

ゴムラテックスモルタルを使用した鋼鉄道橋の騒音振動対策に関する検討

Examination about measures of noise and vibration for steel railway bridges using rubber-latex mortar

谷口望*, 半坂征則**, 小出宜央***, 大垣賀津雄***, 大久保藤和****, 佐竹紳也*****, 杉野雄亮*****

Nozomu Taniguchi, Masanori Hansaka, Nobuo Koide, Kazuo Ohgaki,

Fujikazu Ohkubo, Shinya Satake, Yusuke Sugino

* (公財) 鉄道総合技術研究所, 構造物技術研究部, 鋼・複合構造 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

** (公財) 鉄道総合技術研究所, 材料技術研究部, 防振材料 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

***川崎重工業 (株), 営業推進本部, 市場開発部 (〒105-6116 東京都港区浜松町 2-4-1)

****太平洋マテリアル (株), 営業本部, 機能性材料営業部 (〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-24)

*****太平洋マテリアル (株), 開発研究所, 混和材料グループ (〒285-0802 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

In this study the steel bridges composed with concrete members with the rubber-latex mortar coating are developed, in which the confirmation of the noise reduction effects are conducted. It follows from the present study that the execution of the rubber-latex mortar coating with 5 mm thickness is feasible with due care, and that the 15 dB reduction of noise level may be attained.

Key Words: Steel bridge for railway, Anti-noise measure, Rubber-Latex mortar

キーワード: 鋼鉄道橋, 騒音対策, ゴムラテックスモルタル

1. はじめに

近年の鋼・複合橋では環境対策として騒音に対する配慮は必要不可欠であり, この場合, ゴムを用いた制振板を鋼板に取り付ける手法¹⁾や, 厚さ 150~200mm 程度のコンクリートを鋼板に打設 (被覆) する手法²⁾が用いられている. 制振板を騒音対策として用いた場合, 制振板自体のコストがかかることがまず問題点として挙げられる. さらに, 制振板については, 添接部や溶接部などの複雑な形状の位置には配置することが難しいという課題もある. コンクリートを鋼板に打設 (被覆) する手法では, 剥落・収縮ひび割れへの配慮から, 騒音対策として必要とされる以上の被覆コンクリート厚さ (150mm 以上) で設置する必要がある, コンクリート自身の死荷重が大きく増加し, 鋼橋のメリットを活かしきれなくなるケースもあると考えられる.

一方, 橋梁に新しい材料を用いる試みは多く行われてきているが, ゴムラテックスモルタルも橋梁への活用が試みられている³⁾. ゴムラテックスモルタルは, モルタルにゴムラテックス (SBR) を混入したものであり, 鋼板への付着力が大きく, 薄く打設しても剥落や割れの心配が少ない. また, 疲労耐久性・耐候性・耐衝撃性・耐水性も高いため, 鋼床版の補強材料として用いる試み³⁾

や, 鋼とコンクリートのずれ剛性の向上を期待して用いる検討⁴⁾が行われている.

本検討では, ゴムラテックスモルタルが鋼板への付着性能が高く, 薄く打設することが可能であり, 鋼鉄道橋の騒音対策として有効な材料である点に注目した. また, 従来の騒音対策との比較では, 制振板を用いた場合よりも安価であり, 被覆コンクリートを用いた場合よりも死荷重が低減するなど, 経済的な効果も大きいと考えられる⁵⁾.

そこで, 本研究では, 騒音対策として鋼桁にゴムラテックスモルタルを 5mm 程度の厚さで被覆した新しい鋼鉄道橋への騒音対策を提案し, 騒音・振動低減効果の確認試験の検討を行った. また, ゴムラテックスモルタルを既設鋼橋の複合構造化に対するずれ止めとして使用した際⁴⁾についても検討を行い, 騒音・振動低減効果の確認試験の検討を行った.

