

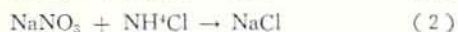
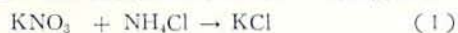
イオン交換型爆薬

福山 郁生・甲斐 常敏*

1. 緒言

現在の炭鉱爆薬の殆どが、ハロゲン化アルカリを配合して安全度を保持していることは衆知の事柄であるがより高い安全度を有する爆薬を得るため、爆薬製造業者はこれ迄に多くの努力を払ってきた。例えば、爆薬に海藻或いは微粉化したハロゲン化アルカリを混入し、或いは爆薬を低比重にするといった方法は、その一部の例にすぎない、しかし乍ら、これらの努力にも拘らず、炭鉱に於ける爆薬の安全度に対する要求が一段と高いものとなつてきつつある現状では、これ迄に得られた爆薬の安全度では必らずしも充分でなくなつてきた。しかるに諸外国、特にベルギー及びドイツに於ては、この極めて高い安全度の要請に対処して、イオン交換型爆薬の研究が進められ、充分な爆性と驚くべき高安全度（溝切臼砕試験による安全度が 2 kg 以上）とを有する爆薬が製造されたのである。

さて、ここで言うイオン交換型爆薬は、ニトログリセリン（NG）等の鋭感剤の他に、塩化アンモニウム（AC）と硝石（PN）又は硝曹（SN）とが主成分として配合される爆薬のことで、この様な爆薬は穿孔外では極めて弱い爆発性を示すのに反し、穿孔内では



の如く、ハロゲン化アルカリを生成する爆轟反応を起すといわれている。

本報告はこのイオン交換型爆薬の諸特性に関する基礎的な知識を得るために行なつた実験的研究の一部である。

2. イオン交換型爆薬の検討設計

2.1) 設計上の要点

我々の設計したイオン交換型爆薬は、鋭感剤としての NG 及び cc 塩安と硝石又は硝曹との等量混合物、硝安及び可燃剤としての澱粉から成る。次に夫々についての要点を示す。

i) 鋭感剤；NG に対して約 3% の cc を配合してなるゲル（以下 NG ゲルと略称する）を使用。本実験に於ては、NG ゲルの配合量を 10%, 8%, 6% の 3 段階にとつて各種イオン交換型爆薬を造つた。

ii) 塩安—硝石（又は硝曹）；これらは先述の反応式 (1), (2) の如く反応すると考えられる。本実験では塩安と硝石又は硝曹とを当量に混合した。当量混合物中の塩安と硝石（又は硝安）の内訳及びこの当量混合物の総量から式 (1), (2) によつて生成すると考えられるハロゲン化アルカリの量を、夫々 Table 1 に示す。

iii) 可燃剤；澱粉を使用し、その量を 7% とした。

Table 1 Weight of equivalent mixture and salts to be theoretically yielded from the mixtures,

wt. of NH_4Cl (g)	wt. of KNO_3 (g)	total wt. of eq. mixts. (g)	wt. of KCl to be yielded (g)	wt. of NH_4Cl (g)	wt. of NaNO_3 (g)	total wt. of eq. mixts. (g)	wt. of NaCl to be yielded (g)
31.2	58.8	90	43.4	34.8	55.2	90	38.0
29.4	55.6	85	41.0	32.8	52.2	85	35.9
27.7	52.3	80	38.6	30.9	49.1	80	33.8
26.0	49.0	75	36.2	28.0	46.0	75	31.7
24.2	45.8	70	33.8	27.0	43.0	70	29.6
22.5	42.5	65	31.4	25.1	39.9	65	27.4
20.8	39.2	60	29.0	23.2	36.8	60	25.3
19.0	36.0	55	26.5	21.2	33.8	55	23.2

昭和38年3月11日受理

* 旭化成工業（株）火薬工場 延岡市永民町

尚このため、得られる爆薬の酸素バランスは一定でない。

iv) 硝安 (i)~(iii) 以外の部分は硝安を配合した。

その他、爆薬設計上の留意点として、酸素バランスは正にとり、且つ爆轟反応における酸素効率上、酸素バランスを 1~5 にとるのであるが、本実験の場合は必ずしもこの範囲にない。また、爆薬の比容は静的仕事効果の一つの目安となるものであるが、後述の如く

