

正起爆と逆起爆の発破効果について（第3報）

—メタン安全度試験—

古閑 豊*, 手島利之*, 田中 誠*, 井上邦三*,
和田良馬*, 松隈太郎*, 井清武弘*, 田代 爽**

実発破に類似したモルタル白砲による正、逆起爆の空発時のメタンに対する安全度試験を行ったが、鉄白砲に比べいずれの場合も着火し難いことが判明した。しかし、着火する要因の一つとしてモルタル白砲を小さくし、耐圧性を高めて試験した場合は逆起爆により着火した例がみられた。

モルタル白砲による安全度試験において着火し難い原因については、発破時の噴出粉じんが着火を抑制することが一つの要因であることが判明した。

1. 緒言

石炭鉱山における新技術として逆起爆発破法の採用が要望されている。この発破法は、正起爆発破法に比べ残留薬、カットオフによる空中や床上爆発の発生が少ないという安全面¹⁾での利点に加え、発破効果も良好である²⁾³⁾⁴⁾すでに欧州の主要産炭国においてはその実用化例がいくつかみられるが⁵⁾、現在我国においては鉱山保安法第7条及び第30条、石炭鉱山保安規則第81条の規定により正起爆薬のみが認められていて、逆起爆法は許されていない。この点に関し、当センターでは試験坑道で鉄白砲発射時における正、逆起爆時のメタンガス安全度試験を行ったが、それらの結果では逆起爆法の安全性について結論を出すに到っていない。鉄白砲発射の場合、発破孔内で爆薬の爆発エネルギーが殆んど消費されないのが実発破と異なる点が多い。このため実発破に類似した条件下で逆起爆法の安全性の調査を行った。

本研究では鉄白砲の代りに炭粉セメントモルタル白砲や砂セメントモルタル白砲を試作し、発破孔内で爆薬の爆発エネルギーをモルタル破砕に消費させた場合の正、逆起爆の安全度を試験坑道と比較すると共に、発破により破砕されたモルタルの噴出粉じんが安全度

に対し、どのような効果を現わすかの調査を行った。また、爆炎の挙動について静止写真並びにSBC光電素子を用い爆炎長、爆炎速度、爆炎持続時間の観測も行った。

2. 試験装置及び方法

2.1 白砲による安全度試験

試験坑道は Fig. 1 に示すように鋼板製の円筒形の管で、爆発室は直径 1520mm、長さ 3670 mm、容積 6.7m³である。爆発室の一端は鋼板で閉され、その中央に白砲発射用の直径 516mm の開口（モルタル白砲鉄管の内径と同径）を設け、他端はビニール幕で隔壁を作り密閉できるようにしている。その両端にメタンガス—空気混合気を作るためのガス循環パイプが設けてある。モルタル白砲は直径 560mm、長さ 1500 mm、肉厚 22mm の鋼管の底部をフランジで肉厚 28mm の鋼板により遮蔽した容器に各種配合（重量比で炭粉 2 対セメント 1、炭粉 1 対セメント 1 又は砂 1 対セメント 1）のモルタルを打ち込み製作されている。この白砲の中央に直径 42mm~55mm、深さ 1030mm~1200mm の発破孔が設けてある。

鉄白砲は、発破孔の直径が 55mm、深さ 1200mm で、外径の寸法はモルタル白砲と同形である。小型モルタル白砲は直径 230mm、肉厚 9mm のガスポンペを用い、長さ 1250mm に加工し、この中に砂 1 対セメント 1（重量比）で配合したモルタルを打ち込み製作されている。この白砲の中央に直径 50mm、深さ 970mm の発破孔が設けてある。

