

低圧縮量条件下におけるレールガス圧接部の強度評価

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○佐野 国光
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 伊藤 太初
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 山本 隆一

1. はじめに

鉄道線路において、レールを溶接し繋ぎ合わせることで、保守量の低減や騒音・振動の抑制などが期待できる。図 1 に 2021 年度の JR グループにおける各レール溶接法の施工割合および施工数を示す。ガス圧接は、国内のレール溶接施工数の 3 割以上を占める主要な工法のひとつである。

レールガス圧接法は、レール端部を突き合わせ、ガス炎で高温に加熱し加圧・変形させることで、接合面の金属結合を達成する手法である。接合部では塑性変形によりふくらみ部が形成されるため、押抜き装置に付属した専用バイトによる押抜き工程が必要となっている。これに対し、圧縮量を低減し、ふくらみ部の大きさを減じることで押抜き工程が省略され、グラインダーによる削正のみでレール形状仕上げが可能となる。これにより、重量物であるレールガス圧接機械の軽量化およびレールガス圧接工程の省力化が達成できる。一方、圧縮量を低減すると、ガス圧接部の強度が下がる可能性があるため、本検討では、標準より低い圧縮量にて押抜き工程を省略し、作製したレールガス圧接部の強度評価を実施した。



図 1 溶接法と実績 (JR)

2. 試験体作製条件および性能試験項目

2.1 試験体作製条件

供試材として 0.75m の JIS60kg 普通レールを準備し、TGP-HA 型ガス圧接機を用い、試験体を作製した。表 1 に各試験体の圧接条件を示す。ガス流量が酸素 100ℓ/min、アセチレン 110ℓ/min の標準的な還元炎とし、加圧力も標準的な 22.1MPa に設定した。一方、圧縮量については試験条件 1 を 5mm、試験条件 2 を 10mm とし、押抜き工程は無しとしている。試験体は各条件ごとに 3 本作製した。なお、JIS60kg 普通レールのガス圧接部における標準的な圧縮量は 24mm である。

表 1 各試験体の圧接条件

条件	流量 (ℓ/min)		加圧力 (MPa)	圧縮量 (mm)
	酸素	アセチレン		
1	100	110	22.1	5
2	100	110	22.1	10

2.2 性能試験項目

作製したガス圧接試験体に対して、以下の性能試験を実施した。

(1) 静的曲げ試験

試験条件 1 および 2 それぞれの試験体に対し、支点間距離 1000mm 中央集中荷重の 3 点曲げによる静的曲げ試験を実施した。レール底部領域に引張応力が作用する頭部上向き（以下、「HU」という）姿勢、レール頭部領域に引張応力が作用する頭部下向き（以下、「HD」という）姿勢をそれぞれ 1 本ずつとした。静的曲げ試験では、破断までの荷重とたわみ量を計測した。なお、HU 姿勢と HD 姿勢の二種類の姿勢を採用した理由は、引張応力の作用する部位を変えることで、それぞれの部位の接合状態を確認するためである。

(2) 曲げ疲労試験

試験条件 1 および 2 それぞれの試験体 1 本に対し、レール底部領域に引張応力が作用する 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た。なお、載荷周波数は 3Hz とし、載荷回数は 2,000,000 回を上限とした。

3. 試験結果

3.1 静的曲げ試験

図 2 に静的曲げ試験で得られた、圧縮量および载荷姿勢ごとのたわみ量と破断荷重のグラフを示す。HU 姿勢および HD 姿勢ともに、圧縮量の低下に伴い破断荷重およびたわみ量が減少しているが、圧縮量 5mm においても、破断荷重およびたわみ量の各基準値（破断荷重：HU_1370kN，HD_1230kN，たわみ量：HU_25mm，HD_20mm）¹⁾を満たしている。また、標準的なガス圧接部の平均破断荷重および平均たわみ量は、1610kN および 41mm であると報告されており²⁾、この結果から圧縮量 10mm においては、ほぼ同程度の曲げ破断強度に達している。

