

駅構内における帰線電流分布の解析手法

寺田 夏樹* 遠山 喬*
原 智昭** 宮下 優*

Calculation of the Current Distribution of Return Circuit at the Station

Natsuki TERADA Takashi TOYAMA
Tomoaki HARA Yu MIYASHITA

The appropriate layout of the return circuit at the station, which consist of rails, cross bonds, jumper wires, etc. are very important for preventing the false dropping down of track circuits caused by the magnetic saturation of impedance bonds, and the damages to insulations. However, the layouts have been designed based on experiences. In order to enable more appropriate design, we propose to calculate the current distribution of the return circuit at the station based on nodal analysis. We have studied the application of nodal analysis to the current distribution calculation, and we confirmed the validity of the analysis by comparing the computed distribution with the actual distribution.

キーワード：帰線電流，電流分布，節点解析法，Scilab

1. はじめに

電化区間においては、信号電流と帰線電流を分離するために軌道回路境界においてインピーダンスボンドを設置しているが、直流区間では大きな帰線電流が流れる。ラッシュ時等において、インピーダンスボンドに帰線電流が集中して流れると、磁気飽和を起し、励磁インピーダンスの低下を通じて軌道回路の不正落下につながる可能性がある。これに対してインピーダンスボンドの定格を上げれば、飽和は起きにくくなるが、定格の大きいインピーダンスボンドは重量や容積がかさみ、設置に手間や費用がかかることから、極力使用を避けたいのが実情である。

帰線電流によるインピーダンスボンドの磁気飽和を減らすもう一つの対策として、クロスボンドによる帰線電流の迂回という手法がある。クロスボンドは、変電所から見たレールのインピーダンスの低減や、駅構内における電流経路の多重化などの目的で使用される。クロスボンドにより電流が小さくなれば、インピーダンスボンドの定格を上げずに済む。

また、複線区間の場合、駅構内において、上下線間にわたり線が設置されることがあるが、この上下線間のレール絶縁を挟んだ電位が、予想外に大きくなる可能性がある。このような場合、車両を通じて流れる電流が、車両が通過し終わる際に流れ続けようとする結果、アークが生じ、レール絶縁を損傷することがある。アークの発生は絶縁を挟んだ両側のレールの電位差が高いと発生し

やすくなるため、上下線間をクロスボンド等で接続することにより避けることができる。

いずれの場合もクロスボンドの設置が障害の低減に重要な役割を果たしているが、その設置の仕方については、現状の設計施工標準にはほとんど示されておらず、経験的に行われているのが実情である。

そこで、計算により帰線電流の分布を求める手法を検討し、その妥当性を確認したので報告する。

2. 帰線電流分布の計算手法

2.1 節点解析法

電子回路シミュレータとして代表的なものに Spice がある。Spice は過渡現象や交流信号に対応しており、半導体などの非線形素子を扱うことも可能である。しかし、電子回路シミュレータを帰線電流分布の計算に応用する場合、列車の位置に合わせて列車に相当する電源を移動する必要がある。電源の位置をシミュレータで扱うためには、列車の位置が変わるたびに回路モデル（ネットリスト）を更新する必要があり、その更新部分を構築する必要がある。

一方、本課題で対象としているのは直流であるため、静的な解析ができれば十分である。そこで、電気回路網解析手法として最も基本的な節点解析法を直接適用することとした。これは、キルヒホッフの電流則（任意の節点に流れ込む電流の総和は0）とオームの法則（節点間の電流と抵抗の積は節点間の電位差となる）から、連立方程式を導いて解く方法である。

電気回路網において、 n 個の節点を考える。節点 i の

* 信号・情報技術研究部 信号システム研究室

** 前 信号・情報技術研究部 信号システム研究室

特集：信号通信技術

電位を v_i (未知), 節点 i に流れ込む電流源電流を i_i (既知), 節点 i と j の間のコンダクタンス (抵抗の逆数) を g_{ij} (既知) とする。なお, 節点 i と j が接続されていない場合は $g_{ij} = 0$ とすればよい。

