

第64回

レールのガス圧接

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、ガス圧接法は、60年以上の使用実績があり、**図1**に2015年度の各レール溶接方法の適用比率を示すように、全体の約30%を占める主要な溶接方法です。

ここでは、レールガス圧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。

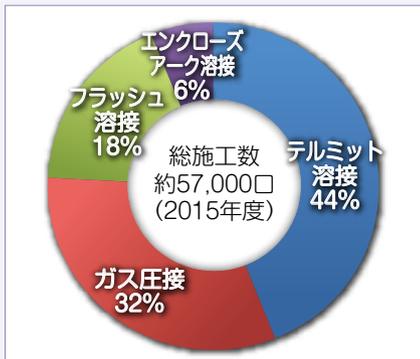


図1 各レール溶接方法の適用比率 (JRグループ)

ガス圧接法の特徴

ガス圧接法は、接合する部材を突き合わせて圧力を加えながら、突き合わせ部周囲をガス炎で加熱し、部材を圧縮して接合する方法です。

図2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、錆、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、いわゆる固体状態のまま接合が達成されることから、当溶接法は固相接合法に分類されています。

ガス圧接に関する研究の歴史

ガス圧接法に関する研究開発は、1940年前後に日本と米国で開始されました。日本でのガス圧接に関する最初の研究は、満鉄鉄道技術研究所で実施された丸棒鋼のガス圧接試験¹⁾であり、その後、この研究は、旧国鉄・鉄道技術研究所に引き継がれました。一方、海外では、米国、旧ソ連、ドイツにおいて、研究が行われました²⁾³⁾⁴⁾。しかし、1960年代になると、日本以外では、ほとんど使用されなくなりました。この主な理由として、フラッシュ

