

踏切監視カメラの画像を用いた遮断かん折損検知手法

影山 椋* 長峯 望*

Crossing Rod Breakage Detection Method Using Surveillance Camera Images

Ryo KAGEYAMA Nozomi NAGAMINE

For early and automatic detection of crossing rod breakage caused by vehicles forcibly entering in level crossing, we developed a method for detecting crossing rod breakage using surveillance camera images. The proposed method determines the presence or absence of stripes peculiar to level crossing by extracting the color components from images and identifying the spatial frequency of the waveforms converted from the extracted color components. This paper describes the details of the proposed method and the results of performance evaluation tests.

キーワード：踏切遮断かん折損，監視カメラ，画像処理，Hilbert-Huang 変換

1. はじめに

国内における踏切の約 90% を占める¹⁾ 第一種踏切では，列車の接近・通過時に遮断かんが降下して道路通行者の進入防止を図っている。しかし自動車などの無理な進出入に起因して，遮断かんが折損することがある。この際，遮断かんの交換作業が行われる。また，これが完了するまでの間，列車の徐行や監視要員の配置などの措置がとられることもある。そのため，遮断かんの折損をできるだけ早期に検知できることが望ましい。

このような背景を踏まえ，これまでにも遮断かんの折損を自動的かつ早期に検知する手法の開発が行われた事例がある。例えば，遮断かんの根本に取り付けたセンサから発した超音波の反射の有無や²⁾，遮断機に取り付けたセンサで計測した動作電流値の正常状態からの変化³⁾で検知を行う手法が提案されている。これらの方法ではいずれも遮断機あるいは遮断かん 1 本に少なくとも 1 個のセンサを取りつける必要があるため，設置および取替・保守にコストを要する。そこで我々は，近年複数の鉄道事業者において設置が進んでいる踏切監視カメラを活用し，遮断かんの折損を検知する手法を開発している⁴⁾。提案手法は，図 1 に示すように，既設の踏切監視カメラの画像を，外部のクラウドやデータサーバー等を通じて，指令所に転送したのに対して適用することを想定しており，追加施工を行わずに実現できる。本稿では，提案手法の概要と，性能評価試験の結果について報告する。

