

## 正起爆と逆起爆の発破効果について（第1報）

### Vカット芯抜発破の挙動

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\*\*\*\*\*

石灰石のベンチで1段目が瞬発電気雷管, 2段目が20ミリ秒電雷管を用いた芯抜発破を行い, 発破込物と岩盤の始動開始時間, 移動速度を高速度カメラで観測し, 解析した。また発破込物の効果と正起爆及び逆起爆の比較を行った結果, 次のことが判明した。

1) 正起爆の場合, 込物の移動速度が速く, 噴出量も多い。2) 逆起爆の場合, 込物の移動速度が遅く, 噴出量も少ない。また正起爆より発破効果が良い。3) 発破込物は, 砂または砂, 水併用に比べ, ゲル込物が一番発破効果が良い。

#### 1. 緒言

石炭鉱山の甲種炭鉱における発破は, 石炭鉱山保安規則により正起爆のみ認可されている。しかし, 欧州の主要産炭国の多くは, MS 発破は逆起爆となっている<sup>1)</sup>。それは爆轟波の方向性によることが主であるが, 炭層, 岩層における実発破で, 込物をした場合の安全性については, どちらが安全性が高いかという点, 長所と短所があり簡単には決められない問題である。また正起爆, 逆起爆に対する発破挙動については, これまで明確な比較はあまりされていないようである<sup>2)</sup>。まず第1段階として発破挙動について検討を行った。

発破における岩石等の破碎効果は, 主として爆薬の種類, 込物の種類, 岩質および発破方法により決定される。

現在石炭鉱山においては, 保安上, 水タンパーと砂

タンパーの併用を義務付けられている炭鉱もある。併用の場合, 水タンパーを先に装てんするのが保安上理想的であるが, 作業員によって, 発破効果を考慮して水タンパーを先に1本装てんし, その後, 砂タンパーを装てんする場合と, 砂タンパーを先に装てんした後, 水タンパーを1本口元に装てんする場合がある。これについても発破挙動等の比較はされていない。

本実験は, 多段発破を行うとMS発破後段の込物噴出等色々な条件が混入り岩盤の動きの解析が困難になる恐れがあるので1段と2段のVカット芯抜発破を主体に行い, 込物の噴出開始時間, 噴出速度, 岩盤の移動開始時間, 移動速度等について高速度カメラで撮影し, 解析を行った。その他発破の孔尻長, 飛石距離の測定も行った。

実験場所は三井船尾鉱山の一番良質の石灰石のベンチである。

本研究は, 石炭技術研究所と共同研究で行ったものである。一部採鉱と保安に発表<sup>3)</sup>しているが, これを総括したので報告する。

#### 2. 実験方法

使用雷管は20MS電雷管で, 爆薬は石炭鉱山で用いられている岩盤推進用含水爆薬サンベックス300及び3号白梅ダイナマイトと共に径30mm, 薬量100g, 込物は, 砂タンパーが径28mmφ, 長さ280mm, 重量250g, 粒度メッシュ網5%, 30~60メッシュ35%, 60~100メッシュ58%, 100メッシュ網下2%, 水分1.4%, 水タンパーが径33mmφ, 長さ280mm, 重量220g, ゲルタンパーが径33mmφ, 長さ280mm, 重量330g, 配合成分エムコガム(粘調剤)4, エチレングリコール

昭和57年9月14日受理

\*公害資源研究所九州石炭鉱山技術研究センター  
試験炭鉱  
〒820-05 福岡県嘉穂郡唯井町西郷 1142  
TEL094862-2057

\*\*三井石炭鉱業KK砂川鉱業所  
〒073-02 北海道空知郡上砂川町字上砂川 22  
TEL 012562-2111

\*\*\*三井石炭鉱業KK本店生産部  
〒103 東京都中央区日本橋室町 2-1-1  
TEL 03-241-7448

\*\*\*\*三井石炭鉱業KK三池鉱業所  
〒836 福岡県大牟田市原山町 170  
TEL 0944-52-3231

\*\*\*\*\*三井建設KK三池出張所三川作業所  
〒836 福岡県大牟田市西港町 1-70  
TEL 0944-52-7721

(エムコガムの溶剤) 12, 水 100 の比率, 粘度 20,000 P 以上のもを使用した。これらのタンパーはビニール袋入りである。込物及び岩盤の移動撮影は, 高速度カメラ Fastax 16mm 型 4 面プリズムを使用し, フィルムはコダックイーストマン 4 × ネガ, ASA 400 のモノクロームフィルムを用いた。