オームの法則より節点 j から節点 i に流れる電流は $(v_j - v_i)g_{ij}$ であるから, 節点 i に関してキルヒホッフの電流則により式 (1) が成り立つ。

$$\sum_{j \neq i} (v_j - v_i)g_{ij} + i_i = 0 \quad (i, j = 1 \dots n) \quad (1)$$

n 個の節点に関して方程式を立てると, n 本の連立 1 次方程式が立てられるが, これは解が 1 つに定まらない。それは (1) 式のうち, 1 本の方程式が冗長であるためであり, これを解くためには v_i のうち 1 つの値を指定する必要がある。具体的には n 番目の節点の電位を 0 とすればよい。これにより式 (1) は節点 n に関して方程式を立てる必要がなくなる。その結果,

$$G = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1,n-1} \\ g_{21} & g_{22} & & g_{2,n-1} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ g_{n-1,1} & g_{n-1,2} & \cdots & g_{n-1,n-1} \end{pmatrix}, \quad V = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_{n-1} \end{pmatrix}, \quad I = \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_{n-1} \end{pmatrix} \quad (2)$$

ただし, g_{ij} は

$i = j$: 節点 i に接続されているコンダクタンスの和

$i \neq j$: 節点 i と j の間のコンダクタンスに -1 をかけたもの
とすると節点方程式は式 (3) で示すことができる。

$$GV = I \quad (3)$$

節点解析法では, 電圧源は電流源に変換して解析を行う。実際の帰線回路を考えると, 帰線回路に接続される電源は変電所であり, これが, 車両の位置と吸上げ点において接続されると解釈できる。つまり, 変電所の吸上げ点において電流が流れだし, 車両の存在する位置で電流が流れ込む, と考えればよい。ここで, 変電所の吸上げ点を節点 n とすると, I は車両の存在する位置にのみ非零の値となる。なお, モデルにより基準電位の番号が変わるのでは扱いにくいので, 以後の説明では, 基準電位の節点番号を 0 として考える。

このように考えると, 帰線回路の解析は節点解析法が適用できることが分かる。つまり, 設備から決まるコンダクタンス行列 G と, 車両や変電所によって定まる電流源ベクトル I から, 未知である電位ベクトル V が求まる。各節点の電位差が求まれば, その間の電流は電位差にコンダクタンスをかければ求まるから, 最終的に電流分布を求めることができる。ここで, 考えている方程式は線形方程式であるため, 電車電流の大きさ (おおよそ 1M 車あたり 600A と考えておけばよい) に比例して, 各部

電流が増える。そのため, 例えば電流を 1000A とし電流分布を求めておけば, 実際に流れる電流は車両の電流に合わせて掛け算をすることにより求めることができる。

さらに, 節点解析法の解析結果に対しては, 電気回路の重ね合わせの理が使える。これは, 複数の電源を含む電気回路の電流・電位分布は回路網の電源が独立して存在するときの電流・電圧を重ね合わせたものに等しいという原理である。ここで個々の電源による電流・電位分布を求める場合には, 電圧源は短絡, 電流源は開放として求める。つまり 1 つの変電所からの電流分布に着目した場合, 他の変電所がないものとして求めて重ね合わせればよい。つまり, 列車が 1 つあり, 変電所が 2 つある場合には, それぞれの変電所による電流分布を足し合わせれば, 2 つの変電所間のレール電流分布が得られ, 複数の列車が存在する場合には, 個々の列車による電流分布を重ね合わせれば複数列車による電流分布が得られる。

2.2 各種導体の抵抗値

節点解析法により, 電流分布を計算するには, 節点間のコンダクタンスが必要である。つまり, 帰線回路を構成する導体の抵抗値が必要となる。そこで, 計算に必要な抵抗値を調査した。

①レールの電気抵抗

レール 1 本の抵抗値はおおよそ以下のとおりである。

30kg	49.9μΩ/m
37kg	41.1μΩ/m
40N	38.2μΩ/m
50N	31.6μΩ/m (25m で 790μΩ)
60kg	26.2μΩ/m

実際にはこの値は温度依存性を持つが, 鉄の温度係数は $1.5 \sim 5 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ 程度であり, 数十°C の違いであれば, 誤差とみなすことができる。焼き入れレールでも抵抗値が変わるが, 不平衡率の予測を目的にしないのであればそのままでも十分である。

また, 定尺レールを用いた区間ではレールボンドの分だけ抵抗値が増える。レールボンドの抵抗値は標準的な CV1-55-280 と CV1-55-500 との組み合わせで 65.6μΩ, CV2-110-280 で 52μΩ であり, レール 1 ~ 2m 分 (25m に対して 5 ~ 10% 程度) に相当する。厳密に考慮する場合は, この増分を加えればよいが, おおよその計算をする場合にはそのまま, あるいはレール抵抗値を 5 ~ 10% 程度増やして計算すればよい。

