塩散布による堆積炭じんの処理に関する研究^{*1}

正 会 員 松 隈 喜 総^{**}
 正 会 員 田 尻 昭 英^{**}
 正 会 員 田 代 鉄 人^{**}

Study on the Treatment of Deposited Coal Dust by Salts Spraying Methods

Kiso MATSUGUMA, Teruhide TAJIRI, and Tetsundo TASHIRO

The aim of this study is to prevent the risk of coal dust explosion and to reduce the health hazard of miners by consolidating coal dust deposited on floor, ribs and roof-skim.

Deposition of coal rich dust on a mine roadway might increase the risk of coal dust explosion, if a substantial amount of coal dust remains loosely on the surface of the road.

This paper describes the effect of the consolidation of deposited coal dust by spraying deliquescent salts, such as CaCl_2 , NaCl , MgCl_2 and antirust agents or surface-active agents.

Experimental results obtained are as follows;

- 1) Increase of moisture or suppression of its vaporization in deposited coal layers is due to hygroscopic phenomenon of salts.
- 2) Suppressions of coal dust are gained excellently by consolidating action of salts.
- 3) Inflammability of coal dusts is lowered by addition of salts.

1. ま え が き

炭鉱・鉱山坑内における堆積じんの再飛散防止のため、散水や清掃などの作業が行なわれるが、その処理区域の拵がりによつて経済的な負担は増大する。このため、潮解性を持つてゐる塩を坑内堆積じん上に散布して、堆積じんの湿潤をうながし、あるいは塩の固結現象を利用する試みが Stokes (1879)¹⁾, Abel (1886)²⁾ らによつて示唆され、その後 Galloway ら (1880)³⁾ によつて実験的使用が行なわれた North Staffordshire での経験よりある程度の効果が報告されており、多くの研究が行なわれた。たとえば Hall (1909)⁴⁾, Forstman (1910)⁵⁾, Rice (1911)⁶⁾ らの散塩効果、Wheeler (1934)⁷⁾, Price (1936)⁸⁾, Schultze-Rhonhof (1938)^{9,7,8)} らの界面活性剤の添加による湿潤促進などの研究で、現場適用が奨励されるようになり、Bradshaw, Godbert, Tideswell ら (1947~1948)^{9,10,11,12)} の、あるいは Schlochow, Godbert (1951~1952), Nussey, Woodhead^{13,14,15)},あるいは Linacare (1954)¹⁶⁾ らの実験結果による法的な規制にまで達している。一方このような散塩法の欠点についても種々討論され、とくに坑道の天盤または側壁面に堆積した炭じんに対する効果について検討した結果、Schultze-Rhonhof^{17,18)}, Striebeck¹⁹⁾, Meerbach, Be-

rnner^{20,21,22)} らによる塩ペースト法が開発され、最近では英国を中心とした散塩法と西独を中心とした塩ペースト法がみられる^{23,24,25)}。この使用塩の種類については、 CaCl_2 や NaCl が主として用いられ、一部に MgCl_2 が用いられている。

このような塩による坑内じんの処理対策について、わが国においても、一部識者の間で過去に検討されたこともあったが、国内炭に対する効果の程度やその経済性などについて不明のまま実用化まで達していない。しかし最近になって坑内堆積炭じんの処理対策の検討が行なわれ、塩の使用についても考えなおされるようになった。

このため、数種の塩を使用した場合の堆積炭じんにおよぼす影響について研究を行なつたが、散塩法が鉱山保安にとつて相当効果があると思われた。本報においては、水分吸湿、蒸発、固結、飛散性および着火性などの実験室的な研究結果について報告する。

2. 供試塩と粉じん

試験に用いた塩は、塩化カルシウム (CaCl_2 ・粉状)、塩化ナトリウム (NaCl ・粉状)、塩化マグネシウム ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 粉状) および塩化マグネシウムに防錆剤 (クローム酸塩80%, リン酸塩・ケイ酸塩20%) を約0.5%重量比程度を添加したもの (粉またはフレーク状)、これに非イオン界面活性剤 (Polyoxyethlen-Octyl-Phenolether, ただしこのときの塩化マグネシウムは $\text{MgCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ で粉状) を約1.5%重量比程度添加した

*1 昭和41年8月19日受理

昭和41年4月日本鉱業会春季大会発表

*2 工業技術院資源技術試験所採鉱保安部第2課長

*3 工業技術院資源技術試験所採鉱保安部第2課研究員

もの、さらにこれに水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) を約 30% 重量比加えたものの 5 種類 (以下各塩を CaCl_2 , NaCl , MgCl_2 , $\text{MgCl}_2 \cdot \text{S}$, $\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ および $\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa} \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ の符号で表わす) であり、前 5 種の塩類はいわゆる塩散布法として直接使用するもので後述の 1 種は塩ペースト法として使用されているようなものである。

供試粉じんは九州、北海道、常磐、宇部地区の各石炭より 7 種を任意選出し、打撃粉碎により粉碎し、これらの炭じんは、ふるい振とう機にかけ、さらに水中選別を行ない、恒温槽内で含有付着水分を 1% 以下に保つように乾燥している。このほか、石灰石岩粉およびフライアッシュを用いた。

3. 炭じんの吸湿と塩の効果

3.1 塩散布による堆積炭じんの吸湿水分

堆積炭じんに塩を散布すれば、環境湿度によつて塩の潮解現象を生じ、このときの塩溶液は炭じん粒子表面を濡らし、粒子層の空隙を充填する。この潮解現象は、その結晶塩のもっている水蒸気分圧に関係のあることが知られている。この分圧以上の空気中では、結晶水がその周辺に存在する水分をとつて潮解をおこす現象である。