なお, ゴムラテックスモルタルの厚さは, 過去の検討における施工実績^{4,5)}や, 想定した制振効果から最低厚さを 5mm とした. ゴムラテックスモルタルの吹き付け施工ではより厚く施工するとその分施工時間が長くなり, 施工性が悪くなると考え, 本検討では目標厚さ 5mm を設定した. なお, ゴムラテックスモルタルのヤング係数は, 一般に $2.00 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 程度である.

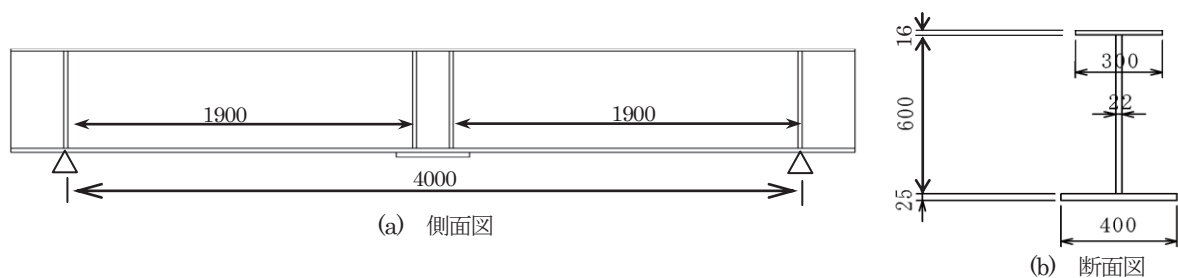


図-1 施工試験供試体 (単位:mm)

2. ゴムラテックス被覆の制振板としての騒音低減効果

ゴムラテックスの制振板としての効果を確認するために、図-1に示すような鋼桁供試体を作成し、この供試体にゴムラテックスモルタルを5mm厚目標で吹き付けを行った。ゴムラテックスモルタルは表-1に示す配合とし、実際のウェブの平均吹きつけ厚は6.5mmであった。

次に、本供試体のゴムラテックスモルタルの吹き付け前後での騒音・振動特性を把握するために、図-2、図-3に示すようなハンマーによる衝撃加振試験を行った。本試験では、下フランジの中央部をインパルスハンマー(PH51(リオン(株)製))にて加振した。そして、インパルスハンマーにより鉛直加振したときの桁腹板中央付近の振動速度および振動測定点から腹板に垂直に30cm離れた点における騒音(音圧)を測定した。振動加速度は圧電型振動加速度ピックアップPV94(リオン(株)製)を、騒音は普通騒音計NL-04(リオン(株)製)等を用いた。振動、騒音ともに多チャンネル分析器SA01(リオン(株)製)を用いて時定数Fast、FFTポイント4096、窓関数無し、周波数重み特性Fで時間波形を記録した。

振動加速度については多チャンネル分析器SA01(リオン(株)製)により時間に関して1階積分して振動速度に変換したうえで周波数分析し、加振力で正規化してモビリティを求めた(図-4(a))。一般に振動速度の周波数応答関数(FRF: Frequency Response Function)、に関してはモビリティと称されており、振動速度のFRFのdBの基準は、 $0\text{dB}=1\text{m/s/N}$ とした。騒音についても周波数分析し加振力で正規化して周波数応答関数(FRF)を求めた(図-4(b))。

また、1/3オクターブバンドごとにパワー値を総和した(図-4(c)(d))。なお、騒音は周波数重み特性Aで補正し、騒音のFRFのdBの基準は $0\text{dB}=2\times 10^{-5}\text{Pa/N}$ 、振動の基準は $0\text{dB}=10^{-5}\text{ms}^{-2}/\text{N}$ とした。鋼橋の構造物音では一般的に125~2000Hzが卓越することが知られているため⁹⁾、図-4(c)(d)ではおおよその範囲について示している。

図-4より、桁腹板の振動速度の周波数応答関数および騒音の周波数応答関数ともに、ゴムラテックスモルタルを吹き付けたことにより低下が認められ、実橋でも同材料の防音効果が発揮されることが期待される。また、125~2000Hzの帯域総和値(A.P.値)で比較すると、ゴムラテックスモルタル吹き付け(両面に約6.5mm厚)により

