

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

# レールガス圧接施工プロセスをスキルフリー化する

ガス圧接法は、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、当工法はレールセンターなどで使用されるフラッシュ溶接法と比べると、機械化が進んでおらず、とくに、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。このような中、将来的に熟練技術者の減少が予測されることを念頭に置き、熟練者でなくても十分な継手品質が達成されるよう、加熱作業工程のスキルフリー化に取り組んできました。ここでは、ガス圧接技術を将来に継承するために実施しているこの取り組みの内容について述べます。



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, 図1)。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、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いえます(図2)。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、当工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

端面の研削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、継手の品質確保上、バーナーにより突き合わせ部を集中加熱し圧接界面(接合部)を速やかに昇温する必要があります<sup>1)</sup>が、集中加熱を継続した場合、レール表面が溶融して溶け落ちてしまいます。よって、これを防ぐため、加熱作業工程終盤では、図3に示すように加熱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(以下、バーナー揺動操作と呼びます。)させることが不可欠となります。なお、本バーナー操作に標準と

## ☞ 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、所定の変形量を得て接合する方法。
- ・ **フラッシュ溶接**: 突き合わせ部に大電流を通電することにより、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**: 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。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ます。



図1 レール溶接方法

表1 レールガス圧接試験体作製条件

ガス流量 (ℓ/min)	酸素	100
	アセチレン	103～107
加圧力 (kN)		170
圧縮量 (mm)		24
揺動幅 (mm)		20～40
揺動開始タイミング*(s)		0～60
揺動速度 (mm/s)		13～25

\* レールの変形開始からの経過時間

表2 提案したバーナー揺動パターン  
(対象：JIS 60 kg 普通レール)

揺動開始タイミング*(s)	60
揺動幅 (mm)	20
揺動速度 (mm/s)	20

当パターン適用時の標準ガス圧接条件  
 ガス流量：酸素 100 ℓ/min,  
 アセチレン 105 ℓ/min  
 加圧力：170kN, 圧縮量：24mm

\* レールの変形開始からの経過時間

なるマニュアルなどは存在しません。

このような中、加熱工程のスキルフリー化を図る目的から、次の2項目を達成目標として検討を実施してきました。

▶レールガス圧接作業に適用可能な様な揺動パターンの提案【バーナー揺動操作の標準化】

▶提案した揺動パターンを再現可能なバーナー自動揺動装置の開発

以下、これらの取り組みの内容について述べます。

### バーナー揺動操作の標準化

バーナー揺動パターンが圧接部の品質へ及ぼす影響を調査するため、一定のガス圧接条件の下、ガス圧接作業中のバーナー揺動幅、揺動速度、および揺動開始タイミングをパラメーターとした揺動パターンを複数設定し、各パターンで試験体を作製しました。そして、作製した継手の静的強度を評価するとともに、ガス圧接作業中のレール

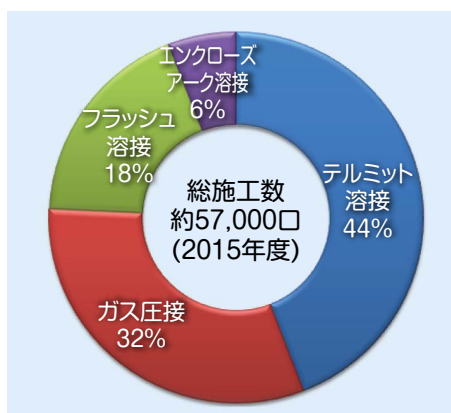


図2 各レール溶接方法の適用比率 (JRグループ)

表面の溶融状況を観察しました。表1に試験体作製条件を示します。ここでは、揺動開始タイミングを、昇温ともなうレールの変形開始からの経過時間と定義します。

バーナー揺動操作の標準化を図るため、上述の試験結果を基に、十分な継手品質を確保でき、かつレール表面の溶け落ちを回避できる揺動パターンについて検討しました。本検討によりJIS60kg 普通レールのガス圧接作業時のバーナー揺動パターンとして表2を提案しました。

