坑内使用時における管状合成物質材の静電気発生およびその対策に関する実験的研究*

正 会 員 齋 藤 与 四 郎**

石 垣 美 義**

Experimental Studies on Charging of Static Electricity and its Predicting Method in Use of the Pipes of Synthetic Materials in the Underground Coal Mining

Yoshiro SAITO and Miyoshi ISHIGAKI

The miners sometimes meet some electric shocks of the static electricity charged by friction of rock dust flowed in the pipe against its wall, and such shocks were experienced very often in use of the pipe of synthetic materials.

This work was done as for declare the phenomena of charging of static electricity on the synthetic pipes undergoing the concrete conditions of coal mining, and then, to find out some appropriate measures to predict it easily,

In the experimental stands of laboratory the following materials were tested :

- small pipes of vinyl chloride used for rock dusting,
- blasting wire rested nearby the small pipes abovementioned ;
- air pipes of vinyl used for local ventilation.

As a result of these studies the authors declared some general characteristics of static electricity charged in use of the pipes of synthetic materials as follows :

- 1) As the rock dusts flow in the pipe at velocity of 5m/s and the more this pipe is charged by static electricity, and we can sometimes see the sparks of electric discharge when the velocity of flowing dust surpasses 20m/s ;
- 2) Blasting wires rested nearby the pipes of vinyl chloride being used for rock dusting are probably induced to charge the static electricity in them, attaining the static voltage 4kV and the more. The short spark by this voltage can ignite the air-mixture of methane ;
- 3) Air pipes of 250mm diameter are charged by static electricity when the rock dust of 41g/min. and the more at the velocity exceeding 5.3m/s, and this static charge growsup with the flowing speed of rock dusts.

The authors found out some appropriate countermeasures against such static electric charges and successfully experimented some ones of them in a laboratory

1. 緒 言

物体が摩擦すると静電気を発生することはすでに知られているが、最近、合成物質材の使用に伴ない、とくにこの問題が処々に生じている¹⁾²⁾。

炭鉱、および鉱山の坑内用器具、材料でも、使用中に静電気を発生することがしばしばあり、これが災害の原因となつた例もある。

坑内で使用中に静電気を発生する器材の主なもの、岩粉散布時、塩化ビニール管、塩化ビニール管に発破母

線を添架した時、局部通風用ビニール風管などである。

しかし、これら坑内用器材の静電気発生状況、およびその予防対策については、その一部を外国報文³⁾にみることもできるも、なお詳細不明であり、また、わが国の現状に即した実験研究も行なわれていない。

筆者らはこの問題に対する実験研究を、昭和36年4月以降続けているが、今回、硬質塩化ビニール管等の管状合成物質材について、実際坑内使用時と同様な条件における静電気発生状況の測定と、その予防対策のための基礎実験を行なつた。

2. 実験装置および方法

* 昭和39年3月21日受理

** 資源技術試験所北海道支所 第2課

第1図 岩粉フィーダの構造

2.1 硬質塩化ビニル管

塩化ビニル管など、高分子化合物質は一般に絶縁体であるため、粉じんと摩擦すると直ちに静電気を発生しこれが災害の原因になり得る⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

筆者らは、第1図に示すような特殊構造の岩粉フィーダを考案、試作し、風量測定用としてドイツ製 4inch オリフィスを併用、岩粉フィーダの後部に硬質塩化ビニル管（以下「塩ビ管」と略す）を接続し、種々の風量、岩粉量を通じた場合の、塩ビ管表面に発生する静電荷を調べ、同時にその予防方法の基礎的検討を行なった。

使用した塩ビ管の内径は 20, 25, 28, 41, 52, 78, 100, 125 および 148mm (3/4 ~ 6inch) で、JIS-K-6741および6742 の規格管である。

第2図 ビニール風管実験装置

第3図 塩ビ管予備実験装置

第1表 20mmφ塩ビ管接手よりの距離と静電圧

接手よりの距離 cm	10	30	50	70	100	140	200
静電電圧 kV	15	19	20	29	30	30	36

また、本実験に使用した電圧計は、横河製EL-3型(25, 50kV) および EL-2型(250V用) の静電電圧計と、春日電機製KS-325型集電式電位測定器である。

