

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

On the development of a low noise steel bridge with the rubber-latex mortar coating

谷口望*, 半坂征則**, 碓山晴久***, 上月隆史****, 棚橋明朗*****, 依田照彦*****

Nozomu Taniguchi, Masanori Hansaka, Haruhisa Ikariyama, Takashi Kouzuki, Akio Tanahashi, Teruhiko Yoda

* 京都大学大学院, 工学研究科, 助教 (鉄道総研) (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂)

** 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)

*** 東京鐵骨橋梁, 橋梁事業本部, 品質保証室 (〒302-0038 茨城県取手市下高井 1020 番地)

**** 早稲田大学大学院, 創造理工学研究科, 建設工学専攻 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

***** 早稲田大学, 創造理工学部, 社会環境工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

***** 早稲田大学, 創造理工学部, 社会環境工学科, 教授 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

In this study a low noise steel bridge with the rubber-latex mortar coating is developed, in which an air blast execution test, the confirmation of the noise reduction effects, and the trial design for evaluating construction cost 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 10 dB reduction of noise level may be attained. In addition, the construction cost will be reduced with the use of the rubber-latex mortar coating.

Key Words: rubber-latex mortar, vibration control, execution test, cost performance

キーワード: ゴムラテックスモルタル, 制振材, 施工試験, 経済性

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る。特に、比較的多く建設されている鉄道用合成桁においては鋼材が露出する腹板や下フランジに対して、都市部においては騒音対策を講じるのが一般的となっている。

この場合、騒音対策として用いられるのは、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。

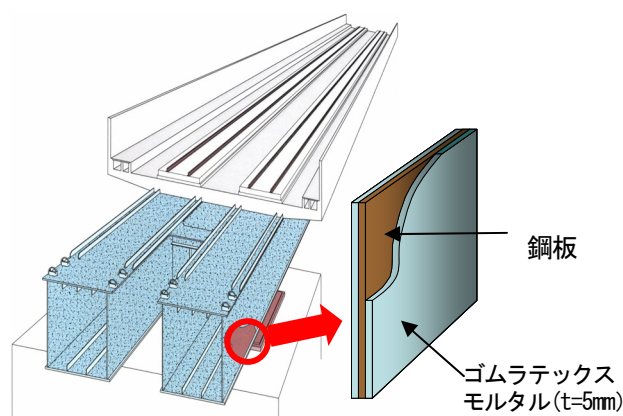


図-1 ゴムラテックスモルタルを用いた合成桁概要

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

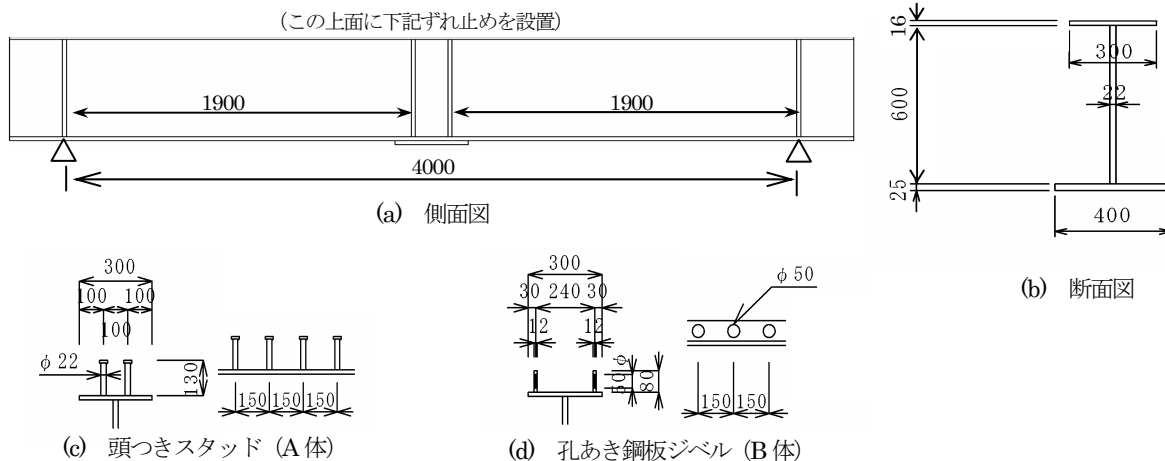


図-2 施工試験供試体 (単位:mm)

