

スムーズ・プラスティングに関する研究 (第1報)

実験室における模型実験

山口梅太郎*・下村弥太郎*

1. はじめに

スムーズ・プラスティングについては、すでに日本鉱業会誌 (昭和41年6月号) に総説として、一般的な事柄をまとめたが¹⁾、その中で、今日ではスムーズ・プラスティングの設計が試行錯誤的に行われているものであることを述べた。そしてこの技術が、高度のさく孔技術、爆破技術を必要とし、また同時に、爆破理論の発展のための理論的な問題を含んでいることにも触れておいた。

爆破設計を行うためには、豊富な経験と爆破理論の裏付けを必要とする。経験はともかく、スムーズ・プラスティングの実施に必要な実験的知識を得る目的で、実験室における模型実験を行った。以下にその結果をまとめたが、この報文で報告し得るものは、スムーズ・プラスティングのような爆破実験が、実験室的に行えるかどうかさえ疑わしいような状況から出発したものであるため、予備実験的な整備がされていないものであることを、あらかじめおことわりしておきたいと思う。

2. 模型実験

模型実験の主たる目的はスムーズ・プラスティングの小規模実験が実験室で行えるかどうか、さし当たって、実際に爆破孔の間にプレスブリッキングによる亀裂を作ることができるかどうか、また、登列発破による平坦な爆破面を作ることが可能かどうかを確かめることであつた。そこで約 30×30×50cm のセメント・モルタルのブロック²⁾に深さ数センチのボア・ホールをうがち、電気雷管を用いて爆破実験を行なつた。

電気雷管による爆破実験においては、雷管による破壊機構が、雷管の威力面その他の点で³⁾、普通の柱状装薬による爆破と比較することの問題があることは当

然考えられるが、他に適当な方法が考えられなかつたことと⁴⁾、近年発表された2, 3のレポートで⁵⁾⁶⁾、雷管による爆破実験の有用性が認められていることなどから、これに踏み切つた。

使用したセメント・モルタル・ブロック (以下CMブロックと呼ぶ) と電気雷管の仕様は次の通りである。

セメント・モルタル・ブロック

大きさ 約 50×30×30cm 1:2 モルタル (水セメント比=0.44) 散水養生1ヶ月以上
 圧縮強度 556kg/cm², 引張強度 24.6kg/cm²
 脆性度 22.6

電気雷管 帝国火工品製造株式会社製

6号 6.6φ×35mm (銅管, 肉厚 0.2mm)
 DDNP 0.18g, テトリル 0.40g
 3号 (1部の実験に使用) 6.6φ×35mm
 DDNP 0.15g, テトリル 0.35g

3. デカップリング効果とクレーター・テスト

スムーズ・プラスティングにおいて行なわれるクッション・プラスティングの原理は、爆力のクッション作用について定義するデカップリング (decoupling) の概念に基づいている。この概念は、アメリカのT. C. Atchison 等が提唱しているのであるが⁷⁾、爆薬が完全に薬室を充填していないで、薬室の周囲に空隙がある場合、爆力がどのように岩盤に伝わるか、そしてその結果岩盤中を伝播する爆破応力波の形がどのようになるか、ということの問題とするものである。

デカップリングの定義は、爆薬の直径と薬室の直径の比で、密充填のときもつとも小さく1.00であり、薬室が大きくなって空隙が大きくなるに従つて、デカップリングの値も大きくなる。発表された理論的および実験的研究の結果では⁸⁾、爆薬から一定の距離で測定した歪波の振幅は、同一薬量に対して、デカップリングの値 (デカップリング指数) が大きくなるにつれて指数的に減少する。

*¹⁾ 柱状装薬の模型としては、雷管よりむしろ導爆線の方がより妥当に思われたが、装薬量の点と取扱いの点で実験室実験としては適当でないと考えて用いなかつた。

昭和42年10月13日受理

* 東京大学工学部資源開発工学科 東京都文京区

*²⁾ 花崗岩のブロックを用いた実験も試みたが、実験のために花崗岩ブロックの表面を平滑にすることも、直径数ミリ、深さ数センチのボア・ホールを作成することも困難なため、花崗岩を実験材料に使うことは断念した。

CMブロックと雷管で行う模型実験において、単発の爆破によってクレーターを生じない条件を求めることをまず最初に行なった。これは、デカップリングがモルタルの破壊にどのような影響を与えるかを確かめるためと、2つあるいはそれ以上のボア・ホール間に亀裂を作ることを目的とするスムーズ・プラスチックにおいて（狭くいえばスムーズ・プラスチックのうちのプレスプリッティング）、ボア・ホールの周囲にクレーターができることは、スムーズ・プラスチックの意味をなさないと考えられるからである。

