

(8) 既設鋼橋の複合構造化によるリニューアル工法の施工と実証試験

谷口 望¹・大久保 藤和²・佐竹 紳也³・杉野 雄亮⁴
松浦 史朗⁵・半坂 征則⁶

¹正会員 前橋工科大学 社会環境工学科 准教授 (〒371-0816群馬県前橋市上佐鳥町460-1)
E-mail:n-tani@maebashi-it.ac.jp

²正会員 太平洋マテリアル 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)
E-mail:fujikazu-okubo@taiheiyo-m.co.jp

³正会員 太平洋マテリアル 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)
E-mail:Shinya-Satake@taiheiyo-m.co.jp

⁴正会員 太平洋マテリアル 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)
E-mail:yusuke-sugino@taiheiyo-m.co.jp

⁵正会員 相模鉄道 施設部 工務課 (〒220-0004横浜市西区北幸2-9-14)
E-mail:matsuura_s@sotetsu-group.jp

⁶鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 防振材料 室長 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)
E-mail: hansaka@rtri.or.jp

近年、鋼鉄道橋の老朽化および騒音が問題となっている。鉄道橋では、100年以上も前に建設された鋼橋が多く残されているのが現状であり、何らかの対策が必要とされているものも多い。そこで著者らは、既設の鋼橋に対して、ゴムラテックスモルタル被覆、コンクリート床版を設置し、いわゆる複合構造化によって、耐荷力向上、耐久性向上、低騒音化、維持管理コスト低減を図る事を目的とした研究を行っている。この複合構造化が相模鉄道本線川島陸橋（上星川駅－西谷駅間）において初めて実橋にて採用された。本稿ではこのリニューアル工法施工の概要を報告するとともに、工事前後で測定した試験結果について報告し、本リニューアル工法の効果を実証する。

Key Words : Hybrid structure, Maintenance, Extension of life, Anti-noise measure

1. はじめに

近年、土木構造物に対して効率的に維持管理を行うことが急務となっている¹⁾。特に、鋼鉄道橋では、設計耐用年数を超えたものが多くなっており、現状でもそのまま使用されているケースも少なくない。主要幹線では、設計耐用年数を超えた鋼鉄道橋は、取り換えによって更新されることもあるが、採算性の低い地方線区では、既設鋼橋を低コストで長寿命化することが必要とされている。一方、鋼鉄道橋の大きな課題として、長寿命化のほかに騒音対策がある。鉄道の場合、古い鋼橋の多くは床版がない開床式となっており、鋼部材から生じる音に加えて、レールから生じる音（転動音）や車両音が直に外部に伝わるため、道路橋や鉄道コンクリート橋に比べ

て、車両通過時の騒音が大きくなっている²⁾。

これら構造物の長寿命化や騒音対策として、既設鋼橋の複合構造化が検討されている。複合構造化とは、既設の鋼橋に、コンクリート部材等を設置するなどの対策を行うことで、鋼部材の腐食を防止し、また、桁剛性を向上させ、活荷重応答時の応力振幅を低減させ、疲労寿命を延ばすことを目的としている。また、同時に、鋼部材とコンクリート部材を一体化することにより、鋼部材から発生する騒音を低減させることもできる³⁾。

しかし、コンクリートを使用した複合構造化にあたっては、検討課題も多い。一般に、鋼とコンクリートとはその付着力が弱く、ずれ止め構造を設置しなければ、一体化することは難しい。鋼部材とコンクリート部材が一体化されなければ、桁の剛性は向上することがなく、複

合構造化の効果が小さくなる。逆に、鋼部材とコンクリート部材の境界部には、腐食が生じやすいことが知られており、適切に一体化できなければ、複合構造化によって鋼橋の腐食を促進させてしまう可能性もある⁴⁾。そこで、既設鋼橋を複合構造化するには、ずれ止め等を設置する必要があるが、溶接により取り付ける場合は、これらの古い鋼材は溶接に適さないものも多く、現場での溶接作業ではさらに困難となる。また、高力ボルトで取り付ける場合も、削孔が必要となり、リベット桁等では非常に煩雑な作業となる。

