

モニタリング装置を活用したシェリング進展管理に関する研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○臼井 瑛憲
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 吉田 尚
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 元好 茂
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 久保 崇紀

1. 研究背景と目的

1-1 シェリングの概要

シェリングの内部き裂は通トンの増大に伴い進展し、き裂周辺が局所的落ち込みを呈して黒斑を生じる事及び、内部き裂の進展が一定量を超過した際にレール下方に向かう新たなき裂（横裂）を生じる事が一般に知られている¹⁾。また、石田ら²⁾の研究では、シェリングによって生じる水平裂を楕円形と仮定した水平裂進展モデルの構築を行っており、水平裂の面積が大きいほど進展速度が速くなるという知見がある。よって、内部き裂によって生じる黒斑及びその周辺の外観情報を定量的に評価する事でシェリングの内部き裂を推定する事ができる可能性がある。また、その進展を間接的に評価できる可能性がある。

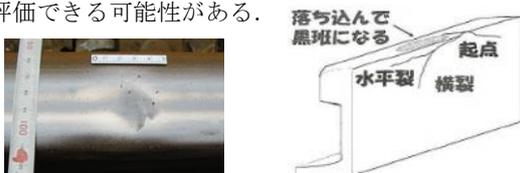


Fig. 1 シェリング外観と内部き裂

1-2 軌道材料モニタリング装置

軌道材料モニタリング装置は線路設備モニタリング装置の構成装置として12回/年データを取得している。取得可能なデータの内、濃淡画像についてはレール近傍を連続撮影しており、レール頭頂面の情報についても取得可能である(図2)。現在、この濃淡画像を活用した画像判別手法によるレール表面異常検知についての研究³⁾が行われているが、これはシェリング等の異常種別およびその有無を判定するもので、傷の大きさを評価するものではない。

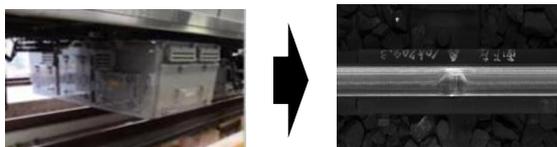


Fig. 2 軌道材料モニタリング装置概要

1-3 研究目的

本研究では従来のシェリング管理に、高頻度にて取得可能な軌道材料モニタリング装置の画像データを活用した手法を加える事で、シェリング外観を指標とした進展管理を可能とし、シェリング管理業務における予防保全の深度化を図る事を目的とする。

2. 研究概要

2-1 研究概要

本研究で目指す外観を指標としたシェリング進展管理を実現するために二つの課題がある。一つ目はシェリング外観を定量化し、その推移を時系列データとし

てトレース可能な環境を構築する事、二つ目は定量化したシェリング外観からレール内部のき裂長さを予測するためのモデルの構築である。本研究では、一つ目の課題に対しては専用の分析ツールを開発し、二つ目の課題に対しては実際に現場にて探傷を行い、定量化したシェリング外観と内部き裂である水平裂および横裂との関係を検証する事で予測モデル構築を行う。

2-2 分析ツール開発

開発した分析ツールの主な機能は下記の2つである。

①シェリング画像検索機能

シェリングの線名、線別、キロ程、左右別を指定する事で、対象となるシェリングの画像を検索する機能である。また、撮影日を複数指定する事で同一のシェリング画像を時系列で表示する機能を実装した。

②シェリング外観定量化機能

シェリングの外観を定量化するにあたり、健全部との境界を画像処理により自動判定する必要がある。そこで本研究ではシェリングが健全部とは異なる輝度情報を有する事に着目し、HOG (Histograms of Oriented Gradients) 特徴量⁴⁾を用いる事で、シェリング外観の定量化を図った。

2-3 予測モデル構築

本研究では開発した分析ツールによって定量化した「シェリング長さ(画像)」と現場で測定した「水平裂長さ」、「横裂深さ」のデータを用いて、シェリング長さ(画像)から内部き裂を予測するモデルの構築を行う(図3)。

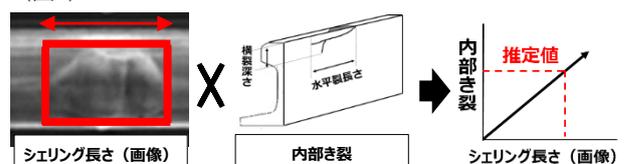


Fig. 3 着目したパラメータと予測モデルイメージ

3. 研究結果

3-1 分析ツール開発

開発した分析ツールによってシェリング外観を定量化し、その推移を時系列で表示した(図4)。

	元画像	定量化	
2018/03/23			幅: 78mm 長さ: 171mm 面積: 7965mm ² (参考値) 深さ: 10mm 判定日: 2017/11/03
2018/01/10			幅: 78mm 長さ: 171mm 面積: 7965mm ²
2017/12/12			幅: 58mm 長さ: 117mm 面積: 4590mm ²
2017/11/09			幅: 53mm 長さ: 135mm 面積: 4491mm ²

撮影回毎の定量化したシェリング外観を表示 (CSV出力可)

