

レールのきずを簡易に補修する



伊藤 太初

Hajime Ito

軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室
主任研究員



寺下 善弘

Yoshihiro Terashita

軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室
主任研究員



山本 隆一

Ryuichi Yamamoto

軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室長

はじめに

レールは車輪を直接支持・案内して、列車を安全に走行させる重要な鉄道材料の一つです。しかしながら、経年使用および敷設環境などにより、レールにき裂が発生し、仮に補修などを行わない場合には破断に至る可能性があります。このようなレール破断のおもな原因には、シェリング、腐食、レール端部の破端あるいは溶接部の欠陥などがあげられますが、このなかでもシェリングによるレール破断が約3割を占めています。

シェリングの外観および断面写真を図1に示します。シェリングとは、車輪が接触するレール頭部に生じる転がり接触疲労損傷の一種で、黒っぽく見える外観（図中矢印箇所）から過去

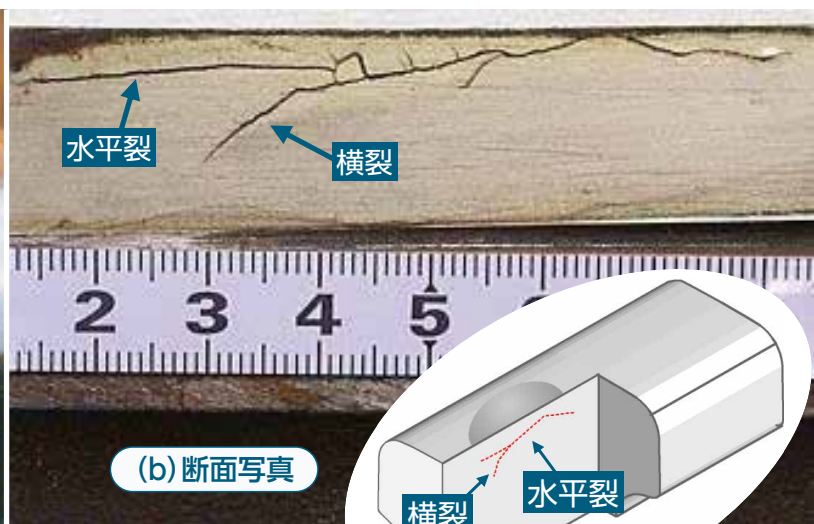
には黒裂ともよばれていました。列車運行頻度が高く、車輪との転がり接触疲労が蓄積されたレールに発生しやすい傾向にあります¹⁾。レール内部に進展したき裂面が貝殻（シェル）のような模様を示すため、シェリングと名付けられています²⁾。図1(b)に示すように、シェリングは、レール内部において、レール水平方向に延びる水平裂とレール底面方向に進展する横裂があり、レールの外観状態からではそれらの長さを判定することができません。そのため、鉄道事業者では、一箇所ずつ超音波探傷検査を実施し、き裂長さを管理し、適切に対処することで、レール破断を未然に防いでいます。

