

論文 無給油床板の適用拡大に向けた取り組み

東原 孝展

正会員 西日本旅客鉄道株式会社 施設部 施設技術室 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田2丁目4番24号)

E-mail: takanobu-higashihara@westjr.co.jp

トングレーलが摺動する床板（以下、「ポイント床板」という）は、円滑にトングレールを転換し列車の進路構成をするための重要な部材である。ポイント床板への注油および清掃作業は駅係員が列車間合い等において実施しているが、ポイント床板の無給油床板化は、それら注油および清掃作業を省略することができ、駅係員の安全性向上に繋がる方策として鉄道会社にとっては重要な技術課題である。JR西日本（以下、「当社」という）では、国産市販品のベアリングをユニット化した無給油床板（以下、「ローラーベアリング床板」という）を標準化しているが、一部の分岐器形式では構造上の理由により、その適用ができない。そこで、無給油床板の適用拡大を目的に、ポイント床板構造の改良について検討を行った。

Key Words : turnout, maintenance-free, swich plate, new S-rail, bearing

1. はじめに

当社では、図-1に示す分岐器におけるポイント床板の注油および清掃作業を必要としない無給油化を進めており、平成15年からポイント床板の無給油化に関する技術的検討を行い、図-2に示すローラーベアリング床板を開発し、適用している。

しかし、一部の形式の分岐器については、トングレール上部または下部と他部材との離隔による制約等があり、これに対応する無給油床板が求められる。

そこで、無給油床板の適用拡大を目的として、以下について適用の可能性を検討した。

- ・トングレール下部の離隔による制約を受ける形式の分岐器に対しては、ベアリングユニットを用いた着脱式のポイント床板（以下、「着脱式床板」という）
- ・トングレール上部の離隔による制約を受ける形式の分岐器に対しては、接触面に固体潤滑剤を含有した焼結合金層を設けたポイント床板（以下、「メタル床板」という）

本稿では、その検討結果について報告する。

2. 着脱式床板での対応

(1) ローラーベアリング床板の構造¹⁾

当社で標準的に使用しているローラーベアリング床板は、主に「ローラーベアリング用床板」と「ベアリングユニット」の部材から構成されている。床板上から0mm→2mm、2mm→4mmと2段階（図-3）で、外径35mmのカムフォロア（図-4）によりトングレールをこ



図-1 分岐器ポイント部

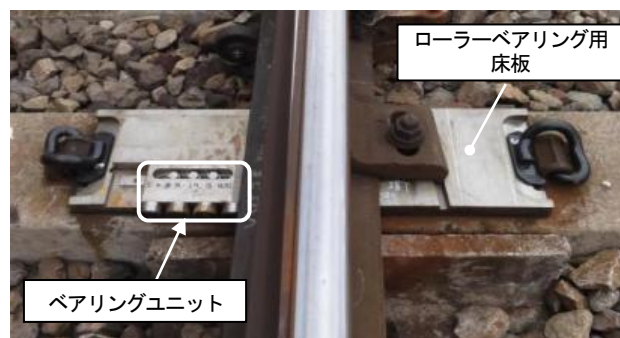


図-2 ローラーベアリング床板

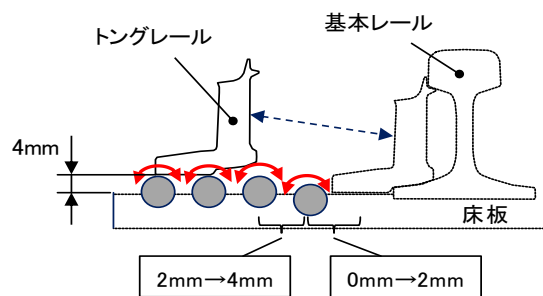


図-3 トングレールの転換動作

う上させることにより、乗り上がり時の転換力を低減させ、スムーズな転換動作を確保できる構造である。また、ベアリングユニットは、図-5 に示すように転換ストロークの長いポイント先端部ではカムフォロアを4個、転換ストロークの短いポイント後端部ではカムフォロアを3個とした2種類に区分することにより材料コストの低減を図っている。

