

第4章 雷害対策

水管理制御システムに使用される機器は電子化、IC化が図られ、雷サージに対する絶縁強度が低くなっており、その防護対策が重要となっている。本章では雷サージから機器の破損等の被害（雷害）を防ぐための雷害対策方法を示す。

4.1 雷の発生

4.1.1 雷雲の発生と種類

雷現象のもととなる雷雲は、強力な高湿度の上昇気流が上空の低温領域で生成される積乱雲であり季節や気象条件により発生し、夏季雷（熱雷）、界雷、冬季雷などに分類される。

なお、夏季及び冬季の雷雲の発生メカニズムを図4.1-1に示す。

(1) 夏季雷（熱雷）

夏季雷（熱雷）は、夏季の強い陽射しにより発生する高湿度の上昇気流が、上空の低温領域（ -20°C ～ -30°C ）で積乱雲となり、その内部の氷粒（ひょうやあられ）や氷晶の衝突による電荷発生が、雷発生の最初の要因である。比較的低温度で軽い氷晶に帯電した正電荷は上昇気流により雲上方に分布し、比較的高温度で重い氷粒（ひょうやあられ）に帯電した負電荷は質量により雲の下方に多く分布する。夏季雷は、雲の下部（雲底）は地上高2～3kmで比較的高い位置があり、この雲底に分布している負電荷が大地との間で放電するのが落雷であり、夏季雷の約90%は負極性の落雷であるといわれている。

(2) 界 雷

界雷は、寒冷前線又は温暖前線のような、温暖な気流の塊（気団）と寒冷な気団との境界で生じる激しい上昇気流によって発生する。どちらの前線の場合でも、湿った暖かい気団が上方に押し上げられて雷雲を発生させる。界雷は雲底が数百メートルと比較的低い位置にあり、前線の移動に伴って広範囲の地域で落雷を発生させ、多くの被害を及ぼすことがある。

(3) 冬季雷

日本海沿岸では、冬季にも多くの雷発生が見られ、年間落雷発生日数のほぼ半数を占めている。

この冬季雷は、日本海を通る対馬暖流から水蒸気が上昇し、相対的に低温度である上空のシベリアからの寒気中で雷雲が発生する。海上で発生したこの雷雲は低い位置にあり、負電荷に帯電した氷粒（ひょうやあられ）は、上昇気流が発達していない状況なので、氷粒の質量により海上にほとんど落下し、陸上では正電荷に帯電した氷晶が多く存在する雷雲と大地との間で放電する。

なお、落雷とは雷雲と大地間の大気が発生する放電で、雷雲間で放電する雲間放電は落雷として扱わない。

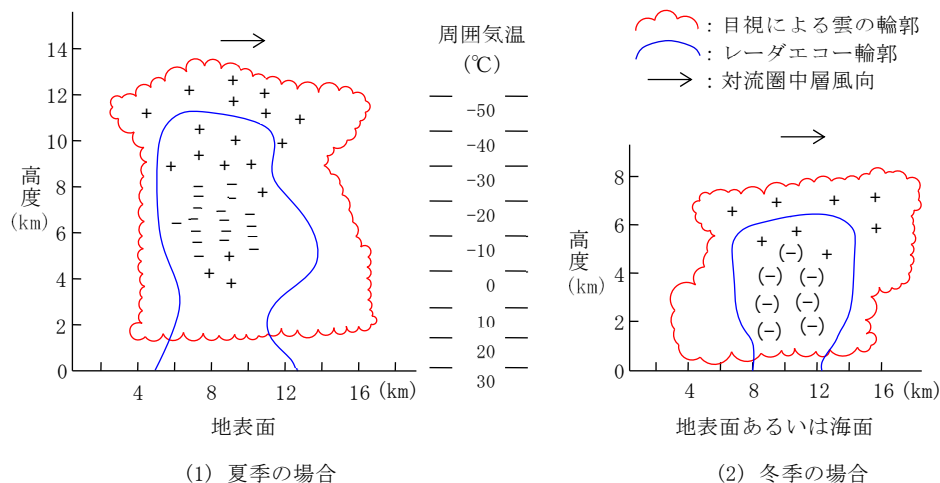


図 4.1-1 雷雲の発生メカニズム

4.1.2 地域別落雷発生日数

その地域の落雷発生日数を予測するには、従来、年間雷雨日数分布図（IKL マップ： IsoKelonic Level Map）用いていたが、ややデータ古く、近年の異常気象を考慮すると、落雷位置評定システム（㈱フランクリン・ジャパンの全国雷観測ネットワーク：JLDN）で観測されたデータに基づく落雷発生日数マップを使用するのが一般的である。

