



特集記事・5

安全性確保のための構造材料寿命評価・予測技術の最前線

鉄道における車輪とレールの損傷と防止策

Damages and Measures of Wheels and Rails in Railway

(財) 鉄道総合技術研究所 車両構造技術研究部
部長

同上 軌道技術研究部
部長

石塚弘道 Hiromichi Ishizuka

石田 誠 Makoto Ishida

1 はじめに

浮上式鉄道や新交通システムおよび一部の地下鉄道を除くほとんど全ての鉄道において、車輪とレールは、車両にとって最も基本的かつ重要な走行案内機構である。車両重量を支持しながら車輪とレールとの間に作用するレール方向の接線力によって車両の駆動あるいは制動（ブレーキ）がなされ、また、車輪がレールに案内されることによって、車両は目的地まで安全に走行することができる。

このような車輪とレールにおいては、転がり接触に伴う疲労および摩擦の問題は避けることができない。車輪とレールの間のトライボロジーに関しては、双方のメンテナンス上の問題のみならず走行安全性や騒音環境問題とも深く関係し、現象解明のための研究と対策のための技術開発の長い歴史がある。本稿では、車輪とレールのそれぞれについて供用中における損傷の実例と対策を紹介し、如何にしてそれらの安全性をまた信頼性を維持しているかを述べることにする。

2 車輪

2.1 種類と材料

我が国で使用されている車輪の大部分は炭素量0.6～0.75%の炭素鋼を素材とした一体圧延車輪であるが、熱処理によって大きく3種類に分類される。圧延後は調整冷却のみで踏面の熱処理を行っていないアズロール車輪（AR車輪）、踏面に焼入れ焼戻しの熱処理を行う際、焼入れ時の水冷を間欠的に行い金属組織をパーライトとしたスラッククエンチ車輪（SQ車輪）、連続水冷により金属組織をマルテンサイトとしたリムクエンチ車輪（RQ車輪）である。

AR車輪は従来、鋳鉄制輪子を使用する客貨車用として使用されてきたが、貨車に使用される制輪子が合成制輪子に変更されるに伴い、また、後述の割損対策の点（圧縮残留応力

が付与されない）からも、現在では製造されなくなった。一般的には、SQ車輪は熱感受性が低いため踏面ブレーキ使用車両に、RQ車輪は踏面硬さが高いため摩耗量は少なくなる傾向にあるが、ブレーキ熱によりき裂が発生しやすい傾向にあるため踏面ブレーキ車両には使用されない。

2.2 車輪が受ける負荷

図1に、車輪がレール上を転動して走行する際に各部が受ける負荷と、その負荷に耐えるために要求される材料特性を示す。踏面を含むリム部は輪重により高いヘルツ圧を発生しつつレール上を転走し、駆動あるいは制動に伴うレール方向の接線力および曲線あるいはポイント通過時にはまくらぎ方向の力（横圧）を受ける。したがって、リム部には高い転がり疲労強度が必要であり、レールと接触する踏面およびフランジのど部には耐摩耗性が要求される。さらに、踏面ブレーキを採用している車輪にあつては、リム部はブレーキによる加

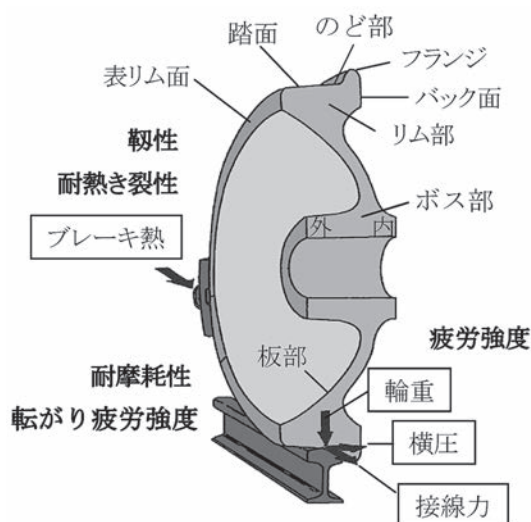


図1 車輪に対する負荷と材料特性

熱・冷却の繰り返しにより熱疲労を受けてき裂（熱き裂）が発生し、このき裂から割損に至る可能性があるため、耐熱き裂性および耐割損性すなわち靱性も要求される。板部は黒皮状態、すなわち焼ならし後のショットブラストされた状態で使用されることが多く、輪重および横圧が車輪の転走に伴う繰り返し応力として負荷される。また、踏面ブレーキを採用している車輪にあっては、ブレーキ熱により発生する熱応力が平均応力として作用する。

