

第40回

レール溶接

はじめに

レールとレールのつなぎ目(継目部)は、騒音・振動、軌道保守費の増加および列車の乗り心地悪化の原因です。このため、継目部を溶接により排除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。

日本では、明治末期に東京市電の大手町～呉服橋間におけるレールがテルミット溶接を用いて初めて溶接され¹⁾、現在では、レール溶接方法として、テルミット溶接法、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の4工法が適用されています。

本稿では、各レール溶接法の過去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。

テルミット溶接法

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²⁾。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教授(Prof. Hans Goldschmidt, 図1)によって発明され、それ以降、欧州の鉄道で適用されるようになりました³⁾。日本では、先に述べたように、明治末期に東京市電で初めて適用されましたが、その当時の様子を図2に示します。なお、旧国鉄では、1925年に田端駅構内で初めて適用されました。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¹⁾。

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。



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²⁾。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、その取り扱いと比較的安全です。

また、この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小さいことから、列車運行時間外に実施される線路内溶接の手段として適してい



図1 Prof. Hans Goldschmidt
出典：Goldschmidt-Thermit Japan社HP



図2 テルミット溶接の施工状況(1909年当時)
出典：Goldschmidt-Thermit Japan社HP

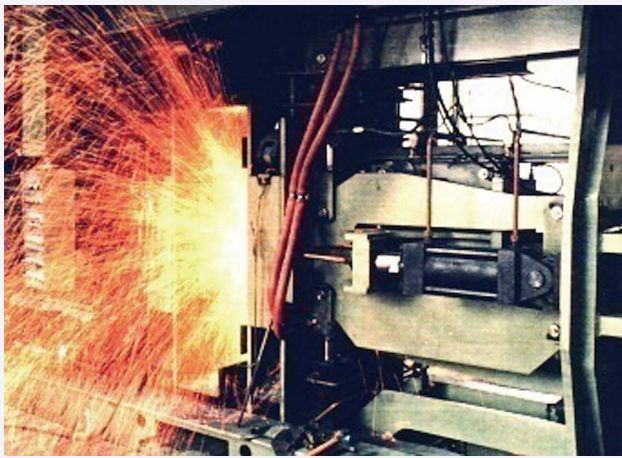


図3 旧草津レールセンターでのフラッシュ溶接状況
(当時、遮蔽カバーをせずに撮影された1枚)

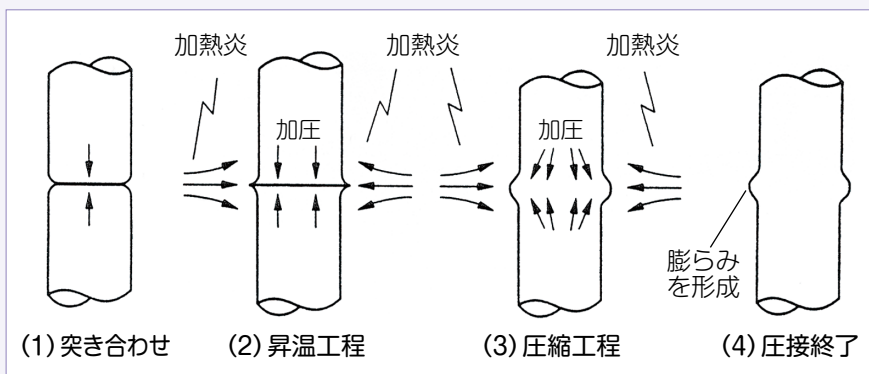


図4 ガス圧接工程

ます。現在日本では、1979年にドイツ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(呼称：ゴールドサミット溶接法)が主に適用されています。

フラッシュ溶接法

フラッシュ溶接法は、突き合わせ部に大電流を通电することにより、フラッシュ(火花)を強制的に発生させてレール端面を加熱し、端面が溶融した時点で高い圧力を加えて接合する方法です。接合部の信頼性が高く、また生産性も高い(溶接時間：1.5～3分)ため、JRグループではレールセンター(溶接工場)における長尺レールの製作にこの溶接法を多用しています。

