

列車の高速・安定輸送を支える レールをつなぐ技術



伊藤 太初
Hajime Ito
軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室
主任研究員



寺下 善弘
Yoshihiro Terashita
軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室
上席研究員



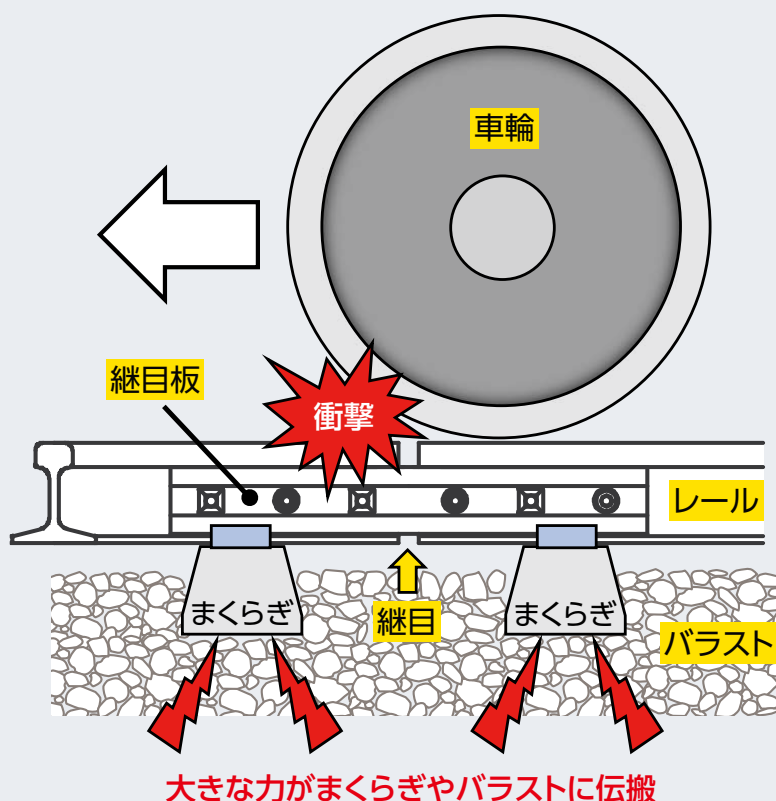
小納谷 優希
Yuki Konaya
軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室
研究員

はじめに

レールは車輪を直接支持・案内して、列車を安全に走行させる重要な鉄道設備の一つです。このレールの上を列車が走行する際、レールとレールに隙間（継目と言います）があると、車輪通過時の衝撃が大きく、騒音や振動の発生源となります（図1）。また、レールを支えるまくらぎ

らぎやその下に敷かれた石（バラストと呼ばれます）などに加わる力が大きくなるため、継目は保守上の弱点箇所となります。列車を高速かつ安定して走行させるためにはこの継目をなくす必要があります、レールを溶接して1本の長いレール、すなわちロングレールとする技術が開発されました。1964年に開業した東海道新幹線にはロングレールが全面的に採用され、これによりロングレールが高速走行における主要な技術として確立されました。現在では、新幹線のみならず、在来線の多くにもロングレールが導入されています。

図1 継目を車輪が通過した際のイメージ



以下に、一般的なロングレールの敷設手順（交換手順）を示します。

- (1) レール製造メーカーより出荷された長さ25mあるいは50mのレールをレール溶接工場や現場仮設基地で溶接し、200m程度の長尺レールとします（一次溶接と言います）。
- (2) 長尺レールを専用貨車で敷設現場に運搬後、線路脇でさらに溶接して必要な長さ（数百m～1km程度）まで延伸します（二次溶接と言います）。