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。

そこで、本研究では、騒音対策として合成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 (図-1) を提案し、ゴムラテックスの鋼桁への吹き付け施工試験、騒音・振動低減効果の確認試験、試験設計による経済効果の検討を行った。なお、ゴムラテックスモルタルの厚さは、過去の施工実績⁴⁾や、想定した制振効果から最低厚さを 5mm とし、また、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。

2. ゴムラテックスモルタルの吹き付け施工試験

ゴムラテックスモルタルを、鋼板表面に均一の厚さで薄く容易に設置するために、吹き付けによる施工を想定することとし、鋼 I 型桁供試体に対するゴムラテックスモルタルの吹き付け施工試験を行うこととした。吹き付けにあたっては、鋼桁を製作工場内で吹き付けを行う場合と、既設橋に対して吹き付けを行う場合の両方を想定することとした。吹き付け施工試験を行う供試体の概要を図-2 に示す。

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-3 吹き付け施工試験の状況
(下フランジ下面の施工時)

供試体はスパン 4m、腹板高 600mm の I 桁⁵⁾であり、吹き付けし難いと思われる補剛材、ずれ止めも設置している。ずれ止めは道路用合成桁で使用される頭つきスタッド (A 体) と鉄道用合成桁で使用される孔あき鋼板ジベル (PBL, B 体) の 2 種類を用いている (図-2(c), (d))。なお、吹き付け範囲については、ずれ止め部の付着力向上⁴⁾を期待し、ずれ止め部にもゴムラテックスモルタルを吹き付けることとし、ずれ止めの耐力については、別途、載荷試験結果⁶⁾についてまとめて報告することとする。また、供試体鋼桁の表面処理は、A 体は無機ジンクリッチプライマー、B 体は吹き付け直前でのプラスト処理としたが、後に行った載荷試験の結果、両者に大きな差異は見られなかった⁶⁾。

吹き付けに用いたゴムラテックスモルタルの配合を



(a) 頭つきスタッド供試体 (A 体) の状況



(b) 孔あき鋼板ジベル供試体 (B 体) の状況

図-4 吹き付け施工試験後の状況

表-2 各部位の吹き付け厚さ（平均値）と吹き付け回数

部位	吹き付け方向	A体(mm)	B体(mm)	吹き付け回数
ずれ止め	側方	4.1	6.7	2
上フランジ上面	上方から下方	7.7	6.6	2
上フランジ下面	下方から上方	3.0	4.8	2
ウェブ	側方	6.7	6.4	2
下フランジ上面	上方から下方	6.8	8.3	2
下フランジ下面	下方から上方	5.0	7.0	3

※ずれ止めは、スタッド (A 体) はスタッド基部、孔あき鋼板 (B 体) は鋼板部高さ中央で測定している。

表-3 各供試体の吹き付け施工時間概要

施工内容	A体(分)	B体(分)
1回目吹き付け	11	15
(乾燥)	18	11
2回目吹き付け	11	18
(乾燥)	7	11
3回目吹き付け	7	7
合計時間	54	62

※3 回目吹き付けは下フランジ下面のみ

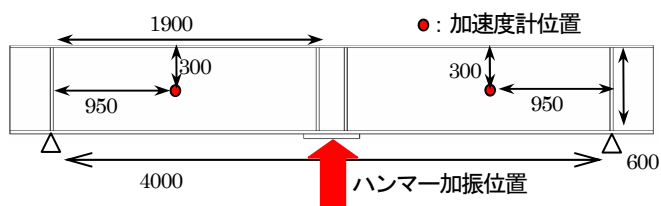


図-5 加速度計設置およびハンマー加振位置 (単位:mm)



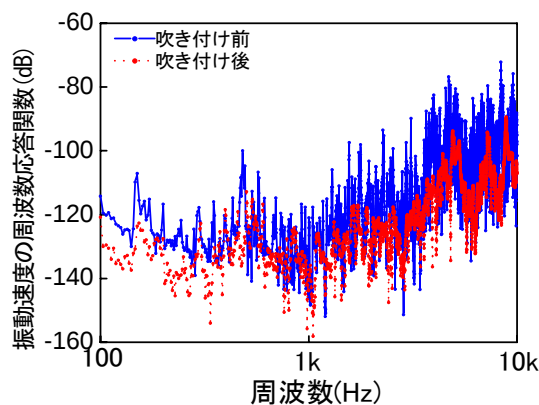
図-6 衝撃加振試験状況 (A 体)
(ゴムラテックスモルタル吹き付け後)

