

## 電気鉄道の雷対策に向けたシミュレーション

### 1. はじめに

近年鉄道電気設備を対象に雷サージに起因する設備故障が増加しています。これらの設備故障を最小限に抑え、鉄道の安全安定輸送を確保するためには、実測に基づくシミュレーション技術の活用が必須であると考えています。鉄道と同様社会インフラを支える電力設備では、雷サージシミュレーションに基づく雷害対策がなされ、安定な電力供給が実現されています。雷害対策は、個々の実測結果により対策を取ることが難しく、これは雷撃が一樣ではないことに起因します。そのため、実測に基づくシミュレーションが有効な手段となります。シミュレーションにより、解析することで発生する雷害事例について定量的な評価が可能になり、事前に様々なケースを想定でき、また新たな対策に繋げることも可能です。さらに、シミュレーション技術を活用すれば、解析可能な範囲を拡大することもできます。

本稿では、鉄道の更なる安全安定輸送を実現するために、電気設備を対象とした雷サージ解析についての一例を紹介します。

### 2. 鉄道信号設備における雷サージ解析

雷害は、鉄道信号設備においても増加傾向にあります。鉄道信号設備は、鉄道の安全安定輸送に直結しており、これに障害が発生すると鉄道の運行に極めて重大な影響を及ぼします。この機器故障の一つに帰線電流と信号電流を区分し、列車の在線検知の役割を担うインピーダンスボンド内の共振キャパシタ焼損があります(図1)。



図1：インピーダンスボンド

そこで、鉄道信号設備の雷サージ特性において、軌道回路のインピーダンスボンドを対象に実測および汎用過渡現象解析プログラムEMTP (Electro-Magnetic Transients Program) によるシミュレーション結果を示します。インピーダンスボンドに発生する故障事例として、閉そく区間内に存在する列車の在線検知の感度を共振により向上させる役割を担う共振キャパシタの焼損があります。キャパシタは受動素子であり、キャパシタ焼損には、大きなエネルギーが必要となります。したがって、

焼損の原因として、レールから侵入する雷サージに着目します。図2に実測回路、図3に実測結果を基に作成した回路モデルを、図4にこれらを用いたインピーダンスボンドの共振キャパシタ電流を示します。実測およびシミュレーション結果は良好に一致していることが確認できます。

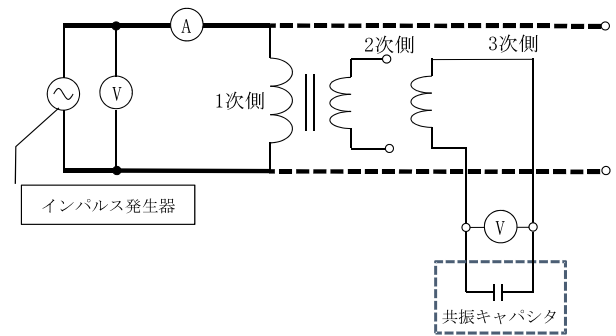


図2：インピーダンスボンドの実測回路

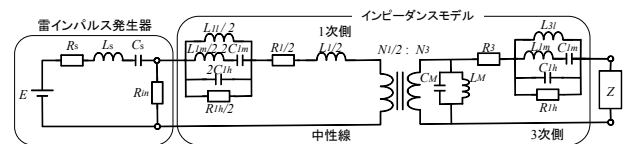


図3：インピーダンスボンドモデル回路

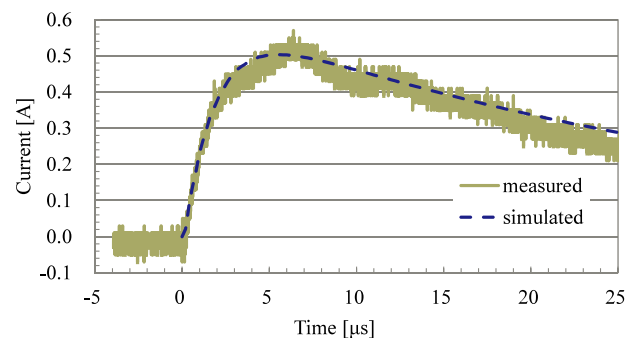


図4：インピーダンスボンド共振キャパシタ電流

### 3. EMTPによる電鉄用変電所雷サージ解析

本章では、雷撃により電鉄用変電所(以下、変電所)の整流器用変圧器(SR-Tr)が被害を受けた事例に対し、シミュレーションの適用事例を示します。図5に示すように変電所および受電する鉄塔を解析対象とします。

#### (1) 鉄塔および送電線モデル

解析対象は、変電所から9基の鉄塔とし、各送電鉄塔に雷撃があった場合を想定します。鉄塔モデルは、各アームの電位上昇ならびに架空地線との相互結合を考慮できる回路モデルを採用し、鉄塔の寸法および塔脚接地抵抗については実設備のデータを採用し、各モデル定数を算出しています。

