

論文 常温硬化型接着剤を用いた レール接着継目の実用化

井上 拓也¹・高尾 賢一¹

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 大阪市北区芝田二丁目4番24号)

E-mail:takuya-inoue@westjr.co.jp, kenichi-takao@westjr.co.jp

将来に向けて労働力不足への対応が必要となる中、レールシェリング傷への対応には、継続的な地上検査やレール交換作業が必要であり、多くの労働力と経費を要している。また、レール溶接作業は、特殊な技能が必要で高価な接合方法である。これらの課題から、抜本的な対応策として簡易かつ安価に施工可能なレール接着継目を開発した。

レール接着継目は、表面をケレンしたレールと継目板の間に、二液混合により常温下でも短時間で硬化するアクリル樹脂系接着剤を使用する構造とした。開発した構造について、室内試験で性能確認を行った後、営業線における敷設試験を行い、良好な状態であることを確認した。

Key Words : continuous welded rail, glued-insulated joint rail, second generation acrylic adhesive, rail maintenance

1. はじめに

少子高齢化による労働力不足が社会問題となる中、軌道工事従事者は求職者が少ないうえに、その業務の特殊性から養成に時間を要するため、加速度的な労働力不足が懸念されており、将来に向けた対応が急務となっている。

これらの背景の中で、軌道工事の中でレールの交換作業に最も多くの労働力と経費を要しているという課題認識から、JR西日本ではレールの長寿命化を目的に定期的なレール削正の実施による傷の発生抑制に取り組んでいる¹⁾。

一方で、レール削正で除去できない既発生傷については、交換基準に達するまで継続的に傷の進展状況を検査して管理している。また、交換基準に達したレールの交換作業は、当初の工事計画に急遽追加することが多いことに加え時期も集中することから、工事調整に苦慮している実態がある。

そこで、これらを抜本的に改善する方法として、安価かつ容易に施工可能なレール接着継目（以下、「レール接着工法」という）の開発に取り組んだ。レール接着工法は、シェリング傷箇所²⁾に補強継目板仮設や損傷レール

交換の代替手段として適用することによって、労働力および経費の大幅な低減が期待できるものである。また、高い接着強度を有することから、レール溶接に代わる接合方法としても活用可能なものである。本稿では、レール接着工法の実用化に向けた検討内容および性能確認結果について報告する。

2. レール接着工法の概要

(1) 基本構造

レール溶接の代替手段としても活用できる構造とするため、既往の知見である無遊間継目²⁾と現場接着継目³⁾を参考に、接着継目を基本構造とした。具体的な構造検討

表-1 接着継目部の構造

構造・部材	内容
表面処理	ケレンによる錆び除去
接着剤	常温硬化 二液混合 アクリル樹脂系
継目板 継目板ボルト	接着絶縁レール用
緊締トルク	500 N・m

にあたっては、開口しないよう十分な引張強度を有すること、安価であること、施工が容易であること、の3点を考慮した。接着継目部の構造を表-1に示す。構成材料として、接着剤には常温で硬化するものを使用し、継目板および継目板ボルトには汎用品を使用することで、加熱器等の大型の工具を不要とし、レール溶接と比較して施工が容易で安価な構造とした。

(2) 要求性能

接着絶縁レールの規格強度（JIS E 1125）と同様に引張強さ又は圧縮強さにより定めることとした。必要とする引張強さ又は圧縮強さは、レール軸力と列車荷重の影響を考慮した。

a) レール軸力

ロングレール不動区間と同等のレール軸力を考慮し、設定温度35℃、レール温度の変化幅を-10℃～60℃として算出した結果から0.7MNとした。

b) 列車荷重

接着継目構造において、レールと継目板は継目板ボルトにより一体化しているものの、輪重作用時の部材の変形により接着層も荷重の影響を受ける。そこで、接着層が受ける影響分として、継目板下部に発生する引張応力を引張荷重に換算して、要求する引張強さに加えることとした。