実験は、各種散布塩が堆積炭じん層上に種々の重量比

で散布したときの環境湿度変化で、潮解吸湿を生じ試料の重量を増加する状態を調べてみた。すなわち、直径 80mm、深さ 50mm の秤量ビン内に、調整した炭じんを約 20mm の厚さに軽く堆積させ、さらに炭じん量に比例して各散布塩をおき、調湿デシケータ内に挿入し、時間経過によつて吸湿水分の増加する割合を求めた。この結果を第 1 表に示す。また塩の配合比による吸湿例を第 1 図に、環境湿度と吸湿能の一例を第 2 図に示した。これから明らかなように、塩の種類によつて吸湿効果に差があり、一般に CaCl_2 , $\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$, $\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa} \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$, NaCl の順に効果があり、その散布量を増すことによつて吸湿度は増大するが、散布量によつて飽和する吸湿の限界のあることがわかる。低湿、低散布塩量の場合ほど吸湿効果は小さく、使用する坑内の条件によつて経済的な散布塩量があると考えられる。

NaCl では環境湿度が 80% の相対湿度以下の場合、吸湿効果は非常に少なく、過去に述べられている使用適当条件としての相対湿度 75% 以上という考えは 80% 以上と考えるほうがより安全と思われる。しかし相対湿度が 95% を超えるようになると、 CaCl_2 , MgCl_2 およびその一群の配合塩と同じ程度の吸湿効果がある。一方、 CaCl_2 の散布では、堆積炭じん層上で潮解溶液のペレット状態が吸湿の初期にみられ、このときペレットと乾

第 1.1 表 塩散布による堆積炭じんの環境湿度効果 (吸湿性) $\text{M炭}-100\text{mesh}$
湿度 95.9%

配 合		堆 積 炭 じ ん 吸 湿 量 (%)													
塩 の 種 類	重量比	1 日	2 日	4 日	6 日	8 日	11 日	13 日	15 日	18 日	20 日	22 日	27 日	30 日	
—	0	0.52	0.67	0.80	0.83	0.87	1.05	1.07	1.19	1.15	1.15	1.15	1.13	1.47	
MgCl ₂ ・Sa	10	1.72	3.05	5.93	7.61	9.29	12.21	14.04	15.40	17.81	18.54	19.34	20.69	21.86	
MgCl ₂ ・Sa・Ca(OH) ₂	10	1.94	3.64	5.99	8.25	9.40	11.48	13.24	14.41	15.66	16.62	17.20	18.73	20.34	
NaCl	10	0.51	0.74	1.14	1.77	2.42	7.95	4.79	5.63	6.97	7.79	8.80	12.10	13.82	
CaCl ₂	2	1.06	2.35	3.98	4.90	5.76	7.03	7.67	8.13	8.77	9.30	9.38	9.93	10.64	
CaCl ₂	5	1.18	3.13	5.73	8.77	11.31	13.75	14.95	16.29	17.70	18.57	19.19	21.12	23.96	
CaCl ₂	10	1.31	3.21	10.16	12.55	16.87	19.02	21.08	23.43	25.08	26.34	29.89	31.53	32.67	

第 1.2 表 塩散布による堆積炭じんの環境湿度効果 (吸湿性) $\text{M炭}-100\text{mesh}$
湿度 81.7%

配 合		堆 積 炭 じ ん 吸 湿 量 (％)													
塩 の 種 類	重量比	1 日	2 日	4 日	6 日	8 日	11 日	13 日	15 日	18 日	20 日	22 日	27 日	30 日	
—	0	0.35	0.39	0.47	0.55	0.52	0.70	0.66	0.63	0.65	0.64	0.65	0.65	0.73	
MgCl ₂ ・Sa	10	1.39	2.36	4.18	6.23	7.68	9.18	10.25	11.09	12.09	12.84	13.32	14.77	15.72	
MgCl ₂ ・Sa・Ca(OH) ₂	10	1.94	3.45	5.09	6.25	7.45	8.27	9.74	10.39	11.24	11.90	12.31	13.62	14.26	
NaCl	10	0.36	0.39	0.47	0.53	0.46	0.70	0.79	0.72	0.82	0.88	0.85	0.15	0.26	
CaCl ₂	2	0.83	1.69	3.12	3.95	4.44	5.51	5.68	5.69	5.79	5.98	5.96	6.21	6.55	
CaCl ₂	5	0.96	2.23	4.67	6.54	9.53	10.33	11.34	13.28	13.83	14.21	15.45	15.91	16.18	
CaCl ₂	10	1.30	2.51	5.46	7.88	10.08	13.65	14.72	16.47	19.01	20.69	21.63	23.64	25.97	

第 1.3 表 塩散布による堆積炭じんの環境湿度効果 (吸湿性) $\text{M炭}-100\text{mesh}$
湿度 54.2%

配 合		堆 積 炭 じ ん 吸 湿 量 (%)													
塩 の 種 類	重量比	1 日	2 日	4 日	6 日	8 日	11 日	13 日	15 日	18 日	20 日	22 日	27 日	30 日	
—	0 %	0.15	0.19	0.19	0.20	0.18	0.22	0.20	0.19	0.20	0.26	0.21	0.20	0.24	
MgCl ₂ ・Sa	10	0.72	1.52	2.70	3.75	4.44	6.83	7.41	7.69	8.26	8.52	8.67	8.82	9.09	
MgCl ₂ ・Sa・Ca(OH) ₂	10	0.77	1.71	3.02	4.40	5.15	6.33	6.56	6.68	6.86	7.01	7.09	7.31	7.62	
NaCl	10	0.19	0.21	0.19	0.21	0.23	0.26	0.23	0.23	0.28	0.24	0.26	0.23	0.29	
CaCl ₂	2	1.08	1.73	2.24	2.95	3.38	3.67	3.74	3.74	3.83	3.87	3.91	3.86	4.07	
CaCl ₂	5	0.54	1.69	3.36	4.66	5.55	6.81	7.41	7.87	8.90	9.46	9.69	10.10	10.64	
CaCl ₂	10	0.83	1.88	3.94	5.89	7.69	9.56	10.38	11.17	12.48	13.53	14.47	16.94	17.81

