

## デカップリングおよび込物の効果に関する研究

山口梅太郎\*, 下谷高澗\*, 茂木源人\*

岩石爆破におけるデカップリングと込物の効果を調べるために、セメントモルタルのブロックと6号電気雷管を用いた小規模爆破実験を行った。その結果、雷管の周囲が空気の場合は、デカップリングの影響は著しく大きい、水が雷管の周囲にある場合は、水が爆轟エネルギーをきわめてよく伝播するため、デカップリングを大きくとつても、その破砕性能はそれ程顕著には低下しないことがわかった。ただし、水の込物としての効果は、水の内部摩擦や壁面との摩擦が小さいので、あまり期待できないこともわかった。そして、これらの結果をもとに、岩石を爆破する場合の爆轟エネルギーの分配ということを考えて、爆轟エネルギーを岩石の破砕だけに消費して、振動、騒音などといった望ましくない現象に消費されないようにする技術の可能性を示した。

### 1. 結論

爆薬の爆力をコントロールして使おうという制御発破の考え方は、最近の爆破技術の発展に大きな影響を与えているが、スムーズブラスティング技術や都市発破の技術として広く利用されている。とくにスムーズブラスティング技術においては、爆薬と爆破孔内壁との間に空隙を作るデカップリングが重要な要素となっているが、この効果については充分な理解がなされていない。また、古くから行われていながら議論の多い問題の1つに、込物の効果に関するものがあり、これについても不明の点が多い<sup>1)2)</sup>。

これらの問題に関係して、以下に述べるような実験を行い、興味のある結果を得たので、その結果と、それについて試みた多少の考察とを報告する。

### 2. 実験の方法と測定

実験は、セメントモルタルのブロックと6号電気雷管を用いて行われた。30cmφ×30cm高さのモルタルのブロックの中央に深さ15cmの爆破孔をせん孔し、その中に6号電気雷管を挿入して起爆し、ブロックの破壊の状況を観察すると共に、ブロックの周囲に配置した圧電素子型の加速度計で、雷管の爆発によってブロックの周囲に生ずる振動の加速度を測定した<sup>3)4)</sup>。

爆破孔の直径、孔込めの状態を変えて観測が行われたが、実験がいくつものシリーズに分けられたため、ブロックのモルタルの性質、6号電気雷管の製作ロットのちがひ、加速度センサーの感度、爆破孔の直径、込物の種類と充填の状況などが少しずつ異なったもの

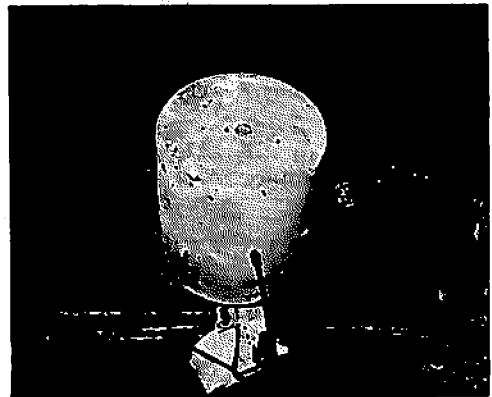
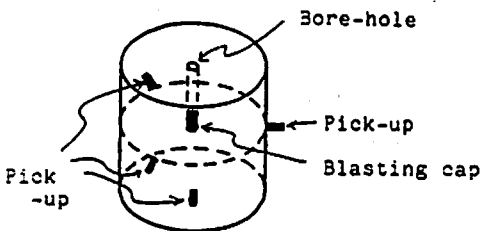


Fig. 1 and Pho. 1 Mortar block and the arrangement of accelerometer

\*東京大学工学部資源開発工学科  
 〒113 東京都文京区本郷 7-3-1  
 Tel 03-812-2111 内線 7042

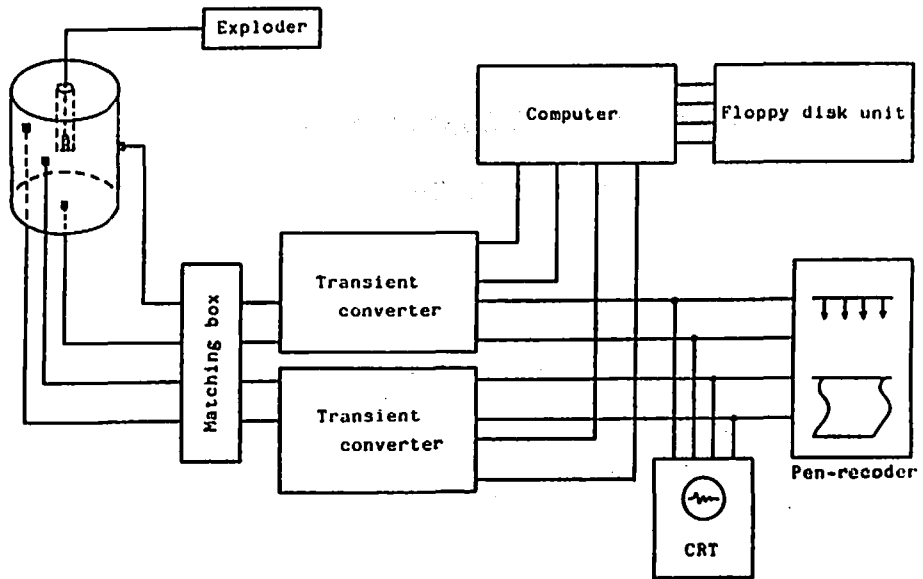


Fig. 2 Measuring system

となった。したがって、観測されたデータは、各シリーズごとにそれぞれ比較が行えたが、全体としてのまとめは、各シリーズごとに得られたそれぞれの結論について比較することによって得られることになった。

計測システムの模式図は Fig. 2 に示されるが、ここで用いた各計測器の仕様は Table 1 にまとめられる。また、各実験シリーズで用いられたモルタルブロックのモルタルの性質、使用した雷管の差具は Table 2, 3 にまとめた。

実験の各シリーズは、爆破孔の直径、すなわち雷管の直径に対するデカップリング指数と孔込めの状況によって差異があるが、それぞれ以下の通りである。

実験 AD: 爆破孔の直径を 8 mm, (12mm), 24mm, 35mm とし、これに 6 号電気雷管 (Table 3 の雷管 1) を挿入する。その上に Fig. 3 のようにカートン紙の仕切りを介して乾燥砂 (登浦の標準砂) を流し込み、口元まで充填密度  $1.47\text{g/cm}^3$  に充填した。モルタルブロックのモルタルはモルタル 1 である。

実験 WD: 爆破孔の直径を 7 mm, 11mm, 17mm, 25mm とし、これに雷管 3 を挿入、Fig. 4 のように水を口元まで満たす。モルタルブロックのモルタルはモルタル 3 B である。

