

**■5 群(通信・放送) - 2 編(光アクセス線路・伝送技術)****9 章 線路設備を取り巻く環境からの影響と対策**

(執筆者：高谷雅昭) [2015年5月 受領]

**■概要■**

産業界における ICT (Information & Communication Technology) の役割は益々大きくなる傾向にあり、「世界最高水準の IT 社会」の実現に向けて様々な施策が検討されている。このような中、通信基盤を支える線路設備の信頼性向上の必要性はますます高まっていると言える。これらの線路設備は、一度事故が発生すると社会に多大な影響を及ぼす可能性が高いため、線路設備を構成する部品を開発する際には、様々な試験を実施し、信頼性を確認したうえで実用化につなげてきた。

しかし、線路設備は地下も含めた屋外に設置されることが多く、設備によっては過酷な自然環境に曝され、様々なダメージを受ける可能性がある。例えば、高温多湿、低温などの温湿度環境はもちろん、豪雪、強風、豪雨など、特定の地域では想定外の天候に、また、海岸近くに設置された設備では高い濃度の海塩粒子に、さらに温泉地域に設置された装置では、高い濃度の硫黄成分に曝される危険性がある。これらの地域では、特に鋼でできた構造物では腐食による設備の劣化に気をつける必要がある。さらに、季節によっては雷が多発する地域もあり、このような地域では落雷による装置故障が発生する危険がある。

線路設備に被害を与えるものは、気象条件や大気環境だけではない。自然界に存在する野生生物も線路設備に被害を及ぼすことがあり、様々な被害例が報告されている。代表的な例としては、げっ歯類(りす、ねずみ等)によるケーブルの破損、鳥類(からす、啄木鳥など)による架空ケーブルの破損、昆虫(セミ、蟻など)による光ファイバの切断などが挙げられる。これらは、開発当初に想定できない事象であったため、被害を受けることになってしまったが、現在では様々な対策により被害の低減化が図られている。

**【本章の構成】**

本章では、線路設備の様々な自然環境被害とその対策について報告する。はじめに、通信ケーブルがメタリックケーブルの場合には、電磁波による誘導雑音が発生する危険性があるため、そのメカニズムと対策について述べる(9-1節)。次に、生物被害を含めた線路設備への自然環境被害の事例とその対策について述べる(9-2節)。続いて、雷害故障のメカニズムとその対策について述べる(9-3節)。最後に、腐食のメカニズムと線路設備の腐食対策(9-4節)について述べる。

## ■5 群 - 2 編 - 9 章

### 9-1 雑音対策

(執筆者：加藤 潤) [2015年5月 受領]

メタリックケーブルには外部の電磁環境により雑音（ノイズ）が発生する場合があります。ノイズはケーブルの種類や長さだけでなく、ノイズ源の信号の大きさや周波数、その他の多くの要素が複雑に影響し合うことで発生し、通信システムのトラブルの原因となる。

本節では、最初にノイズの発生メカニズムの根本の現象となる、静電誘導と電磁誘導の発生メカニズムについて簡易に説明する。次に一般的にケーブルのノイズ対策として有効と考えられる方法について述べる。

#### 9-1-1 静電誘導

図 9・1 に導体における帯電模様について示す。帯電は、物体が電気を帯びる現象であり、別の物体から電子を奪った場合には負に帯電し、逆の場合は正に帯電する。電子を奪う例として絶縁体どうしの摩擦がある。身近な具体例では、エボナイト棒を乾いた布で擦ったり、プラスチックの下敷きで髪を擦ったりするとそれぞれ帯電する。このとき、帯電したまま動かずにいる電気を静電気という。

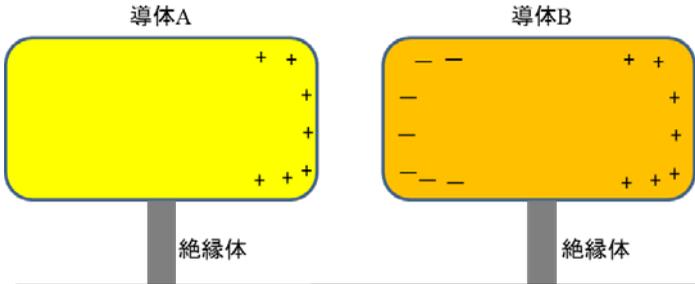


図 9・1 導体における帯電模様

正に帯電した導体 A にほかの帯電していない導体 B を近づけると導体 A に近い側の導体 B には負の電荷、導体 A に遠い側の導体 B には正の電荷が現れる。導体 B は絶縁体で他の導体や大地と絶縁されており、導体 B の両端に現れる電荷の総和はゼロとなる。次に導体 A を導体 B から遠ざげると電荷が中和し、帯電しない元の状態に戻る<sup>1)</sup>。