表-1 に示す。また、吹き付けにあたっては、既設橋への施工も考慮して、桁を正立させたまま施工を行うようにした。つまり、ウェブについては横方向からの吹き付けになり、下フランジ下面は下方から上方に向けての吹き付けになるようにしている (図-3)。

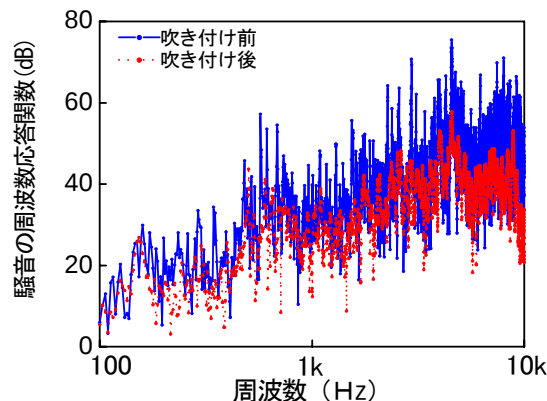
また、吹き付け厚は各部位ともに 5mm を目標とし、1 度に吹き付けを行うと垂れが生じることから、複数回に分けて吹き付け施工を行うようにした。吹き付け施工試験の状況を図-3 に、試験施工後の供試体の様子を図-4 に示す。なお、吹き付け回数は、吹き付け状況を確認しながら行った結果、下フランジ下面 (下方から上方に吹き付け) のみ 3 回の吹き付けとし、それ以外の部位 (上方から下方に吹き付け、または、側方から吹き付け) は、2 回の吹き付けとした (表-2)。

吹き付け後は、各部位での吹き付け厚を測定した。本測定にあたっては、吹き付け前に一部マスキング (図-3、図-4) を行い、吹き付け後硬化する前にこのマスキングを撤去し、鋼板面からの厚さを測定することとした。A 体、B 体ともに、測定箇所は、ずれ止めを含めた各部位に対して、合計 49 か所とした。

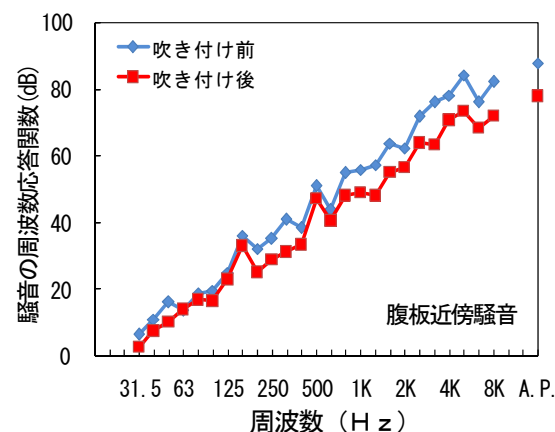
吹き付け後の各部位の吹き付け厚さの測定値を表-2 に示す。表-2 より、1 桁のうち、下方から上方に向けて吹き付けを行った部位を除いて、吹き付け回数 2 回で厚さ 5mm 以上が確保されていることが分かる。また、ずれ止め部では、孔あき鋼板ジベル (B 体) では、厚さ 5mm が確保されているが、頭つきスタッド (A 体) では、厚



(a) 桁腹板の振動特性 (モビリティ)



(b) 桁腹板近傍の騒音特性 (FRF)



(c) 桁腹板近傍の騒音特性 (1/3 オクターブバンド)

