

長寿命化に向けた新形状の分岐器用レールの開発

技術開発部 理事 三輪 昌弘
 技術開発部 軌道技術チーム 軌道構造技術グループ 主任研究員 黒田 祥太

1 はじめに

列車の進行方向を切り換える設備である分岐器には、「トングレール」と呼ばれる特殊なレールが使用されています（図 1）。東海道新幹線では、車両基地等を含めて約 500 台の分岐器を設置しています。

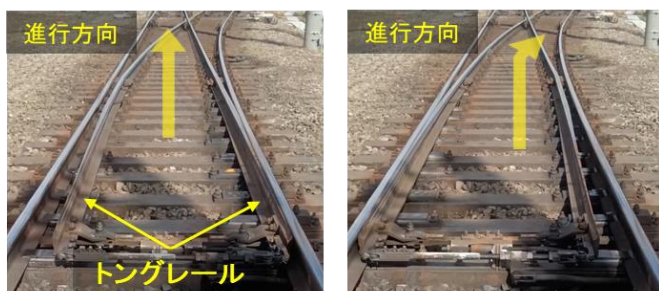


図 1 分岐器の全景とトングレール

本線の一般レールの寿命が約 15 年であるのに対し、トングレールの寿命は 2 年程度以下と短く、短期間で取り替える必要があります。極端に使用頻度が高い東京駅構内の例では、トングレールの最短寿命は約 3 ヶ月です。この取替作業には、多大な労働力（夜間作業）と費用を要しています。

このような背景の下、近い将来の労働力不足への対応と、鉄道運営の低コスト化を目的に、長寿命化に向けた新形状のトングレールを開発しました。

車両基地内での実証試験により、従来のトングレールと比べて約 2 倍の寿命が見込まれる結果を得ました。なお、形状の改良のみによってトングレールの取替周期を大幅に延伸する手法は、世界初です。

形状改良以外での長寿命化は、レール鋼の硬度を高める方法が一般的で、既に国内外で広く実用化されています。ただし、この方法には、レールが脆くなったり、車

輪の摩耗を増加させたりする短所があります。なお、今回の車両基地内の試験では、従来と同一硬度の熱処理レールを使用しています。

2 従来のトングレールや分岐器の課題

トングレールは、図 1 で示したように一般のレールと比べて頭部が薄く複雑な形状であるため、摩耗やき裂（図 2）が発生しやすい課題があります。さらに、分岐器は一般軌道のように緩和曲線を設けることが困難なため、車両が直線から突然曲線に入る状況になり、衝撃的な荷重を受けます。このように、分岐器は他と比べて安全に関するリスクが高い線路設備でもあります。

安全最優先を大前提に今回の開発を進めるには、次に述べる高度な技術力が不可欠です。

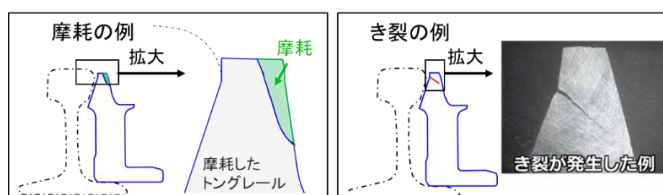


図 2 摩耗とき裂の例（青で示したのがトングレール）

（※ 写真のき裂状態でも直ちに安全を支障しない）

3 脱線防止の技術力研鑽と技術開発プロセスへの反映

本開発を担当した技術開発部では、2002 年の発足時から 20 年以上の長きにわたり、車両と保線それぞれの系統に属する技術者が協働して、脱線防止に関する技術力を研鑽してきました。このきっかけは、2000 年に発生した地下鉄日比谷線の脱線衝突事故（死者 5 名、負傷者 63 名）です。この事故では、要因の 1 つにレール形状の不

適切な保守管理が指摘され¹⁾、それまで行ってきた、一般レールのき裂発生を予防し、寿命を延ばすための削正作業¹⁾にも制限が生ずるなどの課題が生じました²⁾。

私たちは、これ以外の同種事故を含めた他山の石について、大学や他の研究機関等との技術交流も通じ、徹底的に研究しました。このような、脱線防止に対する長年の粘り強い取り組みがなければ、以下に述べる成果は得られませんでした。