これは同符号の電荷は反発し、異符号の電荷は引き寄せ合うという電荷の性質のためであり、もともと正負等量の電荷があつて中和している導体 B に電荷の移動が起こることで前述の現象が生じたと解釈できる。この現象を静電誘導と呼ぶ。図 9・2 を用いて送電線による通信線への静電誘導を説明する。送電線①には大量の電荷が存在するとき、前述のように送電線①に近い側の通信線に①と異種の電荷が現れる。このため、通信線②と③の間に電荷の移動が発生する。また、一般的には送電線には交流が印加されており、電荷の移動量の時間変化、すなわち、静電誘導電流による電荷移動は交互に発生する。

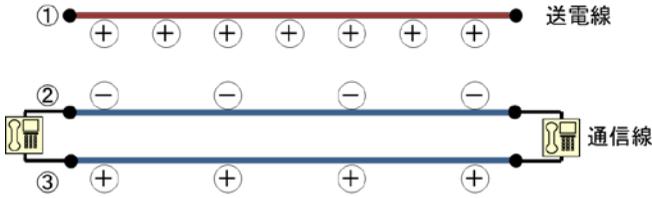


図 9・2 送電線による通信線への静電誘導

### 9-1-2 電磁誘導

図 9・3 に電磁誘導の現象について示す。導線 A、B において片方 A に電流が流れると、その瞬間に導線 B に反対方向に電流が流れる。次に導線 A の電流を切ると一瞬導線 B に電流が流れる。

次に導線 A の代わりに磁石を導線 B に近づけると、磁石を動かす間のみ導線 B に電流が流れる。このように導線 B に起電力を発生させる源は磁束の変化である。この現象を電磁誘導と呼び、この起電力を電磁誘導電圧と呼ぶ。

この電磁誘導は静電誘導と異なり遮蔽が簡単にできず、また、地下ケーブルにも発生するので対策が難しい場合がある。

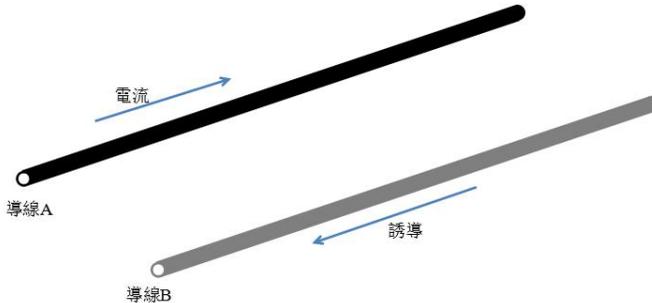


図 9・3 導線における電磁誘導

### 9-1-3 通信ケーブルの対策

#### (1) 金属シールド

前記の静電誘導電流は通信品質に大きな影響を与える。この静電誘導を防ぐために通信線を金属で覆い、その金属を大地に接地すると、金属に誘導した電荷が大地に流れるため、通信ケーブルにおける誘導を抑えることができる。図 9・4 に通信ケーブルシールドの例を示す。ケーブルの心線を覆った金属シースによりノイズの抑制を図る。ケーブルの直線ルートにおいて、300～500m ごとに吊線及び金属シースを接地するとともに、通信ケーブルの両末端において接地を行う<sup>2)</sup>。

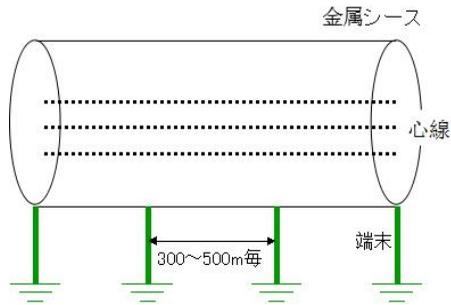


図 9・4 架空通信ケーブルのシールドと接地

## (2) 金属管

送電線鉄塔などに直撃雷が落ちた場合、地表面の土壌には雷電流による強い電界が発生し、絶縁破壊に至る場合がある。このため、ケーブルを金属管に入れて保護する。金属管路に雷による電流の大部分が流れるため、金属管路に通信線を入れない場合に比べると、心線間に発生する電圧を低減できる。

## (3) 誘導遮蔽ケーブル

通信線は長距離にわたって敷設される場合が多く、送電線などからの誘導を受けやすい。送電線の地絡事故時に通信作業者に危険な電圧が発生しないように人体の安全に必要なレベルまで通信線への誘導電圧を低減する必要がある。この誘導電圧を抑制するため、誘導遮蔽ケーブルを用いる。

