

軸箱加速度を用いた継目部状態評価に関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○山根悠司 坪川洋友 松本麻美

1. はじめに

軌道構造上の弱点箇所の一つである継目では、列車通過時に衝撃的な輪重・横圧が増加するため、継目板や継目板ボルト（以下、継目部部材という）の折損が生じやすい。また、継目の状態を表す主な指標として、遊間・目違い・段違い・角折れがあげられる（以下、継目状態という）。これらの継目状態と列車の走行安全性等に関する知見として、目違いや角折れにより、局所的に車両走行時の横圧が増加することで乗り上がり脱線に影響を及ぼす要因の一つとなる¹⁾ことや、遊間や段違いが、継目の衝撃的な輪重に影響を及ぼす²⁾ことが知られている。しかし、これらの継目状態や継目部部材の損傷は軌道変位データには現れにくい³⁾ため、鉄道事業者では保線作業員が現地で目視等の確認により継目の保守管理を行っており、これに多大な労力を要している。

一方、軌道検測車等で測定されている軸箱加速度と輪重・横圧には一定の相関があることが知られている。また、近年では軌道のメンテナンスの省力化を目的として、車両床下に設置したカメラにより高精度な床下画像データ等の取得が可能となっており、継目の状態把握にも活用できると考えられる。継目に与える列車荷重のうち、輪重との相関がある上下軸箱加速度については、継目の遊間及び上り段違いがあると、上下軸箱加速度が大きくなることが知られている³⁾。そこで本研究では、横圧との相関がある左右軸箱加速度について、床下画像データから測定した遊間及び目違いが左右軸箱加速度に与える影響を分析した。また、継目板の種類が上下軸箱加速度に与える影響を分析することで、より効率的な継目の状態評価を検討した。

2. 遊間および目違いと左右軸箱加速度の分析

1) 試験概要及び分析データ

分析対象とした線区は、PC まくらぎが混在するバラスト軌道の定尺区間である。同線区の年間通過トン数は約 40 万トン、線区最高速度は 85km/h、貨物車両の走行が無い単線である。

本分析では、車両床下に設置したカメラで取得した床下画像データにより、遊間及び目違いを目視で測定した。測定箇所は図 1 に示すとおり、遊間はレール頭頂面のゲージコーナー側のレール間の隙間を測定した。また目違いはレール端部におけるレール側面の差を測定した。また、目違いのうち、受け側のレールが軌間内方にずれている場合を目違い+（プラス）、軌間外方にずれている場合を目違い-（マイナス）とした。

また、床下画像による遊間の測定例を図 2 に示す。なお画像データの分解能は、遊間・目違いともに 0.1mm である。

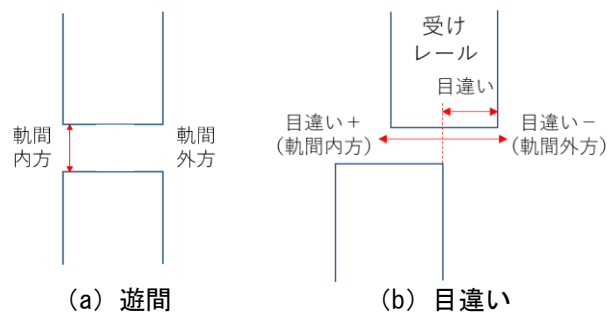


図 1 遊間及び目違いの測定箇所

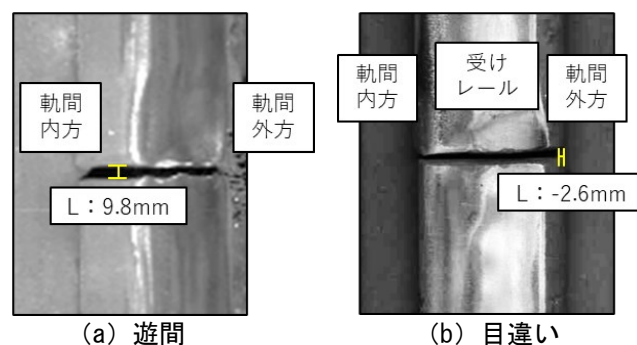


図 2 床下画像による遊間の測定例

分析対象とする継目は、曲線区間で、且つ軸箱加速度を測定する車両の通過速度が 40km/h 以上のものから選定した。これは、走行速度が低いほど測定軸によって車輪の接触位置が一定でなく、軸箱加速度の検出精度のばらつきが大きく⁴⁾なることから、その影響を除外するためである。以上の条件により選定した継目は、曲線半径 $R > 400\text{m}$ にある 36 継目、 $R \leq 400\text{m}$ にある 29 継目の、計 65 継目である。

