



神岡鉱山における非電気式雷管による坑道掘進について

茂住 洋史*, 藤井広太郎*, 齋藤 修二**

神岡鉱山に於いて坑道掘進作業の能率を向上させる目的でNONEL雷管の導入試験を行なった。爆薬はAN-FOを使用し孔底起爆法で一発破3mの進行を目標とした。坑道の加背は断面約15㎡であり、試験の発破数は80回行なった。対象となった岩盤は飛騨片麻岩が大半で、一軸圧縮強度は200MPaを越える強固な岩盤である。結果一発破当たり進行長2.9m、進行率93.8%の好結果を得た。爆薬の使用量は起砕量1㎡当たり25%の増となったが、雷管使用量は33%の削減となった。坑道掘進作業の能率は作業員一人一方当たりの伸びが2.6m/工になり、従来法に較べ37%の向上となった。神岡鉱山では今後、爆薬原単位の削減を課題にNONEL雷管の導入を進めていくこととなった。

1. 緒言

坑道掘進は、道路トンネル、地下発電所建設、石油地下備蓄設備等の地下空間へのアクセスとして欠くことのできない作業である。鉱山に於ては探鉱・開坑の重要な役割を占めかつその作業量も年間に数千mと多い。これまでに掘進作業の能率を向上させるべく種々の改善が加えられてきている。

今回、神岡鉱山では坑道掘進の能率向上策として、非電気式雷管(NONEL)を使用し、一発破当たりの進行長を従来の2mから一挙に3mとすることを指向し導入試験を行なった。試験は90年5月、10月の2回にわたり発破数は80回を越えた。本稿ではその結果と得られた成果ならびに課題について報告する。

2. 神岡鉱山の発破システム¹⁾²⁾

神岡鉱山における坑道掘進の作業システムは、穿孔作業・発破作業・ずり取作業を分業化したクルーシステムを採用している。爆薬は硝安油剤爆薬(AN-FO)を主体としプライマーにエマルジョン爆薬を使用している。雷管は複数切羽の発破を定時に集中して行なうため、漏洩・迷走電流に対して安全な電磁誘導式雷管(MBS)を使用している。点火作業は89年に遠隔作業による発破システムを開発し、現在、坑内の発破は総

て坑外事務所より定時に集中して点火している。

MBSは電気雷管であり、AN-FOは装填中に静電気が発生することから、親ダイはAN-FO装填後装薬孔の口許に装着している。そのため、AN-FOの死圧現象やカットオフ等による起爆不良を生じるケースがあった。これらを防ぐために、親ダイを装薬孔の孔底に装着する例がある。しかし電気雷管では安全性の面で口元に装着するよう規制されている。そこで迷走電流やAN-FO装填中に発生する静電気に対して安全な非電気式雷管(NONEL)を採用し、親ダイを装薬孔の孔底に装着し、その後AN-FOを機械装填するいわゆる孔底起爆法で坑道掘進一発破3m起爆の試験を行なった。

3. 導入試験

今回の試験は、神岡鉱山門山坑の坑道掘進箇所で行なわれた。岩質は片麻岩(一軸圧縮強度200~220MPa)、スカルン(本地鉱同70~100MPa)である。試験回数は90年5月に40発破、10月に40発破、計80発破を行なった。爆薬はAN-FOを主体とし、プライマーにエマルジョン爆薬を使用した。雷管類の仕様については以下に述べる。

3.1 NONELシステム

NONELシステムはスウェーデンのNitro Nobel社が開発した非電気式の起爆システムである。システムの詳細はNONELチューブ、NONEL雷管、NONELコネクタからなっている。

NONELチューブ(Fig.1)は、外径が3mm、内径1.5mmの中空の高品質のプラスチックで内壁に爆薬が塗布されている。チューブは電気雷管の脚線に相当する

1992年7月17日受理

*神岡鉱業(株)鉱山部

〒506-11 岐阜県吉城郡神岡町大字鹿間 1-1

TEL 0578-2-5385 FAX 0578-2-3306

**三井金属(株)ペルー支社

〒103 東京都中央区日本橋室町 2-1-1

三井本館ビル

TEL 03-3246-8000 FAX 03-3246-8130



Fig. 1 The dimension of NONEL tube



Fig. 2 NONEL GT/T detonator

- ① : Aluminium cap
- ② : Base charge
- ③ : Primary charge
- ④ : Delay element
- ⑤ : Protecting sleeve
- ⑥ : NONEL tube