実験 TM (1): 爆破孔の直径を 24mm とし、これに雷管 1 を挿入、この周囲を Fig. 4 のように空気、乾燥砂、

Table 1 Specifications of instruments employed

Instruments	Model	Manufacturer	Specifications
Transient converter	TCCJ	Riken Denshi	
	TCED	Riken Denshi	
Pen recorder	R 13	Rika Denki	
Computer	PC-9801 E	NEC	
Disc Drive	LFD-880	Tokyo Denshi Kagaku Kizai	
Accelerometer	EMIC 540-AAF	Shin-nippon Sokki	Max. acceleration 3000G Resonant frequency >28 KHz Cut-off frequency >11 KHz

Table 2 Physical properties of mortar blocks

Group number	Curing time	Specific gravity g/cm <sup>3</sup>	Compress. strength	Tensile strength	Sound velocity m/s	Young's modulus ×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	Shore hardness
			kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>			
Mortar 1	>4 months	2.08±0.02	770±11	59.3±4.2	4382±67	2.54±0.8	33±8.3
Mortar 2	>4 months	2.19±0.02	972±50	70.8±4.1	3460±85	2.91±0.15	26.7±6.3
Mortar 3A	4 months	2.18±0.03	972±70	62.5±6.6	3991±137	3.55±0.26	27.4
Mortar 3B	4 weeks	2.15±0.04	746±50	53.3±4.4	3521±331	2.78±0.53	23.6

Table 3 Blasting caps employed

Blasting cap	Maker	Diameter
A	Nippon Oil and Fats	6.6 mm
B	Nippon Kayaku	6.7 mm
C	Nippon Kayaku	6.5 mm

水で充填する。モルタルはモルタル1である。

実験 TW: 爆破孔の直径を24mmとし、これに雷管2を挿入し、この周囲に空気、水および水にベントナイトとCMC(カルボン酸メチルカーボネイト)を加えてゲルにして粘性をもたせた流体(粘性流体)を満たした<sup>6)</sup>。水については、水をそのまま爆破孔の流し込んだ場合と、水をプラスチックの水袋に入れて使用した場合がある(Fig.4)。使用した水袋、粘性流体はTable 4に示した。モルタルはモルタル2である。

実験 TM(2): 爆破孔の直径は25mm、雷管は雷管3、モルタルはモルタル3Aである。込物を空気、乾燥砂、水、粘性流体(Table 4の2種類)とし、いずれも口元まで一杯に充填した。

以上が実験のシリーズであるが、それぞれの条件について、いずれも各5発ずつの発破を行ってデータをとった。ただ2、3の条件では5発でなく4発、実験ADの爆破孔の直径12mmはわずか1発のデータしか得ていない。

各発破ごとに、モルタルブロックの周囲にとりつけた振動加速度計で、各4つの加速度振動波が測定され、またそれぞれの発破の破壊の状況が記録された。

### 3. データとその整理

発破の結果得られるデータはFig.5のような加速度波形と、Pho.2のようなモルタルブロックの破壊状況である。Fig.5の加速度波形はトランジエントコンバーターから直接ペンレコーダーに記録させたもので、チャンネル1、-2、-3はブロックの周囲にセットした加速度計の記録であり、チャンネル4はブロックの底面に取付けた加速度計のものである。チャンネ

ル-4(Ch.-4)の波形は発破の都度異なった波形を示すことが多く、データとしてはバラツキが大きく一定の傾向も示さないで、折角ではあったが、データとしては利用しなかった。雷管の先端と爆破孔の底面(ボーリング機械でボーリングしたのちコアの部分)を折りとったもので、平滑ではなく、凹凸をもっている)との接触の状態が一定しなかったためと考えられる。Ch-1, Ch-2, Ch-3の波はそれぞれ安定した値が得られるので、この第1波の波高、波幅(Fig.6)を中心に計測し、データとした。各発破の加速度、波幅などは、それぞれの発破で得られる3つの波形(Ch-1, -2, -3の3つ)の平均値として扱われた。

こうして得られた加速度の値を各実験ごとにまとめたのが、Fig.7~Fig.11である。

加速度の波形は、いずれの発破も、ほぼ同じような形をしている。大まかにいえば、Fig.6のように、比較的明瞭な第1波があり、それが比較的長周期のマイナス波(半径方向の圧縮波が正)に続き、さらに周期的な波へと連続する。そして、その大まかな波の上に細かい高周波がのっている。第1波の波長を、その立

