

材質の変更と新熱処理条件等による 耐摩耗トングレールの開発

吉田 眞* 及川 祐也* 篠原 利昭*
大場 久良* 兼松 義一** 佐藤 幸雄**

Development of New Design Tongue Rail Adopting New Arrangement of Heat Treatment and New Material of Improved Wear Resistance

Makoto YOSHIDA Yuya OIKAWA Toshiaki SHINOHARA
Hisayoshi Ooba Yoshikazu KANEMATU Yukio SATOH

In both of standard gauge Shinkansen and meter gauge lines, tongue rails of branching side of turnout on which a lot of trains pass through must be replaced very often due to heavy wear. Hence, from the viewpoint of reducing maintenance cost of tongue rail by extending its service life, it is very important to develop a new tongue rail which has improved wear resistance. The new tongue rail was manufactured by adopting new material, new heat treatment and improved profile. This paper describes the details of newly developed tongue rail of improved wear resistance including its design and the results for vehicle running tests carried out in a revenue line of meter gauge.

キーワード：分岐器，トングレール，摩耗，熱処理，断面形状

1. はじめに

在来線，新幹線を問わず，分岐線側の通過車両が多いポイント部ではトングレールの摩耗が著しく，交換周期が非常に短いのが実態である。このため，材料コスト削減の観点からも，摩耗の進行が遅く交換周期の延伸が可能な新たなトングレールの開発が要望されている。しかし，新たなトングレールの開発にあたり，レールの材質および断面形状の変更は，走行安全上極めて高い信頼性が要求されることから，これまで鉄道事業者および分岐器メーカーでは積極的に行われていないのが現状である。

また，トングレールの摩耗について，これまで列車の通過方向別による摩耗の相違やトングレールのどの部分の摩耗の進みが早いかなどについては把握されていなかった。そこで，在来線用分岐器においてトングレールの摩耗測定を実施し，摩耗の発生状況の実態および傾向を把握した。その後，摩耗の実態調査結果を基に，保守コストの低減を目指し摩耗特性に優れた耐摩耗トングレールを開発した。以下に，トングレールの摩耗の実態調査結果，開発した耐摩耗トングレールの特徴および営業線における試験敷設の結果について述べる。

2. トングレールの摩耗の実態調査

在来線に敷設されているトングレールについて，摩耗の実態調査を行った。

2.1 車両通過方向別の摩耗の実態

分岐器ポイント部を通過する車両の進行方向別のトングレール摩耗の実態を把握するために，在来線の営業線に敷設されているトングレールについて摩耗測定を行った。摩耗測定は，過去の敷設実績から摩耗の進みが比較的速い50kgN レール用101形式12番片開き分岐器用ポイントの分岐線用とし，摩耗対策としてスラッククエンチ式熱処理(SQ処理)を施したトングレール(以下，「現行品トングレール」と称する)を対象に実施した。また，対象とした分岐器が敷設されている線区の年間の通過トン数は2000万通トンであるが，分岐線側を通過する車両の通過トン数は把握されていない。表1に摩耗測定を行った8本のトングレールの概要を示す。

トングレールの摩耗量は，トングレール先端からの距離300mm～1500mm間を100mmピッチで断面形状を測定し，測定された断面形状と同位置の設計断面形状を比較して通常管理している位置の摩耗量を把握した。トングレールの断面形状測定にはGreenwood Engineering社製のレール断面形状測定器「Mini Prof」を用いた。図1にトングレールの摩耗測定状況を示す。また，図2に摩

* 軌道技術研究部（軌道構造）

** 材料技術研究部（摩擦材料）

特集：軌道技術

表1 摩耗測定対象トングレールの概要

記号	進行方向	列車種別	経過年数
A	背向のみ	貨物	3ヶ月
B	背向のみ	旅客・貨物	1年1ヶ月
C	背向のみ	旅客・貨物	5年1ヶ月
D	背向のみ	旅客・貨物	3年1ヶ月
E	対向のみ	旅客・貨物	3年1ヶ月
F	対向のみ	旅客・貨物	9年3ヶ月
G	対向のみ	旅客・貨物	8年2ヶ月
H	対向のみ	旅客・貨物	8年1ヶ月

