

## 木まくらぎ劣化度判定システムによる劣化度の経時変化の評価

加藤 爽\* 坪川 洋友 長峯 望  
合田 航 前田 梨帆 (鉄道総合技術研究所)  
山崎 雅仁 糸井 謙介 (北海道旅客鉄道)

Validation Progress of Deterioration of the Wooden Sleepers Using Wooden Sleeper Deterioration Evaluation System  
So Kato\*, Yosuke Tsubokawa, Nozomi Nagamine, Wataru Goda, Riho Maeda (Railway Technical Research Institute)  
Masahito Yamazaki, Kensuke Itoi, (Hokkaido Railway Company)

The wooden sleeper inspection methods using forward view images from a train cab judges the deterioration of wooden sleepers from images in 5 stages. We applied the developed method to two forward view images with different shooting times of 10 months, and confirmed the progress of deterioration. As a result, we were able to assess the progress of deterioration at a rate of 80% for wooden sleepers that were found the progress of deterioration in the field inspection.

キーワード : 木まくらぎ検査, 列車前方面像, 画像処理, ディープラーニング  
(Wooden sleeper inspection, Forward view image from train, Image processing, Deep learning)

### 1. はじめに

軌道に敷設された木まくらぎは、保線技術者が 1 本ごとに目視または打音検査により劣化度を判定し、管理を行っている。木まくらぎの不良箇所が連続すると、軌間が拡大して脱線事故の要因となることがあるため、木まくらぎ検査は軌道の重要な検査の 1 つである。

また、木まくらぎの敷設数は膨大であることから、他の検査に比べて労力を必要とすることに加え、昨今の保線技術者不足の状況を踏まえると、効率的かつ検査者の技能に左右されない検査手法の開発が必要である。

そこで、木まくらぎ検査の効率化を図るために、列車前方面像を用いた木まくらぎ劣化度判定システムを開発した<sup>1)</sup>。開発した手法は、ディープラーニングにより木まくらぎの劣化度を概ね 90% の精度で 5 段階で判定できることを確認しており、定期的に撮影した列車前方面像から木まくらぎの劣化度の進行状態を時系列で把握できれば、効率的な木まくらぎ管理が可能となる。そこで、本稿では、開発した木まくらぎ劣化度判定システムを用いて、撮影時期が 10 カ月異なる 2 回の列車前方面像についてそれぞれ木まくらぎの劣化度判定を行い、劣化の進行状態の把握の可否について検証した結果を報告する。

### 2. 木まくらぎ劣化度判定システムの概要

〈2・1〉 システムの構成 図 1 に、木まくらぎ劣化度判定システムの構成を示す。本システムでは、低コストかつ

簡易に撮影を行うため、市販のビデオカメラ (4K 解像度以上) を用いて列車前方より軌道画像 (以下、列車前方面像という。) を撮影する。取得した列車前方面像について、事務所での作業として、木まくらぎ劣化度判定アルゴリズムを用いて、まくらぎの劣化度・直角変位・間隔の診断や測定を行う。得られた結果は、「判定画像」と「台帳」として出力される。なお、判定画像を表示するビューアや出力される台帳を活用することで、まくらぎの連続不良箇所の抽出や状態確認を効率的に行える。

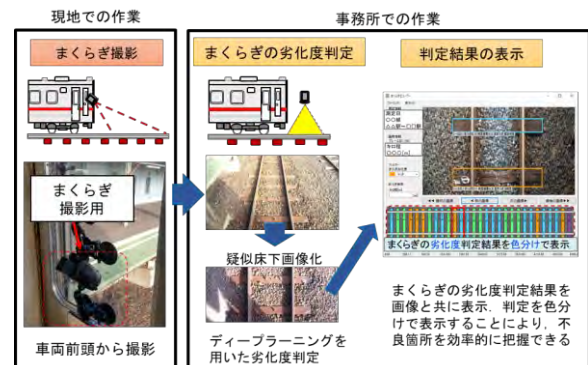


図 1 木まくらぎ劣化度判定システムの構成

〈2・2〉 木まくらぎ劣化度判定アルゴリズムの概要 本アルゴリズムの主な特徴は、列車前方面像の画像処理による「床下画像化」とディープラーニングによる「劣化度判定」である。

床下画像化では、図 2 に示すように列車前方面像に対し、

指定した領域内にあるまくらぎが、実寸法と同じ縦横比率になるように変換し、床下画像を疑似的に作成する（以下、疑似床下画像という．）．これにより、まくらぎの状態を従来の目視による検査に近い状態で診断・把握できる．さらに、疑似床下画像は、締結装置やバラストの状態確認にも活用できる．