発破パターンは, Fig. 1 に示す通り, 1 段の V カット 2 孔は孔間隔 0.88m, 孔角度  $70^\circ$ , 孔長 0.7m である。この孔間隔並びに孔角度を決定したのは, 石炭鉱山保安規則に於て, 孔間隔は 40cm 以上あけることになっているため, 穿孔の先端が 40cm 以上になり近接発破にならないように考慮したものである。この場合の 1 段の孔の先端の間隔は約 40cm である。2 段の V カット

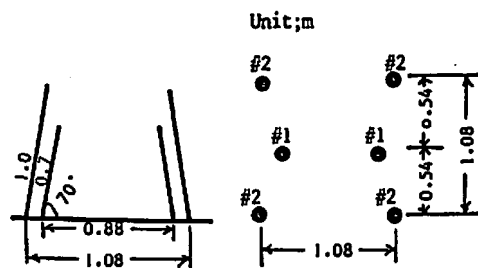


Fig. 1 Blasting pattern

Arrangement of delay steps of 20 millisecond delay blasting and length and angle of bore hole.

# : delay step, charge: # 1; 100g, # 2; 200g

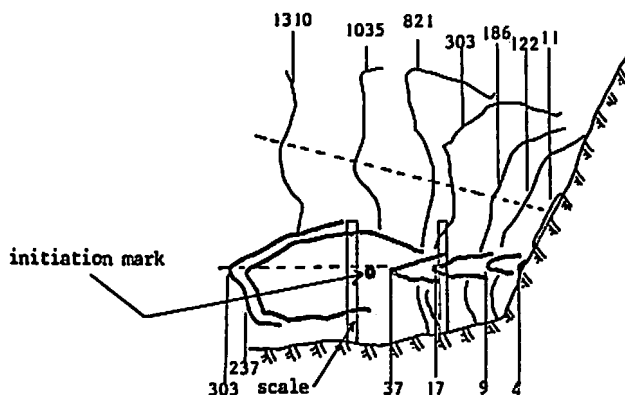


Fig. 2 Movement trace of stemming (broad line) and rock (fine line) in case of direct initiation with sand stemming. Figures show the frame number of high speed film after initiation.

ト 4 孔は, 孔間隔を 1.08m, 孔角度  $70^\circ$ , 孔長 1.0m である。発破開始の点火マークとしては, 切羽前方約 1.5 ~ 2m の箇所に瞬発電気雷管 2 本または瞬発 1 本に黒カーリット 10g を装着したものをつるし, 発破孔の雷管と直列に結線し, この爆薬が起爆した時点を経験時間とした。ただし点火マークの瞬発雷管と 20MS 雷管の 1 段は瞬発雷管である。1 ~ 2 ミリ秒の時間のバラツキはある。これについては現場実験でもあり他に適当な方法がなかったので採用した。また込物の移動及び岩石の移動速度を測定する定規としては, 切羽面の 1 段の 2 孔間の中心より 1m 間隔にタルキに白紙を張ったものを 2 本垂直に立て用いた。

実験 a グループ (実験 No. 1 ~ 6) は, 正起爆でサンベックス 300 を用い, 込物は砂タンパーのみの場合と, 水タンパーを先に 1 本装着した後, 砂タンパーを口元まで装着した場合並びに砂タンパーを先に装着

