

ガイド波を用いた レール頭部横裂検知手法

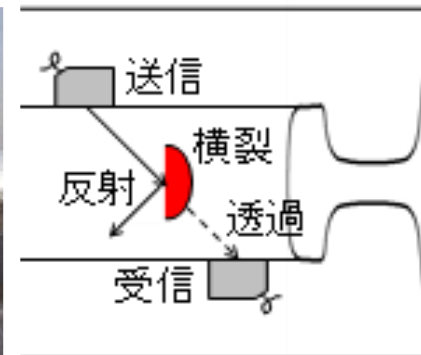
軌道技術研究部 レールメンテナンス研究室
研究員 高山 大陸

レール頭部横裂 レール探傷車や手探傷によって検知・管理

レール探傷車の課題



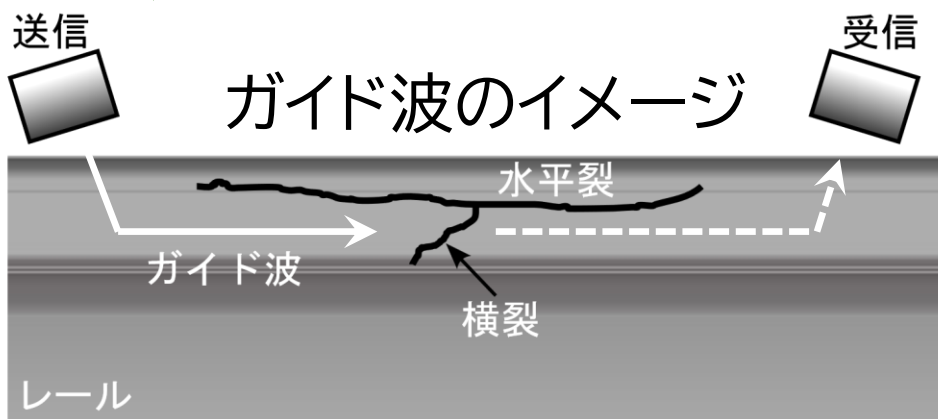
手探傷の課題



労力大
踏切など探傷
困難な箇所あり

水平裂下の頭部横裂が検知困難

➡ レール長手方向に伝播する**ガイド波**を用いた探傷方法を検討



特長: 水平裂下の頭部横裂を探傷可能

可搬性の高い手押し式検査装置を試作し、
頭部横裂の検知性能を検証

1. 連続水平裂に適したプローブ配置の検討
2. 超音波伝播解析モデルの改良
3. 頭側面からの超音波伝播解析結果
4. 検査装置の試作
5. 頭部横裂検知性能の検証試験
6. まとめと成果の活用

