

踏切監視カメラを用いて しゃ断かんの折損を検知する



影山 涼
Ryo Kageyama
情報通信技術研究部
画像解析研究室
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

はじめに

国内の踏切の約90%を占める¹⁾第一種踏切では、踏切しゃ断機によって線路と道路が平面交差する箇所の安全が確保されています。踏切のしゃ断は、踏切しゃ断機がしゃ断かん(いわゆる「竿」)を上げ下げすることによって行われています。しゃ断かんは、踏切しゃ断中の自動車などの無理な横断によって折れ曲がったり、欠けてしまう場合があります。現状では、列車の運転士や通行人がしゃ断かんの折損を発見した場合に、指令へ通報することによって対策がとられます。しかし、仮に折損の発見が遅れた場合、復旧までに時間がかかってしまうなどの問題が発生します。そこで私たちは近年、各鉄道事業者で導入が進んでいる踏切監視カメラの画像を活用して、しゃ断かんの折損を自動的かつ早期に検知する手法を開発しています²⁾。ここでは、提案する監視カメラ画像を用いた折損検知手法とその性能評価結果について紹介します。

しゃ断かん折損検知について

しゃ断かん折損を検知するため、事業者やメーカーなどを中心に、これまでに以下のような手法が検討されてきました。

- しゃ断かんの根元に超音波センサーや電流センサーを取り付け、測定値の変化から折

損を検知する手法³⁾

- しゃ断機に電流センサーを取り付け、動作電流の変化から折損を検知する手法⁴⁾

これらの手法については、さまざまな折損状態に対してある程度検知できることが示されていますが、風などの外乱によって誤検知が発生するうえ、しゃ断かんやしゃ断機1台に対して専用のセンサーを取り付ける必要があるため、施工および保守のコストが高くなります。

一方で近年、全国の鉄道事業者において、踏切道内の安全確認を目的とした踏切監視カメラの導入が進んでいます。私たちはこのことに着目し、既存の監視カメラの画像を用いることを前提とした、追加施工を必要としないしゃ断かん折損検知手法を検討することとしました。

監視カメラの画像を用いた しゃ断かん折損検知手法

踏切監視カメラからしゃ断かん折損を検知する流れを図1に示します。しゃ断かんについては、省令⁵⁾で「黄色・黒色で交互に帯状に塗装されていること」と定められていることから、画像から黄色を抜き出してその縞模様しまの繰り返しを抽出します。踏切監視カメラの画像には、踏切道全体が映っているので、最初にしゃ断かんの周りを囲むように検知エリアを設定し、真

