

鉄道一般
車両
軌道
構造物
防災
電力
信号通信情報
材料
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 信号設備が雷の被害を受ける確率を推定する

鉄道信号設備には電子機器が多く導入されていますが、これらの機器は雷に弱く、効果的な雷害対策が求められています。本研究では、実際の落雷時に信号ケーブルなどに発生した雷サージ電圧を観測し、雷サージ電圧値と雷撃電流値や落雷位置との相関関係を把握しました。この相関関係より、鉄道信号設備に雷害が発生する確率を推定することができます。推定結果は、雷害対策の実施判断の指標として活用できます。



**小野 雄人**  
Yuto Ono  
信号・情報技術研究部  
信号システム研究室  
研究員  
【専門分野】 鉄道信号設備の雷害対策



**新井 英樹**  
Hideki Arai  
信号・情報技術研究部  
信号システム研究室  
室長  
【専門分野】 鉄道信号設備の雷害対策、運転保安装置 (ATS)

## はじめに

鉄道信号設備は、列車の衝突を防止する、踏切を制御するなどといった形で、列車の安全・安定運行を行う上で重要な役割を担っています。近年の鉄道信号設備には、多機能化、小型化などのために、電子機器が幅広く導入されています。しかし、これら電子機器の

動作電圧は数V程度と低いため、落雷に伴って外部から侵入してくるサージ電圧・サージ電流（☜参照）に対して極めて弱く、焼損したりシステムダウンが発生したりするなどの被害が数多く発生しています。鉄道信号設備が被害を受けることは、列車の運転見合わせ・遅延の原因となり、社会的な混乱を招

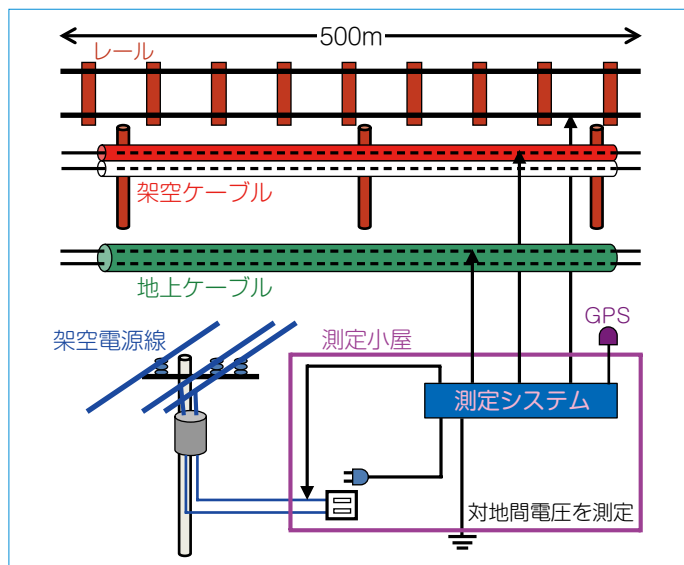


図1 測定概略図

## ☜ 雷サージ電圧と雷サージ電流

雷サージ電圧とは雷の影響により発生する、瞬間的な高電圧のことをいいます。また、雷サージ電圧が発生した結果流れる電流のことを雷サージ電流といいます。

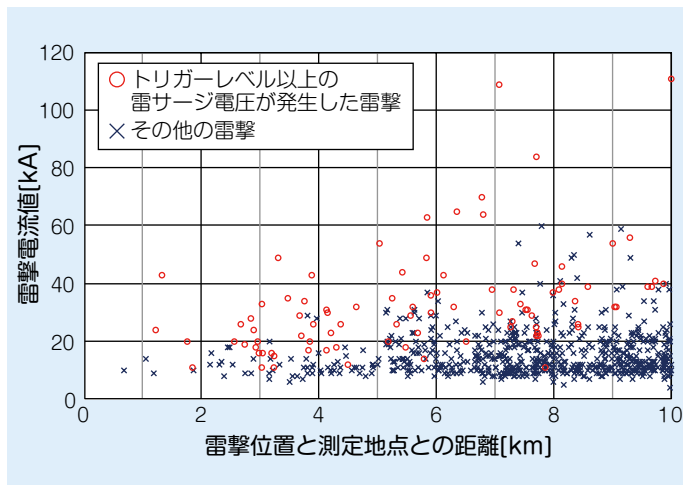


図2 測定期間中の雷撃

くおそれがあります。そのため、鉄道信号設備のための効果的な雷害対策の確立が求められています。雷害対策を施す必要があるかを検討するためには、その鉄道信号設備が雷害を受ける確率を明らかにし、対策を施すことでどの程度まで雷害を減らすことができるかを予測することが重要になります。

ここでは、レールや、沿線に敷設された鉄道信号用のケーブルに、雷によって発生するサージ電圧（雷サージ電圧）を測定し、雷サージ電圧の大きさと、そのサージ電圧を発生させた雷撃の条件（雷撃電流の大きさ、測定地点と落雷位置との距離）との関係を調査した結果について述べます。また、鉄道信号設備に雷害が発生する雷撃の条件を推定し、鉄道信号設備が雷害を受ける確率を計算する方法について述べます<sup>1)</sup>。

### 鉄道信号設備に雷害が発生する仕組み

鉄道信号設備は、沿線に設置される器具箱内や機器室内などの、地上高が低い場所に設置されるため、電力設備や通信用アンテナなどと異なり、雷撃を直接受ける（直撃雷）ことは少ないと考えられます。そのため、鉄道信号設備に対して、直撃雷を想定した雷害

対策は過去より実施されていません。

鉄道信号設備が雷害を受ける状況として考えられるのは、雷撃と共に発生する電磁界によって、レールや信号用ケーブルに誘導電圧が発生し（誘導雷）、その電圧が鉄道信号設備に加わって設備を破壊するというものです。ここで述べるレールやケーブルに発生する雷サージ電圧の測定においても、雷サージ電圧を発生させる主要な要因は誘導雷であると考えられます。

この他に、鉄道信号設備付近の大地や鉄塔などの構造物に雷撃があった際に、信号設備と雷撃点との間に発生する電位差によって、レールやケーブルを介して信号設備に過電流が流入してくる、逆流雷という現象もあります。

### レール、信号用ケーブルに発生する雷サージ電圧を測定する

レールおよび信号用ケーブルに発生する雷サージ電圧の測定は、日本有数の多雷地域にある単線・非電化の営業線において、2012年の6月～8月に行いました。単線・非電化の路線を選定

した理由は、測定時に外来ノイズを極力排除するためです。図1に測定の概略図を示します。地上に敷設したケーブル、高さ2mの空中に架空敷設したケーブル（長さはいずれも500m）、レール、測定機器を稼働するために測定小屋の中に引き込んでいる架空電源線に発生する雷サージ電圧を測定しました。測定機器のトリガーレベルは、本測定の前に行った予備測定の際に発生した雷サージ電圧の値に基づき、レールと地上のケーブルは±125V、架空ケーブルは±500V、架空電源線は±625Vに設定しました。いずれかの測定対象にトリガーレベル以上の雷サージ電圧が発生した際に、4箇所全ての雷サージ電圧の波形を、102.4μsにわたって記録するようにしました。また、測定装置では雷サージ電圧の波形と同時に、その波形を得た時刻を、GPSアンテナによって取得して記録しました。

### 測定期間中に発生した雷撃

測定期間中に、測定地点から半径10km以内の場所に発生した雷撃の回数は726回でした。この内、90回の雷撃で、測定対象にトリガーレベル以上の雷サージ電圧が発生し、雷サージ電圧を記録することができました。

なお、雷撃に関するデータは、JLDN (Japan Lightning Detection Network) (参照) による、落雷位置標定データを参照して得ています。落雷位置標定データには、落雷位置（座標、測定地点との距離）、雷撃の電流値、GPS時計による雷撃時刻が含まれています。

図2は、それぞれの雷撃について、

#### ☞ JLDN

JLDN (Japan Lightning Detection Network) とは、全国規模の雷観測ネットワークです。雷放電が発生した際に生じる電磁波を、全国30箇所に設置されたセンサーで受信し、そのデータを処理することで、落雷の発生時刻、発生位置、電流値のデータを得ています。

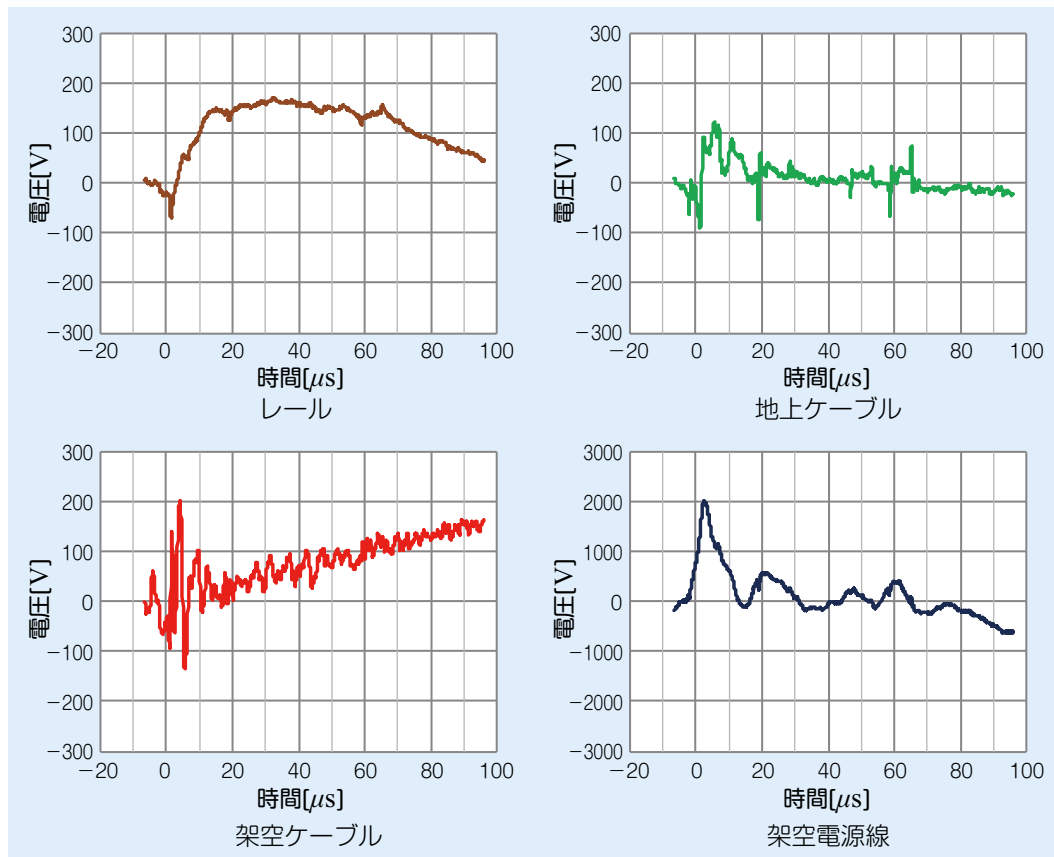


図3 雷サージ電圧波形の一例

雷撃電流の絶対値と、落雷位置と測定地点との距離をプロットしたものです。その雷撃によりトリガーレベル以上の雷サージ電圧が発生した場合には○印で、発生しなかった場合には×印で記しています。図2より、概ね、雷撃電流が大きいほど、また落雷位置と測定地点との距離が近いほど、トリガーレベル以上の雷サージ電圧が測定線に発生しやすいことがわかります。

### 測定装置が記録した雷サージ電圧の波形

トリガーレベル以上の雷サージ電圧が発生した際に、測定装置が記録した雷サージ電圧波形の一例を図3に示します。この雷サージ電圧波形は2012年7月28日の20:44:07.7753314に記録されたものです。JLDNの落雷位置標定データから、この日の落雷の発生時刻を参照したところ、この雷サージ電圧波形は20:44:07.7753098に発

生した雷撃によるものと考えられます。また、その雷撃の電流値は-109kA、測定地点との距離は7.064kmでした。図3が示している通り、例えばレールと架空電源線とを比較すると、発生する雷サージ電圧の大きさも波形も異なっていることがわかります。

### 雷撃条件と雷サージ電圧の大きさの関係

前述の通り、雷撃電流が大きいほど、落雷位置と測定地点との距離が近いほど、雷サージ電圧が発生しやすいことから、ここでは、測定対象に発生する雷サージ電圧の大きさは、雷撃電流の大きさに比例し、落雷位置と測定地点との距離に反比例するものと仮定します。なお、雷サージ電圧値も雷撃電流値も、正の場合と負の場合がありますが、ここでは絶対値をとることとします。この仮定に基づき「雷撃電流値÷距離」の値を雷撃条件と定めて、この

雷撃条件を横軸に、測定線に発生した雷サージ電圧を縦軸にとったグラフを図4に示します。図4が表している通り、雷撃条件と雷サージ電圧は概ね比例関係にあるといえます。また、同じ雷撃条件であっても、架空電源線に発生する雷サージ電圧は、レールおよびケーブルに発生する雷サージ電圧の10倍程度に達しています。

図4には、それぞれのプロットをもとに、測定対象にどの程度の大きさの雷サージ電圧が発生するのかを、雷撃条件から推定するために導出した式を表す近似線を付加しています。この近似線は一般的な近似線と異なり、雷サージ電圧を高く推定するために、全てのプロットの内の97%を包含するような線としています。この推定式を用いることで、レールやケーブルに接続された信号設備に雷害を発生させる雷撃条件を推定することができます。一例として、10kVまでの雷サー

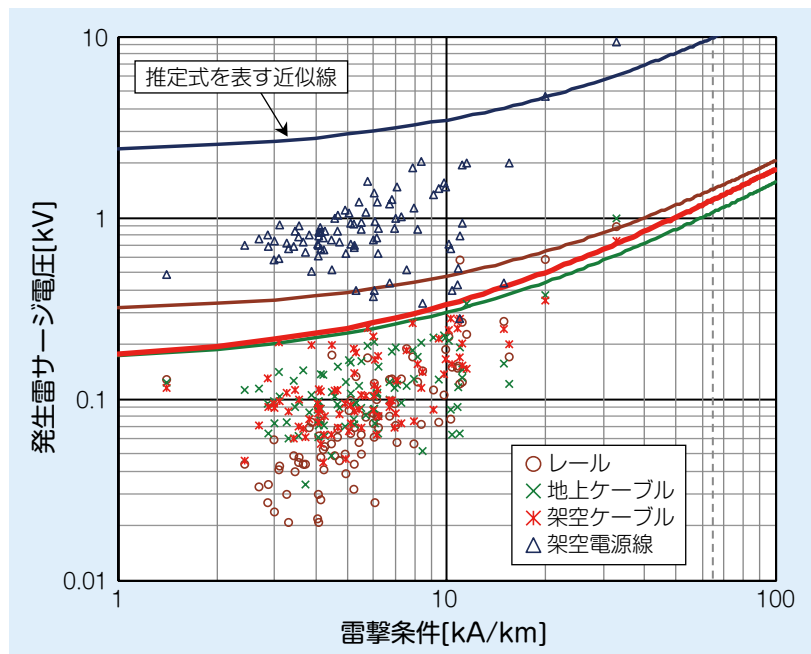


図4 雷撃条件と発生雷サージ電圧

ジ電圧に耐えることができる信号設備が、架空電源線に接続されている状況を仮定します。図4に示された架空電源線の推定式より、架空電源線に発生する雷サージ電圧が10kVに達する可能性がある雷撃条件は66 (kA/km)です(図4の点線)。例えば30kAの電流の雷撃が、0.45km離れた場所に発生すると、雷撃条件が66 (kA/km)となります。このような場合もしくはこれより雷撃条件が大きくなる(雷撃電流が大きい、距離が短い)場合に、架空電源線に10kV以上の雷サージ電圧が発生し、信号設備に被害を及ぼす可能性がありますと言えます。

### 雷害発生確率の推定

前述のように、信号設備に雷害が発生する雷撃条件を推定することができましたので、次は、そのような雷撃条件の雷害が発生する確率を概算します。

日本国内において、ある電流値を

持った雷害が発生する確率は、統計的に導き出されています<sup>2)</sup>。また、信号設備から一定以内の距離に雷害が発生する確率は、その領域の面積を元に求めることができます。これらを掛け合わせることで、雷害が発生した際に信号設備に雷害が発生する確率を推定できます。

一例として、前述の耐雷性能10kVの信号設備が架空電源線に接続されているケースでは、1回の雷害発生時に雷害が発生する確率は0.0012となります。また、周辺での年間雷害回数が1,000回の場合、この信号設備の年間雷害発生回数は1.2回と算出されます。この発生頻度を許容できるかどうかは鉄道事業者の判断によりますが、もし許容できないとなれば、信号設備の雷害対策を向上させる必要があります。どの程度まで向上させるのが妥当であるかは、推定式を元に、再度雷害発生頻度を計算して、検討することになり

ます。このようにして、推定式を元に算出した雷害発生確率・頻度を、雷害対策実施判断のための指標として活用することができます。

### おわりに

実雷時にレールおよびケーブルに発生する雷サージ電圧を測定し、雷撃条件との相関関係を把握することで、信号設備に雷害が発生する確率を推定する方法について紹介しました。

今後はケーブルに雷害対策を施した上で雷撃時に発生するサージ電圧を測定し、雷害の発生頻度の低減効果について検討していく予定です。RRR

### 文献

- 1) 新井英樹, 小野雄人, 藤田浩由: 雷過電圧の観測に基づく信号設備の雷リスク評価, 鉄道総研報告, Vol.26, No.7, pp.11-16, 2012.7
- 2) 社団法人電気設備学会: 雷と高度情報化社会, p.11, 1999