

テルミット溶接部の表面きず発生原因とその防止策

軌道技術研究部 レール溶接研究室
主任研究員 寺下 善弘

1. はじめに

テルミット溶接法は、良好な施工性と機動性を有し、日本で適用されているレール溶接法の中で最も多く施工されており、JR グループにおける 2013 年度の施工比率は、全レール溶接施工数の 4 割を占めている。また、この 10 年間のテルミット溶接部の折損率は、わずか 0.005% 程度と低く、その信頼性は高く評価されている。

しかしながら、最近では図 1 に示すような表面きず（主にブローホール）で不良判定される事象が多く報告されている。特に新品レールと腐食や摩耗のある経年レールとの溶接施工時の発生事例が散見され、再溶接を余儀なくされている。また、テルミット溶接部の表面きずの発生原因は、レール表面の錆やモールドとレールの隙間に入り込んだ目地砂からの水分供給によるものと推定されているが、それらの影響について検討されたことはなく、表面きず発生の原因を解明し、対策を施すことが課題となっている。

ここでは、表面きずの発生原因を解明するために実施した段差の生じる新品レールと経年レールの溶接試験の結果および発生防止策について検討した内容を紹介する。

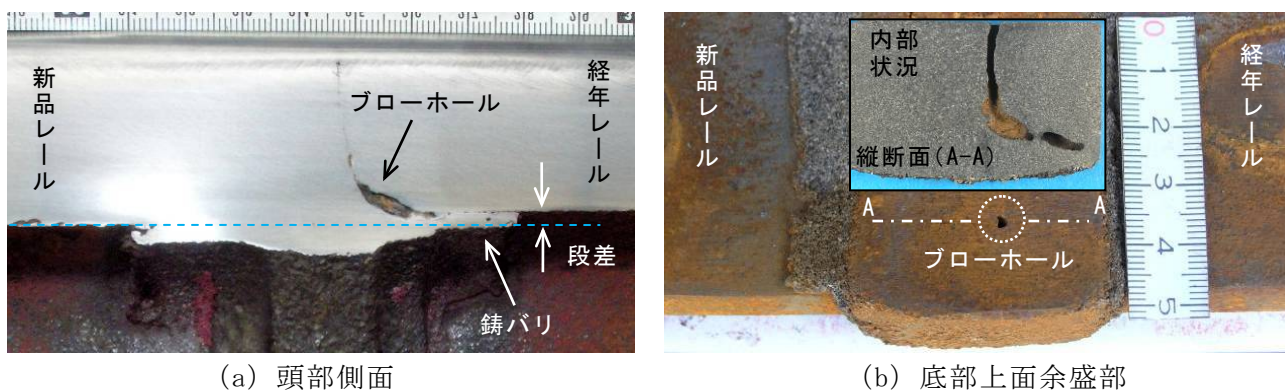


図 1 ブローホールが発生したテルミット溶接部の一例

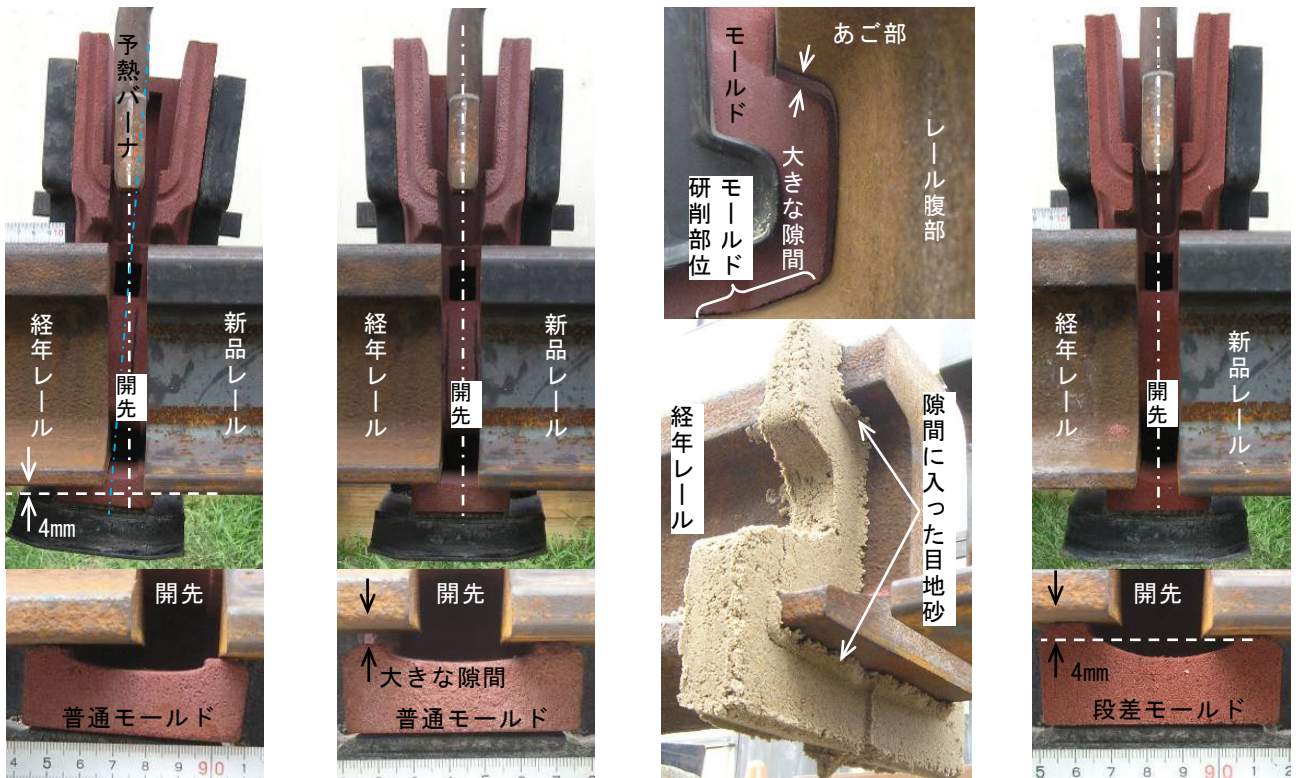
2. 段差レールにおける施工の問題点

テルミット溶接は、損傷レール交換時に適用される場合が多く、そのほとんどが新品レールと、敷設されている経年レールとの溶接施工となる。経年レールは少なからず頭部が摩耗しているため、新品レールとの溶接施工では段差が生じ、摩耗量が大きい場合にはモールドの取り付けが困難となる。さらに、経年レールは敷設箇所によっては著しく錆びている場合も多い。

図 2 に、新品レールと経年レールのレール高さが約 4mm 異なる状況下で、モールドを取り付け、予熱バーナを設置した状態を示す。普通モールドをそのまま使用する場合、(a)に示すように予熱バーナを開先中心に設置するためには、頭部の開先に合わせてモールドを取り付ける必要があるが、この場合にはモールドが大きく傾き、モールド底部が開先から大きくずれる。このため、適切な溶け込みが得られず、湯漏れの危険性も考えられる。