使用した電気雷管の直径が6.6mmで一定であるので、直径の異なる一定の深さのボア・ホールをCMブロックに穿孔し、これに電気雷管を挿入して爆破し、生じたクレーターについてそれぞれのディメンションを測定してグラフにプロットした。ボア・ホールの直径は使用したドリルのビット・ゲージによって決まるが、公称ビット・ゲージで示すと7.1, 8.0, 9.5, 11.0, 12.7, 15.9, および19.0mmである。それぞれをデカップリング指数で表現すると、1.08, 1.21, 1.44, 1.67, 1.92, 2.41 および 2.88 に相当する。孔深さを3, 4, 5, 6cmに変化させて、それぞれ約7回の爆破を行なって、それぞれのディメンションの平均値を求めた。

この場合、電気雷管はできるだけボア・ホールの中心に垂直に立てるように、紙の輪でボア・ホールの口元附近で支えてある。雷管の周囲に砂をつめたり、孔の上部（ボア・ホールの深さが4cm以上になると、雷管の先端が孔の中に入る）に砂をつめて填塞することも試みたが、データ不足で結果らしいものは得られなかった。

実験の結果は、Table 1～Table 4 および Fig. 1～Fig. 5 にまとめられるが、かなりバラツキが大きく、各7回ずつの爆破のクレーターの平均値からでも一般的な傾向が得られるに過ぎない。クレーター・テストの結果については、別の機会に検討を加えたいと考え

Table 1 Crater test; crater volume

Hole dia. mm	Decoupling index	Crater volume cm ³			
		(Bore-hole depth cm)			
		3	4	5	6
7.1	1.08	59.9	206.7	46.1	62.7
8.0	1.21	65.8	135.9	62.5	77.0
9.5	1.44	94.4	34.5	55.9	11.7
11.0	1.67	19.8	33.4	26.9	11.7
12.7	1.92	20.9	41.8	2.0	0
15.9	2.41	28.4	0	0	—
19.0	2.88	10.7	0	—	—

Table 2 Crater test; crater diameter

Hole dia. mm	Decoupling index	Crater diameter cm			
		(Bore-hole depth cm)			
		3	4	5	6
7.1	1.08	10.0	18.0	9.4	11.5
8.0	1.21	10.7	14.3	12.4	12.3
9.5	1.44	13.4	8.4	11.1	3.0
11.0	1.67	8.1	8.9	6.1	2.4
12.7	1.92	8.1	10.5	0.9	0
15.9	2.41	8.8	0	0	—
19.0	2.88	4.5	0	—	—

Table 3 Crater test; crater depth

Hole dia. mm	Decoupling index	Crater depth cm			
		(Bore-hole depth cm)			
		3	4	5	6
7.1	1.08	1.63	2.31	1.25	1.87
8.0	1.21	1.63	1.65	1.31	1.68
9.5	1.44	1.84	1.23	1.35	0.53
11.0	1.67	0.96	1.09	0.65	0.36
12.7	1.92	1.00	1.13	0.13	0
15.9	2.41	0.99	0	0	—
19.0	2.88	0.66	0	—	—

Table 4 Crater test; thickness of the crushed zone

Hole dia. mm	Decoupling index	Thickness of the crushed zone mm			
		(Bore-hole depth cm)			
		3	4	5	6
7.1	1.08	7.0	6.7	0.6	0.6
8.0	1.21	5.8	3.1	0.4	0.9
9.5	1.44	4.3	0.4	0.2	0.1*
11.0	1.67	0.8	0.8	0.3*	0.2*
12.7	1.92	1.6	0.7	0.1*	0
15.9	2.41	0.3	0	0	—
19.0	2.88	0.2*	0	—	—

* Measurements have been done on the shots that crater formations were observed only. Calculation of the average value has been done, as no crater shot had no crushed zone.

