

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

鉄道沿線の 電磁誘導現象を探る

電気鉄道は、変電所からき電回路を介して電車に電力を供給しています。このため、電車が走行する際にはき電回路に高電圧・大電流の電気が流れます。この電気によって、線路周辺に敷設された通信線などの金属導体に不要な電圧や電流が現れる電磁誘導現象が発生します。電気鉄道では、電磁誘導現象による障害が発生しないように、電車を走らせる前に現象を把握し、必要に応じて対策を施す必要があるため、計算による予測を行っています。

ここでは、電気鉄道における電磁誘導現象を予測するために新たに開発したシミュレーターを紹介します。



竹内 恵一
Keiichi Takeuchi
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
主任研究員
【専門分野】有線通信システム、誘導障害



山口 大介
Daisuke Yamaguchi
前 信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
研究員
【専門分野】誘導障害

はじめに

電気鉄道では、電車に電力を供給するき電回路を流れる電流によって磁束が発生し、沿線のメタリック通信線などの金属導体に、電圧・電流が誘起される電磁誘導現象が発生します。この電磁誘導現象により通信線に発生した誘導電圧や誘導電流は、通信設備の利用者や保守作業員が感電する、あるいは、電話回線の雑音が大きくなるといった影響を与えることが懸念されます。そこで、新線を建設する際には、あらかじめこうした影響に関する予測計算を行い、その結果に基づいて電磁誘導対策が施されています。

電磁誘導現象は、き電回路の構成や、影響を受ける側の金属導体の設置位置、大地の状態など多くの要因によって複雑に変化するため、影響を予測するのが難しいことが課題でした。

き電回路から通信線に対して電気的な影響を与える現象としては、電磁誘導のほかに静電誘導がありますが、静電誘導は、トロリー線やき電線などのき電回路を構成する導体の電圧が原因となって発生する現象で、影響を受ける側の金属導体の位置関係から比較的

容易に影響を予測できます。

ここでは、電気鉄道における電磁誘導現象の概要と、誘導電圧・誘導電流を予測するための手法を紹介します。

鉄道における電磁誘導現象

電気回路に電流が流れると周囲に磁束が発生します。さらに、電流が変化すると磁束も変化し、磁束の影響を受ける他の電気回路に起電力が生じます。このような現象が電磁誘導と呼ばれています。

例えば、**図1**に示すように、大地に平行して並べられた導体Aと導体Bが存在した場合、導体Aに交流電流が流れると、アンペールの右ねじの法則に従い、導体の周囲に磁束が発生します。この磁束の変化に伴う電磁誘導現象によって、導体Bに誘導電圧と誘導電流が発生します。誘導電圧や誘導電流は、2つの導体が平行して設置されている距離が長いほど大きくなります。また、誘導電流の向きは発生する磁束の向きにより変化します。

