S2-1-3 波状摩耗発生区間のレール削正とつき固めによる保守効果

[土] 石 田 誠 ((財)鉄道総合技術研究所)

Effect of Rail Grinding and/or Ballast Tamping on Track Deterioration Caused by Rail Corrugations Makoto Ishida, Member (Railway Technical Research Institute)

Short pitch corrugations on low rails in sharp curves whose radius of curvature is less than 600m pose very large problems that are noise and track deterioration caused by large vibration excited with interacting forces between rail and wheel in Japanese narrow gauge tracks. The author established a track settlement prediction model which consists of a vehicle/track dynamic model and a track settlement law proposed in the draft of ballast track design standard. The adequacy of the prediction model was roughly verified by track site measurements continued for almost six years focused on track settlement. In this study, using the prediction model of track settlement, the effect of curative rail grinding to remove rail corrugations on track deterioration has been evaluated as well as the effect of ballast tamping.

キーワード:レール波状摩耗, 軌道沈下, レール削正, つき固め, 軌道沈下モデル Keyword: rail corrugations, track settlement, rail grinding, track settlement prediction model

1. はじめに

我が国では、レールの頭頂面にある一定間隔に連続して形 成される凹凸のことを一般的に波状摩耗と呼ぶ。この波状摩 耗には、直線、急曲線外軌、そして急曲線内軌に発生するい くつかのタイプがあるが、特に JR 発足以降、図1に示す急 曲線内軌に発生するタイプが多く報告され、主に騒音・振動



図1 急曲線内軌波状摩耗の例

の面から大きな問題として取り上げられているが、軌道保守 の面からも重要な問題となっている。

本稿は、この急曲線内軌に発生する波状摩耗を対象に軌 道沈下および軌道変位への影響を評価し、いつの時点で削 正あるいはつき固めといった保守作業を行うべきかを検討 するために、削正効果およびつき固め効果について軌道動 的応答解析モデルと軌道沈下則を組み合せた軌道沈下予測 モデルを用いて評価した結果を紹介する。

2. 軌道沈下予測モデル

軌道沈下予測モデルは、図 2 に示す車両/軌道動的応答 モデルと有道床軌道設計標準(案)¹⁾において提案されてい る道床沈下則(式(1)参照)および路盤沈下則で構成され ている。





-57-

 $\beta_{by} = a \cdot (P_t - b)^2 \cdot \vec{y} \cdots (1)$ ただし、 $\beta_{by}: 道床沈下量 (mm/軸)$ $P_t: まくらぎ下面圧力 (kPa)$ a: 係数 (2.7×10⁻¹⁰)b: 係数 (39.6) (道床厚 250mm) $\vec{y}: 道床振動加速度係数$

ここで、計算の流れを図3に示す。図2に示す車両/軌 道動的応答モデルによる軌道の動的応答解析値から各まく らぎについて道床沈下量を求める。次にその道床沈下量か ら新たな軌道変位を計算し、これを基に再び軌道の動的解 析を行い、まくらぎ・道床間作用力を求めるステップを繰 り返すことにより、軌道沈下の進みを予測する。なお、こ のモデルの詳細と検証については、既報²⁾⁻⁵⁾を参照されたい。 また、本稿では路盤の剛性が低いほど、道床振動が増大し 粒子間の摩擦抵抗力の減少などによって道床沈下量が増大 する作用を表わす道床振動加速度係数 ÿ を、在来線の道床 厚 250nm の標準軌道で十分に堅固な路盤(K₃₀値 110MN/m³以 上)を対象とするため、j=1.0とした。したがって、本稿で は道床沈下のみを対象とした。





3. 波状摩耗による軌道変位進み

3.1 計算条件

軌道構造は、50kgN レール有道床軌道(道床厚 250mm)とし、波状摩耗は表1に示す波長および波高の正弦波を連続50波設定した。車両は表2に示す3車種を用いた。さらに、表3に曲線半径400mと250mの2曲線の走行速度および軌道沈下と軌道変位進みのケーススタディに必要となる1年間の通過トン数(以下、「年間通トン」と略称する)とその車種の分担率を示す。

表1 計算に用いた波状摩耗形状

波長(mm)	80, 100, 120	
波高(mm)	0.1, 0.3, 0.5	

表2 計算に用いた車両諸元

車種	静止輪重 (kN)	ばね下質量(片側) (kg)
特急型	50. 2	825
近郊型	51. 5	800
機関車	78.0	1000

3.2 波状摩耗進みを考慮した軌道変位進み予測

ここでは、表3に示す R250 の曲線で年間通トン 1650 万 トンと 1250 万トンの2 つの線区と R400 の曲線で年間通ト ン 1650 万トンの全部で3 つの線区の軌道変位進みについて、 検討した例を紹介する。なお、波状摩耗の波長および波高 の進みについては過去の測定結果^{6),7)}を参考に、R400 の曲線 において波長 100mm で0.2mm/5000 万トン、R250 の曲線にお いて波長 80mm で0.6mm/5000 万トンとし、特急型および近 郊型車両の軸重を10 トン、機関車および貨車を15 トンと して通トンを換算した。