1. 連続水平裂に適したプローブ配置の検討

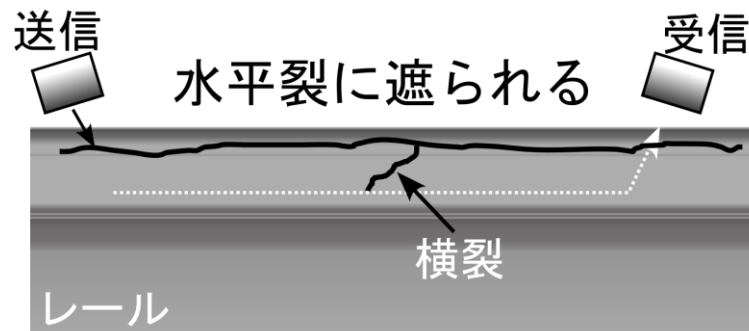
連続水平裂



1m以上発生した例

特に手探傷の労力大

送受信プローブ間隔を超える場合

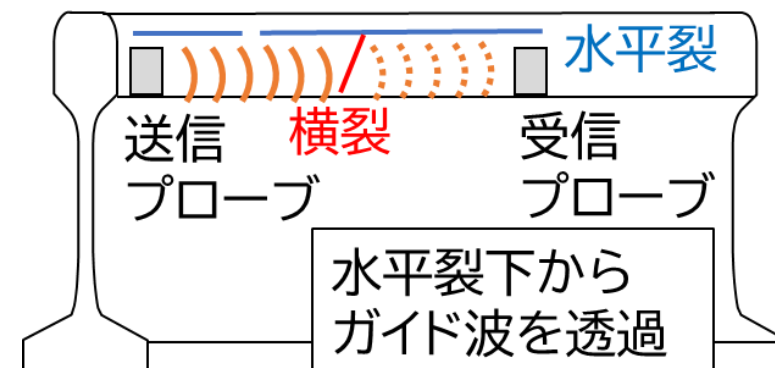


ガイド波をレール内部に入射困難

頭頂面からの入射では探傷に限界

⇒ 頭側面へのプローブ配置を考案

水平裂の下からガイド波を透過
連続水平裂の長さには左右されない探傷を狙う

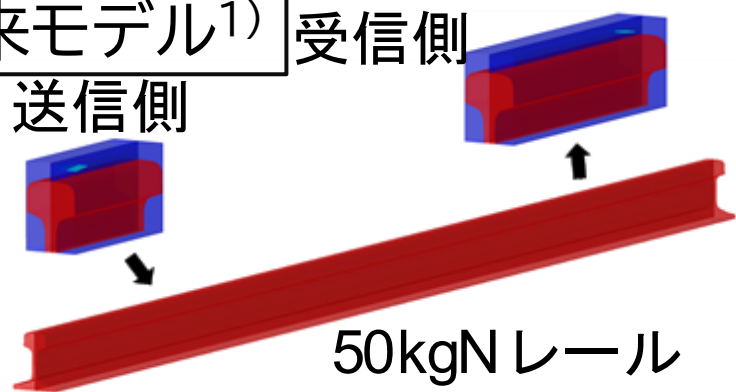


頭側面からの横裂検知について **超音波伝播解析**により検討

