

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

ガス圧接でレールをつなぐ

ガス圧接は、高品質の継手が得られ、さらに使用機器の機動性にも優れることから、我が国において主要なレール溶接方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で用いられているアセチレンガスは、生産コストが上昇しており、また、酸素との燃焼反応に伴い炭酸ガスが発生するため、環境負荷が生じます。このような中、将来においてもガス圧接法の利用を可能とするため、水素ガスを用いたレールガス圧接法の開発に取り組んできました。ここでは、レールガス圧接の概要と水素ガスを用いるガス圧接法について紹介します。



山本 隆一
Ryuichi Yamamoto
軌道技術研究部
レール溶接研究室
室長
[専門分野]レール溶接

はじめに

日本では、ロングレール化のためのレール溶接方法として、テルミット溶接、ガス圧接、フラッシュ溶接、およびエンクローズアーク溶接の4工法が用いられています(☞参照)。このうち、ガス圧接の適用比率は全体の約30%を占めており(☞図1)、軌道メンテナンス体制を維持する上で不可欠なレール溶接法であると言えます。ガス圧接は、レール母材どうしを直接接合するため、信頼性の高い継手を作製できます。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に伴って生産コストが上昇しており、将来的に安定供給が滞る可能性があります。また、アセチレンガスと酸素との燃焼反応に伴い炭酸ガスが発生するため、環境負荷が生じます。このような中、鉄道総研では、将来においてもガス圧接の利用を可能とするため、世の中が水素エネルギー社会へ移行しつつある状況を鑑み、水素ガスを用いたレールガス圧接法の開発に取り組んできました。

ガス圧接の特徴

図2に、ガス圧接工程の模式図を示します。各工程の詳細は以下の通りです。

- (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・アセチレン炎などで突合わせ部を一様に加熱する。
- (3) 加圧と加熱を継続し、適当な形状のふくらみを形成させる。
- (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