通常、一定のき裂長さに達したシェリングに対して、図2(a)に示す損傷部を含む数m～数

図1 シェリングの外観および断面写真

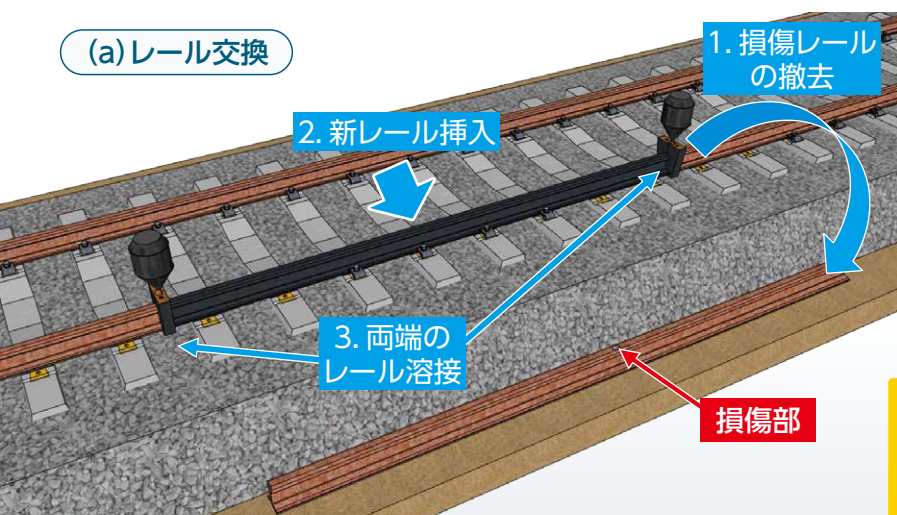


(a) シェリングの外観



(b) 断面写真

(a) レール交換



(b) 補修溶接

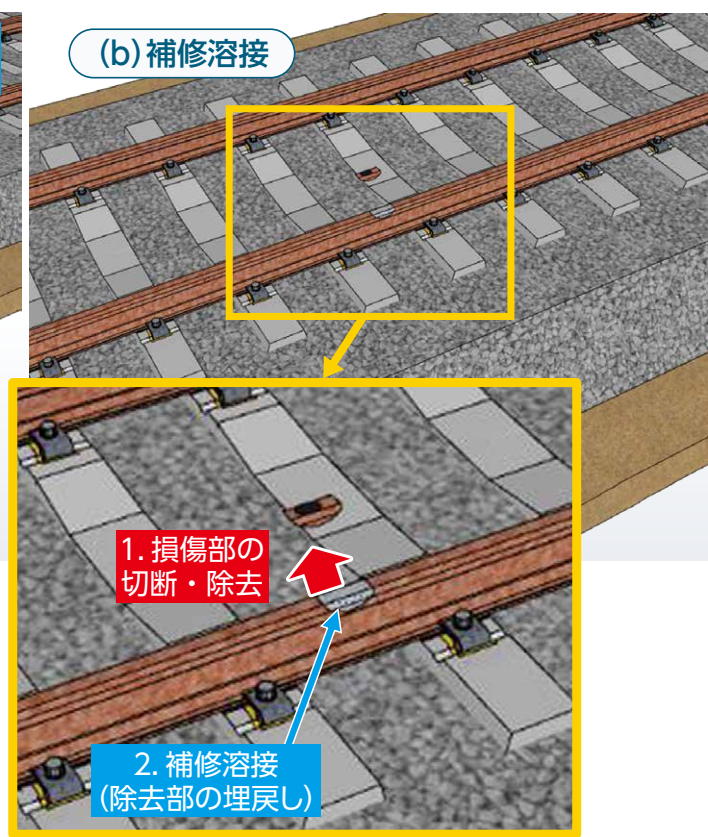


図2 レール交換および補修溶接の概要

10m程度のレールを新しいレールに交換する作業（レール交換）が行われます。レール交換では、交換箇所のレールを切断して撤去し、あらかじめ準備した新しいレールに交換した後、両端部の溶接を実施します。そのため、交換作業自体の労力や費用のみならず、新しいレールの手配や作業員の確保など準備作業においても多大な労力が必要となります。

一方、通常、交換対象となるシェリングはレール長手方向には数10cm程度の範囲であることから、レール交換せずにシェリング箇所のみを切り取り、補修することができれば（図2(b)）、大幅なコストダウンが可能となり、より多くの損傷箇所を未然に補修することが可能となります。

レール頭部きず補修工法

これまで、いくつかの補修工法が開発されてきましたが、いずれも広く普及するに至りませんでした²⁾。一方、近年、簡便な溶接法であるレール頭部きず補修工法（以下、当該工法と称する）が注目されており、JRなどの鉄道事業者において本格導入や試験敷設などが進められています³⁾。図3に当該工法の施工の流れを示します。まず、シェリングの発生箇所（き裂範囲）