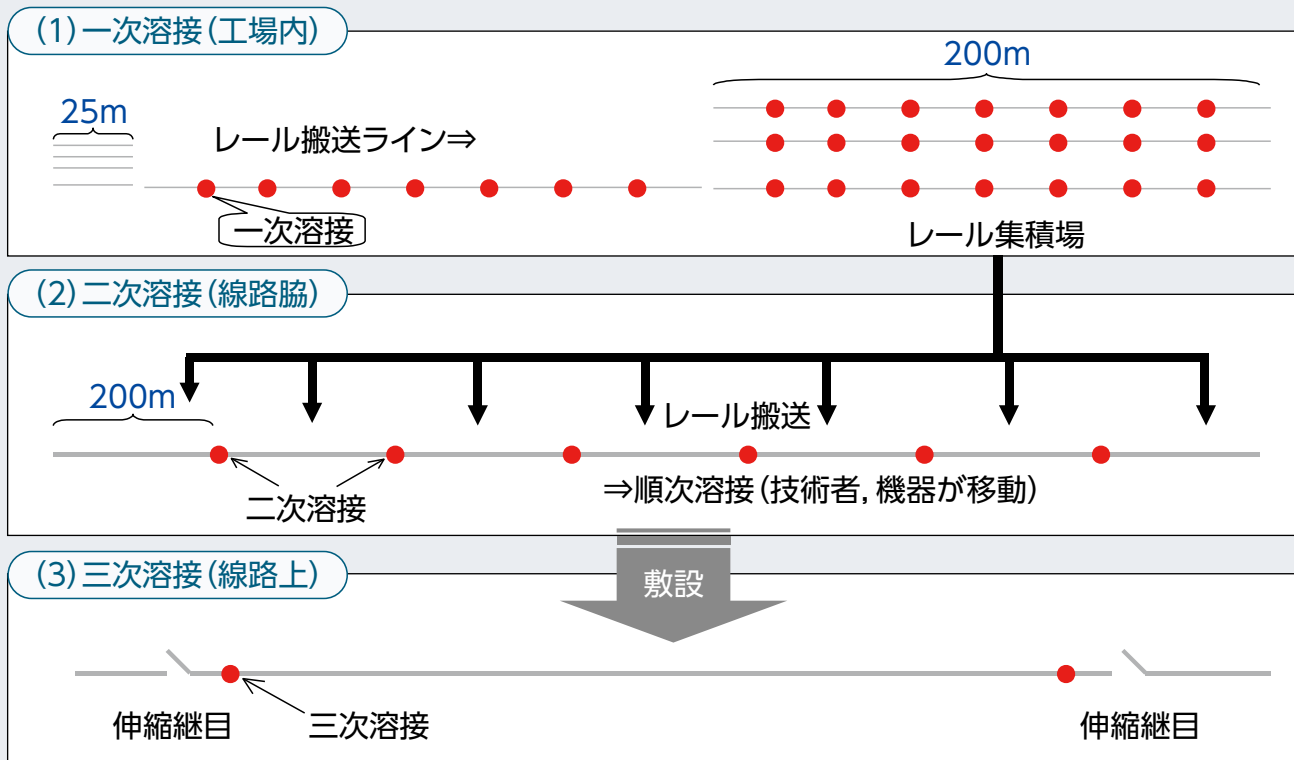


図2 ロングレールの敷設手順

(3) 二次溶接されたレールを線路内に敷いた後、その両端をすでに敷かれたレールと溶接します(三次溶接と言います)。

上述したロングレールの敷設手順のイメージを図2に示します。なお、近年は、新幹線や一部の在来線において、一次溶接を省略するため、レール製造メーカーから150mの長さでレールが運搬され、そのまま線路脇で二次溶接されています。

日本国内で用いられている レール溶接方法

レールには、列車からの荷重に耐えるため、高強度かつ摩耗に強い性能が要求されます。また、できる限りコストのかからない材料であることも重要です。このような条件に適合する材料として、炭素を0.7%程度含有した鋼(高炭素鋼と言います)がレールに使用されています。一方、高炭素鋼は溶接時に欠陥が生じやすいことから、一般的に溶接がしにくい材料として知られています。そのため、ロングレールを可能

とするためにはレール溶接技術の発展が必要不可欠であり、先人たちのたゆまぬ技術開発によって信頼性の高いレール溶接法が確立されてきました。ここでは、現在国内で用いられている4種類のレール溶接法について簡単にご紹介いたします。

