

直結 8 形レール締結装置軌道パッドの 抜け出し防止用摺動シートの開発

佐藤 大悟* 鈴木 実*
玉川 新悟** 弟子丸 将**

Development of Sliding Sheet to Prevent Rail Pads from Slipping out for Rail Fastening Device Type-8

Daigo SATO Minoru SUZUKI
Shingo TAMAGAWA Tadashi DESHIMARU

The sliding sheet made of ultra high molecular weight polyethylene has been developed, which is inserted between the rail and the rail pad to maintain the stable contact between them. Rail creep tests on the rail fastening device type-8 were conducted to evaluate the effect to prevent the rail pad from slipping out. As the results, it was found that the sliding sheet can maintain the rail pad at the original position against the rail creep force, while the sliding sheet does not affect the resistance to the rail creepage of the rail fastening system.

キーワード：レールふく進，レール締結装置，軌道パッド，可変パッド，直結系軌道

1. はじめに

ロングレールが敷設された直結系軌道では、レール締結装置（以下、締結装置）内に設置した軌道パッドの位置ずれや抜け出しが確認されることがあり、維持管理上の課題となっている。こうした事象は伸縮継目近傍や長大橋梁、トンネル坑口付近等といったレールふく進量が大きい可動区間で発生しやすい。これは、温度変化によるレールの伸縮等に軌道パッドが追従し、位置が変化することが原因と考えられる。

こうした背景から、軌道パッド自体にタイププレート形状に合わせた折り曲げや切り欠きを設け、抜け出しの生じにくい形状に変更する等の対策が考案され、実用化されている¹⁾。しかしながら、このような対策品においても軌道パッドの抜け出しが生じる場合があることから、新たな対策が求められている。

2. 軌道パッドの抜け出し防止用摺動シート

2.1 軌道パッドの抜け出しの現状

軌道パッドのレール底部との接触面となる滑材としては、従来からのステンレス鋼板（以下、鋼板）を用いたものに加えて、絶縁性能の向上およびゴム部との接着性向上を目的としてエポナイト（超硬質ゴム、以下 EB）やポリアミド樹脂を用いたものが開発され、鋼板付軌道

パッドとともに実用化されている。また、抜け出し防止効果を高めるため、軌道パッドのレール長手方向の両端を U 型形状にしたもの等も開発されている¹⁾。しかし、レールふく進量の大きい区間では依然として軌道パッドが抜け出す事例が生じている。

現在、こうした事象の発生メカニズムは明らかでないものの、レールと軌道パッド間での相互作用が主な原因と考えられている。例えば、レール底面では腐食生成物の影響で摩擦状態が変化（摩擦係数が増加）するほか、軌道パッド滑材とレール底部の固着が発生する。そのような状態では、軌道パッドはレールのふく進に対して追従しやすくなることが考えられる。その他にも、締結装置によるレール押え力の低下等によって、軌道パッドが抜け出しやすい状況が発生していることも考えられる。

2.2 摺動シートの概要

軌道パッドの抜け出し状況を考慮すると、軌道パッドの位置ずれや抜け出しを防止するには、適切な締結状態、レールと軌道パッド間で安定した接触状態を維持することが重要である。

そこで、鉄道総研では軌道パッドの抜け出し防止対策材として、レールと軌道パッド間に挿入して使用する樹脂製の摺動シートを開発した^{2) 3)}。図 1 に摺動シートの外観を示す。摺動シートは長さ 300mm × 幅 140mm であり、厚さは 1mm と薄く、レールの高さ調整量への影響を極力小さくした。素材には自己潤滑性および耐摩耗性等の機械的強度に優れる超高分子量ポリエチレンを用

