

開床式鋼橋の音源寄与度解析と対策

材料技術研究部 防振材料

主任研究員 半坂征則

1. はじめに

鉄道構造物の中で開床式鋼橋(レールを桁が直接、あるいは、まくらぎを介して支持する形式)は、コンクリート高架橋などの他の構造物と比べても車両走行に伴い発生する騒音が概して大きいことが知られている。この理由として、開床式鋼橋では桁部材の振動により大きな構造物騒音が発生することに加えて、その構造物騒音および車輪／レール間で発生する転動騒音が途中遮られずに沿線に伝搬されることが挙げられる¹⁾。また、開床式鋼橋では、上述のように発生した騒音は遮られずに伝搬されるため、転動騒音と構造物騒音の2大音源が沿線のどの受音点に対しても寄与を有する。そのうえ、構造物騒音について多数の部材からの寄与が合成されるなど、開床式鋼橋では複雑な音源状況となっている。こうした開床式鋼橋に対して有効な騒音低減対策を講じるためには、各音源の特性および受音点における騒音との関係を明らかにすることが重要である。そこで、開床式鋼橋について転動騒音と構造物騒音の寄与を分離したうえで、構造物騒音について部材ごとの寄与度を解析する手法を導いた。これにより、開床式鋼橋についてどの音源の寄与が大きく優先的に対策すべきかなど効率的な騒音対策を進めるうえでの目安を与えることを可能にした。本発表では、導出した解析の方法と結果、および解析に必要なデータとして測定した対象鋼橋の振動加速度および騒音のレベル値について概説する。

また、この解析の結果に基づき導かれた開床式鋼橋の有効な騒音対策のための考え方について本稿で解説するとともに、具体的な騒音対策事例について最近の事例を中心に口頭で紹介する。

2. 鋼橋の音源寄与度解析¹⁾

2.1 解析のモデルと仮定

導出した手法について、図1に示す鋼橋を例に説明する。同橋は在来線電化複線区間に架設されている開床式下路トラス橋である。同橋において車両走行時の主な音源として、(a)車輪／レール間騒音、(b)車両機器騒音、(c)まくらぎからの放射音、(d)構造物騒音などが考えられる。このうち構造物騒音に関して、縦桁、横桁、下弦材、ラテラルおよび垂直材・斜材などの主要部材からの寄与が考えられる。一方、車両機器騒音に関しては、解析の対象とした車両が同騒音の小さいタイプであることなどを考慮して、車輪／レール間騒音に含めて考えることとした。そして、この車輪／レール間騒音とまくらぎの放射音をまとめて転動騒音として扱うこととした。

次に、音源パワーについては以下の近似手法により求めた。鉄道では列車走行に伴い線路に沿って列車長の範囲で連続的に騒音が発生するため、音源について1次元の線状で一様な音源(有限長線音源)とみなす。本解析では転動騒音の中心位置は受音点に近接する側の軌道(以下、近接側軌道と称する)中心-レールレベルの位置とした。また、構造物騒音(全体)については、水平方向に関して近接側軌道中心、鉛直方向に関して縦桁高さの1/2の位置を中心位置とした。これらの音源位置と受音点までの騒音伝搬経路のモデルを図2に示す。

本解析の具体的手順としては、まず、転動騒音と構造物騒音(全体)について音源パワーを推定

し、次に、構造物騒音について主要5部材から放射される構造物騒音の音源パワー、転動騒音について車輪/レール間騒音パワーとまくらぎからの放射音パワーを解析した。

2.2 転動騒音と構造物騒音の音源分離

以下に、転動騒音と構造物騒音(全体)の音源パワーの推定(音源分離)方法について示す。この推定には、音源パワーレベルと受信点で計測される騒音レベルの関係式を用いる。各音源で発生しそこから受信点に伝搬される騒音レベル(以下、音源別騒音レベル)は、次式で与えられる。

$$L_{pij} = L_{wj} + \Delta L_{ij} \quad (1)$$

$$\Delta L_{ij} = -8 + 10 \log[2/r_{ij} \tan^{-1}(\ell/2r_{ij})] + \Delta L_{dij} \quad (2)$$

ここに、 L_{pij} は音源別騒音レベル(dB)、 L_{wj} は線路方向単位長さ当たりの線音源パワーレベル(dB)、 r_{ij} は音源 j 中心-受信点 i 間距離(m)、 ℓ は列車長、 ΔL_{dij} は音響伝搬経路において障害が存在することなどによる減音量($\Delta L_{dij} < 0$)である。ここで、 ΔL_{ij} は図面や文献²⁾等で与えられる既知量となる。