(2) 課題への検討

ローラーベアリング床板は、トングレー重量に耐え得る強度のあるカムフォロア径および標準的に流通している鋼材（SS400）の規格寸法から床板の厚みを36mmとしている（図-6）。そのローラーベアリング床板を設置するスペースを確保するために、まくらぎ等の下部構造体を低下させてレール底面の位置を揃えることとしている。しかし、スラブ分岐器は下部構造を低下することが困難である。

一般的なスラブ分岐器のポイント床板の厚さは30mmであるが、これに加えてポイント床板下に挿入される軌道パッド厚9mm、可変パッド厚4mm（設計値）があるため、それらの改良をあわせることでローラーベアリング床板の設置は可能となる。

一方、一部の形式のスラブ分岐器では、厚さ22mmのポイント床板（以下、「薄型ポイント床板」という）が使用されているため、14mm以上の高さ調整が困難であることから、ローラーベアリング床板を適用することができない（図-7）。

そこで、基本レールにおける軌間線の高さ方向位置を変更せずに、トングレー下にローラーユニットを取り付けることが可能な構造を検討した。

a) 構造の検討

トングレー下にベアリングユニットを取り付けるためには、トングレーの高さを低くし、トングレーの底部面の位置を上げることが必要となる。そこで、JR東日本が開発した次世代分岐器において実績がある新Sレール²⁾を用いることとした。これにより、70Sレールを使用したトングレーに対して25mm程度トングレー高さを低くすることが可能となる。これにより、トングレー下から基本レール底面まで25mm程度の隙間が確保され、ローラーベアリング床板の設置が可能となった（図-8）。

b) 設計に考慮すべき要件

前項で提案した構造に対して施工性を考慮し50kgNレール用分岐器(16番)を対象として設計要件を検討した。この分岐器は、トングレー先端から固定部までの間にレール片側あたり22枚のポイント床板が使用されている。また、新Sレールをトングレーに適用すると、以下を同時に施工する必要がある。

