

### 第 89 回

# テルミット溶接

## はじめに

レールとレールのつなぎ目(継目部)を溶接することで、つなぎ目をなくしたロングレール軌道が、新幹線などの高速鉄道、および都市部の在来線では一般的となっています。

現在日本では、レール溶接方法として、フラッシュ溶接法、ガス圧接法、エンクローズアーク溶接法、テルミット溶接法の4工法が適用されています。このうち、テルミット溶接法は、明治末期に東京市電の大手町～呉服橋間で日本においてはじめて適用されました<sup>1)</sup>。図1にJRグループにおける2016年度の各レール溶接法の適用比率を示しますが、テルミット溶接法は、全体の約半数近くを占める主要なレール溶接方法となっています。

ここでは、テルミット溶接法の発明から現在までの技術発展の経緯や今後の展望について解説します。

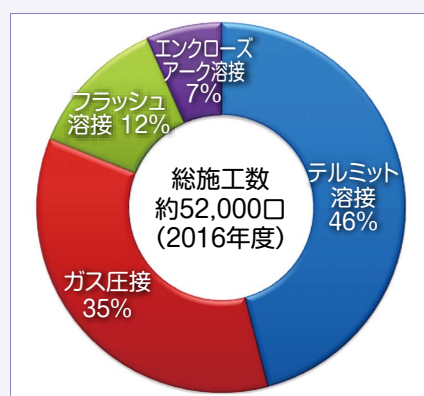
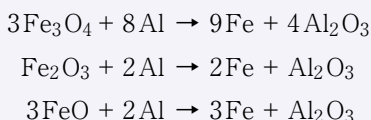


図1 各レール溶接法の適用比率

## テルミット溶接法の概要

テルミット溶接法とは、酸化金属とアルミニウム間の酸化還元反応、いわゆるテルミット反応を溶接に応用したものです<sup>2)</sup>。レールのテルミット溶接では、以下に示す酸化鉄とアルミニウムによるテルミット反応によって得られる溶鋼(Feが主成分)を接合レール間に設置したモールド(鋳型)に流し込みます(図2)。



この反応は非常に激しく、溶鋼の温度は2,100~2,400℃程度といわれています<sup>2)</sup>。しかし、反応自体は爆発的ではなく、また反応開始に1,200℃程度の温度を必要とするため、自然発火の危険性はなく、取り扱いには比較的安いです。実用に供されるレール用テルミット溶剤は、上述の酸化鉄およびアルミニウム粉末を主成分とし、生成物の温度を制御し溶接金属の機械的性質を使用目的に適合させるため、銅片、合金鉄、グラファイトなどが添加されています。

テルミット溶接法は、使用する機器が簡便であり、また溶接時間が比較的短く、技術的に容易であることから、列車運行時間外に実施される線路内溶接(三次溶接)の手段として適し

ています。現在日本では、1979年にドイツElektro-Thermit社(以下、ET社)より導入された短時間予熱による迅速テルミット溶接法(SkV法、日本での呼称:ゴールドサミット溶接法)がおもに適用されています。当法でJIS60kg普通レールを溶接する際の作業工程は以下のとおりです。

- ①レールを切断した後、25mm程度の間隔を設けてレールをセットする。
- ②レールにルツボ(反応容器)および予熱バーナー設置用の治具を取り付ける。
- ③レールにモールドを取り付け、砂詰めを行う。
- ④ルツボをモールド上部に設置した後、ルツボ内へテルミット溶剤を装填する。
- ⑤モールド内に予熱バーナーを差し込み、予熱作業を実施する(2分間)。
- ⑥予熱作業後、モールド上部にプラグを差し込み、ルツボ内のテルミット溶剤に着火することでテルミット反応を開始させ、溶鋼をモールド内へ注入する(図2)。
- ⑦溶鋼注入から4分程度静置した後、モールド上部を倒し、レール上方の溶接金属を押抜きせん断機で除去する。
- ⑧レール頭部の仕上げ作業を行い、溶接部の冷却後、仕上り検査を実施する。

