

八戸鉱山のスラリー爆薬について

松 田 正 久

八戸鉱山では、露天切羽の側を流れる河川からの湧水があり、穿孔の大部分が水孔となるため、水孔でも十分発破しうる爆薬を使用する必要がある。

スラリー爆薬は、耐水性があり、又、当鉱山の採掘条件に適した特徴を有しているため、昭和40年（1965年）よりそのテスト使用を開始した。その後、種々の現場実験を行なった結果、今日ほぼ満足しうる発破が可能となった。

本稿では、スラリー爆薬を使用し始めてから現在までの経過、及び現在の発破規格、発破効果について記すことにする。

1. 緒 言

八戸鉱山では、ベンチカット採掘に伴い、昭和40年後半よりスラリー爆薬の使用を開始し、種々の発破テストを行なってきた。その間、火薬メーカーの日本カーリット社においてはスラリーの品質改良、当鉱山においては発破規格の選定と、両者相協力して研究テストを重ね、今日ほぼ所期の目的を達成するに到った。

スラリー爆薬は、硝安と水を混合して流動状にし、鋭感剤としてアルミ粉末、TNT等を添加し、それらが分離しないように糊材を溶かし込んだものである。性状はドロドロしたかゆ状で流動性があり、空孔に流し込むだけで密装薬できる点、及び耐水性のある点が優れた特長である。

八戸鉱山では、20mベンチ採掘を行なっており、発破規格は、穿孔角度 55°、最小抵抗線 3.4m、孔間隔 3.7m、穿孔径 ϕ 75mm、穿孔長 24.4m である。

当鉱山では、スラリー爆薬の中でアルミ-スラリーと TNT-スラリーの2種類を使ったが、TNT-スラリーは時折、不爆になることがあるため、主にアルミ-スラリーを使用している。本稿では、アルミ-スラリーに関する発破データについて記すことにする。

尚、住友セメント八戸鉱山は昭和48年7月から、八戸石灰鉱業(株)八戸石灰鉱山に引継がれたため、本稿に使用するデータは八戸鉱山時代のもので、多少古くなっていることを予めお断りする。

2. スラリー爆薬使用に到る経緯

八戸鉱山は住友セメント八戸工場のセメント用石灰

石を月平均10万t採掘していた。

当鉱山の火薬使用に関する特殊条件としては、

- (1) 当鉱山の切羽の脇を河川が流れており、採掘は河川レベル以下の石灰石を主な対象としている。そのため、水はけが悪く、又河川からの透水等により、穿孔の大部分は水孔となる。(採掘レベル：標高(+)40m~(-)18m)
- (2) 一次クラッシャーはジャイレトリー 600mm \times 2,000mmと小型であり、又積込機も 1.2m³程度であるので、生産力を上げるためには一次発破で爆落石をできるだけ小塊化する必要がある。
- (3) 当鉱山はオープンビットタイプの摺鉢型に掘り下がる形態であるので、剝土比の軽減を計ること、道路占有面積をできるだけ少なくし有効切羽を確保すること、又採掘・積込運搬系統を錯綜しないようにすることが必要である。そのため20m高のベンチ採掘をしている。
- (4) 高ベンチでありながら出鉱量が少ないため、穿孔機は普通のクロードリルを使用している。その結果、孔径は 75mm 以上にはできない。以上の採掘条件に合う爆薬を検討した結果、スラリー爆薬を使用することになった。

当初は、孔底にスラリーを装薬し、上部にカーリット、又は AN-FO を使用していたが、その後、現有設備・人員のまま増産する必要が生じ、スラリー単独使用に踏み切った。その結果、爆落石の小塊化及び toe-hole の廃止等の作業の合理化により、増産に対処することが可能となった。

