

岩石発破の研究

第2報 石灰山における岩石発破の研究

(齊発及びMS発破の写真撮影並に電磁オツシログラフによる岩石破壊進行速度、岩石移動速度及び込め物効果の測定)

(昭和28年4月20日受理)

大川 禎三・本間 邦男・石本 威

(旭化成・延岡工場)

I は し が き

石灰石の発破採石において、ミリ秒発破（以下MS発破と略す）は従来の齊発発破に比して一般に（1）発破に伴う爆音、震動が小さい、（2）岩石の飛散の程度が小さい、（3）岩石が小さく破砕される等の利点が認められている。このような齊発発破とMS発破の発破効果の差異を確かめると共に両者の岩石破壊過程の差異を考察すべく、昭和27年8月大分県津久見市の小野田セメント津久見工場採石場において石灰石発破の諸実験を行った。即ち実験場の岩山に高速度カメラ、常速カメラ、望遠カメラ、電磁オツシログラフを搬入して実際の岩壁や大きな岩石を使用して齊発発破並にMS発破による岩石破壊の進行状況を毎秒1000～3000画の高速度撮影を行うと共に電磁オツシログラフにより、爆薬による岩石の破壊進行速度、岩石の移動（飛出し）速度を測定した。又、電磁オツシロで発破の際の込め物効果も測定した。

本報では高速度撮影画面は都合上掲載出来なかつた。別の機会に譲ることとした。

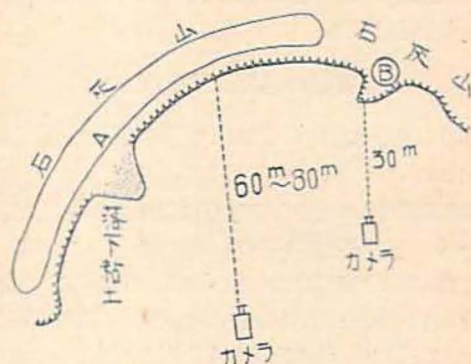
本実験は小野田セメント・津久見工場及び岩崎組の絶大な御協力の下に行われたものである。ここに記して衷心より感謝の意を表する。また御多忙中炎熱下本実験を御視察賜つた東京大学山本教授、通産省浜野技官並に数日間に亘り親しく現地にて御指導を賜つた中央大学須藤教授に深く感謝する。

II 実験 期 日

昭和27年8月15日—8月31日

III 実験 場 所

大分県津久見市小野田セメント・津久見工場採石場
実験場の一部は写真No.1に示した。第1図のAの



第1図 実験場略図

部分の崖（写真No.1参照）に孔長5.5m程度の堅孔を横間隔1.5～2mで10～20本穿ち、齊発又はMS発破をかけた（大規模実験）。そして60～80mの距離に防護小屋（写真No.6）を置きこの中に機械器具類を入れて実験した。また破壊の状況を更に詳しく観察するために第1図のB部分（写真No.1の右端）に孔長1～1.5m、孔間隔1～1.5m、孔数4～5にて齊発発破又はMS発破を行い30mの距離より撮影した（小規模実験）。

IV 実験に使用した機械器具

高速度カメラは既報¹⁾16ミリ高速度活動写真機、常速カメラは16ミリ・シネサクラ（毎秒16画）、望遠カメラはライカに望遠レンズを附して使用した。電磁オツシログラフは横河製3エレメントである。それらの一部は写真No.5に示した。

V 石灰岩の性状、使用穿孔鑿、使用火薬類

- （1）石灰岩 硬度：ショア61～65（普通の硬さ）、比重2.7、質：微結晶質
- （2）使用した穿孔鑿の径及び長さ

イ) 長孔 (20尺前後) 用

段別	1段	2段	3段	4段
長さ	2'-5"~5'	7'-5"~10'	12'-5"~15'	17'-5"~21'以上
直径	1.3/8"	1.5/8"	1.3/4"	1.3/2"

ロ) 短孔 (小割) 用

長さ 2'-0"~3'-10", 長径 1"

(3) 使用火薬類

旭化成製新洞ダイナマイト, 桂ダイナマイト (サイズは25mm, 75gのもの)

日本カーリット製黒扇カーリット (サイズは25mm 56.25gのもの)

旭化成製MS段発電気雷管, 段間隔は15, 30, 40msのものを使用した。

VI 実験の種類及びその方法

(1) 斉発発破とMS発破との発破効果の比較 (大規模実験)。

第1図岩壁Aの部分を使用して孔長5.5m, 孔間隔1.5~2m, 最小抵抗線1.5~2m, 装薬量1.5~2kg/孔, 孔数10~20の大規模発破を行い, 岩石の破砕度, 飛散程度, 採石量等を測定し, 斉発発破とMS発破の発破効果を比較した。込め物は穿孔粉を用いた。

