

IV-268 レール頭頂面凹凸とレール応力の関係

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 石田 誠

1. はじめに

ロングレールにおけるレールの疲労寿命を考えるには、溶接部の頭頂面凹凸によって発生する輪重変動による曲げ疲労とロングレールに限られた問題ではない軌動接触疲労傷であるレールシェリングを考えなければならない。レールシェリングに関しては、その発生機構の解明が急がれていて研究も進められているものの、未だ発生機構は解明されておらず、有効なシェリング対策は得られていない。ここでは、もう一方の曲げ疲労を考えるために、溶接部の頭頂面凹凸をモデル化し、実軌道上に敷設されているレールにそのモデル形状を設定して、レール底部に発生する曲げ応力（以下「レール応力」と略称する）を測定した。その結果から、列車速度と凹凸の形状によりレール応力の分布がある程度推定できることが明らかになった。

2. 測定概要

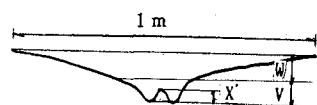
測定は、東日本旅客鉄道東北本線（上）蒲須坂・片岡間132K 940M付近の左レールにおいて実施された。軌道の条件は、直線で勾配がレベルで50N レール39本配置の高速運転区間である。図1に設定した凹凸モデルを示す。頭頂面凹凸は、ガス圧接タイプとエンクローズアーク溶接タイプとしてモデル化し、25m レールの2箇所に設定した。設定条件を表1に示す。測定対象車両は、電車特急と機関車とした。

3. 測定結果および考察

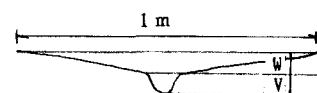
表2に電車特急と機関車の全データについて、数量化理論第I類で分析した結果を示す。重相関係数0.868より取り入れた説明変数がレール応力をよく説明していると考えられる。電車特急と機関車のカテゴリウエイトが-4.68と10.4であることから、この測定におけるレール応力は機関車が電車特急より大きいことが分かる。表3および4に上記の結果を踏まえ、電車特急と機関車についてそれぞれ実施した重回帰分析の結果を示す。重回帰分析においては、列車速度も変数として取り入れた。重相関係数が電車特急で0.860、機関車で0.867であり、分析結果としては良いものと考えられる。この分析においては、列車速度も変数に取り入れたので、より高速域の推定を可能にしている。また、

表2 全データの数量化理論第I類分析結果

$Y = -4.68 \cdot \delta_1 + 10.4 \cdot \delta_2 + 50 \cdot V + 21.52 \cdot W + 15.6 \cdot X + 55.01$
 Y : レール応力 (MPa), V, W, X : 図1による。
 δ_1 : カテゴリ変数（電車特急の場合=1, その他=0）
 δ_2 : カテゴリ変数（機関車の場合=1, その他=0）
 重相関係数 0.868 推定値の標準誤差 11.58
 データ数 5220



(1) ガス圧接タイプ



(2) エンクローズアーク溶接タイプ

V: 溶接部の短波長の凹凸 (mm)

W: 溶接部を中心とする1m間の凹凸 (mm)

X: 溶接部中心の凹凸底からの高さ (mm)

図1 凹凸設定モデル

表1 凹凸設定条件 単位(mm)

ガス圧接タイプ				エンクローズアーク溶接タイプ			
条件 No.	V	W	X	条件 No.	V	W	X
1	0.0	0.0	0.0	16	0.0	0.0	0.0
2	0.28	0.0	0.28	17	0.25	0.0	
3	0.60	0.0	0.60	18	0.60	0.0	
4	0.89	0.0	0.82	19	0.90	0.0	
5	0.91	0.0	0.51	20	1.20	0.0	
6	0.91	0.0	0.27	21	0.60	0.59	
7	0.30	0.44	0.30	22	0.55	0.68	
8	0.60	0.63	0.45	23	0.34	0.92	
9	1.03	0.56	0.64	24	0.0	1.34	
10	1.05	0.70	0.48	25	0.36	1.22	
11	0.41	1.18	0.35	26	0.58	1.25	
12	0.42	1.21	0.03	27	1.01	1.23	
13	0.62	1.28	0.06	28	0.40	1.73	
14	0.15	1.79	0.03	29	0.37	1.91	
15	0.34	1.72	0.20	30	0.09	2.20	

