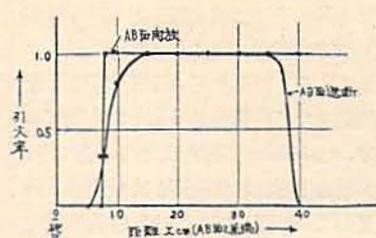


図 2. ガスポケット臼砲による試験成績  
1号特硝 32mm×112.5g 1本

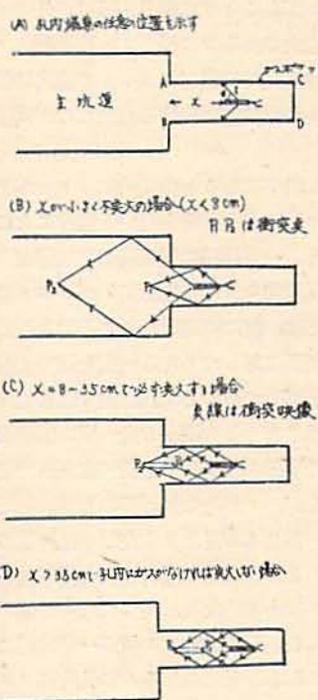


図 3.

の近傍にはメタンは $1 \sim 2\%$ しか存在していないにも拘らず、メタンが点火されるという事実は、明らかにメタンの点火が外方の坑道爆発室に於て生ずることを示している。即ち砲孔の中で点火が起つていないのである。何故ならば第四報に於て述べた如く、硝ダイの様な炭鉱爆薬では $1 \sim 2\%$ のメタンを点火せしめることは、通常薬量に於てはあり得ないからである。そこで若しも爆薬から出た衝撃波の反射波によつて生じたマツハ三重点に於て点火を生ず

るものであるならば穿孔内にメタンがないときは、 $x$ が小なるときに点火が起り $x$ が大となつて、マツハ三重点が、穿孔内部に生ずる様になるので点火は起らない筈であるのに、実際は $x$ が7cm附近より大になると点火が起り35cmに於ても尙引火率は100%である。この事実から、一号特硝の懸垂爆薬によるメタンガスの点火はマツハ三重点で起るものではないと言ふことが明らかである。即ち先の報告で述べた結論と一致した結果を得た。次にAB面に紙を張らず開放にした場合は失張り $x$ が8cm附近より引火率が100%となるが今度は $x$ が40cmのときでも100%引火する。そこでこれより推定されることは、穿孔内面に仮に点火源が生じ得る様な energy の集中があつても前述の如く穿孔内にメタンが殆どないときは点火源は生じ得ないが、

孔内にメタンがある時はそこに点火源が生じ、それが主坑道（爆発室）の方に伝播し遂にガス爆発に至るのであることである。そうであればAB面開放のときは、点火源が主坑道でなく穿孔内部で生じても全ガスの爆発となるので、 $\alpha$ が40cmの様な大なる場合でも、穿孔内部で点火が起ると考えれば説明が充分出来るわけである。之に反してAB面遮断の場合は穿孔内部では点火源が生じ得ないから $\alpha=40$ cmのときに点火が生じないのは、主坑道内でメタンを点火させるに充分なenergyの集中が起らなかつたと解釈すれば良い。即ち穿孔内にメタンがあるときは穿孔内或は、外のメタンのどちらかが点火されるのに反して、穿孔内にメタンがないときは穿孔内では絶対にメタンの点火は起り得ない筈であるから主坑道に於ける点火だけが問題となるのである。

次に $\alpha$ が5~7cm以下になると穿孔内にメタンがあると同時に拘らず常に点火が起らないと言うことについて考えて見よう。一号特硝の懸垂爆発では爆薬から生じた衝撃波（反射波を含めた意味で）がメタン点火の主因であることは、既に略確実なところであるが衝撃波が爆薬柱の側面に対して $\theta$ なる角度を以つて爆薬周辺の媒体中に伝播して行くとすれば図3に於て $\alpha$ が或値以上のときは、少くとも側面方向へ出た衝撃波Iは全部穿孔内部で反射され穿孔中心線の或点域で交叉すると考えられるが、 $\alpha$ がその値以下のときは側面から出た衝撃波の一部はAB面よりも左方の主坑道の方へ逃れてしまうので穿孔内面で反射された衝撃波の集中地点のenergyは小さくなり、従つて点火が起らなくなると考えられる。その様な $\alpha$ の値が一号特硝に就いては5~7cmであると考えられる。穿孔内にメタ

ンがないときでも $\alpha$ が5~7cmより大であつて35cm以下のときに点火が起るのは、穿孔内面で一度反射された反射衝撃波がABより左のメタンのある主坑道内に於て集中衝突しそこで点火が起ると考えられる。然し $\alpha$ が40cmのときは反射して集中した高密度のエネルギー部分が砲孔内であるため点火を生じなくなるものと考えられる。

試験薬量が90gのときは $\alpha$ が12cm以上で引火率は100%となり9~10cmでは何れも $\alpha$ の引火率で8cmでは $\alpha$ が7cm以下は0であつた。従つて薬量112.5gのときは $\alpha$ が8cmのときに引火率は100%であるから上記の反射波の集中によつて点火が起ると言う考え方は正しい様である。我々は爆速の比較的小さい炭酸爆薬のメタンガスに対する点火の機構が反射衝撃波の焦点的集中衝突によるもの（既発表<sup>2)</sup>）の理論的考察が誤りでなかつたと信ずる。

#### IV. 総 括

本報告に於ては坑道径による引火限界薬量の変化大なる炭酸爆薬を用いてガスポケット白砲（内径250mm孔深600mm）試験装置による実験を行つた結果懸垂爆発によるメタンガス点火の因子はマツハ三重点によるものでは無く反射衝撃波の集中によるものであることを推定した。

最後に本実験に従事された皿井勝利君に謝意を表す。

#### 文 献

- (1) 村田勉・友石尚之：白砲ガスポケット白砲及び懸垂爆発に於ける各種炭酸爆薬の安全度試験成績
- (2) 村田勉：工火協誌第11巻第4号 p.224(昭26.3)