また、このような複合構造化のもう一つの課題としては、作業の制約がある。鉄道は公共性の高いサービスを提供しており、運休や迂回を行うことが非常に困難である。したがって、鋼鉄道橋の複合構造化施工に当たっては、短時間の作業で分割施工を組み合わせながら実施する必要がある。一般に、都市部での最長作業時間は、最終列車と始発列車の間の3時間程度となるケースが多く、この時間の範囲で施工できるように構造形式を決定する必要があると言える。つまり、このことは、コンクリートを使用する場合にも、3時間である程度の強度発現が必要であることを示している。

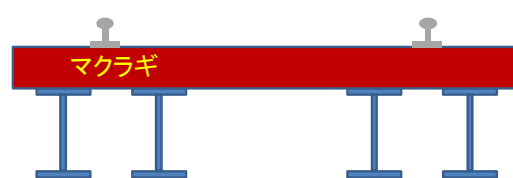
著者らは以前より、既設鋼橋をそのまま活用したリニューアルを想定した実験的検討を行い工法の開発を行ってきた⁵⁾。本報告では、初めて本工法が実際の橋梁に適用された相模鉄道本線川島陸橋（上星川駅ー西谷駅間）での施工および効果測定の結果を示す。

2. 複合構造化概要

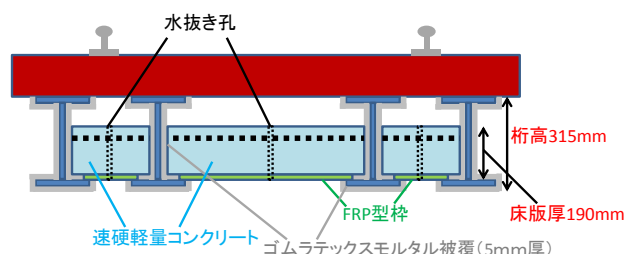
本研究で提案する複合構造化の概要を、図-1に示す。複合構造化に当たっては、様々な手法が考えられるが、ここでは、施工性や防食、また、既設鋼橋への影響を最小限とする観点から図-1の手法を提案することとした。本複合構造化の特徴としては、既設鋼橋に対して削孔や溶接などの改造を行っていないことと、既存の軌道構造をそのまま利用することである。本構造では、複合構造化に次の比較的新しい材料を使用している。①ゴムラテックスモルタル（被覆材）³⁾、⁵⁾、②FRP型枠（埋設型枠）、③速硬軽量コンクリート（床版）⁶⁾を用いている。それぞれの複合構造化の構成材には次のような目的がある。

①ゴムラテックスモルタル（被覆材）³⁾、⁵⁾

- ・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



(a) リニューアル前（複合構造化前）



(b) リニューアル後（複合構造化後）

図-1 既設鋼橋のリニューアル工法概要
(4主I形鋼桁の場合)

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）⁶⁾

- ・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

ゴムラテックスモルタルは、モルタルにゴムラテックス混和剤を混入させたものであり、鋼材・コンクリート双方への付着性能が高く（一般に材令7日付着せん断強度で5.0N/mm²程度）、耐水性能、耐衝撃性能にも優れていることが知られている。既存の適用事例としては、道路橋の鋼床版の疲労対策として、鋼床版の上に打設する構造などが提案されている。本複合構造化においては、こ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。また、ゴムラテックスモルタル被覆のみを5mm厚で設置した場合でも、鋼橋の騒音を低減することができることも確認されている。なお、ゴムラテックスのヤング係数は、一般に2.00×10⁹N/mm²程度である。