凹凸に関する変数の回帰係数をまとめた凹凸指数というものを定義し、レール応力との関係を回帰分析すると、図2のようになる。この図は上記の重回帰分析結果において考えると、電車特急と機関車の列車速度がそれぞれ実測データの平均速度である97.1km/hと68.9km/hのときのレール応力と凹凸指数の関係を示している。つぎに、表1に示す各凹凸条件ごとに発生したレール応力分布が、正規分布にあてはまるかどうかを χ^2 検定した結果は、ガス圧接タイプおよびエンクローズアーク溶接タイプの各15条件の計30条件のうち有意水準5%で8条件が棄却された。各条件ごとのサンプル数が電車特急で120、機関車で64と少ないことを考慮すると、各凹凸条件ごとのレール応力分布は概ね正規分布に従うものと考えられる。

4. まとめ

(1) 測定した全データの数量化理論第I類の分析結果より、レール応力は機関車の方が電車特急より大きいことが分かる。

(2) 上記の結果を踏まえ、電車特急と機関車のそれぞれについて列車速度を説明変数に追加して行った重回帰分析の結果は、重相関係数が0.860と0.867であり、分析に取り入れた説明変数でレール応力ある程度推定できるものと考えられる。

(3) 各凹凸条件における電車特急と機関車のそれぞれのレール応力分布の正規分布との適合度を χ^2 検定した結果より、概ねそれぞれのレール応力分布は正規分布に従うものと考えられる。

5. おわりに

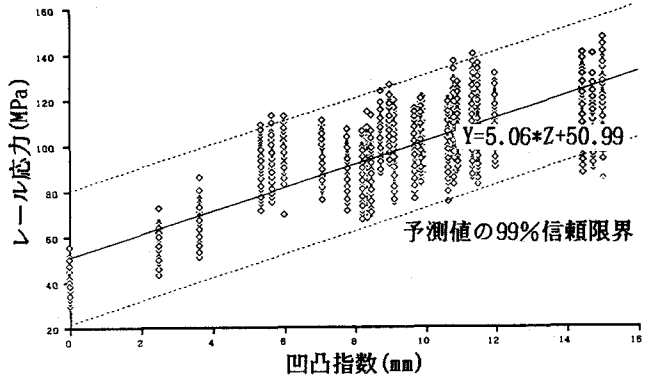
本研究を進めるにあたり、東日本旅客鉄道株式会社電気部保線課および測定箇所の矢板保線区の関係者の皆様には多大な御協力を得ました。ここに、感謝の意を表します。

表3 電車特急データの重回帰分析結果

$Y=49.84*V+20.11*W+14.92*X+0.221*U+30.09$
 Y, V, W, X ; 図1および表2による。
 U ; 列車速度 (km/h)
 重相関係数 0.860 推定値の標準誤差 11.21
 データ数 3600

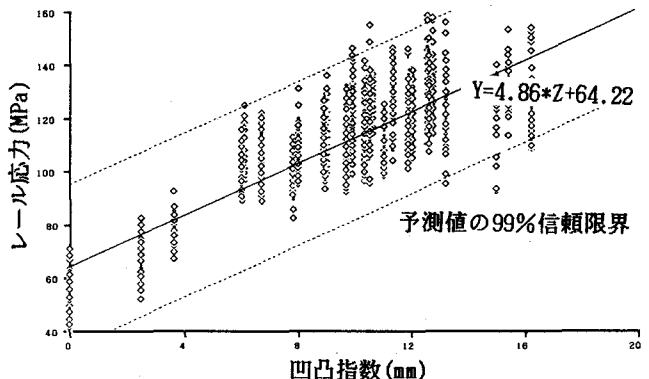
表4 機関車データの重回帰分析結果

$Y=48.58*V+23.30*W+17.35*X+0.265*U+46.27$
 Y, V, W, X, U ; 図1, 表2および3による。
 重相関係数 0.867 推定値の標準誤差 11.44
 データ数 1620



凹凸指数 (Z)= $10*V+4*W+3x$
 Y, V, W, X ; 図1および表2による。

(1) 電車特急



凹凸指数 (Z)= $10*V+5*W+3x$
 Y, V, W, X ; 図1および表2による。

(2) 機関車

図2 凹凸指数とレール応力の関係