

高速走行時における車両下部音の音源別寄与度評価

環境工学研究部 騒音解析研究室
室長 北川 敏樹

1. はじめに

新幹線騒音を効果的に低減するためには、音源の位置、その音源が全体音に対して占める寄与を把握することが必要である。新幹線騒音の音源は、発生部位別に (1)集電系音、(2)車両上部空力音、(3)車両下部音、(4)構造物音に分離される(図1)。

(1)、(2)は主に鉄道車両が高速で走行する際に問題となる空力音であり、その速度乗則は V^6 である。(3)に関しては、主に転動音と台車まわりの空力音から構成される。また、車両下部音には車両床下機器から発生する音等も含まれるが、車両下部音全体に占める寄与は小さい¹⁾。転動音は、車輪・レール面上の凹凸に起因して発生する加振力により車輪とレールが振動することによって生じる。(4)は、車輪・レール間の相互作用に起因する加振力が軌道を通じてコンクリート高架橋に伝達され、この高架橋が振動し発生する騒音である。これまでの知見から、新幹線の高速走行時では、地上 25m 点における騒音全体に対する(1)と(3)の占める寄与が大きくなる傾向にあることが明らかになっている¹⁾。したがって、今後、新幹線沿線での騒音を低減するためには、(1)と(3)に対する対策を進めていくことが必要である。特に、(3)に関しては、車両下部音全体に対する転動音と台車まわりからの空力音の寄与のそれぞれの割合は明確ではなく、対策のターゲットが明確ではない。

そこで、本報告では、欧州で開発された TWINS モデルの考え方に基づいた転動音予測法を用いて転動音を推定し、実測結果との比較から車両下部音における転動音と空力音の寄与度評価を行う。

2. 転動音予測法による転動音と空力音の分離

2.1 車両下部音の音源分離法の概要

図2は、車両下部音における転動音と空力音の寄与度を評価するためのフローチャートである。車両下部音に対する空力音の寄与が小さいと考えられる200km/h以下の低速走行時において、実測結果と転動音予測法による転動音の評価結果の差から車両機器音の寄与を算出する。ここで、一般的に新幹線に搭載された機器類から生じる騒音の速度依存性が低いことから、車両機器音のパワーは速度に依らず一定であると仮定する。次に、高速走行時において、転動音の評価結果と車両機器音の寄与の和を求め、これと実測結果

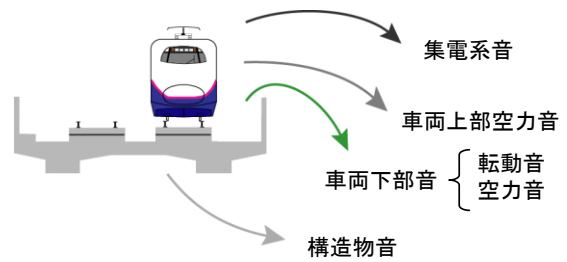


図1 新幹線から発生する主要な騒音

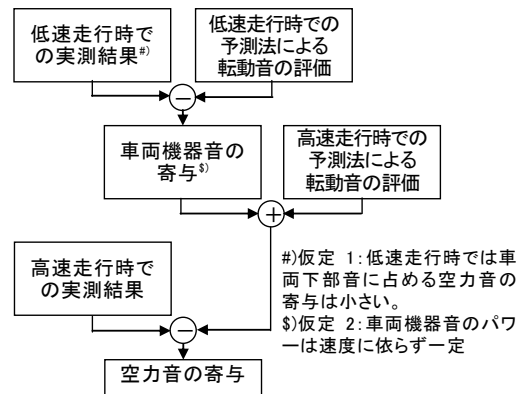


図2 車両下部音に対する音源評価方法 (+、-はパワー和または差を表す)

との差から車両下部音に対する空力音の寄与度を評価する。

2.2 TWINS モデルの概要

転動音に関する評価を行うために、TWINS などの理論モデルが構築されている²⁻³⁾。TWINS モデルは、レール、車輪とまくらぎの振動およびそれらからの放射音を予測する計算モデルである。その計算フローを図3に示す。転動音の発生メカニズムに基づき、車輪踏面およびレール頭頂面上の凹凸に起因した加振力を評価し、この加振力を車輪とレールに作用させ、発生した振動から音を評価する。鉄道総研では、この TWINS モデルでの考え方に基づいた転動音予測法を開発した⁴⁾。