ている。

一般的に言えることとして、この実験条件で、孔深さ4cm附近でクレーターの最大値が得られること、

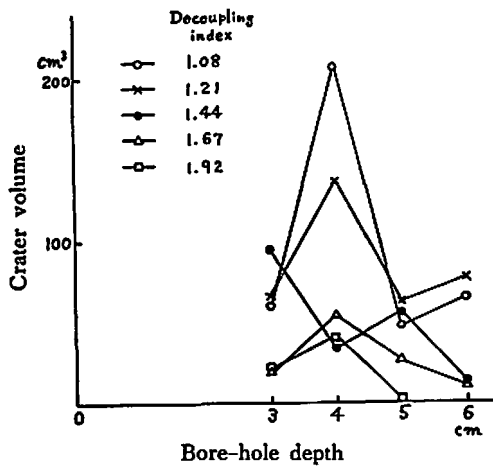


Fig. 1 Relationship between crater volume and bore-hole depth

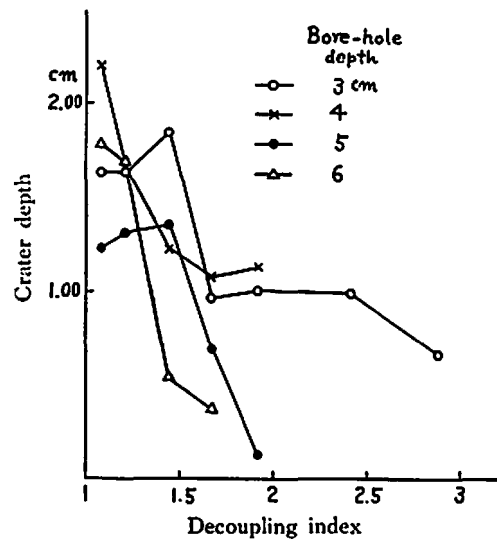


Fig. 4 Relationship between crater depth and decoupling index

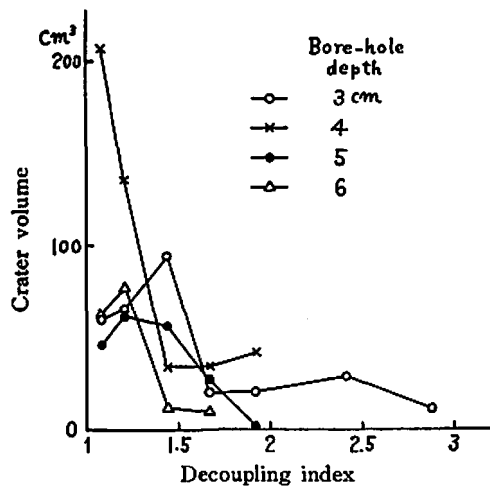


Fig. 2 Relationship between crater volume and decoupling index

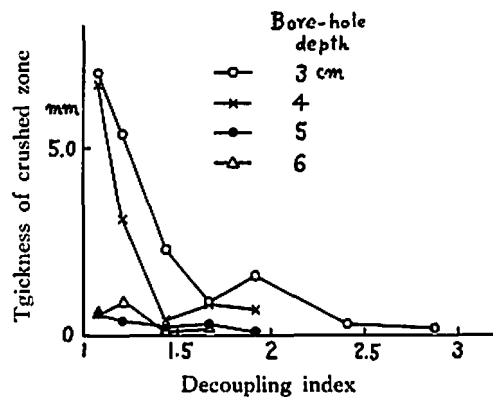


Fig. 5 Relationship between thickness of crushed zone and decoupling index

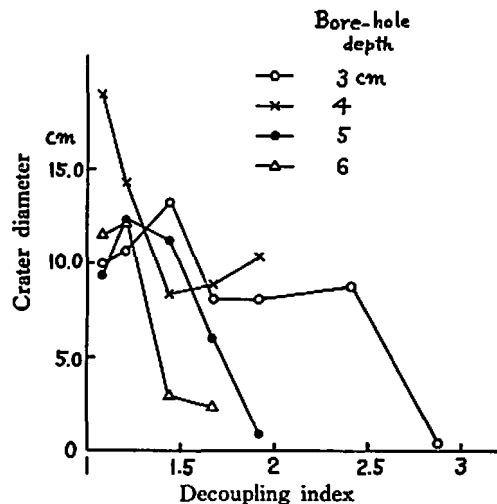


Fig. 3 Relationship between crater diameter and decoupling index

参考にした C. H. Johnson 等のセメント・モルタル・ブロックと雷管による小規模実験の結果に類似した結果が得られたこと、デカップリングの影響が顕著に見られること、などが挙げられる。

デカップリングとクレーターの関係についてのこうした実験は、これまでにほとんど行なわれていないが、デカップリング指数と孔深さがクレーターの形成に非常に影響を与えていることが判る。特に、これは表の上で指摘することができるが、クレーターのできなくなる深さを臨界深度^{*)}と定義すると、臨界深度は図6のように、デカップリング指数に対して直線関係を持つことが知られる。

^{*)} 臨界深度 (critical depth) という言葉は C. W. Livingston によって定義された⁸⁾。

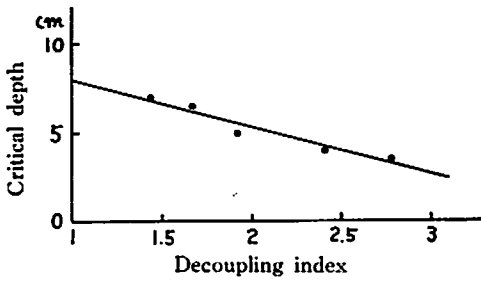


Fig. 6 Relationship between critical depth and decoupling index

4. 2発同時爆破によるプレスブリッキング

デカップリングとクレーターの関係から、それぞれのデカップリング指数に対する臨界深度が求められたので、この条件をもとに、2本のボア・ホール間に亀裂を作る実験を行なった。実験は前節の実験に使用したのと同じCMブロックの上にFig.7のようにボア・ホールを2本並べて穿孔し、それぞれに電気雷

