

列車前方画像による 木まくらぎの劣化診断



坪川 洋友
Yosuke Tsubokawa

軌道技術研究部
軌道管理研究室長



糸井 謙介
Kensuke Itoi

前 軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員



長峯 望
Nozomi Nagamine

情報通信技術研究部
画像解析研究室長



合田 航
Wataru Goda

情報通信技術研究部
画像解析研究室
研究員



前田 梨帆
Riho Maeda

情報通信技術研究部
画像解析研究室
研究員

はじめに

軌道設備の状態については、目視により検査されているものが多く、昨今の人口減少や少子・高齢化の進展により今後の保線技術者の確保が難しくなることから、軌道設備に係る検査の効率化や省力化が強く求められています。例えば、木まくらぎ構造を主体とする線区では、**図1**に示すような腐朽などによる不良まくらぎが連続するとレールを固定する力が弱くなり、車両からの荷重によってレール間隔が拡大することで、軌間内脱線を引き起こす可能性があります。そ

のため、このような軌間の拡大が生じやすい曲線を中心に、木まくらぎ1本ごとにその不良の有無（劣化度）を診断するとともに連続不良本数の管理が行われていますが、膨大な本数のまくらぎの目視検査に多大な労力を要しています¹⁾。このような背景から、列車前方に設置したビデオカメラで撮影した画像から木まくらぎ劣化度判定を自動で行うシステム（以下、「木まくらぎ劣化度判定システム」）の開発を進めています。



列車前方画像撮影と疑似床下画像化



判定結果の木まくらぎ検査への活用 (不良箇所の可視化)



検査台帳 (記録簿)

No.	レール番号	キロ程	延長 (m)	まくらぎ番号					
				1	2	3	4	5	6
1	1	001m ~ 019m	18.3	D	D	C	B	B	C
2	2	019m ~ 043m	23.7	B	D	D	A2	D	D
3	3	043m ~ 066m	23.8	D	A2	D	A2	B	D
4	4	066m ~ 090m	24.0	C	B	D	D	B	D
5	5	090m ~ 115m	24.3	C	D	C	D	D	A2
6	6	115m ~ 139m	24.2	D	D	A2	A2	A2	D
7	7	139m ~ 163m	24.4	D	C	D	D	C	C

※まくらぎ間隔・まくらぎ直角変位も算出可能
締結装置や道床などの状態把握にも応用

図2 列車前方画像を用いた木まくらぎ劣化度判定システム

列車前方画像による木まくらぎの劣化度判定システム

本システムの概要

本システムの概要を図2に示します。本システムでは、低コストかつ簡易な手法で撮影を行うため、市販の4K解像度以上のビデオカメラと吸盤式の固定マウントを用いて列車前方の窓(車内)から軌道を撮影します。その後、事務所において、取得した列車前方画像に対して、画像処理とディープラーニングによる木まくらぎ劣化度判定アルゴリズムを適用して、画像中に存在するまくらぎを自動で抽出し、まくらぎ1本ごとに劣化度を自動判定します。自動判定の結果は、状態確認用のビューアーや表形式の検査台帳において、まくらぎ1本ごとに劣化度に応じた色による分類形式で出力されるため、鉄道事業者は木まくらぎの連続不良箇所を

視覚的かつ容易に把握できます。また、本ビューアーは画像拡大や測長の機能を備えているため、レール締結装置やバラストの状態確認のほか、まくらぎ間隔の測定にも活用することができます。