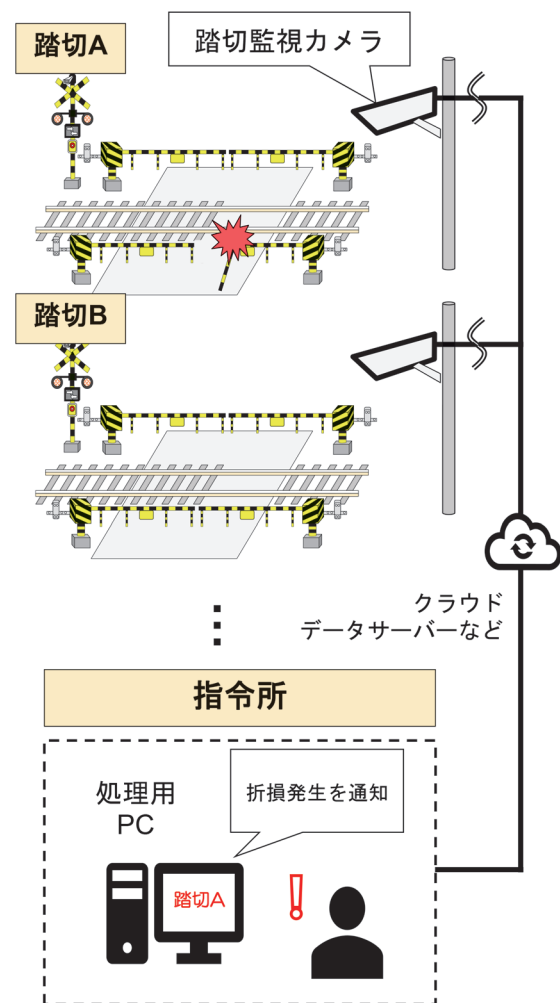


図 1 踏切監視カメラの画像を用いた遮断かん折損検知のためのシステム構成イメージ

* 情報通信技術研究部 画像解析研究室

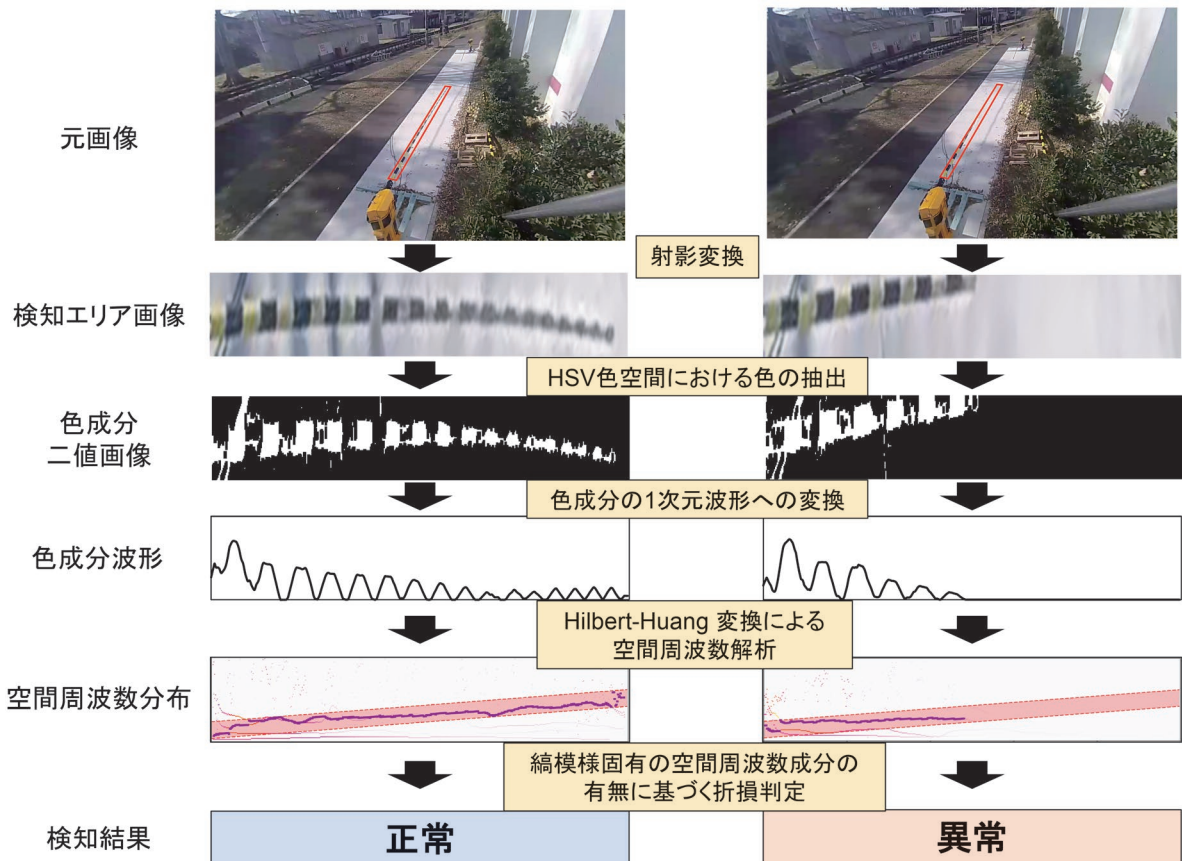


図2 監視カメラの画像を用いた遮断かん折損検知アルゴリズム

2. 画像処理と Hilbert-Huang 変換による踏切遮断かん折損検知手法

2.1 手法の概要

提案手法における折損検知処理の流れを図2に示す。最初に、踏切監視カメラの画像全体から、遮断かん周辺の検知エリアを指定して切り出し、真上から俯瞰した画像に変換する。この画像から、遮断かんの縞模様特有の色成分を抽出し、さらに画像における色成分の強さを1次元波形に変換する。最後に変換した1次元波形に対して空間周波数解析を施し、その結果から折損を判定する。各手法の詳細は次項で述べる。