* 材料技術研究部 防振材料研究室

** 軌道技術研究部 軌道構造研究室

特集：材料技術

い⁴⁾、実軌道上での耐久性を考慮しつつ、以下に示す締結装置本来の性能に支障しない対策材とした。

図2に直結8形レール締結装置を例とした締結装置内での摺動シートの導入位置を示す。摺動シートをレールと軌道パッド間に導入することでレール底部の腐食等に起因したレールと軌道パッドの固着が防止可能となる。また、レールふく進時にはレールと一体となって軌道パッド上面を摺動するよう設計されており、適切なレールふく進抵抗力⁵⁾を確保する一方、軌道パッドへの過度な摩擦力の伝達を防止することが可能である^{2) 3)}。



図1 摺動シートの外観

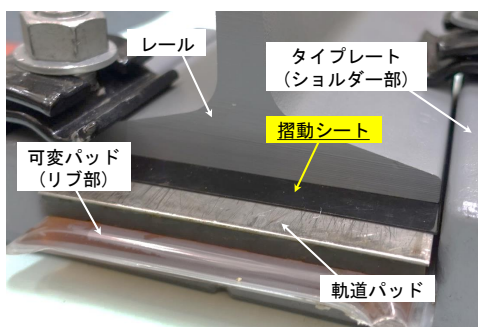


図2 摺動シートの導入位置

3. 軌道パッドの抜け出し防止効果の検証

開発した摺動シートによる軌道パッドの抜け出し防止効果を検証するため、直結8形レール締結装置を対象にレールの繰り返し摺動試験を実施した。試験では室内に設けた試験台上に一組の締結装置を組み立て、油圧式アクチュエータによってレールを長手方向に繰り返し変位させた時の摺動シートの有無による軌道パッド、可変パッドおよび摺動シートの変位等の挙動を評価した。

3.1 試験の構成および試験方法

表1に試験に用いた締結装置の構成を示す。軌道パッドは鋼板付軌道パッドおよびEB材付軌道パッドを対象とし、ともにスチレンブタジエンゴム（SBR）製の溝付タイプ、ばね定数は60MN/mのものを用いた。EB材付軌道パッドはU型ずれ防止付を用いた。可変パッドは

軌道パッドと組み合わせて作製し、樹脂注入後の厚さを5mmとした。図3、図4に軌道パッドおよび可変パッドの外観を示す。レールには表面に鍍等による顕著な凹凸がない長さ450mmの未使用60kgレールを用いた。締結用の板ばねには、下ばねにレールへの食い込み防止を施した60用先端改良タイプを用いた。締結ボルトは、内部に軸力ゲージを埋め込み、試験開始直前の軸力を5kNとした⁵⁾。この時、締結ばねの上ばねと下ばねが接触し、所定の締結状態になっていることを確認した。

図5に、締結装置および各試験装置の設置状況を示す。油圧アクチュエータによってレールを繰り返し摺動させるため、レールと油圧アクチュエータは、図中に示すようなレール固定治具を用いて固定した。タイプレートのレール座面には軌道中央に向かって1/40の傾斜が設けられているが、本試験では図6に示すように試験台とタイプレート下部に同傾斜を有する受け台を設置して、タイプレート座面を水平とした。

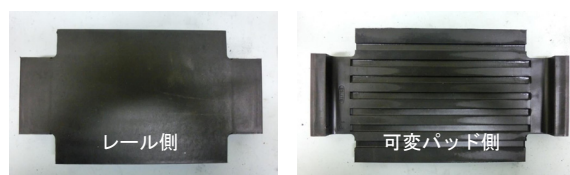
レールの摺動量は、ロングレールにおけるふく進量が十数mm程度⁶⁾であることや破断時開口量の限度値70mm⁷⁾、あるいは伸縮継目での許容伸縮量100mmを考慮するのが適切と考えられるが、本試験では試験機の都合上、最大振幅を12mmとし、レール変位は0.1Hzの三角波で与えた。繰り返し数は、試験実施時間の制約

表1 締結装置の構成

部材	概要
締結装置	直結8形レール締結装置
板ばね	60用先端改良タイプ
締結ボルト軸力	試験開始直前で5kN/本
レール	60kgレール（全長450mm）
軌道パッド	①鋼板付軌道パッド ②EB材付軌道パッド（U型ずれ防止付） ともにSBR製溝付タイプ、60MN/m
可変パッド	不飽和ポリエステル樹脂製 厚さ5mm