爆轟機構が不明確であるため、算出された比容は飽ちも一つの目安に過ぎないことをことわしておく。

2.2) 配合組成

実験は AC-PN 系と AC-SN 系とに分けて行なった。尖々の系の配合組成を Table 2 に示す。

Table 2 Compositions of ion-exchange-type explosives.

a) AC-PN

test number	NG-gel wt%	total wt. of mixts.	AN wt%	St wt%	OB	Sp. vol. tentatively calcd. (l/kg)	KCl yielded from 100g explosives (g)
P-1	10.0	90.0	0	0	9.9	532	43.4
P-2	10.0	79.0	4.0	7.0	0.9	566	38.1
P-3	10.0	70.5	12.5	7.0	1.7	601	34.0
P-4	10.0	62.2	20.8	7.0	2.5	640	30.0
P-5	8.0	78.8	6.2	7.0	1.3	567	38.0
P-6	8.0	70.5	14.5	7.0	2.1	606	34.0
P-7	8.0	62.2	22.8	7.0	2.9	646	30.0
P-8	8.0	53.9	31.1	7.0	3.7	685	26.0
P-9	6.0	62.2	24.8	7.0	3.2	651	30.0
P-10	6.0	51.6	35.4	7.0	4.2	700	25.0
P-11	6.0	41.3	45.7	7.0	5.2	749	20.0
P-12	6.0	30.9	56.1	7.0	6.2	798	15.0

b) AC-SN

test number	NG-gel wt%	total wt. of mixts.	AN wt %	St wt %	OB	Sp. vol. tentatively calcd. (l/kg)	NaCl yielded from 100g explosives (g)
S-1	10.0	90.0	0	7.0	10.6	582	58.0
S-2	10.0	78.0	5.0	7.0	1.9	606	33.0
S-3	10.0	68.6	14.4	7.0	2.7	651	29.0
S-4	10.0	59.2	23.8	7.0	3.5	690	25.0
S-5	8.0	78.0	7.0	7.0	2.3	616	33.0
S-6	8.0	68.6	16.4	7.0	3.0	655	29.0
S-7	8.0	59.2	25.8	7.0	3.8	694	25.0
S-8	8.0	49.7	35.3	7.0	4.6	734	21.0
S-9	6.0	59.2	27.8	7.0	4.2	700	25.0
S-10	6.0	47.3	39.7	7.0	5.2	749	20.0
S-11	6.0	35.5	51.5	7.0	6.2	798	15.0
S-12	6.0	23.6	63.4	7.0	7.2	847	10.0

当量混合物の量と、それによつて生成するハロゲン化アルカリの理論生成量は、Table 1 に示す通りであるが、AC-PN 系に於て生成される KCl の量と、AC-SN 系に於て生成される NaCl の量とを同一にするためには、AC-PN 系の方が AC-SN 系よりも当量混合物の量が少なくて良い。そしてこの部分には硝安が代りに添加される訳である。本報告の如き場合の

解析方法としては、理論的に生成されると考えられる塩の絶対量或いはモル数による爆性と安全度の変化等が考えられるのであるが、理論的に生成される量は不明確な測定要因であるので、本実験に於ては、当量混合物を変数にとり、それに対する爆性と安全度についての検討を行なうことにする。

3. 爆性並びに安全度試験

3.1) 実験項目

本実験に於て行なつた爆性及び安全度に関する試験の内容は次の通りである。

i) 爆 性

爆 速：ドートリッシュ法による紙筒爆速で2回の平均 (m/sec)

弾動振子：3回の平均 (mm)

殉 爆：爆発回数 / 試験回数が 3/3 である最大殉爆度 (倍) 但し薬径 32mm 重量 100g

ii) 安全度

溝切白砲試験：反射板は設けない。100g 刻みで、着火回数 / 試験回数が 0/2 の最大不引火薬量 (g) 但し薬径 32mm

3.2) 爆 速

当量混合物の量 (爆薬 100g 当りの g 数) と爆速との関係を Fig. 1 に示す。AC-PN 系及び AC-SN 系のいずれも、当量混合物の量の増加に伴つて爆速が低下し、一方、NGゲルの量の増加に伴つて爆速が上昇する。硝石と硝安との間には、当量混合物の量が等しければ、得られる爆速に差がないとみなされよう。

3.3) 弾道振子

Fig. 2 に示す通り、系、AC-PN 系、AC-SN 系の両者とも、当量混合物の量が増すに従つて弾道振子値は直線的に低下する。NG ゲルの量は、本実験の場合、弾板値に影響しない、これらの事実、Table 2 を参照すれば、弾動振子値は爆薬の“比容”と正相関