フラッシュ溶接法

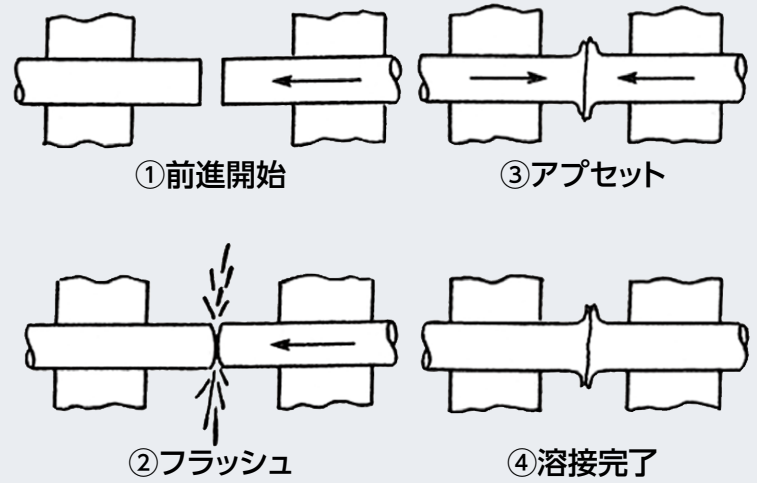
フラッシュ溶接法は、レールとレールの突合せ部に大電流を通電することにより、フラッシュ(火花)を強制的に発生させてレール端面を加熱し、端面が溶けた段階で高い圧力を加えて接合する方法です(図3)。溶接部の強度が高く、溶接時間が1.5~3分と短いことが特徴です。しかしながら、大きな設備を必要とするため、レール溶接工場内での一次溶接にほぼ限定されます。なお、近年は小型の溶接機が開発されており、レール上を走行する車両に搭載され線路脇での二次溶接にも適用されています。

ガス圧接法

ガス圧接法は接合する部材を突合せてレールの長さ方向に加圧し、突合せ部の周囲をガス炎



(a) 溶接状況



(b) 溶接工程の模式図

図3 フラッシュ溶接法の概要

で高温まで加熱した後、所定の変形量まで圧縮して接合する方法です(図4)。本工法も、フラッシュ溶接と同様にレールどうしを直接接合するため、信頼性の高い溶接部が得られます。軽量の小型ガス圧接機(本体重量95kg)が開発され、現場への搬入が容易となったことから、主に線路脇での二次溶接で適用されています。

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、2本のレールを間隔を空けて設置し、レール間の空隙をアーク溶接法[®]により手動で溶接します。本工法は

腹部から頭部にかけて、銅ブロックで取り囲み、連続的に溶接することから、エンクローズアーク溶接法と呼ばれています(図5)。当工法は主

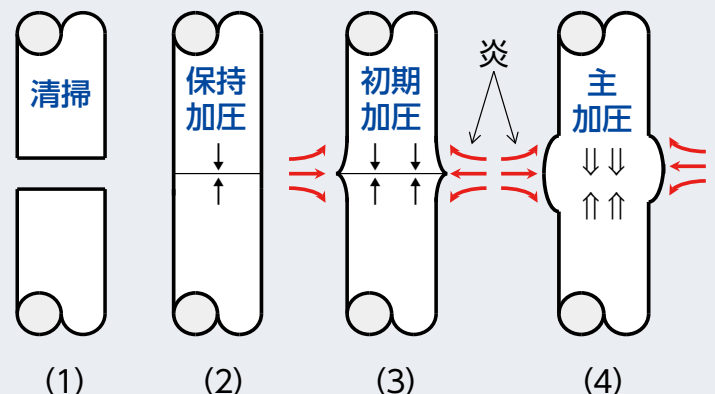
アーク溶接法

アーク溶接法は「アーク放電」という現象を利用した溶接方法です。アーク放電は気体の放電現象のことで、離れた電極間に電圧をかけて電流が流れると、高温の強い光が生じます。その光が弧(Arc)状となることから「アーク」と呼ばれています。アークの温度は5000～20000℃になると言われており、これを熱源として金属を溶かして接合する手法をアーク溶接と呼んでいます。