Fig. 4 撮影回毎のシェリング外観定量化および時系列表示

キーワード シェリング、画像処理、軌道材料モニタリング装置

3-2 予測モデル構築

下記にシェリング長さ（画像）と内部き裂の関係を示す。

① シェリング長さ（画像）と横裂深さの関係

図5より、シェリング長さ（画像）と横裂深さの間に相関関係は見られなかった。

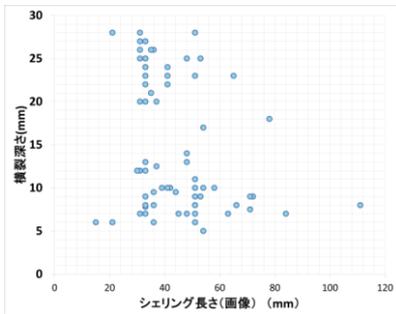


Fig. 5 シェリング長さ（画像）と横裂深さの関係

② シェリング長さ（画像）と水平裂長さの関係

図6より、シェリング長さ（画像）と水平裂長さの間に相関関係がある事がわかった。

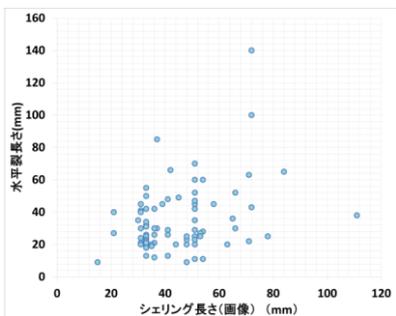


Fig. 6 シェリング長さ（画像）と水平裂長さの関係

今回着目したシェリング長さ（画像）だけでは横裂深さを推定する事は困難と判断した。よって本研究ではシェリング長さ（画像）から水平裂長さを予測するモデル構築を行う事とした。

④シェリング長さ（画像）を用いた水平裂長さの予測モデル構築

シェリング長さ（画像）から水平裂長さを予測するために、図6の関係を線形モデルによりモデル化する。

本研究でパラメータとして用いる水平裂長さは、非負の連続値であることに加え、図6から等分散でないことが明らかなことから、パラメータの確率分布が正規分布に従うと仮定した通常の線形モデルによる予測は適さない。よって本研究では確率分布としてGamma分布、リンク関数として対数を用いた一般化線形モデルによる予測モデル構築を検討する事とした。ここに応答変数（水平裂長さ）をy, 説明変数（シェリング長さ）をxとすると、予測モデルは下記の式で表される（式1）。

$$y = \exp\{1.498 + 0.539 \log x\} + \varepsilon \quad \text{【式1】}$$

$$\varepsilon \sim \text{Gamma}(\text{shape} = 3.655, \text{scale} = 0.273y)$$

上記式において、 ε は確率密度関数がGamma分布に従い、yはその期待値である事を示す。

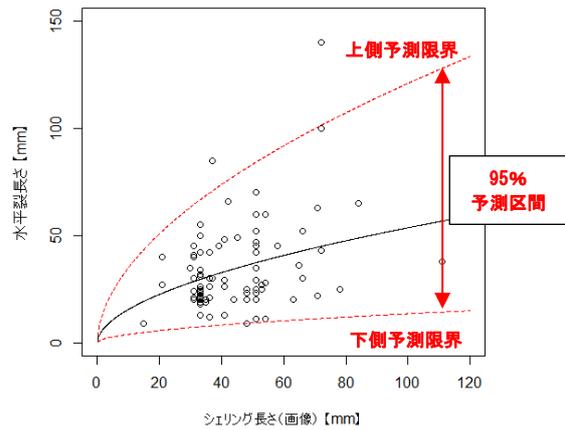


Fig. 7 シェリング長さ（画像）による水平裂長さの予測モデル

予測結果は図7に示す通りである。黒線は予測期待値を、赤線は予測値の95%予測区間を示す。次に、今回検討したモデルの評価を行った。本研究では、画像でのランク判定が実際の水平裂によるランク判定よりも低く見積もっている場合（過小評価）と、逆に画像でのランク判定が実際の水平裂によるランク判定よりも高く見積もっている場合（過大評価）の割合を用いて今回サンプルによる適合性の評価を行った（表1）。

Table. 1 画像による水平裂ランク判定と探傷結果によるランク判定

		画像ランク判定			
		無	B	C	CC
実際の判定	CC	0.0%	1.2%	2.4%	0.0%
	C	0.0%	15.7%	15.7%	0.0%
	B	0.0%	31.3%	20.5%	0.0%
	無	1.2%	8.4%	3.6%	0.0%
		過小評価：19.3%		過大評価：32.5%	

表より、予測モデルによる過小評価が19.3%、過大評価が32.5%、正しく評価したものが48.2%となった。過小評価と過大評価はトレードオフの関係にあり、予測値を上側予測限界に近づけ過ぎると、現場確認等の作業が増加する危険性がある。そのため、線区の重要度や職場毎のメンテナンスの方針によって適切なモデル選択を行う事が望ましいといえる。

4. まとめ

本研究の成果である、分析ツールによって軌道材料モニタリング装置から取得された画像データから定量化したシェリング外観を時系列データとして取得する事が可能となった。これにより、次回の検査までのシェリング外観の変化をトレースする事が可能となる。また、構築した予測モデルによって定量化したシェリング外観に対する水平裂長さの推定が可能となった。これにより、検査前にシェリング外観を取得し、水平裂長さを推定する事で個別探傷の優先順位付けを行う事が可能となり、従来では検査後に発生していた、計画外の業務を削減する事が期待できる。

参考文献

- 栗原 利喜雄：レール損傷に関する研究，鉄道技術研究報告：1981年10月，P234
- 石田 誠：レールシェリングのき裂進展に関する一考察，鉄道総研報告：1991年1月，P20
- 小松 佳弘 他：画像解析を用いたレール表面状態の異常検知手法の検討，第71回土木学会年次学術講演会講演概要集：2017年10月
- 庄野 逸：局所画像特徴量，映像情報メディア学会誌vol. 67：2013年10月