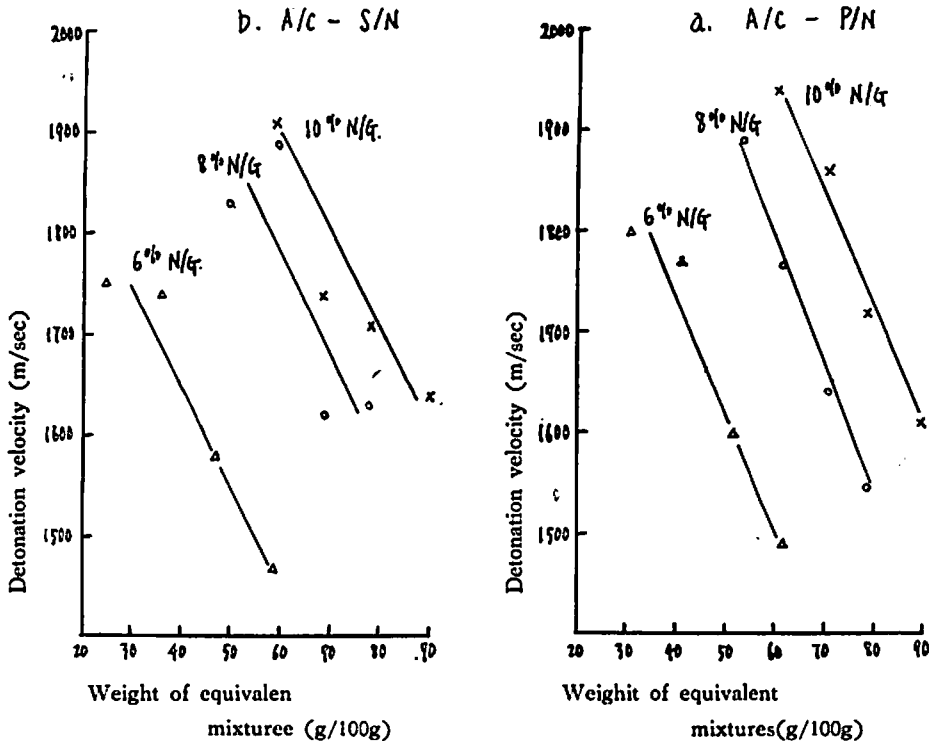


Fig. 1 Relationship between weight of equivalent mixture in 100g explosive and detonation velocity in paper cartridge.

にあることが判る。硝石と硝安との間には、当量混合物の量が等しければ、得られる弾板値に大差がない。

3.4) 殉 爆

Fig. 3 に示す様に殉爆性は当量混合物の量と無関係であつて、唯NGゲルの量によつてのみ左右される。本実験に於ける配合組成の限りに於て、NGゲルの量

が 6% (即ち硝爆級) のものは、炭酸爆薬の検定基準である殉爆度 2 倍の線をわるおそれがある。イオン交換型爆薬に於ても、現行の通常の硝安爆薬と同様、NGゲルの量が 6% 以下になると、爆性及び安全度のか合いが離しくなる事をまぬがれない。硝石と硝安とを比較すると、硝石の方が殉爆の点でやや良好である。