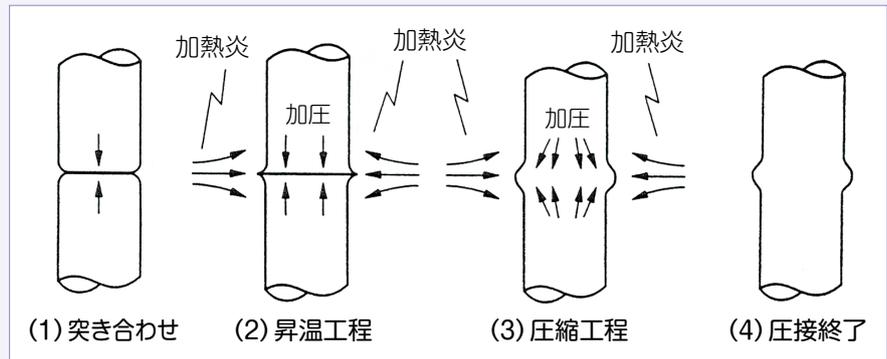


図2 ガス圧接工程

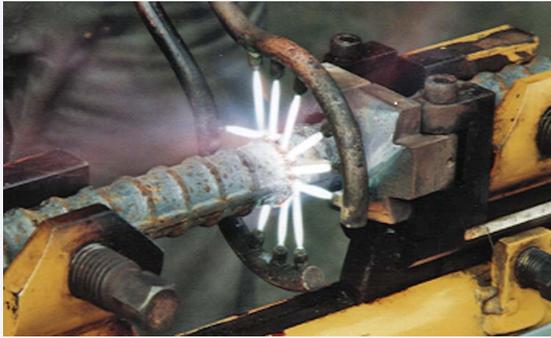


図3 鉄筋のガス圧接作業状況

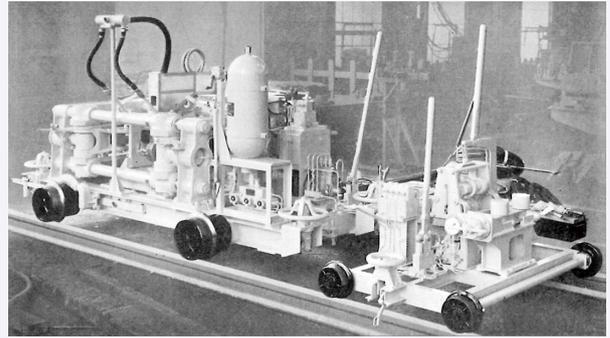


図4 定置式レールガス圧接機
出典：日立軌条ガス圧接装置カタログ

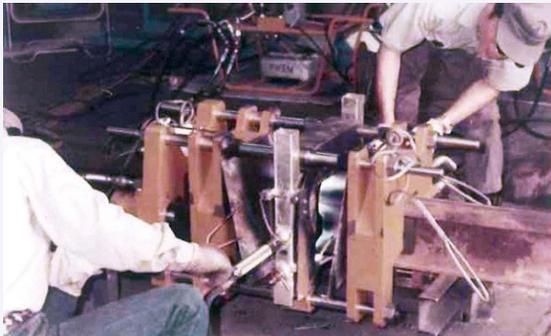


図5 PGP型ガス圧接機による接合試験



図6 PGP型ガス圧接機による山陽新幹線での実施工

溶接，アーク溶接などの電氣的溶接法が開発されたこと，ガス圧接部の信頼性が低かったことがあげられます。それに対し，日本では，工法，機器，接合現象解明に関する研究が進められ，その結果，今日では，国内における鉄道用レールの接合のうち約30%，また，土木・建築分野における鉄筋接合のうち約80%をガス圧接が占めるに至っています⁵⁾。図3に，鉄筋のガス圧接作業状況を示します。

レールガス圧接機の登場

レールのガス圧接については，旧国鉄・鉄道技術研究所で研究がなされ，1955年にレールの溶接手段として適用され始めました⁶⁾。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，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型アルミ合金製バーナーに

より加熱し変形を得ていました。図4に，当定置式ガス圧接機を示します。

その後，機動性を持たせるため，ガス圧接機の軽量化が進められ，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⁷⁾，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方式で，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が採用されました。図5に，当PGP型ガス圧接機を用いた接合試験の状況を，また，図6に，当ガス圧接機を用いた山陽新幹線での実施工の状況をそれぞれ示します。

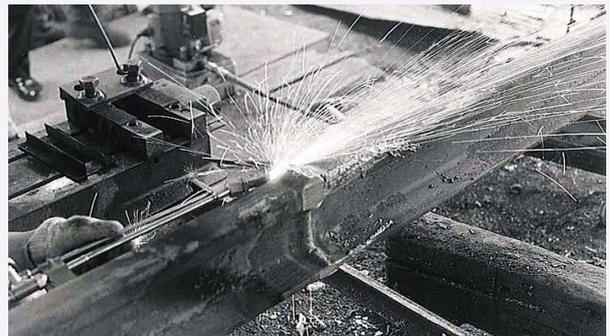


図7 ガス切断による膨らみの除去

押し抜きせん断機の開発

従来，ガス圧接工程で形成した膨らみは，図7に示すように，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し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⁸⁾。膨らみの押し抜きせん断は，作業能率の向上だけでなく，接合状態の悪い圧接部の場合，接合界面が割れて開口するため，

継手全数の品質が確認できる利点があります⁷⁾。現行のレールガス圧接作業における膨らみの押し抜きせん断状況を図8に示します。

レールガス圧接機の小型化

一方、押し抜きせん断機の開発と併行して、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



図8 膨らみの押し抜きせん断状況 (現行作業)



図9 小型圧接機による線路脇での施工

型小型ガス圧接機(本体重量95kg, 押し抜きせん断機重量65kg)が開発されました。当ガス圧接機は、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9に示すような線路脇での接合作業(二次溶接)が実施可能となり、ガス圧接の適用範囲を広げました。

現在のレールガス圧接における課題

上述したように、現在、ガス圧接法は日本において主要なレール溶接法として用いられています。しかしながら、現行のガス圧接作業において燃料ガスとして用いられているアセチレンガスは、産業界における需要減少⁹⁾および原材料価格の高騰にともなって生産コストが上昇しており、製造メーカーの採算状

