

## 熱分解ガスの圧力を利用した破碎薬剤(第3報)

### —脆性体破碎への適用について—

坂野良一\*, 小林道男\*\*, 沖津敏洋\*\*, 二瀬 馨\*\*

第一報(各種性能について)及び第二報(各種感度について)において、テルミット反応を利用した破碎薬剤の各種性能・感度を報告した。本報ではこれを用いた脆性材料の破碎について理論的考察を加え、その後実施した各種破碎実験及び破碎設計のための基本的諸元(原単位)を示す。本破碎薬は産業用爆薬に比較して次のことが言える。

(1) 薬剤使用原単位は含水爆薬(スーパーエナージェル)の2~4倍である。

破碎時に発生する地盤振動は含水爆薬(スーパーエナージェル)の1/3~1/4である。一方、騒音は同爆薬に比べて10~20dB(A特性)低い。

(3) 本薬剤は各種脆性材料の一自由面破碎から多自由面破碎まで適用可能である。

#### 1. 緒 言

第一報および第二報で新しい破碎薬剤の反応特性および感度について報告した。

本研究は低振動・低騒音の状態で脆性材料を能率よく破碎でき、かつ火薬類に該当しない破碎用材料の開発を目的としたものである。したがって本破碎薬のフィールドテストに際しては、振動・騒音を計測することとし、含水爆薬(スーパーエナージェル)とのその比較を実施した。

本報では、本破碎薬による岩盤の破碎機構についてふれ、さらに破碎設計データを得るために実施した各種フィールドテストの結果について述べる。

#### 2. 破碎機構の考察

第一報で本破碎薬のガス発生量を調べるため小容量タンクテストを実施し、その圧力-時間曲線を示した。また、分解ガス発生剤としてカリウム明ばんの様な結晶水を保有する化合物を添加した破碎薬剤のピーク圧力をAbel-Nobel状態式を用いて算定し比較したところおおむね合致した。

通常脆性材料の破壊に供する爆薬の岩盤中における破碎機構は、種々発表されている<sup>1)2)3)</sup>。この破壊機構には爆轟圧による動的な破壊機構と、爆薬の爆轟後発生

するガス圧力による準静的な破壊機構とがある。制御発破は爆薬の動的な破壊効果をデカップリング効果の利用によって、準静的な破壊効果へと緩和した発破であり、この破壊機構はガス圧力による準静的な破壊機構として、解明されてきている<sup>4)</sup>。これらは、破壊対象物がいずれも準弾性体として取扱っている。爆薬の爆轟圧が直接作用する爆薬近傍では、準弾性体とみなしても大きな誤りはないと考えられている。一方、ガス圧力による準静的な破壊機構は引張主応力破壊<sup>5)</sup>であり、その材料に生じた引張破壊による亀裂中に生成ガスが侵入し破壊が助長され、適度の抵抗線にわたってその亀裂が伝播し破壊<sup>6)</sup>が完結する。したがって、ガス圧力による破壊は弾性論では論じ得ないが、在来より広く用いられている理論によって検討する。

第一報で示したスモールタンクテストの圧力-時間曲線は式で表現すると $P_t = NP_0 \times (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$ と示される。ここで、 $P_0$ は破碎薬剤の最高ガス圧力で、 $N$ は補正係数で括弧内の値が最大値をとる時、その値が1と等しくなるように定める。 $t$ は時間、 $\alpha$ 、 $\beta$ は定数である。

これが、密閉装薬孔においては装薬孔周壁に直角に時間と共に変化する $P_t$ という準静的な圧力が作用することになり、媒体中の任意の点において、距離の関数である $\sigma_r$ 、 $\sigma_\theta$ なる応力状態が発生する。

ここで、 $\sigma_r$ 、 $\sigma_\theta$ は無限の広がりをもつ弾性体内に存在する半径 $a$ の円孔内に圧力 $P_0$ が作用した場合に、材料内の任意の点に発生する半径方向及び接線方向の応力であり次式<sup>7)</sup>で示される。ただし、 $r$ は応力を求めようとする点の円孔中心からの距離である。

