

## テルミット溶接を用いた レール頭部補修方法

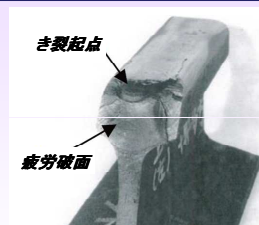
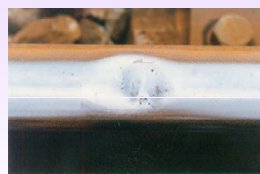
軌道技術研究部 レール溶接研究室  
研究員 柿崎 陽太



Railway Technical Research Institute

### ■ 研究の背景

近年、シェリングきず等のレール頭部損傷が増加しており、レール折損に至ることがある

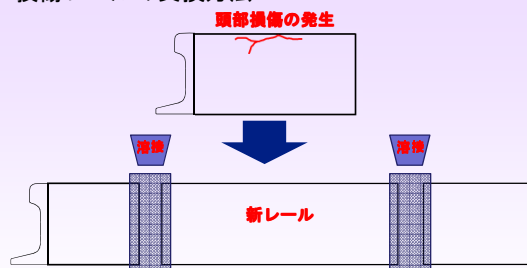


レール折損を未然に防ぐため、鉄道事業者では超音波探傷等により水平裂長さおよび横裂深さを測定

⇒ 閾値を超えた損傷レールを交換

### ■ 研究の背景

・ 損傷レールの交換方法



2箇所でのレール溶接施工が必須

➡ 多くの手間と費用が必要

### ■ 頭部補修溶接の利点

そこで、損傷部位のみを除去し、  
補修溶接することができれば・・・

- ・ レールを破線しないため、緊張器や設定替えが不要  
(作業調整が容易、コスト削減)
- ・ 最低限の軌道工事従事者で施工可能  
(溶接技術者、保線作業員、保安要員)

コストの大幅な削減が期待できる



Railway Technical Research Institute

### ■ 頭部補修溶接法の種類

補修溶接法	溶接投量	施工時間	施工実績
ガス溶射肉盛	高い	長い	○(国内)
アーク溶接	かなり高い	長い	◎(海外)
半自動アーク溶接	高い	比較的長い	○(海外)
テルミット頭部補修溶接	低い	短い	△(海外)

簡便で施工時間の短い

「テルミット頭部補修溶接法」を採用

ドイツ ELEKTRO-THERMIT社より材料を輸入し、  
JISレールへの適用検討および溶接部の性能評価

近年、イギリスで実用化され  
約3,500口の施工実績有り

### ■ テルミット頭部補修溶接法の概要(施工手順)

- ① 損傷部の切り取り・研磨
  - ② 浸透探傷検査
  - ③ モールド取付け・砂詰め
  - ④ 予熱
  - ⑤ テルミット溶剤点火・反応・出鋼
  - ⑥ 静置
  - ⑦ 押抜きせん断機による押抜き
  - ⑧ 仕上げ
- テルミット溶接と同じ  
施工手順
- テルミット溶接の資格を持つ技術者であれば施工可能



Railway Technical Research Institute

### テルミット頭部補修溶接法の概要(損傷部位の切り取り)

切り取り(円弧状にガス切断) → 切り取り部の研削

- ガイドにより、一定の形状で素早く切断可能
- きずの取残しを防ぐため、浸透探傷検査が必須

※ 施工前にきずの長さ・深さを正確に把握することが重要(超音波探傷検査)

— Railway T 浸透探傷検査 Institute —

### テルミット頭部補修溶接法の概要(モールド)

湯口側 モールドとライザー側モールドの2分割方式

### テルミット頭部補修溶接法の概要(モールド設置状況)

予熱前 → プラグ挿入

湯口側 ライザー側

湯口 プラグ

湯口側 ライザー側

モールドを組んだ状態でレールを予熱  
⇒ プラグを挿入し、テルミット溶剤に点火  
ルツボから出鋼した溶鋼は、プラグで一度受け止められる  
⇒ その後、湯口よりモールド内へ充填される

