

## 低爆速爆薬による発破

阿坂重文・横川六雄・三井志郎

岩石発破において生ずる振動公害を防止するには、衝撃波振幅の小さい低爆速爆薬（LDP爆薬と称す）が有効であろうと考えられ、爆速 1,500 m/s、装填比重 0.95 g/cc の低爆速爆薬を開発した。

本報告は LDP 爆薬の爆発特性を検討し、又その試験発破について述べた。LDP 爆薬の爆発特性を、その爆速と鉄管容器の破壊状況の対応において、5つのグループに分類した。即ち Aグループは爆速 2,000 m/s ないし 1,000 m/s のもの、Bグループは 1,000 m/s ないし 500 m/s のもの、C及びDグループは約 300 m/s のもの、及びEグループは燃焼中断のものである。

岩盤のゆるめ発破、ベンチ発破及び坑道掘進発破等の実用試験の結果、発破によって生ずる岩盤内の振動の最大変位速度は、一般爆薬に比べて、爆速 1,500 m/s の LDP 爆薬が著しく小さい値を示した。

又その発破結果も良好で、有効に発破を遂行しうることがわかった。

### 1. まえがき

近年都市周辺や住宅及び一般構造物の近傍における発破が多く、このときの発破振動や爆発音に関する公害防止の対策が要望されている。

これらの発破公害防止の考え方は、大きく2つに分けられる。すなわち、1つは爆源と保護物件との間で被害を最小限に抑制する方法であり、他の1つは爆源のエネルギーを制御して被害を防止する方法<sup>1)2)3)4)</sup>である。

例えば前者ではブラステングフェンス (blasting fence) の利用、プリスプリッティング (pre-splitting) や特殊クッションなどの設置等がある。

後者では、黒色火薬や近年開発された燃焼高発熱組成物などがある。しかしながら前者はその適用に技術的限界があり、後者はその保有エネルギーが小さきに過ぎ発破の適用範囲に限界がある。爆薬の爆発エネルギーは岩の破壊に消費されると共に、一部は媒体中の振動として伝播し有害な振動や音の原因となるものである。波動の伝播は加振力である爆轟圧の大小、及び媒質のインピーダンス特性の影響が大きいと言われている<sup>5)</sup>。発破理論におけるインピーダンスは岩石では、その密度と音の伝播速度の積が、爆薬においてはその密度と爆速の積がとられる。又発破による岩石内の歪

みの大きさは〔爆薬のインピーダンス〕/〔岩石のインピーダンス〕の比が大きいほど大きく、発破効果も良いと言われているが、有害振動防止の目的からは、この比は小さい方が有利である。従って発破効果が期待できる範囲内で爆薬は低比重で、かつ、低爆速である方が、振動公害防止上有効であると考えられる。岩石の物理的性状は幅広く変化するものであり、斯かる観点から、適合する爆薬の爆速の選定が重要な課題である。

従来、爆発成型用と考えられる低爆速爆薬組成物の発表があり、その爆速は 2,500 m/s~300 m/s の広い範囲に及んでいる<sup>6)7)8)9)</sup>。しかし岩石発破用を目的とした低爆速爆薬についての報告は見られないようである。

筆者等は低振動発破を目的とする爆薬として爆速が千数百米、仮比重、1.0 以下、且雷管起爆性であることを目標に研究し、先ず爆速 1,500 m/s、仮比重0.95 の低爆速爆薬 (LDP (Low Detonation Pressure) 爆薬と略称する)を得た。本爆薬は基本組成の比率を変更することにより、その爆速を 500 m/s から 2,000 m/s に任意に変え得る粒状混合物である。

本報告では、特に LDP 爆薬の爆発性、発破性能、及び、発破振動等に関する基礎研究及び、実用発破試験等について行なった結果を報告する。

### 2. LDP 爆薬の性能

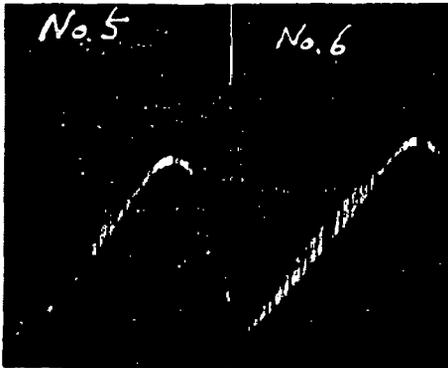
昭和46年9月7日受理

・ 研究場所：日本化薬(株)厚狭工場

爆速 2,500 m/s 以下の爆薬の爆力を、どのような試験法で評価するかは、問題になる点である<sup>10)11)</sup>。例えば D.P.Lidstone は Cartridge Case Deformation Test と称する薬莖の破壊試験によって燃焼と爆轟に分類し、更に、その中間的狀態を Transitional zone 或は Verylowperformance detonation 等に分類し爆力を評価している。本研究では、爆速試験、鉄管破壊試験及び鉄管中の伝爆性試験等によって、その実用性能を評価した。

