

## 車上からの超音波によるレールの破断検知手法の検討

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○細田 充  
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 水谷 淳  
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 山本 隆一

### 1. はじめに

無線式列車制御システムの導入への試みが鉄道事業者で進んでいる中、どのような手法でレールの破断を検知するかが検討課題となっている。現状では、レールに信号電流を流す軌道回路によって、レール破断を検知することが可能であるが、無線式列車制御システムの導入した場合、これに代わる検知手法が必要となる。車両がレール破断箇所を走行した場合に、レールの破断を即座に検知する手法を確立することを目標に、車両に搭載した超音波センサーでレールの破断を検知可能か基礎検討を行った。

### 2. レールの破断検知への適用が期待される技術

軌道回路を利用せずにレール破断を検知するためには、大きく分けて車上方式および地上方式の2つが考えられるが、地上で破断を検知するには、設備導入のためのコストが多くかかることが想定される。そこで、車上からのレールの破断検知が期待できる技術を表1のようにまとめた。車上方式の技術課題は、①破断を判断する閾値の設定、②レールとの隔離の制御、③測定データから継目を除外できること等が挙げられる。検討の結果、センサーとレール間の離隔を確保できる非接触式空中超音波に着目し、超音波をガイド波としてレール長手方向に入力しレールの破断があれば超音波が遮断される原理を利用して、レールの破断検知に適応可能か検討することとした。本手法の適応のイメージを図1に示す。

表1 レール破断検知への適用が期待される技術の整理

手法	技術の概要	破断を判断する閾値設定の容易さ	センサーとレール間の確保可能な離隔
非接触式空中超音波	プローブから、非接触で超音波を入力しガイド波を発生させて、検知する。	○	○(100mm以上)
電磁超音波	電磁波により、非接触でレールに超音波を発生させて、検知する。	△	△(極めて小さい)
渦電流	現行、継目検知の目的で使われている。遊間での渦電流の変化を利用している。	○	△(極めて小さい)
騒音、加速度、変位	現行、軌道検測車等で測定している。レール傷や凹凸箇所と判別が必要である。	△	◎(問わない。車体、台車等に取付け可能)
画像	一部事業者で検査のため用いている。データの容量、処理等が破断検知の用途では現状困難。	△	◎(問わない。車体に取り付け可能)

### 3. 非接触空中超音波探傷法をレール破断検知に適応するための基礎試験

非接触空中超音波探傷法は、空気を経由し対象物に入力されるために、低感度という不利な点を有する。例えば、空気から鋼への往復透過率は $3.7 \times 10^{-5}$ であり、直接接触の1万分の1程度となる。また、市販の超音波探傷器では感度不足であるため、一般的な超音波探傷で用いられるパルス波より強力なバースト波を送受信できる高出力、高感度のパルサーレーザー（超音波送受信機）と外付けプリアンプの使用が必須となる。本研究で使用した非接触空中超音波探傷装置は、制御用パソコン、パルサーレーザー、外部プリアンプおよびエアプローブ（以下、「探触子」と記す）で構成されており、パソコンを除く機器はジャパン・プローブ株式会社製である。なお、探触子は送受信側とも公称周波数200kHzでコンポジ

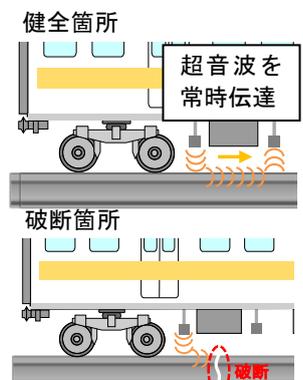


図1 本手法の適応イメージ

キーワード レール破断検知, 非接触式空中超音波, 軌道回路

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7272

ットプローブの寸法は 25×25mm を選択した。表 2 に本研究で適用した試験のパラメータを示す。これらは、大きな利得を得ることを目的に事前検討で選定したものである。

(1) 超音波の利得に及ぼすパラメータの影響

音響インピーダンスが空気とレールで大きく異なるため、空気からレールに入射した際に透過して利得が得られる角度が制限される。またプローブとレールの離隔の大きさによっても利得が減衰することが考えられる。そこで、角度および離隔をパラメータとして、レールに超音波を透過した際の利得を測定した。図 2 に試験概況および表 3 に試験結果を示す。ここでは、最大利得が得られた「離隔 100mm および送受信角度 6°」での利得を基に他の試験条件における利得を正規化した。結果より送受信角度が 6° を中心として大きな利得が得られることがわかる。離隔 200mm の場合は、100mm の結果と比較すると利得が小さくなる。ただし、在来線の車両限界である 75mm 以上の離隔は確保できると考えられる。さらに、大きな利得が得られる角度も制限されることが確認された。