国内外のレール頭部補修技術の動向

これまで、国内においていくつかのレール頭部補修溶接法が開発・実用化されてきました。粉末金属をガス炎とともに補修部に吹き付けるガス溶射肉盛法による頭部補修工法（図I）が国鉄時代に開発され、旧国鉄内で広く普及しました。しかしながら、高度な技量や比較的長い施工時間が必要となることから、分割民営化以降、本工法の施工数および技術者が減少し、現在では一部のJRおよび民鉄のみで適用されるに留まっています。

近年では、半自動溶接法を用いた頭部補修工法（図II）がおもに北米、オーストラリア、スウェーデンなどの重軸重鉄道で採用されています。本工法はシールドガスを用い、溶接ワイヤを自動送給することで溶接を行う手法ですが、本工法を用いても補修範囲の大きさに比例して施工時間が長くなる傾向にあり、シェリングの補修工法として国内で適用するのは困難と考えられます。

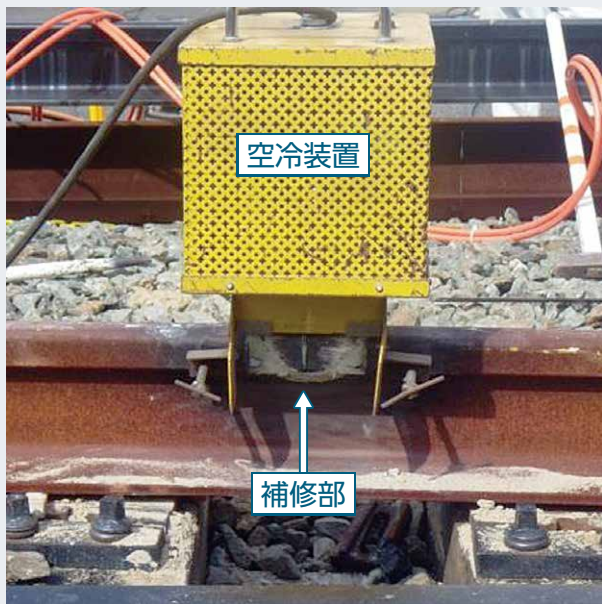




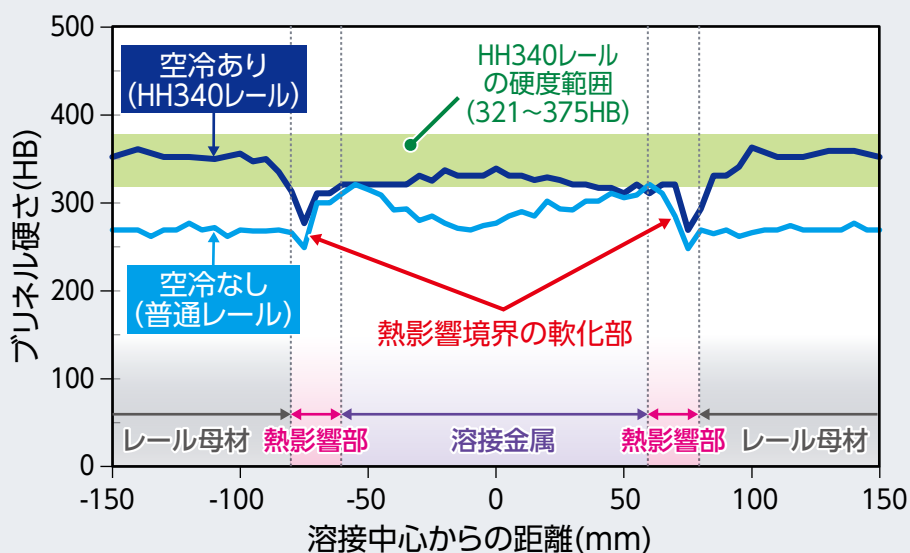
図3 レール頭部さび補修工法の施工手順

をガス炎で切り取り、切断面をグラインダー研削した後、浸透探傷検査で残存したき裂がないかを確認します。次に、切り取り箇所にもールドを設置し、酸素・プロパン炎による予熱を実施した後、使い捨てルツボを使用し、モールド内にテルミット溶鋼⁴⁾を注入します。溶鋼が凝固した後に余肉を押抜き、後述する熱間矯正

