

Table 1 Field test conditions

Condition	A	B
Rock type	Limestone	Sandstone (hard)
Blasting type	Bench*	Bench*
Bench height (m)	8.0	18.0
Hole depth (m)	9.5	9.0
Hole diameter (mm)	95	65
Spacing (m)	4.8	2.5
Burden (m)	3.6	3.0
Stemming (m)	3.6	3.7
Number of holes	10	5
Detonators	DSD #1	DSD #1-5

*: Vertical blastholes

d) 落つい感度

火薬学会規格ES-21(1)に規定される落つい感度試験において測定した。

e) 摩擦感度

火薬学会規格ES-22に規定される摩擦感度試験において測定した。

2.2 ANFO (H) の発破試験および評価

Table 1に示すように、二ヶ所の発破現場において、それぞれ通常行われている発破パターンにより試験発破を実施した。また、切羽の形状あるいは岩質の差異等による発破結果への影響を極力排除し、ANFOとの相対評価を試みるため、発破パターンAでは試験切羽をFig.1に示すように交互に配置した。

破砕粒度および重機の稼働状況を評価項目とした。破砕粒度は、破砕粒径および粒径1 m以上の大塊数について写真上で計測した。また、発破パターンBでは、発破場所から550 mの地点で振動レベル計(㈱リオン製 VM-12B)、低周波騒音計(㈱リオン製 NA-17)を用いて、振動レベルおよび低周波騒音レベルの測定を行った。

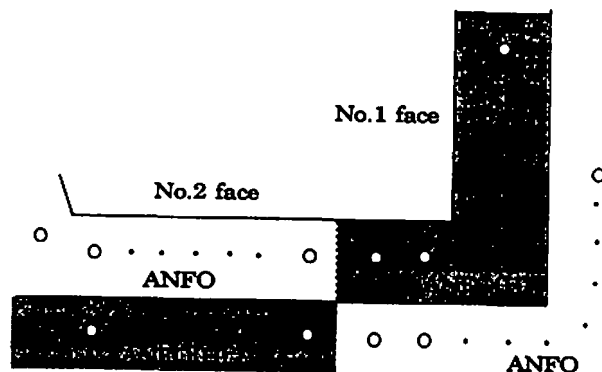


Fig.1 Arrangement of field test faces

2.3 ANFO (SH) の発破試験および評価

発破パターンAにおいて試験発破を実施し、ANFO(H)との相対評価を試みた。ANFO(H)の試験発破の場合(Fig.1)と同様、試験切羽を交互に配置した。評価は起砕及び重機の稼働状況について行った。

3. 結果および考察

3.1 爆薬特性値

本評価試験に使用したANFO、ANFO(H)および(SH)の特性値をTable 2に示す。ANFO(H)および(SH)はANFOと同等の安全性を維持し、ANFOに比べて酸化剤と燃料との反応性を高めることにより爆発性能を向上させている。特にガス発生量に関する弾動振子値は、ANFO(H)では30%程度、ANFO(SH)では50%程度増加しており、静的効果の著しい向上が期待される。また、嵩比重がANFOに比べANFO(H)および(SH)は各々10%および20%以上低減しているにも拘わらず、爆速は20-30%程度高くなり、優れた破砕効果を示すことが予想される。

3.2 ANFO (H) の実用評価試験

3.2.1 発破パターンA

最小抵抗線、孔間隔、穿孔長および装薬長が同一条件(Table 1)であるため、嵩比重の小さいANFO(H)の爆薬原単位は、Table 3に示すようにANFOの場合と比較して約10%低減された状態での発破となった。

Table 2 Explosives properties

Explosives	ANFO	ANFO (H)	ANFO (SH)
Bulk density (g·cm ⁻³)	0.80~0.90	0.70~0.80	0.60~0.70
VOD (m·s ⁻¹)	2500~3000	3000~3500	3300~3800
Ballistic pendulum (mm)	45~55	60~70	70~80
Cap sensitivity	None	None	None
Impact sensitivity (cm)	50<	50<	50<
Friction sensitivity (N)	353 <	353 <	353 <

Table 3 Results of bench blasting with ANFO (H) and conventional ANFO under the condition of A

Explosives	ANFO	ANFO (H)	ANFO	ANFO (H)
Face No.	1	1	2	2
Charge per hole (kg)	35.0	31.5	35.0	31.5
Specific charge (kg·m ⁻³)	0.253	0.228	0.253	0.228
Degree of fragmentation				
Number of boulders (1m≤)	40	40	24	18
Fragmentation size(1m≤)	0.84 m	400.98 m	1.02 m	0.88 m
Note	Breaker was utilized to crush boulders.	Boulders were broken during the excavation.	Breaker was utilized to crush boulders.	Boulders were broken during the excavation.

Table 4 Results of bench blasting with ANFO (H) and conventional ANFO under the condition of B

Explosives	ANFO	ANFO (H)
Charge per hole (kg)	15.0	13.5
Total charge (kg)	75.0	67.5
Specific charge (kg·m ⁻³)	0.22	0.20
Number of boulders (1m≤)	8	8
Ground vibrations (dB)	45	46
Air waves (dB)	99	99
Note	As usual.	Reduced overhang compared with usual.

