

テルミット溶接工法によるレール溶接の進歩

— むかし、いま、これから —

栗原 利喜雄 (元鉄道技術研究所 金属材料研究室)

テルミット溶接の登場

1896年、ドイツのハンス・ゴールドシュミット博士はアルミニウム粉末による酸化を利用し、重金属をその酸化物から還元して元の重金属に戻すこと(テルミット反応)を発見しました。その応用は1899年、レールのテルミット溶接として欧州の鉄道、特に路面電車で普及することとなります。日本では、1907(明治40)年、東京市電の大手町〜呉服橋間における溝付きレールの溶接に、テルミット溶接が初めて適用されました(溶接施工はドイツ・エレクトロ-テルミット社)。国鉄最初のテルミット溶接施工は、1925(大正14)年、田端駅構内で実施された30kg/mレールの溶接です。しかし、テルミット溶接は路面電車軌道の適用に留まり、その後、テルミット溶剤の主原料である酸化鉄/アルミニウム粉末は、軍用兵器に転用されて適用の中断を余儀なくされました。

戦後におけるテルミット溶接の普及

各種レール締結装置とレール溶接技術の発展で、継ぎ目なし軌道は広く普及していきましたが、このような中、テルミット溶接は、軌道内での現場溶接法として電弧(アーク)溶接と競合することとなりました。レール溶接のテルミット溶鋼は、 $Fe_2O_3 + 2Al \Rightarrow 2Fe + Al_2O_3 + 850kJ$ (1000gのテルミット溶剤 \Rightarrow 524gの鉄(Fe) + 476gのアルミ

ナスラグ(Al_2O_3) + 熱)の反応で得られます。鉄の純度を高め、所定の組成にすべく溶剤にはいくつかの元素が添加されています。この当時(第1期)の日本におけるテルミット溶接の諸元を表1に示します。最大の特徴は、モールド(鑄型)が施工現場で造型される生型で、その乾燥に長時間の予熱が必要であったことです。さらに、溶接後には、ひずみなどを緩和し、組織を均質化するための後熱処理が実施されたので、溶接作業に非常に長い時間を要しました。1957(昭和32)年以降、東海道新幹線建設に適用(50Tレール)し、15,500口が施工されましたが、5年の経過で、鑄造内部欠陥と底部余盛付け根部の形状に起因する疲労損傷が多発して撤去を余儀なくされ、軌道内での現場溶接はその多くがエンクローズアーク溶接に委ねられました。これは、テルミット溶接の開発に際し、余盛を含めた溶接継手としての疲労強度の検討が不十分であり、また、新幹線開業に向けて少々無理な施工がなされたことによると思われる。

現在のテルミット溶接

国鉄は各種テルミット溶接法の詳細な比較調査を行い、1979(昭和54)年、エレクトロ-テルミット社のSkV法(短時間予熱による迅速テルミット法)を導入し、それ以降、現在に至るまで適用されています(第2期)。SkV法の諸元

表1 新旧テルミット溶接の諸元比較

	第1期(東海道新幹線建設当時)	第2期(SkV法:1979年~)
るつぼ(反応容器)	マグネシア系	アルミナ系
テルミット溶剤	中炭素系クロム-マンガン-バナジウム合金鋼	高炭素鋼(レールと同じ-Z90溶剤)
テルミット反応時間	30~50秒	16~30秒
出鋼方式	手動方式	オートタップ方式
モールド(鑄型)	2分割のベントナイト粘結生砂型、湿潤タイプ	2分割の酸化鉄入り珪砂型、乾燥タイプ
被溶接レールの間隔	12mm	25mm
予熱条件	プロパン火炎(目標850°C)で20分	プロパン火炎(目標600°C)で2分
溶鋼注入形態	レール頭部より注入	レール頭頂側面より注入(図1)
頭部余盛除去方法	大ハンマ、タガネ	熱間押抜きせん断機(図2)
後熱処理	900°C(昇温14分、保持20分)	不要