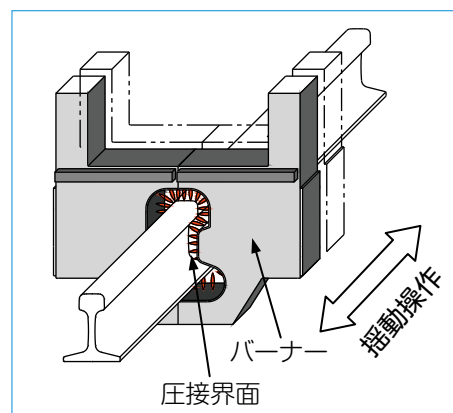


図3 バーナーの揺動操作

### バーナー自動揺動装置の開発

バーナー揺動操作の標準化について検討し、実作業に適用可能な揺動パターンを提案しました。揺動操作の標準化を図ることで継手品質のばらつきを縮小することは可能ですが、様な揺動操作であっても、手動操作である限り、少なからず品質のばらつきが生じます。そこで、揺動工程の完全なスキルフリー化を図る目的から、提案した揺動パターンを再現可能な揺動機構について検討し、量産タイプのTGP-V型レールガス圧接機用のバーナー自動揺動装置を試作しました。

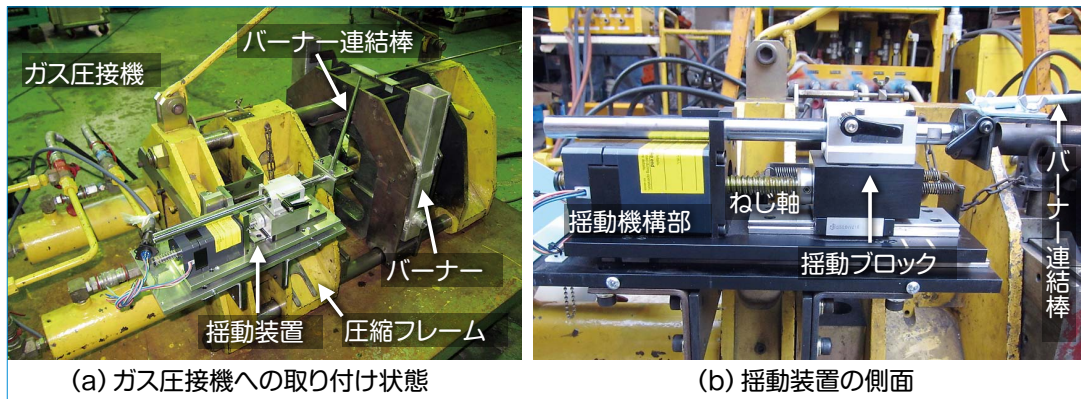


図4 バーナー自動揺動装置の外観

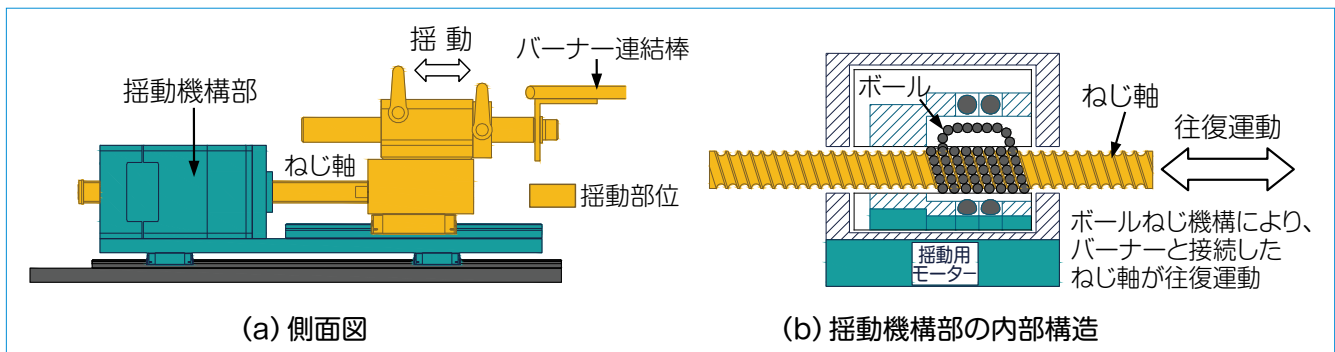


図5 バーナー自動揺動装置の構造

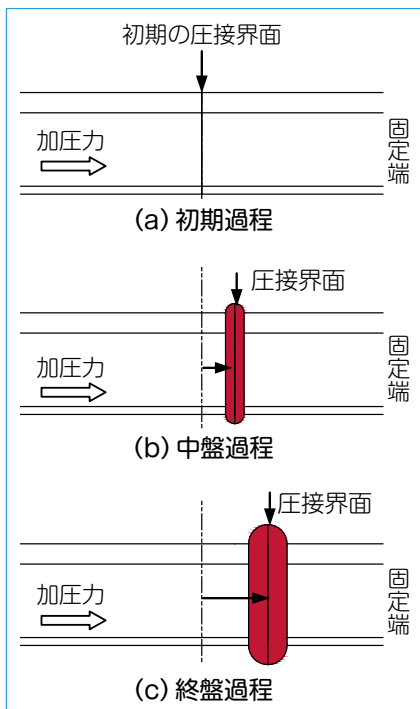


図6 圧縮変形にともなう圧接界面の移動状況

☞ クランプ

レールをガス圧接機にしっかりと固定すること。

図4および図5に、当装置の外観および構造をそれぞれ示します。