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。

3. 実橋梁での施工概要

本工法を適用した相模鉄道本線川島陸橋の概要を写真-1に示す。本橋梁は、上下線で別々の2橋となっており、上り線は4主I形鋼溶接桁（図-1と同等断面）、下り線桁はトラフガーダー改造桁（形鋼を組み合わせた4主リベット桁）であり、桁長はいずれも 3.85m である。上り線桁には、下フランジに溶接されたプレート（写真-1(b)）以外には、横桁方向の部材は取りついていない。なお、上り線桁は1952年（昭和27年）以前に製作、下り線桁は1926年（大正15年）以前に製作されている。

施工の手順は、桁の塗装をバキュームブラスト処理にて撤去した後、ゴムラテックスモルタル被覆を施工し、FRP型枠設置後、速硬軽量コンクリートを打設したものである。今回の施工では桁に対しての削孔や溶接等の改造は一切行っておらず、軌道構造も変更していない。

計画工程と実施工程の差を表-1に示す。既存塗膜撤去時のブラスト処理は昼間作業で行い、その他の工程は夜間の線路閉鎖間合作業で行った。モルタル被覆は吹付けを基本とし、歩行者に近い表面は後にコテで仕上げていく。軽量コンクリートは 100m ほど離れた踏切から軌陸車を入線し、現場練りにて軌道上マクラギ間より打設した。計画工程と実施工程を比較した結果、大きなズレは生じなかったが、ゴムラテックスモルタルに関しては夜間施工の影響もあり被覆厚に差が生じやすく、不足箇所は是正が数晩含まれている。また、天候の影響等で施工期間は計画よりも長引く結果となった。コンクリートの打設は線路閉鎖作業の為、時間に制限がある。作業時間は表-2に示した通り3時間ほどで、軽量コンクリートの強度発揮も約3時間後であることから強度不足のまま初列車を通過させる事のないよう時間管理を厳正に行った。軌陸車は1晩で2台使用し、計4晩で施工を完了している。初日の打設量は 0.2m^3 ほどだったが、2晩目以降は 0.6m^3 ほど打設する事が可能であった。各材料の諸元を表-3～表-5に示す。



(a) 川島陸橋全景



(b) 上り線桁下面（複合構造化前）



(c) 下り線桁下面（複合構造化前）



(d) 上り線桁下面（複合構造化後）



(e) 下り線桁下面（複合構造化後）

写真-1 川島陸橋の概要

表-1 計画工程と実工程 (2橋分)

工程	計画	実施
プラスト工	5日	6日
モルタル工	14日	13日
型枠工	10日	7日
コンクリート工	6日	4日
排水工	11日	4日
全体工程	46日	34日

表-2 川島陸橋の線路閉鎖時間

	線路閉鎖時間	初列車通過時刻	作業時間
上り線	1:08～4:46	5:08	約3時間
下り線	0:55～5:07	5:33	

表-3 ゴムラテックスモルタルの配合

ゴムラテックスパウダー (kg/m ³)	ゴムラテックス混和液 (kg/m ³)
1757	264

4. 応力低減効果の測定

複合構造化による剛性向上効果を確認するため、川島陸橋の上下線桁において、複合構造化の施工前後で車両走行時の発生応力を測定した。上下線含みで、施工前は37列車、施工後43列車に対して測定を行った。応力測定は図-2に示すとおり、フランジの公称応力に着目して、各桁のスパン中央断面にひずみゲージを設置した。計測にはBMCシステムを使用した。測定結果はFFT・ローパスフィルターによりノイズ除去を行うものとする。なお、この応力計測は、コンクリート打設後約2週間後に実施しており、本路線の運転列車本数から計算すると、応力振幅を生じさせる载荷回数は最低で21万回の作用後に計測を行っていると考えられる。