受信点 $i(i=1,2)$ における全体の騒音レベルを L_{pi} とすると、 L_{pi} は次式のように L_{pi1} と L_{pi2} をパワー合成して与えられる。

$$10^{L_{pi}/10} = 10^{L_{pi1}/10} + 10^{L_{pi2}/10} \quad (3)$$

式(3)に式(1)を代入し、右辺を変形・整理すると、次の連立2元方程式が導かれる。

$$\begin{bmatrix} 10^{L_{p1}/10} \\ 10^{L_{p2}/10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10^{\Delta L_{11}} & 10^{\Delta L_{12}} \\ 10^{\Delta L_{21}} & 10^{\Delta L_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

ただし、 $x_j = 10^{L_{wj}/10}$ ($j=1,2$)である。

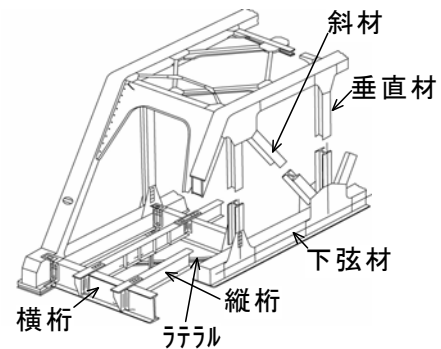
式(4)左辺の L_{p1} および L_{p2} に位置の異なる2受信点による騒音実測値を適用したうえで式(4)を解くと、転動騒音のパワーレベル L_{w1} と構造物騒音全体のパワーレベル L_{w2} が求められる。

2.3 各部材からの放射音(構造物騒音)パワーの推定

次に、主要各部材ごとの構造物騒音パワーを推定する。部材 k の線路方向単位長さ当たりの音響放射面積(ほぼ、部材表面積と同一とみなせる)を S_k (m)、振動速度実効値を \bar{v}_k (m/s)とすると、放射音のパワー W_k (W/m)は近似的に次式で与えられる。



(a) 外観



(b) 構造

図1 対象鋼橋例(開床式下路トラス橋)

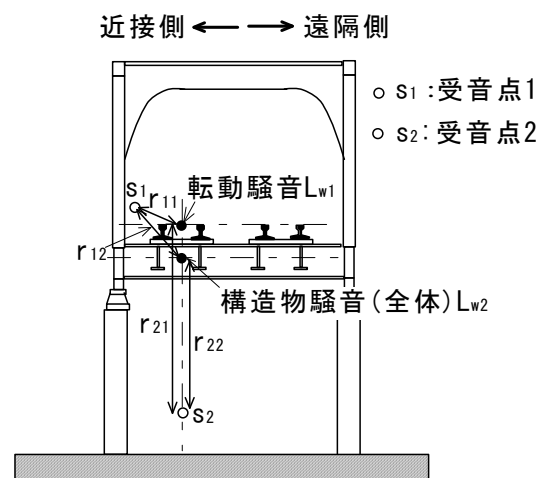


図2 音響伝搬モデル

$$W_k = \sigma \rho c \bar{v}_k^2 S_k \quad (5)$$

ここに、 σ は音響放射効率と称される振動から音への変換効率を示す。また、 ρ は空気の密度(室温で約 1.2kg/m^3)、 c は音速(室温で約 340m/s)である。 σ は各部材間で大きな差異がないとみなして同一の値とする。

各部材の音響放射面積は図面により読みとれる。また、振動速度については実測値を適用する。したがって、先に求めた構造物騒音全体の音源パワーを式(5)に基づき音響放射面積と振動速度の大きさに応じて分配することにより、各部材からの放射音(構造物騒音)の音源パワーが推定される。

また、まくらぎについても音響放射効率は桁部材なみと仮定したうえで式(5)によりそこからの放射音パワーを推定する。この値を前項で求めた転動騒音の音源パワーから差し引くことにより、車輪/レール間騒音の音源パワーが求められる。

2.4 沿線受音点における音源別騒音レベルの計算

以上の計算により、転動騒音および主要各部材ごとの構造物騒音の音源パワーレベルが求められる。これらの値を、受音点 i について沿線受音点(本解析では 12.5m 点)とした式(1)に適用すると、沿線受音点における音源別騒音レベルが求められる。

2.5 計算結果

表1に、対象鋼橋について計算した各音源の音源パワーレベルおよび 12.5m 点(近接側軌道中心から 12.5m 距離で高さが地上 1.2m の受音点)における音源別騒音レベルを示す。また、図3に 12.5m 点における音源別騒音レベルを示す。

このように、 12.5m 点における騒音レベルの計算値と実測値はやや差異を示すが、過去の研究事例において認められる鉄道騒音に関する大きなばらつきを考慮すると、予測の精度は許容範囲内と考えられる。表1および図3より、次のことが考察される。まず、縦桁による構造物騒音

表1 音源パワーレベルと音源別騒音レベルの計算結果
(列車速度 $105\sim 110\text{km/h}$ ・近接側軌道走行時)