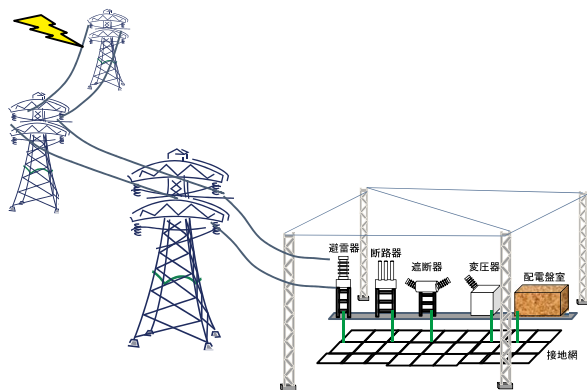


図5：シミュレーション解析対象

## (2) 変電所モデル

変電所モデルは、引込線から変圧器二次側端子までを模擬しました。引込線、母線、断路器、遮断器、変流器については、各線路長に相当する空中母線の標準モデルである単相分布定数回路 ( $Z_0 = 350 \Omega$ ,  $V_t = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$ ) を、避雷器 (Ar) については、JEC規格のV-I特性を用いた折れ線近似の非線形抵抗モデルを適用しました。変電所モデル回路を図6に示します。

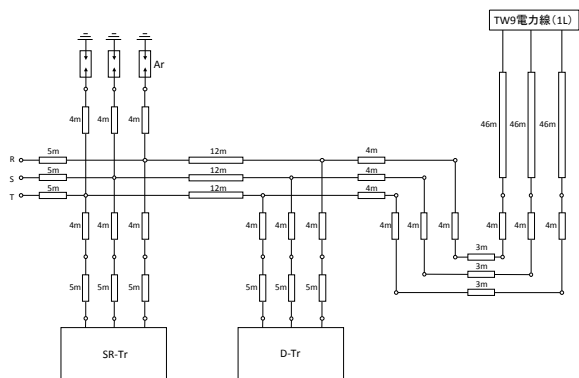


図6：変電所モデル回路

## (3) EMTPシミュレーション

作成した解析モデルを基に雷撃点やフラッシュオーバー等の解析条件について検討し、当該変電所への侵入雷サージに伴うSR-Trの事故解析を行いました。雷撃点は、鉄塔塔頂とし、事故発生時に変電所から1km以内で落雷観測データを得たことから変電所からの距離が46mから1,036mにある7基の鉄塔を対象としました。雷撃電流値は66kV系統の想定雷撃電流値である30kAとしました。

## (4) 解析結果

EMTPを用いたシミュレーション結果を図7に示します。図7の横軸は、変電所から雷撃地点までの距離を、縦軸は故障したS相に着目し、Ar、高配用変圧器 (D-Tr)、SR-

Trそれぞれに発生する電圧を示します。このように、実測は困難ですが、シミュレーションすることにより雷害事象の発生メカニズムの解明に繋げることができます。

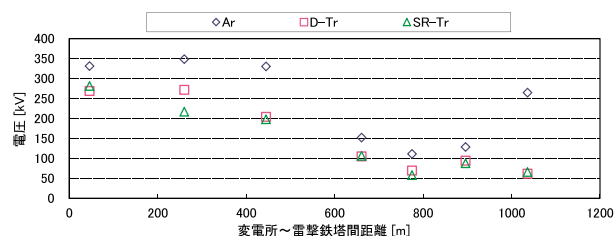


図7：雷撃鉄塔における最大電圧

## 4. おわりに

本稿では、電気鉄道における雷害事例について、信号・電力それぞれの分野における事例を対象に一例を紹介しました。2章では、軌道回路に設置されたインピーダンスボンドの故障に着目し、その原因について検討しました。その結果、レールを流れた雷電流がインピーダンスボンドに流入する際の雷サージは、本章で開発したインピーダンスボンドモデルを適用し、EMTPで解析できることを示しました。EMTPは電力システムの過渡現象解析ツールとして開発されていますが、系統解析と同様に軌道回路の雷サージ解析にも適用可能であると言えます。また、3章では、在来線変電所におけるSR-Trの雷害の原因究明のためにEMTPシミュレーションを行い、変電設備機器のインパルス耐電圧値の評価および雷撃点を推定できることを示しました。

以上のように、シミュレーションを用い、解析することで発生する雷害事例について定量的な評価が可能になり、様々なケースを想定でき、また新たな対策を講じることができます。シミュレーションを活用すれば、今後益々重要視されるビッグデータ解析と協調することにより、解析範囲を拡大することも可能になります。これより、これまで明らかにされていない事象の原因を究明し、鉄道の更なる安全安定輸送を確立したいと考えています。

### 【参考文献】

H. Tanaka, "Modelling of an Impedance Bond and its Transient Response against Lightning Impulse," EEUG Conference and Meeting 2015.