(1) 各主桁の応力変化状況

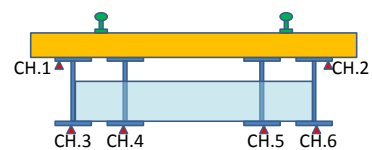
図-3、図-4に上下線桁における10000系車両载荷時の下フランジ側の測定結果を示す。この10000系車両は、本測定で比較的多くの本数において測定できた車種となっており、一般的な通勤型車両である。図-3において複合構造化前後で比較すると、全体的に応力が低減され、各主桁の応力分担のばらつきもかなり改善されている。つまり、局所的に大きな荷重を分担していた主桁は、複合構造化により4主桁が一体として挙動するように変化したため、他の主桁と同程度の分担程度となっている。最大の応力低減効果が得られているのは、CH 5の主桁で、この部分は42%の応力低減効果となっており、累積疲労損傷度より算定される延命化効果としては5.1倍に相当すると考えられる。下り線桁（図-4）でも同様の傾向が

表-4 速硬軽量コンクリートの配合

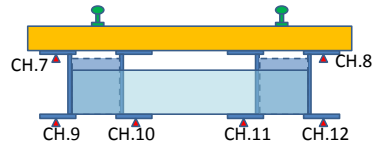
水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)		
	水	パウダー	人工軽量粗骨材
32.5	183	1529	412

表-5 ゴムラテックスモルタル・速硬軽量コンクリートの強度発現状況

	材齢	速硬軽量コンクリート	ゴムラテックスモルタル
圧縮強度 (N/mm ²)	3hr	27.0	13.4
	1d	40.7	24.2
	7d	50.9	32.5
	28d	54.6	36.5



(a) 上り線桁のひずみゲージ位置



(b) 下り線桁のひずみゲージ位置

図-2 ひずみゲージの取り付け位置
(スパン中央断面に取り付け)

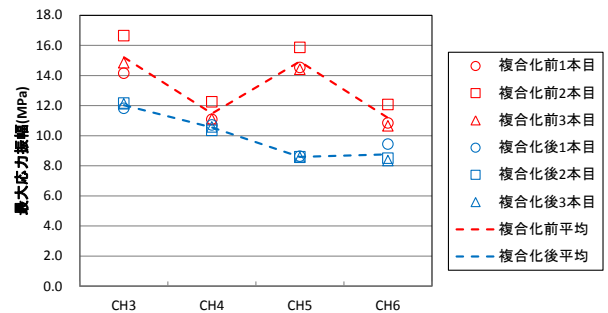


図-3 上り線桁の下フランジ応力比較 (10000系)

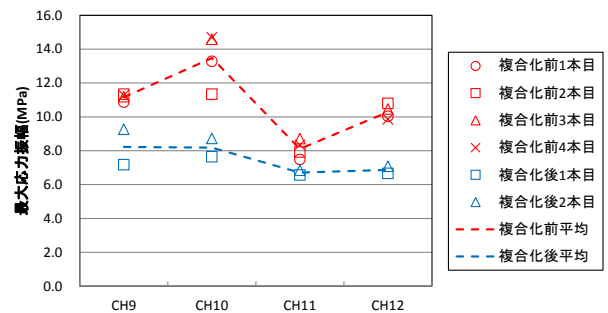


図-4 下り線桁の下フランジ応力比較 (10000系)