4 新形状のトングレールの特徴

新形状のトングレールには、大きく分けて3つの特徴(図3)があります。

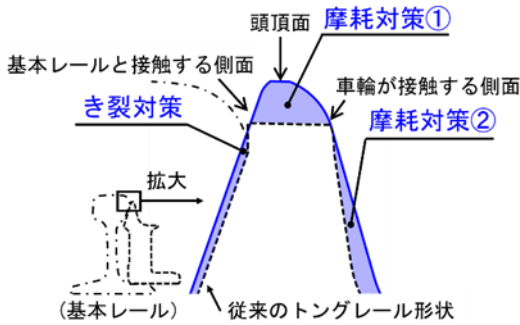


図3 形状の比較 (青い部分が変更箇所)

(1) 摩耗対策①：ポイント先端部分の頭頂面を高くする(図4)

まず、この開発で利用した、鉄道車両が曲線を曲がるしくみを紹介します。車輪を進行方向に見ると、踏面の内側の方が見かけの直径が大きくなっています。一般の曲線(図4(a))では車輪が外側に寄り、直径が大きい箇所です。すると、車輪1回転あたりで進む距離が曲線外側で増え、横圧²⁾が小さい状態で曲線をスムーズに曲ることができます。

一方、分岐器においては、従来の形状(図4(b))では基本レールと車輪の間にトングレールが存在するため、直径差が生じず、大きな横圧が発生していました。

新形状(図4(c))では、トングレールの頭頂面を高くすることでトングレールと接触させて直径差を発生させ、横圧を小さくすることで摩耗の進行を遅らせました【特許取得済み】。横圧を小さくしたことで、同時に脱線に対する安全性も向上しています。

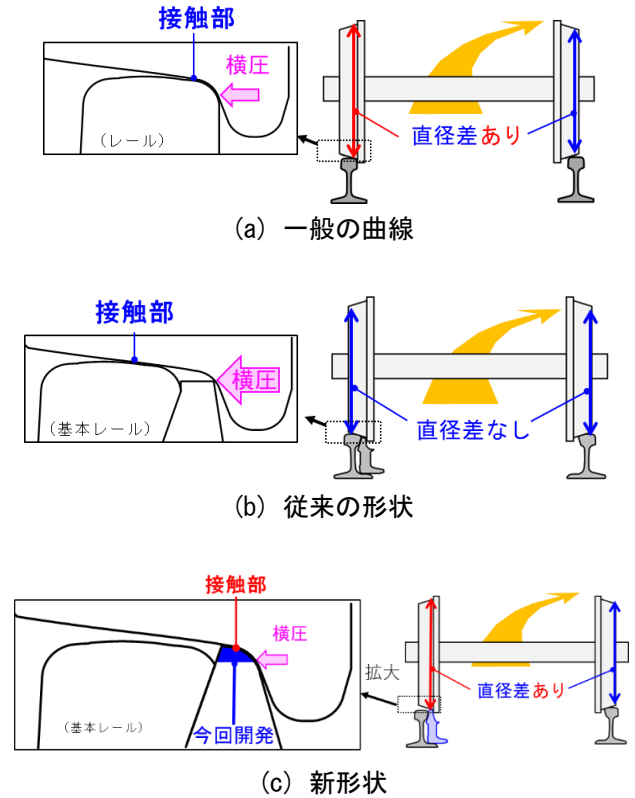


図4 左右車輪の直径差を利用した横圧低減

ところで、従来の考え方では、新形状(図4(c))のようなレール幅が薄い構造では、車輪を支えるための強度が足りないとされていました。図4(c)で接触部と示した箇所には、動的な成分も含めると、車輪から垂直方向に100kN(約10トン)を超える荷重が作用する場合があります。

そこで、今回の開発を実現するために、この懸念に対する安全性を検証しました。具体的には、有限要素法解析(図5)と小牧研究施設における実物載荷試験(図6)によって、今回の改良でも強度に問題がないことを実証しました。

