

2503 画像処理技術を活用したレール断面測定手法の検討

[土] ○安部 聡 [土] 千代 誠 (西日本旅客鉄道株式会社)

A study on measuring method of rail profile utilized an image processing technology

○Satoshi Abe, Makoto Sendai, (West Japan Railway Company)

Nowadays track inspection method is classified by using the device such as track geometry car, and rail flow detector car and by visual inspection on the spot. It is desired that further adoption of equipment utilized the general purpose technology which has progressed greatly, such as image processing technology and sensor technology.

This paper studied about equipment-ization of the wear inspection which utilized the light section method which is one of image processing technology.

Keywords : light section method , wear inspection, datum point, smoothing

1. はじめに

現行の線路検査は、軌道検測車やレール探傷車のように装置化されているものと、徒歩により目視・計器で行っているものがある。一方で昨今、画像処理技術や測距センサ等の汎用技術も大きく進歩しており、徒歩により実施している線路検査を対象に、汎用技術を用いた装置化の検討を進めている鉄道事業者もある。当社でも、効率的かつ高精度な線路検査の実現に向けて、汎用技術を活用した、車両搭載型の装置開発に取り組んでいる。

本稿では、画像処理技術を用いた装置化を検討している検査項目のうち、レール摩耗検査等に活用可能な、レール断面測定手法についての検討結果を記載する。

2. 現行のレール摩耗検査の問題点と要求仕様

当社での新幹線における、レール摩耗検査（以下、「摩耗検査」という）は、2回/年以上実施している。現行実施している摩耗検査は、専用の摩耗測定定規を用いて実施している。この検査手法は、検測者により測定値がバラつく懸念や、測定に労力がかかるという課題がある。

一方、画像処理技術の一つである「光切断法」は、Fig.1に示すとおり、測定対象物にレーザースリット光を照射し、形成された光の帯をCCDカメラで撮影した画像データを

用いて、光の帯の位置関係から測定対象物の形状を測定する方法である。

光切断法を用いたレール断面測定は、過去に様々な検討がなされ、既に鉄道事業者において、保守用車等に搭載可能な装置を構成し実用に至っている²⁾。当社でも在来線にて実用化されているが、測定誤差が最大で約±2mmあり、実情として人手による計測を併用する必要があることから、測定精度向上が望まれている。また、保守用車等により、一般レールのみでなく分岐器内レールの測定も可能になれば、更なる利用範囲の拡大が実現できることになる。

以上の背景及び課題を踏まえ、開発する装置は、保守用車等に搭載可能な光切断法を用いた装置とし、装置の要求仕様は以下のとおりとした。

- ・測定精度の向上⇒誤差は±1mm以内とする。
- ・走行条件⇒最高速度は、一般区間は保守用車の最高速度である、70km/hとし、分岐器区間は10km/hとする。
- ・利用範囲の拡大⇒一般レール、分岐器内レールの断面測定が可能である。

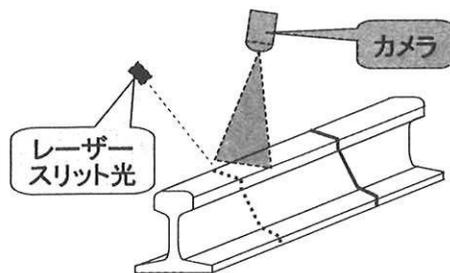


Fig.1 光切断法の測定原理

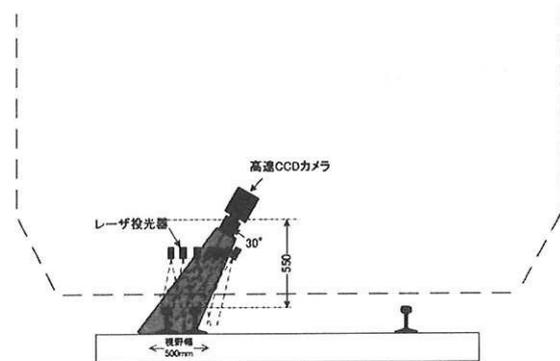


Fig.2 レール断面撮影装置の断面図

3. 装置の構成

今回試作した装置（以下、「レール断面撮影装置」という）の断面図をFig.2に示す。レール片側あたり高速CCDカメラ（以下、「CCDカメラ」という）1台とレーザースリット光4台で構成されたものである。基本的なレール断面撮影装置の仕様をTable.1に示す。要求仕様の一つである測定精度 $\pm 1\text{mm}$ が実現するために、垂直分解能が約 $1\text{mm}/\text{画素}$ となるよう設置位置を考慮している。