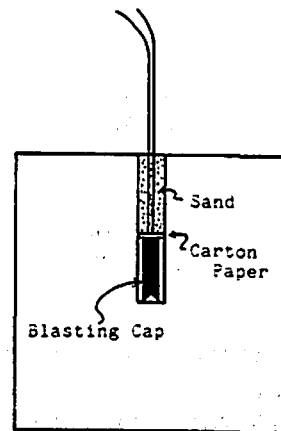


Fig. 3 Tamping system for Test AD

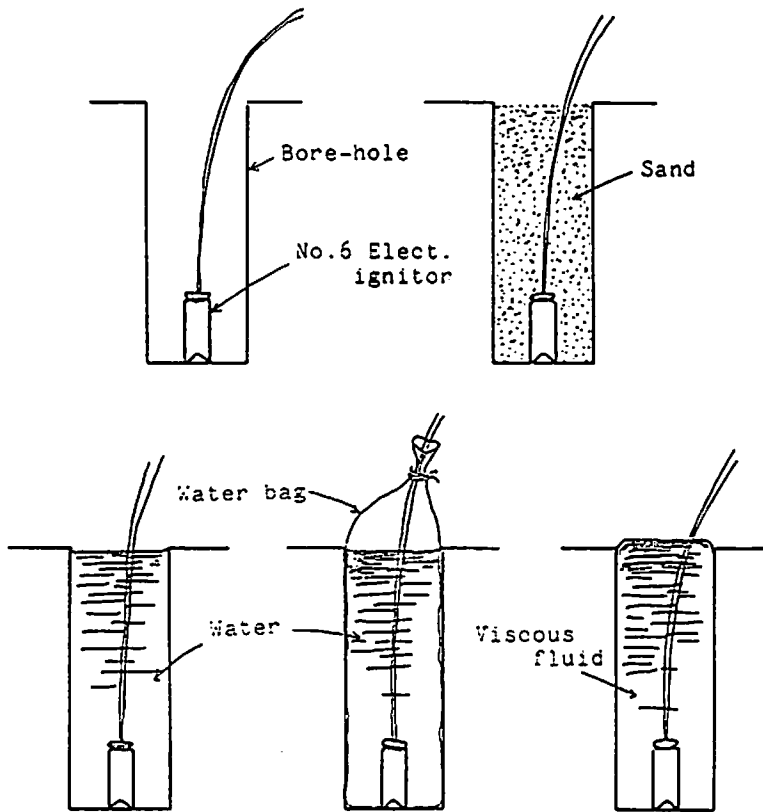


Fig. 4 Models for tamping

Table 4 Viscous fluid and plastic bag

Visco-fluid (Exp. TW)	H <sub>2</sub> O, Bentonite (3%), CMC (1.2%), Sp. Gr. 1.01 (17.8°C) Viscosity (10 min. GS) 56 b/100ft <sup>2</sup> PH —
Mud A (Exp. TM (2))	H <sub>2</sub> O, Bentonite (2.88%), CMC (1.15%), Sp. Gr. 1.02 (19.6°C) Viscosity (10 min. GS) 33.0 b/100ft <sup>2</sup> PH 8.90
Mud B (Exp. TM (2))	Mud A 100 ml + Barite 74.7 g. Sp. Gr. 1.48 (21.8°C) Viscosity (10 min. GS) 38.5 1b/100ft <sup>2</sup> PH 6.38
Plastic bag (Exp. TW)	Polyethylene 0.01 mm thickness 0.02 mm thickness

上りからふたたびOレベルへと低下するまでの時間で表わすと、後述するように、Table 8となる。後方へ連続する周期的な波は、どの場合もほぼ同じ周期で、これは波が円形のブロックの中を往復してできると考

えられるが、破壊が著るしいブロックでは5~6往復で消滅する。

また、それぞれのブロックの破壊状況をまとめるとTable 5となる。この表では、破壊の程度を5段階に

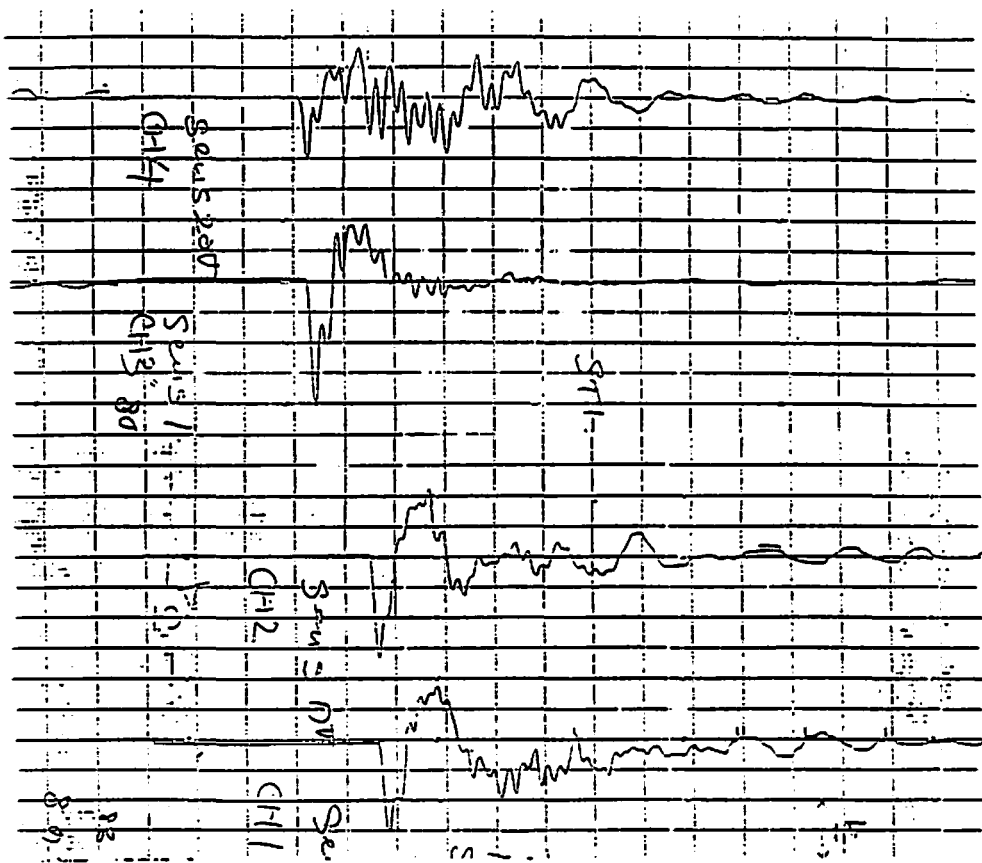


Fig. 5 An example of acceleration waves measured

分け、それぞれ◎, ○, △, ▲, ×で表わすこととした。ここで

- ◎: ブロックが激しく破砕される
- : 著しい開口亀裂が生じている
- △: 亀裂がよく発達している
- ▲: 亀裂がブロックの表面に少し見られる
- ×: まったく亀裂がない。

である。この状況は写真にも示される。

#### 4. デカップリングおよび込物の効果

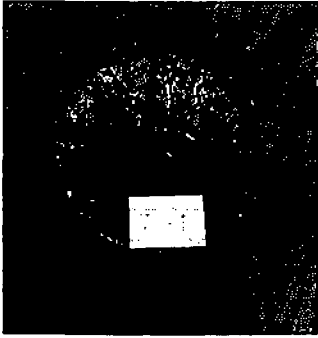
##### 4.1 デカップリングの効果<sup>3)</sup>

デカップリングの効果は Fig. 7 および Fig. 8 に見られる。いずれも孔径を変えてデカップリング指数を大きくすると、モルタルブロックの外周で観測される加速度は変化する。ただし、その変化のし方は雷管周囲が空気の場合と水の場合でまったく逆になる。とくに水の場合、デカップリング指数が大きくなると加速度も大きくなるという常識に反する結果となった。

Fig. 7 および Fig. 8 は実験の結果をそのままプロットしたものであるが、より厳密に言えば、爆破孔内壁

とブロック外周までの距離はブロックの大きさ（直径）が一定であるため、爆破孔の直径が大きくなるとわずかに小さくなる。したがって、爆轟応力波がモルタル内部を通過する間に減衰があるとすれば、その補正が必要である。減衰率をどの程度にとるかがはっきりしないが、一応、距離の2乗に逆比例するものとして、爆破孔の直径24mm（空気の場合）、25mm（水の場合）を1として計算すると、Table 6 のように最大で1割程度の補正が必要となる。これをグラフにすると Fig. 12 となる。今後はこの図の2本の実線を中心に考察を進める。