作業を実施します。その後、頭頂面の硬さを調節するための強制空冷を施し、最後にグラインダーでレール頭部形状を整え、補修が完了となります。なお、当該工法施工後には、仕上り検査として超音波探傷検査により、溶接欠陥の有無が検査されます。また、当該工法による補修部は、各種試験結果より実用上問題ない性能



(a) 強制空冷状況



(b) 頭頂面の硬度分布

図4 頭部強制空冷状況および空冷後の頭頂面硬度分布

を有していることが確認されています⁵⁾。現在、当該工法の普及に向けて、多様な施工環境に対する適用拡大に向けた取り組みを実施しています。ここでは、これらの取り組みについて紹介いたします。

熱処理レールへの適用検討

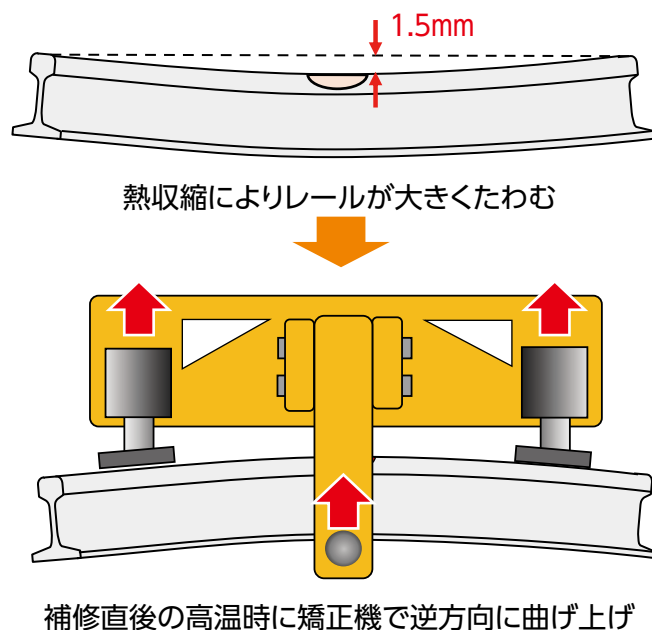
当該工法を曲線区間で用いる場合、曲線用に耐摩耗性を高めた熱処理レール (HH340レール) に対して施工する必要が生じます。一方、従来の施工条件は普通レールを対象としているため、熱処理レールでは溶接金属の硬度が足りず、経年による落込みが生じやすくなります。そこで、溶接金属の硬度を上昇させるべく、高硬度テルミット溶剤の適用や頭部強制空冷手法の検討を実施しました。その結果、普通レールと同一の溶剤とし、頭部強制空冷において普通レールに対する空冷条件より風量を増加することで、熱処理レールと同等の硬度分布が得られることがわかりました。図4に頭部強制空冷状況および空冷後の頭頂面硬度分布を、普通レール強制空冷なしの硬度分布とあわせて示します。なお、図中に示す熱影響境界部の軟化部は、標準的なテルミット溶接と同程度の硬度および幅となっています。また、当該施工条件で作製し

