

6. トンネル建設工事用防爆電気機器の開発

坂 主 勝 弘*

Development of Explosion-Protected Electrical Apparatus for use on Tunnelling Sites.

by K. Sakanushi*

In tunnelling workplaces where methane or other combustible gas/vapor wells out, it is possible that explosion or fire may be caused by electrical spark or heating of electrical equipments. One of the prevention methods for those hazards is to use the appropriate explosion-protected apparatus in the tunnel construction.

Several criterions for explosion-protected electrical apparatus have been already proposed and applied to electrical equipments used in general industries. But those criterions are not necessarily to apply to electrical equipments for the tunnel construction. Consequently, it is the purpose of this research to develop out new explosion-protected electrical apparatus and to draft criterions for electrical equipments for use in the tunnelling workplaces.

Following research works on developments of explosion-protected electrical apparatus for the tunnel construction were made;

1. Investigations about the real circumstances in tunnels, the construction methods of tunnels and the kinds of electrical equipments used in the tunnelling workplaces.
2. Consideration of the specifications on explosion-protected electrical apparatus (flame-proof and increased safety types) for the tunnel construction.
3. Designs and trial make-up of explosion-protected electrical apparatus (incandescent lamp and motor) for use in the tunnelling workplaces.

After many tests and investigations on the trial make-up, it has been confirmed that those electrical equipments have faculty of explosion-protected electrical apparatus for use in the tunnel sites. From the results obtained above, the manufacturing specifications and the testing methods required as explosion-protected electrical apparatus for the tunnel construction have been established.

*Electrical Research Division.

6.1 まえがき

この研究の目的は、メタンが湧出するトンネル建設工事現場で使用する電気機器について、工事現場の環境条件、使用実態などを考慮の上、それらに適合する防爆形電気機器の製作に関する仕様及び試験方法を確立するために行なったものである。

6.2 トンネル建設現場の現状と問題点

(1) トンネル現場の環境と使用電気機器の現状

トンネル建設作業現場（以下トンネル現場という）は、一般工場に比べ暗い上に、さらにせまい場所が多い。

特に切羽付近は、電気機器その他の機械類が数多く使用されているため、狭いところに電気配線が重り合っている場合が多い。

また、トンネル現場固有の問題として、掘削作業が進むにつれて電気機器も一諸に前方に移動する。そのために電気配線はややともすると仮配線の考え方になりやすく、比較的容易な方法がとられている。またケーブルも長いものを輪状にたばね、掘削が進むにつれてケーブルを展延して行く方法をとっているところが多い。

トンネルによっても異なるが、トンネル現場は湿度はかなり高くなる場所が多く、又岩粉等の粉じんが存在し、現場あるいは掘削場所によっては湧水するところもあり、電気機器の使用場所としては、一般工場に比べ環境条件がいちじるしく悪い場合が多い。

調査した二・三のトンネル現場において使用していた電気機器の主なものは、つぎのものがあつた。

防爆形機器では、誘導電動機、照明器具類、開閉器類、ガス警報器及び同検知部（固定形及び可搬形）差込接続器、分電盤、蓄電池式電気機関車などで、一般形機器では、油入変圧器、電話機、電気ホイスト、けい光燈、白熱電燈、蓄電池電気機関車などが使用されている。

(2) トンネル現場の問題点

トンネル内での危険場所の分類について、ある現場では切羽から出口方向へある一定距離までを危険場所に指定して防爆形の電気機器を使用し、そのところから出口までは無条件に一般場所として非防爆形の機器

が使用されている。しかしこれは、必ずしも適切な処置とは考えられない場合がある。すなわち、本坑において掘削したまま覆工工事をしていない現場では、切羽付近と同様、メタンが湧出することが考えられるため覆工工事をしていない現場では危険場所相当と考えておいた方がよい場合がある。またたとえ覆工工事を行っているトンネルでもトンネル内の空気をトンネルの外に排出する方法に送風機と風管を用いて切羽付近まで外気を送り込み、戻りの空気は切羽付近の空気と一緒に掘削したトンネル（本坑）を利用して外部に排気する場合も上記同様切羽付近のみを危険場所と指定することは、適切な処置とは考えられない。

したがって、トンネル内での危険場所の分類（単なる距離のみで区分するのではなく）はメタンの湧出と換気との関係、ガス検知の結果などを十分検討して決定すべきである。

現在トンネル現場において、工場防爆形で検定済みの電気機器を使用しているが、これらの機器は必ずしも、上述したトンネル環境下で使用することを対象にして製作されたものではない。したがって高湿度に対する問題、防じん性に対する問題、トンネル現場固有の作業方式、落下物等に対する耐撃性など、トンネル現場の環境を十分考慮して検討すべき問題がある。又ケーブルの直線接続及び分岐接続は、使用中に接続個所の電気絶縁性が低下し、危険となるおそれがあるため、一般工場の危険場所においては、ケーブルの接続、分岐は防爆形の接続箱を用いて行なうことになっている。

調査したトンネル現場では、ケーブル配線が多く用いられており、掘削が進むにつれて、電気機器類が切羽の方向に移動し、ケーブルも輪状にしたものを展延して亘長がのびて行くことになるが、ケーブルの途中で直線接続又は分岐接続しているところが多く見かけた。トンネル現場の場合でも一般工場同様、危険場所でのケーブルの接続は防爆形の接続箱を用いて行なうべきと考えられる。

6.3 防爆構造の基本

トンネル現場において用いる電気機器の基本的な防爆構造は当研究所の技術指針、工場電気設備防爆指針（ガス蒸気）のうち耐圧防爆構造又は安全増防爆構造並びに同指針（粉じん防爆）のうち容器の構造が防じ

ん性を有するものとするにいたした。

6.4 トンネル現場用電気機器の防爆構造の製作上の諸条件

電気機器の防爆構造の設計及び製作上の諸条件は、上記防爆構造の基本構造のほかトンネル内の環境に対する条件、作業性に対する条件及び耐衝撃に対する条件などを考慮してつぎのような事項を追加して研究した。