誘導遮蔽ケーブルとは、金属遮蔽層に電磁軟鉄テープを使用した特殊なケーブルであり、その金属シースの両端は数 $\Omega$ の低い抵抗で接地される。

## ■5 群 - 2 編 - 9 章

### 9-2 アクセス系線路の自然環境被害対策

(執筆著者：渡辺 汎) [2015年5月 受領]

日本国内には、様々な通信サービスを提供するため、広範囲に通信ケーブルが敷設されており、その全長は 200 万 km 以上に達している<sup>3)</sup>。通信ケーブルや、その接続部であるクロージャ類の大半の線路設備は、屋外環境下に設置され、自然環境からの様々なストレスに曝されるため、開発時には使用される環境を想定し、温湿度、振動、紫外線などの自然環境の影響を考慮した信頼性試験が行われている。しかしながら想定以上の自然現象や特定地域での厳しい環境により、あるいは様々な生物により、線路設備は損傷を受ける場合がある。

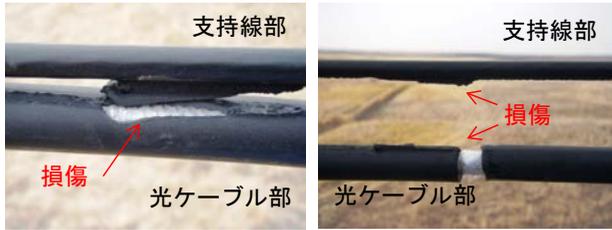
#### 9-2-1 環境被害の事例と対策

想定以上の自然現象のなかでも、東日本大震災のような大規模な地震や津波では、線路設備は振動、衝撃、浸水などにより甚大な被害を受け、復旧に多大な労力を要した<sup>4)</sup>。さらに断層などの地殻変動により地下設備にも影響を及ぼす場合もある<sup>5)</sup>。また、台風による強風や豪雪による着雪といった気象現象でケーブル損傷が確認されている。一方で海岸付近の塩害や温泉地でのガスによる腐食など、特定地域の厳しい環境条件により線路設備が被害を受ける場合もある<sup>6)7)</sup>。ここでは強風による架空ケーブルの損傷事例、海岸付近での塩害によるつり線の劣化事例について紹介する。

##### (1) 架空ケーブルのケーブル部損傷

空中に設置されている架空ケーブルには、つり線とケーブルが一体化した自己支持型ケーブルと、つり線に丸型のケーブルをつり下げる丸型ケーブルの 2 種類が存在する。架空ケーブルは、その設置環境から風による被害を受けやすく、特に周囲に遮る構造物などが存在しない強風地域に設置された架空ケーブルは、その影響によりケーブルが損傷する事例が発生している。

図 9・5 に強風により光ケーブル外被が損傷した事例を示す。図 9・5(a)は、強風を伴う低気圧が通過したことにより、自己支持型形状の HS (High Strength Sheath ; ステンレスシース) 光ケーブル外被が損傷した事例である。ケーブル外被の損傷が確認できる。当該ケーブルの設置場所が海岸沿いルートであったため、想定以上の強風にさらされた結果、このような損傷が発生したと考えられる。図 9・5(b)には同じく強風により、光ケーブル部の外被がリングカットされた事例を示す。強風によりケーブルが破損する原因は、ケーブル部の振動により特定箇所にはずみが集まることである。これらの損傷を防ぐために、ケーブルをつり線で支える状態にする (丸型ケーブルを用いる)、もしくは適切な箇所を紐などで縛り、ケーブル部の振動を低減するなどの対策が採られている。



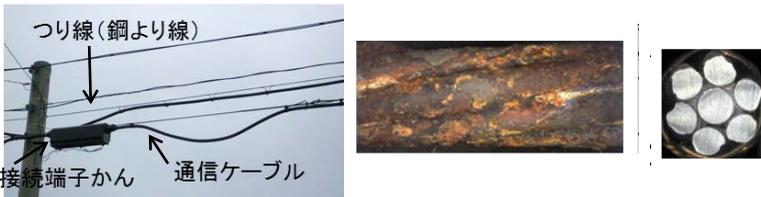
(a) ケーブル外被が切り裂かれた様子 (b) ケーブル外被がリングカットされた様子

図 9・5 強風による架空ケーブル外被の損傷事例

## (2) 架空ケーブルのつり線部腐食

架空ケーブルを敷設する場合、自己支持型ケーブルを使用せず、つり線を用いてケーブル敷設される場合がある。つり線は、その主要成分が鋼であるため、腐食の危険性がある。一般に用いられているつり線は、めっきを施すことにより腐食を防いでいる。しかし、海岸近くなど、海塩粒子が多い地域では、めっきによる保護にもかかわらず、つり線が腐食する事例がある。