図2に電気鉄道における電磁誘導の概要を示します。電気鉄道では、電車を動かすための電力を変電所から供給

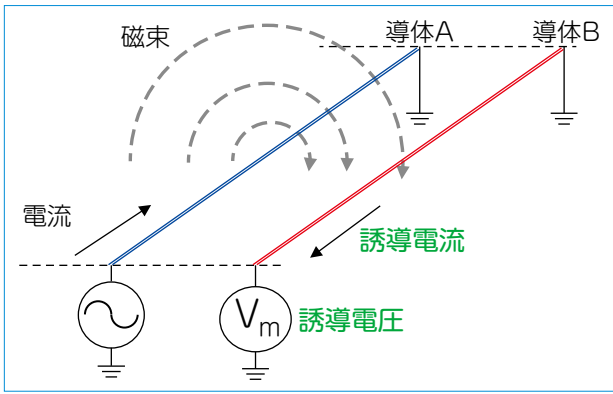


図1 電磁誘導現象

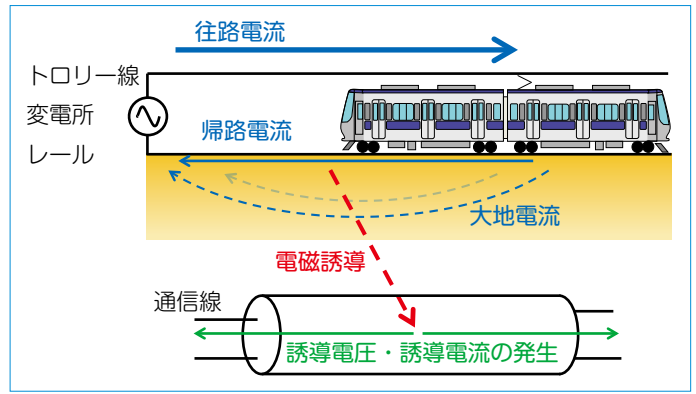


図2 電気鉄道における電磁誘導現象

しており、変電所からトロリー線を通じて電車に流れる往路電流と、電車からレールを通じて変電所に戻る帰路電流が存在します。この往路電流と帰路電流は逆向きとなり、それぞれの電流によって発生する磁束の向きも逆となります。したがって、もし、往路電流と帰路電流の大きさが同じであれば、沿線に敷設された導体(例えば通信線)に発生する誘導電流が逆向きとなって打ち消しあい、電磁誘導による影響はほとんど発生しません。しかし、レールを流れる帰路電流の一部は大地に漏れて、大地電流として変電所に戻るため、往路電流と帰路電流は同じ大きさになりません。このため、往路電流と帰路電流の差が電磁誘導の影響として通信線に現れることになります。

電気鉄道における電磁誘導対策

電磁誘導の影響により、鉄道沿線に敷設された通信線には誘導電圧が発生します。電磁誘導現象による障害を防止するため、電気鉄道では、電磁誘導によって通信線に発生する誘導電圧に対して制限値が設けられています¹⁾。

新規路線の建設やき電回路などの改修を行う場合には、事前に通信線に発生する誘導電圧を予測し、制限値を超えないかを確認します。もし、予測計算の結果、制限値を超えることが予想される場合には、電磁誘導対策を適用

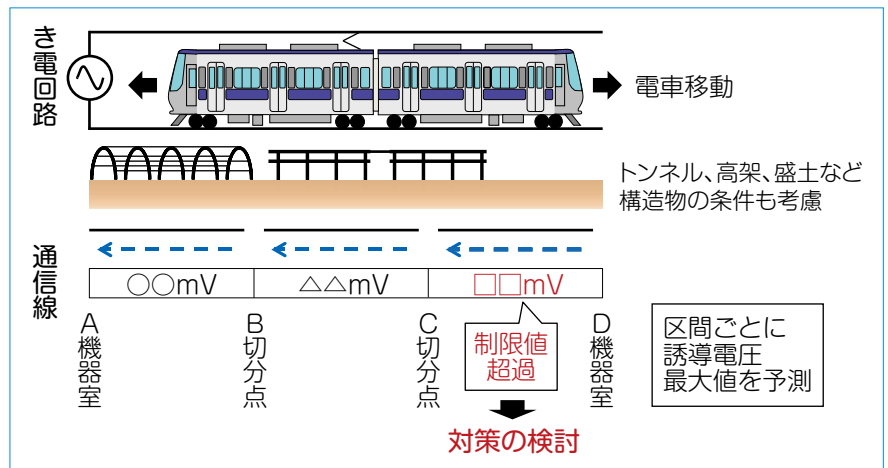


図3 誘導予測計算による評価

した条件で再度予測計算を実施します(図3)。

電気鉄道における電磁誘導対策には、大きく分けて2つの手法があります。1つは、電磁誘導の発生要因となる大地に漏れる大地電流を減らしたり、電流の向きを変えたりする手法、もう1つは影響を受ける側で誘導電圧や誘導電流を低減する手法です。図4に電磁誘導対策の概要を示します。