(1) 爆速及び鉄管破壊試験

写真1は、LDP の流し写真である。



爆速 1040%      1220%

写真1 LDP の流し写真

流し写真法は、肉厚 3mm、内径 35mm、長さ 230mm の透明樹脂パイプに、LDP を詰め、6号雷管で起爆したが、密閉強度が不足のために、爆発が中断した。そこでパイプの外を針金で巻いて補強した。

その実験の写真が、No. 5 及び No. 6 であって、爆速 1,040m/s、及び 1,220m/s で完爆した。このように、LDP 爆薬は適当な密閉強度で雷管起爆性である。

写真2は、LDP 爆薬のカウンター法爆速測定における鉄管破壊状況を示す。鉄管の破片は爆速の低下に

(イ) A群



(ロ) B群, C群, D群, E群

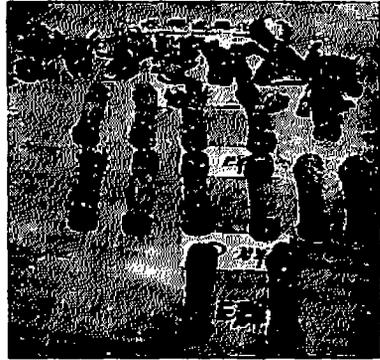


写真2 爆速鉄管の破壊状況

応じて、鋭利さが鈍く、形は大きくなり次のように分類できる。

A群は、爆速 1,000m/s 乃至 2,000m/s のもので、その破片は、高爆速のものに似ており、せん断破壊と考えられる。

B群は、局部的に、せん断破壊も見られるが、ガス膨張によって破壊したという感じで、500m/s 以上の爆速の群である。

C群は、起爆側の鉄管が一部裂けているが、反対側の底は、吹き抜け、薬の残留はなく完爆しており、爆轟と燃焼の中間状態である。

D群は、両端のネジ蓋の底が吹き抜けている、黒色小粒薬が、この状況を示し、燃速 330m/s を測定した。燃焼と考える。

E群は、一方の底蓋は完全な形で残っており、燃焼が中断している。



写真3 長装薬伝爆試験

このように、鉄管の破壊の程度は、その爆薬の爆速と対応し、その破壊状況によって、爆薬の爆力の評価ができる。

写真3は、長さ 800m/m、内径 35m/m 及び 27 m/m の鉄管に、LDP を約 700m/m 直填して、6号雷管で起爆し爆速を測った場合の鉄管の破壊状況を示すものであって、起爆点から末端まで完全に一様に破壊され、爆轟が安定していることを示す。

図1は、写真3の爆速の測定結果であって爆速はイオンギャップ法で測定した。横軸は起爆点より測定点までの距離を示す。起爆点近傍における爆速は、その起爆力によって、このように異なるけれども、15cm 以上では、一定した固有の爆速を示し、爆轟が安定していることを示している。又、薬径 35m/m と 27 m/m では、100~200m/s 程度の差があり、薬径効果が見られる。

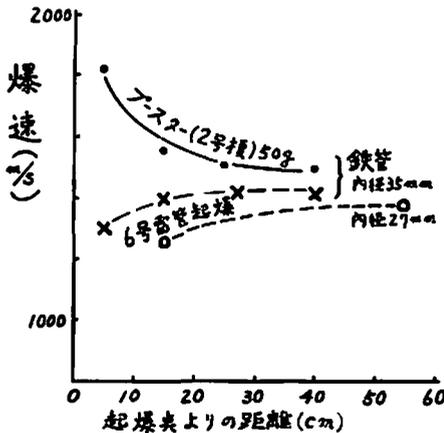


図1 LDP の爆速

(2) 伝爆性試験

伝爆性試験は、水孔での LDP の伝爆性を評価するのが目的で鉄管と薬包の空間を水で満たした。

写真4は、その鉄管の破壊状況を示す。爆速 910 m/s 及び 1,110m/s のロットの試料は爆轟が中断しているが、1,550m/s 以上では完全に伝爆した。又、図2は、本伝爆試験結果と、供試試料の爆速との対応