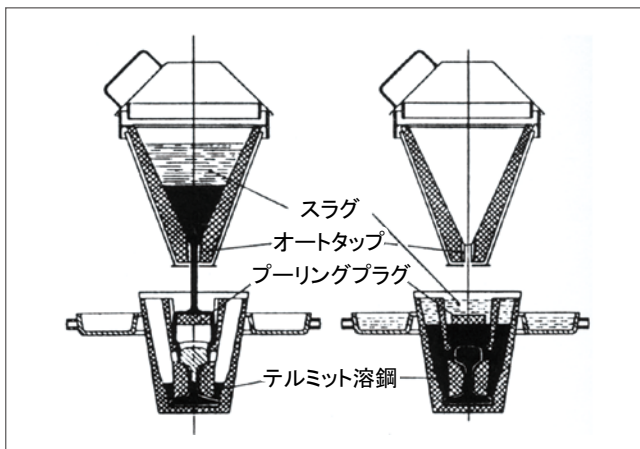


図1 テルミット溶鋼の注入(SkV法)

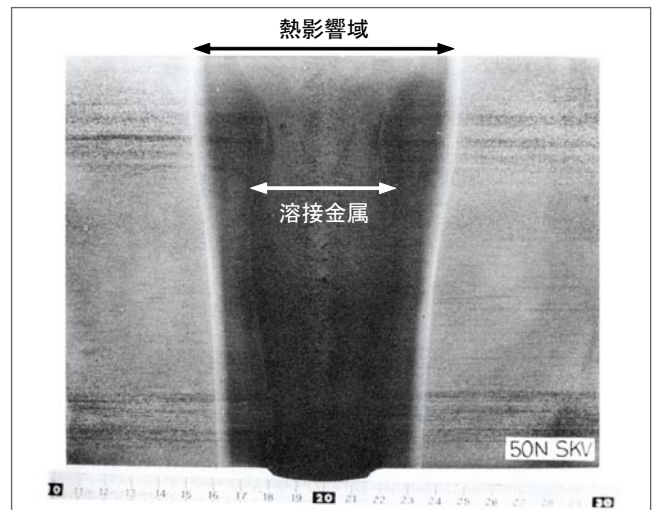


図3 テルミット溶接部の縦断面マクロ組織(SkV法)



図2 熱間押抜きせん断機

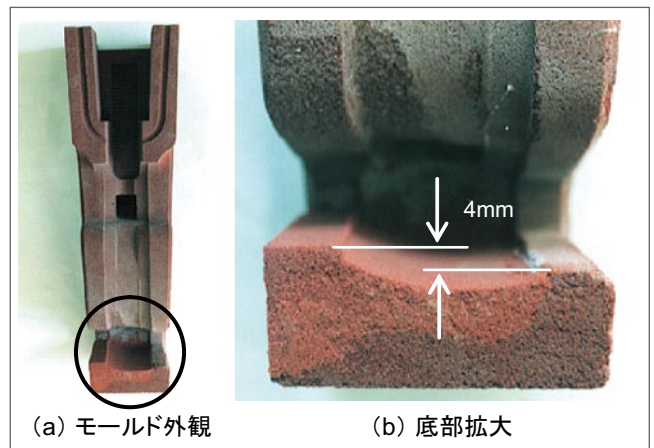


図4 段差モールド

を表1に併せて示しましたが、モールドが工場生産の乾燥型になり予熱が2分と非常に短くなったこと、および後熱処理が不要となったことが特徴です。また、レールとほぼ同じ成分のテルミット溶剤でその量も増えたため、十分な熱量がレール端面に投入され押湯効果（凝固時に生じる収縮部位に溶接金属を補給すること）により、欠陥がない溶接金属層が形成されます（図3）。JRが発足して1988（昭和63）年以降は、全国で毎年2～2.5万口（全溶接施工数の35%程度、JRにおける実績）が施工され、累積45万口程度の実績があります。なお、溶接施工数の増大に伴い、一時期、溶接欠陥に起因する損傷が増えましたが、鉄道総研が中心となって予熱条件の適正化が行われ、溶接欠陥の特性を考慮した超音波探傷検査法と評価基準が適用されて以

来、溶接部損傷は著しく減少し、現在に至っています。また、最近では、損傷部分を除去して再溶接するワイドギャップSkV法（被溶接レールの間隔75mm）、および摩耗差のあるレールの溶接に適用する段差モールド（図4）が紹介されました。

今後の展望

ドイツから導入したSkV法は、日本の新幹線軌道では試用の域を出ないでいますが、在来線における長年の使用実績を踏まえると、新幹線軌道に適用しても問題は生じないと考えられます。テルミット溶接に長年携わってきた者として、テルミット溶接が再び日本の新幹線軌道に適用されることを願って止みません。