2) 分析手法

軸箱加速度データの処理方法として、軌道保守管理データベース（以下、LABOCS という）を用いた。また、本システムでは、バンドパスフィルタ（以下、BPF という）の設定に応じた軌道状態の波形を抽出することができるが、本研究では継目の劣化に対応する波長として、0.05～0.5m の短波長の BPF を設定した。なお本章では、左右方向の軸箱加速度データを使用した。また、軸箱加速度を用いた継目の状態評価として、重回帰分析を用いて継目の状態評価を実施した。本研究では、遊間及び目違いを説明変数、継目を中心とした 25m 区間における軸箱加速度の 1 波の最大振幅（以下、軸箱加速度 pp 値という）を目的変数とした重回帰分析を実施した。具体的には、説明変数の影響の大きさを示す t 値、回帰式によって得られた係数の有意性を持つ P-値によって、軸箱加速度の影響の大きさを評価する。一般的に、t 値は絶対値が 1.96 以上であれば、その説明変数は目的変数への影響があることを示す。また、P-値が 0.05（5%）未満であれば、その説明

キーワード：継目，遊間，目違い，軸箱加速度，重回帰分析，異形継目板

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 軌道管理研究室 TEL：042-573-7277

表 1 軸箱加速度を目的変数とした重回帰分析結果

(a) R>400m				
	係数	標準誤差	t 値	P- 値
遊間	0.72	0.36	1.99	0.056
目違い+	4.51	13.30	0.34	0.737
目違い-	4.70	19.76	0.24	0.814

(b) R≤400m				
	係数	標準誤差	t 値	P- 値
遊間	4.72	1.88	2.51	0.019
目違い+	40.96	14.88	2.75	0.011
目違い-	5.08	10.87	0.47	0.644

変数は目的変数に対して有意である（関係性がある）と判断できる。

3) 分析結果

重回帰分析した結果を表 1 に示す。表 1 より、R>400m の区間については、遊間の t 値が 1.99 と、目安値の 1.96 を上回っていることが確認できた。また、R≤400m の区間について、t 値では、遊間は 2.51、目違い+は 2.75 と、目安値の 1.96 を上回っていることが確認できた。また、P-値については、遊間は 1.9%、目違い+は 1.1%と 5%未満であり、R≤400m の継目では、遊間量及び目違い+が、軸箱加速度 pp 値に与える影響が有意であると考えられる。

3. 継目板の種類と上下軸箱加速度の分析

1) 分析データ及び分析手法

分析対象とした線区は、2 章とは異なる PC まくらぎが混在するバラスト軌道の定尺区間である。同線区の年間通過トン数は約 40 万トン、線区最高速度は 110km/h、貨物車両の走行が無い単線である。本研究では、継目板の種類のうち、普通継目板と異形継目板による軸箱加速度を分析した。分析対象とする継目は直線区間で普通継目板が設置されている 422 継目、異形継目板が設置されている 146 継目の計 568 継目である。なお、異形継目板では、段違い継目板・中高継目板が含まれている。また、測定した軸箱加速度データについて、2 章と同様に、LABOCS を用いた軸箱加速度のデータ処理を実施し、BPF は 0.05~0.5m の短波長の BPF を設定した。なお本章では、上下方向の軸箱加速度データを使用した。

2) 分析結果

図 3 に、分析区間の継目における上下軸箱加速度の波形の一例を示す。図 3 より、継目の箇所では局所的に軸箱加速度が大きくなっていることが確認できる。また、普通継目板と異形継目板の軸箱加速度の波形を比較すると、個々の継目によっては、普通継目板の軸箱加速度が異形継目板よりも大きい箇所も散見されたが、図 3 のように、普通継目板よりも異形継目板の継目で上下軸箱加速度が大きくなる箇所も確認できた。