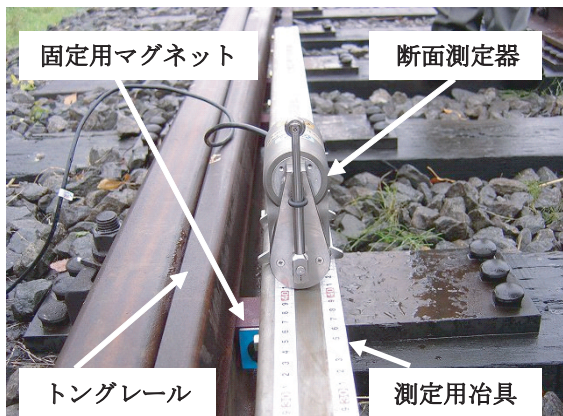


図1 トングレール摩耗測定状況

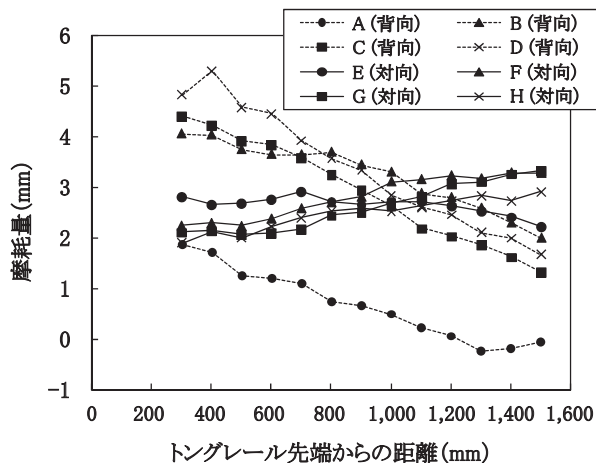


図2 摩耗測定位置別の摩耗量

摩耗測定位置別の摩耗量を示す。

図2より、背向通過の場合には、トングレール先端から300mm～400mmの位置で摩耗量が最も大きく、後端側の位置ほど摩耗量は小さくなる傾向が認められる。貨物列車のみ通過するトングレールAと旅客・貨物列車の両方が通過する（ただし、旅客列車の方が多）トングレールB～Dを比較すると、敷設後の経過年数の差による摩耗量の大小はあるものの測定位置ごとの摩耗の傾向に大きな差は見られない。また、対向通過の場合には、背向通過と比較してトングレール先端部と後端側の摩耗量

に大きな差は認められない。

図2の結果からは摩耗の進行状況の把握はできないが、一般的にトングレール先端部の摩耗によりトングレールの交換が行われていることと、背向通過の場合にトングレール先端部と後端側の摩耗量の差が大きいことから背向通過の分岐線側トングレールに対し、さらに詳しい摩耗実態の調査を行った。

2.2 背向通過トングレールの摩耗の実態

背向通過の分岐線側トングレールの摩耗の実態調査として、表1に示したトングレールAについて、現行品トングレールに交換した直後からの摩耗量の把握を行った。

図3に摩耗測定位置別の摩耗量を、図4にトングレール前端部測定断面における摩耗量の推移を示す。なお、図3中の摩耗量が負となっているのは、断面形状測定時の誤差および設計断面形状との重ね合わせ時の誤差によるものである。

図3より、トングレール先端から300mm～400mmの位置の摩耗量が最も大きく、交換後90日経過時点で1.3～1.6mmに達した。測定位置がトングレール後端側になるほど摩耗量は小さくなる傾向が認められた。また、トングレール先端から1,100mm～3,000mmの範囲では顕著な摩耗は認められなかった。

図4より、各測点ともトングレール交換後から21日経過の期間に摩耗が急進的に進行し、その後の摩耗の進行は緩やかとなる2段階の摩耗進行の傾向が認められた。特に摩耗量が大きかった先端から300mmの位置での摩耗の進行状況を調べると、交換後から21日経過時点までの摩耗の進行速度は0.0554mm/日、21日から90日経過までは0.0084mm/日と算定され、21日経過までの摩耗の進行速度がそれ以降の約7倍であった。