第1図 塩 ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$) 添加による堆積炭じんの吸湿

第3図 上昇浸透試験装置

乾燥炭じんの混存があり、このペレットがさらに十分な空気中の水分を奪って、堆積炭じん層上で自由流動する程度まで吸湿して初めて炭じんの濡れまたは湿り現象がみられる。この結果から CaCl_2 の散布には、炭じんをあらかじめ十分に湿らすか、 CaCl_2 の水溶液を散布することが好ましく、相対湿度が80%程度以下の場所では直接散布による吸湿効果を期待することには無理がある。

一方乾燥炭じんを90%以上95%程度の環境湿度条件下に放置しても約30日間に僅かに1%程度の吸湿がみられ、この程度以下の相対湿度条件下で、自然付着水分の増加による、保安上の効果を期待することはできない。

3.2 堆積粉体層における水分の上昇浸透性

堆積粉体層における、水分の上昇浸透効果は、粉じんの連続堆積が行なわれる現場を想定したとき重要な問題である。実験は第3図に示すような内径 15mm のガラス管内に各供試試料を挿入し、約 20min 間軽く上下振動を与え、試料層の空隙率を均一化した堆積層を作り、底部にガーゼおよび脱脂綿をおいた水の容器内に挿入した。このときの、水面上からの堆積層に対する上昇浸透速度を求めた結果を第4図に示す。これからわかるように水溶液の上昇浸透性は、炭じんや岩粉の種類によって異なり、塩が混っているときの特別の効果期待するこ

第4図 粉体層における上昇浸透効果

とはできなかった。すなわち、実際の堆積炭じん層が 5 cm を越えるような場合については炭じんの爆発伝ばにとつてあまり関係はないといわれており (ただし床上堆積の場合)、その範囲内において、下盤側に十分な含水堆積炭じん層があれば、その上に堆積する炭じんは塩がなくても僅かな時間で濡れる。

3.3 堆積炭じんの飛散特性

3.3.1 フワフワ性^{a)}

堆積炭じんの飛散特性を付着水分の変化から求めるため、特定条件下における炭じんのフワフワ性を調べた。

実験は第5図に示すような管内に供試炭じんを同様な値の空隙率を示すように充填し、一定荷重の貫入棒の堆積層内への単位荷重あたりの貫入深さ f を測定したものである。いま粉体の貫入抵抗 f (dyne)、貫入棒の質

a) フワフワ性: 粉体特有な性質として用いられており、測定法は一般に行なわれている可塑性物質の粘性率を測定するのと同様な針入度試験である。

第5図

粉体への貫入深度
測定装置

第6図 堆積層の安息角

第7図 堆積炭じんの飛散特性

ただし炭じん (Ta 炭) 100~200mesh
ガラス球 200~320mesh による

量 mg , 粉体の表面から棒の重心までの距離 h' (cm), 棒の貫入深さ h cm とすれば

$$mg h' = h \cdot f$$

したがって

$$f = \frac{mgh'}{h}$$

として一般に粉体の貫入抵抗が求められるが^{26,27)} 簡便な方法として貫入棒の上に錘を乗せて、一定荷重における貫入棒の粉体中への貫入深度 h を測定して表わす。このときの h は貫入に要する荷重と粉体の抵抗が平衡状態になったときの値である。これより一定条件下において単位荷重あたり貫入深さ f' はフワフワ度を示し、この f' が上記 f 値を代表し得るものとすれば、近似的に粉体のフワフワ性は、この貫入深度が大きい場合ほどフワフワ度が高く、飛散性のよい、すなわち粒子が小さく、空隙率が高いほどフワフワ度が高くなることが明らかである。

実験は、各炭種別、粒径および供試粉体の付着水分の変化した場合について、各10回の測定を行なったものを平均しこの値で f' 度を表わした。この結果を第2表に示す。これから粒径分布近似の場合、炭種別 f' 値の変

化はみられないが、粒径分布が異なることによつて f' の変化は大きく、粒径が小さくなるにしたがつて f' すなわち飛散性は著るしく増大することが認められる。一方付着水分の増加により f' の値は著しく減じ、付着水分5%で乾燥炭じんの1.6倍、7%で2.8倍、9%で9倍の飛散抵抗の増大が認められる。また、このことは粒子形状のそろったガラス球においても同様の結果が得られ、付着水分の増加割合に対して粒子の形状は無視して差支えなく、塩の散布によつて塩の潮解がおこり、堆積じんの付着水分の増加があれば、その堆積じんの飛散性を著しく低下させることを f' の大小によつて示すことができる。