3.5) 安全度

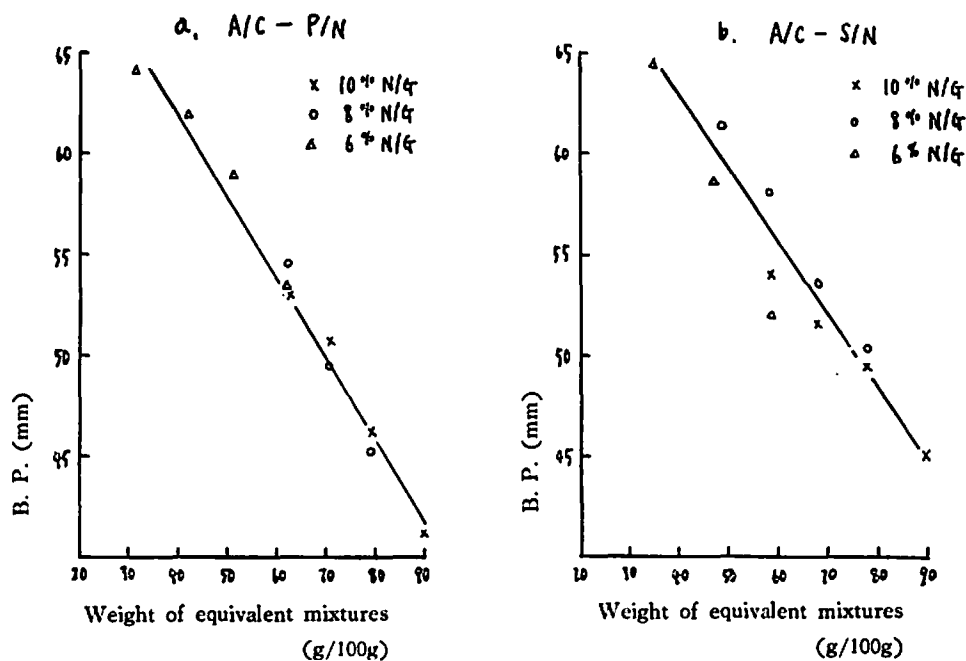


Fig. 2 Relationship between weight of equivalent mixture in 100g explosive and value of ballistic pendulum test.

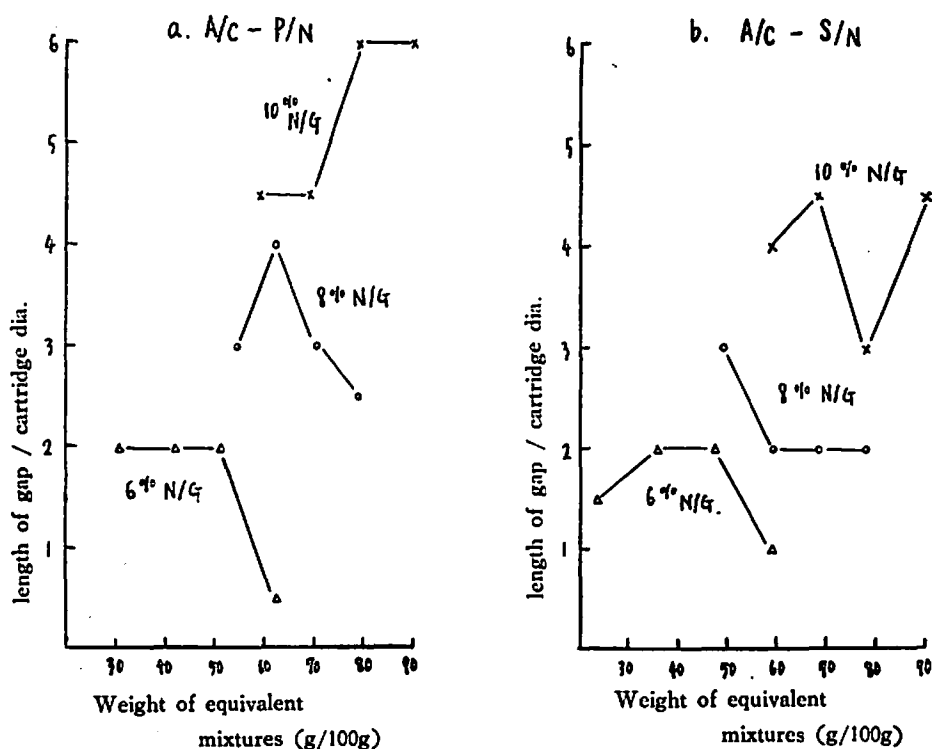


Fig. 3 Relationship between weight of equivalent mixtures and value of gap test.

