

論文 テルミット頭部補修溶接法を用いた レール補修方法の実用化に関する検討

藪中 嘉彦¹・原岡 周平¹・加藤 篤史²

¹正会員 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部 施設技術室

(〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田2-4-24)

E-mail: yoshihiko-yabunaka@westjr.co.jp, syuuhei-haraoka@westjr.co.jp

²正会員 株式会社峰製作所 技術研究所 溶接研究部 (〒811-3102 福岡県古賀市駅東4-1-1)

E-mail: atsushi_katou@mine-s.co.jp

JR西日本ではシェリング傷の効率的な除去を目指し、公益財団法人鉄道総合技術研究所から提案されているテルミット頭部補修溶接法を試行している。試行では、既往の評価試験が主として新品レールを対象に行われていることを考慮して敷設レールの状態により適用箇所を限定しており、実用化に際してはさらなる適用拡大が必要である。このため、経年レールの状態に応じた検証を追加実施し、テルミット頭部補修溶接法の適用可能性について評価を行った。

Key Words : squat, almino-thermit welding, rail head repair, THR

1. はじめに

レール頭頂面に生じるシェリング傷は、破断に至る横裂に進展するまでに除去する必要がある、レールの寿命を短命化させる要因の一つとなっている。JR西日本（以下、「当社」という）の在来線においても、シェリング傷の管理及び除去には多くの労力と経費を費やしており、シェリング傷の効率的な除去方法の導入が欠かせない。そこで、公益財団法人鉄道総合技術研究所（以下、「鉄道総研」という）から提案されているテルミット溶接を用いたレール頭部補修方法（以下、「THR溶接法」という）を試行している。試行では、既往の評価試験¹⁾が主として新品レールを対象に行われていることを考慮して敷設レールの状態により適用範囲を限定しているところであるが、実用化に際してはさらなる適用範囲の拡大が必要である。そこで、曲線区間のレールに多く見られる

「きしみ割れが生じたレール」について、THR溶接法の適用可能性を確認したので報告する。

2. THR溶接法について

(1) THR溶接法の概要

THR溶接法は、欧州で試行されている工法であり、レール交換によらないシェリング傷除去工法として期待されている。日本においては、鉄道総研が性能評価試験を行い、JISレールへの適用が可能であることが確認されている¹⁾。

施工では、ガス溶断により長さ90mm、深さ25mmの部分円状にレール頭部を切り取り、シェリング傷を取り除く。図-1にレール頭部の切り取り範囲を、図-2にレール頭部切り取り後の状況を示す。切断面はグラインダーで研削

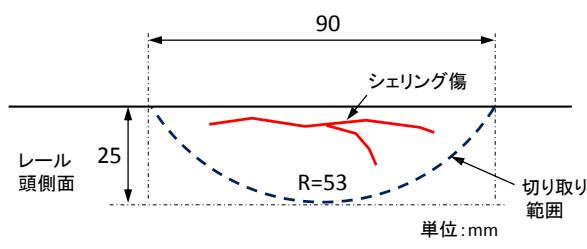


図-1 レール頭部の切り取り範囲

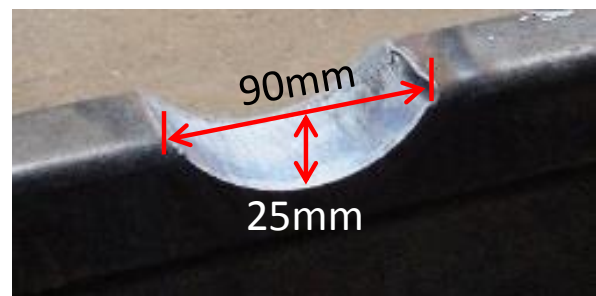


図-2 レール頭部切り取り後の状況

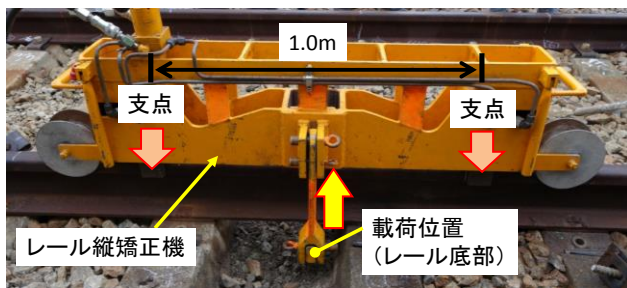


図-3 レール縦矯正時の状況

し、浸透探傷検査により傷の残存有無を確認する。その後、専用のるつぽとモールドを使用してテルミット溶鋼を鋳込み、余肉の押し抜き後にレール縦矯正を実施する。ここで、レール縦矯正は溶接歪によるレール形状の落ち込みを抑制するために専用の矯正機を用いて行う熱間加工である。図-3にレール縦矯正時の状況を示す。次に、溶接金属部の硬さを均一化するための後熱処理（強制空冷）を行い、最後にグラインダー研削によりレール頭部の形状を所要の精度内に仕上げる。