昭和63年9月12日受理

\*大成建設株式会社 土木技術部  
 〒163 東京都新宿区西新宿 1-25-1  
 TEL 03-348-1111内線(5193)

\*\*日本工機株式会社 白河製造所研究開発部  
 〒961 福島県西白河郡西郷村大字長坂字土生 2-1  
 TEL 0248-22-3111内線(311~315)

$$\sigma_r = -(a/r)^2 \cdot P_0 \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = (a/r)^2 \cdot P_0 \quad (2)$$

$\sigma_r$ ; 極座標  $(r, \theta, \phi)$  における  $r$  方向の主応力 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_\theta = \sigma_\phi$ ; 極座標  $(r, \theta, \phi)$  における  $\theta$  (または  $\phi$ ) 方向の主応力 (kgf/cm<sup>2</sup>)  $\sigma_T$  & 岩盤の引張強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_r, \sigma_\theta$  の岩盤中の応力状態は、その岩盤中のポアソン比により大きく異なることが知られている<sup>2)</sup>。

それによるとポアソン比が大きくなるほど、すなわち弾性体に近づくほど応力減衰が少なく岩盤は破壊され易くなることを意味する。

通常、脆性材料では  $\sigma_\theta > \sigma_T$  の条件の時に引張破壊を生じ、一度引張破壊を生じたならば、その引張亀裂中にガス圧力が作用し、亀裂が伝播し破壊へといたる。

今ここで、亀裂へのガス侵入による破壊の助長を無視して引張破壊域のみを求めると次のようになる。第一報で記した様にカリウム明ばんの小容量タンクテストによる発生ガス圧力を同じ条件で Abel-Nobel 状態式を用いて算出すると、3.75kgf/cm<sup>2</sup> となり実測値 4.94 kgf/cm<sup>2</sup> とよく近似している。

そこで、実際規模の脆性材料の破碎にまで考え方を拡張したのが第一報の実地試験のための計算例であり、これによると通常で約 3000kgf/cm<sup>2</sup> のガス圧力が装薬孔周壁に作用することになる。今、岩盤が引張強度 50kgf/cm<sup>2</sup> の軟岩では(2)式から、その引張破壊域の半径は装薬孔中心から、装薬孔径の 8 倍まで達することになる。一方、硬岩ではその破壊域半径は装薬孔径の 5 倍程度となる。これらの計算では、特性インピーダンスを考慮していない。一方実際には亀裂へ侵入したガス圧力の作用による亀裂先端近傍に発生する引張応力の集中により、より破壊域半径は大きくなるものと考えられる。

これまでは、無限の拡がりをもつ弾性体内の円孔内にガス圧力が作用した場合の任意の点に発生する主応力と、岩盤のその点における引張強度の関係から、引張破壊域を試算した。

### 3. 二孔間の相互作用

通常、発破においては 1 孔のみで行なうことはまれであり、少なくとも 2 孔以上の装薬孔からの相乗効果を利用して有効に岩盤を破壊する。本破碎薬剤においても同様な適用が可能であるので、最も基本的な 2 孔間の問題として考察を加えてみる。

山口博士等<sup>4)</sup>によれば内圧  $P_0$  が作用している 2 円孔を有する板の二次元問題をシュミレートし、2 円孔間および周辺の応力状態について求めている。その中で円孔壁面の接線方向の応力分布について次のように述べ

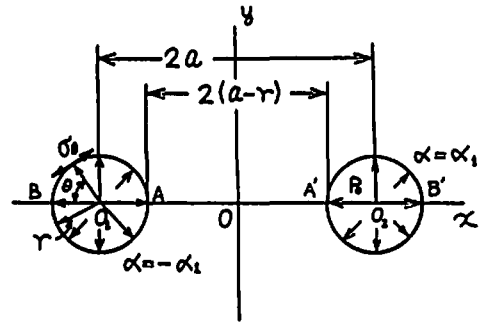


Fig. 1 The case of a problem in which constant pressure,  $P_0$ , acts instantaneously on the inside wall of bore holes having the same diameter,  $r$ .