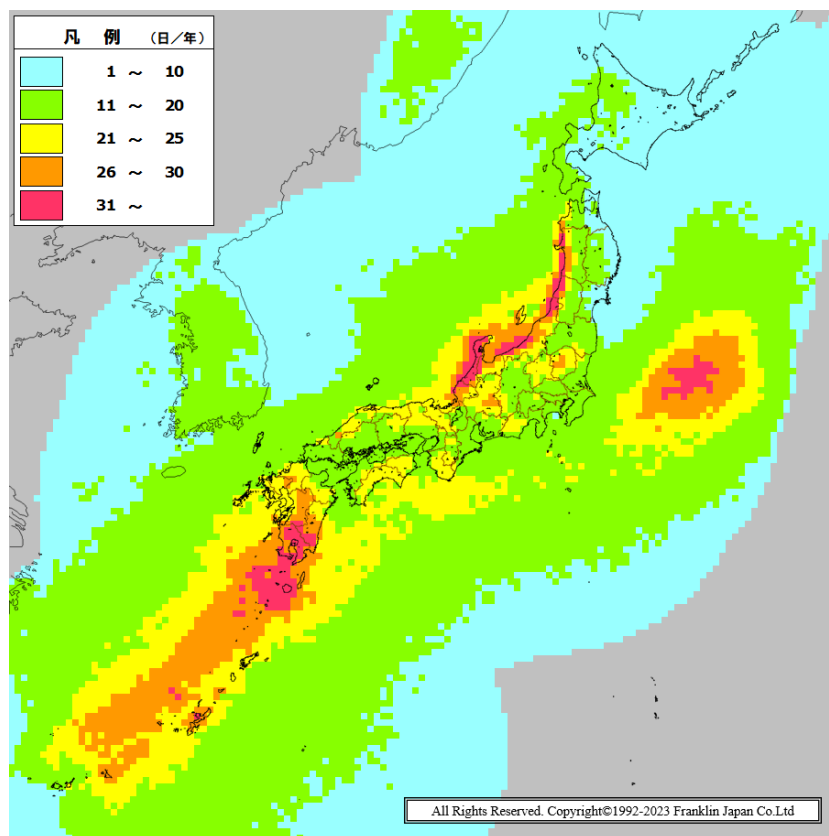


図 4.1-2 年間落雷発生日数マップ (2013~2022 年 10 年間の平均)

4.1.3 雷サージの種類

雷サージは侵入経路により直撃雷と誘導雷に分類される。

(1) 直 撃 雷

直撃雷は、避雷設備（受雷部システムの例：突針など）、建築物、配電線、通信線などに直接落雷するものである。

(2) 誘 導 雷

誘導雷とは、静電誘導雷（雷雲の電荷によって電源線、通信線などに電荷を誘導する現象）と電磁誘導雷（落雷時の放電電流による電磁誘導によって電源線、通信線などに電圧を誘導する現象）の総称である。

