

軌道検測に適した2次元レーザ変位センサの性能に関する試験と評価

鉄道総合技術研究所 正会員 ○三島 健吾 坪川 洋友 須藤 雅人 石川 智行
日立ハイテクファインシステムズ 正会員 永井 航 姚 磊

1. はじめに

軌道検測車では、車体床下や台車に搭載された軌道検測装置とレールとの相対変位をレーザ変位センサにより測定し、軌道変位の算出に使用している。一般に、軌道検測に使用されているレーザ変位センサには、「光式レール変位検出器¹⁾」、「2軸レール変位検出装置²⁾」等があり、また近年様々な分野において活用されている「2次元レーザ変位センサ（以下、2次元センサという）」も使用されつつある。しかし、レーザを使用した軌道検測においては、外乱（降雨・太陽光・積雪等）の影響による「光飛び」という現象が発生しており³⁾、安定した軌道検測が行えないという課題がある。

そこで、軌道検測時における様々な環境を想定し、2次元センサの性能評価試験を行った。本稿では、本試験の結果について報告する。

2. 2次元センサの概要

2次元センサは、レーザを対象物に投射し、光切断面をカメラで撮影することで形状を得ることができる（図1）。2次元センサを軌道検測に利用する場合は、撮影されたレール断面形状の画像から、レール変位の測定位置（レール頭頂面・軌間線の位置）を画像処理で求める。

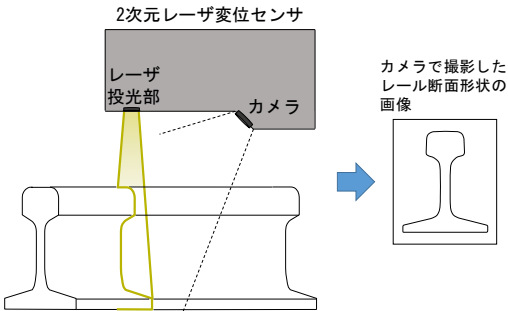


図1 2次元センサの構成

3. 性能評価試験

本研究では、表1に示すレーザクラスや波長、強度の異なる4台の2次元センサを用いて試験を行った。センサA及びBは試験のために作成したものであり、センサC及びDは市販品のものである。また、カメラのパラメータであるカメラ感度（レンズから入った光をカメラ内で増幅する倍率）やスレッシュホールド（画像データとして認識する輝度値の閾値）、露光時間（カメラのシャッターを開放して光を取り込む時間）を変更して試験を行った。センサC及びDについては、市販品であることからカメラ感度やスレッシュホールドの変更を行えないため、露光時間のみ変更して試験を行った。

試験は表2に示す試験条件を設定して実施した。ここで、各センサにおける評価方法であるが、各センサの上下・左右変位の測定値は、外乱の影響がなければ一定値となるように調整されているため、測定値の標準偏差と、取得したレール断面形状の画像を確認することにより、カメラパラメータ等が測定値へ与える影響を分析した。

表1 試験に用いた2次元センサの仕様

表2 試験条件

センサ	レーザクラス	レーザ波長	レーザ強度	カメラパラメータ	試験条件	
					降雨	時雨量 7, 20, 40, 80, 120, 300mm/h
センサA	3R	405nm	4.3mW	カメラ感度, スレッシュホールド	太陽光	太陽高度26~31°
センサB	3B	405nm	7.1mW	カメラ感度, スレッシュホールド	積雪	レール踏面までの積雪深さ
センサC	2	405nm	4.8mW	露光時間	窓汚れ	水滴や鉄粉を使用
センサD	3B	660nm	100mW	露光時間		

4. 試験結果

(1) 降雨試験

降雨による影響を調べるために、鉄道総研の大型降雨実験設備にて降雨試験を行った。試験結果の一部（センサA及びB）を表3に示す。降雨条件では、センサA・Bの結果ともにカメラ感度による大きな差はみられ
キーワード：2次元レーザ変位センサ、軌道検測、光飛び

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 （公財）鉄道総合技術研究所 軌道管理 TEL 042-573-7277

なかったが、時雨量が多くなるにつれて測定値の標準偏差が大きくなる傾向にあった。特に時雨量 80mm/h 以上の条件からはセンサ B よりも A の標準偏差の方が大きい。これは、センサ強度が強いセンサ B の方が降雨条件下においてもレール断面形状を鮮明に捉えることができたためと考えられる。時雨量 80mm/h 時のレール断面形状を捉えた画像を図 2 に示す。両センサとも、レール断面形状は概ね明確に捉えられていることが分かる。また、センサ C 及び D においても、レール断面形状は捉えることができた。