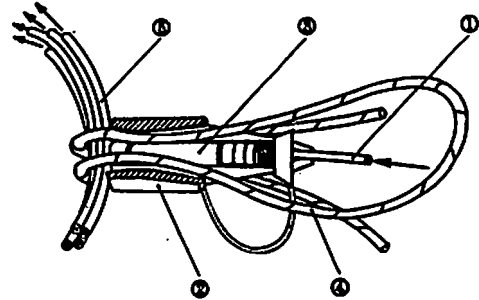


Fig. 3 NONEL UB0 connector unit

- ① : NONEL tube
- ② : Connecting block
- ③ : Transmitter cap
- ④ : Detonating cord
- ⑤ : NONEL tube
(to detonators)

もので、一端より起爆すると管内を約2,000m/sの速度で³⁾起爆させるに十分なエネルギーを持った衝撃波が伝播する。雷管一本に接続されているチューブの長さは、所定のもので数種類はあるが、今回の試験では装薬孔穿孔長3.1mに対して4.8m, 5.4mのものを使用した。

NONEL雷管は8号工業雷管とチューブを組み合わせたもので、構造はFig.2の様になっている。

- 1) 外側の管体は7.5mmのアルミ管で、全長は延時装置の長さによって異なる。
- 2) 添装薬は8号雷管に相当する薬量である。
- 3) 延時装置は火薬混合物が満たされている。
- 4) ゴム製の塞栓はフレキシブルであり、逆管にする場合、孔底との摩擦による摩耗を守る役目をする。
- 5) 所定の長さのNONELチューブの末端はシールされており、耐湿、耐水性は良好である。

今回の試験ではNONEL GT-Tシリーズのうち0段から50段を使用した。

NONELコネクタはチューブ内の衝撃波のリレーとして働き、幹線のチューブからの衝撃波を受け、分岐して支線である複数のチューブに衝撃波を伝播するものである。コネクタにはUB0コネクタ、NONELパンチコネクタ、マルチクリップの3種類がある。今回の試験ではUB0コネクタに導爆線を組合せ、パンチコネクタとして使用した。通常のパンチコネクタは、コネクタブロック、伝達用ミニ雷管、導爆線から構成されている。伝達用ミニ雷管は、普通雷管の1/3の威力である。パンチコネクタの構造をFig.3に示す。衝撃波の伝播は、NONELチューブ1より、衝撃波がコネクタブロック2に到達すると、伝達用ミニ雷管3導爆線4が起爆する。これにより支線側のNONELチューブ5に衝撃波が伝播し、

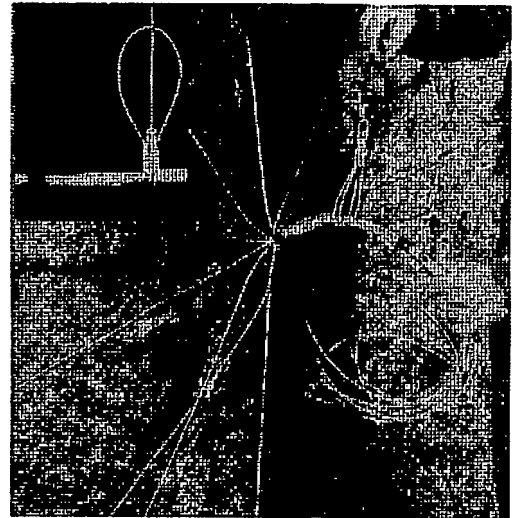


Fig. 4 Bunch connecting example

NONEL雷管が起爆する。Fig.4にパンチコネクタの使用例を示す。

NONELシステムの特徴をまとめると次の様になる。

- 1) 非電気式であり迷走電流、静電気、雷、電波などに対し安全ある。
- 2) 雷管内部に延時装置を持ち、良好な精度で多段発破ができる。
- 3) NONELコネクタの組合せで数多くの段数が得られ発破振動を抑制することができる。
- 4) 結線が単純・容易で作業性が良い。
- 5) 結線の確認を目視によって行なうことができ、テスター等が不要になる。

