

フェイズドアレイ技術を用いたレール横裂探傷の基礎試験

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○安藤 洋介, 瀧川 光伸
日本 ITeS 株式会社 坂代 一郎, 田中 賢治

1. はじめに

通常、レール頭部の横裂は斜角探触子によるレール探傷で管理している。横裂上に大きな水平裂やきしみ割れがあった場合、超音波が伝搬せず探傷が不可能となるため、近年ではレール頭側部からの透過法を用いた超音波探傷器による横裂測定が実用化されている。また、筆者らは“レール上首部の顎下部”(以後“顎下”とよぶ)から二探触子法を用いて、水平裂やレール側摩耗の影響を受けない横裂深さの測定方法を開発した¹⁾。これらの方法で探傷効率を上げる場合の課題としては、ひとつの傷に対して探触子の調整・走査が必要であることが挙げられる。そこでレール頭部断面を広く短時間で探傷できる方法として、フェイズドアレイ技術(図-1)が考えられる。本方法では小さい複数の振動子を配列し、若干の時間の差(遅れ)を持たせて電氣的に制御して振動させ、超音波主ビームを任意の方向に合成波面として入射させる。本試験ではフェイズドアレイ技術のレール頭部への適用性を確認する基礎試験を行った。

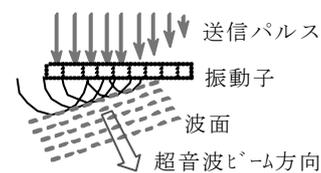


図-1 フェイズドアレイによる超音波ビームの制御

表-1 アレイ探触子仕様

項目	内容
周波数	3MHz
振動子材質	コンポジット
ch 数	16
素子サイズ	10×0.6mm
ピッチ	0.7mm
ギャップ	0.1mm
屈折角	60度
外形寸法	□17.5mm×25mm

2. 探傷仕様の概要

試験に使用したフェイズドアレイ探傷システムは 16ch 型パルサーレーザを PC 制御で探傷およびデータ収録を行うもので、印加電圧 50Vp-p, 周波数帯域 100kHz~10MHz である。接触媒質はグリセリン水溶液を用いた。使用したアレイ探触子の概要を表-1 に示す。屈折角は 60 度とし、斜角用の楔の材質は接触媒質との音響インピーダンス差の小さいポリエーテルイミド(PEI)とした。

3. アレイ探触子の斜角探傷使用に対する基本性能

一般的にアレイ斜角探触子のセクタ走査(送受信を位相制御することで、同一平面で超音波ビームを扇状に振り角を持って移動させる走査のこと)は深さ方向に行われ、左右セクタ走査はあまり行われていない。そのため左右セクタ走査での基本的な性能を確認するために実施した試験結果を以下に示す。

3.1. 円弧配列縦孔試験片による基本性能の確認

図-2 に半径 50mm, 15 度ピッチでφ3mm の縦孔を配列した円弧配列縦孔試験片を示す。超音波が板厚と平行になるように加工されており、縦孔からのエコーを測定することで左右セクタ走査時の感度分布を見ることができる。表-2 には 50N 及び 60kg レール用試験片において、指示した角度(セクタ指示角)に対応したピークエコーが受信できた角度をピークエコー高さ角度、エコー高さがピークエコー高さから -6dB となった時のセクタ角度を半値角とした場合の測定結果を示す。また図-3 には各セクタ角度のピークエコー高さが得られたときのゲイン値を 80%エコー高さに換算した値を示す。アレイ探触子の一探触子法の基本性能として、60kg レール用のセクタ角度が 30 度では 0 度の場合と比較し約 3dB の低下と比較的感度が高いが、全般的に 30 度以上では感度が低下することがわかった。

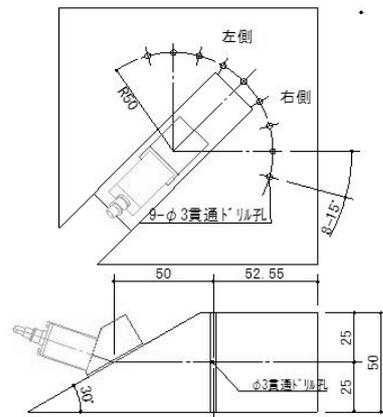


図-2 円弧配列縦孔試験片

表-2 ピークエコー高さ角度と半値角

セクタ指示角(度)	ピークエコー高さ角度と半値角(度)					
	50N レール用			60kg レール用		
	左-6dB	ピーク	右-6dB	左-6dB	ピーク	右-6dB
-30(左)	-30	-25	-10	-30	-25	
-15	-19	-15	-9	-19	-16	-12
0	-6	-1	3	-4	0	4
15	6	11	16	12	16	20
30(右)	6	24	30	26	30	

キーワード レール横裂、超音波探傷、フェイズドアレイ

連絡先 〒331-8513 さいたま市北区日進町 2 丁目 479 番地 TEL048-651-2389 FAX048-651-2289

3.2. 二探触子V走査法による横孔試験片による基本性能の確認

レール頭部を貫通する横孔を加工した試験片を用いて、顎下からのアレイ斜角探触子による二探触子V走査法での性能試験結果を示す。試験片には探傷面からの深さが、12.5mmから5mmピッチで32.5mmまでの5つの横孔を加工した。送受信のセクタ走査を行いながら各深さの横孔のピークエコーを検出した探触子位置を測定し、探触子を前後してピークエコーの-6dBになる範囲を測定した(図-4)。図-5にピークエコー前後-6dBとなる範囲のビーム幅を示す。前後方向のビーム幅はレール種別による違いは少なく、50Nの場合で探傷位置より深さ12.5mmで15mm、深さ32.5mmで26mmとなった。