木まくらぎ劣化度判定アルゴリズム

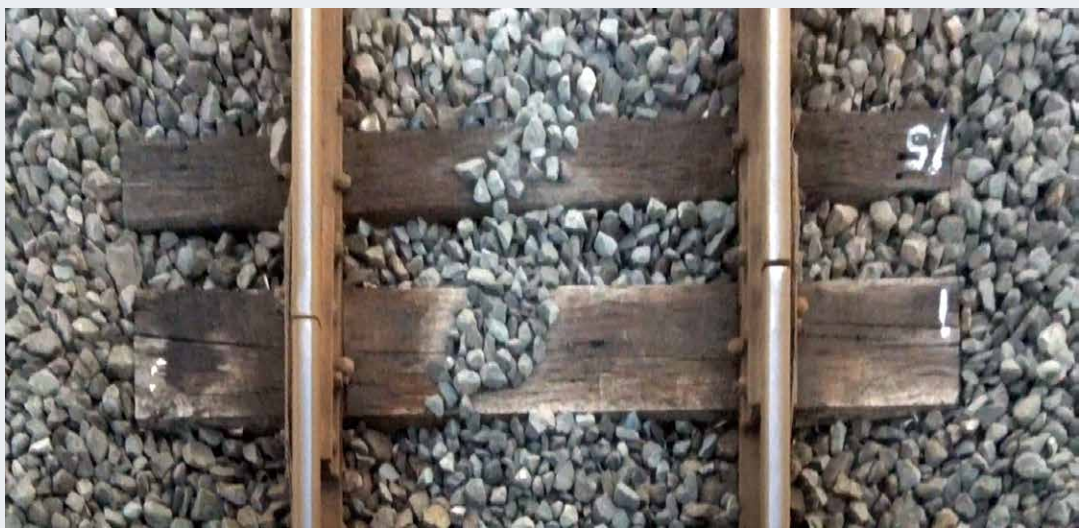
木まくらぎ劣化度判定アルゴリズムは、①列車前方画像の床下画像化処理、②画像の位置推定、③ディープラーニングによる木まくらぎ劣化度判定、④まくらぎ直角変位[※]・まくらぎ間隔の算出で構成されます。

※ まくらぎ直角変位

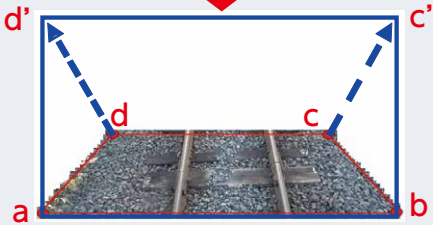
緩曲線のロングレール区間などの条件において、左右のレールが逆方向にふく進(レール長手方向へ移動)することにより、レールに対して直角に敷設されているまくらぎが回転して生じる変位のことで、軌道中心線からレールまでの直交点とまくらぎ中心までの距離をまくらぎ直角変位量とよびます。



列車前方画像



射影変換画像 (床下画像化)



変換領域の抽出

図3 射影変換による疑似床下画像の作成

①列車前方画像の床下画像化処理

まず、①列車前方画像の床下画像化処理では、**図3**に示すように、台形の2次元画像を長方形に変換する射影変換²⁾という画像処理手法を用いて、列車前方画像を床下画像のように真上から見た画像（疑似床下画像）に変換します。具体的には、列車前方画像では、画像手前から奥にかけて物体が細くなり台形状に映ります。そのため、射影変換では必要とする台形の領域 (abcd) の座標4点から、実際のまくらぎの縦横比と合致するように長方形 (abc'd') の座標4点を求めることで疑似床下画像に変換しています。この変換処理では、解像度の良い画像手前