2.2 塩ビ管より発破母線への静電誘導

塩ビ管近くに発破母線を添架しておくと、塩ビ管に静電気の発生した場合、母線が簡単に静電気を誘導して帯電し、母線端の電気雷管を起爆させるおそれがある。

本実験では、種々の発破母線を塩ビ管表面に直付けから 70cm までの距離をおいて添架し、実験条件に応じての誘電状況と、その予防方法に対する基礎的検討とを行なった。

2.3 ビニール風管

ビニール風管も塩ビ管同様、粉じん混入空気を送気すると各所に静電気を発生する。

本実験では、3HP 電気局扇を使用し、これに内径 250, 355, 558mm, 長さ各10mのビニール風管を接続し、各風量における粉じん混入量と静電気発生との関係、ならびにその予防方法を検討した。

第2図は、本実験の場合の装置および風管の配置を示している。

3. 実験結果

3.1 塩ビ管

(1) 予備実験 塩ビ管に岩粉混入圧気を送入した場合に、塩ビ管表面にどの程度の静電気が発生するか調べるため、第3図に示すような簡単な岩粉散布器（これは実際炭鉱で使用しているものと同一形）を使用して、その予備的実験を行なった。

いま、予備的に静電気発生の有無を調べるため、接地鉄管を基点として塩ビ管各点の発生静電圧を測定した結果を示すと第1表のとおりである。

なお、実験に使用した岩粉は、北海道で多く使用されている鹿越産の石灰石岩粉で混入量は約 400g/minであり、岩粉散布器内圧力は1kg/cm²であつた。

また、本実験中、時どき 4m 長さ塩ビ管全長にわたって大放電を生じており、その写真一例を示すと第4図のとおりである。

4m長さのものは写真のような放電の時どき発生し、これによつて簡単にメタンに着火することが判明したが、短尺ものでは

どうか、2,3の実験を行なつたところ、第2表のような結果を得た。

また、短管実験時の、管全周発生コロナ写真の一例を示すと第5図のとおりである。

(2) 基礎実験 塩ビ管に岩粉混入圧気を流すと、以上のような静電気を発生するが、この場合、単位時間当りの風量、岩粉量が判明しないので、第1図に示した岩粉フイダとオリフィスを使用し、風量、岩粉量を規制して定量的に静電気の発生状況を究明した。

なお、使用塩ビ管は、28mmφまでは JIS-K-6742 規格管であり、それ以上は JIS-K-6741 規格管である。

第4図 塩ビ管表面の放電写真

第5図 15cm長さ短管全周のコロナ写真

第6図 ビニールプレートの発生静電気分布状況例

第7図 各湿度における塩ビ管表面の静電気発生、減少状況

次に、9mm厚ビニールプレートの一点で岩粉塊を摩擦し静電気を発生した場合、その影響する範囲はどの程度であるか実験したが、その結果は第6図のとおりであった。

なお、この場合ビニールプレートと岩粉塊に発生する静電気の極性を調べたが、摩擦停止後はプレート両面共⊖であり、岩粉塊は⊕であつた。

塩ビ管に岩粉を通じた場合の、流送経過時間と発生電圧上昇度、および流送停止後の経過時間と静電気減少状況とを、各室内湿度について測定した結果の一例を示すと第7図のとおりである。

第2表 塩ビ管表面放電とメタンの着火

管長さ m	岩粉器内圧 kg/cm ²	CH ₄ 濃度 %	着火の有無	摘 要
4	1.0	8.9~8.7	着 火	3回とも1回目放電
0.2	1.0	8.7	〃	1回目放電
0.15	1.0	8.7	〃	〃
0.1	1.0	-	-	放電せず

第3表 20mmφ 塩ビ管各風量における接手よりの距離と発生静電圧

(岩粉、石灰石41g/min, 24cm長さ集電具, 室内17°C, 48%)