(3) 落雷電流と波形

落雷電流の波形をモデル化したものを図 4.1-3 に示す。

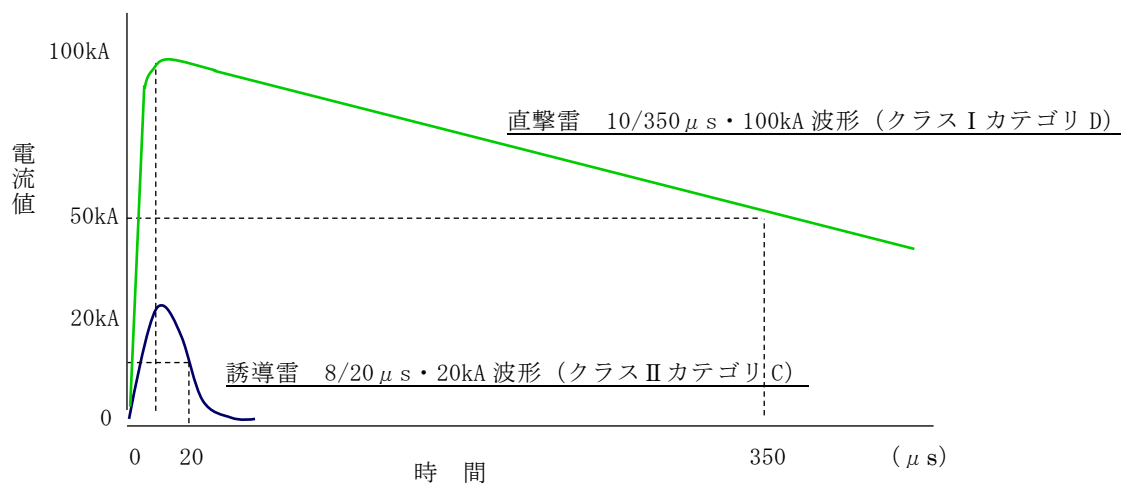


図 4.1-3 落雷雷撃電流の波形モデル

4.2 雷害対策の考え方

雷サージを建築物、水管理制御システム機器、電源線及び通信線に受けた場合、現状の技術では完全に防護することは困難であるため、雷サージからの被害（雷害）を低減させる対策が必要である。

4.2.1 雷害の発生メカニズム

図 4.2-1 に示す建築物には雷保護システムが設置されているので、建築物自体は雷撃を受けず、落雷は受雷部システムの突針が受け、雷電流は突針から引下げ導線システム、接地システムをとおして大地に放流される。その途中で雷電流が建築物内の電気・電子設備を構成する機器に被害を与える。

建築物に落雷しない場合でも、その建築物に引込まれている電源線、通信線などがあると、屋外から雷が原因で雷サージが電源線、通信線を経由して侵入し、建築物内の電気・電子設備を構成する機器に被害を与える。

