

エンクローズアーク溶接の欠陥発生傾向と対策

軌道技術研究部 レール溶接

主任研究員 辰巳光正

1. はじめに

本線軌道上で施工されるエンクローズアーク溶接は、内部欠陥の発生が避け難く、施工直後に実施される超音波探傷検査による良否判定が重要となる。鉄道総研では、疲労損傷防止の観点から、曲げ疲労強度と相関のある二探触子法を重視したエンクローズアーク溶接部の合否判定基準を提案している¹⁾が、各鉄道事業者における判定基準が異なるのが現状である。

ここでは、エンクローズアーク溶接を標準条件（以下、標準法とする）および溶接時間を短縮する特殊な条件（以下、「短縮法」と称する：狭開先、頭頂部の多層溶接省略）によって施工し、溶接欠陥の発生傾向を調査した結果を報告するとともに、敷設された溶接部に対して適用されるBスコープ探傷の問題点および溶接欠陥の抑制対策について述べる。

2. エンクローズアーク溶接部の超音波探傷検査による評価

2.1 試験片作製条件と溶接時間

経験年数5～22年のレール溶接技術者が標準法と短縮法によって作製した37本の継手試験片について、溶接欠陥の発生傾向を調査した。溶接時間は、約5mmの開先間隔狭小化および頭頂部多層溶接（標準法では、頭頂面下10mm以内で採用）の省略により、平均的に20分程度短縮されている。図1には、継手試験片作製時に記録した溶接電流チャートの一例を示す。これによると、頭頂部の多層溶接を省略することによる時間短縮が最も顕著なことがわかる（図1中の太線枠内）。

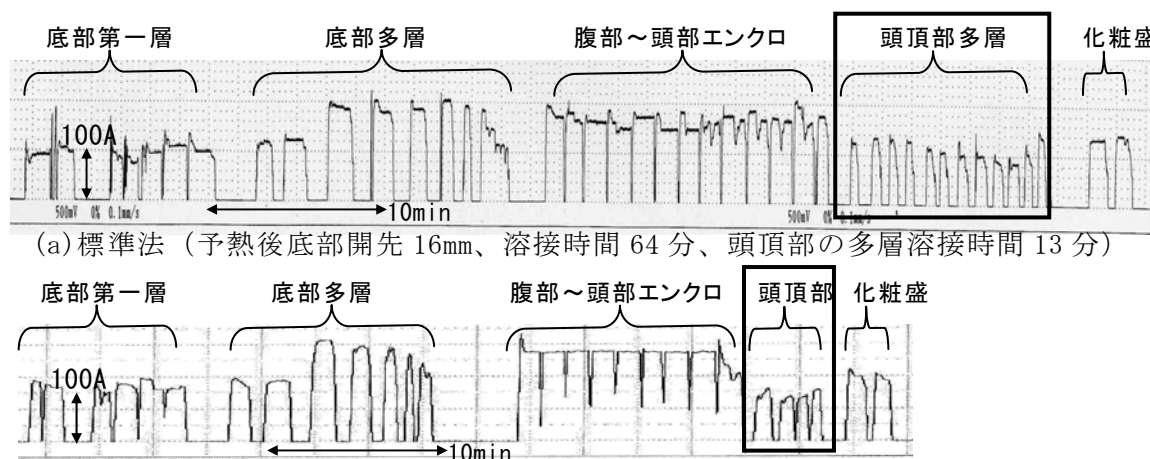
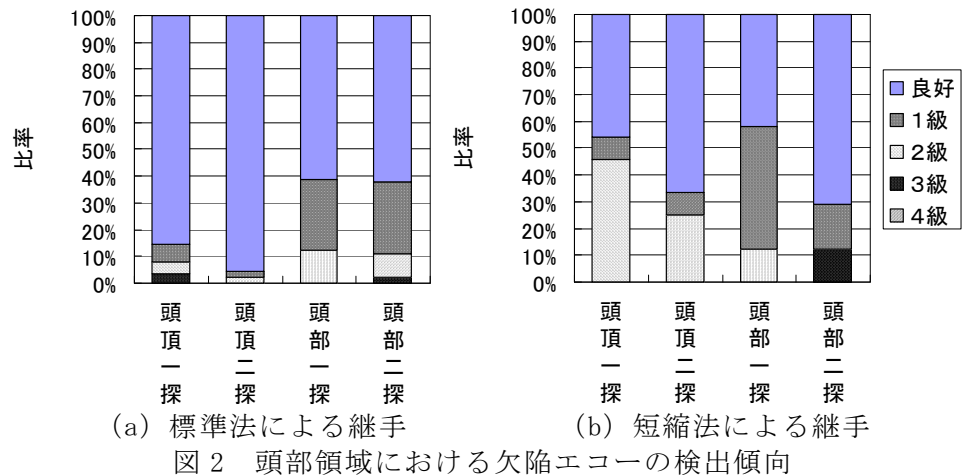