②インピーダンスボンドの電気抵抗

インピーダンスボンド 1 次コイルの抵抗は旧 JRS 規格によると,

DC 商用 : 500A	0.75mΩ	1000A	0.5mΩ
DC 分倍 : 500A	0.95mΩ	1000A	0.75mΩ

となっている。片腕の抵抗値はその半分とすればよい。

③インピーダンスボンド導線・ジャンパ線・クロスボンドの電気抵抗

標準的な配線である $115\text{mm}^2 \times 2$ 本の導線の抵抗は銅の抵抗率を元に求めると $73\mu\Omega/\text{m}$ となる。これらの導体の長さは現場合わせをしていて、実際の長さが分からない場合も多いが、台帳の値を用いるか、適当な長さ（例えば 5m ）を仮定して用いることになる。なお、レールの抵抗と比較した場合に、これらの導線の抵抗値が大きいに注意すべきである。左右の腕で長さが 1m 違うと、 50N レール 2m 以上の差となる。駅中間の軌道回路ではレールの長さは数 km であり、インピーダンスボンド導線の長さの差はそれに比べるとわずかであるが、駅構内で数十 m 程度の長さの軌道回路を考えた場合、導線の長さの違いが不平衡の大きな原因になることが分かる。

④分岐器の電気抵抗

分岐器の抵抗値については、番数やクロッシング、ジャンパ線の配置など様々な要素で抵抗値が変わる。個々の分岐をモデル化するのは困難であること、さらに信号通信区の設備台帳からは実態が把握しにくいことから、設備台帳から割り出せる位置で定位側のレールと反位側のレールが分岐しているという解釈を取ることにした。

ただし、軌道回路構成の直列式・並列式の違いは考慮に入れる必要がある。図1のような直列式の場合には帰線電流が流れない点線部分は無視できる。図2のような並列式については、分岐側が複軌条の場合は、両方のレールをモデル化しなくてはならない。単軌条となっている場合は、帰線レールのみをモデル化すればよい。

2.3 計算例

まずは、計算ができることの確認を実施した。図3にモデルを示す。条件は以下のとおりである。

- ・ 全て 50N レールで複軌条とする。
- ・ 分岐の軌道回路は直列式（ジャンパ線はインピーダンスボンド直下とする）

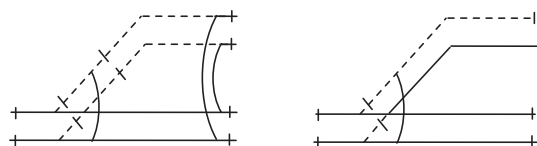


図1 直列式

図2 並列式

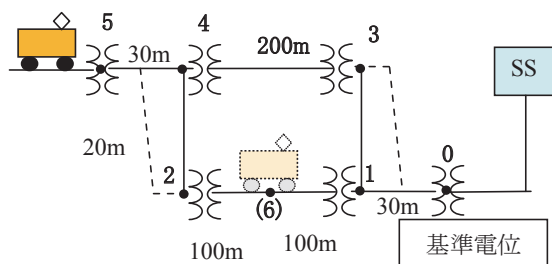


図3 ケーススタディのモデル

- ・ インピーダンスボンド種別は DC 商用 500A とし、導線の長さは無視する。
- ・ 基準電位は節点 0 に取る。
- ・ 節点 0 および節点 5 はインピーダンスボンド中性点、1～4 はレール上にとる。

レールについては 2 本を 1 つにまとめて考える。抵抗値は 1 本ずつで考えた場合の半分となる。

節点 x と y の間の抵抗 R_{xy} を求めると（括弧内はコンダクタンス）

$$R_{12}, R_{34} : (0.750 \div 2 \times 4 + 200 \times 0.0316 \times 1.2) / 2 = 4.54\text{m}\Omega (220\text{S})$$

$$R_{13}, R_{24} : 0.073 \times 5 / 2 = 0.184\text{m}\Omega (543\text{S})$$

$$R_{01}, R_{45} : (0.750 \div 2 + 30 \times 0.0316) \div 2 = 0.616\text{m}\Omega (1623\text{S})$$

従って G は次に示す行列となる。

$$\begin{pmatrix} 220+543+1623 & 220 & -543 & 0 & 0 \\ -220 & 220+543 & 0 & -543 & 0 \\ -543 & 0 & 220+543 & -220 & 0 \\ 0 & -543 & -220 & 220+543+1623 & -1623 \\ 0 & 0 & 0 & -1623 & 1623 \end{pmatrix}$$