2.3 損傷事例

2.3.1 フラット

図2に示すような車輪踏面のフラットは、ブレーキ時に車輪／レール間の粘着力とブレーキ力のバランスが崩れ、ブレーキ力が過大となって車輪が滑走し、特に車輪固着に至った際にしばしば発生する現象である。これを車輪の材質的な面から見れば、フラットとは、車輪滑走時のレールとの摩擦熱により引き起こされる一種の焼入れ焼戻しを伴う局所的な熱変質¹⁾と捉えることができる。車輪フラットは、騒音・振動の原因となり乗り心地を損なうとともに車両内外の環境を悪化させる。また、熱変質層には小さなき裂を伴うことが多く、このき裂が転がり疲労によって図3に示すような踏面の

はく離に至る¹⁾こともあり、これによって一層、騒音・振動の発生を促す。

フラットの発生メカニズムは、考えられる発生要因が多く^{2,3)}、また、それらが複雑に複合するため、必ずしも明確になっているとは言えないが、ブレーキ時における車輪／レール間の粘着力を低下させる主要因として、①車輪／レール間における油分、水分、落ち葉、小さな虫等汚れの介在、②車輪、レールそれぞれの表面形状、粗さおよび硬さ、また、ブレーキ力が過大となる主要因として、①電気ブレーキと空気ブレーキの協調パターン、②制輪子の材質および押し付け力、などにまとめることができる。

車輪踏面にフラットのある状態で車両が走行すると、フラット部がレールを衝撃し、その反作用として輪軸、軸箱、台車枠等に動的な荷重が付加される。この際の静的輪重に対する動的輪重の増加割合は列車速度に依存することが明らかにされており⁴⁾、速度20～30km/hまでは速度に比例して増大し、それより高速では速度上昇に伴い漸減する。また、フラットの長さが長くなるに伴い、車輪衝撃荷重は大きくなる。

2.3.2 熱き裂

踏面ブレーキを使用している車輪の踏面には、多数の微細な軸方向の熱き裂が発生することがある。熱き裂は一般に、車輪踏面のレールとの通常の（直線走行時の）転がり接触部に発生するが、制輪子が偏当たりとなって、通常の転がり接触部を外れて表リム面側にずれた位置に発生することもある。踏面ブレーキの使用条件があまり厳しくない場合には、一般に一体圧延車輪のリム部表面には圧縮残留応力が生じているため、熱き裂は深さ数mm程度で停留する。一方、ブレーキの使用条件が厳しいとリム部の残留応力が引張りに反転し、熱き裂はより深く進展することによって踏面はく離や割損の起点となることもある。図4に、磁粉探傷によって現出させた熱き裂の例を示す。