3. 発破規格

昭和49年4月18日受理

住友セメント株式会社 東京都台東区東上野5丁目2番2号

発破規格に関し、試行錯誤しながら種々の現場テストを行ない、現在では表1及び図1のように統一され

表1 穿孔発破規格仕様表

項目	仕様	
ベンチ高	20m	
孔径(ピットゲージ)	75mm (ロッドゲージは32mm)	
孔長	標準 24.4m	
傾斜	55°	
孔間隔	3.7m	
最小抵抗線	3.4m	
装薬長	21m (Al スラリー 20.8m プライマー (カーリット) 0.2m)	
込物長	3.4m	
装薬量	Al スラリー	102kg/孔(1.5kg/袋×68袋)
	カーリット	750g/孔 (プライマーとして 50g+750g カーリットを 1孔につき1本使用)
装薬比重	0.974	
1孔当り起砕量	830t	
爆薬原単位	123g/t	
装薬方法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 孔内の水及び燥粉をポリナイトホースを入れ圧気排出す。 2. ビニール袋入のスラリーをナイフで縦に裂きながら装薬する。 	

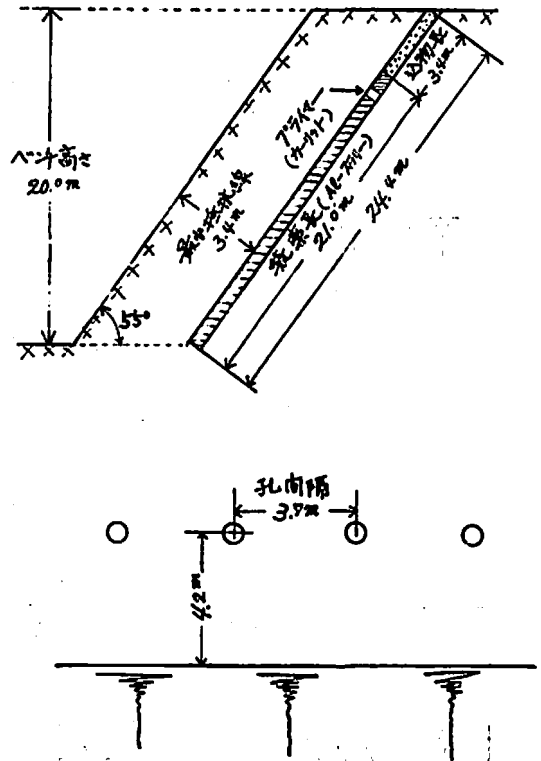


図1 穿孔発破規格図

ている。(尚、現在までの発破規格の変遷については表2を参照されたい。)

3-1 穿孔角度：55°

穿孔角度は45°に近づけた方が発破効果は良いが、クローラドリルの能力低下、密装薬できにくくなる等の点を考慮し、55°にしている。この結果、

- 1) back-break 及び toe の残留が少ない。
- 2) 爆落石が締固められず、積込作業が容易である。(当鉱山では積込前のブル押しは行っていない。)
- 3) 1孔当りの起砕量が増加する。
- 4) 大塊の発生が少ない。(穿孔角度が90°~70°の時は、切羽肩から大塊が生じる。)

以上の効果があったが、これらの効果はスラリーの使用により一層増加した。

3-2 最小抵抗線 (W) と孔間隔 (D) の関係

$D \geq 1.2W$ では toe が残留し盤が荒れる。 $D=1.1W$ にすると結果は良好である。現在は $W=3.4m$,

$D=3.7m$ にしている。

3-3 20m ベンチカットについて

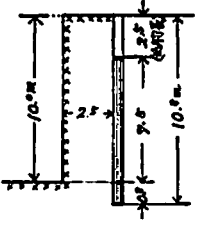

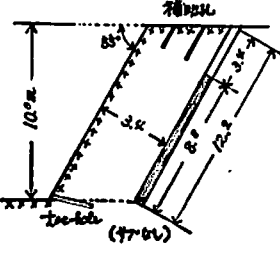
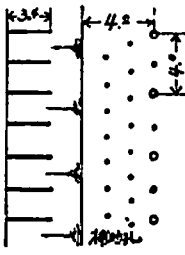
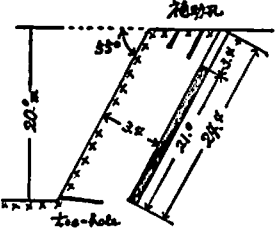
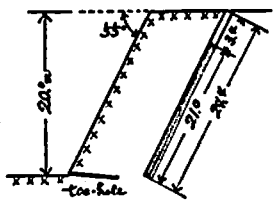
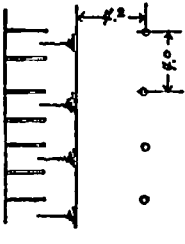
穿孔はクローラドリル DC-40 を 17.0 m³/min ポータブルコンプレッサーと組合わせて使用している。20m ベンチの穿孔長は標準では 24.4m である。20m ベンチでのクローラドリルの穿孔スピードは 10m ベンチの場合と比べて 13% 程度低下するが、1孔当りの起砕量が増大するため、クローラドリルの移動、セット、口切りの時間が節約できる利点がある。(現在実績 10m/時)

