

鉄道一般
車両
軌道
構造物
防災
電力
信号通信情報
材料
環境
人間科学
浮上式鉄道

テルミット溶接を用いて レール頭部きずを補修する

シェリングなどのレール頭頂面の損傷がレール破断の主因となっており、その管理に多大なコストが費やされています。本記事では、このような箇所におけるこれまでの管理や補修方法などを海外の事例も引用しながら概説するとともに、シェリングの補修を目的として日本のレール向けに開発した新たなレール頭部補修方法について紹介します。



寺下 善弘
Yoshihiro Terashita
軌道技術研究部
レール溶接研究室
副主任研究員
【専門分野】レール溶接
の施工・検査



伊藤 太初
Hajime Ito
前 軌道技術研究部
レール溶接研究室
副主任研究員
【専門分野】レール溶接
の施工・検査

レール破断の原因

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、車輪との転がり接触、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(☞参照)には、シェリング、腐食・電食、レール端部の破端あるいは溶接部の欠陥などが挙げられますが、この中でもシェリングからのレール破断が半数以上を占めています¹⁾。

このシェリングは、列車運行頻度が高く、車輪との転がり接触が蓄積されたレールに発生することが多く、国内では数万箇所以上の発生が確認されています²⁾。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て成長したき裂の深さを管理し、計画的に新しいレールと交換するなど、多大な労力と費用をかけてシェリングからのレール破断を未然に防止しています。

シェリングの管理方法

シェリングの検査は、検査車両に搭載された超音波探傷システムおよび手押し式の超音波探傷装置などによって実施されています。しかしながら、これらの探傷方法はいずれも頭頂面から超音波を送受信する方法であるため、**図1**に示すように水平方向に成長したき裂(以下、「水平裂」と記す)が長いと、レール破断につながる水平裂から底部方向に成長したき裂(以下、「横裂」と記す)はレール頭頂面からの探傷では

☞ レール破断の主な原因

- ・ **シェリング**：車輪がレール上を転がることによる応力の繰り返しによりき裂が発生・成長する。レール頭部に生じる転がり接触疲労損傷の一種。
- ・ **腐食**：腐食環境下に敷設されたレールがさびることで、レールの厚みが減少する、あるいは局所的な凹みを形成して応力集中によりき裂が発生する。
- ・ **電食**：レールを帰線回路として使用する場合に、レールから漏れ出る電流に起因して腐食する現象で、電気分解の一種。
- ・ **破端**：レール継目部付近で生じる損傷の一種。継目部の衝撃荷重とボルト穴周辺の応力集中などにより、ボルト穴からき裂が発生することが多い。

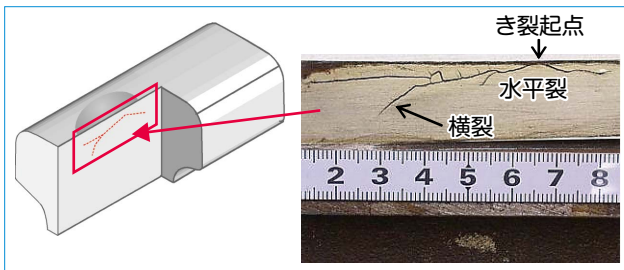


図1 シェリングのき裂成長状況の一例



図3 ガス溶射肉盛法 (国内)



図2 レール頭部横裂探傷の状況



図4 半自動アーク溶接法 (海外)

検知できません。

このような理由から、最近では横裂の深さを主な管理基準とする鉄道事業者が増えており、図2に示す測定器を用いてレール頭部側面から反対側の頭部側面まで斜め45°に超音波を送受信させ、透過する超音波の音の強さの変化で横裂の深さを測定する検査方法が一般に採用されています³⁾。

なお、所定の深さまで横裂が成長していると判定された場合には、補強継目板を取り付け、計画的に新しいレールと交換されます。この場合、約5mの長さで損傷レールを新品レールに交換することから、両端2箇所溶接が必要となり、多くの手間と費用が掛かることとなります。そこで、き裂発生部を局部的に補修する方法が必要とされています。

従来のレール頭部きずの補修

これまで、国内において幾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。図3に示す国鉄時代に開発されたガス溶射肉盛法による頭部補修溶接は、自溶性合金を使用する