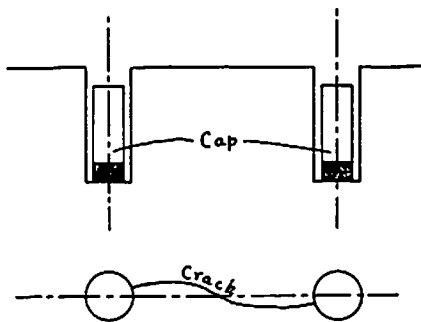


Fig. 7 Pre-splitting test

管を挿入して斉発で起爆させ、2孔間に亀裂を発生させる。この場合、ボア・ホールはブロックの各稜からできるだけはなして、ブロックの側面の影響を避けるように穿孔した。

爆破後、2孔間の亀裂の有無、生じていたとすれば、明瞭であるかどうか、あるいはクレーターが生じているか等を観察して、明瞭な亀裂、不明瞭な亀裂、亀裂なし、クレーターの4つに分類した。明瞭な亀裂と不明瞭な亀裂との間には厳密な区別はなく、主観的なものが介在する。定量的に定めることを目的として、亀裂が中心を結ぶ線からどれだけ離れたところを通るかをもつて判断することも試みたが、ボア・ホールの直径が実験ごとに変化し、亀裂が必ずしもボア・ホールの中心を結ぶ線上の点から出発するものばかりでないことなどから、判定法としては適格であつたとはいえない。

2本のボア・ホールの間隔が極端に接近した場合、

あるいはボア・ホールの深さが臨界深度より小さい場合には、ボア・ホールの間には(各ボア・ホールも含めて)クレーターが生ずる。クレーターが生じた場合、亀裂ができなかつた場合は、いずれもプレスブリッキングが成功したとはいえない。

これらの実験の結果をまとめると Fig. 8 となり、

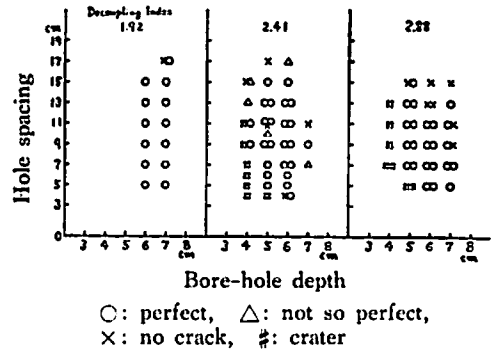


Fig. 8 Effects of bore-hole depth, hole spacing, and decoupling index for making pre-splitting crack.

デカップリング指数、孔深さ、孔間隔(中心から中心まで)の3つをパラメーターとして、それぞれ、プレスブリッキングに最適な条件が定められる。孔間隔に関しては、かなり巾の広い範囲にわたって亀裂が生ずることが認められる。ただこの場合、亀裂の観察の結果では、孔間隔が近い程亀裂は明瞭なものとなり、孔間隔が5~7cmの附近では、明らかにガスが通過したとみられる跡があつて、開いた亀裂となるようであつた。

5. 多数斉発爆破によるスムーズな壁面の形成

2発同時爆破によるプレスブリッキングの実験から、2孔間に亀裂のみを生じさせる条件として、デカップリング指数、孔深さ、孔間隔について最適な条件が Table 5 のように求められた。

Table 5 Most suitable condition for making a presplitting crack

Hole dia. cm	Decoupling index	Bore-hole depth cm	Spacing cm
1.27	1.92	6.5	10
1.59	2.41	5.5	10
1.90	2.88	4.5	10

そこで次に、CMブロックの稜の部分を利用して、Table 5 の最適条件を用いて多数斉発爆破の実験を行なった。広義のスムーズ・プラスティングのうちのクッション・プラスティングのカテゴリーに関する実験

である。

この場合には、2発同時爆破によるプレスブリッティングの実験に、さらに自由面から爆破孔列までの距離、すなわち最小抵抗線の長さや爆破孔の間隔、すなわち孔間隔がファクターとして入ってくる。これらのファクターのすべつを組合せて実験することは不可能であつたので、表5のプレスブリッティングにおける最適条件を中心に、最小抵抗線と孔間隔を変化させて実験を行なつた。Fig. 9 がそれである。