この溶接法は、1889年に米国で特

許化され⁴⁾、欧米において実用化のための技術開発がなされました。日本では、1945年に旧国鉄の材修場(後のレールセンター)にドイツAEG社製フラッシュ溶接機が設置され、レールの溶接手段としての適用が開始されました⁵⁾。1972年、大阪電気(株)によって開発された国産初のフラッシュ溶接機が、旧国鉄の草津レールセンター向日町支所で稼働しましたが、1979年にはスイスSchlatter社製の定置式溶接機に取り替えられました。1987年に、NKK式レールフラッシュ溶接機が浜松レールセンター向けに開発されるまで、フラッシュ溶接機と言えば、ほとんどが外国製でした。図3に、旧国鉄の草津レールセンターで稼働していたSchlatter社製溶接機を示します。

一方、岡山～博多間の山陽新幹線建

設現場には、旧ソ連Paton社製の小型溶接機(K-355型)が導入され、仮設基地溶接などで使用されました⁶⁾。また、1994年にはこれと同様の小型溶接機を搭載した軌陸車(軌道と道路の両方を走行可能な車両)がJR東日本で購入され、秋田および山形両新幹線建設で使用された実績があります⁷⁾。この軌陸車による溶接工事では、配列されたレール上を溶接車が順次移動しながら溶接作業が行われました。

ガス圧接法

ガス圧接法は、接合する部材を突き合わせて軸方向に加圧し、突き合わせ部周囲をガス炎で高温まで加熱した後、所定の変形量を得て接合する方法です。

図4に、ガス圧接工程の模式図を示しますが、各工程の詳細は以下のとおりです。

- (1) 端面をグラインダーにより研磨し、さび、油などの付着物を除去した後、端面を突き合わせ、軸方向に加圧する。
- (2) 酸素・アセチレン炎などの加熱炎で突き合わせ部を一様に加熱する。
- (3) 加圧と加熱を継続し、適当な形状の膨らみを形成させる。
- (4) 所定の変形量を確保した時点で加圧および加熱を停止し、圧接を終了する。

レールガス圧接作業中のレール鋼の到達温度(レール頭部中心部)は、レール鋼の融点以下の1,200℃程度であり、いわゆる固相状態のまま接合が達成されることから、この溶接法は固相接合法に分類されています。

ガス圧接法に関する研究開発は、鉄筋棒鋼を対象として1940年前後に日本と米国で開始され^{8,9)}、日本では、1955年にレールの接合手段として適

用され始めました⁵⁾。初期のレールガス圧接機は定置式で重量が約3トンもあり⁵⁾、レール腹部をカム状の駒でクランプし、油圧によりレールを加圧しながら、レール断面と相似形の循環水冷式の一体構造アルミ合金鋳物製バーナーにより加熱し変形を得ていました。図5に、定置式ガス圧接機を示します。その後、ガス圧接法に機動性を持たせるため、軽量化が進められ、1973年には現場仮設基地での使用を目的に、重量約200kgの可搬式ガス圧接機(PGP型)が開発され¹⁰⁾、山陽新幹線建設以降使用されました。このガス圧接機は本体をレール上方からセットする跨座型で、クランプおよび加圧を油圧で行うとともに、沸騰水冷式二分割型アルミ合金製バーナーを使用します。

また、従来、圧接工程で形成した膨らみは専用の切断用吹管でガス切断していましたが、1975年、作業能率の向上を目的に、圧接直後にレール全周の膨らみを除去する押抜きせん断機を装備したTGP-I型、II型ガス圧接機(重量約500kg)が開発されました¹¹⁾。

一方、ガス圧接機のさらなる小型化が進められ、1986年にはレール底部を緊締板とボルトで締結するTGP-HA

型小型ガス圧接機(本体重量95kg、押抜きせん断機重量65kg)が開発されました。このガス圧接機は、現在使用されている圧接機としては最軽量であり、現場への搬入が容易なことから、図6に示すような線路脇での接合作業(二次溶接と呼ぶ)が実施可能となり、ガス圧接の適用範囲を広げました。

