

S8-3-1. 海底トンネル内波状摩耗発生メカニズム解明に関する一考察

○ [土] 白水 健介 (JR 西日本) [土] 鈴木 喜也 (JR 西日本)

[土] 石田 誠 (鉄道総研) 伴 巧 (鉄道総研) [土] 青木 宣頼 (鉄道総研) 曾根 康友 (鉄道総研)

The progress of corrugation in submarine tunnel (Ex. Shinkansen Tunnel) is faster than that of open section and it gives raise to rolling noise and wheel load variation. This paper describes the investigation on oxydise generated on rail surface in two tunnels in one of which corrugation occurred and in other which no corrugation. As a result, β -FeOOH, which decreases the coefficient of friction, was found out in the tunnel where corrugation occurs. Roll-slip can be caused by low coefficient of friction due to β -FeOOH.

キーワード：波状摩耗、海底トンネル、粘着係数、ロールスリップ現象、錆

Keywords : Corrugation, Submarine tunnel, Adhesion coefficient, Roll-slip, Rust

1. はじめに

山陽新幹線新関門トンネル内のスラブ区間では、レール頭頂面の凹凸である波状摩耗が発生している。特に、海底部周辺の上り勾配の力行運転区間においては、波状摩耗に起因すると考えられる車内騒音や著大輪重が発生しており、保守に苦慮しているのが現状である。

既往の研究¹⁾から、この区間における波状摩耗は波長 1.2m、左右レールで逆位相であること、またその発生周波数は、レール溶接部等で励起された車両ばね下質量が軌道ばねに支持された系の共振周波数と一致することがわかっている。また、前報²⁾ではレール長手方向の金属組織を観察したところ、列車進行方向とは逆方向に駆動力による縦すべりに起因する塑性流動が確認された。本報では車輪のロールスリップ現象の発生原因を解明するため、勾配条件、運行条件がほぼ等しく、波状摩耗が発生しているトンネル、発生していないトンネルを比較調査した内容を報告する。

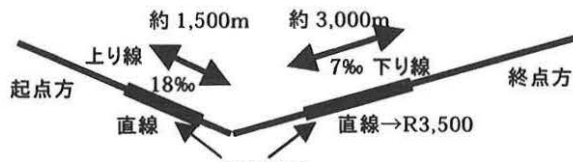


図.1 新関門トンネル内の波状摩耗発生区間

2. 調査概要

調査は、波状摩耗が発生している新関門トンネル（以下、「新関門 T」と表記）のほかに、線形、構造物及び運転条件の類似しているものの波状摩耗が発生していない北九州トンネル（以下、「北九州 T」と表記）で実施した。また、本線レールの調査とあわせて、供試レールを近傍の調査坑に 6 ヶ月間暴露し、付着物の分析を行った。表 1 に調査箇所の軌道条件を示す。

表 1 調査箇所の軌道条件

名称	位置	勾配	軌道構造	種別
新関門 T	999k300m	7‰	スラブ 直 8	海底
北九州 T	1021k600m	12‰	スラブ 直 8	山岳

2.1 レール摩擦係数測定

両トンネルにおいて、最終列車通過後に総研製トリボメータを用いて時期の異なる 2 度の摩擦係数測定を行った。北九州 T では、各回で差は見られず、レール動摩擦係数は 0.45～0.55 であった。一方、新関門 T では、1 度目 0.35～0.45、2 度目 0.58 と各回で差が見られた。新関門 T での測定後のレール頭頂面には、明瞭な測定痕が見られることから、測定結果には測定子としてレールと接するベアリング球(φ 20 mm)の掘り起こし抵抗が含まれていると考えられる。

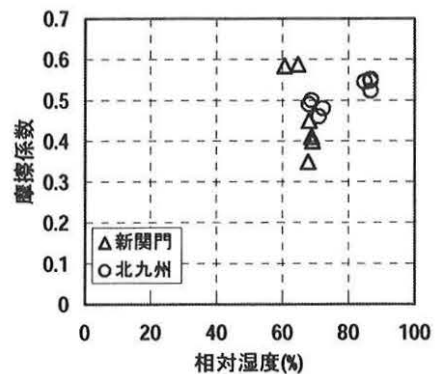


図 2 摩擦係数測定結果

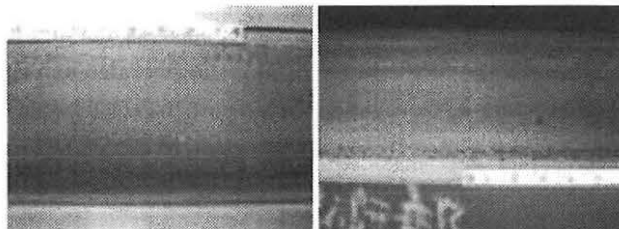
2.2 レール表面状態調査

レール頭頂面の錆の発生状況を確認するために、レールを研磨し、1 日後の錆の生成状況を調査した。図 3,4 に各トンネルの錆の状態を示す。電磁式膜厚計を用いてレール中心の錆厚を測定した結果を表 2 に示す。新関門 T の方が厚く錆が生成し、その成長が早いことがわかつ