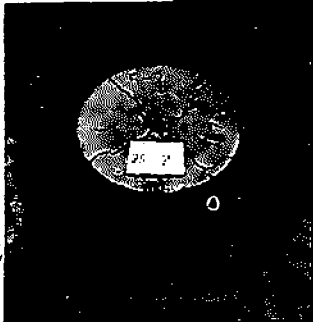
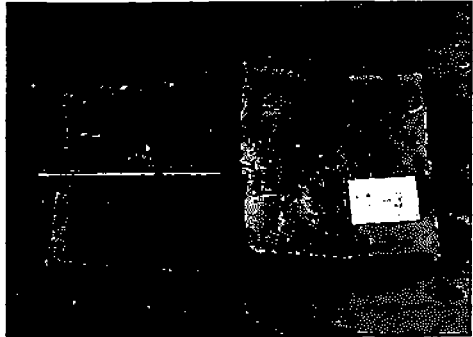
雷管の周囲が空気の場合は、雷管周囲のデカップリングが大きくなればブロック外周での加速度が指数関数的に小さくなるので、これがそのままデカップリングの効果であると結論付けることも許されるにらがない。もちろん、雷管の爆薬の発生ガス量とその周囲の空隙の容積の正確な値がわからないし、空気のクッション作用、すなわち空気の粘性や雷管から発生した衝撃波がモルタルを衝撃する場合のエネルギー伝達の



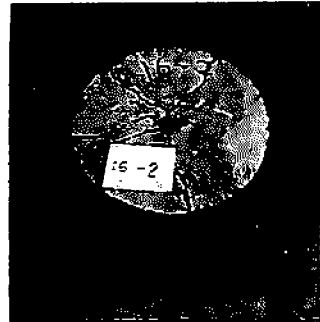
a) ⊙ : Broken to fragments



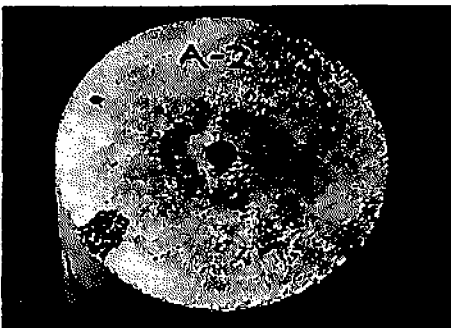
b) ○ : Very cracked with open cracks



c) △ : Very cracked



d) ▲ : Cracked



e) × : No crack

Pho. 2 Broken mortar blocks

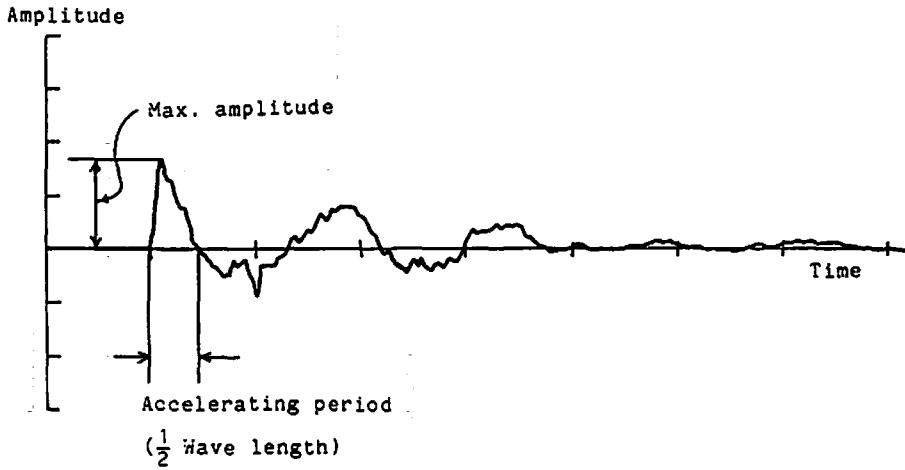


Fig. 6 Maximum amplitude and the accelerating period of acceleration wave

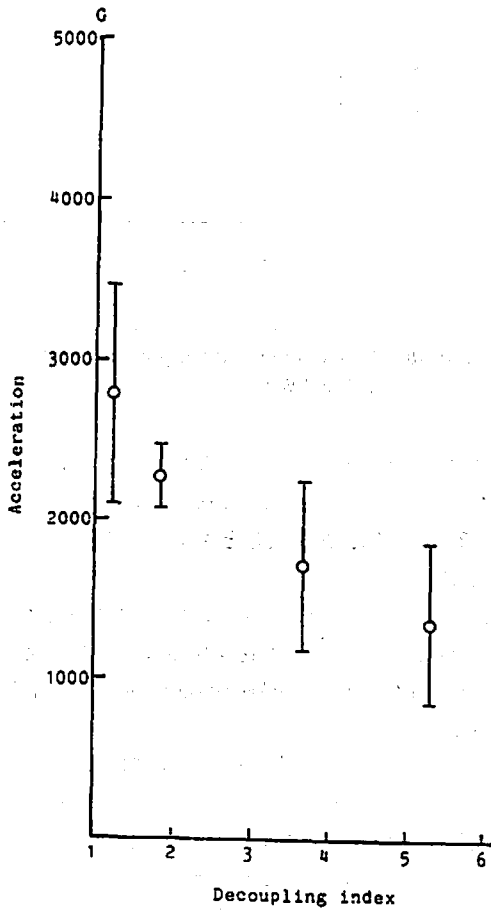


Fig. 7 Acceleration and decoupling index (Test AD, air tamped)

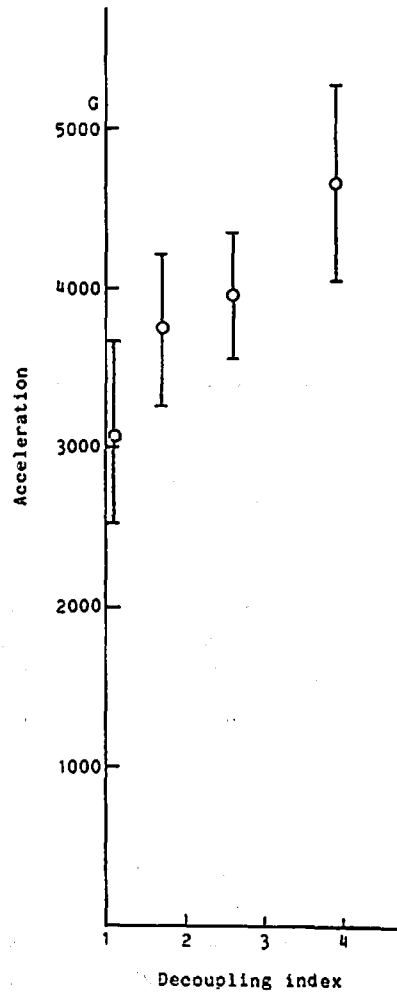


Fig. 8 Acceleration and decoupling index (Test WD, water tamped)

