

S2-1-2 在来線における累積通トンレール交換基準延伸のためのレール削正手法の開発

〔土〕 ○小野寺 孝行 (東日本旅客鉄道株)

Development of best practice rail grinding for extending service life of rails
Takayuki Onodera, Member (East Japan Railway Company)

Nowadays, rail welds bending fatigue failure is a main cause of rail renewal . It is well-known that rail grinding extends service life of rails. More specifically, by rail grinding, decreasing the amount of running surface irregularities on weld and /or weld heat-affected zone, reduce bending fatigue. However, it is un-known that the optimal grinding period, grinding pass, grinding angle and grinding equipment for extending service life of rails.

I investigated the growth rate of running surface irregularities on weld and /or weld heat-affected zone at various track conditions. I also carried out tests for measuring the transformation of running surface irregularities and vertical profile by rail grinding. As a result, I developed the best practice rail grinding for extending service life of rails.

キーワード：レール溶接部、曲げ疲労限度、レール頭頂面凹凸、レール削正

Keyword: rail welds bending fatigue, service life of rails, rail surface irregularity, rail grinding

1. はじめに

レール交換の主原因の一つである通トンレール交換は、レール溶接部の底部に発生する引張応力による疲労限度から、交換基準が定められている。この引張応力の大部分は、列車が走行した際に発生する曲げ応力によるものであり、レールの頭頂面に凹凸があると、より大きな応力が発生する。

レール溶接部は、溶接時の熱影響による軟化層や溶接金属の硬度差があるために、繰返し車輪が通過すると、レール頭頂面に凹凸が発生し成長する。図-1は、標準的なレール溶接部を上から見たものであり、レールと車輪が接している面を観察すると幅が少し広がっている箇所が2箇所ある。この箇所が凹んでいる箇所であり、1000分の1mm程度の凹凸まで測定可能な器具を使用して測定した凹凸の形状を図-2に示す。この程度の凹凸であっても、凹凸がない箇所よりも3～4割大きな応力が発生する。



図-1：レール溶接部の外観（上から）

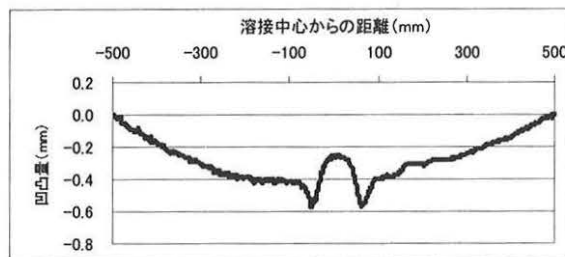


図-2：レール溶接部の凹凸状態

現在の通トン交換基準値は、1980年代に制定されたものであり、現場での実測値等を使用していることから信頼性は高いものの、当時の研究報告書¹⁾においても、さらなる疲労寿命の延伸の可能性が示唆されている。また、その後の（財）鉄道総合技術研究所（以下「鉄道総研」という。）での研究においても、レール溶接部の凹凸量を管理することにより疲労寿命の延伸が可能であるとの報告²⁾がなされていることから、新たなレール管理手法を導入することにより、通トンレール交換基準を延伸することが可能と考えられる。

2. レール溶接部頭頂面凹凸の状態把握

2.1 調査方法

レール溶接部の凹凸状態は、1μm単位（誤差10μm）で測定できるデジタル式のレール頭頂面測定器（図-3）を使用して測定した。調査箇所は、敷設以降レール削正を

行なっていない箇所とするために、首都圏近郊の線区とした。山手線をはじめとする都心エリアでは、過去にレール削正が行なわれている可能性があることから調査の対象外とした。具体的な調査箇所の選定は、溶接種別とレールの敷設年月日を参考に、様々な溶接種別及び累積通トンでのデータが収集できるような箇所を選定した。具体的な、調査位置と溶接種別数を表―1に示す。

なお、溶接部の凹凸は、磨耗の一種であることからレール重量の違いによる差はほとんど生じないと考えられることから、レール重量については特に区別せず調査した。



図―3：凹凸低減量調査

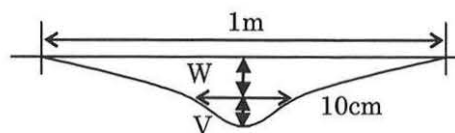
表―1：調査対象箇所（在来線）

線名・線別	区間	測定年度	溶接種類				
			EW	FB	GP	GS	計
東海道本線	藤沢～平塚	2000			61	100	161
		2002		30	71	68	169
		2004	1	176	118	66	361
	大磯～二宮	2000			2	24	26
		2002		2	1	20	23
中央本線	八王子～高尾	2004			64	50	114
東北本線	赤羽～大宮	2004		52	261	126	439
		2002		48	50	16	114
	大宮～東鷲宮	2004		91	64	23	178
京浜東北線	赤羽～南浦和	2004		14	93	25	132
埼京線	北戸田～中浦和	2004	30		22	6	58
高崎線	大宮～上尾	2004	58	7	19	37	121
総武緩行線	新検見川～稲毛	2004	30		22	8	60
総武快速線	幕張～稲毛	2004	23		19	20	62
合 計			142	420	867	559	2,018