実験した段間隔は15, 30, 40msの3種類であった。当初はタイマーを使用したが発破したため延時薬式MS段発電気雷管を使用した。

(2) 斉発発破とMS発破による岩石破壊進行状況の写眞撮影。

斉発発破とMS発破による岩石破壊進行状況の差異を解明するため(1)の大規模実験を行う際その破壊進行状況を60~80mの距離より高速度カメラにて毎秒1000~2000幀で撮影した。また同時に常速カメラ, 望遠カメラでも撮影した。写眞No. 9~No. 21は望遠レンズで撮影したものであり, 発破中のものは1/500秒のシャッターである。

なほ破壊進行の状況を更に詳細に観察するために第1図Bの岩壁を使用して孔長1~1.5m, 孔間隔1~1.5m, 孔数4~5にて斉発発破又はMS発破を行い30mの近距離より毎秒3000幀の高速度にて撮影した (小規模実験)。

(3) 電磁オシログラフを使用して爆薬による岩石破壊進行速度及び岩石移動 (飛出し) 速度の測定。

第1図Bの岩壁を使用して行つた(2)の小規模実験を高速度撮影すると共に写眞No. 2に示すように最小抵抗線附近の岩肌に錫箔 (厚み0.006~0.008mm, 長さ30cm, 巾3cm) を接着剤セメンダインにてピッ

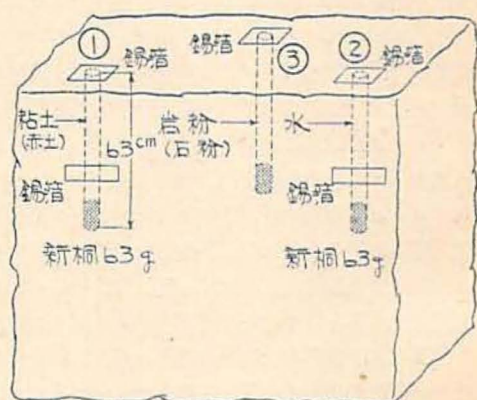
リと貼り付け, また, その附近の岩肌に1枚の銅片 (巾5cm, 長さ10cm) を貼り, 他の1枚は地上より棒の先につかりと附けて岩肌の銅片より少しく離して

立て, 雷管爆発時より錫箔の切断する迄及び2枚の銅片が接触する迄の時間を電磁オシログラフにて測定し, 夫々の時間で爆心より錫箔迄の距離, 2枚の銅片間の距離を除いて最小抵抗線附近における岩石破壊進行の速度及び岩石の移動 (飛出し) 速度を算出した。

(4) 電磁オシログラフを使用して発破の際の込め物効果の測定。

岩壁又は大きな岩石を使用して同一孔長, 同一装薬量の孔にて, 粘土, 岩粉 (穿孔粉で砂混入), 水を夫々込め物として, その孔口に錫箔 (厚み0.006~0.008mm, 長さ10cm, 巾2cm) を前述同様シッカリと

写真 込め物効果測定実験図
(大きな岩石を使用した例)



(①②③はMS雷管を使用)

貼り付け, 雷管爆発時よりこれらの錫箔が込め物の突出によつて切断する迄の時間を測定した。

大きな岩石を使用した1例は第2図及び写眞No. 4に示した。この例では①②③と30ms間隔のMS段発電気雷管を使用した。また孔の前面の岩肌に錫箔を貼り付け破壊進行速度も同時に測定した。更に高速度カメラでも撮影した。

(5) 実験回数

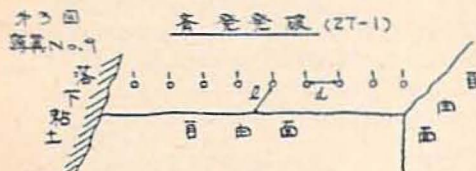
大規模実験18回 (斉発6, MS 12), 小規模実験13回, 小割石を使用した実験7回であった。

VII 実験結果

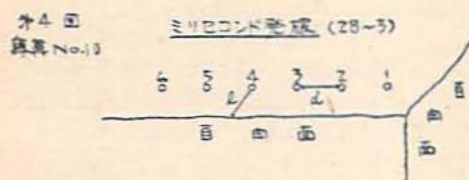
1 斉発発破とMS発破との発破効果の比較 (大規模実験)