ている。Fig. 1 に示すように二つの同じ大きさの円孔があり、内壁に同じ大きさの圧力  $P_0$  が作用する場合には、円孔壁面の 2 円孔の中心を結ぶ線上の孔間に向かい合う点 (AA') に、非常に大きな引張応力が接線方向に発生する。このような、接線方向の応力は 2 孔間外側 (BB') にも発生する。この様な応力集中は 2 円孔の中心間距離が近接しているほど、また円孔の直径が大きいくほど著しいことが示されている<sup>4)</sup>。

また、この 2 円孔間が無限に離れている時には、1 つの円孔内壁に  $P_0$  なる圧力が作用している場合と一致する。

以上の理論はスムーズプラスティングの場合のものであるが、この場合にはデカップリング指数を大きくとり、爆薬の pressure spike が消滅する状態で行なうので、ほぼ一定の圧力  $P_0$  が数 10  $\mu$ sec 程度にわたって装薬孔内壁に作用している状態である。本破碎薬剤の燃焼も時間のオーダーが異なるがほぼ同様と考えられる。この応力集中により、不均質な岩盤中にある装薬孔内壁中で最も弱いところが先づ破壊し、半径方向の亀裂が発生する。さらに一個所に亀裂が発生すると、それによってその反対側の応力も上昇するので、最初にできた亀裂の反対側付近につきつぎと亀裂が発生すると考えられる。生成した亀裂中へ高温高圧のガスが侵入すると、亀裂先端近傍の引張応力値は増加し、亀裂の方向と直交する方向と円孔内壁との接点に発生する引張応力値は低下する。このため、引張亀裂は選択的に助長され破壊へと至ることが知られている<sup>5)</sup>。

そこで、本破碎薬剤を用いた場合の適切な 2 孔間距離の算出式を推定する。2 孔間に内外圧が作用する問題は、内外圧を受ける厚肉円筒の問題<sup>7)</sup>になる。そこで、壁面が半径  $r$  に比してかなり大きい厚肉円筒で内外圧が作用する時、円筒内壁に作用する円の半径方向に直交する方向の応力  $\sigma_\theta$ 、半径方向応力  $\sigma_r$  はともに

半径  $r$  の関数として与えられ、次式で示される。

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r_o^2 (P_i - P_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r_o^2 (P_i - P_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad (4)$$

ここで、 $P_i$  内圧  $P_o$  外圧  
 $r_i$  内半径  $r_o$  外半径 である。

2 孔間が十分離れていれば、内圧のみ受けることになるので  $P_o=0$  となり、(4)、(5) は次式となる。

$$\sigma_r = \frac{r_i^2 P_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad (5)$$

$$\sigma_\theta = \frac{r_i^2 P_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad (6)$$

上述のごとく、引張破壊は  $\sigma_\theta$  がいわゆる破壊応力となり、これが岩盤の引張強度  $\sigma_T$  を上回るることによって生ずる。今ここで、2 孔間の平均引張応力を  $\sigma$  とし、2 孔間中心距離を  $D$  とすれば、2 孔間の向かい合う点での距離は Fig. 2 のごとく  $D-2r_i$  となる。ただし、 $r_i$  は装薬孔の内径である。それゆえ、 $r_o=D-r_i$  となる。これらを用いると(6)式は次式となる。

$$\sigma_\theta = \frac{r_i^2 P_i}{(D-r_i)^2 - r_i^2} \left\{1 + \frac{(D-r_i)^2}{r^2}\right\} \quad (7)$$

一方、2 孔間の平均引張応力  $\sigma$  は両孔から応力が作用するので、 $\sigma_\theta$  を用いて次式で示される。

$$\sigma = \frac{2 \int_{r_i}^{r_o} \sigma_\theta dr}{D-2r_i} = \frac{2P_i r_i}{D-2r_i} \quad (8)$$