(a) 鋼板付軌道パッド



(b) EB材付軌道パッド

図3 軌道パッドの外観

等から 2000 回とした。試験中はレールを繰り返し摺動させるのに要した試験力およびレールの摺動に伴う軌道パッドの変位を記録した。軌道パッドの変位は、接触式変位計 SDP-100C（㈱東京測器研究所製）を用いて測定した。

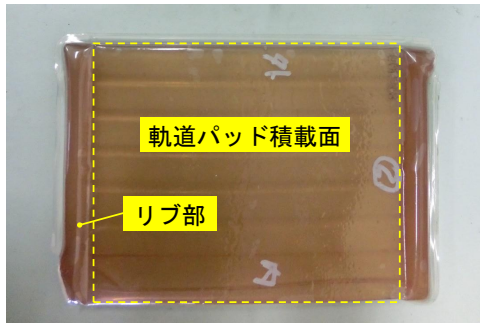


図4 可変パッドの外観

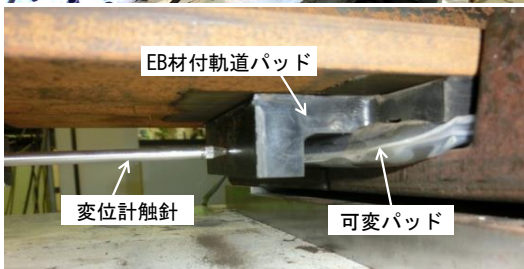
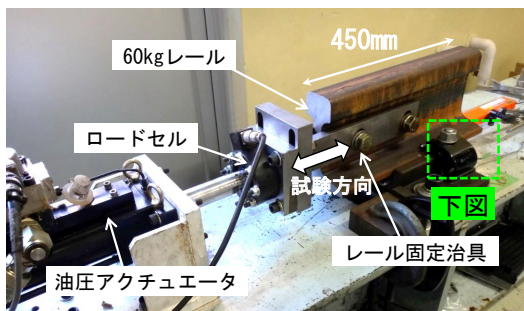


図5 締結装置および試験装置の設置状況

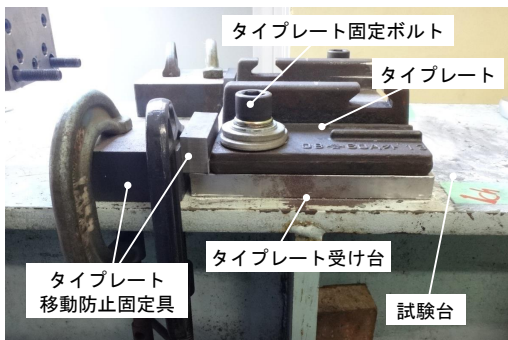


図6 タイプレートの設置状況

また、摺動数 2000 回後の試験終了直後の軌道パッドの変位について、試験開始直前からの位置ずれの量を移動量として記録した。可変パッドについても、同様に移動量を記録した。

3.2 試験条件

表 2 に試験条件を示す。条件 1 では鋼板付軌道パッドを用いてレールを強制的に変位させたときの軌道パッドおよび可変パッドの挙動を評価した。これに対して、条件 2 では摺動シートをレールと軌道パッド間に導入し、条件 1 と同様の評価を行った。条件 3 および条件 4 では、条件 1 および条件 2 で用いる鋼板付軌道パッドを EB 材付軌道パッドに変更し、同様の評価を行った。

なお、条件 2 で用いた摺動シートは厚さが 2mm のものを用いた。これは本研究の開発初期の試作品を用いたためである。機能等は条件 4 で用いた摺動シート（厚さ 1mm）と同様、2.2 節で示した通りである。厚さの違いが本試験の目的とする軌道パッドの抜け出し防止効果等の評価へ与える影響は小さいと判断しており²⁾、本稿では軌道パッドの滑材の違いに対する検証例として示す。