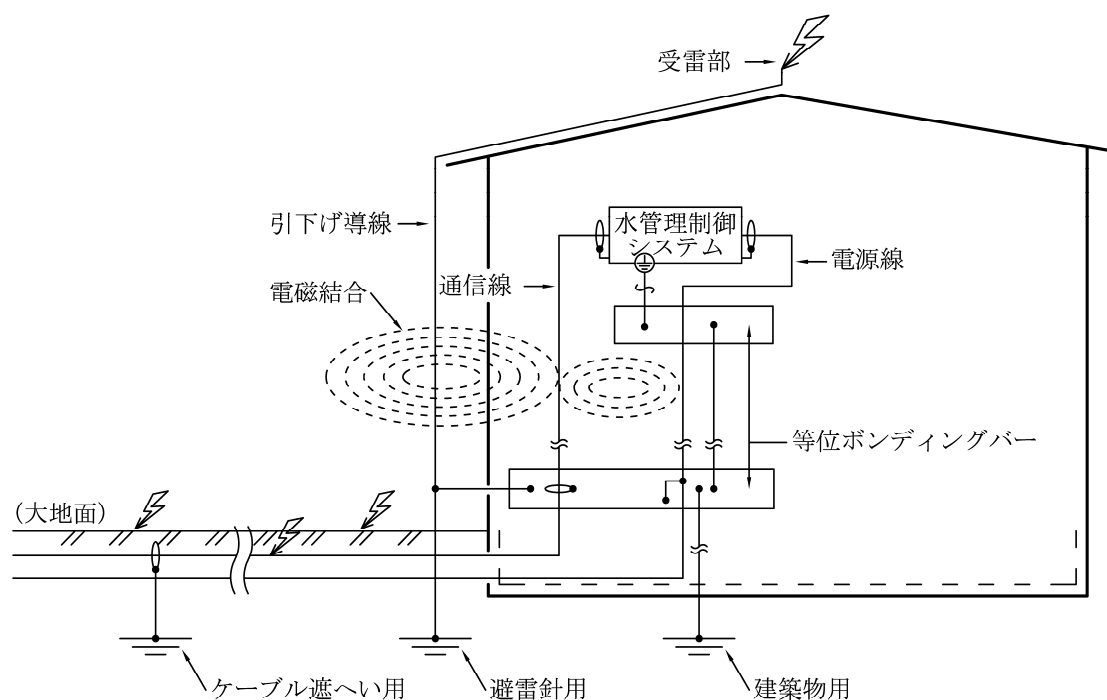


図 4.2-1 落雷と電気・磁氣的結合メカニズム

4.2.2 建築物等の雷保護等

(1) 雷保護システムの設置

建築物等が要求する保護レベルに対応した外部雷保護システム（受雷部（例：突針など）・引下げ導線・接地のシステムで大地に雷電流を放流する）、内部雷保護システム（等電位ボンディング、安全隔離距離の確保）を設置する。

① 保護レベルと保護効率

建築物等の雷保護の保護レベルはⅠ～Ⅳがあり、保護レベルに応じた受雷部の配置について雷害対策設計施工要領（案）・同解説（2019）より表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 保護レベルに応じた受雷部の配置

保護 レベル	回転球体法 R(m)	保護角法 h(m)					メッシュ法幅 (m)
		20	30	45	60	60 超過	
		$\alpha (^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$	
Ⅰ	20	25	*	*	*	*	5
Ⅱ	30	35	25	*	*	*	10
Ⅲ	45	45	35	25	*	*	15
Ⅳ	60	55	45	35	25	*	20
* 回転球体法およびメッシュ法だけを適用する。							

また、雷保護範囲として基本とする回転球体法における保護レベルと保護効率について表 4.2-2 に示す。

なお、保護効率は、保護レベルに応じて受雷部システムが補足できる最小雷撃電流（波高値）と雷撃距離を示しているが、最小雷撃電流より小さい雷撃電流の被保護物への落雷は保護できない確率である。

雷保護範囲は回転球体法が基本であるが、他に保護角法、メッシュ法の 3 つの方法で保護範囲をだすことができる。詳細は JISA4201、2003 を参照。回転球体法および保護角法による保護範囲は、図 4.2-2 に示すとおりである。

表 4.2-2 保護レベルと保護効率など

保護レベル	保護効率	最小雷撃電流 (kA)	最小雷撃距離 (m)	最大雷撃電流 (kA)
Ⅰ	0.98	2.9	20	200
Ⅱ	0.95	5.4	30	150
Ⅲ	0.90	10.1	45	100
Ⅳ	0.80	15.7	60	100

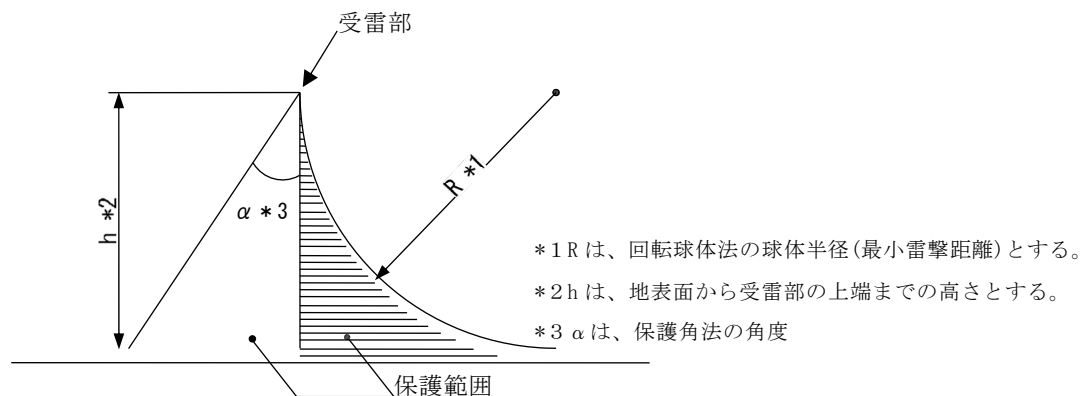


図 4.2-2 最小雷撃距離と保護範囲

表 4.2-1 におけるメッシュ法は、メッシュ導体で覆われた内側を保護範囲とする方法であり、そのメッシュ幅 L は保護レベルに応じて定められている。メッシュ法の保護範囲を図 4.2-3 に示す。