図1 継手試験片作製時に記録した溶接電流チャートの一例

2.2 超音波探傷検査による欠陥等級分類と判定

作製された継手試験片に対して、レール溶接部の非破壊検査要領に準拠した超音波探傷検査を実施した。図2には、頭部を頭頂面下15mm以内の頭頂部（図中、頭頂と略す）と頭頂面下15～40mmの頭部に分けて探傷方法別に検出された欠陥等級を整理した結果を示す。標準法では、頭頂

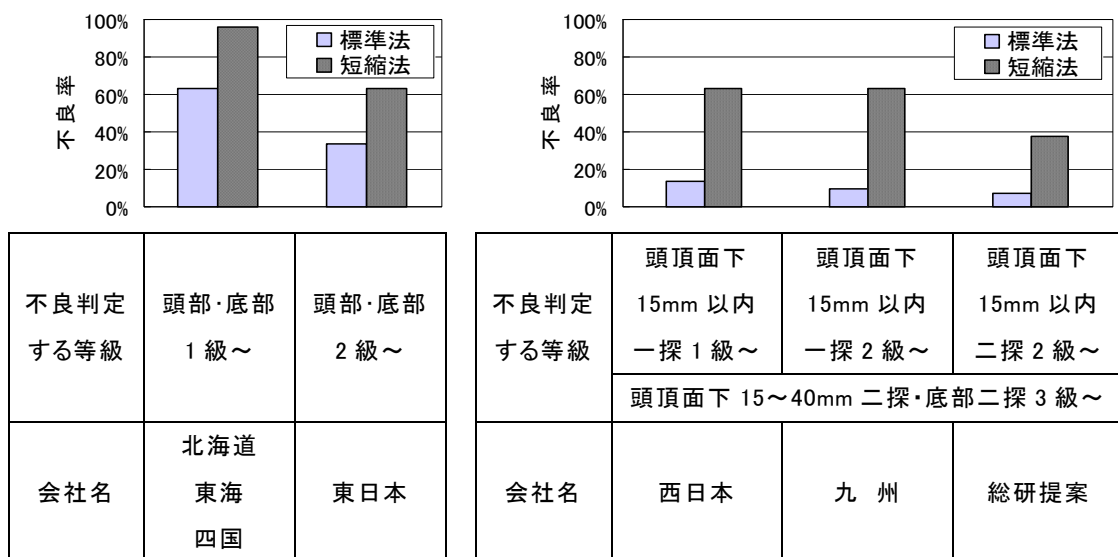
面下 15mm 以内の頭頂部よりも頭頂面下 15～40mm の頭部に欠陥エコーが数多く検出され、短縮法では、標準法よりも頭頂部の欠陥検出率が高くなる傾向にある。また、二探触子法による欠陥検出率は、短縮法の継手では一探触子法よりも少ないが、欠陥の大きさとエコー高さに相関のある二探触子法の適用が有効であると考えられる。



37本の継手試験片に対する超音波探傷試験の結果、施工時間が限られた現場三次溶接においては実際に行われていると想定している短縮法（狭開先、多層溶接省略）では、標準条件で施工した溶接部に比較して溶接欠陥が発生し易くなることが明らかである。

図 3には、各鉄道事業者の判定基準による不良率の差異を示す。腹部 B 領域で不良となる溶接部は存在しないが、頭部および底部の A 領域では多くの溶接部が不良判定されている。(a)に示すように、頭部と底部に対して 1 級の欠陥エコーでも有害とする厳しい基準（JR 北海道、東海、四国）では、標準法による溶接部の約 6 割が、短縮法に至っては 9 割以上が不良と判定される。また、1 級の欠陥エコーを許容する JR 東日本の場合でも、約 3 割（短縮法では約 6 割）が不良となる。