した後, 口元に水タンパー 1 本装着した場合の比較を行った。

実験 b グループ (実験 No. 7 ~ 14) は, サンベックス 300 と 3 号白梅を実験毎に交互に用い, 込物はゲルタンパーを先に 1 本装着した後, 砂タンパーを口元まで装着したものについて正起爆及び逆起爆の比較を行った。ゲルタンパーは, 両側を装着する方向の先端部から 3cm おいて, 約 5cm ナイフで切込みを入れ, 込棒で押込むと切込みからゲルが押出され, 装薬の側面の空隙部に這入り密閉効果が良くなるようになっている。

込物と岩盤の移動時間の測点は, Fig. 2 砂のみ, 正起爆 (実験 No. 1) の点線で示したように移動方向に線を引き, 込物と岩盤移動コンターの接点とした。太い線が込物の噴出移動コンターで, 細い線が岩盤の移動コンターである。

高速度カメラの撮影コマ数は 1.200 ~ 1.470 コマ/sec

である。また薬量は1段が各孔 100g, 2段が各孔 200gである。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 写真による結果と考察

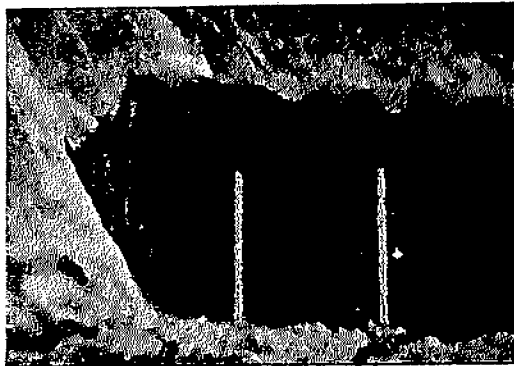
高速度カメラ撮影の代表的な写真を (Photo 1~3) に示す。Photo 1 はゲルタンパーを先に1本装てんした後、砂タンパーを口元まで装てんした正起爆 (実験 No. 11) のパターンである。写真で見られるように点火後80msで1段の込物が1m近く噴出し、270msで2段の上部の込物が1.5m近く噴出している。これに対し Photo 2 は上記込物方式と同一で逆起爆 (実験 No. 8) のパターンであるが、点火後100msで1段2段の込物が岩盤の移動に伴って20cmから50cm岩盤亀裂前面に噴出している程度で、正起爆と比較すると非常に少ない。390msでは岩盤の方が込物噴出より先行している。これが正起爆と逆起爆の1つの相異点である。また Photo 3 は砂タンパーを先に装てんし、後水タンパーを1本口元に装てんした正起爆 (実験 No. 6) のパターンであるが、点火後35msで1段の込物が1.8m近く噴出している。この時点では水タンパーの飛出しは

見られなかった。820msになると岩盤移動の先端部に水タンパーが明瞭に飛出しているところが見られる。実験 No. 4, 5 水タンパーを先に1本装てんした後、砂タンパーの場合、水タンパーは小さく裂けて飛散し、袋の形での飛出しではなく、目で確認できる破片は少なかった。

このことから水タンパーを先に1本装てんし、その後砂タンパーを入れる込物方式は、砂タンパーを先に装てんした後、水タンパー1本の込物方式より発破効果は悪いが、水タンパーが筒状で飛出さず飛散するのでガス・炭じん爆発防止対策には適正である。砂タンパーを先に装てんした後、水タンパー1本の込物方式では爆発防止対策とはならない。

#### 3.2 データによる結果と考察

実験 a グループの正起爆で込物が砂タンパーのみの場合及び水タンパーと砂タンパー併用の場合の込物の移動開始時間は Table 1 に示すように1~16msとバラツキがあった。これに対し岩盤の移動開始も11~54msとバラツいた。また込物飛出し平均速度0~2m間は7~67m/sとバラツキがある。この中で実験1の0~