表-1 ゴムラテックスモルタル配合

	配合重量比
ポルトランドセメント	1.00
珪砂(4号)	1.50
ゴムラテックス(SBR混和材)	0.35
収縮防止剤	0.02

※SBR混和材: 太平洋CX-B(太平洋マテリアル(株)),
収縮防止剤: 太平洋テトラガード#21(太平洋マテリアル(株))

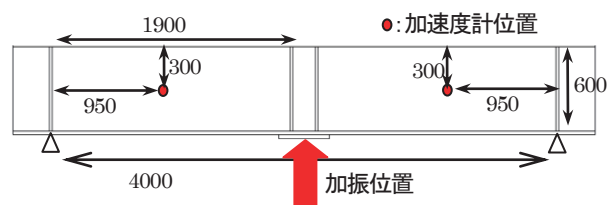


図-2 加速度計設置およびハンマー加振位置 (単位:mm)



図-3 衝撃加振試験状況
(ゴムラテックスモルタル吹き付け後)

騒音・振動レベルが腹板位置で10dB程度低減していることが分かる(図-4(c)(d))。この騒音低減の程度は、過去の研究事例¹⁾を参考にすると、少なくとも従来から用いられてきたゴム系制振板と同等程度といえる。

ゴムラテックスモルタルによる振動低減の要因としては、材料減衰性能の増加や、質量増加などが考えられるが、過去の振動音響工学に関する研究知見¹⁾を考慮す

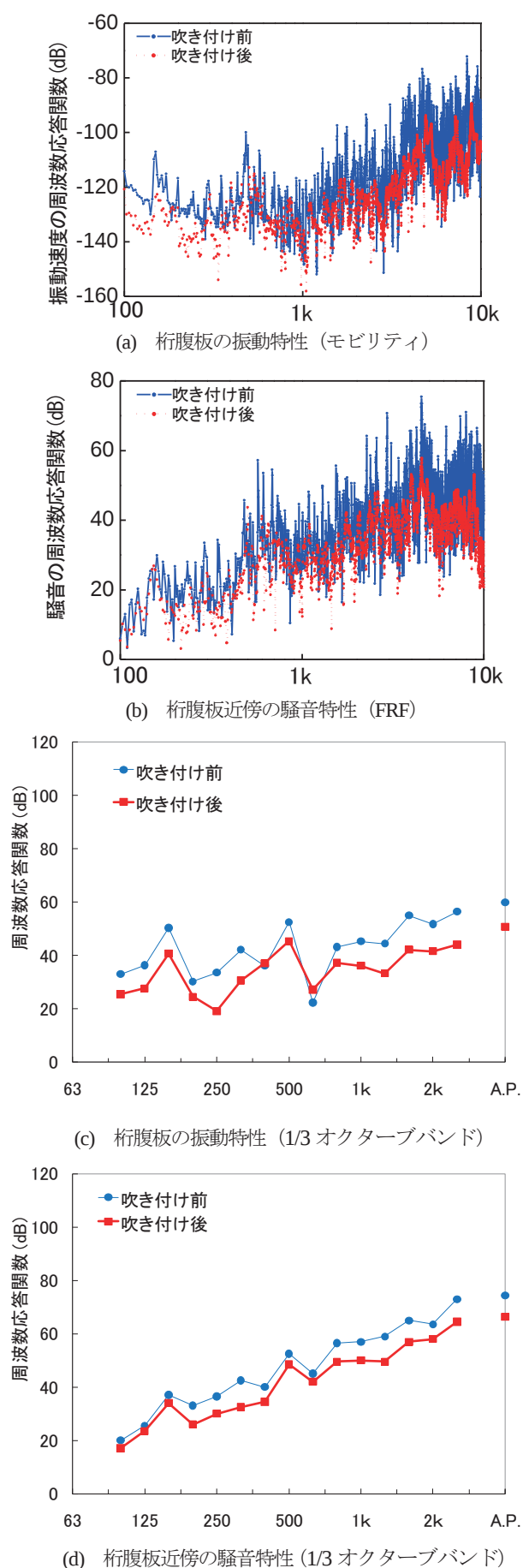


図-4 試験体における衝撃加振試験結果

ると、前者の影響が大きいと考えられる。また、放射音に関しては、ゴムラテックスモルタルの振動が低減した上に同材料が全面的に腹板を被覆しているために、表面の音響インピーダンスが低下したためと考えられる。