仮に $I = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1000)$ とし $GV = I$ を解くと

$$V = (0.61614 \ 2.88887 \ 1.53695 \ 3.80968 \ 4.42582)$$

従って、節点 x から y に向かって流れる電流 i_{xy} は

$$i_{01} = i_{45} = 0.61614 \times 1623 = 1000(\text{A}),$$

$$i_{12} = i_{34} = 2.27272 \times 220 = 500(\text{A}),$$

$$i_{24} = i_{13} = 0.92081 \times 543 = 500(\text{A})$$

となり、場合 1-2 と 3-4 には 500A ずつ流れることがわかる。

また、列車が節点 1 と 2 の中央にいるとした場合、節点 1 と 2 の中間に節点 6 を設定すると、1-6 と 2-6 のコンダクタンスは 440S になるので G は次に示す行列となる。

$$\begin{pmatrix} 220+543+1623 & 0 & -543 & 0 & 0 & -440 \\ 0 & 440+543 & 0 & -543 & 0 & -440 \\ -543 & 0 & 220+543 & -220 & 0 & 0 \\ 0 & -543 & -220 & 220+543+1623 & -1623 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1623 & 1623 & 0 \\ -440 & -440 & 0 & 0 & 0 & -440 \end{pmatrix}$$

$I = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1000)$ とすると

$$V = (0.61614, 2.08002, 0.94380, 1.75251, 1.75251, 2.48451)$$

$$i_{01} = 0.616142 \times 1623 = 1000(\text{A})$$

$$i_{16} = 1.8683725 \times 440 = 822(\text{A})$$

$$i_{26} = 0.4043548 \times 440 = 178(\text{A})$$

$$i_{24} = i_{13} = 0.327178 \times 543 = 178(\text{A})$$

$$i_{34} = 0.8087097 \times 220 = 178(\text{A})$$

$$i_{45} = 0$$

この場合 178A の電流が $2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ と反対の線路を回って変電所に帰ることがわかる。

このモデル化においては、レールから大地への漏れ電流は無視している。しかし、漏れ電流が存在する場合には、レールに流れる電流は基本的に小さくなる。したがって、帰線回路設計のための電流分布把握の用途においては、漏れ電流を無視した方が安全側となる。その妥当性は実測で判断することとする。

3. 計算ソフトを利用した帰線電流分布の計算

3.1 計算ソフト

節点解析法では行列の作成と行列計算が必要となる。プログラムを組むことも可能であるが、行列計算は汎用の行列計算ソフトを活用する方が容易であり、高速に計算ができる。行列計算ソフトは、商用では MATLAB、フリーで入手できるソフトでは Scilab や Octave などが代表例として挙げられる。

これらの計算ソフトを使うと、行列を解くだけでなく、変数を扱うことができ、行列の作成も比較的簡単である。コンダクタンス行列は基本的に疎行列（0でない要素が少ない行列）となるが、これらの計算ソフトは疎行列を扱うことが可能であり、行列の非零の要素だけを指定することで構成できる。また、スクリプト（マクロ）を記述する事が可能であるため、標準的なスクリプトを作成すれば、それを編集することで多様な計算に対応可能であり、出力を好みに合わせて変えることもできる。ここでは、Scilab 用のスクリプトを作成した。

このスクリプトでは、節点の始点、終点とその間のコンダクタンスを指定すれば（指定は順不同でよいが、節点番号に空きを作ってはいけない）、コンダクタンス行列を構成してくれる。具体的には g_{ij} の値を指定すると、 $g_{ij} = g_{ji}$ であることから、 g_{ji} にコピーし、さらに対角成分 g_{ii} を計算してくれる。 g_{ij} を指定する場合は、導体毎の抵抗率が定義されるので、導体の抵抗×長さの和の逆数を代入する。方程式を実際に解く場合にはコンダクタンス行列の逆行列を直接求めるのではなく LU 分解（行列を下三角行列と上三角行列の積に分解する。）を用いており、一度 LU 分解を行うと、電流分布の計算は同じ分解結果を用いることができる。