THR溶接法の施工では、レールを完全に切断しないことから、交換用レールの手配や運搬、ロングレール軸力の再設定を必要としない。また、溶接部は施工中においてレール伸縮の影響を殆ど受けないため、テルミット溶接部で生じる欠陥の主たる要因である凝固割れのリスクを回避できるといったメリットがある。

(2) 当社におけるTHR溶接法の試行状況

当社では2015年から営業線においてTHR溶接法を試行し、これまでに10箇所の試験敷設を行っている。試行箇所においては、定期的に追跡調査を行い、レール頭頂面硬さの測定、レール頭頂面凹凸形状の測定、浸透探傷検査、超音波探傷検査を実施し、実用上の不具合が生じていないことを確認している²⁾。調査結果の一例として、測定したレール頭頂面硬さ及びレール頭頂面凹凸形状の推移を次項にて報告する。

a) レール頭頂面硬さの推移

試行箇所において測定したレール頭頂面硬さの推移を図-4に示す。溶接金属部には繰返し列車荷重による加工硬化の影響が見られ、ショア硬さは施工直後から施工3ヵ月後（累積通過トン数4.75百万トン）までの間に5HS程度上昇していた。その後、硬さ値の上昇に飽和傾向が見られ、落ち着き後の溶接金属部硬さが母材である経年レールの硬さ（45HS程度）を若干上回る値で分布していることを確認している。

b) レール頭頂面凹凸形状の推移

試行箇所において測定したレール頭頂面凹凸形状の推移を図-5に示す。測定期間中において、レール頭頂面凹凸形状は、殆ど変化しておらず、初期段階における溶接

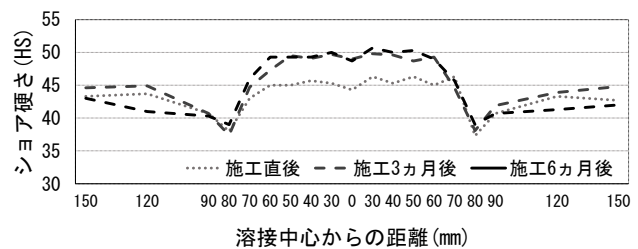


図-4 レール頭頂面硬さの推移

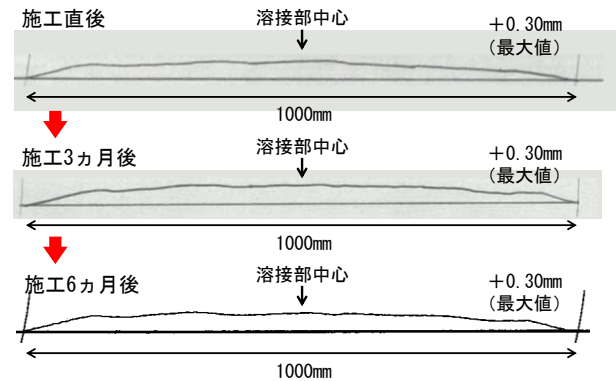


図-5 レール頭頂面凹凸形状の推移

部の落ち込み等はなく、良好に推移していることを確認している。

3. 適用範囲拡大に関する検討

(1) 現状の試行適用範囲

前章で述べたように、当社ではTHR溶接法を試行しているところであるが、これまでに行われたTHR溶接法に関する評価試験¹⁾では、主として新品レールを対象に各種試験が行われていることから、敷設レール（経年レール）の状態により試行対象を限定している。具体的には、除去対象のシェリング傷の付近に、その他のレール傷（例えば、別のシェリング傷や、きしみ割れ）が生じていない箇所に限定しており、これまでの試行箇所は、結果として全てが直線区間となっている。これは、曲線区間では多くの箇所できしみ割れが生じており、現行の限定条件下ではTHR溶接法の適用対象外となったためである。

(2) 適用範囲拡大の対象

THR溶接法によるシェリング傷除去をさらに効果的なものとするために、適用範囲の拡大について検討することとした。検討対象は、適用拡大により得られる効果を考慮し、曲線区間で多く見られるきしみ割れが生じているレール（以下、「きしみ割れレール」という）とし、次章で述べる適用評価試験を行った。