2.1.1 検知エリアの設定

踏切監視カメラは、踏切道内の状態を監視する目的で設置されるため、一般的には踏切道全体を見渡す画角で設置されている。この監視カメラの画像全体から遮断かんの異常のみをピンポイントで検知することを目的として、提案手法では、画像中における遮断かんの周りの座標4点を事前に検知エリアとして指定し、検知エリア内の画像のみを以降の処理の対象とする。4点がなす領域は監視カメラ画像中の遮断かんの形状に沿って、カメラ手前から奥に向けて細くなるため、遮断かんの太さが可能な限り均等になるよう、真上からの視点の画像に変換

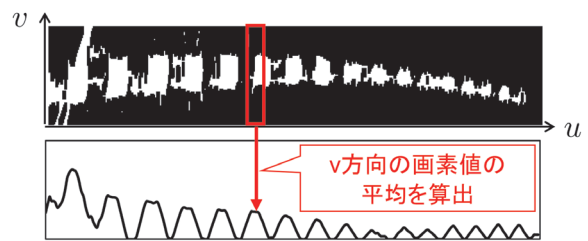


図3 色の二値画像を波形に変換する処理のイメージ

(射影変換)を行う。

2.1.2 色成分の抽出と1次元波形への変換

提案手法では、遮断かんが黄色と黒色で交互に塗装されていることに着目し、射影変換後の遮断かん画像から黄色あるいは黒色成分を抽出する。黄色成分、黒色成分のどちらを抽出対象とするかは、遮断かん画像の背景色等に応じて選択するものとする。色成分の抽出にあたり各画素における色をRGB色空間からHSV色空間に変換する。HSV色空間では、色を色相H (Hue)、彩度S (Saturation)、明度V (Value)の3つの尺度で表現する。Hは色合いを $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ の角度で定義したもので、Sは鮮やかさ、Vは明るさを $0\sim 255$ の値で定義したものである。RGB色空間と比較して人間の直観に近い表現であり、また照明条件の変化に拠らず同じ色合いは特定のHの領域に分

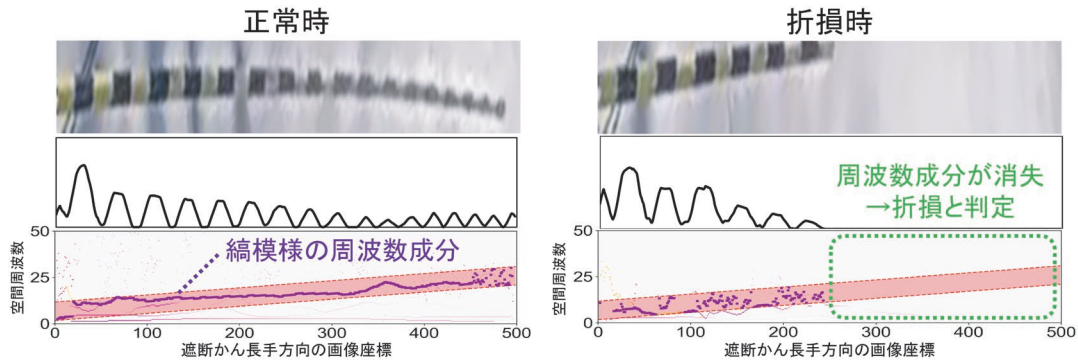


図4 正常状態、折損状態における検知エリア画像・色成分波形・Hilbert スペクトラムの比較

布するため、特定色成分の抽出に適した表現方法である。この H, S, V に対して、黄色または黒色と判断するための範囲を定め、その範囲に収まる画素値を 255、それ以外を 0 とする二値化処理を施す。次に図 3 のように、色成分の二値画像を波形に変換する。二値画像では、遮断かんの黄色または黒色で塗装された箇所周期的に画素値 255 の領域が表れる (図 3 上)。この周期性を遮断かんの折損判定に利用するため、検知エリア画像の、遮断かんの長手方向の画像座標軸を、軸と垂直な方向の画像座標軸を軸方向の画素値の平均を算出し波形 (色成分波形) に変換する (図 3 下)。