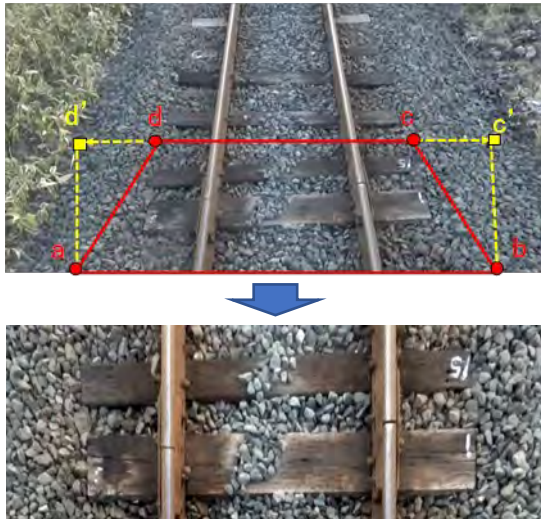


図 2 床下画像処理

木まくらぎの劣化度判定では、図 3 に示す判定標準（劣化度 A1～D 及び未判定）を基に、ディープラーニングにより構築した劣化度判定モデルを用いて、疑似床下画像から木まくらぎの検出と劣化度判定を自動で行う．本モデルの構築には、約 20 万枚の画像に対し、37 万本のまくらぎのタグ付けし、学習を行った．本モデルによる木まくらぎの検出率は、バラスト等でまくらぎ表面が顕著に覆われている条件を除くと 100%であり、木まくらぎの劣化度の判定精度は、保線技術者が画像から判定した劣化度と本システムが判定した劣化度を比較すると 90%以上であることを確認している．図 4 に、木まくらぎの検出及び劣化度判定の結果例を示す．

状態	ランク	判定標準
劣	A1	・建築限界を支持する恐れがある
	A2	・軌間保持機能が失われている ・著しい良い込みが発生している
	B	・まくらぎの機能が低下傾向にある
	C	・まくらぎの機能を有しているが若干の損傷等がある
良	D	・良好なまくらぎ
	未判定	・まくらぎ表面が鮮明に見えない

図 3 木まくらぎの劣化度判定標準

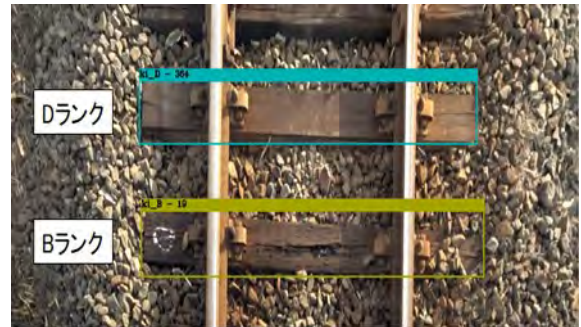


図 4 木まくらぎの検出と劣化度判定の結果例

### 3. 本システムによる判定精度

〈3・1〉 木まくらぎ劣化度判定の現地検査結果との比較  
本システムは、疑似床下画像のまくらぎを学習して構築したモデルであるため、これまでは、保線技術者が画像から判定した劣化度と本システムが判定した劣化度とを比較して判定精度を評価してきた．一方、本システムで判定した劣化度と実際に現地で検査した劣化度との比較は行われていなかった．そこで、劣化度判定モデルを構築した線区において、2022 年 7 月に保線技術者が現地で目視および打音により判定した結果（以下、現地検査結果という．）と、2022 年 8 月に列車前方から撮影した画像データを用いて本システムで判定した結果（以下、システム判定結果という．）を比較し、現在実施されているまくらぎ検査との整合性を検証した．ここでは、学習データに含まれていない木まくらぎ 695 本の疑似床下画像を用いた．図 5 に現地検査結果とシステム判定結果について、ランクごとの数量を示す．

