

## 含水爆薬の加圧爆ごう性

松本 栄\*, 田中雅夫\*

爆薬中に含有する気泡の状態変化がその爆ごう性に特に影響しやすい含水爆薬を対象として、加圧爆ごう試験装置を用いた窒素ガスによる静圧加圧試験を行ない、従来型爆薬と比較検討した。また、含水爆薬のみについて静圧加圧後の復元試験を行なった。

加圧状態における各種含水爆薬と従来型爆薬の爆ごう性を比較した場合、含水爆薬は全てにおいて外圧の影響を受けやすいことを確認した。しかし、最近、開発されつつあるエマルジョン型含水爆薬は20kg/cm<sup>2</sup>加圧下までは従来型爆薬に比してもより安定した爆ごう性を示し、含水爆薬中では外圧に対する性能は最も優れている。一方、爆ごう限界圧以上で一定時間加圧した後の復元性においてはAl系含水爆薬が最も優れており、エマルジョン型爆薬はAl系及びMMAN系含水爆薬に比して劣る傾向にあることを確認した。

## 1. 緒言

含水爆薬は爆薬中に含有する気泡の微細分散によって起爆感度等の鋭感化を保ち、爆薬としての爆ごう特性を維持するもので、この気泡の粒径、分散状態等の変化は爆ごう性に極めて大きな影響を与える。したがって、多数段発破工法における前段の装薬の爆発が近接する後段の装薬に影響を与えるような近接発破では爆薬が外部からの衝撃圧を受けるため爆薬中の気泡は変動し爆ごうに変化をもたらす異常爆発の要因となることは十分推察される。この近接発破における爆ごう性の異常については発破保安上重要な問題点として研究を行なって来ており報告<sup>1)</sup>も出している。また、従来型爆薬についてのガス圧による静圧加圧試験の報告<sup>2)</sup>も出されているが、筆者等は一連の近接発破に関する研究として、特に外圧の影響を受けやすいとみられる含水爆薬を対象とし、加圧爆ごう試験装置を用いた窒素ガスによる加圧爆ごう試験を行なった。

含水爆薬にはAl系、MMAN系及びエマルジョン型爆薬を用い、従来型爆薬(膠質及び粉状爆薬)との爆ごう性について静圧加圧状態における燃速及び試験容器内の衝撃圧を測定し比較検討した。更に、含水爆薬については爆発限界圧以上で一定時間加圧した後に常圧にもどした場合の復元性についても検討した。

## 4. 加圧爆ごう試験装置の概要

本試験装置本体の構造、寸法はFig. 1に示す通りで上部の蓋を締めた状態での内容積は約19lである。こ

の装置本体部の材質は全てステンレス鋼(SUS-304)を使用している。

この試験容器は筒型鋼(100, 50, 50mm)製の高さ1.8m、縦、横1mの枠台中央部に容器底部と枠台の下部枠をボルト締めにて固定し、その枠台上部より懸吊したエアシリンダー(7kg/cm<sup>2</sup>, 300mm, ストローク)に容器の蓋の上部を接続し、エアシリンダーの作動によって開閉する。本容器への加圧用窒素ガス送入口には外径8mmの銅管を使用し、ポンペより減圧装置を通して容器に連結し、容器取付部と減圧装置側に設けてある開閉バルブで、容器内ガス圧を調整する。

この試験容器は本実験の目的上、容器内に圧入したガスの漏れを防ぐことに留意し、容器と蓋の接触部にはOリングをはめ容器本体の外側に設けた8個のアイボルトで蓋を密着固定させる。また、測定用ケーブル接続端子部からのガスの漏れを防ぐため、これらの接続用端子には点火プラグを用いた。

## 3. 静圧加圧試験

## 3.1 供試爆薬

鉱山用含水爆薬 (Al系)  
炭鉱用含水爆薬 (Al系) 400g検定品  
炭鉱用含水爆薬 (MMAN系) 400g検定品  
エマルジョン型炭鉱用含水爆薬 400g検定品  
3号特白梅ダイナマイト  
Eq. S 爆薬 (粉状)