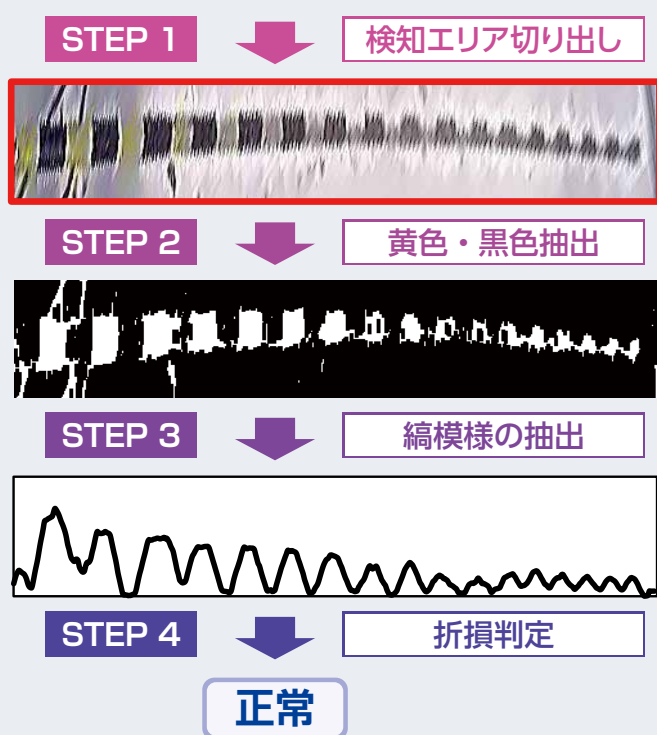


図1 監視カメラの画像からしゃ断かん折損を検知する流れ

上から見たような画像に視点を変換します。次に、検知エリアの画像からHSV色空間^④で黄色または黒色を抜き出し、抜き出した色の部分が白、それ以外が黒となる白黒画像を作ります。この白黒画像について、しゃ断かんの長手方向と垂直な方向について画素値（色の濃淡を表す値）の平均をとることで波形に変換します。さらに、この波形に対して、ヒルベルト-ファン変換^⑤とよばれる処理を行います。これにより、

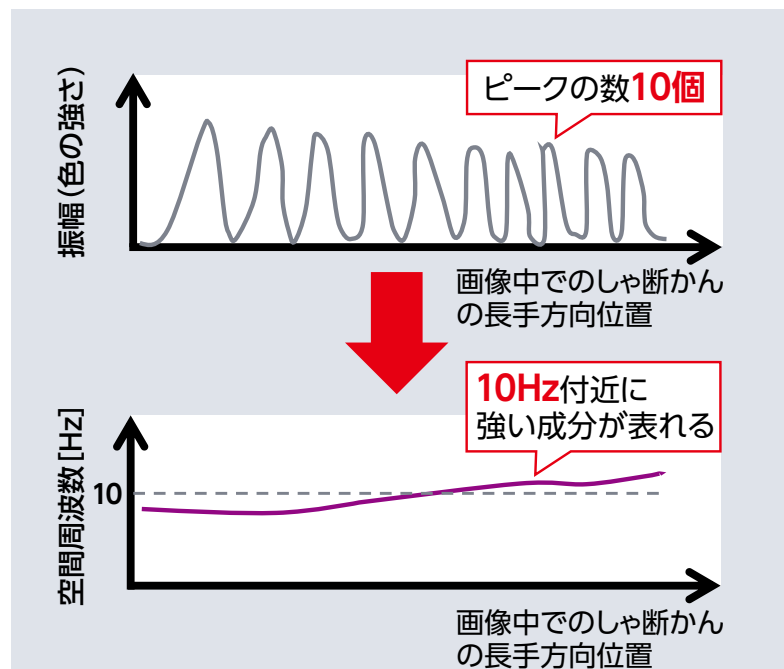


図2 ヒルベルト-ファン変換のイメージ

④ HSV色空間

画像中の色を色相（色合い）、鮮やかさ、明るさの3つの指標で色を表現する方法です。通常コンピュータ上では、色を赤、緑、青（RGB）の色で表現しますが、HSV色空間の方が、人間が色を知覚する方法とより似ているため、直観的に特定の色を選択・抽出することができます。

⑤ ヒルベルト-ファン変換

時系列データなどの処理に用いられる方法の1つで、波形から周波数の分布を求めるための手法です。一般的な周波数解析手法と異なり、振幅や波長が時間や空間によって変化するような複雑な波形に対しても適用することができます。

画像の中で抜き出した色がおおむねどれくらいの周期で繰り返しているかを推定することができます。図2にヒルベルト-ファン変換のイメージを示します。図の上が波形、下がヒルベルト-ファン変換の処理結果です。処理結果の縦軸は「空間周波数」、つまり画像中で周期的な色の繰り返しがどれくらいの細かさで発生しているかを表します。例えば図のように画像中の縞模様のピークが10回とすると、ヒルベルト-