3.2 坑道掘進の穿孔配置

神岡鉱山のトラックレスの坑道加背は幅4.5m、高

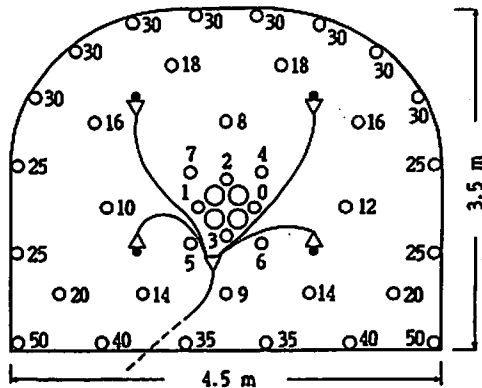


Fig. 5 Connection of tunnel round with NONEL bunch connectors and intervals

さ3.5 mである。穿孔作業は2ブーム油圧モービルジャンボで行なった。芯抜きはバーンカット方式を採用し、穿孔パターンはFig.5に依った。穿孔本数は42本、装薬孔38本（孔径51 m/m）、バーンホール4本（同85 m/m）、で穿孔長は3.1 mとした。

3.3 装薬、結線

装薬作業は鉱山で使用されているAN-FO専用装薬機、AN-FOトラック（Fig.6）を使用した。親ダイはエマルジョン爆薬（チタマイト100 g）を使用し、装薬孔の孔底に装着後AN-FOを口元まで装填した。その結果、装薬率は従来に較べ高く90%を越えた。スムーズプラスティング孔にはAN-FOを少量使用しアンコでタンピングを行なったが、それ以外の孔にはアンコ

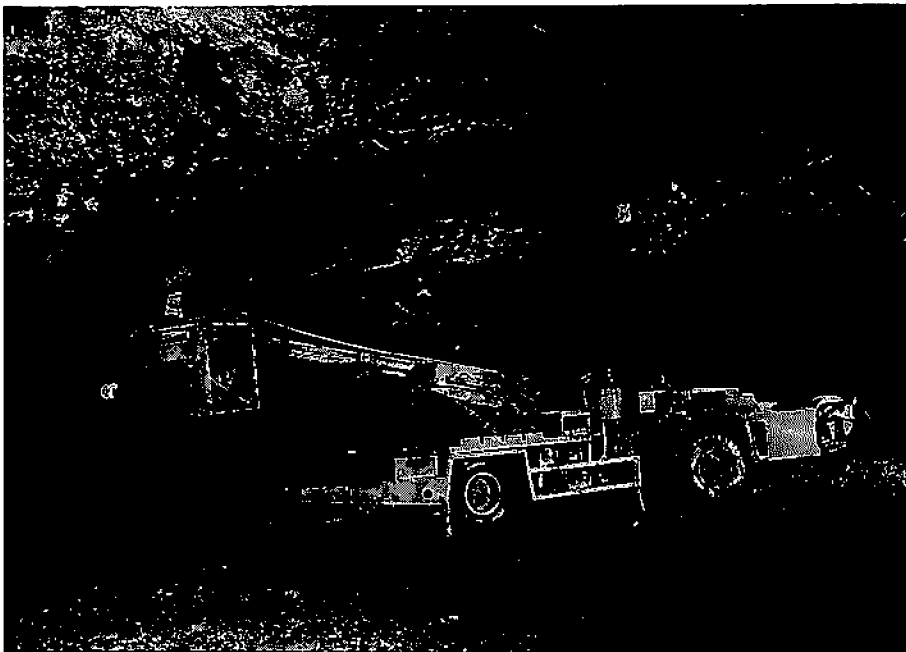


Fig. 6 AN-FO charger

等のタンピング材料を使用しなかった。結線作業はチューブ約10本を一束（パンチ）として切羽を4分割し、パンチコネクターで接続した。各パンチコネクターのチューブ4本を更にもう1つのパンチコネクターで束ねて、切羽の雷管すべてが一本のチューブに並列されるよう注意深く結線した。チューブの起爆はMBS雷管で行なった。接続は雷管とチューブとを並行にし、ビニールテープ等でカバーした。この起爆方式で、今回の試験期間中には不発は無く、すべて完爆した。点火作業は集中管理発破システムを使って、坑外事務所から行なった。