風 量 m ³ /min	接手よりの距離と飽和静電圧			
	0.5 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m
0.1	15.0kV	16.0kV	17.0kV	18.0kV
0.3	16.5	18.0	21.0	23.0
0.5	35.0	45.0	50.0	50.0

第4表 20mmφ 塩ビ管の風量、岩粉量変化時各点の静電圧

(4cm長さ集電具, 石灰石岩粉, 室内22°C, 58%)

岩 粉 量 g/min	風 量 m ³ /min	接手よりの距離と各点の飽和静電圧				
		10cm	50	90	130	170
89	0.5	17kV	25	27	28	30
	1.0	28	39	42	火花	-
405	0.5	10	26	27	28.5	29
	1.0	30	39.5	41.5	42	43.5
965	0.5	14	27	30	32	33
	1.0	32	42	44	46	47
1,500	0.5	13	24	27	27	28
	1.0	23	36	38.5	39	39.5

第5表 各風量における集電具長ささと発生静電圧および飽和所要時間

(岩粉, 石灰石41g/min, 接手より集電具終端2mの点)

風 量 m ³ /min	集電具の長さ cm	5	10	20	30	50
0.1	静電電圧 kV	14.3	18.2	23.2	27.0	30.5
	飽和所要時間 min	8	9	9	8	9
0.3	静電電圧 kV	22.0	27.5	35.0	41.0	45.0
	飽和所要時間 min	8	7	6	5	5

第6表 外気湿度と管表面の発生静電圧

(風量0.5m³/min, 岩粉石灰石220g/min, 30cm集電具2mの点)

外気湿度 %	48.0	51.0	63.0	70.0	76.5	81.0	90.0	極性
静電電圧 kV	50.0	41.5	34.0	25.0	17.5	13.3	3.0	⊖

第7表 各粉じんと塩ビ管摩擦時 1min 後の発生静電荷
(10cm集電具接手より2mの点, $C=0.001\mu F$ に充電)

管径 mm	風量 m^3/min	粉じん別	項目	結果
20	0.5	石灰石岩粉	混入量g/min	41 89 220 405
			充電電圧 kV	-3.5 -5.0 -4.0 -4.0
		粘土岩粉	混入量g/min	32.5 77.5 155 390
			充電電圧 kV	+3.5 +5.8 +7.5 +4.2
		M炭じん	混入量g/min	38 108 218 445
			充電電圧 kV	+3.7 +4.6 +6.0 +6.5
		O炭じん	混入量g/min	22.5 74.0 150 250
			充電電圧 kV	-2.5 +0.66 +2.0 +0.83
52	3.8	鉄管スケール	混入量g/min	150 340 840 1,500
			充電電圧 kV	-5.4 +1.5 +1.0 -4.3

塩ビ管表面に発生した静電気を静電電圧計に導く場合、その発生静電荷が極く微量の場合には、塩ビ管に取付けた集電具による影響が相当あるようであり、各集電具長さとの発生静電圧の関係を測定したのであるが、その結果を示すと第5表のとおりである。

塩ビ管外部の湿度が変化すると、管表面の抵抗も変化し、したがって発生する静電気も変わる。

いま、外気湿度を変化した場合の、一定条件における管表面の発生静電圧測定結果の一例を示すと第6表のとおりである。

また、圧気湿度の影響についても実験を行なったが、この場合、粉じんの種類によつて異なるも、その最少値を示す湿度は80~90%であり、これより高湿度になると水分の影響により再度静電気の発生が良好となる。

(3) 粉じん別の影響 炭鉱坑内においては種々の粉じんが発生する。

各種粉じんが塩ビ管内を通過した場合の、一定条件における管表面の発生静電荷を測定したが、その結果の一部を示すと第7表のとおりである。

また、同一種類の粉じんと同一量混入した場合、その粒度が細かいほど単位時間内の発生静電荷は多かつた。

第8図
各風速における塩
ビ管内径と 1min
後の最大発生静電
荷

第8表 シールド方法とシールド接地時のコー
ド誘起電圧
(78mmφ 管 添架コード2m直付)