以上の結果より、トングレールの交換周期の延伸を図るためには、先端部の摩耗を抑制することが有効であり、特に交換直後の初期段階の摩耗抑制が必要である。

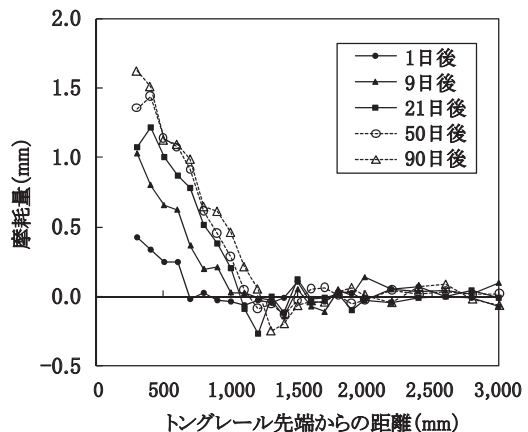


図3 摩耗測定位置別の摩耗量

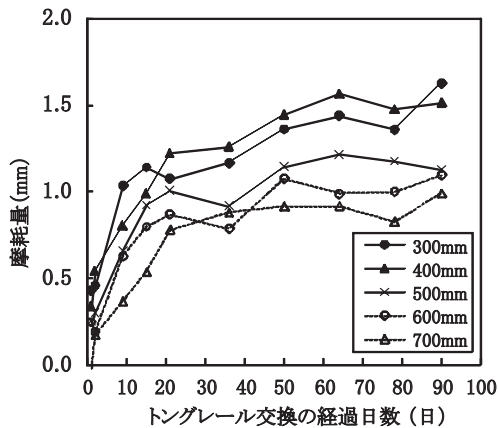


図4 摩耗量の推移

図5に先端から300mmの位置における交換後90日経過の摩耗形状を示す。なお、図中には調査対象ポイント部を通過する車両に用いられている修正円弧踏面車輪の設計断面形状も併せて示す。

図5より、修正円弧踏面車輪のフランジ形状とフローを含めたトングレールの摩耗形状が接触面ではほぼ一致している。また、トングレールの塑性変形によりレール上方および下方にフローが発生していることが確認された。

新品形状と交換後90日経過した摩耗形状を比較すると、フロー部分を除いて新品形状より減少した部分の断面積が約7.7mm²、フロー部分の断面積が約2.6mm²あり、フロー部分の断面積は減少した断面積の約34%におよんでいる。これらのことから、図4に示したトングレールの摩耗量の推移について、トングレール交換後から21日経過までの初期段階では、フローを伴う急激な摩耗状態となり、その後は車輪フランジとの接触面積の増加に伴い接触面の圧力が低下したため塑性変形が抑制され、摩耗の進行速度が緩やかになったと推定される。

以上より、トングレール先端部の摩耗の抑制には初期段階の塑性変形の抑制および車輪フランジとの接触面積の増加による接触圧力の低下が有効であると考えられる。

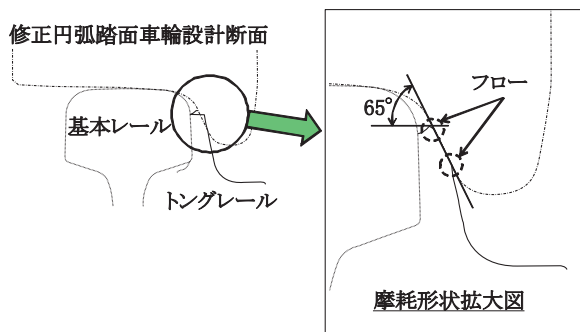


図5 トングレール先端部摩耗形状
(先端から300mm, 交換後90日経過時)

3. 摩耗特性に優れたトングレールの検討

営業線におけるトングレールの摩耗実態の把握を基に、耐摩耗性を向上したトングレール（以下、「耐摩耗トングレール」と称する）について検討を行った。

3.1 トングレールの材質

一般的にトングレール先端部の摩耗を抑制するためには、トングレール先端部の硬さを高くすることが有効と考えられる。そこで、トングレールの耐摩耗性の向上を目指した熱処理方法について検討を行った。

熱処理により材料の硬さを増加させると、特に硬さの高い領域では硬さの増加に反して材料の靱性が低下する傾向がある。そのため、トングレール先端部の車輪接触条件の厳しい領域については、ゲージコーナ（以下、「GC」と称する）面の表層部は耐摩耗性を向上するために硬さを高め、内部については靱性を確保することが求められる。そこで、耐摩耗トングレールの素材については、これまで摩耗対策としてSQ処理トングレールに用いられてきたNHHレール（旧熱処理レール）素材と同等の現用HC材から、熱処理特性を考慮してHH340レール（現用熱処理レール）素材に変更することにした。