また、CCDカメラの設置角度については、Fig.3に示すように、分岐器のガード部でのフランジウェーブ幅を考慮して、 30° 傾けて設置している。

項目	仕様
水平分解能	約 $0.5\text{mm}/\text{画素}$
垂直分解能	約 $1.0\text{mm}/\text{画素}$
測定ピッチ	分岐器:約 1mm , 一般区間:約 5mm
視野幅	約 410mm
画素数	$1280(\text{H}) \times 1024(\text{V})$
走行速度	分岐器: 10km/h , 一般区間 70km/h

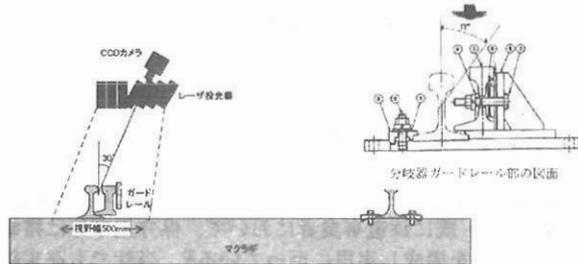


Fig.3 CCDカメラの設置位置の検討

4. 摩耗量算出方法

Fig.4に示すとおり、一般レールでは、レールのあご下付近を、トンダレールについては、トンダレールの頭部の加工部を基準点とし、レール断面撮影装置により得られたデータと接触式断面測定器（以下、「断面測定器」という）により測定された新品のレール断面とを比較してレール摩耗量を算出する。

なお、トンダレールの摩耗測定位置は、トンダレール先端を自動で認識し、定められた箇所（例えば、トンダレール幅 $10 \cdot 20\text{mm}$ の箇所）で断面測定を行う。

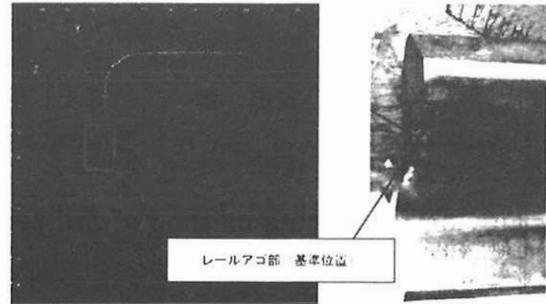
トンダレール先端の認識は、Fig.5に示すように、 1mm ピッチでの計測データを用いて、トンダレールが出現した位置をトンダレール先端と認識する。

5. 測定精度向上の検討

先述した摩耗量算出方法では、どの測点においても基準点を正確に検出することが重要である。しかし、車両運動の影響やレールの表面状態等により、基準点の検出位置にバラつきが生じ、算出される摩耗量の測定精度が悪化することが考えられる。

そこで、Fig.6に示すように、基準点の検出結果をレール長手方向に測定する断面の前後数点で平均値をとる、スムージング（平滑化）処理を施すことによる測定精度の向上を試行した。

スムージングの区間の点数を0,3,10,20点で行い、摩耗量の算出を行った。その結果の一部をFig.7に示す。当然ながら、点数が多い程、測定誤差が小さくなることが確認でき