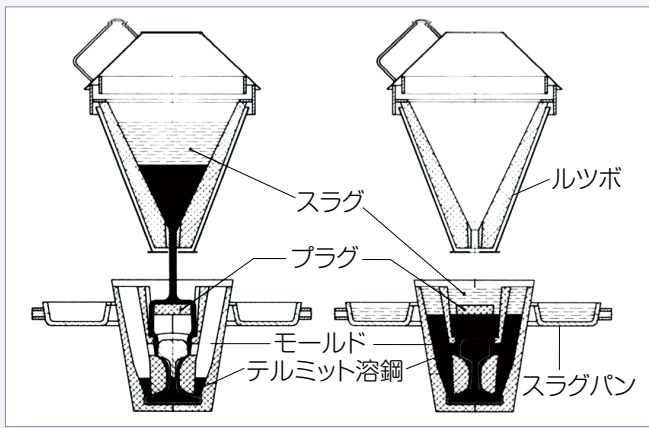


図2 テルミット溶鋼の注入

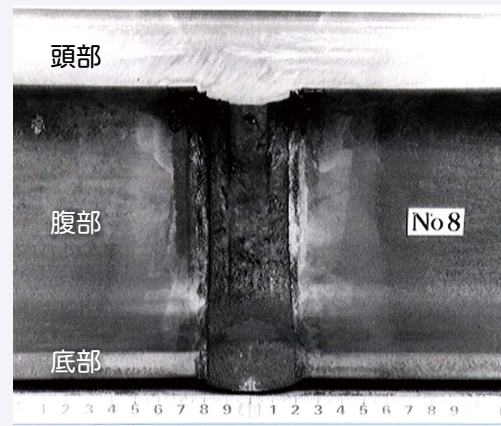


図3 テルミット溶接部の外観例



図4 Hans Goldschmidt  
出典：Goldschmidt-Thermit社HP



図5 1909年当時のテルミット溶接の施工状況  
出典：Goldschmidt-Thermit社HP

なお、一連の作業時間は、仕上げ・検査を含めて一時間半程度です。テルミット溶接部の外観を図3に示します。

### テルミット溶接技術の黎明期

当溶接法の歴史は古く、1893年、ドイツの化学者ハンズ・ゴールドシュミット氏(Hans Goldschmidt, 図4)によって発明されました<sup>1)</sup>。テルミット溶接の応用研究はレールの溶接が最初であり、1899年に始められ、それ以降、欧州の鉄道で適用されるようになりました<sup>3)</sup>。日本では、先に述べたように、明治末期に東京市電ではじめて適用されましたが、その当時の様子を図5

に示します。なお、旧国鉄では、1925年に田端駅構内ではじめて試験施工が実施されました。しかし、それ以降、テルミット溶剤の主原料である酸化鉄とアルミニウム粉末が軍用兵器に転用されたため、第二次世界大戦が終了するまでは中断を余議なくされました<sup>1)</sup>。

### 日本での研究開発の歴史

1950年代後半に入ると、(株)峰製作所がテルミット溶接の実験を開始しました<sup>4)</sup>。さらに、使用機器の改良なども含めた実施工に対応するための実用的な技術開発がなされ、最終的な品質チェックを旧国鉄・鉄道技術研究所

溶接研究室が行いました。その結果、1957年、北陸本線富山操車場構内線に約400箇所の試験施工が実施されるに至っています。

### 東海道新幹線建設工事での適用

1964年開業の東海道新幹線のレール溶接工事は、フラッシュ溶接およびガス圧接により行うのが基本とされました。しかしながら、工期が足りず、他のレール溶接方法も適用しなければならなかったため、在来線のロングレール化工事での適用が始まっていたテルミット溶接法が採用される

こととなりました。なお、東海道新幹線への採用に先立ち、使用されることが決まっていた50Tレールの溶接試験体を作製し、静的曲げ試験、落重試験、硬さ試験などが実施され、さらに、新幹線モデル線区での試験施工が行われました。そして、1963年に本格的な軌道工事が始まり、東海道新幹線（東京～新大阪）の開業当初における国産のテルミット溶接の施工数は約15,500箇所にとどまりました。

しかしながら、これら東海道新幹線に敷設されたテルミット溶接部は、内部欠陥と底部余盛付け根の形状に起因する疲労により折損するものが多数ありました<sup>1)</sup>。これは、疲労強度の検討が不十分であったことおよび新幹線開業に向けての工期切迫と施工環境が厳しかったためと考えられています<sup>5)</sup>。

ただし、見方を変えると、テルミット溶接がなかったら、東海道新幹線は予定どおり開業しなかったといえます。

## 海外製テルミット溶接技術の導入

国内におけるテルミット溶接の研究と並行する形で、旧国鉄・鉄道技術研究所は、フランスおよびドイツ（当時は西ドイツ）のテルミット溶接技術に

ついて調査し、さらに、試験継手の性能評価試験を実施し、日本のテルミット溶接技術と比較検討しました。その結果、1979年4月に、上述したドイツ・ET社のゴールドサミット溶接法の導入が決定され、ET社と(株)峰製作所が技術提携および販売契約を締結して、現在に至るまで、JRの在来線および民鉄において使用されています。当ゴールドサミット溶接法の主要諸元を東海道新幹線建設時に適用された国産のテルミット溶接法と比較した場合、つぼからの溶鋼の出鋼方式がオートタップ方式で、レールの頭部から底部に向けて溶鋼を注入すること（国産は手動方式で、底部から注入）、被溶接レールの間隔が25mmと広いこと（国産は12mm）、予熱時間が2分と短いこと（国産は20分）などが特徴としてあげられます<sup>1)</sup>。