図4の対策①は、電車に電力を供給するき電回路での対策で、き電回路に

交流電流が流れる交流電気鉄道での対策となります。代表的なものとしては、BTき電(図参照)²⁾やATき電(図参照)³⁾があります。図4の対策②は、電磁誘導の影響を遮蔽する効果がある遮蔽層で通信線を覆う方法や、通信線に誘導軽減器と呼ばれるトランスを挿入して、通信線を一定区間毎に区切って電圧や電流の上昇を防ぐ方法などがあります。

事前の予測計算で制限値を超えないことが確認できたのち、工事が行われ

BTき電

一定間隔で設置した吸上変圧器(BT: Booster Transformer)によってレールから負き電線に帰路電流を吸い上げて大地に漏れる電流を減らすき電方式です。

ATき電

一定間隔で設置した単巻変圧器(AT: Auto Transformer)によって帰路電流が分散して流れるようにし、大地に漏れる電流を減らすき電方式です。

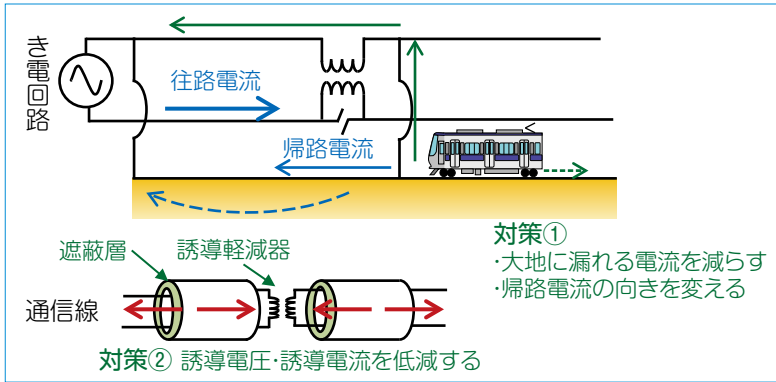


図4 電磁誘導対策の概要

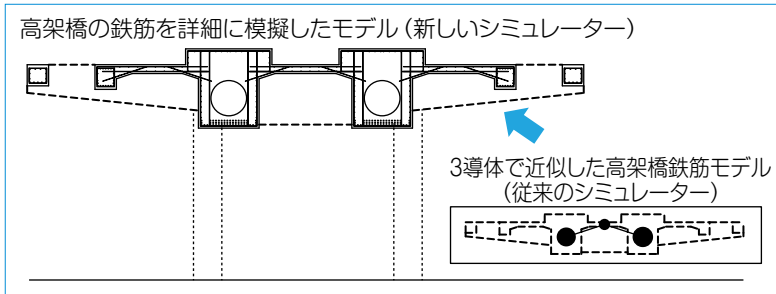


図5 土木構造物による低減効果を考慮したモデル

ます。工事完成後には実際に電車を走行させて誘導電圧の測定試験を行い、計算の妥当性や、対策の効果を確認します。

電気鉄道における電磁誘導予測計算の特徴

電磁誘導の予測計算では、電流が流れる導体と影響を受ける導体の位置関係などを考慮した電気回路に置き換えた計算モデルを作成し、電流が流れたときの誘導電圧や誘導電流を計算します。

電気鉄道では、帰路電流の一部が大地に漏れますが、この原因は、レールが地面に接しており、電気的に接続された状態となっているためです（接地と呼びます）。レールは非常に長い導体ですので、長い区間にわたって分布して接地されている状態となり、大地に漏れる電流が複雑に変化します。このような状態を模擬するため、電気鉄道のき電回路や通信線を対象とした予測計算では、短い区間毎に分割した計

算モデルを作成する必要があります。線区全体の計算モデルの規模は大きなものとなります。さらに、複数の電車の移動を模擬するため、電車の本数や電車の位置の変化に応じて、モデルを変更しながら計算を繰り返す必要があります。

従来の予測計算手法の課題

前で述べたような鉄道特有の条件を考慮して予測計算ができるよう、1968年に鉄道用の誘導予測計算シミュレーターが開発され、現在まで使用されています⁴⁾。これまで、通信線における電磁誘導予測計算は、制限値が定められている電源周波数(50Hzまたは60Hz)と音声通話で使用される4kHz以下の音声周波数帯域を対象