(A) 一般レール



(B) トンダレール

Fig.4 摩耗量算出のための基準点

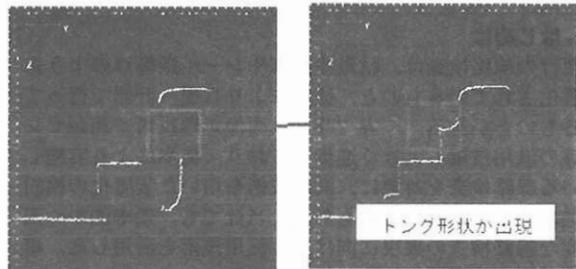


Fig.5 トンダレール先端の認識

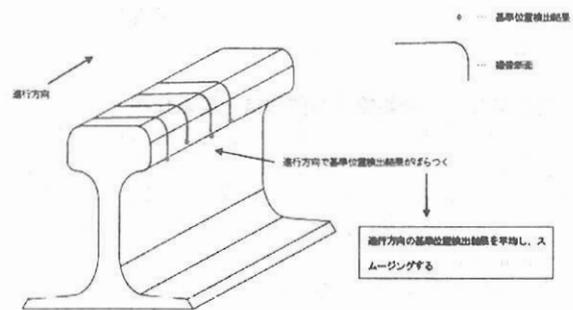


Fig.6 基準点のスムージング

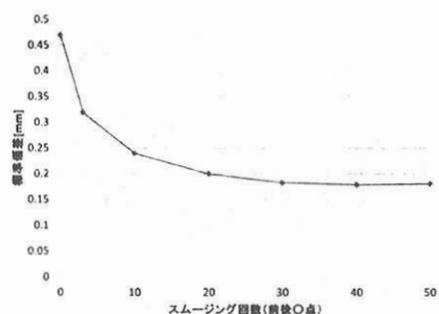
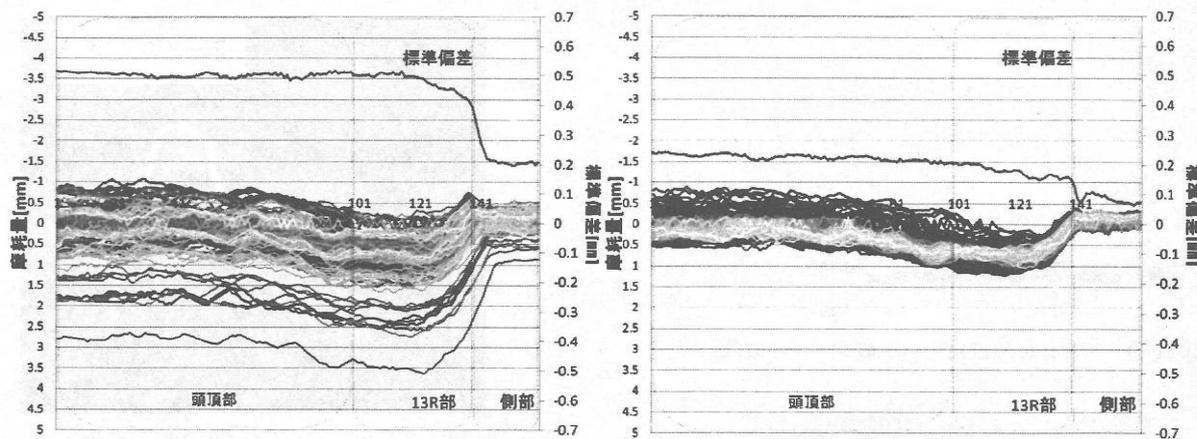


Fig.8 スムージング回数と摩耗量測定精度の関係



(A) 0点 (スムージングなし) (B) 20点のスムージング
Fig.7 スムージング回数別における摩耗量測定結果

る。なお、Fig.8にスムージングの点数と摩耗測定値の標準偏差 (N=250) の推移を示す。

摩耗量測定結果の標準偏差約0.2mmである、前後20点を採用することで、 3σ が1mm以下とすることができ、要求仕様を満足できるものと考えられる。一般レールでの測定ピッチは約5mmであり、200mm間のデータを、分岐器内レールでの測定ピッチは約1mmであり、40mm間のデータを用いることとなるが、実用上問題ないものと考えた。

6. 室内試験

室内試験において、基本的な測定精度の確認を行った。用いたレールは、長さ300mmの60kgレールと9#分岐器用トングレール(発生品)を用いた。試験状況をFig.8に示す。なお、次のような検証を行った。

- ・再現性の検証
 - ・摩耗量算出精度の検証
 - ・車両運動を考慮した、レーザー照射位置の変動による測定精度への影響確認
 - ・外乱(太陽光、降雨)による測定精度への影響確認
- ここでは誌面の都合上、再現性の検証結果を紹介する。

再現性の検証は、一般レール、トングレールともに10回の計測を行い、摩耗量算出の再現性について確認を行った。Table.2に、一般レールにおける摩耗量算出の再現性確認結果を示す。なお、Table.2のデータについては、5mmピッチで測定したデータを進行方向に前後20点のスムージング処理を施したデータであり、一般レールの両端の20点(100mm分)は適正なスムージング処理を行えないため、

