

# 軌道と床版をフローティング構造にしたサイレント鋼鉄道橋の開発

鉄道力学研究部 構造力学  
研究員 渡辺勉

## 1. はじめに

鋼製の鉄道橋梁（以下、鋼鉄道橋）は、古くから多数の建設実績がある。鋼鉄道橋を用いる利点としては、鋼材が高強度であるため長スパン化が可能であること、現場架設が容易であること、工場製作により品質管理が容易であることなどが挙げられる。一方で鋼鉄道橋は、部材が薄板構造で振動しやすいため、構造物騒音が大きくなるとの指摘もあり、鉄道橋では都市内での適用が避けられる事例も見られる。

構造物騒音を低減する手法としては、防音壁や床版スラブの設置、音源となるウェブやフランジへの制振材の貼付等、既に様々なものが提案されている。これに加えて、加振源から音源まで振動を伝播しにくくする手法も提案されている<sup>1)</sup>。これらは、車輪/レール間に働く加振力によって発生する振動を、鋼鉄道橋の各部材への伝達経路で遮断する手法である。

このような背景の中、筆者らは、加振源と音源との間の振動の絶縁性能の向上を目的として、軌道と床版を防振材により弾性支持した構造（以下、フローティング構造）を有する低騒音型の鋼鉄道橋（以下、サイレント鋼鉄道橋）を開発した。本研究では、この鋼鉄道橋の構造物騒音低減効果を定量的に評価するために、実物大橋梁模型に対してインパルス加振試験及び列車走行試験を実施した。また、それらの結果を用いて音源解析手法及び騒音予測手法を適用し、営業線における構造物騒音低減効果を推定した。

## 2. サイレント鋼鉄道橋の概要

図1にサイレント鋼鉄道橋の概要を示す。構造形式は、都市内での適用を想定し、架道橋等で採用事例の多い下路桁形式とした。軌道構造には、防振性能に優れたフローティング・ラダー軌道を採用し、さらにその下には横桁上に設置した防振材により弾性支持した鉄筋コンクリート床版（以下、フローティング床版）を構築した。このような構造のサイレント鋼鉄道橋の実物大橋梁模型を鉄道総研内の試験線に架設した。

## 3. 構造物騒音低減効果の確認試験

### 3.1 試験方法

表1に試験ケースを、表2に材料物性値を示す。フローティング構造による構造物騒音低減効果を確認するために、ラダーマクラギおよびコンクリート床版の支持条件を変えて、インパルス加振試験および列車走行試験を行った。走行列車は在来線車両（輪重約4ton）で2両編成である。

### 3.2 騒音低減効果の評価方法

構造物騒音低減効果の評価を行うにあたり、加速度計（リオンPV85）を用いて各部材の振動加速度を計測した。インパルス加振試験ではアクセラランスで評価を行い、列車走行試験では加速度の時刻歴データから振動加速度レベル $L_a$ を求め、式(1)に基づき、1/3オクター