図 9・6(a)につり線の敷設状況と、図 9・6(b)(c)に腐食したつり線の事例を示す。図 9・6(b)に示すように、腐食したつり線には茶色の錆が確認される。さらに腐食したつり線の断面を観察すると、図 9・6(c)に示すように、つり線が減肉して細くなっていることがわかる。腐食による減肉が進行すると、つり線は張力に耐えられず破断する危険性が高まる。そのため、早急につり線の張替えが必要となる。現在、使用されているつり線は、めっき材料として亜鉛アルミニウムめっきを用いることにより耐食性を向上させているが、腐食によるつり線の破断を防ぐためには、定期的なつり線の点検が必要である。



(a) 架空ケーブルの敷設状況 (b) 腐食つり線例 (側面) (c) 腐食つり線の例 (断面)

図 9・6 つり線の敷設状況と腐食例

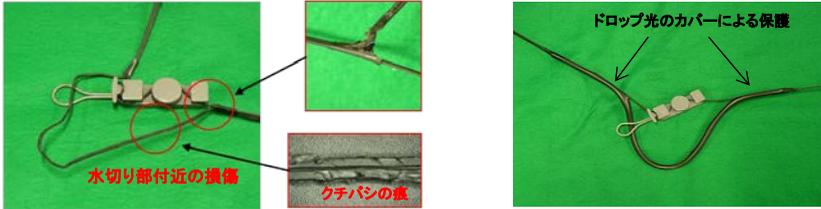
## 9-2-2 生物被害の事例と対策

生物被害も自然現象から被る通信被害の大きな要因である。日本国内における線路設備への生物被害事例は、様々なものが確認されており<sup>8)9)</sup>、被害を及ぼす生物は、鳥類、げっ歯類、昆虫類に分類される<sup>10,11)</sup>。以下に代表的な事例を挙げる。

### (1) 鳥類被害

鳥類被害の代表的な事例は、カラスによる被害と、啄木鳥による被害である。

カラスによる被害は、特に春から夏の住宅街で多く見られ、ドロップ光ファイバを損傷させる。図 9・7(a)にカラスによってつつかれたドロップ光ファイバの被害事例を示す。カラスが損害を与える場所はドロップ光ファイバの水切り部といわれる箇所が多い。この部分をつつかれると光ファイバの断線などの被害が生じる。そのため、図 9・7(b)に示すように、この部分をカバーにより保護することで、カラスによる被害を防いでいる。



(a) 水切り部の被害状況

(b) ドロップ光ファイバのカラス対策

図 9・7 カラスによるドロップ光ファイバの被害事例と対策

一方、啄木鳥による被害は森林部で多く発生している。架空ケーブルのケーブル部がくちばしでつつかれることによって、外被に穴が開き、心線部に損傷が生じる事象が報告されている。図 9・8 に啄木鳥によって損傷を受けた架空光ケーブルの被害事例と対策を示す。図中 (a)に示すように、光ケーブルの外被に穴が開いていることが分かる。このような啄木鳥による被害に対しては、図中(b)に示すステンレスと一体化したシートでケーブルを覆う、もしくは図中(c)に示すステンレスを内蔵した HS ケーブルに張り替えるなどの対策がとられている。



(a) 啄木鳥による被害事例

(b) ケーブル防護用シート

(c) HS ケーブル

図 9・8 啄木鳥による被害事例と対策

## (2) げっ歯類被害

げっ歯類は、日本国中に生息しており、その鋭い歯によって屋内外のケーブルに損害を与える事例が数多く報告されている。げっ歯類被害の代表的な事例は、リス、ムササビ、ネズミによる被害である。

げっ歯類によるケーブル被害事例を図 9・9 に示す。(a)はリスの被害事例であり、(b)はムササビの被害事例である。その生息域から架空ケーブルの被害が多い。一方、(c)はネズミの被害事例であり、地下ケーブルへの被害が多い。図をみてもわかるように、げっ歯類による被害は、ケーブルを大きく折損させ、容易に光ケーブルを断線させてしまう。これら被害を防ぐためには、基本的には、被害を与える生物のケーブル敷設場所への進入を防ぐことであ

