

磁界センサを用いたレール破断検知装置の提案

AE14055 篠田崇博

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに

従来、鉄道では、列車の位置検知を軌道回路によって行っており、この軌道回路の副次的な機能として、レール破断の検知が行われていた。近年では、新たな列車制御システムとして、軌道回路を用いない移動閉塞システムの開発が進んでいる^[1]。このようなシステムでは、軌道回路を用いたレール破断検知を行うことができない。そこで、軌道回路を利用しないでレール破断を検知する手段として、「安価」かつ「破断箇所」が判定できる技術に需要が高まっている。

2. 研究目的

レールは過酷な列車荷重の繰り返しにより、損傷、摩耗、疲労の後天的な症状が進行する。定期的な検査により、破断に至る前に予防保全されているが、ごくまれに使用期間中に破断が発生する^[2]。破断の様子を図1に示す。



図1 破断したレールの様子^[3]

レール破断箇所の正確な検知が事故の未然防止に繋がります。列車の運行をより安全かつスムーズに行うことが可能になる。本研究では既存の軌道技術研究における課題の解決方法として、磁界センサ方式のレール破断検知装置を提案する。

2.1 既存の軌道技術研究の課題

現段階で進められているレールに関する研究は

- ・ レール探傷車による超音波での検出
- ・ レール損傷の進行予測・抑制
- ・ 振動などを利用して検出

などがある。これまで、シェリングと呼ばれるレール頭部のき裂に対する研究は数多く行われてきた。しかし、探傷不能箇所であるレール底端部に損傷が発生し、破断に至る事例が発生している^[2]。

2.2 レール破断検知装置

レール破断検知装置とは、鉄道が走行するレールの破断箇所を検知するセンサを指す。しかし、レールには気温で膨張した時を考慮した隙間が設けられており、その隙間と破断とを見分ける必要がある。したがって、車両走行時に常に検知し続け、データの相違点から破断を検知する仕様方法を考える。

3. 磁界センサ方式

磁界センサ方式は、帰線電流(線路に流れる電流)によって生じる磁界を計測することによって検知する。線路には約500Aの直流電流が流れているため、線路の周囲には磁界が生じる。ビオ・サヴァールの法則より、磁束密度 $B[T]$ は次式より求まる。

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (1)$$

$B[T]$:磁束密度

$\mu_0[H/m]$:真空の透磁率

$I[A]$:電流値

$a[m]$:導線からの距離

式(1)を用いることによってレールの破断を検知する。破断がなければ磁界は生じ、破断があれば電流は流れず $I = 0$ となり、 $B = 0$ となるため検知可能であると考えられる。

4. 磁界センサ方式試験

4.1 理論

旧国鉄規格(JRS)によると列車への最大負荷は1000Aであり、列車からの前方・後方に500Aずつ流れていると仮定する^{[4], [5]}。また、距離を1cmと仮定すると、(1)式より、

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} = \frac{4.0\pi \times 10^{-7} \times 500}{2\pi \times 1.0 \times 10^{-2}} = 1.0 \times 10^{-2}$$

したがって、理論上では最大10mTの磁界が生じていると考えられる。

4.2 磁界センサ方式1方向試験

4.2.1 実験方法

駅付近の踏切で線路周りに生ずる帰線電流による磁界を測定し、磁界方式の実用性を検討する。

駅構内で列車が停止し、発進時に比較的近くで測定の可能な踏切を選定した。ホールセンサA1324LUA-Tを用い、線路から1cm程度離して、メモリハイロガー8430で

出力電圧を測定した。また、ホール素子の向きを変えて同様に測定を行った。実験のイメージ図を図2に示す。

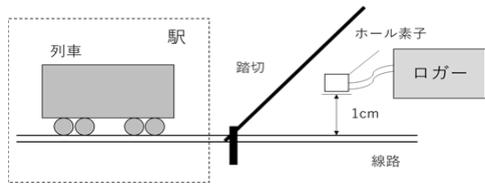


図2 磁界方式の実験

4.2.2 実験結果

磁界方式の実験結果を表1に示す。実験に用いたホールセンサの感度は、気温25°C時に5.000mV/Gである。ホール素子の感度と表1より、発生した磁界の値を表2に示す。