2.1.3 Hilbert-Huang 変換による縞模様の特定

遮断かんが正常ならば、色成分波形は周期的にピークを持つ。したがって色成分波形に対して空間周波数を求め、特定の周波数帯に強い成分が表れるか否かを折損検知の基準とする。周波数解析の方法として、工学分野で多くの適用事例のある Hilbert-Huang 変換 (Hilbert-Huang Transform : HHT)⁵⁾ を適用した。HHT は Fourier 変換などと比べて振幅や周波数が時間や空間で変化する非定常性の高い波形に対する周波数解析に適した手法である。HHT では最初に経験的モード分解 (Empirical Mode Decomposition : EMD) と呼ばれるアルゴリズムにより、元の波形を複数の固有モード関数 (Intrinsic Mode Function : IMF) に分解する。遮断かんの長手方向の画像座標軸を u 軸、 i 番目の IMF を $x_i(u)$ ($i=1,2,\dots,N$)、残差を r とすると、色成分波形 $w(u)$ は式 (1) のように IMF と残差の和で表される。IMF は EMD アルゴリズムによって残差 r が単調増加 (単調減少) する波形になるまで繰り返し算出されるが、IMF の数 N は、この繰り返しの回数に相当する。

$$w(u) = \sum_{i=1}^N x_i(u) + r \quad (1)$$

式 (1) の右辺の $x_i(u)$ は以下のように振幅 A_i ・位相 θ_i が u によって変化する単一の三角関数で表される。

$$x_i(u) = A_i(u) \cos(\theta_i(u)) \quad (2)$$

式 (2) に Hilbert 変換を施し、以下のように空間周波数 $f(u)$ を求める。

$$f(u) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(u)}{du} \quad (3)$$

式 (3) が HHT の出力であり、縦軸を空間周波数、横軸をとる周波数分布 (Hilbert スペクトラム) が得られる。正常な遮断かんおよび折損状態における遮断かんの画像からの色成分波形に対して求めた Hilbert スペクトラムを図 4 に示す。遮断かんの全ての部位が検知エリアの画像に正しく存在する場合、空間全体に色成分波形のピークが周期的に現れ、Hilbert スペクトラムの特定の空間周波数帯 (以下、正常周波数帯、図中赤色領域) において一定以上の強さの空間周波数成分 (図中紫色プロット) が連続して確認できる。一方、折損時は折損部位を境に色成分波形が消失しているが、それに対応して Hilbert スペクトラムの正常周波数帯内で強い空間周波数成分が見られなくなっていることが分かる。このことを利用して最終的な折損判定を行う。具体的には、一定の強さ以上の空間周波数成分が、Hilbert スペクトラムの正常周波数帯内で連続して途切れている長さを求め、その値が、閾値 (画像中の、隣接する縞模様間の長さ) を上回った場合に折損と判定する。