3.4 測定

発破効果ならびに経済性の評価を行なうため下記事項について一発破毎に測定を行なった。

- 1) 実穿孔長
 - 2) 発破進行長
 - 3) 爆薬使用量
 - 4) 装薬・結線時間
 - 5) 坑道掘進能率
- ### 4. 試験結果

今回試験を行なった80回の発破例から得られた結果について、坑道掘進能率、作業サイクルタイム、爆薬原単位について報告する。試験発破結果をTable.1に示す。

Table 1 The result of 80shots

	Large Hole(n)	Charge Hole(n)	Drill Length(m)	Explosive Charge(kg)	Charging Time(min)	Advance (m)	Advance (%)
May '90 Total	150	1564	123	5138	2827	116	
(40shot) Av.	3.8	39.1	3.1	128.4	70.7	2.9	94.0
Oct '90 Total	165	1509	124	6439	3208	116	
(40shot) Av.	4.1	37.7	3.1	161.0	80.2	2.9	93.7
Average	3.9	38.4	3.1	144.7	75.4	2.9	93.8

Table 2 The result of tunnelling work time study

	Electric Detonator			NONEL		
	round (min)	advance (min/m)	volume (min/m ³)	round (min)	advance (min/m)	volume (min/m ³)
Drill	104.2	54.8	3.66	132.8	45.8	3.05
Blast	102.7	54.1	3.60	75.4	26.0	1.73
Muck	123.5	65.0	4.33	159.5	55.0	3.67
Total	330.4	173.9	11.59	367.7	126.8	8.45
Advanced meters per man-shift (330min)	1.90			2.60		
Total	330/330.4 × 1.90 = 1.90			330/367.7 × 2.90 = 2.60		

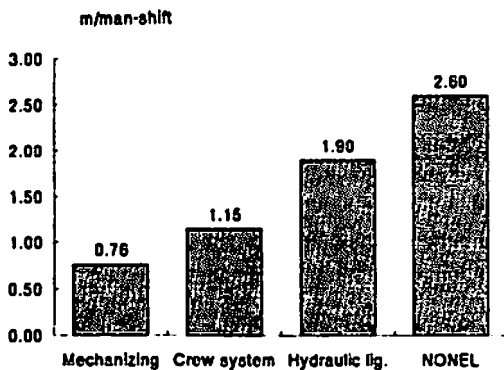


Fig. 7 Transition of tunnelling productivity

4.1 坑道掘進の能率

NONEL雷管の導入により1発破当たりの進行率は93.8%と飛躍的に向上し進行長2.9mの結果を得た。初期の目的である一発破当たり3mの進行にはわずかに及ばなかったがほぼ達成できたものと評価される。作業能率の点では1m当たりの穿孔準備片付け、装薬作業、ずり取準備片付け、浮石払いの時間が節約され、坑道掘進の能率は1.9m/工から2.6m/工に向上した。

(Table. 2)

神岡鉱山における坑道掘進の能率向上の変遷のなかではトラックレスマイニング導入以降、モービルジャンボとLHDの組合せで行なえるようになったことを契機とし、その後の種々の改善を加え能率向上に努めてきた。過去20年間にわたる諸改善とその時点での坑道掘進の能率の推移はFig. 7に示す通りである。

4.2 作業サイクルタイム

坑道掘進の各作業のサイクルタイムをTable. 3に示す。特に発破時間はNONEL雷管の場合、結線が単純容易であることから従来の所要時間と比較し26%減となった。

4.3 爆薬原単位

爆薬使用量は、地山1m³当たり3.0kgであり、従来法では、地山1m³当たり2.4kgであるから25%増となった。今後はこの爆薬原単位削減を課題として研究する必要がある。

雷管使用量は、長孔起爆(1発破3.0m起爆)の場合地山1m³当たり0.85発で、従来法では、場合地山1m³当たり1.27発で、33%の削減となった。(Table. 4)

5. 今後の課題

Table 3 Analysis of working time with two different detonators

Spec of Tunneling	Electric Detonator		NONEL	
	W & H 4.5 × 3.5 m		W & H 4.5 × 3.5 m	
	Area	15 m ²	Area	15 m ²
	Drill (m)	2.10 m	Drill (m)	3.09 m
	Advance	1.90 m	Advance	2.90 m
Drill	(min)		(min)	
Preparation	8.8		7.8	
Collaring	5.2		5.2	
Drilling	66.9 (42Holes)		95.5 (42Holes)	
Blow and Back	2.1		3.1	
Boom set	3.6		3.6	
Finishing work	7.6		7.6	
Shifting	10.0 (3km/h)		10.0 (3km/h)	
Total	104.2		132.8	
Blast	(min)		(min)	
Preparation	8.5		5.5	
Charging	82.4		58.1 (No packers)	
Finishing work	4.3		4.3	
Shifting	7.5 (4km/h)		7.5 (4km/h)	
Total	102.7		75.4	
Muck	(min)		(min)	
Spraying	10.0		10.0	
Scaling	10.0		10.0	
Muck	81.0 (9times)		117.0 (13times)	
Clear	15.0		15.0	
Shifting	7.5 (4km/h)		7.5 (4km/h)	
Total	123.5		159.5	
Total Time	330.4 (min)		367.7 (min)	