のまくらぎを変換対象とし、かつ、縦横比を実形状に合わせることで、現場に近い敷設状態の画像を作成します。

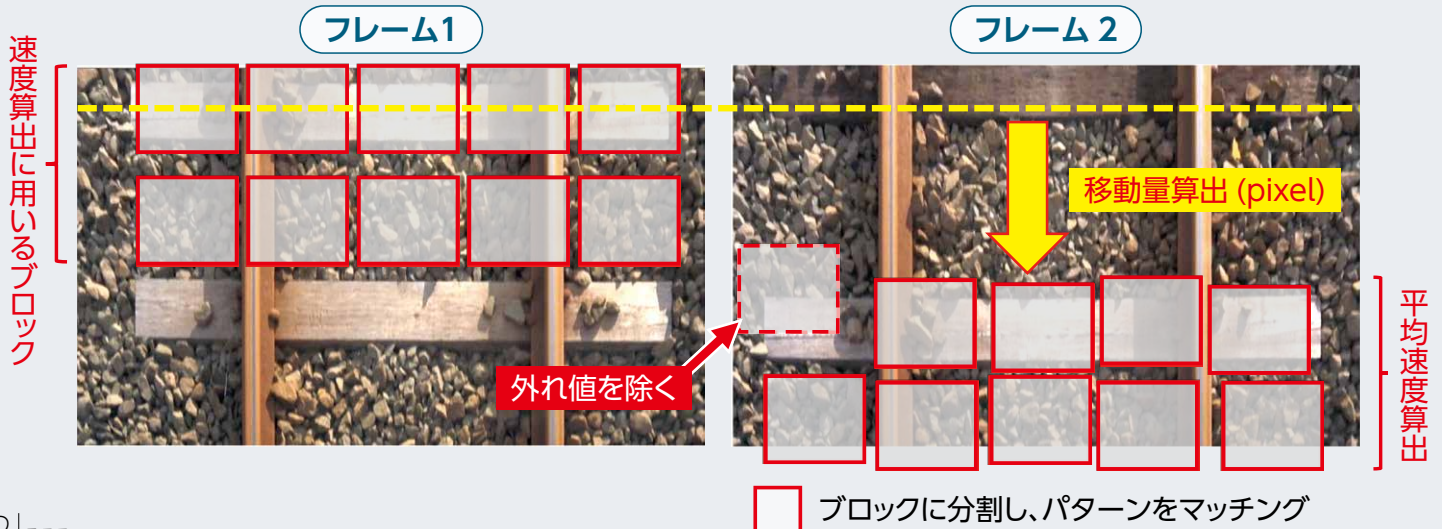
②画像の位置推定

②画像の位置推定では、不良まくらぎなどの位置を推定するため、作成した疑似床下画像に**図4**に示す**ブロックマッチング法**³⁾を適用して、

3) ブロックマッチング法

オプティカルフロー（フレーム間の物体の動きを検出して速度をベクトルで表示する手法）の一つで、画像を一定の大きさのブロック（小領域）に分割して、前後のフレームにおける対応するブロックを探し、そのブロックの位置の差を動きベクトルとするものです。

図4 撮影フレーム間の移動量算出例



撮影フレーム間の列車の移動量（走行距離）を pixel単位で計測します。ただし、この方法により求まる移動量は画像に外乱などがあると誤差が生じるため、駅間などの既知の撮影区間長を活用して各フレーム間の移動量を補正することで、撮影した画像のキロ程を推定します。

③ディープラーニングによる木まくらぎ劣化度判定

③ディープラーニングによる木まくらぎ劣化度判定では、ディープラーニングにより図5に示す判定標準（劣化度A1～D、未判定、PC）に基づいた劣化度判定モデルを構築し、これを疑似床下画像に適用して木まくらぎの検出と劣化度判定を行います。劣化度判定モデルの構築においては、現場には劣化度A2やBなどの不良まくらぎの数が少ないことから、図6に示すように撮影した画像の「明るさ」と「コントラスト」の強弱を変更する色調処理を行って、色調の異なる4パターンの画像を作成することで、不良まくらぎの学習データを効率的に増やすように工夫しています。現在の木まくらぎ劣化度判定モデルは、営業線で撮影した約20万枚の画像を用いて約37万本のまくらぎ（劣化度情報の内訳はA1：61本、A2：21,329本、B：68,520本、C：78,779本、D：164,036本、