試験方法は、モルタル白砲及び鉄白砲の場合、爆発室底部の開口に台車に乗せた白砲を密着させる。小型

昭和60年9月9日受理

* 公営資源研究所九州石炭鉱山技術研究センター
確井分室
〒820-05 福岡県嘉穂郡確井町西郷 1142
TEL 0948-62-2057

** 公営資源研究所九州石炭鉱山技術研究センター
〒822 福岡県直方市大字頓野 1541
TEL 09492-6-5511

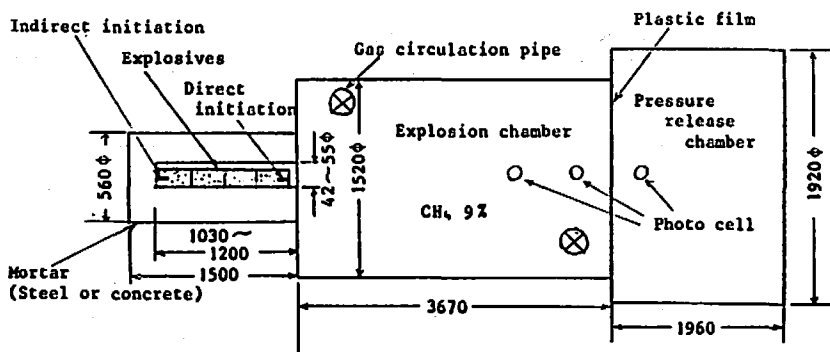


Fig. 1 Test Gallery (Unit mm)

モルタル白砲の場合、木製台座に白砲を乗せ、開口の中央部に固定し、白砲側壁と開口の間の空隙はビニール幕を張り密閉する。白砲は移動しないように鉄白砲の場合、レールに取り付けた後退止めで固定する。モルタル白砲の場合、白砲底部中央を木製柱で水平に突張り固定する。次に爆発室の他の一端をビニール幕で密閉してメタンガスを導入し、メタン濃度を9.0%とした時点で白砲中の爆薬を正起爆又は逆起爆で発射して着火の有無を判定する。判定には火炎測定孔のSBC光電素子の出力をフォトコーダに記録させた。試験には検定合格品の400gクラス(岩盤用、一号特梅ダイナマイト及び含水爆薬S-1)600gクラス(採炭用、G硝安爆薬)の爆薬のほか非検定爆薬(三号桐ダイナマイト)も使用した。

爆薬の規格は次の通りである。

一号特梅ダイナマイトは1本100g、薬長11.6cm、弾動振子値60.3mmである。

含水爆薬S-1は1本100g、薬長13.5cmのものとして1本200g、薬長25.0cm、弾動振子値61.4mmである。

G硝安爆薬は1本100g、薬長16.5cm、弾動振子値

66.1mmである。

三号桐ダイナマイトは1本100g、薬長11.6cm、弾動振子値81.0mmである。

以上爆薬の薬径は全て30mmである。

2.2 粉じんの着火抑制効果

試験にはFig.1の試験坑道及び鉄白砲を使用した。鉄白砲にはFig.2に示すように400gクラスの含水爆薬S-1、300gを逆起爆型に装薬し、装薬の先端部孔内に粉じん(岩粉、炭粉又は海砂)の量を変えて配置し、前項と同じ方法でメタン濃度9.0%とした時点で白砲中の爆薬を爆発させ着火の有無を判定した。

粉じんの粒度はTable1に示す通りである。モルタル粉は、安全度試験の要領でモルタル白砲(砂1対セメント1)に一号特梅ダイナマイト1000gを逆起爆型に装薬し、爆発させ試験坑道内の爆発室と放爆室の壁面より採取した。このモルタル粉は、モルタルの大きい破砕物を取り除くため32メッシュの標準ふるいでふるった網下の試料である。この試験坑道内のみの32メッシュ網下の試料は1410gであった。

2.3 爆炎観測

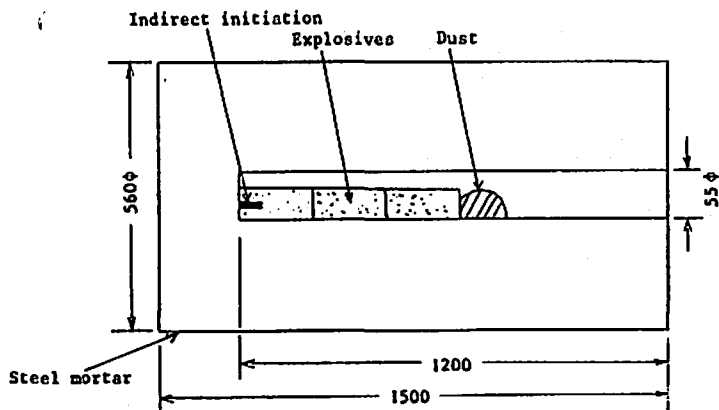


Fig. 2 Arrangement of Dust (Unit mm)