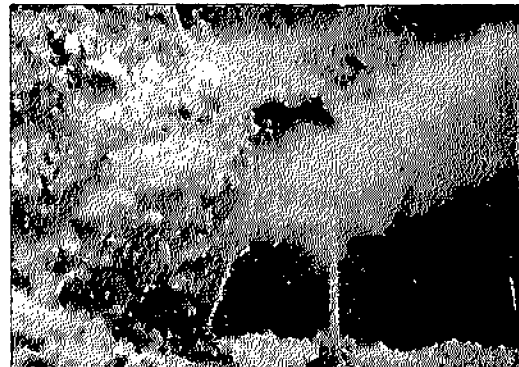
Initiation



270 ms

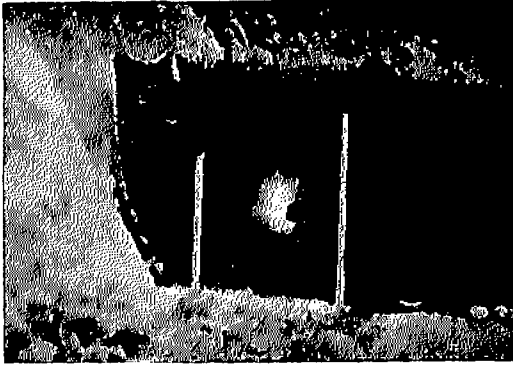


80 ms

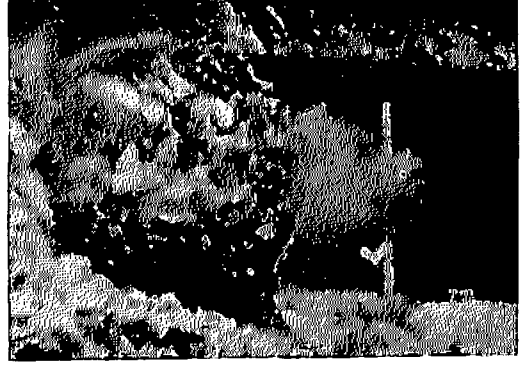


490 ms

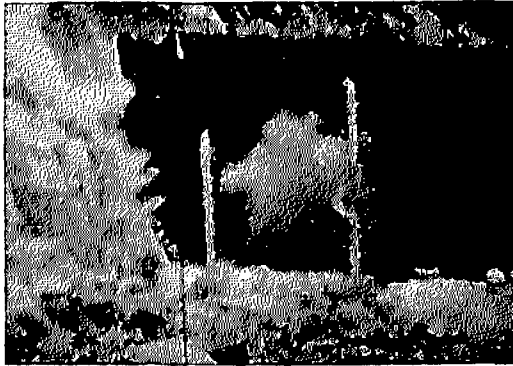
Photo 1 Movements of stemming and rock in case of direct initiation (Experiment No. 11). Gel (inside) and sand were used for stemming materials.



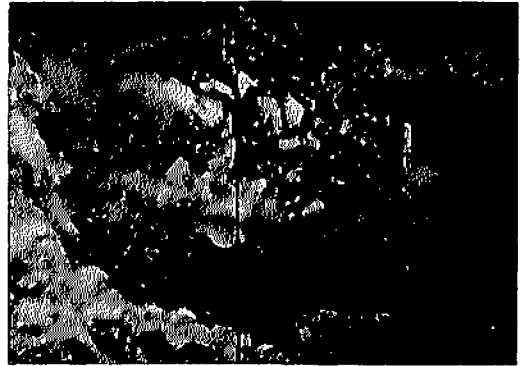
Initiation



390 ms



100 ms



525 ms

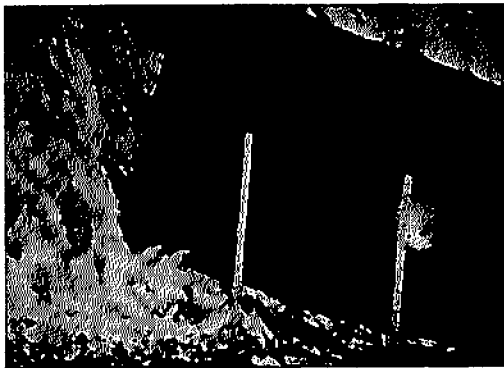
Photo 2 Movements of stemming and rock in case of indirect initiation (Experiment No. 8).  
Stemming materials are same as Photo 1.