2. 解析モデルの改良と検討したパラメータ

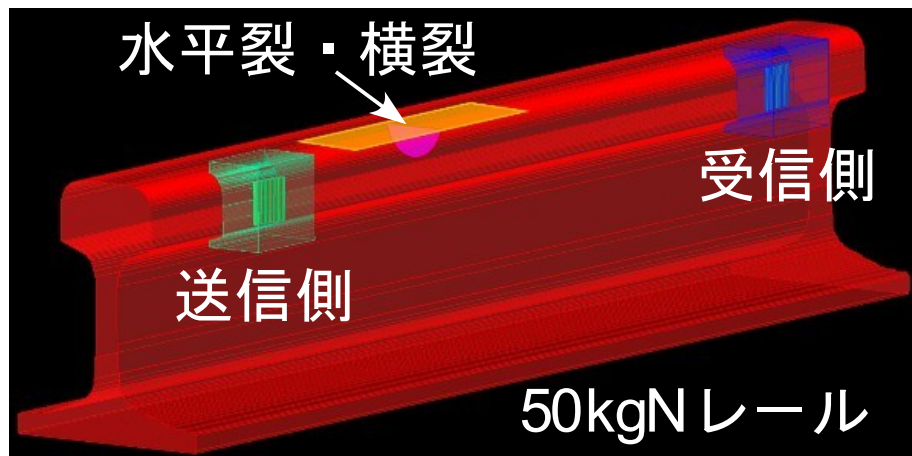
使用ソフト: ComWAVE

従来モデル¹⁾



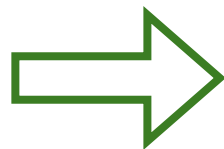
50kgN レール

3分割モデルのため計算時間大



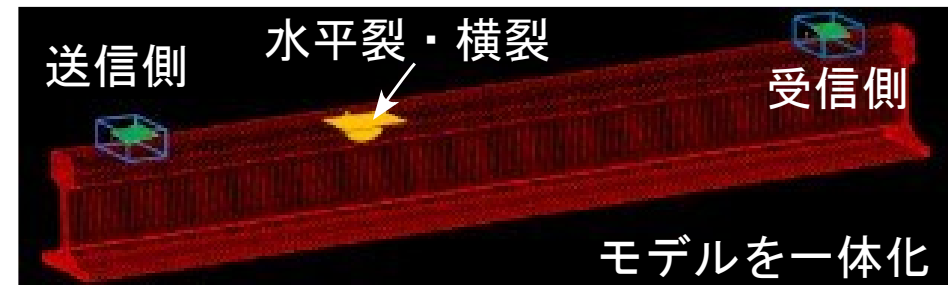
50kgN レール

モデルを改良



- 媒質の領域を限定
- メッシュサイズの拡大

軽量化したモデル



モデルを一体化

十分な精度を確保しつつ
計算時間を75%削減

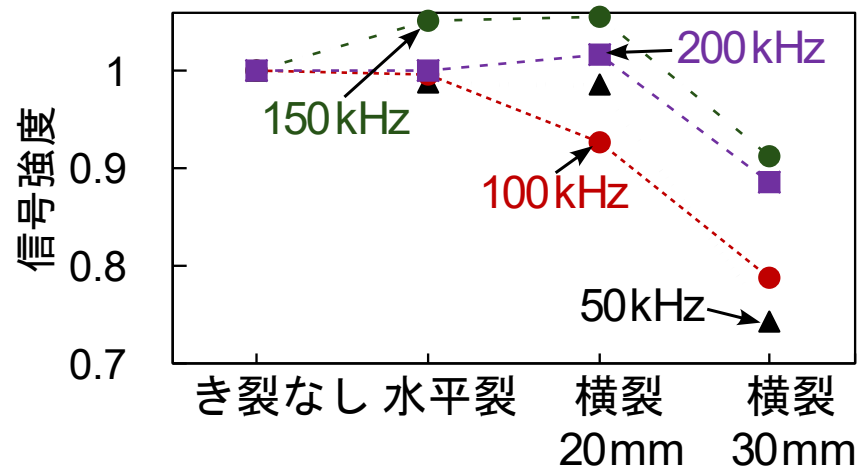