Table 4 The result of specific charge

	Electric Detonator			NONEL		
	per round	per advance	per volume	per round	per advance	per volume
AN-FO (kg)	69.0	36.2	2.4	132.4	45.7	3.0
Emulsion	8.0	4.2	0.3	12.3	4.2	0.3
MBS* DET. (num)	38	20	1.3	1	—	—
NONEL DET. (num)	0	—	—	38	13.1	0.9

*MBS: Electro-Magnetic Blasting System

NONEL雷管を使用し、親ダイを孔底に装着する方法で坑道掘進の1サイクルあたりの延びは、従来の2.0mから2.9mと長孔起爆が可能となり、坑道掘進の能率は1.9m/工から2.6m/工と飛躍的に向上した。しかし試験に於ては、3.0mを確実に起爆するという意識が強く装薬量が若干多くなり、その結果爆薬原単位が増加してしまった。今後は爆薬原単位の最適値を追及

することが課題となろう。試験に於ての爆薬原単位の増加原因は、以下の事実から過装薬となっていたことは明らかである。

- 1) 天盤のスムーズプラスティングの仕上り面が荒れている。
- 2) 側壁部分は穿孔範囲以上に岩盤が破壊されている。

3) NONEL雷管の多段発数の影響もあろうが、起砕された岩石は、従来の発破に比べはるかに細かくなっている。

爆薬原単位の削減方法として、

- 1) 穿孔本数を少なくし、装薬孔1本当たりの装薬率を上げる。
- 2) 穿孔本数は現状通りで装薬孔1本当たりの装薬率を下げる。

の2通りが考えられる。1)の方法は、能率向上、雷管本数の削減に貢献するが新穿孔配置の研究が必要である。2)の方法は、確実に3.0mを起爆可能な装薬率を追及すれば容易に達成できるが、1)の方法に較べ効果は少ないと思われる。

6. 結 言

神岡鉱山では労働生産性向上の施策として、機械化・大型化を推進している。今回のNONEL雷管の導入により坑道掘進の能率は、飛躍的に向上し労働生産性の向上に貢献した。

今後、操業に於いてNONEL雷管を導入する予定であるが、その課程で現場に従事する人々の知恵を集め、爆薬原単位の削減を課題に達成する所存である。

文 献

- 1) 齋藤修二・坂井治文・加知俊一郎・茂住洋史：資源・素材学会誌，105[5]，(1989)
- 2) 齋藤修二：日本鉱業会誌，103[5]，(1987)
- 3) 吉田信生・木村歩，他：工業火薬協会誌，48[4]，(1987)

Tunnel blasting with non-electric detonators in the Kamioka mine

by Hiroshi MOZUMI*, Hirotarō FUJII* and Shuji SAITO**

Kamioka Mining & Smelting Co., Ltd. has conducted series of tunnel blasting tests by using NONEL® system to improve tunnel work productivity. AN-FO explosive with the bottom initiation method were used to attain 3.0 m advance per round. The dimension of the drift was around 15 square meter and the number of the blasting tests counted over 80 shots. The rock characters in the site are solid and homogeneous, Hida Gneiss which shows more than 200 MPa in the uniaxial compressive strength.

The result of the tests showed the advance of 93.8% of the blast hole depth 3.1 m. The specific charge increased up to 3.0 kg per cubic meter which was 25% increase by comparing to the ordinal top initiation method with electric detonators in the mine. The specific detonator consumption decreased by 33%. The tunnel work productivity, advanced meters per man-shift, increased by 37% to 2.6 m per man-shift. These result has lead the mine to introduce the non-electric detonating system and further studying to decrease the specific charge.

(*Kamioka Mining & Smelting Co., Ltd. Kamioka Yoshiki-Gun Gifu PREF. 506-11 Japan.

**Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd. PERU Branch. 2-1-1 Muromachi Nihombashi Chuoku Tokyo 103 Japan.)