3.3.2 安息角

堆積炭じんの飛散特性を表わすものとして、その摩擦特性が重要な因子となる。摩擦特性を求める方法には各種の方法が考案されているが、もつとも簡単な方法として、安息角を箱傾斜法によつて求め、内部摩擦角を流出法で求めたものと比較した。しかし、この2つの測定法では、乾燥炭じんについて調べた結果近似値で示されることがわかつたので、前者の方法によりこの関係を求めてみた。すなわち、底面 100cm^2 の板上にもつとも粗い状態の充填堆積層(層厚約5cm)を作り、静かに4面の側壁を同時に取り払つたときの残留粉体の形成する安息角 θ を求めた(第6図)。このときの安息角 θ の平均値は Coulomb の摩擦法則より近似的に

$$\tan \theta = \frac{\tau - c}{\sigma}$$

で表わすことができる。ここで τ : せん断応力, σ : 粉体の受ける応力, c : 付着力

炭じんに塩を散布した直後(混合)および炭じんが付着水分を保有した場合について、上述の関係を求めた結果を第7図に示したが、これから明かなように単に塩を加えただけではその効果は僅少であつた。しかし、散

第2表 堆積炭じんの飛散特性(フワフワ度)

炭 じ ん	粒 径 (mesh)	水分添加量(%)	フワフワ度
Ta	炭 100~200	0	431
M	炭 100~200	0	360
SM	炭 100~200	0	415
F	炭 100~200	0	450
〃	炭 20~50	0	166
〃	炭 50~100	0	217
〃	炭 200~300	0	685
〃	炭 -300	0	1,250
Ta	炭 100~200	1.0	400
〃	炭 100~200	3.0	354
〃	炭 100~200	5.0	264
〃	炭 100~200	7.0	154
〃	炭 100~200	9.0	48
ガラス球	200~325	0	222
〃	200~325	1.0	122
〃	200~325	2.0	95

第8図 塩添加による堆積炭じんの保有水分の蒸発

布塩が吸湿し、付着水分を増すにしたがつて、その安息角は増加し、前述のフワフワ性を求めた結果と同様な傾向を示し、堆積じんの付着水分の増加が、その飛散性を与える影響は著しいものといえる。

4. 炭じん層の水分蒸発とその効果

4.1 塩散布堆積炭じんの付着水分蒸発

塩を散布した堆積炭じん層内に過剰の水分が存在していれば、その水分が環境の蒸気圧に関係し、層の表面から蒸発現象の生ずることは当然であるが、普通の液面からの蒸発とは異なつた様相を示す。坑内での水分の蒸発は、環境温度が 10~30℃ 程度の場合、坑内自然発火をおこす直前の温度 60~90℃ 程度の場合および爆発現象に遭遇する 800~1,500℃ 程度の温度の3種について考えてみた。本項においては、前2条件について述べ、後者については、あとで述べる着火現象の検討においてふれることとする。

常温時の水分蒸発：直径 10cm、深さ 3 cm のシャーレ内に一定量の炭じんを取り、各種塩をその上に散布、その合計量に対して、水30%量を堆積層の上に静かに散布し、室温 5~10℃、相対湿度約75%程度 of 環境下で生ずる自然蒸発減量を求めてみた。この結果を第8図に示す。これから明らかなように、過剰の水分は、環境内の相対湿度に左右される蒸発特性曲線を示すが、時間の経過にしたがつて、散布塩のもつ飽和保水限界まで水分の蒸発がみられ、以後はそのときの飽和水蒸気圧に対する保水現象が維持されるようになる。このことは堆積炭じ

んの付着水分要求量が求まれば、散布塩およびその量と、環境条件より、十分に安全な付着水の保持を得るようにすることができることを示している。

保水効果を塩の種類別に検討してみると、CaCl₂、MgCl₂·Sa、NaCl、MgCl₂·Sa·Ca(OH)₂の順に効果が低下する。すなわち塩を水に溶解し、この液を散布する場合、散布場所の環境条件を考慮した溶解濃度として用いるとき最大の効果が期待され、濃度が高くても低くてもその経済的な効果は低下するものと思われる。この方法による場合、先に述べた CaCl₂ の堆積層上でのペレット化はみられなくなる。

加温時(約80℃)水分の蒸発：直径60mm、深さ20mmのシャーレ内に塩を添加攪拌した堆積炭じん層を作り、静かに一定量の散水を行ない、赤外線水分計を用いて散布水の蒸発特性を求めてみた。このときの照射赤外線層の表面における温度は 80℃±3℃ に保つた。このときの蒸発特性曲線は第9図に示すとおりである。この結果をみると、容器内に水のみを入れた場合に比べて、堆積炭じん層内に浸透付着している水分の蒸発速度は、堆積層のふく射熱によつて僅かに早くなり、また塩散布試料については加熱初期においてさらに早くなる。これは塩の存在によつて水の界面張力に変化をもたらし、蒸発速度が大きくなったものと思われるものである。しかしこの現象はある限界があり、ある程度以上(実験では約70%)の水分の蒸発後に堆積試料表層の固結が始まり、層内の付着水分は内部に保存され、層を形成する粒子間の空隙を散布塩の微粒子が充填し、あるいは塩粒子による架橋を生じ、空隙毛细管の縮小現象を生じるため、その結果層内保有水分の蒸発が阻止される現象がみられるものと考えられる。このとき、あわせて乾燥収縮の現象がおこり、表層と層内部に収縮差によるひずみが生じ、キ裂、わん曲を生ずることがある。このようなときは層内部の保有付着水分の蒸発傾向は急に変化する。これらの関係は塩の散布量の割合に対して著しい変化を示すものでなく、堆積炭じんの着火現象の発生時に対しては有

M炭—100mesh 温度 80℃±3℃

第9図 塩添加による水分の蒸発特性

利な作用をもたらす。すなわち炭じんの着火現象が

炭じんの予熱→水分の蒸発→炭じんの加熱→着火にいたるものと考えられ、水分が完全蒸発していない限り、堆積層の表面とその内部に温度差を生じ、後述の表層固結による粒子表面積の減少とあわせて、加熱→着火に達するまでに時間のおくれが生ずる。

