

## 津久見地区石灰石におけるアンホ使用について

—— その沿革と現在の使用状況 ——

松本英俊\*・公荘惟素\*・伊勢隆志\*

石灰石の露天掘鉱山において最も多量に消費されている AN-FO 爆薬の効果的使用法は、自然条件の変化と機械化の著しい発展とともに年々変化してきている。その間、小孔径発破から大孔径発破へと技術が移行する過程の中で、AN-FO 爆薬のもつ爆破エネルギーを理想的に導き出す方法を現場試験の積み重ねから追求してきた。

とくに発破孔径の選定法、完全な  $T_c$  部起砕法、破砕鉱石サイズの制御、及び発破コストの低減等の問題に関して一応の結論を得たので明らかにしたい。

### 1. 緒言

津久見地区石灰石鉱山において AN-FO 爆薬が使用開始されてから10年余の歳月が経過したが、その間需要の増大、重点生産方式の採用により露天掘鉱山の生産規模も大型化した。

採掘部門の作業工程において最も重要な工程は、穿孔、発破作業である。岩石爆破の理論はクレーター理論を始めとして種々発表されているが、爆破諸条件を全て考慮に入れた完全な理論の実現は甚だ困難である。従って、爆破の効果を最大限に得るには理論と実験、及び経験と判断とによって適切な方法を決定しなければならない。

ベンチカット工法に移行した当時は、ベンチ造成作業が多く、発破方式も確立されず下孔、横孔とバラエティに富んでおり、又発破孔径も 60mm のみであったが、孔径が小さいため AN-FO の定常爆速が出ず、又発破効果も悪く、特に下部の Toe 起砕不良のため修整発破を余儀なくされ、作業の流れが一時的に停止し以後の作業に円滑さを欠き、生産性阻害の大きな因子となった。この点にかんがみ AN-FO の定常爆速を出し、爆速のもっているエネルギーを有効に利用するため、現有国産パワーカーテーションドリルに許容出来る最大孔径で穿孔、発破することが最善であると判断し 100mm ピット穿孔を実施した所<sup>1)</sup>、始結果が得られたので46年以降 100mm 孔径発破を本格的に開始した<sup>2)</sup>。現在岩質、ベンチ高さ、穿孔速度、発破効果の4点より判断し、100mm 以下 90mm、

80mm、60mm の4種の孔径を使用している。又 toe hole を入れることなく穿孔角度 70度で、可能な限り下孔で実施している。

当社においては、他の爆薬によらず、取扱上安全で、コスト的に安価な AN-FO 爆薬のみで、発破効果の問題を、現場研究と実験を重ね、大旨所期の目標を達成した。

### 2. 沿革

我が国石灰石鉱山で硝安と油剤の混合剤 AN-FO について関心が持たれ始めたのは昭和35年頃からで、AN-FO の公的な実験は36年10月小野田セメント田原鉱山において東大下村教授の行なったのが最初である<sup>3)</sup>。それより先、35年に日鉄鉱業羽鶴鉱山で、チェーンドリルによる発破孔で AN-FO に類似した硝安重油系爆薬発破の実用化に成功している。

その後37年に日本鉱業会と石灰石鉱業会では、羽鶴鉱山を含め国内6鉱山を実験場所として通産省昭和37年度応用研究補助金の交付を受け「AN-FO の鉱山における発破試験」を東大下村教授を主任研究者として37年8月から38年まで行い、露天掘、坑内掘の何れの場合でも従来の発破と同様の結果を得ることが出来、AN-FO が我が国の諸鉱山におけるあらゆる発破作業に適用可能であり、保安上、経済上使用出来ることを確認した。

羽鶴鉱山における発破試験の当初より参画してきた関係上、勢い大量の使用は羽鶴鉱山から始められ急速に使用量は増大し、日鉄鉱業石灰石鉱山での AN-FO 使用量は全爆薬使用量の 95% 以上を占めるに至り、当社においては 99.7% まで使用比率を増加すること

