

新幹線締結装置状態監視装置の開発

○ [土] 下野 勇希 [土] 山口 義信 (JR 西日本)

Development of the Shinkansen rail fastening monitoring system

○Yuuki Shimono, Yoshinobu Yamaguchi, (West Japan Railway Company)

We are now developing "Shinkansen rail fastening monitoring system" to improve the quality control of track maintenance. It consists of line sensor camera and a laser floodlight. It can recognize which bolt is loose and which bolt is lost, that is not affected all kinds of rail fastening and a lateral motion of a high speed confirmation car.

In this paper, we describe the details of the efficiency test which we conducted.

キーワード：レール締結装置、ラインセンサカメラ、レーザー投光器、高速確認車

Key Words: rail fastening line sensor camera laser floodlight high speed confirmation car

1. 開発の目的

新幹線の保守作業後の更なる安全性向上と日常保守管理の品質向上を目指して新幹線確認車によりレール締結装置の緩み、脱落等を確認することを考えている。

新たに「締結装置状態監視装置（以下、装置）」を開発してきており、その概要を紹介する。

2. レール締結装置を検知するための条件整理

レール締結装置の緩みや脱落を検知するには、次の項目について、予め検討しておく必要がある。

- ・異種の締結装置が敷設されており、左右調整代を有していること（図-1、表-1）
- ・車両に左右変位があること

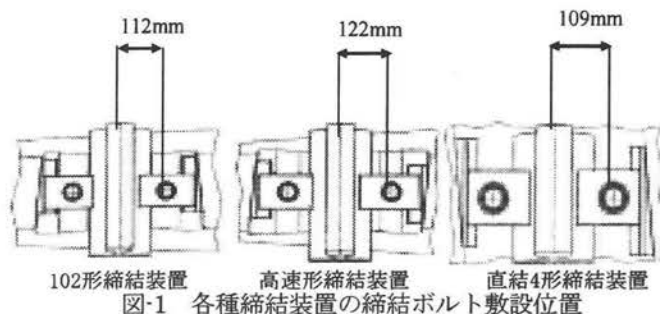


図-1 各種締結装置の締結ボルト敷設位置

まずレール締結装置の検知範囲としてはこれらの範囲内で締結ボルトが移動するということを考慮する必要がある。

次に、高速確認車走行時の車体左右変位量は、高速確認

表-1 各種締結装置の締結ボルト左右調整量

締結 種別	レール中心から締結ボルト中 心までの距離（基準値）	左右調整量
102 形	112mm	-7.7～5.7mm
高速形	122mm	-7.7～5.7mm
直結4形	109mm	±10.9mm

車の車体揺れの測定を実施し求めることとし、その結果以下の事項が判明した。

- ・車両数3台、走行距離42km（曲線を含む）に対する左右変位最大値は、+8mm、-7mm、平均±4mm、標準偏差 1.8mmであった。
- ・車両の左右変位に対する個体差はあるものの、変位の最大値は同程度であることが確認できた。
- ・直線、曲線の違いによる変位の差は見受けられない。

3. 装置の要求仕様

今回の装置の主な要求仕様は以下のとおりである。

- ・ボルト高さ測定精度は±1mm以内を目標とする
- ・レール締結装置を検知するためのサンプリング間隔は120km/h 走行で5mmを目標とする
- ・レール締結装置の左右変位及び測定車両の変位を前提に板ばね及びボルトの状態が測定可能なもの
- ・測定環境（降雨、太陽光、結露）の影響を受けないもの
- ・測定部の装置サイズは小型、軽量であり、高速確認車の床下に取付可能な構造であること