(1) 環境に対する条件

トンネル内作業現場の周囲温度は、原則として $-15\sim 40^{\circ}\text{C}$ までの範囲とする。

湿度については、平常でもかなり高い状態を考慮して相対湿度90%以上で、容器表面その他に露のつかないふん囲気で連続使用できるものとする。

また水気を含んだ岩粉等が容器表面に付着して、電気機器の冷却効果を低減したり、機能の低下をきたすことが考えられるので、電気機器の容器、接合面、貫通軸等の対防じん性を有する構造とする。

(2) 作業性に対する条件

トンネル現場で使用する電気機器は、トンネル作業の特異性すなわち、固定して一定期間使用した後、ある区間移動し、そこで固定して一定期間使用、つぎに又移動するという状態を繰返すことが、一般工場で使用する機器にくらべ比較的頻繁である。そこで、各機器はすべてケーブル配線とし、三種以上で接地線付クロブレンキャブタイヤケーブルでその接地は端子箱内部に設けた専用の接地極を用い行う。又、ケーブルの引込口には、ケーブルクランプを設け、ケーブル引込部を端子箱の容器壁に堅固に固定する。

なお、ケーブル引込部にゴムリーブを用いて、引込口におけるケーブルの機械的損傷を防ぐようにした構造とする。

固定及び移動の頻度が比較的多い照明器具及び開閉器等の機器は、容易に移動することができる構造、形状で、かつ確実に固定するための付属品が取り付けられる構造とする。

(3) 耐衝撃性に対する条件

狭いトンネル内で使用中の電気機器において、他の物体と接触した場合及び岩石その他の飛来物が落下した場合でも機器の防爆性が失なわれない構造で、ある程度の衝撃に耐えられる強度を持った構造とする。

照明器具は、特に保護ガードに対し、耐衝撃性のよい形状と格子目の大きさを工場用防爆形のものよりも小さめにしたものとし、更に材料は耐食性のよいものを使用することにした。

電動機の場合は、電動機本体と端子箱に金属製の保護カバを付加して落下物に対して照明器具同様、防爆性を失なわないようにした構造とする。

なお、この保護カバは電動機フレームの放熱リブの谷部に岩粉が推積して電動機の温度が異常に高くなるのを防ぐためにも有効である。

(4) その他の仕様

(a) 電動機の冷却用ファンカバの格子目から、岩石等が侵入して、回転中のファンと接触するのを防止するために、ファンカバを二重にする構造、あるいは格子の形状、寸法を変えて岩石等とファンとの接触を防ぐ構造とする。

(b) 電動機の巻線には異常過熱による事故を防止するために、巻線の各相間に温度検出用の素子(PTCサミスタ)を挿入しておき過負荷その他により、巻線の温度が許容値に達したとき、PTCサミスタの抵抗値の変化を利用して、ただちに警報又は電源をしゃ断するための、温度保護装置を付属した構造とすることが望ましい。

(c) 照明器具は従来から使用されているハンドランプのほかに、ハンドランプ同様、光源に白熱電球を使用する器具で、投光角度が若干変化することができる投光器形の構造をする。

6.5 試作品の概要

上記6.3項及び6.4項に示した諸条件を考慮し、トンネル作業用として試作した機種及び防爆構造等をTable 6.1に示す。

Fig. 6.1は安全増防爆形電動機の全体詳細図、Fig. 6.2は同機の保護カバを示している。

Fig. 6.3及びFig. 6.4は安全防爆形及び耐圧防爆形の白熱電燈の全体詳細図を示している。

電動機は、200V 50Hz 4極の全閉外扇、横形のものであり、巻線の絶縁には、E種絶縁のものを用いているが特に耐湿性能を増強した巻線を採用した。

電動機本体及び端子箱には、金属製の保護カバで取付脚の近くまでおおい、外傷に対して保護された構造としている。また運転中冷却ファンカバの格子目から岩石

Table 6.1 An Outline of trial make-up.
試作品の概略

機種名	定 格	防爆構造等
三相かご形誘導電動機	2.2kW 4 P 50Hz 200V 8.7A E種絶縁, 連続定格	安全増防爆構造, 発火度 3
〃	0.4kW 4 P 50Hz 200V 2.3A E種絶縁, 連続定格	耐圧防爆構造 爆発等級 2, 発火度 3
〃	5.5kW 4 P 50Hz 200V 21.5A E種絶縁, 連続定格	〃 〃
〃	15kW 4 P 50Hz 200V 56.0A E種絶縁, 連続定格	〃 〃
白 熱 電 燈	100V 100/200W	安全増防爆構造, 発火度 3
〃	100V 100/200W	耐圧防爆構造 爆発等級 2, 発火度 3