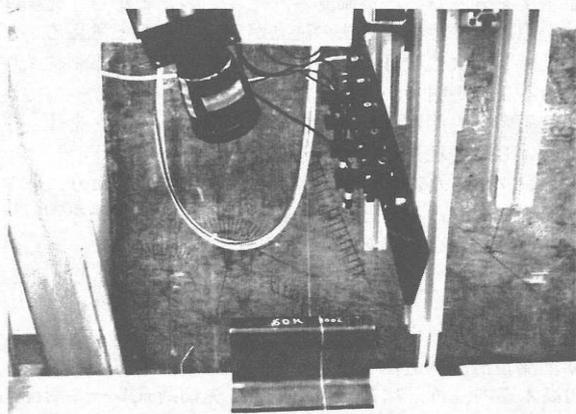


Fig.8 室内試験状況

Table.2 一般レール摩耗量測定結果

回数	頭部 (mm)		側部 (mm)	
	標準偏差	平均	標準偏差	平均
1	0.15	0.07	0.07	0.03
2	0.12	0.12	0.07	0.04
3	0.14	0.09	0.06	0.05
4	0.16	0.09	0.06	0.05
5	0.14	0.09	0.06	0.05
6	0.16	0.09	0.06	0.06
7	0.13	0.12	0.07	0.06
8	0.14	0.09	0.07	0.07
9	0.16	0.10	0.05	0.06
10	0.14	0.09	0.06	0.06
全体	0.14	0.10	0.06	0.05

※全体の標準偏差は各項目の標準偏差の平均評価対象から除外した。したがって、評価N数は一般レール中央部の20点(100mm分)となる。頭部、側部ともに摩耗量算出の再現性は、10回全てで標準偏差が0.2mm以下に収まっており、良好な結果であることを確認した。また、トングレールについても一般レールと同様、1mmピッチで測定したデータを進行方向に前後20点のスムージング処理を施したデータにより評価した結果、標準偏差が0.5mm以下に収まっていることを確認した。

7. 走行試験

室内試験において、再現性検証、摩耗量算出精度検証等の各種検証を実施した結果、いずれも概ね良好な結果が得られたため、走行試験を行い、最終的な測定精度の確認を行うこととした。

走行試験は、直線区間2箇所及び曲線区間(R=900, C=180)2箇所、及び3台の分岐器区間において実施した。

7.1 再現性の検証

今回の走行試験では、同一区間を4往復走行しているが、車両運動の影響を確認することを目的として、急制動の試験を3走行実施した。

直線区間における再現性の結果をFig.9に、曲線区間における再現性の結果をFig.10に示す。各測定箇所における、全走行の摩耗量算出結果が ± 0.5 mm内に収まっており、車両運動の影響を受けることなく、良好な結果が得られた。

次に、トングレールの再現性の結果をFig.11に示す。各測定箇所における、全走行の摩耗量算出結果が、一般レールと同様に ± 0.5 mm以内に収まっており、良好な結果が得られた。

