

転動音における軌道・車両に係わるパラメータの影響に関する検討

環境工学研究部 騒音解析
主任研究員 北川敏樹

1. はじめに

平成7年12月、当時の環境庁から「在来鉄道の新設又は大規模改良に際しての騒音対策の指針について」が都道府県に通知された。これは、新線および大規模改良線を対象に環境変化による騒音問題の未然防止を主眼とした指針である。しかし、近年では、社会的要求などから、既設線も含めて良好な地域環境に配慮した在来鉄道の整備を行うことが重要な課題になってきている。鉄道騒音は、軌道や車両を構成する様々な要素から発生する。日本の在来鉄道において、一般的な平地直線区間を電車が走行する場合、その騒音は主に主電動機ファン音と転動音から構成される。転動音は、車輪・レール面上の凹凸により両者の間に相対的な変位を生じ、その変位によって車輪とレールが振動することによって発生する。

(図1)。また、主電動機ファン音は、駆動モータを冷却するためのファンから発生する空力音である。最新車両では、ファン構造の改良等によって主電動機ファン音は大幅に低減され、指針の評価点である近接側軌道中心から12.5mにおける騒音では、転動音の寄与度が相対的に大きくなっている。本発表では、鉄道騒音を構成する主要素の一つである転動音の特性を整理し、転動音に対して軌道・車両に係わるパラメータの影響について報告する。

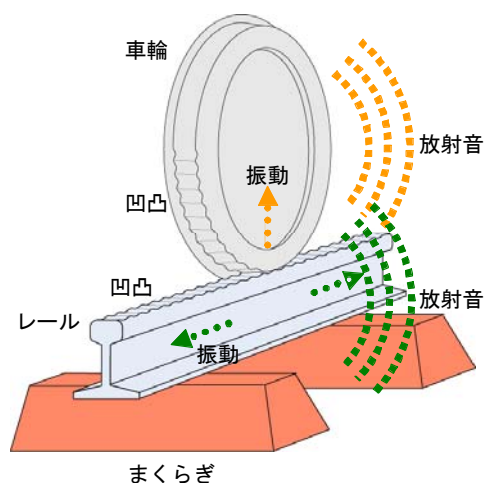


図1 転動音の発生メカニズム

2. 転動音の特性

転動音の大きさを決定する主な要因は、車輪、レールの走行踏面に局所的に存在するミクロンオーダーの凹凸である。転動音に関連する凹凸の波長範囲は、転動音の主成分となる周波数範囲が500~2000Hzであることから、列車速度が50~120km/hの場合、7~70mm程度 ($f=V/\lambda$, f : 周波数、 V : 列車速度、 λ : 凹凸成分の波長) であり、その振幅は0.1~100 μ m程度の成分である。

図2は、同一区間で、異なる時期において、車輪とレールの凹凸分布を足し合わせた結果の変化量と付随車の騒音を比較したものである。レール頭頂面、車輪踏面上の凹凸振幅は、変位プローブを直接表面に押し当てて測定した。付随車は主電動機等の駆動装置を装備していないので、その騒音は主に転動音で構成される。車輪とレールの凹凸分布は、列車速度を使って単位を波長から周波数に変換し、1/3 オクターブバンドごとにまとめた。全周波数域において、車輪・レール凹凸分布における変化の傾向が騒音にほぼ反映されている。測定区間、車両形式が同じであるため、この結果は転動音におけるレール・車輪凹