1.7m とあるのは、丁度2m 近傍が点火マークの雷管の後ガスで測定不能であったので0~1.7m 間の平均速度という意味である。またこの中で7m/s と遅い速度のものがあるのは、この回の岩質が軟弱なために亀裂等に吹抜けがあったためと考えられる。次に岩盤の移動平均速度0~1m 間は4~5m/s とバラツキは少なく、込物の移動速度と比較して非常に遅い。実験No. 4の孔尻長が多く残ったのは、水タンパーはガス・炭じんに対する保安面は良いが、発破効果の点では筆者らが他の実験で行った結果から総合すると悪いようである。

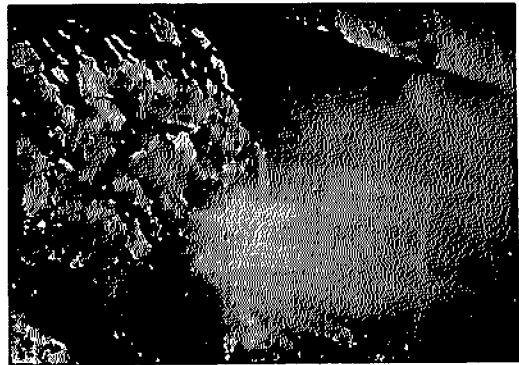
実験b グループの逆起爆で込物がゲルトンパーを先に1本装てんした後、砂タンパーを装てんしたときの込物の移動開始時間はTable 2に示すように8~23msとなり、砂のみ、砂と水併用等の実験a グループに比べ移動開始が遅い傾向にある。岩盤の移動開始は22~38msで砂のみに比べ遅い。これはゲルトンパーによる密閉効果が大であるためと考えられる。次に込物の飛出し平均速度0~2m 間は5~44m/sとなった。この中で0~0.6m, 0~0.8m, 0~1m とあるのは、込

物の飛出しが少なく、0.6m, 0.8m, 1mのところまで殆んど静止し移動しなくなり、岩盤の移動が込物を追越したため測定が難しくなったので、0.6m から1mまでの平均速度を出したものである。岩盤の移動平均速度は5~8m/sとバラツキがあった。これはやや過装薬であったためと考えられる。

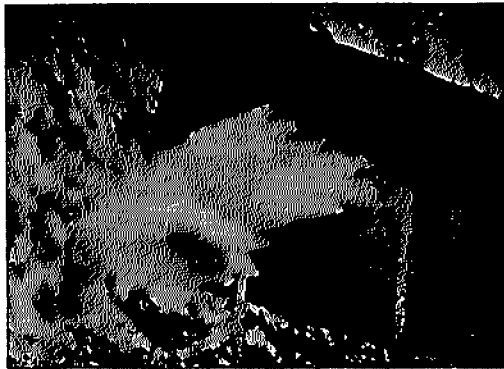
次に正起爆であるが逆起爆と同じく込物がゲルトンパーを先に1本装てんし、後砂タンパーを装てんしたときの込物の移動開始時間が8~41msとバラツキがあった。岩盤の移動開始は21~45msとなり、実験a グループの砂のみに比べ遅い。込物の飛出し平均速度が5~22m/sとバラツキがある。この中で実験No. 14の0~1.8m とあるのは、実験No. 1と同じく、丁度2m 近傍が点火マークに用いた爆薬の後ガスで測定が難しくなったので、0~1.8m 間の平均速度という意味である。岩盤の移動平均速度が3~8m/sとバラツキがあった。また飛石距離を実験b グループと比較すると、同一薬種、薬量で、込物、装てん方法も同じであるのに、正起爆より逆起爆の方が飛石距離が大きいのには、発破が利いて過装薬の状態になったためと考えられる。



