

テルミット溶接を用いたレール頭部補修方法

軌道技術研究部 レール溶接研究室

研究員 伊藤 太初

1. はじめに

近年、シェリングきず等のレール頭部損傷はレール折損原因に占める割合が高く、その管理に多大なコストが費やされている。そこで、本研究ではレール交換を必要としないレール補修方法として、海外で実績のあるテルミット頭部補修溶接法の JIS レールへの適用について検討した。

2. テルミット頭部補修溶接法の概要

現在、国内では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が一部の JR および民鉄で適用されている。また、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、最近では炭酸ガスシールドアーク溶接等の半自動溶接法が採用されている。しかしながら、これらの方法は高度な技量を必要とし、施工時間も要する。そこで、本研究では、簡便かつ比較的短時間で施工が可能なテルミット頭部補修溶接法に着目した。当該手法は、テルミット溶接を利用した頭部補修溶接であり、図 1 に示すように、通常のテルミット溶接とほぼ同様の手順で施工できる特徴を持つため、溶接技術者の新規育成を必要としない。また、レールを破線する必要がないため、設定替えを伴うレール交換に比べ施工コストは 5 分の 1 程度に留まる試算である。このように多くの

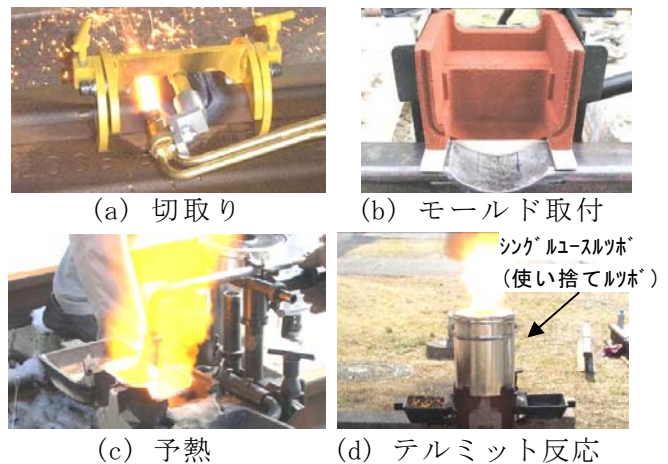
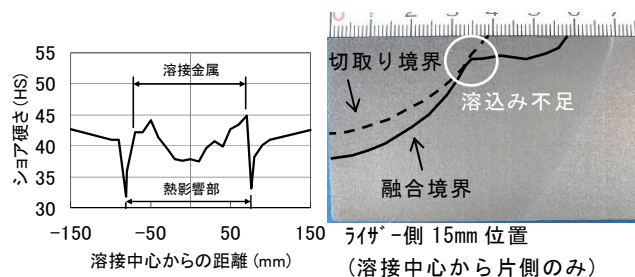


図 1 テルミット頭部補修溶接法の施工手順



(a) 頭頂面硬さ分布 (b) 縦断面溶込み状況

図 2 従来条件による補修溶接部の状況

利点を持つ当該溶接法であるが、材料供給メーカーが推奨する条件(以下、従来条件と称す)では、図 2 に示すように、頭頂面のショア硬さ分布が不均一となり、さらに断面上における溶接金属の溶込み量が部分的に不足する等の問題を生じる。そこで、これら問題点の改善を目的に検討を進めた。

3. 硬さ分布改善手法の検討

硬さ分布改善手法として、ガス圧接部の後熱処理作業で使用されている冷却装置を用いた溶接直後の強制空冷による方法を検討した。送風量は 2 条件(2.8m³/min, 2.2m³/min)とし、押抜き直後からレール頭部温度が 300℃以下となるまで空冷処理を施した。図 3 に各条件におけるショア硬さ分布を示す。送風量 2.8m³/min では溶接中心部が 48HS と顕著に硬化したが、送風量 2.2m³/min

