

レールボンドの銅テルミット溶接工法の改良について

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○本野 貴志
西日本旅客鉄道株式会社 正会員 田淵 剛

1. はじめに

JR西日本では、低温ろう工法によりレールボンドを取付けているが、ローカル線を中心にレールボンドの脱落が発生している。平成2年度にレールボンドの保守は保線区に移管したため、軌道保守上も多大な労力を要している。当社においては、溶接に伴いレール傷の管理上不利となる、マルテンサイト組織が発生すること等から本格採用はしてこなかったが、今回、加熱材の使用等により、施工の簡便さを維持したままマルテンサイト組織を発生させない工法に改良し標準化したので、その内容について紹介する。

2. 銅テルミット溶接工法の改良の概要

(1) 原理

銅テルミット溶接は、テルミット反応を応用した溶接方法であり、酸化銅（3CuO）とアルミニウム（2Al）の粉末をルツボ内で燃焼させ、それによって生じた熱を利用し、銅テルミット部を介してボンドとレールを接合するものである。

(2) 施工方法の改良

今回、改良した施工手順と従来の施工手順との違いは、加熱材の使用、および溶接部の加熱の2点である。なお、この2工程を加えても、サイクルタイムは1口あたり約3分追加される程度である。

3. 改良した銅テルミット溶接の試験

従来の工法では、溶接に伴う焼き入れ・焼き戻しによりマルテンサイト組織が発生していたが、加熱材と溶接後の加熱（後熱による保温）により冷却方法を改良し、マルテンサイト組織を発生させない工法に改良した。また、ピーニングは施工に伴う騒音苦情などが予想されるため、その省略可能性についても検討した。

(1) 温度管理について

① 温度管理の改良

レール腹部と銅端子に熱電対をセットし、レール内部及び銅端子内部の温度変化を測定した（図-1,2）。その結果、レール種別によらず溶接に加え、加熱材の使用および簡易バーナーによる加熱1.5分を実施することにより、冷却過程を大幅に改善でき、変態曲線においてもマルテンサイト組織の発生防止上有効であることを確認した。

表-1 測定開始から銅端子温度の低下程度

レール種別	溶接条件	銅端子の温度低下
50N	普通 レール	溶接のみ
40N		溶接開始から約120秒で 100℃まで低下
50N		溶接+加熱材
60K		溶接開始から約300秒で 200℃まで低下

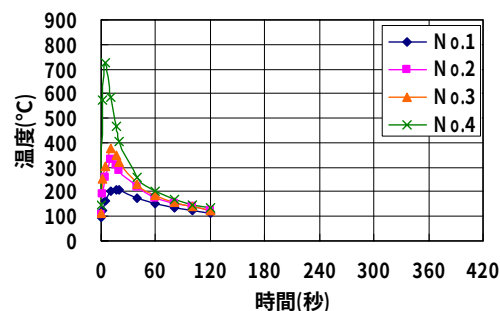


図-1 温度変化確認試験結果

(50N 普通レール、溶接のみ)

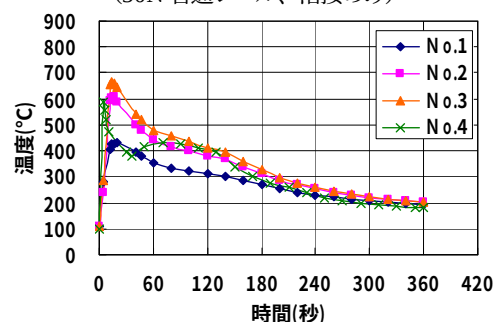


図-2 温度変化確認試験結果

(50N 普通レール、溶接+加熱材+簡易バーナー1.5分)

② 接合方法の違いによるミクロ調査

各種の冷却過程を設定し、ミクロ組織を観察した結果（表-2）、マルテンサイト組織を発生させないための接合条件として、溶接に加えて、加熱材および溶接部加熱1.5分を実施することとした。

表-2 接合方法の違いによるミクロ組織観察

レール 種別	接合方法				母材組織
	溶 接	加熱材	溶接部 加熱	ピー ニング	
普通	○			○	マルテンサイト
	○	○			マルテンサイト
	○	○	1分		ベイナイト
	○		2分		マルテンサイト
HH340	○			○	マルテンサイト
	○	○	1分		ベイナイト

(2) ピーニングの評価

ピーニングの効果を評価するため、残留応力測定（図-3）を実施した。その結果、表-3に示すように、ピーニングおよび溶接部加熱により、残留応力が大きく改善されることが確認された。

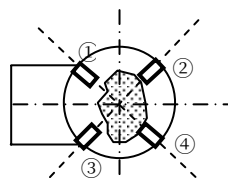


図-3 残留応力測定位置

キーワード レールボンド 銅テルミット 溶接

連絡先 〒530-8341 大阪市北区芝田2丁目4番24号 JR西日本 施設部 保線課 TEL06-6375-8960

表-3 残留応力測定の実験

レール	接合方法				レール 45° 方向 の最大残留応力
	溶接	加熱材	溶接部 加熱	ピーニ ング	
HH340 50N	○				321MPa ④
	○			○	264MPa ①
	○	○	○		288MPa ④
	○	○	○	○	59MPa ③