(b)には、段差レールの溶接を行う場合に標準作業として実施されているモールド加工（経年レ

ールの底部上面が接触する部位を研削)を施し、モールドを取り付けた状態を示す。モールドを加工することによって、開先に対して垂直に取り付けることは可能となるが、経年レール側の底面およびあご部には大きな隙間が生じる。この状態で砂詰め作業を行った場合には、その隙間に目地砂が入り込むことになるため、隙間に厚紙などを詰めて施工することが推奨されている。一方、(d)に示す段差モールドでは、4mmのレール段差に対応したモールド形状となっているため、モールドがレールに対して垂直に取り付き、隙間は生じない。なお、設定段差4mmの段差モールドの適用範囲は、段差2~6mmとなっている。



(a) 普通モールド (b) 普通モールド加工 (c) 隙間と目地砂の状況 (d) 段差モールド
 図2 段差レールにおけるモールドの組み立て状態と隙間の状況

3. 段差レールの溶接試験

図1に示したように、実施工で発生するブローホールの表面きずの大半が、経年レール側に生じた隙間から溶接金属中央の凝固方向に向かって形成されている。このことから、これらのブローホールは隙間に入り込んだ溶鋼と局所的な水分(レール表面の錆や目地砂)との接触(反応)により生じたガスが、溶鋼中に侵入して残存したものと考えられる。そこで、レール表面の錆やレールとモールドの隙間の影響を調査するため、普通モールドと段差モールドを用いて、新品レールと経年レールとの溶接試験を実施した。

3.1 溶接試験条件

表1に溶接試験の施工条件を示す。初めに段差モールドを用いてレール表面の錆が表面きずの発生に及ぼす影響を確認した後、普通モールドに加工を施し、モールドとレールとの隙間の影響を確認した。さらに、表面きず再現の観点から目地砂の水分量などを変化させるとともに、溶鋼と局所的な水分との接触を抑制する目的から、隙間へペースト材(モールド補修用など)を充填する施工を併せて検討した。なお、隙間への厚紙挿入は溶鋼注入段階で燃焼して消失するため、挿入しない場合と大差ないと考え、行わないこととした。また、本試験にはJIS50kgN普通レール