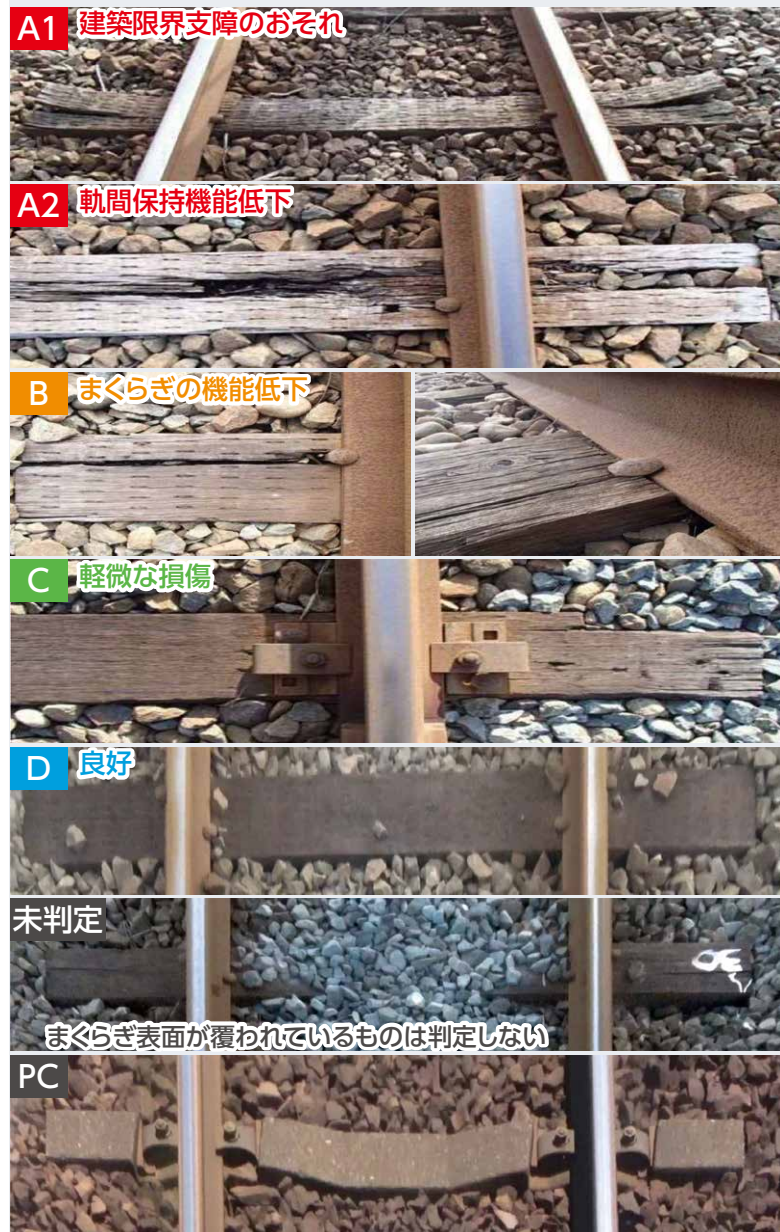


図5 木まくらぎの劣化度判定標準

図6 学習データの作成（色調処理）

オリジナル画像				
拡張 1	明るさ : 高 コントラスト : 高			
拡張 2	明るさ : 高 コントラスト : 低			
拡張 3	明るさ : 低 コントラスト : 高			
拡張 4	明るさ : 低 コントラスト : 低			