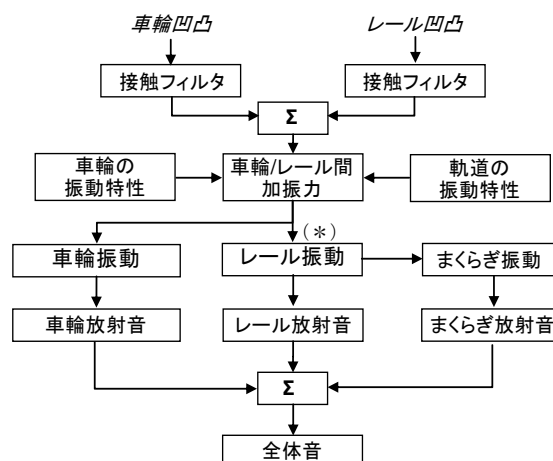


図3 TWINS における計算フロー(*:2.5 節参照)

2.3 試験概要

評価対象とした車両は、高速試験用新幹線車両である。この新幹線車両では、空力音を低減するために車両表面の平滑化が行われ、車両間隙部には全周ホロが設置されるなどの対策が行われている。また、この新幹線車両に対して騒音・振動測定を行った試験区間における地上条件を以下に示す。

- 軌道条件 スラブ軌道，60 kg レール，レール締結装置：直結 8 型
 - 構造物条件 コンクリート高架橋 (GL-RL：9 m)，防音壁：直立型 (RL+1.84 m)
- 試験区間における測定項目を以下に整理する。
- レール振動 測定位置：レール底部，測定方向：上下方向
 - レール近傍音 測定位置：近接側レールから 2m 離れ，レールレベルから+0.4m 高さ

2.4 車輪・軌道に関するパラメータの整理

予測法に必要な入力パラメータのうち、車輪／軌道の振動特性を以下で整理する。

- (1) 車輪 新幹線で使用されている C 形圧延車輪を対象とした。この車輪に対する衝撃加振試験を行い、その振動特性を評価した。また、C 形圧延車輪の有限要素モデルを構成し、有限要素法を用いてモード解析を行い、その結果とモード重合法を用いて車輪の振動応答を評価した。図4は、車輪タイヤ部を径方向に加振した場合における加振点での振動特性（アクセラランス $\alpha = a/F$ ($m/s^2/N$), a : 加速度 (m/s^2), F : 力(N)) である。実験結果と計算結果の傾向はほぼ一致する。
- (2) 軌道 軌道を、レールを模擬する無限長の Timoshenko 梁とバネ-マス-バネ系から成る支持体でモデル化した²⁻³⁾。この支持体は、軌道パッド、スラブとスラブマットに対応する。スラブ軌道では、スラブ版をレール締結間隔で切れたマスとして扱う。試験区間の軌道に対する衝撃加振試験の結果を参照し、軌道パッドのバネ剛性等のパラメータを決定した。図5は、衝撃加振試験と軌道モデルから得られた軌道の振動特性（加振点におけるアクセラランス）である。実測結果と計算結果が示す傾向はほぼ一致する。

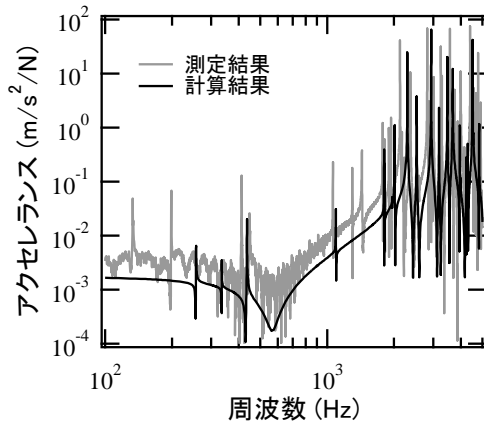


図4 車輪の振動特性(径方向加振, 径方向応答, C形圧延車輪)