た補修部に対して、残留応力測定を実施した結果、強制空冷が残留応力分布に及ぼす影響は認められず、実用上問題ないと判断しました。

補修部の熱間矯正作業と 新型矯正機の開発

当該工法ではき裂の存在する頭部のみを補修するため、図5に示すように補修部の冷却にと

図5 補修部の変形と熱間矯正

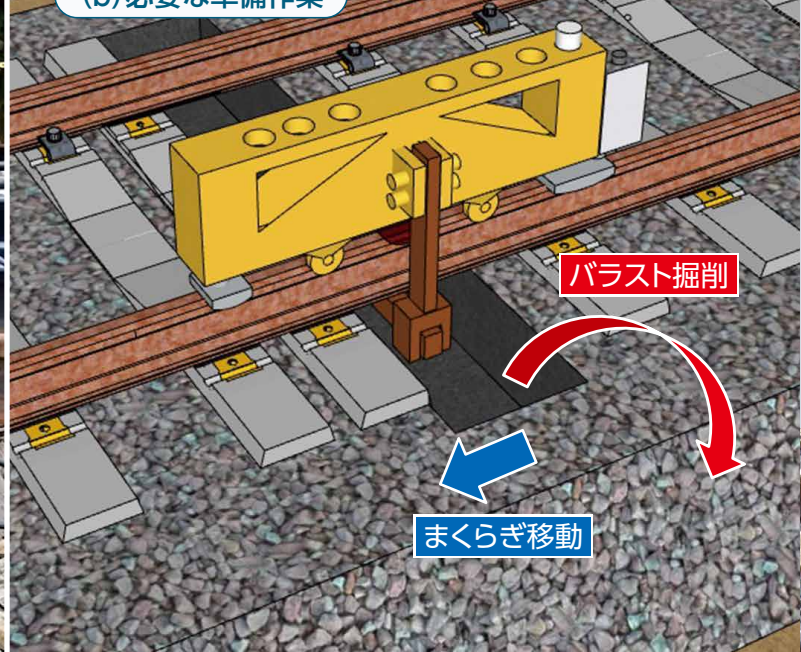


(a) 矯正状況



図6 現行矯正機による矯正手法

(b) 必要な準備作業



もなう熱収縮によりレールがたわみ、そのままの状態では敷設するとレール頭頂面の形状に大きな落込み（凹み）が発生します。このような落込み箇所を列車が通過すると、大きな荷重（著大輪重）が発生するため、軌道状態が悪化しやすくなり、保守作業量の増加を招きます。そこで、このような落込みを防止するため、熱間矯正作業を実施しています。熱間矯正作業では、補修溶接施工直後に専用の矯正機を使い、補修部を中心にレールが落込む量を見込んだ所定量を曲げ上げます。これにより、補修後の頭頂面形状を仕上り範囲内に収めることが可能となります。図6に現行の熱間矯正作業状況を示します。現行の熱間矯正作業では、3点曲げの要領で、補修部直下のレール下部に支点となる矯正治具を挿入します。そのため、バラスト軌道ではバラスト掘削やまくらぎ移動が準備作業として必須となります。また、スラブ軌道などの直結系軌道ではレール下部構造が支障するため、矯正機が使用できず、当該工法の適用が制限されるという問題があります。

そこで、上記の課題に対し、あご下を支点とする新たな矯正機構を有する矯正機を開発しました。図7に新型矯正機の詳細を示します。当該矯正機では、補修溶接にともなう熱影響範囲

外に支点を設けることで、軟化した補修部への食い込みを軽減しています。一方、補修部中心から離れた位置を支点とする4点曲げになることから、従来矯正機のような3点曲げに比べ、変形に要する荷重が増加することが考えられます。そこで、本機構を用いた場合の従来矯正機と同等の矯正力となる荷重（矯正機の出力）をシミュレーションにより求め、新型矯正機の設計に反映させました。また、運搬時の労力を軽減するため、ボルト締めで分解・組立て可能な構造とし、作業員2名程度（部材1体当たり最大65kg）で運搬が可能となりました。当該矯正機を用いた実軌道上での補修溶接試験により、バラスト軌道や直結系軌道において締結装置を外すのみで従来の矯正機と同等の矯正作業ができること、スラブ軌道などバラスト軌道より剛性の高い軌道構造でも締結装置の緩解数を増減させることで必要な矯正力が確保できることを確認しました。

おわりに

レール頭部きず補修工法はレール保守のメンテナンスコストを大きく削減できる技術として、ここ数年、多くの鉄道事業者で試験敷設などが進められています。一方、内在するき裂の長さ