3. 既設鋼橋の複合構造化による騒音低減効果

本研究で使用する複合構造化の概要⁷⁾を、図-5に示す。複合構造化にあたっては、様々な手法が考えられるが、ここでは、施工性や防食、また、既設鋼橋への影響を最小限とする観点から図-5の手法を提案することとした。本複合構造化の特徴としては、既設鋼橋に対して削孔や溶接などの改造を行っていないことと、既存の軌道構造をそのまま利用することである。本構造では、複合構造化にあたって下記の材料を使用している。①ゴムラテックスモルタル (被覆材)、②FRP 型枠 (埋設型枠)、③速硬軽量コンクリート (床版)⁷⁾を用いている。それぞれの複合構造化の構成材には次のような目的がある。

①ゴムラテックスモルタル (被覆材)

- ・コンクリート床版との一体化促進
- ・鋼部材の防食
- ・鋼橋の騒音低減
- ・塗り替えの省略による維持管理コスト低減

②FRP 型枠 (埋設型枠)

- ・死荷重増分量の低減
- ・施工性の向上

③速硬軽量コンクリート (床版)

- ・鋼橋への剛性の寄与 (耐荷力、耐久性の向上)
- ・死荷重増分量の低減 (軽量)
- ・鉄道工事の夜間急速施工に対応可能 (速硬)
- ・構造物音や車両音、転動音などの騒音の低減

本複合構造化においては、ゴムラテックスモルタルの高い付着性能から、鋼部材の防食だけでなく、コンクリート床版との一体化を促進することも可能であると考えた。

FRP は、近年、土木構造物への適用が多く検討されており、軽量であることと高強度であることが特徴となっている。したがって、本構造では、複合構造化によって、死荷重を極力増加させないようにすることが必要であることから、GFRP を埋設型枠として使用することとした。GFRP を使用した理由としては、型枠としての要求性能 (弾性係数等) を満足し、経済性にも優位であるためである。また、軽量の GFRP を使用することにより、人力による運搬、設置も容易であることから、施工性の向上も図ることができると考えられる。

速硬軽量コンクリートは、鉄道橋における夜間施工を想定して、比較的早期に強度を発現させることに着目した新しい材料である。また、死荷重を低減させるために、軽量骨材を使用し、単位容積質量を 2.03kg/l 程度、ヤング係数を $2.30 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 程度 (通常の軽量コンクリート