シールド方法	岩粉量 g/min	風速 m/s	5min 後の 電圧 (kV)	5min後の エネルギー mWS	摘要
シールドなし	405	50	62以上	1minで1,922	外付 $C=0.001\mu F$
2.5mmφ鉄線 5cmビッチ巻	405	50	2.0	0.04	全回路 $C=0.00002\mu F$
2.5mmφ鉄線 2.5mmビッチ巻	405	50	0.5	0.0025	〃
0.77mmφ鉄線 2.5cmビッチ巻	405	50	0.7	0.0049	〃
1.5mmφ鉄線 4cm亀甲網	965	50	0	0	〃
0.6mmφ鉄線 4cm亀甲網	965	50	2.5	0.0625	〃

(4) 製作者別による影響 同じ塩ビ管であつても、製作者が異なると変化があるかを知るため、石灰石岩粉とM炭じんを使用して実験を行なつたところ、塩ビ管4社についてはほとんど差異はなかつたが、使用粉じんによつてポリエチレン管とは異なつていた。

(5) 管径および風速と発生静電気 管径の相違による静電気の発生状況を、内径41~148mm間について、石灰石岩粉を使用し、各風速における単位時間当りの発生静電荷を測定したのであるが、その最大値を示すと第8図のとおりであり、また、52mmφ 塩ビ管についての、各風速における岩粉混入量と 1min 後の発生静電気充電電圧との関係例を示すと第9図のとおりである。

塩ビ管途中に径差、屈曲があると流送圧気に乱流が生じ、直管部に比較して粉じんと摩擦が多くなり、したがつて、発生静電荷も多くなることが判明した。

(6) 塩ビ管の発生静電気防止 塩ビ管内に粉じん混入圧気が流れると、以上のような静電気が発生する。

静電気発生予防の一番良い方法は、塩ビ管に導電性をもたせ大地に流すことであるが、これは製作者が研究し製造してくれなければならないことである。

今回、筆者らが実験を行なつた予防対策は、すでに市販されて現在炭鉱坑内で使用しているものについて、どんな予防法を施したなら安全なものになるか、ということである。これには種々の方法が考えられ、その一例と

第9図 52mmφ 塩ビ管各風速の岩粉混入量と
1min 後の充電電圧
(10cm集電具2mの点, $C=0.001\mu F$ に充電)

して管表面に導電性塗料を塗布することも試みたが、良好な結果は得られず、結局、管表面に金属線などを巻きつけることであり、この実験を行なつたのであるが、その結果は第8表のとおりである。

なお、実験方法は、塩ビ管表面に各種シールドを施し、その外面にビニルコード2mを添架し、これに誘起する静電圧を、シールドなしの場合と比較検討した。

3.2 塩ビ管より発破母線への静電誘導

(1) 発破母線の静電誘導 20mmφ 塩ビ管1本を張り、その近くに各種発破母線を添架し、種々の条件における発破母線の誘起静電圧を測定したところ、0.75mm² 2芯平打ビニルコード 0.5m 長さ添架時で、塩ビ管に岩粉41g/min、風量0.3m³/min流送の場合、直付けで14.5kV、10cm 離隔で8.5kVを誘起し、また、風量1m³/min時には、コード3mを70cm離隔して添架し5kV以上を誘起した。

次に、この誘起静電気を管体入り点火玉の脚線に接続し、管体を接地したところ4.5kV以上の管体、点火玉間の火花放電で点火玉は起爆した。

(2) 誘起静電気の予防対策 以上のように、静電気を発生する塩ビ管の近くに母線を添架すると、70cm 離隔しても静電気を誘起し危険な事態を生ずる。

この誘起静電気の予防方法について実験を行なつたがその概略は次のとおりである。

発破母線誘起静電気の予防方法として考えたことは、塩ビ管の予防実験と同様、管表面にシールドを施すこととシールド付発破母線を使用することであつて、その実験結果を示すと第9表のとおりである。

