

# 臼砲発射、ガスポケット臼砲発射及び懸垂爆発 による各種炭質爆薬の安全度試験成績

(昭和28年5月15日受理)

村田 勉・友石 尚之

(日本油脂・武豊工場)

## I 結 言

現在我が国の炭質爆薬の安全度の試験は400瓦以上の薬量で臼砲から正起爆発射を行つて安全度を試験する方法だけに依存している。

世界各国とも概ね同様の臼砲発射による安全度検定試験を行つている。但し研究用としては臼砲発射だけでは不十分なのでその外に懸垂爆発、亀裂坑道試験、切込鋼構試験等が行われている。然し何れの報告も供試爆薬の種類が少いか試験装置の型式が少な過ぎるかの嫌いがあり包括的でない憾みがある。そこで筆者等は6種の装置と8種の爆薬を用いてメタンガスに対する安全度を試験し、装置の差異による総合的安全度を確かめたのでその結果を報告する。即ち6種の装置とは、(A)穿孔径55耗、孔深450耗の臼砲、(B)穿孔径100耗、孔深650耗のガスポケット臼砲及び(C)穿孔径250耗、孔深600耗のガスポケット臼砲と夫等に接する内径1.2米、長さ1.7米の爆発室を有する試験坑道併用装置並びに夫々内径が(D)0.7米、(E)2米及び(F)1.2~1.8米(長径1.8米、短径1.2米の楕円坑道)で長さが夫々D1米、E1.7米及びF5.4米の爆発室を有する試験坑道装置である。之等の装置により、既に検定試験に合格している7種類の粉状型炭質爆薬及び比較のために減熱消焰剤を含みぬ粉状型非炭質爆薬について引火限界薬量曲線を求めてみた。而して臼砲の場合は引火を容易ならしむるため逆起爆をした。

## II 実験装置及び方法

### (イ) 臼砲及びガスポケット臼砲発射の場合

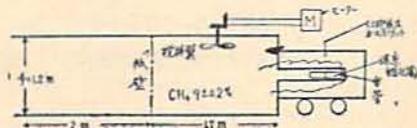


図1 臼砲或はガスポケット臼砲発射装置略図

臼砲或はガスポケット臼砲発射の場合の装置の略図は図1の通りである。爆薬の位置は55耗臼砲の場合は展列装薬として穿孔底に置き、100耗及び250耗ガスポケット臼砲の場合は穿孔中心線と装薬中心が一致する様におく。何れの場合も着火を容易にするため雷管を逆の位置に附した。装填の後図の如く紙壁で爆発室と外氣とを遮断し天然ガス(CH<sub>4</sub> 9%)を送入する。理研検定器にてメタン濃度を測定し、9±0.2%になつたとき攪拌翼の回転をとめ直ちに発破器(鳥井印10発掛35 Volt 2 Ampere)にて爆発せしめメタンに着火したかどうかを肉眼にて判定する。

### (ロ) 懸垂爆発の場合

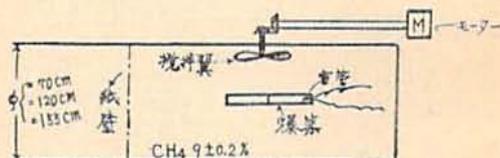


図2 懸垂爆発装置の略図

懸垂爆発の場合の略図は図2に示した通りであつて装薬の位置は坑道の中心線上で直列装薬とし略爆発室の中央部に懸垂する。メタンの濃度及び其の他の條件は臼砲発射の場合と同様である。

メタンの攪拌方法はD型坑道の場合は手廻しの送風器による循環攪拌とし、E型坑道は、図2の如き方法で行い、F型坑道に於ては回転翼とファンモーターによる循環との併用によつて行つた。いづれの場合もメタンの濃度は爆発室内部の各所に於て均一であつた。

次に(イ)(ロ)の装置の諸元を第1表に与える。

(イ)及び(ロ)の場合共起爆には6号電気雷管を用い爆薬は直径32耗の薬包を用いた。不引火最大薬量を決定するには、10~15瓦単位で二回連続発射して不引火を確認した。実際はもつと多くの回数で決定するのが妥当であると考えたが臼砲の損耗及び実験速度を考慮して2発決定とした。爆薬の組成性能第2,3表の通り。