昭和49年4月8日受理

\* 津久見共同探採株式会社 大分県津久見市中町 5-36

ができた。

### 2-1 現場教育

昭和39年羽鶴鉱山において、現場係員、班長クラスを対象として学科教育、現場実習を実施した。

### 2-2 グローリー採掘時の AN-FO 使用状況

穿孔長の約 60% を AN-FO 爆薬の装填長として実験し、実用化された。期間は昭和39年より40年である。(津久見)

#### 発破諸元

孔 径	34mm
穿孔長	5.2m 上孔, 下孔抱合せ
孔 間 隔	2.6m~3.0m
最小抵抗線	2.8m
破 碎 高 さ	7.0m
装 薬 長	3.1m
ブ ラ イ マ ー	3号桐ダイナマイト30g
雷 管	瞬発6号電気雷管
込 物	繰粉タンピング
AN-FO 装 填	空気装填機使用
1孔当り装薬量	2.47kg
罎当り爆薬使用量	37g/罎

グローリーホール採掘当時の発破規模は、一発破当りの起砕量が4,000トンから5,000トンであり、一発破当りの装薬量が150kgから200kgであった。

### 2-3 ベンチ採掘当初の AN-FO 使用状況

昭和41年4月よりグローリー方式よりベンチカット方式に移行を開始した。

#### 発破諸元

孔 径	60mm
ベンチ高さ	10m
穿孔長	11.4m
穿孔傾斜	70度
最小抵抗線	2.8m
孔 間 隔	3.5m
装 薬 長	6.8m AN-FO 流し込装填
ブ ラ イ マ ー	当初あかつきダイナマイト 500g 後3号桐ダイナ マイト 100g
1孔当り装薬量	21kg (m当り 3kg)
罎当り爆薬使用量	93~100g/罎

起砕状況は概して大塊の発生率が大きく、Toeの切れが悪く修正小割発破を要した。

昭和45年に全面的にベンチカット方式に切替が完了したが、上記の如く大塊の発生と Toe 切れ不良による修正をなくすため最小抵抗線を2.5m、孔間隔を2.7mにし発破パターンを縮小して実験したが、岩質のパラツキもあり、罎当り爆薬使用量も120g/罎台

に増加したにも拘らず、依然として大塊発生の問題は解決出来ず、生産増強の隘路となった。

### 2-4 AN-FO による発破改善研究の推進

昭和46年増産要請に因應べく、発破について総合的に見直しを行い、大孔径による発破研究を進め、現在の発破規格に改め、100mm 孔径を中心にした現場展開がほぼ軌道に乗った。

### 3. 現在の AN-FO 使用状況

#### 3-1 津久見石灰石の物理的性質

圧縮強度	1,600~1,800kg/cm <sup>2</sup>
引張強度	60~90kg/cm <sup>2</sup>
モース硬度	3~4
弾性波速度	3,000~4,000m/s

岩石全体として硬質、緻密で穿孔抵抗大である。また crack がよく発達しているが、比較的均質である。

#### 3-2 AN-FO 爆薬の特徴、性能

特 徴	
爆発熱量	880~960kcal/kg
比 容	945~965l/kg
爆発温度	2,400~2,700°K
火薬の力	9,000~9,500l·kg/cm <sup>2</sup>
性 能	
弾道振子	80~90mm
爆 薬	2,000~3,500m/s (ブリル硝安)
爆轟圧力	30×10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> (静的エネルギー大, エネルギー開放徐々)

#### 3-3 発破設計

U. Langefors and B. Kihlström · “Rock Blasting” . . . K. Hino · “Theory and Practice of Blasting” を基本にして切羽条件、採掘法、岩質、発破規模及び穿孔機の性能等を勘案し、現場実験を重ね、より低コストで高能率の発破規格を作成し実用化した。

