

鋼鉄道橋の低騒音化

渡辺 勉
 鉄道力学研究部
 (構造力学 研究員)

杉本 一郎
 構造物技術研究部
 (鋼・複合構造 研究室長)



わたなべ つとむ すぎもと いちろう

はじめに

鋼鉄道橋は、軽量かつ高強度であるため、比較的長い支間に対しても適用することができます。また、工場製品のため品質管理が容易であり、信頼性が高く、現場での架設が容易であるなどのメリットを有しています。このため古くから数多くの鋼鉄道橋が建設されてきました。しかし、その一方で、鋼材を使用した部材は薄板構造で振動しやすいため、コンクリート橋に比べると、構造物騒音が大きくなりやすいということが指摘されてきました。このような課題から、都市内においては沿線環境に配慮して、鋼鉄道橋が適用されないという事例も見られます。

本稿では、鋼鉄道橋の構造物騒音対策の一般的な考え方を紹介するとともに、最近の低騒音化技術を紹介します。

鋼鉄道橋の構造物騒音対策

鉄道騒音を音源別に見ると、構造物騒音に加えて、集電騒音（パンタグラフの風切音、架線とパンタグラフが擦れ

る音）、空力騒音（車両の先頭や側面付近の空気流の乱れによる音）、駆動騒音（ファンやギア等による音）、転動騒音（レール/車輪からの音）が挙げられます。音源ごとに周波数帯が異なり、構造物騒音は其中でも比較的低い方の周波数帯が支配的となります。具体的には、構造物の種類にも依りますが、一般に数十Hzから500Hz程度となります。

図1と表1に、構造物騒音対策の考え方をまとめて示します。加振力低減、防振、制振、遮音・吸音などが基本的な考え方となります。それらについて、以下に具体的に述べます。

加振力低減とは、車輪とレールの表面の凹凸に起因して発生する、車輪/レール間の加振力を低減する方法です。具体的には、車輪踏面の削正やレール頭頂面の研削を定期的に行って表面を平滑に保つこと、レールをロングレール化し継目をなくすことなどの手法が挙げられます。加振力が小さくなれば、部材の振動も小さくなり、構造物騒音の発生を抑制することができます。

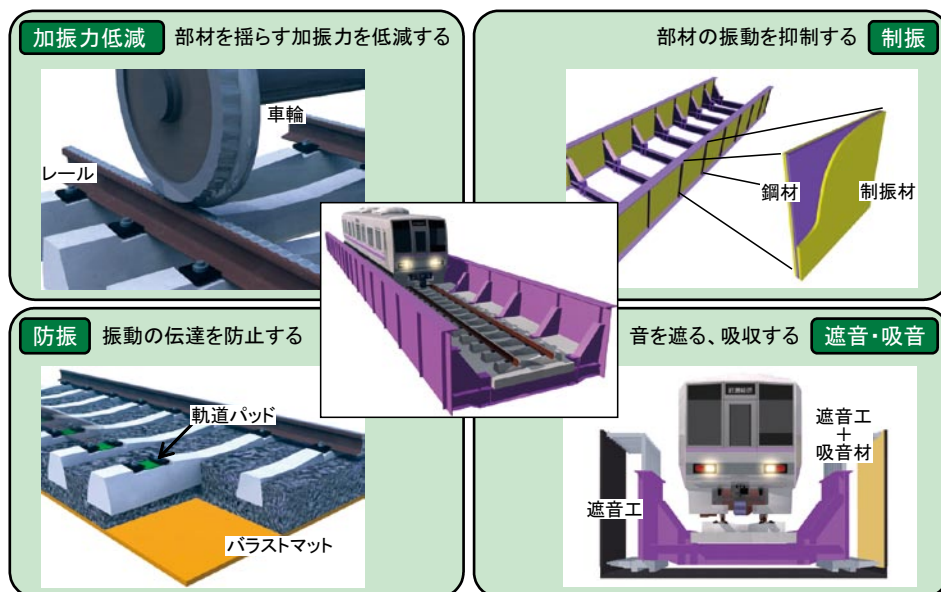


表1 一般的な構造物騒音対策

	対策の種類
加振力低減	車輪踏面の削正、レール頭頂面の研削、ロングレール化、車両の軽量化
防振	軌道パッド、バラストマット、スラブマット、各種防振軌道の採用
制振	各種制振材の取付、コンクリート被覆、制振鋼板の採用、ゴムラテックスモルタル被覆
遮音・吸音	床版、桁下面や側面への遮音工(防音壁、覆工)の設置、干渉工の設置、吸音材の取付