4.2 堆積炭じんの固結能

普通の散水处理した堆積炭じんの付着水分が蒸発した場合には、またもとの状態に戻り飛散性はまたもとのようになる。このことは、普通散水の効果が失われたことを意味している。

ところが堆積炭じん中で塩が溶解または潮解をおこすと、堆積粒子を濡らしたあとに保有された水分の蒸発があつても、堆積層の表面は、前に述べた理由によつて固結現象を生ずるようになる。塩による固結機構は、水の吸湿→脱着による溶解再結晶がその原因で、圧縮（収縮）によつて圧力のかからない炭じんの粒子間隙に塩の再晶出がみられ、ミクロ的な架橋を生じた結果による、固化現象がみられる。この固結力を求めるため、塩試料 $\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ を炭じんとよく混合し、水分10%量を加え、径 16mm、高さ 20mm の円柱試験片を成型によつて作成した。この試験片を恒温槽内で乾燥(40°C12時間加熱、続く12時間 18~20°C の室温に放置する、繰り返し水分蒸発を行なつたもの)し、固結表層が破壊するときの硬度をJIS 硬度計(島津製)で求めてみた。この結果を第10図に示す。これをみると、塩添加量によつて、その破壊限界の硬度は変化するが、3%以上の塩の添加によつてほとんど硬さ指数 90(900g/cm²)程度の値を示し、僅かではあるが、塩の添加量に比例して硬度を増す。一般に塩の増量は、保有水分の蒸発を阻止するため、内部保有水分量に逆比例して硬度は低いが、強制した付着水分の蒸発によつて、その硬度は次第に大きくなり、最高95程度の硬度にまで達する^{*)}。このような塩の共存による固結能は、堆積炭じんの再飛散阻止効果をもたらす、もしその結合が破壊されても、粉状のもとの状態に戻ることはなく、粗大な塊状となつて飛散し難くなるほか、相対比表面積は著しく減少し、粒子の表面に塩の皮殻を形成

塩: $\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ 各配合試料に10%の水を加え成型し、恒温槽内12時間 40°C12時間 18~20°C の繰返し乾燥したもの

第10図 塩による炭じんの固結力の経時変化

しているため、着火時間を遅らせることができる。

塩の種類と炭種別固結能については第3表に示した。固結力のみについていえば、 $\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ は NaCl に比べて、30日経過後に約2倍の硬さを示し、 CaCl_2 は1.7倍程度であつた。またペースト用として作成した $\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa} \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ は $\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ の混入試料とほとんど同様の硬さを示し、塩の添加量を増加してもとくにその硬度を増すことが小さいのは前に述べたとおりである。一方炭種の変化による硬度の変化はほとんどみられず、固結は主として塩のもつ結晶能に左右されるものといえる。

塩による粒子の固結皮殻の状態を顕微鏡で観察した結果について第11図に示す。使用した粒子はガラス球径77~44 μ のものを用い、各種塩をそれぞれ10%、さらに10%量の水を加えたあと 50°C の恒温槽で12時間乾燥固結を行ない、これを破碎したものである。これをみると、水のみの場合には完全に各球粒子に分離している。 NaCl の場合には各粒子の表面に皮殻を作るが、各粒子間の結合は少なく、粒子間の空隙は完全には満されていない。 CaCl_2 の場合は、粒子の表面に完全な皮殻を作らず、厚薄の差があり、粒子間隙は充填されている。 MgCl_2 では、 CaCl_2 の場合に比べて皮殻の厚薄の差が少なくない。

$\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ の場合には、粒子の表面に塩の晶出粒子が

b) この値は市販練炭の示す値と近似している。

第3表 塩による炭じんの固結力とその着火性^{*1}

試料配合 炭じん	塩	固結力				固結比		着火性	
		3日後	10日後	20日後	30日後	20日後 NaCl	30日後 NaCl	時 間	遅延比 ^{*2}
F炭 20~100mesh	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ (10%)	80	80	85	90	4	2	—	—
〃 〃	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ (10%)	82	90	92	93	4.6	2	18	6
〃 〃	NaCl (10%)	20	20	20	45	1	1	15	5
〃 〃	CaCl_2 (10%)	—	16	30	77	1.5	1.7	10	3.3
〃 〃	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa} \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ (10%)	66	66	70	94	3.3	2.1	13	4.3
〃 〃	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ (20%)	88	92	92	93	4.6	2.0	—	—
M炭 〃	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ (20%)	88	93	92	94	4.6	2.1	7.3*	2.4*
S M炭 〃	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ (20%)	88	90	92	94	4.6	2.1	火炎生せず*	∞ *
A炭 〃	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ (20%)	88	91	92	93	4.6	2.0	6.2*	2.1*
S炭 〃	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{Sa}$ (20%)	88	92	92	94	4.6	2.1	6.5*	2.2*

*1. 各配合試料に10%の水を加え、径 16mm長さ20mmに加圧整形試料としたものを12時間40°C、12時間 20°C に繰返し恒温槽内に放置したものについて試験。固結力はJIS K 6351の試験による硬さ指数。着火性は同試料を炉温1050°Cに投入後発火までの時間。

*2. F炭-100meshの着火時間 3.0 secを1としたときの値。

* 60日間繰返し乾燥試料。

第11図
塩による粒子の
固着状態 (ガラ
ス球 77~44 μ)