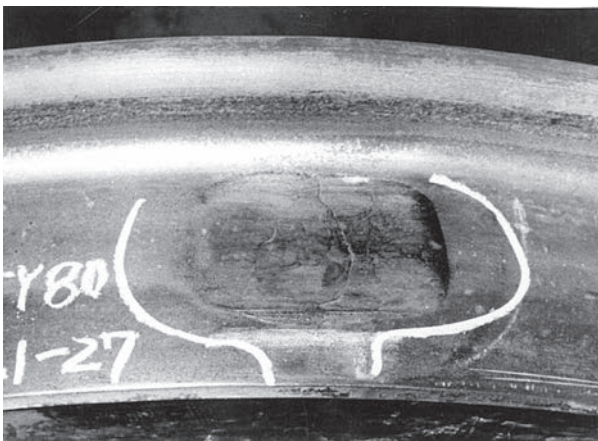


図2 フラットの例



図3 フラットに起因するはく離

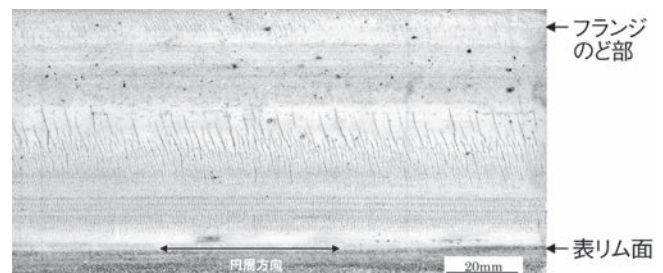


図4 踏面に発生した熱き裂

2.3.3 割損

車輪が割損すると、車両は脱線することもある。そして、この割損の起点となるのは、主として踏面の熱き裂である。図5 (a) は、日常的な車両検査において発見された車輪の割損で、その割損面を示したのが同図 (b) である。同図において、やや不明瞭であるが矢印で示したのが基点となった踏面の熱き裂であり、破面上黒くなっている部分が疲労によるき裂進展領域、そして、比較的明るい部分が脆性的に破壊した領域を示している。当該車輪のリム部には塗膜のはく離が認められることから、制輪子による異常発熱により熱き裂および引張り残留応力が発生し、この熱き裂が疲労により進展してある大きさに至った時点で不安定破壊条件を満足(最大応力拡大係数>破壊靱性値)した結果、割損に至ったと推定されている。

車輪の割損を防止するには、①板部形状を修正することによりリム部における引張り残留応力の発生を抑制する、②材質を高靱性化する、などの対策が有効である。

2.4 車輪の信頼性保証

(1) 製造時

車輪は製造時に、全数が超音波探傷および磁粉探傷を受ける。超音波探傷はリム内部の欠陥検出を目的として実施され、128個のエレメントより構成される配列型探触子が用いられる(図6参照)。なお、欠陥の検出基準は車輪の種類毎に定められている。一方、磁粉探傷は車輪表面に有害なきずの無いことを確認するために実施される。車輪を回転させながら、コイル法と電流貫通法を併用した複数交番磁化方式に

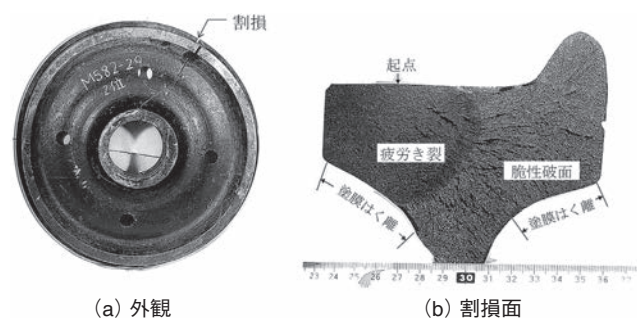


図5 割損した車輪

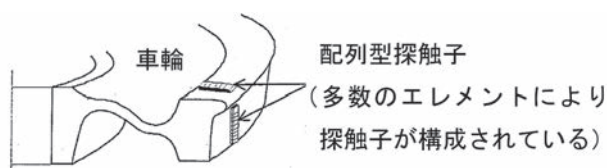


図6 車輪の超音波探傷

より磁化し、蛍光磁粉を散布して行われる。

(2) 供用時

上述のように、車輪踏面にフラットがあると著大輪重や騒音の原因となるため、増粘着装置などによるフラット発生防止と検出器によるフラットの早期検出が行われている。フラット検出器は図7に示すようにレール脇に設置され、車両通過時に車輪毎に振動あるいは騒音レベルを計測して、あるしきい値を超えると踏面の転削を行う。また、鉄道事業者によっては主として乗り心地改善を目的として、踏面の状態如何にかかわらず一定距離走行毎に踏面転削を行っており、結果としてフラットや熱き裂の早期除去が行われている。

一方、割損対策としては、図5に示したように異常ブレーキなどによりリム部が過剰に加熱されると塗布されている塗料が剥がれるため、目視による塗料剥がれの有無の検査が行われている。塗料は一般の防錆用塗料が使用されているが、一部の車両では示温性塗料が使用されている。また、欧米などでは定期検査時に残留応力測定が行われている例がある。なお、靱性の向上を目的として規格の範囲内で炭素量の少ない鋼を使用して車輪を製造することも行われている。