湯口から入り、ライザーへ抜ける一方行の湯流れ

— JR Railway Technical Research Institute —

### JIS60kgレールへの適用試験

営業線から撤去された経年のJIS60kg普通レールを用いて予備試験を実施  
⇒ 溶接部の欠陥発生傾向や溶込み状況等を確認

○ 切り取り形状の変更

- 溶接材料メーカーが推奨する切り取り形状  
長さ75mm、深さ25mm
- モールドの内部寸法: 長さ約100mm  
⇒ 切り取り長さの延長が可能

切り取り長さ90mm、深さ25mmとして、適用試験を実施

— JR Railway Technical Research Institute —

### 試験結果

○ 補修溶接部の欠陥発生傾向(表面および内部)  
⇒ 融合不良等の粗悪な溶接欠陥は検出されず

○ 断面マクロ組織観察による溶込み状況の確認

縦断面 15mm 溶接金属 横断面 湯口側 ライザー側

横断面 湯口側 ライザー側 縦断面 溶接金属 切り取り形状

断面マクロ組織

横断面: 不均一な溶込み形態 ⇒ 15mm程度離れた位置で少ない  
縦断面: 切り取り中心から30mm前後 ⇒ 溶込み量が不十分

### ○ 頭頂面におけるシヨア硬度分布の確認

シヨア硬度(HS)

溶接中心からの距離(mm)

溶接金属

低い

溶接金属中心の硬度が低い  
⇒ 硬度差により落ち込みが形成される可能性がある

適用試験結果より  
➢ 溶接金属の硬度改善  
➢ 溶込み量の均一化


— について検討した

### 溶接金属の硬度改善

溶接金属の硬度改善手法

- ✓ テルミット溶剤を高硬度の種別に変更⇒ 全体的に硬度上昇
- ✓ 強制空冷(冷却速度の上昇)⇒ 現有の冷却装置で対応可能

押抜き直後(約800℃)の溶接部に強制空冷を実施し、硬度改善を図る



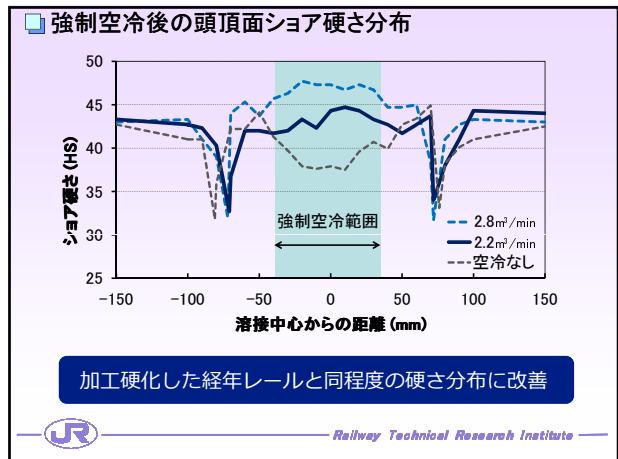
送風条件

ダイヤル	風量
5	2.8m³/min
3	2.2m³/min

吹出口

- 吹出口の一部を鉄板で覆い、空冷範囲を限定
- 風量の異なる2条件で確認

空冷装置



### 溶込み量改善手法の提案

○ 予熱時間の延長による予熱温度の上昇

従来条件

予熱時間の延長 ⇒ バーナヘッドの過熱により逆火が発生



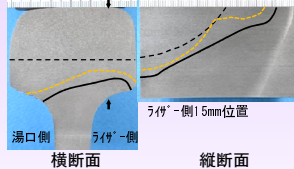

バーナヘッドの過熱原因

- ・ライザーへと抜けるゲイト穴が小さい
- ・予熱炎が強い(切り取り面の溶融も発生)

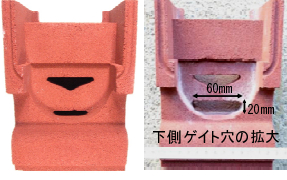
### バーナヘッドの過熱を防ぎつつ、予熱温度を上昇させる手法を検討

○ 予熱炎の見直し

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



○ モールドの改良



条件	切り取り深さ	溶込み深さ	溶込み量
従来	14.8 mm	17.5 mm	2.8 mm
提案	15.5 mm	22.5 mm	7mm

溶込み量が全体的に増加

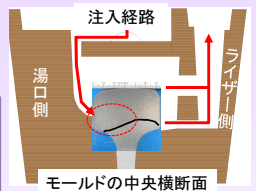
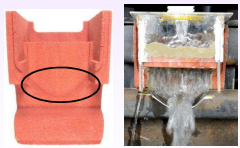
Railway Technical Research Institute