第1表 試験坑道諸元

装置名称	白 砲				爆 発 室		備 考
	白砲外径 mm	穿 孔 径 mm	穿 孔 長 mm	白砲全長 mm	内 径 m	長 さ m	
A 型	500	55	450	700	1.2	1.7	白砲発射 {ガスポケット白 砲発射
B 型	570	100	650	800	1.2	1.7	
C 型	570	250	600	800	1.2	1.7	
D 型	-	-	-	-	0.7	1.0	懸垂爆発
E 型	-	-	-	-	1.2	1.7	ク
F 型	-	-	-	-	1.2~1.8	5.4	ク楕円形坑道

第2表 試 料 組 成

番 号	N.G.	N.C.	T.N.T.	D.N.N.	A.N.	NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>	W.M.,St.	S.W.	NaCl	Δ
No. 1	8.0	0.3	-	-	71.2	-	-	20.5	-	1.0
2	8.0	0.3	-	-	69.7	-	-	15.0	7.0	1.0
3	8.0	0.2	-	-	69.8	-	4.0	10.0	8.0	0.95
4	8.0	0.3	-	-	63.7	-	8.0	-	20.0	0.95
5	-	-	4.0	4.0	73.0	-	4.0	-	15.0	1.0
6	-	-	5.0	3.0	67.5	-	3.5	-	21.0	1.0
7	-	-	-	7.5	56.0	9.0	2.5	-	20.0	1.0
8	8.0	0.3	-	-	83.7	-	8.0	-	-	0.85

第3表 試験試料の性能

試料 番号	検定薬量 g	爆 発 熱 kcal/kg	爆発温度 °K	比 容 l/kg	火 薬 力 kg·l/cm <sup>2</sup>	鉄管爆速 m/s	紙筒爆速 m/s	弾道振子 mm
No. 1	600	802	2308	893	7800	2900	2000	67.0
2	600 <sup>(800)</sup>	743	2225	830	6988	2600	1800	64.7
3	600	792	2344	828	7343	3000	2100	66.0
4	600	703	2221	736	6185	3000	2300	59.0
5	400	756	2291	790	6848	4000	3600	60.0
6	600	722	2255	732	6246	3800	3100	56.0
7	600	669	2181	689	5686	3400	2500	57.0
8	非炭鉛用	783	2275	972	8016	3500	2400	71.6

(註) No. 2 の検定薬量は 600gであるが 800gでも不引火のものである。

### Ⅲ 実 験 結 果

試験結果を総合したものを表示すると第4表の如くなる。

第4表 安全度総合試験成績

試 番 号	A 型		B 型		C 型		D 型		E 型		F 型	
	引 火 g	不引火 g										
No. 1	80	70	400	350	60	50	90	80	130	120	200	190
2	130	100	-	400	130	100	100	90	210	200	-	400 <sup>引上</sup>
3	80	70	400	350	70	60	90	80	130	120	190	170
4	90	80	400	350	70	50	60	50	110	100	140	130
5	40	30	200	150	30	20	30	20	30	20	30	20
6	70	50	300	250	50	40	30	20	40	30	40	30
7	80	70	400	350	70	50	50	40	60	50	70	60
8	40	30	100	80	30	20	40	30	60	50	70	60

又第4表の結果をグラフにて表わすと図3の如くなる。

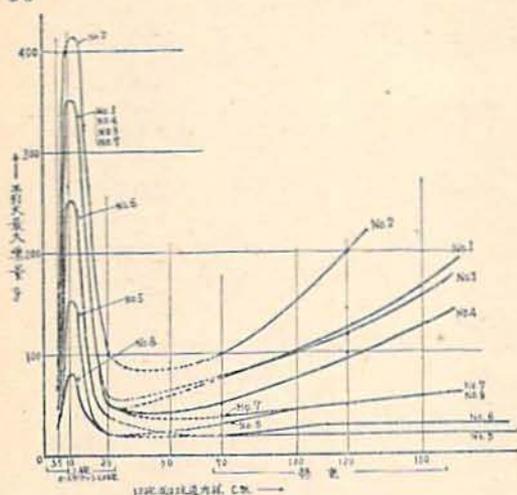


図3 各種装置に於ける火薬の不引火最大薬量曲線(但し点線の部分は推定に基づくものである)逆起爆発射の場合

#### IV 実験結果の考察

第4表或は図3から得られる事実に基づいて若干の考察を試みることにする。

1. A型装置に於ける安全度の順位は高い方から記すと、No. 2 > No. 4 > No. 1 > No. 3 > No. 7 > No. 6 > No. 5 > No. 8 となる。而して各薬種間の不引火最大薬量はどれも 100g 以下であつて、総体値の差は少い様である。

