

ガイド波を用いたレール底端部の探傷方法について

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 片岡 慶太
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 小関 昌信
 名古屋工業大学 林 高弘
 名古屋工業大学 宮崎 雄介

1.はじめに

レール損傷事故を防止するために、レール探傷車やレール探傷器によりレール傷の探傷を行っている。しかし、これらの方法はレール頭頂面から超音波を入射するものであり、レール底端部には超音波が達しないため、レール底端部に発生する電食や腐食を検出することができない(図1)。また、踏切区間のように、レール底部が敷板等で覆われているような箇所では、目視による検査も困難である。レール底端部における電食や腐食を原因とするレール損傷事故は依然として発生しており、レール底端部におけるレール傷の探傷方法を確立することは重要な課題である。そこで、長大な構造物の高速非破壊評価を行う手段として近年注目を集めているガイド波を用いて、レール底端部におけるレール傷を検知する手法の開発を行っている。

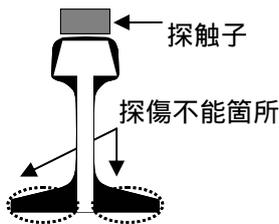


図1 探傷不能箇所

2.ガイド波による探傷方法

配管や鉄道レールの表面に数十～数百kHzの低周波超音波を入射すると、長手方向に伝播するガイド波と呼ばれる超音波モードが現れる。このガイド波は、数十～数百m程度の長距離伝播が可能であり、この長距離伝播特性を利用することにより構造部材の高速診断や、アクセスできない隠れた箇所の遠隔

検査が可能になるものとして期待されている。

通常の超音波検査と同様に、ガイド波を用いた配管等の損傷診断でも、損傷からのエコーの現れる時刻とガイド波音速をもとに損傷位置を特定する。このとき、配管のような単純な断面形状を持つ部材についてはガイド波音速が解析的に求められる。このガイド波音速は、周波数によって変化するという分散性を持ち、横軸を周波数、縦軸を位相速度または群速度としたグラフ(分散曲線)として表すことができる。

分散曲線からは、用いる周波数帯におけるガイド波モードの数や各モードの分散性を知ることができる。また、各モードの断面内の振動分布も形状が単純ならば解析的に求めることができ、これらを用いることで検査に必要なガイド波モードの選択と、効果的にガイド波を励起・受信するためのセンサーの選定を行うことが可能である。

このようにガイド波の分散曲線と各モードの振動分布はガイド波検査を行う前に、導出しておくべき基本情報であるが、鉄道レールやH型鋼など断面形状が複雑になると、分散曲線や各モードの振動分布を解析的に求めることは不可能である。そこで、半解析的有限要素法と呼ばれる有限要素法の特殊解法を用いて、あらゆる棒状材料のガイド波分散曲線と振動形態を求めることができるソフトウェア(Rail Dispersion)を開発した。図2は、このソフトウェアを用いて求めたレールの分散曲線である。この分散曲線の中から、レール底端部が大きく振動するモードを特定し、そのモードを用いたレール底端部の欠陥検出性能の評価を行うこととした。

キーワード ガイド波 レール 底端部 踏切 電食 腐食 傷 探傷

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2-0 JR東日本研究開発センター テクニカルセンター (TEL) 048-651-2389

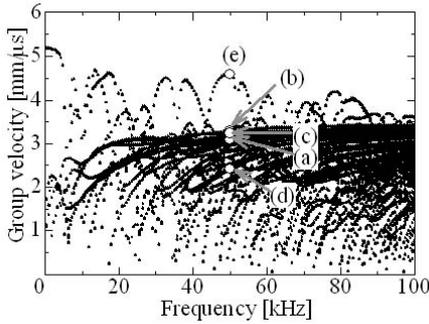


図2 レールの分散曲線

3.レール底端部を伝播する3つのモード

初めに、レール底端部を振動させるモードを、Rail Dispersion で得られた分散曲線から選択し、それぞれのモードによる探傷実験を行った。用いたモードは、図3(a)水平方向、図3(b)垂直方向、図3(c)長手方向に振動の大きなモードとした。これらのモードを効果的に励起受信するためには、それぞれのモードの振動形態に対応する振動をレール表面から与える。そこで、それらのモードを効果的に励起する探触子配置で、レール底端部に人工的に付けた 20mm 程度のノコギリ傷に対して探傷試験を行った。