の新品レールと営業線からレール交換により撤去された経年レール（頭頂面水平摩耗量約 3mm）を供した。

表 1 溶接試験の施工条件

試験 シリー ーズ	レール 段差 (mm)	レールとモールドの隙間 (mm)			使用 モールド	レール 表面の錆	モールド 加工	隙間への 対処	目地砂 水分量
		底面		あご部					
		経年側	新品側	経年側					
A	3.4~3.8	0.0	0.0	1.0~1.1	段差	除去せず	不要	モールド	標準
B	3.3~3.9	4.0~5.0	0.0	3.5~4.0	普通	除去せず*	底部上面	未対策	標準
C	3.6~4.5	3.8~4.2	0.0	3.0~4.0	普通	除去せず	底部上面	未対策	2.4割増
D	2.2~3.9	2.2~4.8	0.0	3.5~4.5	普通	除去せず	底部上面	ペースト材	標準

* 試験体 5 本の内、1 本のみ実際の施工を再現する目的でモールド取り付け部の錆を除去

段差モールドを使用した場合、前述のとおりモールドはレール底面に密着しており、隙間は生じていない。一方、普通モールドを加工した場合には、経年レール底面とモールドには 2.2~5.0mm とレールの段差以上の隙間が生じている。また、あご部には段差モールドでも 1mm 程度の隙間が生じていたが、加工した普通モールドでは図 2(c)に示したように、レール底面と同様の大きな隙間が生じている。なお、試験体は、開先間隔および逆ひずみ量とも適正範囲に設定し、予熱作業も酸素手元圧 0.45MPa、予熱時間 90 秒の標準条件で作製した。

3.2 作製した試験体の表面きずの発生状況

合計 20 体の試験体を作製したが、目地砂の水分量を標準より 4 割増した試験体のみ表面きずが発生した。図 3 に、経年レール側のあご部の隙間に生じた錆バリから溶接金属中央上方に向かって形成したブローホール状の表面きずを示す。また、水分量を標準より 2 割増した試験体では、頭部側面からの超音波探傷試験により、きずエコーが検出されたため、きずエコー検出部である頭部側面をグラインダ研削した。その結果、図 4 に示すように経年レール側のあご部の錆バリから溶接金属内部に発生したブローホールの溶接欠陥が露呈した。

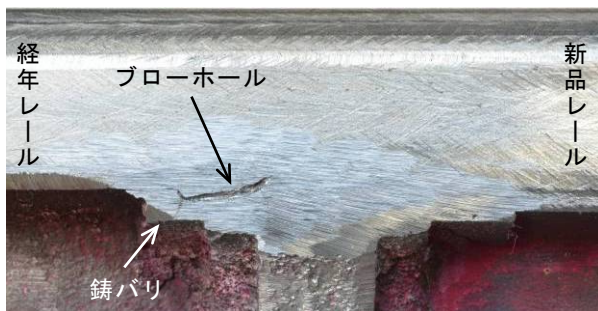


図 3 発生した頭部側面のブローホール（目地砂の水分量を 4 割増した試験体）

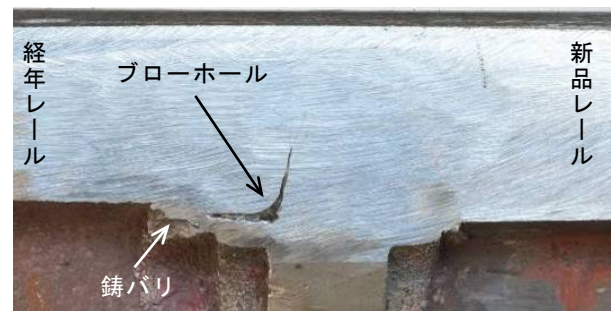


図 4 露呈した頭部側面のブローホール（目地砂の水分量を 2 割増した試験体）

3.3 横断面におけるブローホールの発生状況

図 5 に隙間への対策を施さなかった試験体、レールとモールドの隙間にペースト材を充填した試験体および段差モールドを適用した試験体の余盛付け根部で切断した横断面におけるブローホールの発生状況を示す。何れの試験体においても隙間の生じない新品レール側には、(a)に示すようにブローホールの発生は認められない。しかしながら、(b)に示す隙間が生じる試験体では、経年レール側の底面とあご部に複数のブローホールが発生している。一方、底面の隙間のみペースト材を充填した試験体では、(c)に示すように底面にはブローホールの発生は認められない。また、(d)の段差モールドを適用した試験体では、底面およびあご部にほとんど隙間が生じないため、ブローホールは発生していない。