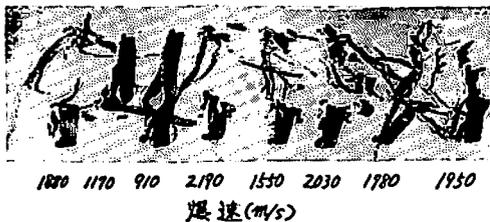
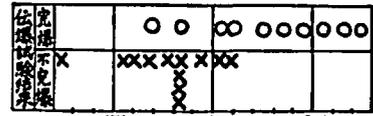


写真4 伝爆試験鉄管破壊状況



LDP爆薬の爆速(m/s)

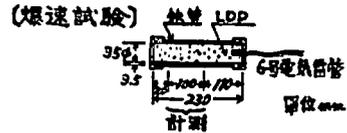
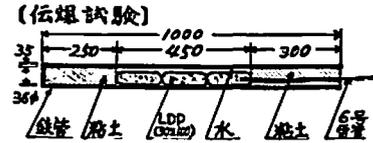


図2 伝爆試験

図である。

爆速 1,500m/s 附近を境に低い側では殆んど不完爆で高い側では完爆しており、水中の音速の約 1,500 m/s と何らかの関係があるのではないかとと思われるような興味深い現象を示した。これから水孔で使用する場合、その実用的な最低爆速は、約 1,500m/s の所に、その下限があるのではないかと考えられる。

(3) LDP 爆薬の性能

表1は、LDP の性能の一例である。

LDP の性能は、仮比重 0.95、鉛増拡大値 187 cc、

表1 性能一覧表

		単位	LDP	新相ダイナマイト	
爆 発 性 能	仮比重	g/cc	0.95	1.40	
	発生ガス量	cc/g	650	860	
	発熱量	cal/g	845	1,230	
	鉛増拡大値	cc	187	394	
	密閉爆速	m/s	1,470	5,740	
	爆轟圧	kg/cm <sup>2</sup>	5.1 × 10 <sup>8</sup>	115.0 × 10 <sup>8</sup>	
振 動 特 性	供試薬量	g	50	50	
	最大変位度 (mm/s)	距離 10	m	1.28	4.25
		20	"	0.46	1.63
		40	"	0.14	0.48
	周波数 (c/s)	10	"	125	167
		20	"	82	115
40		"	46	72	

(注) 振動測定法は文献<sup>13)</sup>による。

爆速 1,470 m/s, これに対して, 新桐はそれぞれ1.40, 394 cc, 5,740 m/s である。爆轟圧を仮比重と爆速値から求めると, 夫々  $5 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ ,  $115 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$  である。

更に両者を砂質土壌中で発破し一定距離における振動特性を比較すると, LDP の最大変位速度は新桐の 1/3 以下であり, 発破振動を低減する所期の目的に適合する特性を示している。

### 3. LDP 爆薬の発破試験

LDP の如き, 低爆速の爆薬による岩石の破壊機構や広範な岩質に対する発破効果等については, 今後の研究に待たねばならないが, 現在までの研究では, 一自由面発破を始め, 各種の発破において, その発破設計を適切にすれば, 従来爆薬に比して, 振動の少ない有効な発破が実施できる見通しを得た。

表 2 LDP 爆薬の発破試験

#### (イ) 坑道掘進及びベンチ発破

試験区 番号	岩質	装薬				切断 羽面 m <sup>2</sup>	穿孔			最抵抗 小線 cm	掘進長 cm	起砕量 m <sup>3</sup>	原単位 kg/m <sup>3</sup>	発結 破果 —	対応する穿孔の振動値の比較				
		薬種	寸度 φ×g	薬量 kg	計 kg		径 mm	長 cm	数						測定 点 m	穿孔 —	薬種 —	薬量 kg	最大変位 速度 mm/s
1	風化 花崗岩	2号板	25×100	4.0	4.0	4.9	36	90	19	60	90	4.4	0.91	良	56	芯助	2号板	0.95	0.7
		LDP	30×100	3.4	7.2	4.9	36	130	19	60	130	6.4	1.13	良	58	芯助	3号桐 LDP	0.3 0.9	
2	花崗岩	3号桐	25×100	3.8	9.2	4.9	36	115	22	55	115	5.6	1.63	良	60	芯助	LDP	0.7	0.2 以下
		LDP	30×100	3.8															
3	風化 頁岩	LDP	30×100	3.6	5.7	5.5	40	100	30	50	100	6.0	0.95	良	6	ベビー カット 芯抜	2号板	0.15	12.7
		2号板	25×100	2.1													LDP	0.4	
4	頁岩	LDP	30×100	4.3	6.9	5.5	40	100	27	50	100	6.0	1.15	良	6	天盤 芯抜	2号板	0.6	50.6
		2号板	25×100	2.6													天盤	2号板	
5	花崗 岩	LDP	50×1000	20.5	38.5	36.0	65	300 ? 600	7	150	4.5	1600	0.24	良	72	楔孔	LDP	20.5	1.28
		ANFO	50×750	15.75													楔孔	ANFO あかつき	
6	チ岩	あかつき	50×750	2.25															