表 2 試験条件

条件	軌道パッドの種類	摺動シート導入の有無
条件 1	鋼板付軌道パッド	無し
条件 2		有り*
条件 3	EB 材付軌道パッド	無し
条件 4		有り

* 厚さ 2mm

3.3 試験結果

3.3.1 摺動シート無しの場合

試験中の軌道パッド等の挙動について、摺動シート無しの場合の例として条件 1 の結果について述べる。

図 7 に、条件 1 での軌道パッドの変位履歴を示す。図中の変位の方向は、図 5 における油圧式アクチュエータの引き方向が正、押し方向が負である。軌道パッドは試験開始直後から正負に微小な振幅変位を生じ、78 回目の摺動以降 20mm 以上の変位を繰り返したことが認められた。試験中の状況観察の結果、摺動数 78 回目までの軌道パッドの微小変位は、レールのふく進に伴う軌道パッド自体の摺動方向へのせん断変形のほか、軌道パッドと可変パッド間での相対変位、および可変パッドとタイプレート間での相対変位によって生じたものと考えられる。摺動数 78 回目以降で軌道パッドが 20mm 以上の変位を繰り返す状況になった原因については、可変パッドがタイプレート上へ乗り上がり、レールのふく進に合わせて軌道パッドが可変パッドと共にタイプレート上を滑る状況になったためである。可変パッドは、図 4 に示すようにレール長手方向の端部に膨らみを有したリブ部

特集：材料技術

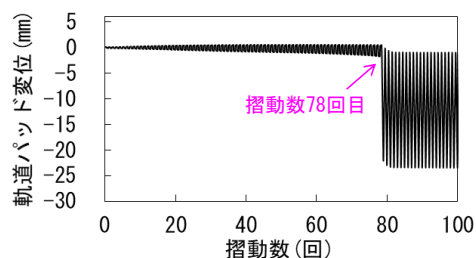
を有しており、レール締結時、リブ部によって軌道パッドおよびタイプレートとの位置関係を保持する構造となっている。しかし、本試験では摺動数の増加と共にタイプレートと接触したリブ部の摩耗が進展し、78回目で可変パッドがタイプレート上を滑り始める状況となった。図8に、リブ部の摩耗が進展し、可変パッドがタイプレート上での滑動を開始したときの試験状況を示す。図に示すように、摺動数の増加によって可変パッド注入袋が破れ、締結装置周囲に可変パッド樹脂の摩耗粉が多数付着しているとともに可変パッドがタイプレート上に乗り上がった状況が確認できる。

試験終了後の軌道パッドおよび可変パッドの状況を、それぞれ図9と図10に示す。可変パッドは前述のように注入袋が破損し、リブ部で摩耗が進展した状況が確認された。一方、軌道パッドは鋼板面にレール底部との摺動痕が確認されたが、ゴム部の損傷やゴム部と鋼板との剥離等は確認されなかった。また、図9に示すように軌道パッドは可変パッドと共にタイプレート上で初期の位置から逸脱し、移動量は軌道パッドが約25mm、可変パッドは約15mmであった。軌道パッドが可変パッド

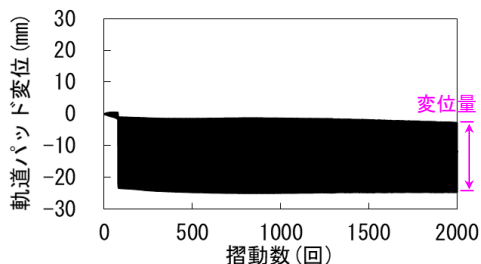
の移動量を上回ったのは、試験終了後の状況から軌道パッドが可変パッドのリブ上に乗り上がったためと考えられる。