¹ レール表面を0.1~0.3mm程度削り疲労層を除去

² 車輪がレールを横方向に押す力

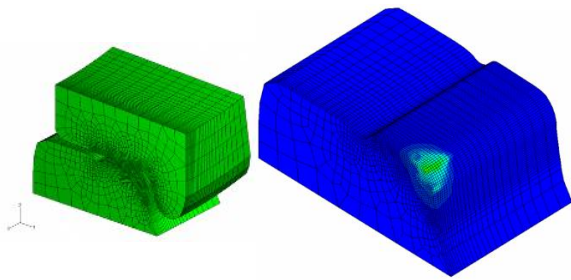


図5 有限要素法 (FEM) 解析の例



図6 実物载荷試験の例

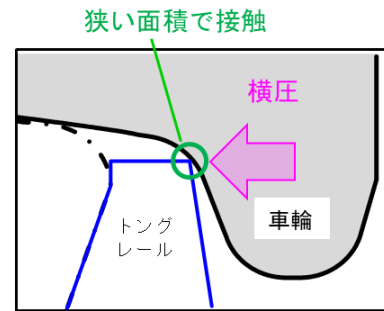
(2) 摩耗対策②：車輪が接触する側面の形状を車輪形状に近づける (図7)

車輪と接触する部分の面積を大きくすることで横圧を分散し、摩耗の進行を遅らせました【特許出願済】。

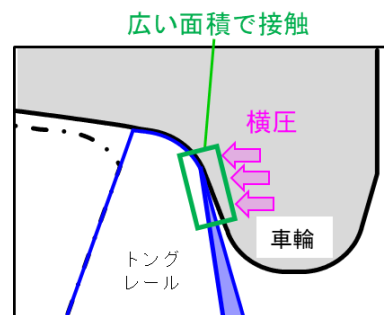
接触面積を増やして力を分散することで、摩耗の進行を遅くする方法は、多くの人が容易に考えつくと思います。今回の改良では、接触面積を大きくするために、レール側面の傾きを緩くしています (図7(b))。この改良を実施するためにも、乗り越えなければならない、かなり高い安全性の壁がありました。

レールや車輪の側面の傾きを緩くすると、一般的には脱線しやすくなります。この課題を解決するため、新幹線で使用中のレールや車輪の形状を数千ケースに対して調査し、分析しました。その結果、トンブレールは新品の角度 82 度から、車輪は新品の 70 度から、それぞれが摩耗して同じ約 73 度に収束し、安定状態になることを解明しました。

調査結果の一例として、摩耗が進行したレール頭側面の角度の状態を図8に示します。分岐器の種類別だけではなく、一般軌道の曲線の半径とも無関係で、あらゆるレール側面の摩耗角度は約 73 度に収束して安定状態になります。



(a) 従来の形状



(b) 新形状

図7 接触面積の増大による横圧低減

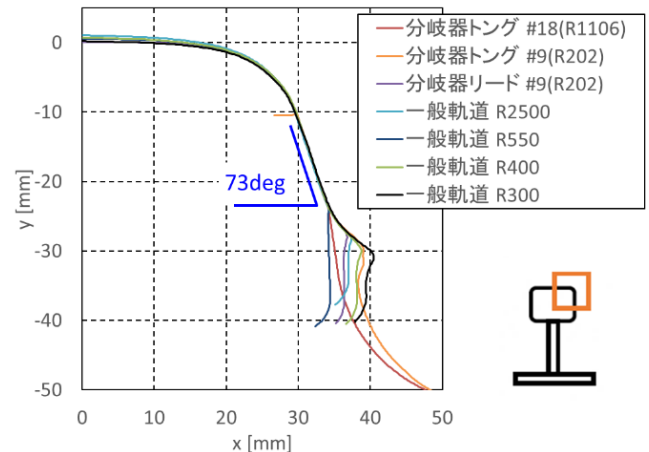


図8 レール頭側面の摩耗角度の調査結果例

これらの結果を基に、理論計算やシミュレーション解析によって、レール側面の角度が 82 度から 73 度までの間であれば、脱線に対する安全性に影響しないことを証明しました。この結果から、安定状態の約 73 度に対してレールの製造誤差や設置誤差を加味し、トンブレールの新製時の角度を 75 度に決定しました。