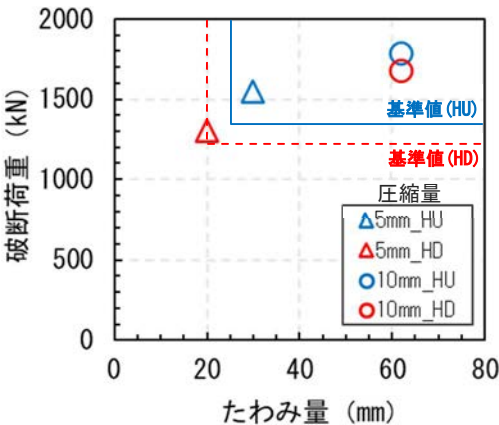
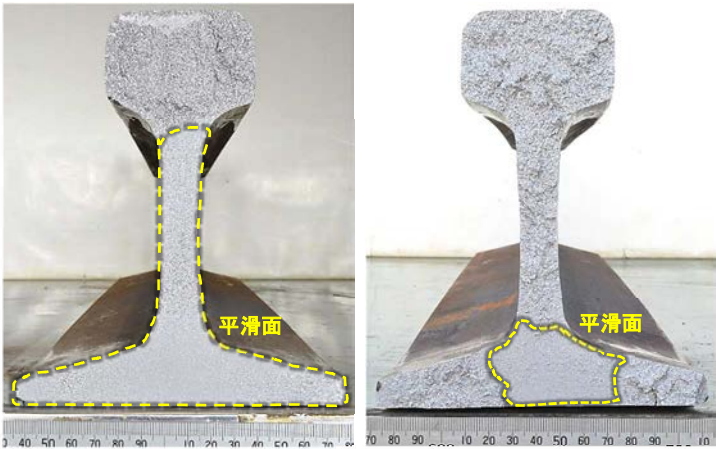


図 2 静的曲げ試験結果

図 3 に HU 姿勢による圧接量 5mm および圧接量 10mm の試験体の破面状況を示す。図に示す通り、圧縮量の減少に伴って、引張応力の作用する底部領域の破面に現出した平滑面の面積が増加している。過去の研究結果より、このような平滑面は微細な球状介在物を内在するディンプル破面およびへき開破面が混在した形態が示されている²⁾。したがって、圧接量の減少により接合部に接合阻害因子である酸化介在物が残存しやすくなり、これによって平滑面の割合が増加したものと考えられる。



(a) 圧縮量 5mm_HU 姿勢 (b) 圧縮量 10mm_HU 姿勢

図 3 各破断試験片の破面状況

3.2 曲げ疲労試験

表 2 に曲げ疲労試験の結果を示す。試験では、条件 1 および 2 の各試験体 1 本ずつに対し、標準的なレールガス圧接部の曲げ疲労強度である応力全振幅を 320N/mm² とし、最小応力 30N/mm²，最大応力 350N/mm² で载荷した。その結果、圧縮量 5mm および 10mm とともに、限度とする繰返し数 200 万回で未破断であった。これらの結果より、圧縮量 5mm および 10mm においても標準的なガス圧接部の曲げ疲労強度を有することが分かった。

表 2 曲げ疲労試験の結果

条件	圧縮量 (mm)	応力 (N/mm ²)			繰返し数 (回)	破断の有無
		最小	最大	応力全振幅		
1	5	30	350	320	2,000,000	無し
2	10	30	350	320	2,000,000	無し

4. まとめ

本検討では、低圧縮量によりレールガス圧接の試験体を作製し、強度試験を実施した。その結果、圧縮量を著しく低下させた 5mm では、標準的な施工条件と比べ強度が低くなる傾向が認められた。一方、圧縮量 5mm および 10mm いずれの条件においても、標準的な施工条件におけるレールガス圧接部の静的曲げ試験における基準値および疲労強度を満たしていることが確認された。したがって、低圧縮量においてもレールガス圧接部の実用レベルの強度が確保されている可能性が示された。このことから、レールガス圧接作業における押抜き工程省力化の見通しを得た。

参考文献

1) 高木雄太，寺下善弘：レール溶接部の曲げ特性とその判定基準，日本鉄道施設協会協会誌，2022年9月号，pp701-704
2) 辰巳光正，深田康人，上山且芳，山本隆一：レールガス圧接における加熱バーナの改良と加圧方式の変更，鉄道総研報告，Vol.13，No.5，1999