軽量化モデルを活用
頭側面プローブ、
水平裂と横裂を配置

検討したパラメータ

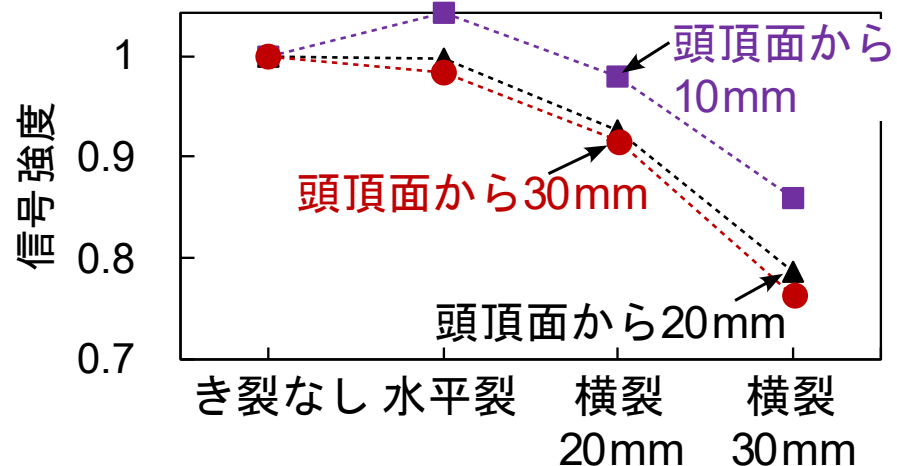
1. ガイド波の周波数
2. 送受信プローブの間隔
3. プローブの高さ

3. 頭側面からの超音波伝播解析結果

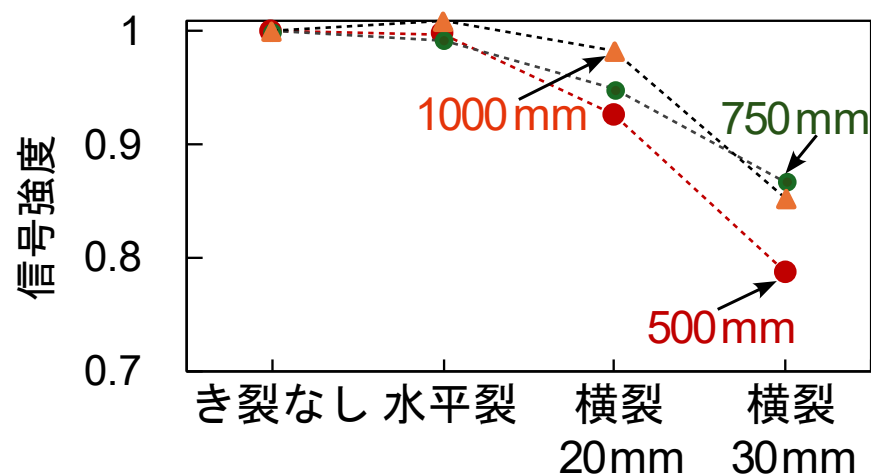
周波数の検討



プローブ高さの検討



プローブ間隔の検討



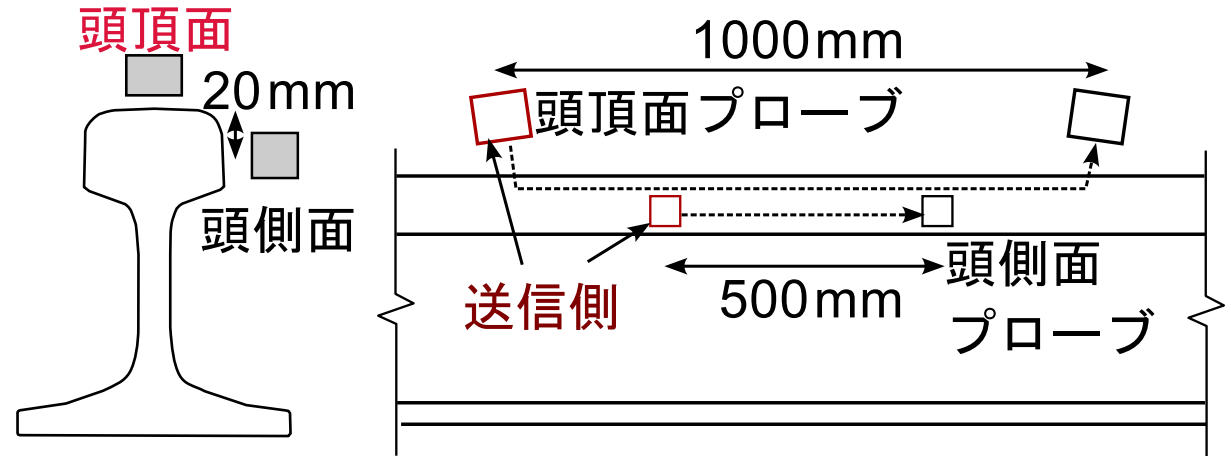
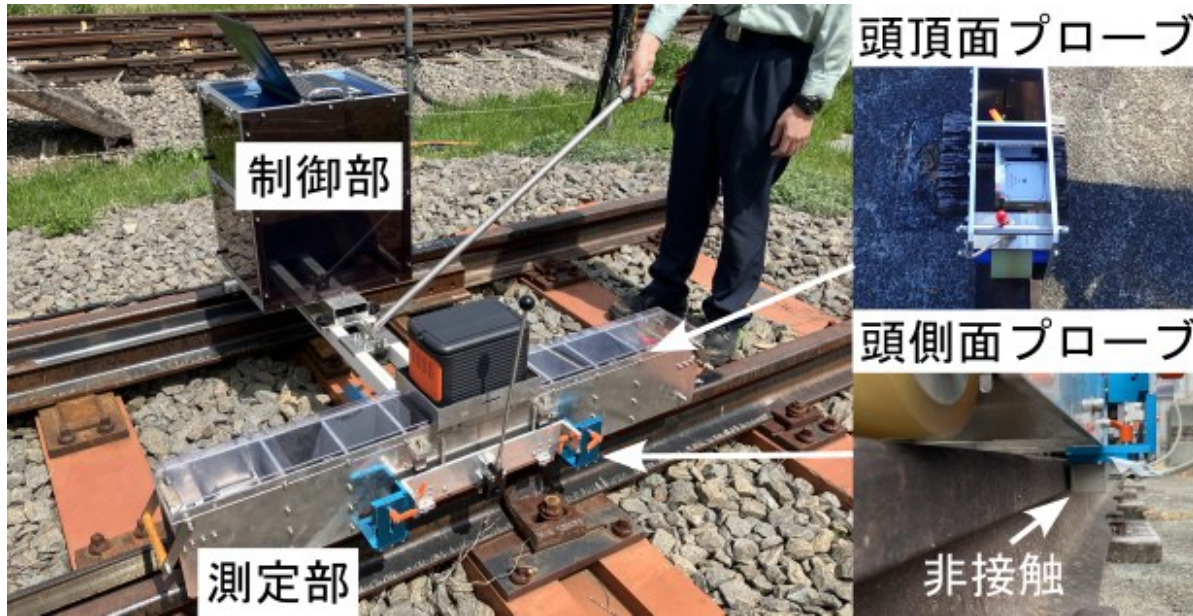
横裂検知に適した条件