装薬は初めに、孔底にたまっている水、及び燥粉をコンプレッサーで圧気排除した後、ポリ袋入りスラリーをナイフで裂き順次装薬する。スラリーは流動性があるため装薬した後も約 60cm 程度薬長が低下する。低下がおさまった段階でプライマーの雷管付き5号カーリット (750g) 1本を装薬し、その上部にスラリー2本を付け加え、プライマーがスラリーと密着するようにしている。

込物長は、最小抵抗線 (W) と同程度である。W よりも小さいと上部から飛石が多くなり、大きいと切羽肩付近から大塊が生じる。発破は1回当り 10~15 孔同時に行ない、特殊な場合を除き単列である。

3-4 toe の残留解消対策

表2 発破規格の変遷

模式断面図	平面図	年度	使用爆薬	備考
<p>A型</p> 		<p>39年 ～ 40年</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○カーリット ○AN-FO ○カーリット+AN-FO ○ダイナマイト 	<p>垂直の場合、①大塊発生、②飛石多し。A型からB型に移る間、5°ずつ傾斜を変え抵抗線、孔間隔を次第に増大させた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 角度が小さくなるに従い大塊発生量は減少したが、十分ではない。 ② 傾斜させるほど back-break が少ない。 ③ 1/3W 程度のサブドリルでは toe が残留し、それ以上にしても、単に穴があくだけで起砕できなかった。
<p>B型</p> 		<p>40年 ～ 42年</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○カーリット ○AN-FO ○スラリー+カーリット ○スラリー+AN-FO 	<ul style="list-style-type: none"> ① 穿孔傾斜角 55°、最小抵抗線 3.4m、孔間隔 4.0m とする。 ② ベンチ肩付近より生ずる大塊防止のため補助孔を穿孔。 ③ toe 残留防止のため、toe-hole 穿孔。 ④ 40年後半よりスラリー爆薬テスト開始。
<p>C型</p> 	<p>同上</p>	<p>42年 ～ 44年</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○カーリット ○カーリット+スラリー 	<ul style="list-style-type: none"> ① 20m ベンチ採掘に順次集約。発破規格は孔長のみ変え他はB型と同じ。 ② 荷重中心以下はアルミスラリー、以上はカーリット（アルミスラリー単独使用を行なえば、トーホール、補助孔を廃止できる見通しがつく。）
<p>D型</p> 		<p>44年</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○アルミスラリー 	<ul style="list-style-type: none"> ① 全量アルミスラリーを使用し小塊化を行なう。 ② 補助孔を廃止する。 ③ 爆破効果は良好。
<p>図1 参照</p>		<p>45年 ～ 現在</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○アルミスラリー 	<ul style="list-style-type: none"> ① 75m/m ビット使用（従来は 65m/m）。 ② toe-hole を廃止する。

toe の残留は、単に起砕量を減少させるだけでなく、積込作業の能力低下をきたし、そのまま放置すると、次の発破の起砕を悪くし、ひいてはベンチフロアを平らにそろえるのが困難となる。

toe-hole 穿孔は、toe 残留対策として効果的であるが、そのための穿孔・発破等の作業が必要となり、採掘原価の上昇となる。

当鉱山では、以前は toe-hole 穿孔を行っていたが、現在は下記対策を実施することにより toe 残留を解消した。

- 1) 傾斜せん孔を 55° にする。
- 2) 孔底に高比重爆薬（スラリー）を密装填する。
- 3) $D=W$ に近づける ($D=1.1W$)。

toe の残留問題は、上記対策の一つだけでは解決されない。特に 1)、2) を同時に行なうことが重要である。サブホール穿孔は以前 60cm 程度行なっていたが、上記対策で十分解消されたため、現在は廃止している。