図-7 試験体における衝撃加振試験結果

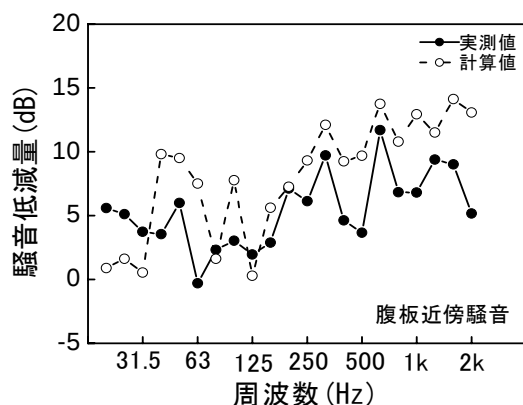


図-8 試験体における騒音低減量の予測

さ5mmを下回る結果となっている。本来ずれ止め部は、コンクリート中となるため、厳密な厚さ管理は必要ないとも考えられるが、このような形状の場合、厚さ管理に注意が必要であると言える。下方から上方に向けて吹き付けを行った部位では、3回の吹き付けを行った下フランジ下面では、5mmの厚さを確保できているが、2回の吹き付けを行った上フランジ下面では、2体とも厚さ5mmを下回る結果となった。これは、本吹き付け施工の場合、下方から上方に向けて吹き付けを行うと、モルタルの跳ね返りにより、桁に固定されないモルタル粒子が多くなるためである。したがって、本試験施工でも上フランジ下面も含めた下方から上方に向けて吹き付けを行う場合は、厚さ管理を行いつつ、吹き付け回数を多くする必要があると言える。

表-3は、今回の試験施工での作業のタイムサイクルを示している。桁全体（表面積104m²）での1回の吹き付け作業の時間は11～18分となっており、面積当たりでは、10～15秒/m²程度である。また、各回の間に、10分程度の乾燥時間を設ければ、モルタルの垂れを防ぎ、十分に次の吹き付け施工が可能であった。この結果、本1桁の吹き付け施工は、3回の吹き付けを行った部位も含めて、約1時間/1体となっている。本データは、気象条件としては、気温18.7～20.7℃、風速1～2m/s、天候晴（2007年10月30日、千葉県野田市で実施）の下での施工試験結果であるが、実物の橋梁に対して施工を行う場合に、有益な情報となると考えられる。

本吹き付け施工試験の結果、ゴムラテックスモルタルの吹き付け厚は、吹き付け回数の調整によって、5mm以上とすることも可能であると考えられる。したがって、実施工にあたっては、固化を含めた施工時間や、後に示す騒音低減効果などから、適切なゴムラテックスモルタルの厚さを算出し、施工することも可能である。

3. 振動・騒音低減効果の測定

ゴムラテックスモルタルを制振材として用いた場合のその効果を、測定により明確に示した事例は少ない。そこで、本項では、ゴムラテックスモルタル被覆を吹き付け施工する前後においてそれぞれ、前述の鋼桁供試体に対する衝撃加振試験を行い、ゴムラテックスモルタル被覆の振動騒音低減効果を調べた。また、さらにその結果の妥当性を検討するために、騒音低減効果について実測値と予測計算値とを比較して調べた。

3.1 衝撃加振試験概要

衝撃加振試験に用いた試験体は、前述の吹き付け施工試験に用いた桁A体である（図-2）。この試験体の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。試験状況を図-5, 図-6 に示す。

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-7(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-7(b))。その上で 1/3 オクターブバンドごとにパワー値を総和した (図-7(c))。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, $0(\text{dB})=2\times 10^{-5}(\text{Pa/N})$ とした。

図-7 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る。特に騒音低減効果は 250Hz 以上で明確なものになっている。実橋での騒音測定結果⁷⁾を考慮すると, この範囲で構造物音の値が大きくなっており, 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, 10Hz~10kHz 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 5mm 厚) により騒音レベルが腹板位置で 10dB 程度低減していることが分かる。この騒音低減の程度は, 過去の研究事例⁸⁾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材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。

3.2 防音性能の数値計算

前項で述べた試験鋼桁を対象に, 桁腹板にゴムラテックスモルタルを吹き付けたときの桁腹板近傍の騒音低減量を計算し, 実測値と比較した。計算は文献 7) による方法に基づき, 腹板をそれと同サイズで 4 辺が固定された鋼製平板とみなし, その板の振動解析を行った。振動加速度においては, 加振力の入力パネル中央 (振動測定点位置) とし, その振幅値は防音材貼付前において対象点の振動加速度の計算値が実測値と同等程度となる