3 レール

3.1 種類と材料

レールは、車両を支え安全かつ滑らかに案内する重要な役割を担う鉄道を構成する最も基本となる材料の一つであることから、十分な信頼性が求められている。その信頼性を確保しつつ如何に効率よく経済的に保守管理するか、如何に手をかけずに長持ちさせるかは鉄道経営の上でも重要な課題である。

レールは1872年(明治5年)の新橋-横浜間での開業当初からしばらくの間、海外から輸入されたが、1901年に初めて



図7 線路脇に設置されたフラット検知装置

国産レールが製造され、今日まで品質および性能の向上が図られてきた。現在、JIS^{5,6)}で規定されているレールには、普通レールとして30kg、37kg、50kg、40kgN、50kgN、60kgの計6種類、耐摩耗性を考慮した熱処理レールとして40kgN熱処理、50kg熱処理、50kgN熱処理、60kg熱処理で40kgNを除き硬化層の硬さによりHH340とHH370の2種類(40kgNのみHH340の1種類)の計7種類の合計13種類がある。また、レールは材料としては炭素鋼であり、普通レールの炭素含有量は30kgで0.50～0.70%、37kgで0.55～0.70%、50kgで0.60～0.75%、40kgN、50kgNおよび60kgで0.63～0.75%、また熱処理レールの炭素含有量はすべての種類で0.72～0.82%と普通レールより少々炭素含有量が多い。

ただし、海外あるいは国内での試験敷設等において、炭素含有量が1%付近の過共析レールや普通レールや熱処理レールと炭素含有量は同程度で鋼組織が普通レールのパーライトや熱処理レールの微細パーライトと異なるベイナイトレール⁷⁾も開発されている。

3.2 レールが受ける負荷

レールが車輪から受ける作用力を図8に示す。図より、直線においては、鉛直方向の輪重と転がり方向の駆動力とブレーキ力が主な作用力であるが、曲線においては、その他に転がり方向に垂直な方向(曲線の半径方向)の横圧が加わる。この横圧は、通常曲線内側レール(以下、「内軌」と称する)において、車輪踏面とレール頭頂面の接触点に作用し、曲線外側レール(以下、「外軌」と称する)において、特に台車前軸が曲線を通過する際には、車輪踏面とレール頭頂面の

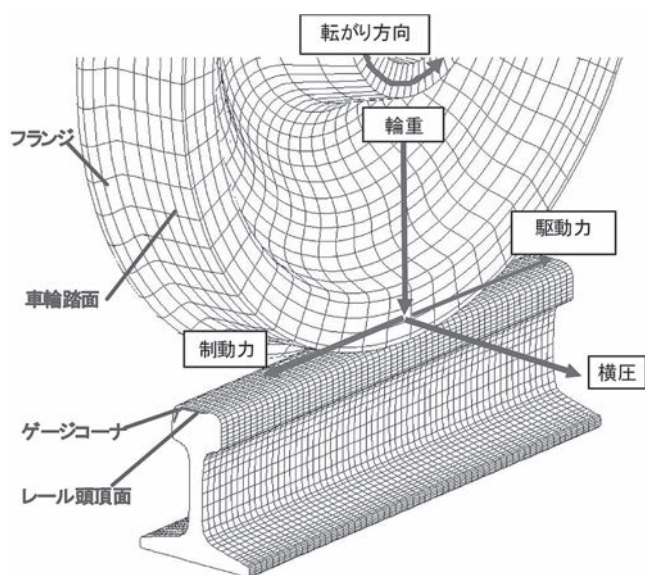


図8 車輪からレールに作用する荷重

接触点の他に車輪フランジとレールゲージコーナの接触点にも横圧が作用する場合が多い。

3.3 損傷事例

3.3.1 継目部損傷

レール継目部の損傷としては、継目板を用いて25mを基本とするレール(一般的に「定尺レール」と呼ばれる)を繋ぐ普通継目部の破端と呼ばれる損傷と溶接継目部の欠陥等を起点とする損傷が代表的なものである。