ため、溶射面に特別な処理を施す必要がありません。また、グラインダーでシェリングから成長したき裂を研削除去するため、比較的長いき裂も除去できます。しかしながら、高度な技量を必要とし、施工時間も長いため、現在では一部の鉄道事業者のみでしか適用されていません⁴⁾。なお、国鉄時代には被覆アーク溶接法によるシェリングの補修溶接が試行されましたが、削り残したき裂から早期に疲労損傷を引き起こしたため、採用されるに至りませんでした。

一方、海外では古くから被覆アーク溶接法による頭部補修溶接が多くの国で実施されてきました。また、最近では図4に示すような炭酸ガスシールドアーク溶接などの半自動溶接法が主に北米、オーストラリア、スウェーデンなどの重い貨物列車が運行する鉄道で採用されています。しかしながら、アーク溶接法も高い溶接技量を必要とし、深さ10mm程度の補修でも相当の施工時間を要します。また、補修領域が浅い場合には、きずの削り残しや残留応力の発生による損傷の危険性が高く

なるなどの問題があります。

テルミット頭部補修溶接法

近年、簡便な溶接法であるテルミット溶接法を利用した頭部補修溶接が注目されつつあります。テルミット溶接を利用した頭部補修溶接法は、1970年代にオーストラリア(Thermit Australia社)で開発され、2007年にイギリスで使い捨てルツボの使用や予熱方法を改良した補修方法が確立されました。このイギリス方式は、敷設試験で良好な結果を示したため、Network Rail社で認証され、これまで約3,000箇所施工されています。

一方、日本でのレール溶接施工に使用されているゴールドサミット溶接を製造するドイツのELEKTROTHERMIT社(以下、「ET社」と記す)では、イギリス方式を基に、独自に改良を施したテルミット頭部補修(以下、「THR」と記す)溶接法を開発するに至っており、現在、ドイツ鉄道で認証取得のための最終的な敷設試験が実施されています。