鉄道総研では、エンクローズアーク溶接部の頭部は頭頂部（頭頂面下 15mm 以内）と頭部（頭頂面下 15～40mm）に分けて判定し、確保すべき曲げ疲労強度から、頭部と底部では 2 級の欠陥エコーまでを許容し、3 級から有害とする基準を提案している。これによると、(b)のように不良率は低下するが、鉄道総研の提案基準においても標準法による溶接部の 7%が不良溶接部と判定される。これらの結果から推察すると、判定基準に則った超音波探傷検査が施工現場で確実に実施さ



れているとは考え難い。エンクローズアーク溶接部における頭部横裂損傷の発生率およびレール探傷車による発生きずの検知能力を考慮すると、頭頂部において「有害な欠陥」と判定する欠陥等級を更に緩和しても損傷は増加しないと判断される。

3. B スコープ探傷における問題と対応策

最近では、内部きずの状態が画像で表示される B スコープによるレール探傷検査が行われるようになり²⁾、敷設されたばかりのエンクローズアーク溶接部が不良判定されることがある。

図 4 には、継手試験片に対する B スコープ探傷画像の一例を示す。手探傷による仕上り検査では、頭頂面下 38mm の頭部 A 領域が一探触子法で 2 級となり、J R 東日本による判定では不良、鉄

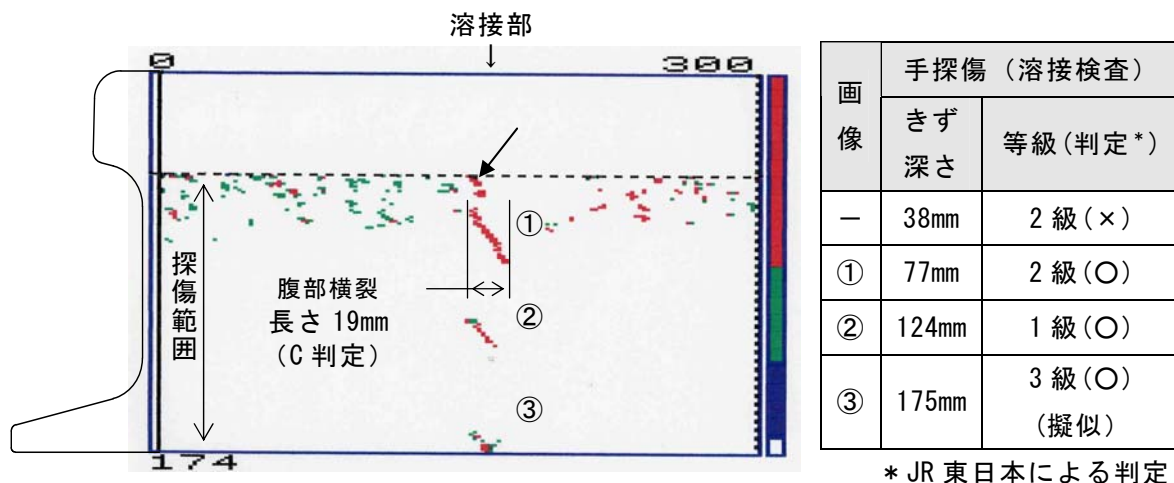


図 4 継手試験片に対する B スコープ探傷画像の一例 (C 判定で不良)

道総研の提案基準では合格となる溶接部である。この B スコープ探傷画像では、頭頂面下 45mm から底面までが探傷範囲となっているため、頭頂面下 38mm の溶接欠陥による画像が一部のみ現れている (矢印部)。腹部には欠陥等級 2 級および 1 級となる溶接欠陥が 2 箇所描かれており、きず指示長さによる測定値が 10mm 以上でいずれも「C 判定」となる。底面にも深さ 3mm 以上のきず指示があり「C 判定」される。B スコープ探傷では、溶接部の仕上り検査では許容している腹部 B 領域の 1~2 級の溶接欠陥および底面擬似エコーを捉えて不良判定がなされている。

レール溶接部の仕上がり検査と整合した (腹部 2 級までを許容) B スコープ探傷を行うには、現在の探傷基準感度 (対比試験レールの底面スリット反射 100%) から 12dB 程度低下させた探傷感度とし、50%超のエコー高さによる赤色のきず指示長さのみを測定することが必要である。