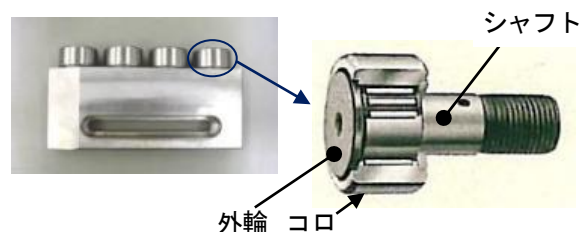


図-4 カムフォロア構造

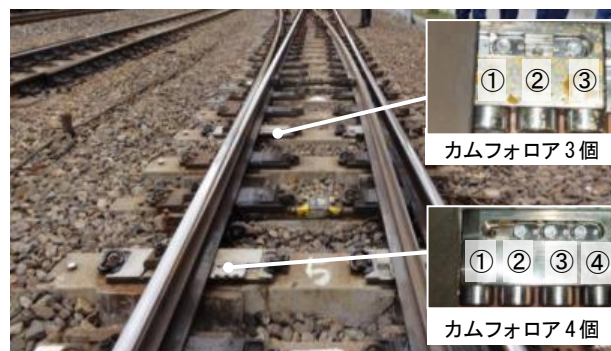


図-5 ローラーベアリング床板の配置箇所

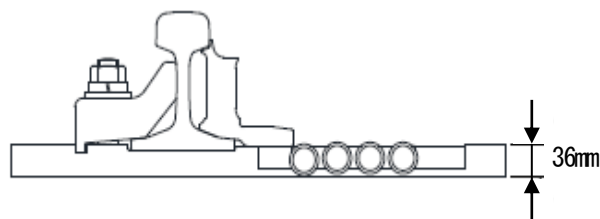


図-6 ローラーベアリング床板の断面図

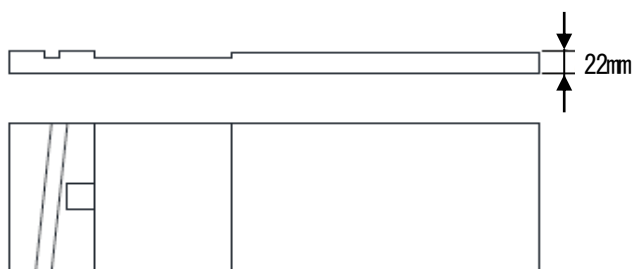


図-7 薄型ポイント床板の形状

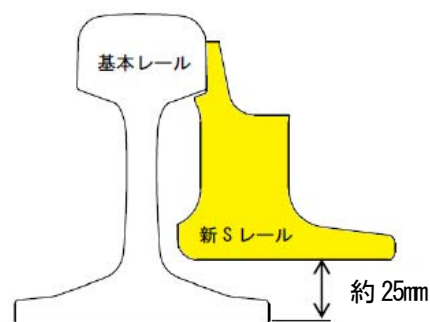


図-8 新Sレールを用いたトングレー下の概要

- ・フロントロッド接続かんの交換
- ・左右のトングレール交換
- ・44枚のポイント床板

そのため、施工時間が列車間合いの制約により短い場合、それら一連の工事を一括で実施することは難しく、次項で述べる設計では、このことを考慮した。

c) 設計

着脱式床板は、既存と同形状のポイント床板に M10 のねじ穴を設けておき、六角穴付きボルトを用いて後付けで取り付けることが可能な構造とした。これにより、部分的な施工が可能となった（図-9）。

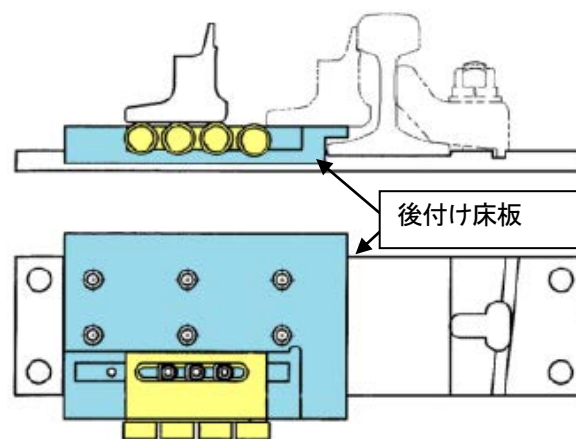


図-9 着脱式床板の概要図

(3) 性能確認

a) 新 S レール

新 S レールを用いたトングレールの転換性能を確認するため、トングレールを図-10 のようにモデル化し、表-1 に示す諸元を用いて過去文献³⁾を参考にトングレールの転換力、トングレールの弾性部応力を算出した。算出の結果、それぞれ 1.6kN、109.8MPa であった。これは、現行の分岐器形式で同様の算出した結果、トングレールの転換力が 1.7kN、トングレールの弾性部応力が 107.8MPa であり、現行品と同等の性能を有していることを確認した。

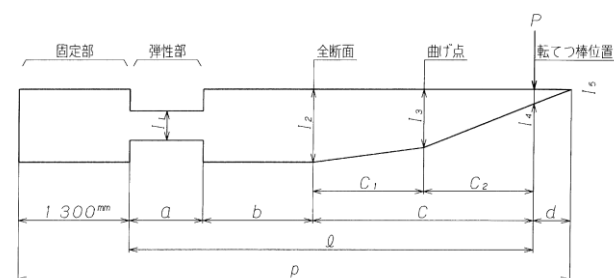


図-10 計算モデル

b) 着脱式床板

着脱式床板は、ローラーベアリング床板構造と同等の性能が必要であるため、ポイント床板と後付け床板を定着する M10 の六角穴付きボルトの強度確認を実施した。なお、列車走行時の荷重は圧縮側へ作用であるため、トングレール摺動時にボルトせん断方向に力が作用した場合を想定し、ボルトのせん断強度について確認した。ボルトの諸元を表-2 に示す。

ボルトのせん断強度の確認は、ボルト1本に対してせん断方向に前述したトングレール転換力 P が 1.6kN 作用すると想定した。この条件で表-2 の諸元を用いて参考文献⁵⁾に基づいた式(1)により算出した結果、発生応力 σ は 27.6MPa であった。この発生応力は、ボルトの保証荷重応力 650MPa に対して十分な余裕があることを確認した。

$$\sigma = P / A \quad (1)$$

σ : 発生応力(MPa), P : 作用する力(N),

A : 有効断面積(mm²)

また、所定のトングレールの機能を確認するため、工場内において、製作した着脱式床板の組立検査を実施し、トングレールが転換する際の転てつ棒の位置における移動量、フランジウェー幅の確認や機械式シリンダーを用いた転換等を実施し、転換動作やトングレールの挙動に問題がないことを確認した。