なお、計算規模に限界があるが、Excel でも逆行列を求める機能があるため、簡単なモデルであれば Excel でも計算可能である。

3.2 計算ソフトを使用した場合の計算結果の検討

いくつかの駅を例に計算を行った。図4のような単線の行き違い駅において節点を 50m おきに設定し、列車を①→②→④と移動した場合の①、②、③から変電所に向かって流れる電流の計算結果を図5に示す。図5では電流の変化が直線状になっていることがわかる。この例のようにレールの抵抗率が途中で変わらない場合には、そのレール上の列車の位置に対する電流の変化は1次関数で示すことができる。従って、実際には図5のように細かく節点を設定する必要はなく、インピーダンスボンド導線の打ち込みみに節点を設定しておけば、その間の位置に在線している場合の電流は補間によって得ることができる。

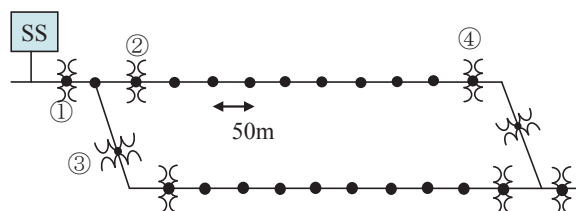


図4 計算モデル（節点を 50m おきに設定した例）

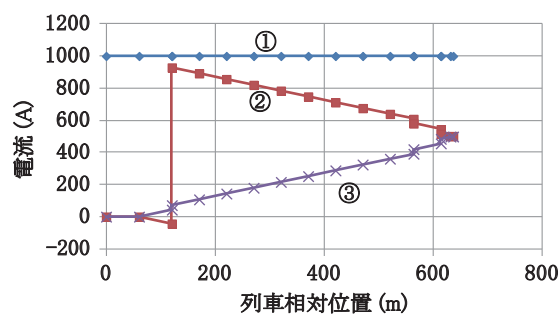


図5 帰線電流計算結果

また、100 程度の節点がある事例を試してみたが、計算そのものは 1 秒以内で終了した。LU 分解による連立方程式の計算量は n の 3 乗に比例するため、単純に 1000 の節点があったとしても 1000 秒以内、つまり 20 分以内に計算が終わることになる。なお、一度 LU 分解をしてしまえば、連立方程式を解く計算量は n の 2 乗に比例するため、負荷位置を変えた時の計算の負荷はそれほど大きくない。ただし、データが多くなると出力結果が膨大になり、また、計算結果の可視化や評価が難しくなる。

節点の設定は以下のように行えばよい。

- ・レールの分岐箇所、レールにおけるインピーダンスボンド導線接続箇所、インピーダンスボンド中性点を基本として節点を設定する。なお、必要に応じて追加したり、削除したりすることは任意であるが、空き番号は作ってはいけない。空き番号があると、正しい計算ができない。また大規模構内を対象にする場合には、近接した位置がなるべく近い番号になるように番号を振った方が LU 分解の効率がよくなるため、計算は速くなる。
- ・変電所が 1 つしかない場合は、変電所を節点 0 とし、後は 1 から空き番号がないように振る。
- ・変電所が 2 つ以上ある場合は、以下のように考える。なお、電流分布を求める駅構内から見て直近の変電所のみを考慮し、さらに遠方の変電所は、直近の変電所の一部として取り扱う。

①それぞれの変電所に対する計算を足し合わせる

この方針で行う場合、吸上げ点には節点番号を振らず、変電所を考慮する場合に吸上げ点の節点番号を 0 とする。また、電流ベクトルについては、車両の位置に対応する節点のみ計算に用いる電流値（例え

ば 1000A) を入力する。

また、計算結果を足し合わせる場合には以下の方法がある

- ・変電所までの距離（複線では半分とする）の逆比で足し合わせる
- ・それぞれの変電所での計算結果から、車両位置と変電所の電位差を電流で割ると、レールのインピーダンスが求まるので、その逆比を用いる。

②同時に2つの変電所をモデルに入れて計算する場合節点番号0に関してはいずれの変電所にも属さない遠方を0とする。

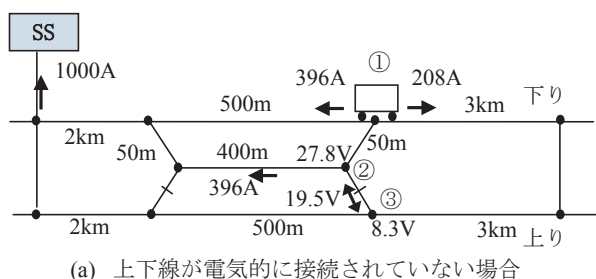
電流源ベクトルについては、車両の存在する位置の節点に全電流（例えば 1000A）を入力し、吸上げ位置に対応する節点に負の電流を吸上げ電流によって案分して設定する。