- 周波数 100kHz
- プローブ高さ レール頭頂面から20mm
- プローブ間隔 500mm

本条件で装置を試作

1. 連続水平裂に適したプローブ配置の検討
2. 超音波伝播解析モデルの改良
3. 頭側面からの超音波伝播解析結果
- 4. 検査装置の試作**
5. 頭部横裂検知性能の検証試験
6. まとめと成果の活用

4. 試作した検査装置

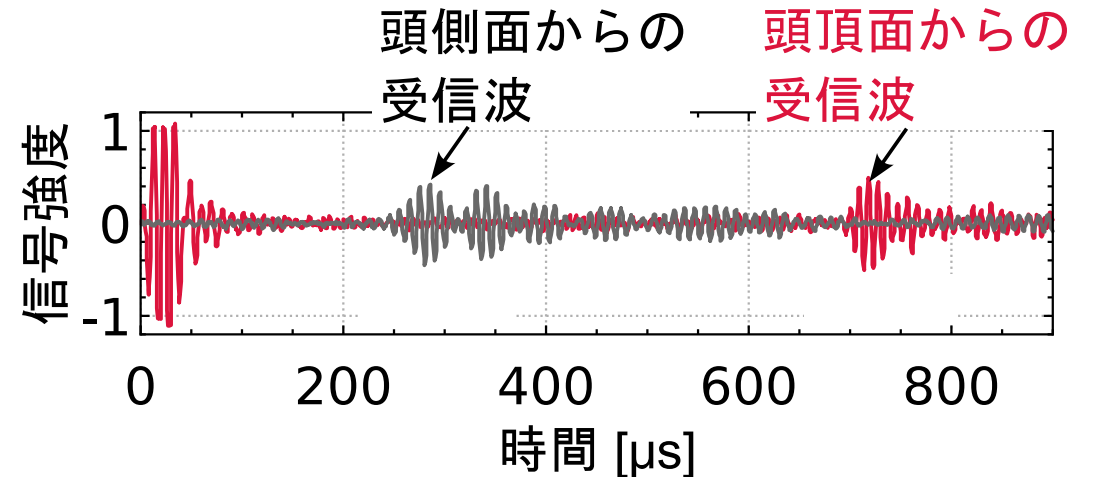


頭頂面と頭側面にそれぞれプローブを配置

送信側プローブ: 頭頂面と頭側面で異なる配置

⇒ 両者の波の干渉を回避

頭頂面と頭側面の同時探傷が可能