4. 溶接欠陥を抑制する施工法

継手試験片の超音波探傷試験により、エンクローズアーク溶接では、開先間隔を狭め、頭頂部の多層溶接を省略して施工した場合には、いずれの部位においても (特に、頭頂部) 溶接欠陥が増えることを明らかにした。この結果から、溶接欠陥を抑制するためには、広めの開先間隔を設定するとともに、頭頂部の多層溶接が余裕をもって行える十分な施工時間を確保することが望ましいと判断される。

最近では 17+3mm の開先を目標に現場施工を行っているレール溶接施工会社が存在するが、開先間隔を広げることは即座に溶接時間の延長につながるため、作業時間に余裕がある場合にしか適用できない。今後とも、レール溶接に与えられる施工時間が長くなるとは考え難いため、溶接

時間を短縮できる半自動エンクローズアーク溶接（以下、半自動法とする）への転換が一つの対応策として挙げられる。

半自動法は、平成5年にJFE工建(株)（当時、日本鋼管工事(株)）によって技術開発され、鉄道総研で性能評価試験を終えている炭酸ガスシールドアーク溶接法である。図5には継手試験片作製時の溶接状況と装置の概観を示す。溶接棒に変えて直径1.2mmの溶接ワイヤが送給装置によって自動的に溶接トーチに供給され、溶接技術者の操作によって連続的に積層される。スラグは生成しないため、スラグ除去の時間は必要としない。これまでの本法の施工実績は、二次、三次溶接を含めて約1,400箇所である³⁾。図6には、各施工法による継手試験片で検出された腹部および頭頂部の欠陥比率を示す。このように、半自動法では手溶接では問題となっていた腹部棒継ぎ部の液化割れの発生が抑制され、欠陥比率が極端に低下する。さらに、頭頂部に発生する溶接欠陥も抑制されている。

半自動法によるエンクローズアーク溶接は、標準条件による手溶接の約半分の時間で溶接欠陥が抑制できる可能性が高く、次世代のエンクローズアーク溶接法として推奨される。なお、本法のデメリットとしては、使用機材が大きく運搬労力が増すこと、HHレールにおける現地敷設実績がないこと等が挙げられる。



図5 半自動エンクローズアーク溶接の作業状況と装置

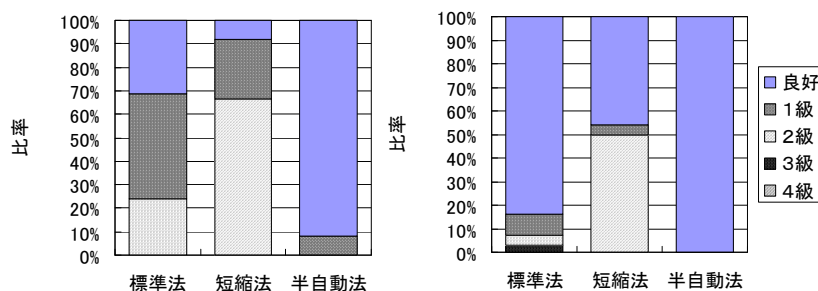


図6 各種施工法における腹部および頭頂部の欠陥比率

5. おわりに

これまで40年以上にわたる新幹線における使用実績から、エンクローズアーク溶接の実用性・有効性は実証されているものとする。本法は、ガス圧接とともに我が国独自に発達してきたレール溶接技術であるため、今後ともテルミット溶接法との使い分けにより、現場溶接法として活用して行きたい。このためには、実態に即した超音波探傷検査における良否判定基準を採用することが望まれる。

〔文献〕

- 1) 辰巳光正、設楽英樹、深田康人、坂下 積、山本隆一、上山且芳：エンクローズアーク溶接部の評価と判定基準、鉄道総研報告、Vol.14 No.4、pp.37～42、2000
- 2) 伊藤清己：レール探傷器によるレール探傷、新線路、Vol.60 No.11、pp.40～43、2006
- 3) 中西延仁、三井章雄、中野渡弘昌：レールの半自動エンクローズアーク溶接工法、日本鉄道施設協会誌、Vol.38 No.11、pp.23～25、2000