(1) 破端

普通継目部は、軌道構造の弱点と呼ばれ、材料損傷とともに軌道変位(狂い)が生じやすく、多くの保守を必要とする。特に材料損傷としては、破端が最も代表的である。この破端は、かつては端面またはその周辺からの腹部き裂が3割程度、継目部のボルト穴周辺からのき裂が5割程度を占めていた⁸⁾が、現在では図9に示す後者の場合がそのほとんどを占めている⁹⁾。

このボルト穴周辺からのき裂の発生・成長に関しては、これまでに得られた知見を基に、継目板をレールとボルト締結する欠線部を有する継目部の構造を考慮した動的応答モデルを構築し、継目部のボルト穴周辺の応力に着目した疲労試験により求めたS-N曲線を用いて、現在では定尺レールの破端に関し、様々な車両と軌道の条件に応じて、ある程度の精度で評価可能となっている¹⁰⁾。

(2) 溶接部損傷

普通継目部における軌道保守量を低減するために、25mあるいは50mを基本とする定尺レールを溶接により繋ぎ200m以上にするレールをロングレールあるいは長大レールと呼ぶ。その溶接部においても、主に溶接時の欠陥を起点とするき裂が、溶接部あるいはその付近のレール凹凸上を車両が走行することにより励起される大きな動的輪重が繰り返し作用

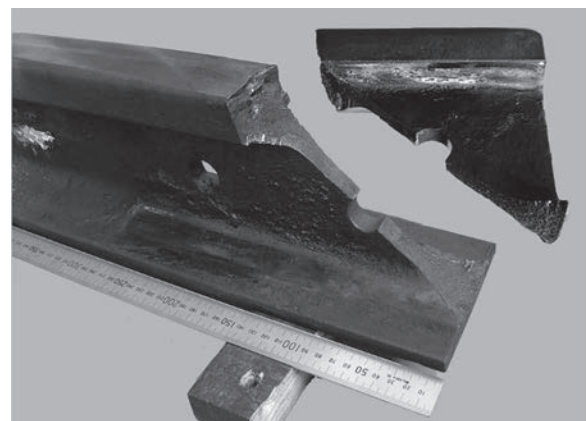


図9 レール破端の例

することにより進展し、折損する場合もある。この溶接部の損傷に関しては、ロングレールの寿命延伸に対する要請が強かったことと、溶接部の動的応答モデルが普通継目部のモデルより容易に取り組めた等の理由から、普通継目部に先行して溶接部の疲労寿命算定手法が構築された¹¹⁻¹³⁾。その疲労寿命算定システムを用いて、溶接部を含むその付近のレール凹凸を研削により平滑化し、輪重変動を抑制することにより溶接部の疲労寿命を延伸する効果が評価された¹²⁾。

3.3.2 転がり接触疲労

レールの転がり接触疲労損傷としては、主に直線のレール頭頂面に発生するレールシェリング（以下、「シェリング」と略称する）と呼ばれる損傷と曲線外軌のゲージコーナに発生するきしみ割れと呼ばれる損傷がある。

(1) レールシェリング

シェリングは、主に直線で車輪とレールの接触表面の粗さに依存する微小突起同士の大きな接触応力により塑性変形が生じ、その塑性変形が繰り返されることにより発生・成長するき裂¹⁴⁾と、車輪/レール間の大きな滑り（主にブレーキ）に起因する熱変態により白色層が形成され、その白色層を起点として発生し車輪の転動荷重を受けて成長するき裂もシェリングの一形態としている¹⁵⁾。したがって、現時点では転がり疲労層と白色層から発生するき裂が車輪からの繰り返し転動荷重を受けて成長するものをシェリングと呼んでいる。図10にシェリングの外観と破断面を示す。

き裂の成長に関する影響因子として、き裂によりレール頭頂面に凹凸（表面が黒ずみ落ち込むため、日本で言うシェリングを米国ではダークスポット、英国ではスコットと称している）が形成され、その凹凸に起因する輪重変動、ロングレールの軸力に基づく応力、乾燥トンネルでは発生が極めて少ないことから雨水等の水分、そしてき裂周りの残留応力などが挙げられ、その影響の定量化が進められている。