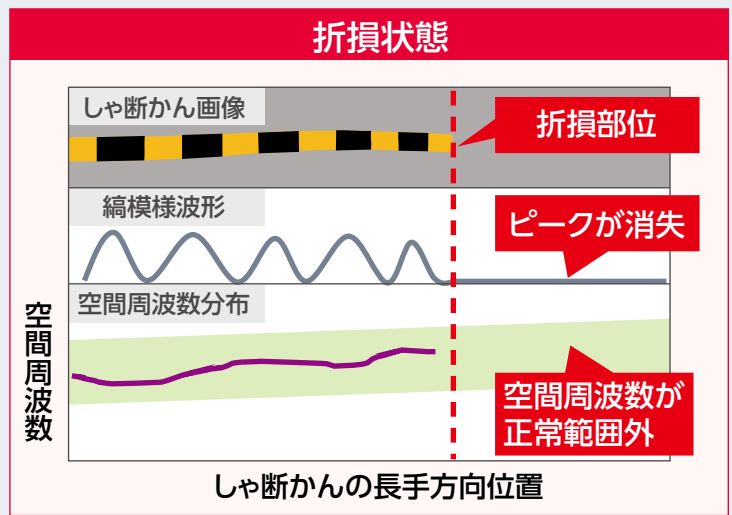
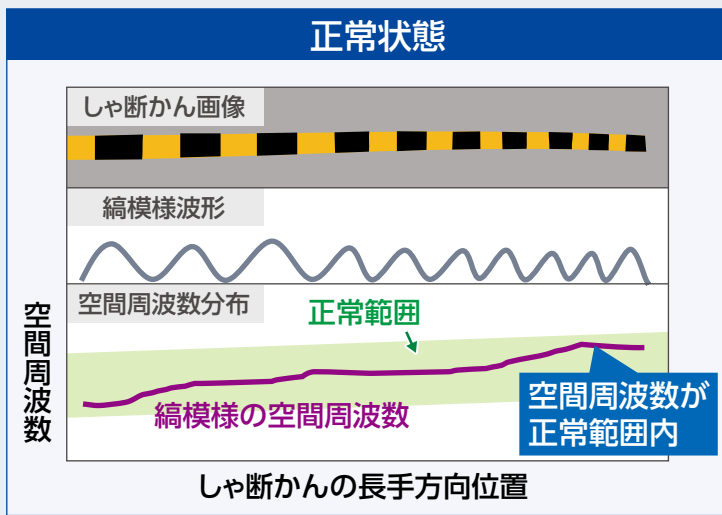