このHH340素材を用いて製造されたトングレールを試験材として、室内試験により種々の条件で熱処理を実施した。熱処理後の試験材の断面硬さ分布および金属組織を確認することにより、表層硬さを高めて内部の靱性を確保するための熱処理条件を抽出した。さらに、抽出した条件で熱処理を行ったレールについて、JISの熱処理レールに規定された材料試験を実施し、問題のないことを確認した。

3.2 新規設定条件による熱処理性能の確認

HH340素材のレールに対する熱処理の新規設定条件では、被熱処理材の断面形状（図6）、炉内温度、送り速度および冷却速度などを調整し、頭部表層の硬さを必要な範囲で増加させるとともに、加熱領域の境界部（熱影響部）の位置をレール断面形状が複雑に変化する領域を避け、上首部よりやや下側の腹部位置になるように調整を行った。

図7に、トングレールの先端から220mm位置における現行SQ処理および新規設定条件で熱処理した頭部断面のマクロ組織を示す。マクロ組織は、観察対象とする試験片を鏡面研磨後、3%硝酸アルコール腐食溶液（ナイタル）を用いて現出したものである。現行SQ処理および新規設定条件で熱処理した試験材の頭部は、焼きムラなどの不具合は認められない。また、新規設定条件で熱処理した試験材の熱処理パターンは、上首部よりやや下側の腹部に熱影響部が存在することが認められる。

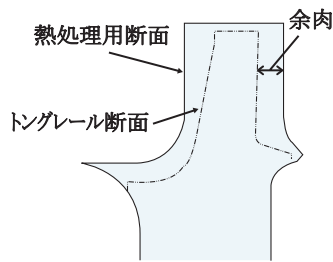
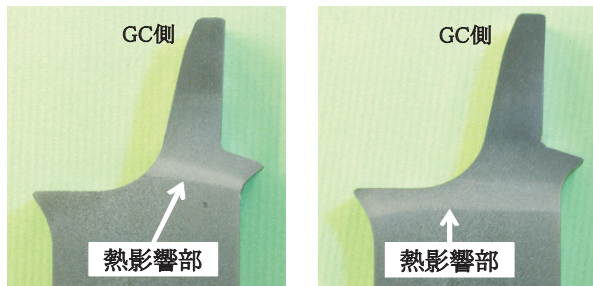


図6 被熱処理材の断面形状



(a) 現行SQ処理 (b) 新規設定熱処理条件

図7 マクロ組織の比較

次に、マクロ組織観察面の硬さ分布を測定した。なお、硬さ測定にあたってはマクロ組織現出面を再度鏡面研磨した。硬さ測定にはビッカース硬さ試験機を用い、負荷荷重は0.98Nとした。測定位置は、トングレール頭部幅の中心を基準として、反GC面側へ2mm, 3mm, 5mm, 7mm位置、GC面側2mm, 3mm, 5mm, 6.5mm, 8mm, 10mm, 13mm, 20mm, 25mm位置とし、幅方向中心位置のトングレール頭頂面を垂直方向基準としてレール底部側へ1mm, 3mm, 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mm, 35mm, 40mm, 45mm位置の各交点とした。

