

ベイナイトレールの長期敷設試験による耐シェリング性の確認

材料技術研究部 摩擦材料
主任研究員 佐藤 幸雄

1. はじめに

列車走行に伴う車輪との繰り返し接触により、レールの頭頂面にシェリングと呼ばれる転動疲労損傷が生じることがある。その対策として、材質を変更することによってレールの摩耗を促進させ、シェリング損傷の原因となる転動疲労層を自己除去するタイプのベイナイトレールを開発した。

本発表では、開発したベイナイトレールの実用条件下でのシェリング損傷抑制に適した硬さの探索と耐シェリング性の最終確認を目的として行った長期敷設試験の結果について報告する。

2. ベイナイトレール¹⁾

2.1 開発コンセプト

これまでに試作された耐シェリング用レールの開発コンセプト²⁾は、レールを高強度化することによって損傷原因となる転動疲労層の生成を抑制することにあつた。このコンセプトに基づいて開発された高強度レールの敷設試験が行われたが、シェリング損傷の発生を防止することはできなかった。そこで、レールの高強度化というこれまでの開発コンセプトを離れ、転動疲労の蓄積速度よりもレールの摩耗速度を高くすることによってシェリング損傷の抑制を図るという新たなコンセプトを提案した。この方針に沿って、鉄道総研を中心に新日本製鐵株式会社ならびにJFEスチール株式会社の協力のもと、ベイナイト鋼を素材とした摩耗促進型ベイナイトレールの開発を行った。図1にその開発構想の概念図を示す。また、図2にベイナイト鋼および現用普通レール素材であるパーライト鋼の金属組織を示す。ベイナイト鋼の金属組織は、鋼種名と同じ「ベイナイト組織」と呼ばれる。両者の違いは、主に炭化物(Fe_3C)の析出形態にある。

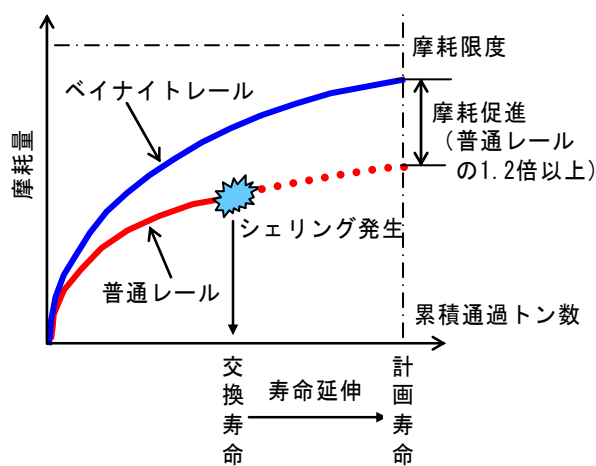
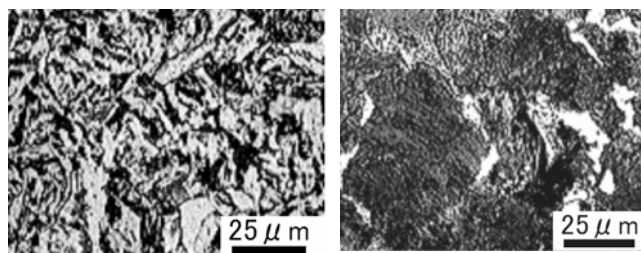