Table 1 Particle size of dust (in percent)

Mesh	Rock dust	Coal dust	Sea sand	Concrete dust*
# 32 over	0.00	0.12	30.85	—
# 32~# 100	0.03	0.17	58.34	43.37
# 100~# 145	0.03	2.26	4.48	10.83
# 145~# 200	0.29	6.56	1.71	8.56
# 200~# 280	11.12	12.46	0.96	7.92
# 280 under	88.53	78.43	3.66	29.32

*Concrete dust ; cement : sea sand = 1 : 1

静止写真による正、逆起爆の爆炎長の測定は、Fig. 3に示す鉄臼砲（直径560mm、長さ750mmで、この中央に直径55mm、深さ560mmの発破孔を設けた中型臼砲）と砂1対セメント1配合の安全度試験に用いたモルタル臼砲（発破孔のみ中型臼砲と同寸法としたもの）より一号特梅ダイナマイト400gを爆発させ行った。火炎長は10cm 間隔の目盛を入れたI形鋼を80cm 離して発破孔の軸方向に平行に設置し火炎と同時に撮影して計測した。カメラは臼砲より5mの位置に設置して、絞りを5.6とし、起爆時にはシャッターを開放として撮影した。

SBC光電素子による正、逆起爆の爆炎速度と爆炎持続時間の測定は、発破孔の軸方向に対し、距離80cmの箇所にI形鋼を平行に設置し、これにSBC光電素子を取り付けた長さ20cmの1インチパイプを発破孔口元と同位置より20cmの間隔に発破孔の軸方向に対し直角に向わせ固定し、臼砲より一号特梅ダイナマイト400gを発射して行った。記録はSBC光電素子の出力をデータレコーダ（ソニー製A-1014型）に取り込み、マイクロコンピュータによって解析した。

SBC光電素子の特性は、中心波長500~600ミリミクロン、測定範囲400~800ミリミクロン程度である。

3. 結果と考察

3.1 臼砲による安全度試験

Table 2中に記号で記した爆薬の名称は、Aが一号特梅ダイナマイトで、Bが含水爆薬S-1、CがG硝安爆薬、Dが三号桐ダイナマイトである。起爆法はD Iが正起爆でI Iが逆起爆である。配合比のセメント1対炭粉2のAのI IとCのD IとI I及びセメント1対炭粉1のCのI I以外のモルタル臼砲試験は、カットオフを想定し、発破孔の口元空隙距離が0cm から4cmになるように装薬して試験を行った。また、成績の表われ方は分母が試験回数で分子が着火回数である。その下の数量は試験に使用した1回毎の装薬量である。

鉄臼砲の安全極量は、D Iの場合、試験10回繰り返し行い、1回も着火しない薬量とした。I Iの場合、試験5回の内、1回も着火しない薬量とした。薬量の下にoverと書いているのは、この薬量に対し50gから100g以上薬量を増加させると着火するという意味で