では、溶接中心部が 44HS 程度となり、経年レール母材とほぼ同等の硬さ分布が得られた。

4. 溶込み量の増加手法の検討

4.1 予熱条件の変更

溶込み量の増加には投入熱量の増加が必要であると考へ、予熱時間の延長を試みた。なお、通常の予熱炎で時間を延長した場合、バーナ先端が過熱状態となり逆火に至る可能性があるため、過熱対策として予熱炎の圧力を下げ、ライザー側モールドのゲイト穴を拡大した。表 1 に改良前後の予熱条件、図 4 にモールドの改良状況を示す。上述の対策によって過熱を防ぎつつ、長時間予熱が可能となり、投入熱量を大きく増加することが可能となった。その結果、当該予熱条件で作製した試験体では、図 5 に示すようにいずれの部位も溶込み量が大きく増加した。

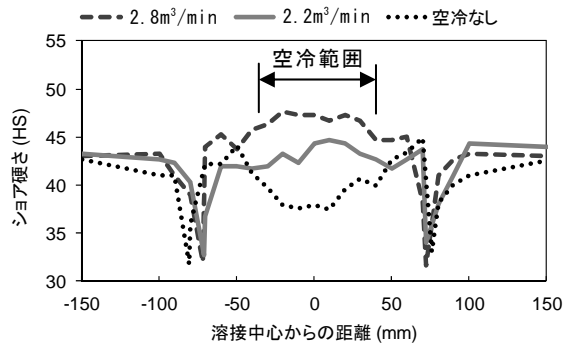
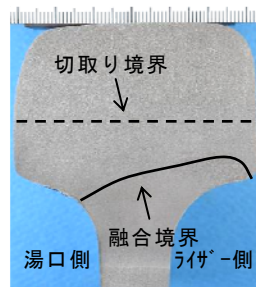
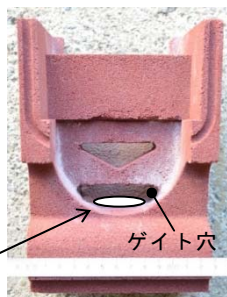


図 3 レール頭頂面のショア硬さ分布

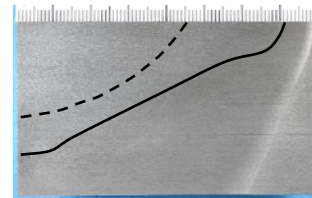
表 1 予熱条件

条件	酸素 (MPa)	プロパン (MPa)	時間 (秒)
従来	0.5	0.12	90
改良	0.4	0.07	180

従来モールドのゲイト穴サイズ



(a) 横断面



(b) 縦断面

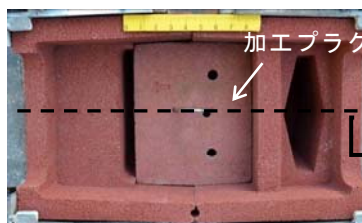
図 4 モールド改良状況

図 5 改良予熱条件による断面マクロ組織

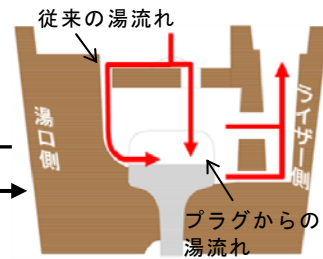
ライザー側 15mm 位置 (溶接中心から片側のみ)

4.2 湯流れ経路の変更

従来モールドの湯流れは湯口からライザーへと抜ける一方通行であるため、ライザー側の溶込み量が少なくなるものと考えられる。そこで、ライザー側の切り面に溶鋼が直撃するように、通常の湯口に加えてプラグに設けた丸穴から注湯する方式 (プラグ併用注湯) を検討した。図 6 に加工プラグの設置状況、注湯経路模式図および図 7 に断面マクロ組織の一例を示す。溶込み量の不足するライザー側に設置した 3 箇所丸穴からの注湯により、いずれの領域においても溶込み形状が均一になると共に、十分な溶け込み量が確保された。

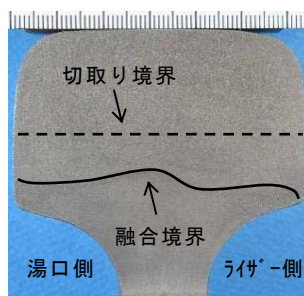


(a) プラグ設置状況

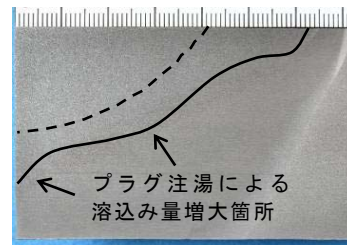


(b) 注湯状況模式図

図 6 プラグ併用注湯のプラグ状況、注湯状況模式図



(a) 横断面



ライザー側 15mm 位置 (溶接中心から片側のみ)