表-1 諸元

項目	記号	寸法	単位
トングレール全長	p	9,600	mm
弾性部の長さ	a	1,000	mm
全断面から弾性部までの長さ	b	2,677	mm
曲げ点から全断面までの長さ	c ₁	991	mm
転てつ棒から曲げ点までの長さ	c ₂	3,282	mm
転てつ棒から全断面までの長さ	c	4,273	mm
先端から転てつ棒までの長さ	d	350	mm
転てつ棒から弾性部までの長さ	l	7,950	mm
弾性部の断面二次モーメント	I ₁	2,195,453	mm ⁴
全断面の断面二次モーメント	I ₂	5,213,290	mm ⁴
曲げ点の断面二次モーメント	I ₃	3,677,338	mm ⁴
転てつ棒の断面二次モーメント	I ₄	2,551,311	mm ⁴
先端の断面二次モーメント	I ₅	2,453,815	mm ⁴
行程	δ	165	mm
全断面の頭部幅	t ₁	63.8	mm
弾性部の底部幅	t ₂	85	mm
ヤング係数	E	205.94	GPa
最大静止摩擦係数	μ	0.20	—
重力加速度	G	9.81	m/s ²

表-2 ボルトの諸元⁴⁾

材 質	SCM435
ボルト径	M10
強度区分	9.8
保証荷重応力 (MPa)	650
有効断面積 (mm ²)	58

(4) 現地試験敷設

a) 概要

本開発は、50kgNレール用16番スラブ分岐器を対象として検討を進めているが、まずは実機敷設による施工性、保守管理性および各部材応力等の状況を確認するため、低番数である50kgNレール用10番分岐器（有道床）に対して試験敷設をした。なお、着脱式床板のまくらぎへの食込みを防止するため、分岐まくらぎも併せて交換した。

b) 施工性

試験敷設は、トングレーल先端からトングレーल弾性部までのM10のねじ穴付き床板28枚、分岐まくらぎ14本を2日間で交換し、トングレーल固定部の床板4枚、分岐まくらぎ2本、後付け床板28枚および低トングレーल2本を1日で交換した。なお、後付け床板は1枚当たり1分、トングレーलは1本当たり30分で交換し、約3時間30分で全ての敷設は完了した（図-11）。

検討対象のスラブ分岐器は、約3時間30分の施工間合の箇所であり、後付け床板44枚の交換が必要となるが、分岐まくらぎの交換が不要であるため、まくらぎ交換時間分（約30分）を考慮すれば、16枚の後付け床板の交換が追加になっても施工間合内で敷設できると判断できる。

c) 保守管理項目

新Sレールは、70Sトングレールを基本としてレール高さを148mmから121mmへ低くし、左右非対称から左右対称の断面形状へ変更しており、断面性能は異なっているものの、軌間線位置におけるトングレール頭部幅、転換機構や弾性部構造が70Sレールと同等の構造であることから、トングレールの保守については、従来どおり社内で定める検査周期、検査方法、判定基準を適用した。また、着脱式床板の管理については、通常のローラーベアリング床板の点検項目、点検周期に加えて、後付け床板とM10のボルト穴付き床板を締結するボルトの弛緩の有無を1ヶ月に1回点検することとした。

d) 現地測定

現地測定は、在来鉄道運転速度向上試験マニュアル・解説⁶⁾（以下、速度向上マニュアル）の分岐器の部材強度の評価に用いる測定項目に準じ性能を評価した。また、基準線側では列車が背向で進入、分岐線側では列車が対向で進入する条件の分岐器において、各10本の列車が走行時に測定した。

[トングレール弾性部応力]

弾性部を有するトングレールの応力は、転換時に車輪の通らない側のトングレールに曲げたわみによる応力が発生し、車輪の通る側のトングレールには曲げたわみによる応力は発生しない特性がある。そのため、列車走行時におけるトングレールの発生応力と転換時におけるトングレールの発生応力を測定した。