る。それが困難な場合は、啄木鳥被害対策と同様に、図9・8(b),(c)に示したケーブル防護対策が必要である。



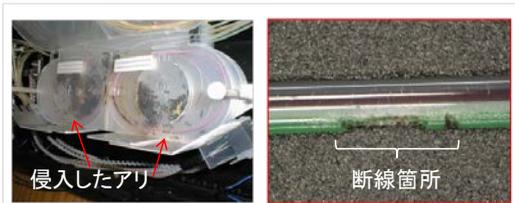
図9・9 げっ歯類によるケーブル被害事例

### (3) 昆虫による被害

日本国中には多種多様な昆虫が生息しており、様々な昆虫による線路設備被害の事例が報告されている。代表的な昆虫による被害事例としては、蟻、コウモリガの幼虫、クマゼミによる被害が挙げられる<sup>12)</sup>。

図9・10に蟻による光ファイバテープ破断事例を示す。蟻が架空クロージャ内に侵入し、図中(a)のように、設置されている心線収容部の中に入り込み、図中(b)のように、蟻が光ファイバテープをかじり、断線させる。対策としては、蟻を光ファイバ心線に近づけないことであるが、蟻は微小な隙間でも入り込むので、樹木が生い茂った場所などにクロージャを設置する際は、シーラ剤などでクロージャの隙間をふさぎ、進入経路を絶つ必要がある。

図9・11にコウモリガの幼虫によって被害を受けた架空光ファイバケーブルの事例を示す。図からコウモリガの幼虫によって光ファイバケーブルの外被に穴が開いていることがわかる。コウモリガの幼虫は、樹木やつたなどを伝ってケーブル部に到達することが多いので、樹木が生い茂った場所では、ケーブルに被さった枝葉やつたを伐採することが必要である。



(a) 被害を受けた心線収容品部 (b) 光ファイバテープ部

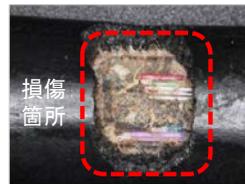


図9・11 コウモリガの幼虫による損傷事例

そのほかの昆虫による被害の事例としては、オオトビサシガメが光キャビネット内部に入りこみ、光ファイバ心線を破断させた事例<sup>13)</sup>や、チビタケナガシクイムシによるドロップ光ファイバの損傷が疑われる事例<sup>14)</sup>や、ハチ(オオハキリバチ)が通信線を配線する配管部に入り込み、工事を阻害した事例などが報告されている。最近では、故障には至っていないが、マイマイガの成虫が電柱に大量に卵を産みつけ、その卵のかたまり(卵塊)が景観を害している事例が報告されており、対策が急がれている。

## ■5 群 - 2 編 - 9 章

### 9-3 EMC・雷対策

(執筆者：加藤 潤) [2015 年 5 月 受領]

線路設備は日本全国において北海道から沖縄まで、山頂から海底まで広域かつ多数の設備が施設されている（ケーブル長：2013 年度末時点、NTT 東西合計 218 万 km<sup>3</sup>、ビル数 4000 以上）。設備の種類もいわゆる電話局と呼ばれる通信ビル、無線中継所・鉄塔、通信ケーブル、及び電話機やホームゲートウェイなどの通信端末機器を含めると多種多様である。

図 9・12 に雷が影響する線路設備について示す。線路設備のほとんどが屋外に設置されており、雷による影響を受けやすい状態である。またホームゲートウェイなど通信端末機器の多くは屋内に設置されるが、電源線や金属の通信線から雷サージが侵入するため、屋内でも雷による被害を受ける場合がある。特に通信端末機器は、機器部品の IC 化により耐雷性能が低下傾向にあるため、耐力向上が必須である。