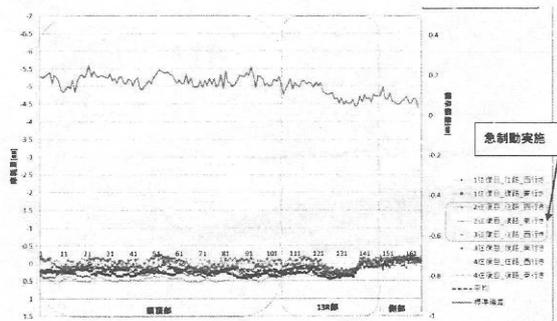


Fig.9 再現性の検証結果（一般レール：直線）

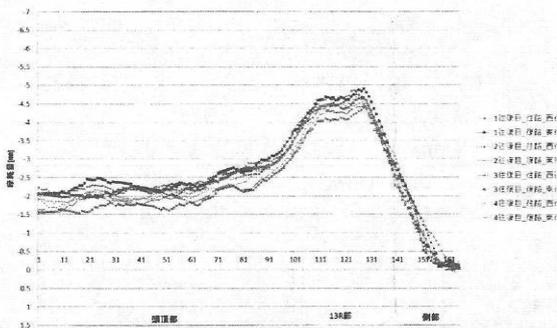


Fig.10 再現性の検証結果（一般レール：曲線）

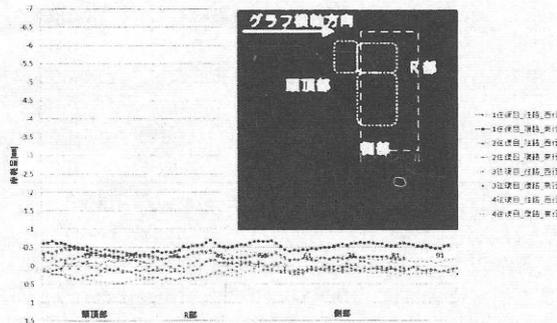


Fig.11 再現性の検証結果（トングレール）

7.2 算出精度の検証

断面測定器との断面形状を比較した結果をTable.3に示す. Table.3に示すデータは, レール断面撮影装置で測定した断面データと, 断面測定器で測定した断面データとの差を各断面において算出し, その差の標準偏差を求め, その測定位置毎に算出した標準偏差のそれぞれの平均値を示している. 結果, 一般レール, トングレールともに良好な結果が得られた.

しかし, Fig.12にトングレールの断面形状の一例を示すが, 一部データが欠けている箇所があった. これは, トングレールの表面状態によっては, レーザー光が鏡面反射し, その影響によるものと考えられる. 従って, 運用場面における, トングレールの摩耗状態の評価は, 線路方向1mm毎の経時変化を確認や, 予め1mm毎の新品のレール断面形状とを対比させ摩耗量を算出する等, 評価方法を工夫する必要があることが確認された.

Table.3 断面測定器との形状比較結果

測定部位	標準偏差 (mm)
一般レール	0.02 (N=10)
トングレール	0.04 (N=9)

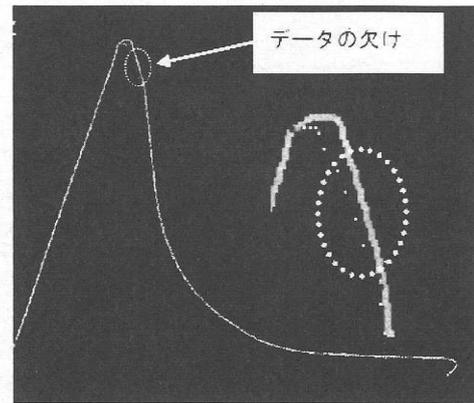


Fig.12 トングレールの断面形状

7.3 外乱による測定精度への影響確認

降雨時に測定を行った結果をFig.13に示す. なお, Fig.13中, 4往復目のデータが降雨時のデータである. 他の走行データと比較すると約1mmの誤差が生じていることが確認できる.

従って, 室内試験と同様の結果となり, 運用場面において, レール断面測定装置を用いる際, 水滴によるデータの乱れを仕分けする(評価データとして用いない)等の制約を受けることとなる.

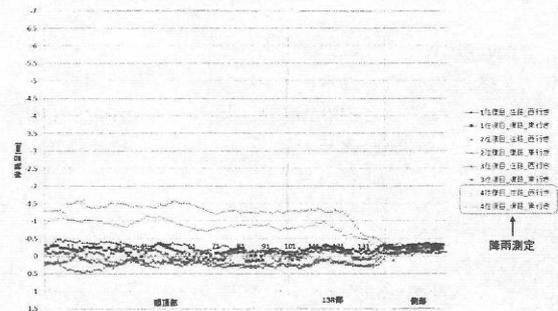


Fig.13 降雨の影響（一般レール）

8. まとめ

光切断法を用いた摩耗検査は, 既に実用化された装置が存在するものの, 測定精度に一部課題が存在した. その課題を解消すべく, スムージング処理を用いた測定精度の確認を, 室内試験及び走行試験により確認した. 一連の試験結果を踏まえると, 高い再現性と要求仕様を満足できる測定精度を有することが確認された. このことから, 光切断法を用いた摩耗検査手法の確立が実現できたと考える.

ただし, 次の項目については運用場面における制約条件となることが明らかとなった.

- ・降雨時での測定は, 水滴の影響を受けるデータを仕分けして摩耗量を評価する必要がある.
- ・トングレールにおいては, 表面状態の影響により, データが欠けることがある. 従って, 評価方法を別途検討する必要がある.

参考文献

- 1) 竹下邦夫, 高木喜内, 成田嘉衛: 光切断法によるレール断面測定法, 鉄道総研報告, pp47-54, 1993. 11
- 2) 高木喜内, 竹下邦夫, 佐藤正男: 光切断式レール断面測定装置の実用化, 鉄道総研報告, pp23-26, 1999.5