図-11 着脱式床板の概要図

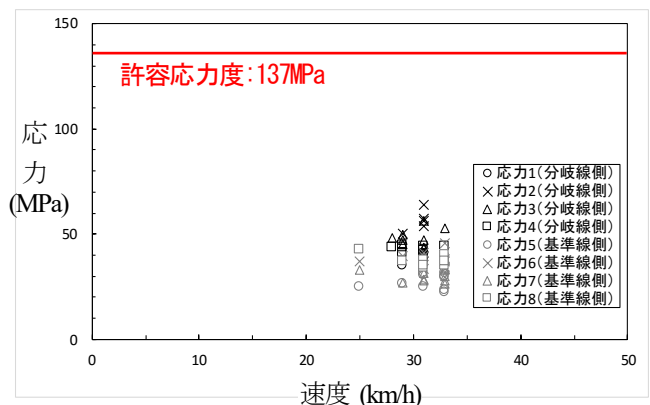
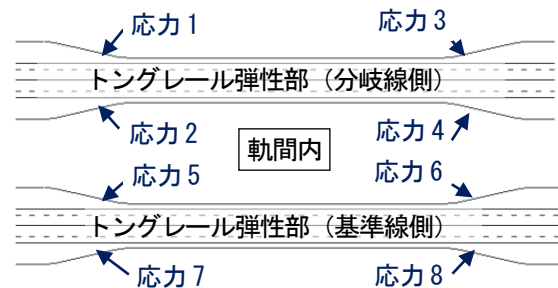


図-12 トングレール弾性部応力の測定結果

測定の結果、列車走行時における最大発生応力は63.7MPaであった（図-12）。また、転換時におけるトングレールの曲げたわみによる発生応力は97.2MPaであり、前述で算出した値以下の発生応力であった。

これらは、トングレール弾性部における許容応力度137MPa以下であり、使用上問題無いことを確認した。

[トングレール転換力]

トングレールの転換力は、現地に設置しているNS形電気転てつ機に対して、トルクメーターにより測定した。最大転換トルクTは、基準線側から分岐線側へ転換した場合に6.3N・m、分岐線側から基準線側へ転換した場合に6.4N・mとなり、参考文献⁷⁾に基づいた式(2)により転換力Fを算出した結果、それぞれ1.85kN、1.88kNであり前述で算出した値と同等の転換力であった。これらの値

は、NS形電気転てつ機の公称転換力2.94kN以下であり、使用上問題無いことを確認した。

$$F=T \times 0.294 \quad (2)$$

3. メタル床板での対応

(1) 課題への検討

トングレール上部の離隔による制約を受ける分岐器として、ポイントガードを有している分岐器がある。ポイントガードはトングレール上方を覆うような構造(図-13)をしているためローラーベアリング床板を設置すると、トングレール転換の際に、ポイントガード下部とトングレール上部が接触する可能性がある。

上述の課題を踏まえ、ポイントガード構造の変更とトングレールの高さ方向の移動を伴わない無給油床板構造を検討した結果、現行のポイント床板の摺動部分に固体潤滑剤(特殊グラファイト)を含有した合金を鋼製の裏金に焼結し、溶接接合により一体化したメタル床板⁸⁾

(図-14、図-15)に着目した。メタル床板に使用されている合金は、耐摩耗性に優れることから自動車の軸受け等に用いられている金属材料である。基本的な物性値を表-3に示す。

(2) 設計

メタル床板は、50 kg N レール用分岐器で一般的に使用されているポイント床板を基本として、合金層 0.8mm に裏金の厚さ 6.7mm を加えた 7.5mm の合金をポイント床板に肉盛り溶接で一体化する構造とした(図-16)。また、ポイント床板の部分的なトングレール底部の接触を考慮して、ポイント部全体をメタル床板とした。

(3) 性能確認

a) 転換試験

転換性能を確認するために50kgレール用分岐器(8番)のポイント部の片軌きょうを製作し、転換は通常の分岐器と同様にトングレールに連結板を付属させ、連結板を介してトングレールへ転換力を与える状態で試験を実施した(図-17)。

転換に必要な動力は、電気転てつ機と同等程度の転換力およびストロークを有する機械式シリンダーを用いた。

メタル床板には、上述した設計と同等の性能を有する品質形状とした。なお、合金層の幅および長さは使用する床板の摺動面の寸法と同等とし、試験前にメタル床板全数がトングレール底部に均等に接触するように設置した。