ような値を試行的に求めて入力した。そこで得られた微小領域 (対象板を分割) の振動速度解に音響インピーダンスを乗じ板の全域で総和するなどの方法により受音点の騒音を計算した。受音点としては前項と同様に桁腹板中央で腹板から 300mm 離れの点とした。ただし, ゴムラテックスモルタル吹き付け後については板のモデルとして剛性がゴムラテックスモルタル鋼板の積層体と等価である単一平板とした。また, 平板の減衰特性として, ゴムラテックスモルタル吹き付け前後とも, 別途行った要素試験 (400×50×9mm 供試体) での共振法による損失係数の値 (付録表参照) を適用した。

図-8 に, ゴムラテックスモルタル吹き付けによる騒音低減量について, 計算結果および今回の試験結果を示す。図より, 全体的に右肩上がりの周波数特性を有することや, 一部の周波数のピークが一致し, 本測定結果の妥当性が確認できた。また, 本予測計算手法によれば, 実橋レベルでの騒音低減予測もある程度可能であることも分かる。一方で, 値自体については, 計算値の方が実測値よりおおむね高い値を示す傾向となった。この主な原因として, 過去の解析事例⁸⁾も参考にすると, 解析モデルと試験体における支持条件などの差が考えられる。

4. 経済性の検討

本項では, 一般的な騒音対策を用いた鉄道用合成桁にゴムラテックスモルタルを被覆した場合, どの程度の経済効果があるかを, 実物を想定した試設計で計算し, その効果を確認する。なお, 試設計にあたっては, 「鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物」(平成 12 年)によって, 照査を行っている。

4.1 検討橋梁概要

検討対象とした合成桁は, 支間長 60m+60m+60m の鉄道用 3 径間連続合成桁とし, 当該支間長に一般的に用いられる複線 2 主箱断面とした (図-9)。

また, 比較検討にあたっては, 以下のモデルを用いて検討することとした。

modelA : 腹板, 下フランジの鋼板の片面に, コンクリートを 150mm の厚さで設置する。

modelB : 腹板, 下フランジの鋼板の両面に, ゴムラテックスモルタルを 5mm の厚さで設置する。

modelC : 腹板に, ゴム系制振板 (ここでは, 一般的な複合磁性式制振板とする) を密に設置する。

ここで, modelA は, 騒音対策として被覆コンクリー

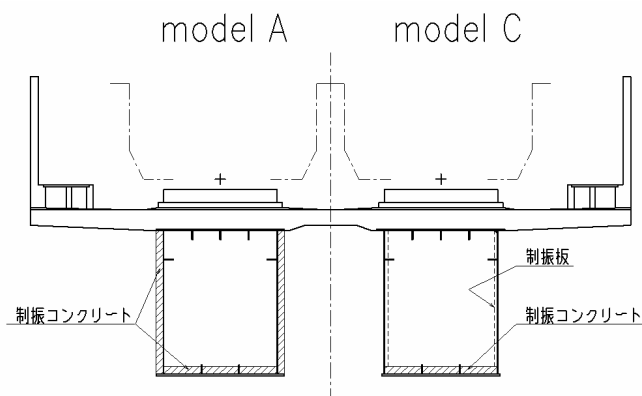


図-9 試設計モデルの断面構成概要

トを用いた場合であり、このコンクリートは、ウェブ、下フランジに片面配置されている。コンクリートの厚さは、従来の実績をもとに 150mm で設置するものとしている。なお、本被覆コンクリートの厚さは、騒音低減効果としては必要以上の厚さとなっており¹⁾、騒音上の観点ではなく、コンクリートは剥落やひび割れが起らないようにするためである。

modelB は、今回提案するゴムラテックス被覆を用いた場合であり、5mm の厚さでウェブ、下フランジに両面配置することを想定している。modelC は、騒音対策としてウェブ片面にゴム系制振板を用いた場合である。