### 溶込み量改善手法の提案

○ 湯流れ方式の変更

従来モールドの問題点

- ・一方向の湯流れのため、湯口側の溶込み過大 ⇒ ライザー側の溶込み少
- ・湯口形状が半円状のため、溶鋼が中心に集中 ⇒ 中心から30mm前後の溶込み少

湯口側モールド 水を用いた注湯試験

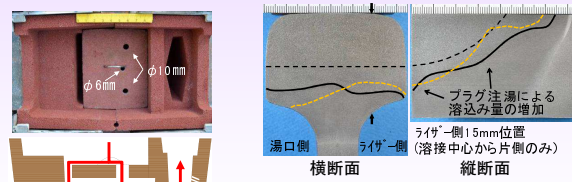
溶け込み形状が均一となる湯流れ方式を検討

○ 湯流れが溶込みに及ぼす影響

切り取り面に対して平行な湯流れ ⇒ 溶込み:小 影響範囲:大

〃 直交する湯流れ ⇒ 溶込み:大 影響範囲:小

従来の湯流れにプラグからの注湯(直交する湯流れ)を併用する方法を考案



条件	切り取り深さ	溶込み深さ	溶込み量
従来	14.8 mm	17.5 mm	2.8 mm
提案	15.8 mm	22 mm	6.2 mm

湯口側とライザー側の溶込み量が均一化

### テルミット頭部補修溶接部の性能評価試験

○ 曲げ破断試験(頭部下向き) ⇒ 静的強度の評価

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

破断荷重・たわみ共に  
テルミット溶接部の曲げ基準値(1,100kN-13mm)を満足

Railway Technical Research Institute

### テルミット頭部補修溶接部の性能評価試験

○ 転動疲労試験、軸力付加曲げ疲労試験 ⇒ 疲労強度の評価

#### 転動疲労試験

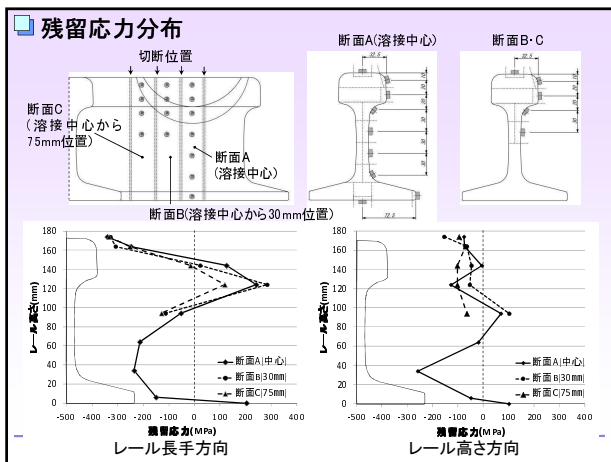
試験条件	
発生応力(N/mm <sup>2</sup> )	
最大引張応力	70
最大せん断応力	139

#### 軸力付加曲げ疲労試験

荷重(kN)		発生応力(N/mm <sup>2</sup> )		
		レール頭部		
垂直	水平(軸力)	平均応力	全応力振幅	せん断応力
20~275	908 (-50°相当)	14	178	262

※エンクローズアーク溶接部の頭部の溶接欠陥から疲労き裂が進展する厳しい試験条件

➡ 往復転動数100万回  
繰返し数200万回 で未破断



### 仕上り検査方法と判定基準の提案

頭部補修溶接部(中心から30mm位置)に発生した融合不良の超音波探傷結果

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	-

➡ 部分円状の切り取り面に発生するため、一探触子法でも融合不良を検出可能

部分円状の融合面、長さ140mm以上の溶接範囲のため

走査性・検出能 : 頭頂面からの一探触子法 > 頭部二探触子法

欠陥面積との相関 : 頭頂面からの一探触子法 < 頭部二探触子法

- 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
- 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
- 判定は頭部二探触子法で行い、欠陥等級2~4級を不良と判定

### 鉄道総研構内試験線における溶接施工試験

線形: 曲線(R=100) 内軌  
実水準: 106mm  
きず長さ: 75mm

水平裂長さ: 75mm      切り取り中心

水平裂中心で切取      横裂を中心に切取

溶接施工      施工後の外観

### 溶接施工試験における頭頂面形状

頭部だけに熱が加わる頭部補修溶接では、溶接後に落込みが生じる可能性大

⇒ 落込み状況を確認すると共に、溶接前に逆ひずみを設ける対策を試行

逆ひずみなし

施工前(きずあり)      施工後の仕上り形状

-1.5mmの落込みが発生

逆ひずみ1.5mm(0.75mmの上げ越し)

施工前(きずなし)      施工後の仕上り形状

仕上り範囲内に収束

Railway Technical Research Institute



## ■まとめ

- ・シェリングきず等の補修方法としてテルミット頭部補修溶接法を採用
- ・溶接部の頭頂面硬度分布を改善し得る頭部強制空冷による硬度改善手法を提案
- ・十分な溶込み量が得られ、溶込み形状が均一化される新たな予熱条件および注湯方式を考案
- ・性能評価試験により実用に供しても問題ないことを確認
- ・頭部補修溶接部に対する仕上り検査方法として、超音波探傷検査方法および判定基準を提案
- ・構内試験線における施工試験により、実施工上の問題と対策を確認



Railway Technical Research Institute