

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

レール交換せずに レール頭部きずを補修する

レールは車輪を直接支持・案内する重要な軌道部材ですが、経年使用などによりレールにき裂が生じ、破断に至ることがあります。そのため、定期的に超音波探傷検査を実施し、一定のき裂長さに達した損傷レールを新しいレールに交換しています。しかしながら、レールを交換する作業では、レールの交換やレール溶接の作業調整に加え、新しいレールの準備などが必要になり、多くの労力と費用が必要となります。そこで、レール交換せずに損傷箇所を補修できるテルミット溶接法を利用した補修方法について、その概要と最新の研究内容について紹介します。



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
副主任研究員
【専門分野】 溶接・接合、
非破壊検査



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
【専門分野】 溶接・接合、
非破壊検査



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
室長
【専門分野】 溶接・接合、
非破壊検査

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て、破断に至ることがあります。レール破断の主な原因には、シェリング、腐食・電飾、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、この中でもシェリングがレール破断の主な要因となっています。

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から過去には黒裂ともよばれ

ていました。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ため、列車運行頻度が高い線区で比較的多く発生する傾向にあります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を内包し、レールの外観状態から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、進展したき裂長さを管理するとともに適切に対処することで、レール破断を未

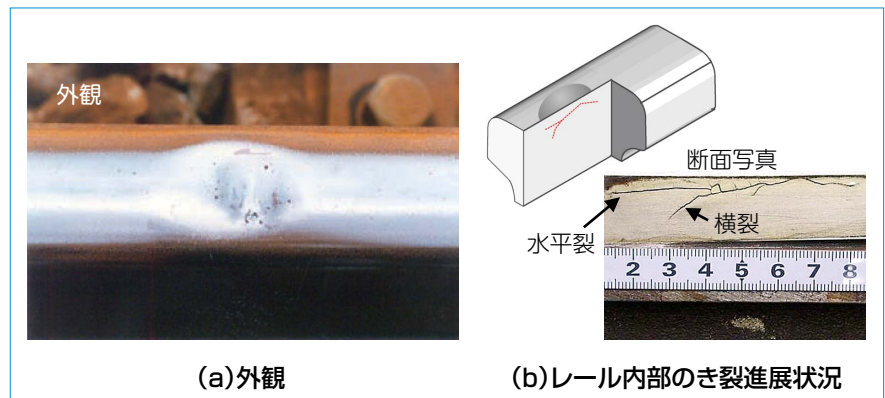


図1 レール頭部に発生したシェリングの状況

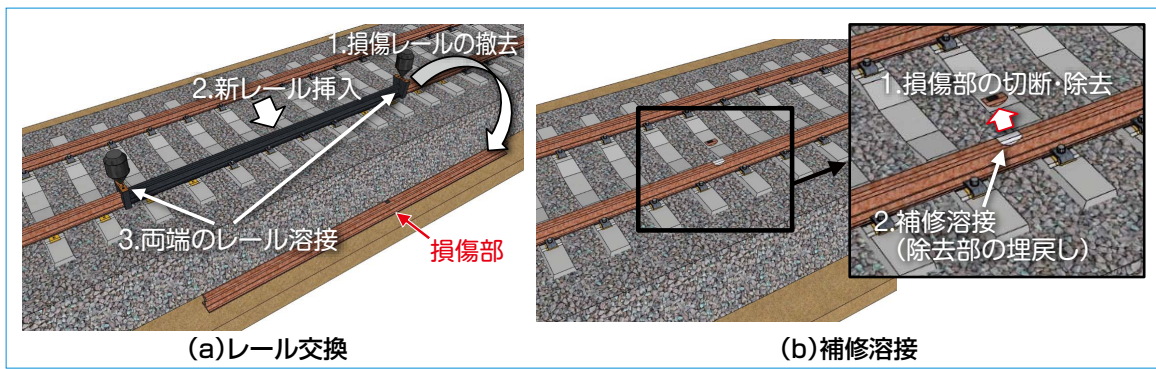


図2 レール交換と補修溶接

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) に示すき裂箇所を含む数～数十m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、交換箇所のレール端部を切断し、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するため、レール交換作業自体の労力や費用のみならず、新しいレールの準備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数十cm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。