以上の要求仕様を満たし、実現可能性の高いもの、導入コスト等を勘案した結果、ラインセンサカメラとレーザー投光器を組み合わせた測定機構とすることとした。

4. 装置の測定原理

今回採用した、ラインセンサカメラとレーザー投光器の測定原理を図-2 に示す。

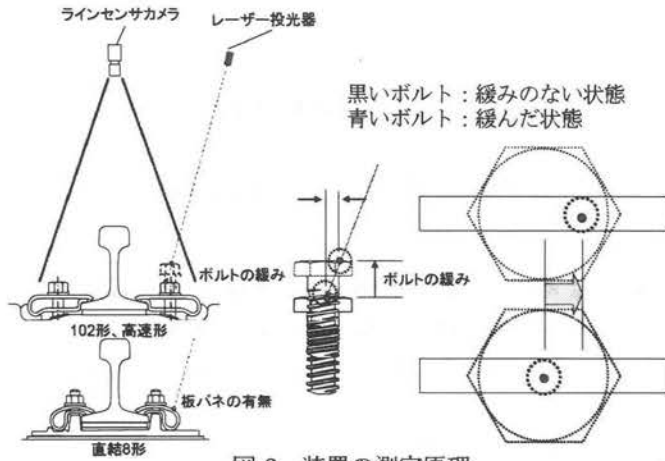


図-2 装置の測定原理

このラインセンサカメラとレーザー投光器の測定原理は、レール直角方向一列に複数個設置されたレーザー投光器からレーザー光を順番にレール頭部及び締結ボルト頭部に斜めに照射させ、ラインセンサカメラで撮影するもので、ボルトが緩むとレーザースポットにズレが生じ、その位置関係から三角測量の原理で測距する機構としている。

なお、レール締結装置の左右変位及び測定車両の変位を加味し、複数のレーザー投光器を採用している。

5. 室内要素試験

要求仕様を満足できる機構であることを確認するため、まず室内要素試験を実施した。試験目的、内容は表-2 による。

表-2 要素試験目的と内容

項目	目的	内容
1 センサーの動作確認	120km/h 程度の速度に対してデータ取得可否	実走行速度を模擬し、測定システムの動作確認及び検知状況を確認
2 緩み検知の適用可能性確認	緩み量及び左右変位量を模擬した状態でのデータ取得可否	実物の各種締結装置を用いて、緩みや変位の条件設定を行い、検知状況を確認
3 現地環境の適応性確認	対象物の表面状態が異なる条件でのデータ取得可否	現場敷設により表面状態の異なる各種締結装置を用いて、(色、水、光)の違いによる影響を確認

5.1 センサーの動作確認

高速確認車走行時に、走行方向での分解能 1mm に相当するサンプリング周期 (33kHz) において、120km/h で回転させたファンを計測し、計測されたデータの個数を確認した。

この結果から 120km/h 走行下においても走行方向での分解能 1mm でデータ取得が可能であることが確認できた。

表-3 要素試験内容と目的

サンプリング周期	計測時間	データ数
33kHz	10sec	330,000 個

5.2 緩み検知の適用可能性確認

締結ボルト緩み量を最大 10mm に、左右変位を最大±20mm に模擬した状態で、ボルト緩み量の検知状況の確認を行った。

締結装置種別は、102 形、高速形、直結 4 形の 3 種類で確認を行った。結果、表-4 に示すとおり、0.5mm 以内の精度でデータが取得されていることを確認した。

なお、左右変位±20mm の考え方は、左右方向の調整量約 8mm と車両の左右変位 8mm による。

表-4 締結装置ボルト緩み量計測結果

締結種別	条件設定	基準値	計測値
102 形	ボルト緩み: 10mm 左右変位: -20mm	10.0mm	9.6mm
高速形	ボルト緩み: 5mm 左右変位: +20mm	5.0mm	5.3mm
直結 4 形	ボルト緩み: 0mm 左右変位: -10mm	0.0mm	-0.1mm

5.3 現地環境での適用性確認

現場敷設状況を各種締結装置等で模擬した状態により、締結ボルト高さ測定を実施した。なお、設定条件は以下の通りである。

- ・表面色を茶色、灰色、黒色に設定して計測 (レール及び締結装置の表面状態を模擬)
- ・計測対象物は、新品のレール締結装置及び腐食したレール締結装置を計測
- ・ボルト表面を濡らした状態で計測 (降雨状態を模擬)
- ・ハロゲンランプ (4 万ルクス) 照射下で計測 (太陽光照射状態を模擬)

