

レールシェリング—転がり接触疲労損傷—

石田 誠(軌道技術研究部 部長)

はじめに

車輪とレールは、その厳しい接触により摩耗しかつ疲労します。その摩耗と疲労に関して、レールの疲労損傷の顕著な例は、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(shelling)」と略称する)があります(図1)。このシェリングは、転がり接触疲労損傷の一つであり、車輪とレールの接触面の応力状態と材料特性に依存する微小き裂の発生・成長と摩耗の進行が損傷発生に関する重要な因子です。シェリングの名前の由来は、疲労き裂の成長過程を示す破面の模様が貝殻(shell)のように見えるためです(図1(2))。このような名前の付け方からも想像できますが(根拠が科学的ではない?)、転がり接触疲労損傷の名前は、発生する材料と対象物、またはその産業界特有の考え方で、学術的に同様に扱えるものも、ピッティング(pitting)、フレーキング(flaking)あるいはスコアリング(scoring)等と異なった名前が付けられています。日本の鉄道ではシェリングと呼ばれていても、国外では主に英国でスクォット(squat)、その他の国・地域では一般にダークスポット(dark spot)と呼ばれています。さらに、レールのゲージコーナ(車輪フランジと接触する頭頂面と頭側面を結ぶ隅角部)の表面から少し内部に入った位置をき裂の起点とする損傷を一般にゲージコーナシェリング(gauge corner shelling)と呼びますが、単にシェリングと呼ぶ場合も多く、注意を要します。ここでは、日本でいう「シェリング」について、発生メカニズムの解明と対策に向けたこれまでの取り組みを紹介します。

転がり接触疲労とは

金属疲労の問題は、近代の産業革命における鉄道の誕生とともに生じたと言えます。金属疲労を代表するS-N曲線(「ヴェーラーカーブ」とも呼ばれる)で有名なヴェーラーによる車軸折損の研究が金属疲労研究の嚆矢と言われています。既に述べたように、シェリングはこの金属疲労のうち特に「転がり接触疲労」に起因します。一方、この「転がり接触」という現象は、人類が「コロ」を利用して様々なものを運ぶようになってから、非常に身近な現象であるにも関わらず、理解を深めるのに長い時間を要してきました。その間、カーター、カルカー氏等が2物体のヘルツの弾性接触理論に摩擦を考慮して弾性転がり接触理論を確立

し、その理論を2次元から3次元へと拡張しました。またジョンソン氏は、「転がり接触疲労」に弾塑性理論の一つであるシェイクダウン理論を適用し、その現象解明に大いに貢献しました。その後、接触表面の粗さを考慮した接触モデルや微小き裂の成長モデル等の研究が進められていますが、「転がり接触疲労」にはまだ未解明な部分が残されています。

シェリングの実態

転がり接触疲労損傷は、古くは昭和26年頃の国鉄山陽本線の曲線においてきしみ割れとシェリングが併発したような疲労き裂が発生し、大きな問題になりました。当時はこの疲労き裂を黒裂(black spotと訳されることがある)と呼び、この問題の重要性が強く認識され、その現象解明に向けた研究が鋭意取り組まれました。しかし、十分な原因究明に至る前に、曲線レールの摩耗抑制のために行われていた蒸気機関車による散水が中止され、電化(蒸気機関車の廃止)が進められたことにより、黒裂の発生は減少し、大きな問題ではなくなりました。1964年10月に開業した東海道新幹線の開業以後約10年間におけるレール損傷は主として溶接部(50Tレールのテルミット溶接)を中心として発生しましたが、1973年頃から溶接部以外のレール中間部におけるいわゆる頭頂面シェリングの発生が顕著になりました。その後、1977年頃から始まった軌道保守量を低減するための50Tレールから60レールへの交換により、レール溶接部および中間部とも損傷部分が交換され、見かけ上問題が消滅しました。これは黒裂も同様ですが、原因究明に基づく対策が講じられたことによるものではないため、1972年10月に開業した山陽新幹線大阪・岡山間でも累積通過トン数(通過トン数:列車荷重による軌道へのダメージを評価する指数で「軸重×通過軸数」で表現する)1.5億トンを超える頃から、頭頂面シェリングが発生し始め、2億トンを超える1982年頃からその増加傾向が顕著になりました。