図8に硬さ分布を示す。図中の濃淡表示は硬さを示し、淡方向は軟らかく、濃方向は硬いことを意味する。

新規設定条件による熱処理後の硬さ分布は、所期の目標どおりに頭部表層の硬さが高く、内部では靱性を確保

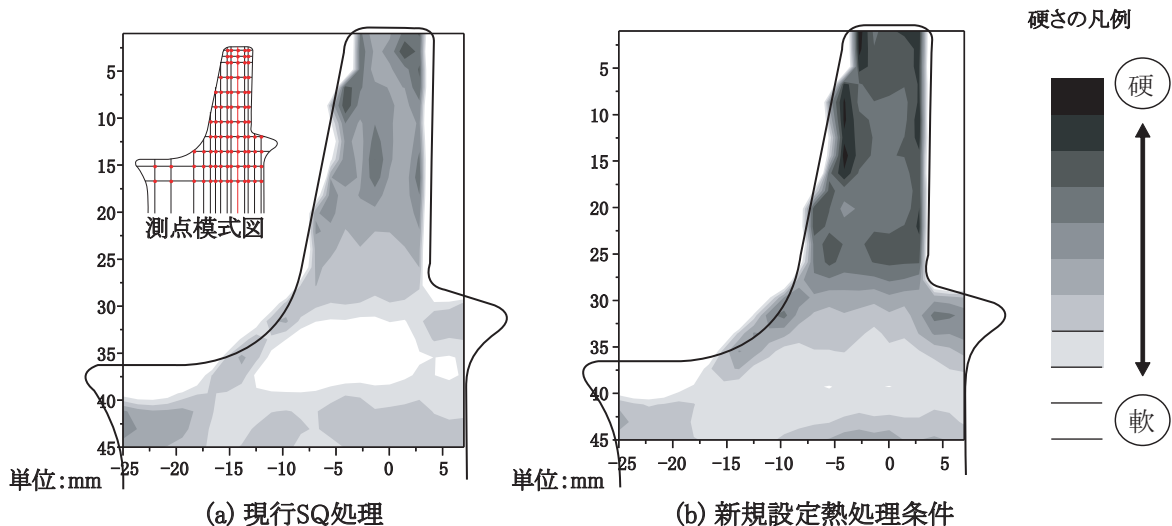


図8 硬さ分布

するために硬さが抑えられていることが認められる。

3.3 トングレール先端部の形状

図4より、調査したポイント部では交換後から21日以降の摩耗速度がそれ以前に比べ低下する傾向が認められた。また、図5より、ポイント部を通過する車両に用いられている車輪フランジ形状とフローを含めたトングレール先端部の摩耗形状が接触面ではほぼ一致していることから、通過する車両に用いられている車輪フランジ形状を考慮し、新品の状態から車輪フランジとトングレールとの接触面積を増加させ接触圧力が低下する断面形状に改良を行う。

以下では、トングレールは50kgNレール用分岐器(101形式)¹⁾用のトングレール、車輪フランジ形状は修正円弧踏面車輪の形状について検討する。

まず、トングレールの断面形状の改良は、車輪フランジとの接触面積を増加させるためにGC側の先端形状にフランジ角度と同じ65°の勾配を有する断面形状とする。

分岐器の設計において線形計算を行う場合は軌間線(基本レール頭面より14mm下方の位置)により行っており、軌間および通りの軌道変位の検出においても軌間線の位置で行っている。このため、これまでの分岐器の設計および軌道検出への支障を避けるために、65°の勾配は軌間線の位置から上方とする。よって、改良断面形状の開始位置はトングレールの高さが軌間線に達した位置となる。表2に各番数の分岐器に用いられるトングレールにおける改良断面形状の開始位置を示す。

次に、改良を行う範囲について検討を行う。図3に示した測定結果より、調査を行った12番分岐器用ポイント部では、先端から300mm~1,000mmの範囲で摩耗が顕著であったことから、断面の改良はトングレール先端から1,000mmの範囲とする。

表2 改良断面形状の開始位置 (単位: mm)

番数	改良断面形状の開始位置	
	トングレール先端からの寸法	頭部幅
8	220	5.9
10	250	5.9
12	280	6.0
14	310	6.0
16	340	6.0
20	400	6.0

表3 改良断面形状の基準位置 (単位: mm)

番数	改良断面形状の基準位置	
	トングレール先端からの寸法	頭部幅
8	705	11.7
10	850	11.7
12	1,000	11.7
14	1,140	11.7
16	1,290	11.7
20	1,570	11.7

しかし、トングレールの長さは分岐器の番数ごとに異なるため、12番分岐器用トングレールの先端から1,000mmの頭部幅と同じ頭部幅の位置を基準位置とし、12番分岐器以外の番数の分岐器用トングレールに対する改良範囲とする。よって、前述の開始位置より基準位置までが軌間線より上方に65°の勾配を有する断面形状となる。

表3に各番数の分岐器に用いられるトングレールにおける改良断面の基準位置を示す。改良断面形状の基準位置より後方については、最小番数である8番のトングレールを基準に、基準位置の頭部削り幅1.75mmを約1/400の削り勾配で現状のトングレール断面へ取りつけることとし、この位置における頭部幅の位置を終了位置として8番分岐器以外の番数の分岐器用トングレールに適用する。