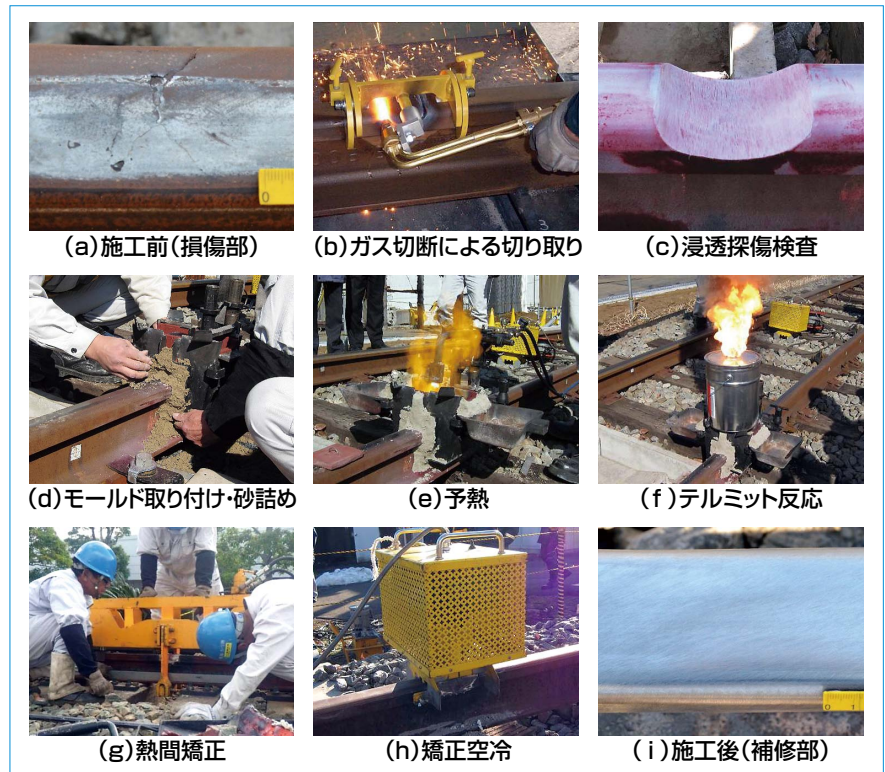


図3 レール頭部きず補修工法の施工の流れ

レール頭部きず補修工法

このような中、近年、簡便な溶接法であるテルミット溶接法（参照）を利用した補修方法（レール頭部きず補修工法）が注目されています。当該工法は、ドイツELEKTRO-THERMIT社のテルミット頭部補修溶接法（THR）を利用した補修方法であり、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）をガス切断で切り取り、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、切り取り箇所にモールドを設置し、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銅を注入します。溶銅が凝固した後に余肉（余分な溶接金属部分）を押し抜き、熱間矯正を実施します。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に整え、補修が完了となります。なお、補修溶接施工後には、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。

テルミット溶接

酸化鉄のアルミニウムによる還元反応であるテルミット反応、
 $3\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{Al} \rightarrow 9\text{Fe} + 4\text{Al}_2\text{O}_3$
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$
 $3\text{FeO} + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$
 によって得られる溶けた鉄（Fe）をレール間に流しこむ溶接法です。この反応は非常にはげしく、溶けた鉄の温度は2000℃を越えます。また、テルミット溶接は使用する機器が軽く、さらに溶接時間が比較的短いことから、おもに線路に敷かれたレールどうしを溶接する際に用いられます。現在、国内のレール溶接の約4割がテルミット溶接で行われています。