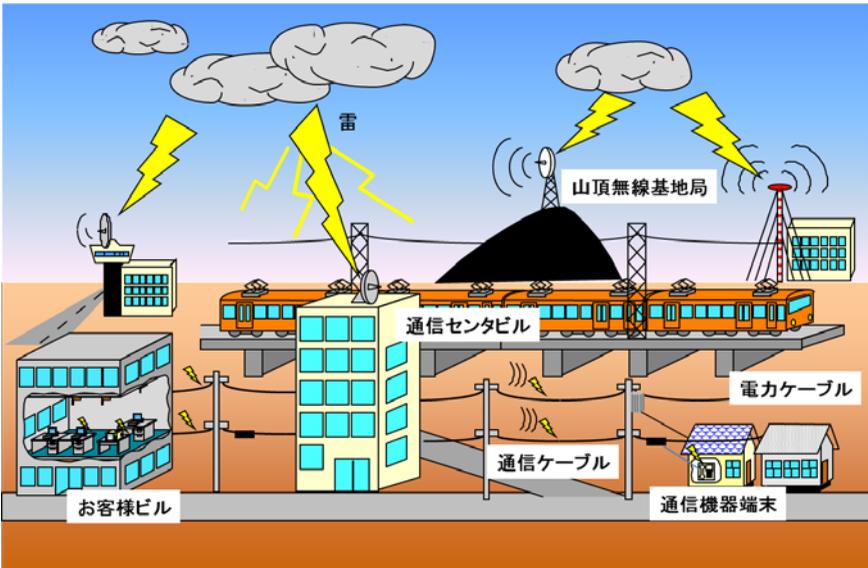


図 9・12 雷が影響する線路設備

次に線路設備における雷による故障について示す。図 9・13 に線路設備における EMC (ElectroMagnetic Compatibility, 電磁環境両立性) 故障分類を示す<sup>15)</sup>。本データは 1 年間で保守部門へ EMC に関する故障調査を依頼されたなかで、何が原因で故障が発生したかを分類したものであり、線路設備では雷による故障が多いことを示している。このほかには、エミッションノイズ（機器から放出される不要な電気ノイズ）、伝導ノイズ（通信線や電源線を伝わってくる不要な電気ノイズ）及び電波ノイズ（空間を通じてくる不要な電磁波ノイズ）なども、それぞれ 7～13% 程度故障が発生している。

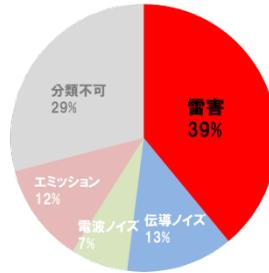


図 9・13 線路設備における EMC 故障分類

### 9-3-1 通信ケーブルの雷害対策事例

図 9・14 に通信ケーブルの配線方法を示す<sup>2)</sup>。通信ケーブルは通信ビルからお客様宅・ビル方向及びほかの通信ビルや無線基地局などに配線される。通信ケーブルは通信ビルの地下から屋外で地上に引き上げられ、主に電柱などにつられて配線される。

これらの通信ケーブルは、2000 年以降の FTTH サービスの普及に伴い光ファイバに置き換えられているが、メタリック線の設備は残っており、雷害を受ける場合がある。通信ケーブルに直撃あるいは近傍に落雷した場合、ケーブル心線に大きな電流が流れ、心線が溶断、あるいは心線とシース間の絶縁破壊などが発生する。

このため多雷地域では、通信ケーブルには数百 m 程度の間隔で、通信ケーブルの分岐点などに通信ケーブル用の保安器を接続し、通信ケーブルを保護している。図 9・14 に示す通信ケーブル用保安器は接続端子箱と呼ばれる箱内に設置され、その箱内部でメタリックケーブルの各心線間に 3 極避雷管を接続している。避雷管は 5.5mm<sup>2</sup> 以上の太さの接地線を経由して地面に接続している。

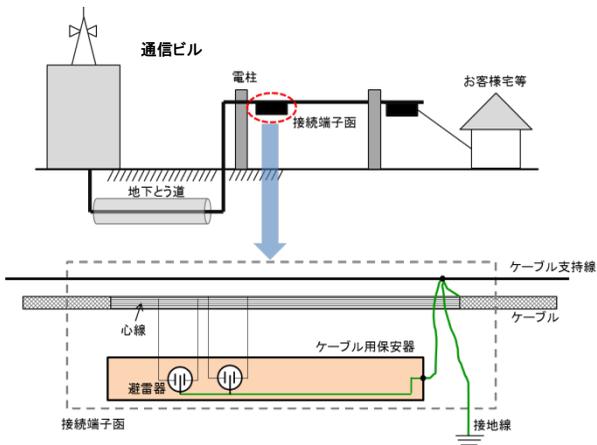


図 9・14 通信ケーブルの雷害対策手法

## ■5群 - 2編 - 9章

### 9-4 腐食対策

(執筆著：上庄拓哉) [2015年5月 受領]

#### 9-4-1 大気腐食の原理

腐食とは、金属が使用環境中の化学成分と反応し、金属イオンや酸化物となって失われる現象のことである<sup>16)</sup>。特に大気環境下で水と酸素の反応により起こる腐食を大気腐食という。鉄の大気腐食を考えると、図9・15に示すように、鉄の表面に水が存在する条件下では次の反応が起こる。



式(9・1)は鉄の酸化反応、式(9・2)は水中の溶存酸素の還元反応であり、それぞれアノード反応、カソード反応という。水中に溶出した  $\text{Fe}^{2+}$  は  $\text{OH}^-$  と結合して  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  (水酸化鉄(II)) を形成し、その後、酸素により酸化され  $\text{FeOOH}$  (オキシ水酸化鉄) や  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (酸化鉄(III)) といった鉄の錆が形成される。式(9・1)と式(9・2)の反応は必ず対になって起こるため、水または酸素を取り除くとこの腐食反応は起こらなくなる。