#### (ロ) 小割発破試験

No.	岩質	薬種	薬量 L(g)	穿孔		装薬長 (cm)	装薬長 (cm)	最抵抗 小線 W(cm)	発破 係数 C	発結 破果	玉石の 大きさ	
				孔径 (m/m)	孔長 (cm)						長さ (cm)	短径 (cm)
1	砂岩	LDP 爆薬	60	30	45	10	33	45	0.030	良好	145	95
2	〃	黒色火薬	80	30	45	16	29	35	0.065	〃	190	80
3	〃	3号桐 ダイナマイト	40	30	45	6	39	45	0.020	〃	140	95
4	花崗岩	LDP 爆薬	100	75	100	10	90	48	0.043	〃	180	120
5	〃	〃	150	75	120	10	110	55	0.040	〃	300	120

(注) 発破係数 C は  $L=CW^2$  を用いた<sup>13)</sup>。

表2の(ハ)は坑道掘進及び、ベンチ発破試験である。坑道掘進は、切羽断面積約5m<sup>2</sup>の風化花崗岩であった。試験番号の1は2号楯ダイナマイトを使用した従来法の発破、2及び3はLDP爆薬と3号桐ダイナマイト併用の試験発破である。LDP爆薬使用の発破では、従来法の約3割増しの火薬使用量によって良好な結果が得られた。又LDP爆薬の発破振動値は、最大変位速度に見られるように、2号楯ダイナマイト使用の場合より明らかに小さく、LDP爆薬は発破振動軽減効果を示した。試験番号の4及び5は断面積5.5m<sup>2</sup>の風化頁岩の坑道掘進で、ともに、LDP爆薬と2号楯ダイナマイトの併用である。一般に荷が重い発破孔径、発破振動も大きいのが普通で、坑道掘進においては一般に芯抜の振動が最も大きいものである。従って、本発破では、芯抜の荷重を小さくするために、ダブルカットにして、発破設計の上からも振動の軽減をはかった。即ち、図3に示すような、ダブルカットにしてベビーカットには2号楯ダイナマイト150gを使用し、本芯抜4孔は2号楯ダイナマイト50gを親ダイにして、LDP爆薬を各孔100g宛装填して発破した。これに対して、試験番号の5は、ベビー芯抜はなく、芯抜4孔に2号楯ダイナマイトを各孔宛に150gを使用した従来発破法の芯抜である。私発破は両者共に2号楯ダイナマイト50gを親ダイに使用し、LDP爆薬の増ダイを100~200g使用した。火薬使用の原単位は前者の0.95kg/m<sup>3</sup>、後者の1.15kg/m<sup>3</sup>で略々等しく良好な発破結果を得た。特に、その発破振動値においては、表2のように、従来発破法に比較してLDP爆薬使用の発破法は、振動軽減が顕著であることを立証した。試験番号6は、山丈5~4m、長さ約8mの風化花崗岩のベンチに、径65mm、長さ2.5~6mの横孔、7孔を穿孔し、#1~#4にLDP爆薬を装填し、#5~#7にあかつきをブースターとしてANFOを装填し、両者共孔の口元まで充分に填塞した。LDP爆薬の使用

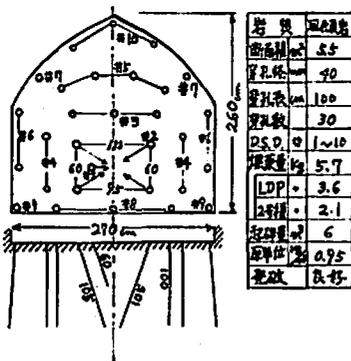


図3 LDP爆薬による坑道掘進発破



孔番号	1	2	3	4	5	6	7
爆薬	LDP	LDP	LDP	LDP	ANFO	ANFO	ANFO
薬量(kg)	4.0	4.0	4.5	8.0	6.0	6.0	6.0
親ダイ(kg)	—	—	—	—	0.75	0.75	0.75
管径	MS#1	MS#2	MS#3	MS#4	DS#5	DS#6	DS#7
穿孔径(cm)	280	250	260	515	600	535	550
荷重(cm)	180	150	110	150	145	140	160