微細に認められるほか充填間隙距離は割合に揃っている。MgCl₂・Sa・Ca(OH)₂においては粒子表面の皮殻は割に厚く、粒子間隙は不揃いである。またこのほかMgCl₂・Sでは、MgCl₂・SaとMgCl₂の中間状充填がみられる。この結果から、塩の再結晶による固結が、爆風などの衝撃によつて分離された場合、粒子の表面が火炎に直接ふれるのは、水およびNaClならびにCaCl₂の場合であつて、その機会が少ないのはMgCl₂とMgCl₂・SaあるいはMgCl₂・Sa・Ca(OH)₂と考えられる。

5. 塩散布における着火性

塩を堆積炭じん中に散布した場合、不燃物である塩の存在によつて、その着火性が低下することは容易に推定される。着火性の低下は直接炭じんの安全性を示すものである。実験は、固結試料および配合直後の付着水分の有無の各場合について、1,050°C $\pm$ 50°Cの炉内における火炎の発生に要する時間によつて塩の効果を比較し、また小型浮遊炭じん爆発試験装置によつて塩混合の堆積炭じんの浮遊時における爆発火炎長を求め塩の効果を比較した。

5.1 固結塩散布試料片の着火性

上述の成型乾燥した塩散布試料片を上記炉内に挿入し、試料片表面からの火炎の発生までに要する時間を計った結果を第3表に示す。これから散布塩の種類によつて、着火炎発生に要する時間が異なることが認められることがわかつた。すなわち、塩散布処理のない場合に比べて、供試塩の存在する場合には3.3倍から6倍の火炎発生遅れが認められ、明らかに爆発火炎による着火伝ば阻止効果のあることを示しており、また散布塩の種類によつて得られる効果は著しく異なる。

塩の種類別による効果の差はMgCl₂・Sa、NaCl、MgCl₂・Sa・Ca(OH)₂の順序で、CaCl₂の場合、最低

第12図 不燃物添加による炭じんの火炎発生に要する時間比較
(試料：M炭—100mesh)

値を示し、着火遅れは無散布の3.3倍、供試炭じんの保安規則に基く所要岩粉配合試料に対し約1.5倍以上の時間を要した。

炭種別による効果差は、実験数不足のため明確ではないが、供試炭じん中もつとも弱爆発性を示すSM炭では、塩散布固結の結果(60日間低温強制乾燥)火炎をぜんぜん生じなくなり、試料片は赤熱して灰化してゆく。また他の炭種についても上記条件下で、2.4~2.1倍の火炎発生遅れが認められる。また30日間の乾燥との比較では、60日間のものの約2倍の着火遅れ(このときの内部保有水分は、約7%(30日)から約5%(60日)に減少)がみられた。

5.2 塩散布試料の着火性

塩を堆積炭じん上に散布した直後、堆積炭じん爆発がおきたときを想定すると、普通に塩を散布する方法では、堆積炭じんの吸湿があまりないので、爆発防止の効果が少ない。わが国の石炭坑坑内の平均相対湿度は75~90%程度であることから散塩による塩量と同量程度の付着水分の捕捉効果は約1週間程度を要するものと思われる。

実験は、水だけを加えた場合と、塩および付着水分の添加によつて生じた、前項条件での火炎発生に要する時間を測定した。この結果を第12図に示したが、いずれも添加量に比例して、炭じんの着火遅れを示している。しかも、炭じんの付着水分の増加による効果は大きく、これらの関係が実規模の炭じん爆発防止試験によつて明らかになれば、必要塩量も明確に指摘することができよう。なお第12図中にみられる、水添加および塩と水の共存時における着火遅れの変位点においては、堆積炭じん層の表面および上層空隙を充填する水分が、高温環境で、爆発的に蒸発沸とうし、堆積炭じん層内に空洞裂コを生じ、その周辺にある炭じん粒子の表面加熱が促進され、また沸とう中水滴の飛散が生じ、一部炭じん粒子が炉内に飛び、火粉となる現象が観察される。

第4表 塩添加による炭じんの着火時間比較*1

配 合		試 験*2		着火時間 遅延比率
炭じん*3	塩	1	2	
M炭	炭	(%)	(%)	(倍)
100	塩	0	0	1
66.6	CaCl ₂	16.7	12.0	4.2
66.6	NaCl	16.7	14.5	4.6
66.6	MgCl ₂	16.7	20.7	6.9
66.6	MgCl ₂ ・Sa	16.7	30.2	9.9
66.6	MgCl ₂ ・Sa Ca・(OH) ₂	16.7	11.2	3.6
66.6	MgCl ₂ ・S	16.7	17.8	6.0
F炭	炭	0	0	1
80	塩	0	20.0	5
90	MgCl ₂	5.0	5.0	2.7
90	MgCl ₂ ・Sa	10.0	5.0	1.3
90	MgCl ₂ ・Sa	5.0	14.0	4.6

*1. 環境炉温 1,050°C±30°C, 燃焼ポート上堆積面上における発炎までの時間。

*2. 各試験は5回の繰返し試験の平均値。

*3. 試料は-100mesh

第5表 塩散布における炭じん爆発伝ば阻止効果*1

配 合 比		火 炎 長 (cm)					
炭じん*3 (%)	塩 (%)	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	平均*2
M炭	炭	35.0	筒外	31.0	筒外	筒外	筒外
50	岩 粉	12.0	15.0	7.0	13.0	8.0	11.0
50	MgCl ₂ ・Sa	0.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.15
56	MgCl ₂ ・Sa	0.0	1.5	0.0	1.5	0.0	0.6
62.5	MgCl ₂ ・Sa	2.5	2.0	2.0	3.0	3.0	2.5
71.0	MgCl ₂ ・Sa	4.5	5.0	4.0	4.0	3.0	4.1
83.0	MgCl ₂ ・Sa	5.0	16.0	15.0	10.0	9.0	11.0
83.0	MgCl ₂ ・Sa・Ca (OH) ₂	筒外	37.0	41.0	39.0	44.0	筒外
83.0	MgCl ₂	筒外	筒外	筒外	筒外	筒外	筒外
83.0	CaCl ₂	筒外	筒外	筒外	筒外	筒外	筒外
83.0	NaCl	筒外	筒外	筒外	筒外	筒外	筒外