上記条件全てにおいて、基準値と計測値の差の最大値が高さ方向 0.5mm 以内であり要求仕様に満足できることを確認した。

6. 試作機での走行試験

要素試験の結果、所要の機能を有していることを確認したため、試作機を車両に取付け走行試験を実施した。

6.1 本線走行試験の目的

要素試験等の結果を踏まえ、現状の課題を表-5 に示す。

これらの課題の解消確認と、プロト機製作へ向けた新たな課題の抽出を行うことを目的としている。

6.2 本線走行試験結果

(1) 締結ボルトの認識

現場に締結装置が敷設されているにも係らず、締結装置を認識しない場合を「検知ミス」として定義し、その発生率について評価を行った。結果を表-6 に示す。

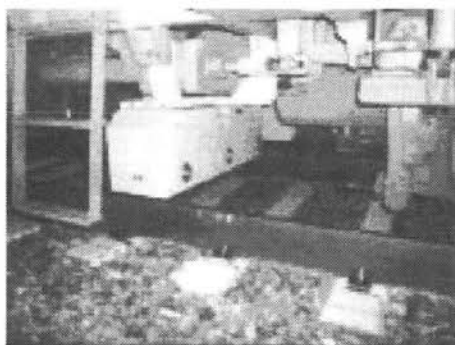


図-3 締結装置状態監視装置試作機

表-5 試作機走行試験の試験項目

試験項目	検証内容
締結ボルトの認識 (検知ミス「0%」を目指す)	・締結ボルト以外のものを締結ボルトとして認識しないか ・ケーブル等の外乱により締結ボルトを認識しない事象が発生しないか
軌道構造が変化する境界部	・判定ロジックの切替えが適正に行えるか(境界部ではロジック変更することとしている)
ボルト高さ測定の精度	・測定繰返し精度(再現性)の検証
地域特状環境下での性能試験	・長大トンネルにおける曇り、結露の影響 ・トンネル漏水箇所での測定精度の検証

表-6 締結装置ボルト緩み量計測結果

(試験走行距離 194km)

種別	平均発生率
直結4形(総数 6076本)	16.5本(0.3%)
直結4形こう上用a(総数 2688本)	0本(0%)
直結4形こう上用b(総数 32本)	0本(0%)
直結8形(総数 804本)	3.0本(0.4%)
102形(総数 9600本)	10.0本(0.1%)

今回の試作機は、現場に敷設している締結装置の情報をデータベースとして、キロ程・締結種別等の情報を持たせ、装置で演算した走行キロ程により、前提とする締結装置種別を変更する方式を採用している。また、現場に敷設されているケーブル等の外乱により誤検知すること为了避免するため、線路方向にレール締結装置を検知しない領域(以下、マスクエリア)を設定している。

その結果、検知ミスの発生率は約0.4%であり、非常に低い発生率となっているが、運用レベルで考えると、0%を目指す指標であり、軌道構造境界部での判定ロジックの切替え不良が原因(図-4)と考えられることから、さらなる検出ロジックの改善が必要である。

(2) ボルト緩み量測定の再現性

ボルト緩み量測定の再現性を評価するため、同一区間を複数回走行し、測定した結果の分析を行うこととした。

なお、ボルト緩み量については、別に定めた基準値との差分で評価すると、軌道面の変動等によるボルト高さが急

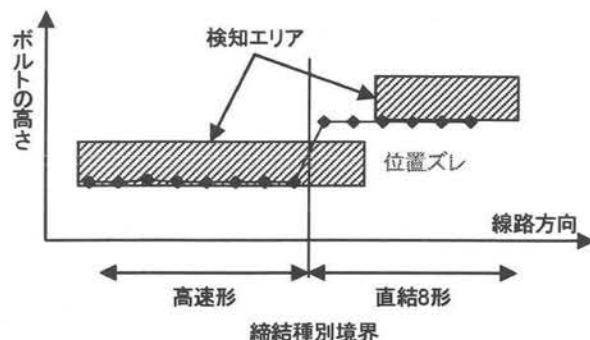


図-4 軌道構造境界部でのDB切替不良

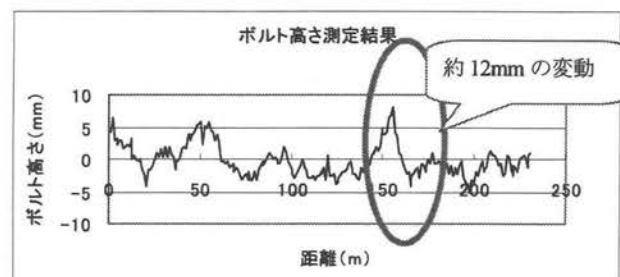


図-5 ボルト高さの変動

に変化する箇所(図-5)に対応できないため、ボルト高さ測定値の移動平均値との差分とした。

再現性の評価は、検知できたボルトを対象とし、実態を踏まえ各走行におけるボルト高さの平均値と、個々の測定値との差が $\pm 0.5\text{mm}$ を上回った場合を「偏差異常」と定義し、評価した。その結果を表-7に示す。