斉発6回, MS12回合計18回の大規模発破を行い、

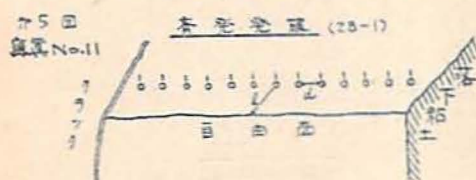
者の差異を検討した。これらの中、紙面の関係上齊発4回、MS9回の実験結果並にその写真を第3図～第15図、写真No.9～No.21に示した。写真No.9～No.14迄は発破前、発破中、発破後と4枚を1組にして示し、No.15～No.19迄は発破中の状況を詳細に示すため発破後は省略した。No.20～No.21は発破中のみを示した。



- (1) 間部の高さ 20m, 孔数 9
 (2) $l=1.5m, d=1.5m$, 孔長 5.4m, 孔径 30~30mm
 (3) 装薬量
 新桐 16 15 16 15 14 15 17 16 15 本 10.725kg
 カーリット 15 18 20 14 15 13 14 18 14 7.931kg
 計 18.656kg
 (4) 採石量 約400t, t当り火薬使用量 46.0g
 (5) 岩石の飛散は大きく約0.8tのものが25mの所まで来た。
 (6) 岩石の大きさ
 0.5~1tのもの……5個, 0.5tのもの……10個
 他は小割発破の要なし



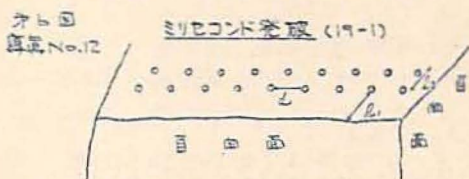
- (1) 間部の高さ 22m, 孔数 6本
 (2) $l=1.5m, d=1.7m$, 孔長 4.8m, 孔径 30~30mm
 (3) 装薬量
 桂ダイナマイト 20 21 21 20 19 16 本計 8.775kg
 (4) 段間隔秒時 1→5 30ms
 5→6 40ms
 (5) 岩石の飛散は15m以内
 (6) 岩石の大きさ
 大きさは非常に小さくすべて小割の要なし



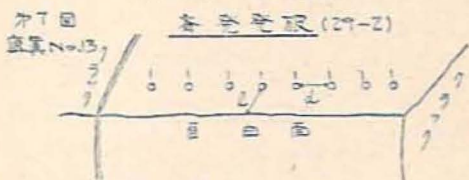
- (1) 間部の高さ 22m, 孔数 15本
 (2) $l=1.8m, d=1.8m$, 孔長 4.8m, 孔径 30~35mm
 (3) 装薬量

新桐	15	14	15	16	14	13	12	16	15	15	14	16	12	本
カーリット	20	10	11	9	7	14	13	15	13	12	10	8	9	
新桐	15.025kg													
カーリット	8.491													
計	23.519kg													

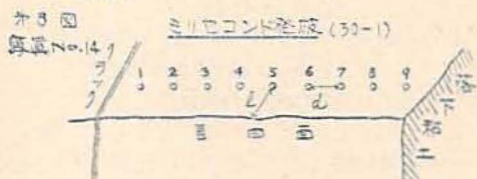
- (4) 採石量 約550t, t当り火薬使用量 42g
 (5) 岩石の飛散大で70mまで飛んだ
 (6) 岩石の大きさ
 約2.5tのもの……1個, 1~2tのもの……6個
 0.5~1tのもの……20個, 他は小割の要なし



- (1) 間部の高さ 20m, 孔数 18本
 (2) $l_1=2.5m, l_2=2m, d=1.7m$
 (3) 孔長 5.4m, 孔径 30~30mm
 (4) 段間隔秒時 すべて 30ms
 (5) 岩石の大きさ; 一般に小で小割を要するもの
 ……2~3個, 他は小割の要なし

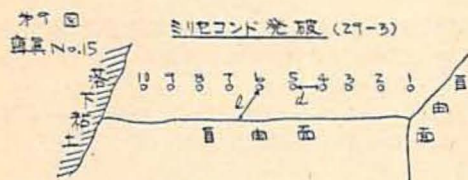


- (1) 間部の高さ 22m, 孔数 8本
 (2) $l=1.5m, d=1.7m$, 孔長 4.8m, 孔径 30~35mm
 (3) 装薬量
 新桐 13 15 14 16 15 16 15 10 本 8.55kg
 カーリット 5 15 15 12 12 11 10 5.062kg
 合計 13.612kg
 (4) 岩石の飛散は20m程度
 (5) 岩石の大きさ
 クラックが多かつた為比較的よく破れていた
 0.5~1tのもの……5個, 他は殆んど小割発破の要なし