表4に各番数の分岐器に用いられるトングレールにおける改良断面の終了位置を示す。また、図9に12番分岐器用トングレールを例として、改良断面の加工詳細図を示す。

表4 改良断面形状の終了位置 (単位: mm)

番数	終了位置の頭部幅	基準位置から終了位置までの寸法	基準位置から終了位置までのこう配
8	24	720	1 / 411
10	24	900	1 / 514
12	24	1,080	1 / 617
14	24	1,260	1 / 720
16	24	1,440	1 / 823
20	24	1,800	1 / 1,029

4. 営業線における試験敷設

上記の検討結果に基づいて分岐線側の耐摩耗トングレールを試作し、在来線の営業線において試験敷設を行った(図10)。試験敷設を行った耐摩耗トングレールに対し、先端からの各位置における摩耗量および発生したフロー高さを調査した。なお、試験敷設を行った分岐器は、表1に示したトングレールAの分岐器であり、背向通過トングレールの摩耗実態の調査を行ったトングレールと同じ箇所である。

試作した耐摩耗トングレールの耐摩耗性を把握するため、摩耗量の大きい先端から300mmの位置と先端から600mmの位置における摩耗量の推移を図4に示した現行品トングレールの摩耗量と比較して図11に示す。

図11より、耐摩耗トングレールは先端から300mmおよび600mmの位置の双方において現行品トングレールよりも摩耗量が小さく、耐摩耗性が向上していることが認められる。

特に、摩耗量が最も大きい先端から300mmの位置における摩耗量について、現行品トングレールが90日経過時点で約1.6mmであるのに対し、耐摩耗トングレールは113日経過時点で約1.1mmであり、3週間程の測定日の違いがあるにもかかわらず7割程度に摩耗量が抑えられていた。ま

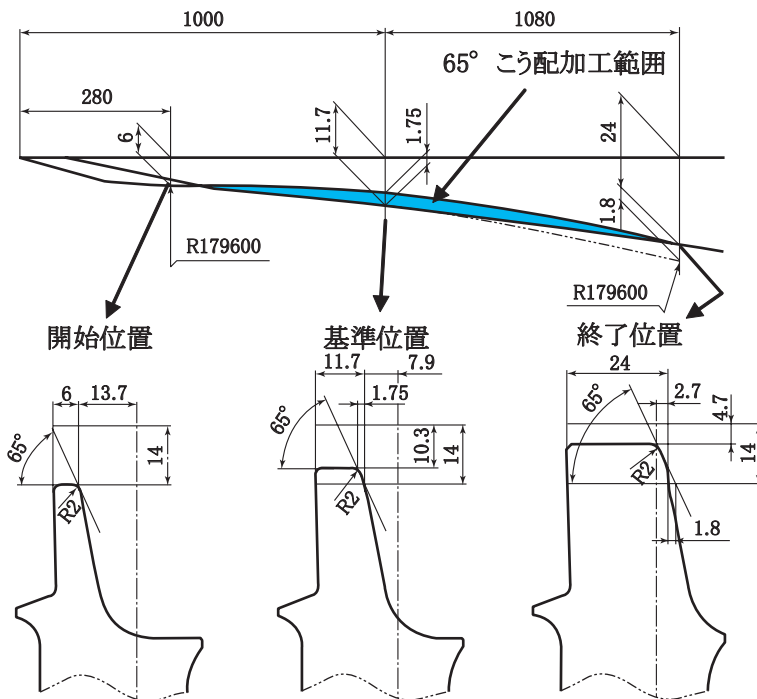


図9 改良断面形状の加工詳細図(12番分岐器用) 単位: mm

特集：軌道技術



図10 試験敷設の状況

た、耐摩耗トングレールの113日経過時点の摩耗量と同程度の摩耗量となる現行品トングレールの敷設日数を比較すると、その差が80日程度であり、トングレールの交換周期の延伸を図ることができると考ええる。

図12にトングレール先端から300mm、600mmの位置における発生フロー高さの推移を示す。図12より、耐摩耗トングレールと現行品トングレールとを比較すると初期段階の発生フローが小さいことが認められ、フローおよびフローの剥離に起因する水平裂および先端部の欠損

