X線による敷設レールの転がり接触疲労の評価に関する基礎的検証

1. はじめに

シェリング傷の発生を抑制するには、レール表層部に 形成される転がり接触疲労層をレール削正により除去す ることが有効である。当社の在来線においては、シェリ ング傷の発生傾向の分析結果をもとに、線区毎の特徴を 反映した周期にしたがってレール削正作業を実施するこ とにより、シェリング傷の発生抑制に取り組んでいる」。

今後将来に向けてさらにレール削正作業の最適化を 図るためには、シェリング傷発生のメカニズムや兆候を 定量的に把握することが重要である。

そこで、本取り組みでは、レールの転がり接触疲労の 評価可能性の検証を目的として、可搬型X線回折装置に よりレール表層部の現地測定を実施したので、報告する。

2. X線による転がり疲労層の評価

(1) X線回折法による残留応力測定

金属材料の残留応力を測定する方法として、X線の回 折現象を利用する方法が広く使われている。近年は、従 来の sin φ²法方式の測定装置に比べて、測定速度を約 10 倍高速化し、装置寸法を約1/10と小型化させた cos α 法 方式の測定装置が開発され、すでに自動車等の分野で活 用されている事例がある²⁾。

今回は、cos α 法方式の可搬型 X 線回折装置を用いて、 営業線の敷設レールを対象とした残留応力測定を実施し、 レール表層部の転がり接触疲労を評価した。

(2) 測定条件

現地におけるレール表層部の測定状況を図1に、測定 条件を表1に示す。測定では、レール内部に形成される 塑性流動をとらえるため、せん断応力 Txz を測定できるモ ード³⁾ (X線の入射角度を0°, x:列車の走行方向, z: レールの内部方向)とした。X線の照射位置は、転がり



図1 現地測定(装置設定中)の状況

西日本旅客鉄道株式会社	正会員	〇井上	拓也
西日本旅客鉄道株式会社	正会員	高尾	賢一
国立大学法人金沢大学	非会員	佐々オ	、 敏彦

接触疲労の影響を受けている箇所として、レール照り面 中央とした。装置の測定性能を考慮すると、作業間合い での測点数が限られることから、長手方向の測定間隔は 0.5m 程度を標準とし、レール全体のせん断応力や半価幅 の傾向を確認することとした。

測定条件 表 1

項目	条件	
X線装置	IP式 cos α 法方式 (金沢大学試作機)	
X線入射角度	0°	
照射径	約 φ 2mm	
照射時間	40秒	
照射位置	レール照り面中央	
測定間隔	長手方向 0.5~1.0m	
ライン揺動	長手方向 50mm 間	
特性X線	Cr Ka	
回折面	211	

3. 現地における X 線測定

(1) 測定区間の選定

測定を実施した区間を表2に示す。シェリング傷の発 生には列車種別、速度や制始動等、様々な因子が影響す ると考えられるため、条件の違いが少なくなるように留 意して、惰行運転区間の連続する約1kmの中から、通ト ンの異なるレールを選定した。

我 之 別た区间			
条件	内容		
線名	線区A		
線形	直線		
明かり・トンネル	明かり		
測定レール	通トンの異なる13本		
	約1kmの中から選定		
レール削正有無	削正履歴なし		
年間通トン	1270 万トン		

(2) 現地測定結果

現地測定結果の一例を図2に示す。当該レールは、累 積通トンが 3.1 億トンであり、レール表面にシェリング 傷のあるレールである。シェリング傷の前後を測定した 結果、シェリング傷周辺の測点でせん断応力τχと半価幅 の値が前後に比べて変動していた。

キーワード X線残留応力測定、cos a 法、レール、転がり接触疲労 ·連絡先 〒530-8341 大阪市北区芝田2丁目4番24号 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部 TEL06-6375-2296 図3に全測定結果の通トンとせん断応力 τ_{xz}の関係を 示す。通トンが同程度のレールを比較すると、測定値の ばらつきが大きかった。また、傾向としては通トンの増 加に伴って、せん断応力の値が収束しているものの、通 トンとせん断応力に明確な相関関係は確認できなかった。

転がり接触疲労の影響により回折環形状が不均一に なることが想定されることから、回折環形状の不均一さ を定量的に評価するために、X線測定で得られた回折環 全周分のX線回折プロファイル(半径方向)について、 X線ピーク強度の標準偏差を算出した。図4に通トンと









回折環 X 線ピーク強度標準偏差の関係を示す。傾向としては、通トンの増加に伴って、ピーク強度の標準偏差が 増加していたものの、明確な相関関係は確認できなかった。

4. 考察

(1) 傷周辺におけるせん断応力 τ χ の変化

これまでに実施した測定においても、シェリング傷の 周辺を測定した場合にせん断応力 r_{xz} が変動する結果が 得られていることから、傷箇所をせん断応力 r_{xz}の変動に よってとらえることが可能であると考えられる。

一方で、目視でレール表面に変状がない場所において、 せん断応力 τ_{xx}が変動する事例については、微小なき裂の 検知により値が変動した可能性がある。微小き裂検知の 可能性については、今後、金属組織観察等により確認す る必要がある。

(2) 通トン別の測定値変化

図3における測定値の分布から、通トンの増加に伴っ て、せん断応力 τ_{xz} が増加傾向を示した後で収束する傾向 があることから、飽和状態に至るものと考えられる。せ ん断応力 τ_{xz} が飽和状態になる一因として、通トンの増加 により、まず表面で増加から飽和に至り、次にX線侵入 深さより、内部に拡大していくことが考えられる。

ただし、今回の測定ではレール表面状態や内部の詳細 な確認を行っていないため、今後調査を行う必要がある。

また、図4においてX線ピーク強度の標準偏差が増加 傾向にあることから、通トンの増加に伴って、集合組織 の発達や転がり接触疲労の影響により回折環形状が不均 一になっているものと考えられる。

5. まとめ

営業線の敷設レールを対象として、可搬型X線回折装 置により半価幅と残留応力測定を実施した。今回の測定 結果からは各指標について明確な相関関係は得られなか ったものの、転がり接触疲労との関係について考察した。 今後は、今回の結果を踏まえて、室内試験等によりレ ール表面状態とせん断応力 τ_{xx} との関係や、通トンと各指 標との関係等の調査を行う予定である。

謝辞:本取り組みにおいてご協力を頂いた(公財)鉄道総 合技術研究所の関係各位に謝意を表する。

(参考文献)

- 1) 今井啓貴,高尾賢一; J R西日本(在来線)における最適なレ ール削正手法の検討,日本鉄道施設協会誌,2017.12
- 2) 佐々木敏彦,小林裕一,榊原隆之,小林祐次,藤田工,鷹合滋樹;新X線技術による自動車関連の残留応力・材料検査,機械の研究第69巻第8号(639~650項),2017
- 佐々木敏彦,高橋俊一,佐々木勝成,小林裕一;エリアディテ クタ方式のX線三軸応力測定法の改良に関する研究,日本機械 学会論文集A第71巻第704号(670~676頁),2009