以上の結果は、EB材付軌道パッドを用いた条件3でも同様であった。図11、図12に条件3の試験終了後の軌道パッドおよび可変パッドの状況を示す。軌道パッドのEB材ではレール底部との摺動痕が確認され、可変パッドのタイプレート面では注入袋の破損とリブが摩耗した状況が確認された。試験終了後の軌道パッドおよび可変パッドの移動量は、それぞれ約18mmおよび約15mmであった。

なお、条件1、条件3とも油圧式アクチュエータによるレール振幅は試験開始位置から±12mmであるのに対し、試験終了時の軌道パッドおよび可変パッドの移動量は試験によるレール振幅以上の値であった。これは軌道パッドおよび可変パッドの変位が往路と復路で異なり



(a) 試験開始～100回目



(b) 試験開始～2000回目

図7 条件1の軌道パッドの変位履歴

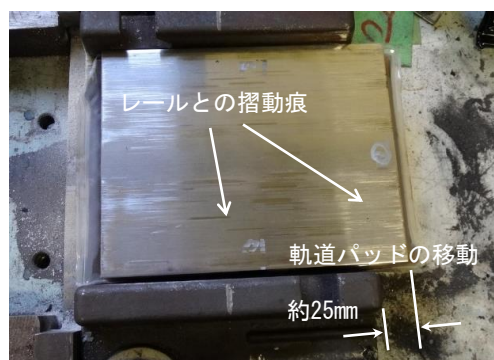


図9 試験後の鋼板付軌道パッド



図10 試験後の可変パッド（タイプレート側）

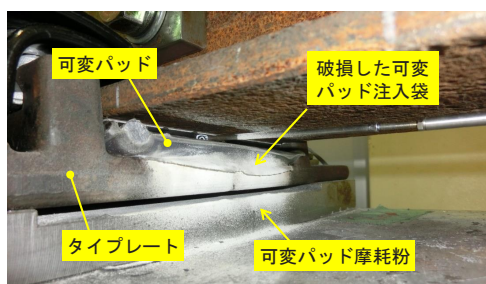


図8 可変パッドリブ部の摩耗進展時の試験状況

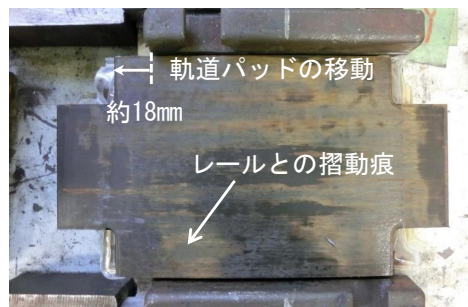


図11 試験後のEB材付軌道パッド



図 12 試験後の可変パッド（タイプレート面）

どちらかに偏って増加したためである。ただし、その程度は、軌道パッドと可変パッドの設置状況やリブの摩耗状況によって変化するものと考えられる。

以上のように、摺動シート無しの条件1および条件3では、摺動数が初期の段階では可変パッドのリブによって軌道パッドおよび可変パッドの変位が抑制されるものの、リブの摩耗が進展すると可変パッドがタイプレート上を滑り始めることが確認された。また、軌道パッドは可変パッドのリブ上に乗り上がることも確認され、これらによって最終的に軌道パッドの位置が設置時から変化したものと考えられる。

3.3.2 摺動シート有りの場合

摺動シート有りの場合について、例として条件4での軌道パッドの変位履歴、試験後の状況をそれぞれ図13、図14に示す。摺動シートを導入した場合、試験中の軌道パッドの変位は0.5mm以下とわずかで、試験後の可変パッドも外観上の位置の変化は確認できなかった。摺