表-7 締結装置ボルト緩み量計測結果

(試験走行距離 194km)

種別	発生率
直結4形(総数 6076本)	1.9%
直結4形こう上用a (総数 2688本)	6.7%
102形(総数 9600本)	0.2%

この結果から、発生率は非常に低いものとなっており、またデータのバラつきを確認すると2mm以内に収まっていることから、運用レベルでは問題ないと評価できる。

(3) 地域特状環境下での性能試験

長大トンネルにおける曇りの影響については、連続的な測定により、所定の測定精度は確保されていることを確認した。

また、トンネル漏水箇所において表面が腐食又は汚れたレール締結装置の計測を行った。所定の測定精度は確保されていることを確認した。(表-8)

表-8 締結装置ボルト緩み量計測結果

特状内容	種別	項目	発生率
曇りの影響	102形 (総数 4000本)	検知ミス	0.1%
		偏差異常	0.1%
トンネル漏水の影響	直結4形 (総数 600本)	検知ミス	0.0%
		偏差異常	0.1%

7. プロト機による性能確認試験

7.1 プロト機製作に向けた新たな課題

今回の試作機での走行試験結果から判明した課題を列記すると以下の通りである。

(1) 検知ミス及び軌道構造境界部での処理

検知ミスが発生した原因を確認した結果、以下の内容が明らかとなった。

①演算キロ程の誤差に伴う、軌道構造境界部での判定ロジックの切替不良

②ケーブル等外乱を誤検知

特に上記内容①については、速発パルスエンコーダによる距離演算を行っているが、車輪の空転、滑走等による影響もあり、演算精度にも限界があることから、別の条件を付加し、判定ロジックの切替えを行えるロジックを改良する予定である。

また、②については、線路方向マスクエリアの見直し及びボルト、板ばねの検知ロジックを見直すことで、ケーブル等の外乱の影響を完全に排除できるよう改良を行う予定である。

(2) ボルト緩み量測定

ボルト高さが急変する箇所に対応するために、移動平均値との差分によりボルト緩み評価を行った。しかし、スラブ板の沈下等によりボルト高さが連続的に変動する箇所については、移動平均処理を行わないようにしているため、ボルト緩み評価を行うことができなかった。(図-6)

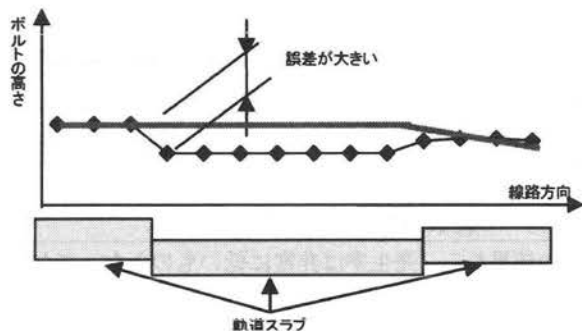


図-6 ボルト高さが連続的に変動する箇所での不具合
この移動平均値の算出ロジックについては、別の条件を付加して、不具合の解消を図ることになっている。

7.2 性能確認試験項目

性能確認試験の代表的な試験項目は以下のとおりである。

- ・試作機での試験結果における課題解消の検証
- ・ハード及びソフトの長期耐久性の確認

なお、プロト機での走行試験は、現在実施中であり、今年度末の試験終了を予定している。

8. まとめ

試作機での走行試験において、解消すべき課題を明確に

し、その効果の確認をプロト機による試験を実施中である。この装置は今回の試験結果から一部ロジックの見直しにより実用化の可能性が高くなったと考えている。

参 考 文 献

- 1) 下野, 山口: 新幹線締結装置状態監視装置の開発, 第63回年次学術講演会講演概要集, 土木学会, 2008.