図4 ガス圧接法の概要



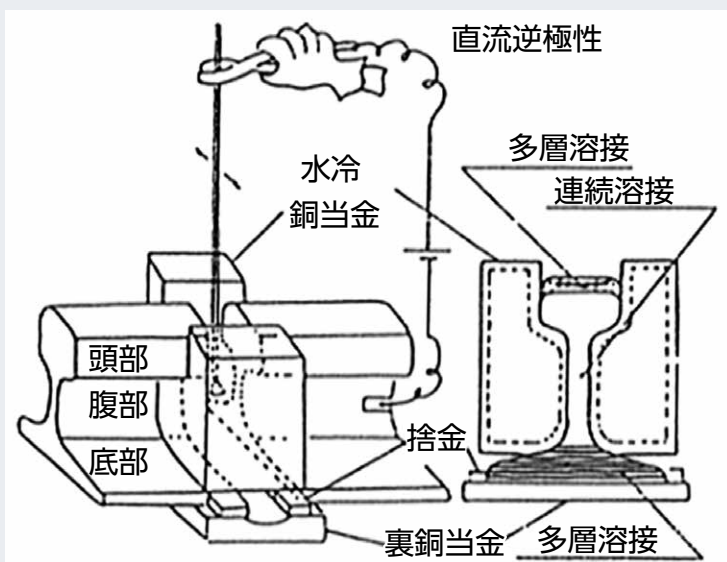
(a) 溶接状況



(b) 溶接工程の模式図



(a) 溶接状況



(b) 溶接工程の模式図

図5 エンクローズアーク溶接法の概要

に新幹線の三次溶接法として適用されています。なお、施工に際し、溶接時間だけで60分と長時間を要する欠点がありますが、近年では従来の半分程度の溶接時間に短縮できる半自動エンクローズアーク溶接法が開発されています。

テルミット溶接法

テルミット溶接法は、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をレール間に設置した**モールド**に流し込むことで溶接する方法です(図6)。本法は、使用する機器がほかの溶接法と比べ簡便で、さらに溶接

時間が比較的短いことから、主に在来線における三次溶接法として多用されています。現在日本では、ドイツより導入されたテルミット溶接法(通称：ゴールドサミット溶接法)が主に適用されています。