*1. 炭じんの供試料は約 200g/m³ を保持している。*2. 平均火炎長。

*3. 試料は-200mesh

塩の種類による効果比については第4表に示したが、いずれも着火遅れに大きな効果が期待され、とくに MgCl₂・Sa の場合最高の効果を示した。

5・3 散塩による浮遊炭じん爆発阻止効果

塩散布時における浮遊炭じん爆発阻止効果は、散布直後のもつとも飛散性のよい、すなわち阻止効果をもつとも悪い場合について求めてみた。実験に用いた装置は、第13図に示すような浮揚型の小型実験装置である。供試炭じんは -200mesh (-300mesh 60%以上) の微粉を用い、爆発試験筒内容積に対して約 200g/m³ の割合に浮揚させて実験した。

この結果を第5表に示す。これからたとえば供試M炭の灰分は21%, 固相水分 0.2%, 揮発分34.5%で、石炭鉱山保安規則²⁸⁾によって要求される最低所要岩粉散布率の約50%に対する、相対所要塩量 (MgCl₂・Sa の場合) は、約20%重量比と算定される。一方塩散布による自然付着水分の捕捉量は、散布塩量と同量に達することから (M炭坑内相対湿度90~95%で散布1週間後), 実散布量は約10%重量比以下で十分効果が期待されるものと思われる。

ただしこのような算定は、MgCl₂・Sa 塩の場合であつて、そのほかの供試塩については、これ以上の散布量

第13図 浮揚式炭じん爆発試験装置

が要求されるものと考えられる。しかしながら、これらの想定は、いずれも悪い条件のみを考慮したもので、各種塩を溶液として散布する場合には、いずれもこれ以上の効果のあることは確かである。

MgCl₂・Sa がこの一連の実験において、いずれも顕著な効果を示した理由は明らかでないが、配合した防錆剤 (クロム酸塩、リン酸塩、ケイ酸塩) が、共存させた界面活性剤 (Polyoxyethylen-Octyl-phenolether) の媒介によつて、基剤の MgCl₂ 内に含有する結晶水 (5H₂O) を湿度上昇に伴つて遊離還元する速度を早め、炭じん粒子表面または、その粒子間にうまく混在する状態を作りだし、吸熱と熱の伝導を阻止する結果ではないかと思われる。これについてはあらためて実験する必要がある。

6. 結 論

潮解性を有する塩 (CaCl₂, NaCl, MgCl₂ および、MgCl₂ を基剤とした防錆剤、界面活性剤およびペースト用 Ca(OH)₂ 剤をそれぞれ添加した計6種の塩) を用い、堆積炭じんを中心とする吸湿効果 (自然吸湿, 上昇浸透吸湿, 吸湿による飛散特性 (フワフワ性, 安息角) 水分蒸発効果 (自然蒸発, 低温 4~10°C および中温 80±3°C, 水分蒸発による固結能) ならびに着火性 (固結試料, 堆積じん試料および浮遊試料) についておのおの条件における効果を調べた結果、堆積じんに対していずれも有効な結果が得られることが確められた。すなわち、吸湿効果については、散布塩の種類、量、および相対環境湿度等の条件によつて吸湿効果に著しい差がみとめられるが、塩の散布によつて堆積粉体層の吸湿を生じ、飛散特性に顕著な変化を示し、飛散性を表わす。粉体としてのフワフワ性、あるいは安息角の値は、いずれも堆積じんの再飛散防止に深い関係を示すことになる。水分の蒸発効果は、塩の吸湿効果に対応する関係があるが、吸湿後の粉体層内の自然完全蒸発には非常に長い時間が要求されるようになり、このために要する熱エネルギー

は大きいと想定される。これは、塩の共存によつて堆積粉体層の粒子間隙が変化し、表層皮殻の形成とあわせて層の内部保有水分の蒸発が制限されるためと考えられるものである。また、固結の結果、飛散性は明らかに減少し、とくに爆発性炭じん粒子の比表面積と熱源あるいは空気との接触が阻止されることは炭坑内の保安の確保に大きな貢献を示してくれるものと思われる。たとえば、着火性の実験において、固結試料片の着火時間遅れの効果は顕著で、炭じん爆発の阻止効果は十分に認めることができよう。一方、塩の存在は可燃物としての作用ばかりでなく、消炎あるいは熱移動阻止効果としても作用すると考えられ、乾燥堆積炭じんの着火の遅れ、あるいは浮遊炭じんにおける火炎長の測定結果からも保安確保に好ましい結果を得ることができると思われる。

供試塩6種の内もつともよい結果が得られたのは、塩化マグネシウムに防錆剤および界面活性剤を混合したもので、一連の実験を通して最良の結果であつた。しかしほかの種類の塩についても、適用現場の条件によつて、あるいは使用法によつて、いずれも堆積じんの処理効果が確実に認められることは明らかである。