式(9・1)と式(9・2)の反応における電位と電流密度(単位面積当たりの電流)の関係は、図9・16のように表される。これを分極曲線という。腐食反応は分極曲線の交点で起こり、このときの電位を腐食電位、電流密度を腐食電流密度という。腐食電流密度がわかれば、ファラデーの法則により期間  $\Delta t$  での腐食量  $\Delta W$  を式(9・3)のように求めることができる<sup>17)</sup>。

$$n \frac{\Delta W}{M} F = i S \Delta t \quad (9 \cdot 3)$$

ここで、 $n$  は溶出する金属イオンの価数、 $M$  は原子量、 $i$  は腐食電流密度、 $S$  は表面積、 $F$  はファラデー定数である。

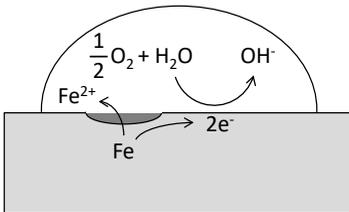


図9・15 腐食反応の模式図

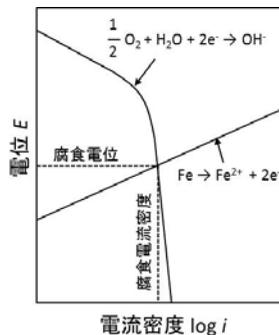


図9・16 分極曲線

大気腐食は、降雨や結露によって金属表面に薄い水膜が形成されて発生する。図9・17に示すように、大気腐食の進行速度は水膜厚さに影響され、水膜厚さ  $1\mu\text{m}$  までは水膜厚さの増加とともに腐食速度は増加するが、 $1\mu\text{m}$  を超えると大気から金属表面への酸素の供給が困難となり、水膜厚さの増加とともに腐食速度は減少する。また、金属表面に  $\text{NaCl}$  などの塩類が付着すると、塩類の化学凝縮作用によって金属表面の濡れ時間が増加し、腐食は促進される。

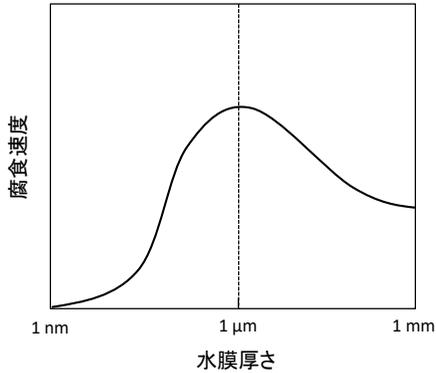


図9・17 水膜厚さ腐食速度の関係

腐食の形態には、図9・18に示すように、大きく分けて均一腐食と局部腐食がある。均一腐食とは、アノード反応とカソード反応が微小な領域で混在して起こり、金属表面でほぼ均一に腐食が進行する腐食形態である。局部腐食とは、アノード反応とカソード反応の領域が分離され、特定の場所に腐食が集中する腐食形態である。局部腐食には、酸素の濃度差によって起こる通気差腐食や、構造上のすきま部などで起こるすきま腐食などがある。局部腐食は均一腐食に比べて腐食の進行が速く、予測が困難であるため、実設備においては特に注意が必要である。

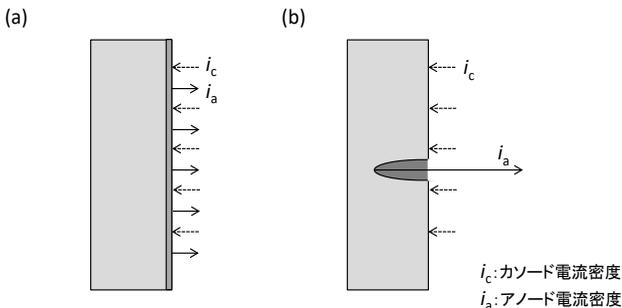


図9・18 腐食形態の模式図 (a): 均一腐食, (b): 局部腐食

## 9-4-2 腐食の事例と対策

### (1) 鋼管柱の地際部での腐食

鋼鉄製の電柱は鋼管柱といい、コンクリート製の電柱とともに電気通信サービスを支える重要な通信設備の一つである。鋼管柱の腐食は、**図 9・19** に示すように、特に地際周辺で起こる場合が多い。これは、地際は雨水などが溜まり湿潤環境になりやすいためである。また、地際は海塩粒子や融雪剤に含まれる塩化物イオンが付着しやすいため、より一層腐食が促進される場合がある。地際の腐食を起こさせないためには、**図 9・20** に示すように、金属表面を環境から保護することが有効である。現在、導入されている鋼管柱には地際部に熱可塑性ポリエステル樹脂がコーティングされており<sup>18)</sup>、金属表面から水や酸素を遮断することで腐食を抑制している。