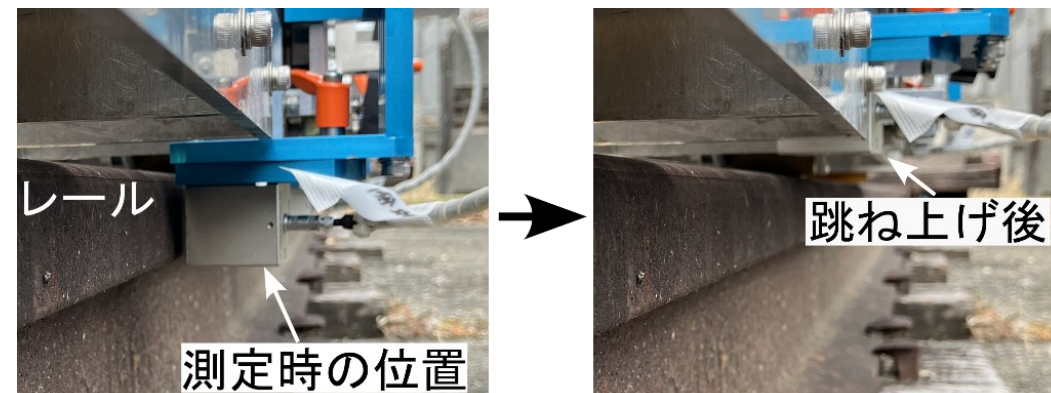


本検査装置の特徴

頭側面プローブ跳ね上げ機構を搭載

踏切や伸縮継目にプローブが支障

⇒ プローブを跳ね上げ回避する機構を搭載



軌道自転車による牽引に対応

手押し棒を軌道自転車と連結可能な構造

⇒ 時速20 km/h程度で探傷可能なシステム



手探傷時に必要であった以下の作業についても省略が可能

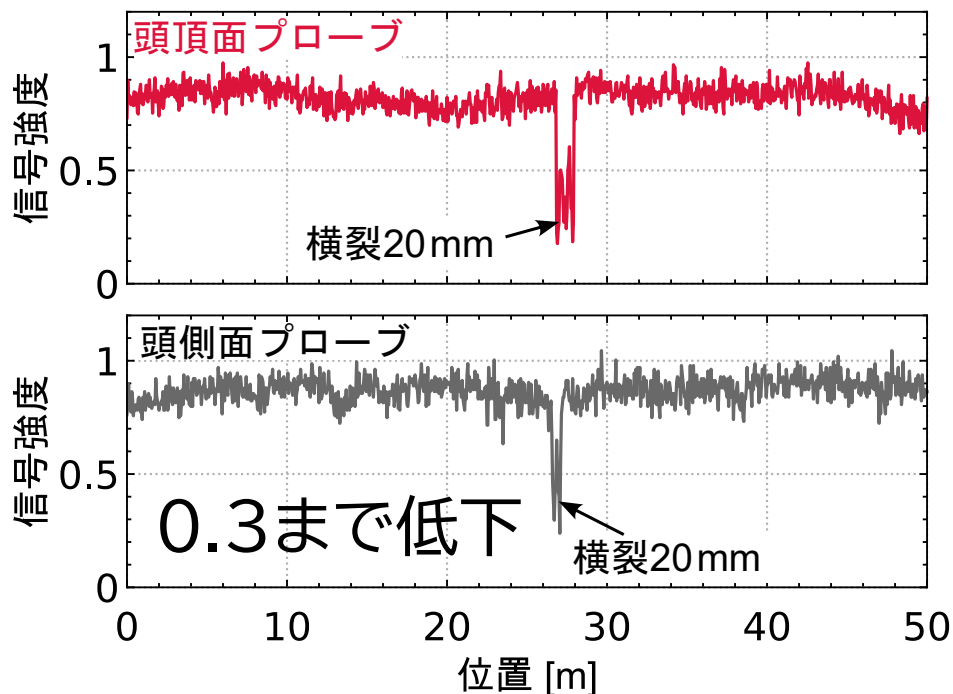
- 接触媒質の塗布
- 感度調整作業

営業線での検証試験を実施

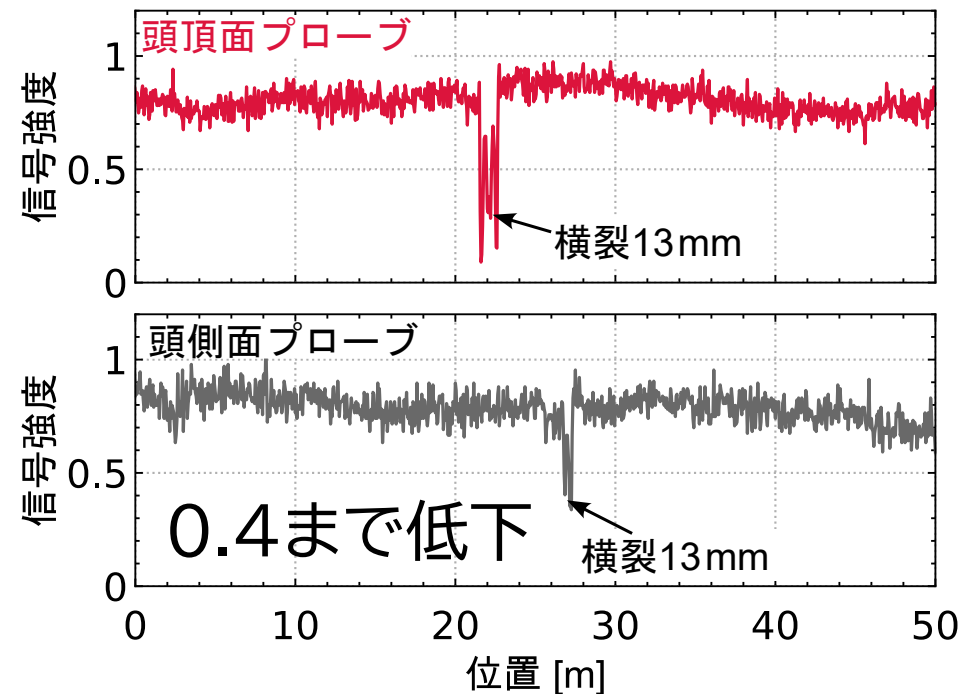
