

レール頭部横裂検知のための超音波探傷技術

軌道技術研究部 レール溶接
副主任研究員 寺下 善弘

1. はじめに

レールの頭部横裂損傷は、車輪との転がり接触等に起因するレールシェリングが大半を占めているが、最近では曲線半径約 600～800m の曲線外軌に敷設された熱処理レールのゲージコーナ上部にきしみ割れ状のき裂（以下、「ゲージコーナき裂」と記す）および剥離の発生が多く認められており、ゲージコーナき裂から頭部横裂に進展し、破断に至る場合がある。また、このような区間では、レール探傷車によるきず検知区間（頭部水平裂）が数百メートルに達する場合があるため、頭部横裂の探傷が実施困難となっており、問題視されている。

ここでは、レールシェリング、特にゲージコーナき裂に対する頭部側面からの透過法による超音波探傷検査法を検討し、頭部横裂の検出性能が高い手法を考案したので報告する。

2. 頭頂面からの超音波探傷検査

レールの超音波探傷検査は、レール探傷車、あるいは手押し式の超音波探傷器等によって実施され、超音波を頭頂面と鉛直な方向に送受信する垂直探触子によって水平に進展するき裂（以下、「水平裂」と記す）を、斜め 70° あるいは 45°（40°）方向に送受信する斜角探触子によって斜めに進展したき裂（以下、「横裂」と記す）を検出している。しかしながら、レールシェリングから発生するき裂の形態は様々であり、図 1 に示すように頭頂部に存在した水平裂の進展範囲が広いと水平裂から分岐した頭部横裂が 70° 斜角探傷では検知できないことがある

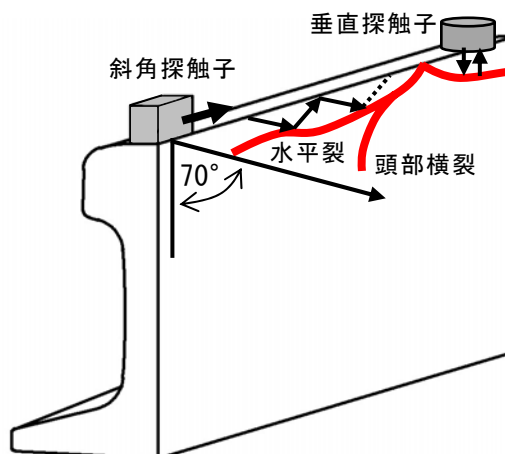


図 1 レールシェリングの探傷イメージ

とともに、水平裂から反射したエコーが得られることもあり、横裂の判定が困難な場合がある。

図 2 には、ゲージコーナき裂が発生したレールに対して、頭頂面中央に配置した垂直探触子を長手方向に走査して探傷した際に描かれた B スコープ（断面）画像を示す。

探傷範囲 1.8m において頭頂面下 5mm 前後の深さに、水平裂の画像が途切れることなく連続して描かれている。また、頭頂面からの 70° 斜角探傷では、入射した超音波が水平裂で反射するため、

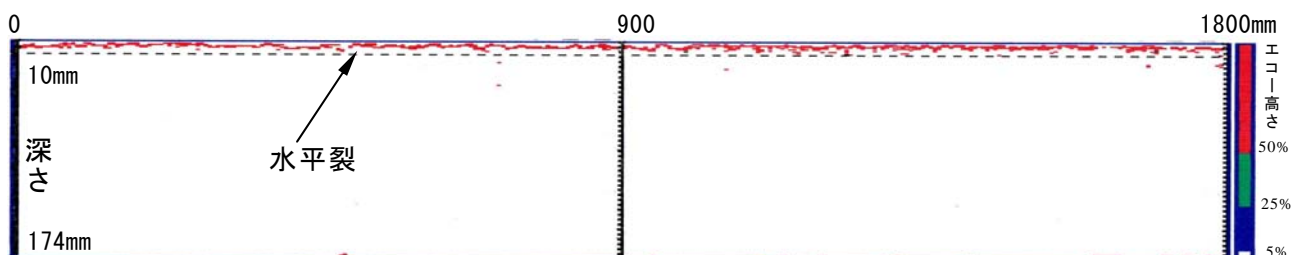


図 2 B スコープによるゲージコーナき裂の垂直探傷結果（周波数：5MHz）

水平裂よりも下側に横裂が進展していても検出することは困難である。このため、JR 各社では頭部側面から超音波を送受信する透過探傷検査によって、水平裂よりも下側に発生した横裂を検出する対応がなされている¹⁾。

3. 頭部側面からの透過探傷によるゲージコーナキ裂の探傷試験

3.1 探触子位置と探傷感度の検討

ゲージコーナキ裂が発生したレールは、少なからず側摩耗した状態にあり、図3に示すようにフローが生じた位置では探触子の接触が悪く、適切な検査が行えない。特に、探触子位置を頭頂面下 15mm とする探傷では、フローの影響を最も受けやすく、適切な探触子の走査が困難になると判断された。10mm 深さを超える横裂の検出を目標とすると、頭頂面