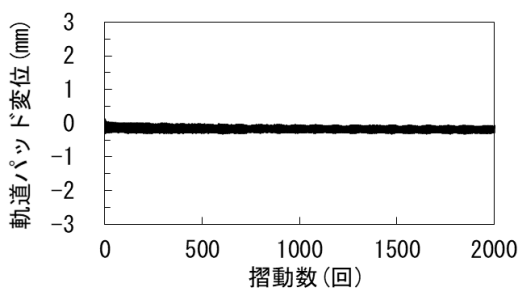


図 13 条件4の軌道パッドの変位履歴

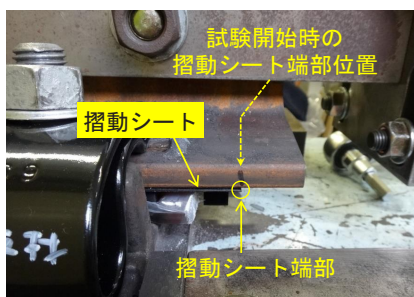


図 14 条件4の試験後の状況

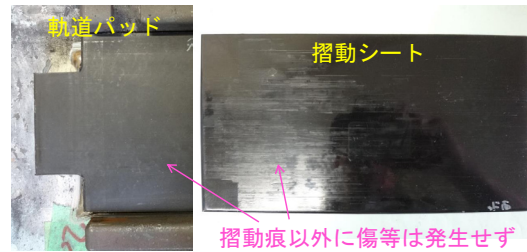


図 15 試験後の接触面（摺動面）の状況

動シートを導入した場合、試験中、摺動シートはレールと一体となって繰り返し軌道パッド上面を滑る状況であった。図15に、2000回の摺動試験後の軌道パッドおよび摺動シートの接触面（摺動面）の状況を示す。図に示すように、軌道パッドおよび摺動シートとも試験後に摺動痕以外に顕著な傷等は確認されなかった。また、締結装置自体にも異常は確認されず、これらの結果は鋼板付軌道パッドを用いた条件2でも同様であった。

3.3.3 試験結果まとめ

表3に、各条件での繰り返し摺動試験終了時の軌道パッドおよび可変パッドの移動量の測定結果を示す。同表に示すように、摺動シートの導入によってレールを繰り返し摺動させた場合においても軌道パッドおよび可変パッドを締結装置内に留めることが可能であることを確認した。この結果、実軌道においても軌道パッドの抜け出しが防止可能と考えられる。

表 3 試験後の状況

条件	軌道パッドおよび可変パッドの移動量	損傷等
条件1	軌道パッド約25mm 可変パッド約15mm	可変パッド リブ部の摩耗
条件2	1mm以下	無し
条件3	軌道パッド約18mm 可変パッド約15mm	可変パッド リブ部の摩耗
条件4	1mm以下	無し

3.4 レールふく進時の抵抗力へ与える影響

前節に示したように、摺動シートの導入によってレールのふく進に伴う軌道パッドの抜け出しが防止可能との見通しを得た。一方、締結装置ではレールのふく進に対して適切な抵抗力（ふく進抵抗力）を有することが求められる^{2) 8)}。そこで、摺動シート導入の有無における繰り返し摺動試験時の試験力から、以下のようにふく進抵抗力へ与える影響について検証した。

摺動シート無しの場合について、例として条件1における摺動数5回目、10回目、50回目の試験力とレール変位の関係を図16に示す。各回数は、図7を参考に軌道パッドが変位を開始した摺動数78回目までにおける代表的な摺動数として選択した。摺動シート有りの場合

特集：材料技術

について、図 17 に例として条件 4 における 5 回目、100 回目、1000 回目、2000 回目における試験力とレール変位の関係を示す。この結果、レールふく進時の抵抗力の一例として、レール変位 0mm 時における試験力で比較すると、両図とも試験開始初期の 5 回目の摺動時が最も大きい傾向を示した。また、レール変位との関係（曲線の形）については、摺動数の増加後も顕著な変化はなく、レール変位 0mm 時の試験力は図 16 で 2.7～3.2kN、図 17 で 2.8～3.1kN であった。なお、試験開始初期の試験力が高かった点については、レールのふく進によって各締結部材の位置関係が変化し摺動数の増加と共に締結力がやや低下したためである²⁾。以上より、締結装置内での軌道パッドと可変パッドの位置関係が所定の状態から変化しなければ、摺動シート導入の有無による試験力の差異は小さいと考えられ、ふく進抵抗力へ与える影響は小さいと考えられる。

