

## 横裂を模擬したスリットを有するレールに対する超音波伝播シミュレーション

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○小納谷 優希  
 (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 山本 隆一

## 1. はじめに

多くの鉄道事業者ではレールに発生する横裂の管理に多大なコストを要しており、横裂検知手法の効率化が求められている。既往の研究では、非接触空中超音波で車上から、超音波をガイド波としてレール内に伝播させレールの破断を検知する手法が提案されている<sup>1)</sup>。そこで本手法を応用し、非接触空中超音波の横裂検知への適用可能性を検討する一環として、スリットを有するレールの超音波伝播シミュレーションを実施した。

## 2. 解析モデル

解析には超音波解析ソフトウェア ComWAVE (伊藤忠テクノソリューションズ開発) を用い、ボクセル型有限要素によるレール解析モデルを作製した。車上に搭載した送信子から超音波を非接触でレールに入力することを想定し、図1のようにレール外部に設置した送受信子 (プローブ) モデル周辺に境界媒質となる空間を設けた。

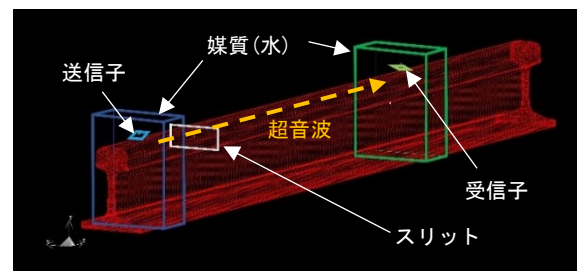


図1 解析モデル概要

主な解析条件を表1に示す。レールモデルは有限の全長1500mmの50kgN普通レールとし、基礎的なレール内の伝播特性の把握を目的として、境界媒質を空気ではなく水とした。これにより水のインピーダンスで決まる伝播波長に応じてメッシュサイズを大きくし、計算精度を確保しつつ計算負荷を大幅に低減した。入力する超音波の周波数は既往の研究<sup>1)</sup>を参考の上100, 150, 200kHzの3種類とし、レール長手方向にガイド波を伝播させた。スリットについては任意の高さのものをレール頭頂面および底面に幅1mmで挿入した。図2に超音波伝播による表面変位の変化の状況を示す。頭頂面から挿入したスリットにより超音波の伝播に変化が生じていることが分かる。本研究では超音波の受信強度として、変位より算出される体積ひずみを用いることとする。

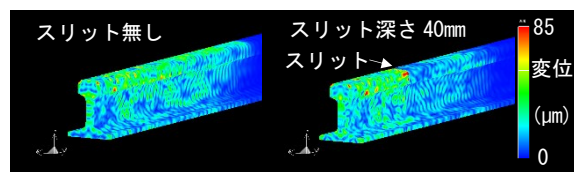


図2 超音波伝播の様子(周波数 100kHz)

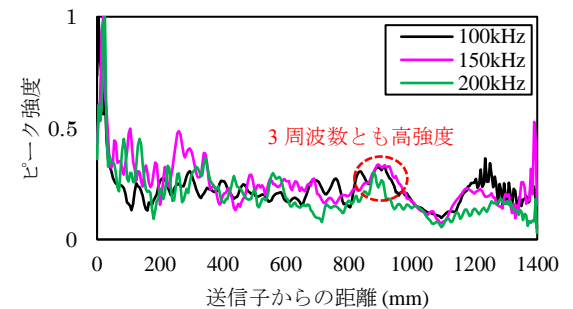


図3 頭頂面体積ひずみ強度

## 3. 送受信子間距離の検討

安定して高い受信強度が得られるような送受信子間の距離を設定するため、スリットの無い状態で解析し、レール長手方向における頭頂部領域における受信強度の比較を行った。図3は送信子からの距離と頭頂部の体積ひずみの強度変化を正規化の上、グラフ化したものであり、得られた体積ひずみの波形の一つ目の波束(12周期程度)の最大値を「ピーク強度」としている(後述の図4の受信波形を参照)。これは、今後、車上から測定する際の送受信子間の距離(センサーの設置位置)を

表1 主な解析条件

波の種類	ガイド波 バースト波	送受信子 とレール との離隔	10mm
波数	N=12 波	送受信子 間距離	950mm
周波数	100kHz, 150kHz, 200kHz	全要素数	約 0.5 億 (100kHz) 約 1.7 億 (150kHz) 約 5 億 (200kHz)
送受信子 サイズ	25mm ×25mm	送受信子 角度	20°

キーワード レール横裂検知, 非接触空中超音波, 超音波シミュレーション

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 (レールメンテナンス) TEL 042-573-7272