図1 鋼鉄道橋の構造物騒音対策の概念図

防振とは、車輪/レール間で発生した加振力が、構造物騒音の発生源となる部材に伝わるまでの伝達経路において、軌道パッドやバラストマットのようなばね定数が小さく柔らかい材料を挟むことにより、振動を部材へ伝達しにくくする方法です。これにより部材の振動が小さくなり、構造物騒音の発生を抑制することができます。図2に、具体的な防振軌道の例として弾性まくらぎ直結軌道(D型)を示します。この防振軌道では、コンクリートまくらぎの下にばね定数の小さい弾性材が防振材として配置されています。この他にも、弾性バラスト軌道、防振スラブ軌道、フローティングスラブ軌道、フローティング・ラダー軌道などの防振軌道が開発されており、それぞれの特徴を生かして、構造物騒音の低減等に用いられています。

制振とは、車輪/レール間で発生した加振力により振動し、構造物騒音の発生源となる部材に、制振材等の各種材料を取り付けることにより、部材の振動を抑制する方法です。具体的には、ゴム系材料やコンクリートで鋼材を覆ったもの、鋼板と鋼板の間に樹脂を充填して制振性能を向上させた制振鋼板などがあります。これにより、部材の振動



図2 防振軌道の例(D型弾性まくらぎ直結軌道)

が小さくなるので、構造物騒音の発生を抑制することができます。図3に、鋼鉄道橋の一般的な構造形式を示します。それぞれ図中に示した部材が主要な音源となりますので、それらの振動を抑えることが構造物騒音対策の一つとなります。

吸音・遮音とは、部材から発生した構造物騒音が沿線に伝播しないように、部材を覆って騒音を遮るあるいは吸収する方法です。具体的には、床版、桁下面あるいは側面に防音壁や覆工のような遮音工、音波の屈折・干渉の性質を利用して減音させる干渉工、多孔質材料などを用いた吸音工などを設置する方法です。鋼鉄道橋において、構造物騒音に限らずその他の騒音も含めた対策のうち、最も一般的に行われてきた対策が、この遮音による方法です。

なお、鋼鉄道橋は図3に示すように、各部材が溶接やボルト接合によって組み合わせられた骨組構造となっていますが、このままでは構造物騒音だけでなく、空力騒音、駆動騒音や転動騒音がそのまま桁下に抜けてしまいます。このため近年の鋼鉄道橋では、これらの騒音に対する遮音効果を狙ったコンクリート床版を設置するのが一般的となっています。

ゴムラテックスモルタルによる鋼鉄道橋の低騒音化

図4に、最近の低騒音化技術の一つであるゴムラテックスモルタルによる鋼鉄道橋の低騒音化の概要を示します。同図に示すように、鋼鉄道橋の構造物騒音の音源になりやすいウェブの鋼材をゴムラテックスモルタルで覆ったものとなっています。

現在、鋼鉄道橋の制振対策として、ゴム系の制振材を取り付ける方法や、制振コンクリート(厚さ150mm以上)を

取り付ける方法などが用いられています。しかしながら、制振材の設置においては、制振材の取り付け治具が必要になることや、制振コンクリートの打設には重量の増加といった課題があります。そこで、ゴムラテックスモルタルを新たに制振材に用いることを試みました。ゴムラテックスモルタルとは、モルタルにストレッチエンを主成分とす

