

カーリットを使用する成型装薬に就て

(昭和24年7月9日受理)

福田 寛 雄

(関東電気工業保土ヶ谷工場)

I 緒 言

爆薬の特殊な形状により生ずる Munroe effect (Neumann effect) の穿孔性又は爆力集中の方向性を利用した各種の兵器が今次大戦に際して實用化されたが、米國に於て之を平時に採礦方面の爆破に利用すべく各種の試験が行われ、一部實用化された模様である。之等の試験結果の一端を文献により知る事が出来たのでカーリットを使用して Shaped charge を作つて試験する事とした。

Shaped charge 實用化の基礎試験として先づ圓錐型の Shaped charge の頂角の變化に伴う Neumann 効果の大小を鐵板試験により比較しカーリットを使用する場合の最適形状を求めた。

次に容器の製作上の問題を考へて薬包外側即ち容器の材質如何により Neumann 効果がどの程度變化するかを、鐵板、ブリキ板、ボール紙で試験し尙半球状成型装薬と圓錐型成型装薬を比較した。

又 Shaped charge を點ではなく直線的に利用した場合 V 字型の錐状薬包を使用して試験しその効果を調べた。

尙順序が逆になるが日鐵の釜石鑛業所に於て鐵石の小割破に圓錐型成型装薬を使用して——この時は未だ形状が極めて不満足であつたが——鑛石の破壊限度の大きさ和使用薬量の關係を試験し、普通の穿孔法及覆土法と比較した。

又東大下村助教授が神岡鑛山に於て試験された時の成績をお聞きしたので、日本セメント西多摩工場の石灰岩に對して行つた 2, 3 の試験結果と共に報告する。

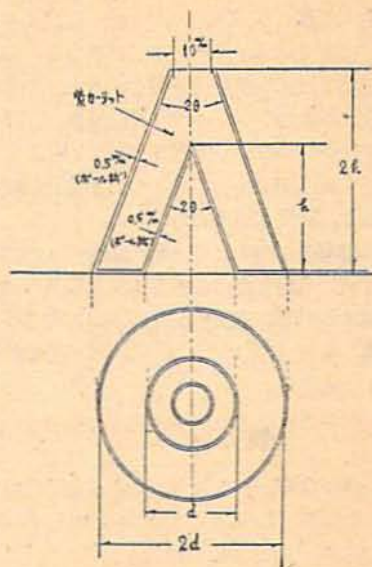
II 試験経過

(1) 鐵板試験による基礎試験

1. 圓錐型成型装薬の頂角に就て

ボール紙で容器を作つても或る程度の Munroe 効果は期待出来るので、實驗の都合上ボール紙製容器で薬量を一定 (200g 及 150g) として頂角を變化させ何れがカーリットに適して居るかを試験した。實驗諸元は次の通りであるが、薬の形状は圖 1 に示す。

圖 1



使用爆薬 紫カーリット (爆速 3,570 m/sec 及 3,270 m/sec)

使用薬量 200g 及 150g

供試鐵板 厚さ 10 mm/m 軟鋼板

起爆方法 上部より 6 號電氣雷管で起爆

装着法 砂上の鐵板上に置き覆土等はしない

試験結果

頂角 (2θ) 180° の場合即ち圓錐形の場合には普通の圓錐形薬包の場合であるが、鐵板は僅に凹む丈である。 90° の場合も殆ど同様であるが 60° となると漸く Neumann effect を認め凹みの中央に一段と凹んだ穿孔部が出来る。但し貫通には到らない。 45° , 37° , 30° では何れも圓形の貫通孔を生ずるが、貫通孔の直径は 37° の場合が最も小さい。但し 37° のものは 45° , 30° に比し鋭い貫通孔を生じ鐵板の損傷面積が少なく龜裂も亦少ない。