を抑えることができると考えられる。

5. おわりに

トングレールは、列車の進行方向を変更する機能をする分岐器の中核をなす非常に重要な軌道部材であり、限度値を超える摩耗の進行を見逃したり損傷が発生したことに気付かないまま使用し続ければ車両の脱線を生じさせかねない。そのため、鉄道事業者においては損傷・摩耗による交換基準に達する前に計画的にトングレールの交換を行っているのが実情である。開発した耐摩耗トングレールは、先端部の摩耗を抑制することで摩耗による交換周期の延伸を図ることはもとより、フローの発生に伴う水平裂および先端部の欠損を抑え、損傷による交換周期の延伸も期待でき、その結果、保守コストの低減を図ることができる考える。

文 献

- 1) 日本国有鉄道制定：Nレール用メートルネジ使用分岐器類標準設計図面集（1）、日本鉄道施設協会、1980.3

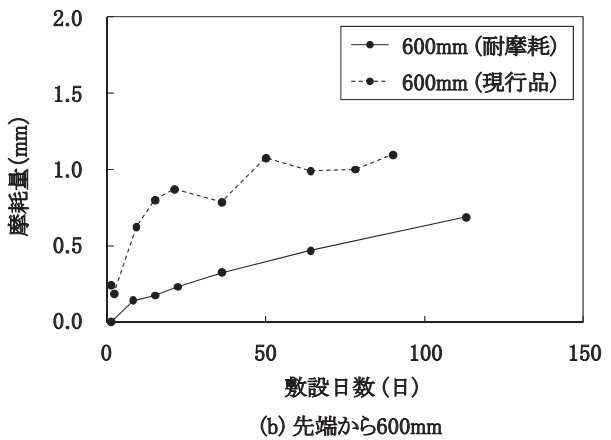
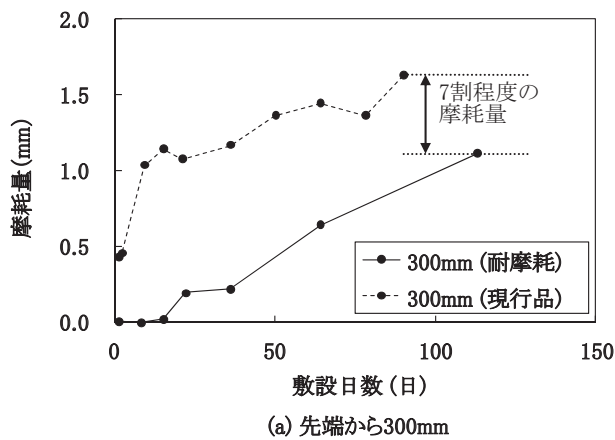


図11 耐摩耗トングレールの摩耗量の推移

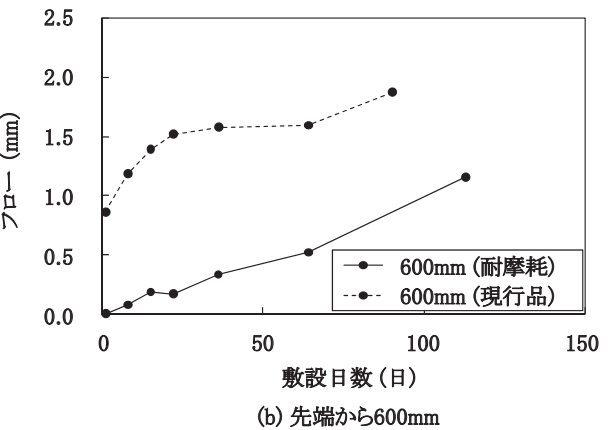
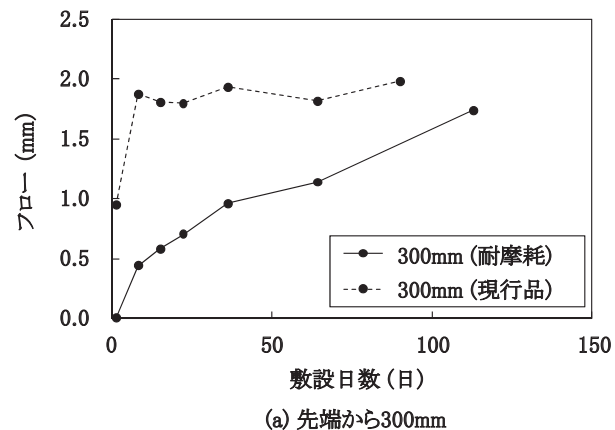


図12 耐摩耗トングレールのフロー高さの推移