A2



レールID:50 まくらぎID:13 判定結果:ki_A2 並まくらぎ_A2判定

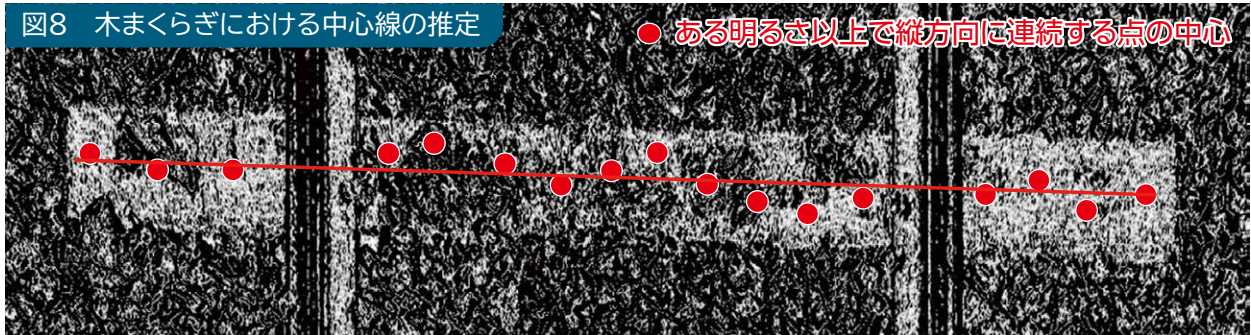
C



レールID:50 まくらぎID:12 判定結果:ki_C 並まくらぎ_C判定

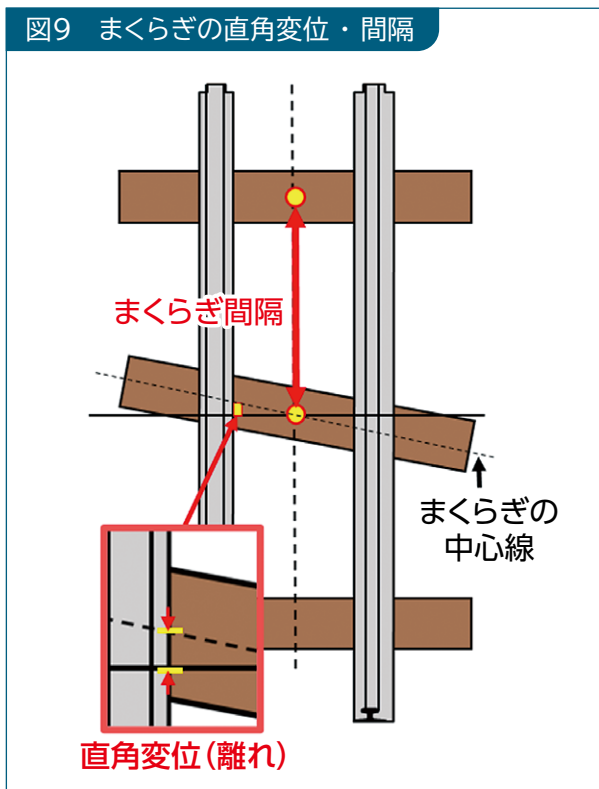
図7 木まくらぎの検出と劣化度判定結果の例

図8 木まくらぎにおける中心線の推定



●ある明るさ以上で縦方向に連続する点の中心

図9 まくらぎの直角変位・間隔



未判定：12,812本，PC：23,450本）を学習させました。本アルゴリズムによる木まくらぎの検出と劣化度判定結果の例を図7に示します。

④まくらぎ直角変位・まくらぎ間隔の算出

④まくらぎ直角変位・まくらぎ間隔の算出では，まくらぎの範囲を画像中の輝度値から抽出し，図8のように，その中心線を推定します。得られた中心線の傾きから角度と軌間の寸法によって，図9に示すまくらぎ直角変位や間隔を算出します。

木まくらぎの劣化度判定精度の評価結果

本アルゴリズムの劣化度判定精度を検証するために，劣化度判定モデルを作成した区間とは異なる営業線において撮影した16,111本の木まくらぎの画像に本アルゴリズムを適用しま



図10 検出できなかった木まくらぎ例

した。その結果、まくらぎの検出数は16,033本(検出率99.5%) (図10のようにバラストなどでまくらぎ表面が顕著に覆われている条件を除くと100%)であることを確認しました。また、保線技術者が疑似床下画像から判定した劣化度(4段階)を真の判定とし、本アルゴリズムが判定した劣化度と比較した結果、検証に用いた区間では、図11に示すように90%以上の精度で木まくらぎの劣化度を自動判定できることを確認しました。ここで、不良なまくらぎを良好なまくらぎと判定した割合は7%程度ありましたが、軌間内脱線のリスクが高くなる3本連続不良箇所を見逃す可能性は、危険側の誤判定が3本連続で起こる確率をふまえると、十分低い(例えば3本不良のまくらぎがある場合、すべて良いまくらぎとする確率は0.03%、2本は良いまくらぎ・1本は不良まくらぎとする確率は1.37%)と考えられます。このように、本システムは、4段階に分類した木まくらぎの劣化度を90%以上の精度で自動判定できることから、有用性は十分に高いと考えられます。

おわりに

市販のビデオカメラで撮影した列車前方画像から、画像処理とディープラーニングを用いて木まくらぎの検出と劣化度判定を自動で行うシステムを紹介しました。本システムを活用することにより、保線技術者が実際に現地に赴かなくても、営業列車に安価なハンディーカメラを

図11 木まくらぎの劣化度判定システムの精度

木まくらぎの検出率 99.5%		
劣化度	判定標準	判定精度
不良 A2	軌間保持 機能低下	92.2%
B	まくらぎの 機能低下	88.6%
C	軽微な損傷	91.2%
良好 D	良好	94.1%

※評価本数：木まくらぎ 16,033本

設置するのみで検査が可能となるため、検査速度・頻度の向上や、検査労力・コストの削減などの効果が期待できます。

今後は、撮影条件の違いが判定結果の再現性に与える影響を検証するほか、本システムを用いた具体的な業務フローや判断方法を提案し、実用化に取り組みます。また、レール締結装置などのその他の軌道部材への適用について、検討を進めていく予定です。RRR

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)の手引き, 2007
- 2) 糸井謙介, 坪川洋友, 長峯望, 合田航：鉄道総研だより 列車前方画像を用いた木まくらぎ劣化度判定手法の開発, 新線路, Vol.75, No.11, pp.24-26, 2021