- (1) 間部の高さ 23m, 孔数 9本
 (2) $l=1.8m, d=1.8m$, 孔長 5.4m, 孔径 30~35mm
 (3) 装薬量
 新桐 16 16 16 16 16 16 16 13 本 10.575kg
 カーリット 4 2 5 5 4 10 7 15 11 3.543kg
 合計 14.118kg

- (4) 段間隔秒時 1→5……30ms, 5→9……40ms
 (5) 採石量 約400t, t当り火薬使用量35g
 (6) 岩石の飛散は15m以内
 (7) 岩石の大きさ; すべて小割発破の要なし



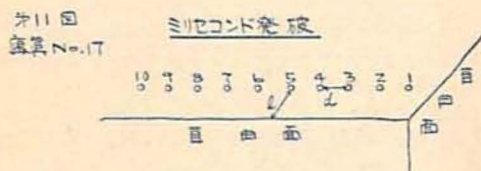
- (1) 間部の高さ 27m, 孔数 10本
 (2) $l=1.8m$, $d=1.8m$, 孔長 4.8m, 孔径 30~35mm,
 (3) 装薬量
 新 桐 10 15 15 15 15 15 16 15 15 本
 ○○○○○○○○○○○
 カーリット 12 18 21 18 17 18 15 15 16 18
 新 桐…………… 10.95kg
 カーリット…………… 9.45kg
 合計 20.40kg

- (4) 段間隔秒時 1→5 30ms, 5→10 40ms
 (5) 採石量 約400t, t当り火薬使用量50g
 (6) 岩石の飛散は 15m以内
 (7) 岩石の大きさ
 0.5t 以下ですべて小割の要なし



- (1) 間部の高さ 20m, 孔数 11本
 (2) $l=1.6m$, $d=1.7m$, 孔長 5.2m, 孔径 30~35mm
 (3) 装薬量
 新 桐 15 23 20 20 20 20 20 20 20 15
 ○○○○○○○○○○○
 カーリット 11 15 21 16 21 18 20 19 19 21 12
 新 桐…………… 15.975kg
 カーリット…………… 5.462kg
 合計 21.437kg

- (4) 段間隔秒時 1→5 30ms, 5→10 40ms
 (5) 採石量 7.50t, t当り火薬使用量 36g
 (6) 岩石の飛散は大体 12m以内
 (7) 岩石の大きさ; 約0.5tのもの……5~6個
 0.5t 以下のもの15~20個 他は小割の要なし



- (1) 間部の高さ 23m, 孔数 10本

- (2) $l=1.7m$, $d=1.7m$, 孔長 5.4m, 孔径 30~35mm

- (3) 装薬量
 新 桐 15 15 16 15 15 16 14 10 10 24 本
 ○○○○○○○○○○○
 カーリット 11 21 20 23 21 17 21 16 9 ナレ
 新 桐…………… 11.25kg
 カーリット…………… 8.95kg
 合計 20.20kg

- (4) 段間隔秒時 1→5 30ms, 5→10 40ms
 (5) 採石量 約450t, t当り火薬使用量45g
 (6) 岩石の飛散は大で体10m以内
 (7) 岩石の大きさ
 0.5t 以内ですべて小割の要なし



- (1) 間部の高さ 24m, 孔数10本
 (2) $l=1.7m$, $d=1.5m$, 孔長 5.4m, 孔径 30~35mm
 (3) 装薬量
 新 桐 16 16 16 16 16 15 16 16 16 16 本
 ○○○○○○○○○○○
 カーリット 16 4 21 18 21 20 18 15 21 18
 新 桐…………… 11.925kg
 カーリット…………… 9.675kg
 合計 21.600kg

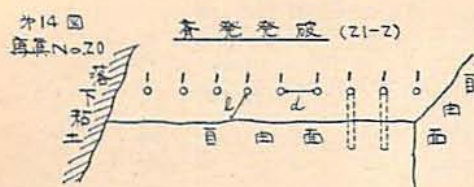
- (4) 段間隔秒時 1→5 30ms, 5→10 40ms
 (5) 岩石の飛散は最大で15m位, 全般的に見て1箇所に集まつて落下する傾向がある
 (6) 岩石の大きさ
 殆んど0.5t 以下で小割の要なし



- (1) 間部の高さ 25m, 孔数 10本
 (2) $l=1.8m$, $d=1.8m$, 孔長5.4m, 孔径30~35mm
 (3) 装薬量
 新 桐 16 16 15 15 16 15 15 10 22 13 本
 ○○○○○○○○○○○
 カーリット 5 13 20 20 17 15 12 ナレ 2
 新 桐…………… 11.475kg
 カーリット…………… 6.750kg
 合計 18.225kg