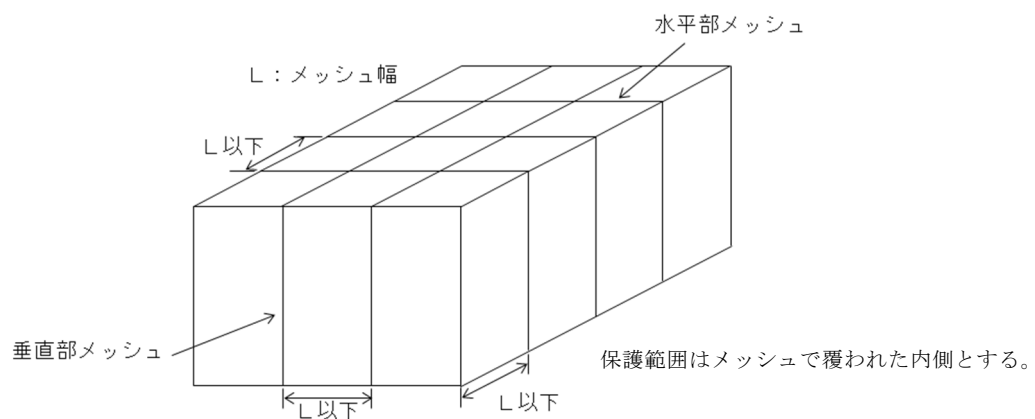


図 4.2-3 メッシュ法の保護範囲

② 接地極の形状と施工

接地極の形状は、A 型接地極（二つ以上の放射状接地極又は垂直接地極）は大地抵抗率が低い場合及び小規模建物用、B 型接地極（環状接地極、基礎接地極、網状接地極）は大規模建物用及び構造体接地極に分類されるが、要求される接地抵抗値、建築物（局舎含む）の設置場所の土質条件（N 値、大地抵抗率）を考慮して選定する。

また、次の事項には十分留意すること。

- (a) 接地極の埋設深さは、0.75m 以上とすること。（電気設備技術基準との整合性を図った。）
- (b) A 型接地極を採用する場合は、「人又は動物に危険を及ぼす区域では特別な措置を講じなければならない。」と規定されている。