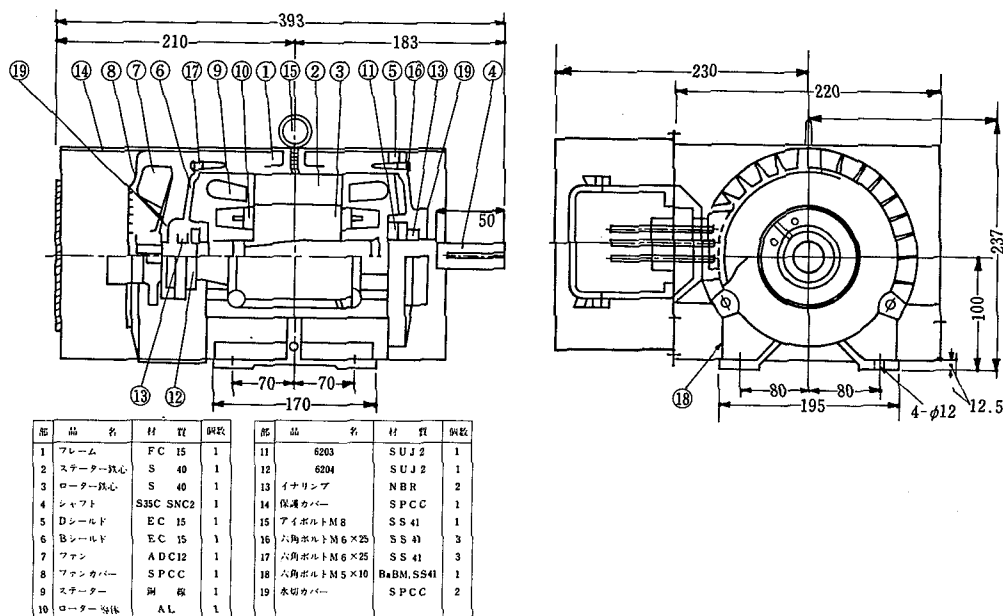


Fig.6.1 An explosion-protected motor (Increased safety type)
安全増防爆形誘導電動機

などの異物が侵入してファンとの接触を防止するために、一般防爆形で用いているファンカバーの外側に、更に金属製網状の風穴付のカバーを追加した構造としている。

白熱電燈は、燈具が重くなるのをさけるため、安全増防爆形の燈体は、鋼板プレス成形品、耐圧防爆形ではアルミニウム鋳物を用いて軽量化をはかった。

また作業性を考慮して、移動が容易にできるよう、合成樹脂製の把手を設け、また燈具の取付け及び固定に便利な部品も付属している。

ガードは対衝撃性を増すために、直径5mmのステンレス鋼を用い、更にガードの格子目の大きさは一般形のものよりも小さく1/2とした。

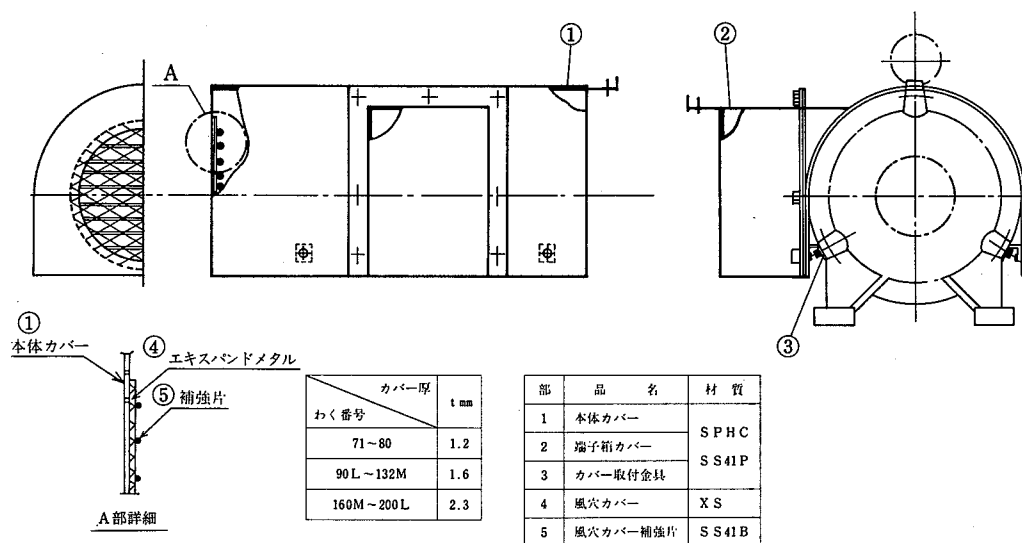


Fig.6.2 Protected cover of motor
電動機保護カバー

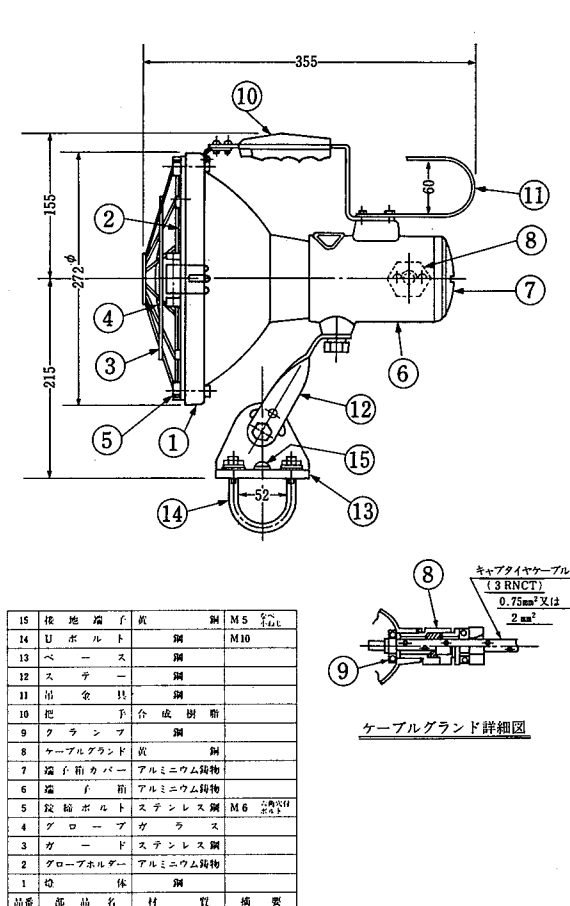


Fig.6.3 An explosion-protected incandescent lamp
(Increased safety type)
安全増防爆構造白熱電燈