状態によって生ずる効果がどの程度のものになるかもはっきりしないので、定量的には何ともいえない。

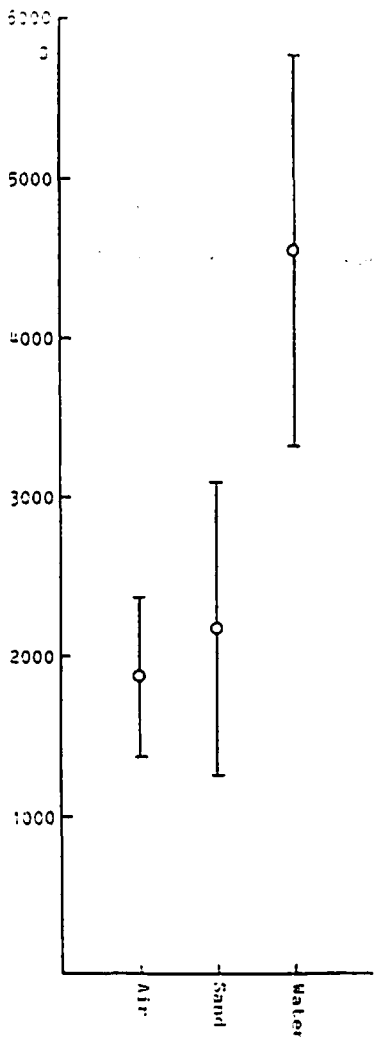


Fig. 9 Acceleration and tamping materials (Test TM (1))

それはそれとして、雷管の周囲が水の場合の説明がどうにもならない。空気、水、モルタルのそれぞれの物性値からそれぞれの特性インピーダンスを計算すると、Table 7 となり、空気にくらべて水の場合に雷管の衝撃エネルギーがきわめてよくモルタルに伝えられることは明らかである<sup>7) 8)</sup>。ここで、水からモルタルへのエネルギーの伝播の間にエネルギーの消費がないと仮定すると、モルタル内部での距離減衰を補正してあるので、Fig. 12 の実線の上の枝が水中でのデカップリングの効果ということになる。爆薬周囲に水がある場合は、モルタルブロックの外周における爆轟応力

註) 雷管の銅の管体の影響といったものもある。

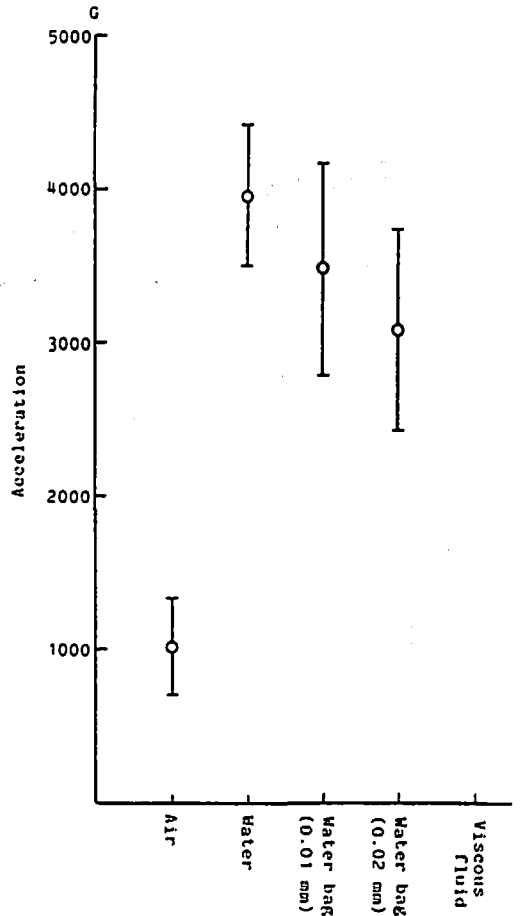


Fig. 10 Acceleration and tamping materials (Test TW)

波の加速度はデカップリングが大きくなると共に大きくなることになり、納得できる結論ではない。

#### 4.2 爆轟応力波の加速度とブロックの破砕<sup>9)</sup>

上に述べたように、コンクリートブロック外周での加速度の値だけではデカップリングの効果の説明は困難に思われる。そこで、加速度の値に、さらに現象として得られたブロックの破壊の状況を加味した考察を試みる。

Fig. 12 を眺めながら Table 5 について検討する。Fig. 12 では、雷管周囲に水がある場合の加速度の値と空気の場合のそれとの間に引かれた曲線が、丁度デカップリング指数 1 のところで合致している。合致したのは偶然、さらにいえば、意識的にそうしたともいえるが、両者がほぼ近い値をとることは間違いない。というのは、雷管周囲に水があっても無くても、デカップリング指数が 1 の場合は、モルタルブロックの外周で得られる加速度の値は同じということである。デ



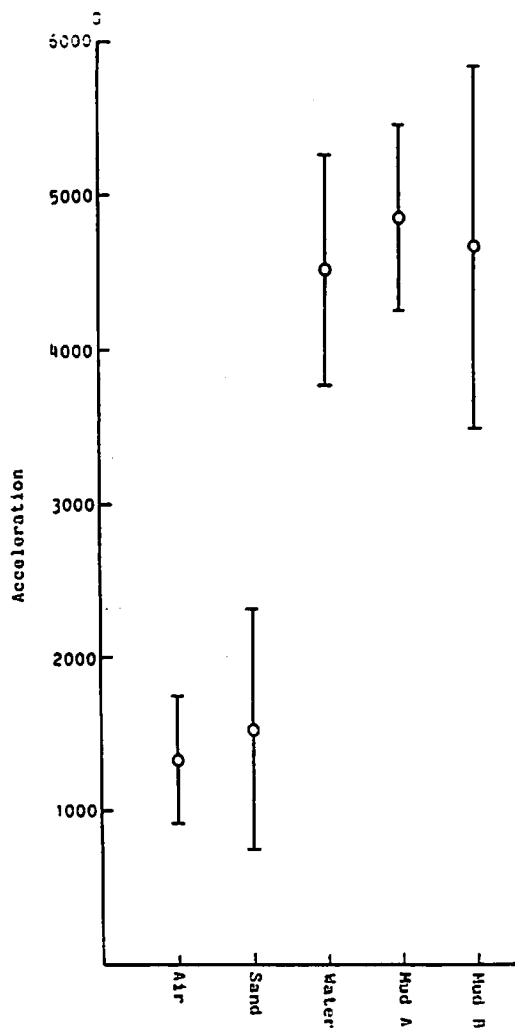


Fig. 11 Acceleration and tamping materials (Test TM (2))