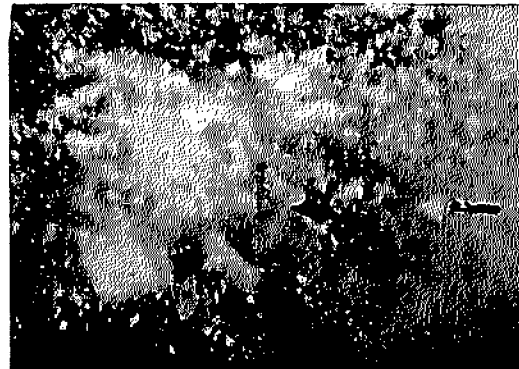
Initiation



320 ms



35 ms



820 ms

Photo 3 Movement of stemming and rock in case of direct initiation (Experiment No. 6). Sand (inside) and water tamping were used for stemming materials.

Table 1 Behavior of stemming and rock (Experiments Group "a") in case for direct initiation of Sanvex-300 Explosive.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	DI	SV	B	Sand	4	0-1.7m 46	11	4	20	0 (all)
2	DI	SV	B	Same as Exp. No. 1	16	7	16	5	10	Same as Exp. No. 1
3	DI	SV	W	Same as Exp. No. 1	3	69	—	—	50 Gravel only	10 or 40 (#2), 0 (other)
4	DI	SV	B	Water (inside) and sand	3	26	24	5	3	30 or 43 (#1) 40, 72, 85, 95 (#2)
5	DI	SV	B	Same as Exp. No. 4	13	63	54	5	8	0 (all)
6	DI	SV	W	Sand (inside) and water	1	41	52	4	8	20 (#2), 0 (other)

- (1) Experiment No.
- (2) Initiation method
- (3) Explosives
- (4) Rock condition  
B. better W. worse
- (5) Stemming material

- (6) Time for beginning of movement of stemming after initiation (ms)
- (7) Average burst speed of stemming between 0 to 2m
- (8) Time for beginning of movement of rock after initiation (ms)

- (9) Average movement speed of rock between 0 to 1m (m/s)
- (10) Distance of rock movement (m)
- (11) Depth of remaining bore hole (cm)

Table 2 Behavior of stemming and rock (Experiment Group "b")

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
7	IN	SV	B	Gel (inside) and sand	10	44	32	8	27	0 (all)
8	IN	SV	B	Gel (inside) and sand	23	0-0.8m 5	38	5	15	Same as Exp. No. 1
9	IN	SH	W	Gel (inside) and sand	8	0-0.6m 12	26	5	16	Same as Exp. No. 1
10	IN	SH	B	Gel (inside) and sand	10	0-1m 10	22	8	30	Same as Exp. No. 1
11	DI	SV	B	Gel (inside) and sand	8	22	42	4	11	Same as Exp. No. 1
12	DI	SV	B	Gel (inside) and sand	41	12	41	8	11	Same as Exp. No. 1
13	DI	SH	B	Gel (inside) and sand	12	5	21	3	7	Same as Exp. No. 1
14	DI	SH	B	Gel (inside) and sand	21	0-1.8m 12	45	4	12	Same as Exp. No. 1

- (1) Experiment No. (5) Stemming material (9) Average movement speed of rock between 0 to 1m (m/s)
- (2) Initiation method (6) Time for beginning of movement of stemming after initiation (ms) (10) Distance of rock movement (m)
- DI : Direct Initiation (7) Average burst speed of stemming between 0 to 2m (11) Depth of remaining bore hole (cm)
- IN : Indirect Initiation (8) Time for beginning of movement of rock after initiation (ms)
- (3) Explosives (4) Rock condition
- SV : Sanvex 300 B : better-
- SH : Shiraume W : worse