レール継目部に輪重が作用した場合に生じる継目板下部の発生応力の計算条件を表-2に示す。荷重条件として、接着絶縁レールの長期耐久性の評価に用いる曲げモーメント値⁴⁾を用い、継目板反力はZimmernmannの解法⁵⁾から算出した。以上より継目板下部発生応力を算出し、これに継目板断面積を乗じることによって引張荷重に換算した結果、1.0MNとなる。

c) 要求する引張強さ又は圧縮強さ

以上から、要求する引張強さ又は圧縮強さは、これらの合計である1.7MNとした。なお、接着層が受ける引張荷重は、接着によりレールと継目板が一体化されている構造の計算条件としては安全側であること、敷設実績が豊富にある接着絶縁レール（湿式）の規格強度1.76MNと同程度であること、の2点から要求性能として十分であると判断した。

(3) 用途および期待される効果

a) レール傷補修

シェリング傷箇所において、補強継目板仮設や損傷レール交換の代用として適用し、万が一横裂が進展した場合には高い引張強度によりレールの開口防止として機能する。レールが開口しないことから、当該のシェリング傷を超音波探傷器による個別検査の対象外とし、レール表面の剥離等の使用上の問題がなければ、摩耗や累積通

トンの交換基準までの間、レール交換を実施しないことが可能としている。また、交換基準に達して単独で除去せざるを得ない傷についても、施工箇所近傍でレール交換が実施される場合に合わせて効率よく除去することも可能となる。

期待される効果としては、損傷レール交換の代用とする場合で最大80%程度の経費削減が可能となる他、期中発生により調整に苦慮している溶接作業計画の最適化を図ることが可能となる。

b) レール接着工法によるロングレール化

接着絶縁レールと同等の引張強さを有するため、レール溶接に代わる接合法として適用可能である。既設レールの端部を切り落とし本工法で接合する場合のトータル工事費は、施工条件次第では従来の40～50%程度削減することが可能であることから、中下級線区のロングレール化の推進が期待できる。

3. 接着剤の選定

(1) 接着剤の検討

接着剤の選定においては、初期硬化性とせん断接着強さを考慮した。

初期硬化性は、作業後の列車通過を考慮して、短時間で強度発現するものとし、2時間以内を目安とした。また作業時間を考慮して、必要な可使時間は5分程度とし

表-2 接着継目部の計算条件

項目	条件	備考
曲げモーメント	49kN・m	
支持間隔	1041mm	まくらぎ間隔最大値
鉛直荷重	189kN	曲げモーメントと支持間隔から算出

表-3 選定した接着剤（公称データ）

接着剤	可使時間 (分)	引張りせん断接着強さ (N/mm ²)	特徴
A	15	21.8	液状 遅延剤・促進剤有 30℃条件
B	5	29.7	液状 23℃条件
C	2	14.2	液状 23℃条件
D	5～7	24.0	液状 25℃条件、粘性高
E	13	要素試験 結果なし	パテ状 海外で実績あり 30℃条件
F	12	25.3	パテ状 20℃条件

た。

せん断接着強さは、要求性能である引張強さ又は圧縮強さ1.7MNに対して、接着面積が $1.05 \times 10^5 \text{mm}^2$ 程度であることから、せん断接着強度は16N/mm²を目安とした。

以上より候補として選定した接着剤を表-3に示す。いずれも常温で硬化する二液混合型のアクリル樹脂系接着剤である。

(2) 要求性能の確認

接着剤A～Fを用いて各1本ずつ接着継目を試作し、その引張強さ又は圧縮強さを確認することにより適用可能性を探ることとした。

レール接着工法の施工手順は、接着面のケレン、脱脂、接着作業および継目組立である。接着面のケレンについては、仕上がり品質を安定させるためにレールと継目板に1種ケレンとして定置式のショットブラストを施工した。接着作業は、レールと継目板に接着剤を塗布してヘラ等により均等に広げて、継目を組み立てるという単純なものである。