図1 開発構想の概念図



(1) ベイナイト鋼 (2) パーライト鋼

図2 金属組織

2.2 摩耗促進の目標

シェリング損傷を抑制するために必要とされる摩耗促進の目標については、次のように考えた。石田ら³⁾は室内実験により、累積通

過トン数 50MGT(Million Gross Tonnage: 百万トン)毎に 0.10mm程度削正すると、累積通過トン数 800MGT程度までシェリング損傷が抑制できることを報告している。また、黒田⁴⁾は、東海道新幹線において累積通過トン数 40MGT毎に 0.08mm削正する試験を行い、削正対象区間にシェリング損傷が発生しなかったことを報告している。これらのことから、レール頭頂面表層をわずかに除去することによってシェリング損傷が抑制できること、また、レール削正車によって強制的に削正除去する分を車輪接触による摩耗によって代替すればシェリング損傷の抑制が可能であると考えた。そこで、直線区間における普通レールの頭頂面の摩耗速度を 1.0mm/100MGT⁵⁾、レール削正量は上述の新幹線における削正実績 0.08mm/40MGT (累積通過トン数 100MGTに換算して 0.20mm) として、両者を加算した値である 1.2mm/100MGT以上を確保することにより、シェリング損傷を抑制できると仮定した。すなわち、バイナイトレールの摩耗目標を敷設対象線区における普通レールの 1.2 倍以上とすることとした。

3. 敷設試験⁶⁾

3.1 供試レール

敷設試験に用いたレールは、JIS 規格範囲内で硬さを 5 段階に設定し、硬さレベルによって 3 群に分けた。また、比較材として普通レールを用いた。図 3 に供試レールの記号と強度を示す。図中の記号は、HLC, MLC(高硬度バイナイトレール)、LC(中硬度バイナイトレール)および N1E, N2W(低硬度バイナイトレール)である。なお、記号 AS は普通レール(比較材)である。

3.2 試験結果

3.2.1 摩耗促進性能

バイナイトレールの摩耗促進性を検討するため、摩耗測定結果を基にして試験レールの普通レールに対する摩耗速度比と累積通過トン数の関係を求めた。摩耗速度比は、供試レールの摩耗量を摩耗測定時の累積通過トン数で除して単位累積通過トン数あたりの摩耗速度を求め、100MGTあたりの摩耗速度に換算した後、ASの摩耗速度とバイナイトレールの摩耗速度の比をとった値と定義した。図 4 に結果を示す。

低硬度バイナイトレール(N1E, N2W)の摩耗速度比は、累積通過トン数が低い段階でばらつきが見られるものの、全測定期間を通して AS よりも高い。一方、高硬度バイナイトレール(HLC, MLC)は、AS とほぼ同じか低い。これに対し、中硬度バイナイトレール(LC)は累積通過トン数が低い段階でデータにばらつきが見られるが、累積通過トン数の増加によりほぼ AS と同じレベルに収束する。このように、実用条件において、摩耗目標(普通レールの 1.2 倍以上)を満たすバイナイトレールの適正硬さ