##### 3-3-1 最小抵抗線 (Burden V)

ベンチ高さ (K) が 4.5m から 15m の間にある時のまた Burden V が 1.4m から 4m の間にある時の最小抵抗線 V は簡易法として次の式を用いる。

$$V = d \quad V : m$$
$$d : \text{inch (孔径)}$$

##### 3-3-2 孔間隔 (Spacing E)

一般に Burden V と Spacing E の関係はベンチ高さが 4m 以上の時は次の関係が成立する。

$$E = 1.2 \sim 1.3V$$

ベンチ高さが小さい場合は盤面不揃の現象があるので孔間隔を小さくするのが普通であるが、1孔当り (m) の起砕量が小さくなるので不利である。また

V=E なる関係は起砕効果が減少するので絶対に避けなければならない。さらにベンチ高さが極端に違う場合は孔径を変えて、V及びびを調整する必要がある。

表1に孔径別VとEの関係を示す。

表1 孔径別VとEの関係

孔径 mm	60	80	90	100
V m	2	3.2	3.6	4
E m	3	4.0	4.4	5
VE m <sup>2</sup>	6	12.8	15.8	20

但し穿孔傾斜は70度とする。

横孔の場合は表1のVEの80%としてV=Eなる関係で実施している。これは起砕された岩石の重量を持上げる仕事に爆破エネルギーを消費されることにもとづくためである。

### 3-3-3 ベンチ高さ K と Burden V との関係

柱状装薬、集中装薬の理論が適用される範囲はベンチ高さ K(m) と Burden V(m) との関係で次の通りである。

$$1.8V \leq K \leq 5V \quad (1.8V \leq K \text{ Rock Blasting より})$$

K ≤ 5V 現場試験結果

すなわちVは孔径によって決定されるため、ベンチ高さKも孔径によって決まってくる。

また実験室で行われたテスト結果で発表されているように AN-FO は孔径と装薬長の差異により爆速の違いが出るといわれている。当所で各孔径と装薬長との関係を実作業の中で爆破効果、起砕サイズ、 $T_{90}$  起砕等を実測したところ、孔径 60mm のとき装薬長が 5m 以上になると未爆の AN-FO が回収されることがしばしばであった。従って AN-FO の定常爆速が出て爆轟を伝えることが出来る孔径は 80mm 以上で満足されるという結論を出した。

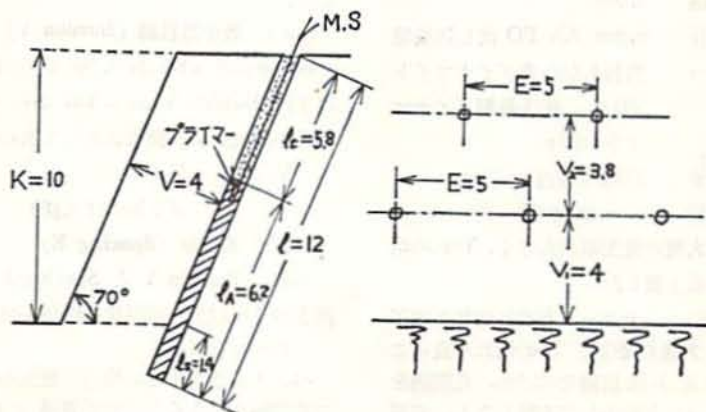


図1 100mm 孔径発破規格

そこで当所では穿孔機の穿孔能率、AN-FO 爆薬の特性、ベンチ高さと最小抵抗線の関係、発破効果等の相関関係から表2のような孔径別のベンチ高さの適用範囲、及び表3のような孔径別の穿孔長限界を定めている。

表2 ベンチ高さと孔径適用範囲

孔径 mm	K m						
	3	5	7	10	12	15	20
60	○	○	○	×	×	×	×
80	×	×	○	○	○	○	○
90	×	×	×	○	○	○	×
100	×	×	×	○	○	×	×

表3 孔径別穿孔長限界

孔径 mm	60	80	90	100
下限穿孔長 m	3(7)	7(9)	8	10
上限穿孔長 m	7(6)	24(20)	18	14

( ) 内は横孔に適用

### 3-3-4 サブドリリング $l_s$ とステミング $l_t$

サブドリリング長  $l_s$ (m) 及びステミング長  $l_t$ (m) も Burden V との相関関係にあり

$$l_s = (0.3 \sim 0.6)V$$

$$l_t = (1.4 \sim 1.6)V$$

なる関係が成り立つ。

### 3-3-5 100mm 孔径穿孔発破規格

現在当所における 100mm 主力孔径である径発法の規格を示す。

ベンチ高さ 10 m 装填方法 流し込み  
穿孔角度 70 度 雷管 6号電気雷管  
最小抵抗線 4 m 25M. S

孔間隔 5 m 装薬長 6.2m  
 穿孔長 12 m ステミング長 5.8m  
 孔配列 千鳥型 装薬密度 6.4kg/m  
 列数 1~4列 プライマー 50g/孔  
 使用爆薬 AN-FO 爆薬使用量 91g/〒