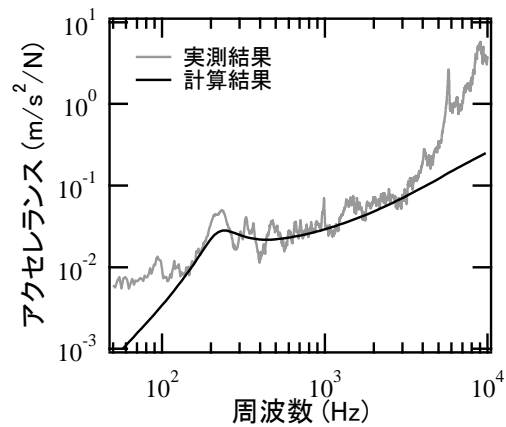


図5 加振点における軌道の振動特性(上下方向加振, 上下方向応答)

2.5 レール振動の実測値を用いた転動音評価

予測法に必要な入力パラメータのうち、評価対象の列車における車輪凹凸を測定することができなかった。そこで、転動音予測法を用いてレール振動・騒音（レール近傍音）間の伝達関数を求め、この結果をレール振動の実測結果に適用して転動音を評価する。この方法は、図3で、レール振動の実測結果から*印の矢印を反対に辿ることによって加振力を逆に推定し、次にこの加振力から生じる車輪とレールの振動、放射音を評価することに相当する。

図6は、160km/h 走行時におけるレール近傍音の実測結果と転動音の評価結果を比較したものである。1000Hz以上の周波数域では、転動音の評価結果と実測結果は一致する。しかし、800Hz以下に2つの結果に差が現れ、この差が車両機器音の寄与に対応する。

図7は、転動音と車両機器音の寄与を足し合わせた結果とレール近傍音の実測結果を比較したものである。315km/h 走行時の場合、1600Hz以下の周波数域において、レール近傍音と「転動音+車両機器音」に差が生じ、この周波数域において顕著な空力音が発生する。335km/h以上で走行する場合には、この差を生じる周波数の上限は3150Hzにまで上昇し、1600Hz以下での差も大きくなる傾向にあり、車両下部音の大部分を空力音の寄与が占める。

レール近傍音の実測結果と転動音の評価結果のパワー差から周波数バンドごとに空力音の寄与度を決定し、そのOA値を求めることにより転動音と空力音の寄与率を求める。ただし、周波数バンドによっては転動音がレール近傍音を上回ってしまうような場合（例えば図7(a)の6.3kHzバンド）もあったので、このような周波数バンドにおいては「転動音=レール近傍音」とした。計算結果を図8に示す。275km/h 走行時はレール近傍音全体の大部分を転動音が占める。速度が高くなると、レール近傍音全体に対する転動音の寄与率が減り、空力音の寄与が大きくなる傾向

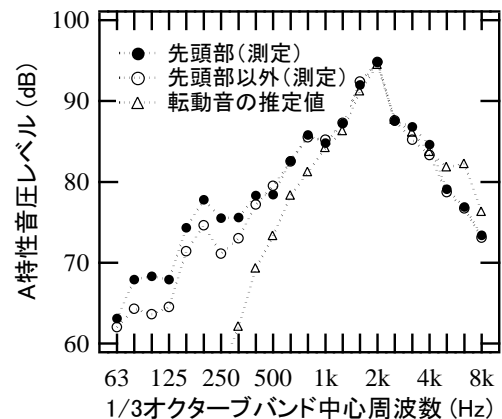


図6 レール近傍点での実測結果と転動音の評価結果(160km/h)