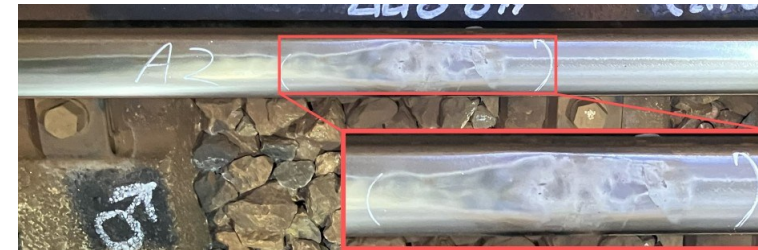
1. 連続水平裂に適したプローブ配置の検討
2. 超音波伝播解析モデルの改良
3. 頭側面からの超音波伝播解析結果
4. 検査装置の試作
- 5. 頭部横裂検知性能の検証試験**
6. まとめと成果の活用

5. 手押しでの検証試験結果(水平裂が短い場合)²⁾

横裂深さ
20mm



横裂深さ
13mm

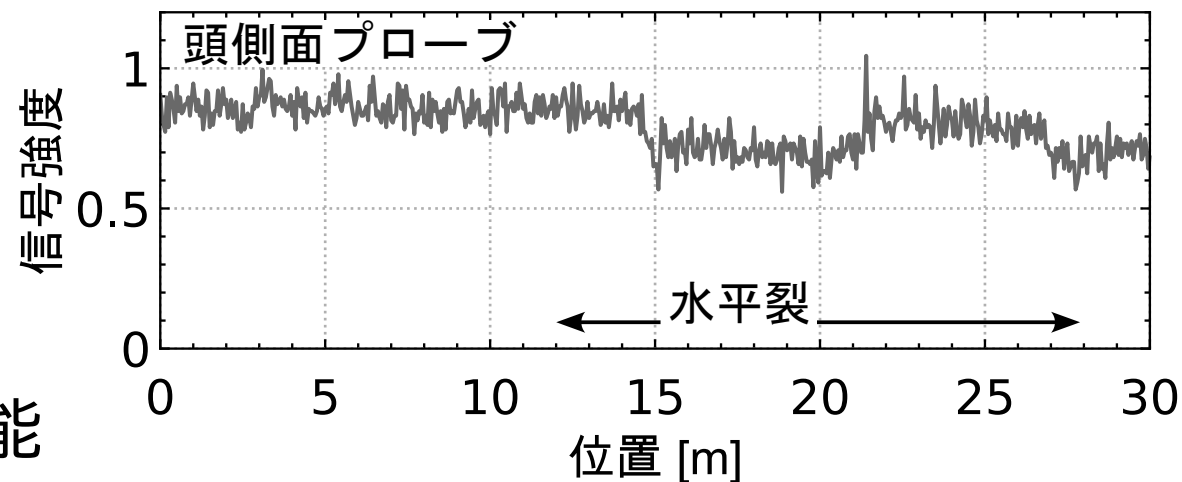
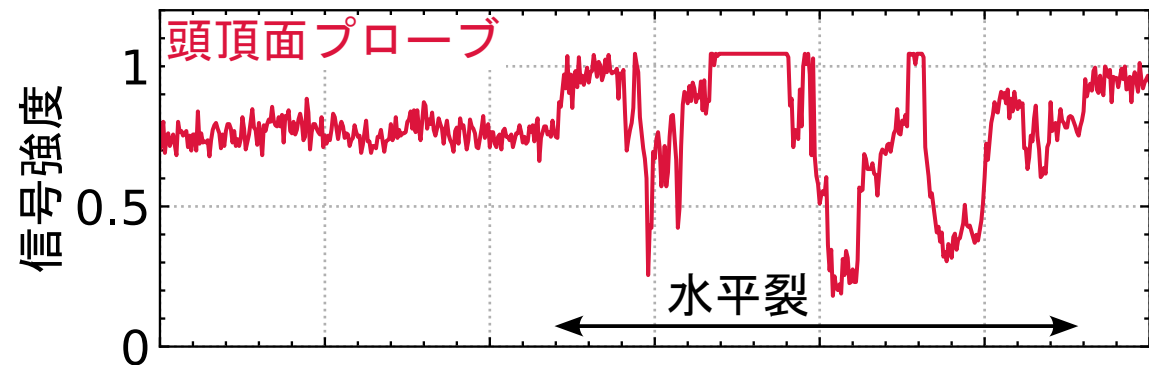