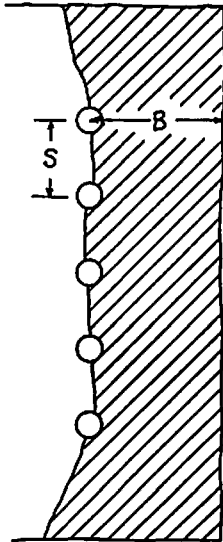
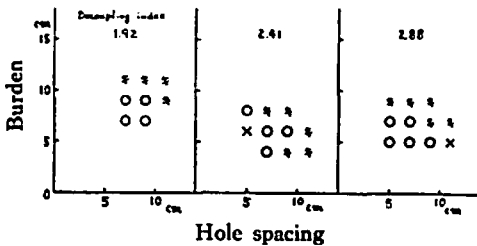


Fig. 9 Test for making smooth-wall by multi-holes single-shot blasting

実験の回数は少ないが、それぞれ Fig. 10 に示させる結果が得られた。



○: smooth-wall, ×: over-break, K: crack

Fig. 10 Results of the test for making smooth-wall by multi-holes single-shot blasting

ここで孔深さ一定の多数斉発爆破について考えてみよう。横軸に孔間隔を、縦軸に最小抵抗線長をとつて、この座標の上で孔間隔を小さくとると、先の2発同時爆破による場合と同様、過装薬によるクレーターが生ずるようになり、たとえ壁面が形成されたとしても、オーバー・ブレイクの現象が生じて壁面は凹凸の

著るしいものになるだろう。また、最小抵抗線の小さい部分を考えると、孔間隔に比して最小抵抗線が小さければ、それぞれの爆薬はむしろ自由面へクレーターを作る働きをして、この場合も、でき上つた壁面が凹凸の著るしいものとなることが考えられる。孔間隔、最小抵抗線とも非常に大きくなつた場合には、これは自由面に無関係な亀裂の発生のみとなつて、プレスブリッティングの効果のみとなる。さらに孔間隔が大きくなれば、爆破孔はそれぞれまったく無関係なものとなる。それ故に、スムーズな壁面を形成する範囲は、これらの部分に囲まれた Fig. 11 の中央の部分で

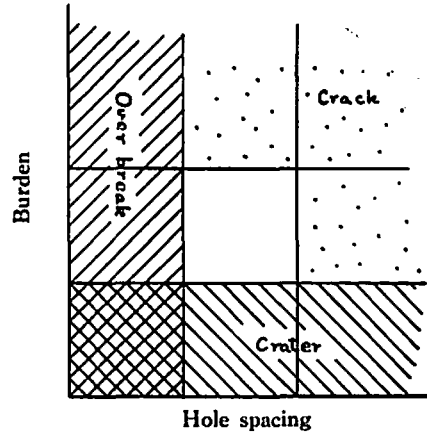


Fig. 11 Explanation of the test for making smooth-wall by multi-holes single-shot blasting

あると考えて良いだろう。モルタルの強度のパラツキ、爆破孔の位置、孔深さ等のパラツキを考慮すれば、Fig. 10 の結果は良い一致を示しているといつて良い。

6. その他の応用的実験

電気雷管とセメント・モルタルのブロックを使って、以上のようにある程度スムーズ・ブラスティングを実験的行なうことができたので、さらに応用の意味で、スムーズ・ブラスティングに対していわれている事実を実験的に確かめることを行なつた。

i. ガイド・ホール

プレスブリッティングにせよ、クッション・ブラスティングにせよ、これまでの実験ではボア・ホールに雷管が挿入されていた。これに対して、U. Langefors は、爆薬が装填されていないボア・ホールが隣接して存在するときには、爆破孔の周辺にできる亀裂はその空孔に向つて伸長すると述べて、パイレックス・ガラスの板を用いて実験的にこれを示した⁹⁾。そして、この空孔をガイド・ホールと呼んだ。

CMブロックの上に数本の空孔を穿孔し、中央の爆破孔の雷管を起爆してみた。極めて近接した空孔との間にはたしかに亀裂が生ずるが、その他の亀裂がすべて空孔に向いているといえるだけのデータは得られなかつた。Fig. 12 はそれらのうちの1例であるが、(a)

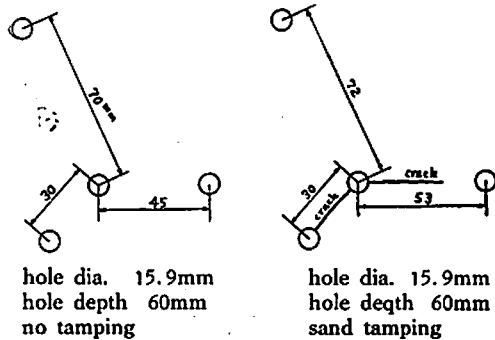


Fig. 12 Guide holes and cracks

では、亀裂の発達をまったくみられず、(b) ではガイド・ホールの効果が認められた。この(b)の場合、爆破孔の雷管の周囲が砂で充填されているが、これらの影響は今後検討すべき問題であると考えられる。

ガイド・ホールの効果はむしろ、2つの装薬されたボア・ホールの中に作られた時により顕著に現われる。実際の作業においても、この中間ガイド・ホールは用いられているが¹⁰⁾、実験においても明らかにされた。実験は、Fig. 13 の穿孔配置で行なわれたが、中

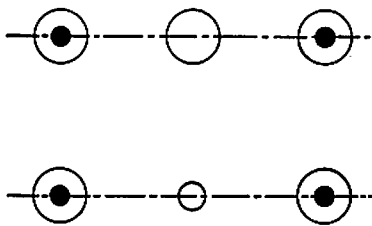


Fig. 13 Internal guide hole
Black spot is a cap.