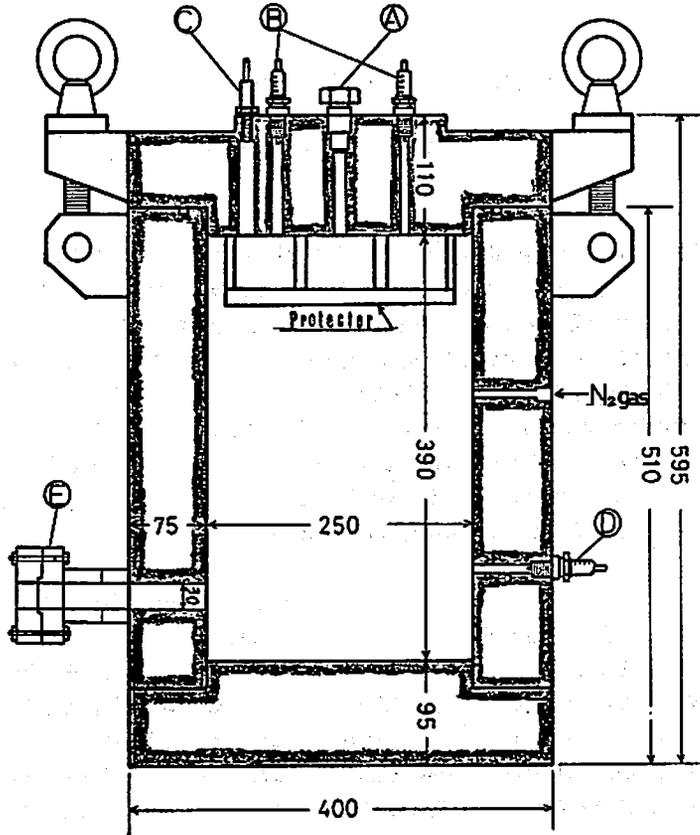
供試爆薬は全て薬量100g、薬径30mmで薬包包装の状態で使用した。なお、薬包の包装形態は従来型爆薬とエマルジョン爆薬は紙巻タイプであり、他の含水爆薬はポリエチレン包装のソーセージタイプである。実験使用時の薬温は15℃である。

昭和57年9月8日受理

\*公害資源研究所

〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川 16-3

TEL 0298-54-3266 (ダイヤルイン)



A...Leading wire connector.      D...Trigger connector.  
 B...Ion-gap connector.          E...Safety valve.  
 C...Pressure transducer.      unit ; mm

Fig. 1 Test vessel

### 3.2 実験方法

実験方法は Fig. 1 に示す加圧爆ごう試験容器内に供試爆薬 (100g) の雷管挿入部を容器底部側にして懸吊し、雷管脚線、爆速計測用及びトリガー用導線を各々の端子に結線した後上部蓋を閉じてアイボルトを締め付けて密閉し、ポンペより窒素ガスを減圧装置 (高圧、低圧用 2 系列) を通して容器中に送入し加圧する。

容器内の加圧力値は蓋部に取付けた半導体式小型圧力変換器 (豊田工機製、圧力測定範囲 1~500kg/cm<sup>2</sup>、固有振動数 100KHz) を増巾器を介してデジタルボルトメーターに接続し、その出力値から換算して求めた。

加圧時間は容器内のガス圧が所定の圧力に達した後 5 分間とし、加圧状態のまま瞬発 6 号電気雷管で起爆した。この加圧状態における爆ごう性の測定として爆速及び容器内の爆発衝撃圧を計測した。