として実施していました。このため、従来のシミュレーターは4kHz程度の周波数までしか計算できないものでした。しかし、近年はメタリック通信線が音声通話だけでなくxDSL（⁵⁾参照）などによるデータ伝送にも使用されるようになっていきます⁵⁾。

また、高架橋などの土木構造物のコンクリートの内部には多数の鉄筋などが存在します。これらの鉄筋も金属導体ですので、電磁誘導現象によって電流が流れ、これにより通信線に誘起された電流を低減する効果があります。

従来のシミュレーターでは、土木構造物に含まれる鉄筋等による電磁遮蔽は、無視するか、多数の鉄筋を数個の導体に置き換えた近似モデルで計算を行っていました。この方法では、実際に通信線に発生する電磁誘導電圧・電流値より大きめの予測計算値となります。

新しいシミュレーターの開発

鉄道総研では、上で述べた従来のシミュレーターでの課題を解決するため、新しいシミュレーターCSIRE (Circuit Simulator for prediction of electromagnetic Induction in Railway Environment)を開発しました⁶⁾。このシミュレーターでは、データ伝送で使用される1MHz前後の周波数まで計算できるモデルを導入しました。また、土木構造物に含まれる多数の鉄筋をそのままモデル化してその影響を計算する機能を加えています(図5)。開発したシミュレーターの概要を図6に示します。

予測計算を行うために、レール、ト

⁵⁾ xDSL

Digital Subscriber Lineの略称で、電話線として使用されているメタリック通信線に高い周波数の信号を流して高速・大容量のデータ伝送を行う方式です。「x」の部分には信号の流し方や伝送速度などの特徴を示すアルファベットが入ります。鉄道ではHDSLやSHDSLなどが使用されています。