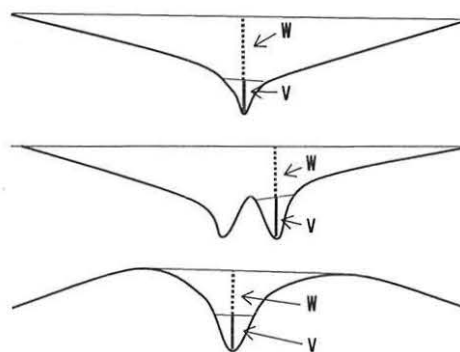
2.2 レール頭頂面の凹凸形状の標準化

現場での溶接部は、施工状態等により様々な溶接形状を有しているので、レール寿命を予測するためには、レール頭頂面凹凸の形状を指標化する必要がある。そこで、図―4に示すような、短波長の凹凸（V）と長波長の凹凸（W）との組み合わせで表すこととした。VとWの考え方は以下のとおりである。なお、主な形状とVとWの位置を図―5～7に示す。

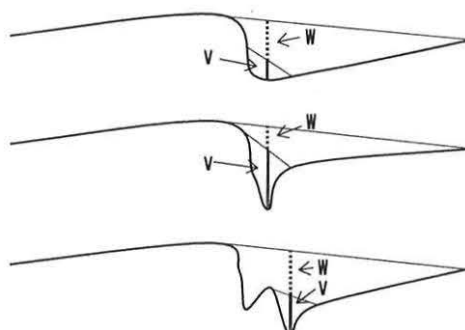
- ・ Vは、溶接部1m間（溶接前後500mm ずつ）の100mm弦正矢の最大値とする。
- ・ Wは、1m弦、あるいは1m弦間に凸部がある場合には凸部の頂点同士を結んだ弦からの離れの最大値からVの値を引いたものとする。



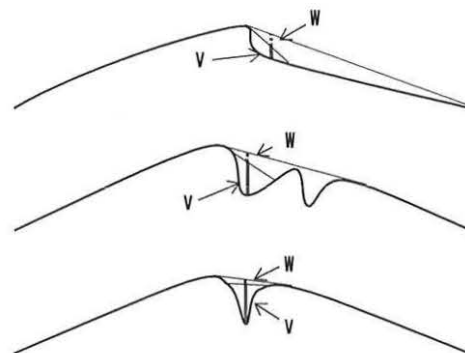
図―4：応力の推定に用いる凹凸形状



図―5：凹凸形状とV、Wの測定値（凹タイプ）



図―6：凹凸形状とV、Wの測定値（段違いタイプ）



図―7：凹凸形状とV、Wの測定値（凸タイプ）

2.3 調査結果

まず、溶接種別と凹凸形状の分類結果を示す。表-2 は、Vが 0.1mm 以上の個所における溶接種別毎の凹凸形状別の割合を示す。同一溶接種別であっても様々な形状を有することがわかる。よって、凹凸の形状は、溶接種別よりも溶接時のレール端部の落込み状況や溶接施工時のレール端部処理の状態により異なると考えられる。そこで、凹凸の状態把握は、溶接種別毎に区分せず一括して行うこととした。

表-2：溶接種別と凹凸形状の割合

溶接種別	データ数	凹凸形状別の割合			
		凹	段違い	凸	合計
E W	78	62%	17%	22%	100%
F B	67	12%	63%	25%	100%
G P	548	40%	23%	37%	100%
G S	253	33%	15%	52%	100%

次に、累積通トンとV及びWの関係を図-8、9に示す。Vは、累積通トンが増加するにしたがって大きくなる傾向がある。また、敷設直後であっても最大で 0.3mm 程度の落込みがある。一方、Wは、累積通トンにかかわらずほぼ一様の分布となっている。

ここで、疲労寿命を推定するために標準的な凹凸状態を求めることとする。一般的には最大値を採ればよいが、今回の調査結果は、ばらつきが大きいことから最大値を採ると過大な余裕を持った評価になってしまう。そこで、今回は、一定の基準で標準値を算出し、標準的な凹凸状態を超える著大値については、別途、特異値として扱うこととした。