凸の影響であり、転動音の発生要因の一つが車輪・レールの接触面の凹凸状態であることがわかる。

図3(a)は、営業線12区間におけるレール頭頂面上の平均凹凸分布と最大-最小範囲を示したものである。レール削正による対策を施工している区間と施工していない区間に分けて平均値を算出した。レール削正による対策の有無によって凹凸分布には5dB程度の差が見られる。また、対策、未対策区間ともにレール凹凸のばらつき範囲は±5dB程度である。図3(b)は、営業車両に搭載された約30の車輪についての車輪踏面の平均的な凹凸分布を示したものである。測定結果は車両のブレーキ・踏面制輪子種類から(a)合成制輪子、(b)焼結制輪子、(c)ディスクブレーキ+合成制輪子に分類し、平均値を算出した。3つの結果を比較すると、25mm以上の波長ではディスクブレーキ+合成制輪子の凹凸がやや大きい。転動音に係わる波長範囲(7~70mm)の大部分では3つの凹凸分布はほぼ同等である。また、車輪の凹凸分布のばらつき範囲は、レールにおける結果と同様に±5dB程度であった。転動音に係わる波長範囲において、車輪、レールの凹凸分布を比較すると、レール凹凸が車輪凹凸を上回る。これは、レールに比べて車輪凹凸が良好に管理されていること、転動音の大きさはレール凹凸に支配される傾向が大きいことを示している。

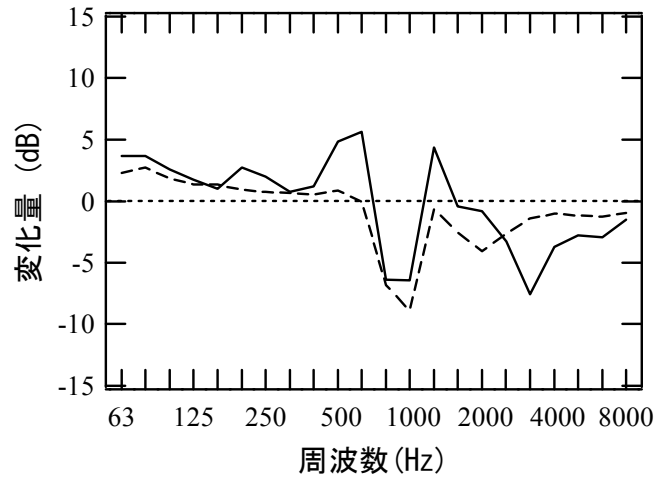
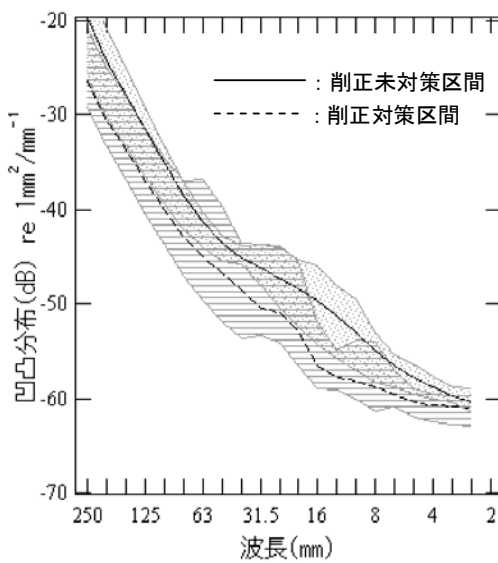
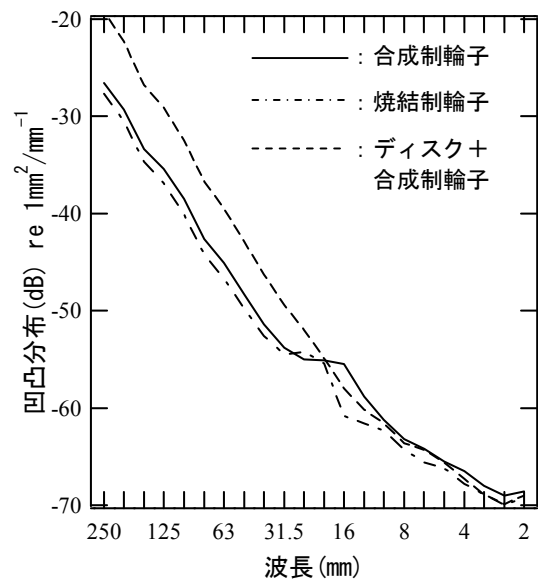