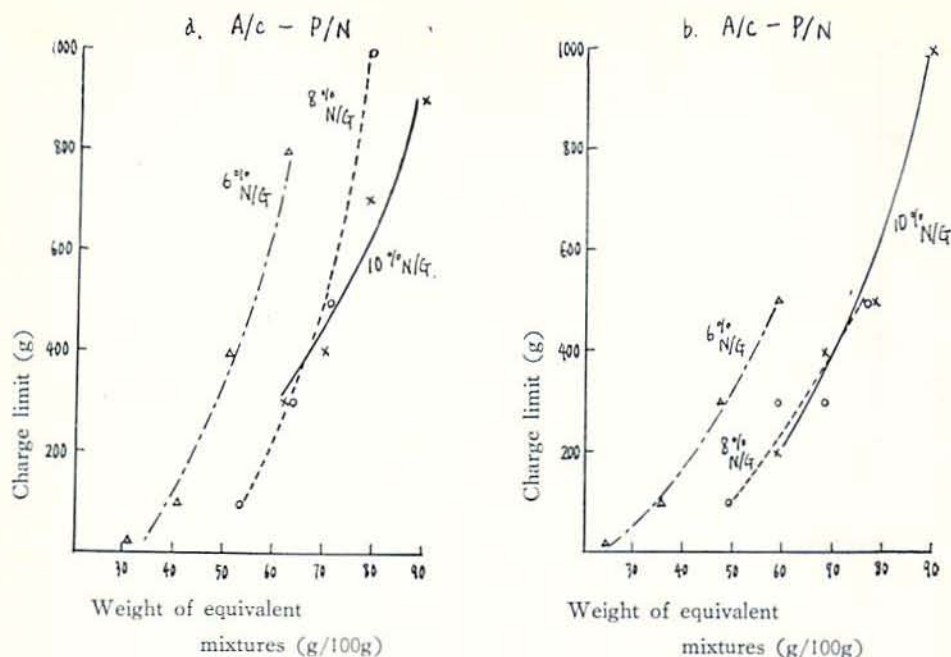


Fig. 4 Relationship between weight of equivalent mixtures and charge limit in angle shot mortar test

反射板なしで行なつた溝切臼砲試験による安全度は当量混合物の量の最大と共に飛躍的に上昇することが Fig. 4 によつて判る。但し本実験に於ける配合組成に於て NG ゲルの量が 6% の場合は、安全度が 200g 以上になると爆性が劣悪となり、実用には向かないものである。硝石と硝安の間には、当量混合物の量が等しければ、得られる安全度に大差がない様である。

3.6) 爆速と安全度との関係

イオン交換型爆薬の爆轟性の一つの尺度として爆速をとり、爆速と安全度との関係を Fig. 5 に示した。但し NG ゲル 8% のものについては省略してある。溝切臼砲による安全度が 1,000g 以上であるためには、NG ゲル 10% の場合、爆速は 1,650m/sec 以下でなければならないと云えよう。

爆速と安全度との関係は NG ゲルの量によつて著しく異なり、同一爆速を示すものでも NG ゲルを 10% 含むものの方が 6% のものよりも高い安全度を示す。これは NG ゲルの量が 10% の場合と 6% の場合とでは爆轟の機構がかなり異つてゐるからであらう。爆轟機構の違いが生ずる最も大きな原因は、添加された硝安の量によると思われる。例えば Table 2 に於て、AC-PN 系で NG ゲル 10% のもの (P-1 乃至 P-4) に含まれる硝安の量は 0~20.8% であるのに対し、NG ゲル 6% のもの (P-9 乃至 P-12)

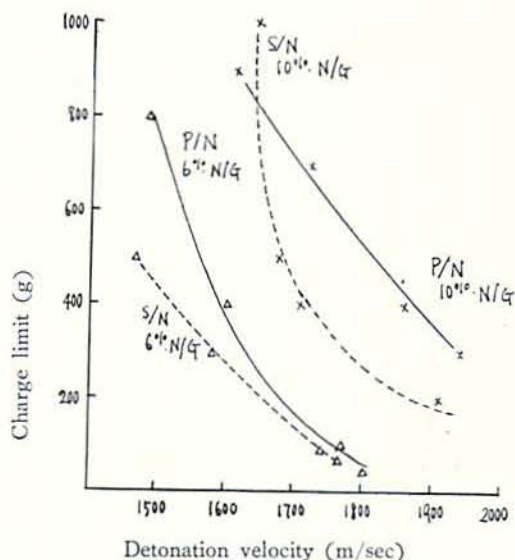


Fig. 5 Relationship between detonation velocity and charge limit in angle shot mortar test.

は 24.6~55.9% である。硝安の量が少い P-1 乃至 P-4 その爆轟が殆ど NG ゲルによつて維持されるのに対し、P-9 乃至 P-12 は、その爆轟に硝安が大いに関与することになり、安全度に対するイオ

Table 3 Compositions of explosives used for taking photographs of explosion

Samples	NG gel	eq. mixts of AC-PN	eq. mixts of AC-SN	AN	KCl	NaCl	TNT	combustibles	O ₂ B
P ₁	10	83.0	—	—	—	—	—	7.0	1.4
P ₂	10	—	—	44.4	38.6	—	—	7.0	1.0
S ₁	8.25	—	63.9	20.85	—	—	—	7.0	2.5
S ₂	8.25	—	—	57.75	—	27.0	—	7.0	2.3
SS A. E.	6.0	—	—	64.5	—	20.0	4.0	5.5	1.6
Shiraume III	27.2	—	—	41.3	—	26.0	—	5.5	2.7

Table 4 Properties of explosives used for taking photographs of explosion.