なお、各モデルともに比較するために、断面形状（幅員、桁高）は同じものとし、構成部材の板厚変化により

表-4 modelA と modelB の試設計結果概要（断面総括表、応力総括表、照査結果総括表）

		model A 従来式（コンクリート t=150被覆）			model B ゴムラテックス t=5×2被覆		
		側径間支間中央	中間支点	中央径間支間中央	側径間支間中央	中間支点	中央径間支間中央
検討条件	構造形式	複線 2 箱桁	複線 2 箱桁	複線 2 箱桁	複線 2 箱桁	複線 2 箱桁	複線 2 箱桁
	断面決定根拠	終局限界状態	終局限界状態	終局限界状態、板要素	終局限界状態	終局限界状態	終局限界状態、板要素
① 断面力	合成前死荷重	kN・m 25,287.8	-38,101.7	4,115.5	25,287.8	-38,101.7	4,115.5
	合成後死荷重	kN・m 17,777.2	-25,002.1	4,900.6	11,241.5	-15,810.2	3,098.9
	活荷重衝撃	kN・m 19,262.3	-24,911.5	13,076.9	19,262.3	-24,911.5	13,076.9
	不静定力	kN・m —	-7,339.3	—	—	-7,339.3	—
	② 合計	kN・m 62,327.3	-95,354.6	22,093.0	55,791.6	-86,162.7	20,291.3
③ 断面形状	床版	有効幅	mm 5,850	5,625	5,850	5,625	5,850
		厚さ	mm 300	300	300	300	300
		面積	mm ² 1,755,000	1,687,500	1,755,000	1,687,500	1,755,000
		強度	N/mm ² 30	30	30	30	30
	鉄筋	上段	—	D22 55本 ctc 100mm	—	D22 55本 ctc 100mm	—
		下段	—	D22 55本 ctc 100mm	—	D22 55本 ctc 100mm	—
	鋼断面	U FLG	mm 1-PL 2500 × 17	1-PL 2330 × 25	1-PL 2500 × 14	1-PL 2500 × 17	1-PL 2330 × 21
		U RIB	mm 4-PL 130 × 13	2-PL 220 × 22	4-PL 130 × 13	2-PL 220 × 22	4-PL 130 × 13
		WEB	mm 2-PL 2800 × 12	2-PL 2800 × 22	2-PL 2800 × 12	2-PL 2800 × 12	2-PL 2800 × 12
		L RIB	mm 2-PL 180 × 12	3-PL 250 × 25	2-PL 180 × 12	3-PL 250 × 25	2-PL 180 × 12
		L FLG	mm 1-PL 2300 × 24	1-PL 2130 × 34	1-PL 2300 × 13	1-PL 2300 × 21	1-PL 2300 × 13
	As	mm ² 175,980	282,300	143,180	169,080	262,330	143,180
	材質	SM570	SM570 SD345	SM400	SM570	SM570 SD345	SM400
	合成断面	Iv(n=7)	mm ⁴ 569,172,152,584	500,508,581,285	419,361,765,707	530,193,549,113	458,997,452,326
終局限界状態	発生応力	床版 上縁	N/mm ² -8	—	-5	-7	-4
		鉄筋 上段	N/mm ² —	184	—	167	—
		鋼断面 U FLG	N/mm ² -235	301	-84	304	-80
		L FLG	N/mm ² 307	-308	167	-309	155
	安全度	床版 上縁	— 0.800	—	0.416	0.679	— 0.404
		鉄筋 上段	— —	0.707	—	0.641	—
		鋼断面 U FLG	— 0.968	0.971	0.495	0.917	0.980
		L FLG	— 0.989	0.969	0.938	0.979	0.873
	合成応力	腹板上端	— 0.476	0.847	0.197	0.427	0.853
		腹板下端	— 0.811	0.868	0.739	0.794	0.863
疲労限界	疲労限	判定 U FLG	ずれ止めの溶接 F：満足	ずれ止めの溶接 F：満足	ずれ止めの溶接 F：満足	ずれ止めの溶接 F：満足	ずれ止めの溶接 F：満足
		L FLG	ダイヤラの溶接 E：繰返へ	ダイヤラの溶接 E：満足	ダイヤラの溶接 E：繰返へ	ダイヤラの溶接 E：満足	ダイヤラの溶接 E：繰返へ
	繰返し	判定 U FLG	照査の必要なし	照査の必要なし	照査の必要なし	照査の必要なし	照査の必要なし
使用限界状態	たわみ量	mm 27.5	—	21	27.5	—	21
		— 1/2182	—	1/2857	1/2182	—	1/2857
		mm 37.5	—	37.5	37.5	—	37.5
	たわみの制限値	— 1/1600	—	1/1600	1/1600	—	1/1600
		mm —	0.233	—	—	0.196	—
		mm —	0.236	—	—	0.236	—
	安全度	— —	0.989	—	—	0.829	—
概算鋼重 (2主桁当たり)	鋼重	t 397.9	319.1	121.4	382.3	296.5	121.4
	延長あたり	t/m 4.1	6.6	3.4	4.0	6.2	3.4