4. スラリー爆薬について

4-1 種類

スラリー爆薬は大別すると次の通りである。

- 1) 硝酸アンモン (AN)-アルミ-水系
- 2) AN-TNT-水系
- 3) AN-アルミ-TNT-水系
- 4) その他

1) で既に述べたように、当鉱山では主に 1) の爆薬を使用している。2) の TNT スラリーは一時使用したことがあったが時折、不爆・半爆になることがあるためその後使用していない。(75 mm 以下の孔径では不爆になりやすい傾向がある。)

4-2 特性

長所及び短所を列挙すると下記の通りである。

長所

- a. 耐水性がある。
多少の水孔にもそのまま使用できる。
- b. 安全性が高い。
極めて鈍感で、取扱い上、危険が少なく、ベンチ高さ 20m の装薬でも絶対安全である。
- c. 流動性があり容易に密装填が可能である。
toe 切れ、爆落石の押出し等の発破効果が良い。
- d. 比重は水より重く、爆速は AN-FO より速い。

短所

- a. 単価が高い (AN-FO の 3 倍弱)。
- b. 耐寒性が良くなかった。
以前は、冬期 (12月~3月、気温 0°C 以下)

には、アルミ-スラリー中の硝安の結晶が大きく成長・分離して、爆力の低下や不爆、半爆の現象がみられた。そのため使用前に温湯に入れて温めてから空孔に装薬していたので、かなりの労力が必要であった。現在はその点も改良され、薬温が -9°C 程度まで低下しても十分完爆するようになった。

c. 異常発熱について

昭和46年6月、火薬庫に貯蔵中のアルミ-スラリーに異常発熱 (120°C) があり、直ちに使用を中止した。原因は鋭感剤としてのアルミと水が反応した為であった。その後、メーカーにおいて徹底的原因究明、並びに品質改良がなされ、この問題も解決されたので、昭和47年3月よりアルミ-スラリーの使用を再開し今日に到っている。

4-3 アルミ-スラリーの性状

1) 成分

硝酸アンモン	50~60%
鋭感剤 (アルミ粉)	10~15%
水	20~25%
糊剤、その他	2~5%

2) 性能

比重: 1.20~1.25
爆速: 4,500~5,000 m/sec
色調: 金属性アルミ色
性状: 流動性かゆ状
火薬力: 8,300~8,500 l/kg/cm²

3) その他

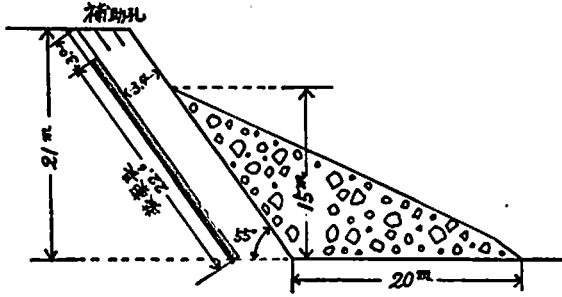
包装: ポリエチレン袋入
円筒状 ϕ 60 cm, 長さ 50~60 cm,
1.5kg/本

5. 発破効果

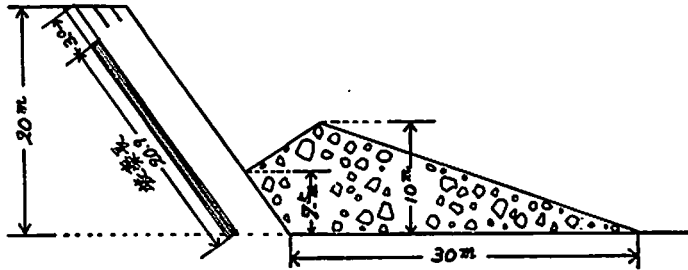
現在までスラリー爆薬を使用し発破した結果を総合すると下記の通りである。

- (1) スラリーを使用すると、爆落石の押出し、起砕状況が良好である。孔底部 (装薬長の 1/4 で約 6 m 程度) に装薬した場合、ベンチ高さの 1/3 程度 (約 10m) まで爆落石が下がり、積込作業が容易になり、又保安上、危険が少なくなる。スラリーを単独使用した場合、起砕状況は一層良くなる。(図 2 参照)
- (2) toe 起砕が良好で、toe-hole 穿孔、サブホール穿孔が省略できる。
- (3) 爆落石の粒度が比較的細かい。特にスラリー単独使用の時は、その効果が著しい。又、発破飛散状況も良好である。(表 3 参照)