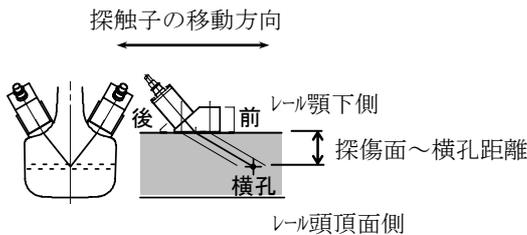


図-4 横孔試験概要図

4. レール試験片における探傷方法の検討

50N・60kg レールについて、レール頭部中央

に鉛直方向に対し30度の角度で、深さ10,15,20,25mmの円弧形状の人工傷を加工した試験片で探傷を行った。横裂上部にある水平裂の影響を受けない探傷方法として、レール頭側部・顎下からの一探触子法・二探触子法の4種類を実施したうち、人工傷の最深部を検出した顎下部からの二探触子法(図-6)について結果を示す。

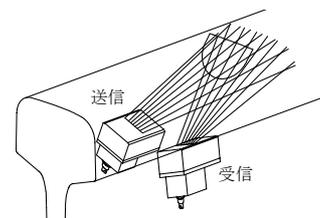


図-6 顎下二探触子法

顎下からの二探触子法における列車進行方向退出側から探傷した場合(前方探傷)と列車進行方向進入側から探傷した場合(後方探傷)の傷検出位置図(50Nの一例)を図-7に示す。

レール断面での傷位置は前方探傷時の傷最深部エコーと同時に検出されたコーナー部エコーの出現範囲を示す。後方探傷では横裂面の高いエコーが連続して検出されているため、当該位置のエコー検出位置を便宜的に示す。結果として前方探傷では横裂先端部から、後方探傷では横裂面から高いエコーが得られることがわかった。ピークエコーによる探傷精度の結果を図-8に示す。別途実施した営業線で発生した60kgレールの横裂の結果についても追記した。これらより、50Nレールの場合、横裂の実深さに対し探傷結果は±2mmの範囲であった。60kgレールの場合、横裂の実深さに対し約+4~5mmの過大側の評価となった。

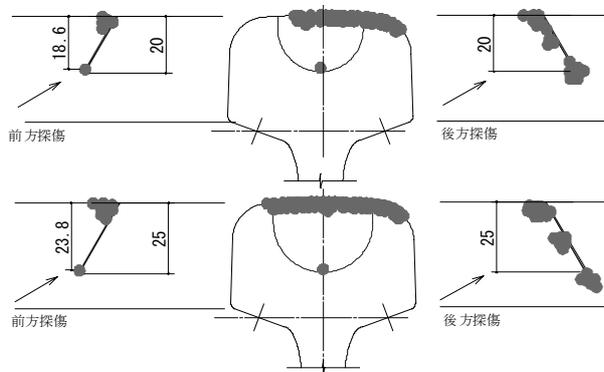


図-7 50N 傷検出位置図(深さ20,25mmの例)

5. まとめ

レール上首部顎下からの二探触子V走査法によるフェイズドアレイ探傷法を用いてレール頭部横裂を測定することができた。その結果高いエコーが得られたのは、前方探傷では横裂とレール頭頂面で形成されるコーナー部と横裂の最深部、後方探傷では横裂面であることを確認した。今後は、セクタ走査角度による感度や探傷精度を向上させる調査を行い、傷一箇所当たりの探傷を短時間に、かつレール延長方向に連続的な探傷が可能な装置を開発する予定である。

参考文献 1) 青木他, レール頭部の精密な探傷方法の開発, 第63回土木学会年次学術講演会, 2008,9

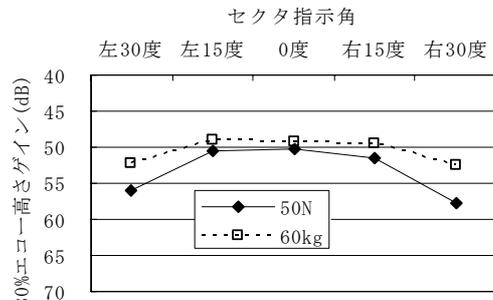


図-3 各セクタ角80%エコー高さゲイン

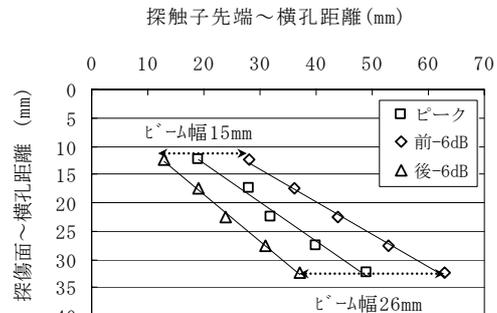


図-5 -6dB範囲のビーム幅(50N例)

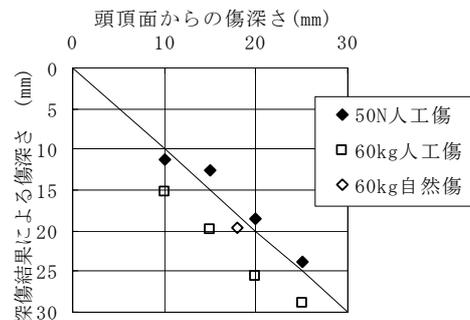


図-8 横裂深さの探傷結果