3. 提案手法の性能評価試験

提案手法の性能評価試験を鉄道総研所内および、鉄道事業者が保有する訓練施設にて実施した。本章では各試験の概要および結果について示す。

3.1 鉄道総研所内における性能評価試験

3.1.1 試験概要

鉄道総研所内に、試験用の模擬的な踏切環境 (以下、模擬踏切) を構築し、評価試験を実施した。模擬踏切の

構成を図5に示す。模擬踏切は2組の踏切遮断機、監視カメラ、踏切照明灯および器具箱による構成とした。遮断機の上昇下降は、器具箱内の制御器によって自動的かつ連続的に実施することができる。また、遮断機設置エリアには、遮断機を地面に固定するためのボルト穴を一定の間隔で空けることにより、遮断機の位置を自由に変更することが可能となっている。監視カメラおよび踏切照明灯は、踏切遮断機の脇に建植したポールで、地面から高さ約3mの位置に設置した。監視カメラの外観を図6、主な仕様を表1に示す。監視カメラは首都圏や関西圏の鉄道事業者で導入されているクラウド型映像監視サービス「スマートユニサイト」⁶⁾で使用されているものを用いた。踏切照明灯は、複数の鉄道事業者で採用されている照度基準（見通し距離400mかつ交通量500台/1h以上の踏切で30lx以上）を満たすものを用いた。また遮断かんは、図7に示すように、長さ1.5mの部品5つ（先端から順にC1、C2、C3、C4、C5）からなるものを用いた。

模擬踏切では、提案手法の基本性能を確認するために、対象とする折損状態を1つに限定し、評価試験を実施した。10:30～19:00にかけて、約1時間ごとに正常状態と、中間部分（C1～C3）まで欠損した状態を交互に再現しながら、連続的に撮影を行った。遮断かんは基本的に降下しているときに折損すると考えられるため、遮断かんは撮影中、常に降下した状態とした。なお、日没の約30分前に相当する16:17に踏切照明灯を点灯した。

3.1.2 試験結果

監視カメラからの映像から10秒おきに1フレーム分の画像を取得し、提案手法による検知処理を施した。全フレーム分の処理結果を集計し、事前にフレームごとに付与した実際の遮断かんの状態に関する情報（正解）と照合することによって、検知性能の評価を行った。折損状態の全ての画像に対して、正解値と同様正しく折損状態を検知できたフレーム数の割合を検知率と定義した。昼間（11時台）および日没後（18時台）の折損検知結果の例を図8に示す。図に示す通り、時間が変わって画像中の背景の色合いが変化しても、折損に伴う検知エリア内での縞模様の消失を正しく捉えられていることが確認できた。また時間帯ごと（10時台～12時台、13時台～15時台、16時台～18時台）および試験実施時間全体の検知率を表2に示す。いずれの時間帯も検知率は100%であり、本試験の環境下では、中間部分まで欠損した状態に対して時間帯に拠らず、確実に検知できることが分かった。