このことから正起爆より逆起爆の方が発破効果の点では良好であるのではないかと考えられる。

次に込物と岩盤の移動速度をFig. 3 砂または砂、水併用：正起爆，Fig. 4 ゲル先1本，後砂：逆起爆，Fig. 5 ゲル先1本，後砂：正起爆の3つの図で比較すると，Fig. 3 は点線の込物の速度が実験 No. 2 を除いて立上りが急で，飛出し速度が速い傾向にあり，岩盤の移動速度の実線と離れている。またFig. 4 は点線の込物の速度が実験 No. 7 を除いて，岩盤の移動速度の実線と接近して寝ていることは，込物の飛出し速度が遅い傾向にある。Fig. 5 は点線の込物の速度が，Fig. 3 と Fig. 4 の込物の速度の略，中間帯に位置する傾向にある。このことを総合的に判定すると，Fig. 4 に示すように込物の飛出し速度が岩盤移動速度に接近している方が良好な発破効果があるものと考えられる。逆にFig. 3 に示すように込物の飛出し速度が速く，岩盤の移動速度と離れている場合は，発破効果はあまり良好でないものと考えられる。Fig. 5 はゲル込物の密閉効果でFig. 3 と Fig. 4 の中間帯にある。また逆起爆と正起爆の発破効果は，Fig. 4 及び Fig. 5 に示すように逆起爆の方が発破効果は良好であるといえる。

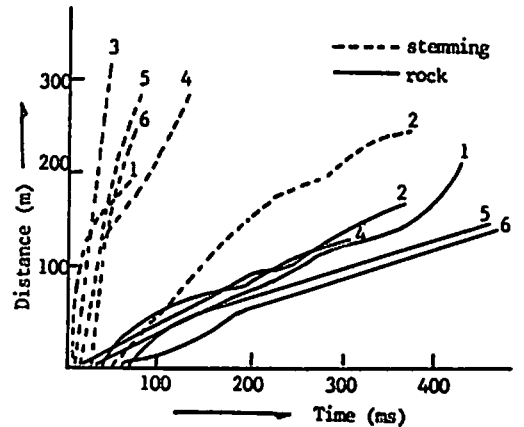


Fig. 3 Speeds of stemming and rock in case of direct initiation. Both sand and water were used for stemming. Figures show experiment number and the rock movement was not measured in case of experiment No. 3.

以上の結果および考察中のバラツキは，岩質の節理等のため石灰石層の発破においてはこの程度のバラツ

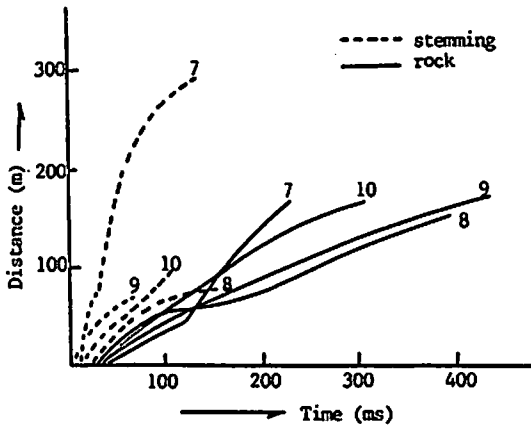


Fig. 4 Speeds of stemming and rock in case of indirect initiation. Gel (inside) and sand were used for stemming. Figures show experiment number.

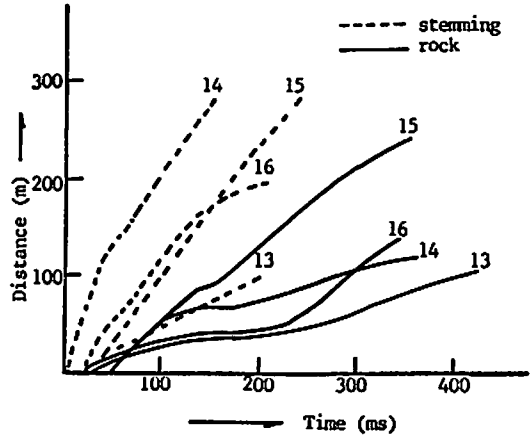


Fig. 5 Speeds of stemming and rock in case of direct initiation. Gel (inside) and sand were used for stemming. Figures show experiments number.