このように、簡便かつ比較的短時間

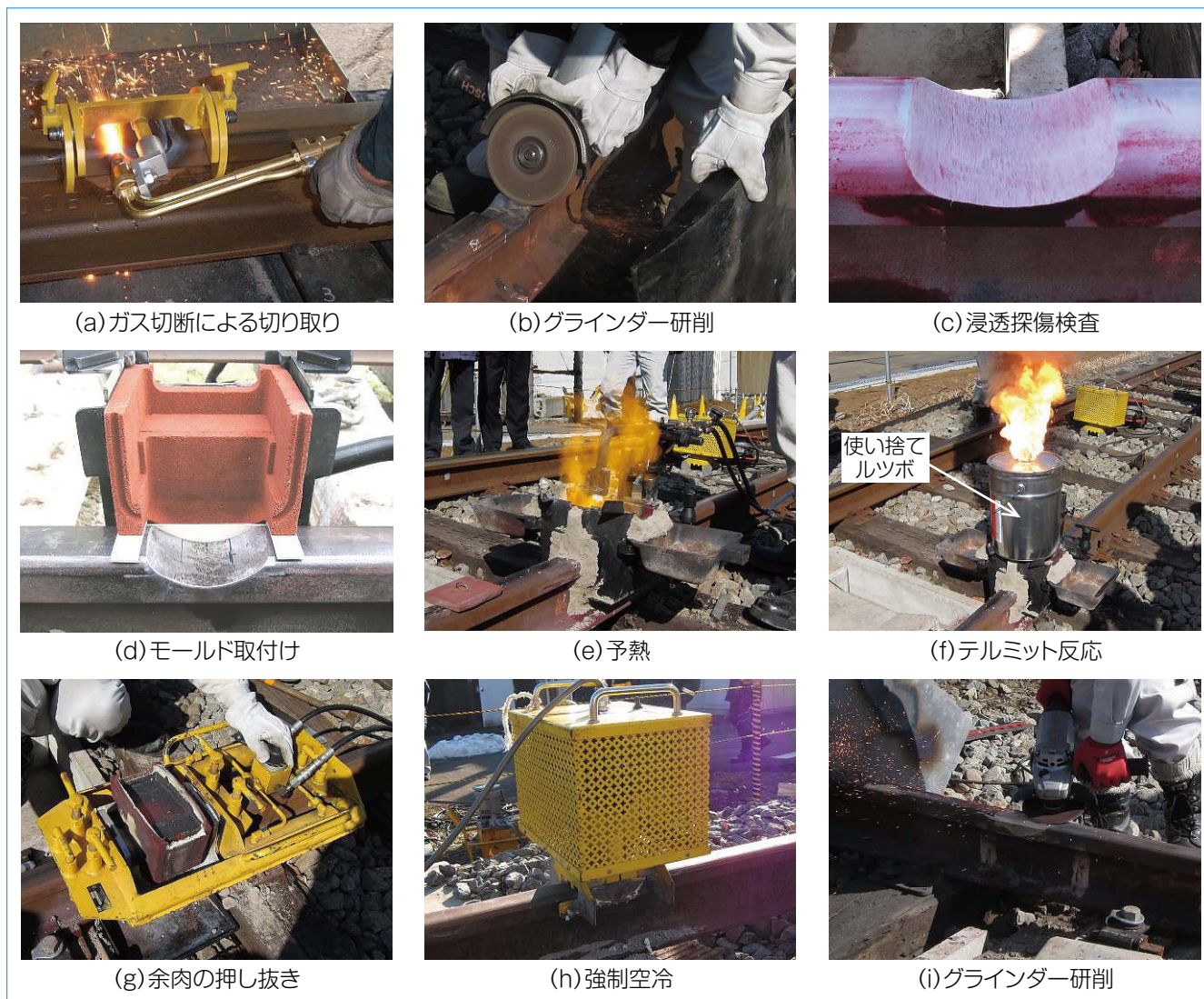


図5 THR溶接法の施工の流れ

で施工が可能であるなどの利点を有するテルミット頭部補修溶接法の中から、日本向けのテルミット溶接材料を供給しているET社のTHR溶接法を採用し、JIS60kgおよび50kgNレールへの適用に向けて検討しました⁵⁾。

図5にTHR溶接法の施工の流れを示します。まず、シェリングの発生箇所(き裂成長範囲)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(☞参照)を使用し、モールド内にテルミット溶銅を注入します。また、溶銅が凝固した後に余肉を押し

抜き、頭頂面の硬さを調節するための強制空冷を施します。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、補修溶接施工後には、超音波探傷検査により、溶接欠陥の有無が検査されます。このように、切り取りと強制空冷を除くと、レールのゴールドサミット溶接と同じ手順で施工できます。

THR溶接法ではレールを完全に切断しないためにレール緊張器を必要とせず、通常のテルミット溶接1箇所の施工時間で損傷レールの補修が可能となります。さらに、THR溶接法で損傷レールを補修する場合の費用は、レール交換および後日ロングレール設定替えを実施する場合に比べて、わず