従って、 $\sigma \geq \sigma_T$  で破壊が起こるので、(8)式からそれを満たす  $D$  を  $D_\sigma$  とすると、次式となる。

$$D_\sigma \leq \frac{2r_i(P_i + \sigma_T)}{\sigma_T} \quad (9)$$

ここで

$D_\sigma$  : 引張破壊による破壊を生ずる間の間隔 cm

$r_i$  : 装薬孔半径 cm

$P_i$  : 破砕薬の装薬孔の内壁に作用する圧力 kgf/cm<sup>2</sup>

$\sigma_T$  : 破砕対象物の引張強度 kgf/cm<sup>2</sup> である。

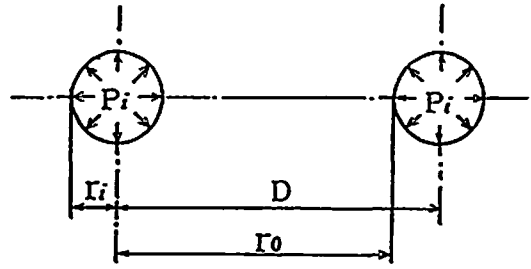


Fig. 2 Paired bore holes stressed by the inner pressure,  $P_i$ .

Parameter of construction	
date	S62-05-20
place	YONEZAWA, YAMAGATA.
material	hard sandstone
compressive strength(kgf/cm <sup>2</sup> )	1900 ~ 2100
amount of breakage (m <sup>3</sup> )	0.021
weather, temperature (°C)	cloudy, 23
Parameter of drilling	
diameter (cm)	32
spacing (cm)	—
burden (cm)	45
depth of drilling (cm)	50
angle of drilling (°)	80
No. of drilling per round	1
specific charge (kg/m <sup>3</sup> )	2.86
Objects	Crater Cut
Results	possible but inadequate

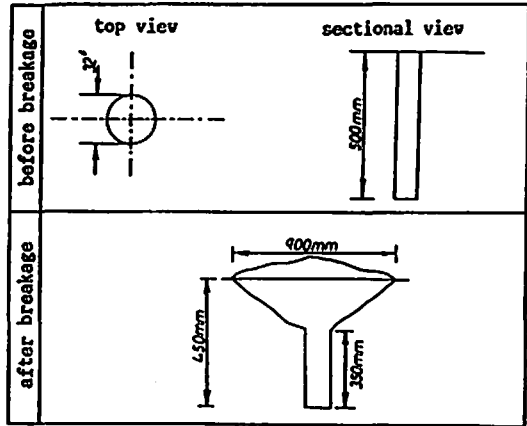


Fig. 3 Parameters & results of crater test

Table 1 product standard size of fracturing composition.

type	27-6	27-12	45-20
size(mm)	φ 27×100	φ 27×200	φ 45×120
charge(g)	60	120	200
service	rock drill	rock drill	crawler drill

Parameter of construction	
date	S62-05-20
place	YONEZAWA, YAMAGATA.
material	hard sandstone
compressive strength(kgf/cm <sup>2</sup> )	1900 ~ 2100
amount of breakage (m)	
weather, temperature (°C)	cloudy, 20
Parameter of drilling	
diameter (mm)	burn hole 22, 12
spacing (mm)	3
burden (mm)	45
depth of drilling (mm)	50
angle of drilling (°)	90
No. of drilling per round	1
specific charge (kg/m <sup>3</sup> )	—
Objects	Cylinder Cut
Results	impossible