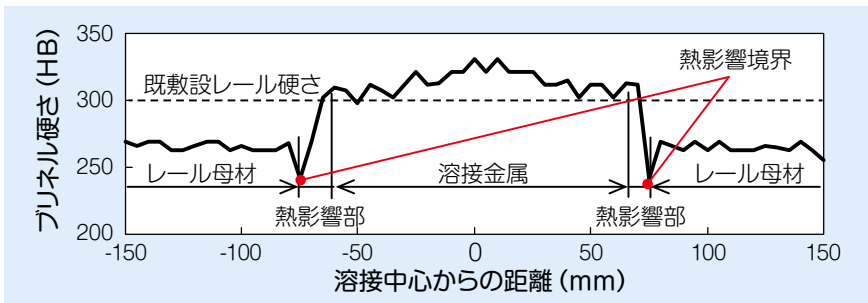


図4 頭頂面の硬さ分布

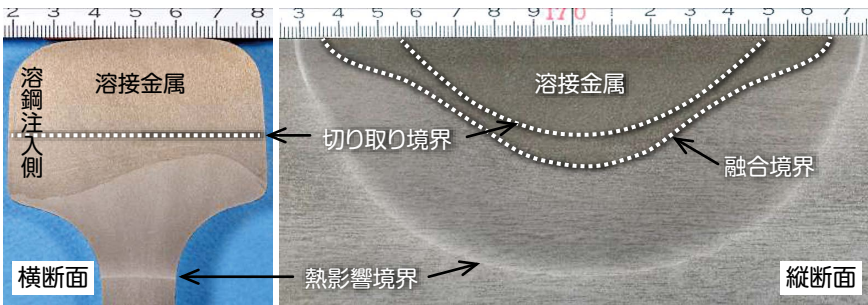


図5 中央横断面および中央縦断面のマクロ組織

補修部の性能

当該工法による補修部は、各種試験の実施により実用上問題ない性能を有していることが確認されています⁴⁾。ここでは代表的な補修部の性能について紹介します。

(1) 頭頂面の硬さ分布

図4に頭頂面中央部で測定した硬さ分布を示します。溶接金属の硬さは320～340HBで、新品の普通レール母材(270HB)に比べてやや高くなっています。しかしながら、当該工法が対象とする既敷設レールでは、車輪との接触により、頭頂面が加工硬化しているため(約300HB)、実使用において、顕著な凹凸が生じることはありません。なお、熱影響境界部に生じる軟化域も5mm程度と狭く、良好な硬さ分布となっています。

(2) 補修部の溶け込み状況

図5に補修部の横断面および縦断面におけるマクロ組織を示します。横断面では、テルミット溶鋼が注入される側の溶け込み量が多く、溶鋼をためる反対側で少ない傾向が認められますが、横断面および縦断面いずれも、すべての領域で十分な溶け込み量(切り取り

境界と融合境界の差分;レールに溶け込んだ量)が得られており、レールと混ざりあっていることがわかります。このように、当該工法による補修部は、レールに完全に溶け込むことから、補修箇所のはく離などが発生せず、レールと同等の強度をもちます。

補修部の熱間矯正作業

レールに限らず、一般的な溶接施工では、溶接時の熱収縮による部材の変形が少なからず生じるため、治具などで部材を拘束したり、逆ひずみを設けたりすることで、溶接施工後の寸法や形状の変化を最小限に抑えています。レール頭部きず補修工法の場合、図6(上)に示すようにき裂箇所のみを補修するため、補修部の冷却にともなう熱収縮によりレールが「く」の字に変形し、そのままの状態では敷設すると

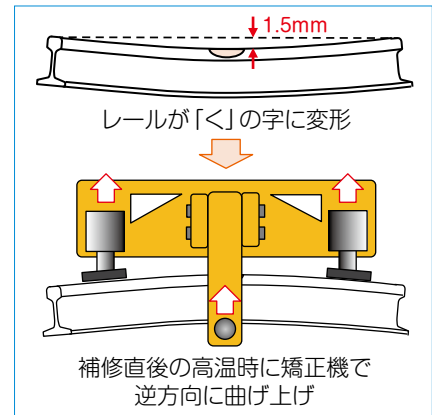


図6 補修部の変形と熱間矯正

レール頭頂面の形状に大きな落ち込み(凹み)が発生します。このような落ち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。レール頭部きず補修工法では、このような落ち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、補修直後に専用の矯正器を使い、補修部を中心にレールが落ち込む量を見込んだ所定量を曲げ上げます(図6(下))。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。

熱間矯正作業の自動化

図7に現行の熱間矯正作業状況を示します。熱間矯正作業では、左右の油圧シリンダーと中央の治具を使って、3点曲げの要領で補修箇所を矯正する油圧式の熱間矯正機を使用します。また、図中に示すように専用の定規をレール底部上面に設置し、矯正時のレール変形量を目視により測定して、手動で油圧を調整します。そのため、実際のレール変形量にばらつきが生じ

レール溶接部の仕上げ作業

レール同士を溶接すると、溶接時の熱変形や溶接金属による余盛(余分に盛り上げた部分)のため、いびつな断面形状となります。そのため、レールを溶接した箇所は、元のレール形状に戻す「仕上げ」作業が必須となります。この仕上げ作業では、熟練の職人がコンマ数mmから数十mmに達する凹凸をグラインダー1本で平滑にする作業を行っています。そのため、レール溶接技術者にとって、最も難しい作業となっており、仕上げ作業の脱技能化・機械化が強く求められています。