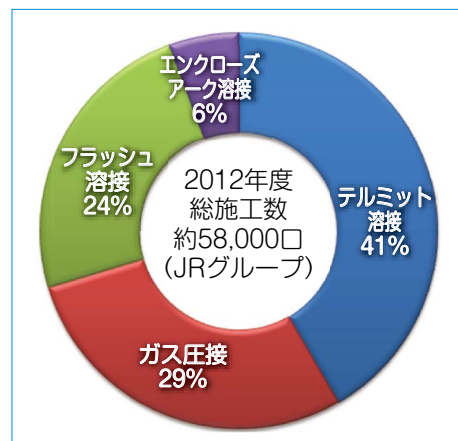


図1 各レール溶接方法の適用比率

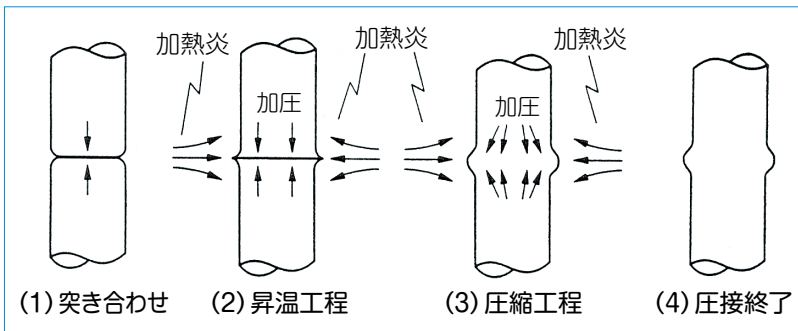


図2 ガス圧接工程

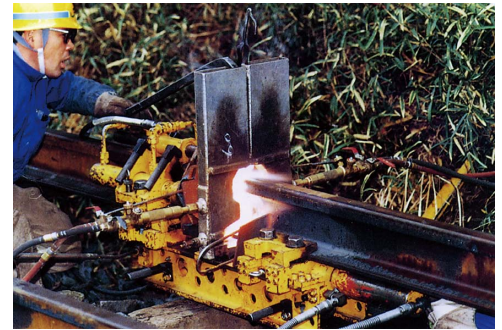


図4 小型ガス圧接機による線路脇でのレール接合作業

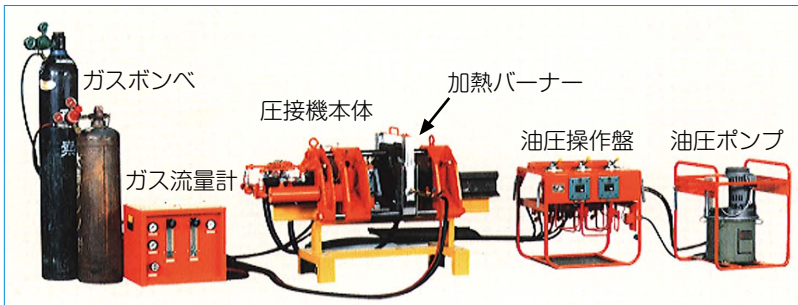


図3 レールガス圧接機の構成 (TGP-V型)

の到達温度は、レール鋼の融点以下の1200℃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、ガス圧接は固相接合法に分類されています。

図3に、代表的なレールガス圧接機であるTGP-V型ガス圧接機の外観を示します。図中に示すように、ガス圧接機は、圧接機本体、油圧ポンプ、油圧操作盤、加熱バーナーおよびガス流量計で構成されています。

レールガス圧接の歴史

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¹²⁾、日本では、1955年にレールの溶接方法として適用され始めました³⁾。日本における初期のレールガス圧接機は定置式³⁾と呼ばれるもので、重量が約3tあり、機動性に劣るという問題点がありました。また、圧接工程で形成した膨らみはガス炎により切断除去していました。しかし、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ガス圧接機が開発されました³⁾。その後、ガス圧接機の軽量化な

どが進められ、1986年、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、現在使われているものとしては最も軽量であり、現場への搬入が容易なことから、図4に示すような線路脇での接合作業(二次溶接)が実施可能となりました。さらに、1990年に、上述したTGP-V型ガス圧接機が開発され、それ以降、加熱バーナーの改良などが行われ現在に至っています。

アセチレンガス

現行のガス圧接作業に用いられているアセチレンガスは、年間生産量が約1.1万トン⁴⁾と最盛期の6分の1程度にまで落ち込んでおり、生産コストが増大しています。そのため、将来的なガス価格の高騰あるいは、製造メーカーの採算状況如何によっては安定供給が滞る可能性があります。一方、アセチレンガスは、酸素との燃焼反応に伴い炭酸ガスとなり環境負荷が生じるという問題があります(☞参照)。

以上の状況を鑑み、レールガス圧接技術を将来においても使用可能とするため

☞ レール溶接方法の種類

テルミット溶接：酸化鉄とアルミニウムとの酸化還元反応(テルミット反応という)を溶接に応用したもの。レールを一定の間隔をあけて設置し、周囲を鋳型で囲み、この中にテルミット反応により生じた高温の溶鋼を流し込み、溶接する方法。

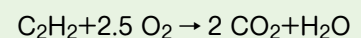
ガス圧接：接合するレールを突合わせて軸方向に加圧し、突合わせ部周囲をガス炎で高温まで加熱し、所定の変形量を得て接合する方法。

フラッシュ溶接：突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加圧力を加えて接合する方法。

エンクローズアーク溶接：アーク溶接とは、部材と溶接棒との間にアークを発生させ、アーク熱で部材と溶接棒の両方を溶かしながら溶接する方法であり、レールを溶接する場合、レールの周囲を銅ブロックで取り囲んで溶接を行うことから、この名で呼ばれている。