切羽No.1およびNo.2は各々、節理が少なく白色の硬い岩盤および粘土を含有した細かい節理が多数存在する茶褐色の岩盤であるように、切羽における岩質はかなり異なるものの、同一切羽で両ANFOの発破結果

を比較すると、ANFO(H)がANFOと同等あるいはそれ以上の起破効果を示すことが明らかとなった。発破直後の切羽を撮影した写真による破砕粒度の分析結果は同等であるが、破砕片採取時に重機に掛かる負荷の程度、大塊を破砕するためのブレイカー使用の有無により、定量的ではないがANFO(H)の起破効果に関する優位性が確認された。また、切羽No.2におけるANFO(H)の発破では、所定起破量3,270 tに対して実起破量は4,100 tとなり、爆薬原単位の低減によるマイナス効果は全く観測されなかった。低比重であるが故に底部装薬量の低減による孔尻のせん断不良が懸念されたが⁵⁾、根切れに関してもANFOの場合と同様、非常に良好であった。

3.2.2 発破パターンB

発破パターンAの場合と同様、ANFO(H)の爆薬原

Table 5 Results of bench blasting with ANFO (SH) and ANFO (H) under the condition of A

Explosives	ANFO (SH)	ANFO (H)	ANFO (SH)	ANFO (H)
Face No. (Fig.1)	1	1	2	2
The geology of the rock	Fissured. Dark brown.	Fissured. Dark brown.	Comparatively homogeneous. White.	Comparatively homogeneous. White.
Charge perhole (kg)	28.0	31.5	28.0	31.5
Specific charge(kg·m ⁻³)	0.203	0.228	0.203	0.228
Degree of fragmentation and movement	Fine. The designed amount of blasted rock (3,700t) was obtained.	Fine. Enough displacement.	Fine. Enough displacement.	Fine. Enough displacement.
Mucking situation	As usual. There was no difference in shovel productivity compared with ANFO (H).	As usual.	As usual. There was no difference in shovel productivity compared with ANFO (H).	As usual.
Breakage in toe	No stumps.	No stumps.	No stumps.	No stumps.

単位が約10%低減された条件下でのANFOとの比較評価を行った。起砕状況はほぼ同等であり、重機への負荷についても顕著な差は認められなかった。また、発破場所から550 mの地点で実施された各々の振動(振動レベル)および騒音(LSPL)の測定値は同等であり、これは爆薬原単位の低減にも拘わらず同等の発破効果が得られたことを示唆しているものと考えられる(Table 4)。種々の要因を考慮する必要はあるが、参考値として(1)式よりANFOおよびANFO(H)の振動レベルを変位速度に換算して比較した場合を以下に示す。

$$VL = 20 \log V + A \quad (1)$$

$$V_{(H)}/V_{(J)} = 10^{(VL(H) - VL(J))/20}$$

$$= 1.12$$

ここで、VL = 振動レベル、V = 変位速度、(H)および(J)はそれぞれANFO(H)およびANFOの場合を示すものである。

これら試験発破によって、ANFO(H)が、従来の発破パターンを変更することなく、所定起砕量の確保に要する爆薬消費量を低減させ得る次世代型のANFOであることが明確となった。

3.3 ANFO (SH) の実用評価試験

ANFO(H)の試験発破における発破パターンAと同一条件下、ANFO(H)との比較評価試験を行った。したがって、ANFO(H)に比べて嵩比重の低いANFO(SH)の爆薬原単位は更に10%程度低減され、より負荷の掛かる発破となった(Table 5)。Fig.2およびFig.3(a)に示すように、切羽の岩盤状況はANFO(H)の試験発破の場合と同様に切羽No.1とNo.2において異なるが、何れの場合もANFO(H)と同等の発破結果が得られた。試験発破後の切羽およびANFO(SH)の発破時の様子(Fig.3(b)およびFig.3(c))から、岩石が前方へ十分押出されているとともに破砕粒度も細かく、良好な発破であることが確認される。また、更なる装薬量の低減により、ANFO(H)の場合

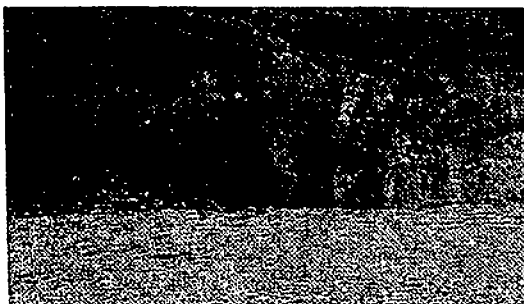


Fig.2 The cross section of No.1 and 2 faces
(The difference in the geology of the rock)



(a) Before blasting



(b) During blasting



Fig.3 The cross section of No.1 and 2 faces
(The difference in the geology of the rock)