(2) きしみ割れ

きしみ割れとは、ゲージコーナのレール長手方向に連続して発生するレール断面方向に伸びる細かなき裂を指し¹⁶⁾、そ

こからレール頭部に向かうき裂が発生した場合、それをゲージコーナき裂（ゲージコーナクラッキング）と呼ぶ場合があり¹⁷⁾、名称と定義が少々曖昧である。図11にきしみ割れの例を示す。最近、これまで我が国においてほとんど報告されていなかったこのきしみ割れからゲージコーナき裂に発展し破断に至った場合も報告されている。このきしみ割れは、摩耗速度と疲労き裂の進み速度とのどちらが優勢かどうかのバランスで顕在化する現象であると考えられている。したがって、摩耗速度が大きい急曲線では発生し難いが、急曲線中の緩和曲線や比較的半径の大きい緩曲線において発生しやすい。もちろん、レールが普通レールと熱処理レールでは耐摩耗性が異なり、材質の違いによるき裂のピッチなども異なる。したがって、改めてレール材質と摩耗速度およびき裂進展速度の定量的な関係の把握が重要と考えられている¹⁶⁾。一方、摩耗抑制を目的とする外軌ゲージコーナあるいは車輪フランジへの潤滑油は、き裂の発生と成長を助長することが指摘されており、かつはく離を伴うことが多くなる傾向がある。

3.3.3 摩耗

レールにとって、疲労とともに摩耗は保守の面から重要な問題である。この摩耗の問題としては、曲線外軌ゲージコーナの摩耗である側摩耗と、頭頂面に一定間隔の凹凸が形成される波状摩耗がある。なお、波状摩耗は直線、曲線、特に内軌に発生する代表的な4形態がある。

(1) 外軌側摩耗

図12に曲線外軌の側摩耗を示す。この側摩耗に関して、最近では横圧とアタック角（輪軸の軸方向と曲線の中心に向かう半径方向との角度の差）の摩耗量への定量的な関係が試験機を用いた室内試験により求められている¹⁸⁾。一方、予防策としては熱処理により硬くしたレールの採用や、外軌のゲージコーナへの塗油が一般的である。熱処理レールに関しては、現在ではレール頭部全体が均一に熱処理されるなど、品質の向上とともに性能の向上が図られており、レールの交換周期延伸への貢献は極めて大きい。

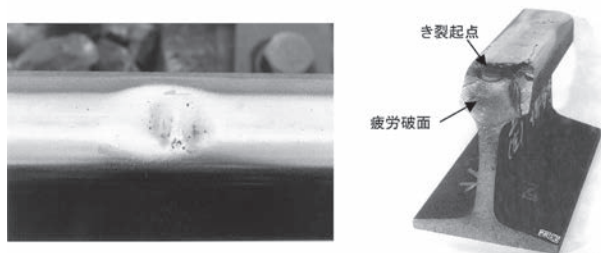


図10 レールシェリングの外観と破断の例

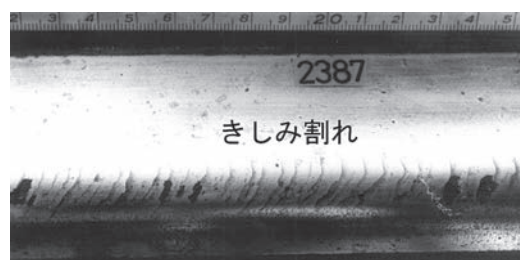


図11 きしみ割れの例

(2) 波状摩耗

我が国の鉄道では、大きく分けると、曲線内軌、曲線外軌、それと直線に発生する長波長と短波長の2形態の計4形態の波状摩耗が発生している¹⁹⁾。

(a) 曲線内軌に発生する形態

地下鉄を中心に半径が比較的小さい曲線（一般的に「急曲線」と称する）の内軌に、波長が50～150mmのものが発生する。JR線の発生例を図13に示す。なお、この形態のものが、我が国の軌道において最も多く発生している。この形態が発生する曲線の半径（以後「R」と称する）は100～400m程度と幅があることと、車両と軌道の条件も地下鉄、JR線等で異なるため、その発生周波数においても150～250Hzと幅がある。この形態の発生原因のうち最も寄与度が大いと考えられるものは横圧であり、この横圧を抑制することが重要である。