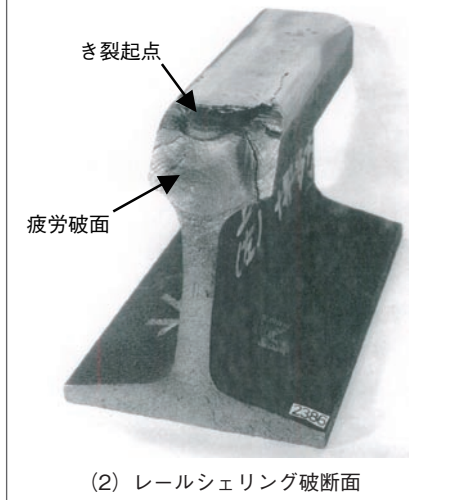
1980年以前の国内の転がり接触疲労を含めたレール損傷に関しては、栗原利喜雄氏が2248件の損傷例の分析結果を報告されています。また海外では、クレイトン、グラッシー、カルーゼック氏等が世界の主な鉄道における転がり接触疲労の実態をまとめています。

シェリングの対策とその効果

国内外を問わずシェリングの発生を防ぐためにはレールの研削が効果的であることは以前からも指摘されていましたが、いつ(周期)どの程度(深さ)研削するのがより効果的であるかという点が大きな課題でした。そこで、この問題に改めて実験的に取り組むために、国鉄最後の年に、当時の国鉄・鉄道技術研究所(現在の財団法人・鉄道総合技術研究所)が中心となって、大型試験機が試作されました。実験パラメータの研削周期については、1980年から5年程



(1) レールシェリング外観



(2) レールシェリング破断面

図1 レールシェリング

度続けられた東海道新幹線米原地区における研削試験結果と材料あるいは金属組織に着目した結晶学的な面からの研究成果も考慮し、通過トン数5000万トン程度が望ましいと考えられ、研削周期を5000万トン(一定)として転がり疲労試験が実施されました。研削周期も重要なパラメータですが、5000万トンの場合のみで実験に5年程度も要したことと、実験結果がこれまでに得られた知見から妥当と考えられたため、研削周期を5000万トンとする場合のデータで実験結果がまとめられました。ちなみに、研削実験の予備実験であるシェリング再現実験にも5年程度を要したことから、シェリングに関する実験に着手してから既に10年が経っていました。この実験結果において、通過トン数5000万トンごとに約0.1mm研削すると累積通過トン数8億トン程度まで平均的にシェリングが発生しないことが示されました(図2)。なお、東海道新幹線において、通過トン数約4000万トンごとに約0.08mmの研削を行った場合のシェリング発生状況が報告されています(図3)。

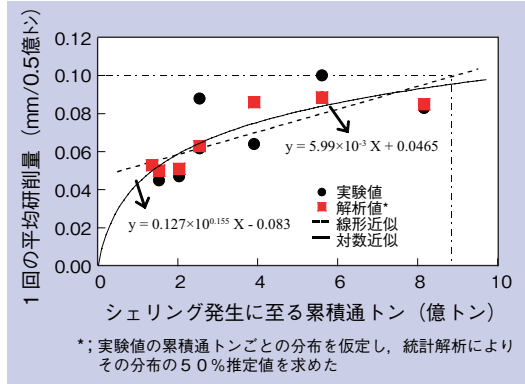


図2 予防研削によるシェリング抑制効果(実験結果)

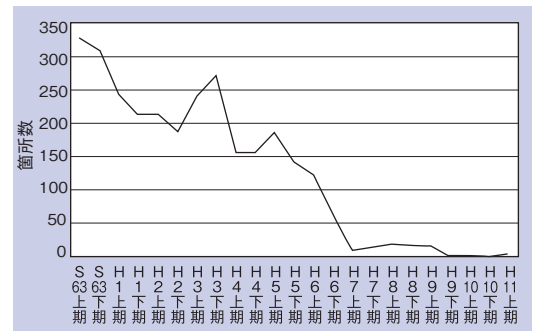


図3 レールシェリング発生状況推移¹⁾
(東海道新幹線調査区間: 436km~518km)

おわりに

シェリングのような疲労現象に取り組むと結果が得られるまでに長時間を要しますが、それは単に物理的な時間もさることながら、社会情勢とともにその課題解決への要請も揺れ動くことも研究が継続されにくい大きな理由の一つかもしれません。いずれにしても、疲労現象はメンテナンスにおいて中心課題であることは変わりません。先人のたゆまぬ努力の上に後世に少しでも役立つ成果を残すべく、日々疲労現象と向き合う姿勢を失わないことが肝要と考えています。

参考文献

- 1) 多田嘉典: 新幹線におけるレール削正手法, 新線路53-8, 1999, pp.4-7