間ガイドホールを爆破孔の中間におくことによつて、ボア・ホール間に生ずる亀裂がより明瞭なものとなる。ただし、中間ガイド・ホールを作ることによつて亀裂の生ずる2爆破孔間の距離は変らない。すなわち、中間ガイド・ホールを入れることによつて、2爆破孔間の距離を大きくする効果があるのではなく、亀裂をより確実なものとする。

ii. ノッチ効果

U. Langefors は、同じようにパイレックス・ガラ

スによる実験で、ボア・ホールの内壁にあらかじめ Fig. 14 のような刻み目をつけておくことによつて、



Fig. 14 Notches on the periphery of bore-hole

この刻み目の方向に亀裂を発達させる実験を行なつた⁹⁾。これをノッチ効果と呼ぶことにするが、今回の実験でも同じ試みを行なつた。しかし、効果はまったくみられなかつた。もつとも今回は、棒ヤスリでボア・ホールの内壁を擦つて刻み目を作つたもので、果して十分な刻み目であつたかどうか疑問である。

iii. プレスブリッティングによる亀裂を利用した爆破の実験実験

多数斉発爆破によるスムーズな壁面の形成の実験において、爆破孔列の自由面からの距離、すなわち最小抵抗線が大きくなると、各ボア・ホールの間には亀裂が生ずるが、モルタル・ブロックの側面が崩壊してスムーズな壁面が生ずるまでには至らなくなる。そこで、この亀裂を利用して、プレスブリッティングを利用したスムーズ・プラスティングの組合せ爆破の実験を行なつた。Fig. 15 の穿孔配置で、すでにできている亀

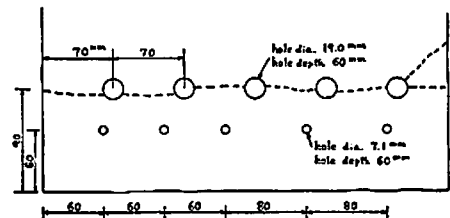
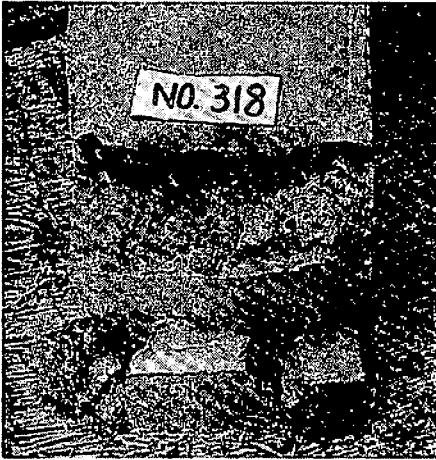


Fig. 15 Smooth blasting with a crack made by pre-splitting

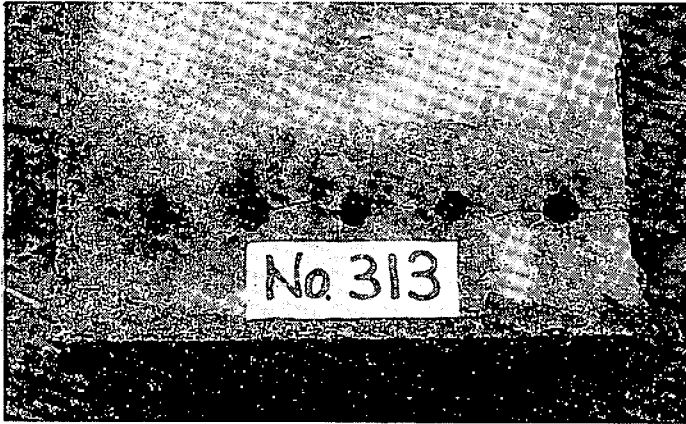
裂と自由面との間を爆破したのもその1例である。

実験の数が少ないため、定量的な取扱いはできないが、明らかにプレスブリッティングの効果が現われて、すでにできている亀裂面に沿つて新しい壁面を作ることができた。いいかえれば、プレスブリッティングによつて生じた亀裂は、爆破による破壊をこの面で遮断する。この場合も、亀裂と自由面との間に穿孔装填される爆薬の量あるいは配置によつて、生ずる壁面のスムーズさが決定される。この差は Photo 5 の左側と右側の壁面にみられる。