45° と 30° の場合は殆ど同じであるが 45° の方が稍廣範囲に龜裂を生じ爆力集中性が少ない様である。

實驗結果の詳細は表 1 に示す通りである。

表 1

実験 番 號	容 器 の 寸 度			薬 種	薬 量 (g)	鐵 板 變 形 狀 況		
	2θ (°)	d (m/m)	2h (m/m)			凹み直徑 A(m/m)	凹み深さ (m/m)	貫通孔直徑 (m/m)
1	90	58.1	58.1	紫 カ リ ッ ト	200	130×140	27	貫通せず
2	60	48.7	82.6		200	130×130	35	貫通せず
3	45	43.2	104.3		200	120×120	46	49×52
4	37	40.3	120.5		200	110×110	34	40×40
5	30	37.4	139.5		200	120×120	36	57×57
6	37	35.4	105.8		145	90×90	13	59×59
7	圓錐	直徑 50.0	高さ 68.2		145	70×70	15	貫通せず
8	圓錐	直徑 48.6	97.2		200	60×60	14	貫通せず
9	45	39.2	94.5		150	130×130	37	41×43
10	37	36.6	109.2		150	105×105	25	34×36
11	30	34.0	126.8		150	110×110	26	35×37

2. 圓錐型成型装薬による貫徹量

頂角は 37° 附近が最も効果的の標だが 1 枚の 10 m/m 鐵板では、頂角が變つても 150g で何れも貫通し、その比較が定性的であるので 3m/m 鐵板を 5 枚重ねて試験した。

又薬種の差異（主として爆速）に基く影響を見る爲 TNT を鑄造して試験しようとしたが、ボール紙容器

では外部抵抗が少なく傳爆薬としてヘキソゲーン、壓搾 TNT 等を用いても起爆出来なかつたので、ベンスリットを使用して試験した。

カーリットの場合は 45°, 37°, 30° の中 37° が最も効果的であり 3 枚迄を貫通し、ベンスリットの場合は寧ろ 30° の方が効果的であり 5 枚共貫通する。成績は表 2 の通り。

表 2

実験 番 號	容 器 寸 度			薬 種	薬 量	鐵 板 貫 通 孔 直 徑				
	2θ (°)	d (m/m)	2h (m/m)			1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目
12	45	39.2	94.5	紫 カ リ ッ ト	150	24×27	11×16	幅 1m/m キレット 2本	貫通せず 中央部厚 2.9m/m	貫通せず φ 3.3m/m
13	37	36.6	109.2		150	29×30	23×24	16×17	φ 2.5	φ 3.1
14	30	34.0	126.8		150	33×34	15×19	幅 1m/m キレット 3本	φ 2.9	φ 3.1
15	45	39.2	94.5	ベ リ ン ッ ト	120	32×32	24×24	17×20	φ 1.9	φ 3.0
16	37	36.6	109.2		120	28×33	28×28	23×26	17×19	12×13
17	30	34.0	126.8		120	32×34	27×30	25×25	18×20	15×22

試験方法は鐵板 5 枚を重ねて砂上に置き成型装薬をその上に置き、覆土する事なく上部から 6 號電氣雷管で起爆した。

3. 容器の材質に就て

底部の所謂 liner の材質は鐵が最も良いと云われて居るが、外側の材質の影響を見る爲に鐵板、ブリキ板、ボール紙の場合に就き圓錐型成型装薬を使用して試験

したが、ブリキ板、ボール紙の場合は鐵板の場合に比し相當効果が少なく、場合によっては貫通しない事もある。

試験鐵板は厚さ 28m/m の軟鋼板、紫カーリット（爆速 3,270 m/sec）200g を使用した。成績、表 3 の通り。

表 3

實驗 番 號	成 型 裝 藥			鐵 板 變 型 狀 況				
	外材 側 の 質	藥 種	藥 量 (g)	表面凹部* 直 徑 (m/m)	貫通孔直徑 (中央部) (m/m)	貫通孔直徑 (表 面) (m/m)	表面凹部* 深 (m/m)	穿孔の深さ (m/m)
18)	1.5 m/m		195	90×90	6×6	21×21	7	表面迄貫通
19)	鐵 板	紫 カー リット	195	90×90	7×6	23×25	7	〃
20)	0.5 m/m		220	90×90	7×8	8×8	4	〃
21)	ブリキ板		220	90×90	13×18	-	5	17
22)	0.5 m/m		220	90×90	9×11	7×7	4	表面迄貫通
23)	ボール紙		220	90×90	10×12	-	4	19