☞ アセチレンガスの燃焼反応

アセチレンガス(分子式:C₂H₂)は、以下に示す酸素ガスとの燃焼反応により炭酸ガス(CO₂)と水(H₂O)になります。



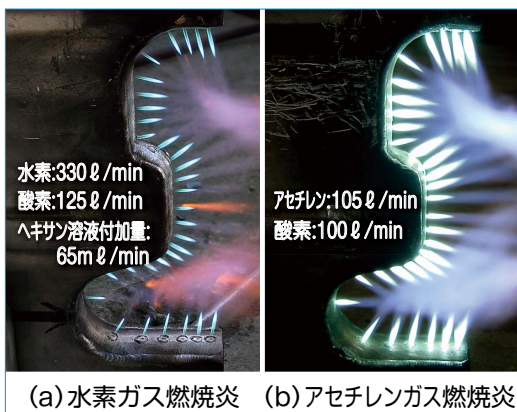


図5 燃焼炎の状況

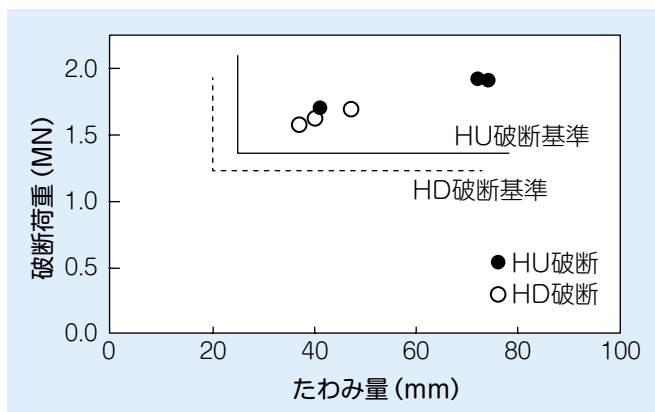


図7 静的曲げ試験結果

1. 使用燃料
水素・エチレン混合ガス(水素:エチレン=60%:40%), 酸素ガス
2. 使用機器
加圧装置、押抜き装置：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	酸素ガス		
135	130	170	24

図中の数値は火口径

付図1 加熱バーナー構造

単位: mm

図6 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 (JIS60kg 普通レール)

には、水素ガスを用いたレールガス圧接法の開発が不可欠であると考えました。

水素ガス燃焼炎の特徴

水素ガスは燃焼速度が非常に速いため、集中性が高く加熱特性に優れた燃焼炎が得られますが、燃焼炎の安定形成が難しいという問題点があります。一方、既往の研究により、適量の炭素化合物を水素ガスに混合することで、燃焼炎を安定形成できることがわかっています⁵⁾。そこで、研究の初期段階においては、炭素化合物の一種であるヘキサン (C₆H₁₄: 常温で液体) を混合することで燃焼炎の形成安定化を図り、レールガス圧接における水素ガスの適用検討を進めました。

図5に、ヘキサンを混合した水素ガス燃焼炎を現行のアセチレンガス燃焼炎と比較して示します。水素ガス燃焼炎は、適量のヘキサンを混合すること

で燃焼炎を安定的に形成できますが、集中性が高く、火炎の形成領域がアセチレンガス燃焼炎より狭くなっています。このため、接合端面の酸化を低減する上で重要となる接合部のシールド性がアセチレンガス燃焼炎に比べて劣ると考えられます。さらに、作業現場で水素ガスにヘキサンを混合する手法の場合、ヘキサン混合量が水素ガス供給圧力および大気温度に依存するため、調整に手間を要し、作業性の低下が避けられません。

水素ガスをガス圧接作業に適用するための課題

初期の研究により、水素ガスをレールガス圧接に適用するためには、シールド性に劣る水素ガス燃焼炎の性状を補完すべく、加熱バーナーの構造変更などを行う必要があることがわかりました。

一方、最近になり、作業現場での水

素ガスと炭素化合物との混合作業を不要とする“水素・エチレン混合ガス”が、ガス製造メーカーにより開発されました。これは、ガス切断用のアセチレン代替ガスで、水素ガスとエチレンガスを一定比率で混合しボンベに充填したものです(水素:エチレン=60%:40%)。この混合ガスがガス圧接に適用できれば、現在のアセチレンガスボンベをこの混合ガスボンベに置き換えるだけで接合作業が可能となります。