カップリング指数1ということは雷管周囲に空隙が無いことであるから、ここには水も空気も無いことで、当然ということになる。

実験では、デカップリング指数が1に近い場合のものしか結果を得ていないが、その場合のブロックの破碎の状況は、Pho. 2およびTable 5にあるように、雷管周囲に空気がある場合も水がある場合も、共にかなりに激しい、いずれも、ブロックは10個に近い小片に破碎され、とくに上半分の小片は周囲に飛ばされる(飛ばというよりは落されるといった方がよいかも知れないが)。

雷管周囲が空気の場合、デカップリング指数を大きくすると、デカップリング指数1.8の場合でも(試験数はわずかに1つであるが)、見かけ上は、ブロックには亀裂が生じていない。爆破孔直径24mm (D. I.=

3.6), 35mm (D. I.=5.3) では、当然、外見上まったく損傷が生じていない。これに対し、雷管周囲が水の場合は、爆破孔径11mm (D. I.=1.7) の場合は、Pho. 2-b 程度、爆破孔径16mm (D. I.=2.6) の場合はPho. 2-c 程度、爆破孔径24mm (D. I.=3.9) の場合はPho. 2-d 程度に破壊される。これら3つのケースはいずれも亀裂が入ったのみで、飛散することはまったくなく、ブロックはその形状を保ったままであった。後になって、これら亀裂の入ったブロックをハンマーで破碎したが、孔径11mmのものは容易に打ち割ることができたが、24mmの場合は、数本の亀裂がブロックに入っていないながらその破碎には相当の難儀をした。孔径16mmのブロックは両者の中間にあったといえる。ちなみに、雷管周囲が空気、爆破孔径24mm、35mmのブロックは、ハンマーでは破碎ができないので、結局、圧縮試験機で、圧裂引張によって2つ割りにした。

こうして破碎したそれぞれのブロックについて、さらに爆破孔の内部の状況を観察した。Fig. 13はそれらの模式的な例であるが、とくにデカップリング指数が小さい場合には、雷管の周囲に圧碎圏が生じていることが見られた。正確ではないが、圧碎圏の厚みといえるものを測定してまとめたのがFig. 14である。また亀裂には、亀裂の生成後(亀裂の生成と同時に?)、ガスが圧入したと思えるススのあとの見られるものが多かった。

#### 4.3 込物の効果について

込物の効果を変やす結果はFig. 9, 10および11, そしてTable 5である。デカップリングなどの発破条件はすべて同じと考えてよいから、これらの図、表に示されたブロック外周での加速度の値と破壊の状況が込物の効果ということになる。

これで見ると、込物としては水がもっともよく、込物無しと乾燥砂流し込みの効果は、水にくらべて著しく劣る結果となっている。とくに乾燥砂の場合は、実験ADのように、雷管の上にカートン紙で仕切りをした上に乾燥砂を流し込んだ場合と、実験TM(1), TM(2)のように雷管の周囲にも乾燥砂を流し込んだ場合とではほとんど差が見られない。

砂の込物としての効果は、砂粒子同志と砂粒子と爆破孔の孔壁との間の摩擦によるものと考えられるので、今回のように、爆破孔の直径が孔長にくらべて大きく、しかも乾燥した砂を押し込むこともなく、流し込んだだけでは、爆轟ガスの閉じ込めの効果が現われなかったのは当然であったのかもしれない。雷管の周囲に乾燥砂があったとしても、空隙の多い(充填比重1.47)流動しやすい砂粒子のために、ここでも、爆破効果に

Table 5 Failure mode of mortar block

Test series	D. I.	Tamping material	Failure mode
AD	1.2	Air	◎~○
	1.8	Air	x
	3.6	Air	x
	5.3	Air	x
WD	1.1	Water	◎
	1.7	Water	○~△
	2.6	Water	△~▲
	3.9	Water	△~▲
TM (1)	3.6	Air	x
	3.6	Dry sand	x
	3.6	Water	△~▲
TW	3.6	Air	x
	3.6	Water	○~△
	3.6	Water + Plastic bag (0.01)	△
	3.6	Water + Plastic bag (0.02)	△~▲
	3.6	Viscous-fluid	○
TM (2)	3.6	Air	x
	3.6	Dry sand	x
	3.6	Water	△~▲
	3.6	Mud A	△~▲
	3.6	Mud B	○~△

- ◎ : Broken to fragments
- : Very cracked with open cracks
- △ : Very cracked
- ▲ : Cracked
- x : No crack

何らの影響も及ぼさなかったにちがいない。

今回の実験では、水が込物として大きい効果を示したが、水は比重が1であり、水同志および水を爆破孔内壁との間の摩擦もきわめて低いので、ガスの密閉効果はそれ程大きいとは考えられない。むしろこの場合は、水がエネルギーの伝達の媒体としてきわめて優れていて、雷管の爆轟のエネルギーを雷管周囲のモルタ

ルへほとんど減衰なしに伝える役目をしたとするのが正しいと考えられる。

水の代わりに、比重と粘性を高くした粘性溶液を用いた実験の結果が、水よりも多少は良い結果を示したが、これも明瞭とはいえない。また、水をプラスチック袋に入れて行った実験で、プラスチック袋の膜厚が大きいもので多少劣った結果が出たのも、水やプラスチッ

Table 6 Amplitude correction for the propagation distance

	Acceleration measured	G	2788	2273	1723	1370
Air	Propagation length	mm	146	144	138	132.5
	Correction factor		1.12	1.09	1.00	0.92
	Acceleration corrected	G	3123	2478	1723	1260
	Acceleration measured	G	3070	3740	3950	4660
Water	Propagation length	mm	146.5	144.5	141.5	137.5
	Correction factor		1.14	1.10	1.07	1.00
	Acceleration corrected	G	3500	4114	4227	4660

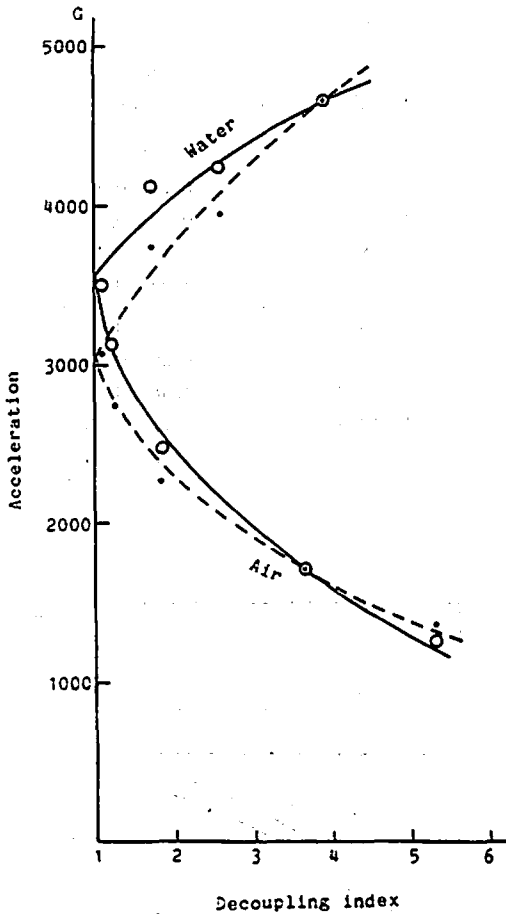


Fig. 12 Corrected acceleration and decoupling index (dotted line is the measured)