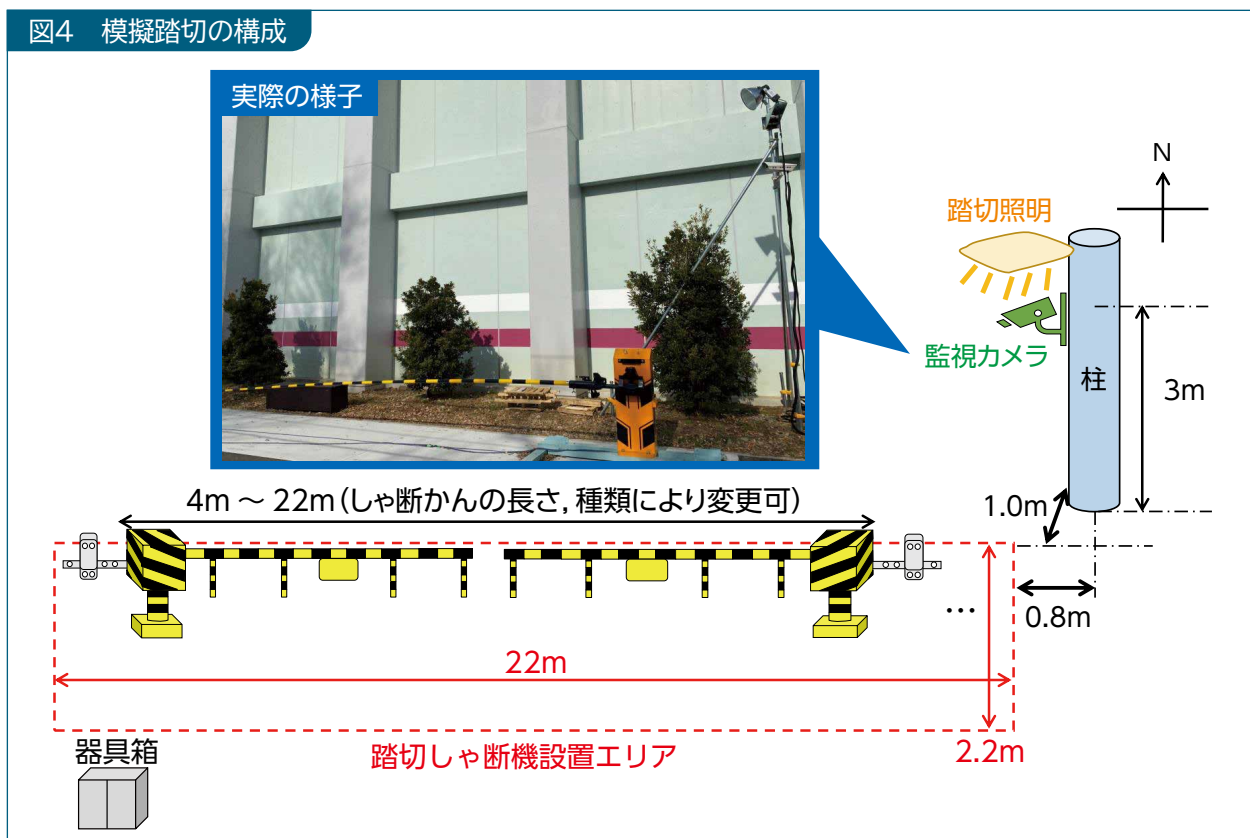
図3 折損判定処理のイメージ

ファン変換による解析で、空間周波数が10Hz前後の成分が多く含まれることがわかります。この解析結果から折損を検知するイメージを図3に示します。正常なしゃ断かんの画像における縞模様の数に基づいて設定した正常範囲の中に一定以上の強さの成分があれば正常、途中でなくなれば折損と判定します。また、空間周波数成分の途絶えた箇所からおおよそしゃ断かんのどの箇所で折損が判定しているかを見積もることができます。

折損検知性能の評価

検討した手法の性能評価試験を所内に構築した模擬踏切において実施しました。模擬踏切の構成を図4に示します。しゃ断機の後ろに柱を建て、高さ約3mの位置に監視カメラと踏切照明を設置しました。監視カメラはJRや大手私鉄で実際に導入されているものと同じ機種を用いています。性能評価に用いたしゃ断かんを図5に示します。しゃ断かんは全長7mで、先端から順にC-1～C-5の5つのパーツで構成さ

