

曲線区間のレール損傷箇所通過時の衝撃荷重がレール締結装置の耐久性に与える影響評価

鉄道総合技術研究所 正会員 ○安田 新太郎
 鉄道総合技術研究所 正会員 西宮 裕騎
 鉄道総合技術研究所 正会員 塩田 勝利
 鉄道総合技術研究所 正会員 瀬瀬 智也

1. はじめに

無線式列車制御システムの導入により、軌道回路が撤去された場合、軌道回路によるレール損傷検知はできなくなる。そのため、新たに車上からのレール損傷検知方法¹⁾等の研究開発が進められているが、軌道回路のように常時監視可能な手法ではなく、レール損傷後からその損傷を検知するまでの間に、レール損傷箇所を車両が通常の営業速度で繰り返し通過することが考えられる。そこで、筆者らはこれまでに直線区間におけるレール損傷箇所の繰り返し車両通過を想定した重錘落下試験を実施し、レールおよびレール締結装置の繰り返し通過時の衝撃に対する耐久性を明らかにした²⁾³⁾。本研究では、レール損傷箇所の軌道部材の耐久性に関するさらなる検討として、曲線区間におけるレール損傷箇所の繰り返し通過を想定した重錘落下試験を実施したので、その結果を報告する。

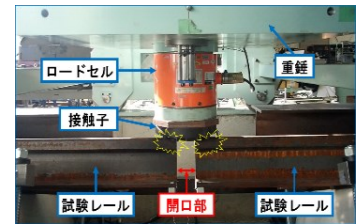


図1 重錘落下試験概要

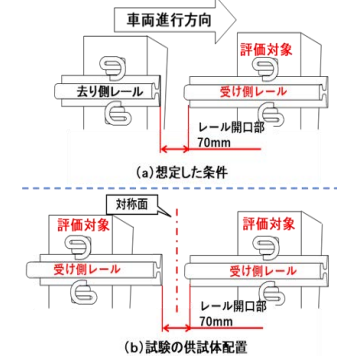


図2 試験条件と供試体配置

表1 供試体および試験条件

軌道部材および条件	種別および数値
レール	JIS 50kgN レール
PCまくらぎ	P3TSS (全長 700mm 切断品)
レール締結装置	e2009 形
軌道パッド	PND 用 (ばね定数: 110MN/m)
レール開口量	70mm
レール締結間隔	750mm
曲線半径	R620m
カント	50mm
載荷荷重	196.0kN
荷重作用時間	20~22msec

2. 繰り返し重錘落下試験

2.1 試験概要

図1に重錘落下試験の概要を示す。本試験は車輪を模擬した接触子を備える重錘を設定高さまで持ち上げ、レール損傷箇所を模擬した供試体開口部に繰り返し自由落下させることで衝撃載荷し、レール締結装置の耐久性を確認するものである。

本試験は図2(a)に示す去り側のまくらぎ端でレール損傷した場合を想定し、受け側レールのレール締結装置の耐久性を評価する。これは、まくらぎ端から受け側レール端までの距離が長いため、レール締結装置への作用力が大きく、著大な負荷がかかるためである。

なお、曲線区間のレール損傷箇所通過時に生じる著大輪重・横圧の合力を重錘落下による衝撃荷重で再現するため、供試体全体を傾けた状態で保持する傾斜治具を用いて重錘落下試験を実施する。本試験では適宜レール締結装置の損傷状態について外観観察を行い、重錘落下試験終了後には機能確認のためレール締結装置の線ばねクリップのレール押え力を測定する。

2.2 試験条件

試験に用いる供試体および試験条件を表1に、図3に供試体全体図を示す。

試験荷重は走行解析⁴⁾により算定した。算定条件は基幹線区におけるカント不足量が大きい条件を想定し、曲線半径 R620m、カント 50mm、レール締結間隔 750mm、レール開口部 70mm、車両速度 90km/h とした。走行解析の結果、開口部通過時にレールに作用する輪重・横圧の合力は 98.0 kN、合力の作用角度は 23.0°であった。本試験では2本のレールに対し衝撃載荷することから、算定した合力の2倍の 196 kN を試験荷重とした。

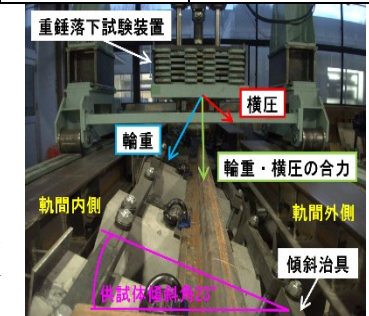


図3 供試体全体図

供試体は図2(b)に示すように、試験の安定性を考慮し開口部中心を対象面とし、受け側レールを左右対称配置と
 キーワード 重錘落下試験, 塑性変形, レール損傷, レール締結装置

