

外軌波状摩耗が発生しているトンネル内急曲線軌道の衝撃加振試験

鉄道総合技術研究所 正会員 ○田中 博文
 鉄道総合技術研究所 正会員 南木 聡明
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 輪田 朝亮

1. はじめに

急曲線内軌の頭頂面に、波長数～十数cm程度の波状摩耗が発生することは広く知られている。これに対し、曲線外軌のゲージコーナーに発生する波長数十cm程度の波状摩耗が、稀な事例として報告されている¹⁾。この度JR東日本管内において、急曲線とトンネルが重なる区間のみで、外軌レールのゲージコーナー部に発生する波長30cm程度の波状摩耗が確認された。この波状摩耗は、円曲線中では顕著であるが、緩和曲線に入ると次第にその振幅が小さくなり、直線では完全に消えていたことから、横圧が発生原因の一因であると考えられる。しかしながら、曲線中であっても明かり区間では見られないことから、横圧だけではその発生メカニズムは説明できない。

そこで、本研究では、外軌波状摩耗が発生している区間の軌道振動特性に着目し、同一曲線におけるトンネル内と明かり区間、それぞれにおいて衝撃加振試験を実施し、アクセラランスを比較することによって、外軌波状摩耗の発生の有無と軌道の振動特性について調査を行った。

2. 衝撃加振試験の概要

衝撃加振試験は、図1に示すように外軌波状摩耗が発生しているトンネル内と、同じ曲線内で発生していない明かり区間の2測線で実施した。なお、試験測線は、継目の影響をできる限り受けないように、それぞれ継目間の中央に設定した。図2に、加速度ピックアップの取付け位置を示す。加速度ピックアップは、左右レールの絶縁を確保するためにベークライトの台座を介して、内外軌のレール（頭側部フィールドコーナー側）、PCまくらぎ（端部）およびトンネル側壁（レールレベル）に、それぞれ上下用と左右用の各2個を取付けた。なお、加速度ピックアップは、レール用としてRION社製PV-94、まくらぎおよび側壁用として同じくPV-86を用い、チャージアンプはRION社製のUV-06を用いた。

衝撃加振に用いたインパルスハンマーは、PCB社製086D50型（大ハンマー）を用い、打撃チップは可能な限り高い周波数を評価するためハードタイプとした。インパルスハンマーの加振点は、加速度ピックアップ

を取付けた位置から、まくらぎ1本移動した締結装置直上とし、レール頭頂部（レール上下）、およびレール頭側部（レール左右）の加振を行った。

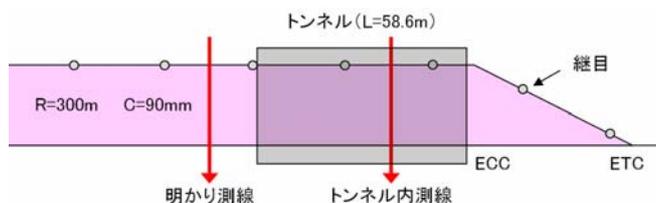


図1 試験測線の位置関係

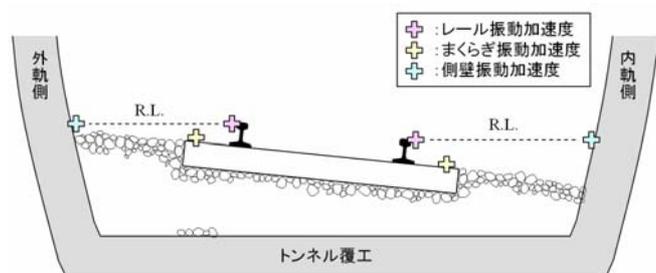


図2 加速度ピックアップの取付け位置（トンネル内）

3. 衝撃加振試験のデータ分析方法

測定データは、SONY社製のデジタルデータレコーダーSIR3100T+3032iを用いて24kHzで収録し、パソコン上で信号処理ソフトによって周波数分析を行った。周波数分析時のFFT次数は8192次、ウィンドウ関数はBOX、データ抽出時間は0.4秒とした。まず、各々の加振点に対して10回程度行った打撃のうち、加振力のパワースペクトルが安定している5試番程度を選び、加振力のパワースペクトルおよびアクセラランスの平均を求めた。加振力の単位は[N]、アクセラランスの単位は[(m/s²)/N]である。なお、今回対象としているのがゲージコーナーに発生する波状摩耗であり、完全に上下・左右の振動現象を分離できないと想定されたことから、加振方向に対する直角方向の応答についても分析を行い、クロスアクセラランスとして、評価を行っている。同じく単位は[(m/s²)/N]である。

3. 衝撃加振試験結果

(1) アクセラランス

図3に、一例として外軌レールを上下加振した際のアクセラランスを示す。上下加振した際には、明かり

キーワード：波状摩耗，トンネル，外軌，ゲージコーナー，衝撃加振試験，アクセラランス

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 軌道管理 TEL042-573-7278

区間のレールでは 40~100Hz の帯域において平坦になっている。一方、トンネル内では側壁も含めて 50~90Hz にゆるやかなピークが見られ、レールでは明かり区間よりもアクセラランスが大きくなっている。つまり、この周波数帯においては、トンネル内の方が単位荷重あたりの振動が卓越していることを示している。