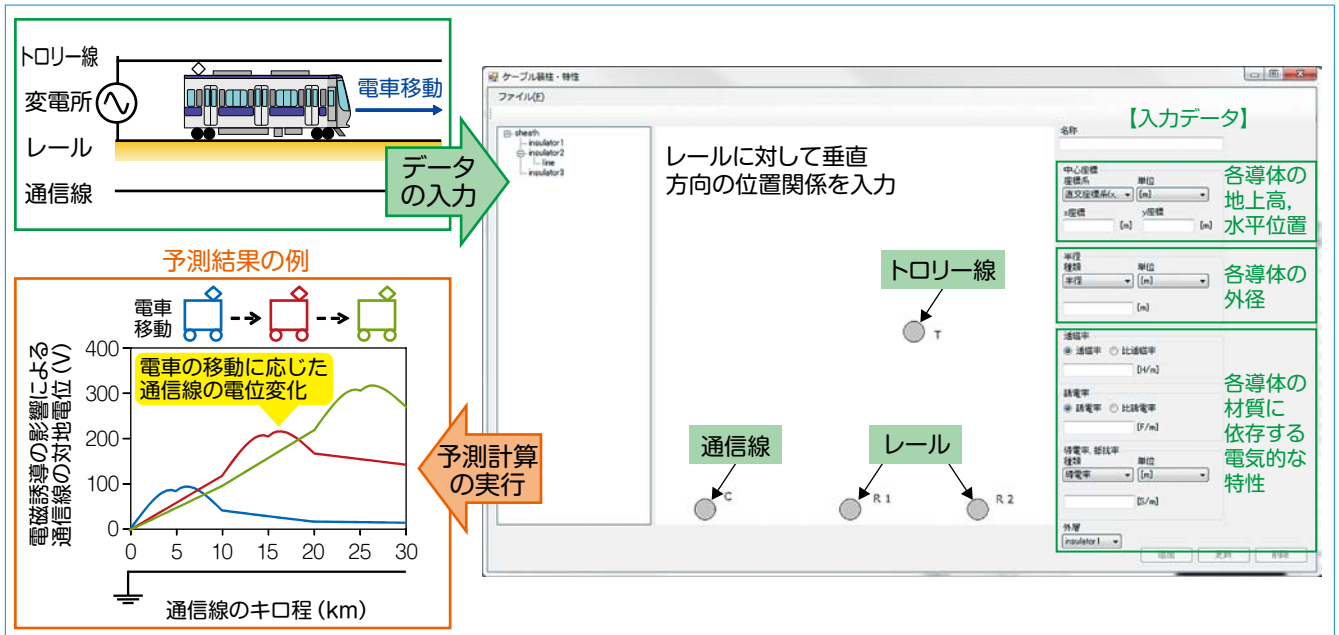


図6 開発したシミュレーターの概要

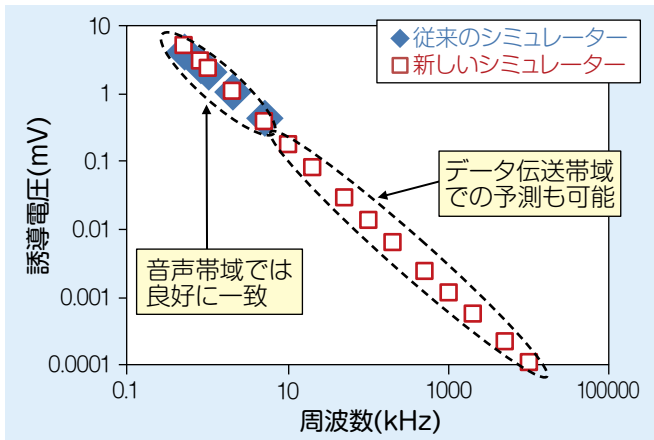


図7 データ伝送周波数帯域での予測計算結果の例

表1 予測計算結果の比較例

誘導電圧値	
実測値	3.77mV
従来のシミュレーターによる予測値	4.95mV (実測値に対する差 +31%)
新しいシミュレーターによる予測値	4.50mV (実測値に対する差 +19%)

トロリー線、通信線等の各導体の地上高、水平位置、外径と導体の材質に依存する電気的な特性、各導体の長さや変電所、電車の位置などのデータを入力し、計算を実行することにより、通信線に発生する誘導電圧と誘導電流の予測結果を得ることができます。

シミュレーターによる計算結果の例を図7と表1に示します。図7に示すように、データ伝送で使用される周波数での予測計算が可能となりました。また、表1に示すように従来のシミュレーターに比べてより高精度な予測計算が可能となりました。

おわりに

電気鉄道における電磁誘導現象によって線路周辺の通信線などに発生する電圧・電流を予測するために新たに開発したシミュレーターを紹介しました。

電気鉄道では、沿線の通信線などに電気的な影響を与える現象として、電磁誘導以外にもき電回路での短絡故障や落雷などがあります。今回紹介したシミュレーターを基にこれらの現象に対する影響を予測できるシミュレーターの開発を進める予定です。RRR

文献

- 1) 浜寄正一郎：通信誘導 (7)，鉄道と電気技術，Vol.17, No.1, pp80-85, 2006
- 2) 中道好信：鉄道技術アラカルト-4-交流き電 (BTき電)，RRR, Vol.61, No.7, pp32-33, 2004
- 3) 中道好信：鉄道技術アラカルト-5-交流き電 (ATき電)，RRR, Vol.61, No.8, pp34-35, 2004
- 4) 山口大介：研究開発 七つ道具 No.24 通信誘導計算のシミュレーション環境，RRR, Vol.71, No.4, p41, 2014
- 5) 進藤正昭，中村一城，関清隆：メタリック通信ケーブルを利用した高速通信技術，RRR, Vol.59, No.3, pp22-25, 2002
- 6) 山口大介，竹内恵一，林雅江：データ伝送帯域に適用可能な電磁誘導予測シミュレータの開発，鉄道総研報告，Vol.30, No.1, pp.35-40, 2016