引張強さ又は圧縮強さの確認は、接着絶縁レールに対する試験法と同じ圧縮試験により実施することとし、接着剤の混合2時間後（Aのみ試験スケジュールの都合により約1日後）に実施した。2時間後に要求する圧縮強さとしては、初列車通過前までに列車荷重分の圧縮強さが必要と考えて、1.0MNとした。試験の結果、接着剤Aは約1日経過後で要求性能1.7MN以上であり、接着剤BおよびEは、2時間経過後で1.0MN以上であった（図-1）。

(3) 耐久性

屋外自然環境の各要因による影響の評価として、接着剤単体の各種促進老化試験により温度変化の影響や耐水性を評価し、促進試験の条件下で初期強度からほぼ強度低下しないことを確認している。

また、接着剤の強度の持続性については、アクリル樹脂を対象としたアレニウス法による長期熱劣化の予測において、実際の使用環境よりも樹脂に対して不利な高温

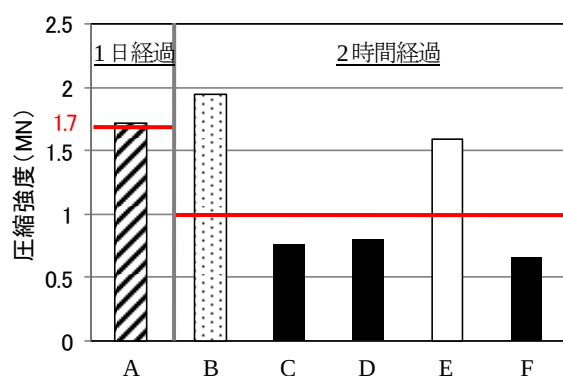


図-1 接着剤ごとの圧縮試験結果

条件である90℃での使用を仮定しても30年で強度保持率95%以上という結果⁹や5年間の屋外暴露試験結果⁷を参考にするとともに、接着絶縁レールの敷設実績から実用上問題はないと判断した。

4. 実用性能確認

(1) ケレン種別の違いによる影響

レール接着工法は線路上で接着面をケレンし、その仕上がりは錆び落とし状態を目視で確認することから、仕上がり品質のばらつきによる接着強度への影響が懸念される。

そこで、接着面のケレンを1種または2種ケレンとして供試体を各3本試作し、圧縮試験を実施した。接着剤は3章における試験結果を考慮して、AとBを使用した。接着剤Eは海外調達品であり、AやBと比較した場合には調達上の課題があることから、以降の検討では対象外とした。ここで、1種ケレンは現地施工において作業効率に優れるエアブラストとし、2種ケレンには汎用性の高いディスクグラインダーを用いた（図-2）。

試作した接着継目について圧縮強度を確認した結果、いずれも要求性能を満たすとともに、同じケレン種別の条件下では、圧縮強度のばらつきが小さいことが確認できた（図-3）。また、ケレン種別による強度の違いについては、接着剤Bについて、同じ硬化時間である2時間時点で比較すると、2種ケレンで約1.9MNであるのに対し1種ケレンも同等の値（図-1）であることからケレン種別の違いによる影響ではなく、硬化時間の違いによる

(1 種ケレン)



(2 種ケレン)