(2) 太陽光

太陽光による影響を調べるために、晴天時に屋外で試験を行った。カメラ感度を強めた際のセンサ A 及び B で得られたレール断面形状を図 3 に示す。A はレール断面形状を明確に捉えられている。B はレーザ照射範囲内に多くのノイズが存在し、レール断面形状を捉えられていない。しかし、カメラ感度を調整することにより、B でもレール断面形状を明確に捉えられた。C も同様に露光時間を調整することによりレール断面形状を明確に捉えられたが、D は露光時間を調整してもレール断面形状をまったく捉えられなかった。

(3) 積雪

積雪による影響を調べるために、人工雪を用いて試験を行った。列車走行時の状況を再現するために、図 4 に示すようにフランジウェー幅約 20mm を確保して試験を行ったところ、積雪部分の形状がレールに近い場合、センサ A 及び B において積雪部分をレール断面と誤認することもあったが、すべてのセンサについてレール断面形状を明確に捉えられた (図 5)。

積雪条件下でのレーザ変位センサを用いた軌道検測においては、雪によるレーザの乱反射が懸念されていたが、本試験に用いた各センサではレーザの乱反射が及ぼす影響は確認できなかった。

(4) 窓汚れ

カメラ撮影部やレーザ投光部の汚れによる影響を調べるために、それぞれの箇所に水滴や鉄粉を用いて窓汚れを再現し、試験を行った。窓汚れについては、すべてのセンサについてレール断面形状を明確に捉えられた。しかし、汚れの付着状態の再現性や定量性に改善の余地があるため、さらなる検証が必要である。

5. まとめ

本研究では、様々な環境を想定して 2 次元センサの性能評価試験を行い、各種環境やレーザ波長等が測定値に及ぼす影響を評価した。その結果、種々の環境においてカメラパラメータや画像処理方法を調整・工夫することで、安定的な測定が可能であるという知見を得た。

参考文献

1) 宮本俊光, 渡辺惺年 : 線路, 山海堂, 1980.
2) 矢澤英治, 竹下邦夫, 高木喜内: 軌道検測用 2 軸レール変位計の開発, 土木学会第 55 回年次学術講演会, 2000.
3) 保線工学編集委員会 : 保線工学<下>, 鉄道現業社, 2018.

表 3 降雨試験結果 (測定値の標準偏差)

時雨量	データ数	センサA		センサB	
		左右変位	上下変位	左右変位	上下変位
0mm/h	103	0.00mm	0.00mm	0.00mm	0.00mm
7	262	0.16	0.01	0.03	0.04
20	185	0.05	0.02	0.13	0.05
40	138	0.39	0.01	0.05	0.03
80	106	4.09	13.56	1.18	2.44
120	127	20.47	12.68	0.08	0.02
300	314	18.27	22.51	0.51	0.36

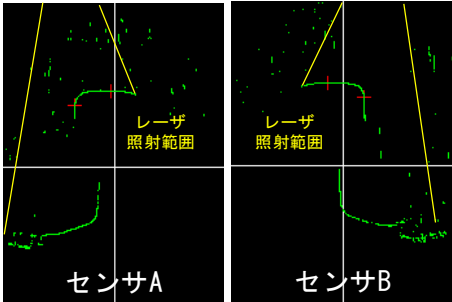


図 2 時雨量 80mm/h のレール断面形状

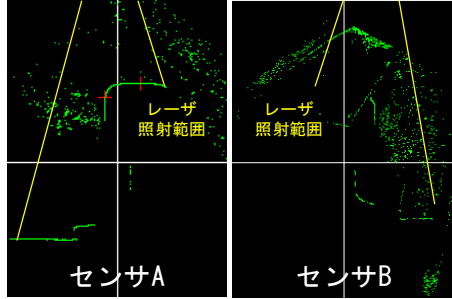


図 3 太陽光試験時のレール断面形状



図 4 積雪試験の様子

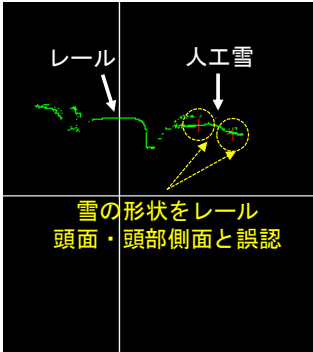


図 5 積雪試験時のレール断面形状