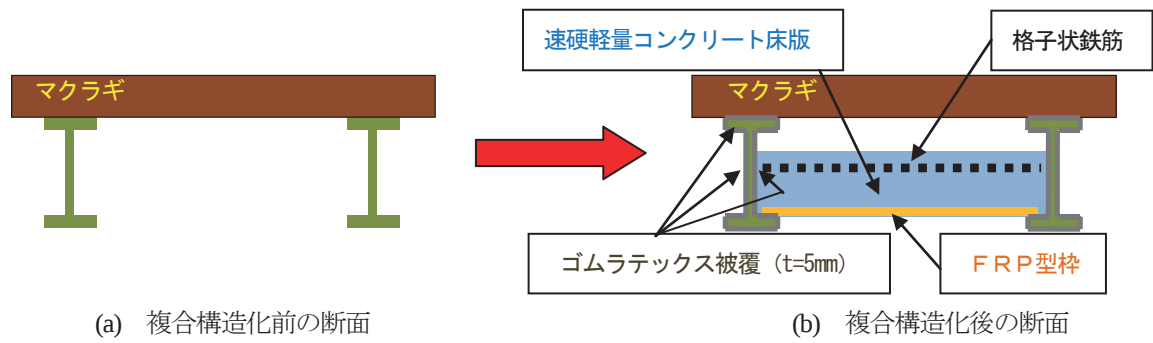


図-5 複合構造化の概要（鉄道用 I ビームの場合）

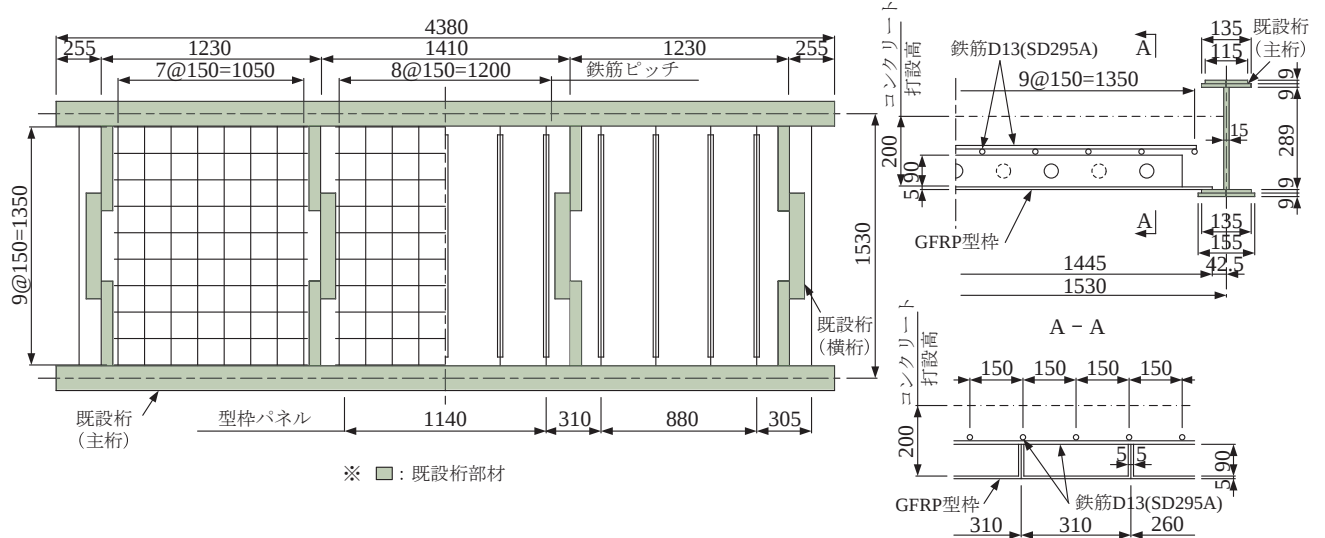


図-6 試験桁の概要（標準軌鉄道用 I ビーム，単位:mm）

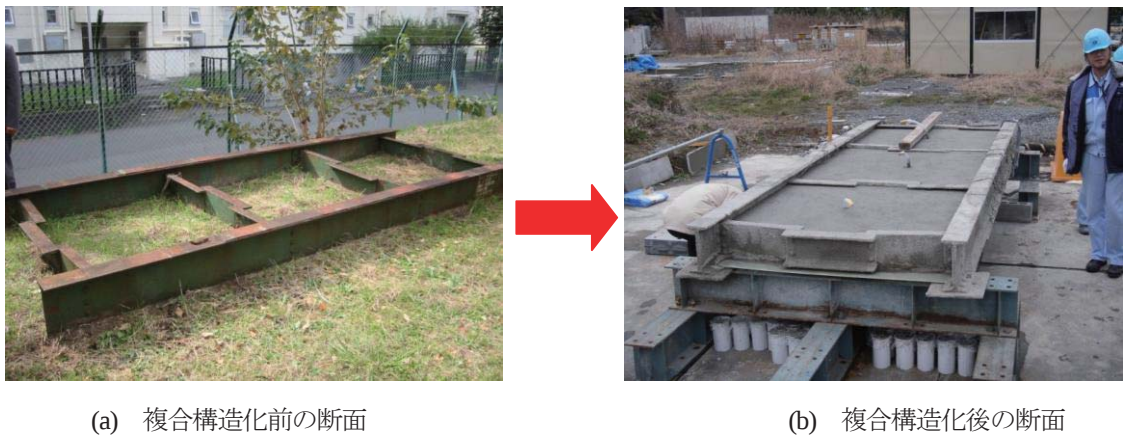


図-7 複合構造化の状況（鉄道用 I ビームの場合）

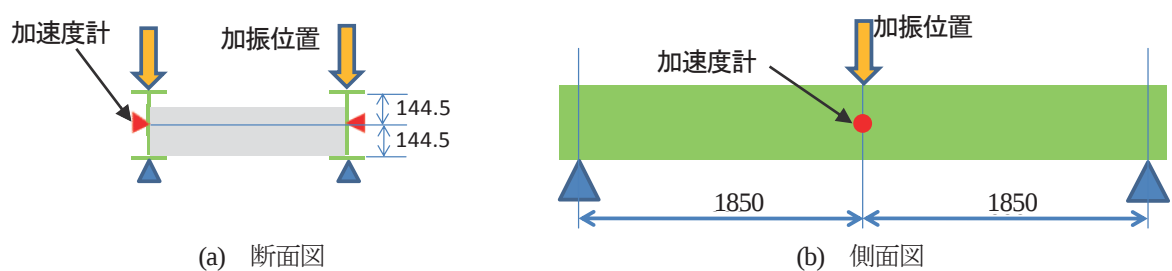


図-8 加速度計設置およびハンマー加振位置（単位:mm）

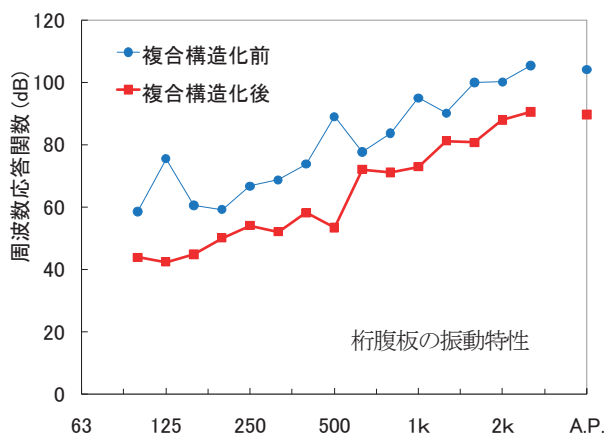


図-9 衝撃加振試験結果の比較(1/3 オクターブバンド)

とほぼ同等)とすることとした。なお、格子状鉄筋は、速硬軽量コンクリートのひび割れ防止のために配置している。

本複合構造化によって、構造物音がどの程度低減するかを把握するために、実際の橋梁を撤去した供試体(図-5～図-7)を用いて、複合構造化前後における、ハンマーによる衝撃加振試験を行った。