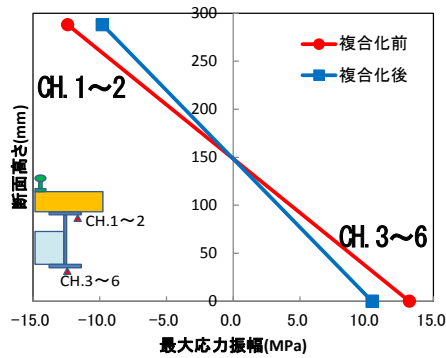


図-5 上り線桁の断面内応力の比較（10000系）

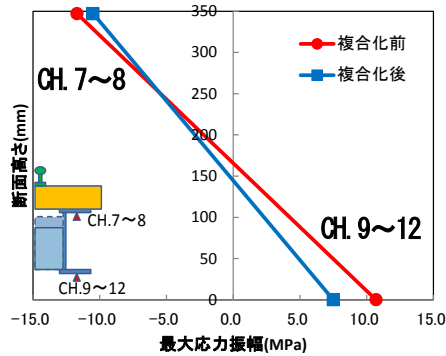


図-6 上り線桁の断面内応力の比較（10000系）

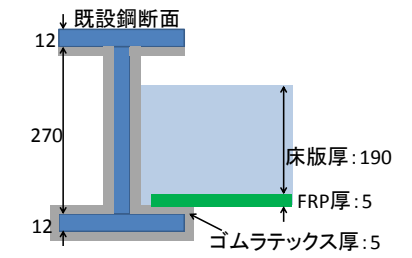
確認でき、複合構造化前はCH. 10の主桁に応力が集中し、CH. 11では応力が小さくなっていたものの、複合構造化後は各主桁の応力がほぼ均一化されていることが明確になっている。

(2) 桁の平均応力の状況

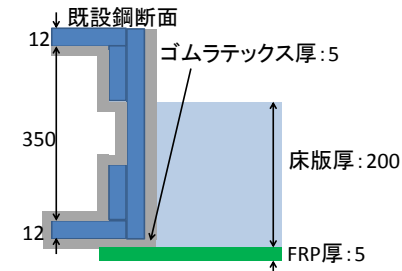
図-5、図-6に各桁における10000系車両載荷時の断面内応力分布を示す。応力分布は複数ある主桁上下フランジの最大応力振幅を平均化して求めた。本結果から上下フランジともに応力が低減していることが分かる。これは本橋梁の全体としての剛性も増加していることを示している。両図の結果の違いは、上り線桁では複合構造化前後で中立軸がほぼ変わらずに、上下フランジの応力が同等に低減している点であるが、下り線桁では中立軸の高さが低くなり、剛性向上の効果が下フランジ側に集中している傾向がみられる。本結果は、桁の断面形状により型枠の設置方法が上下線桁でそれぞれ異なっていることから生じたと考えられる。本効果の差の考察については、次項で検討を行う。

(3) 応力低減効果の妥当性検証

応力低減効果について、本橋梁を合成断面として計算



(a) 上り線桁の算定断面（高さ方向）



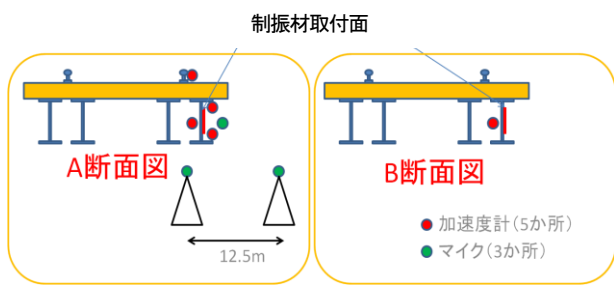
(b) 下り線桁の算定断面（高さ方向）

図-7 複合構造化後の理論剛性算定断面（単位mm）

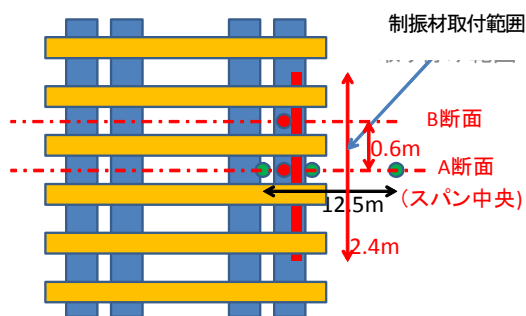
表-6 応力低減効果の理論値と測定結果の比較

		複合化前剛性理論値		複合構造化後剛性理論値		理論値	測定結果
		断面二次モーメント	中立軸高さ	断面二次モーメント	中立軸高さ	応力比	応力比
		$\times 10^6 (\text{mm}^4)$	mm	$\times 10^6 (\text{mm}^4)$	mm		
上り線桁	上フランジ	444	147	559	134	0.87	0.83
	下フランジ					0.72	0.81
下り線桁	上フランジ	587	187	848	139	0.88	0.87
	下フランジ					0.51	0.69