Samples	Charge lim. in angle shot mortar (g)	Gap test (length of gap/dia)	Ballistic pendurhm (mm)	Deto. Velocity (m/sec)	
				in paper cartridge	in steel pipe
P ₁	1,000	6	46.0	1,580	1,840
P ₂	50	6	49.0	2,300	2,600
S ₁	400	2.5	53.5	1,590	2,160
S ₂	50	4	54.5	2,250	2,800
SS A. E.	100	2	61.0	2,230	3,170
Shiraume III	25>	4	69.0	4,430	5,870

ン交換型の部分の寄与が小さくなるのであろう。

4. 爆発性の観測

メタン着火の要因として、爆炎、飛散熱粒子及び爆轟波等が挙げられるが、我々は爆轟機構の違いが安全度に影響を及ぼすという先述の推定を裏付けるために爆炎写真を撮影して爆炎の大きさ、飛散熱粒子及び爆轟波の反射発光等を調べ、併せて現行の炭鉱用爆薬と比較した。

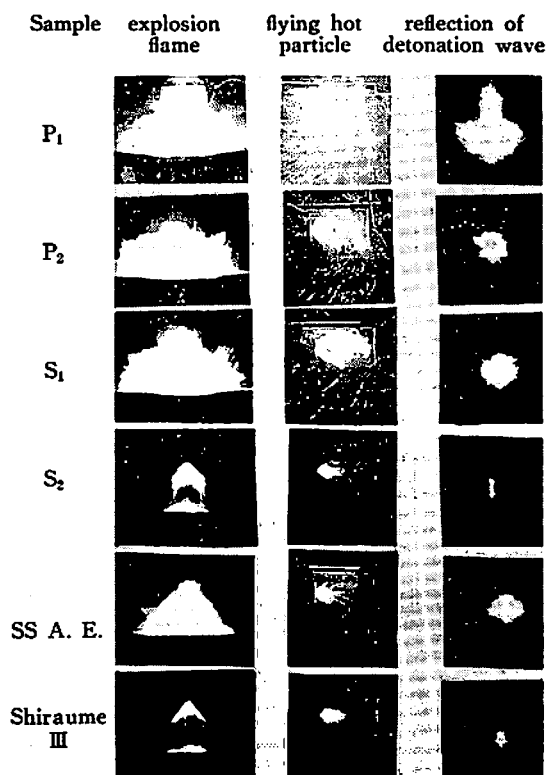
4.1) 試料

爆炎を撮影する為に用いた試料爆薬の配合組成とそれ等の爆性並びに安全度を夫々 Table 3 及び Table 4 に示す。このうち試料 P₁ は AC-PN 系の超高安全度爆薬の一つで、その理論上生成される KCl の量は 38.6g/100g であり、試料 P₂ は試料 P₁ から理論上生成される KCl と同量の KCl を NG ゲルと硝安とに加えて試製した硝安ダイナマイトである。試料 S₁ と S₂ との関係も同様に共軛料な関係にある。試料 P₁ と S₁ とは殆ど同一の紙筒爆速を示すにも拘らず、溝切白砲試験による安全度に大きな差がある。

4.2) 爆炎写真

爆炎の大きさ、飛散熱粒子及び爆轟波の反射発光を撮影した結果を Fig. 6 に示す。爆炎の大きさは、試料 100g (径 32mm) を鉛直に吊し、上方から地上へ向けて起爆して撮影した。飛散熱粒子を観測するため

Fig. 6 Pictures of detonation



に、メタン坑道試験用の白砲孔口から 1.5m 前方に録板を立て、爆薬 400g を白砲中から逆起爆で発射した。爆轟波の反射発光は、溝切白砲に爆薬 100g を置き、爆薬の上方 30cm の個所に録板を水平において観測したものである。