差が生じるものとしている。また、簡易化のために、桁軸方向の断面形状変化もないものと仮定し、断面の種類は、側径間中央断面、中間支点断面、中央径間中央断面の3種類で構成されるものとした。

4.2 modelA と modelB の比較

制振コンクリート（片面 150mm 厚）を用いた場合とゴムラテックスモルタル（両面 5mm 厚）を用いた場合の照査結果および断面の比較を表-4 に示す。表-4 では、桁の対称性を用いて、側径間中央断面と中間支点断面、中央径間中央の3断面についての検討結果を示している。まず、表-4 では、合成後死荷重による応答断面力、modelB の方が modelA よりも 37% 程度小さくなっている（表-4 赤枠①）。これは、modelA の制振コンクリートの重量が軽減されたためである。この結果、合計の断面力も modelB の方が 8~10% 程度軽減されている（表-4 赤枠②）。さらにこの影響により、modelB の全体の応答断面力も modelA よりも小さくなり、結果として、modelB は modelA よりも断面板厚を薄くすることができる結果となっている（表-4 赤枠③）。具体的には、中間支点断面の上・下フランジの板厚がそれぞれ 4mm, 5mm 減少させることができ、また、側径間断面の下フランジでは 3mm の板厚減少が可能である結果となった。なお、中央径間断面については、全体の応答断面力も比較的小さく、断面力によらない最小板厚等の事項によって決定されるため、板厚を減少させることはできなかった。

本結果を桁の鋼重と比較すると、中央径間部を除く側径間部と中間支点部で鋼重低減効果が見られ、桁全体での鋼重 t （単位長さあたりの鋼重 t/m ）は、modelA では 838.4t（4.66t/m）、modelB では 800.2t（4.45t/m）となっている（表-4 赤枠④）。よって、ゴムラテックスモルタル被覆を用いた modelB の方が、4.56% 鋼重が低減できている結果となっている。なお、modelA は、制振コンクリートが厚いため、modelB よりも騒音低減効果は大きくなると予想できる。しかし、ここでは先述の通り、制振コンクリートの厚さが騒音低減効果によって決定せずに、剥落等への配慮から決定していることから、騒音低減効果の比較は考慮しないものとした。

4.3 modelB と modelC の比較

ゴムラテックスモルタル（両面 5mm 厚）を用いた場合と複合磁性式制振板を用いた場合は、前項とは異なり死荷重が大きく変化しないことから、断面の照査結果では変化が見られないため省略する。しかし、複合磁性式制振板（modelC）とゴムラテックスモルタル吹き付け施工（modelB）でのコストを実績概算で比較することとした。

modelB では、ゴムラテックスモルタルを両面に吹き付ける。本施工の費用は材料費・施工費を含めて約 10000 円/㎡である。本費用は、本吹き付け施工試験を行った時点（2007 年 10 月）での実績値である。なお、本費用では足場を組むこと等は考慮していない。

modelC では、片面に複合磁性式制振板を設置するため、この施工費用は約 30000 円/㎡である。また、制振板を使用する場合は、防錆対策・景観対策として塗装を行う必要があるため、この費用を約 6000 円/㎡と見込むと仮定する。これらの値も 2007 年 10 月での実績概算値を用いている。

よって、各モデルでの単位面積（両面）あたりの騒音対策施工費用（概算）は、modelB で塗装が必要ないことも考慮して、以下のようになる。

modelB :

$$\begin{aligned} & (\text{ゴムラテックス費用}) \times (\text{両面}) - (\text{塗装}) \times (\text{両面}) \\ & = 10000 \times 2 - 6000 \times 2 \\ & = 8000 \text{ (円/㎡)} \end{aligned}$$

modelC :

$$\begin{aligned} & (\text{制振材費用}) \times (\text{片面}) \\ & = 30000 \times 1 \\ & = 30000 \text{ (円/㎡)} \end{aligned}$$

本結果を、本試設計橋梁（腹版高 2.8m、橋梁全長 180m）のウェブ部（2 主桁＝4 枚ウェブ）に適用すると、modelA の modelC に対するコスト縮減効果は、4435 万円程度にもなる。なお、modelB において塗装を省略するにあたっては、ゴムラテックスモルタル被覆の耐久性（耐候性）に関して検証が必要であるが、ここではゴムラテックスモルタルの使用実績から、十分な耐久性を持つものとして検討した。