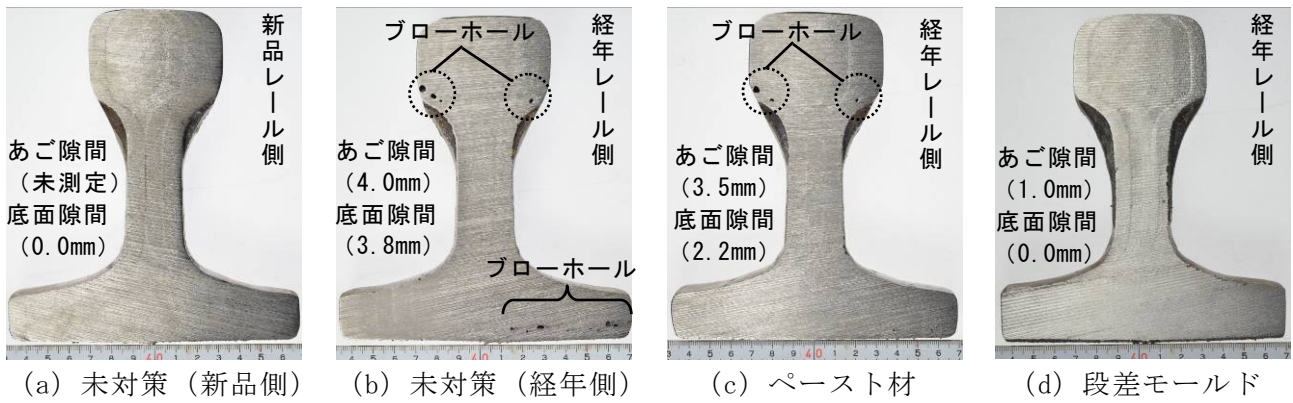


図5 余盛付け根部の横断面で観察したブローホールの発生状況および防止策の効果

4. ブローホールが発生したテルミット溶接部の継手性能試験

ブローホールが発生したテルミット溶接部の疲労強度を調査するため、図1(b)と同様の底部上面余盛部にブローホールが発生し、現場から撤去に至った4体の50kgN レールテルミット溶接部に対して、超音波探傷試験および4点曲げ疲労試験を実施した。

底部上面余盛部のブローホールは、何れもライザー除去部に生じているため、底部二探触子法では探傷不能領域となり検出できないが、底部側面からの一探触子法で1~2級のきずエコーを検出した。また、底部側面の余盛をグラインダ研削して実施した底部二探触子法においても1~2級と判定された。

次に、レール底部領域に引張応力の作用する頭部上向き(HU)姿勢で、支点間距離1300mm、中央載荷点距離150mm、繰返し速度3Hzの4点曲げ疲労試験を実施した。試験では最小応力を 30N/mm^2 、応力全振幅を本線上で疲労損傷に至る可能性が低いと考えられている 180N/mm^2 とする片振り条件を採用し、繰返し数200万回を限度とした。表2に超音波探傷試験と曲げ疲労試験結果を示す。

曲げ疲労試験の結果、応力全振幅 180N/mm^2 の条件下では、底部二探触子法で1級と判定された撤去溶接部(TP No.1~3)は、200万回の繰返し载荷を受けても破断に至らなかった。また、試験前後で実施した超音波探傷試験結果に変化は認められないことから、ブローホールの溶接欠陥から疲労き裂は進展していないと判断される。一方、底部二探触子法で2級と判定された溶接部(TP No.4)は、35万回の繰返し数で破断に至っている。

5. まとめ

段差レールの溶接試験結果から、テルミット溶接部における表面きずの発生は、レール表面の錆ではなく、レールとモールドの隙間が大きくなる経年レール側のあご部と底面に、入り込んだ溶鋼と目地砂の水分との接触により生じたガスに起因しているものと判断される。また、レールとモールドの隙間にペースト材を充填した結果、ブローホールの防止効果が認められた。しかしながら、隙間への確実な充填は難しいため、接合するレールに3mm以上の段差がある場合には、段差モールドの使用を推奨する。さらに、底部領域における仕上り検査では、表面きずの有無によらず、底部二探触子法による超音波探傷検査(底部側面の余盛を研削する)で評価することとし、1級までを合格とすることを提案する。

表2 超音波探傷試験および曲げ疲労試験結果

TP No.	超音波探傷試験結果*1	繰返し数(回)	破断の有無
1	B2:1級 (B1:1級)	2,000,000	未破断
2	B2:1級 (B1:2級)	2,000,000	未破断
3	B2:1級 (B1:2級)	2,000,000	未破断
4	B2:2級 (B1:2級)	350,000	破断

*1 B2: 底部二探触子法, B1: 底部側面一探触子法