図2 凹凸分布とレール近傍点における騒音の変化(—:付随車の騒音、--:車輪+レールの凹凸、⋯:車両:合成制輪子、85km/h、軌道:バラスト軌道)



(a) レール



(b) 車輪

図3 レール頭頂面、車輪踏面上の凹凸分布

転動音の大きさを決める車輪・レール凹凸以外の要因は軌道・車輪形式である。軌道形式やレール締結装置のバネ定数等は、レールの振動特性に影響を与える。図4は、レールの上下振動に関する距離減衰率を示したものである。軌道形式によってレール振動の距離減衰率は変化し、これは軌道形式がレールに係わる転動音の音源の大きさに影響を与えることを示している。

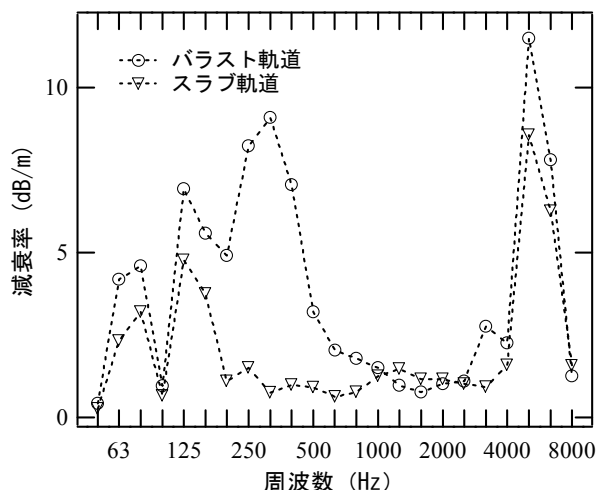


図4 各種軌道形式におけるレール振動の減衰率 (上下方向振動)

3. 転動音における軌道・車両に係わるパラメータの影響

転動音に関する予測・評価を行うために、欧州ではTWINSなどの理論モデルが構築されている¹⁾。TWINSは、転動音の発生メカニズムに基づいて、車輪、レール面上の凹凸や振動特性等を組み合わせて車輪、レールとまくらぎの振動およびそれぞれから放射される音を予測する構造になっている。ここでは、TWINSと同じ構造を持つ転動音の評価法を用いて転動音における軌道・車両に係わるパラメータの影響を検討した。

3. 1 レール・車輪の凹凸と転動音

図5は、図3に示したレール、車輪の凹凸分布から転動音を評価した結果の一例である。レール削正等の対策によってレール凹凸が良好な状態にある区間(条件A、B、C)は、未対策区間に比べて転動音が3~5dB程度低い。また、レール凹凸の状態によって車輪凹凸の管理から見込まれる騒音低減量が異なる。条件A、Cの比較から、レール凹凸に対する管理が良い場合では、現状以上の車輪表面の研削が転動音に対して低減効果を持つことがわかる。これに対し、レール削正を行っていない場合(条件D)、現状以上の車輪凹凸の改善が転動音に与える影響は小さい。ただし、これらの騒音低減量は対策前の軌道・車輪条件に依存し、レール削正等の対策前にレール、車輪の凹凸分布等を調査した上で騒音低減量の評価