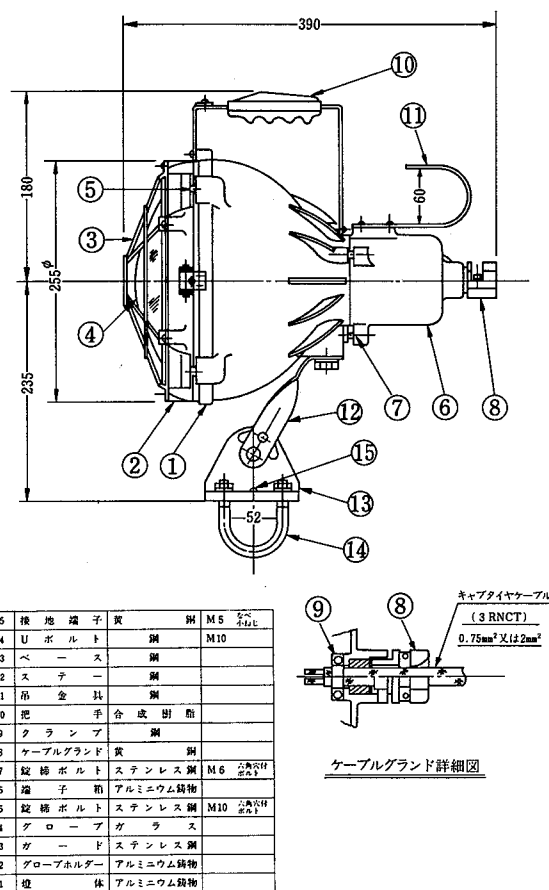


Fig.6.4 An explosion-protected incandescent lamp
(Flameproof type)
耐圧防爆構造白熱電燈

6.6 試験

試作機器の防爆構造は、6.3項に記述したとおり当研究所の技術指針（ガス蒸気防爆及び粉じん防爆）に準拠している。

したがって、これら試作品に対する防爆性を確認するための試験も同指針の試験方法を準用する。ただしトンネル現場で使用することを考慮し、固有の試験を項目として追加した。

耐圧防爆形及び安全増防爆形に対する試験の種類と適用は **Table 6.2** のとおりであり、試験内容及び判定については以下に述べるとおりとする。

Table 6.2 Test for explosion-protected electrical apparatus (Flameproof or increased safety)

耐圧、安全増防爆構造に対する試験の適用

試験の種類	耐圧防爆構造	安全増防爆構造
構造検査	○	○
爆発試験	○	—
温度試験	○	○
鋼球落下試験	○	○
重錘落下試験	○※	○※
落下試験	○	○
引張試験	○※※	○※※
散水試験	○	○
防じん試験	○※	○※
絶縁巻線耐湿試験	○※	○※

注 1) ※印が付いた試験は特にトンネル現場用として追加している項目

2) ※※印が付いた試験は試験内容について一般防爆形に比べ一部増強している。

(1) 爆発試験

耐圧防爆構造の電気機器は、内部爆発に対する強度を確認するための爆発強度試験及び火炎逸走に対する防爆性能を確認するための爆発引火試験を行ない、これに合格しなければならない。

(a) 爆発強度試験

i) 耐圧防爆構造の電気機器は、その内容積が 2 cm^3 を超え 100 cm^3 以下は 8 kgf/cm^2 、 100 cm^3 を超えるものについては 10 kgf/cm^2 の圧力が容器の内部に得られるような混合気体を満たして点火爆

発させ、爆発圧力に対する強度を調べる。

ii) 容器のスキのために試験の実施が困難な場合は、そのスキを仮に閉鎖することができる。

iii) 試験は10回繰り返し行ない、試験の結果、容器に破損を生じ又は実用上支障がある変形を生じてはならない。

(b) 爆発引火試験

耐圧防爆構造の電気機器は、対象とする爆発性ガスの爆発等級に従って、容器内部及び外部に試験ガスを満たし、容器内部で点火爆発させて火炎逸走の有無を調らべる。

トンネル作業用電気機器の対象とする爆発性ガスはメタンで、指針による分類によれば、爆発等級1のグループになる。指針の試験方法にしたがって火炎逸走の確認試験を実施する場合、試験に用いるガスは水素濃度 $57\sim 60\text{ Vol}\%$ 残りは空気による混合気体の組成で試験を15回繰り返し行ない、1回でも火炎逸走してはならない。

(2) 温度試験

防爆構造の電気機器は、正規の取付状態で、定格周波数、定格電圧の定格負荷における温度上昇試験を行ない、それぞれ次に述べる温度上昇限度を超えないことを確認する。

耐圧防爆形の場合は、容器外面の温度上昇限度 320°C とする。安全増防爆形の場合は爆発性ガスに触れるおそれのあるすべての個所の温度上昇限度は 320°C 、絶縁巻線はそれぞれの電気機器の一般規格で定められた値より 10°C 低い値とする。

又、安全増防爆形のかご形回転子巻線を有する電動機については上記の温度試験のほか、拘束時の温度上昇試験も実施する。

(3) 鋼球落下試験

(a) 照明器具のランプ保護カバーは、これを器具に取り付けた状態において衝撃点を持つ面を水平に保持し、**Table 6.3** により鋼球をその最も弱いと思われる部分に落とし、防爆性の保持に支障を及ぼす程度のきれつ又は破損を生じてはならない。

(b) 透明窓の透明板は、これを透明窓に取り付けた状態で水平に保持し、**Table 6.4** により鋼球をその最も弱いと思われる部分に落とし防爆性の保持に支障を及ぼす程度のきれつ又は破損を生じてはならない。

(4) 重錘落下試験

Table 6.3 Test for protection cover of lamp by use of falling steel ball.