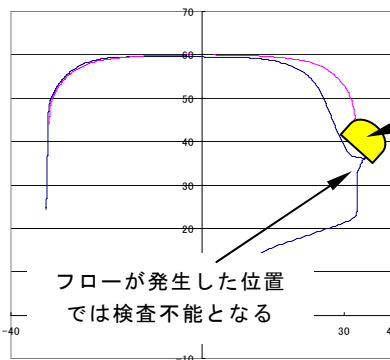


図3 頭部断面形状の例

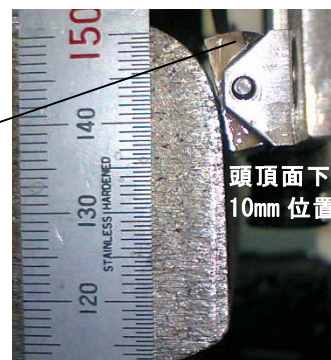


図4 探触子の接触状況

下 10mm に探触子を設置することが妥当と考えられる。図4には頭頂面下 10mm に設置した探触子のレールとの接触状況を示す。

ゲージコーナキ裂の探傷では、レールシェリングの探傷と異なり、探傷範囲が数十メートルから数百メートルに及ぶことより、探触子の接触状態等の探傷条件の変化に伴い、透過エコー高さの変動が大きくなる。このため、探傷条件の変化に影響される透過エコー高さが探傷モニター上では表示されない領域で変動するよう、探傷感度を健全部における透過エコー高さが 80% となる感度から 6dB 高めることとした。この探傷感度では健全部の透過エコー高さと同程度の透過エコー高さが存在した場合の透過エコー高さとの差が大きくなるため、横裂の識別性を向上させる観点から実用的な手法であると考えられる。

3.2 撤去レールに対する探傷試験

前述した手法の横裂検出性能確認および探傷方法を検討するため、ゲージコーナキ裂が連続発生した撤去レールに対して探傷試験を実施した。図5には、探傷試験の実施状況を示す。約 10m の長さに配列した撤去レールの探傷試験から、側摩耗したレールであっても、頭部側面からの透過探傷により、局所的に透過エコー高さが 80% を下回った箇所では、水平裂から進展した頭部横裂が検知できることを確認した。

図6には、「横裂あり」と判定した箇所を切断して観察した内部きずの発生状況を示す。これは磁粉探傷によるきず転写結果である。このように複雑な水平裂が発生した中で、透過エコー高さが 80% を下回った



図5 透過法による連続探傷試験の実施状況

箇所では、水平裂から横裂に分岐したき裂（深さ 10mm）が存在した。また、「横裂あり」と判定した 5 箇所の内、4 箇所でレール底面方向に傾いた同様の形態のき裂が観察された。

頭頂面



図 6 内部きずの発生状況（レール中心から GC 側へ 12.5mm 位置）

なお、効率的な連続探傷方法を検討した結果、以下に提案する探傷手順に従って行うことが有効であると判断された。この提案する探傷法では、1m 程度の前進と後退を繰り返す必要がある、この方法でレール頭部の探傷を行うとすれば、探傷速度は約 150m/h 程度となる。

- 1) 探触子を頭頂面下 10mm に設置する。
- 2) 接触媒質を流しながら 1m 範囲を前後させる。
- 3) 前後させた範囲で透過エコー高さを 80% に調整後、探傷感度を 6dB 高める。
- 4) 探傷開始地点から接触媒質を流しながら 1、2m 程度前進する。
- 5) 前進した範囲を後退および再度前進する間に横裂の有無を確認する。
- 6) 前進（接触媒質を流す）⇒後退・前進（探傷検査）を繰り返す。
- 7) 局所的にエコー高さが 80% を下回る場合、「横裂あり」と判定する。

3.3 透過エコー高さによる横裂深さの評価

提案した探傷方法により頭頂面から深さ 10mm を超える横裂を、検知できることが確認されたことから、横裂を模擬したスリット加工レールを用いて横裂深さの簡易な測定方法について検討した。

図 7 には、作製したスリット加工レールの図面例を示す。横裂を模擬したスリットは、幅 2mm で 20° に傾いた半円状であり、レール軸心位置およびゲージコーナの位置にそれぞれ深さを変えて設けた。なお、スリット深さは、頭頂面から 10mm、13mm、15mm、20mm、および 30mm とした。