4. きしみ割れレールに対する適用評価試験

THR溶接法の施工中には、冷却後の溶接歪み対策として、レール縦矯正が行われる。そこで、きしみ割れレールが矯正時の載荷荷重（以下、「矯正荷重」という）に対して必要な強度を有しているかを試験により確認した。実施工場面では、矯正荷重載荷時点において載荷位置直上のきしみ割れはTHR溶接法により除去されるが、試験ではきしみ割れを除去せず、きしみ割れレールの母材強度で評価することとした。

加えて、きしみ割れがTHR溶接法施工後の仕上がり状態（溶接部強度）に及ぼす影響について、試験により確認を行った。

なお、試験供試体には当社の在来線から回収したきしみ割れレールを使用した。表-1に供試体の諸元を、図-6に供試体に生じているきしみ割れの状況を示す。

(1) 矯正荷重に対する強度確認試験

a) 試験条件

矯正荷重に対するきしみ割れレールの強度を確認するために、供試体②～⑧に対して曲げ破断試験を実施した。試験条件は、支点間距離を1.0m（レール縦矯正機の支点間距離と同一）として、レール頭頂面に引張応力が作用する姿勢での3点曲げとした。図-7に曲げ破断試験の模式図を示す。

表-1 供試体の諸元

No.	レール種別	材質	きしみ割れ長さ (mm)	摩耗量 (mm)	
				頭頂面	頭側面
①	60kg	普通	20	4.0	4.0
②	60kg	普通	15	3.0	1.5
③	60kg	普通	19	3.0	5.0
④	60kg	普通	23	1.5	8.0
⑤	60kg	HH340	19	0.4	0.4
⑥	60kg	HH340	21	0.0	0.2
⑦	60kg	HH340	21	0.9	1.1
⑧	60kg	HH340	25	1.0	1.3



図-6 供試体に生じているきしみ割れの状況
(浸透探傷検査実施時)

b) 予備試験

評価に際しては、荷重載荷時に生じる頭頂面応力の値が重要となる。曲げ試験機を用いて行う今回の試験とレール縦矯正とは、載荷荷重と頭頂面応力の関係が異なる可能性があると考え、荷重 - 応力の関係を確認するための予備試験を行った。図-8にレール縦矯正の模式図を示す。試験では、まずレール縦矯正時の頭頂面応力を測定し、次に曲げ試験機でこの応力値と同等となる際の荷重を確認した。レール縦矯正時の載荷荷重は矯正機の荷重制御が安定する465kN（油圧最大出力時の荷重）とし、応力は載荷位置の頭頂面において測定したひずみから算出した。

試験結果を表-2に示す。頭頂面応力が概ね同値となる際の荷重を比較すると曲げ試験機に対してレール縦矯正機が1.06倍と若干上回るが、大きな差はない。このことから、曲げ試験機による荷重を矯正荷重と同等とみなして評価を行うこととした。

c) 試験結果

供試体②～⑧に対して行った曲げ破断試験の結果を表-3に示す。今回の試験結果からは、きしみ割れ長さや摩耗量と破断時荷重との間に相関は見られなかった。破断時荷重の最小値は供試体⑦の612kNであり、実施工場面

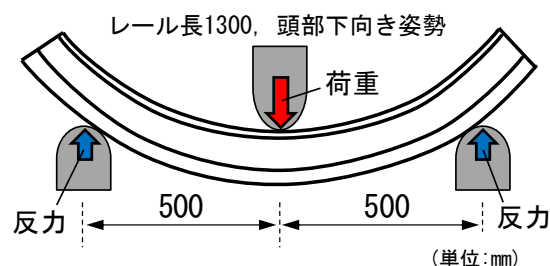


図-7 曲げ破断試験の模式図

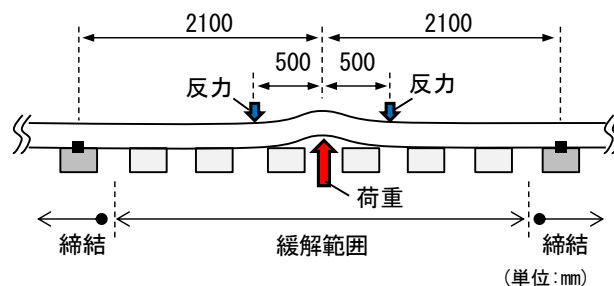


図-8 レール縦矯正の模式図

表-2 試験結果

載荷方法	レール頭頂面応力 (MPa)	荷重 (kN)
レール縦矯正機	350	465
曲げ試験機	351	439

両載荷方法とも値は3回測定の平均値

表-3 きしみ割れレールの曲げ破断試験結果

供試体 No.	きしみ割れ 長さ (mm)	試験結果	
		破断時荷重 (kN)	破断時応力* (MPa)
②	15	1,450	1,129
③	19	1,500	1,168
④	23	1,550	1,207
⑤	19	1,375	1,070
⑥	21	1,487	1,157
⑦	21	612	476
⑧	25	962	749