普通レールのテルミット溶接施工では、炭素含有量が約0.6%の溶接金属が得られるテルミット溶剤（呼称：Z90）が適用されています。一方、熱処理レール（HH340）の溶接施工では、炭素含有量が約0.8%の溶接金属が得られる溶剤（呼称：Z120M）が適用されています。当熱処理レール用の溶剤は、熱処理レールも普通レールと同様の作業時間で溶接できるようにとの現

場の声に応じて開発されたもので、炭素のほかにクロム、バナジウムなどの合金元素が添加されており、熱処理レールに適合した硬度が後熱処理なしで得られるように成分設計されています<sup>6)</sup>。

## 現在のテルミット溶接における課題

表1に、最近10年間における溶接法別の施工比率と折損率（折損数÷施工数）を示します。テルミット溶接部の折損率は0.003%と、諸外国での折損率と比較してはるかに低くなっています。これには、品質管理基準に基づき、溶剤受け入れ時に、厳格な品質検査を実施していることが寄与していると考えられます。

約25年前のテルミット溶接部の折損原因の大半は、融合不良、凝固割れでした<sup>7)</sup>。このうち、融合不良に対しては、溶接施工条件の見直しなどが実施され、上述したように、テルミット溶接部の折損は、著しく減少しています。しかし、最近でもわずかながら折損が発生しており、これらのほとんどが凝固割れに起因していることから、その対策が求められています。

さらに、最近では、レール交換時に、

表1 溶接法別の施工比率と折損率  
（2008～2017年度に施工された溶接部）

溶接方法	施工比率	折損率
テルミット溶接	40%	0.003%
エンクローズアーク溶接	7%	0.005%
ガス圧接	31%	0.001%
フラッシュ溶接	22%	0.000%
合計	-	0.002%