まず、Vの初期値については、存在する最大値である 0.3mm とした。Vの進み量については、複数年度での測定データのある東海道本線及び東北本線の溶接箇所（345 箇所）での測定値を使用し、マイナス側のデータを除いた平均値である 0.04mm/100 百万トンに、0.01mm の余裕を加えた、0.05mm/100 百万を標準値とした。この値は、全体の進み量の 8 割以上を含む値であり、累積通トンと V の調査結果のグラフに重ねて表示したところ、標準値を超える凹凸状態の個所は、累積通トンが約 330 百万トンでのデータを除いて数点である。また、約 330 百万トンでの標準値を超えるデータは、限定的なエリアで連続して発生しており、溶接時の作業方法等の影響によるものと考えられることから、別途、特異値の取り扱いとすべきものと考えられる。

次に、Wの初期値については、図-9より、累積通トンが 100 百万トン程度までのデータをみた場合に、分布が一時的に途絶える 0.6mm を標準的な値とした。Wの進み量についても、複数年度での測定データのある東海道本線及び東北本線の溶接箇所（345 箇所）での測定値を使用し、マイナス側のデータを除いた平均値である 0.04mm/100 百万トンに、0.01mm の余裕を加えた、0.05mm/100 百万を標準値とした。この値は、全体の進み量の 8 割以上を含む値であり、

累積通トンとWの調査結果のグラフに重ねて表示したところ、標準値を超える凹凸状態の個所は、数点である。

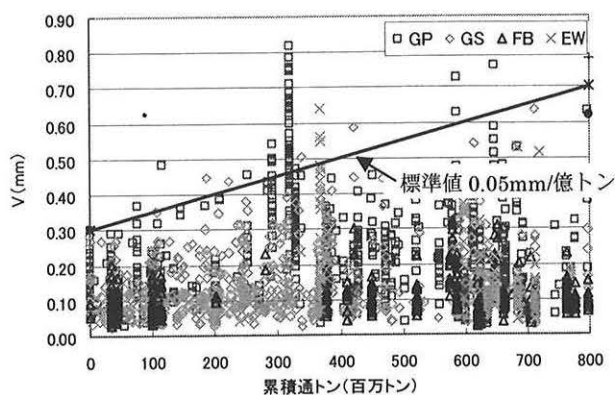


図-8：累積通トンとVの関係

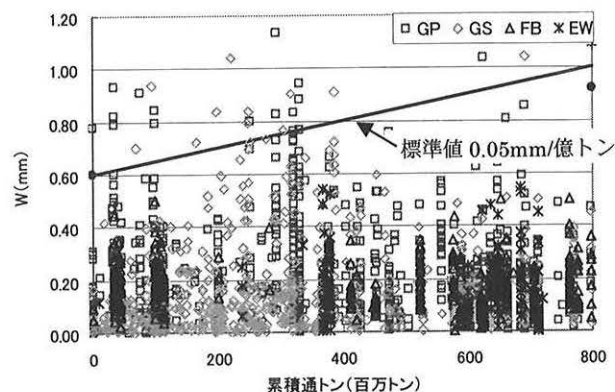


図-9：累積通トンとWの関係

3. レール溶接部凹凸管理手法の開発

レール溶接部の凹凸を管理する手法としては、レール削正によるレール凹凸量の低減が一般的である。そこで、ここでは、16 頭式削正車を使用してレール削正を行った場合のレール凹凸の低減量を求めた。今回の試験では、ゲージコーナーを除くレール頭頂面全体を削正することが可能な最少の削正手法とし、削正回数を 4 パス、削正パス毎の砥石のパターンは、表-3 とした。削正パス・パターンの選定に際して

表-3：削正パス・パターン

パス	1	2	3	4
砥石	①	②	③	④
履歴の異なるレールでの摩耗形状の調査及び試験削正を、	---	---	---	---
当社のパートナー会社である東鉄工業株式会社の技術者と意見交換をしながら共同で実施した。	2	-2	-2.5	-5.5
	1.5	-1	-3	-6
	1	0	-4	-4.5

※スペシャルユニットは使用せず。

は、通トン履歴の異なるレールでの摩耗形状の調査及び試験削正を、当社のパートナー会社である東鉄工業株式会社の技術者と意見交換をしながら共同で実施した。

今回の削正試験は、京浜東北線下線、赤羽・南浦和間、及び東北本線下線、赤羽・浦和間で行った。削正前後の波形をデジタル式のレール頭頂面測定器で測定し、削正量を算出した。

削正結果を図-10 に示す。レール頭頂面のレール磨耗形状の影響により、削正量が少ない内軌であっても平均 0.1mm 程度凹凸を改善することが出来た。また、外軌では、0.25mm 以上の凹凸改善効果が得られた。