白砲からの正起爆発射の場合は筆者等が前に報告した如く、爆薬に加えた消焰剤の種類或は量によつて安全度の総体値が大巾に変化するのに反して斯くの如く白砲中より逆起爆発射するときは著しく安全度の総体値が低下し、而も滅熱消焰剤の影響が極めて小さいことは興味のあることである。即ち、此の方法では、滅熱消焰剤の混入による爆薬の威力の低下の影響だけしか現われない様である。そこで今そのことを確認するために白砲内爆発の場合の爆薬の実効威力  $f_r$  なるものを考へて見ることにする。此の  $f_r$  は若し爆薬が完燃すれば、火薬力  $f$  に等しくなる筈であるが實際は爆薬が完燃しないので  $f_r$  は  $f$  より小さいのが普通である。そこで  $f_r$  は爆薬の完燃率に比例するものとすれば近似的に次の式で表わすことが出来るのではないかと考へる。即ち

$$f_r = f \cdot \frac{D_r}{D_0}$$

但し  $D_r$  は、白砲内での實際爆速、 $D_0$  は計算最高

爆速で、これは Jouget<sup>2)</sup> により次式で与えられる。

$$D_0 = \frac{1}{1 - \alpha p_1} \sqrt{2(\gamma + 1) R_0 T_0}$$

又 Roth<sup>3)</sup> に従い  $\alpha = \frac{1.5}{1.26 + 1.33 p_1}$  とする。

$D_r$  は實際には求めることが困難であるので便宜上内径27mm、肉厚3mmの鉄管内に於ける爆速を以てした。第5表に之等の実測値並びに計算の結果を与える。

第5表

薬種	$f$ , kg/cm <sup>2</sup>	$D_r$ , m/s	$D_0$ , m/s	$f_r$ , l·kg/cm <sup>2</sup>
No. 1	7800	2900	4458	5074
2	6988	2600	4079	4454
3	7343	3000	4256	5165
4	6185	3000	3970	4674
5	6848	4000	4177	6558
6	6246	3800	3989	5950
7	5686	3400	4045	4780
8	8016	3500	3994	7155

第5表に於ける白砲内爆発の実効火薬力  $f_r$  と、A型装置に於ける安全度の成績を比較すると、略々  $f_r$  の大なるものほど安全度が低い様である。即ち此のことはA型装置に於ける逆起爆発射の安全度は  $f_r$  の大小で決るのであつて消焰剤の顕著な効果がないと言ふことである。従つて此の方法では爆薬から発生する衝撃波によつてメタンの点火が起り後から噴出する爆薬ガスによつて吹き消されることが無いものと考えられる。筆者等がミリ秒発破の安全度の試験を行つた結果に於ても懸垂装薬が衝撃波で点火を起すと考へられる試料であるときは白砲装薬からの噴出ガスによるメタン火焰の吹出し効果が認められなかつたことと一致すると思われる。

2. B型装置に於ける安全度の順位は No. 2 > No. 1 > No. 3 > No. 4 > No. 7 > No. 6 > No. 5 > No. 8 であつて No. 8 が最も低く且つ最も高い No. 2 との総体差は可なり大である。即ち此の装置に於ては  $f_r$  だけでなく滅熱消焰剤の化学的効果か或は白砲孔内部に於ける爆薬ガスのメタン燃焼消滅効果が有る様である。穿孔径が100耗であるから密閉度は小さくなるために爆薬の爆薬はA型装置の場合よりも可なり不完燃の状態にあると考へられるから白砲孔の外部の坑道内でメタンを点火せしめるだけのエネルギー密度に達することが困難であるし、白砲内で起つた点火源は後爆ガスによつて吹き消されると考へて良いと思ふ。この考へ方を立証するため装薬の位置を穿孔の入口の方へ移動させた場合の試験を行わんとしたが、実験途中に於て白砲内筒が破壊した為終行出来なかつたがそれま