にある。335km/h 以上で走行する場合には、空力音がレール近傍音全体に対して 50%以上の寄与を占める。

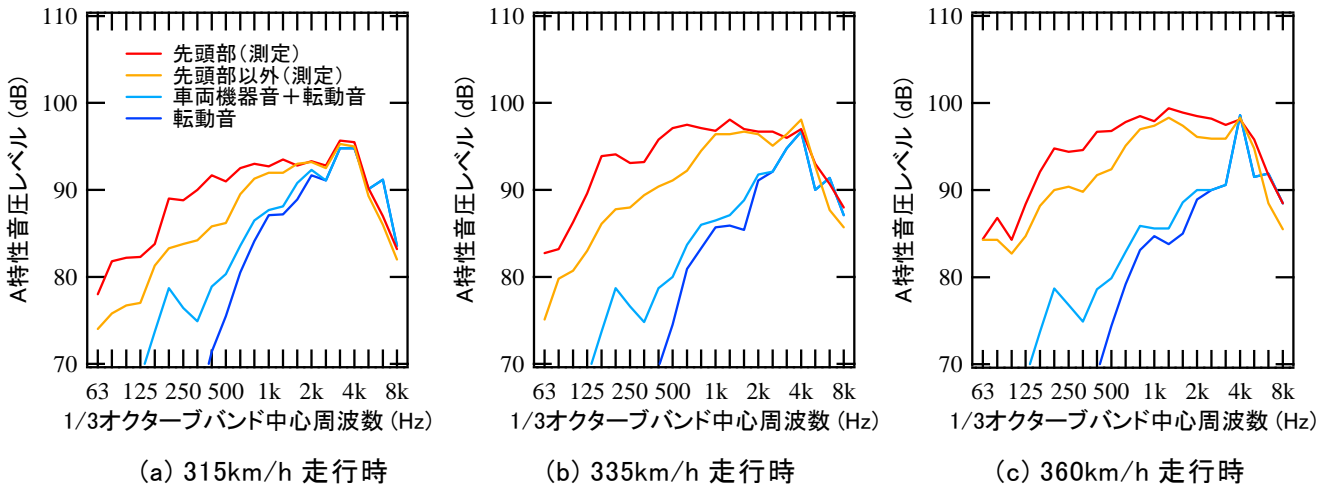


図7 車両下部音における音源別寄与度(レール近傍音)

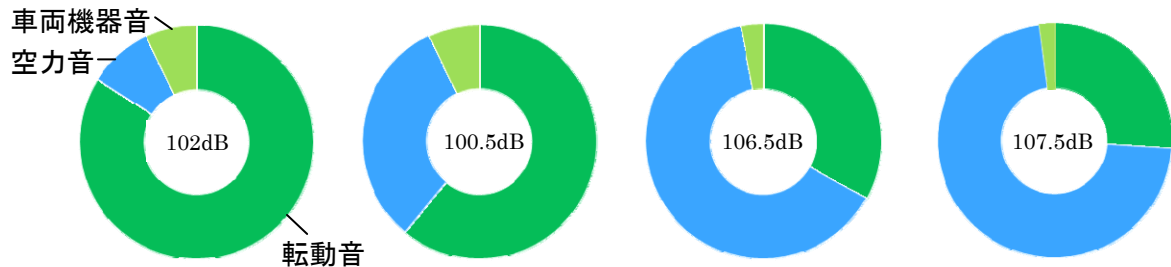


図8 レール近傍音に占める転動音と空力音の寄与率(レール近傍点、中央の数字は OA 値、各音源のエネルギー比)

3. まとめ

走行試験による実測結果と転動音予測法を用いて、新幹線の車両下部音における転動音と空力音の寄与度の推定を行った。その結果を以下に整理する。

- (1) 315km/h 以下で列車が走行する場合、1600Hz 以下の周波数域において空力音が発生するが、車両下部音に対して大きな影響を与える音源は転動音である。
- (2) 335km/h 以上の速度では、空力音が発生する上限周波数は 3150Hz まで高くなる傾向を示し、また車両下部音全体に対する空力音の寄与率は 50%以上を占める。

参考文献

- (1) 長倉清, 善田康雄: 新幹線沿線騒音予測手法, 鉄道総研報告, Vol.14, No.9, pp.5-10, 2000.
- (2) Thompson, D.J., Jones, C.J.C., A review of the modelling of wheel/rail noise generation, *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 231 (3), (2000), pp. 519-536.
- (3) Thompson, D.J., *Railway noise and vibration*, (2009), Elsevier Science.
- (4) 北川敏樹: 転動音の特性と軌道・車両に係わるパラメータの影響, Vol.22, No.5, 2008.