3.3 ビニール風管

(1) 静電気発生能力 ビニール風管も塩ビ管同様、内部に粉じん混入空気が通過すると表面に静電気を発生する。

3HP 電気局扇に各内径のビニール風管を10m接続し、岩粉混入量41~1,500g/min時で、風速5.5~25.5m/s間の諸実験を行なつたが、250mmφ 風管に10cm長さの集電具をとり付け、風管各点の発生静電圧を測定した結果では、局扇接手より1.5m付近に最高静電圧を生ずる点があり、また、2mの点における各風速についての、岩粉混入量と1min後の発生静電気充電電圧との関係を示すと第10図のとおりである。

(2) 発生静電気の予防方法 ビニール風管表面に発生する静電気を防止するには、

- 付属吊リングを多くし、これを接地すること。
- 鉄線、金網等を巻き、これを接地すること。
- 風管自身に導電性をもたすこと。

などが考えられ実験を行なつたが、付属吊リングを接地した場合の実験結果は第10表のとおりである。

第9表 シールド条件と発破母線5min後の誘起電圧
(各母線添架長さ 2m直付)

管内径 mm	風速 m/s	岩粉量 g/min	シールド方法	誘起静電圧 kV
20	26.5	41	0.5mm ² 2芯シールドコード	1.0
20	26.5	41	0.8mmφ 鉄線 5cmビッチ巻シールド	2.5
78	50	405	2.5mmφ 鉄線 5cmビッチ巻シールド	2.0
78	50	405	1.25mmφ 鉄線 2.5cmビッチ巻シールド	0.5

第10表 ビニール風管吊リング接地時の効果

風管径 mm	リング 間隔 cm	風速 m/s	岩粉混入 量 g/min	接地方法	測定箇所	経過時間と 発生静電荷
250	20	25	405	接地せず	2mの点 10cm集電具	1min後 338mj
250	20	25	405	各リング 接地	リング中間 10cm集電具	5 〃 後 0.61〃
250	25	19.1	220	50cmリング 接地	50cm中間 リング	2 〃 後 0.23〃
355	25	25.5	965	接地せず	2mの点 10cm集電具	1 〃 後 46.2〃
355	25	25.5	965	各リング 接地	リング中間 10cm集電具	5 〃 後 0.06〃
558	70	8.37	1,500	各リング 接地	リング中間 10cm集電具	5 〃 後 0.003〃

第10図 250mmφ風管各風速の岩粉混入量と
1min 後の充電電圧
(10cm集電具 2mの点、C=0.001μFに充電)

4. 実験結果の考察

今回実験を行なつた管状合成物質材の諸条件における結果を要約してみると次のとおりである。

4.1 塩ビ管

(1) 塩ビ管内を粉じん混入圧気が相当の速度(5m/s以上)で通過すると、管表面に相当の静電荷を発生し、風速が20m/s 以上になるととき火花放電を起す。

(2) 室内、圧気湿度が高くなると、次第に静電気の発生も悪くなるが、圧気の場合90%以上になると再度発生しやすくなる。

(3) 粉じんの粒度が細かいほど静電気の発生がよく、また、粘土岩粉、M炭じんは塩ビ管に⊕の電荷を生じ、しかも発生量が多い。

(4) 製作者別については、いずれも同程度であるが塩ビ管とポリエチレン管とでは多少異なる場合がある。

(5) 接地接手より2mの点に取付けた10cm長さの

集電具に毎分発生する静電荷は、管径が大きくなると内径の約2,3乗に比例して多くなり、風速変化時には、各管径とも風速の約2乗に比例して多くなる。

(6) 配管途中に径差、屈曲があると、その後に多くの静電荷を発生する。

(7) 予防法としては、諸外国で発表しているように管自体の体積固有抵抗を $3 \times 10^8 \Omega/\text{cm}$ 程度にするとよいが、一般市販品で実際坑内現場に使用しているものについては、これに鉄線を2.5~5cmピッチに巻き接地するか、土中に埋込むよりよい方法がないようである。

