

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

レール鋼を用いた新幹線用 ノーズ可動クロッシング

ノーズ可動クロッシングは、分岐器内におけるレール交差部の軌間欠線部をなくし、車両が速度を低下させることなく基準線（直線）側を通過することができる機能を有していることから、分岐器の高速走行には不可欠な軌道構造です。現在、新幹線の分岐器では高マンガン鋼製ノーズ可動クロッシングが使用されていますが、超音波探傷検査が困難なことから内部傷の進展を把握できません。そこで超音波探傷検査が可能で、前後のレールとの溶接が容易であるレール鋼を用いたノーズ可動クロッシングを開発しました。

はじめに

クロッシングとは分岐器内のレール交差部に設置されている軌道部材です。このクロッシングは、一部レールがつながっていない軌間欠線部を有する固定クロッシングと、軌間欠線部をなくすために可動部分がある可動クロッシングに大別でき、クロッシングを構成する先端の頭部がとがったノーズレールが可動式のもの（☞参照）をノーズ可動クロッシング（☞参照）と呼びます。この他

にウイング可動クロッシングがあり、在来線の一部で使用されています。

現在、新幹線が高速で通過する分岐器には、摩耗に強い高マンガン鋼製のノーズ可動クロッシングが使用されています。ただし、鋳鉄製であることから鑄巣と呼ばれる内部の微細な空隙を完全に除去することは難しく、また、超音波探傷検査（☞参照）が困難なことから、内部傷の進展を把握できません。そこで、超音波探傷検査が可能で、前後のレールとの溶接が容易となるレール鋼を用いた新幹線用ノーズ可動クロッシングを開発しました。

☞ ノーズ可動クロッシング

軌間欠線部がないことから、ガードが不要であり、車輪は滑らかに走行します。大正10年頃から研究され、昭和4年に田端駅に試験敷設されました。その後、新幹線用の分岐器に実用化され、現在の新幹線の高速走行に不可欠となっています。

☞ 超音波探傷検査

金属材料および非金属材料を対象とした非破壊検査方法の一種で、探触子から超音波を発信させ、材料内部に存在する欠陥からの反射波（エコー）を受信して、その大きさや位置を検知する方法です。高マンガン鋼などの結晶粒サイズが大きい材料では、超音波が散乱反射するため、適用が困難です。

新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングの特徴

(1) 設計概要

現行の高マンガン鋼製ノーズ可動クロッシングとの互換性があることと、国内の現有設備や技術を活用することをコンセプトに開発を進めました。

在来線において敷設実績のあるレール鋼製ノーズ可動クロッシングを基本として、可動レール、ウイングレールおよび大床板の3要素で構成し、大床板上に可動レールとウイングレールを



及川 祐也
Yuya Oikawa
軌道技術研究部
軌道構造研究室
主任研究員
【専門分野】分岐器の構造・保守



原田 茂幸
Shigeyuki Harada
軌道技術研究部
軌道構造研究室
副主任研究員
【専門分野】分岐器の構造・保守



伊藤 太初
Hajime Ito
前 軌道技術研究部
レール溶接研究室
副主任研究員
【専門分野】レール溶接の施工・検査



兼松 義一
Yoshikazu Kanematsu
材料技術研究部
摩擦材料研究室
副主任研究員
【専門分野】鉄道用金属材料の開発

配置して、組み立てる構造としました。各構成要素を図1に、組み立てた状態を図2に示します。

(2) 可動レール

図1 (a) に示す可動レールは、ポイント部のトングレールなどに用いられる80Sレールをアーク溶接(☞参照)で接合した^{ふたまた}二又レールと、特殊断面形状の100kgクレーンレールをガス圧接(☞参照)にて接合しています。

転換動作をスムーズにするため、基準線側と分岐線側の両方に断面形状を小さくした弾性部を設けています。また、後端部の構造については、基準線側は新幹線用伸縮継目と同様な構造になっており、分岐線側は転換時に発生する可動レールのレール長手方向への移動を吸収するための簡易伸縮構造となっています。なお、基準線側についてはレール鋼どうしなので溶接継目に変更することも可能です。さらに、可動レールの底部には、転換装置との接続のため、ロッド取付け金具を溶接しています。