した場合と比較して、その効果を検証する。合成断面の剛性算出に当たっては、速硬軽量コンクリートのヤング係数比は $n=9$ とし、図-7に示すように速硬軽量コンクリート床版の位置を想定している。この床版は図のとおり、既設鋼橋の形状に対応して、型枠の設置位置により、上下線桁でそれぞれ異なった位置となっている。また、コンクリートのひび割れと、FRP型枠・ひび割れ防止筋の剛性は、考慮しないこととした。図-5、図-6の測定結果の平均値と、算出した合成断面による効果の比較を表-6に示す。本結果から、ほぼ合成とした断面と一致することがわかる。また、上フランジ側については合成断面と想定した理論値とほぼ等しくなっているものの、下フランジについては、理論値のほうが測定結果よりも多少大きな効果を示すことがわかる。この原因としては、床版の下フランジ側付近にひび割れが生じている可能性が考えられるが、実橋の観察からはひび割れは発見されておらず、今後原因の究明が必要であると考えられる。本結果から、前項に記載した下り線桁で下フランジ側に効果



(a) 断面図（対策前・制振材取付時）



(b) 上側平面図（対策前・制振材取付時）

図-8 騒音振動測定のセンサー概要（上り線桁）



写真-2 磁性式制振材の取り付け状況



写真-3 ハンマー打撃試験の状況

が大きくなった原因としては、図-7のように床版の取り付け位置が異なることが原因であることがわかる。

5. 騒音・振動低減効果の測定

本橋梁の上り線桁のみにおいて、複合構造化の施工前後で車両走行時の桁周辺の騒音測定試験、桁の振動測定試験およびハンマーを用いた衝撃加振試験を実施した。測定条件は、(1)無対策（複合構造化前）、(2)磁性式制振材⁷⁾を腹板に取付（複合構造化前）、(3)複合構造化後、の3種類とした。車両走行時の試験は、(1)で48列車、(2)で19列車、(3)で33列車に対して測定を行った。なお、磁性式制振材は、従来より鋼鉄道橋の騒音振動対策として使用されてきたものである（写真-2）。

列車音や転動音を除いた構造物音のみの効果を明確にするために、ハンマーによる試験も実施しており（写真-3）、スパン中央（A断面）上フランジにおいて鉛直方向にハンマーで8回×3セットの打撃試験を行い、平均値を求めるものとした。図-8に示すとおり、振動測定はレールと桁に加速度計を5箇所、騒音測定はマイクを3箇所に設置した。振動は圧電型加速度ピックアップ、騒音は普通騒音計により測定した。主な条件として、振動では周波数重み特性F、時定数FAST、騒音では周波数重み特性A、時定数FASTとした。ここで、ハンマーによる試験時は、音源の騒音レベルが小さいことから十分な精度が得られないため、12.5m位置の騒音計測は省略した。

(1) 車両走行時による試験結果

車両走行時の振動加速度レベルと騒音レベルの周波数（1/3オクターブバンド）分析の結果を図-9～図-13に示す。なお、車両走行時の騒音振動は列車速度の影響を受けるため、測定速度別に振動加速度レベル、騒音レベルを整理し、比較的速度の影響は小さいと考えられる測定データのみを平均化するものとした。また、周波数分析の結果は、一般的に鋼橋の構造物音が大きくなる100Hzから2500Hzの範囲⁸⁾について図示しており、縦軸の値は1メモリが10dBとなるように表記している（周辺環境への配慮によりdBの値は表記を省略している）。

図-9、図-10はウェブの加速度計の結果を示している。本結果から、複合構造化により、すべての周波数において大きく振動が低下していることがわかる。この低減効果は、従来の対策として使用されてきた制振材よりも大きな効果を示している。