図-2 ケレン種別ごとの施工後の表面状態

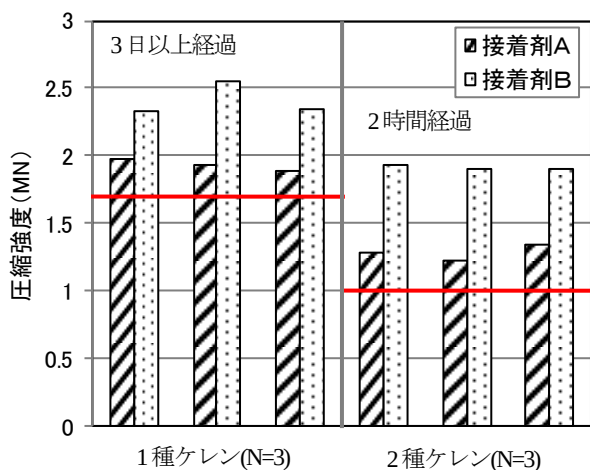


図-3 ケレン種別ごとの圧縮試験結果

ものと考えられる。異なる硬化時間で検証した理由は、エアブラスト機材準備の都合により遠方で1種ケレンを施工し供試体を製作したため、硬化時間が長くなったことによる。

また、ケレン作業の省力化を目的として、3種ケレンの適用可能性についても検証した。3種ケレンとして、電動工具および手工具のワイヤーブラシを用いてケレン作業を行ったところ、1種および2種ケレンの場合には、施工後はレール鋼素材面が露出する（図-2）に対し、3種ケレンの場合は黒錆を除去することができず、全面に



図-4 3種ケレン施工後の表面状態

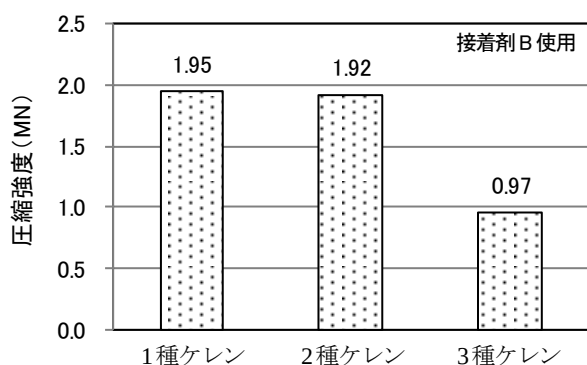


図-5 ケレン種別ごとの圧縮試験結果

わたって黒錆が残存した（図-4）。

3種ケレンを施工したレールを使用して接着継目を試作し、硬化時間として2時間経過後に圧縮強さを確認した。なお、継目板は別途1種ケレンを施工したものを使用した。試験の結果、1種や2種ケレンと比較して低い圧縮強さを示した（図-5）。試験後に接着継目を解体して接着状態を確認したところ、1種ケレンを施工した継目板の表面には接着剤やレール側にあった黒錆が付着していたのに対し、3種ケレンを施工したレール側は接着剤が残存しておらず、界面破壊している様子が確認された（図-6）。以上の結果から、実用化にあたっては1種または2種ケレンにより、レール鋼素材面を露出させることとした。

(2) 繰り返し荷重の影響確認

接着絶縁レールの場合には、2軸曲げ疲労試験を行った後の圧縮強さの減少が著しくなく、想定されるレール軸力の最大値を満足することにより、実用上の性能が確認されている⁴⁾。

レール接着工法についても、現地で長期間にわたり使用することから、繰り返し荷重の影響について評価試験を実施することとした。評価試験は、接着絶縁レールの評価と同じ曲げモーメント値で4点曲げ繰り返し载荷を実施し、载荷後の圧縮強さにより評価した。

繰り返し载荷の载荷条件を表-3および図-7に示す。試験片の素地調整は1種ケレンにより実施し、繰り返し载荷は接着後2時間以上経過後に開始した。なお、未载荷の試験片は接着後3日以上経過後に圧縮強さを測定しており、最終強度に達したのと考えられる。

繰り返し载荷後の引張強度は、未载荷に比べて低下したものの、接着剤A・Bともにロングレール軸力分の0.7MNを十分満足する引張強度を有していた（図-8）。以上から、仮に繰り返しの列車荷重による影響を受けても、レール接合部は開口しないものと考えられる。なお、繰り返し载荷後に継目部に塩水噴霧を行い剥離箇所を把