3.2 鉄道事業者の訓練施設における性能評価試験

3.2.1 試験概要

前節で述べた試験と比較して、より実際の踏切に近い環境での提案手法の有効性について検証するため、鉄道

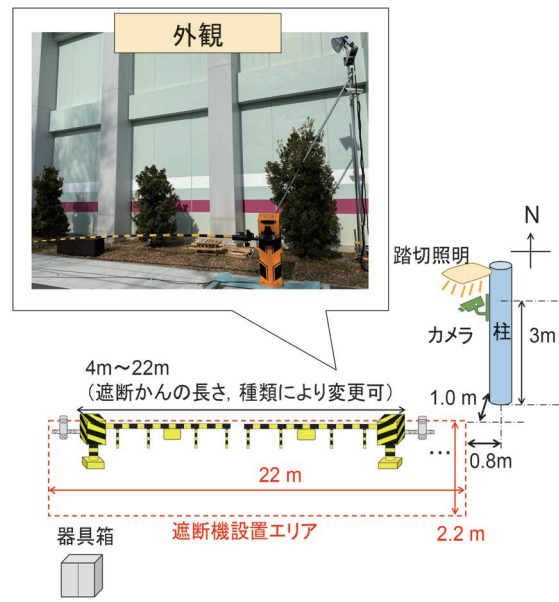


図5 模擬踏切の構成



図6 監視カメラの外観

表1 監視カメラの主な仕様

解像度	水平 1,280px 垂直 720px
画角	水平 131° 垂直 70°
フレームレート	5 fps

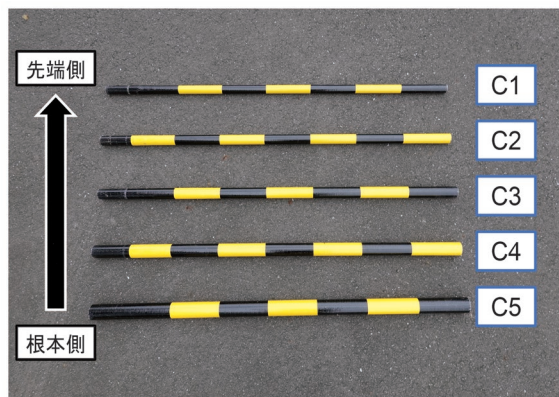
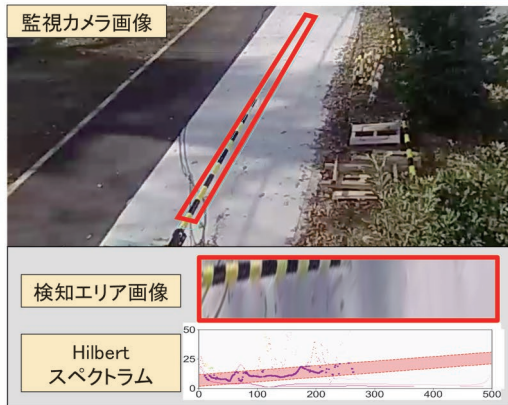


図7 撮影対象の遮断かん



(a) 昼間 (11 時台)



(b) 日没後 (18 時台)

図8 昼間および日没後の監視カメラ画像と折損検知結果

表2 時間帯ごとの折損状態の検知率

時間	検知率[%]
10:30~12:59	100
13:00~15:59	100
16:00~18:59	100

事業者が保有する訓練施設内にある3箇所の踏切で性能評価を実施した。試験条件(天候, 撮影時間)を表3に示す。試験は, 天候にバリエーションを持たせるため各踏切で2日間(1日あたり5~6時間)にわたり実施した。なお, 撮影には異なる位置に異なる向きで設置した2台のカメラを用いた。

試験時には, 図9に示すように電化柱を模擬したアルミフレームを踏切の近傍に仮設し, 高さ約3mの位置に, 3.1節の試験で用いたものと同じカメラを取りつけた。折損状態については, 以下の状態を約5分おきに繰り返し再現し, 撮影を実施した。

- ① C1 欠損: 先端1部分が欠損した状態
- ② C2 欠損: 先端から2部分が欠損した状態
- ③ C3 欠損: 先端から3部分が欠損した状態
- ④ 全欠損: 全ての部分が無い状態

- ⑤ 屈折 15°: 先端1部分が15°折れ曲がった状態
- ⑥ 屈折 30°: 先端1部分が30°折れ曲がった状態
- ⑦ 屈折 45°: 先端1部分が45°折れ曲がった状態
- ⑧ 屈折 60°: 先端1部分が60°折れ曲がった状態

なお, 屈折状態については図10に示す折損模擬アダプタをC1とC2の間に挿入することで再現した。

3.2.2 試験結果

試験時における検知結果の例を図11に示す。訓練施設内の踏切環境において, 実際の状況に近い屈折した折損状態に対しても, 図8と同様にHilbertスペクトラム上で縞模様の消失が確認された。抽出する色成分の閾値や正常周波数帯の幅などいくつかのパラメータは踏切環境が変わるごとに調整の上処理を施してはいるが, 提案手法が周辺環境や天候が変わっても適用可能であることを示す結果となった。

また, 踏切3箇所では撮影された全ての折損状態の画像

表3 試験時の条件

		天候	撮影時間
踏切1	1日目	晴	14:00-18:15
	2日目	晴	11:00-15:30
踏切2	1日目	雨	12:00-17:50
	2日目	晴	10:40-16:10
踏切3	1日目	曇	11:30-17:00
	2日目	晴	10:30-15:30