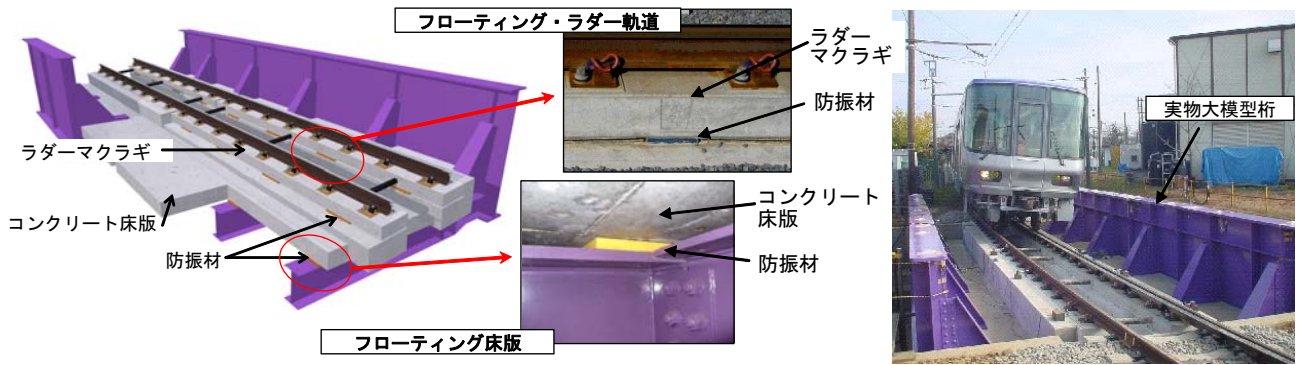


図1 サイレント鋼鉄道橋の概要

ブバンドごとに振動加速度レベルを振動速度レベル $L_v$ に変換して評価を行った<sup>2)</sup>。

$$L_v(f) = L_a(f) - 20 \log(2\pi f) + 46 \quad (1)$$

ここで、 $L_v$  は振動速度レベル(dB)、 $L_a$  は振動加速度レベル(dB)、 $f$ は1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)である。以降の解析結果は、鋼鉄道橋において構造物騒音の主要な音源である主桁ウェブの結果について述べる。

### 3.3 インパルス加振試験結果

図3にインパルスハンマでレール頭頂面を打撃した際の加振力に対する主桁ウェブの周波数応答関数(アクセラランス)を示す。同図に示すように、60Hz付近にピークがあり、剛支持構造のCASE1と比較して、CASE3およびCASE4が低減効果があることがわかる。また、その他の周波数帯でも各ケースで低減効果があるが、その中でもCASE4の低減効果が最も大きかった。

図4に主桁ウェブの振動モード分析結果を示す。アレイ配置した加速度計での測定結果から60Hz付近の振動モードは主桁ウェブの一次モードであることがわかった。

### 3.4 列車走行試験結果

図5に列車通過時(列車速度約40km/h)の主桁ウェブの1/3オクターブバンド振動加速度レベル(A特性補正なし)を示す。同図より、剛支持構造のCASE1に比べて、およそ50Hz以上でCASE2、3、4の低減効果があることがわかる。また、フローティング床版を有するCASE3、4はCASE1でおよそ60Hz付近だったピークが低周波数側へシフトし、フローティング床版の振動遮断効果によりピーク振動加速度レベルも小さくなった。CASE2とCASE4がおよそ150Hz以上の帯域でほぼ同程度の振動加速度レベル、CASE3とCASE4がおよそ100Hz以下の帯域でほぼ同程度の振動

表1 試験ケース

CASE	ラダーマクラギ	鉄筋コンクリート床版
1	剛支持	剛支持
2	フローティング・ラダー軌道	剛支持
3	剛支持	フローティング床版
4	フローティング・ラダー軌道	フローティング床版

※CASE4が軌道と床版をフローティング構造にした鋼鉄道橋

表2 材料物性値

		材料定数 重量
軌道パッドばね定数(MN/m)		60
防振材ばね定数(MN/m)	ラダーマクラギ用	25
	床版用	50
フローティング・ラダー軌道 総重量(kN)		155
床版コンクリート総重量(kN)		314
鋼材総重量(kN)		290

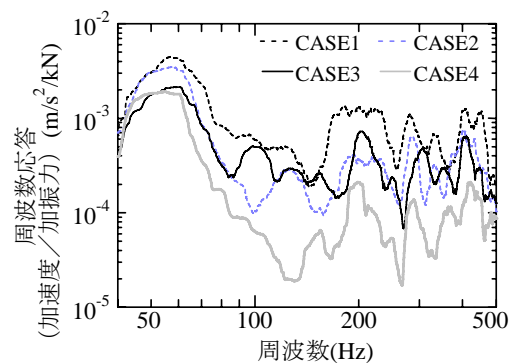


図3 主桁ウェブの周波数応答

加速度レベルであることから、主桁ウェブにおけるCASE4の振動遮断効果は、50～100Hzではフローティング床版、150Hz以上ではフローティング・ラダー軌道によるものと考えられる。図6に列車速度と桁部材の振動速度レベルのオールパス値（A特性補正あり）との関係を示す。ここでの振動速度レベルは、列車通過時に得られた振動加速度レベルから求めているが、振動速度は次式(2)に示すように、放射音パワー $w$  (W/m)に直接関連するパラメータであるため、構造物騒音の評価に対して適切な指標であると考えられる。