エンクローズアーク溶接法

エンクローズアーク溶接法は、被覆アーク溶接法の一つで、東海道新幹線の建設におけるロングレールの現地溶接法(三次溶接と呼ぶ)として開発されたものです¹¹⁾。溶接施工に際して、レールを17mm程度の間隔を設けて設置し、レール下から銅当金を当てがい、レール間の空隙を低水素系被覆アーク溶接棒を用い手動で溶接します(図7)。レール底部から溶接を開始しますが、この過程では、一層毎の溶接で生じたスラグ(非金属物質)をその都度除去し、次の層を重ねる多層溶接を適用します。続いて、レール底部から頭部のレール形状にほぼ合致した水冷式の銅当金で取り囲み、腹部から頭部にかけての領域を連続的に溶接し、最後に頭頂部を多層溶接で盛り上げます。この

ように、溶接に際してレールを銅当金でとり囲むことから“エンクローズ”アーク溶接法と呼ばれています。

この溶接法では、フラッシュ溶接法やガス圧接法のようにレールを加圧・圧縮する必要がないため、上述したテルミット溶接法と同様にレールを軌道上に敷設した状態で接合することが可能です。しかし、施工に要する時間が長く、例えばJIS 60kg普通レールを溶接する場合、溶接時間だけで約60分の長時間を要す欠点があります。

このような中、近年、被覆アーク溶接棒の代わりに連続供給可能な溶接ワイヤーを使用し、炭酸ガス雰囲気中で溶接施工を行う半自動エンクローズアーク溶接法が開発され¹²⁾、実用に供されています。この方法によれば、溶接時間は従来の半分程度に短縮されます。

レール溶接の今後

図8に、2013年度のJRグループにおける各レール溶接法の適用比率を示します。いずれの溶接法も現場技術として根付いており、かつ、折損率が0.003%程度と、国際的にみて高い信頼性を有しています。しかしながら、将来的に