なお着火性に対する阻止効果については大型の現場規模による試験で確認しなければならないと考えられる。

7. 謝 意

本研究の実施について、文献、実験方針などについて東京大学教授伊木正二博士よりご教授を受けた。研究を許可して頂いた資源技術試験所所長鈴木俊夫博士、ならびに同採鉱保安部長佐々木和郎博士には結果のご検討をお願いした。実験試料については、日邦化工、および三井鉱山、三菱鉱業、住友石炭、常磐炭鉱、宇部興産の各

社のご好意による提供を頂いた。上記各位に対して深い感謝の意を表わすものである。

引用文献

- 1) F. Bradshaw, A. L. Godbert: I.L.O. Rept. (1952) Vol. III. p. 155/171
- 2) H. Spiess: Glückauf 87 (11/12) 248/53 (1951)
- 3) G. S. Rice: U. S. B. of M. Bull. 20 (1911)
- 4) F. V. Tideswell, R. V. Wheeler: Trans. Inst. Min. Engrs. 87, 1 (1933~34)
- 5) H. Price: Trans. Inst. Min. Engrs. 93, 262 (1936)
- 6) H. Schultze-Rhonhof: Glückauf 87. 1133/39 (1951)
- 7) H. Schultze-Rhonhof: Glückauf 88. 998/1000 (1952), 日本版 1—13, 665/668
- 8) H. Schultze-Rhonhof: Sevent Internat. Conf. D.S.M.R. No. 18 (1952)
- 9) F. Bradshaw, A. L. Godbert: S.M.R.E. R.R. No. 30 (1951)
- 10) F. Bradshaw, F. V. Tideswell: Trans. Inst. Min. Engrs. 107, 631 (1948)
- 11) A. L. Godbert, M. C. White: S.M.R.E. No. 143, (1957)
- 12) A. L. Godbert, A. E. McClelland: S.M.R.E., No. 100 (1954)
- 13) G. D. Nussey, D. W. Woodhead: Coll. Guard. Vol. 188, No. 4846. p. 37/44 (1954)
- 14) G. D. Nussey, D. W. Woodhead: Coll. Guard. Vol. 188, No. 4854 p. 419/421 (1954)
- 15) G. D. Nussey, D. W. Woodhead: Trans. Inst. Min. Engrs. 113, 666 (1953/1954)
- 16) E. T. Linacre: S.M.R.E., R.R. No. 94 (1954)
- 17) H. Schultze-Rhonhof: Glückauf. 90. S. 345/54 (1954) 日本版 3, 4, p. 163
- 18) H. Schultze-Rhonhof: Int. Konf. Lert. Grub. L. Versuch. 1956
- 19) W. Striebeck: Schlägel u. Eisen (1953) 19/21, 73/76 (再引用)
- 20) H. Meerbach, A. Berner: Staub. 19, 7, S. 259/262 (1959)
- 21) H. Meerbach: Int. Arb. Leit Grub Keit Versuch. Warschau. No. 19 (1961)
- 22) H. Meerbach: Staub. 22, S. 260/265 (1962)
- 23) I. L. O. Rept. II. Geneva. 1964
- 24) Oberbergamt Dortmund, 1954, 1958 (Staubbekämpfung untertage, Chloscalcium-Verfahren und Chlormagnesium et.)
なお翻訳が炭鉱保安情報 (1964) 10, 11 にある。
- 25) 石炭鉱山保安状況調査団報告: 日鉱誌, Vol. 81, No. 921 (1965)
- 26) たとえば種谷, 内山: 表面 Vol. 4, No. 1, p. 19/32 (1966)
- 27) たとえば久保: 粉体, 丸善
- 28) 鈴木: 採鉱と保安 Vol. 11, No. 1 p. 5~6.

書評

波止 薫著 ガス・炭じん爆発

工業技術院資源技術試験所 鈴木俊夫

著者は、北海道大学助教授、資源技術試験所北海道支所長（前身の札幌炭坑爆発予防試験所所長）などを歴任され、昭和39年東北大学教授を停年で退職されるまで、実に35年の長い間にわたつて、終始ガス・炭じん爆発の防止に関する研究を続けられた斯界の権威者である。

このたび、多年の研究成果をまとめた「ガス・炭じん爆発」を著作されたことは、正に著者のライフワークというべきものであろう。

ガス・炭じん爆発に関する専門書としては、かつて厚見利作氏の「爆発予防論」などがあつたが、いずれも今は絶版となり、石炭鉱業の現状

においては、この種の良書の出版は期待できなかった。ところが、このたび本書が刊されたことは、著者にその人を得、炭鉱関係者にとつて待望の書が出たという感が深い。

本書を通覧すると

- 第1章 メタンの性状、爆発現象および測定方法 (78頁)
- 第2章 炭じんの性状、爆発現象および測定方法 (54頁)
- 第3章 ガス・炭じん爆発防止法 (54頁)
- 第4章 爆発の実例と防止実技 (93頁)
- 第5章 爆発発生時の諸対策と心得 (19頁)
- 第6章 メタン以外のガスの爆発、中毒など (63頁)

に分けて解説されている。

また、単に理論のみならず、過去

の實際例をあげ爆発防止の実技および発生時の心得などに重きをおいて書かれていることは、従来の書物に見られなかつたところであろう。

悲惨なる炭坑爆発を防止するためには、保安設備の完備とともに、従業員、特に保安係員の一人一人が、ガス、炭じん爆発防止に関する基本的知識を十分身につけ、日常の作業において、確実にこれを実施することが、なにより肝心である。本書はこのための最高の指針を示すものといえる。

発行所

鉱業労働災害防止協会
A5判 上製 275頁
定価 1,400円