- (4) 段間隔秒時 すべて40ms間隔
 (5) 採石量 約450t, t当り火薬使用量 40g
 (6) 岩石の飛散は最大12mで1箇所に集まる傾向がある

(7) 岩石の大きさ；すべて小割の要なし



- (1) 間部の高さ 17m, 孔数 9本
- (2) $l=1.8\text{m}$, $d=1.8\text{m}$, 孔長 5.5m, 孔径 30~35mm
- (3) 装薬量

新桐ダイナマイト	21	20	18	20	16	16	20	16	16	本
カーリット	17	19	17	21	23	24	18	18	1	
新桐	12.225kg									
カーリット	8.888kg									
合計	21.113kg									
- (4) 採石量 約600t, t当り火薬使用量 35g
- (5) 岩石の飛散状況は最大17~18mまで飛石があった
- (6) 岩石の大きさ；約15tのもの……1個, 2~3tのもの……2個, 1~1.5tのもの……15~20個, 他は小割の要なし



- (1) 間部の高さ 22m, 孔数 5本
- (2) $l=1.8\text{m}$, $d=1.8\text{m}$, 孔長 4.8m, 孔径 30~35mm
- (3) 装薬量

新桐	14	16	15	14	16	本	5.625kg
カーリット	11	10	8	13	12		3.038kg
合計							8.665kg
- (4) 段間隔秒時 すべて30ms
- (5) 採石量 約250t, t当り火薬使用量 34g
- (6) 岩石の飛散は10m以内
- (7) 岩石の大きさ；非常に小さくすべて小割の要なし

以上の比較実験にて得られた結果は

- (1) MS発破は斉発発破に比し一般に
 - (イ) 発破に伴う爆音及び震動が小さかった(発破を行う際、山を降りずに山上に避難していると震動の小さいことがよく認められる)。
 - (ロ) 発破の際の岩石の飛散の程度が小である。
 - (ハ) 岩石は小さく破碎されている。
 - (ニ) 写真からMS発破では逐次引続いて起る短秒時間隔の爆発のため、先に爆発した場所の岩石は段々と小さく砕けて行っているのが見られる。

(2) 斉発発破では爆薬の爆発終了時における岩石の大きさは、写真より見ると一般にMS発破に比して大きく、この大きさのまま落下する。

(3) MS発破で岩石が小さくなる理由に就ては別に考察したいが、高速度撮影の結果より見ると、落下の途中衝突して小さく砕けるというようなことは余りないようであり、爆発終了時に既に細かく亀裂がいつてをり落下の途中にこれらが離れ離れになつて小さくなつて行くのが見られる。

(4) 写真No.8はMS発破において、丁度2段目が爆発したところである。1~2の段間隔は30ms, 横間隔は2m, 孔長 4.5m, 最小抵抗線1.7m, 装薬量 1は新桐1,275g+カーリット1,069g; 2は新桐1,200g+カーリット1,125gである。

第1段の爆発後これによる亀裂がどの程度進行しているときに第2段目が爆発しているかがよく分る。

(5) MS発破の効果は段間隔15, 30, 40msの間では差異は認められなかった。これ以外の秒時は今回は実験しなかった。

2. 電磁オツシログラフを使用して爆薬による岩石破壊速度及び岩石移動(飛出し)速度の測定

斉発発破, MS発破による岩石破壊進行の状況を高速度カメラで撮影すると共に電磁オツシログラフを用いて、最小抵抗線附近における岩石破壊進行速度及び岩石移動速度を測定した。

方法は前述VI-(3)に述べた通りである。得られたオツシログラムの例は写真No.3, No.7に示した。

岩石の破壊進行速度, 移動速度は岩石の性状, 装薬量, 爆心よりの距離, 込め物等によつて異なり, 爆心附近では非常に速いであろうが最小抵抗線附近で前述の方法で得られた結果は第1表のようである。

これらの結果をみると、鋸屑自体の切断所要時間等の誤差はあるが、この実験の範囲では最小抵抗線附近では破壊速度は概ね100~200m/secである。而してこれは爆心よりの距離を時間で除した平均速度であり、爆心よりの距離によつて急激に降下すると考えると測定点附近では実際は更に速いものであろう。

3. 電磁オツシログラフを使用して発破の際の込め物効果の測定

方法は前述VI-(4)の通りである。このようにして得られたオツシログラムの1例は写真No.3に示した。この写真でMS雷管の線は雷管の爆発時を示してをり1, 2, 3のところで1段, 2段, 3段が爆発している。込め物効果の線は赤土(粘土), 水, 石粉(岩粉)のところで夫々込め物の突出時を示している。亀裂進行の線