図-11～図-13は、マイクによる騒音の計測結果である。ウェブ近傍音（図-11）は、図-9と比較しても大きな低減効果は生じていない。これは、マイクの集音では、列

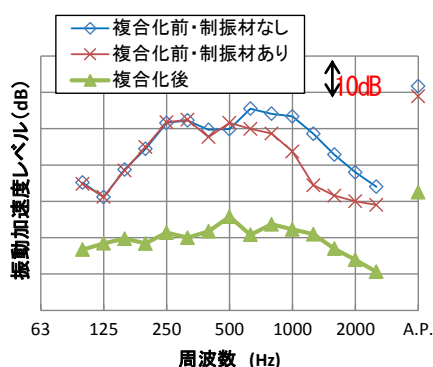


図-9 ウェブA断面の振動加速度レベル (10000系)

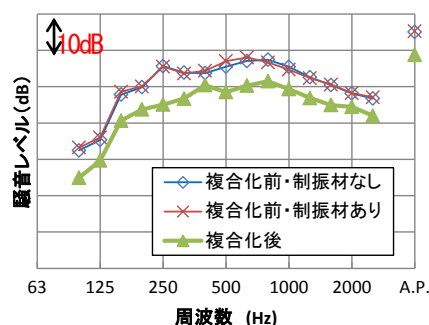


図-11 ウェブ近傍の騒音レベル (10000系)

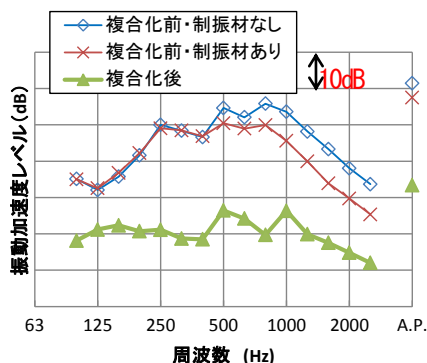


図-10 ウェブB断面の振動加速度レベル (10000系)

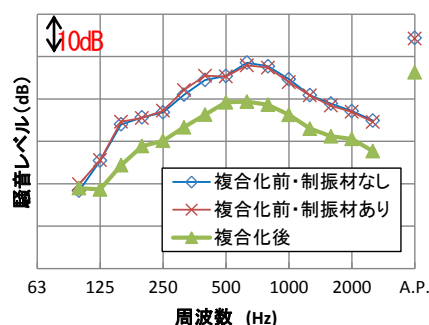


図-12 桁直下の騒音レベル (10000系)

車通過時の車両音や転動音も含まれ、これらの音の低減はほぼないため、全体としての低減効果が小さくなったものと考えられる。桁直下の騒音 (図-12) は、ほぼウェブ近傍音 (図-11) と同等な結果となっているが、やや桁直下の方が効果が大きくなっている。これは、複合構造化前は、開床式橋梁であり車両音や転動音が直に伝わっていたが、複合構造化後は床版により閉床式橋梁となったため、床版の遮音効果によって騒音レベルの低減量が大きくなっていると考えられる。

在来鉄道の標準的な騒音測定位置として設定される桁から12.5mの位置における騒音レベル (図-13) は、桁近傍や直下の測定効果よりも、さらに低減量は減少している。これは、桁から離れるにつれて、騒音の中に占める構造物音の割合が小さくなっていることが原因であると考えられる。しかし、従来から使用されてきた制振材による対策ではほぼ効果はなくなっているのに対して、複合構造化では3dB程度の効果を示している。

各測定点における (1) 無対策からのオールパス値 (AP値) の低減量を表-7に示す。AP値は (1) 無対策に対して (2) 制振材設置ではウェブの振動加速度レベル以外はほぼ変化がない結果であるのに対して、 (3) 複合構造化ではすべて点において効果が表れている。特にウェブの加速度レベルでは、30dB程度の大きな低減効果が示されていることができる。