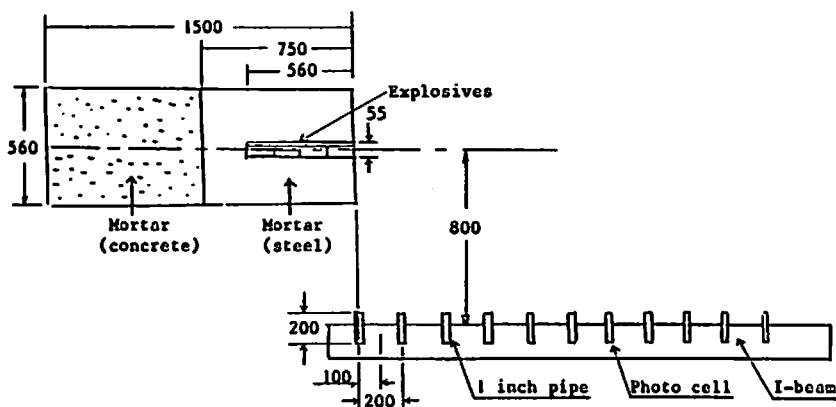


Fig. 3 Explosion Flame Observation

ある。また、AのIIの250g及びBのIIの100g、CのIIの250gの場合、50g薬量を増加させると着火する。

次にモルタル白砲試験では、各々試験回数は異なるが、薬量を増加させたり、モルタルの圧縮強度を高めるなど条件を変えてもメタンガスには着火しなかった。そのため、爆力の強い非検定爆薬についても試験を行った。これは鉄白砲の場合、DI、IIとも25gでメタンガスに着火したが、モルタル白砲では1000gでもメタンガスには着火しなかった。このモルタル白砲におけるIIにおいて不着火となった薬量は、鉄白砲II

安全極量に対しかなり大きい値を示した。このことは、鉄白砲試験に比べモルタル白砲試験は、メタンに着火し難い傾向にあるといえる。しかし、小型モルタル白砲の場合、C750gを装薬して試験したDIでは、5回繰り返した試験の内、5回とも不着火であったが、IIでは5回の試験の内、2回着火した。この着火要因の一つは、小型モルタル白砲は、モルタル白砲に比べ鉄管の直径が小さいので相対的に発破直後（鉄管が張に裂ける前段階）の発破孔内の爆発圧が高く、衝撃波の発生威力が強められ鉄白砲に近い条件となり着火し易くなったのではないかと考えられる。このことは、

Table 2 Safety test results by concrete mortar

Safety rank	400g				600g		Non-permitted explosive	
	A		B		C		D	
Name	DI	II	DI	II	DI	II	DI	II
Test 1		0/2 400g			0/1 600g	0/3 600g		
Test 2		0/1 1050g		0/3 900g		0/1 700g		
Test 3	0/5 900g	0/5 900g	0/10 900g	0/10 900g			0/2 1000g	0/2 1000g
Test 4			0/5 750g	2/5 750g				
Test 5	0/10 400g over	0/5 250g	0/10 400g over	0/5 100g	0/10 600g over	0/5 250g	1/1 25g under	1/1 25g under

- *A : Gelatine dynamite (Permitted)
- B : Slurry explosives (S-1) (Permitted)
- C : Ammonium nitrate explosive (Permitted)
- D : Ammonia gelatine dynamite
- DI : Direct initiation
- II : Indirect initiation
- Test 1 : Concrete mortar (cement : coal dust= 1 : 2)
- Test 2 : Concrete mortar (cement : coal dust= 1 : 1)
- Test 3 : Concrete mortar (cement : sand= 1 : 1)
- Test 4 : Smaller concrete mortar (cement : sand= 1 : 1)
- Test 5 : Steel mortar
- Numerator : Times of methane ignition
- Denominator : Total times of experiments
- Temperature and relative humidity of explosion chamber
16°C~22°C 73%~86%
- Compression strength of concrete
cement : coal dust= 1 : 2 \approx 170kg/cm²
cement : coal dust= 1 : 1 \approx 210kg/cm²
cement : sand= 1 : 1 \approx 600kg/cm²

Table 3 Ignition suppression effect of dust (Indirect initiation)

Explosives		Dust		Result*
Kind	Charge quantity (g)	Kind	Quantity (g)	
Slurry explosive (S-1)	300	Without dust	—	5/5
"	"	Rock dust	20	0/1
			10	0/2
			5	2/2
"	"	Coal dust	10	0/2
			5	1/2
"	"	Sea sand	10~150	1/1~1/2

*Numerator : Time of methane ignition
Denominator : Total times of experiments

モルタル白砲においても圧縮強度を高め、爆薬の仕事量（破砕量）を少なくすると着火の可能性が出て来ることも考えられる。また、他の一つの要因は、モルタル白砲の場合、発破で鉄管が張り裂けないが、小型モルタル白砲の場合、発破で鉄管が張り裂けるため、モルタルの粉じんが爆発室内と室外に噴出するので、全体的に爆発室内に噴出する粉じん量が少なく、後述の噴じん着火抑制効果が低下し、着火し易くなったのではないかと考えられる。