と同様に根切れの状態が懸念されたが、破砕片採取時の重機に架かる負担の程度もANFO(H)と同等で、特に問題は見られなかった(Fig.4)。

以上、各試験発破で得られた結果は、Table 2に示す爆薬特性値およびそれに基づき(2)式より算出される爆轟圧を比較することにより、ある程度理解されるものと考えられる。ANFO、ANFO(H)およびANFO(SH)の爆轟圧の算出例を以下に示す。

$$P \approx 1/4 \cdot \rho D^2 \quad (2)$$

$$\text{ANFO} \quad : \rho = 0.85 \times 10^3 (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}), D = 2750 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

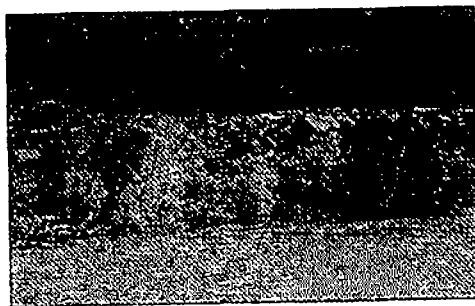
$$P \approx 1.61 (\text{GPa})$$

$$\text{ANFO(H)} : \rho = 0.75 \times 10^3 (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}), D = 3250 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

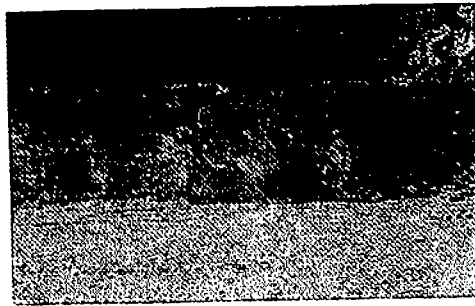
$$P \approx 1.98 (\text{GPa})$$

$$\text{ANFO(SH)} : \rho = 0.65 \times 10^3 (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}), D = 3550 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$P \approx 2.05 (\text{GPa})$$



(a) Before blasting



(b) After blasting with ANFO (SH) and mucking

Fig.4 The cross section of No.2 face

4. 結論

従来のANFOと同様、優れた取扱性を有するとともに低比重・高威力化を図ったANFO(H)および(SH)の実用評価試験を実施し、各爆薬の特性値と爆薬原単位および起砕効果等の発破結果との相関性が確認され、以下に記す評価結果が得られた。

- ・ANFO(H)および(SH)は、従来のANFOと比較して10-20%程度の爆薬原単位の低減が可能である。
- ・爆薬原単位の低減にも拘わらず、根切れを含め、十分な起砕効果を有する。
- ・従来のANFOと同様の取扱性および装填性を有し、固結性に関しても特に問題は見られない。

なお、ANFO(H)に関しては、長期間に渡る実用試験においてその有用性が重ねて評価され、現在実用化に至っている。ANFO(SH)についても発破の効率化を促す実用性の高い次世代型のANFOとして期待される。

謝辞

本実用評価試験を実施するにあたり、現場を御提供頂くとともに多大なる御助言、御協力を頂きました、小倉興業株式会社 山田常務、三河課長および有江係長、ならびに清新産業株式会社 上杉採石事業部長、同社門司砕石所 古門所長をはじめ関係各位に深く感謝の意を表します。

文献

- 1) 谷口弘幸, 資源と素材, Vol.116 (No.11), 946 (2000).
- 2) "Blasters' Handbook", 17th edition, ISEE, p.88, (2000)
- 3) "Explosives and Rock Blasting", Atlas Powder Co., p.76-78, (1987)
- 4) Olofsson, Stig O., "Applied Explosives Technology for Construction and Mining", Applied Explosives Technology, p.113-114, (1988)
- 5) R. Gustafsson著, 和田満穂監訳, 「新しい発破技術」, p.72-86, (1981) 森北出版

Field-blasting tests of high-performance ANFO

H.Sugihara*, H.Taniguchi*, K.Noguchi*,
A.Inoue*, and T.Matsuzawa**

ANFO is the most useful industrial explosive in mining and quarries. The main reasons are its lower cost and easier mixing compared with other explosives. Furthermore, ANFO has good characteristics in handling such that it can be filled in some bags and flexible containers containing and be suited for bulk loading with pneumatic loading equipment.

Recently, several field-blasting tests of high-performance ANFO [ANFO (H)] have been carried out. ANFO (H) has the improved detonation properties and the rather low bulk density compared with conventional ANFO. The results of these field-blasting tests showed that ANFO (H) could make the specific charge decrease without affecting the fragmentation, the displacement of the blasted rock and the breakage in the toe. Furthermore, the field-blasting tests of more improved high-performance ANFO [ANFO (SH)] have been conducted. The results indicated that ANFO (SH) would be available for field use.

(* Explosives Research Laboratory, Nippon Kayaku Co., Ltd 2300, Ooaza Koori, Sanyo-cho, Asa-gun, Yamaguchi 767-8686, JAPAN

** Explosives Division, Nippon Kayaku Co., Ltd 1-11-2, Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8172, JAPAN)