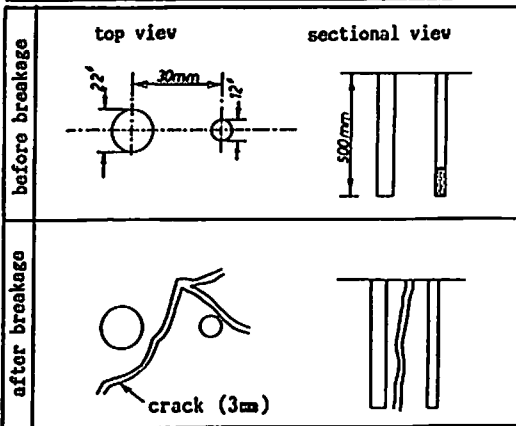


Fig. 4 Parameters & results of fundamental cylinder cut

#### 4. 破砕薬の形状及び装填法

Tble 1 に本破砕薬の標準タイプを示す。本破砕薬剤の標準的な装薬方法は火薬類の装薬方法と類似している。特にコンクリート破砕器と同様である。すなわち、イグナイタは使用する全ての薬筒に装着しなければならず、爆薬で貫うところの“親ダイ”に相当する使用方法のみであり“増ダイ”としての使用はできない。

填塞材としては種々実験を重ねた結果、湿潤砂が最も有効であり、その他の代替品は急結性セメントであり粘土・くり粉等は好ましくない。指定された填塞材を用いた場合の填塞長は少なくとも60cm確保し、薬筒サイズに応じた孔径の装薬孔に装填しなければならない。例えば、填塞長が短い場合、または孔径が薬筒サイズにマッチしない場合は空発となる可能性があり、破砕効果は期待できない。

#### 5. 試験破砕

##### 5.1 クレーターテスト

山形県米沢市万世町刈安の米沢砕石機において、本破砕薬剤、含水爆薬(スーパーエナゲル)の2種を用いて、1自由面であるクレーターカットを実施した。岩

Parameter of construction	
date	S63-05-06
place	ONOTEGOU, FUKUSHIMA.
material	hard sandstone
compressive strength(kgf/cm <sup>2</sup> )	1300 ~ 1800
amount of breakage (m)	0.21
weather, temperature (°C)	fine, 23
Parameter of drilling	
diameter (mm)	32
spacing (mm)	85
burden (mm)	83
depth of drilling (mm)	95
angle of drilling (°)	60
No. of drilling per round	4
specific charge (kg/m <sup>3</sup> )	4.60
Objects	Crater Cut (pyramid)
Results	possible & Good

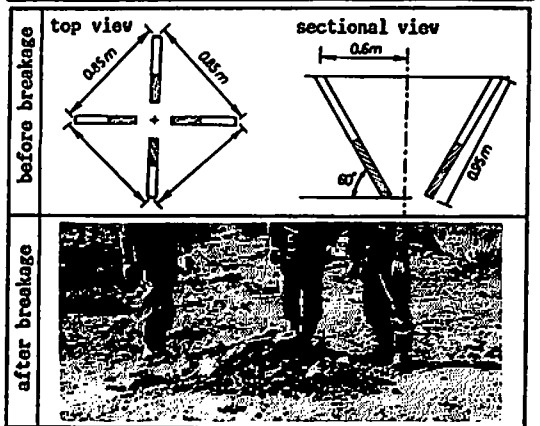


Fig. 5 Parameters & results of crater cut

種は硬質砂岩である。スーパーエナゲルは、ほぼ標準装薬であったが本破砕薬剤は弱装薬であり、同一薬量では起砕容積はスーパーエナゲルの1/3~1/4であった。この時計測した騒音は、約50m位置でスーパーエナゲル102dB、破砕薬剤80dBであった。

本試験の諸元と起砕状況を図3に示す。

##### 5.2 シリンダーカットのテスト

同上現場にてシリンダーカットの基礎試験を、含水爆薬(スーパーエナゲル)および破砕薬剤で実施した。

結果的に破砕薬剤では岩盤をせん断破壊することは困難で、主に引張破壊作用にのみであることがわかった。したがって本破砕薬剤のように、数千kgf/cm<sup>2</sup>のガス圧力による破壊では、主として穿孔内壁よりわずかは圧縮破壊の可能性もあるが、大部分は引張破壊であること、さらに引張破壊により生じた亀裂中にガスが侵入し・選択的にその亀裂が成長し、自由面まで至って破砕が完結すると考えることができる。