4.2 発破母線の静電誘導

(1) 静電気の発生する塩ビ管の近くに発破母線を添架すると、70cm 離隔時でも条件によっては母線に危険な静電気が誘導帯電する。

(2) この誘起静電気によつて、点火玉は4.5kV以上の放電火花で起爆し、4kV以上の放電で火花メタンが着火する。

(3) 予防対策としては、現在塩ビ管に予防を施すか発破母線自体にシールド付母線を使用するよりほかにはないようである。

4.3 ビニール風管

(1) ビニール風管に相当の風速で長時間粉じん混入空気を流すと、少量の粉じんであつても、風管表面に静電気を発生し、風速に比例して発生静電荷が多くなる。

(2) しかし、付属吊リングが50cm以下のものは、これを全部接地することにより、普通の状態では安全の

ようである。

5. 結 言

管状合成物質材は静電気を発生しやすく、それだけ危険性が多い。坑内のように湿度が80%以上あり、粉じんも常時多量に存在しなくとも、これらは絶対的な条件でないから、使用合成物質材には十分な予防対策を考え使用すべきである。

なお、これらに対する坑内現場実験も今後十分に行ない、以上の諸結果と対比、検討した上、現場に通じた予防対策を確立したい考えである。

本実験にあたり多大の御指導を賜つた当所中野支所長をはじめ、実験初期より、資材ならびに久佐享君を派遣協力された、三菱鉱業株式会社、実験材料を提供された各会社に対し、厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 坂主：局所排気装置風管の静電気測定について
産業と保健 85号 昭和36年8月
- 2) 佐々木・伴：繊維工業における静電現象とその除去の概要
繊維学会誌17巻5号、昭和36年5月、458~6頁
- 3) KLING Konrad：坑内で使う合成物質とその保安上の影響
グルツクアウフ日本版、11巻9号、昭和37年9月、545~9頁
- 4) 上月・坂主：静電気による災害危険とその対策
セフテイダイジエスト、5巻5号、昭和34年5月、1~17頁
- 5) 上月・坂主：可燃性ガス中における静電除去器の着火危険について
セフテイダイジエスト、7巻1号、昭和36年1月、6~11頁
- 6) 帯電防止研究班：小麦粉貯蔵タンクの爆発事故について
電験研報、549号、昭和30年8月、34~54頁
- 7) 木脇：静電気障害防止に関する研究
電験研報、582号、昭和35年1月、7~41頁

フランスであげられた25日間に403mの真卸掘進工程

レンズ・リューベン・グループのN°18炭鉱でこの実績があげられたが、フランス独特のスクレーバ積込・運搬の利用改善と、掘進班編成の工夫、以上2つの要因をうまくこなした典型的事例ともいうことができよう。

ここでは、平均厚さ1.3mの炭層に沿つて掘進しているが、0~1.75mの広範囲に炭層が膨縮し、よい条件ではなかった。上盤は頁岩で、下盤は硬岩、これに対して9.5m²の掘進断面を取り、梓間1mのアーチ梓支保を行なっている。発破孔の配列は図のとおりで、深さ約2.2mの孔32本を、常時2台のさく岩機(他にもう1台は予備)で掘つている。ブリの積込に用いているスクレーバの容量は700lで、32HPのモータを備え積込時移動速度1.65m/sec. そうでない時には2.1m/sec.の速度を有している。

これには、ちょうどベルトコンベヤの上に乗るような形の積込棚を設け、これを通して、スクレーバの積込ブリが円滑に移し換えられる仕組みになつている。この棚の主要部分は固定トラフと移動板とで、後者は4コのエヤンシンドと入換弁とで動作され、コンベヤベルト上にブリが均等にのせられるよう調節する役目をする。

掘進している坑道の入口までの材料運搬は、2,700lの炭車で行ない、そのあと引立まではモノレールを使つた。ちょうどそれは570mの長さには達していた。

掘進作業は3

方に分け、各方には主任と、発破資格者の掘進班長とを配属し掘進班の構成は、発破1人、作孔1人、積込の棚設やコンベヤ延長、圧気管、風管等の延長に従事する鉱員2人、モノレール延長等の材料運搬関係の仕事に4人の割合いであつた。

(黒岩忠春)

[Revue de l'Industrie Minière No. 3
1963 および Безопасность труда в
Промышленности No. 1, 1964 より]