本概算結果は、厳密なものではなく、施工条件等でも変化する可能性があるが、ゴムラテックスモルタル被覆を使用することによるコスト縮減効果の概要としては、有益な情報が示されていると考えられる。

5. まとめ

本研究では、鋼橋に対して、剥落の生じにくいゴムラテックスモルタル被覆（厚さ 5mm）を制振材として用いることを考案し、安価で施工可能な低騒音鋼橋を提案した。本研究結果を以下にまとめる。

- （1）ゴムラテックスモルタルの吹き付け施工試験の結果、数回の分割施工により、吹き付け厚を 5mm 確保した上で施工することが可能である。ただし、フ

- ランジ下面などの下から上に向かって吹き付けを行う場合は、吹き付け回数を多くする必要がある。
- (2) 衝撃加振試験、および、従来より用いられてきた制振材での試験結果との比較の結果、ゴムラテックスモルタル（5mm・両面）を被覆する前後で、騒音レベルが腹板位置で 10dB 程度低減することがわかり、本防音性能は解析でも妥当であることが分かった。
- (3) 試設計の結果、従来の騒音対策であるコンクリート被覆（150mm・片面）とゴムラテックスモルタル被覆（5mm・両面）を比較した場合、死荷重を低減することができるため、結果的に使用鋼重を低減することができる。
- (4) コスト比較の結果、もう一方の従来の騒音対策である制振材（複合磁性式制振材）と比較した場合、ゴムラテックスモルタル被覆の方が材料・施工コストで有利であることが分かった。また、ゴムラテックスの耐候性、耐水性から、鋼部材の塗装が省略できる可能性もある。
- (5) ゴムラテックスモルタル吹き付け施工試験の結果、モルタルの被覆厚さは、吹き付け施工回数の調整により、5mm 以上とすることも可能であると考えられる。したがって、施工時間や、騒音低減効果、経済性から、個々の橋梁に対して適切な被覆厚さを設定することも可能である。

ゴムラテックスモルタル被覆を用いた鋼橋の検討課題としては、既設鋼橋への施工法に関する検討（吹き付け時の飛散防止方法や、既設鋼橋の表面処理方法など）や、実際の環境条件における耐候性の確認検討が考えられる。さらに、ゴムラテックスモルタルの強い付着力と耐水性から、コンクリート中の鋼部材の腐食防止材として用いることも考えられる。

なお、本論文では、衝撃加振試験による騒音低減量から騒音性能を検討しており、より詳細な騒音性能に関する検討を行う場合は、実際の列車や軌道を用いた試験により評価を行う必要があるといえる。

謝辞

本研究は、国土交通省補助金を受けて実施しました。また、ゴムラテックスモルタルの材料特性および施工検討においては、川崎重工業（株）大垣 賀津雄氏、川重商事（株）水上義彦氏、アスク・サンシンエンジニアリング（株）奥田久志氏に、試設計および経済性の検討にあたっては、（株）トーニチコンサルタント 久保武明氏、日本交通技術（株）金木隆氏、同 植松寛喜氏、の各氏から有益な助言をいただきました。記して謝意を表します。

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

- 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。
- 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。
- 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。
- 大垣賀津雄、杉浦江、奥田久志、星埜正明：鋼・コンクリート合成構造界面の付着および防食性能向上に関する研究、第 5 回複合構造の活用に関するシンポジウム、土木学会、2005。
- 神谷崇、谷口望、碓山晴久、依田照彦：繰返し荷重を受ける連続合成桁中間支点部のひび割れ挙動に関する実験的研究、土木学会、土木学会論文集 A、第 63 号、pp.25-34, 2007。
- 碓山晴久、谷口望、上月隆史、棚橋明朗、小野沢直、依田照彦：ゴムラテックスモルタル被覆を用いた鉄道橋連続合成桁の中間支点部に関する実験検討、土木学会第 63 回年次学術講演会、CS02-08, pp.63-64, 2008。
- 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—その 2：鋼鉄道橋の振動解析と騒音予測—、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。
- 例えば、西岡隆、構造振動解析、培風館、1981。

(2008 年 9 月 18 日受付)