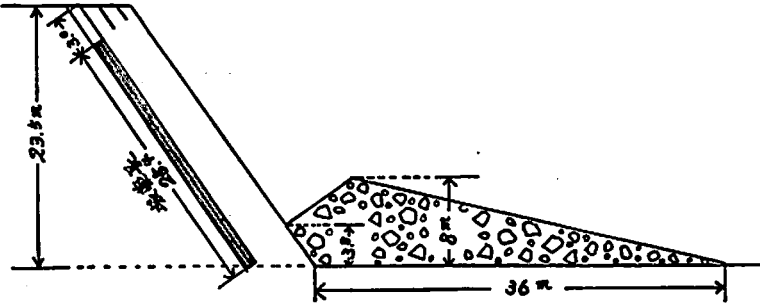
a. カーリットによる発破



b. カーリット+スラリーによる発破



c. スラリーによる発破



上図発破の爆薬使用内訳

(a, b, c いずれも $W=3.4m$, $D=4.0m$, ビットケージ=65mm である。)

項目	爆薬種類	a. カーリットによる発破	b. カーリット+スラリーによる発破	c. スラリーによる発破
装薬量 (kg/孔)		47.3 (カーリット単独)	54.7 (カーリット: 32.2, スラリー: 22.5)	100.5 (スラリー: 99.0, カーリット: 1.5)
装薬比重		0.60	0.74	1.12
爆薬原単位 (g/t)		50.4	62.3	95.9
備考		(1) AN-FO による発破も、a 図と同様な起砕状況であるが、大塊を生じる。 (2) 積込作業が困難であり、又危険である。	(1) 孔底部にスラリー使用。 (2) AN-FO + スラリーによる発破も、b 図と同様な起砕状況である。	(1) 積込作業が容易で又危険も少ない。

図 2 発破起砕状況比較図

表3 爆薬種類別小割数実績比較

種 類		カ ー リ ッ ト	カ ー リ ッ ト + Al-ス ラ リ ー	Al-ス ラ リ ー	
発 破 規 格	最 小 抵 抗 線	(3.4	(3.4	(3.4 (3.4 (4.0	3.4
	孔 間 隔	3.4	4.0	3.4 4.0 4.0	3.7
爆 薬 原 単 位	ク ロー ラ ー 孔	44	64	121	
	ト ー ホ ー ル	7	8	0	
	補 助 孔	5	5	0	
	合 計	56	77	121	
小割数*1 (1,000t当り個数)		106	125	25	
備 考		AN-FO 単独使用の場合、カーリットに比し大塊が発生する*2。	AN-FO + Al-スラリーを使用の場合は小割数140個とやや増加した。	小割は発破をやめブレーカーで行なっている。	
		小割数の差は、岩質によるものと思われる。			

*1. 小割対象岩石の大きさは、大体一辺の長さが 0.8m~1.0m 以上のものである。

*2. AN-FO は、単に岩石を押し出すだけで破砕効果が少ない。

(4) スラリーは発破規格を大きくしても、他爆薬と同程度の爆破効果がある。

(5) 現在の発破規格 ($W=3.4m$, $D=3.7m$) で、スラリーを単独使用した場合、標準的爆薬原単位は 123g/t とかなり高くなる。(尚、試験発破の結果では、爆落石の大きさが $1.5m^3$ 程度まで許されれば、原単位は 95g/t 程度まで下げることができる。)

6. 所 感

今まで述べたように、スラリー爆薬は耐水性がある点と、流動性があり密装薬できる点に優れた特長を有し、当鉱山の採掘条件に適合し、一応の成果を収めることができた。

当鉱山では、アルミスラリーは発破規格の選定とあいまって下記の点で採掘上の効果があった。

- (1) toe-hole 穿孔、サブ穿孔、及び補助孔を廃止することが可能となり、採掘関係の合理化が達成された。
- (2) 20m ベンチにおいて、孔径 75mm で十分な発破効果をあげることができ、切羽の集約化ができた。
- (3) 爆落石の小塊化が可能となり、小割数も減少した。
- (4) 他爆薬に比べて、発破規格を比較的大きくと