本試験の諸元と結果をFig. 4に示す。

##### 5.3 心抜破砕

Table 2 Parameters & results of field tests in each place

data	S62-05-08	S62-12-11	S62-08-27	S62-08-27	S63-02-01	S62-10-15
place	SHIRAKAWA plant	MIYAZU, KYOTO	KAWAUCHI, FUKUSHIMA	KAWAUCHI, FUKUSHIMA	SHIRAKAWA plant	OGUNI, YAMAGATA
rock material (texture)	Plain concrete	Reinforced concrete	Granite	Granite(veathered)	Conglomerate	Andesite
diameter of bits	22mm	32mm	30mm	30mm	32mm	75mm
depth of drilling	0.5m	1.2 ~ 1.5m	1.0m	1.0m	0.7m	1.2m
charge per hole	40 g/hole	180 ~ 240 g/hole	120g/hole	120g/hole	80g/hole	1200g/hole
total charge	40 g	4620 g	120g	360g	4000g	4800g
specific charge	0.0082kg/m <sup>3</sup>	0.231kg/m <sup>3</sup>	0.012kg/m <sup>3</sup>	0.021kg/m <sup>3</sup>	0.37kg/m <sup>3</sup>	0.76kg/m <sup>3</sup>
categories	boulder	boulder	boulder	line	bench	trench
results	good	good	good	good	good	good
Fig (photo) No.	photo 1	photo 2	photo 3	Fig 6	photo 4	Fig 7



Photo 1



Photo 2



Photo 3

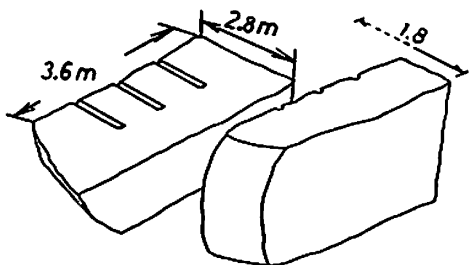


Fig 6



Photo 4

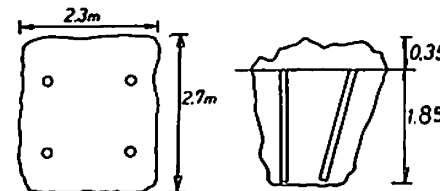


Fig 7

福島県西白河郡妻郷村の日軽興業㈱において、心抜破砕の実験としてピラミッドカットを実施した。原単位は4.60kg/m<sup>3</sup>と薬剤量は多くなるが確実に心抜破砕が可能であることが確認された。それらの諸元と結果をFig. 5に示す。

## 6. 各種破砕

以下に無筋・鉄筋コンクリートの破砕、及び小割破砕、整形破砕、ベンチ破砕、盤下げ破砕の各諸元と破砕結果の概要をTable 2にまとめて示した。

### 6.1 無筋コンクリート(proto 1)

白河製造所内にて行なった。コンクリートは打設後6ヶ月を経過し、一軸圧縮強度 $\sigma_c=240\text{kgf/cm}^2$ (以下これを $\sigma_c$ と表す)である。

### 6.2 鉄筋コンクリート(proto 2)

日本冶金大江山製造所内のデリッククレーンの、鉄筋コンクリート( $\sigma_c=300\text{kgf/cm}^2$ )基礎の解体を行なった。最少抵抗線としては0.4m以上取ること、また填塞長は0.6m以上必要であった。本破砕薬剤は、コンクリートを破砕し鉄筋からそれを剥離することができた。したがって、鉄筋コンクリート構造物の破砕に

Table 3 Mechanical properties of test piece

Kind of rock	Sandstone
Longitudinal wave velocity (m/s)	4500~4800
Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	1300~1800
Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	95~130
Schmidt hammer value ( % )	75
Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	2.74
Porosity ( % )	0.81
Dynamic Young's modulus (kgf/cm <sup>2</sup> )	$1.46 \times 10^5$
Static " (kgf/cm <sup>2</sup> )	$3.17 \times 10^4$