キの幅はあるものと考えられる。

#### 4. むすび

石灰石層のベンチで20MS電気雷管を用い芯抜発破を行い、込物と岩盤の移動開始時間、移動速度および岩石の飛石距離を高速カメラで解析した。また発破込物の効果と正起爆並びに逆起爆方式の発破効果の比較を行った。今回は実規模発破であり、また稼動現場でもあったので多くの実験は出来なかったが、少ないデータで推論すると次の通りである。

- 1) 正起爆の場合、込物の飛出し速度が速く、噴出量も多い。
- 2) 逆起爆の場合、込物の飛出し速度が遅く、噴出量も少ない。また正起爆より発破効果が良い。
- 3) 発破込物は、砂または砂、水併用に比べゲル込物が一番発破効果が良い。

込物別の発破効果は次の順位であった。

ゲル込物 > 砂込物 > 砂先水後 > 水先死後

本研究を行うに当り三井鉱山船尾工業所、旭化成工業粉火薬工場並びに公害資源研・九州石炭鉱山技術研究センター井上邦三、和田良馬、松隈太郎3技官のご協力を賜わり厚くお礼を申上げる。

#### 文 献

- 1) 正田 強他, 産業火薬欧州調査報告, 日本産業火薬会, (1977)
- 2) 山本祐徳他, 工火誌, 19の1 (1960)
- 3) 古閑, 田中, 手島, 松隈, 本間, 町田, 探鉱と保安, 26の2, (1980)
- 4) 田中, 古閑, 手島, 松隈, 本間, 町田, 九炭技ニュース, No. 34, (1980)

## Comparison of Blasting Effect between Direct and Indirect Initiation ( I )

### Behavior of V-cut Blasting

by Yutaka KOGA\*, Toshiyuki TESHIMA\*, Makoto TANAKA\*,  
Shigeo MATSUURA\*, Akiu HONMA\*\*, Kazumi MACHIDA\*\*\*,  
Kazunori KIKUKAWA\*\*\*\* and Sadayoshi YOSHINAGA\*\*\*\*\*

Conducting the cut blasting by 20 millisecond delay electric detonator at a limestone quarry bench, the delay times for the beginning of moving of the stemming material and rock, and their moving velocities after the initiation were analyzed by a high-speed camera. The effectiveness of several kinds of stemming materials and the difference between the direct and the indirect initiations were also examined.

As a brief of the results, we conclude that ;

- (1)The higher moving velocities and larger amount of the ejected stemming material were observed in case of direct initiation,
- (2)The lower moving velocities and the larger amount of the ejected stemming material, and the better blasting results were observed in case of the indirect initiation compare with the direct initiation, and
- (3)The gel-stemming material gave the best blasting effect compare with sand or sand-water stemming materials.

(\*Coal Mining Research Center, Kyushu, National Research Institute for Pollution and Resources : 1142, Nishinogo, Usui-cho, Kahogun, Fukuoka Pref., 820-05 Japan,

\*\*Sunagawa Colliery, Mitsui Coal Mining Co., Ltd. : 22 Kamisunagawa, Sorachigun, Hokkaido 073-02 Japan,

\*\*\*Production Div., Mitsui Coal Mining Co., Ltd. : 2-1-1 Nihonbashi-Muromachi, Chyuo Ward, Tokyo, 103 Japan,

\*\*\*Miike Colliery, Mitsui Coal Mining Co., Ltd. : 170, Harayama-Machi, Ohmuta, Fukuoka, 836 Japan,

\*\*\*\*Miike Branch, Mitsui Construction Co., Ltd. : 1-70, Nishi-Minato-Machi, Ohmuta, Fukuoka, 836 Japan)