照明器具のランプ保護カバーの鋼球落下試験

防爆構造の種類	ランプ保護カバーの種類	鋼球の質量 g	落下高さ cm
耐 圧	グローブ	95 (直径28.6mm)	100
	円筒状ガラス	50 (直径23.0mm)	100
	強化グローブ 強化板ガラス	200(直径36.5mm)	200
安全増	グローブ	50 (直径23.0mm)	100
	円筒状ガラス 板ガラス		
	強化グローブ 強化板ガラス	200(直径36.5mm)	200
	ガラス以外のもの	151(直径33.3mm)	100

Table 6.4 Test for transparent plate of inspection window by use of falling steel ball
透明窓の透明板の鋼球落下試験

防爆構造の種類	鋼球の重量 g	落下高さ cm
耐 圧	200 (直径36.5mm)	200
安全増	95 (直径28.6mm)	100

電気機器の容器、保護カバー類、照明器具のガード、導線引込部は、これらを正規に取り付けた状態において100cm及び150cmの高さより1000gの重錘を最も弱いと思われる部分に落とし、防爆性の保持に支障を及ぼす程度のきれつ又は破損を生じてはならない。

(5) 落下試験

移動形又は可搬形の照明器具は、ランプ保護カバーを下にした姿勢で、150cmの高さからコンクリート床上に置いた厚さ5cmの木板の上に3回落下させ、破損又は実用上支障がある変形を生じてはならない。

(6) 引張試験

電気機器の外部導線引込部は、電気機器を固定し、ケーブルランプを締め付けた状態において、導線に20kgfの張力を加え、導線のずれを生じてはならない。

(7) 防じん試験

Fig. 6.5 に示す防じん試験装置内に供試機器を正規

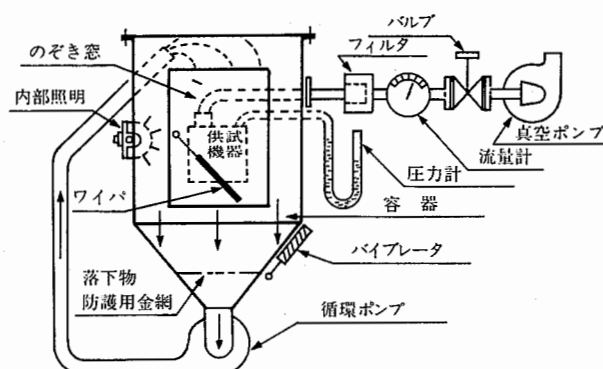


Fig.6.5 Test equipment against dust protection

防じん試験装置

の状態に取付け、200メッシュのふるいを通るタルク粉を1m³当り2kgの割合で供試機器の周囲に連続して浮遊させ、機器内部の圧力を周囲の圧力より(水柱200mm以上)低く保持して、次の試験を行なう。

なお、この試験は、通電しないで行なうものとする。

(a) 機器の内容積の100倍の空気が2時間以内で機器から吸出されれば、そこで試験を終了する。

(b) 機器の内容積の100倍の空気が2時間以内で機器から吸出されない場合は、この体積の空気が吸出されるまで試験を行なう。ただし8時間以上の試験を行なう必要はない。

試験の結果、機器内部に正常の動作を阻害するようなタルク粉がないこと。

(8) 絶縁巻線耐湿試験

電動機の絶縁巻線の耐湿試験は、トンネル現場での使用状態を想定し、次のようなヒートサイクルテストによる絶縁性能を調らべる。

絶縁巻線の許容最高温度近くまで通電(通電時間約2時間)により加熱し、つぎに大気中で約1時間自然冷却した後、相対湿度100%のふん囲気に約4時間放置するのを1サイクルとし、これを10サイクル繰返した後、巻線の絶縁抵抗を測定する。

試験の結果、巻線の絶縁抵抗は10MΩ以上の値を保持するものとする。

6.7 試験結果と考察

試作品に対し6.6項に示したすべての試験を実施した。その結果、期待どおりの結果が得られ、特に再検討を必要のないものについては試験結果と考察を省略し、

更に若干の検討を加える必要のあるもののみについて考察をしてみる。

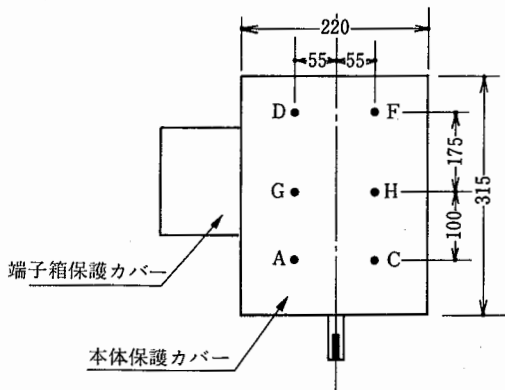
重錘落下試験

電動機本体、端子箱保護カバに対し、重錘落下試験を実施した。

まず最初は電動機本体カバが角形のもので、板の厚さ1.0mmと1.6mmの2種類について、重錘の質量1000gで落下高さ100cmと150cmにより保護カバの落下点の変形量を調べた結果はTable 6.5及びTable 6.6のとおりであった。

Table 6.5 Test for protection cover of motor by use of falling iron
電動機保護カバの重錘落下試験

落下位置	重錘 g	落下高さ cm	SPCC. t1.0 変形量 mm	SPCC. t1.6 変形量 mm
A点	1000	100	5.0	1.5
C点		150	5.0	2.0
D点		100	2.0	0.8
F点		150	2.5	2.0
G点		100	2.0	1.0
H点		150	3.5	2.0



結果としては板の厚さによる耐衝撃性が比較的大きな差となった。

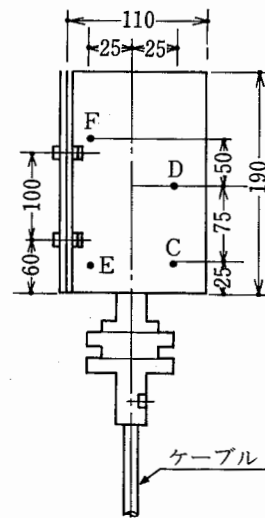
しかし、この場合耐衝撃性は単なる板の厚さのみによるものではなく、保護カバの形状(角形,丸形など)取付脚の太さ,長さ,取付ボルトの大きさ,取付ボルトのピッチ等に関するものと思われる。

そこで、耐撃性を更に向上させるため、上記の内容を検討し、板の厚さを変えると共に本体カバの形状に

Table 6.6 Test for terminal boxes by use of falling iron.