上述したとおり、レールは溶接性の悪い材料

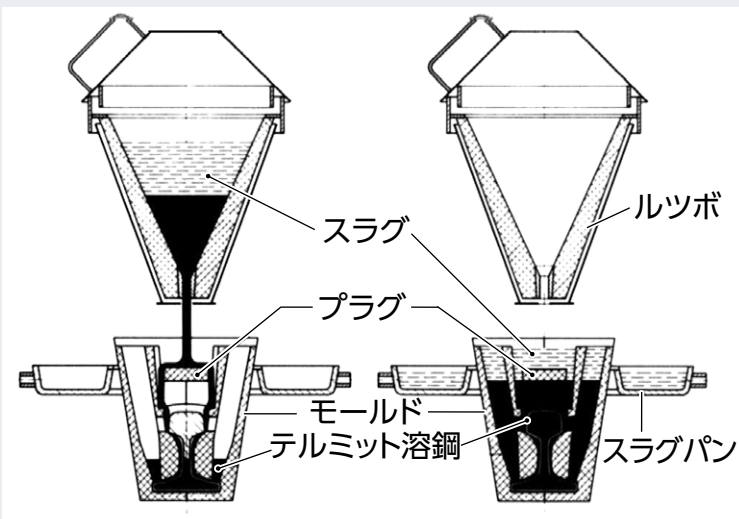
モールド

鋳物を鋳造するとき、溶かした金属を注ぎ入れる型のことで、材料として砂や金属が使われます。レールのテルミット溶接には酸化鉄が混ざった砂が使用されています。

図6 テルミット溶接法の概要



(a) 溶接状況



(b) 溶接工程の模式図

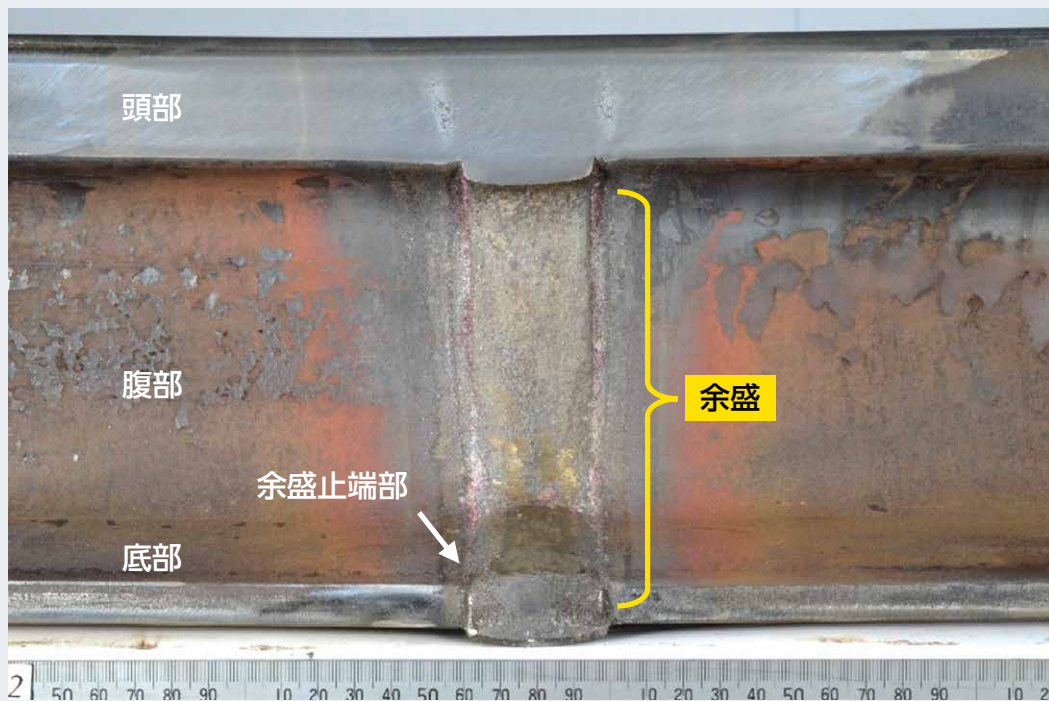


図7 テルミット溶接部の外観状況

ではありますが、いずれの溶接法も溶接技術としては成熟しており、簡単には壊れない高い信頼性を有しています。また、溶接施工直後には溶接部全てに対して超音波などを利用した検査を実施しており、さらなる信頼性を担保しています。

テルミット溶接法の新幹線への適用検討

テルミット溶接部は、図7に示すようにレールあご部から底部にかけて余盛が形成されます。この余盛をグラインダーなどで研削して除去するには多くの労力と時間が必要なため、余盛を残したまま、線路上に敷設することが一般的となっています。しかしながら、余盛の付け根(以下、余盛止端部と言います)には列車通過時に**応力集中**^⑧が生じて大きな引張応力が局所的に作用します。そのため、余盛を残したままのテルミット溶接部は十分な強度を確保しているものの、ほかの溶接部に比べて曲げ疲労強度が低い^⑨ため、一部を除き、新幹線においてテルミット溶接法は現状ほとんど使用されていません。

一方、新幹線の三次溶接に適用されているエンクローズアーク溶接法は、熟練技術者の高齢化などにともない、近い将来に溶接技術者が不足することが懸念されています。このような背景から、代替手法として比較的簡単に施工できるテルミット溶接法の新幹線への導入が検討されています。

曲げ疲労強度向上方法の開発

テルミット溶接部の曲げ疲労強度を向上させるため、モールド内部の形状を変えることで余盛止端部への応力集中を低減させることに着目しました。種々の検討の結果、図8に示すように余盛止端部の形状を傾斜させることで、応力

⑧ 応力集中

部材に荷重が負荷された場合、形状が複雑でなければ極端に応力が大きくなる箇所は生じません。しかしながら、部材の形状が急に細くなったり、太くなったりするような複雑な形状の場合、形状が変化する箇所ですべて通常の数倍の大きな応力が発生する場合があります。この現象を応力集中と言います。