図-6 試験片解体による状態確認

表-3 4点曲げ繰り返し載荷の載荷条件

項目	条件	備考
鉛直荷重	最大170kN 最小44kN	中央部49kN・m
周波数	4Hz	
繰り返し回数	200万回	

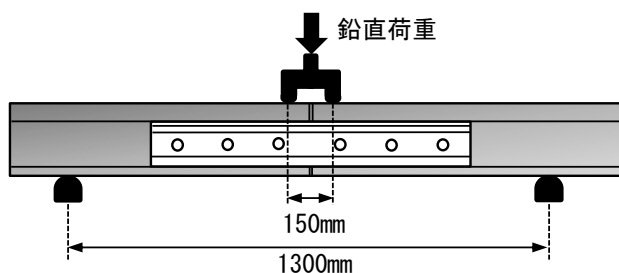


図-7 4点曲げ繰り返し載荷の載荷条件

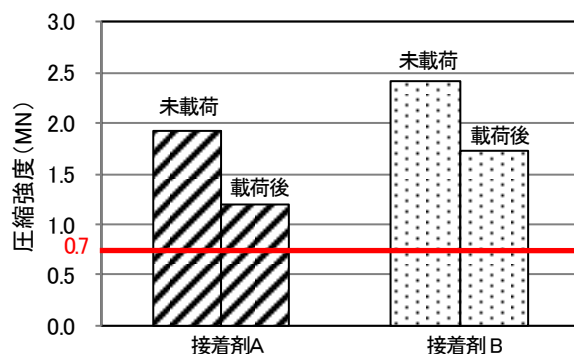


図-8 繰り返し載荷後の引張強度

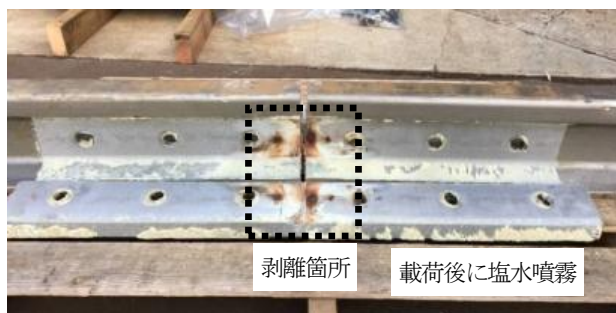


図-9 圧縮試験後の供試体解体結果

握できるようにしてから継目部を解体した結果、継目中央で部分的に接着剤の剥離が認められた（図-9）。圧縮強度の低下はこれらの剥離に起因するものであると考えられる。

(3) 現地における試験施工

レール接着工法の現地への適用として、施工性や経済性の検証を目的に、2017年11月に営業線においてレール

表-4 試験施工箇所概要

線名	宇野線	
線形	直線	
軌道構造	レール	50kgN
	まくらぎ	PC3号
	締結装置	5形
延長	400M	
施工数量	レール接着工法40継目	

表-5 ロングレール化施工手順

手順	作業内容
1	レール切断
2	レール縦送り
3	レール穿孔
4	素地調整（ブラスト）
5	接着剤塗布
6	継目組立



図-10 エーブラストの構成機材

接着工法によるロングレール化の試験施工を実施した。試験施工箇所の概要を表-4に示す。

ロングレール化は定尺レール区間の既設レールを接着工法により接合することによって行った。施工手順を表-5に示す。接着継目化にあたり、既設レールの継目落ちの影響を取り除くため端部500mmを切断し、線路方向にレール移動して無遊間継目とした。接着面の素地調整は、施工効率と仕上がり品質の安定性を考慮して1種ケレン（エアーブラスト）を現場で施工した。ブラスト機材は、研削効率を優先して選定し、線路沿線に並行した道路からホースを延長して施工した（図-10）。