ックの膜厚の影響というよりも、プラスチック袋と爆破孔内壁との間にわずかな空隙ができて、エネルギーの伝達が不充分になったところがあったとみるのが妥当である。

4.4 振動のエネルギーと破碎のエネルギー

Table 8 は、実験 WD (水を込物とし、デカップリング指数を変化させた実験) と実験 TM (2) (25mm 直径の爆破孔を用いて行った込物の効果を見るための

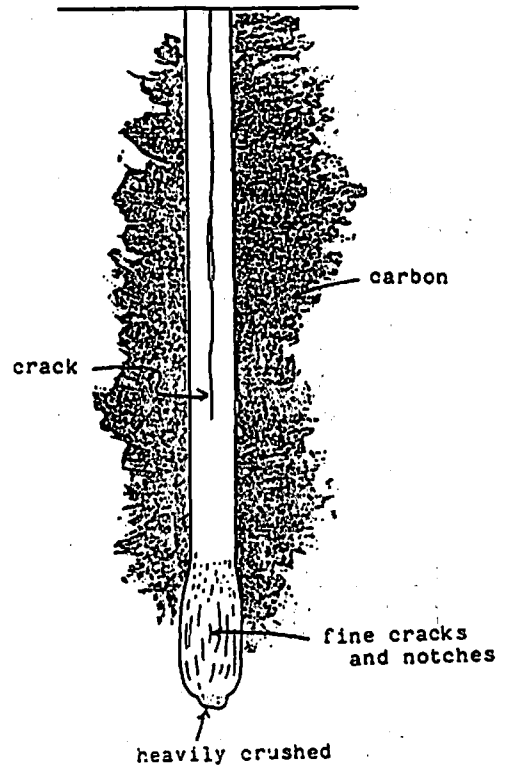


Fig. 13 Sketch of the inside of borehole after blasting

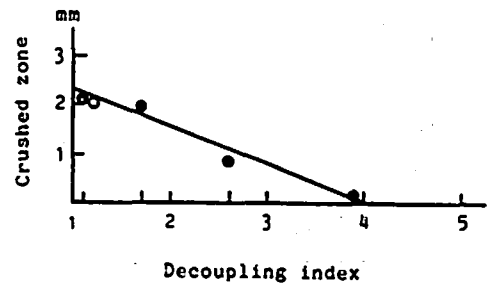


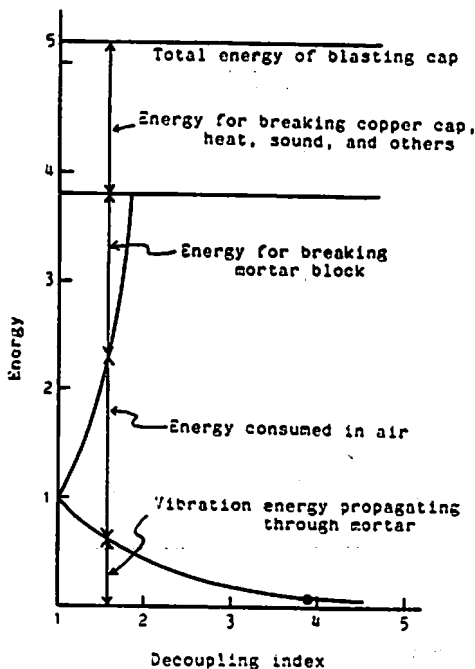
Fig. 14 Thickness of crushed zone and decoupling index  
● : Water tamped  
○ : Air tamped

Table 7 Characteristic impedance of water, air and mortar

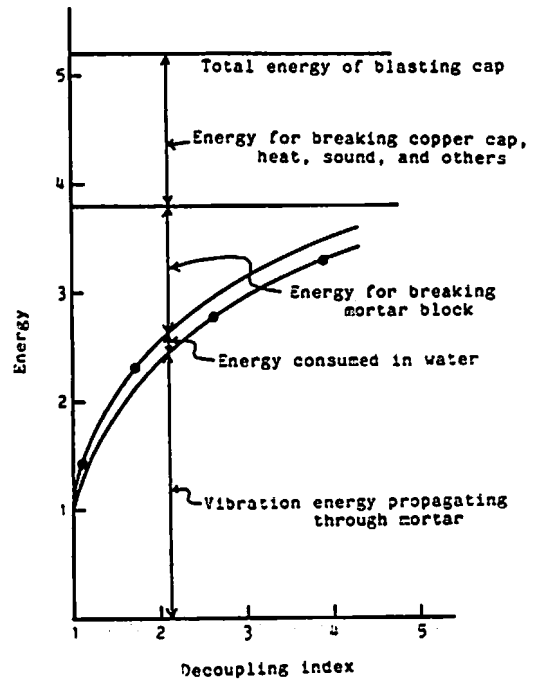
	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Sound velocity (m/s)	Impedance (g/cm <sup>2</sup> ·s)
Water	1	1500	150000
Air	0.0012	330	39.60
Mortar	2.2	3500	770000

Table 8 Velocity amplitude on the surface of mortar block

Decoupling index and tamping materials		Accerelation (peak)	Accelerating interval	Velocity (peak)
		G	$\mu$ s	m/s
Water	1.09	3070 $\pm$ 600	50.1 $\pm$ 5.1	0.75 $\pm$ 0.15
	1.70	3740 $\pm$ 480	55.1 $\pm$ 8.3	0.99 $\pm$ 0.10
	2.61	3950 $\pm$ 390	57.8 $\pm$ 8.6	1.10 $\pm$ 0.13
	3.87	4660 $\pm$ 610	56.9 $\pm$ 6.4	1.28 $\pm$ 0.20
D. I. = 3.87	Air	1328 $\pm$ 422	23.3 $\pm$ 5.9	0.22 $\pm$ 0.07
	Sand	1527 $\pm$ 780	31.9 $\pm$ 9.1	0.25 $\pm$ 0.12
	Water	4509 $\pm$ 745	69.3 $\pm$ 14.2	1.48 $\pm$ 0.22
	Mud A	4850 $\pm$ 602	72.1 $\pm$ 12.9	1.71 $\pm$ 0.35
	Mud B	4663 $\pm$ 1173	72.1 $\pm$ 18.1	1.48 $\pm$ 0.24