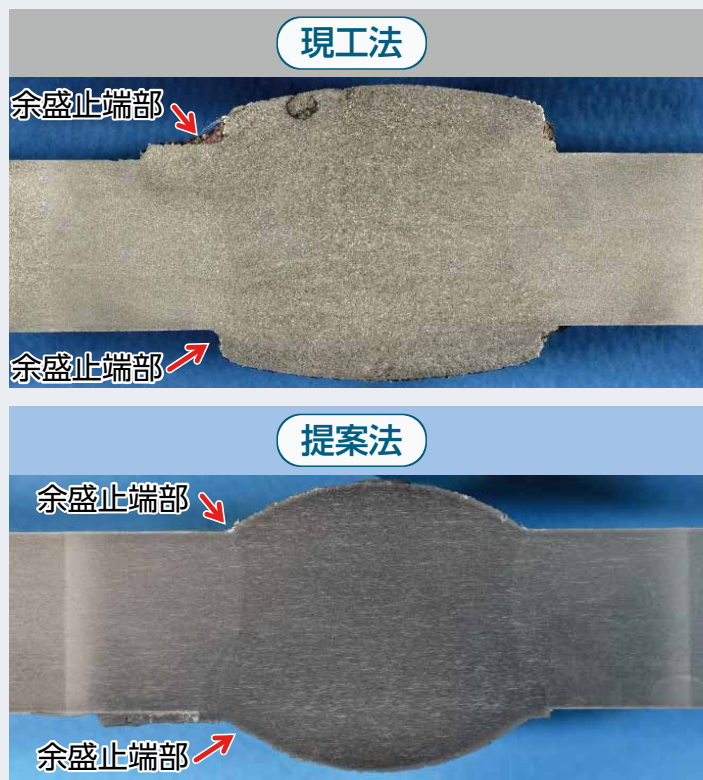
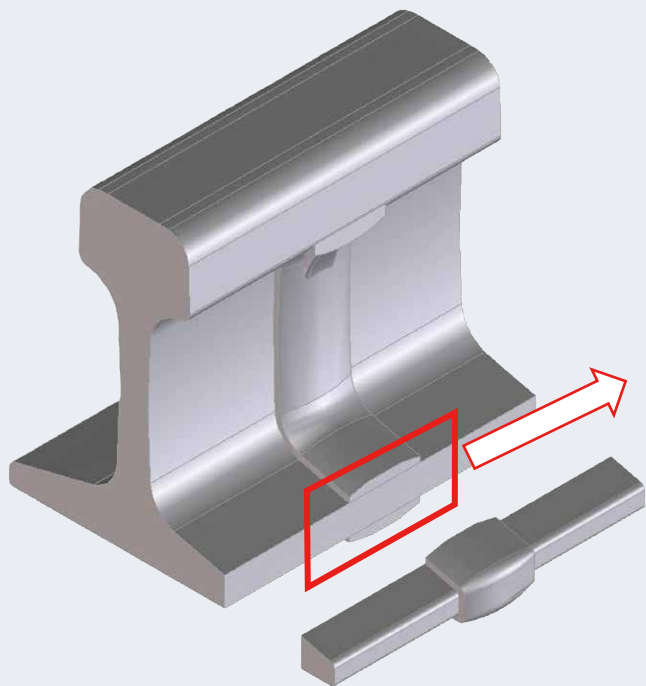


図8 各手法における余盛止端部の形状比較

表1 各手法における溶接条件の比較

施工方法		現行法	提案法	改良法
溶接条件	開先間隔	25 ± 1mm	25 ± 1mm	29 ± 1mm
	予熱時間	120 秒	150 秒	300 秒
余盛止端部の研削作業		不要	必要	不要

集中を改善可能なことを確認しました（提案法と呼びます）。これにより、現行法と比べて曲げ疲労強度を30%程度向上できました¹⁾。現在、提案法による溶接部が新幹線の高速走行区間に試験的に敷設されており、約2年間の敷設期間において問題が発生することはなく、良好に推移しています。

なお、提案法は現行の溶接方法と比べ、余盛止端部の表面を専用工具により研削加工する作業などが追加で必要となります。そこで、表1に示すように溶接条件のさらなる改良を実施し、研削作業などを省略できる新たな施工方法（改良法と呼びます）を開発しています²⁾。今後は、この改良法の試験敷設や現場での施工性などについて検証していく予定です。

おわりに

レールを“つなぐ”レール溶接法の高度な技術と高い信頼性は列車の高速・安定輸送を支える重要な要素の一つとなっています。一方、いずれの溶接方法においても溶接作業者に少なからず技能や技量が必要となります。将来にわたり鉄道輸送を維持していくためにはレール溶接技術の脱技能化・自動化が必須であり、鉄道総研ではこれらの課題に対しても積極的に取り組んでまいります。RRR

文献

- 1) 寺下善弘, 山本隆一, 岩崎幹大, 相澤宏行: 曲げ疲労強度の向上が可能なテルミット溶接工法の開発, 鉄道総研報告, Vol.35, No.4, pp.11-16, 2021
- 2) 寺下善弘, 高木雄太: 新幹線高速区間に適用可能なテルミット溶接法, 鉄道総研報告, Vol.37, No.12, pp.9-16, 2023