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 軌道構造 TEL. 042-573-7275

した。これは、図2(a)に示す配置で実施した場合、受け側レール、去り側レールの剛性が異なることから载荷時の重錘挙動が不安定になり試験結果にばらつきが生じることが懸念されるためである。なお、レール締結装置はレール押え力の大きい、線ばねクリップ e2009 を使用した。

試験開始前に荷重調整を行い、重錘質量 1240kg、重錘落下高さ 80mm の設定にて、衝撃荷重 208kN、作用時間 29msec を载荷可能であることを確認した。これらは、目標値に対して荷重が 1.06 倍、作用時間が 1.3 倍であり、目標荷重を下回っていない結果であったため、試験荷重として採用した。

2.3 試験結果

载荷回数 3 万回程度までは供試体に変化がみられなかったが、図 4 に示すように、3.2 万回程度で軌間外側のインシュレータにき裂が生じ、その後、载荷に伴いき裂が進行し、最終的に図 5、図 6 に示すように、5.5 万回で損傷した。曲線区間においては横圧によりレール、ショルダー間のインシュレータに衝撃応力が繰り返し発生したため、損傷に至ったと考えられる。本検討では、インシュレータの損傷により重錘着地時の挙動が不安定になることが想定されたため、载荷回数 5.5 万回にて試験を終了した。

次に、重錘落下試験で使用した供試体の線ばねクリップのレール押え力を測定した。なお、試験の安定性のため損傷した軌間外側のインシュレータは新品のものを使用した。測定の結果、線ばねクリップ単体のレール押え力は 11.2kN 程度であり、公称値 12kN に対し若干低下していた。また、重錘落下試験後の線ばねクリップの高さ寸法（水平面に置いた時の鉛直方向）は平均 58.0mm であり、未使用品に対し 1.0mm、3 回着脱を繰り返したものに対し 0.3mm の変化量であることから、レール押え力はほぼ変化しなかったものと考えられる。

続いて、試験で確認された軌間外側のインシュレータが損傷した後の締結状態の確認を行うため、図 7 に示す解析モデル⁵⁾を用いた検討を行った。その結果、インシュレータがない状態の線ばねクリップ単体のレール押え力は 3.5kN 程度であった。しかし、対側の健全な線ばねクリップと合わせると、平均で線ばねクリップ 1 個あたり 5.5kN のレール押え力を確保できている。これは、一般的な板ばねのレール締結装置と同等程度のレール押え力であることから、不完全な締結状態であるものの、一定のレール締結機能を有するものと考えられる。

3. 試験結果の考察

重錘落下試験にて軌間外側に設置されたインシュレータが損傷したが、線ばねクリップ自体は健全な状態であった。また片側のインシュレータがない状態でも板ばねのレール締結装置と同等程度のレール押え力を有していた。これらの結果から、実験による一検討ではあるが、レール損傷箇所における車両通過の目安として、軸数 3 万軸程度までは通過可能であり、3~5.5 万軸までは通過は許容できるものの、インシュレータ損傷により軌間拡大等による走行安全性の低下が懸念される。

4. まとめ

曲線区間におけるレール損傷箇所の繰り返し通過を模擬した重錘落下試験にて、レール締結装置の耐久性を確認した。その結果を踏まえ、許容できる通過軸数の目安を明らかにした。今後は異なるレール締結装置においても同試験を実施し、レール損傷箇所の車両走行安全性についての知見を深めていく予定である。

参考文献

- 1) 細田充ほか：軌道回路に代わる車上式レール破断検知システム、鉄道総研報告、Vol.36、No.3、PP.17-22、2022
- 2) 中野哲弥ほか：繰り返し重錘落下試験によるレール頭頂面端部の塑性変形進みの評価、土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会、VI-317、2021
- 3) 額綱智也ほか：直線区間のレール損傷箇所通過時の衝撃荷重がレール締結装置の耐久性に与える影響評価、土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会、2022
- 4) 西宮裕騎：動的陽解法有限要素法を用いた鉄道車両の走行解析手法の構築、土木学会論文集 A2(応用力学)、第 74 巻、第 2 号、PP649-660、2018
- 5) Yuki, NISHINOMIYA: A method for simulating stress of round bar rail clips using nonlinear elastic-plastic dynamic explicit FEA, RAILWAY ENGINEERING-2013, p1057, 2013.



図 4 インシュレータのき裂



図 5 試験後のレール締結装置



図 6 損傷したインシュレータ

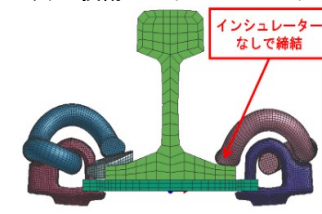


図 7 押さえ力の解析