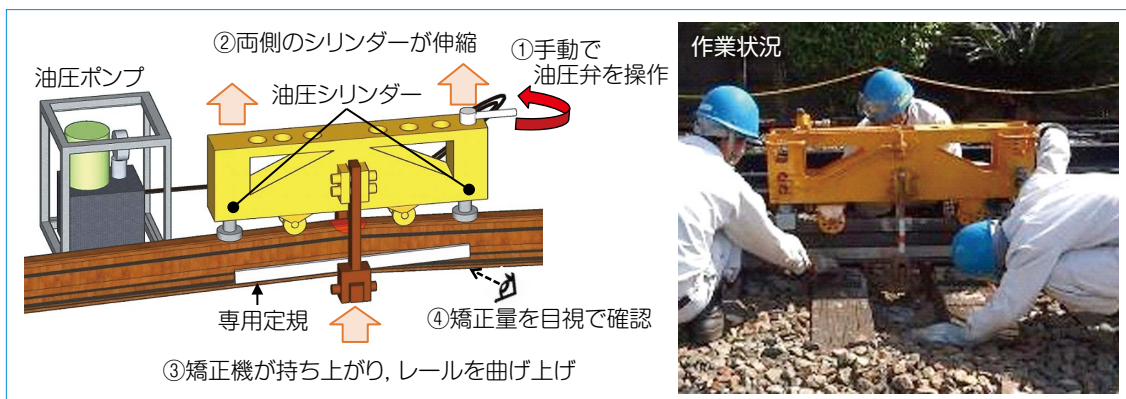


図7 補修部の熱間矯正作業状況

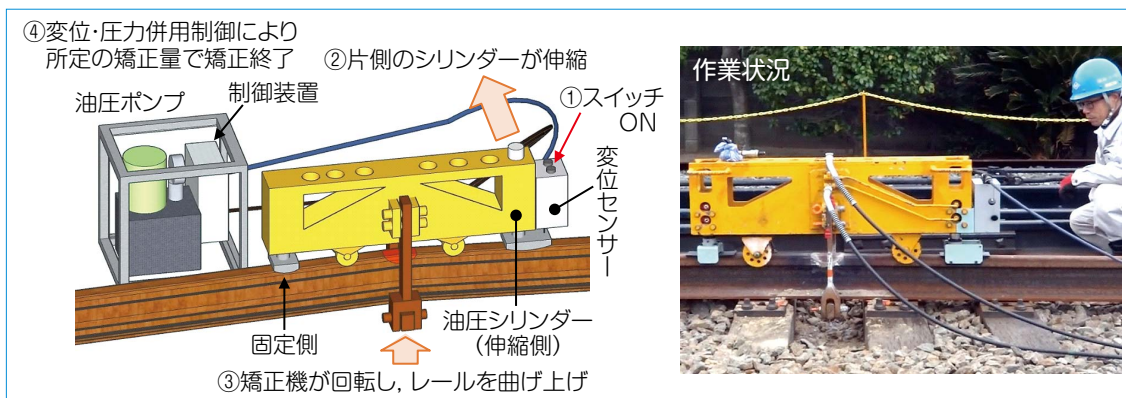


図8 自動制御式熱間矯正機の詳細

やすく、万一、矯正量が適切でなかった場合、グラインダーで凹凸のない形状に上げるため、仕上げの研削作業に膨大な時間と労力が必要となります。

そこで、変位センサーによりレール変形量を読み取り、センサーからの信号により油圧弁を制御する機構を備えた自動制御式熱間矯正機を新たに開発しました。図8に自動制御式熱間矯正機の詳細を示します。開発した矯正機は、この原理を利用し、固定側を支点とした回転機構により矯正を実施します。そのため、レールとの接触部となる支点およびシリンダー先端は両側とも半円状としています。

当該矯正機を使用し、補修部の矯正試験を実施した結果、従来の手動による矯正作業と同様のレール変形量を確保できるとともに、作業者の技量に依存せず矯正作業を実施できることが確認できました。また、この結果を基に、営業線における現場施工試験において、当該矯正機を用いた矯正作業を

実施しました。試験施工の結果、図9に示すとおり、仕上げ時間に長時間要することを見込んで設定した従来の計画作業時間約230分に対し、約160分の作業時間で施工が可能であることが確認され、計画作業時間を60分以上短縮することが可能となりました。

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であり、今後より広く普及する可能性を秘めています。一方、試験敷設なども含めた現場施工にともない、施工現場特有の課題も生じています。今後もこのような課題に積極的に取り組み、当該工法の普及に努めていくことで、将来にわたって持続可能な鉄道を実現したいと考えています。

RRR

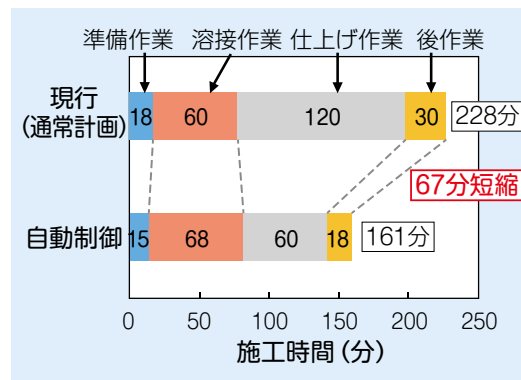


図9 作業時間の比較

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, 原岡周平, 山根寛史: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) 寺下善弘:テルミット溶接を用いてレール頭部きずを補修する, RRR, Vol.71, No.12, pp.12-15, 2014