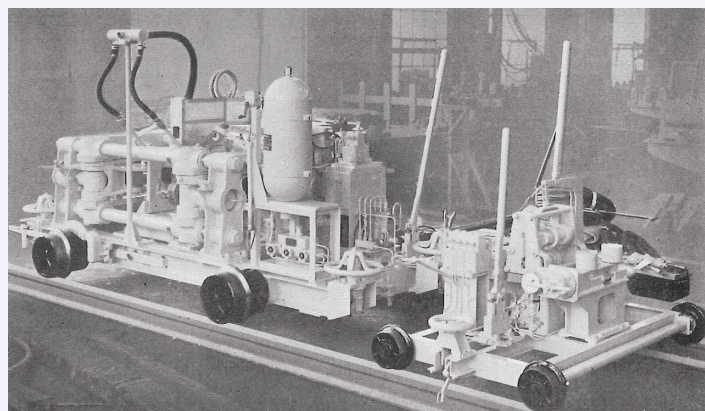


図5 定置式レールガス圧接機
出典：日立軌条ガス圧接装置カタログより

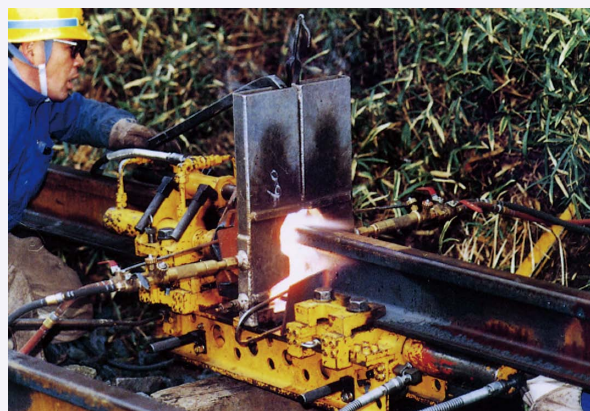


図6 小型ガス圧接機による線路脇での施工

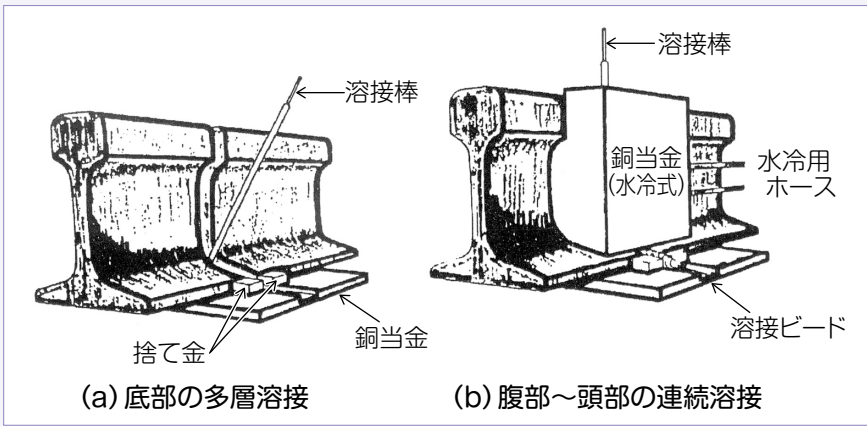


図7 エンクローズアーク溶接法による施工

出典：滝本正，解説 最近のレール溶接とその信頼性，鉄道技術研究資料，Vol.39，No.1，1982

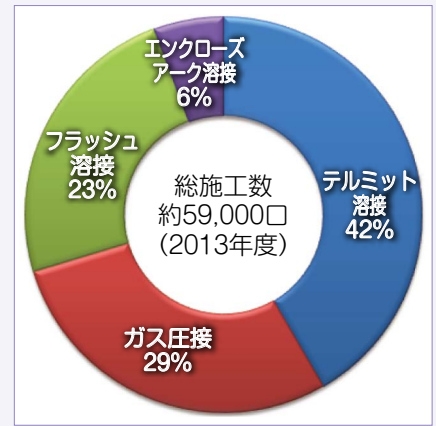


図8 各レール溶接法の適用比率



図9 THRによるシェリングきずの補修溶接

熟練作業者の減少が予測される中、レール溶接部の品質をどのように維持していくかが課題となっています。

特に、日本独自に発達してきたガス圧接法は、工場内溶接から線路脇での二次溶接まで多くの場面で使用できる有用な溶接法であり、これまでも50台以上のガス圧接機が輸出され、世界各地で使われています。しかし、ガス圧接作業の一部は熟練技能を必要とするという側面もあり、鉄道総研では現在、熟練技能を必要としないガス圧接施工プロセスの開発に取り組んでいます。また、レール折損の主因となっているシェリングきずを簡便に切除すべく、テルミット溶接法を用いた頭部補修溶接法 (THRと呼ぶ) を開発し (図9)、現在一部のJRで試験敷設が

行われています。

これまでJRグループでは、ロングレールの敷設に際し、25mもしくは50mの定尺レールをレールセンターなどで溶接して200m程度の長さにした後、敷設現場に搬送し、現場ですらに長尺化するという手順をとってきました。これからは150mレールの導入に伴い、ロングレール敷設までの過程が大きく変化することが予想されます。レール溶接を取り巻く情勢は、急激に変化しており、このような中、レール溶接部の品質が高いレベルで維持されるよう尽力することが鉄道総研の使命であると考えています。

(山本隆一／軌道技術研究部
レール溶接研究室)

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) Goldschmidt-Thermit社HP，<http://www.goldschmidt-thermit.co.jp>
- 4) 日本学術会議：溶接・接合技術の進歩と21世紀への展望，p.13，2002
- 5) 大石橋宏次：解説 レール溶接法，鉄道技術研究資料，Vol.30，No.11，pp.549-557，1973
- 6) 田中五十大：ソ連製フラッシュバット溶接機，新線路，Vol.28，No.8，pp.18-19，1974
- 7) 北條重幸：レール溶接車の導入，日本鉄道施設協会誌，Vol.33，No.2，pp.118-119，1995
- 8) 高木小二郎，小野川侑，青木正一：酸素アセチレン焰に依る鉄筋の衝合接合に就て，満鉄鉄道技術研究所報告，Vol.241，pp.1-19，1943
- 9) Adams,L.：New Oxyacetylene Processes for Butt Welding Rails，Ry.Eng.Maintenance，No.35，pp.28-31，1939
- 10) 大原宗行，杉田久男，大島米三，桶田正昭：鉄研式小形レールガス圧接機の開発，鉄道線路，Vol.22，No.7，pp.361-363，1974
- 11) 滝本正，大石橋宏次：レールの溶接方法，鉄道線路，Vol.25，No.10，pp.581-589，1977
- 12) 中西延仁，三井章雄，中野渡弘昌：レールの半自動エンクローズアーク溶接工法，日本鉄道施設協会誌，Vol.38，No.11，pp.23-25，2000