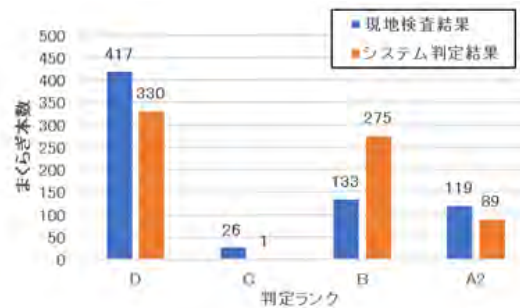


図 5 ランクごとの判定数

次に、現地検査結果とシステム判定結果を比較し、判定ランクが一致した場合の一致率および、判定ランク「D・C」を「不良でないまくらぎ」、判定ランク「B・A2」を「不良なまくらぎ」とし、各 2 ランク内に含まれていれば正解（A2 を B、D を C と判定した場合も正解とする）とした場合の正解率を表 1 に示す．D ランクの一致率は 78%であり、C ランクは 0%、B ランクは 86%、A2 ランクは 53%であった．また、判定ランクを 4 種類から 2 種類に絞り、木まく

らぎの状態が不良か否かを判定した場合は、不良でないまくらぎ (D・C ランク) の正解率は 74%であり、不良まくらぎ (B・A2 ランク) は 99%であった。したがって、劣化した木まくらぎの詳細な分類による判定は難しいが、不良まくらぎか否かの判定については、十分な判定精度を有していると考えられる。

表 1 劣化度ランクごとの判定正解率

ランク	D	C	B	A2
現地検査結果(本)	417	26	133	119
システム判定結果(本)	325	0	115	63
一致率	78%	0%	86%	53%
現地検査結果(本)	443		252	
システム判定結果(本)	328		249	
正解率	74%		99%	

また、図 6 に現地検査結果に対して、システム判定結果が占める割合を示す。図 6 より、現地検査結果に対し、システムが危険側に判定した割合は、A2 ランクで 47%、B ランクが 2%、C ランクが 8%であった。また、A2 ランクにおいて不良でないまくらぎ (C・D ランク) と判定した割合は 1%であったことから、不良まくらぎ (B・A2 ランク) を不良でないまくらぎ (C・D ランク) と誤判定する確率は低いと考えられる。

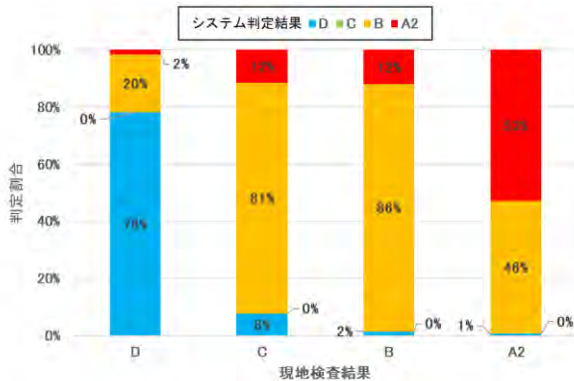


図 6 現地検査結果に対するシステム判定結果の割合

〈3・2〉 現地検査結果とシステム判定結果の相違

一方、現地検査結果において A2、B ランクと判定したのに対して、システム判定で D ランクと判定されたまくらぎが存在した。A2、B ランクを D ランクとシステム判定したまくらぎの判定画像を図 7 に示す。図 7 より、A2 ランクを D ランクと判定したまくらぎには、軌間拡大防止を目的としたチョックが取り付けられていることが分かる。このチョックによりまくらぎ表面の状態が隠れたことが原因で、システム判定において良好なまくらぎと判定したと考えられる。また、B ランクを D ランクとシステム判定したまくら

ぎは、表面上に見られない劣化(まくらぎ内部が腐るなど)があり、外観から確認できる不良状態が見えにくいことから良好なまくらぎと判定したと考えられる。



図 7 不良まくらぎを良好なまくらぎと判定した画像

4. 本システムによる木まくらぎ劣化度の進行状態の把握

2021 年度の現地検査結果と 2022 年度現地検査結果を比較し、木まくらぎの劣化度に進行が見られた 128 本のまくらぎについて、本システムの判定における劣化度の進行の有無を確認した。図 8 に 2022 年度の現地検査結果で A2、B、C と判定されたまくらぎのうち、2021 年度の現地検査結果からまくらぎの劣化度に進行が認められたまくらぎのランクごとの数量を示す。