図4 模擬踏切の構成



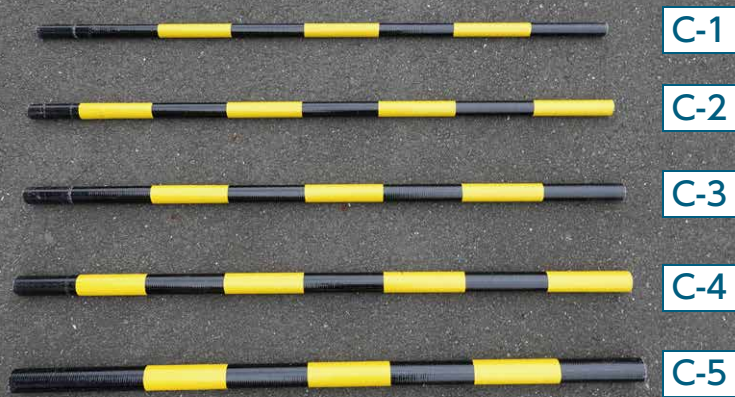


図5 性能評価に用いたしゃ断かんの構成

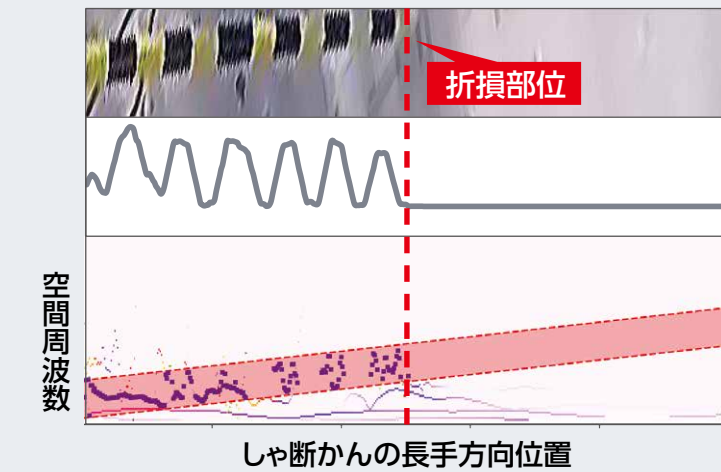


図6 折損検知結果の例(所内模擬踏切)

れています。10時台～18時台まで、約1時間おきにC-1～C-3がない状態、正常状態を交互に撮影しました。折損検知結果の例(検知エリアの画像、縞模様の抽出結果)を図6に示します。縞模様が折損部分で途切れている傾向を正しくとらえられています。時間帯ごとに、折損を正しく検知した割合をまとめたものを表1に示します。表より、時間帯によらず折損状態を99%以上正しく検知できることがわかりま

した。

また、より実際の踏切に近い環境として、鉄道事業者が保有している訓練施設内にある踏切

表1 折損を正しく検知できた割合(時間帯別)