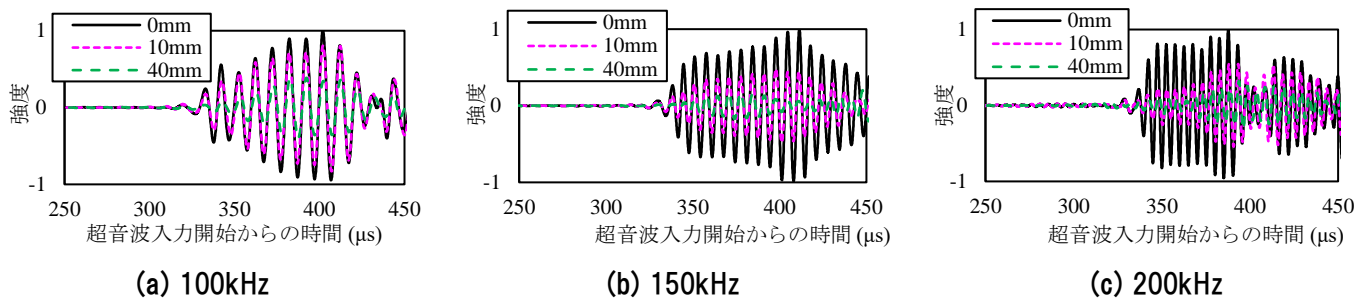


図4 頭頂面からスリット挿入時の受信強度波形

決定することにも有効な情報となる．図3より3周波数とも受信強度が高く安定して得られる距離として今回の解析モデルでは950mmと設定した．

### 3. 解析結果

図4に頭頂面からスリットを挿入したレールへ超音波を入力した際の各周波数の体積ひずみの受信波形を示す．いずれの波形でも1つ目の波束に12周期程度の波が確認でき，周波数に応じて波長が変化していることが分かる．前述の送受信子間距離の検討と同様に，この1つ目の波束の最大値をピーク強度として受信強度の評価対象とした．

各周波数でのピーク強度の変化を図5に示す．いずれもスリット無しのデータを元に正規化している．強度の減衰率に着目すると，周波数100kHzでは，頭頂面から30-40mm付近の深さ（上首部）のスリットの有無で急激に強度が変化し，150, 200kHzでは，頭頂面から10mmの深さのスリットにより強度が50%程度まで低下している．また腹・底部にスリットが存在しても，受信強度に及ぼす影響は極めて小さい．これはガイド波がレール頭部および上首部を主に伝播し，特に200~300kHzの高周波数帯では頭部に集中して伝播するという先行研究での報告<sup>2)</sup>と同様の傾向を示す結果である．また図6に示すような，レール頭頂部での体積ひずみの分散曲線（カラーマップ）を作成したところ，200kHzではより多くのモードが高強度を示しており，頭頂部のスリットでこれらが遮られた可能性が高いと推測される．

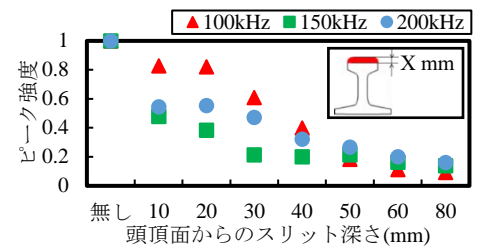
以上から，頭頂面から発生した横裂の検知には150, 200kHzの周波数のガイド波の適用を期待できる．

### 4. まとめ

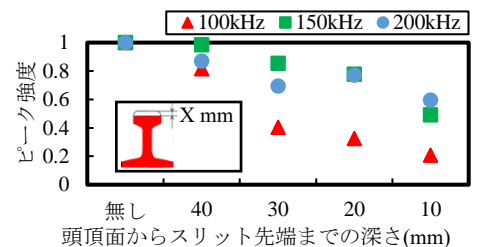
非接触空中超音波によるレール横裂検知への適用可能性を検証するため，ボクセル型有限要素によるレール解析モデルを構築し，スリットを有するレールの超音波伝播シミュレーションを実施した．その結果，150, 200kHzの周波数にてレール頭頂部のスリットによる大きな受信強度の減衰が見られ，横裂検知への適用可能性が示された．

### 参考文献

- 1) 細田ほか：軌道回路に代わる車上式レール破断検知システム，鉄道総研報告，36, 3 (2022) 17-22
- 2) Chong myoung lee et al.: A guided wave approach to defect detection under shelling in rail, NDT&E International 42 (2009) 174-180



(a) 頭頂面からスリット挿入



(b) 底面からスリット挿入

図5 スリット深さと受信強度の関係

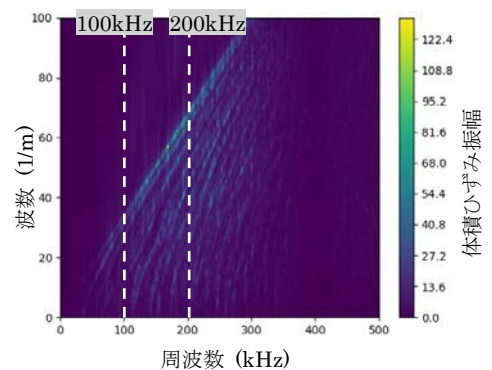


図6 レール頭頂部分散曲線