爆速測定はイオン探針法を採用し、イオン探針にエナメル銅線 (φ0.3mm) を使用し、測定間隔を 50mm としてパルス発生器を通してデジタルオシロスコー

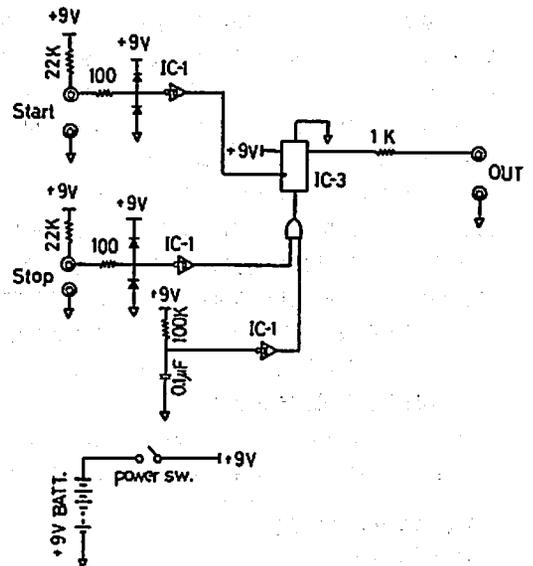
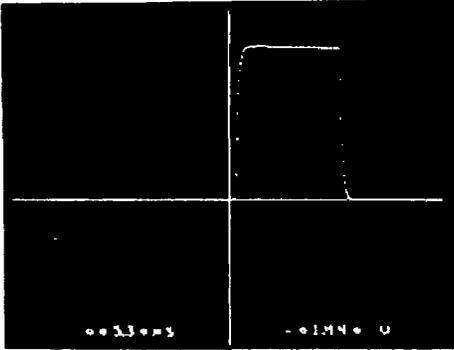
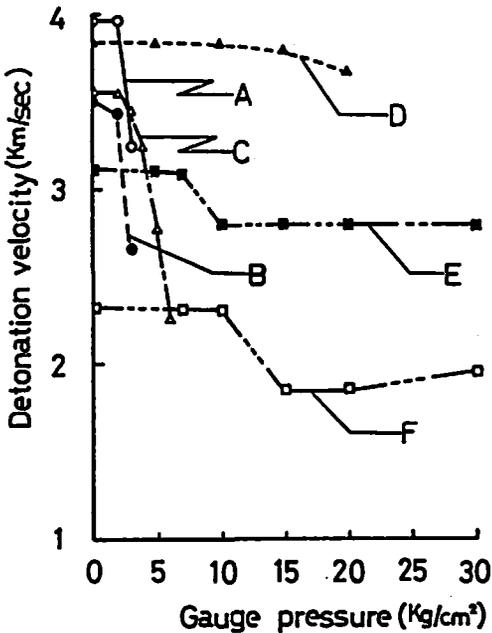


Fig. 2 Circuit diagram of pulse generator



Sampling velocity ; 100ns/point

Fig.3 Example of detonation velocity measurement



- A ; Slurry Explosive ( Al;non permissible )
- B ; Slurry Explosive ( Al;permissible )
- C ; Slurry Explosive ( MMAN;permissible )
- D ; Emulsion type Explosive ( permissible )
- E ; Permissible Dynamite.
- F ; Eq.5 Explosive (powder type )

Fig.4 Relatino between detonation velocity and gauge pressure.

ブ (2ch, 8bit, 4kword) に接続し、サンプリング速度 100ns/point, 入力レンジ,  $\pm 10V$  で計測した。なお、イオン探針接続端子に点火プラグを用いているため電極のマイナス側をボディアースとし、スタート及びストップ用探針のマイナス側を共通にした回路のバル

ス発生器 (Fig.2) を使用した。このパルス発生器によるオシロスコープ画面上の波形はスタート信号で立上り、ストップ信号で下る矩形波を画かせる。この矩形波の間隔を 4 倍ないし 8 倍に拡大してその時間間隔を計測し爆速値を求めた。その矩形波の水平軸を 8 倍にした計測例を Fig.3 に示す。

試験容器内の爆発衝撃圧測定には容器の蓋の部分に取付けた半導体式小型圧力変換器により増巾器を介してデジタルオシロスコープに接続し、サンプリング速度  $1\mu s$ , 入力レンジ  $\pm 4V$  で計測し、波形の最大ピーク値を衝撃圧とした。しかし、Fig.1 から明らかなように圧力変換器と容器内部との間に保護板があるため衝撃圧の絶対値ではない。なお、爆速測定と衝撃圧測定のためのデジタルオシロスコープのサンプリング速度が同じ秒時では計測できないため同一機種のアシロスコープを 2 台使用し、同期方法を外部トリガーとして供試爆薬の雷管挿入部端より 25mm の点にイオン探針をセットし微分回路形式のパルス発生器を通して 2 台のアシロスコープの外部同期端子に接続して爆速と衝撃圧を同時に計測した。

### 3.3 実験結果

供試爆薬の各ゲージ圧下における爆速値を Fig.4 に示す。この爆速値は全て薬包包装状態での加圧時間 5 分における測定間隔 50mm の平均爆速である。

Al 粉を鋭感剤とする 2 種類の鉱山用および炭鉱用含水爆薬はゲージ圧 2kg/cm<sup>2</sup> 加圧まではほぼ定常爆速を保つが、両者とも 3kg/cm<sup>2</sup> 加圧下で極端に低下し 4kg/cm<sup>2</sup> 加圧下ではオシロスコープ画面上の波形はスタート信号による立上りのみを記録し、また、試験装置容器内衝撃圧も 78kg/cm<sup>2</sup>, 80kg/cm<sup>2</sup> を示し常圧時の衝撃圧測定値 (130kg/cm<sup>2</sup>, 140kg/cm<sup>2</sup>) と比較して半減しているため、これらから総合判断して半爆と判定した。5kg/cm<sup>2</sup> 加圧下では衝撃圧測定用オシロスコープ画面上のスコープにも殆んど変化がみられず、容器安全弁の銅板 (0.1mm 厚) も破壊されないため不爆と判定した。