$$W = \sigma \rho c \bar{v}^2 S \quad (2)$$

ここで、 $\sigma$ は音響放射効率、 $\rho$ は空気密度(kg/m<sup>3</sup>)、 $c$ は空気中の音速(m/s)、 $\bar{v}$ は振動速度実効値((m/s)A特性補正あり)、 $S$ は単位長さあたりの音響放射面積(m<sup>2</sup>/m)である。図6より、列車速度約40km/hで剛支持構造のCASE1に比べて、CASE2で7.5dB(A)、CASE3で6.1dB(A)、CASE4で10.1dB(A)の低減効果が得られた。このように、フローティング構造により、鋼橋の構造物騒音に大きく寄与する主桁ウェブの振動速度レベルで大幅な低減効果が得られることがわかった。

#### 4. 構造物騒音低減効果の推定

##### 4.1 推定方法

「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」<sup>3)</sup>にもとづき、軌道中心から12.5m地点におけるピーク騒音レベル及び等価騒音レベルを推定する。着目部材は主桁ウェブとし、まず、構造物騒音パワーは列車速度の3乗則に比例するものとし、測定で得られた主桁ウェブの振動速度レベルを在来線の営業速度(50、60、70、80km/h)を考慮した列車速度に換算する。次に式(3)より、主桁ウェブからの放射音パワーレベルを求める<sup>2)</sup>。

$$L_w = 10 \log(W/W_0) \quad (3)$$

ここで、 $W_0$ は音響パワーの基準値 $W_0=10^{-12}$ (W)である。さらに、音源を有限長線音源で近似した在来線の騒音予測手法<sup>4)</sup>を参考に、ピーク騒音レベル及び等価騒音レベルを推定する。

##### 4.2 推定結果

図7に上記の条件の下でのピーク騒音レベルおよび等価騒音レベルの推定結果を示す。ピーク騒音レベルについては、剛支持構造のCASE1に比べて、CASE2では7.5dB(A)、CASE3で5.8dB(A)、CASE4で10.5dB(A)、等価騒音レベルについては、CASE1に比べて、CASE2では7.6dB(A)、CASE3で5.8dB(A)、CASE4で10.4dB(A)の低減効果があると推定された。