### 3-4 Toe の起砕

現在 Toe の起砕については AN-FO 爆薬、発破設計、D 355A のリップルルの3者の調和により問題を解決している。その実施した経緯について述べる。

#### 3-4-1 スラリー爆薬の試験

昭和46年 Toe 部の起砕不良解決のため、爆速4,600~5,200 m/sec の TNT-Al 系のスラリー爆薬を使用し、抵抗の大きい Toe 部の完全破砕を目的として、多列発破の試験を実施した。

試験は穿孔径 100mm、ベンチ高さ 10m、穿孔角度 70度、穿孔長 11.8m で図2に示す規格で実施した。

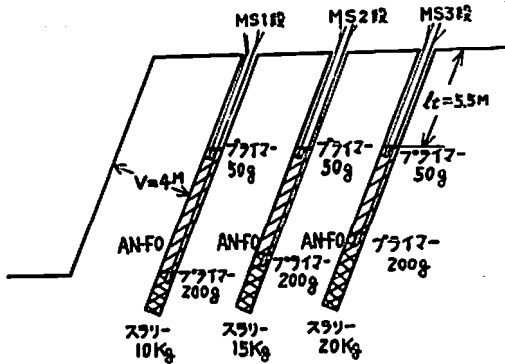


図2 スラリー爆薬装薬図

装薬方法は孔底にスラリー爆薬を1列目 10kg/孔、2列目 15kg/孔、3列目 20kg/孔とし、プライマーは下部に2号板ダイナマイト 200g/孔で雷管付プライマー装着後、AN/FO 爆薬を流し込み、上部にはプライマーとして更に2号板 50g/孔に雷管を装着し、同一孔における M.S.D の秒時は同一とした。爆薬消費量は 90g/〒で、スラリー爆薬の装薬比率は1列目 22%、2列目 32%、3列目 43% である。発破効果としては Toe 切れ、Face 切れ、飛散度とも良好で、起砕鉱石粒度は 0.5m 以下 90% で残り 10% が 0.5~1.0m となり起砕サイズでは AN-FO のみの発破と殆んど同じであった。

多列発破において AN-FO 発破の最大問題点である Toe 切れの問題は解決できたが、購入単価においてスラリー爆薬は AN-FO 爆薬の約3倍であるため、スラリー25%、AN-FO 73%、プライマー2%のスラリー爆薬使用発破の場合は、AN-FO 98%、プラ

イマー2%の AN-FO 爆薬発破の場合に較べコスト面で起砕当り4円高くなる。運搬作業においてスラリー使用による火薬類のコスト上昇分を吸収出来ぬためスラリー爆薬は現在使用していない。

#### 3-4-2 AN-FO のみによる爆破

スラリー爆薬による Toe 切りの問題は解決出来るがコスト面でデメリットになるため、多列発破時の発破設計に改善を加え AN-FO 爆薬のみによる解決を試みた。

AN-FO 発破において単列(1列目)発破であれば殆んど問題はないが、多列発破の場合 Toe 切れ不良が発生し、運搬作業時の能率阻害と下盤の修正発破をきたしている。

多列発破の場合、単列発破と異なる点は前列の発破による Swelling, throwing 途中の起砕鉱石の抵抗に打勝って、前列の発破起砕過程と同様の効果を得なければならない。

これらの問題を解決するために、第一に2列目以下の単位当たり爆薬量を増加させること、第2に2列目以上について1列目よりサブドリリング長を長くし、孔底装薬長を長くし、集中装薬量を増加させることの2方法により実施した。