接着継目化作業の一例として、現地における施工状況を図-11に示す。接着剤は室内における性能確認の結果をふまえて、AとBの種類を使用した。なお、接着剤Bは



図-11 現場における施工状況

専用のボトルとガンを用いることで、二液混合型接着剤の計量・混合・塗布作業を効率化しており、容易に施工可能である。

試験施工から1年以上が経過したが、レール接着工法を適用した継目部の開口やロングレール管理上の問題は認められず良好に推移している。

(4) 実用性向上の取り組み

各種試験結果をふまえ、すでにレール接着工法を実用化し、レール補修やロングレール化を推進している。レール接着工法の活用の際に、現地試験時には研削効率を優先したエアースラスト機材により施工したため、機材が大規模で可搬性が悪いことや騒音や粉じんによる周辺への影響が課題となっていた。そこで、ブラスト機材を小型化することにより実用性の向上を図ることとした。

ブラスト機材は、少人数で運搬可能な重量とすることを前提に検討した。ブラスト機材を小型化する場合には、研削効率の低下が懸念されるため、1継目あたりにかかる研削時間で比較することとした。

機材一式の重量を大幅に低減したものをを用いて、1継目あたりの研削時間を確認した結果を表-6に示す。試験の結果、研削効率はわずかに低下するものの、粉じん対策の養生を簡素化できる点や、1種ケレンの代替案として仮に2種ケレン（ディスクグラインダー）で施工する場合には40～50分程度を要することと比較すると、メリットの方が多いと判断した。また、必要な研削能力に応じた機材を使うことにより、騒音や粉じんによる周辺への影響についても改善することも可能となった。

これらの検討成果により、機材一式を軽便トロで施工場所まで運搬可能として実用性を向上し、実際にレール接着工法によるロングレール化において標準的に活用している（図-12）。

5. まとめ

本稿では、レール管理業務の抜本的な改善を可能とし、レール溶接の代用としても活用可能であるレール接着工

表-6 研削時間とブラスト関連機材重量の比較

項目		試験施工	実用性向上
研削時間／継目		10分	12分
重量	ブラスト釜 (タンク空)	130kg	30kg
	コンプレッサー	1,230kg	80kg
	発電機	680kg	電源一体型
	合計	2,040kg	110kg



図-12 小型ブラスト機材の運搬状況

法の実用化に向けた取り組みについて報告した。実用性向上を図りながら、すでに実軌道においてレール接着工法によるレール傷補修やロングレール化を推進している。今後も将来に向けて労働力や経費の大幅な低減を図っていきたい。

謝辞：本開発にご協力いただいたすべての関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 今井啓貴，高尾賢一：JR 西日本（在来線）における最適なレール削正手法の検討，日本鉄道施設協会誌，2017.12
- 2) 三村大輔：無遊間継目による下級線区におけるロングレール化，土木学会第 64 回年次学術講演会，2009.9
- 3) 阿部則次，横田敦，村田仁司，桐村勝也，長藤敬晴：現場接着絶縁継目の開発，RTRI REPORT Vol.3, No.9, 1989.9
- 4) 公益財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説軌道構造編，p235，丸善，2012.1
- 5) 佐藤吉彦，梅原利行：線路工学，p411，(社)日本鉄道施設協会，1987.2
- 6) 日刊工業新聞社：高信頼性を引き出す接着設計技術，p187，2013.10
- 7) 日本接着協会：接着の技術，vol.13, P36，1993

(2019.4.5 受付)

APPLICATION OF GLUED RAIL JOINT USING ROOM TEMPERATURE CURING ADHESIVE

Takuya INOUE, Kenichi TAKAO

Although it is necessary to approach the labor shortage for the future, it requires a lot of labor and cost to inspect the rail shelling and replacement damaged rail. Also, although the rail welding is relatively expensive and requires special skills. To approach drastically these issues , we have developed glued rail joint that can be simply and inexpensively available.

The glued rail joint is structured to use an acrylic resin adhesive that cures in a short time even at room temperature by two-component mixing between the rail and the plate.

The performance of the structure is confirmed by laboratory tests. And then, the field test is carried out in commercial operation line.