第1表 爆薬による岩石破壊進行速度及び岩石の移動速度

実験 番号	記号	孔長 (cm)	装薬 量 (g)	込め 物	最小 抵抗 線 (cm)	爆心と 抵抗線 の距離 (cm)	鋸切 時間 (ms)	破壊進行 平均速度 d/t (m/sec)	爆心と 接片 の距離 (cm)	接片間 の距離 D (cm)	接片接 着時間 T (ms)	岩石の移 動速度 D/T (m/sec)	備 考
1	S-1	34	35	粘土	60	45	2.1	214	60	2.0	5.5	3.6	横孔
2	M2-1	39	25	粘土	40	40	6.1	66	-	-	-	-	横孔
3	M3-1	120	85	岩粉	75	75	8.4	89	75	5.0	14.5	3.5	③55cm ②65 ①堅孔 (1-2) 32.4ms (2-3) 24.4ms 第2段の鋸切は29.2 msで切断し、第1段 で切断している
	M3-3	120	95	粘土	70	70	7.0	100	-	-	-	-	
4	M3-1	110	75	岩粉	70	70	-	-	70	2.0	5.7	3.5	③85 ②90 ①堅孔(1- 2)29.7ms (2-3) 26.8 ms第1段鋸切切れず
	M3-2	110	85	岩粉	70	70	16.2	43	-	-	-	-	
	M3-3	110	75	岩粉	90	90	8.4	107	-	-	-	-	
5	M3-1	165	225	岩粉	110	110	3.4	320*	110	1.8	7.1	2.5	③150 ②150 ①堅孔 (1-2)28.8ms (2-3) 29.2ms 高速度写真よりみる とこの場合は他に比 し特別に早い様であ る
	M3-2	165	202	岩粉	110	110	14.9	74	-	-	-	-	
	M3-3	165	187	岩粉	95	95	6.6	144	-	-	-	-	
6	M3-1	165	262	岩粉	110	110	-	-	110	2.0	8.8	2.3	① ② ③ 堅孔(1- 2)27.7ms (2-3) 36.6 ms 第1, 第3段鋸切 れず
	M3-2	165	277	岩粉	100	100	9.5	105	-	-	-	-	
7	M3-1	63	25	粘土	50	50	2.6	192	-	-	-	-	約7tの岩を使用、堅 孔①65② (1-2) 30.3 ms
	M3-2	63	25	水	50	50	6.5	77	-	-	-	-	
8	M3-1	37	15	粘土	25	25	2.1	119	-	-	-	-	約5tの岩を使用 ①50② 堅孔 (1-2) 26.0ms
	M3-2	37	15	水	25	25	2.6	96	-	-	-	-	

(註) (1) 使用した新桐ダイナマイトのサイズは 25mm, 75g である (2) 込め物の岩粉とは穿孔粉のことである。

は岩石の前面に貼った鋸切の切断時を示している。

このようにして得られた結果は第2表のようである。

第2表 込め物効果

実験 番号	装薬量 (g)	込め物 の長さ (cm)	粘土 (ms)	岩粉 (ms)	水 (ms)	備 考
1	225	81	1	-	-	岩粉を使用
2	25	35	2.4	-	-	岩粉を使用
3	37.5	55	1.8	3.5	-	岩粉を使用
4	225	80	-	3.3	-	岩粉を使用
5	262	75	-	3.1	-	岩粉を使用
6	25	60	1.6	2.4	0.4	約7tの岩 石使用
7	15	35	1	-	0.7	約5tの岩 石使用

(註) 1. 使用した新桐ダイナマイトのサイズは 25mm, 75g のもの
2. 粘土は強く掘れば指間より出る程度の柔らかさ
3. 岩粉は穿孔粉で砂混入せるもの

これより見ると雷管が爆発してから込め物が孔外に飛び出る迄の時間は、岩粉、粘土、水の三者では、この順に小である。即ち岩粉は孔外に飛び出す迄に最も時間を要している。込め物が孔外に吹き出る迄の時間の長い程爆轟ガスの仕事をしている時間が長いと考えられるから時間の長くかかる込め物ほど爆轟の仕事効果は大きいであろう。