端子箱保護カバ重錘落下試験

落下位置	重錘 g	落下高さ cm	SPP cc. t 1.0	SP cc. t 1.6
			変形量 mm	変形量 mm
C点	1000	100	2.0	0.5
D点			1.7	0.5
E点	1000	150	6.0	3.0
F点			3.5	2.5



ついては丸形とし、取付ボルト関係についても改良を加えた構造のものに重錘落下試験を行なった結果はTable 6.7に示すとおりとなった。

板の厚さ1.6mmで角形と丸形を比較するとカバの取付ボルト関係及び形状の相違が変形量の結果に差を生じているものと思われる。

又板の厚さ2.3mmで丸形のカバでは変形量は非常に小さく、実用的にも十分良好の結果が得られた。

これに対し、金属製網状(エキスパンドメタル)風穴カバはかなり大きく変形している。したがって、網の裏側に補強材を更に細かくするかまたはエキスパンド自身の材質その他について検討を加える必要がある。

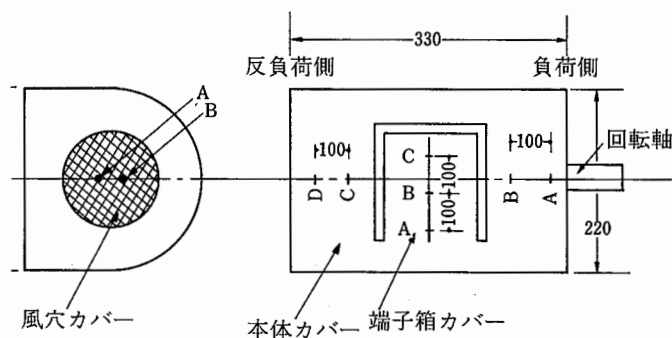
照明器具の場合、ガード、燈体(ランプ保護カバを除く)及び外部導線引込部に対し、重錘落下試験を実施した結果はTable 6.8のとおりであった。

アルミ鋳物製ガードは現在工場用防爆形で使用しているものに対し、重錘の質量1000gで落下高さ70cmより落した場合、落下点の内側よりキレツが入ってし

Table 6.7 Test for protection cover of motor by use of falling iron

電動機保護カバの重錘落下試験

落下位置	重錘 g	落下 高さ cm	SPCC. t1.6	SPCC. t2.3	
			変形量mm	変形量mm	
本体カバー	1000	150	A	0.7	0.3
			B	1.3	0.5
			C	1.5	1.0
			D	1.7	0.7
端子箱カバー	1000	150	A	5.0	0.7
			B	3.5	0.5
			C	2.0	0.5
風穴カバー (キスバンドメタル)	1000	150	A	20.0	20.0
			B	20.0	22.0



まった。落下高さ 100cm では更にキレツが大きくなり実用的には使用不可となった。

これに対して直径 4mm のステンレス棒で、棒と棒との交点が溶接されたガード (格子目の大きさ 4000mm² と 2000mm²) は重錘の質量 1000g、落下高さ 100cm より落下しても、丸棒自身変形は生ずるが、アルミ鋳物製のようにキレツは入らなかった。

格子目の大きさ 4000mm² と 2000mm² では格子目の小さい方が外部からの衝撃に対して丈夫で変形量も少ない。

又、格子目の大きさをこの程度まで小さくしても、光源からの光の透過性は実的にみてほとんど問題はないものと考えられる。以上の結果より、照明器具の保護ガードの材質はステンレス棒で 4mm または 5mm の直径のもので、格子目の大きさは 2000mm² 以下とすることにした。

又燈体及び外部導線引込部について、重錘の質量 1000g、落下高さ 100cm で試験を実施した結果、燈体については若干の変形が生じたものの実用上有害なも

のとは考えられなかった。

落下試験

耐圧防爆形の照明器具について、ランプ保護カバを下にした姿勢で 150cm の高さからコンクリート床上に置いた厚さ 5cm の木板の上に 3 回落下させ、機器の破損等について調べた。

最初に直径 4mm のステンレス棒で作ったガード (格子目の大きさ 4000mm²) 付の耐圧防爆形で落下試験したところ最も弱い部分のガードでも破壊まではしていないが、ガードの一部がランプ保護カバに接触するところまで変形しており実用的には不都合となった。

次に同じステンレス棒で直径 5mm で格子目の大きさ 2000mm² に小さくしたガードの構造に改良して同様の試験を行なった結果、ガードの変形量も少なく、防爆性に支障をきたさず変形ではなかった。

引張試験

外部導線引込部のケーブルクランプに対する引張試験を防爆指針に準拠して行なった。ただしケーブル引張力は指針に定めた値より 5kgf 大きくして 20kgf に耐えられるかどうかについて試験を行なった。

まず最初に工場用防爆形に用いている構造のものについて 15kgf の引張力を加えた結果、異常はなかった。

引続き 20kgf にして行なったところ、ケーブルのズレを生じ不都合な状態となってしまった。つぎに同じ機能のクランプを 1 個追加し合計 2 ヶ所で固定した構造に改良した構造のものでは、20kgf の引張力を加えてもケーブルのズレもなく防爆性に影響をおよぼすことはなかった。

6.8 トンネル現場用照明器具に対する使用後の実態調査等について

トンネル現場用として、6.7 項までに記述した検討結果及び試験結果を踏えて製作した、耐圧防爆形及び安全増防爆形の白熱電燈を三個所のトンネル現場で使用してもらい使用した結果の問題点と改良点についての実態調査を行なった。

これらをまとめたものが Table 6.9 のとおりである。なお、トンネル現場に試用した照明器具は、Fig. 6.3 に示した安全増防爆形 2 個及び Fig. 6.4 に示した耐圧防爆形 1 個である。