次に、継目を中心とした 25m 区間における、軌道検測車の平均速度（以下、速度という）と軸箱加速度 pp 値との関係を図 4 に示す。図 4 の横軸は速度、縦軸は軸箱加速度 pp 値であり、普通継目板と異形継目板に分類してプロットしている。図 4 より、異形継目板では普通継目板に比べて、軸箱加速度 pp 値が大きい傾向で

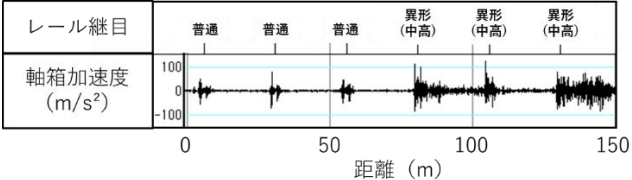


図 3 軸箱加速度の波形例

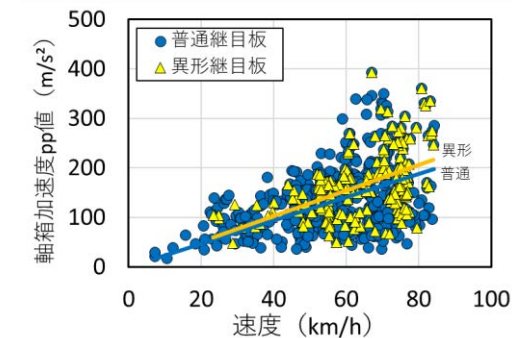


図 4 速度と軸箱加速度 pp 値の関係

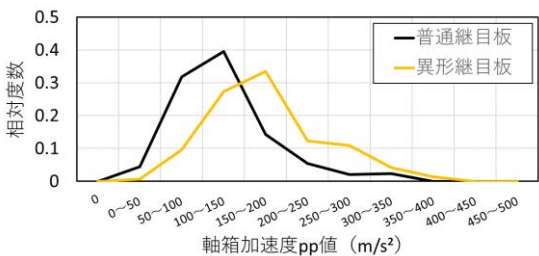


図 5 軸箱加速度 pp 値の頻度分布

あることが確認できた。

また、軸箱加速度 pp 値の頻度分布を図 5 に示す。図 5 は、軸箱加速度 pp 値を示し、横軸を 50m/s² ごとの軸箱加速度 pp 値、縦軸を相対度数とする。図 5 より、普通継目板では、軸箱加速度 pp 値が 100~150m/s² の範囲で頻度が大きい。一方、異形継目板では、150~200m/s² の範囲で軸箱加速度 pp 値の頻度が大きい。この結果からも、異形継目板では普通継目板に比べて軸箱加速度が大きくなる傾向であることが分かる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、重回帰分析による継目の状態評価を実施した。その結果、R≤400m の曲線区間の継目では、遊間及び受けレールの軌間内方への目違いが波長 0.05~0.5m で BPF 処理した軸箱加速度と影響があることが分かった。また、普通継目板と異形継目板の軸箱加速度を比較した結果、軸箱加速度 pp 値が 150~200m/s² の範囲において、異形継目板の軸箱加速度 pp 値の頻度が普通継目板と比べて大きくなる傾向にあった。今後は、継目板だけでなく継目板ボルトを含めた継目部部材の軸箱加速度への影響についても検討する。

【参考文献】

- 1) 西本正人, 山口剛志: 列車荷重の変動成分の推定と脱線への影響に関する考察, 第 21 回鉄道技術連合シンポジウム (2014)
- 2) 西本正人, 山口剛志: 列車荷重の継目部衝撃成分推定に関する検討, 第 20 回鉄道技術連合シンポジウム (2013)
- 3) 山根悠司, 松本麻美, 坪川洋友: 画像データと軸箱加速度を用いた継目状態評価に関する検討, 第 29 回鉄道技術連合シンポジウム (2022)
- 4) 田中博文, 松本麻美, 原田祐樹, 桶谷栄一: 軌道検測車で測定される軸箱加速度を活用したレール波状摩耗の状態評価と管理手法に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 63A (2017)