(3) ウイングレール

図1 (b) に示すウイングレールは、可動レールにも使用している80Sレールを加工して製作しています。

前端側の構造については、基準線側は高マンガン鋼製と同様に斜め継目になっていますが、溶接継目に変更することも可能です。また、分岐線側は60kgレール形状に鍛造しています。

(4) 大床板

図1 (c) に示す大床板は、1枚の鋼材から切削加工して製作しています。万一、可動レールが折損した場合は、重大な事故につながる恐れがあることから、列車通過時において可動レールに発生する応力を極力軽減するために、可動レールのほぼ全体を1枚の床板で支えています。また、溶接箇所をなくすことができることから、溶接に伴うひずみや残留応力は発生しません。

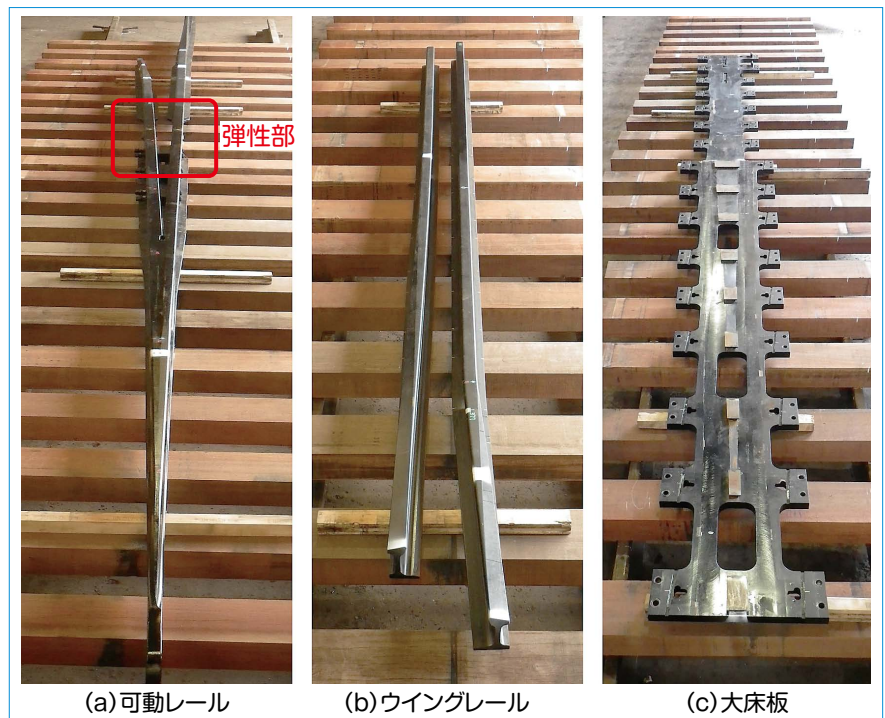


図1 レール鋼製ノーズ可動クロッシングの主な構成要素

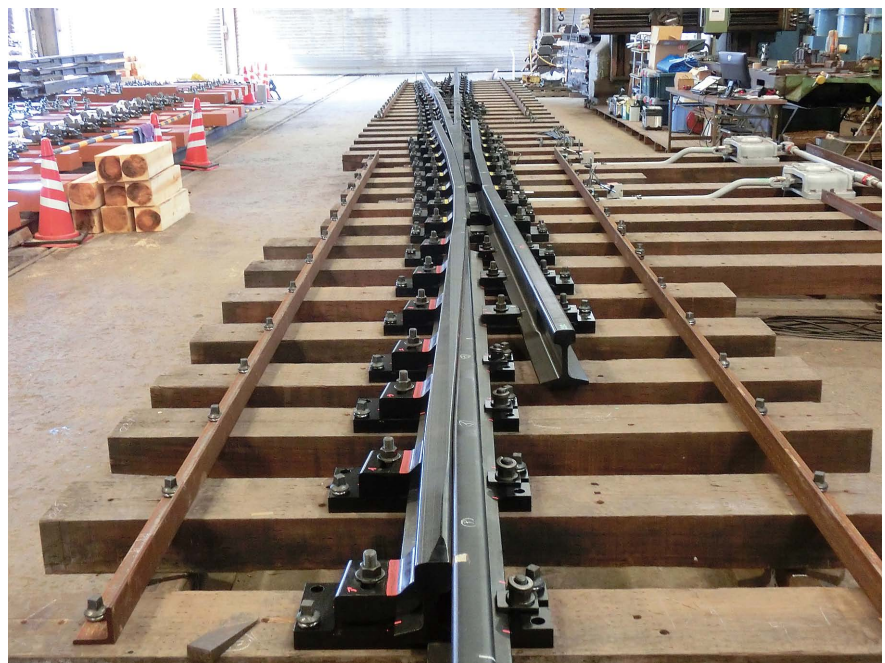