Fig. 6.6 及び Fig. 6.7 は、トンネル現場において使用中の供試品を示したものである。

意見の要約と考えられる改良手段について以下に記述する。

調査項目1については、1)の把手は良好な結果となっているが、2)の器具の重さについては、耐圧防爆形では、やや重いという回答になっているが、これは耐圧防爆性を維持するためには、燈体をはじめすべての部分で肉厚となるため、この程度の重さはやむをえな

いのではないかと考えている。

この耐圧防爆形に比べ安全増防爆形の器具の重さについては特に問題はないようである。

調査項目2の器具の固定については 1) 及び 2) 項ではUボルトを用いて器具を固定することについて調査したところ、Table 6.9の意見にあるようにトンネル現場ではUボルトを使用して支持する物材がないこ

Table.6.8 Test for guard of incandescent lamp by use of falling iron
白熱電燈のガードに対する重錘落下試験

アルミ鋳物製ガードの場合				
落下位置	重錘 g	落下高さ cm	試験個数	
			キレツあり	キレツなし
A	1000	50	0	2
		70	2	3
		100	1	0

ステンレス製丸棒(4mmφ)ガードの場合					
格子目の大きさ mm ²	落下位置	重錘 g	落下高さ cm	試験個数 個	変形量mm 最小~最大
4000	B	1000	100	8	2~7
2000	C			4	3.4~5.5
	D			2	2~3.7

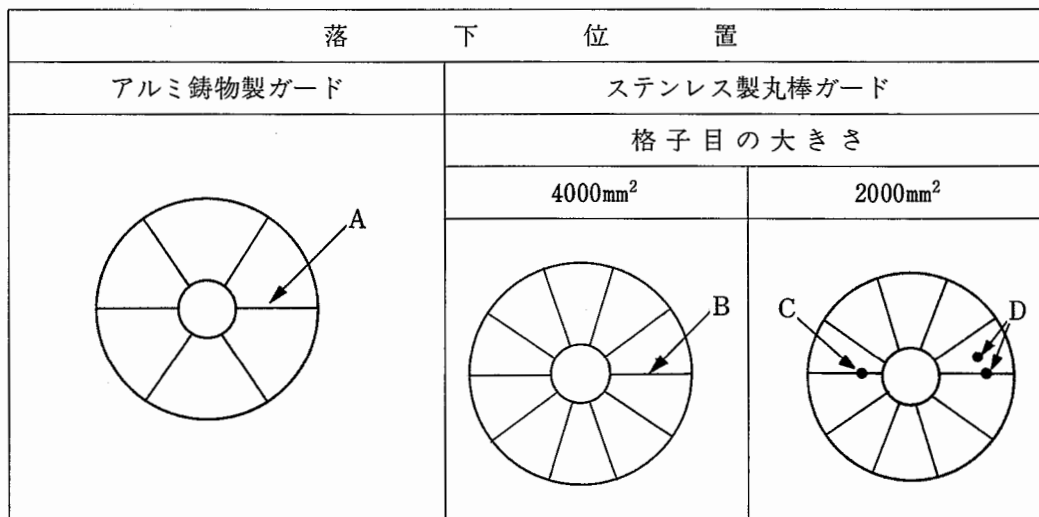


Table 6.9 Investigation results and proposals for explosion-protected lamp after using.

防爆形照明器具に対する使用後の実態調査並びに意見

調査項目	回	答	改良についての意見
1.移動する場合について 1) 把手の大きさ、形状及び取付位置は本品で良いですか	良 い	3	特になし
	改良を要する	0	
2) 本器具は付属品等の関係で重くなっておりませんが、移動する際問題ありませんか	耐圧防爆、器具質量 10.5kg 問題なし 2 重すぎる 1 安全増防爆形、器具重量 6.5kg 問題なし 3 重すぎる 0		特になし
2.器具の固定について 1) パイプ等に取付けるためのUボルトは適当ですか	良 い	0	トンネル支保工間の径間パイプに取付ける形式よりも、支保工(H形鋼)に固定するものが良いと思う(例えば万力のようなもの)。
	改良を要する	3	
2) Uボルトをはずしボルトで固定する方法は適当ですか	良 い	0	移動用として使用するので、工具を用いる着脱方式はトンネル現場向きでない。
	改良を要する	3	
3) 吊下げ用の金具は適当ですか	良 い	0	吊下げ金具自体がちょう板のように可動するようにしないと、パイプに下げた場合、燈具が矢板に当り取付不可になることがある。現在の金具よりも長くて、燈具の引込口よりも、曲りの部分をだすようにする。
	改良を要する	3	
4) 取付ける際重さが問題になりますか	耐圧防爆形 良 い 1 重すぎる 2 安全増防爆形 良 い 3 重すぎる 0		固定する際に工具(モンキスパナ等)を使用しなくともよいものが、トンネル現場用としてよい。ちょうねじ等を利用した取付金具がよい。
3.光源について 1) 光源はどれが適当と思われますか	白熱ランプ 3 水銀ランプ 2 けい光ランプ 0		特になし
2) 本器具は白熱ランプ 200W ですが明るさは適当ですか	明 りい 3 暗 い 2		200 W でも反射板が有効なので従来使用していたものより明るく感ずる。投光器タイプなので200 Wとしては、まあまあの明るさである。
4.ケーブルについて 1) 導体の太さは0.75mm ² と2.0mm ² を付属しましたがどちらが適当ですか	0.75mm ² 2 2.0mm ² 1		特になし
2) どのくらいの長さで使われますか	10~15m 2 30m 1		特になし
3) 移動する際ケーブルはどのようにしていますか	器具に取付けたケーブルを丸く束ねて切羽付近に吊下げておき必要な長さを解いて器具を移動する。		特になし
4) 引込口は耐圧防爆形が後方向安全増防爆形は横方向ですがどちらを希望しますか	後方向 3 横方向 0		引込口から最底5~10mのケーブルが必要
5. 本器具はトンネル内のどのような場所で使用されますか	耐圧防爆形安全増防爆形ともに 切羽付近(掘削箇所) コンクリート打設場所 コンクリート型枠内		特になし
6. その他、本器具を使つての意見			1) ガードがステンレス鋼なので破損しにくくて良いと思います。 2) コンクリート打設場所で使用した場合にガラスに汚れが付着しますので、その清掃が容易にできるように、ガードの着脱を工具を使用せずにできる構造とすること。 3) 現在作業しているトンネルは小さな断面のものにかかわらず500 Wの投光器形を使用していたため、取付場所がせまいため他の機械と接触して破損が多かった。本器具を使用してから破損もなく、明るさも十分なので引き続き使用したい。