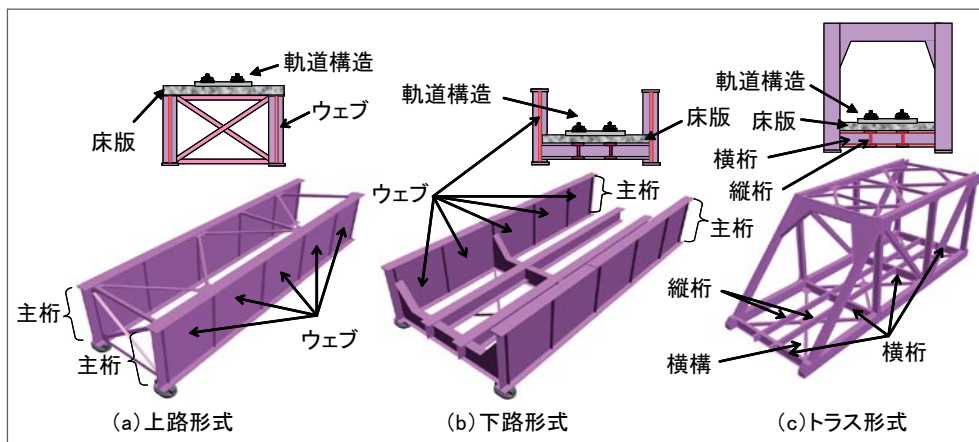


図3 鋼鉄道橋の主な構造形式

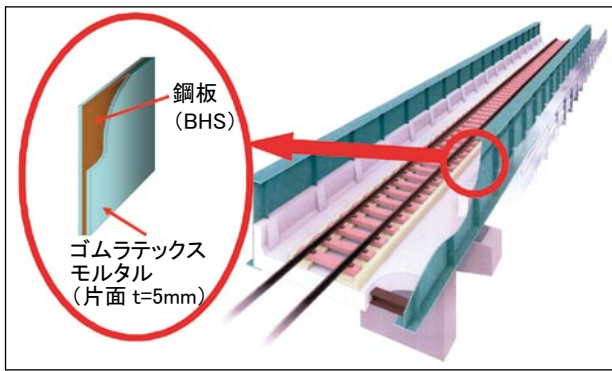


図4 ゴムラテックスモルタルによる鋼鉄道橋の低騒音化

るゴムラテックスを混入したものです。ゴムラテックスは付着力に優れていることから、基本的には吹き付け施工となります。これにより、取り付け治具が不要となることや制振コンクリートを打設する場合などに比べて重量の増加量がわずかで済むことなどの利点があります。

図5に、長さ2.0m×高さ0.6mのウェブを有する試験体を用いた衝撃加振試験の状況を示します。加振はインパルスハンマ（加振力が測定できるハンマ）で行い、試験体の中央を鉛直方向に加振しました。そして、ウェブの中央から30cm離れた位置に設置した騒音計により騒音を測定しました。

図6に、鋼材をゴムラテックスモルタルで覆った（5mm吹き付け）ことによる騒音低減効果を示します。同図の衝撃加振試験結果より、10Hz～2kHzまでの広い周波数帯域で、ゴムラテックスモルタルは騒音低減効果を有することがわかりました。この低減効果は、ゴム系の制振材を取り付けた場合の効果とほぼ同等でした。また、図6には数値解析結果も合わせて示しました。これは、試験体のウェブと同じサイズで4辺が固定された平板とみなして解析を行った結果です。試験結果と解析結果を比較すると、全体的に右肩上がりりの周波数特性を有することや、周波数のピークが概ね一致しており、全体の傾向を把握することが可能であることがわかりました。