この点に関しては、今後モルタル白砲用の鉄管に小型モルタル白砲を入れ、この周囲にモルタル（セメント1対砂1）を打ち込み小型モルタル白砲が張り裂けないようにして、実現場に近い状態の安全度試験を行い検討を加える。

3.2 粉じんの着火抑制効果

モルタル白砲における安全度試験について、着火し

難い原因を検討してみると、モルタル破砕のための爆発エネルギーの消費と発破時の噴出モルタル粉じんの着火抑制効果が考えられる。結果は Table 3 に示すように粉じんなしの場合、A（含水爆薬 S-1）、300g で5回繰り返した試験の内、5回とも確実に着火するものが、岩粉又は炭粉を10g 装てんすると不着火となり着火抑制効果が顕著であることが明らかとなった。岩粉、炭粉に比べ粒の粗い海砂の場合、150g 装てんした場合も着火した。このことは、Table 1 に示す粉じん粒度が280メッシュ網下程度の量が多い程、即ち微細な粉じん程、着火抑制効果も大であることを示している。

3.3 爆炎観測

鉄白砲及びモルタル白砲を使用して、A（一号特梅ダイナマイト）400g 発射時におけるDI、IIの爆炎長について静止写真で比較した結果、Table 4 に示

Table 4 Observation results of explosion flame

Initiation Method	Flame Length (m)		Flame propagation speed (m/sec)		Flame duration time (ms)	
	Steel mortar	Concrete mortar	Steel mortar	Concrete mortar	Steel mortar	Concrete mortar
DI	0.5 (2.0)	(0.45) (1.2)	862	675	28	19
II	1.6 (2.0)	1.5 (2.0)	2500	2500	30 over	16

* () Shows the results measured by Silicon blue cell comparing the results by color photograph
Explosives : Gelatine dynamite (permitted) 400g

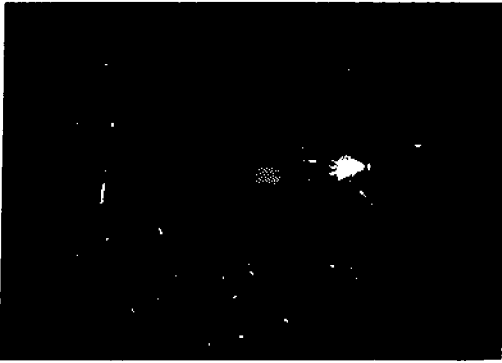


Fig. 4 Steel mortar : Direct initiation
(Charge quantity of explosives : 400g)

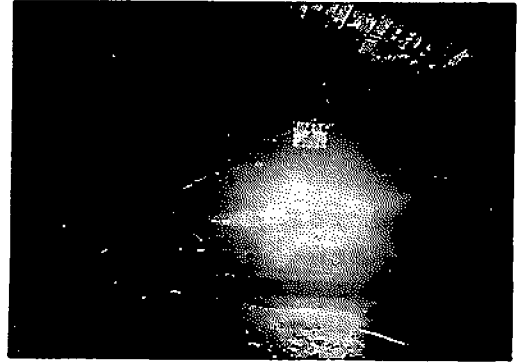


Fig. 5 Steel mortar : Indirect initiation
(Charge quantity of explosives : 400g)



Fig. 6 Concrete mortar : Direct initiation
(Charge quantity of explosives : 400g)



Fig. 7 Concrete mortar : Indirect initiation
(Charge quantity of explosives : 400g)



Fig. 8 Smaller concrete mortar : Direct initiation
(Charge quantity of explosives : 400g)

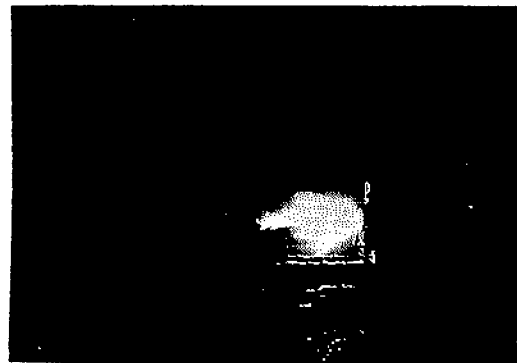


Fig. 9 Smaller concrete mortar : Indirect initiation
(Charge quantity of explosives : 400g)