(2) 架空地線の設置

架空電線路の上部に架空接地線（亜鉛めっき鋼より線）を架線し、電線への直撃雷を防止する。

4.2.3 建築物内の電気・電子設備の雷サージ保護（雷サージの低減）

(1) 雷保護領域（LPZ）

雷保護領域（LPZ）の定義を建築設備設計基準（令和3年度版）より表4.2-3に示す。

表 4.2-3 雷保護領域（LPZ）の定義

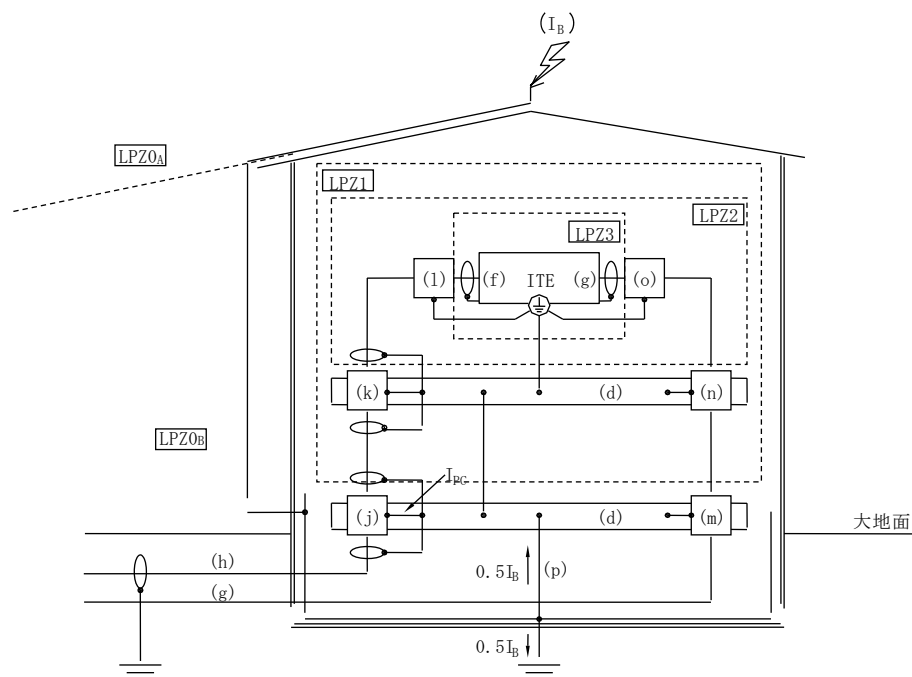
雷保護領域（LPZ）	雷保護領域の定義
LPZ0 _A	外部雷保護の保護範囲外の屋外で、対象物が直撃雷を受けた場合に、直撃雷の全雷電流が流れる可能性のある領域
LPZ 0 _B	外部雷保護の保護範囲内の屋外で、対象物は直撃雷を受けないが、直撃雷電流による減衰しない雷電流による磁界の影響を受ける可能性がある領域
LPZ 1	外部雷保護の保護範囲内の屋内で、SPD 及び空間遮蔽等により、雷サージ電流及び電磁界の影響が減少する領域
LPZ 2	外部雷保護の保護範囲内の屋内で、雷サージ電流及び電磁界の影響を、LPZ1 よりさらに減少させる必要がある場合に設定する領域

（第Ⅱ編第4章及び第Ⅲ編第9章の雷害対策においては、アレスタ・保安器・耐雷トランス等を総称して SPD と記載する。）

(2) SPD 等の設置

雷保護領域 (LPZ) に設置する電源用 SPD、通信用 SPD 及び等電位ボンディングの設置構成を図 4.2-4 に示す。

※ SPD (Surge Protective Device) は、アレスタ又は避雷器ともいう。



- (d) 雷保護領域 (LPZ) の境界の等電位ボンディング用バー (EBB)
 (f) 情報技術又は通信線
 (g) 電源線
 (h) 情報技術又は通信もしくはネットワーク
 I_{PC} 雷電流の部分的なサージ電流
 I_B 直撃雷電流。異なる結合経路を通して、建築物内部で部分的な雷電流 I_{PC} を引き起こす。
 (j) (k) (l) JIS C 5381-21 のカテゴリ試験に従った SPD
 (m) (n) (o) JIS C 5381-11 のクラス試験に従った SPD
 (p) 接地導体
 LPZ0A ……3 JIS Z 9290-4 に従った雷保護領域 0A ……3

図 4.2-4 SPD 等の設置構成

(3) 電源用 SPD の電圧防護レベル

SPD の端子間に発生する制限電圧の最大値として、電源用 SPD では公称放電電流印加時に発生する電圧 (電圧防護レベル) を建築設備設計基準 (令和 3 年度版) より引用し表 4.2-4 に示す。

表 4.2-4 電圧防護レベルの例

雷保護領域 (LPZ)	低圧用 SPD のクラス		電圧防護レベル	
			最大連続使用電圧 220V 以上	最大連続使用電圧 440V 以上
LPZ0A	LPZ0A および LPZ0B と LPZ1 の境界	クラス I、II	2.5kV 以下	4.0kV 以下
LPZ0B				
LPZ1	LPZ1 と LPZ2 の境界	クラス II	1.5kV 以下	2.5kV 以下
LPZ2				

(4) 通信・信号用 SPD のインパルス制限電圧

通信・信号用 SPD の電圧制限試験のうち、一般的に使用されるカテゴリ（C、D）のインパルス制限電圧に対する電圧及び電流波形を表 4.2-5 に示す。

表 4.2-5 インパルス制限電圧に対する電圧及び電流波形

カテゴリ	試験の種類	開放回路電圧 *1	短絡回路電流	最小印加回数	試験する端子
C1	速い上昇率	0.5kV ～ 2kV 未満 1.2/50	0.25KA ～ 1KA 未満 8/20	300	X1-C X2-C X1-X2 *2
C2		2kV ～ 10kV 1.2/50	1KA ～ 5KA 8/20	10	
C3		≥ 1kV 1kV/μs	10A ～ 100A 10/1000	300	
D1	高いエネルギー	≥ 1kV	0.5KA ～ 2.5KA 10/350	2	
D2		≥ 1kV	0.6KA ～ 2.0KA 10/250	5	