なお、波長 30cm の波状摩耗上を列車が 60km/h (当該線区の半径 300m の通過速度) で走行した場合、約 55Hz の輪重・横圧変動が生じる。また、車両と軌道の相互作用によって生じるばね下質量 (輪軸の質量) の上下方向の固有振動数は 60Hz 程度と言われており、両者の周波数に近いことから、軌道とばね下質量の固有振動数が相互に干渉していることが想定される。

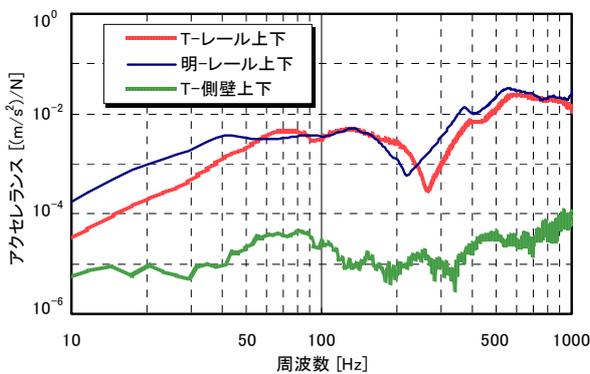


図3 外軌レール上下加振時のアクセラランス

(2) アクセラランスのレベル差

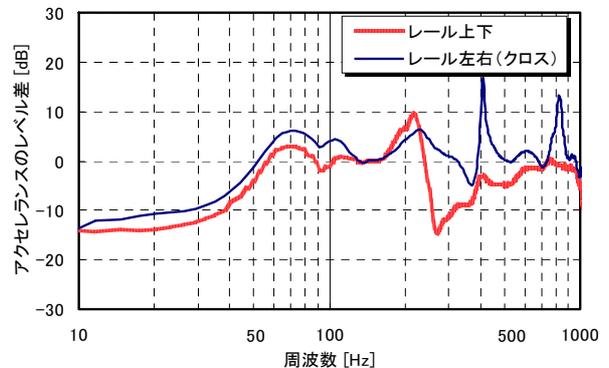
トンネル内と明かり区間の振動特性の差を定量的に評価するために、アクセラランスのレベル差を求めた。トンネル内と明かり区間のアクセラランスのレベル差は式(1)で定義し、レベル差が正のときはトンネル内のアクセラランスの方が大きく、負のときは明かり区間のアクセラランスの方が大きいことを示す。

$$\Delta L_{A(T/O)} = 20 \log \left(\frac{A_{Tunnel}(f)}{A_{Open}(f)} \right) \quad (1)$$

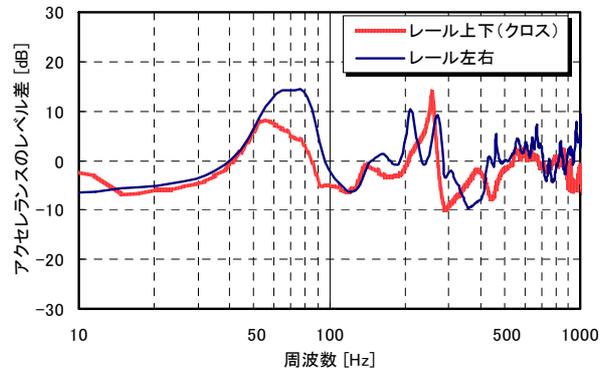
ここで、 $\Delta L_{A(T/O)}$: トンネル内と明かり区間のアクセラランスのレベル差[dB], $A_{Tunnel}(f)$: トンネル内のアクセラランス[(m/s²)/N], $A_{Open}(f)$: 明かり区間のアクセラランス[(m/s²)/N]

図4に、外軌レールを加振した際のアクセラランスのレベル差を示す。外軌波状摩耗の波長に相当する 60Hz 付近の帯域は、レベル差が正になっていることから、明かり区間と比較してトンネル内の方が上下方向、左右方向ともにアクセラランスが大きいことがわかる。特に、左右加振した場合はこの傾向が顕著であり、上下方向(クロス)では 8dB 程度、左右方向では 14dB 程度大きくなっている。一方で、内軌波状摩耗の波長に相当する 120Hz 付近の帯域に着目すると、上下加振、

左右加振共に、トンネル内と明かり区間のアクセラランスに大きな差はないことがわかる。このことは、外軌波状摩耗はトンネル内のみ、内軌波状摩耗はトンネル内、明かり区間にかかわらず発生していることと合致している。



(a) 上下加振



(b) 左右加振

図4 外軌レール加振時のアクセラランスのレベル差 (トンネル/明かり区間)

4. おわりに

急曲線とトンネルが重なる区間の外軌レールのゲージコーナに発生する特異な波状摩耗の発生メカニズムを解明するために、軌道の振動特性に着目し、衝撃加振試験を行った。その結果、明かり区間と比較して、トンネル内の特定の周波数帯のアクセラランスが大きくなっており、単位荷重あたりの振動が卓越していること確認した。また、その周波数帯は、外軌波状摩耗上を列車が通過した際の輪重・横圧変動の周波数に近いことを確認した。よって、トンネル内の特異な振動特性が、波状摩耗の発生に寄与していると想定される。なお、列車走行時の振動とトンネル内軌道の固有振動による複雑な干渉メカニズムについては、別途報告する予定である。

参考文献

1) 西本正人: JR 四国におけるレール波状摩耗の発生と軸箱振動加速度の測定, 新線路, Vol.49, No.5, pp.22-24, 1995.