図2 レール鋼製ノーズ可動クロッシングの全景

☞ アーク溶接

母材と電極(溶接棒、溶接ワイヤ)との間にアークを発生させ、それに伴うアークエネルギーで母材と溶加材を溶融させて接合する方法です。

☞ ガス圧接

接合面を突き合わせて、加圧しながら、ガス炎(酸素-アセチレン炎など)で加熱して接合する方法です。

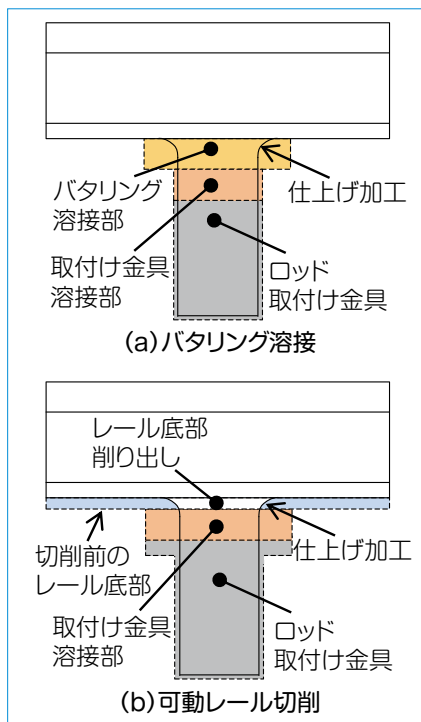


図3 ロッド取付け金具の溶接方法

ロッド取付け部の構造

前述の可動レールのロッド取付け金具について、敷設実績のある在来線のものでは、図3(a)に示すようにバタリング溶接(☞参照)を行った後にアーク溶接にて接合しています。これは、直接アーク溶接を行うと、可動レールの底部に熱影響部(☞参照)が形成されるからです。バタリング溶接の厚さは25mm程度です。しかし、厚さ25mmのバタリング溶接には多大な労力を必要とすることから、バタリング溶接を必要としない接合方法として、