Table 4 Results of measurements for ground vibration & sound level

TEST NO.	type of composition	total charge (g)	categories	vibration (kine)					sound level (dB)			effects	specific charge (kg/m <sup>3</sup> )		
				dis-tance	direc-tion	peak value	combi-nation	K value	dis-tance	A fast	infra-sound				
1	fracturing composition (type27-12)	840	bench cuts	8 m	x y z	0.48 — 0.30	—	—	50 m	65	110	good	0.57		
				30 m	x y z	0.07 0.11 0.04								0.11	113
				8 m	x y z	1.94 0.44 1.44								2.14	272
2	Super Energel (28×100g)	400	bench cuts	8 m	x y z	0.23 0.19 0.17	0.29	519	50 m	82	98	over charge	0.21		
				30 m	x y z	0.14 0.06 0.07								0.15	139
				8 m	x y z	1.20 0.72 1.14								1.64	258
3	fracturing composition (type27-12)	960	center cuts	8 m	x y z	0.20 0.15 1.12	0.23	510	20 m	—	—	a little over charge	2.17		
				30 m	x y z	0.38 0.35 0.54								0.65	80
				8 m	x y z	0.05 0.05 0.03								0.07	120
4	Super Energel (28×100g)	300	center cuts	8 m	x y z	0.05 0.05 0.03	0.07	120	20 m	79	102	good	0.49		
				30 m	x y z	0.05 0.05 0.03								0.07	120
				8 m	x y z	0.05 0.05 0.03								0.07	120
5	fracturing composition (type27-12)	420	bench cuts	8 m	x y z	0.05 0.05 0.03	0.07	120	20 m	79	102	good	0.49		
				30 m	x y z	0.05 0.05 0.03								0.07	120
				8 m	x y z	0.05 0.05 0.03								0.07	120

Table 5 Specific charge of fracturing composition

division	materials		(kg/m <sup>3</sup> )			
	fracturing method	(No. of free faces)	very hard rock	hard rock	medium hard rock	soft rock
Rock	Center Cuts (Pyramid)	1	6.00	4.50	2.30	1.20
	Trench Cuts	1	2.50	1.35	0.60	0.30
	Bench Cuts	2	1.40	0.70	0.36	0.18
	Boulder Cuts	more than 2	0.96	0.50	0.20	0.12
	Line Cuts*	more than 2	0.75	0.45	0.20	0.13
Concrete	Plain	more than 2	0.13			
	Reinforced	more than 2	0.25 - 0.55			
Remarks ;				150>	100>	40>
$\sigma$ = tensile strength of materials kgf/cm <sup>2</sup>			$\sigma$ >150	$\sigma$ >100	$\sigma$ > 40	$\sigma$

\*unit is kg/m<sup>3</sup> in Line Cuts

も十分使用することができる。

### 6.3 小割破碎(Proto 3)

福島県川内村において、花崗岩( $\sigma_c=1700\text{kgf/cm}^2$ )の転石小割を実施した。均質な岩石になれば破碎亀裂も少なく大きく破碎できた。

### 6.4 整形破碎(Fig. 6)

6.3節で述べた場所において、花崗岩の大塊を整形破碎した。破碎孔が一直線上に並びグナイターの着火時間バラツキがなければ、予定線にそって一直線に岩塊を破碎できることがわかった。

### 6.5 ベンチ破碎(proto 4)

白河製造所内のグラウンドのレキ岩( $\sigma_c=800\text{kgf/cm}^2$ )で実施した破碎の様子を写真5に示した。砂礫の固結度が低いにもかかわらず、原単位は $0.37\text{kg/m}^3$ と多くなった。

### 6.6 盤下げ破碎(Fig. 7)

山形砕石錐において行なった結果を示す。岩盤は安山岩( $\sigma_c=1800\text{kgf/cm}^2$ )で、使用した破碎薬剤は、クローラードリル用の45-20型である。