でに得た結果では例えばNo. 3の試料は普通に装填すれば400g着火で350g不着火であるが口元の方に装填すると300gでも着火したが、より口元に装填すると又着火を起さなかつた。これは筆者らが前に行つた実験結果と良く似ているもので衝撃波の“反射集焦点”が白砲孔の内部に出来る場合は、一度点火されても白砲孔径が比較的小なるためメタンの爆轟状態への到達が比較的遅く後ガスに吹き消されるが、外部の坑道内で着火したときは、点火源から爆轟への発達容易であるため後続ガスによる吹き消し効果が小であると解釈すれば良いであろう。

B型装置に於ては爆轟ガスの吹き消し効果があるため爆轟ガス中に消焰剤を含む爆薬とそうでないものの安全度の差異が著しいものと考えられる。

3. C型装置に於ける安全度の順位は No. 2 > No. 3 > No. 1 = No. 4 = No. 7 > No. 6 > No. 5 = No. 8 であつて爆薬相互間の安全度の絶対差が小さい。此の装置では欠張り空間に於ける爆発の実効威力の大小によつて安全度が略々きまる様である。即ち此の場合は消焰剤の化学的效果は殆どなくむしろ滅熱剤としての物理的效果のみの様である。

此の装置に於ては既に筆者等が前に実験を行つてゐる<sup>9)</sup>が通常の状態即ちメタンを砲孔内に自由拡散せしめた場合(坑道内と略々同量のメタンが入る)は、装薬の位置が口元に極端に近くないときは常に点火が起り一方砲孔内部にメタンを入れなくて実験した場合は口元に極端に近い場合と奥の方に装填した場合に着火せず、その途中に装填したとき点火が生じた。これらの事から砲孔内にメタンのあるときは内部でも点火が起るが砲孔内にメタンが無くて坑道の方にメタンある時は坑道内に充分なエネルギー密度が発生する様な場合のみ点火が起ることが明らかとなつてゐる。従つて通常の場合では砲孔内径が250耗もあるため内部で起つた点火がそのまま伝播して主坑道の方へ発展するため爆轟ガスの吹き消し作用がないのであろう。

4. D型装置に於ける安全度の順位は No. 2 > No. 1 = No. 3 > No. 4 > No. 7 > No. 8 > No. 6 = No. 5 で消焰剤の化学的效果は見られず No. 8 は No. 6 或は No. 5 よりも高い安全度を示す。此の装置では爆速の大なるものほど安全度が低い。懸垂爆発に於ては既に報告した<sup>9)</sup>如く衝撃波による点火が大いに介入するから消焰剤の効果は少ない様である。

5. E型装置に於ける安全度の順位は No. 2 > No. 1 = No. 3 > No. 4 > No. 7 = No. 8 > No. 6 > No. 5 である。

6. F型装置に於ける安全度の順位は No. 2 > No. 1 > No. 3 > No. 4 > No. 7 = No. 8 > No. 6 > No. 5 である。

7. A型、B型及びC型の白砲装置では、C型が最も着火を起し易く、A型が僅かに着火し難く、B型は相當に着火が困難である。A型は穿孔径小なるため爆薬の爆轟がより完爆に近い状態で行われ、且エネルギーの放出に際しての密度が大であるため穿孔外部の坑道内に於て着火が起り爆轟ガスの吹き消し効果がなく、B型は、穿孔内部では爆轟ガスの吹き消し効果があり外部ではエネルギーの密度が低すぎるため着火が起りにくく、C型は穿孔径大なるため穿孔内部でもガスの吹き消し効果を蒙ることなく着火源からのガス燃焼が発達して爆轟となつても着火が起り易いと考えられる。

アメリカの鉱山局が実験炭礦で行つた実験結果<sup>10)</sup>によると穿孔径が一定なる場合は穿孔長の異なるほど着火を起しにくいと言われて居り、又白砲発射の場合でも、白砲穿孔長の異なるものほど着火を起しにくい<sup>11)</sup>と言われて居るが筆者等の用いたA型、B型及びC型装置は夫々穿孔長が450耗、650耗及び600耗であるから嚴密な意味での対等の比較は出来ないかも知れないが最も短い穿孔長と最も長い穿孔長の差が僅か200耗であるから實際は穿孔長の差はないと見て良いであろう。