MMAN を鋭感剤とする含水爆薬は 3kg/cm<sup>2</sup> 加圧下まではやや定常爆速に近い値を示すが、圧力の増加にしたがい爆速は低下し、7kg/cm<sup>2</sup> 加圧下で半爆 (容器内衝撃圧 82kg/cm<sup>2</sup>, 常圧時衝撃圧 172 kg/cm<sup>2</sup>) となり、8kg/cm<sup>2</sup> 加圧で不爆となった。一方、エマルション型含水爆薬は 15kg/cm<sup>2</sup> 加圧下までは殆んど定常爆速値と変わらない値を示すが 20kg/cm<sup>2</sup> 加圧下で低下が認められ、25kg/cm<sup>2</sup> で半爆 (容器内衝撃圧 32kg/cm<sup>2</sup>, 常圧時衝撃圧, 162kg/cm<sup>2</sup>) となる。また、20kg/cm<sup>2</sup> 加圧下でも加圧時間を 30 分にした場合には半爆となり、30 kg/cm<sup>2</sup> 加圧下で加圧時間 30 分の場合も Fig.5 の写真例

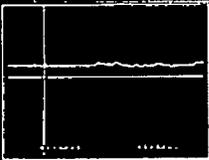
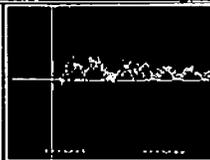
Explosives Experimental conditions	Emulsion type explosive		Slurry exp.(MMAN)
	Ambient gas pressure (gauge pressure)	3 0 Kg/cm <sup>2</sup>	3 0 Kg/cm <sup>2</sup>
Retention time under constant high pressure	3 0 min.	3 0 min.	3 0 min.
Elapsed time between pressure release and initiation	0 min.	5 min.	5 min.
Reference			
	(sampling velocity; 1 μs/point, vertical; ± 4v full scale)		
Peak pressure	3 2 Kg/cm <sup>2</sup>	1 1 0 Kg/cm <sup>2</sup>	1 6 0 Kg/cm <sup>2</sup>
Judgement	partial explosion	explosion	explosion

Fig. 5 Examples of observed pressure profile

Table 1 The results of restoration tests

Experimental conditions	Ambient gas pressure (gauge pressure)						Normal detonation velocity (m/sec)
	30kg/cm <sup>2</sup>			20kg/cm <sup>2</sup>			
	(Retention time under constant high pressure : 30 min.)						
	Elapsed time between pressure release and initiation (min.)						
	Explosives	5	30	90	150	30	
	[Detonation velocity (m/sec)]						
A	4, 420	4, 000	3, 870	3, 920	—	—	3, 960
B	4, 000	3, 870	—	3, 820	—	—	3, 500
C	2, 960	2, 880	2, 990	3, 270	—	—	3, 570
D	2, 780	2, 960	—	2, 380	3, 620	3, 880	3, 800

A ; Slurry explosive (Al ; non permissible)

B ; Slurry explosive (Al ; permissible)

C ; Slurry explosive (MMAN ; permissible)

D ; Emulsion type explosive (permissible)

に示すように半爆状態が続くことが認められた。

これらの含水爆薬と従来型爆薬2種類を比較した場合、Al系及びMMAN系含水爆薬についてはその差は明らかであるが、エマルジョン型含水爆薬は従来型爆薬がそれぞれ加圧力10kg/cm<sup>2</sup>及び15kg/cm<sup>2</sup>で爆速の低下を示すのに対し、20kg/cm<sup>2</sup>加圧下までは極端な爆速の低下は認められず、従来型爆薬より外圧の影響を受け難いことを示している。しかし、それ以上の圧力下

では従来型爆薬より外圧の影響を受けやすいことが認められる。

#### 4. 復元試験

この復元試験は前項の静圧加圧試験結果から明らかとなった各種含水爆薬の加圧爆ごう限界圧以上の圧力で、これらの含水爆薬を一定時間加圧した後に常圧にもどし一定時間放置した場合の爆ごう性を検することを目的として行なうものである。