Fig.6.6 Explosion-protected incandescent lamp (Increased safety type) in using
 使用中の安全増防爆形白熱電燈

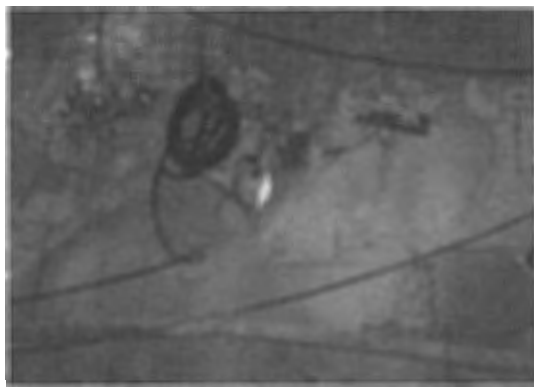


Fig.6.7 Explosion-protected incandescent lamp (Flameproof type) in using
 使用中の耐圧防爆形白熱電燈

と及び移動用として使用するの器具を着脱する際に工具を用いる構造のものは作業者が使用しなくなるなどから考えて、この方式による器具の固定は根本的に再検討を要する必要がある。

3) 吊下げ用の金具については Table 6.9 の意見のように種々不便さがあるので、つぎのような改良が考えられる。

現在把手と吊下げ金具は共通の締め付けねじで固定している構造をそれぞれ別々に固定する構造とする。

つぎに、締め付けねじはドライバを用いる構造をちょうねじに改める。現在吊下金具は1個所に固定した構造となっているが、現在吊下げ金具が取付けてある個所と反対側のところに吊下げ金具が取付けられる座を設け、必要に応じて、ここに位置変えができる構造とする。

また吊下金具取付用座を新たに設けた個所のガード

寄りの燈体に金具を設け、金属製の棒その他を用いて任意に投光角度を設定することができる構造とする。

調査項目4 ケーブルについて

4) ケーブルの引込口の方向について調査したところ Fig. 6.6 (ケーブル引込口横方向) 及び Fig. 6.7 (ケーブルの引込口後方向) の使用中の状況で明らかなように、後方向からケーブルを引込む構造のほうが配線しやすく、また作業性がよいため、この点についても再検討を要する。

調査項目6 その他本器具に対する意見

トンネル現場のうち特にコンクリート打設場所で使用する器具は汚れがひどく、ときどきランプ保護カバ(ガラス製)を清掃する必要がある。

現在の器具はガードの締め付けねじをドライバを用いてゆるめて取外さなければランプ保護カバを清掃できない構造となっている。

そこでこの点をつぎのように改良することが考えられる。すなわち、工具を用いずにガードの着脱ができるよう、ちょうねじを用いる構造と固定ねじ4本を2本にへらすこと並びにちょうねじ1本をゆるめるだけでガードが開くことができるようにする。この状態で保護カバを清掃することができる。

なお、ちょうねじは取付穴から脱落しないように脱落防止ワッシャをつける。

防爆性保持のために使用している締め付けねじは錠締構造がほどこされている。(ランプ交換の際にゆるめる必要のあるねじ)

このねじの着脱に用いる工具は特殊なものなので器具の付属品となっている。

この錠締工具を使用中紛失しないように金属製くさり又は紐などにつけて燈体のじゃまにならないところにつけるようにする。

6.9 むすび

本研究は、トンネル固有の環境下の建設現場で使用する防爆構造の電気機器の開発について行なった。

研究に先立って二・三のトンネル現場の作業方式、環境条件、使用している主なる電気機器の種類などについて実態調査を行なった。

ついで実態調査結果を踏えて、環境に対する条件、作業に対する条件及び耐衝撃に対する条件等トンネル固有の条件を十分考慮に入れてトンネル現場用電気機

器の防爆構造（耐圧防爆構造及び安全増防爆構造）の基本構想を作成した。

この基本構想にもとづいた構造規格に適合した電動機及び白熱電燈を試作し、防爆性を確認するための各試験を行なった。

又試作した機器のうち、白熱電燈（耐圧防爆構造及び安全増防爆構造）については、メタンの湧出するおそれのある3つのトンネル現場で約2ヵ月間実際に使用してもらい、当所で用意した調査事項に対する回答並びに改良に関する意見を提出してもらった。

試作した電動機及び白熱電燈に対する各試験は、6.7項の試験結果と考察に示したように、初年度の試作品は耐衝撃性について不備の点があったが、これらの点を検討し改良を加えて2年目に試作したものは、満足する結果が得られ、十分防爆性を有するものと判断できた。

つぎに白熱電燈の使用後の調査事項の回答及び意見について6.8項に示したとおりである。

この調査事項及び意見そのものは機器の防爆性には関係がなく主に作業性に関することからであるが、トンネル現場で使用した結果の直接の意見であり、非常に貴重なものなので今後の研究に大いに反映させたいと考えている。

終りにこの研究を実施するに当り多忙にもかかわらず実験に協力していただいた(社)産業安全技術協会の沢田望氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 産業安全研究所技術指針，工場電気設備防爆指針（ガス蒸気防爆 1979）
- 2) 産業安全研究所技術指針，工場電気設備防爆指針（粉じん防爆 1976）