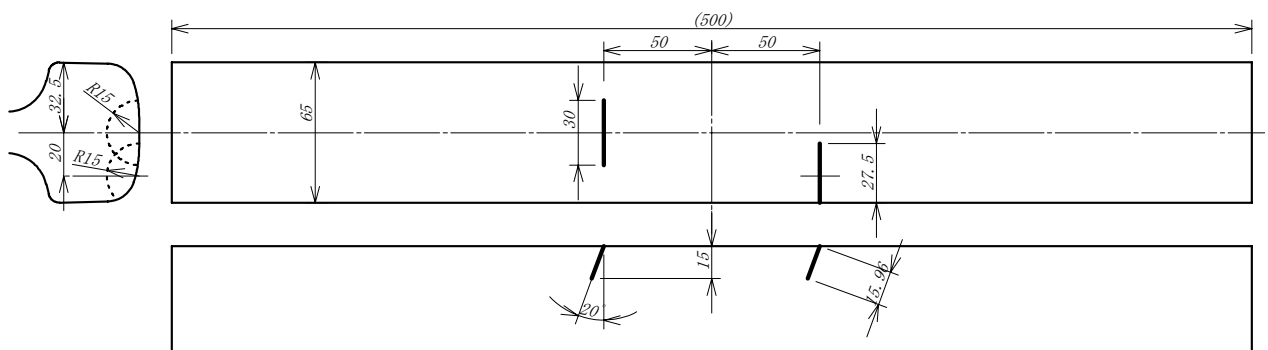


図 7 スリット加工レールの図面例（スリット深さ 15mm）

図 8 は提案探傷法でスリット加工レールを探傷した際のスリット深さと透過エコー高さの関係を示したものである。これより、スリット深さが 13mm を超えると透過エコー高さの極端な低下が認められ、深さ 20mm 以上では透過エコーが得られないことがわかった。また、フィールドコーナ（FC）側を送信にした場合の方が若干ではあるがゲージコーナ（GC）側に配置したスリットの透

過エコー高さが低下することを確認した。

このように、探触子を頭頂面下 10mm に設置して透過エコー高さを読み取ることにより、頭部横裂深さを測定できる可能性が確認された。

3.4 撤去レールにおける横裂深さの検証

ゲージコーナキ裂が発生し、実軌道から撤去されたレールに対して、提案探傷法による透過探傷を適用した結果、深さ 10mm 以上の横裂が発生していると判定される箇所が数箇所見つかった。

図 9 には透過エコー高さが最も低く留まった箇所で、レールを小さく切断し、強制的に曲げ破断させて現出した破断面を示す。これより、「横裂あり」と判定された位置には複雑な形態をした水平裂から分岐した疲労破面（横裂）が観察される。破断面上で測定される横裂深さは約 15mm であり、透過エコー高さが 25% であったことから、図 8 に示したスリット加工レールの透過エコー高さによる横裂深さの評価とほぼ同様の結果が得られた。

これらのことから、提案する探傷法は、横裂の検出性能が高く、深さも同時に評価できることから、ゲージコーナキ裂の連続探傷法として有効と考える。

4. おわりに

今回提案した探傷方法は、ゲージコーナキ裂が連続して発生したレールに対して有効と考える。しかしながら、探傷試験による確認は、撤去レールおよびスリット加工レールでの実施に留まっており、実軌道での探傷試験等、更なる検証が必要であると判断される。また、実軌道における頭部横裂検査の種々の課題に関しても、更なる検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 井川圭太郎：JR 北海道におけるレール管理、新線路、第 62 巻、第 1 号、pp.8～11、2008.1

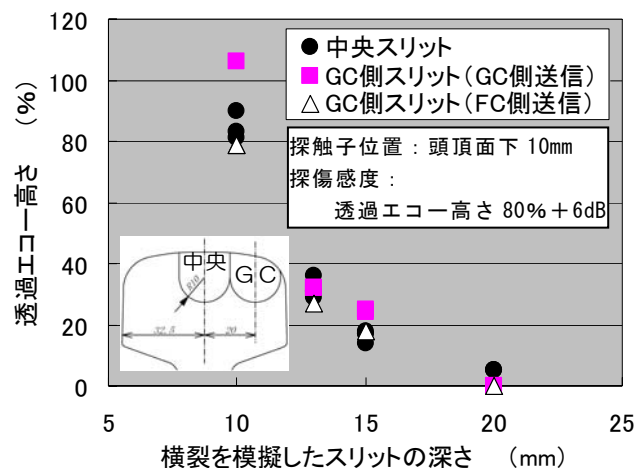


図 8 スリット深さと透過エコー高さの関係

探触子位置：10mm、超音波送信：GC 側
探傷感度：透過エコー高さ 80% + 6 dB

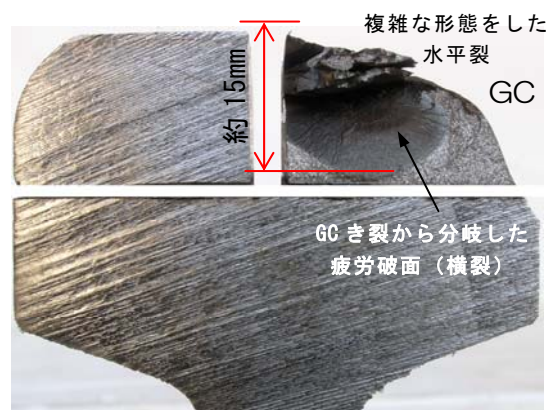


図 9 透過エコー高さ 25% の横裂