即ち、 $Burden V \times Spacing E$  について1列目に比し2列目は、1列目  $V_1 E_1 = A_1$  とした場合、 $A_2 = 0.95 A_1$  とし、3列目以下は  $A_{3..n} = (0.95)^2 A_2$  とした。その理由は、3列目以上は前列発破の swelling, throwing は同様と考えたからである。サブドリリング長  $l_s$  は1列目  $l_{s1} = 0.3 \sim 0.4 V$ 、2列目  $l_{s2} = 0.5 V$ 、3列目以上  $l_{s3..n} = 0.6 V$  とした。

#### 3-4-3 リッパーブルの利用

発破前に規格通りベンチ高さを確保し、下盤の凹凸をなくすため、D 355A 型ブルドーザーを使用し、残鉱が発破時の負荷にならないよう排除した。

#### 3-4-4 M. S. D. 雷管の配置

多列発破時において発破震動防止対策のため M.S.D 雷管を使用しているが、カットオフを防止し、AN-FO 爆薬のガス圧を有効利用し発破効果を上げるため同一列、前後列間の延時は2段差 50m.s としている。

#### 3-4-5 破砕鉱石サイズ

運搬方式でブルドーザー工法を主力にしているため、ブルドーザー押石に適した鉱石サイズにするため、穿孔機と AN-FO 爆薬の特性を勘案して、各種のビット径を使用し切羽における大塊の小割発破を皆無にすることができた<sup>3)</sup>。現在の鉱石サイズは表4の通りである。

文献によれば、孔径が小なる程大塊の発生が多いと

表 4 起砕鉱石粒度分布

粒度 mm	重量比率 %
+ 500	10
500~300	21
300~100	40
- 100	29
計	100

述べている。また石灰の如き crack が多い岩石において大塊の発生を避けるため孔間隔を短める傾向にあるが、これは爆発生成ガスが crack より逃げるため大塊が発生するのであって、むしろ孔径を大にして孔間隔および抵抗線を大にする方が大塊の発生が少なくなる。実際の大孔径発破の結果も破砕状況は 60mm 孔径に比較し 90mm, 100mm 孔径の場合の方が良好である。

運搬機に適した鉱石サイズに制御するため表 1, 表 2, 表 3 に示す如く孔径, ベンチ高さより各孔径による上限, 下限穿孔長を決めて, AN-FO 爆薬のエネルギー有効利用すること, さらに岩質に応じ粘土, crack の発達しているところは穿孔前に D 355A リッパブルにより可能な限りリッパ工法を行ない, ベンチ高さを下げて 1 孔当りの穿孔長を短かくして 60mm 孔径で発破を行なっている。なお岩質, ベンチ高さに応じて 80mm, 90mm, 100mm の発破孔径を選定し鉱石サイズ制御の成果が上っている。

4. 爆薬使用量及び原価の推移

4-1 爆薬使用量の推移

孔径が大きくなる程単位起砕量当りの孔数は少なくなり, 比例して雷管ブースターの使用量も少なくなる。また孔径が大きくなる程, AN-FO の爆速が高く得られるため, 小孔径に比べ爆薬使用量も減少することができる。表 5 に示す通り大孔径発破の占有率が高くなり, 年度毎に爆薬使用量も減少した。なお 46 年度はスラリー爆薬を使用したため爆薬使用量は減少し

表 5 火薬量使用推移

区分 単位 年度	爆薬使用量	AN-FO 使用比率	雷管本数
	g/罫	%	本/1,000罫
45年度	101.4	94.5	9.3
46年度	90.3	97.7	8.6
47年度	99.5	98.9	4.5
48年/上	90.3	99.7	3.1

た<sup>6)</sup>。スラリーを使用しなくなった理由は前に述べた通りである。なお 48 年度現在の大孔径発破 (90mm, 100mm) による起砕量は, 全起砕量の 87% を占めている。

4-2 発破原価の推移

過去 4 年間の火薬類の原価推移は表 6 に示すように大孔径の使用率が高くなるとともに当り原価は安くなってきている。これは AN-FO 使用比率の増加と孔径の大きな発破による結果である。

表 6 火薬類原価推移

年度	爆薬使用量	原 価	原価推移
	g/罫	円/罫	%
45年度	101.4	9.8	100
46年度	90.3	8.5	86.7
47年度	99.5	8.5	86.7
48年/上	90.3	7.4	75.5