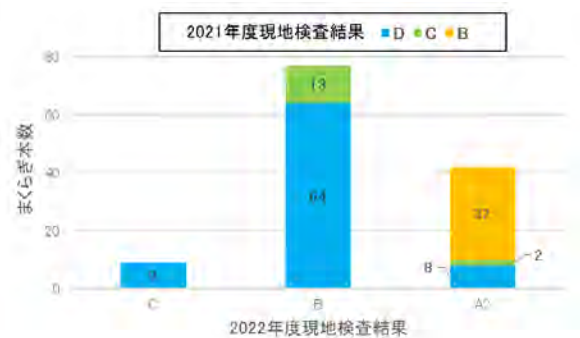


図 8 2022 年度現地検査結果に対する 2021 年度現地検査結果

2021 年度撮影の画像データを用いて本システムにより判定した結果と、2022 年度撮影の画像データから本システムにより判定した結果を比較し、本システムにおいて劣化度の進行を把握できるか検証した。図 9 に現地検査結果とシステム判定結果の劣化度の進行状態ごとの数量を示す。また、図 10 に劣化度の進行が見られた 128 本のまくらぎについて、2022 年度と 2021 年度の撮影データを用いて本システムで判定した結果を示す。図 10 より、現地検査結果で劣

化度の進行が見られたまくらぎに対して、システム判定で  
 良化もしくは劣化度の進行が見られなかったものが A2, B,  
 D ランクで存在した。

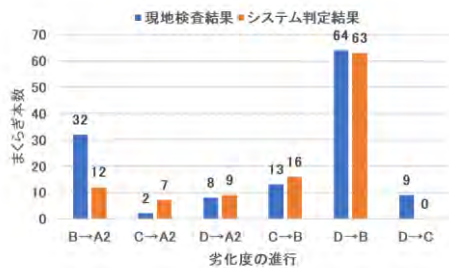


図 9 劣化度の進行ごとの数量



図 10 2021 年度システム判定に対する 2022 年度システム判定結果

次に現地検査結果における劣化度の進行とシステム判定による劣化度の進行が一致したものについて各劣化度の進行ごとに割合を算出する。表 2 に、各劣化度の進行に対する一致率および劣化度の進行が完全に一致はしていないが、昨年度の結果より劣化が進行した判定となった割合を示す。

表 2 劣化度進行ごとの一致率

劣化度の進行	B→A2	C→A2	D→A2	C→B	D→B	D→C
現地検査結果(本)	32	2	8	13	64	9
システム判定(本)	10	1	3	9	56	0
一致率	31%	50%	38%	69%	88%	0%
現地検査結果(本)	128					
システム判定(本)	107					
進行した割合	83%					

不良でないまくらぎ (C・D ランク) から B ランクへの進行については、70~90%程度で一致、各ランクから A2 への進行については、30~50%程度が一致した。また、劣化度のランクに関わらず、劣化度の進行が認められたまくらぎの割合は 83%であった。したがって、現地検査結果からまくらぎの劣化度の進行があったものについては、本システムにおいても劣化度の進行を 80%程度の精度で把握することができる可能性がある。また、システム判定結果とともに画像を併用して確認することで、まくらぎの劣化の進行状態

をより詳細に把握することができる。

図 11 に現地検査結果において D ランク (2021 年度) から A2 ランク (2022 年度) に劣化度の進行が認められた箇所について、システム判定においても同様の劣化度の進行が見られたまくらぎの判定画像を示す。図 11 より、2021 年度の判定画像と比べ、2022 年度の判定画像では、まくらぎ表面上に存在する割れが顕著になっていることが分かる。このひび割れが進行したことが劣化度の進行に寄与したと考えられる。

以上のことから撮影した画像において、まくらぎの割れや欠けといったまくらぎ表面上における劣化の進行状態が分かれば、本システムにおいても劣化度の進行状態を把握することができると考えられる。



図 11 木まくらぎの劣化度の進行

### 5. おわりに

列車前方画像を用いた木まくらぎ劣化度判定システムについて、現地検査結果と比較を行い、本システムの精度について確認した。その結果、現地検査結果で不良まくらぎ (A2・B) と判定したまくらぎについて、本システムで A2 もしくは B と判定できた割合は 99%であった。また、異なる期間に撮影した列車前方画像を用いて、本システムで木まくらぎの劣化度の進行状態を把握できるか検証した結果、現地検査で劣化度の進行が認められたまくらぎに対して 80%程度の割合で劣化度の進行状態を把握することができた。以上のことから、木まくらぎの劣化度の進行状態について、本システムを活用することで、効率的に把握することができる可能性がある。

今後は、さらに木まくらぎの本数を増やした検討や、他線区における精度の検証を行う。また、木まくらぎ検査への本システムの適用方法について検討を行い、実用化を目指す。

### 文 献

- (1) 糸井 謙介, 坪川 洋友, 長峯 望, 合田 航, 加藤 爽: 列車前方画像を用いた木まくらぎ検査手法の精度向上, J-Rail2021,2021.12