(3) 溶接部の接合状態確認方法

① 超音波探傷試験

現場における銅テルミット溶接の仕上がり状態の確認方法として、以下の超音波探傷を試行し、検査精度や検査の容易さを考慮し、超音波厚さ計を用いた反射法を採用することとした。

(a) 頭頂部1探法

レール溶接部の検査に適用されている1探法により探傷を行った。測定値は頭頂面から探触子をやや斜めに溶接部を狙って検出した最大値とした。その結果、ピーニングをした試験片には、いずれも腹部で1級以上を検出することが確認された。これにより、頭頂部からの1探法では、欠陥の識別が困難と判断した。

(b) 超音波厚さ計を用いた反射法

図-4 に示す超音波厚さ計を用いた探傷方法による探傷を検討した結果、超音波厚さ計で溶接部から探傷する方法と溶接部の反対側腹部から探傷する方法で、レール腹部厚さと測定結果を比較することにより、レール母材や溶接境界に不具合がないことを確認できることを確認した。

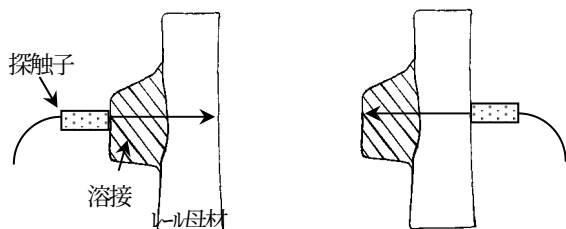


図-4 超音波厚さ計を用いた反射法

4. 試験敷設

(1) 施工概要

室内試験の結果を受け、以下により、レールボンドの脱落の多い箇所試験敷設を行った。なお、試験敷設に当たっては、電気抵抗を考慮し、既存のレールボンドを挟み込むように内外軌1本ずつの施工とした。

① 試験敷設区間 呉線

② 施工時期 平成16年3月1日～18日

③ 施工数量 380本(銅テルミット接合は760箇所)

④ 仕上がり状態 接合部の状況とその近傍のレール腹部について、目視で検査をした結果、異常はなかった。また、接合部を厚さ計により探傷した結果、全箇所とレール母材等に異常は見られなかった。

(2) 追跡調査結果

① 調査時期 平成16年5月28日、9月14日、平成17年3月18日、平成18年3月6日の計4回実施した。

② 外観検査 レールボンド接合箇所の外観異常やボンド線の脱落等も全く認められなかった。

③ 超音波探傷検査 サプリングで20本分のレールボンド接合箇所について、超音波厚さ計による検査を実施したが、母材、接合部に異常は認められなかった。また、レール探傷車においても、銅テルミット溶接部を人工欠陥として検知する事例は現在のところ認められていない。

5. 標準化

室内試験および試験敷設において異常が見られなかったことや、現場の要望が強いことを受け、平成17年12月に本工法を標準化した。対象のレールは40N以上、HHレールも可とし、分岐器部以外のほとんどの箇所施工可能とした。

本工法の基本性能については、室内試験や試験敷設を通じて十分に確認を行っており安全性に問題はないと考えているが、雨などの現地施工条件や、既存のレールボンドによるはんだ脆性によるレール折損事故防止を考慮し、以下により万全を期することとした。

(1) 資格の扱い

本工法の施工は簡便で、教育を受ければ専門知識がなくても容易に施工できる。しかし、既存の低温ロウに対する注意や温度管理の重要性等から、レール溶接に準じた施工管理が求められる側面も有している。これらに起因する施工不良はレール破端という重大事故に直結するため、銅テルミット溶接作業責任者および銅テルミット溶接作業者は、レール溶接作業責任者等の資格を有し、必要な教育を受けた者とした。

(2) レールボンドの取り付け位置

既存の低温ロウの箇所で銅テルミット溶接を施工すると、はんだ脆性によるレール折損の原因となる。このため、既設の低温ロウ箇所と新設の銅テルミット箇所との間隔および銅テルミット箇所同士の間隔は、70mm以上離すこととした。また、銅テルミット溶接工法によるレールボンドの取付け本数は2本とし、既設の場合は低温ロウのレールボンドを2本とも撤去することとした。

(3) 仕上がり状態の確認

銅テルミット溶接部の検査は、施工全数について超音波厚さ計による仕上がり状態を確認することとした。判定基準は次のいずれかの条件を満たした場合、接合状態は良とした。

① 溶接部から探傷して、20以上の表示があること

② 溶接部反対側のレール腹部から探傷を行い、レール腹部以上の厚さ表示があること

6. おわりに

今後は、保守困難箇所から順次施策的に施工することにより、レールボンドの脱落による保守量を減少させ、現場の負担も軽減させることが可能であると考えている。今後の課題として、銅テルミット溶接については、ピーニングの省力化や省略に向けた更なる検討が必要と考える。また、更に低廉かつ簡便で長持ちする工法について諸外国の実績も含め更なる検討が必要と考えている。