以上の結果、本破碎薬剤は通常の破壊対象物に対して、火薬類と同様の使用方法で対応可能であることがわかった。これまで記した実施例は、いずれも破碎時の振動・騒音を注意して観察したが、振動・騒音共に少ない状況であった。そこで、実際に含水爆薬(スーパーエナージェル)との比較試験を試みたので以下に示す。

## 7. 振動・騒音の計測

本破碎薬剤と含水爆薬(スーパーエナージェル)による岩盤破碎時の振動・騒音の比較試験を、福島県西白河郡表郷村の日軽興業株式会社東北事業所などにおいて実施した。表3に現地の岩盤の力学的特性を示し、得られた結果を表4に示した。

表4中の実験No1とNo2は岩盤起砕量を同一としたものであり、No2とNo5は使用薬量をほぼ同一としたものの比較である。また、No.3、No.4は両薬種による心抜破碎と同発破の比較例である。本現場の心抜破碎後の写真は先の図5中に示されている。破碎時に発生する振動は本破碎薬剤ではスーパーエナージェルの1/3~1/4であり、また、破碎音(A特性)は約20dB低い値となった。

表中騒音欄のデータのないところは、強風のため破碎時の騒音計測データが得られなかったものである。

## 8. フィールドテストのまとめ

表5は、これまで実施された脆性材料の本破碎薬剤による破碎結果から得られたデータを、各種岩盤および自由面の数に対応した形でまとめたものである。

## 9. 謝 辞

本破碎薬剤の現地実験に当っては、各事業所とも繁忙のところ心よく現場を提供され御協力を頂いた。

中でも、主要な実験現場であった米沢砕石錐副所長内藤洋一氏、および日軽興業株式会社東北事業所所長村上孝氏には現場提供の他、数々の有益なアドバイスを頂いた。この稿を借り、各事業所の関係者及びこの研究に関与された関係者に感謝の意を表します。

文 献

- |  |   |
|--|---|
| 1) 村田 勉, 田中一三, 工業火薬, 15, 4 (1954)<br>p. 294~303, 16, 1 (1955) p. 32~41 | 5) 伊藤一郎, 佐々宏一, 谷本親伯, 工業火薬, 32,<br>1 (1971) p. 13~17 |
| 2) 伊藤一郎, 工業火薬, 29, 4 (1968) p. 246~267                                 | 6) 坂野良一, 小林道男, 沖津敏洋, 二瀬 馨, 工業<br>火薬, 投稿中            |
| 3) 日野館雄, 工業火薬, 15, 4 (1954) p. 233~249                                 | 7) 「新版」機械設計便覧」p. 792(1973)丸善                        |
| 4) 山口梅太郎, 下村弥太郎, 工業火薬, 30, 2   |   |

---

Fracturing composition using the gas pressure generated by the  
thermal decomposition (3)

—On the application to fracturing of the brittle materials—

by Ryoichi BANNO\*, Michio KOBAYASHI\*\*,  
and Toshihiro OKITSU\*\* kaoru FUTASE\*\*

In first and second reports. we presented the various performances and sensitivities of fracturing compositions using the thermit reaction.

In this report, we show that we theoretically took into consideration with respect to breakage of the brittle materials using this composition, and then gained many valuable data of various fracturing experiments on sites.

The results on breakage of the fracturing composition as compared with industrial explosive can be summarised as follows ;

- (1) The specific charge of the fracturing composition is between two and four times as much as its value by the water gel explosive (Super Energel).
- (2) The ground vibration generated on breaking is between one third and one fourth times as much as its value by the water gel explosive (Super Energel),

On the other sound level is between ten and twenty dB (A fast) lower than its value by the water gel explosive.

- (3) The fracturing composition can applicate from one to multi-free faces breakage for various brittle materials.

(\*consulting section of civil engineering department of TAISEI corporation.

\*\*research & development department of SHIRAKAWA plant. NIPPON KOKI Co., Ltd.)