水の場合は飛び出しは速いが衝撃波の伝播が大であるから衝撃効果は大きい。

VII 総 括

(1) 石灰石の発破採石において、斉発発破とMS発破の発破効果の差異を比較し、これらの写真を示した。

(2) 斉発発破とMS発破の発破過程を高速度カメラ、望遠カメラで撮影し、爆轟爆発時の岩石の破砕状況を比較した。

(3) 電磁オフシログラフを使用して最小抵抗線附

近における爆薬による岩石破壊進行速度、岩石移動（飛出し）速度を測定した。

(4) 電磁オッシログラフを使用して、同一孔長、同一装薬量の孔にて夫々岩粉（穿孔粉）、粘土、水を含め物として雷管爆発時より込め物突出時迄の時間を測定して込め物効果を比較した。

終りにこの大規模な実験の遂行を推進された刈谷工場次長、坂口ダイナマイト部長、広瀬雷管部長、太原試験課長、東島課長その他の上司の御指導御鞭撻を深

謝する。また実験期間中渉外その外事務的關係を担当され実験を円滑に進行するよう努力された林善治氏並に炎天下よく諸操作を担当、精進され本実験を無事完遂に導かれた花田大一、松田政昭両君の絶大の努力に衷心より感謝の意を表する。

(昭和27年10月11日西部支部大会にて発表)

文 献

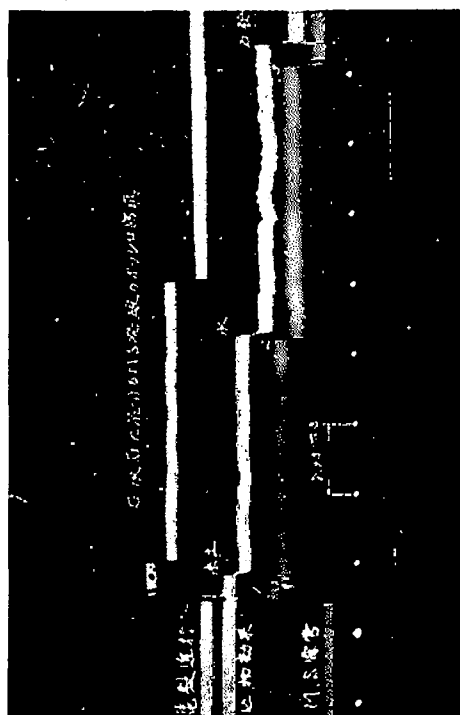
- 1) 大川龍三 本誌13巻4冊

写 真 目 次

- No. 1 実験場の一部
- No. 2 岩石破壊進行速度及び岩石移動速度の測定要領
- No. 3 込め物効果及び破壊進行速度測定結果の1例
- No. 4 込め物効果測定の例
- No. 5 高速度カメラ及び電磁オッシログラフ
- No. 6 防壁小屋
- No. 7 岩石破壊進行速度測定結果の1例
- No. 8 MS発破（2段目が爆発したところ、約30ms後）
- No. 9-1 斉発発破（発破前）
- No. 9-2 〃 （発破中シャッター1/500秒）
- No. 9-3 〃 （発破後の崖）
- No. 9-4 〃 （発破後の岩石）
- No.10-1~4 MS発破
- No.11-1~4 斉発発破
- No.12-1~4 MS発破
- No.13-1~4 斉発発破
- No.14-1~4 MS発破
- No.15-1~2 MS発破
- No.16-1~2 MS発破
- No.17-1~2 MS発破
- No.18-1~2 MS発破
- No.19-1~2 MS発破
- No.20 斉発発破中
- No.21 MS発破中