*1 1KV と異なる開放回路電圧を使用するが、試験中の SPD を動作させるのに十分な電圧でなければならない。
*2 X1-X2 端子は、要求がある場合は試験しなければならない。

4.2.4 その他の対策

(1) 光ファイバケーブルの使用

通信・信号線に光ファイバケーブルを使用することで心線は無誘導となるが、一般的な構造としてテンションメンバ及びシースにメタリックを使用するため、雷サージの影響が残る。解消する方法としてメタリックケーブルの場合は、接地することにより雷サージは低減されるが、より有効な方法としてテンションメンバを FRP 製又は PE シース構造などのノンメタリックケーブルを用いることが有効である。ただし、ノンメタリックケーブルで十分な敷設許容張力を得るためには、許容曲げ半径が大きくなり、ハンドホールが大きくなるなど敷設作業に手間が増大するなどのデメリットを有するため、価格と張力については検討を要する。

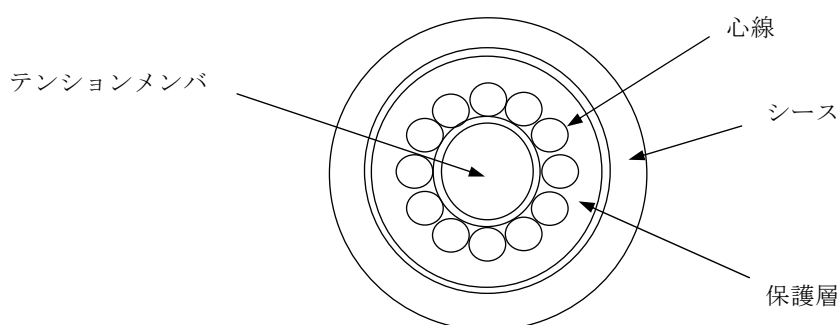


図 4.2-5 光ケーブルの構造（例）

(2) 接地抵抗の低減

雷電流を大地に放流するためには接地抵抗が低いほど効果がある。低圧用の SPD 及び通信・信号用 SPD の接地抵抗値は一般に D 種（100Ω 以下）であるが、できるだけ 10Ω 以下にすることが雷害対策として望ましい。

(3) 被保護機器の耐電圧性能

被保護機器のインパルス耐電圧値が規格で規定されていないことから、メーカーからほとんど耐電圧性能が公表されていない。このため電源用 SPD 及び通信・信号用 SPD の選定に当たっては、各機器の耐電圧試験にて印加する電圧以下とするなど、被保護機器の耐電圧性能に留意して選定する。

選定においては、雷害対策 雷害対策設計ガイド（2016）や建築設備設計基準（令和3年度版）を参照の上検討する。

(4) 耐雷トランスの保護効果

SPD の性能（応答速度の高速化（数 ns））が向上しているが、SPD の保護協調、直撃雷からの逆流防止効果及び誘導雷の防止効果から耐雷トランスの保護効果が高い場合がある。

4.3 SPD の機能と種類

4.3.1 SPD の機能

SPD は、侵入した雷サージを分流させて電圧を制限することで、被保護機器を過電圧破壊から保護するものであり、下記の性能を有することが条件となる。

- (1) 通常使用時（サージがない場合）に SPD は、これを適用するシステムに有害な影響を与えてはならない。
- (2) サージが発生した場合に SPD は、そのサージに応答し、SPD のインピーダンスを低下させサージ電流を接地側に流し、電圧を機器のインパルス耐電圧以下に制限する。
- (3) サージ発生後の場合（動作後）に SPD は、サージが去った後、高インピーダンス状態に復帰し、連続使用電圧に耐えなければならない。