(b) 曲線外軌に発生する形態

R800m程度以下の曲線外軌に発生し、波長400～600mmでレール頭側部の摩耗（「側摩耗」と称する）を



図12 外軌側摩耗の例

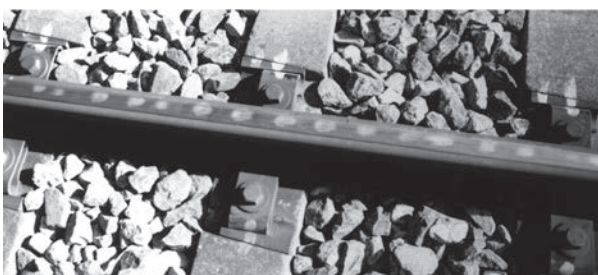


図13 急曲線内軌波状摩耗の例

伴う場合も多い。この形態の発生周波数は、60～80Hzであり、車両のばね下質量（通常は車輪2個と車軸1本を組み合わせた輪軸質量にほぼ等しい）と、軌道のばねの組み合わせによる振動系の共振周波数に概ね等しい。したがって、この形態の発生を抑制するためには、継目落ち等による輪重変動の発生を抑制することが重要である。

(c) 直線に発生する形態

直線においては、波長の非常に短い30～50mmのものと、車両の走行速度で異なる波長の比較的小さい0.3～0.5mのJR在来線と、1.2m程度の新幹線に発生するものがある。このうち、波長の長いものの発生周波数は、曲線外軌と同様な60～80Hzであり、曲線外軌に発生するものと同様に車両ばね下質量の共振周波数に概ね等しい。また、波長の短いものの発生周波数は約800Hzであり、レールのまくらぎ位置を節とする上下方向の振動モードの共振周波数、あるいはレールの有効質量（車輪からの荷重によるレールの曲げ変形の影響する長さに相当する質量）と車輪とレールの接触部のばね（一般的にはHertzの接触ばねが用いられる）の組み合わせによる振動系の共振周波数に概ね等しいと考えられている。したがって、波長の長い形態は、輪重変動を抑制することが重要であるが、一方でレールの摩擦係数が低い場合あるいは上り勾配で大きな駆動力が作用する場所で発生していることが多く、すべりやすさも大いに関係することが考えられるため、すべり難くするために摩擦係数を大きくする方策が考えられる。

3.4 信頼性保証と保守

(1) 製造時

JIS^{5,6)}によれば、製造時における品質を保証する検査として、化学成分分析検査、機械的性質検査（引張検査及び硬さ検査）、形状及び寸法検査、外観検査、内部欠陥検査（内部欠陥検査、落重試験による検査及びサルファプリント試験による検査）がある。特に、外観検査では磁粉探傷等により表面の有害なきずがないこと、内部欠陥検査では超音波探傷等によりレール頭部の欠陥がないことを確認している。

(2) 使用時

使用されているレールにおいては、損傷と摩耗を抑制し、走行安全性を確保しつつ可能な限り長期に使用するために、レール形状の変化を念頭にした摩耗量調査と超音波探傷による損傷の検出が広く実施されている。

レール側摩耗の摩耗量調査に関しては、レーザ等によりある特定な点に着目した測定や、頭部の断面形状を測定する様々な方法が開発されている。一方、特に曲線内軌の波状摩

耗に関しては、レーザ等による摩耗(凹凸)の高さの測定のほかに、その抑制策として横圧を低減するための車輪とレール間の潤滑が注目されており、摩擦調整材²⁰⁾や摩擦緩和材²¹⁾(図14に車輪/レール摩擦緩和システムの概略を示す)といった固体潤滑剤が開発され効果を上げている。

また、シェリングに関しては、超音波探傷を基本とするレール探傷車やその探傷車の結果を受けてさらに詳細に調査する探傷器なども開発されている。一方、このシェリングの抑制方法としては、これまでの多くの知見と転がり疲労試験機による室内試験結果より、予防研削法(レール研削車を図15に示す)が提案されその妥当性が検証されている^{22,23)}。きしみ割れに関しては、従来は目視による調査が基本であり、従来のレール探傷車では探傷が困難であったが、最近はきしみ割れの探傷が可能な方法も開発されている。またこのきし