か5分の1程度に留まります。

THR溶接部の性能

THR溶接部が、営業線で列車荷重による発生応力や車輪との繰り返し接触などを受けても、実用上問題ない性能を有していることを確認するため、各種試験を実施しました。

(1) 頭頂面の硬さ分布

図6に頭頂面中央部で測定したプ

☞ 使い捨てルツボ

予めテルミット溶剤が充填されたオートタップ装着済みで使用回数1回限りの使い捨てタイプ。清浄度の高い溶接金属が得られ、ルツボの予熱や固定治具を必要としない。

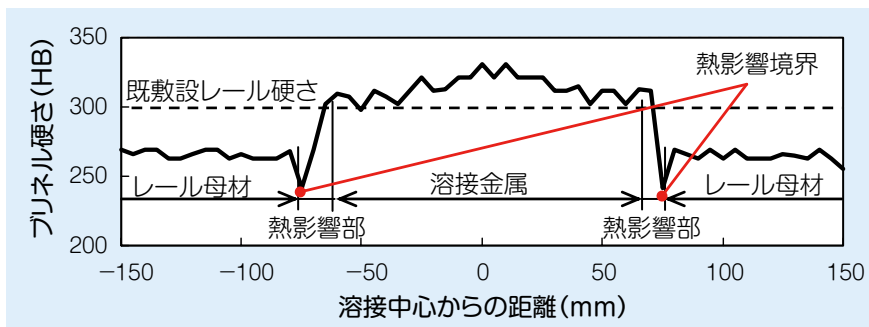


図6 頭頂面のブリネル硬さ分布

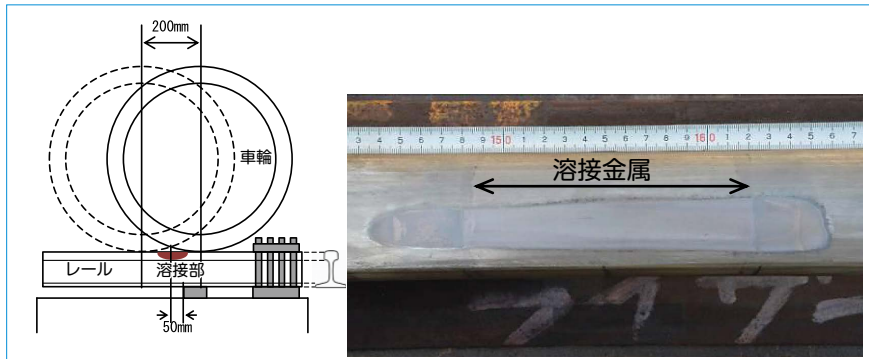


図7 転動疲労試験の模式図および試験後の頭頂面の形態

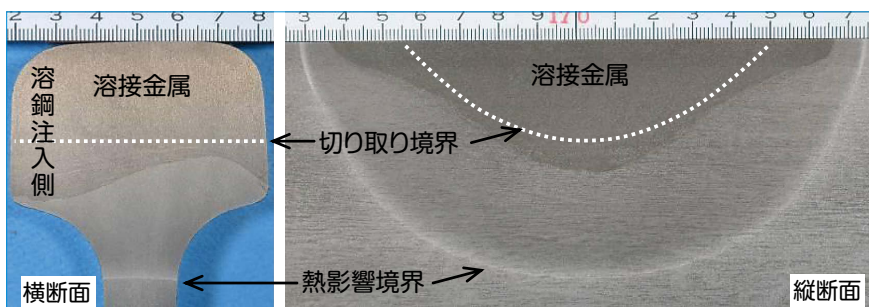


図8 中央横断面および中央縦断面のマクロ組織

リネル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、THR溶接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) 溶接部の強度

THR溶接部の強度を、転動疲労試験、軸力付加曲げ疲労試験および静的曲げ試験で評価しました。

図7に転動疲労試験の模式図および試験後の頭頂面の形態を示します。本

試験では、曲げ支点から50mmの位置が溶接中心となるように片持ち支持で試験体を設置しました。溶接中心から前後に100mm、総移動長さ200mmにわたって車輪を転動させました。車輪が自由端側(左側)にある時は、頭頂面側に引張応力が、固定端側(右側)に移動する際には、頭頂部にせん断応力が作用することになります。この試験条件は、レールのエンクローズアーク溶接部に適用した場合、微小な溶接欠陥から水平裂が発生する厳しい条件ですが、THR溶接部は、100万回の往復転動回数でき裂の発生、成長は認められませんでした。また、頭頂面の形態は良好であり、熱影響境界部に軽微な局部落ち込みが生じたも

の、溶接金属部の摩耗状態はレール母材とほとんど差はありませんでした。

なお、レール頭部に引張応力を作用させるために、水平方向にレール軸力相当の引張応力を負荷した状態で実施した3点曲げ疲労試験およびレール頭部を下向きにした姿勢で実施した静的曲げ試験においても、良好な結果が得られています。

(3) 補修部の溶け込み形状

図8にTHR溶接部の中央横断面および中央縦断面におけるマクロ組織を示します。中央横断面では、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に少ない傾向が認められますが、いずれの領域も切り取り境界から3mm以上の溶け込み量が得られています。また、中央縦断面では左右均等で、いずれの領域においても十分な溶け込み量が得られています。

おわりに

現在、THR溶接法は実用化に向けて敷設試験が進められています。レール折損防止のためにも、THR溶接法が日本で普及し、さらに信頼性の高い補修溶接法となることを期待します。

RRR

文献

- 1) 岩澤仁：レール傷の種類と特徴，新線路，第65巻，第10号，pp.57-59，2011
- 2) 福元伸也：JR九州におけるシェリング対策の取り組み，新線路，第67巻，第5号，pp.9-11，2013
- 3) 寺下善弘他：レール等に潜む損傷の検査法，RRR，Vol.65，No.5，pp.22-25，2008
- 4) 石川和雄：レール端部ガス溶射肉盛工法，新線路，Vol.52，No.1，pp.8-11，1998
- 5) 伊藤太初他：テルミット頭部補修溶接法を用いたレール補修方法，鉄道総研報告，Vol.28，No.6，pp.41-46，2014