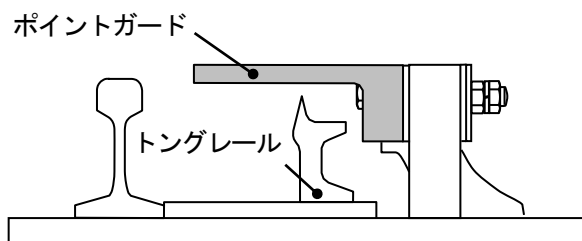


図-13 ポイントガードの構造

表-3 メタル床板の物性値

項 目	物性値
硬度 (HRM)	100
引張強度 (MPa)	135
接着面せん断強度 (MPa)	110

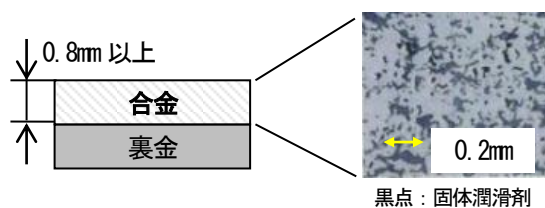


図-14 メタル床板の構造概要と合金の拡大写真

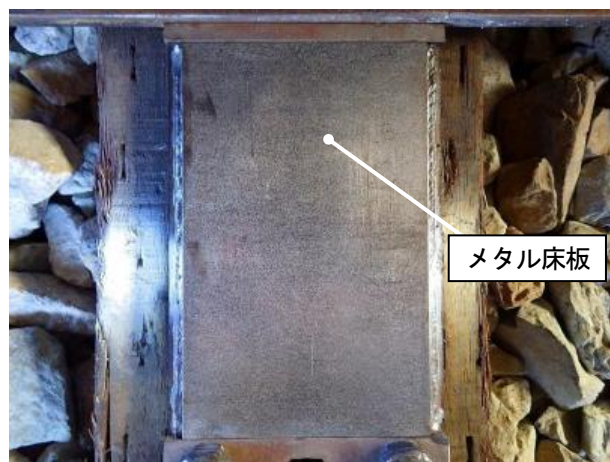


図-15 メタル床板の外観

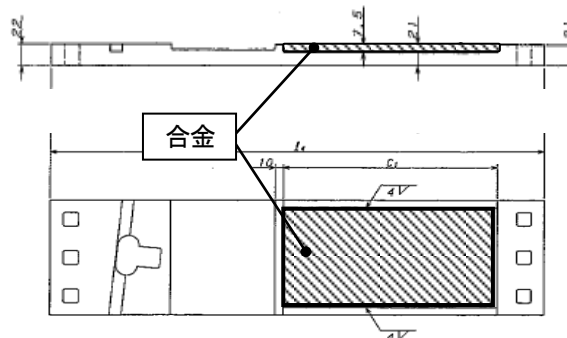


図-16 メタル床板の構造

試験条件を表-4、試番2および試番3の概況を図-18に示す。試番2の散水は、メタル床板の錆による影響を確認するため、全てのメタル床板へ均一に散水後、1時間以上経過後に1000回転換を1セットとし、計10セット繰返し実施した。試番3の砂撒きは、列車から地上へ撒く砂による影響を確認するため、トングレーलが開口した状態でトングレールと基本レール間に砂（170g程度）をトングレール前端から後端にかけて均一に散布した。

試番毎の測定項目を表-5に示す。メタル床板の摩耗量測定は、メタル床板の合金層厚さを塗装面の塗膜厚さ測定で使用する膜厚計を用いて測定した。また、トングレール底面の摩耗測定位置は、各メタル床板位置におけるトングレール底面とし、ストレッチを用いて隙間をシネスゲージで測定した。

b) 試験結果

[転換力]

転換回数と転換力の関係性を図-19および図-20に示す。図-19により、無給油による100万回の連続転換後も給油した場合の一般床板の転換力を下回った状態を維持したことが確認できる。また、図-20により散水により錆びを生じさせた状態、砂撒きにより異物を介在させた状態でも、給油した場合の一般床板の転換力と同等程度となることを確認した。なお、試番3において0.7万回転換時に一般床板の転換力より大きくなっているが、その後の転換力は低下傾向であり、NS形電気転てつ機の公称転換力2940Nより下回っていることから転換性能に問題が無いと考えられる。

[メタル床板およびトングレール底部の摩耗量]

メタル床板の摩耗量は0.1mm未満であり、102万回の転換試験後も合金層の設計値0.8mmを上回ることにはなかった。また、トングレール底面の摩耗量は0.1mm程度であった。

[メタル床板の状態観察]