4. 絶縁間の電位差の計算

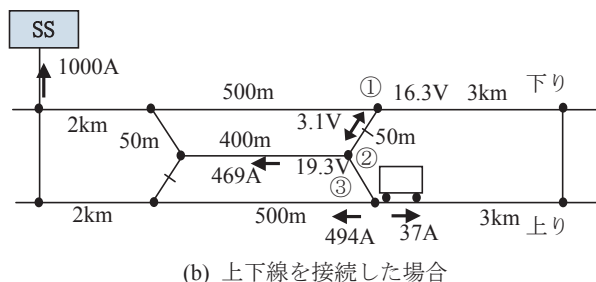
これまで、電流分布に着目してきたが、節点解析法は電位に着目して計算を行うので、各節点の電位を直接求めることができる。これにより絶縁を挟んだ両側の節点の電位差を、求めることができる。

これまでの所内試験等を通じた知見では、直流き電時において列車が絶縁を通過する場合に、通過後における絶縁を挟んだ電位差が 10V を超えると、列車を通じて流れる帰線電流が流れ続けようとしてアークを生じる可能性があることが分かっている。また、40V を超えると確実にアークが継続する。アークが発生すると絶縁の損傷につながるため、電位差を下げる必要がある。

図6の例を考えてみる。ここでは駅間に中線がある構成だが、図6(a)では上下線間が電氣的に接続されていない場合



(a) 上下線が電氣的に接続されていない場合



(b) 上下線を接続した場合

図6 電位差の計算と改善例

いない。簡単のためインピーダンスボンドの抵抗を無視する。①に列車が存在して 1000A の電流が変電所に帰る場合の計算をすると、下り線と中線には 396A ずつ流れ、上り線には 208A が迂回して流れる。その結果②と③の間には 19.5V の電位差が生じる。仮にこのタイミングで②と③の間に列車が存在し、中線に進入中と仮定した場合、②と③の間の絶縁を完全に通過するタイミングでアークが発生する可能性が生じる。

図6(b)のように①と②の間の接続を切り、②と③の間を結ぶと、②と③の電位差はほぼ0となる。③に在線する列車から 1000A が変電所に帰るとすると、下り線を迂回する電流は 37A とわずかであり、①と②の電位差は 3.1V にとどまる。よって①と②の間を列車が通過してもアークが発生する可能性は小さくなる。

このように節点解析法による計算により、電位差によるアーク発生・レール絶縁損傷の可能性の予測をすることができる。

5. 実測による計算の妥当性の評価

計算の妥当性を調べるため、計算と実測データとの比較を行った。

本来は大規模駅構内で実測を行うことで計算の妥当性を調査することが望ましいが、そのためには電流センサを大量に必要とするだけでなく、多くの列車の位置を正確に把握する必要があり、正確な測定が困難である。そのため、列車位置の推定が容易な単線の交換駅を対象に測定を実施した。駅構内のモデルは図7に示すとおりである。列車は上下線とも高々1本ずつ在線するタイミングで測定を実施した。

実測と計算の比較の例を図8(実測)および図9(計算)に示す。実際には上り列車は①→③→⑥→④と移動するが、図9に合わせて、起点方からの相対距離を横軸とした。また、電流は①から変電所に吸い上がる電流を 1000A に正規化し、電流の向きは終点方へ流れる向きを正とした。