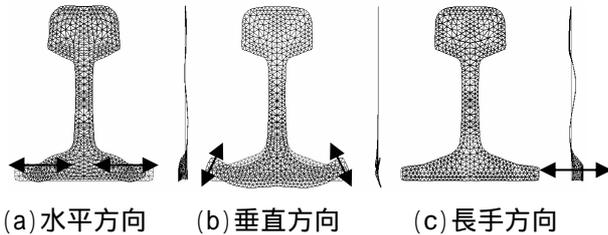


図3 レール底端部が振動するモード

その結果、レール締結装置がない状態では(b)垂直方向の振動モードが、傷からの反射エコーが最も明瞭に得られることがわかった。しかし、レール締結装置がある場合は、垂直振動のエネルギーが締結部で減衰したり、多重反射することから探傷性能が落ちることがわかった。また、(c)長手方向の振動モードは、ガイド波の分散性が強く、SN 比も低いことから探傷には適していないことがわかった。

そこで、(a)水平方向の振動モードを用いることとした。当初、50kHz の探触子を用いて探傷試験を行

っていた際には、傷からの反射エコーが良好に得られていなかったが、周波数を 100kHz に上げるとレール底端部にエネルギーが集中しやすいモードとなることが判明し、探傷性能の向上が期待された。

4.試験結果

斜角探触子(図4(a))を用い、現場で探傷しやすくなるような装置を製作して、保守基地内に欠陥入りレールを試験敷設して探傷試験を行った(図4(b))。



(a)斜角探触子 (b)探傷方法

図4 底端部探傷装置(試作品)

図5に探傷試験結果を示す。レール底端部に人工的に付けた 20mm 程度のノコギリ傷に対して、距離を変化させて探傷を行った。

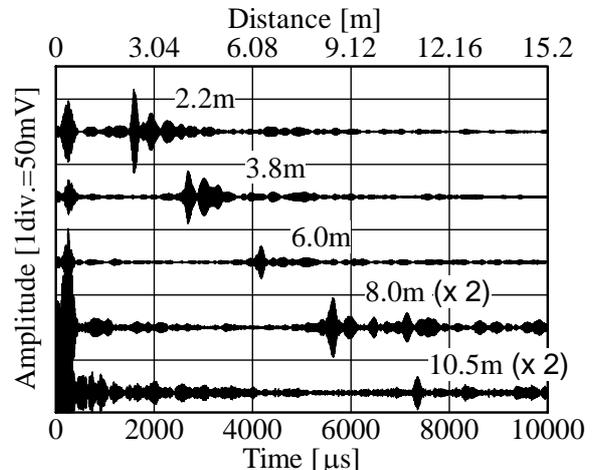


図5 探傷試験結果

この試験結果より、10m 程度離れた傷でも、本試作装置により有害な欠陥を検出できる可能性が見出せた。

今後は、実際の踏切等で探傷試験を繰り返し、電食や腐食の検出性能を評価し、探傷可能距離の延伸や検出精度向上へ向けて装置の改良等を行っていく。

参考文献 1) 宮崎, 林, 村瀬, 瀧川, 阿部, 片岡, 日本非破壊検査協会平成 18 年度秋季大会講演概要集, p159-160
 2) J. L. Rose et. al., Insight, Vol.44, No.6 (2002) pp.353-358
 3) T. Hayashi et. al., Ultrasonics, Vol.44, No.1 (2006) pp.17-24