* 成型装薬底面と同型の凹部を生ずる。

4. 成型装薬の使用を踏でなく線に適用した場合

成型装薬を踏でなく線状に利用して断面が逆 V 字型の筒状薬包を作り普通の圓錐状薬包と比較して、その切斷効果を鐵板により試験した。

始め容器をボール紙で作り試験し、更にブリキ板製容器で比較した。

(a) ボール紙製容器の場合

紫カーリット 240g を使用し長さ 30cm で断面が次の様な薬包とし、厚さ 3m/m の鐵板上に載せ上面に導薬線を沿わせこの導薬線を 6 號雷管で起爆した。

(i) 直形 30m/m の圓形断面

(ii) 一辺 26.6m/m の正方形断面

(iii) 逆 V 字形断面

試験結果は (i) では約 3/4 の長さにわたつて龜裂が生じた上で、切斷には至らないが、(ii), (iii) の場合には何れも薬包を載せた部分丈が切斷される。

(b) ブリキ製容器の場合 (其の 1)

(a) の場合と同様径 30m/m 長さ 300m/m の圓錐型及同容積の逆 V 字形成型装薬を厚さ 0.5m/m のブリキ板で作し、紫カーリット 240g を入れ導薬線を上部に挿入して厚さ 7.2m/m 及 12.0m/m の軟鋼板で試験した。

試験結果は圓錐型薬包では彎曲する丈であるが成型装薬の方はその載つて居る處丈が完全に切斷される。

(c) ブリキ製容器の場合 (其の 2)

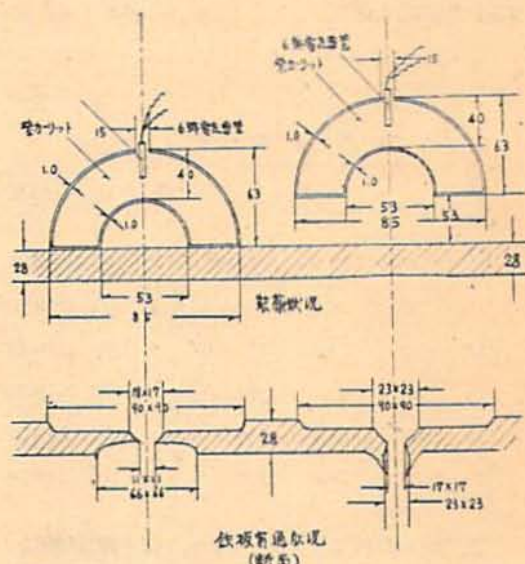
紫カーリット 420~490g を使用し径 40m/m 長さ 300m/m の圓錐型及同容積の逆 V 字形断面成型装薬を作り、厚さ 20m/m の軟鋼板で試験した。成型装薬の場合は鐵板に密着させた場合と、底部の長さの 1/2 即ち 23m/m 離して置いた場合とを試験した。

圓錐形薬包では鐵板が彎曲して裏面に龜裂が出来たのに対し、成型装薬の時は高熱ガス或はブリキの破片等により鐵板が熔融穿孔された跡が明瞭に觀察出来る。又成型装薬も此の様な形状では密着させた場合の方が結果が良い様である。

5. 半球状成型装薬

半球状の成型装薬 (外側容器は厚さ 1m/m 軟鋼板プレス製) に紫カーリット 230g を詰め先に試験した圓錐型のもの (カーリット 195g) と比較したが半球型の方が稍強い様である。特に鐵板に密着させず或る程度離した場合の効果は著しい。成型装薬の大きさ、装着法、及鐵板破壊状況は圖 2 に示す如くである。