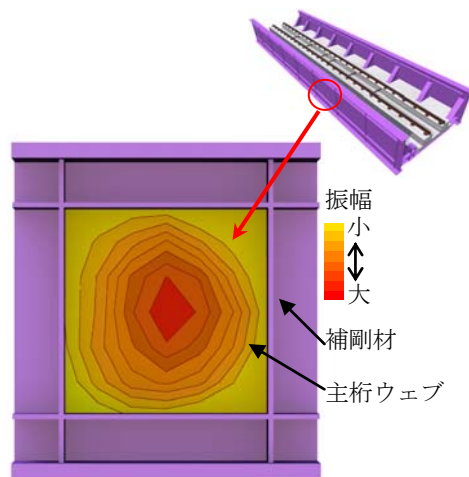


図4 主桁ウェブの1次振動モード

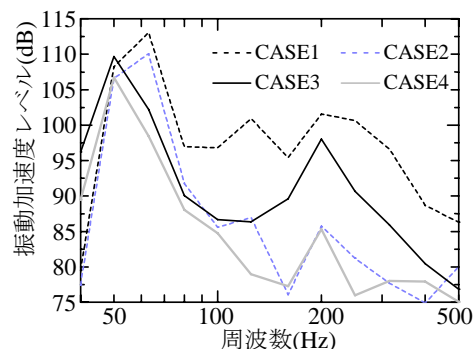


図5 列車通過時の主桁ウェブの振動加速度レベル

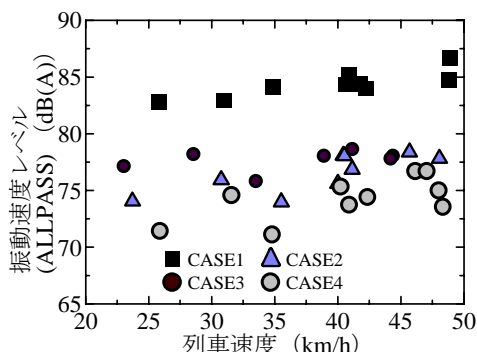


図6 主桁ウェブの振動速度レベルと列車速度との関係

図8に軌道中心から12.5m地点における各ケースのピーク騒音レベル（平均値）の推定値と在来線における実測値（騒音計リオンNL04で測定）を示す。同図に示すように、CASE2に関しては、推定値と実測値が概ね同程度であり、推定値がある程度の信頼性を有することを確認できた。さらに、参考として、図8に弾直軌道が敷設されたRCラーメン高架橋（鋼下路桁から起点側へ100m程度の位置、直線区間）の実測値を示す。これにより、CASE4は、弾性まくらぎ直結軌道が敷設されたRCラーメン高架橋と同等のレベルにまで鋼鉄道橋の構造物騒音を低減できる可能性があることがわかった。

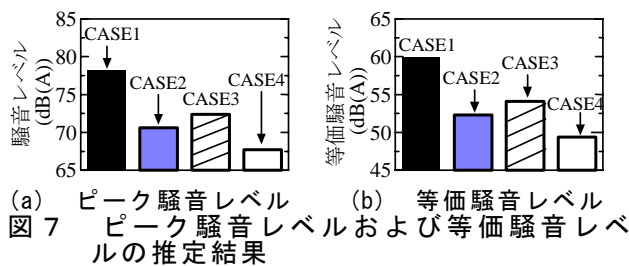


図7 ピーク騒音レベルおよび等価騒音レベルの推定結果

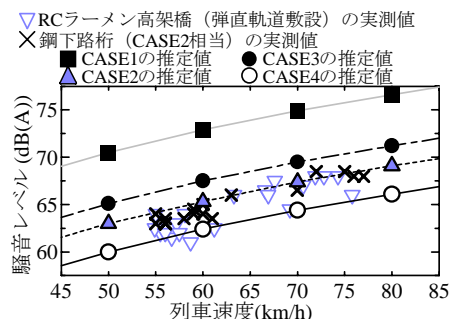


図8 軌道中心から12.5m地点における各ケースのピーク騒音レベルの推定値と在来線における実測値

## 5. まとめ

軌道と床版をフローティング構造にしたサイレント鋼鉄道橋を開発した。実物大橋梁模型による試験を行い、以下の効果を確認した。

- (1) インパルス加振試験により、サイレント鋼鉄道橋は主桁ウェブのアクセラランスのピーク値を低減できることがわかった。また、およそ150Hz以上ではフローティング・ラダー軌道、50Hz～100Hzではフローティング床版の低減効果、軌道と床版をフローティング構造にした場合ではそれらを包含する形で低減効果が得られることがわかった。
- (2) 列車走行試験により、構造物騒音と密接な関係にある主桁ウェブの振動速度レベルの低減効果を定量的に評価した。剛支持構造に対し、軌道と床版をフローティング構造にした場合には10.1dB(A)の振動速度レベルの低減効果があることを確認した（列車速度約40km/h）。
- (3) 騒音予測手法と上記列車走行試験結果に基づき、軌道中心から12.5m地点におけるピーク騒音レベルおよび等価騒音レベルを予測した。剛支持構造に対して、軌道と床版をフローティング構造にした場合では、ピーク騒音レベルで10.5dB(A)、等価騒音レベルで10.4dB(A)の低減効果が得られると推定した（列車速度70km/h換算）。

なお、本研究は、国土交通省の補助金を受けて実施した。

## 【参考文献】

- (1) 阿部英彦：鉄橋の騒音対策、土木学会誌、1978.3
- (2) 半坂征則、杉本一朗、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、pp.21-26、Vol.21、No.2、2007
- (3) 環境庁在来鉄道騒音指針検討会：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、1995
- (4) 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、pp.41-46、Vol.12、No.12、1998