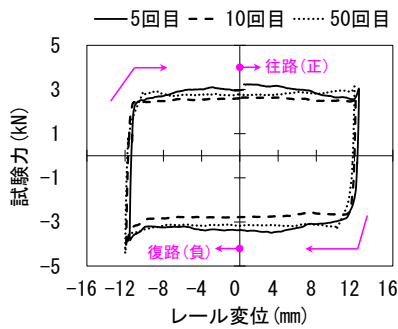


図 16 試験力とレール変位の関係（条件 1）

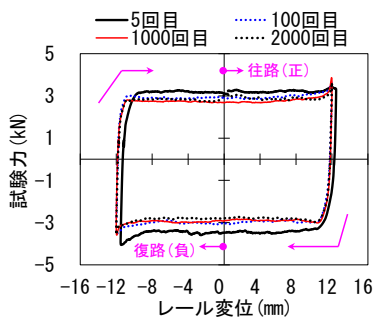


図 17 試験力とレール変位の関係（条件 4）

4. まとめ

締結装置内からの軌道パッドの抜け出しを防止する対策材として、レールと軌道パッド間へ導入可能な超高分子量ポリエチレン樹脂を用いた摺動シートを開発した。レールの繰り返し摺動試験によって軌道パッドの抜け出しの防止効果について検証した結果、以下の知見を得た。

- (1) 鋼板付軌道パッドおよび EB 材付軌道パッドを対象に、レールふく進時の摺動シート導入の有無による軌道パッドの挙動について評価を行った。その結果、両軌道パッドに対して、摺動シートの導入によってレールのふく進に伴う軌道パッドの追従が防止され、実軌道においても軌道パッドの抜け出しが防止可能と考えられる。
- (2) 締結装置で軌道パッドおよび可変パッドが適切に設置された状態では、レールを繰り返し摺動するのに要した試験力は摺動シート導入の有無で差異が小さかった。その結果、摺動シートが締結装置本来のふく進抵抗力へ与える影響は小さいと考えられる。

本研究では、別途、繰り返しの列車通過を想定して斜角の二軸載荷試験も実施し、本摺動シートが実用上十分な耐疲労特性を有していることを確認している。今後は、営業線等へ適用し、実軌道での軌道パッドの抜け出し防止効果を検証していく予定である。

謝 辞

本研究の遂行に際し、新日本エスライト工業(株)、三井化学(株)の協力を得た。ここに、感謝の意を表す。

文 献

- 1) 新日本エスライト工業(株)：ESLITE MANUAL, ver.6, 2016
- 2) 佐藤大悟, 鈴木実, 玉川新悟, 杉野満, 弟子丸将, 野口雅人：直結 8 形レール締結装置軌道パッドの抜け出し防止対策工の開発, 鉄道工学シンポジウム論文集第 21 号, pp.29-36, 2017
- 3) 佐藤大悟, 鈴木実, 玉川新悟, 弟子丸将：軌道パッド抜け出し防止用摺動シートの開発, 日本施設協会誌 2018 年第 9 号, pp.12-15, 2018
- 4) プラスチック大辞典編集委員会編：プラスチック大辞典, (株)工業調査会, p.640, 1994
- 5) 玉川新悟, 杉野満, 片岡宏夫：レール締結装置のふく進抵抗試験法の適正化, 鉄道力学論文集：鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.20, pp.17-23, 2016
- 6) 東憲昭 ほか：軌道構造と材料-軌道・材料の設計と維持管理-, 交通新聞社, pp.439-441, 2001
- 7) 公益財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, 丸善出版, p.181, 2012
- 8) 弟子丸将, 玉川新悟, 野口雅人, 杉野満, 片岡宏夫：レール締結装置性能評価法の高精度化, 鉄道総研報告, Vol.31, No.12, pp.5-10, 2017