表3 軌道条件と輸送条件

	車種	特急型	近郊型	機関車
曲線走行	R400	100	80	70
速度(km/h)	R250	80	15	45
年間通トン に対する	1650 万 トン	65	65	45
分担率(%)	1250 万トン	55	20	10

初期条件の波状摩耗の波高を0.1mmとし、通トンに応じ て波高が大きくなる場合の道床沈下の様子を時系列的に図 4に示す。図より、道床沈下の大きいところの沈下速度は 徐々に増大している。ただし、一方的に沈下が進むのでは なく通過する車両の速度と荷重の影響で、同じ R250 の曲線 でも沈下の傾向が異なることが理解できる。また、R250 と R400 の曲線では波状摩耗の波高の進みも異なるが、沈下の 傾向が大きく異なり、R400 の沈下進みは R250 の曲線の約 50%となった。

さらに、この波状摩耗区間(まくらぎ位置0~10)の平均 沈下量と通トンとの関係を図5に示す。この平均沈下量は、 有道床軌道設計標準(案)¹⁾に示されている軌道沈下量と 軌道変位の関係を参考にすると、軌道変位の標準偏差の6 倍となる。図より、R250では通トン2000万トンを超えると 急激に平均沈下量が増大している様子がわかる。また、R250 の2つのケーススタディにおいて、静止輪重は小さいが走 行速度の速い特急型と近郊型の分担率が大きい年間通トン 1250万トンの線区が同1650万トンの線区より、平均沈下量 の進みつまり軌道道変位進みが少々大きい結果となった。





4. 波状摩耗の削正効果

波状摩耗をレール削正により平滑化する場合の軌道変位 抑制効果を検討した結果を紹介する。図 5 における通トン 2200 万トンを超えた時点でレール削正を実施した場合の道 床沈下量の変化を図 6 に、また軌道変位進みを図 7 に示す。

図 6 より、レール削正により道床沈下の変化が大幅に小 さくなったことが分かる。また、図 7 より、平均沈下量の 進みでみる軌道変位進みも大幅に改善されたことが分かる。



特に図5と比較すると、図5においては通トン2000万トン 以上で平均沈下量の進みが急激に大きくなるのに対して、 図7においては通トン2000万トン以上で沈下量の進みが緩 やかになり、レール削正の効果が非常に大きいことが分か る。ただし、レール削正の効果は、当然、削正作業の品質 に依存する。ここでは、レール削正によりレール面が完全 に平滑化されると仮定したが、実務上はある程度の残留凹 凸を考慮することが考えられる。その残留凹凸をどの程度 にするかを検討する場合も本稿で紹介したような手法が有 効であると考えられる。

一方、レール削正ではなくつき固めにより、波状摩耗発 生区間において生じた道床沈下を修正した場合を図8に示 す。図より、レール削正と同時期の通トン2200万トンを越 えた時点でつき固めをした場合、平均沈下量をあるレベル に戻すものの、波状摩耗はその大きさがさらに成長するた め、再び急激に道床沈下を続けることが理解できる。した がって、軌道変位進みを改善するためには、レール削正に より波状摩耗を除去することが効果的であり、つき固めを 行う場合、同時にレール削正も行うことが望ましい。





図8 平均沈下量におけるつき固め効果

5. おわりに

本稿では、JR線で最も多く発生し保守上大きな問題となっている急曲線内軌波状摩耗について、軌道沈下予測モデルを用いて、その波状摩耗をレール削正により平滑化することによる軌道沈下抑制効果とつき固めによる軌道保守効果を評価した。本稿が波状摩耗による軌道変位進みと波状 摩耗削正による軌道沈下抑制効果について、軌道保守関係 者の皆様の理解を深めるためにお役に立てれば幸いである。

参考文献

 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造[有道床軌道](案),鉄道総合技術研究所, 1997
2)石田誠,内田雅夫,小野重亮:軌道動的モデルによる軌 道狂い経時変化予測,鉄道力学論文集,第4号, pp.13-18,2000

 小野重亮,石田誠,内田雅夫:軌道動的応答解析による 軌道狂い進みのモデル化,第7回鉄道技術連合シンポジウム (J-Rai12000)講演論文集,pp.175-178,2000

4) 石田誠, 鈴木貴洋: 軌道動的応答モデルを用いた軌道沈 下予測,日本鉄道施設協会誌, 43-5 pp. 33-36, 2003

5) 石田誠, 鈴木貴洋: 軌道動的応答モデルを用いた軌道沈 下予測モデル, 第 10 回鉄道技術連合シンポジウム (J-Rai12003)講演論文集, pp. 177-180, 2003

6) 石田誠,本卓也:急曲線内軌波状摩耗の発生原因,新線路,53-6 pp.27-29,1999

7) 石田誠:JR 線における波状摩耗の実況,鉄道車両と技術,96, pp. 34-40, 2004