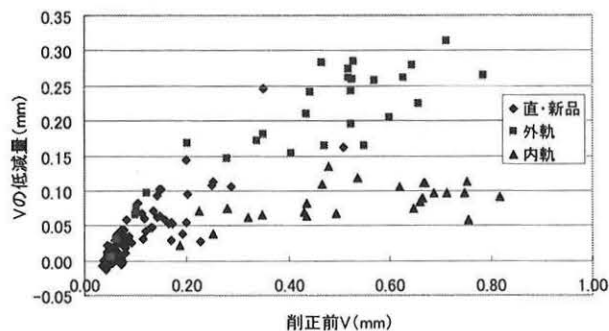


図-10：レール削正による低減量

4. レール寿命の理論値

理論値は、鉄道総研がこれまでの研究²⁾³⁾により開発したプログラムにより計算した。軌道条件は、バラスト軌道で浮きマクラギがある場合、レール温度は、平均 25℃、標準偏差 5℃とし、ロングレールの設定温度は 35℃とした。一方、車両は、総重量が 48 t (軸重 6 t) の車両が 130km/h 走行する場合を想定した。

計算の結果、50 百万 t 毎に平均 0.1mm 程度削正した場合の理論値は、60kg レール、50N レール共に、約 18 億となった。現行の通トン交換基準の 2 倍以上の値となった。

5. 特異値の取り扱い

敷設直後から定期的にレール削正を行なうことにより通トン交換基準の延伸が可能であることは、前述の通りであるが、通トン履歴を有するレールの交換基準を延伸するためには、削正開始時の累積通トンと凹凸量の関係が重要である。特に、標準的な凹凸状態を超える特異値の取り扱いが重要である。

また、標準的な凹凸状態で計算すると現行の通トン交換基準の 2 倍以上の延伸が可能であることは、言い換えれば、標準値を超える凹凸状態であっても、数億トン程度の交換基準の延伸が可能であると言える。

そこで、前項と同一の鉄道総研が開発したプログラムにより 2 億トン延伸が可能な削正開始時の累積通トンとレール凹凸量の関係を求めた。凹凸状態以外は、前項の計算で使用了値を用いた。

計算の結果、50N レールでは、累積通トンが 5 億トン以下の場合には、2 億トン延伸が可能な凹凸状態は、V が 1.5mm、W が 2.0mm 以上の値となった。この値は、今回調査した特異値の値を大きく上回るものであることから、50N レールの

場合には、全ての凹凸状態において、2 億トンの延伸が可能である。

一方、60kg レールでは、累積通トンが 4 億トン以下の場合には、V が 1.5mm、W が 2.0mm 以上の値となり、今回調査した特異値の値を大きく上回るものとなった。この値は、今回調査した特異値の値を大きく上回るものであることから、累積通トンが 4 億トン以下の場合には、全ての凹凸状態において、2 億トンの延伸が可能である。しかし、累積通トンが 4 億トン以上の場合には、今回の特異値と同程度、あるいは、下回る凹凸状態となったことから、表-4 に示す累積通トン毎の凹凸量以内の値であれば 2 億トン延伸が可能である。

表-4：累積通トン別の凹凸限度値 (60kg レール)

	累積通トン									
	5		6				7			
V	1.1	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.4
W	1.3	1.3	0.4	0.9	1.4	1.9	0.5	1.0	1.5	2.0

6. まとめ

16 頭レール削正車 (スベノ) を使用し、平均的な削正周期が 50 百万トンとなるように、4 パス削正することにより、現行の通トン交換基準の 2 倍以上に延伸が可能である。なお、現行の交換基準であっても、通トン交換周期は稠密線区でさえ約 20 年であることから、当面は、既設レールの交換基準と同一に 2 億トンの延伸を行い、現場での検証を定期的に行い、除々に交換基準を延伸する方が現実的である。

また、既設レールについては、50N レールは 5 億トン以下、60kg レールは 7 億トン以下の場合で、削正開始時の凹凸量が表-5 以下の場合には、2 億トンの延伸が可能である。

表-5：通トン延伸のための凹凸限度値 (60kg レール)

開始時通トン	1	2	3	4	5	
V の最大値	—	—	—	—	1.1	1.0
W の最大値	—	—	—	—	1.3	1.7
開始時通トン	6				7	
V の最大値	0.9	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6
W の最大値	0.4	0.9	1.4	1.9	0.5	1.0

—：限度値なし

(参考文献)

- 1) 杉山亨；在来線ロングレールの更換周期の検討，鉄道技術研究所速報，NoA-87-34，日本国有鉄道 鉄道技術研究所，1987.2
- 2) 阿部則次 他；溶接部曲げ疲労寿命の推定 日本鉄道施設協会誌 1998 年 4 月号 pp20-23
- 3) 石田誠 他；浮きマクラギのレール溶接部曲げ疲労に与える影響 鉄道総研報告 13-5 pp33-38，1999.5