4.3.2 SPD の種類

(1) 電源用 SPD

電源用 SPD の種類と動作特性及び使用素子例を表 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 電源用 SPD の種類と動作特性など

種 類	動作特性	使用素子例
電圧スイッチング形	サージを印加していない場合は高いインピーダンスであるが、電圧サージに 応答して瞬間にインピーダンスが低くなる。	エアギャップ、ガス入り放電管（GDT）、サージ防護サイリスタ（TSS）
電圧制限形	サージを印加していない場合は高いインピーダンスであるが、サージ電流及び電圧が増加するに従い連続的にインピーダンスが低くなる。	金属酸化物バリスタ（MOV）、シリコン半導体（ABD など）
複合形	電圧スイッチング形の素子及び電圧制限形の素子の両方の動作特性をもつものである。	ガス入り放電管（GDT）、サージ防護サイリスタ（TSS）、金属酸化物バリスタ（MOV）、シリコン半導体（ABD など）

(2) 通信・信号用 SPD

通信・信号用 SPD の分類と動作特性及び使用素子例を表 4.3-2 に示す。

表 4.3-2 通信・信号用 SPD の分類と動作特性など

分 類		動作特性	使用素子例
電圧制限デバイス	電圧クランピング形デバイス (電圧制限形デバイス)	負荷と並列に接続し、電流を分流（低インピーダンス経路を形成）することで、過電圧を制限する。	金属酸化物バリスタ (MOV)、シリコン半導体 (ABD など)
	電圧スイッチング形デバイス	負荷と並列に接続し、電流を分流（低インピーダンス経路を形成）することで、過電圧を制限する。	エアギャップ、ガス入り放電管 (GDT)、サージ防護サイリスタ (TSS)
電流制限デバイス	電流遮断デバイス	回路と直列に接続し、過電流が起こると電流を遮断し回路をオープンにする。	ヒューズ抵抗、温度ヒューズ、ヒューズ
	電流低減デバイス	回路と直列に接続し、過電流状態では素子の抵抗が増加し電流を低減する。	ポリマ PTC、セラミック PTC、電子式電流制限器
	電流分流デバイス	デバイスの温度上昇又は負荷電流検出によって、負荷間を短絡し分流する。	ヒートコイル、電流動作形ゲート付きサイリスタ、温度スイッチ

4.3.3 SPD の動作特性

電源用 SPD の動作特性を図 4.3-1 に示す。

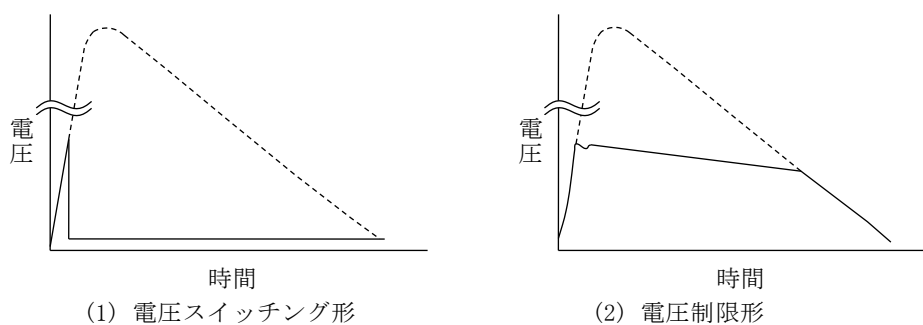


図 4.3-1 SPD の動作特性

4.3.4 各種 SPD の外観形状

(1) 電源用クラス I



1 線用



1 線用

(2) 電源用クラス II



三相 3 線用



単三相 3 線用



単相 2 線用

(3) 通信・制御用



通信用



通信・制御用



同軸用



同軸用

(4) 耐雷トランス



参考・引用文献

- 4-1 一般社団法人建設電気技術協会（2019 年）：雷害対策設計施工要領（案）・同解説
- 4-2 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課 建築設備設計基準（令和 3 年度版）
- 4-3 一般社団法人日本雷保護システム工業会（2016）：設計・施工者のための建築物等及び電気・電子設備の雷害対策雷害対策設計ガイド