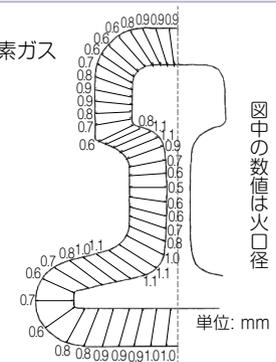
況いかんによっては、供給が滞る可能性があります。さらに、アセチレンガスは酸素との燃焼反応にともない炭酸ガスを発生し、環境に与える影響が懸念されており、これを考えあわせると、『アセチレン代替ガスを用いたレールガス圧接法』の開発が急務です。

一方、ガス圧接法はレールセンターで使用されるフラッシュ溶接法と比べると、被接合面であるレール端面の準備作業工程や加熱バーナーによる加熱作業工程において、熟練技能が必要とされています。とくに、加熱作業工程では、レール表面が過剰に熔融するのを防ぐため、加熱作業工程の中盤から終盤にかけて、バーナーを圧接界面を中心としてレール長手方向に往復運動(バーナー揺動操作)させることが不可欠となりますが、標準となるマニュアルなどは存在しません。したがって、将来的に熟練技術者の不足が予測され

1. 使用燃料
水素・エチレン混合ガス(水素:エチレン=60%:40%), 酵素ガス
2. 使用機器
加圧装置, 押し抜き装置: 現行法と同一機器を適用
加熱バーナー: 付図1に示す構造のものを用いる
3. 接合条件
付表1に示す接合条件を適用

付表1 接合条件

ガス流量 (ℓ/min)		加圧力 (kN)	圧縮量 (mm)
水素・エチレン混合ガス	酵素ガス		
135	130	170	24



付図1 加熱バーナー構造

図10 水素・エチレン混合ガスを用いるレールガス圧接法の標準仕様 (JIS 60kg 普通レール)

表1 水素・エチレン混合ガスを用いるガス圧接法適用時の炭酸ガス排出量低減効果 (JIS 60kg 普通レール接合時)

	水素・エチレン混合ガスを用いる ガス圧接法	現行法
燃料ガス消費量	水素・エチレン混合ガス: 135 ℓ /min	アセチレンガス: 105 ℓ /min
圧接時間	7.5min	7min
炭酸ガス排出量 *	$0.135\text{m}^3/\text{min} \times 0.4$ (エチレンガスの比率) $\times 7.5\text{min} \times 2.34\text{kg}/\text{m}^3$ (排出係数) =0.95kg	$0.105\text{m}^3/\text{min} \times 7\text{min} \times$ $1.17\text{kg}/\text{m}^3$ (アセチレンガスのガス密度) $\times 3.4\text{kg}/\text{kg}$ (排出係数) =2.92kg

* 環境省発表の「燃料の使用に関する排出係数」を用いて算出

る中、ガス圧接部の品質を維持していくために、『バーナー揺動操作のスキルフリー化』が不可欠となります。

ガス圧接技術を将来においても継続して使用できるよう、以上に述べた課題に取り組んできました。以下に、その内容を紹介します。

水素・エチレン混合ガスを用いるレールガス圧接法の開発

一つ目のアセチレン代替ガスを用いたレールガス圧接法に関しては、水素ガスのレールガス圧接への適用性について検討し、水素・エチレン混合ガスを用いるレールガス圧接法を提案するに至っています¹⁰⁾。

当ガス圧接法でJIS60kg普通レールを接合する場合の標準仕様を図10に示します。加圧力および圧縮量は、いずれもアセチレンガスを用いる現行法でJIS60kg普通レールを接合する場合の標準条件と同一です。また、加熱関連機器以外については、現行法での使用機器をそのまま適用できます。

さらに、当ガス圧接法の適用により期待される環境負荷低減効果を評価するため、JIS60kg普通レールを接合した場合の炭酸ガス排出量を試算し、現行法における排出量と比較しました。表1に試算結果を示すように、当ガス圧接法を適用することで、炭酸ガス排出量を現行法の1/3程度に削減できることがわかります。