**図 9・19** 鋼管柱の地際部腐食の事例



**図 9・20** 鋼管柱の地際部腐食の対策（熱可塑性ポリエステル樹脂コーティング）

## (2) 炭素鋼材の地中部での腐食

電柱にはケーブルなどにより荷重がかかっており、その荷重とバランスを取るため、電柱から地中にかけて炭素鋼材を用いた支線が張られている場合がある。図 9・21 は炭素鋼材が地中部で激しく腐食した事例である。これは、酸素濃度の異なる土層の境界部分で通気差腐食という現象が起こったためと考えられる。図 9・22 に示すように、酸素濃度の低い土層と高い土層が接した土壌の場合、低酸素濃度の土層では酸素の還元が抑制されるため、低酸素濃度の土層でアノード反応、高酸素濃度の土層でカソード反応が起こり、局部腐食が発生する。このような局部腐食を通気差腐食という。通気差腐食の対策にも環境からの保護が有効であり、現在導入されている支線は防食塗装を施すことで腐食を抑制している<sup>18)</sup>。



図 9・21 炭素鋼材の地中部腐食の事例

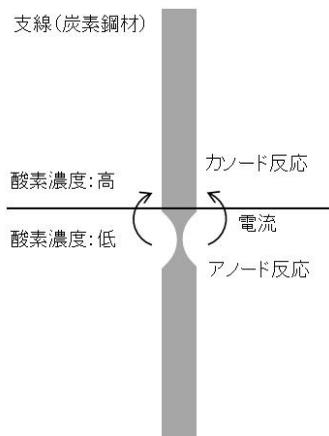


図 9・22 通気差腐食の模式図

## ■参考文献

- 1) 電気通信協会, “誘導[上巻]”, pp. 1-2 (1971)
- 2) 木島均, “接地と雷防護”, pp. 94-99, 電子情報通信学会 (1997)
- 3) 電気通信設備の設置状況 NTT 西日本ホームページ: <http://www.ntt-west.co.jp>
- 4) NTT ニュースリリース: <http://www.ntt.co.jp/news2011/1103/110330a.html>
- 5) 渡辺汎, 榎本圭高, 高谷雅昭, “フィールドにおける光ケーブルの特異故障事例”, 2014 信学総大, BI-6-7 (2014)
- 6) 高谷雅昭, 渡辺汎, 赤毛勇一, “アクセス線路における課題”, 信学技報, vol. 115, no. 44, OFT2015-1, pp. 1-6 (2015)
- 7) NTT 東日本 技術協力センタ, “アクセス系設備の故障事例と対策 架空メタリック通信設備編”, Raisers, pp.40-44 (2013.1)
- 8) H.Tanaka, T. Iwata, T. Kaiden, T. Neno and H. Izumita, “Damage to optical networks by wildlife and methods for protecting exiting optical fiber cables in the FTTH era,” OThE5, OFC2007
- 9) K. Matsushashi, Y. Uchiyama, T. Kaiden, M. Kihara, H. Tanaka, and M. Toyonaga, “Fault Cases and Countermeasures Against Damage by Wildlife to Optical Fiber Cables in FTTH Networks in Japan,” IWCS, pp.274-278 (2010)
- 10) NTT 東日本 技術協力センタ, “アクセス系設備の故障事例と対策 通信設備の生物被害編”, Raisers, pp.13-16 (2010.4)
- 11) NTT 東日本 技術協力センタ, “通信アクセス設備における生物被害事例と対策”, Raisers, pp.18-20 (2014.5)
- 12) K. Shiraiishi, Y. Maehara, O.Inoue, and K. Takanizawa, “Development of Economical Cicada Resistant Optical Drop Cables,” IWCS, pp.279-283 (2010)
- 13) 松橋和生, 内山泰臣, 小野瀬広志, 田中浩, 豊永雅信, “オオトビサシガメによる光ファイバ断線故障事例”, 2010 信学ソ大 (通ソ), B-10-1 (2010).
- 14) NTT 東日本 技術協力センタ, “アクセス系設備の故障事例と対策 光ケーブル編”, Raisers, pp.23-25 (2013.11)
- 15) NTT 技術ジャーナル 1997 年 3 月号 (1997)
- 16) 杉本克久, “金属腐食工学”, pp. 1-12, 内田老鶴圃 (2009)
- 17) 腐食防食協会, “材料環境学入門”, pp. 270-272, 丸善 (1993)
- 18) NTT 東日本 技術協力センタ, “現場で役立つ通信設備のトラブル Q&A 改訂版”, pp. 405-406, 413, 電気通信協会 (2011)