表 2 本研究で用いた超音波のパラメータ

波の種類	ガイド波バースト波	パルス電圧	500V
探傷周波数	200kHz	探傷感度	105dB
波数	N=5 波	チャープ比	2.0
離隔	10~200mm	プローブ間距離	300mm

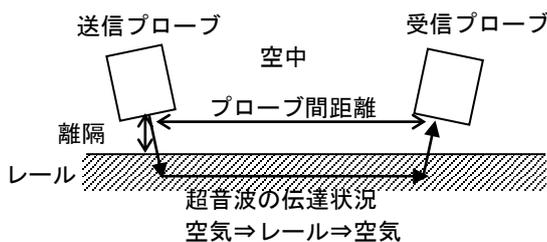


図 2 最適角度および離隔の減衰程度の検討試験

表 3 最適角度および離隔の減衰程度の検証試験結果

		受信プローブ角度				
		≒2°	≒4°	≒6°	≒8°	≒10°
送信プローブ角度	≒0°	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3
	≒2°	0.8	0.7	0.8	0.4	0.3
	≒4°	1.0	0.8	1.0	0.6	0.4
	≒6°	1.0	1.0	1.0	0.7	0.3
	≒8°	0.7	0.9	1.0	0.6	0.4
	≒10°	0.5	0.8	0.9	0.5	0.4
	≒12°	0.4	0.5	0.9	0.4	0.5
≒14°	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	

		受信プローブ角度				
		≒2°	≒4°	≒6°	≒8°	≒10°
送信プローブ角度	≒0°	0.3	0.6	0.4	0.5	0.6
	≒2°	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3
	≒4°	0.3	0.6	0.5	0.4	0.4
	≒6°	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3
	≒8°	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4
	≒10°	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3
	≒12°	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
≒14°	0.5	0.3	0.4	0.3	0.3	

(2) 室内での移動試験

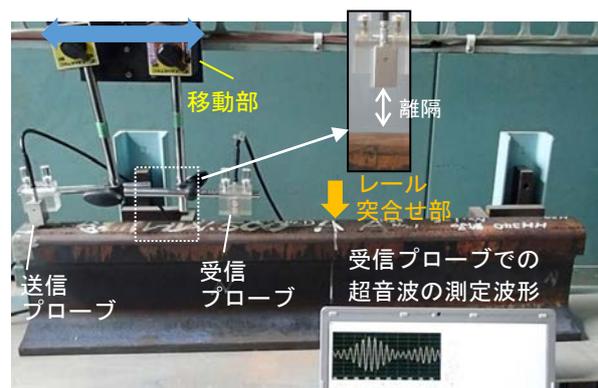
非接触式空中超音波のレール破断検知への適用可能性を評価するための室内試験を実施した。表 2 に示す試験条件の基、破断部を想定し、図 3 のようにレール端部を突合せた箇所を挟んで超音波の送受信プローブを移動（速度 0.1km/h、モーター駆動）させ、超音波の送受信を行った。その結果、突合せ部では超音波が遮断されることを確認した。

(3) モーターカー走行試験

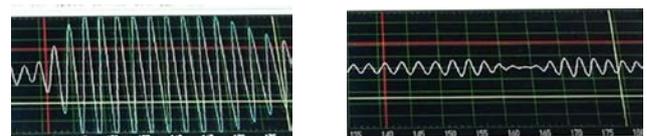
モーターカーに本装置を取り付け、プローブからレールに対し超音波を送受信し、移動速度 0~25km/h の条件で走行した。継目部を破断部と想定して、超音波の利得を観測した結果、継目部では利得が大きく減衰されることを確認した。

4. まとめ

車両がレール破断箇所を走行した場合に、レールの破断を即座に検知する手法を確立することを目標に、車両に搭載した超音波センサーでレールの破断を検知可能か検討した結果、適用可能性が示唆された。



(a) 試験状況



(b) 一般部の超音波受信波形 (c) 突合せ部の超音波受信波形

図 3 室内試験の状況