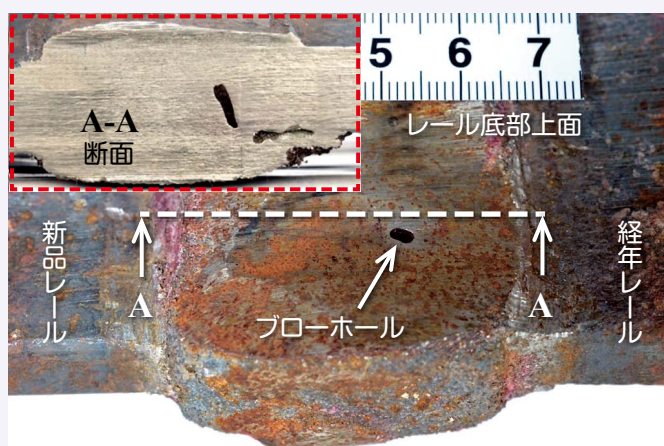


図6 表面きずが発生した溶接部の例

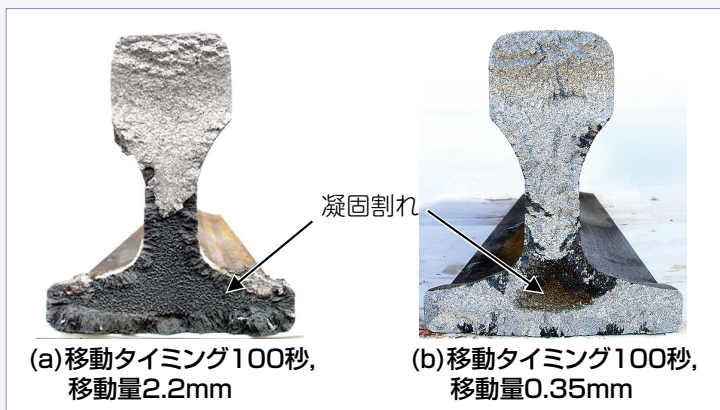


図7 凝固割れを再現したテルミット溶接部の破面例<sup>7)</sup>

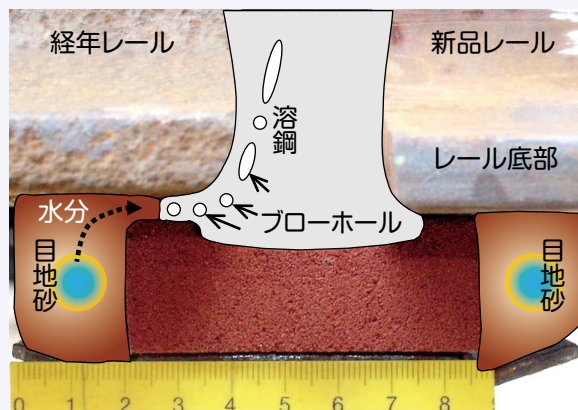


図8 ブローホールの発生メカニズム(模式図)<sup>8)</sup>

新品レールと既敷設の経年レールとの溶接施工直後の仕上り検査で、図6に示すような表面きず(ブローホール)が検出され、撤去される事象が多く報告されており<sup>8)</sup>、表面きず発生の原因を解明し対策を施すことも課題となっています。

### テルミット溶接における問題解決のための取り組み

テルミット溶接部の凝固割れは、溶接金属の凝固中にレールが外側に移動することで発生すると考えられてきましたが、その発生条件は明確になっていませんでした。そこで、鉄道総研では、凝固割れの発生メカニズムを解明し防止策を提案するため、50kgN普通レールを用いた凝固割れ再現試験を実施しました。その結果、凝固割れが発生するのは、モールドへの溶鋼注入後90～160秒の間にレール移動が生じた場合であり、さらに、レール移動のタイミングによっては、わずか0.4mm程度のレール移動によっても発生することがわかりました<sup>7)</sup>。なお、一連の試験において、実軌道で折損を引き起こしたものと同形態の凝固割れを再現するに至っています(図7)。この結果から、溶鋼注入完了から90～160秒では、作業を完全に中断させる

こと、さらに仕上がり検査では、凝固割れが確実に検出できる底部の超音波探傷検査方法を提案しました。

一方、表面きずの発生条件に関する検証を行うため、“レールとモールドの隙間”および“目地砂の水分量”を系統的に変化させた条件で溶接試験体を作製したところ、レールとモールドとの隙間が大きくなる条件で、かつ目地砂の水分量を標準より増した場合に、実施工時と同様の表面きずが発生することが明らかとなりました<sup>8)</sup>。このことより、表面きずは、レールとモールドとの隙間が大きくなる経年レール側のご部と底面に入り込んだ溶鋼と目地砂との接触により生じたガスに起因して発生すると推察され(図8)、表面きずの発生を防止する手法として、レールとモールドとの隙間を極力小さくできる“段差モールド”<sup>6)</sup>の使用を推奨しています<sup>8)</sup>。

### おわりに

テルミット溶接技術は、ロングレール化のための溶接工事だけでなく、レール頭部にきずが発生した場合の補修方法として適用されるに至っており<sup>9)</sup>、軌道のメンテナンス体制を維持していく上で不可欠な溶接技術となっています。現在は、溶接欠陥の発生率

が低く、施工性に優れた特性を生かし、新幹線の高速区間でも三次溶接法の一つとして位置づけられるよう、さらなる性能向上にも取り組んでいます。また、将来的な熟練技術者の減少を念頭に置き、施工プロセスの脱技能化にも取り組んでいく予定です。

(山本隆一／軌道技術研究部  
レールメンテナンス研究室)

### 文献

- 1) 栗原利喜雄：テルミット溶接工法によるレール溶接の進歩, RRR, Vol.67, No.10, pp.36-37, 2010
- 2) 溶接学会編：第2版 溶接・接合便覧, 丸善, p.348, 2003
- 3) ゴールドシュミット・テルミット・ジャパン：ゴールド・シュミット社の歴史, <http://www.goldschmidt-thermit.co.jp/company/history/> (入手日：2019/9/2)
- 4) 峰製作所：峰製作所70年史, p.101, 1996
- 5) 仁杉巖/監修, 深澤義朗/編著：新幹線保線ものがたり, 山海堂, p.94, 2006
- 6) 深田康人：レールのテルミット溶接法と最近の技術動向, 鉄道総研報告, Vol.15, No.4, pp.5-8, 2001
- 7) 伊藤太初, 寺下善弘, 辰巳光正, 山本隆一, 設楽英樹：テルミット溶接部における凝固割れの発生条件と折損防止策, 鉄道総研報告, Vol.23, No.10, pp.59-64, 2009
- 8) 寺下善弘, 山本隆一, 辰巳光正, 伊藤太初, 梅内一行：テルミット溶接部の表面きず発生原因とその防止策, 鉄道総研報告, Vol.29, No.8, pp.53-58, 2015
- 9) 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, pp.41-46, 2014