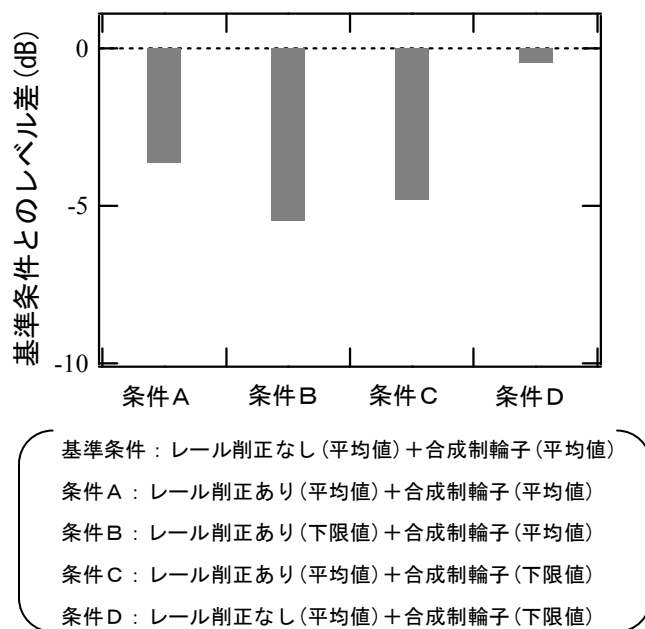
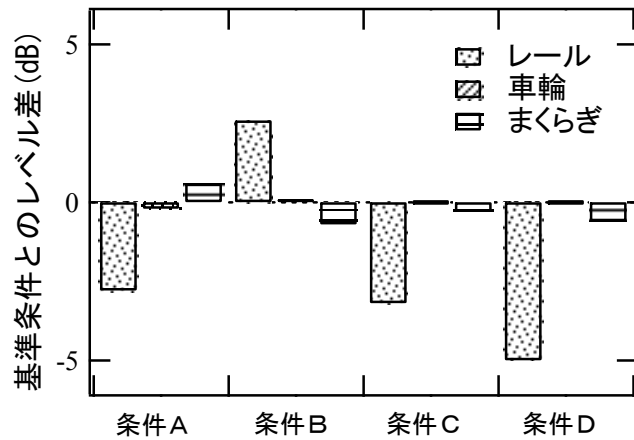


図5 レール・車輪の凹凸と転動音の関係(予測値、レール近傍点、在来鉄道、100km/h、車輪:NA 形波打車輪、軌道:バラスト軌道)

を行う必要がある。

3. 2 軌道に係わるパラメータと転動音の関係

図6は、軌道を構成する部材のうち軌道パッドとレールのパラメータを変化させ、転動音を評価した結果の一例である。軌道パッドのバネ剛性やレールの損失係数によってレール放射音が大きく変化することがわかる。これは、2つのパラメータがレールの距離減衰等に影響を与えるためである。軌道パッドの剛性を大きくすること(条件A)によって、レール放射音は小さくなるが、レール支持機構であるまくらぎからの音が大きくなる。また、軌道パッドの剛性を小さくすること(条件B)はその逆の効果を生じる。レールの損失係数の増大は、レールに対する制振がレール放射音を効果的に減じることがわかる(条件C、D)。これらの結果から、転動音対策として、レール側・底部を樹脂・弾性材等で覆うレールダンパーによってレールの損失係数を大きくすることや、軌道パッドのバネ剛性等から軌道系全体の振動特性を変えることなどの方策が有効であることがわかる。これらは、レールを構成する部材の振動特性(加振点インピーダンス等)に変化を加え、部材自体の振動や部材を伝搬する振動を抑制することに相当する。



基準条件：レール削正なし(平均値)+合成制輪子(平均値)
条件A：軌道パッドのバネ剛性2倍
条件B：軌道パッドのバネ剛性1/2倍
条件C：レールの損失係数5倍
条件D：レールの損失係数10倍

図6 軌道に係わるパラメータと転動音(予測値、レール近傍点、在来鉄道、100km/h、車輪:NA 形波打車輪、軌道:バラスト軌道)

4. おわりに

本発表では、転動音の特性、軌道・車両に係わるパラメータから防止策について整理した。今後、鉄道沿線における騒音低減をさらに進めるためには、より定量的観点から転動音の研究開発を行う必要がある。このためには、車輪・レールからの放射音特性を把握するための測定手法の開発や、精度の高い予測を行うことができる車輪・軌道系の振動・放射音モデルの構築を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) D.J. Thompson, C.J.C. Jones: A review of the modeling of wheel/rail noise generation, Journal of Sound and Vibration, Vol.231, No.3, pp.519-536 (2000).