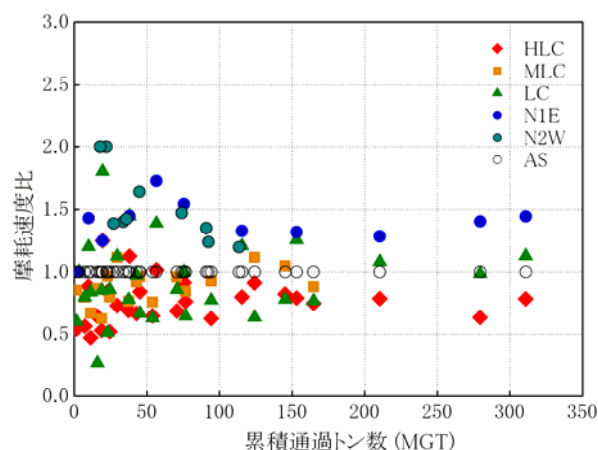


図 4 累積通過トン数と摩耗速度比の関係

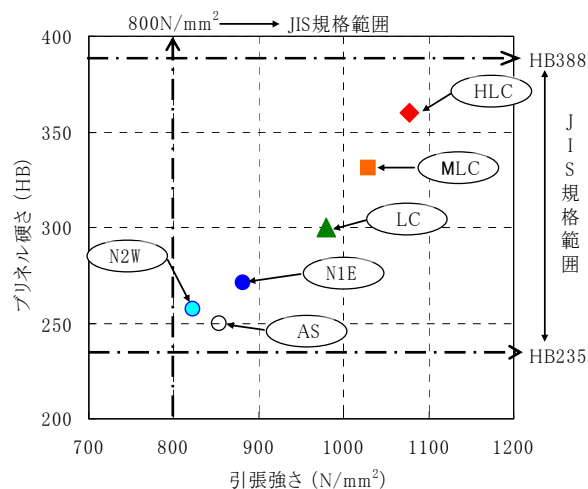


図 3 供試レールの記号と強度

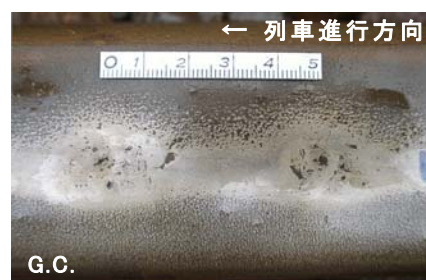
は、HB255～275 であると判断される。

3.2.2 耐シェリング性能

表 1 にシェリング損傷の発生状況を示す。発生状況については、現地調査の際の目視観察によって確認した。確認された損傷は、レール探傷車で検知される大きさには発達していない。なお、表中には摩耗目標の達成状況を併記した。低硬度ベイナイトレール (N1E, N2W) にはシェリング損傷の発生が認められなかった。これに対し、高硬度ベイナイトレール (HLC, LC)、中硬度ベイナイトレール (LC) および普通レール (比較材 ; AS) にはシェリング損傷の発生が認められた。図 5 に試験レールの中で最も硬度の高い HLC および比較材である AS に生じたシェリング損傷の外観を示す。これらの損傷は、累積通過トン数 150MGT 時点での現地調査では確認されておらず、累積通過トン数 215MGT の時に実施した現地調査の際に発見されたものである。また、シェリング損傷の発生と摩耗目標との関係に着目すると、摩耗目標を満足した低硬度ベイナイトレールのみがシェリング損傷の抑制を達成している。敷設試験による長期敷設試験の実施により、低硬度ベイナイトレール (N1E, N2W) の普通レール (比較材 ; AS) に対する耐シェリング性の優位が確認されたものと判断される。

表 1 シェリング損傷の発生状況

試験レール	シェリング損傷	摩耗目標
高硬度ベイナイトレール	発生	未達成
中硬度ベイナイトレール	発生	未達成
低硬度ベイナイトレール	未発生	達成
普通レール (比較材)	発生	未達成



(1) HLC (高硬度ベイナイトレール)



(2) AS (比較材 ; 普通レール)

図 5 シェリング損傷の外観

3.2.3 溶接部の凹凸進み

図 6 に供試レールの溶接部の凹凸量の推移を示す。溶接部の凹凸量は、次のように求めた。まず、原田式レール踏面形状測定器を用いて、所定の累積通過トン数毎にレール溶接部における頭頂面レール長手方向の凹凸形状を測定・記録した。次に、チャートに記録された波形から、凹凸量を読み取った。なお、凹凸量の測定位置は、レール軸芯位置とした。図中の記号は、「試験レール種別－溶接種別」として表記した。溶接種別の記号は、FB ; フラッシュ溶接、GP ; ガス圧接、EA ; エンクローズアーク溶接である。

累積通過トン数 250MGT における凹凸量は、AS-FB が最も小さく 0.1mm 程度に留まっており、その順序は AS-FB < HLC-FB < LC-FB < N1E-FB < AS-GP=N1E-EA となる。この順序は、試験開始後から変わらずに保たれている。このうち、ベイナイトレール溶接部の凹凸量は、製造時の硬さレベルの順序に従っている。ベイナイトレールのフラッ