み割れは、その断面方向のき裂長さを監視するとともに、その長さに応じて保守基準が定められているが、最近はきしみ割れが発生しやすい摩耗進みに着目し、摩耗進みを制御することできしみ割れの発生を抑制する可能性が検討されている¹⁶⁾。

4 おわりに

以上、車輪とレールの損傷と対策に関する現在の取り組みについて、代表的なものについて紹介させていただいた。実際には、さらに多くの損傷あるいは摩耗形態があり、検出する検査方法とその抑制方法に関して、様々な工夫や取り組みがなされている。誌面の都合上、すべてを紹介できなかったが、一人でも多くの読者の方々に、車輪とレールの損傷に関する現状を少しでもご理解いただければ幸いである。

参考文献

- 1) 木川武彦：鉄道総研報告，(1995) 特別第1号，191.
- 2) 木川武彦：第1回鉄道技術シンポジウム講演前刷集，(財)鉄道総合技術研究所，(1989)，15.
- 3) 熊谷則道：第2回鉄道技術シンポジウム講演論文集，(財)鉄道総合技術研究所，(1990)，47.
- 4) 佐藤裕：鉄道技術研究報告，(1958) 16，16.
- 5) JIS E 1101-1993，普通レール.
- 6) JIS E 1120-1994，熱処理レール.
- 7) 佐藤幸雄，辰巳光正，上田正治，三田尾真司他：鉄道総研報告，22 (2008) 4，29.
- 8) 栗原利喜雄：鉄道技術研究報告(施設編)，(1981) 1188，517.
- 9) 片岡宏夫，阿部則次，若月修，及川裕也：鉄道総研報告，19 (2005) 2，5.
- 10) 片岡宏夫，阿部則次，若月修，及川裕也：RRR，61 (2004) 12，24.
- 11) 石田誠，阿部則次：鉄道総研報告，4 (1990) 7，8.
- 12) 石田誠，河野昭子，本卓也：鉄道総研報告，12 (1998) 3，47.
- 13) 石田誠，本卓也，河野昭子，金鷹：鉄道総研報告，13 (1999) 5，33.
- 14) 石田誠，陳樺，フランシス フランクリン：日本鉄道施設協会誌，38 (2000) 2，49.
- 15) 金鷹，石田誠：鉄道総研報告，19 (2006) 9，17.
- 16) 金鷹，石田誠，青木宣頼：鉄道総研報告，20 (2006) 11，29.
- 17) Smith, R.A.: Proc. of 6th Int. Conf. on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems,

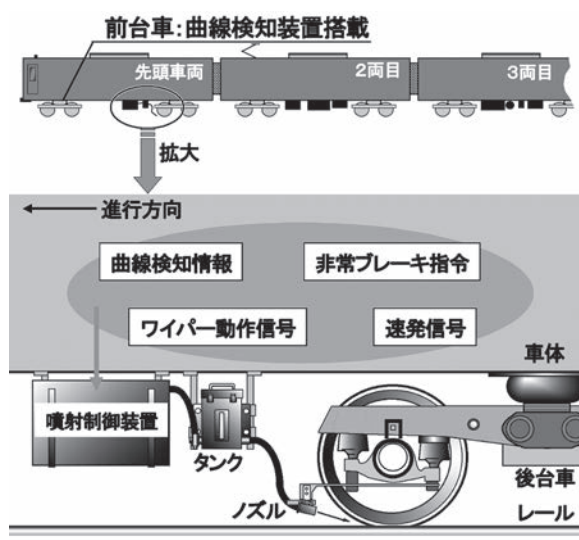


図14 車輪/レール摩擦緩和システム



図15 レール研削車

- Gothenburg, (2003), 423.
- 18) 石田誠, 金鷹: 新線路, 60 (2006) 11, 30.
- 19) 石田誠: トライボロジスト, 48 (2003) 1, 23.
- 20) Eadie, D.T., Kalousek, J. and Chiddick, K.C.,
Wear, (2002) 253, 185. (2008年9月8日受付)
- 21) 緒方正照, 伴巧, 深貝晋也, 石田誠, 名村明: 鉄道総研
報告, 21 (2007) 6, 51.
- 22) 石田誠: 日本鉄道施設協会誌, 38 (2000) 2, 35.
- 23) 多田嘉典: 新線路, 53 (1999) 8, 4.