試験桁のスパン中央ウェブに加速度計を設置し、スパン中央上フランジを打撃することにより振動加速度の測定を行った(図-8)。なお、ハンマーは、PH51(リオン(株)製)を用い、振動加速度は圧電型振動加速度ピックアップ PV94(リオン(株)製)を用いた。時間波形は多チャンネル分析器 SA01(リオン(株)製)を用いて時定数 Fast、FFT ポイント 4096、窓関数無し、周波数重み特性 F で記録した。

測定結果のうち、桁腹板中央の加速度計による測定結果を図-9 に示す。図-9 では、両桁のそれぞれの測定結果の平均値を示すものとし、縦軸は $0\text{dB}=10^{-5}\text{ms}^{-2}/\text{N}$ で計算し、横軸は 1/3 オクターブバンドごとの周波数で示している。なお、この図-9 は前項の図-4(c) と同等な図である。

図-9 より、複合構造化前・後で、騒音レベルが 5～35dB 程度低下する傾向が見られ、A.P.値では約 15dB の低減効果が確認できた。前項のゴムラテックスモルタル被覆のみの同様な試験(図-4(c))では、約 10dB の低減効果であったことから、ゴムラテックスモルタル被覆のみの対策よりも、今回の複合構造化の方が、さらに構造物音を低下させる効果があると考えられる。