(b) 縦断面

図 7 プラグ併用注湯断面マクロ組織例

4.3 提案する溶接条件

以上の検討結果より、提案する溶接条件を表 2 に示す。なお、切り取り形状は長さ 90mm、深さ 25mm とする。

表 2 提案する溶接条件

切り取り形状		予熱条件				注湯条件	押抜き開始時間
長さ(mm)	深さ(mm)	酸素ボンベ圧(MPa)	酸素手元圧(MPa)	プロパンボンベ圧(MPa)	時間(sec)		
90	25	0.40	0.32	0.07	180	プラグ併用	7分10秒

5. テルミット頭部補修溶接部の性能評価試験

5.1 曲げ破断試験

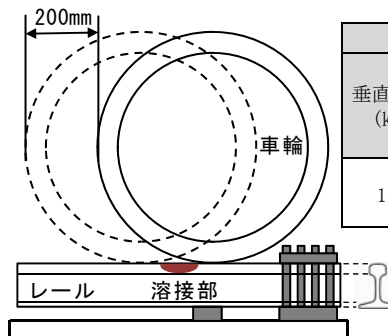
補修溶接部の静的強度を評価するため、頭部下向き姿勢による曲げ破断試験を実施した。スパンは1mとし、中央集中荷重による3点曲げで実施した。表3に曲げ破断試験結果を示す。3体の試験体はいずれも60kg レールテルミット溶接部の基準値(頭部下向き姿勢：破断荷重1,078kN，たわみ13mm)を上回っており、破断面に溶接欠陥は認められなかった。

表 3 曲げ破断試験結果

TPNo.	破断荷重(kN)	たわみ(mm)
1	1,256	14
2	1,396	20
3	1,390	19

5.2 転動疲労試験

補修溶接部の疲労強度を評価するため、頭部に引張およびせん断応力が作用する転動疲労試験を実施した。図8に転動疲労試験の試験条件および結果を示す。本試験で適用した試験条件は、エンクローズアーク溶接部に対して実施した際に、頭部の



垂直荷重(kN)	試験条件		試験結果	
	発生応力(N/mm ²)		往復転動数	破断の有無
	最大引張応力	最大せん断応力		
150	70	139	100万回	未破断

図 8 転動疲労試験の試験条件および結果

1 級未満の溶接欠陥から疲労き裂が進展する厳しい条件である。試験の結果、往復転動回数 100 万回において未破断であり、試験後の超音波探傷検査でも疲労き裂は検出されなかった。

6. 仕上り検査方法および判定基準の提案

図9に示す溶接中心から30mm位置に融合不良が発生した試験体に対して、超音波探傷検査を実施した結果、頭頂面からの一探触子法で3級、頭部二探触子法で2級のきずエコーを検出した。また、溶接範囲が広く(長さ150mm程度)、融合境界部の形状が部分円状と通常のテルミット溶接部と異なるため、二探触子法の探触子走査が難しいこと、一探触子法でも融合不良を検出可能であることが判明した。そこで、これらの結果を基に、以下にテルミット頭部補修溶接部の仕上り検査方法および判定基準を提案する。

探傷方法	エコー高さ	欠陥等級	きず深さ
頭頂面一探触子法	59% (-12dB)	3級	15.8mm
頭部二探触子法	35%	2級	—

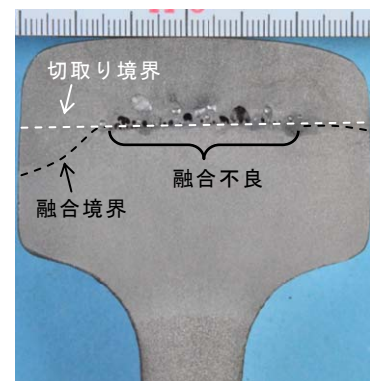


図 9 融合不良の一例

- ① 欠陥の検出を目的として頭頂面からの一探触子法で溶接部全体を走査する。
- ② きずエコーを検出した場合、エコー反射源に対して頭部二探触子法を適用する。
- ③ 判定は頭部二探触子法で行い、欠陥等級 2～4 級を不良とする。