レールガス圧接バーナー自動揺動装置の開発

一方のバーナー揺動操作のスキルフリー化については、まず第一に、バー

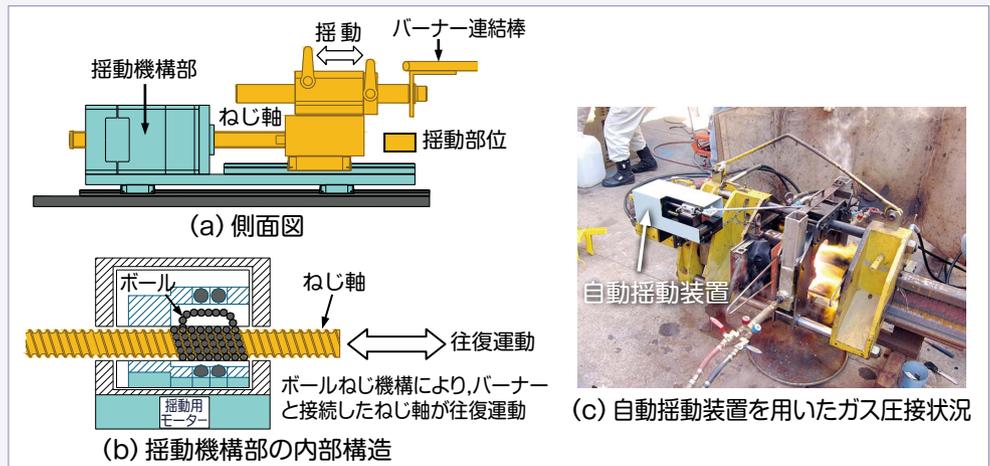


図11 バーナー自動揺動装置による作業状況

ナー揺動操作の標準化に取り組ましました。具体的には、“揺動開始タイミング”、“揺動幅”、“揺動速度”をパラメーターとした各揺動パターンで作製した継手の品質を評価し、十分な接合強度を達成でき、かつ加熱工程中におけるレール表面の過剰溶融を回避できるバーナー揺動パターンを選定しました¹¹⁾。さらに、現在では、選定した揺動パターンを再現可能なバーナー自動揺動装置を開発するに至っています。当自動揺動装置の構造および当装置を用いたレールガス圧接作業状況を図11に示します。

おわりに

ガス圧接法がレールの溶接手段として使われ始めてから60年以上経過していますが、軌道のメンテナンス体制を維持していく上で、将来においても不可欠な技術です。この観点からレールガス圧接施工プロセスのさらなるスキルフリー化に取り組んでいます。

さらに、日本が生み出したガス圧接技術の国際展開を図るべく、レール溶接技術の国際規格化に関する取り組みも開始しました。

(山本隆一／軌道技術研究部
レール溶接研究室)

文献

- 1)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いて,満鉄鉄道技術研究所報告,Vol.241,pp.1-19,1943
- 2)Adams,L.:New Oxyacetylene Processes for Butt Welding Rails,Ry.Eng Maitenance, No.35,pp.28-31,1939
- 3)A.Ф.ЖАРКОВ:ТРУДЫ ЧНИИ МПС ВЫПУСК, No.166,pp31-97,1959
- 4)Hoffmann,W. and Raabe,W.:Erfahrung mit der Autogenen Schienen-Pressschweissung,Schw.u.Schn., No.5-H-3,pp.90-95,1953
- 5)日本鉄筋継手協会:鉄筋継手市場調査報告書,p.4,2004
- 6)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
- 7)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
- 8)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
- 9)日本産業・医療ガス協会 溶解アセチレン分科会:溶解アセチレン生産実績(2006~2010年度)
- 10)山本隆一,伊藤太初,寺下善弘,辰巳光正,吉田佳史:水素・エチレン混合ガスを用いたレールガス圧接法,鉄道総研報告,Vol.27, No.4, pp.47-52,2013
- 11)山本隆一,辰巳光正,柿崎陽太:レールガス圧接施工プロセスの脱技能化,鉄道総研報告, Vol.30, No.10, pp.35-40,2016