(a)



(b)

Fig. 15 Distribution of detonation energy and decoupling index

(a) Air tamped

(b) Water tamped

● : Estimated from the velocity on the surface of mortar block

実験) に対してのみであるが、爆轟応力波の加速度波形を時間で積分して爆轟応力波の最大速度を求めたものである。エネルギーについての検討を行うためには、加速度よりも速度を用いる方がわかりやすいためである。

雷管のエネルギーは、実験の各シリーズで異った雷

管を使用しているため、各シリーズで多少の差異はあるにしても、ほぼ同じである。この雷管の総エネルギーを  $E$  とすると、これはモルタルの中を伝播する爆轟応力波のエネルギー  $E_0$  と雷管周囲のモルタルの圧砕や亀裂の発生に消費されるエネルギー  $E_c$ 、水や空気などの媒体の中で消費され、またそれぞれの境界面で

反射するエネルギー  $E_m$ , さらに熱や音, その他の諸現象に消費されるエネルギー  $E_c$  とに分けて考えられる。すなわち,

$$E = E_0 + E_s + E_m + E_c$$

である。圧砕圏の生成と, ここから伸びる放射状亀裂の生成の機構, 爆破孔内壁におけるエネルギーの受授の問題, さらにには爆破孔内におけるエネルギーの解放と爆轟圧の形成などいろいろと議論も多く不明の点多いので, はっきりとはいえないが, ごく単純に, 今回の実験で得たモルタルブロック外周における加速度と破砕の状況からまとめると, Fig. 15 のように, 爆破におけるエネルギーの分配を模式化することができそうである。

すなわち, 雷管のエネルギーは, デカップリング指数が小さい場合は, 周囲のモルタルの破砕に多く消費され, モルタルの中を応力波として伝播するものはむしろ少ない。逆に, デカップリング指数が大きいと, モルタルの破砕に消費される部分が少なくなり, モルタルの中を伝播するエネルギーが大きくなる。この場合, 雷管周囲の水はエネルギー伝達の媒体としてきわめて良いために, デカップリング指数が大きくても, そのエネルギーはモルタルの破砕にかなり有効に作用する。これにくらべて, 雷管周囲が空気の場合には, 雷管から発生したエネルギーは空气中を伝播する間に消費され, あるいはモルタルの内壁面でエネルギーの伝達が悪いために, 周囲のモルタルを破砕することができず, 応力波のみがモルタルの内部を伝播して行く。

## 5. 結 論

雷管とモルタルのブロックを使った実験によって, 爆破におけるデカップリングの影響と込物の効果について検討した。実験で得られた結果は大変興味深いものであり, とくに, 込物として水を使うことについて有意義な知見を得ることができた。また, 爆薬 (雷管) の周意におけるモルタルの破砕の状況などから, 定量的ではないが, 爆轟のエネルギーが周囲の媒体に対しどのような作用を及ぼすか, そのエネルギーが周囲にどのように分配されるのかについても興味深い結果が得られた。そして, このことから, 上手な爆破を行えば, 爆薬のエネルギーを岩盤の破砕にのみ消費させ, 振動や騒音など周囲に災害を及ぼすような作用には消費させないようにする可能性もあることが示唆される。

今回の研究は, 実験室で雷管を使った模型実験であるが, 実際の作業現場では水を込物に使った, いわゆるアクアブラスティングと称する技術も行われている

10) 11)。筆者等も, 試験的にではあるが, 今回の実験の結果を利用した現場実験も行った。こうした, 水を込物として利用する爆破は, 今後さらに発展するものと確信する。

おわりに, この研究を実際に担当された本学科学学生, 小島正晴, 小竹玄二郎, 伊藤有樹, 永野哲志の諸君, 本学助手官澤政氏, 元本学技官竹内達也氏に心からの感謝の意を表すると共に, 各方面から寄せられた御好意に深く感謝するものである。とくに, 日本カーリット 榊沼倉隆治氏, 甲州砕石 榊山下欣市郎氏には大変お世話になったことを記したい。また, この研究が, 文部省の科学研究費補助金と財団法人火薬工業技術奨励会の研究補助金を受けて行われたことを付記するものである。

## 参 考 文 献

(参考文献として, 以下の文献を付したが, 文献の内容を直接引用したというよりも, 文字通り参考にしたもので, 文献番号と引用箇所との関係も直接的でない)

- 1) 工業火薬協会編: 発破ハンドブック, 山海堂, 1976年
- 2) 日本材料学会編: 岩石力学とその応用, 丸善, 1966年
- 3) W. L. Fourney, D. B. Barkey, and D. C. Hol-loway: Model Studies of Explosive Well Stimulation Techniques, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 18, pp. 113~127, 1981
- 4) D. B. Larson: Explosive Energy Coupling in Geologic Materials, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 19, pp. 157~166, 1982
- 5) 沖野文吉: 新版ボーリング用泥水, 技報堂, 1981
- 6) T. C. Atchison and W. I. Duvall: Effect of Decoupling on Explosion Generated Strain Pulses in Rock, Rock Mechanics (Edited by C. Fairhurst), 313~326, Pergamon Press, 1963
- 7) H. Kolsky: Stress Waves in Solids, Clarendon Press, 1953
- 8) Robert H. Cole: Underwater Explosions, Dover, 1965
- 9) C. H. Johansson and P. A. Persson: Detonics of High Explosives, Academic Press, 1970
- 10) 山下欣市郎: 水圧小割発破, 石灰石 No.211, 38~40頁, 1984
- 11) 草野文彦: 水込物による発破試験結果, 石灰石, No. 207, 24~31頁, 1984

**Experimental Studies on Effects of Decoupling  
and Tamping Materials for Rock Blasting**

by Umetaro YAMAGUCHI\*, Takakoto SHIMOTANI\*  
and Gento MOGI\*

Small scale blasting experiments using cement mortar block and No. 6 blasting cap were carried out for studying effects of decoupling and tamping materials for rock blasting. And then, it has been ascertained that the water surrounding explosive in borehole acts as the very favorable medium for detonation energy of explosive to rock and the effects of decoupling are completely different in the cases in which tamping materials is water or air.

In the final discussion, of the distribution of detonation energy is argued. And a possibility of controlled employment of explosives for rock blasting in which most of detonation energy is consumed for breaking rock not to other bothering phenomena like vibration and sound is suggested.

(\*Department of Mineral Development Engineering, Faculty of  
Engineering, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan)