

信号保安設備の雷害発生メカニズムと対策

信号通信技術研究部 信号
主任研究員 新井 英樹

1. はじめに

電子機器の汎用低廉化が進むにつれ、信号保安設備への導入が、今後も増加すると予想される。その反面、電子機器は雷サージに対して脆弱であるため、信号保安設備における回路の焼損やシステム停止といった雷被害の増加が問題となっている。信号保安設備の雷害による列車の運行停止・遅延は、社会的な混乱を招く恐れがあるため、適切な雷害対策の確立が求められている。しかし、信号保安設備の雷害発生メカニズム、特に、落雷時に発生する大地電位上昇やレール電位上昇が信号保安設備に与える影響に関して未解明な部分が多く、対策に関して十分な検討がなされていないのが現状である。また、対策による雷害低減効果が不明確であるため、対策の実施判断が難しいという状況である。

本発表では、落雷に伴い発生する大地電位上昇やレール電位上昇による信号保安設備の雷害発生メカニズムについて示すとともに、対策による雷害低減効果の推定結果について報告する。

2. 接地電位上昇に伴う周辺大地の電位上昇

落雷時に発生する大地電位上昇による信号保安設備の雷害発生メカニズムの解明のため、接地電位上昇に伴う接地極周辺大地の電位上昇を調査した。試験構成概略図を図1に示す。落雷時の大地電位上昇を模擬するために、接地極に対し、IG (Impulse Generator) を用いて雷サージ電流を印加した。その際生じる接地極の電位上昇および周辺大地の電位上昇を測定した。

接地極周辺大地の電位上昇に及ぼす接地極に印加する雷サージ電流レベルの影響を図2に示す。図2より、雷サージ電流が大きいほど、接地電位上昇が大きくなるとともに、それに伴い発生する周辺大地の電位上昇も大きくなる。また、接地極に印加する雷サージ電流波形の急峻さの影響を図3に示す。図3より、波形が急峻なほど、すなわち雷サージ波形の波頭長が短いほど、若干ではあるが、周辺大地の電位上昇が大きくなる。

次に、接地極周辺大地の電位上昇に及ぼす接地極の接地抵抗の影響を図4に示す。図4より、接地極の接地抵抗が高いほど、雷サージ電流印加の際に生じる接地電位上昇が大きくなるとともに、接地極から1m以内の周辺大地に関しても電位上昇が大きくなる。一方、接地極から2.5m以

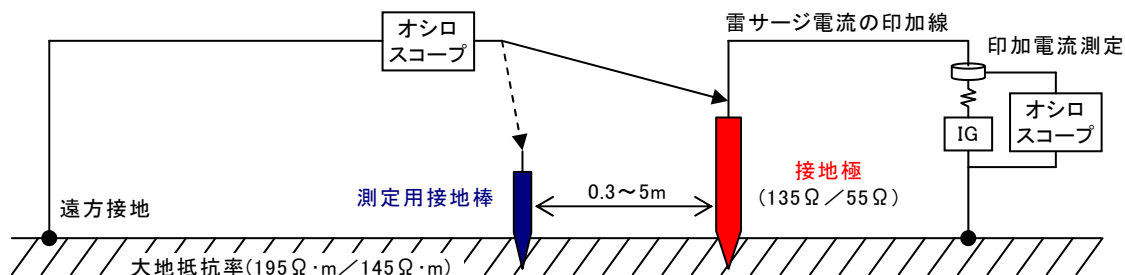


図1 接地電位上昇時の周辺大地の電位上昇の測定概略図

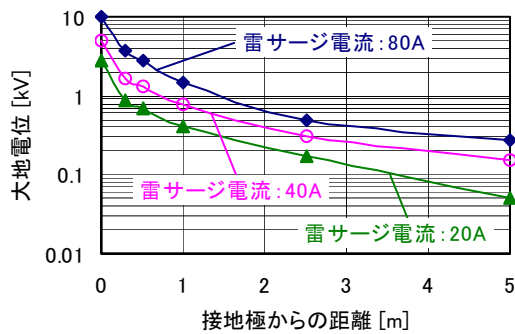


図2 雷サージ電流レベルの影響

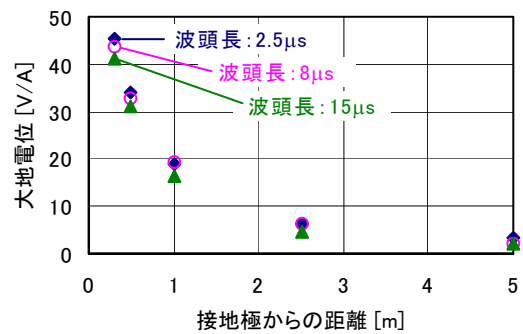


図3 雷サージ波形の急峻さの影響

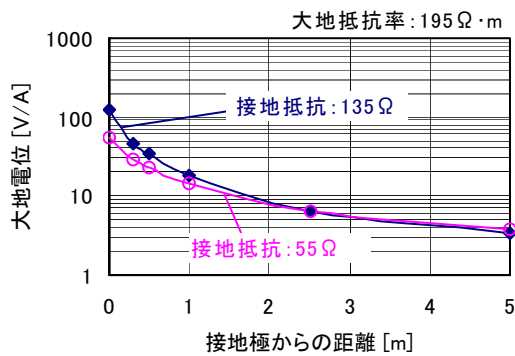


図4 接地抵抗の影響

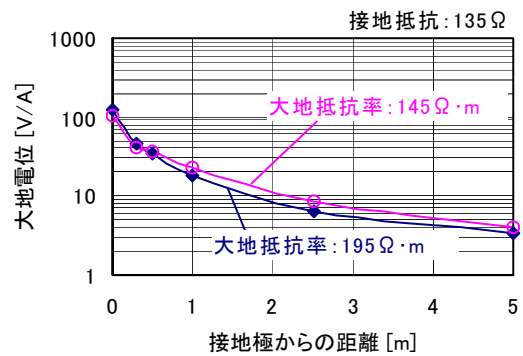


図5 大地抵抗率の影響

上離れた地点の電位上昇については、接地極の接地抵抗の影響が見られなくなる。また、大地抵抗率(土壌の電気特性)の影響を図5に示す。なお、大地抵抗率約 $200 \Omega \cdot m$ が、一般的な平野部の土壌である。図5より、大地抵抗率が低いほど、接地極周辺の大地電位上昇が大きくなる。これは、大地抵抗率が低い方が、大地電位の伝搬減衰が小さくなることに起因する。

3. 大地電位上昇による信号保安設備の雷害発生メカニズムと対策

例えば、架空地線などへの落雷により、電力設備用接地極の電位上昇が発生した場合に、それに伴う周辺大地の電位上昇が信号保安設備に与える影響は、2章で述べた主接地極を電力設備用接地極と見なすことにより想定できる。具体的には、一般的な大地抵抗率 $200 \Omega \cdot m$ の土壌にある 10Ω の電力設備用接地極に、落雷時の平均的な雷サージ電流である $20kA$ が印加された場合には、図3~図5より、接地極から $5m$ 離れた地点であっても、約 $5kV$ の大地電位上昇が生じることになる。信号保安設備は大地上に設置された器具箱に收容されているため、この大地電位上昇の影響を受けるとともに、信号保安設備の対地間耐サージ電圧と比べて、無視できるほど小さな電位上昇ではない。

この大地電位上昇による信号保安設備の雷害発生メカニズムを図6に示す。信号機器からはケーブルが外部に伸びており、他の信号機器と接続される構成が一般的である。接地電位上昇に伴う周辺大地の電位上昇の影響により、信号機器Aの電位が上昇した場合には、遠方点にある信号機器Bと接続されているケーブルとの間に大地電位上昇分の過電圧が発生することになる。これ

により、信号機器 A が損傷する恐れがある。また、信号機器 A が損傷を受けない場合でも、過電圧が信号機器 B まで伝搬することになり、信号機器 B が損傷する恐れがある。

大地電位上昇からの信号保安設備の保護対策としては、電力設備用接地極から信号機器(器具箱)を 5m 以上離す必要があるとともに、図 7 に示すように、ケーブルと信号機器との間に発生する過電圧を抑制するための保安器が必要となる。保安器をケーブルと信号機器間あるいは器具箱間に挿入することにより、大地電位上昇の影響により信号機器の電位が上昇した場合でも、過電圧の抑制ができ、信号機器の保護が可能となる。

4. レール電位上昇による踏切制御子の雷害発生メカニズムと対策

JR 会社では、信号保安設備の中で踏切制御子の雷害発生件数が最も多いと言われている。そこで、落雷時に発生するレール電位上昇に伴うレール近傍大地の電位上昇について調査し、踏切制御子の雷害発生メカニズムの検討を行った。

図 8 に、レール電位上昇に伴うレールから直角方向の近傍大地の電位上昇と接地電位上昇に伴う周辺大地の電位上昇について比較したものを示す。図 8 より、レールの方が、電位上昇時において、周辺大地との電位差が大きくなることがわかる。この要因として、レールと路盤間に存在するバラストの影響が考えられる。バラストは土と比較し導電率が低いため、レールと大地間にはバラストという高抵抗物質が介在することになり、レールの電位上昇に伴う近傍大地の電位上昇の多くをバラストが負担する。その結果、レールと近傍大地間に大きな電位差が生じる。

このレール電位上昇時のレール近傍大地との間に発生する電位差による踏切制御子の雷害発生メカニズムを図 9 に示す。図 9 に示すように、踏切制御子は、通常、レールから直角方向 2.5m 地点に建植されるコンクリート柱に支持された収容箱に収められている。踏切制御子はケーブルを介してレールと接続されており、落雷によりレール電位上昇が発生した場合には、ほぼレール

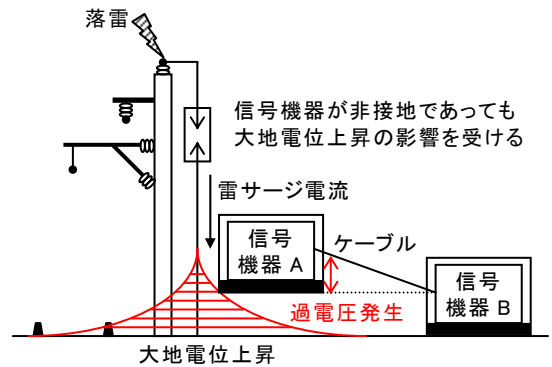


図 6 大地電位上昇による信号設備の雷害発生メカニズム

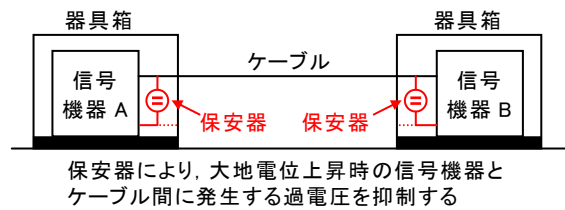


図 7 信号保安設備の保護対策

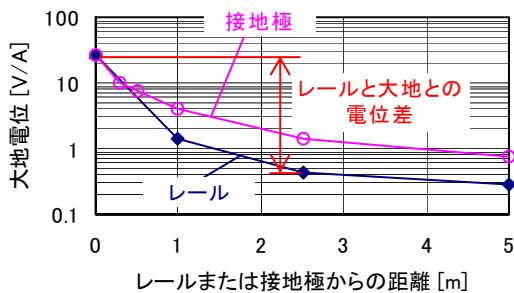


図 8 レール/接地極電位上昇に伴う周辺大地の電位上昇比較

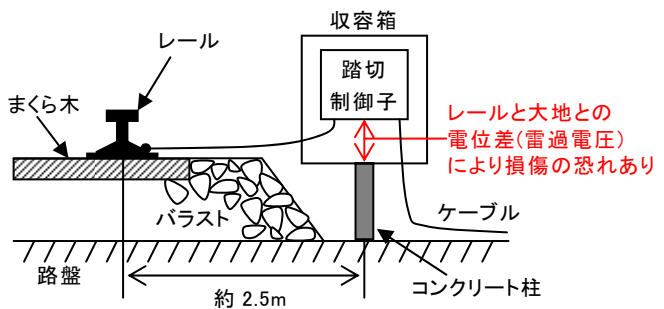


図 9 踏切制御子の雷害発生メカニズム

電位と等しくなる。一方、コンクリート柱に支持された収容箱は、コンクリート柱が建植された地点の大地電位と等しくなる。図 8 に示すように、コンクリート柱の建植地点の大地電位は、レール電位の約 10% しか上昇しないため、踏切制御子と収容箱との間には、レール電位の約 90% に相当する電位差が生じることになる。この電位差により踏切制御子と収容箱間で絶縁破壊が生じた場合に、機器故障の恐れがあると考えられる。

現状の踏切制御子の雷害対策では、落雷によるレール電位上昇が発生した場合、制御子の各端子と収容箱間(大地間)に発生する過電圧を抑制できない。そこで、図 10 に示すように、踏切制御子の軌道(受)端子に保安器を追加し、さらに保安器接地線を収容箱ならびに大地と接続する雷害対策を提案し、現地試験による効果検証を行った。

効果の検証結果を図 11 に示す。図 11 より、提案対策において、接地抵抗が低いほど雷過電圧抑制効果が高くなることわかる。また、提案対策(20Ω 接地)では、踏切制御子に発生する過電圧を現状対策の約半分に抑制できることから、踏切制御子の耐雷性を約 2 倍に向上できる対策であると評価できる。

さらに、落雷時において踏切設備に発生する雷過電圧の頻度分布を図 12 に示す。踏切制御子における現状対策では、10kV の雷過電圧が発生した際に、機器故障の恐れがあるため、図 12 中の近似式より、雷害に至る頻度は 1.07 回/年と推定できる。一方、提案対策(20Ω 接地)では、発生する過電圧を現状対策の約半分に抑制できることから、20kV の雷過電圧を発生させる雷により雷害に至ることになるため、その頻度は 0.23 回/年と推定できる。

よって、提案対策の施工により、雷被害を現状の 1/5 程度まで低減可能であると言える。

5. おわりに

本発表では、落雷に伴い発生する大地電位上昇ならびにレール電位上昇による信号保安設備の雷害発生メカニズムについて解明し、そのメカニズムを踏まえた雷害対策の検討結果と対策の施行による雷害低減効果の推定結果について報告した。

今後、提案した雷害対策の施工により、雷害件数の減少が期待される。

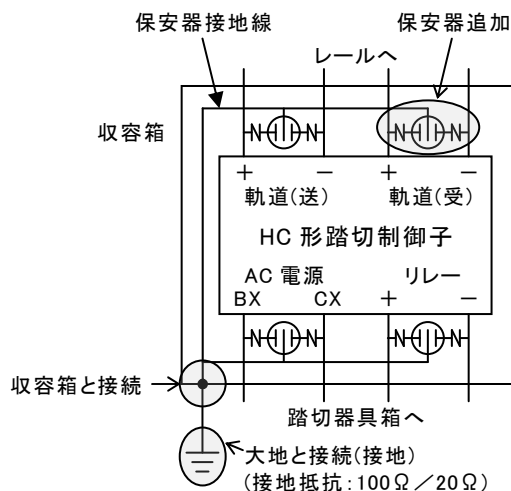


図 10 踏切制御子の雷害対策

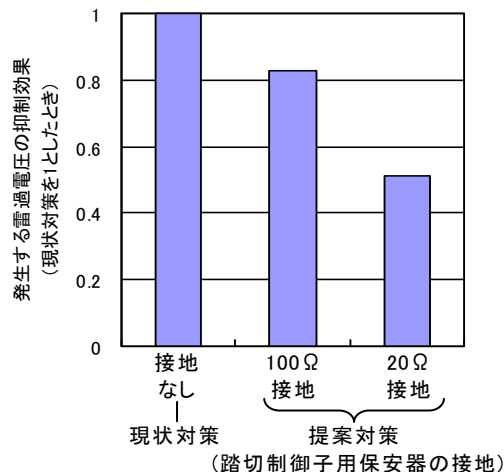


図 11 雷害対策による雷過電圧抑制効果

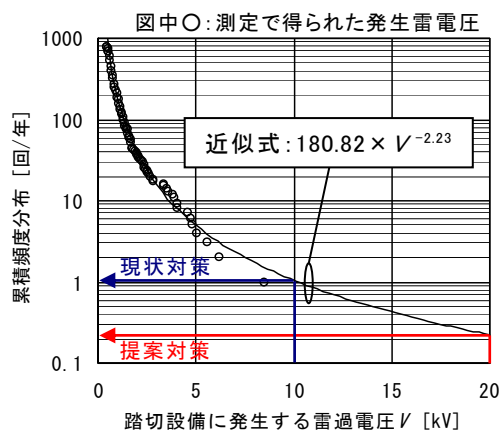


図 12 踏切設備の雷過電圧発生頻度分布