No. 2 岩石破壊進行速度・移動速度測定要領



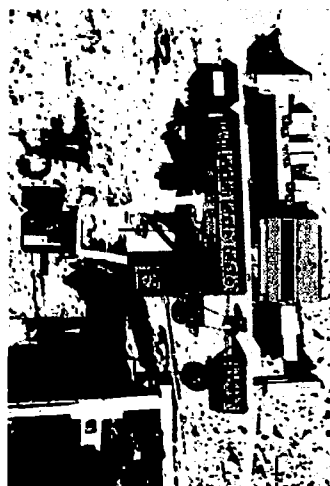
No. 3 込物効果及び破壊進行速度測定例の1例



No. 1 実験場の1部



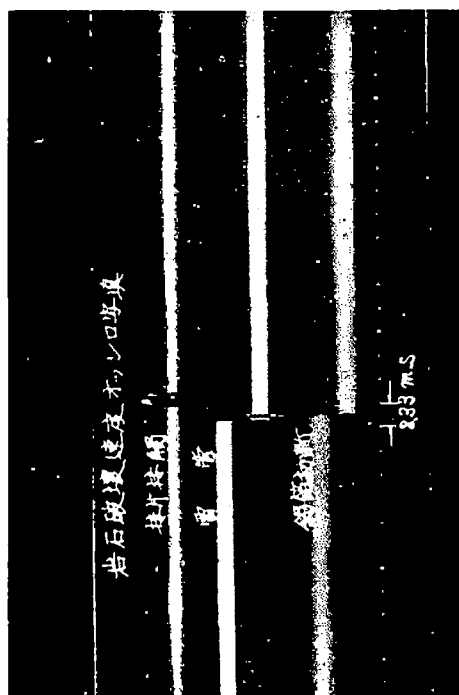
No. 4 込物効果測定の場合



No. 5 高速度カメラ及び電磁オシロスコープ



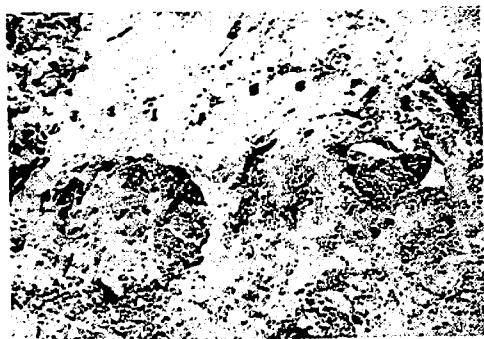
No. 6 防壁小屋



No. 7 岩石破壊進行速度測定結果の1例



No. 8 MS発破（第2段目が爆発したところ）



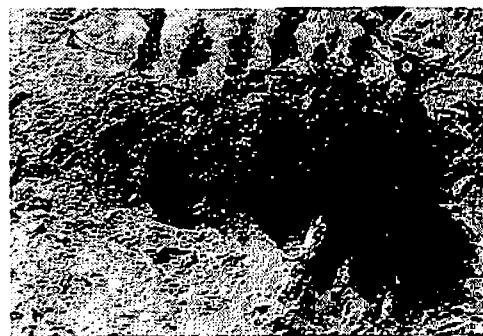
No. 9-1 齊 宛 宛 破



No. 10-1 MS 宛 破



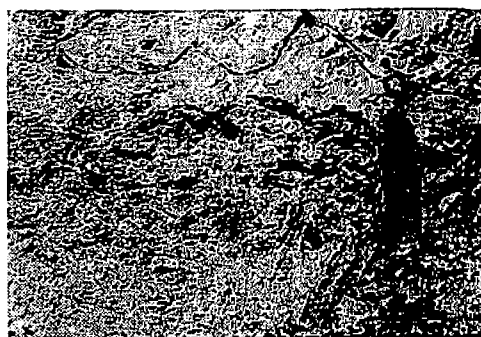
No. 9-2 同 上



No. 10-2 同 上



No. 9-3 同 上



No. 10-3 同 上



No. 9-4 同 上



No. 10-4 同 上



No. 11-1 齊発発破



No. 12-1 MS 発破



No. 11-2 同上



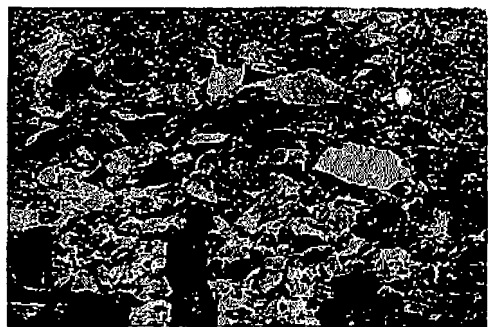
No. 12-2 同上



No. 11-3 同上



No. 12-3 同上



No. 11-4 同上



No. 12-4 同上



No. 13-1 齊亮亮破



No. 14-1 MS 亮破°



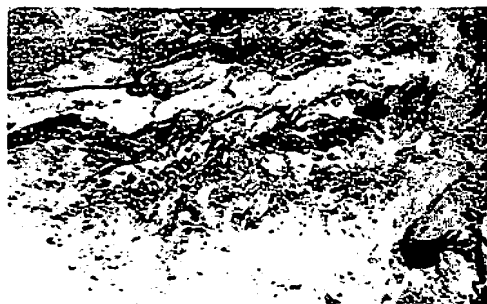
No. 13-2 同上



No. 14-2 同上



No. 13-3 同上



No. 14-3 同上



No. 13-4 同上



No. 14-4 同上



No. 15-1 MS 発破



No. 15-2 同_上



No. 16-1 MS 発破



No. 16-2 同_上



No. 17-1 MS 発破



No. 17-2 同 上



No. 18-1 MS 発破



No. 18-2 同 上



No. 19-1 MS 発破



No. 19-2 同上



No. 20 片発破



No. 21 MS 発破