時間帯	検知率 (%)
10:00 ~ 13:00	100
13:00 ~ 16:00	99.8
16:00 ~ 19:00	99.8

図7 試験における監視カメラの配置

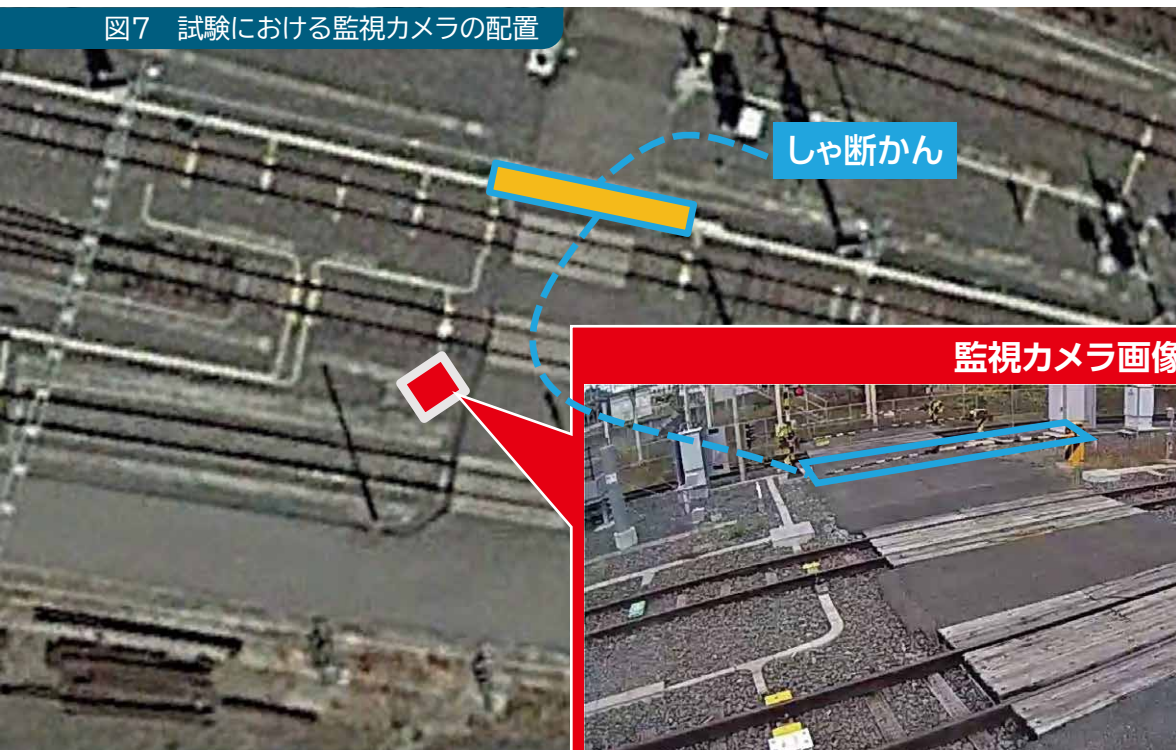


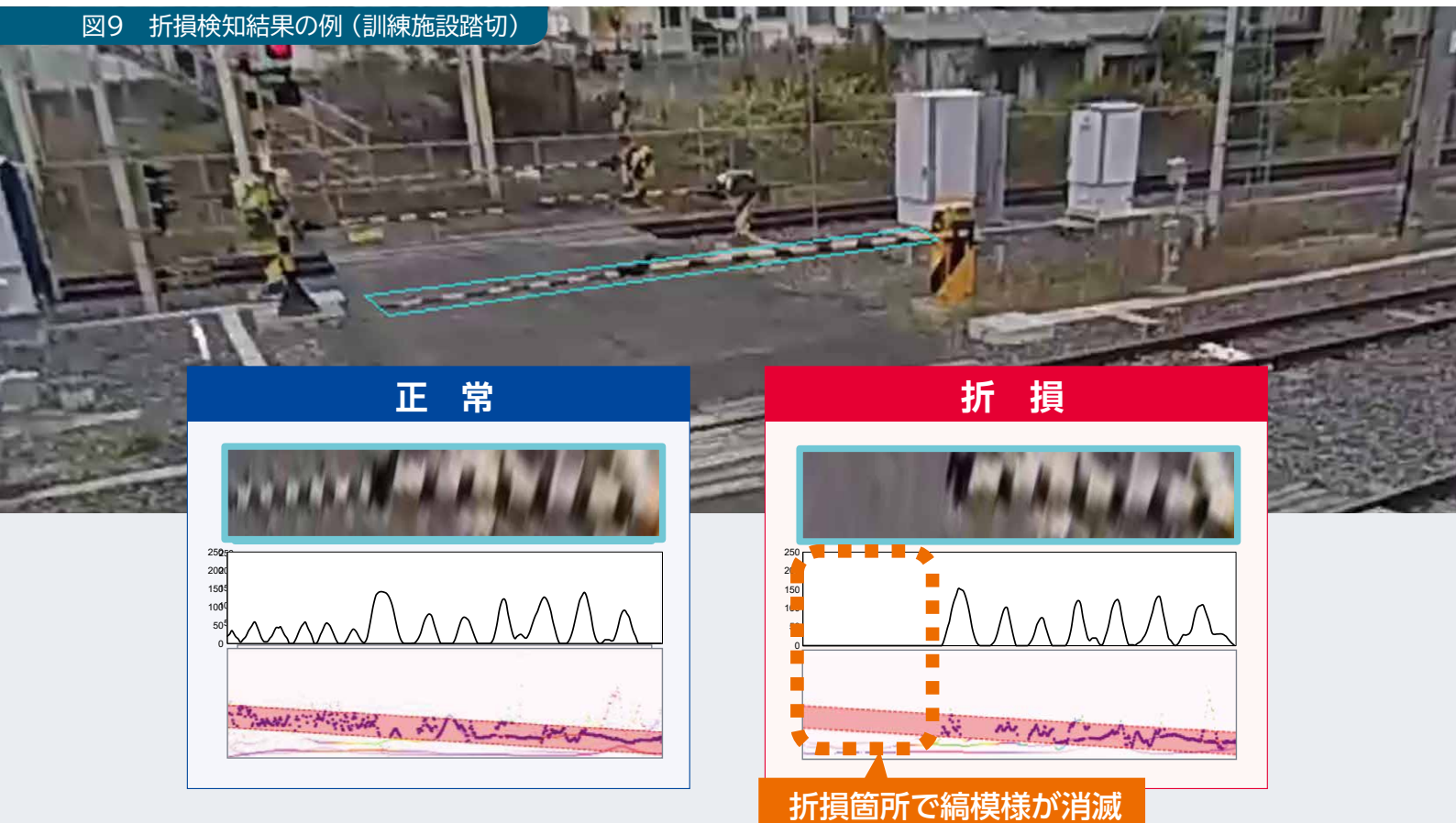


図8 シャ断かんの屈折状態を再現した様子

設備を用いた評価試験を実施しました。試験環境において、図7に示すように2台のカメラで2つのシャ断かんに対して撮影を実施しました。10時台～17時台まで、約1時間おきに、C-1がない状態、C-2がない状態、すべてのシャ断かんがない状態、C-1が15°、30°、45°、60°屈折している状態を繰り返し撮影しました。屈

折している状態については、図8に示すように、3Dプリンターで作成した折損模擬アダプターを用いて実際の折損状態に近い状況を再現しました。折損検知結果の例を図9に示します。鉄道総研所内の環境と異なり、検知エリアの画像内にはバラストの陰影などさまざまなノイズ源がありますが、正しくシャ断かんの縞模様を抽

図9 折損検知結果の例（訓練施設踏切）





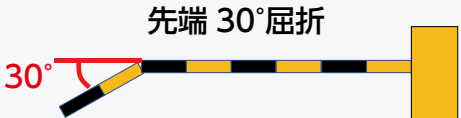
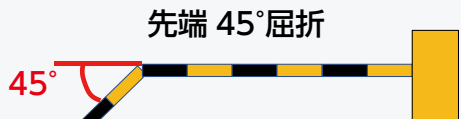
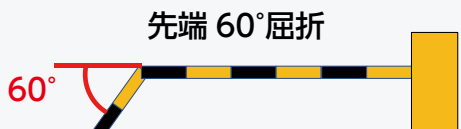


出できていることがわかります。折損部位別に、しゃ断かんの折損を正しく検知できた割合を表2に示します。表より、平均して90%以上は折損状態を正しく検知ができていたことがわかりました。

おわりに