※破断荷重と新品レール断面から算出した頭頂面応力

表-4 THR溶接部の曲げ破断試験結果

供試体 No.	試験結果	
	破断時荷重(kN)	たわみ (mm)
①	1,300	20

で所要の矯正量を得るために必要な矯正荷重（約400kN）を上回る結果となった。なお、今回の試験では、60kgレールを供試体として使用したが、矯正荷重を400kNとして算出した50kgレールの頭頂面応力は413MPaであり、今回の試験で確認した破断時応力の最小値476MPaを下回っている。ただし、今回の試験において、比較的余裕の小さい値が確認されたことも事実である。

今回の試験では、常温状態における強度を確認したが、THR溶接法の実施工場面で行われるレール縦矯正は熱間加工であることから、今後は、これを考慮した検討を行う予定である。

(2) 溶接部の強度確認試験

a) 試験条件

きしみ割れがTHR溶接法施工後の溶接部強度に及ぼす影響を確認するために、供試体①に対してTHR溶接法を施工し、曲げ破断試験を行った。試験条件は、レール頭頂面に引張応力が作用する姿勢の3点曲げ（支点間距離1.0m）とし、载荷位置は溶接部中心とした。

b) 試験結果

試験結果を表-4に示す。また、溶接後の供試体の外観を図-9に、試験後の破断面状況を図-10に示す。図-9に示すように、溶接部近傍のきしみ割れには熱影響による僅かな開口が見られるが、破断時荷重はテルミット溶接部の破断時荷重とたわみの基準値（1,100kN—13mm）³⁾を上回る結果となり、新品レールに対して行われた既往の試験結果（平均値1347kN）¹⁾と概ね同値であった。このことから、溶接部近傍のきしみ割れが溶接部の破断強度に及ぼす影響は小さいと考えられる。なお、破断箇所は溶接部中心付近であり、きしみ割れを起点とする破断ではなかった。

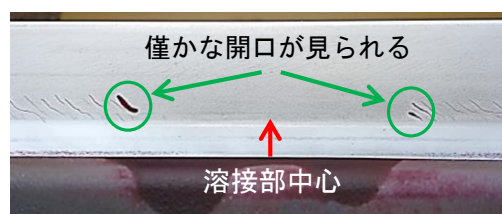


図-9 溶接後の供試体の外観
(浸透探傷検査実施時)



図-10 試験後の破断面の状況

5. おわりに

本取り組みにより、以下の知見が得られた。

- THR 溶接法の試行箇所では、初期段階における不具合等は発生しておらず、敷設後の経過が良好であることを確認した。
- 常温状態で行った今回の試験では、きしみ割れレールの破断時荷重は、レール縦矯正に必要な矯正荷重を上回る結果となった。
- THR 溶接法施工後において、溶接部近傍のきしみ割れが溶接部の破断強度に及ぼす影響は小さく、新品レールに対して行われた既往の試験結果¹⁾と概ね同等の強度であることを確認した。

今後は、4 章で検討したきしみ割れレールに対する適用評価試験について、レール縦矯正が熱間加工であることを考慮した検証を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 伊藤太初, 梅内一行, 寺下善弘, 辰巳光正, 山本隆一: 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, 2014.
- 2) 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.
- 3) 新版軌道材料編集委員会 編: 新版軌道材料, p119, 2011.

(2017.4.7 受付)

EXAMINATION FOR THE PRACTICAL USE OF RAIL HEAD REPAIR WELDING METHOD BASED ON ALMINO-THERMIT WELDING METHOD

Yoshihiko YABUNAKA, Shuhei HARAOKA, Atsushi KATO

JR-West has been trying “rail head repair welding based on almino-thermit welding method” which is suggested by Railway Technical Research Institute to achieve the effective maintenance to remove the squat from rail. In case of our trial, we have been limiting application to depend on the state of rail, because the evaluation examination by RTRI was done with un-used rail. However, for the practical use, it is necessary to enlarge range of application. Therefore, we performed additional test to depend on other state of rail and evaluated possibility to enlarge of application of rail head repair welding method.