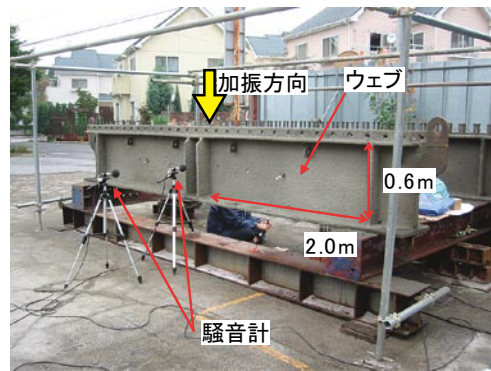


図5 衝撃加振試験の状況

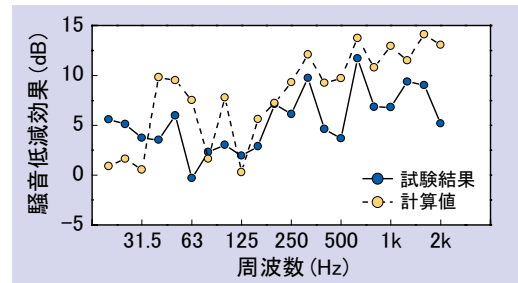


図6 ゴムラテックスモルタルによる騒音低減効果

また、ゴムラテックスモルタルが鋼材の耐久性を確保するための塗装としての役割を兼ねることが出来れば、従来の塗装+制振材と比較して、総合的に有利な工法の一つになると考えられます。現在、鉄道総研内でゴムラテックスモルタルを吹き付けた試験体の暴露試験を実施中です。

床版フローティング構造による鋼鉄道橋の低騒音化

図7に、最近の低騒音化技術の一つであるフローティング構造による鋼鉄道橋の低騒音化の概要を示します。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形式（図3）について検討しました。図7に示すように、軌道構造には防振性能を有するフローティング・ラダー軌道を敷設し、その下には防振材で支持された鉄筋コンクリート製の床版（以下、フローティング床版といま

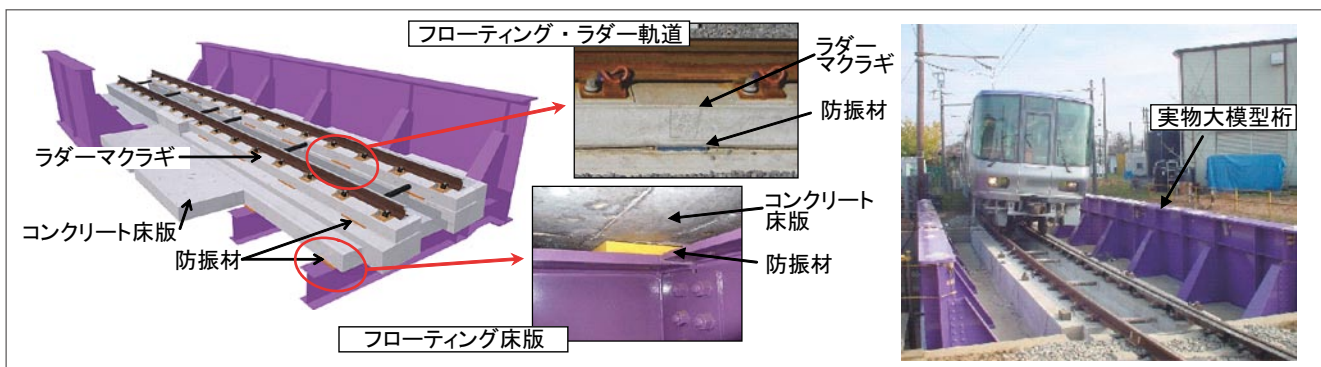


図7 フローティング構造を有する鋼鉄道橋の概要

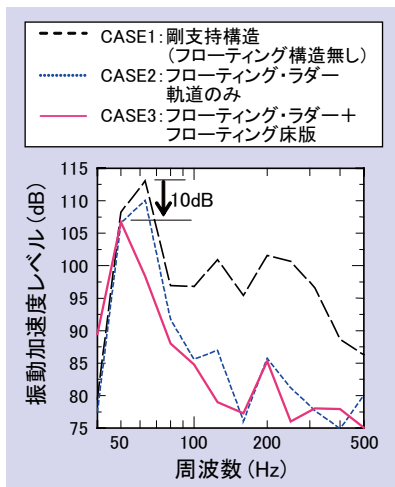


図8 主桁ウェブの振動加速度レベル (列車走行試験結果, 速度40km/h)