イオン交換型爆薬は通常の炭鉱用爆薬に較べて爆炎の大きさ、飛散熱粒子及び爆轟波の強さ等、メタン着火の要因が著しく小さい。

イオン交換型爆薬 P_1 及び S_1 を、それと共通な硝安ダイナマイト P_2 及び S_2 と比較すると、メタン着火の要因はいずれもイオン交換型爆薬の方が小さい。これは試料 P_1 及び S_1 の紙筒爆速が試料 P_2 及び S_2 に較べてはるかに低いことと相関がある。即ちイオン交換型爆薬は開放状態に於ける爆轟反応が、完全には反応式 (1), (2) に従って、進行しないことが推定されるのである。

ところでイオン交換型爆薬の P_1 と S_1 とは、紙筒爆速が殆ど同一であるが、溝切白砲による安全度に大きな差がある。この両者を爆炎写真で比較してみると、爆炎の大きさ及び飛散熱粒子の量が殆ど等しく、違いがみられるのは、爆轟波の反射発光の大きさだけである。爆速が殆ど同一であるにも拘らず爆轟波の強さに差があるのはその生成ガス量の差によるものであろう。試料 P_1 と S_1 の比容を試算してみると、 P_1 が 550l/kg、 S_1 が 670l/kg で、両者間にかなりの差があるが、これは Table 4 に示した弾動振子値の差によっても裏付けられる。試料 P_1 と S_1 との間の安全度の差は、しかし乍ら、同一爆速で爆轟が進行しても、それらが生成する塩の量の差によってメタン着火に対する効果に差が生じるためであろう。生成される塩の種類にはよらないであろうことは、先に示した。(3.5 参照)

5. 考 察

イオン交換型爆薬の溝切白砲試験を行なった際、注目すべきことは、爆発後、坑道内にアンモニア臭とおびただしい量の白色の固体残渣が残った事である。このため我々は、試験を一回行なう度に、坑外用爆薬によってこれ等残渣を吹き飛ばしてやる必要があつた。この固体残渣の水溶液はアルカリ性を示し、相当なアンモニア分を検出することが出来た。これらの事実は爆薬中の塩安の不完全分解を物語るものである。つまりイオン交換型爆薬は、開放状態では、それと共価な硝安ダイナマイトの様な完全爆轟を起さないことが知られるのである。従つてこの爆轟は主に NG ゲルによって支持されることになり、ゲル NG の量が少くなると、硝安等の爆発性物質の添加なしには、爆轟が起されなくなる。この事は NG ゲル 6% のイオン交

換型爆薬を検討した際に実際に経験した事であつた。NG ゲルが 6% 以下のイオン交換型爆薬は硝安等の爆発性物質の添加によつて爆轟が維持され、従つてその爆轟は通常の硝安爆薬に近いものとなる。つまりイオン交換型爆薬の特徴が失われてくるのである。

前節に示した試料 P_1 及び S_1 の如きイオン交換型爆薬は、白砲によるメタン坑道試験に於ても高い安全度を示すことを、我々は別の実験で知つた。得られた安全度は、逆起爆法で 1,000g 以上である。イオン交換型爆薬は白砲内部の如き密閉状態では、式 (1), (2) の如き反応を伴つて、塩安及び硝石 (又は硝安) の完全な分解が行なわれるのかも知れないが、たとえ完全な爆轟反応が行なわれるとしても生成するハロゲン化アルカリが通常の爆薬中に配合されたハロゲン化アルカリに較べてはるかに微細な状態で存在するために、メタン着火に対する抑制作用がより有効に発揮されるであらう。しかし乍ら Table 4 によつて判る如く、イオン交換型爆薬 P_1 及び S_1 の密閉状態に於ける爆速、即ち鋼管爆速はかなり低く、それらと共価な硝安ダイナマイト P_2 及び S_2 の紙筒爆速にさえもなおよばないのである。このことはイオン交換型爆薬が密閉状態に於ても共価な硝安ダイナマイトと同じ爆轟をするに至らないことを示すものであろう。要するにイオン交換型爆薬の爆轟は単純でなく、より詳細な爆轟機構の解明が必要とされ、これ無くしてはイオン交換型爆薬の諸特徴の計算を行なつても全く意味がない。