(a) 分解・運搬時

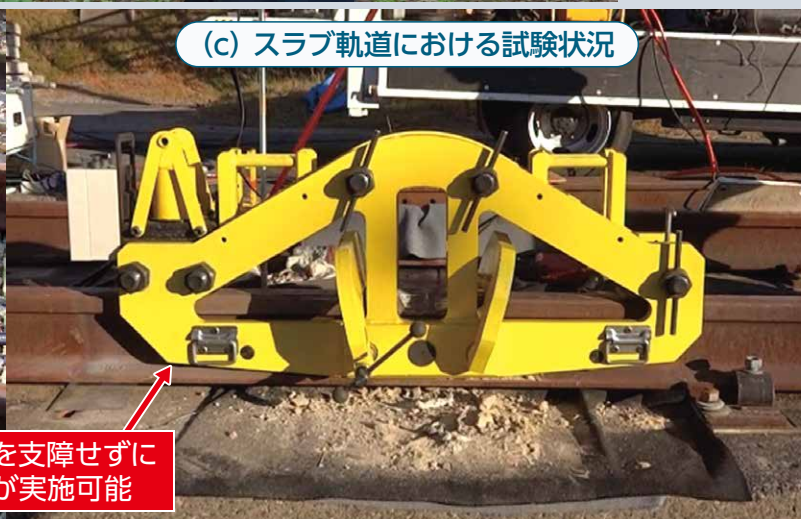


部材重量：65kg

(b) バラスト軌道における試験状況



(c) スラブ軌道における試験状況



レール下部を支障せずに
矯正作業が実施可能

(d) あご下矯正治具



(e) 矯正治具の設置位置

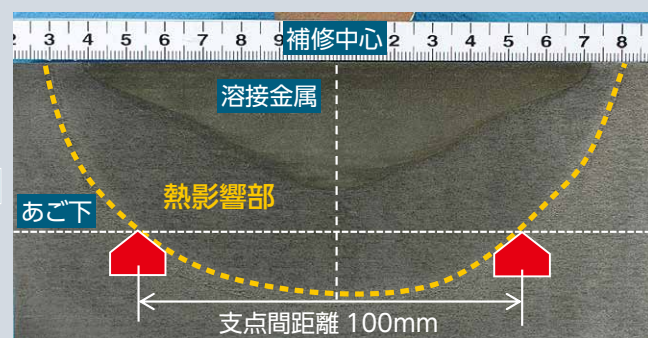
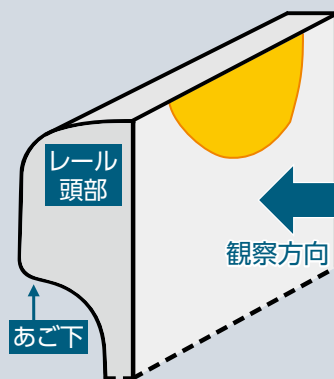


図7 新型矯正機の概要と矯正状況

を適切に把握し、適用可否を判断するための超音波探傷技術や当該工法の施工体制などの実務上の課題も残っています。当該工法を普及させるため、これら課題に対しても鉄道事業者とともに積極的に取り組んでいきます。RRR

文献

- 1) 岩澤仁：レール傷の種類と特徴，新線路，Vol.65，No.10，pp.57-59，2011
- 2) 石田誠：レールシェリング対策，RRR，Vol.70，No.11，pp.30-33，2013
- 3) 藪中嘉彦：レール頭部補修溶接法によるシェリング傷除去試験とその後の追跡調査，日本鉄道施設協会誌，Vol.54，No.12，2016
- 4) 新版軌道材料編集委員会：新版軌道材料，鉄道現業社，p.111-113，2011
- 5) 寺下善弘，伊藤太初：テルミット溶接を用いてレール頭部さびを補修する，RRR，Vol.71，No.12，pp.4-12，2014
- 6) Jay Jaiswal：Repairing discreet defects，the rail engineer，No.57，pp32-33，2009