踏切に設置されている監視カメラの画像を活用したしゃ断かん折損検知手法について、手法の概要と、性能評価の結果を紹介しました。近年、踏切監視用に用いられている監視カメラは、クラウドを經由して遠隔で画像をダウンロードできる方式のものが普及しています。したがって、保守区などのパソコンに処理ソフトをインストールすることで、本手法による遠隔での検知を容易に実現できることが期待されます。今後は、手法の実用化をめざして、折損の見逃しが発生しないようなカメラの設置位置・画角の検討など、さらなる精度向上に向けて取り組みます。 **RRR**

表2 折損を正しく検知できた割合（折損部位別）

折損状態	検知率 [%]
先端欠損 	96.6
先端～中間欠損 	97.5
全欠損 	98.0
先端 15°屈折 	91.1
先端 30°屈折 	99.1
先端 45°屈折 	96.8
先端 60°屈折 	97.3

文献

- 1) 国土交通省鉄道局：鉄軌道輸送の安全に関する情報（令和3年度），<https://www.mlit.go.jp/common/001519465.pdf>（入手日：2022年12月9日）
- 2) 影山 稜，長峯望，高崎 建，長坂 雄一，根橋 壮：画像解析によるしゃ断かん折損検知手法の開発，鉄道と電気技術，Vol.33，No.10，pp.1-5，2022
- 3) 杉本純至，市倉庸宏：踏切遮断かん折損障害に関する研究開発，JR EAST Technical Review，No.17，pp.49-53，2007
- 4) 尾崎尚也：踏切遮断機の動作電流による遮断桿折損の検知手法について，鉄道と電気技術，Vol.20，No.12，pp.36-39，2009
- 5) 国土交通省鉄道局：解説 鉄道に関する技術基準（電気編）第五版，日本鉄道電気技術協会，2022