圖 2



(2) 岩石小割發破に使用した場合

昭和 23 年 8 月、日鐵鐵業釜石鐵業所、昭和 23 年 3 月、神岡鐵山、昭和 24 年 1 月、大日本セメント西多摩工場石灰石採掘場に於て、成型装薬を使用して小割試験を行い、使用薬量と破壊可能の岩石の大きさを試験し、更に釜石鐵山では普通の穿孔小割法と覆土法とによるものと比較した。

1. 試験方法

成る可く幾何學的に單一な形状の岩石（主として直方體のもの）を選びその一面に成型装薬を裝着して6號雷管で起爆し、その破壊可能の大きさを試験した。此處に破壊可能とは2~4個の塊に破壊される事を意味するものとする。

成型装薬には軟鋼板製のものを使用し、カーリット150~450gを使用し、岩石上に載せる丈で別に覆土

はしなかつた。

釜石鑛山に於ては最適形状の未決定の儘試験したが米國の文献を参照して圓錐と圓錐との結合形のものを使用し、西多摩工場の石灰石採掘場では最適と思われる圓錐型のものを使用した。

更に釜石鑛山では鑛石粉で厚さ5~10cm程度の覆土をして普通の小割試験を行い、その使用薬量を比較した。

2. 試験成績 表 4

試験場所	試験番號	成藥の形状	藥種及量	離隔距離	岩種の類	岩石の大きさ 縦×横×高さ a cm b cm W cm	破壊程度	$C = \frac{L}{D}^*$
釜石鑛山	1	圓錐圓錐結合型頂角60°	200 (g)	0 (cm)	磁鐵石方解石(品位50%を含む)	104×65×40	2個に破壊	0.059
	2		210	0		85×57×45	大塊6個	0.065
	3		210	0		160×75×50	龜裂のみ	0.038
	4		210	0		130×85×45	龜裂のみ	0.043
	5		530	0		160×50×60	大塊4個	0.084
	6		540	0		120×90×55	龜裂	0.093
	7		570	0		150×100×60	大塊4個	0.091
	8		130	0		90×70×22	3個	0.076
	9		140	0		75×35×23	3個	0.110
神岡鑛山	1	半球型	225	0	亞鉛鑛	85×65×50	2個	0.060
	2		225	0		115×95×40	3個	0.051
	3		225	0		100×60×50		0.055
	4		225	0		100×80×45	3個	0.055
西多摩工場	1	圓錐型頂角37°	150	5	石灰岩	45×75×45	3個	0.056
	2		150	0		45×100×45	5個	0.046
	3		150	0		60×90×35	6個	0.057
	4		150	0		65×75×40	5個	0.054

* $D = \frac{a+b}{2} \cdot W$ とす。

試料の岩石を直方體としその縦、横、厚を夫々 a cm, b cm, W cm とし使用薬量を L g とすれば小割試験に於ては大體次の式が成立する。

$L = C \frac{a+b}{2} \cdot W$

此處に C は岩石の種類破方法等による係數であ

る。上記の試験結果によればCの値は次の如くなるが多少薬量が多い様である。但し試験回數が充分でなく確定的でなく標準装薬と思われる場合のみを拾つた。尙米國に於ける Huttli の行つた例及山本教授の値を参考の爲併記した。

表 5

鑛山名	成型装薬	覆土法	穿孔法	記事
釜石鑛山	0.06~0.07	0.1~0.15	0.02~0.03	
神岡鑛山	0.05~0.06	-	-	下村助教
日本セメント西多摩工場	0.05~0.06	-	-	
山本教授	-	0.15~0.20	0.01~0.02	
Huttli	0.04~0.07	-	-	