シミュレーションでは、列車位置を1点と仮定しているため、インピーダンスボンド通過時に急激に変化しているが、実際には列車は複数のユニット毎に負荷が分散

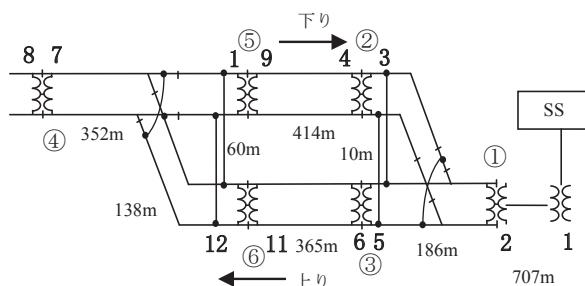


図7 駅構内計算モデル

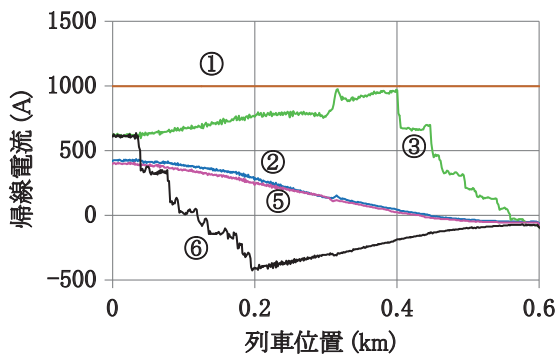


図8 帰線電流実測結果（上り）

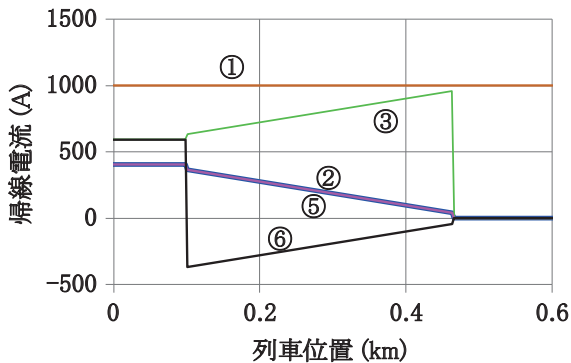


図9 帰線電流計算結果（上り）

しているため、列車長に相当する分だけ、緩やかに変化している。その点を除けば、おおむね傾向としては計算に合致している。

また、列車が起点方に在線している時の下りホームトラックと上りホームトラックの電流（全電流 1000A 換算）は 402A : 598A であった。これに対する計算値は 404A : 596A であり、計算と実測がほぼ一致することが確認できた。

なお、不平衡電流についても調査を行った。下り線では 0.89%（外軌レールの方が大きい）であったが、計算では 0.85%（内軌レールの方が大きい）であった。また、上り線では 1.82%（外軌レールの方が大きい）であったが、計算では 1.56%（外軌レールの方が大きい）という結果であった。実際の不平衡率が小さいため、評価は難しいが、今回の計算では全体の電流に対して 1～2% 程度の誤差であった。

以上により、力行の車両だけを考慮する場合は、およそその電流分布は計算と実測が一致し、計算が妥当性を持つことが分かった。

一方、回生ブレーキをかけている車両が存在する場合には計算と実測では一致しなかった。これは、回生車両自体が変電所とは別の電流源となるため、回生車両による電流をモデルに組み込む必要があるためである。今回の検討の範囲では回生車両のモデル化は行っていない。回生車両をモデル化する場合、力行車両と回生車両の位置の組み合わせは節点の数の 2 乗となる。列車の位置に合わせてこの組み合わせの電流を正確に表すには労力を考えると、現実的ではない。

しかし、本研究の目的はインピーダンスボンド容量の設定や、クロスボンド配置の検証を可能にする手法である。基本的に回生車両が存在する場合には、電源が複数に分散するため、最大の帰線電流値に関しては力行車両だけの場合と比べて小さくなる方向に働く。そのため、設計上の計算においては力行の車両のみの考慮であっても十分であると考えられる。

6. おわりに

直流電化区間の駅構内における帰線電流分布の計算手法について、節点解析法の適用を行い、計算が可能であること、また実測を通じて計算が妥当性を持つことを確認した。また、Scilab などの行列計算ソフトを用いて計算を行うためのサンプルを作成し、これをモデルに合わせて書き直すことで計算ができるようにした。この手法を用いることにより、駅構内における電流分布や電位分布の計算を行うことが可能であり、クロスボンドやジャンパ線の設計が妥当であるか検討を行うことが可能になる。回生電流を考慮した場合の計算と実測の乖離は、課題として残っているが、帰線回路設計の妥当性検証を目的とするのであれば、回生電流を考慮せずに計算をしても十分に活用できると考えている。

なお、この計算手法は交流電化区間についてもインピーダンスを複素数に拡大すれば適用できるように見えるが、厳密には適用できない。それは、レールを流れる電流同士に相互インダクタンスの作用が働き、さらにそのインダクタンスが大地導電率や地表面高さ、軌道構造などの影響を受けるためである。また、レール等の交流抵抗は直流抵抗と大きく異なる。

しかしながら本手法を活用し、直流電化区間における帰線回路設計の支援を行うことが可能である。