写真5 ベンチ発破

量はANFOの約3割増の比率であった。両者の発破効果は写真5のように差がなく良好であった。このようにLDP爆薬は装薬長335cmの長装薬においても完爆し充分な発破効果を有することを立証した。

表2の(ロ)は、小割発破試験である。

砂岩の小割発破によって、LDP爆薬、黒色小粒薬、及び3号桐ダイナマイトの3品種の発破効果の比較試験を行なった。LDP爆薬の小割発破の一例を写真6に示すようにLDP爆薬は小割発破にも、発破がソフトで且、良好な発破効果を示した。又表中の発破係数は(最小抵抗線の2乗を用いて計算した。)LDP爆薬の0.03、黒色小粒薬の0.065、及び3号桐ダイナマイトの0.02であった。又花崗岩におけるLDP爆薬の発破係数は0.04であった。



岩質:砂岩  
LDP爆薬:60g  
穿孔:径30mm  
長45cm

写真6 小割発破

発破係数の値から、火薬の威力を比較すると、LDP爆薬の威力は、3号桐ダイナマイトの約2/3で、黒色小粒薬の約2倍であった。

#### 4. 総括

発破振動公害の防止を目的とする、爆速1,500m/s、仮比重0.95のLDP爆薬を開発し、その火薬学的特性について述べた。LDP爆薬を使用した発破は、一般の鉱工業爆薬を使用した発破より岩層内に発生する振動を顕著に減少せしめることができた。又その発破効果も適切な発破設計によって良好な結果が得られた。

抗道掘進発破、ベンチ発破及び小割発破における発破実施例について、その発破効果、発破振動特性等を解析し、LDP 爆薬が、振動公害の防止に有効に実施し得ることを論述した。

本報告は、昭和46年の工火協春季研究発表会で発表された。

謝辞

本研究は、京大防災研究所吉川宗治教授の御指導によるものであり、深甚の謝意を表する。

#### 文 献

- 1) SLB カタログ
- 2) CCR カタログ
- 3) 笠井芳夫外，“解体移転工法研究会” 施工,70年5月号
- 4) DUPONT, “BLASTERS HAND BOOK” 1966
- 5) 伊藤一郎, “爆破に関連する岩石力学”, 工火誌, 29, 4 (1968)
- 6) Geogge Griffith U. S. P. 3252843 “低爆速爆発組成物”
- 7) 篠崎宏: 特公昭41-11755 “低爆速爆発性混合物”
- 8) 疋田強: 爆発研究の進歩 (II), 低速爆発, 工火誌, 30, 5 (1969)
- 9) M. T. Abegg “Low detonation pressure explosives” Explosivsto FFE Nr. 2/1969
- 10) Robert W. Woolfolk “Low velocity detonation: Some experimental studies and their interpretation” TWELFTH SYMPOSIUM (International) ON COMBUSTION
- 11) D. P. Lidstone “The Assessment of Explosive Performance by Means of a Cartridge Case Deformation Test” Explosivsto FFE Nr. 9/1969
- 12) 佐々木信彦: “発破振動に関する 2, 3 の実験”, 工火協, 秋季研究発表, 昭45, 11
- 13) 山本祐徳: 産業爆破概論, p. 166 (昭22)

## Blasting by the Low Detonation pressure Explosives

by S. Asaka, M. Yokogawa and S. Mitsui

The explosives of low amplitude shock waves are considered to be useful to prevent and reduce the vibration hazards caused by rock blasting.

From this point of view the low detonation pressure explosive (LDP) was developed to have the detonation velocity of about 1,500m/sec and the loading density 0.95g/cc.

Some explosion properties of the LDP explosive were discussed. The fragment of steel pipes in which such explosive detonated was graded into five groups ;

A group corresponds with the region of the detonation velocity 1,000m/sec to 2,000m/sec.

B group, 500m/sec to 1,000m/sec.

C group and D group, about 300m/sec.

E group, no explosion.

Then many kinds of data from field blastings such as boulder blasting, bench cut blasting and drift blasting, were reported and analysed.

According to those data, the maximum displacement velocity of the vibration aroused in the rock blasting by the LDP explosive proved to be much lower than that of the ordinary dynamite and the blasting performance of the LDP explosive proved to be satisfactory.

(Nippon Kayaku Co. Asa Factory)