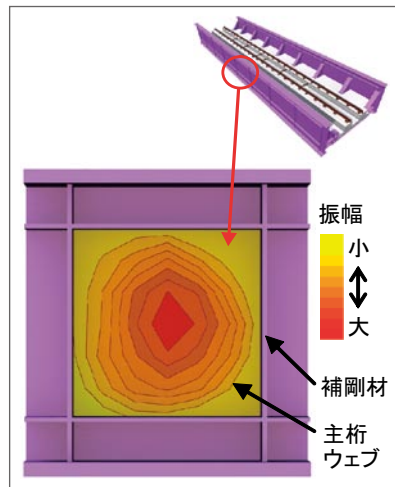


図9 主桁ウェブの1次振動モード

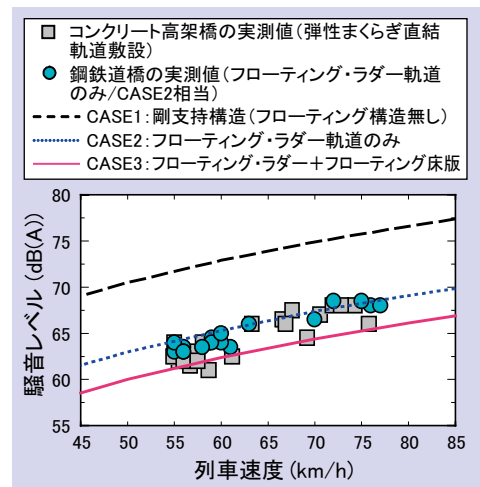


図10 線路中心から12.5m地点における騒音レベルの実測値と予測値の比較

す)が設置されています。フローティング・ラダー軌道は、ラダーマクラギを低ばね定数の防振材または防振装置で間欠支持した構造で、ラダーマクラギの高曲げ剛性により車輪/レール間から伝わる荷重の分散効果、低ばね定数の防振材に支持されることによる加振力の伝達低減効果を有しています。また、フローティング床版は、基本的にはフローティング・ラダー軌道と同様に加振力の分散効果や伝達低減効果を有していますが、ラダーマクラギよりも質量が大きいため、主として100Hz以下の比較的低い周波数帯の振動低減効果を狙ったものとなっています。

図8に、フローティング構造による鋼鉄道橋の低騒音化の効果を確認するために行った列車走行試験の結果を示します。在来線を対象とした実物大の模型桁を鉄道総研の試験線に架設し、支持条件をパラメータとして列車走行試験を実施しました。これにより、フローティング構造による騒音低減効果の確認を行うとともに、列車の走行安全性上問題ないことも確認しました。図8より、フローティング・ラダー軌道とフローティング床版の組合せで、主桁ウェブの振動加速度レベルのピーク値が約10dB低減されていることがわかります。また、50～60Hz付近のピークは、加速度計をアレイ配置(ウェブ板一枚あたり、格子状に5×5=25個設置)した測定により、図9に示すような補剛材で囲まれた主桁ウェブが太鼓の皮のように振動する振動モードに起因していることがわかりました。

図10に、線路中心から12.5m地点における騒音レベルの予測値を示します。図8は試験線での低減効果を示したのですが、これに基づき実際の営業線ではどの程度の低減効果が得られるのかを、音源を無指向性の線音源で近似した沿線騒音予測手法^{1,2)}により検討しました。図10に

示すように、剛支持構造でフローティング構造ではないCASE1に比べて、軌道構造をフローティング・ラダー軌道としたCASE2では約7dB程度の低減効果を得られることがわかりました。さらに図10には、営業線のCASE2相当の鋼鉄道橋の実測値と弾性まくらぎ直結軌道が敷設されたコンクリートラーメン高架橋(この鋼鉄道橋に隣接)の実測値を示します。CASE2について予測値と実測値を比較すると概ね一致しており、適用した予測手法が妥当であることが確認できました。また、CASE2の方法は、コンクリートラーメン高架橋とほぼ同程度の騒音レベルとなることがわかりました。また、軌道構造と床版をフローティング構造としたCASE3では、CASE2よりもさらに約3dB程度低減できると予測されます。コンクリートラーメン高架橋の実測値と比較して、同程度かそれ以下の騒音レベルを実現できると考えられます。

おわりに

一般的な構造物騒音対策について考え方を述べるとともに、鋼鉄道橋の最近の低騒音化技術について紹介しました。今後は、数値解析による評価等を活用しながら、これらの低騒音化技術の実橋への適用を図っていきたく考えています。[RRR]

文献

- 1) 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
- 2) 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