当装置は、バーナーと揺動ブロックを連結棒で接続する構造であり、揺動ブロックをボールねじ機構で往復運動させ、バーナーの揺動を達成します。また、ガス圧接作業では、図6に示すように、クランプ(☞参照)したレールに一方から加圧力を付与するため、レールの圧縮変形にともない圧接界面が移動します。なお、当揺動装置は、圧接界面の移動に追従してバーナーの揺動中心を移動させる機構も有しています。

バーナー自動揺動装置を用いて作製した継手の性能

本研究で開発したバーナー自動揺動装置の実作業での適用性を評価するため、当揺動装置を用いたレールガス圧接試験継手の作製作業、および作製した継手の性能評価試験を実施しました。

供試レールとして、長さ0.75mのJIS60kg普通レールを12本準備し、バーナー自動揺動装置を用いて長さ1.5mのガス圧接試験継手を6体作製しました。

なお、レールガス圧接条件およびバーナー揺動条件は、表2に示した条件と同一としました。継手作製状況を図7に示しますが、当揺動装置を用いた継手作製において、作業上の問題は生じませんでした。

作製した6体の試験継手に対する磁粉探傷試験の結果、いずれも割れなどの欠陥は検出されませんでした。また、これらの試験継手を対象に、支点間距離1m、中央集中荷重による静的曲げ試験を実施しました。破断姿勢は、頭部上向き(HU)姿勢、頭部下向き(HD)姿勢それぞれ3本ずつとしました。試験結果を図8に示すように、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