III 試験結果の総合

鐵板に對する Neumann effect の効果は各方面從來研究された如く極めて著しいが、岩石の小割に使用する場合には米國で宣傳されて居る程薬量の節約にならぬ様である。勿論岩石に對する實驗的回数は未だ少なく而も岩石の破壊機構は鐵板の場合と若干異なると思われるので尙研究の餘地がある。

鐵板並に岩石に對する試験結果を次に列記する。

1. 鐵板試験

(1) 圓錐型成形装薬の場合の頂角はカーリットを用いる場合 37° 附近が最も良い様であるが、更に爆速の速いものでは之より少ない方が良いと思われる。

(2) 圓錐型の方が効果的であるが比較試験の回数が少なく確定的でない。但し容器の製作は半球型の方が便利だと考えられる。

(3) 半球型の場合從來云われた様に離隔距離 (distance of stand off) を或る程度離した方が鐵板に對しては遙に威力が強い。直接鐵板上に置いた場合には爆發後底部半球 (liner) が平板状になつて残るが離して置いた場合にはそれらしいものは残らず liner 全部が小粒子となつて作用した様が見られる。

(4) 容器外側の材質はカーリットを使用する場合或る程度の強度が必要で、ブリキ板、ボール紙等では効果が減殺される。

(5) 容器特に liner は鐵が良いがボール紙製容器の圓錐型成形装薬でも同等の効果があり、カーリット 150g で 3.3 m.m. 鐵板 5枚重ねのものに對しボール紙製のものでも 3枚迄は完全に貫通する。

(6) 鐵板製半球型の成形装薬を使用すれば厚さ

28 m.m. の鐵板をカーリット 230g で穿孔貫通する事は容易である。

(7) 成形装薬を線状に利用して V 字型の錐状薬包を使用すれば鐵板の切断作業に對しては効果的である。

2. 鑛山に於ける利用

(1) 通例の小割發破に利用するには薬量、容器製作の點から見ればあまり効果的ではないが、迅速に行ふ必要のある時、穿孔機の使用も制限され、又覆土すべき粘土等の供給も困難である場合には小割發破に對しても有効に使用されると思われる。

(2) 釜山鑛山に於ける「吊落し」の如き特殊な場所での使用は極めて有効であると思われるが尙研究の餘地が多い。

尙本實驗に關しては産業火薬會の小林明夫氏の御指示による事が多く、又東大下村助教、日鐵鑛業の諸氏その他多くの方々御指導御協力を得たが深甚なる謝意を表する次第である。

文 献

- 1), 8) J. B. Huttl: Eng. and Min. J. 147 (1946) 58~63.
- 2), 5) G. B. Clark: Am. Inst. of Min. and Metall. Eng. No. 2157 (1947).
- 3) 小林明夫: 圖解爆破學 (1948).
- 4) 下村彌太郎: 日本鑛業會誌 65 (1949) 75~81.
- 6) G. Birkhoff, D. P. MacDougall, E. M. Dugh, G. Taylor: J. Applied Phys. 19 (1948) 563~82.
- 7) 山本祐徳: 産業爆破概論 166.

On the Shaped Charge Blasting using "Carlit"

By Hiroo Fukuda

Steel plate tests were performed to fix the most suitable form of shaped charge using Carlit, for instance, the apex angle, bottom diameter, height and materials of the case etc..

Next the "Munroe effect" was applied for the liner breakage of the steel plate by using the cartridge having the sectional area of the letter "V".

Shaped charge blasting was compared with the blockholing and mud-capping method for breakage of boulders, and the relation was found between the powder consumption and the size of the boulders.

If the dimensions of the boulder are a cm, b cm and W cm, the amount of the charge Lg is given by the formula

$$L=C \frac{a+b}{2} \cdot W$$

and by the experiments coefficient c was determined as follows

Shaped charge	$c=0.06\sim 0.07$
Blockholing	$c=0.02\sim 0.03$
Mud capping	$c=0.10\sim 0.15$