メタル床板の試験後の状態を図-21に示す。合金層にトングレールの摺動跡が現れ、撒き砂の影響によりメタル床板の表面に線状の傷が発生したが、裏金の露出は見られなかった。

c) 現地敷設試験

上記の室内試験結果、転換力は漸増であるものの給油床板の転換力を下回る状態を維持し、メタル床板の摩耗量はほとんどみられず良好であったため、営業線での試験敷設を実施した。なお、試験敷設箇所には当社管内全域にメタル床板の適用の可能性を確認するため、昼夜の寒暖差が激しい等の環境条件が厳しい箇所を選定した。

メタル床板の設置箇所は、図-22に示すポイント床板（ヒール部の大床板は除く）に対して連続的に敷設し、メタル床板のまくらぎへの食込みを防止するため、分岐

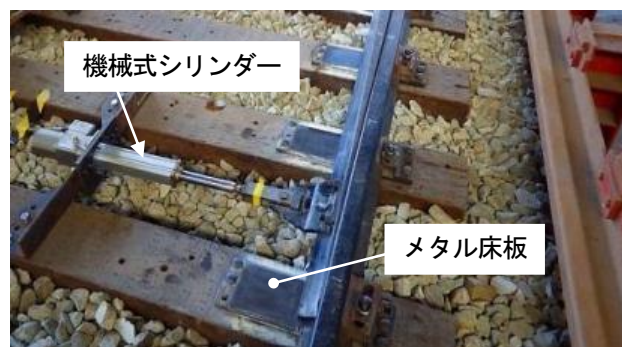
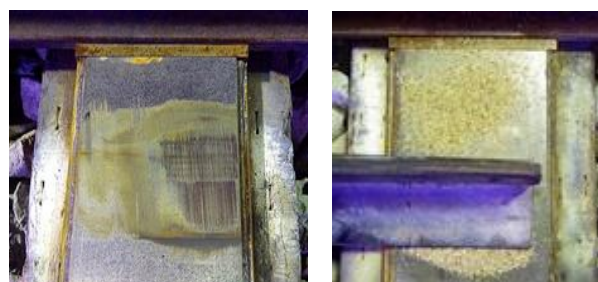


図-17 試験状況



(a) 散水による錆状態 (b) 砂撒き状態

図-18 試番2および試番3の概況

表-4 試験条件

試番	条件	転換回数
1	無給油	100万回
2	無給油・散水	1万回
3	無給油・砂撒き	1万回

表-5 測定項目

試番	測定間隔	測定項目
1	10万回毎	・転換力 ・メタル床板の摩耗量 ・トングレール底面の摩耗量 ・メタル床板の状態観察
2 3	1千回毎	・転換力 ・メタル床板の状態観察

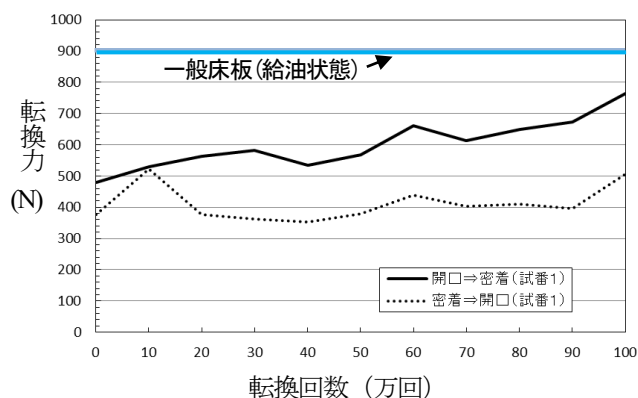


図-19 転換回数と転換力の関係性（試番1）

まくらぎも併せて交換した。

[転換トルクおよび換算転換力]

敷設前後の転換トルク値および換算転換力を表-6に示す。上述した式(2)により転換力を算出した結果、敷設前の給油している床板と同等の転換性能を有していることを確認した。

[外観]

メタル床板敷設後の外観状態を図-23に示す。メタル床板の敷設前にトングレール底部、基本レール底部の付着油を除去し、敷設後に転換試験を実施したが、転換動作はスムーズであり、特に目立った転換痕跡は見受けられなかった。