ることができた。

一方、アルミスラリーは価格の面で AN-FO の3倍弱と高価な爆薬である。現在のところ、アルミスラリー使用による上記の採鉱全体のメリットを考慮しても、AN-FO に比べて割高な爆薬となっている。当鉱山では、一次発破(クローラー孔の発破)で小塊化する必要が生じたため、アルミスラリーを単独使用しているが、爆薬原価の面を考慮すれば、AN-FO と併用して孔底部にスラリーを装薬し、toe 切れ、及び爆落石の起砕状況を良くするのが最も有利な使用方法であろう。又、当鉱山では孔径 75mm のため使用できなかったが、大孔径になれば、アルミスラリーより安い TNT スラリーが使用可能となる。

スラリー爆薬は、優れた特長があるため、今後、その長所を活かした使用が増え、ひいてはコストダウンにもつながることが期待される。

(本稿の一部を、昭和43年5月、及び昭和47年5月の石灰石鉱業大会で講演した。)

参 考 文 献

- 1) 野沢逸夫、第27回石灰石鉱業大会資料 p. 8-1~8-13
- 2) 野沢逸夫、第31回石灰石鉱業大会資料 p. 177~193

On the Use of Slurry Explosive in Hachinohe Mine

by M. Matsuda

In Hachinohe Mine, the most parts of drill holes contain water because of the river running by the open pit quarry.

Therefore, the explosive which is able to detonate in the bore holes with water is needed.

Since the slurry explosive is characteristic of resistance to water and suitable for the mining condition of this mine, it has been used for the field blastings since 1965, and it has now brought about the good blasting effects.

In this paper, the process of applying the slurry explosive to this mine and its blasting pattern and effects are reported.

(Sumitomo Cement Co., Ltd, Higashi-Ueno, Taito-ku. Tokyo)

ニュース



新しいスラリー爆薬ソ連が開発

ソ連の鉄鉱石の約4分の3は爆破によって採掘されているが、レニングラード鉱業大学のスタッフは爆薬装てんを機械化する方法の開発と取組んだ。いちばん簡単なのは爆薬の溶液をつくってポンプで注入する方法だが、これだと大量の液がわきに流れたり、土の割れ目にしみ込んだりして爆発の威力が弱まるおそれがある。そこで硝酸アンモニウム(硝安)の熱溶液(85~96度)を使用することになった。これを加熱装置付きのタンクローリーに注入する。もう1台の自動車は二つのパンカーをそなえ、その一つには粒状TNT、もう一つには特殊な添加剤、ゲル化剤がはいっている。ほかに車にはミキサーとポンプがとりつけられている。

2台の車が爆発孔に近づき、タンクローリーのホースをミキサーに接続し、硝安の熱溶液、TNT、ゲル化剤を送込む。成分の配合しだいで、爆薬の特性を変えることができ、ポンプで混合物を爆発孔に注入する。その温度が60度まで低下すると、混合物は凝固し、孔の全容積を満たす。爆薬の性能はきわめ

て高く、その密度も従来の粉末状のものよりはるかに大きい。(APN)

国際推薬燃料燃焼過程研究会

本年6月26~28日に西ドイツカールスルーへ市で推薬燃焼化学研究所の世話で首題の会が開かれます。27題目につき、独、英、仏、米、オランダの研究者により講演発表があります。主なものを拾ってみますと、まずこの研究の目的、ダブルベースの燃焼速度、その表面の問題、ダブルベース推薬への有機鉛塩、銅塩の添加、推薬燃焼の音響学的取扱、コンポジットの結合剤、推薬燃焼速度の連続測定、燃焼的焼蝕、ポロンリチウム系の反応生成物、噴出炎のイオン化、ロケット燃焼室内弾道学、ライフル腔内弾動学に計算機シュミレーション、燃焼における非平衡反応、燃焼シェワーズンの音速測定、炭化水素燃焼時のNO_x生成、安定拡散炎の発火と燃焼等である。題目だけではよく判りませんが、それでも研究の焦点らしきものがうかがわれます。

(水島)