音源		音源パワー レベル(dB)	12.5m 点騒音 レベル(dB)
車輪/レール間騒音		108.6	94.0
まくらぎ		98.9	84.3
構造物 騒音	縦桁	109.6	95.0
	横桁	102.4	87.8
	下弦材	103.0	88.4
	ラテラル	106.9	92.4
	斜材+垂直材	98.9	84.4
	合計	112.7	98.1
全体音計算値		—	99.7
全体音実測値		—	96.1

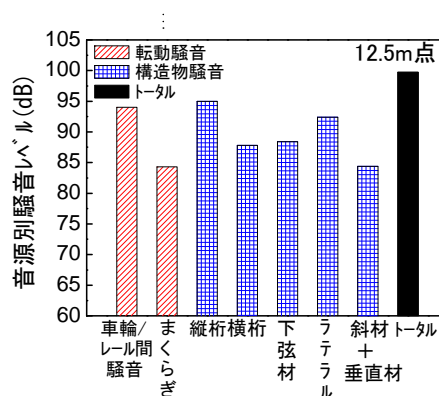


図3 12.5m 点における音源別騒音レベル

について、音源パワーレベル、12.5m点騒音レベルともに最大であることが認められた。したがって、本鋼橋では縦桁に対する対策が重要と考えられる。その他の音源については、車輪／レール間騒音、ラテラル、下弦材、横桁による構造物騒音の順に寄与が大きく対策の優先度が高いものと考えられる。その一方で、斜材および垂直材による構造物騒音の音源パワーおよび寄与は他の音源に比べると小さく、これらの部材に対する対策の優先度は低いものと考えられる。

3. 騒音対策に関する考え方

前章で示したように、開床式下路トラス橋では縦桁の構造物騒音対策が最も重要で、次いで車輪／レール間騒音、ラテラル、下弦材の構造物騒音に対する対策などが高い優先度を有することが推察された。これを一般の鋼橋で考えると、開床式鋼橋では縦桁や主桁等車両荷重を直接支持する桁を軸とした構造物騒音対策と車輪／レール間騒音を中心とした転動騒音対策が重要であるという考え方が導かれる。この観点から開床式鋼橋に対して従来実施・検討されてきた、あるいは、今後想定される対策手法を整理すると次のようになる。

1) 転動騒音対策

この種類に属する対策には次のようなものが挙げられる。単純に転動騒音の低減効果のみを有する対策として防音壁、車輪／レール間で発生する加振力を小さくする効果も含む対策として車輪踏面やレール頭頂面の削正、ロングレール化などが挙げられる。

2) 構造物騒音対策

この種類に属する対策には次のようなものが挙げられる。橋まくらぎパッドなどの桁部材の防振、制振材による桁部材の制振、桁カバー等による遮音、吸音材による吸音などである。

これらの対策の関係を図示すると図4のとおりとなる。具体的な対策事例については、最近のものを中心に口頭で述べるが、ここで示した対策は、例えば、街中で架設されている小規模な鋼橋の中には強風に対する耐力が不足している等の理由から防音壁を設置できないものが多いなど、開床式鋼橋に適用するうえで大きな課題を抱えるものが多い。したがって、開床式鋼橋に対してより有効な騒音対策を開発することが現在も強く求められている。

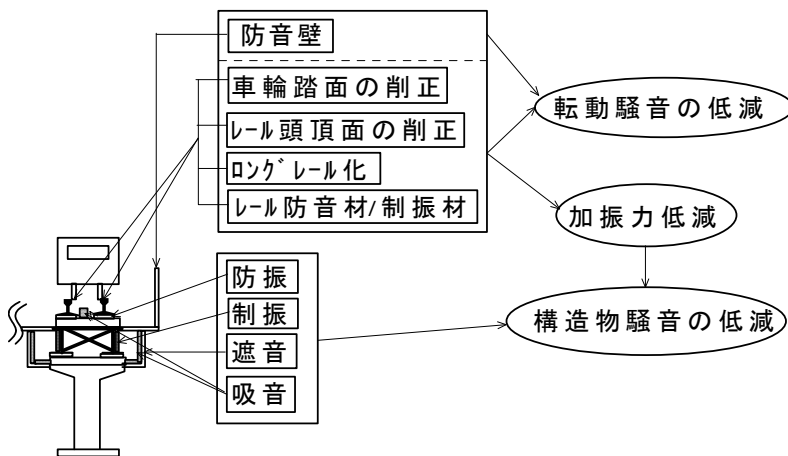


図4 開床式鋼橋の騒音対策の考え方

文献

- 1) 半坂征則，杉本一郎，長倉清，間々田祥吾：鋼構造物騒音の部材ごとの寄与度解析および対策材料の検討，鉄道総研報告，Vol. 21, No. 2, pp. 21-26, 2007
- 1) 北川敏樹，長倉清，緒方正剛：在来鉄道における騒音予測手法，鉄道総研報告，Vol. 12, No. 12, pp. 41-46, 1998