この試験に用いた供試爆薬は前項の供試爆薬のうちの4種類の含水爆薬のみで、供試爆薬は全て前項試験と同様に薬量100g、薬径30mmで薬包包装の状態で使用したが、実験使用時の薬温は20℃で行なった。

#### 4.1 実験方法

前項の静圧加圧試験と同様に Fig. 1 に示す加圧爆ごう試験容器中に供試爆薬を懸吊し、雷管脚線及びイオン探針導線を接続端子に接続させた後、密閉し窒素ガスを送入して加圧する。

この試験においては供試爆薬の全てに対してゲージ圧、30kg/cm<sup>2</sup>加圧、加圧時間30分とし、その後、加圧ガスを放出し常圧にもどした後の放置時間を、5、30、90、150分とし、それぞれの放置時間における爆速と容器内衝撃圧を測定した。また、エマルジョン型含水爆薬については20kg/cm<sup>2</sup>加圧、加圧時間30分、加圧後の常圧放置時間30、90分のもとの爆速及び衝撃圧測定を行なった。この爆速及び衝撃圧測定方法は静圧加圧試験の場合と同様である。

#### 4.2 実験結果

Table 1 に各供試爆薬のそれぞれの試験条件における爆速測定結果を示し、表中右端に各試料の定常爆速値を併記した。この定常爆速値は本実験方法と同様に薬量100g、薬径30mmの薬包をunconfineの状態では試験容器中に懸吊し、薬温20℃で常圧のもとでイオン探針法により本実験の爆速測定方法と同じ方法で計測したものである。

この定常爆速値と圧力30kg/cm<sup>2</sup>、加圧時間30分で加圧した後の各常圧放置時間における各試料の爆速測定結果を対比すると、常圧放置時間5分ではAl系含水爆薬は2種類とも定常爆速値より高い値を示すが、他のMMAN系及びエマルジョン型含水爆薬は低い値を示し、特にエマルジョン爆薬は定常爆速値より極端に低い値を示している。次にこの常圧放置時間の経過による爆速の変化をみると、Al系鉱山用含水爆薬は常圧放置時間30分以上での爆速値は定常爆速値と比較して多少の差はあるが、その差からみて実験誤差を考慮すれば定常爆速に至っているとみてさしつかえないと思われる。また、Al系及びMMAN系炭鉱用含水爆薬は常圧放置時間150分における爆速値は未だ定常爆速値に比して差はあるが、その過程からみて時間の経過とともに復元する傾向が認められる。しかし、エマルジョン爆薬は放置時間の経過による爆速の変化から判断して復元の傾向は認められないが、20kg/cm<sup>2</sup>加圧、加圧時間30分の復元試験では常圧放置時間90分で定常爆速値に近づき、その復元性が認められた。

このエマルジョン型含水爆薬とMMAN系含水爆薬の容器内爆発衝撃圧の比較例を Fig. 5 に示す。

MMAN系含水爆薬は静圧加圧試験結果から明らかのように8kg/cm<sup>2</sup>加圧下で不爆となるが、エマルジョン爆薬は Fig. 5 の左端の写真例のように30kg/cm<sup>2</sup>加圧下で加圧時間30分の静圧加圧試験でも半爆状態であるが復元試験ではMMAN系含水爆薬と同一試験条件のもとで比較した Fig. 5 から明らかのように爆発衝撃圧も爆速値と同様に低く、その復元性は他の含水爆薬に比して劣ることが認められる。

#### 5. 考察

静圧加圧状態における爆ごう性を含水爆薬間で比較した場合、Al系含水爆薬が外圧の影響を受けやすく、エマルジョン型含水爆薬が最も外圧の影響を受け難いことが認められるが、この差は爆薬中に含有される気泡の状態が外圧により影響を受け易いか否かによるものと考えられる。すなわち、Al系含水爆薬中に含有される気泡は機械攪拌及び化学的な起泡によるもので気泡自体がそのままの状態であるため外圧の影響により気泡の粒径および分散状態に変化を起し易いわけである。これに対して、MMAN系含水爆薬は成分として微小な多孔質物体を含んでいるため、この多孔質な固体中に気泡が包まれる状態で存在するためAl系含水爆薬に比して外圧の影響を受け難く、また、エマルジョン型含水爆薬では爆薬中に含有する気泡体としてガラスマイクロバルーン(GMB)を使用しているため、気泡が完全に固体物質中に包含された状態であるから外圧による気泡の粒径の変化及び逸散等状態変化が起り難いためと考察する。