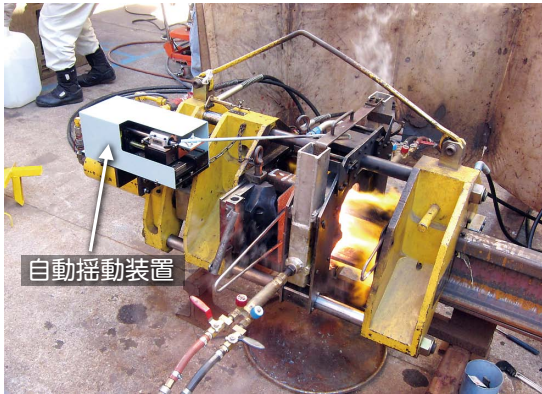


図7 バーナー自動揺動装置による作業状況

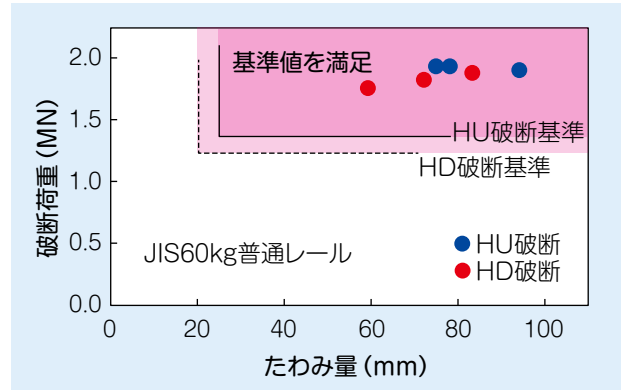


図8 静的曲げ試験結果

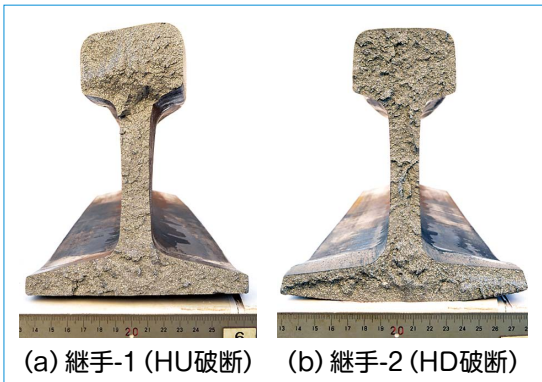


図9 試験継手における破断面の一例



図10 曲げ疲労試験の実施状況

破断基準値を十分に上回っています。図9に、試験継手における破断面の一例を示すように、いずれも良好な破面性状を呈しており、十分な接合が達成されたことが示唆されます。

さらに、実使用上重要となる疲労強度を評価するため、試験継手1体に対し、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。試験では、最小応力を $30\text{N/mm}^2$ とする片振り条件を採用し、従来の施工プロセスによる継手が有する疲労強度レベルと同等の $320\text{N/mm}^2$  (全応力振幅) を負荷しました。曲げ疲労試験の実施状況を図10に示します。結果は、繰り返し数200万回で未破断であり、このことより、当試験継手は従来の施工プロセスによる継手と同等である $320\text{N/mm}^2$  (全応力振幅) の高い疲労強度を有していると判断しました。

### おわりに

現行のレールガス圧接作業において熟練技能が必要となっている加熱作業工程のスキルフリー化を図る目的から、バーナー揺動操作の標準化を図り、さらに、揺動操作を自動で行えるバーナー自動揺動装置を開発しました。なお、当揺動装置を用いて作製した試験継手を対象に性能評価試験を実施した結果、継手品質に問題はなく、当揺動装置は実用に供しうると判断されました。

また、バーナーによる加熱工程には、レールガス圧接作業に従事する作業者の育成過程においても、相当の指導時間を要しています。したがって、当揺動装置の適用を前提とした場合には、作業者育成期間の短縮も見込めます。

一方、“はじめに”で述べたように、レールガス圧接作業では、レール端面の研削作業においても熟練技能が必要とされています。レール端面の平面度

には高い精度が要求されますが、現行作業では、取り扱いに熟練を要す専用の端面研削機が使用されており、未熟練者では、レール端面の平面度がかえって低下する問題があります。そこで、端面研削工程のスキルフリー化を図るため、熟練者による端面研削レールと同程度の平面度を有する端面を“切断まま”で達成可能なレール切断機を現在開発中です。[RRR]

### 文献

- 1) 大石橋宏次, 上山且芳: ガス圧接部の品質と評価に関する基本的検討-鋼ガス圧接部ふくらみの熱間せん断による非破壊検査(第1報)-, 溶接学会論文集, Vol.14, No.2, pp.305-313, 1996