た。

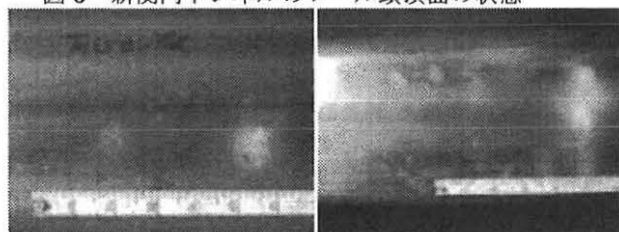
表 2 レール錆厚測定結果

測定箇所	レール研磨前	レール研磨 1 日後
新関門 T	10 μ m	2 μ m
北九州 T	0.5 μ m	0.5 μ m



(a) レール研磨前 (b) レール研磨 1 日後

図 3 新関門トンネルのレール頭頂面の状態



(a) レール研磨前 (b) レール研磨 1 日後

図 4 トンネルのレール頭頂面の状態

2.3 暴露試験片分析結果

図 5 に暴露試験片の表面状態を示す。新関門 T のレール表面には錆が厚く生成しており、北九州 T のレールは一部に金属光沢が見られる。膜厚の測定結果は、新関門 T で 30~60 μ m、北九州 T で 1~20 μ m であり、新関門 T の方が数倍厚いことがわかる。

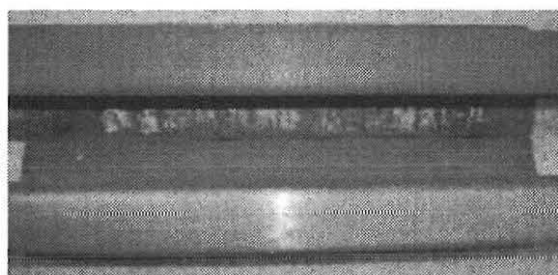


図 5 供試レールの暴露後の状態 (上: 新関門、下北九州)

暴露試験片の表面の付着物を採取し、試料に含まれる結晶性物質の種類を調べるために、X 線による分析を行った。図 6 に結果を示す。付着物の主成分は、鉄の酸化物 (錆) であることがわかった。さらに、酸化物のなかでも、表 3 に示すような両トンネルにおける差異が認められた。

表 3 X 線回折で検出された物質

採取箇所	物質
新関門 T	β -FeOOH, γ -FeOOH, 鉄 (Fe)
北九州 T	γ -FeOOH, マグネタイト (Fe_3O_4), 鉄 (Fe)

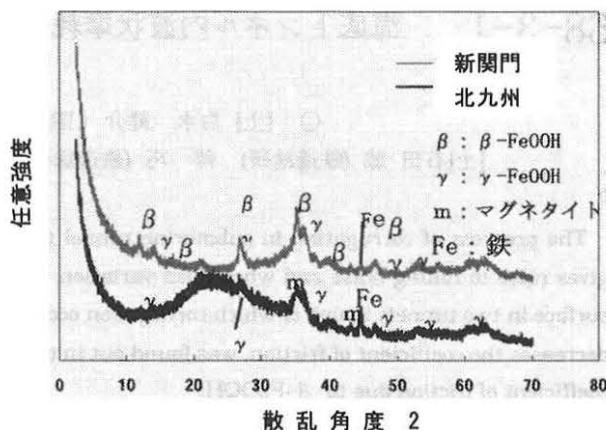


図 6 付着物の X 線回折パターン

新関門 T で検出された β -FeOOH は、実験室での塩水噴霧環境及び海岸線区のレールにおいて発生が認められている。また、蛍光 X 線分析の結果、新関門 T の付着物に塩素が多く含まれていたことから、隣接する海底部の影響を受けていることが考えられる。 β -FeOOH によって摩擦係数が著しく低下することが報告³⁾されており、北九州 T では生成していないこの錆の発生が新関門 T の波状摩耗発生の主原因と考えられる縦すべり²⁾の一因であると考えられる。

3. まとめ

今回、類似した線形、構造及び運転条件を有する波状摩耗の発生が異なる区間と比較した。その結果、波状摩耗が発生している新関門 T では錆が厚く生成しており、その成分には塩水環境下で発生する β -FeOOH が含まれていた。この錆は摩擦係数を低下させるため、力行する上り勾配でロールスリップを誘発し、波状摩耗を発生させた可能性が考えられる。このように波状摩耗は、車両の走行条件に加え塩害のような特殊な環境が重なった場合に形成されるものであると推測される。

4. 今後の課題

本研究の成果を踏まえ、現場での錆の実態と粘着係数の定量化を行う必要がある。また、粘着係数の低下を抑制する対策工として、増粘剤やレールのごく表層部のみの定期的な削正などが考えられる。

参考文献)

- 井出他:「新幹線特殊区間におけるレール波状摩耗管理手法」,土木学会第 52 回年次講演会,IV-374,1997.9
- 石田他:「海底トンネル内波状摩耗レール摩擦係数調査結果」J-Rail03,S8-3-1,2003,11
- 大野他:「車輪・レールの粘着への錆の影響」,鉄道技術研究所報告,1983.6