この気泡体としてGMBを含有するエマルジョン爆薬について本実験結果から考察すると、静圧加圧試験結果では20kg/cm<sup>2</sup>加圧下までは極端な爆速の低下もなく従来型爆薬と比較しても爆速の変化は少なく安定している。これは前述したように爆薬中に含まれる気泡がGMBであるため外圧の影響を受け難いことを立証するものであるが、25kg/cm<sup>2</sup>加圧で加圧時間5分または20kg/cm<sup>2</sup>加圧、加圧時間30分の試験条件下では半爆となる結果からGMBの破壊が推察される。しかし、これを復元試験結果からみた場合、20kg/cm<sup>2</sup>加圧、加圧時間30分の復元試験では常圧放置時間90分で定常爆ごうに復元していることから、この程度の圧力下では爆薬中のGMBは破壊されないものと推察できる。

これはGMBの静水圧による加圧破壊試験データ<sup>3)</sup>からも明らかである。すなわち、本実験に使用したエマルジョン爆薬に含まれるGMBはB-28/750タイプのもので、静水圧50kg/cm<sup>2</sup>加圧以下では破壊率0%の結果が示されている。したがって、GMBの破壊圧以下でエマルジョン爆薬が半爆状態となる要因としては爆薬中に含まれるGMB以外の機械的攪拌等によって

生ずるフリーな気泡体の崩壊、逸散等が影響するものと考えられる。しかし、30kg/cm<sup>2</sup> 加圧下で加圧時間30分の復元試験結果から判断して圧力30kg/cm<sup>2</sup>で加圧した場合にはGMBの静水圧加圧試験の誤差範囲内程度のGMBの破壊も考えられる。

次に、含水爆薬の復元性について考察すると、本実験の静圧加圧試験と復元試験では逆の結果が得られている。この結果から判断して含水爆薬の復元性も加圧爆ごう性と同様に爆薬中に含まれる気泡の性状が最も影響するものとする。すなわち、Al系含水爆薬のように薬中に含まれる気泡が全て気泡自体そのままの状態である場合は加圧状態では気泡の粒径の変化及び逸散等の現象は起り易いが、常圧にもどせば気体の体積は容易に元にもどるため爆ごう性も容易に復元するものとする。

## 6. 結 論

2種類の従来型爆薬と4種類の含水爆薬についての静圧加圧状態における爆ごう性及び4種類の含水爆薬についての加圧爆ごう限界圧以上に加圧した状態から常圧にもどした場合の復元性について検討した結果、供試爆薬中の全ての含水爆薬は加圧状態で起爆した場合、加圧力の増加に従い爆速低下から爆ごう中断に至るが、これらの現象は爆薬中に含まれる気泡の状態変化に起因することを確認した。

また、復元性においても爆薬中に含有する気泡の性状が大きく影響することを究明した。

## 文 献

- 1) 松本, 田中, 吉田; 採鉱と保安 19, 8, (1971)
- 2) 日本油脂精製工場第二研究課, 工業火薬協会誌, 25, 6, (1964)
- 3) 日本油脂精製工場研究所実験資料 (1982)

---

## Detonation Properties of Slurry Explosives under Enhanced Ambient Pressure

by Sakae MATSUMOTO\* and Masao TANAKA\*

It is very important to know the effect of bubbles contained in slurry explosives on their detonation properties, especially under enhanced ambient pressure. The authors, therefore, conducted experiments using the detonation test vessel which can be pressurized by high pressure nitrogen gas.

The experiments were carried out under two kinds of procedures. One is that the ambient pressure inside the vessel is kept at the constant pressure in the range of 2 to 20 kg/cm<sup>2</sup> during the detonation test. The other is that the vessel is pressurized for 30 minutes at the pressure of 20 or 30 kg/cm<sup>2</sup> and then high pressure nitrogen gas is released from the vessel and 5 to 150 minutes later the explosive is initiated. The former test procedure is called here as the constant high pressure test and the latter as the restoration test.

From the experiments the following results were obtained.

Comparing with the conventional explosives such as permissible dynamite and Eq. S explosive, the emulsion type explosive and slurry explosives tested were more easily aggravated by elaborated ambient pressure in the constant high pressure tests.

The slurry explosives contained the sensitizer such as Al or MMAN were more easily affected by enhanced ambient pressure than the emulsion type explosive. But the former explosives were superior in the performance recovery after normalization of the ambient pressure in the restoration tests.

(\*Department of Mining and Safety, National Research Institute for Pollution and Resources, 16-3, Onogawa, Yatabe, Ibaraki, Japan.)