図9 撮影時の様子

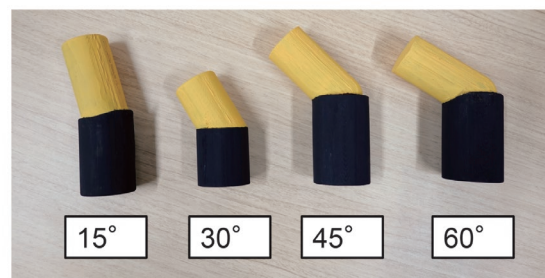
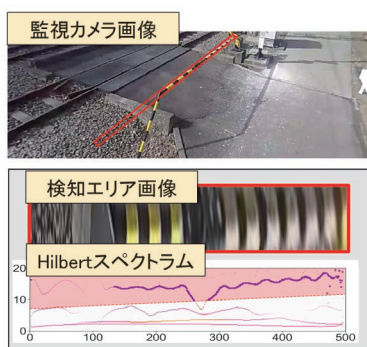
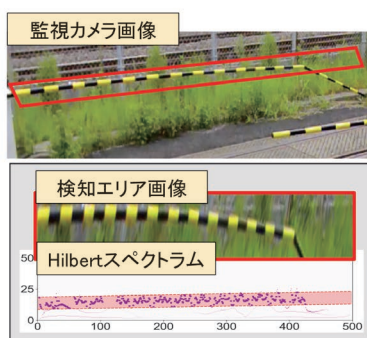


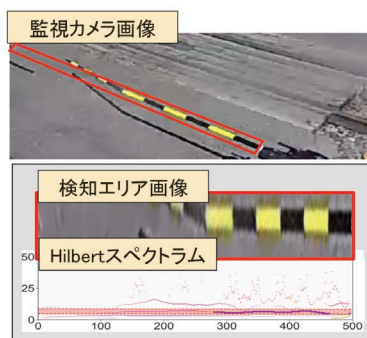
図10 折損模擬アダプタ



(a) 踏切 1



(b) 踏切 2



(c) 踏切 3

図 11 訓練施設内の踏切遮断かんに対する検知結果の例

表 4 折損状態ごとの検知率（欠損）

状態	検知率[%]
C1 欠損	97.2
C2 欠損	98.4
C3 欠損	100
全欠損	98.0

表 5 折損状態ごとの検知率（屈折）

状態	検知率[%]
屈折 15°	90.3
屈折 30°	97.3
屈折 45°	97.5
屈折 60°	97.2

について、折損状態ごとに検知率を算出した結果を表 4、表 5 に示す。表より、全ての折損状態で検知率が 90% 以上となるのが分かった。

4. まとめ

踏切遮断かん折損の早期かつ自動的な検知手法として、既設の踏切監視カメラで取得された画像から遮断かんの縞模様の有無を特定することで折損を判定する手法を開発した。鉄道総研所内の試験環境における基礎的な性能評価の結果、中間部分での折損は時間帯に拠らず正しく検知できることが分かった。また鉄道事業者の訓練施設内の踏切における性能評価の結果、踏切の場所や季節、天候などが変わった場合でも折損状態を 90% 以上の検知率で正しく検知できることが分かった。今後は提案手法の実用化に向けて、検知に最適なカメラの画角・設置位置の検討など、さらなる検知精度の向上に取り組む。

謝 辞

本研究における撮影試験の実施にあたり、東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター 先端鉄道システム開発センターには多大なご協力をいただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 国土交通省鉄道局 鉄軌道輸送の安全に関わる情報（令和 3 年度）：<https://www.mlit.go.jp/common/001519465.pdf>（参照日：2022 年 12 月 9 日）
- 2) 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
- 3) 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, 2007
- 4) 影山 椋，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
- 5) N. Eh. Huang：“Hilbert-Huang transform and its applications”，World Scientific, Vol.16, 2014.
- 6) 山田喜裕：クラウド型映像監視サービス「スマートユニサイト」，Unisys Technology review Extra Edition, No.135, pp.19, 2018