頭側面プローブ: 解析よりも明瞭に応答 ⇨ 解析・試験結果からは原因特定できず

頭頂面・頭側面のいずれのプローブでも頭部横裂を検知可能

5. 手押しでの検証試験結果(水平裂が長い場合) 2)

連続した水平裂・きしみ割れ(頭部横裂なし)



頭頂面プローブ

水平裂に反応し、不安定な波形

頭側面プローブ

頭部横裂が存在しないことが判定可能

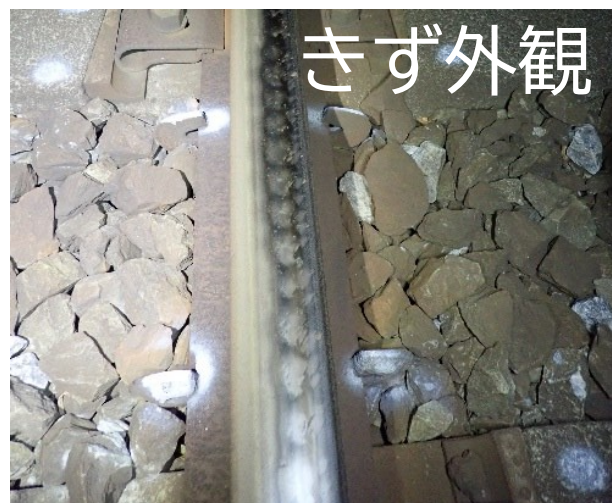
連続した水平裂の箇所では頭側面プローブによる探傷が有効

5. 軌道自転車による牽引時の測定結果

200m以上連続した水平裂
(頭部横裂なし)

➡ 頭側面プローブが有効

軌道自転車で牽引し8 km/h
程度で測定可能かを検証



30m区間の測定例



牽引状態でも頭部横裂が
判定できる可能性

牽引による検査時間の短縮効果

従来の手探傷: きず1か所5分程度
牽引方式: 200mを90秒程度(8 km/h)

6. まとめ

1. 連続的に発生した水平裂下に生じた頭部横裂の探傷に対応するため、レール頭側面からガイド波を入射する方法を考案し、その有効性を検証した。
2. 手押し式または軌道自転車で牽引可能な、ガイド波センサを活用した検査装置を試作した。
3. 試作した検査装置は深さ20mmの頭部横裂に対して、きず位置で信号強度が大きく低下し、探傷が可能であることを確認した。

6. 成果の活用

- 従来の探傷車では検知困難な頭部横裂もガイド波による検査で検知可能となることから、頭部横裂によるレール損傷を防止し安全性の向上に貢献できる。
- ガイド波を用いた検査装置は将来的な製品化を目指しており、鉄道事業者が従来実施している手探傷の労力を大幅に削減できる。

- 1) 小納谷 優希, 細田 充, 山本 隆一 : FEMによるき裂を有するレールへのガイド波伝播シミュレーション, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol 27, pp.71-78, 2023
- 2) 高山 大陸, 細田 充, 小納谷 優希, 弟子丸 将: ガイド波を用いたレール頭部横裂検査装置の試作と営業線での検証試験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.80, VI-1398, 2025

※本資料の4ページ、10ページ、11ページの図は参考文献の図を一部編集して掲載したものです。原図の著作権は公益社団法人 土木学会に属します。