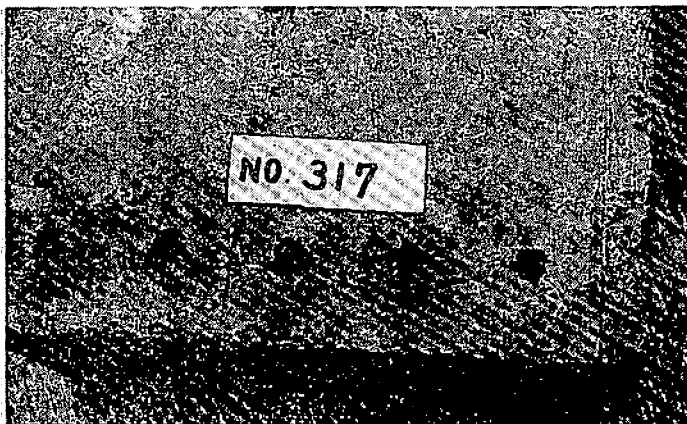
hole dia. : 12.7 mm
decoupling index: 1.92 mm
hole depth: 6.5 cm
hole spacing: 7 cm
burden: 7 cm; smooth-wall

Photo. 1 (No. 318) Multi-holes single-shot blasting



hole dia. : 19 mm
decoupling index: 2.88
hole depth: 4.5 cm
hole spacing: 7 cm
burden: 9 cm; crack

Photo. 2 (No. 313) Multi-holes single-shot blasting



hole dia. : 19 mm
decoupling index: 2.88
hole depth: 4.5 mm
hole spacing: 9 cm
burden: 9 cm; crack

Photo. 3 (No. 317) Multi-holes single-shot blasting

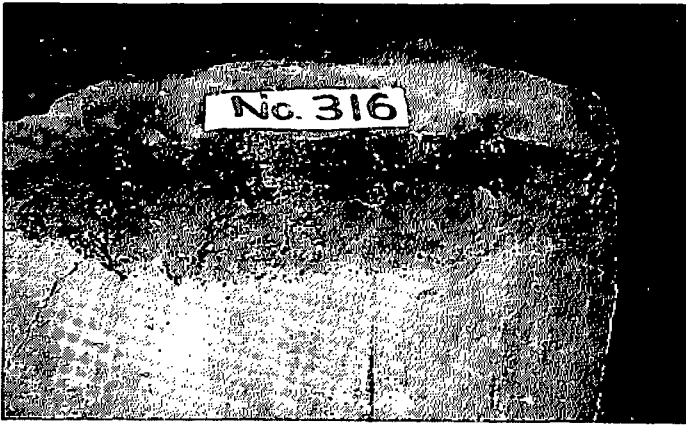
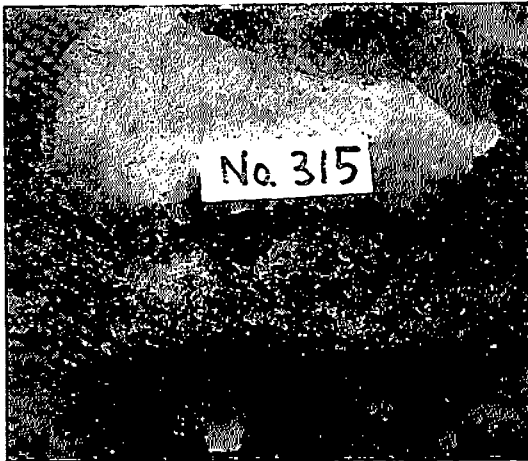


Photo. 4 (No. 316) Multi-holes single-shot blasting

hole dia. : 19 mm
 decoupling index: 2.88
 hole depth: 4.5 cm
 hole spacing: 9 cm
 burden: 5 cm;
 slightly over-break



Hole settling is illustrated in the figure 15

Photo. 5 (No. 315) Smooth blasting with a crack made by pre-splitting

ングと孔間隔が実施に当たりの重要な要素であり、本実験におけるように長孔の爆破と異なる場合には、臨界深度についても考慮する必要がある。

- 4) クッション・プラスティングにおいては、3の要素にさらに、自由面までの距離、すなわち最小抵抗線を要素として加える必要がある。
- 5) 今回の実験条件では、Table 5 に示した条件が、セメント・モルタルにプレスブリッキングによる亀裂を発生させる最適の条件であった。
- 6) ブロックの稜を利用したクッション・プラスティングにおいては、孔間隔と自由面までの距離がほぼ等しいとき、良好な爆破面が作られた。
- 7) スムース・プラスティングの応用的な実験では多くのことは得られなかったが、プレスブリッキングによる亀裂が爆破による破壊を遮断することが知られた。