しかしながら発破原価は, 発破費すなわち爆薬自体の価格と装填労務費の合計, 及び穿孔原価を加えた総合原価で表わされる。48 年度の穿孔発破原価の比率は表 7 に示すように穿孔原価 58.5%, 発破原価 41.5% となっており, 穿孔原価を下げることで総合発破原価を下げる要素となっていることを示している。

表 7 穿孔発破原価比率 (48年度)

項目	穿 孔		発 破		穿孔発破 計
	クロー ラー	P. C	装填費	火薬費	
比率%	40.5	18.0	4.5	37.0	100
計 %	58.5		41.5		100

さらに穿孔発破原価は孔径により左右され, 表 8 に示したように大孔径になる程低くなる。発破費は火薬価格によって大部分決まり, 孔径別の差は小さいが装填労務費 (装填能率) によって定まる。穿孔価格は孔径によって大きく変化し, 大孔径になる程当り原価は

表 8 孔径別穿孔発破原価指数

区分	孔径	60mm	80mm	90mm	100mm
	穿 孔		65.6	49.6	38.3
発 破		34.4	33.3	32.4	31.6
計		100	82.8	70.7	59.7

(注) 60mm の 円/罫 を 100 とした時の指数である。

孔径の平方根に比例し減少する。

当所においては国産パワーローテーションドリルによって穿孔許容限界の 100mm 孔径までの作業を行っており、結果的には 100mm 孔径の場合に穿孔発破原価が最も低い値を示している。それ以上の大孔径については不明であるが、穿孔機の能力の限界及び抵抗に比例した孔底装薬量の増加等により、発破の総原価は上昇するものと考ええる。

また 100mm 以内の孔径においても AN-FO のみによらず、スラリーあるいはダイナマイトの孔底装薬を行なった場合、原価は大幅に上昇すると考える。

#### 5. 結 び

津久見地区石灰石鉱山において、現在の大孔径発破法に至るまでの経過と、現在の使用状況及び発破技術に対する考察を、現場作業の中から行ってきたが、AN-FO のみによる発破法の一応の成果をあげることが出来た。

発破方式は与えられた自然、鉱量、出鉱量、機械化の進展および発破震動公害等の諸条件によって決まっ

てくるが、最良の発破効果をあげ、採掘原価の一層の低減が計れなければ技術改善の意味もない。

最近の火薬類の値上りが原価を圧迫する大きな要素となっており、今後とも発破技術の改善により、効果的なベンチ発破法を追求してゆきたい。

#### 文 献

- 1) 松本、公荘、伊勢、工業化薬協会 Vol. 34, No. 1, 1973
- 2) 石灰石鉱業協会誌;「AN-FO の鉱山における発破試験」p. 3, 1962
- 3) U.Langefors and B.Kihlstron, "Rock Blasting"
- 4) K.Hino, "Theory and Practice of Blastng", p. 153~165
- 5) 松本、公荘、伊勢、石灰石鉱業協会誌 No. 144, 1973「ブルドーザー工法の総合解析」
- 6) 公荘惟崇、全国地下資源関係学協会47年秋季講演「バック導入による生産性向上」
- 7) 松本英俊、石灰石鉱業大会47年講演習 p. 1~38

---

## On the Use of AN-FO mixture in Limestone Mines at the Tsukumi District

### —History and Present Use—

by H. Matsumoto\*, K. Kujyo\*. and T. Ise\*

In open-cut minings of limestone, AN-FO mixture is used very frequently. An effective usage of this explosive compound changes remarkably year after year, As one reason the natural environments have been changed, as the other the automation was developed very rapidly. The technical procedure of the blasting have also altered from that by small caliber to that by large one. In our field testing, we have continue to establish the method that efectively uses the explosive energy of AN-FO mixture.

In this paper, some technical problems on these methodes are mentioned, especially on a choice of the blasting calibers, a method of free blasting of the toe parts, a size control of the ore blasted, and a reduction of the cost price of the blasting.

(Tsukumi Kyodosaikutsu Co., Ltd, Tsukumi, Oita,)\*