7. 鉄道総研構内試験線における施工試験

レール頭部に局部的に熱を加える当工法では、熱収縮に伴って、レール頭頂面形状に落込みが生じる可能性がある。上述の試験では、レール長さ 1.5m 程度の短いレールであったため、落込み量は無視できる程度であったが、実施工では 25m 以上のレールとなることから、落込み量およびその対策を確認・検討する必要がある。そこで、鉄道総研構内試験線に敷設された 25m レールに対して施工試験を実施した。施工箇所は、空転きずにより 0.9mm の局所的な落込みが発生した箇所(施工箇所①)および落込みの無い健全な箇所(施工箇所②)の 2 箇所である。図 10 に構内試験線における溶接施工状況を示す。

図 11 に施工前後における 1m スパンの頭頂面形状を示す。施工箇所①では逆ひずみを設けずに溶接施工したが、施工後の仕上り形状において溶接金属を中心として緩やかに -1.5mm の落込みが生じた。そこで、施工箇所②では、施工前に予め 0.75mm 程度上げ越した後(逆ひずみ量 1.5mm)、溶接施工した。なお、 0.75mm 上げ越すため、溶接箇所の前後 10 締結(計 20 締結)を緩解し、ジャッキを用いて 85mm 程度こう上させた。その結果、施工箇所②の仕上り形状は高低 $+0.45\text{mm}$ とレール溶接部の仕上り範囲内に収まった。以上より、施工前に 0.75mm 程度上げ越すことで施工後の落込みを回避できる見通しを得た。



(a) 溶接施工



(b) 施工後の外観

図 10 構内試験線における施工状況

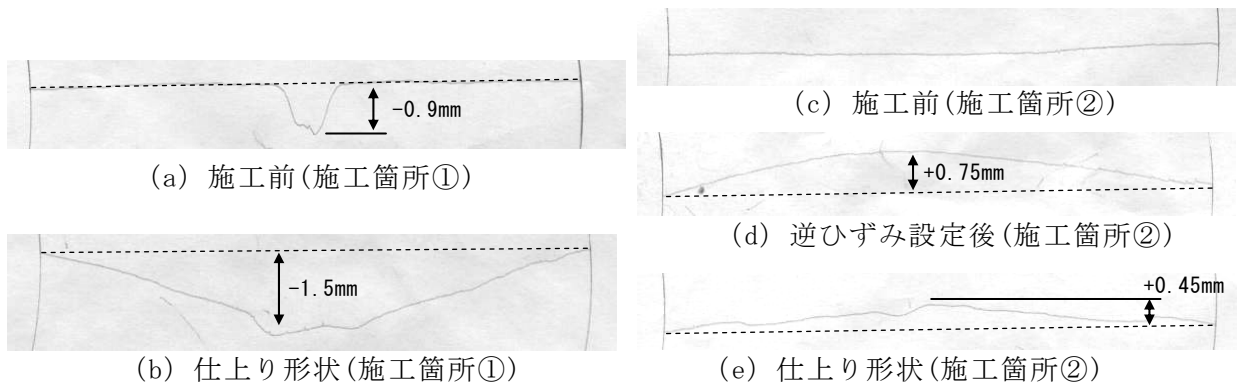


図 11 施工前後における頭頂面形状

8. おわりに

単発で発生したシェリング等のレール頭部損傷を対象とした場合、本工法を用いることで低コスト・短時間で補修が可能となる。一方、過去に開発されたいずれの頭部補修溶接方法と同様に、きず等を残したまま溶接補修した場合、残存したきず等に起因してレール折損に至る可能性がある。したがって、切取り部の浸透探傷検査によってきずが除去されたことを確実に確認することは当然として、事前に実施される補修箇所の超音波探傷検査において内部きずの発生状況をしっかり把握しておくことが重要である。