なお、本計測は、構造物音に対してのみの計測結果であり、実際の開床式橋梁では、コンクリート床版設置による転動音と車両音の遮音効果も生じるはずである。したがって、本複合構造化は、実際の橋梁においては、本計測結果以上の騒音低減効果があると言える。

4. まとめ

本検討では、ゴムラテックスモルタルを鋼鉄道橋の騒音・振動対策として使用することを考案し、制振板とし

て使用した場合と、複合構造化のずれ止めとして使用した場合の 2 種類について、騒音・振動の低減効果に関して実験的検討を行った。検討の結果、以下の結論を得た。

- (1) ゴムラテックスモルタルを制振板として使用した場合、衝撃加振試験の結果、ゴムラテックスモルタル(6.5mm・両面)を被覆する前後で、騒音・振動レベルが腹板位置で 10dB 程度低減することがわかった、本防音性能は従来の制振板の性能とほぼ同等である。
- (2) ゴムラテックスモルタルを複合構造化のずれ止めとして使用した場合、衝撃加振試験の結果、主桁腹板で約 15dB の振動レベルの低減が確認でき、構造物音の騒音・振動対策として十分な効果が確認できた。なお、開床式桁に対しては、床版の遮音効果もあるため、全体騒音ではこれ以上の効果があると考えられる。

なお、ゴムラテックスモルタルの耐久性³⁾(耐候性・耐疲労性)や、複合構造化桁の耐荷力^{4,7)}については、別途検討を行っており、本論文では省略する。また、ゴムラテックスモルタルの厚さも、現状の厚さよりもさらに厚く施工することも可能であり、その場合は更に騒音、振動低減効果は増すものと考えられる。

付録

要素試験 3 体(400×50×9mm 供試体、鋼板両面にゴムラテックスモルタル 5mm を吹きつけている)における損失係数の算定結果を、付表-1 に示す。

付表-1 要素試験における損失係数

供試体	周波数(Hz)	損失係数
No.1	110	0.0264
	754	0.0255
	2136	0.0274
No.2	111	0.0310
	772	0.0270
	2105	0.0250
No.3	114	0.0257
	775	0.0193
	2199	0.0234
平均	112	0.0277
	767	0.0239
	2147	0.0252

参考文献

- 1) 例えば、善田康雄他：現場実務者のためと設計者のための実用騒音・振動制御ハンドブック、エヌ・ティー・エス、2000。
- 2) 藤原良憲、鈴木喜弥、池田学、谷口望：鋼鉄道橋における非合成部材の合成効果に関する実橋測定、土木学会、構造工学論文集、Vol.53A, pp.1099-1106, 2007。
- 3) 大垣賀津雄、杉浦江、大久保藤和、若林伸介：ゴムラ

- テックスモルタルの既設鋼床版への適用法に関する研究, 第7回複合構造の活用に関するシンポジウム, 土木学会, 2007.
- 4) 上月隆史, 棚橋明朗, 谷口望, 碓山晴久, 依田照彦: ゴムラテックスモルタルを被覆した負曲げを受ける合成桁のずれ止めに関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.56A, 2010.
- 5) 谷口望, 半坂征則, 碓山晴久, 上月隆史, 棚橋明朗, 依田照彦: ゴムラテックスモルタル被覆を用いた低騒音鋼橋の開発に関する研究, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.1164-1171, 2009.
- 6) 半坂征則, 間々田祥吾, 谷口望, 長倉清, 原田聡, 鈴木実: 構造物騒音の予測と騒音対策材料の検討ーその2; 鋼鉄道橋の振動解析と騒音予測ー, 鉄道総合技術研究所, 鉄道総研研究開発テーマ報告 No. P510906R-2, 2005.
- 7) 谷口望, 半坂征則, 小出宜央, 大垣賀津雄, 大久保藤和, 佐伯俊之: 施工性を考慮した鋼鉄道橋の複合構造化に関する研究, 構造工学論文集, Vol.57A, 2011.