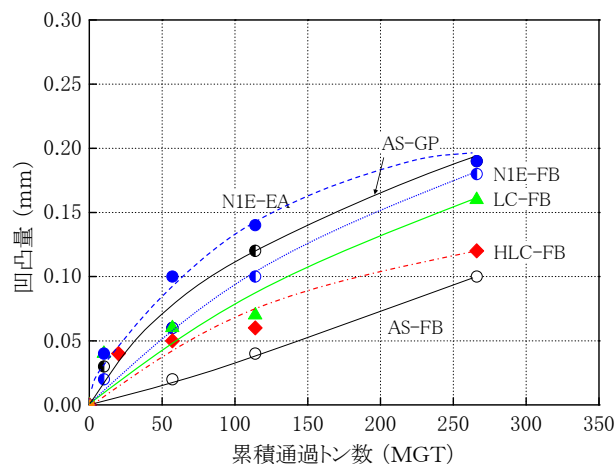


図 6 溶接部凹凸進みの推移

シュ溶接部およびエンクローズアーク溶接部の凹凸量は、全測定期間を通して AS-FB より大きい
が、AS-GP と同等もしくはそれ以下である。この AS-GP のデータは、溶接後にガススカーフィ
ング・焼ならし処理を行ったものであり、軟化幅が広がることから標準施工方法である押抜き処
理を行ったガス圧接に比べて凹凸量が大きくなる傾向にある。その凹凸進み量は、図 6 より 0.1mm
／100MGT 程度と推定される。ベイナイトレールのフラッシュ溶接部およびエンクローズアーク溶
接部の凹凸進み量は、累積通過トン数が増加しても AS-GP の凹凸進みと同程度かそれ以下で推移
すると考えられる。したがって、ベイナイトレールの溶接部に異常な凹凸が形成されるとは考え
がたく、使用上、問題を生じることはない判断される。

4. ベイナイトレールの投入区分について

ベイナイトレールの投入区分は、敷設試験の実績を踏まえ、直線から半径 1000m の曲線までと
考えられる。この範囲であれば、シェリング損傷およびきしみ割れなどの転動接触に起因する損
傷を抑制できるものと判断される。また、保守上からはシェリング損傷が多発してレール交換さ
れる箇所に優先して敷設することが有効と考えられる。なお、ベイナイトレールは、直線および
曲線半径の大きな区間への敷設を想定して開発を行った摩耗促進型レールであるため、曲線部へ
の適用については投入対象とする区間の摩耗速度実績を勘案して判断する必要があると考える。

5. まとめ

適度な摩耗の促進によってシェリング損傷の原因である転動疲労層を自己除去するタイプのベ
イナイトレールを開発し、実用条件下での摩耗目標を確保するための最適硬さの探索と耐シェリ
ング性を最終確認するため、硬さレベルを変えた試験レールを実際に敷設して長期耐久試験を行
った。結果は以下のとおりである。

- (1) 試験レールの中で低硬度ベイナイトレールのみが摩耗目標(普通レールの 1.2 倍以上)を維持
することができることから、ベイナイトレールの実用条件下での適正硬さは HB255～HB275 であ
ると判断される。
- (2) 低硬度ベイナイトレールは、高・中硬度ベイナイトレールおよび普通レールよりも耐シェリ
ング性に優れていることが確認できた。
- (3) ベイナイトレールの溶接部に異常な凹凸が形成されるとは考えがたく、使用上、問題を生じ
ることはない判断される。

謝辞

東日本旅客鉄道株式会社ならびに西日本旅客鉄道株式会社の協力により長期敷設試験を行っ
た。多くの関係者の方々に種々協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 佐藤, 辰巳, 柏谷, 上田, 横山: 鉄道総研報告, Vol.12, No.10, pp.15-20, 1998.
- 2) 栗原: 鉄と鋼, Vol.64, No.14, pp.149-158, 1978.
- 3) 石田, 阿部: 鉄道総研報告, Vol.9 No.12, pp.19-24, 1995.
- 4) 黒田: 日本鉄道施設協会誌, Vol.33 No.12, pp.875-877, 1995.
- 5) 佐藤, 井上, 柏谷: トライボロジスト, Vol.36, No.8, pp639-647, 1991.
- 6) 佐藤, 辰巳, 上田, 三田尾: 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, 2008(掲載予定).