いずれにせよイオン交換型爆薬は従来の炭鉱爆薬に比較してはるかに高い安全度を達成することが出来るのであるが、前述の議論にも拘らず、なお、果してハロゲン化アルカリを配合した通常の炭鉱用爆薬はイオン交換型爆薬の有する安全度に迄到着することが出来ないかという疑問が残る。そこで筆者等はハロゲン化アルカリの粒度を変える方法で先述の試料 P_2 の爆性と安全度の変化を調べ爆イオン交換型爆薬との比較を行つて Table 5 の結果を得た。ここに示した試料中 P_2-1 から P_2-3 迄は、Table 3 及び 4 に掲げたイオン交換型爆薬と共通な硝安ダイナマイトで、配合組成は試料 P_2 に同一である。表によつて判る様に、KCl の粒度を細かくする程安全度は上昇するが、それでもその安全度はイオン交換型爆薬 P_1 には及ばない。一方、爆性は KCl の微粒化と共に低下してしまう。表に示したもののよりも更に KCl の粒度を微細にすれば、イオン交換型爆薬と同等の安全度を達成出来るが、その場合は爆性が著しく劣下して爆轟は極めて弱いか或いは不完爆となり、結局はイオン交換型爆薬に及ばないのである。

本実験に於ては、TNT 等の鋭感剤を全く使用して

Table 5 Comparison between ion-exchange-type explosive and corresponding ammon dynamite

Sample	NG gel (%)	KCl (%)		D. V. (m/sec)		Gap test (length of gap per cart, dia.)	Charge limit in angle shot mortar test (g)
		rough particle*	fine particle**	in paper cartridge	in steel cartridge		
P ₂ —1	10	38.6	0	2,300	2,600	6	50
P ₂ —2	10	13.6	25.0	1,920	2,440	6	200~300
P ₂ —3	10	0	38.6	1,670	2,240	3	400~500
P ₁	10	ion-exchange-type		1,580	1,840	6	1,000 <

*; 150 μ stop **; 150 μ pass

いない。TNT等の配合があれば又、得られる結果も少し異ってくるであろうが、本質的な点は大差ないものと考えてよいだろう。

最後に、イオン交換型爆薬に硝石を使用した方が有利か、或いは硝安を利用した方が有利かは、重要な問題の一つであるが、殉爆性に於て硝石がやや硝安よりも有利である以外は、その他の爆性並びに安全度の点では両者に差がない。一方吸湿性の点も硝石の方が優れている。しかし最も大きな差はその価格であつて、硝石は硝安の2倍近い値段である。従つて吸湿性を考慮してもなお、硝安を使用する方が、はるかに有利であろう。

6. 結 論

イオン交換型爆薬は、通常の炭鉱用爆薬によつては

達成することの出来ない極めて高い安全度を有し、しかも充分な爆性を保持することが出来る。

イオン交換型爆薬の爆轟は、開放状態では不完全に進行し、密閉状態に於ても、ややその、発速度は上昇するとは云え、通常云われている様なハロゲン化アルカリの生成を伴う完全な爆轟が起るには至らないことが推定される。いずれにせよイオン交換型爆薬の爆轟機構の解明は、今後に残された重要な問題である。

使用される硝石と硝安とでは、得られる爆性並びに安全度に大差がなく、吸湿性を考慮しても硝安の方が価格の点で有利である。

本報告を終るに当り、実験に協力された江口謙作、前原洋紀、渡部勝利の諸氏に厚く感謝する。

Ion-exchange-type Coal Mine Explosives

by Ikuno Fukuyama and Tsunetoshi Kai

1. This report relates to experimental studies of ion-exchange type explosives for coal mines.

There are two formulas for this type of explosives, that is, $\text{NH}_4\text{Cl-KNO}_3$ (P series) in accordance with their respective compositions, viz., nitroglycerin gel (NG gel) and ammonium chloride (NH_4Cl) in addition either to potash nitrate (KNO_3) or to sodium nitrate (NaNO_3). (These compositions are shown in Table 2 attached hereto.)

2. Testing the safety efficiency against methane-air mixture, we found that ion-exchange-type explosives are much safer than the usual type of coal mine explosives.

Between the above-mentioned two formulas of ion-exchange-type, however, no difference has been found as far as safety efficiency is concerned.

3. In the open situation, ion-exchange-type explosives detonate incompletely leaving solid residue with ammoniac odor, and even in the closed situation, it seems that they do not detonate so completely as their corresponding ammon-dynamites do.
4. $\text{NH}_4\text{Cl-NaNO}_3$ gives hygroscopic property to the explosives and is slightly inferior to $\text{NH}_4\text{Cl-KNO}_3$ in the gap test. And yet, we prefer the former because of its lower cost.