☞ バタリング溶接

母材成分や熱の影響を防ぐため、母材表面に肉盛りすることです。

☞ 熱影響部

溶接やガス切断などの熱で、顕微鏡組織や機械的性質が変化を受けた溶融していない母材のことです。

☞ 浸透探傷検査

材料表面に開口した微細なきずを、赤色や蛍光色の浸透性の良い液体(浸透液)を浸み込ませ、再度表面に吸い出すことによりきずを拡大して見つけ出す表面検査法です。

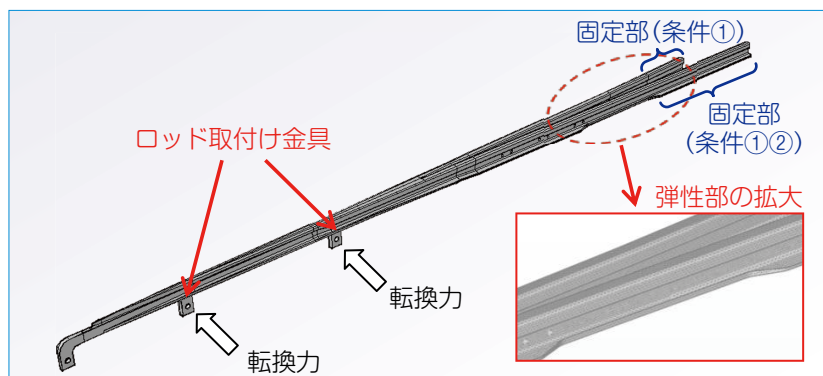


図4 可動レールの解析モデル

表1 可動レールの転換に関する解析と試験の結果

条件		弾性部応力 (N/mm ²)		分岐線ふく進 (mm) [*]
		基準線	分岐線	
基準線・分岐線ともに固定 (条件①)	解析	0.2	235.2	0
	試験	76.5	84.6	2.0
基準線のみ固定 (条件②)	解析	71.5	71.8	2.7
	試験	81.8	73.3	2.5

※可動レールの分岐線側後端部におけるレール長手方向の変位

図3(b)に示すように、ロッド取付け部以外の可動レールの底部を7mm切削し、残った部分をバタリング溶接層の代替えとすることになりました。なお、ロッド取付け金具の溶接の始末端部については、溶接欠陥を生じる懸念があることから、切削加工で仕上げることによって除去しています。これらの溶接方法で製作したロッド取付け部について、転換時の作用力を想定した繰り返し载荷試験を実施しました。その結果、いずれの場合も200万回の载荷に対して未破断であり、また、浸透探傷検査(☞参照)においてもき裂の発生は認められませんでした。

転換性能の確認

可動レールを転換したときの応力および変位を把握するため、可動レール単体を対象として、転換時の動作を模擬した解析および転換試験を実施しました。解析モデルを図4に示します。転換の条件は、可動レールの後端を基準線側・分岐線側ともに締結して固定部としたもの(以下「条件①」といいます。)と、基準線側のみを締結して固

定部としたもの(以下「条件②」といいます。)

解析と試験の結果を表1に示します。条件①について、解析では分岐線側の弾性部に大きな応力が発生し、許容応力度の目安値である137N/mm²を大幅に上回っていました。試験では分岐線側の後端を締結していましたが、可動レールの分岐線側後端部におけるレール長手方向の変位(以下「分岐線ふく進」といいます。)が2.0mmとなっており、実際には完全に固定することはできませんでした。また、転換終了後に可動レールを元の位置まで再び転換したところ、分岐線ふく進は0mmに戻らず、弾性部応力についても初期値に戻りませんでした。

条件②について、解析と試験でほぼ同等の値となり、弾性部応力については、基準線側と分岐線側で均等に発生していることを確認しました。また、可動レールを元の位置まで再び転換したところ、弾性部応力および分岐線ふく進は初期値に戻りました。

以上の結果から、条件①のように可動レールの後端を基準線側・分岐線側



図5 簡易伸縮構造

ともに締結して完全に固定することは難しく、また、仮に固定できたとしても可動レールに発生する応力が大きくなることがわかりました。したがって、条件②のような状況で転換するため、可動レールの分岐線側の後端に図5に示す簡易伸縮構造を設けることにしました。その後、レール鋼製ノーズ可動クロッシング全体を試作し、図2に示すような組み立てた状態で転換試験を実施し、問題なく転換することを確認しました。

部材強度の確認

列車通過時における可動レールおよびウイングレールの発生応力と変位を解析により求めました。その結果、大床板が可動レールおよびウイングレールを支えていることから、大きな値にはなっていませんでした。なお、実物を用いた載荷試験については、試験敷設後に実施する予定です。

レール頭頂面の熱処理方法

レール鋼製ノーズ可動クロッシングに用いられるレールは、頭部に耐摩耗性を向上させるための熱処理が施されます。そのうち可動レールは長大かつ大断面を有しますが、分割して熱処理をした場合、レール頭頂面に熱処理を施した領域との境界（以下「焼き境」といいます。）が形成されます。焼き境は熱処理部よりも硬さ値が低くなるため、局所的な摩耗の原因となる場合があります。そこで、可動レールの頭頂