この成果は、軌道 (レール) と車両 (車輪) の異なる

分野の技術者が交流を重ねる中で、インスピレーションを得て生み出されました。

(3) き裂対策：応力集中の要因を無くすとともに厚みを増す(図9)

基本レールと接触する側面(図3)を直線状にすることで、応力集中の要因(図9(a)の「折れ点」)を無くし、かつ摩耗対策②とあわせて厚みを増すことでレールの強度を高め、き裂の発生を抑制しました。

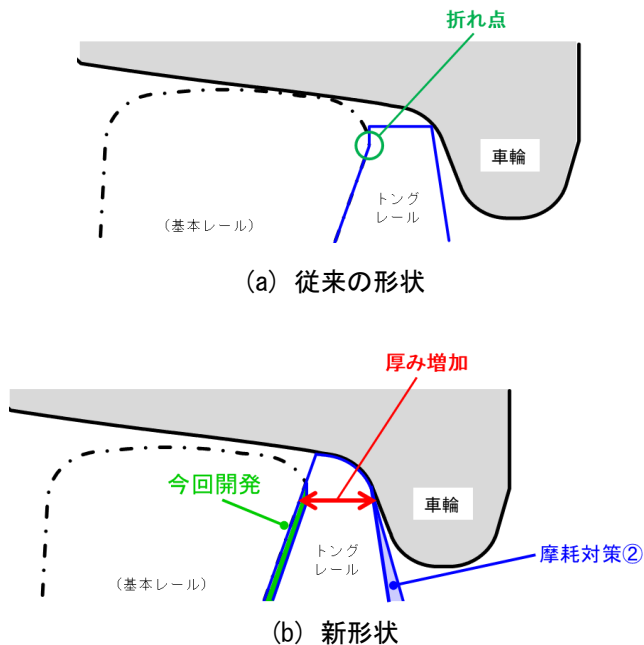


図9 応力集中の要因排除と厚みの増大によるき裂対策

この改良で乗り越える壁は、折れ点を無くして直線状の側面形状に変更すること(図9(b))への安全性の説明でした。従来の形状で折れ点が設けられていた理由を、文献調査やできる限り多くの分岐器設計の実務経験者に問い合わせましたが、確かな回答は得られませんでした。推定理由を含めて得られた回答のうち、特に安全に関する事項に対するシミュレーション解析等による検証を行い、問題がないとの結論を得ました。なお、折れ点がないトングレールは、ヨーロッパでは一般的に使用されています。また、厚みを増す改良は、この開発より前の

3 レールの温度伸縮を吸収する設備で、分岐器同様のトング

時点で、一部の分岐器での使用実績がありました。

5 おわりに

車両基地の実証試験で良好な結果が得られたのを受け、2026年1月から本線の分岐器での実証試験を開始するとともに、伸縮継目³への導入計画を進めています。また、在来線への導入も検討中です。

本件は足掛け20年にわたる研究と技術開発を経て、鉄道の世界の固定観念にとらわれることなく、最も大事な「安全」の確保を大前提に慎重に検証を繰り返し、自由な発想で粘り強く取り組んだことの成果です。今後も、安全に慎重を期しながら大胆な発想で技術開発に取り組み、当社の業務改革を推進していきます。

参考文献

- 1) 国土交通省:帝都高速度交通営団日比谷線における列車脱線事故について、
<https://www.mlit.go.jp/common/000026466.pdf>
- 2) 土井久代、ほか:レール削正が低速時車輪乗り上がりを与える影響評価、鉄道総研報告、第26巻 第8号、2012.



三輪 昌弘
理事
博士(工学)、
日本鉄道接触力学 ほか 会員

「何となく不安」ではなく「正しく恐れる」ことで、安全の確保を大前提とした技術のブレークスルーがあると考えています。



黒田 祥太
軌道技術チーム
軌道構造技術グループ
土木学会員

今後も一つでも多くの現場課題の解決に貢献できるよう、技術力の向上に努めてまいります。

レールを使用