表1 磁界方式の実験結果

	出力電圧[V]			
	S極		N極	
	1回目	2回目	1回目	2回目
停止時	2.28	2.28	2.28	2.28
最大変化時	2.32	2.35	2.19	2.17
変化値	0.04	0.07	-0.09	-0.11

表2 発生した磁界

磁界[mT]			
S極		N極	
1回目	2回目	1回目	2回目
0.8	1.4	-1.8	-3.0

4.3 磁界センサ方式3方向試験

4.3.1 実験方法

4.2節の実験と同様に行い、ホールセンサ1324LUA-Tで3方向を測定し磁界センサ方式の実用性精度を高める。

4.3.2 実験結果

磁界センサ方式3方向試験の1回目の実験結果を図3に示し、測定した3方向の出力電圧を帰線電流に換算した波形を図4に示す。

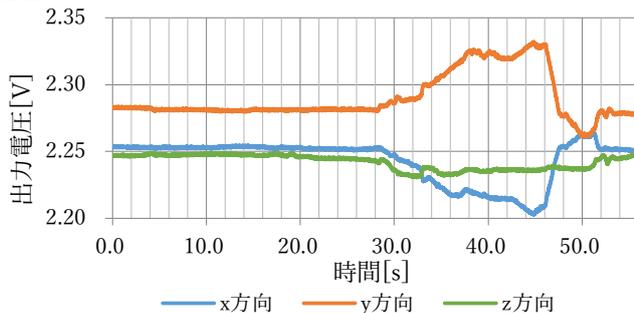


図3 出力電圧波形

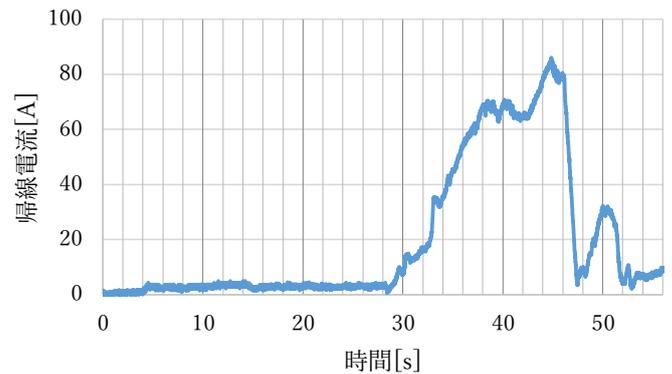


図4 帰線電流波形

5. 考察

実験結果より、事故時での磁界の変化を測定し、測定した磁界の値から帰線電流を読み取ることで、レールの破断検知に応用できると考えられる。

実験双方の磁界の実験値は理論値より低いことが分かる。これは電車の速度が踏切付近により、最高速度でないことが関係していると考えられる。

6. まとめと今後の課題

今回の実験で磁界を用いた破断箇所の検知は実用的であることが分かった。

より実用性を向上させるために、駅から駅の一区間での帰線電流の測定が必要であり、時間別や乗客数などを加味したサンプルを取得することが課題として挙げられる。課題を考慮したデータを基に企業側の需要にあった「安価」かつ「破断箇所」が判定できる技術として磁界センサ方式レール破断検知装置の使用方法などを議論していかなければならないと考える。

参考文献

- [1] 東日本旅客鉄道株式会社・日本信号株式会社 レール破断検知装置
<http://www.ekouhou.net/%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%83%AB%E7%A0%B4%E6%96%AD%E6%A4%9C%E7%9F%A5%E8%A3%85%E7%BD%AE/Disp-A,2012-91671.html#top>
- [2] 小関昌信・片岡慶太 レール損傷管理技術に関する研究開発の現状 <http://jcma.heteml.jp/bunken-search/wp-content/uploads/2008/10/022.pdf>
- [3] 独立行政法人科学技術振興機構(JST) 失敗知識データベース整備事業 畑村洋太郎 失敗知識データベースの構造と表現 <http://www.shippai.org/fkd/cf/CB0011011.html>
- [4] 信号・技術研究部 信号システム研究室 主任研究員 寺田夏樹 帰線回路設計のためのレール電流分布の解析手法 <http://www.rtri.or.jp/sales/gijutu/pdf/20130927-04.pdf>
- [5] 信号・情報技術研究部 信号システム研究室 主任研究員 寺田夏樹 適切な帰線回路設計のためのレール電流分布の解析手法 <http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0040/2015/0040002426.pdf>