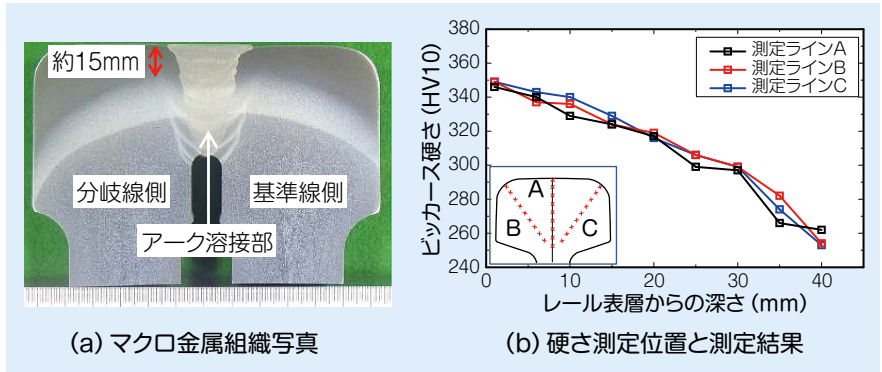


図6 可動レール中の最大断面におけるマクロ金属組織と硬さ分布

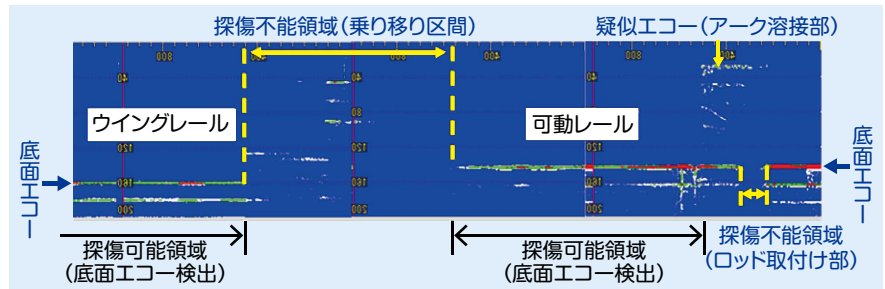


図7 超音波探傷検査の結果の一例

面に焼き境が形成されない熱処理方法を開発しました。

可動レールの頭頂面の目標硬さは熱処理レールのHH340と同等にビッカース硬さ 360 ± 10 HV程度としました。また、硬化深さはJIS E 1303「鉄道用分岐器類」で規定される断面硬化層の形状に準拠し、レール頭頂面から深さ15mm以上としました。

図6に可動レールの中で一番大きな断面を有する位置でのマクロ金属組織写真と硬化層の硬さ分布を示します。硬化深さが得られにくい大断面箇所においてもレール頭頂面から深さ15mm以上の硬化層を有していることを確認しました。また、基本線側、分岐線側においても15mm以上の硬化層を有していました。レール表層の硬さは目標硬さを概ね達成しており、いずれの断面においても同様の傾向を有していました。

超音波探傷試験

試作したレール鋼製ノーズ可動クロッシングについて、手押し式の超音

波レール探傷器（PRD-300：東京計器レールテクノ(株)製）を用いた探傷試験を実施しました。図7に超音波探傷検査の結果の一例を示します。その結果、2本のレールが重なり車輪が乗り移る区間である斜め継目、可動レール先端付近および伸縮継目とロッド取付け部などを除き、一般区間の普通レールと同様な超音波探傷が可能であることを確認しました。

おわりに

今回開発した新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングについては、今後実際の軌道に試験敷設し、施工性や耐久性などの実用化に向けた確認試験を継続して実施する予定です。RRR

文献

- 1) 及川祐也, 細田充, 原田茂幸, 西田博貴: レール鋼製ノーズ可動クロッシングの可動レールの転換試験, 土木学会第68回年次学術講演会, VI-528, pp.1055-1056, 2013
- 2) 佐藤泰生: 分岐器の構造と保守, (社)日本鉄道施設協会, 1987