4. まとめ

無給油床板の適用拡大を目的として、「着脱式床板」と「メタル床板」の2種類の適用を検討した結果、以下のとおりであった。

- (1) トングレール下部空間を拡大するため、新Sレールの使用し、施工性を考慮した分割型のポイント床板とした着脱式床板構造を検討した。

工場内および現地試験により転換動作およびトングレールの挙動等を確認し、スラブ分岐器に適用可能な性能を有していることを確認した。

- (2) トングレール上部空間を現行のポイント床板と同等とするため、固体潤滑剤を含有した焼結合金を使用したメタル床板構造を検討した。

工場内および現地試験により転換機能を確認し、トングレール上部空間の制約がある分岐器に適用可能な性能を有していることを確認した。

以上より、従来、無給油床板化ができなかった分岐器形式に対して無給油床板化ができる見通しを得ることができた。

参考文献

- 1) 三津田祐基, 本野貴志, 唐須崇: ローラーベアリング床板の開発, 新線路, Vol.67, No.9, 2013.
- 2) 小尾実, 堀雄一郎: 分岐器構造のイノベーション-次世代分岐器の開発-, 新線路, 2002.9.
- 3) 佐藤吉彦, 梅原利之: 線路工学, 社団法人日本鉄道施設協会, 1987.2.
- 4) JIS B 1051: ねじ I, 一般財団法人日本規格協会, 2017.
- 5) 山本晃: ねじ締結の原理と設計, pp.76-77, 養賢堂, 2018.
- 6) 在来鉄道運転速度向上試験マニュアル・解説, 運輸省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編, 研友社, 1993.
- 7) 桜井育雄: 日本国有鉄道 鉄道技術研究所速報, No.A-87-49, 1987.2.
- 8) 山根寛史, 本野貴志, 高尾賢一: 固体潤滑剤含有焼結合金を用いた分岐器床板の転換性能について, 土木学会第71回年次学術講演会, 6-322, 2016.9

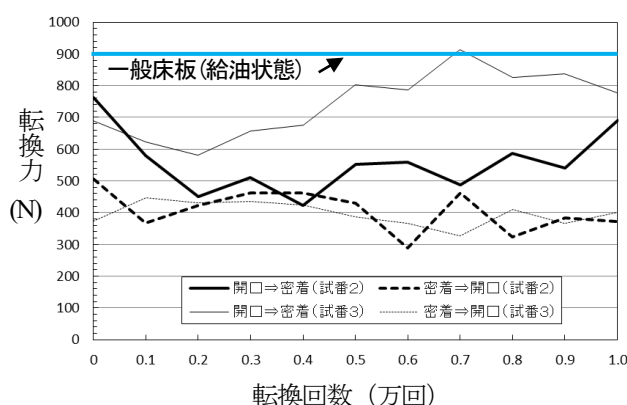


図-20 転換回数と転換力の関係性 (試番2, 3)



図-21 転換試験(102万回)後の外観

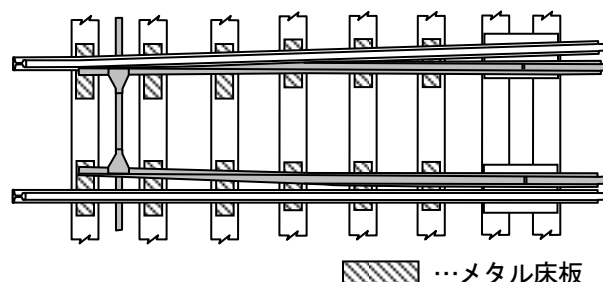


図-22 メタル床板設置箇所

表-6 測定結果

	転換トルク (N・m)		換算転換力 (kN)	
	N→R	R→N	N→R	R→N
敷設前	5.3	5.0	1.56	1.47
敷設後	4.5	5.3	1.32	1.56



図-23 敷設後の外観状態

(2019. 4. 5 受付)

STUDY FOR EXPANDING APPLICATION OF MAINTENANCE-FREE AT SWITCH PLATE

Takanobu HIGASHIHARA

Switch plate is one of the important switch-material which assist smooth turning of tongue rail for guiding vehicle properly. On the other hand, in JR-West, station operators execute putting grease on and cleaning up switch plate on train interval. It is important for JR-West to leave putting grease on and cleaning up off to improve the safety for them. Although JR-West has made “roller-bearing switch plate” be standard to leave putting grease on and clearing up switch plate off, it is impossible to install it in some switch types due to the figure between tongue rail and other materials. Therefore, JR-West has considered to modify the figure of switch plate.