ところで英国での実験<sup>12)</sup>によると白砲内径が55耗と40耗の場合とでは、55耗の方が着火を起し易いと言つて居る。(但し此の場合の穿孔長については言及していない)、之は筆者らの結果とは逆の様であるが、40耗と55耗の場合について筆者らの結果から推定することは出来ない様である。一方アメリカの実験炭礦での実験結果<sup>10)</sup>によれば穿孔径が小なるほど着火し難いと言ひ、その理由は直径が小なる時は爆薬の爆発によつて炭塵が生じそれが点火阻止作用をするのであつて居る。従つて、白砲内径の影響と實際発破に於ける穿孔径の影響は必ずしも一致しない様である。

8. D型、E型、F型の懸垂装置では一般に直径の大なるほど着火を起しにくい。此の事は明らかに爆薬から生じた衝撃波が坑道器壁に衝突して反射集中する効果の影響があることを示している。

然し、No. 6 は坑道直径の影響が小さく、No. 5 は全然影響を示さない。即ちNo. 5 或は No. 6 の如く爆速の速いものは爆薬からの火焰か或は単独衝撃波によつて反射衝撃波の介入を俟たずに着火を起すものと推定される。爆速の速いものほど衝撃波の減衰の影響の

ため坑道直径の影響が大で且つ点火を起すに必要な最小薬量附近の薬量では反射衝撃波の介入なしには着火を起し得ないものと解釈される。

## V 結 論

以上述べた実験結果並びに考察を総括して見ると大体次の結論が得られる。

- i) 全6種の装置のうち、逆起爆の場合に安全度が爆薬の実威力のみに関係すると思われる装置は、B型を除いて他のA型、C型の臼砲及びD型、E型及びF型の懸垂装置である。
- ii) 全6種の装置を通じて逆起爆に於ける安全度の高い爆薬は該装置に於ける実効威力が小さく且つメタンに対する消焰剤を含有するものでなければならぬ。言いかえれば、タンピングが充分でないか或は全然ないときはむしろ完爆せず、而もタンピングが充分なときにのみ完爆しその場合の威力が大で組成中に化学的消焰作用を営む物質を含有することが必要である。
- iii) 爆速の速い爆薬は懸垂爆発の場合坑道直径の影響が極めて小さいか或は全然ない。此れは爆薬から生ずる火焰が或は単独衝撃波で点火することを示している。
- iv) 臼砲直径の影響は臼砲内径が100耗のときが最も着火を起しにくく、次に55耗臼砲で250耗のガスポケット臼砲が最も着火を起し易い。然し此の結果は、米国の鉱山局が実験炭礦で行つて得た結果とは一致していない。即ち鋼製臼砲の直径の変化の安全度に及ぼす影響は、實際発破の穿孔径の変化による影響とは一致しない此の理由は穿孔径が小なるときは、實際発破では爆薬が幾分仕事をして、その結果

出来た炭塵がメタンの点火源を攪乱するためであろうと考えられる。

- v) ガスポケットが発破孔附近に存在する場合の危険はガスポケットの容積が大きいほど着火の危険が大なるものと考えられる。
- vi) 今回の実験結果及びこれまでに筆者等の得た結果を総合すると臼砲内の起爆法が正起爆 direct shot である場合は、爆薬組成中に含有されている消焰剤の化学的作用によつてメタンの着火が阻止される効果が現われるが逆起爆 inverse shot のときは爆薬のその条件に於ける実効威力のみによつて安全度がきまる。而して逆起爆の場合は必ず正起爆の場合よりガスに点火し易い。従つて逆起爆は安全度の見地からは採るべきでない。

最後に本実験を補佐された沼田善夫、鈴木幸太郎の両君に深甚の謝意を表する。

## 文 献

- 1) 村田勉・友石尙之；未提出（昭和27年度工火協会総会にて講演）
- 2) E. Jouget; Mécanique des Explosifs (1917)
- 3) J. F. Roth; Z. S. S. 34 193~7 (1939)
- 4) 村田勉・友石尙之；工火協会誌 13 164 (昭27)
- 5) 6) 村田勉・渡辺定五・友石尙之；未提出（昭和26年度工火協会総会にて講演）
- 7) 10) H. P. Greenwald, H. C. Howarth, Nagy, John and Hartmann; Bureau of Mines R. I. 4031 (1946)
- 8) F. Brown and F. T. Dainesi; Bureau of Mines R. I. 4031 (1946) p. 34
- 9) 黒沢翠；発破と爆発（昭24）p. 59