8. おわりに

スムース・プラスティングに関する研究の第1報として、実験室における模型実験の結果を報告したが、今後も基礎的なデータを得るために、類似の実験を続けるつもりである。第2報以下において、これらの実験結果もまともな次第報告するつもりであるが、スムース・プラスティングの実際的な問題について、またこれらをもとに、スムース・プラスティングの破壊機構についても論じるつもりである。

第1報をおわるにあたり、この実験のために御協力をいただいた帝国火工品製造株式会社の又木武一氏、今田孝治氏、石灰石鉱業協会の下橋貫一氏に深く御礼を申し上げる。同時に、実験の実施にたずさわった本学学生、木村曠（現同和鉱業）、小野沢寛（現日本鉱業）、七島喜久夫（現三井金属）の諸君、ならびに岩石工学実験室の宮崎道雄、森田道明助手に感謝の意を

7. 実験結果のまとめ

以上のように、セメント・モルタルのブロックと電気雷管を用いて、数100発におよぶ模型実験を行なったが、所期の目的であるスムース・プラスティングの実施に必要な実験的知識を得ることができたと考えている。実験の結果はそれぞれの項で述べたが、最後に総括としてまとめておこう。

- 1) セメント・モルタルのブロックと電気雷管による爆破実験は、多くの問題点はあるとしても、模型実験として有力な方法と考えられる。
- 2) セメント・モルタル・ブロックと電気雷管によって、スムース・プラスティングを模型的に行なうことができた。
- 3) スムース・プラスティングの1つのカテゴリーであるプレスブリッキングにおいては、デカップリ

表する。

なお本研究は、文部省科学試験研究費の一部によつて行なわれたものである。(昭和42年4月、日本鉱業会春季学術講演会において一部を発表)

文 献

- 1) 山口梅太郎：スームス・ブラスティング，日本鉱業会誌。昭和41年6月号，525～532頁
- 2) 井田一夫，山本順一郎，磯谷隆，工藤隆義：電気雷管威力試験法の検討（第1報），工業火薬協会誌，80。昭和36年9・10月号，245～253頁
- 3) 田中一三：棒状装薬発破による酒斗孔，工業火薬協会誌，64，昭和33年12月，329～332頁
- 4) J. B. JOHNSON: Small-Scale Blasting in Mortar, U. S. Bureau of Mines, RI 6012, 1962
- 5) J. B. JOHNSON: Feasibility of Model Studies in Blasting Research, Rock Mechanics (edited by C. FAIRHURST), Pergamon Press, 1963 pp. 263～271
- 6) T. C. ATCHISON and W. I. DUVALL: Effect of Decoupling on Explosion-Generated Strain Pulses in Rock, Rock Mechanics (edited by C. F. AIRHURST), Pergamon Press, 1963, pp. 313～329
- 7) D. F. FOGELSON, D. V. D'ANDREA, and R. L. FISCHER, : Effects of Decoupling and Type of Stemming on Explosion-Generated Pulses in Mortar: A Laboratory Study, U. S. Bureau of Mines, RI 6679, 1965
- 8) C. W. LIVINGSTON: Fundamentals of Rock Failure, Quart. Colorado School of Mines, Vol. 51, No. 3 1956, pp. 1～18
- 9) U. LANGEFORS and B. KIHLESTRÖM: Rock Blasting, John Wiley & Sons, 1963, p. 297
- 10) R. S. PAINE, D. K. HOLMES and H. E. CLARK: Controlling Overbreak by Presplitting, Mining Research (edited by G. B. CLARK), Pergamon Press, 1962, Vol. 1, pp. 179～209

Study of Smooth Blasting (1st Report) Laboratory Tests

by U. Yamaguchi and Y. Shimomura

The concept of smooth blasting has become in popular, but the applications are still in trial in Japan.

This is the first report of study of smooth blasting which is being carried out for gathering information to perform the technique. In this report, laboratory tests done by using cement mortar blocks and conventional blasting caps are reported.

As a result, followings have been revealed:

- 1) Model-scale test using a cement mortar block and a conventional blasting cap is useful to test blasting technique.
- 2) Test of smooth blasting has been successfully done by using the above mentioned model-scale test.
- 3) In the performance of pre-splitting which is one of types of smooth blasting technique, decoupling of explosives and hole spacing are the most important factors.
- 4) For cushion blasting which is also one of types of smooth blasting technique, burden is added to the factors of 3) as the other important one.
- 5) In this testing, conditions shown in the table 5 are best to make a pre-splitting crack.
- 6) Smooth wall is built, when burden and hole-spacing are about same.
- 7) Cut-off of propagation of rock fracturing has been shown experimentally.

(Univ. of Tokoy)