水素・エチレン混合ガスを用いるレールガス圧接法

鉄道総研では、水素・エチレン混合ガスをレールガス圧接用の燃料ガスとして適用するために、ガス製造メーカーと共同でレールのガス圧接試験を実施し、燃焼条件および加熱バーナーにおける火口構造の適正化に関して検討を進めました⁶⁾。

表1 曲げ疲労試験結果

応力 (N/mm ²)			繰り返し数 (×10 ⁶)	破断の有無
最小	最大	全応力振幅		
30	350	320	2.00	未破断

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。

表2 炭酸ガス排出量の試算結果 (JIS 60kg 普通レール接合時)

	当ガス圧接法	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
圧接所要時間	7.5min	7min
炭酸ガス排出量*	0.135m ³ /min × 0.4(エチレンガスの比率) × 7.5min × 2.34kg/m ³ (排出係数) = 0.95kg	0.105m ³ /min × 7min × 1.17kg/m ³ (アセチレンガスのガス密度) × 3.4kg/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

おわりに

主要なレール溶接法の一つであるガス圧接技術を将来においても使用可能とするため、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に取り組み、実用上問題のない継手を作製し得る接合施工条件を提案しました。このガス圧接法は、現行法に比べて炭酸ガス発生量を大幅に削減でき、現行のアセチレンガスボンベを水素・エチレン混合ガスボンベに置き換えるだけでガス供給が可能となるため、現行法と同等の作業性を確保できます。

本稿では、主に、水素・エチレン混合ガスを用いるレールガス圧接法について述べましたが、鉄道総研では、将来的な熟練作業者の減少に備えて、レールガス圧接施工プロセスの脱技能化に関する取り組みも実施しています。

RRR

文献

- 1) 高木ほか：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, 241, pp.1-19, 1943
- 2) Adams, L.: New Oxyacetylene Processes for Butt Welding Rails, Ry. Eng. Maintenance, 35, pp.28-31, 1939.
- 3) 大石橋：解説 レール溶接法, 鉄道技術研究資料, Vol.30, No.11, pp.549-547, 1973
- 4) 経済産業省：生産動態統計・化学工業統計年報, p97, 2014
- 5) 山本ほか：低CO₂型ガス圧接法に関する基礎的検討, 鉄道総研報告, Vol.15, No.10, pp.51-56, 2001
- 6) 山本ほか：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

その結果、JIS60kg 普通レールの健全な継手を作製し得る接合施工条件を提案するに至りました。このレールガス圧接法の標準仕様を図6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。なお、加熱バーナーについては、燃焼炎によるシールド性を高めるため、複数の火口の大きさを拡大しています。

継手性能

提案したレールガス圧接法により作製した継手の性能を評価するため、試験継手を対象に各種試験を実施しました。主な結果を以下に示します。

静的曲げ試験

試験継手6体を支点間距離1m、中央集中荷重による静的曲げ試験に供しました。破断姿勢は、頭部上向(HU)、頭部下向(HD)それぞれ3体ずつであり、試験結果を図7に示します。全試験継手の破断荷重、たわみ量ともJIS60kg 普通レールガス圧接部の曲げ基準値を十分に上回っています。

曲げ疲労試験

試験継手1体を対象に、レール底部

領域に引張応力の作用するHU姿勢にて、支点間距離1300mm、中央載荷点距離150mmの4点曲げ疲労試験を実施しました。なお、試験では、最小応力を30N/mm²とする片振り条件を採用し、繰り返し数200万回を限度としました。試験結果は、表1に示すように、応力全振幅320N/mm²の下、繰り返し数200万回で未破断でした。したがって、この継手は、現行法によるレールガス圧接部が有する320N/mm²(応力全振幅)と同等の十分な曲げ疲労強度を有していると考えられます。

本稿では、静的曲げ試験および曲げ疲労試験の結果のみ示しましたが、硬さ試験、および金属組織試験においても異常は認められず、提案したレールガス圧接法により作製した継手は、現行法による継手と比べても遜色のない性能を有しており、実用に供しても問題ないと判断されます。

環境負荷低減効果

水素・エチレン混合ガス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、提案したガス圧接法で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2に試算結果を示します。このガス圧接法を