すように爆炎長に大差はないが、鉄臼砲において火花の発生が見られた。Fig. 4 及び 5 は鉄臼砲 : D I, I I の爆炎で、いずれも火花が発生している。Fig. 6 及び 7 はモルタル臼砲 : D I, I I の爆炎で、これはいずれも火花は発生していない。Fig. 8 及び 9 は小型モル

タル臼砲 : D I, I I の爆炎で、これもモルタル臼砲と同じく火花は発生していない。

S B C 光電素子による爆炎長の観測結果は、静止写真の結果と異なり D I, I I とも大きい値を示した。このことについては今後検討を加える。

爆炎速度及び爆炎持続時間についてSBC光電素子で観測した結果、爆炎速度はDIの場合、鉄白砲が速い値を示した。IIの場合、同じ値を示した。爆炎持続時間は、DI、IIとも鉄白砲の場合が長い値を示した。

4. 結 言

モルタル白砲による正、逆起爆の空発時のメタンに対する安全度試験を行ったが、鉄白砲に比べいずれの場合も着火し難いことが判明した。しかし、モルタル白砲を小さくし、耐圧性を高めて試験した場合は逆起爆により着火した例がみられた。

モルタル白砲による安全度試験において着火し難い原因については、発破時の噴出粉じんが着火を抑制することが一つの要因であることが判明した。また、着火性に及ぼす爆炎の大きさや、火花の発生、持続時間等の影響については静止写真や光電素子の観測結果に

より検討中である。

文 献

- 1) 松隈喜穂, 古閑豊, 手島利之, 田中誠, 野原博, 町田和美, 本間昭宇: 日本鉱業会誌 VOL. 95, No. 1099 pp556~560 (1979)
- 2) 古閑豊, 田中誠, 手島利之, 松隈喜穂, 本間昭宇, 町田和美: 採鉱と保安, VOL. 26, No. 2 pp 1~6 (1980)
- 3) 古閑豊, 手島利之, 田中誠, 松浦茂雄, 本間昭宇, 町田和美, 規工川一徳, 吉永定義: 工業火薬協会誌, VOL. 44, No. 3 pp165~172 (1983)
- 4) 古閑豊, 手島利之, 田中誠, 井清武弘, 田代襄: 工業火薬協会誌, VOL. 45, No. 3 pp166~169
- 5) 疋田強, 吉田正, 水谷豊, 野村宏, 林功, 沼倉隆治, 鈴木輝彦: 日本産薬火薬会, 産薬火薬歌冊調査報告 (1977)

Comparison of Blasting Effect between Direct and Indirect Initiation (III)

Safety Test on Methane

by Yutaka KOGA*, Toshiyuki TESHIMA*, Makoto TANAKA*,
Kunizo INOUE*, Ryoma WADA*, Taro MATSUKUMA*,
Takehiro ISEI* and Jo TASHIRO**

The safety difference against methane ignition due to initiation method has been compared experimentally by using two type concrete made mortar which represents analogously practical rock blasting. The two type concrete mortars are casted in the cylindrical case of steel plate of 22mm thick, 1.5m long and 9mm thick, 1.25 m long respectively.

From several series of experiments it was shown that both case of direct and indirect initiation has a tendency hardly to ignite methane-air mixture comparing with the case of steel made mortar. In case of smaller concrete made mortar, however, two times ignition were observed in the five series tests of the indirect initiation. Rock or coal dust due to blasting fulfills its function as one primary factor to suppress ignition of methane-air mixture during safety test by a concrete mortar.

(*Coal Mine Safety Research Center, Kyushu, National Research
Institute for Pollution and Resources : 1142 Nishinogo, Usui-cho,
Kaho-gun, Fukuoka Pref., 820-05, Japan,

**Director, CMSRC, Kyushu : 1541 Ton-no Nogata City,
Fukuoka Pref., 822 Japan)