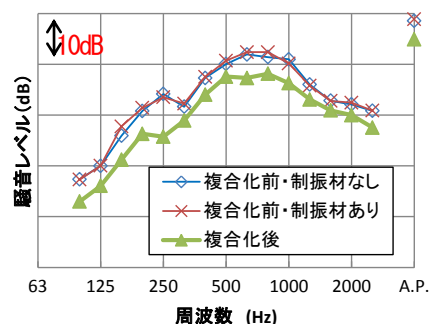


図-13 12.5m水平位置の騒音レベル (10000系)

(2) ハンマー打撃による試験結果

車両音や転動音等を除いた構造物音の低減効果を確認するため、ハンマーの試験結果より各測定点における無対策からのAP値の低減量を表-8に示す。本表より振動加速度レベルの傾向は車両走行時の結果と同様であるが、騒音レベルでは低減量は車両走行時よりも大きくなっており、下フランジの振動加速度の低減量と同程度の15～18dBの騒音レベル減少となっていることがわかる。本結果より、本複合構造化の効果により、車両音や転動音を除いた騒音レベルとしては、15～18dBの効果があることがわかる。

表-7 オールパス（AP）値の比較（10000系走行時）

		車両走行時(dB)	
		制振材取付	複合構造化
加速度	ウェブ(A断面)	-2.8	-29.2
	ウェブ(B断面)	-3.9	-28.1
	上フランジ	-0.5	-10.7
	下フランジ	-0.5	-13.2
騒音	ウェブ近傍	0.2	-6.3
	桁直下	-0.1	-8.1
	12.5m位置	0.3	-3.7

表-8 オールパス（AP）値の比較（ハンマー試験）

		ハンマー打撃時(dB)	
		制振材取付	複合構造化
加速度	ウェブ(A断面)	-5.2	-29.5
	ウェブ(B断面)	-9.0	-30.4
	上フランジ	-0.9	-12.2
	下フランジ	-1.5	-16.4
騒音	ウェブ近傍	-1.7	-15.2
	桁直下	-1.8	-18.6
	12.5m位置	(未計測)	(未計測)

6. まとめ

本研究では、既設鋼橋のリニューアルを目的に複合構造化手法を提案し、実際の橋梁に初の施工を行い、その効果を検証した。本検討より以下の結論が得られた。

- (1) 本複合構造化手法は、鋼桁の大規模な改造を行うことなく、かつ、供用中の状況でも、比較的短期間に施工が可能である。
- (2) 複合構造化により、剛性を向上することが可能であり、その効果は、速硬軽量コンクリートの床版を合成として算出した計算結果とほぼ一致した。
- (3) 上記の剛性向上により、活荷重による応力振幅は低減されるため、累積疲労損傷度の理論による鋼部材の長寿命化が可能であると考えられる。本橋梁の場合、応力振幅が最大で42%低減できた結果となり、延命化効果は5.1倍と想定できる。
- (4) 複合構造化により、騒音振動レベルも低減できるこ

とが確認され、ウェブ振動加速度で30dB程度、近傍の騒音レベルで15～18dB程度（構造物音のみ）である。また、その効果は、従来から使用されてきた制振材と比較してもかなり大きな効果となっている。

なお、本橋梁における複合構造化の実施にあたっては、事前に複合構造化による死荷重増分によっても、桁の耐荷力を十分に満足することを計算で確認している。

謝辞：本橋梁の複合構造化の検討、施工にあたっては、川崎重工、倉敷紡績、ボンドエンジニアリング、富士スチール、NB建設、トーニチコンサルタント、TESSの各社担当の皆様にご多大なご協力を得ました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：事例に基づく複合構造の維持管理技術の現状評価、土木学会、複合構造レポート04、2010.5.
- 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、Vol.21, No.2, 鉄道総合技術研究所、pp.21-26、2007.7.
- 3) 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、土木学会、Vol.55A, pp.1164-1171、2009.4.
- 4) 土木学会：複合構造物を対象とした防水・排水技術の現状、土木学会、複合構造レポート07、2013.7.
- 5) 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、土木学会、Vol.56A, pp.969-978、2010.4.
- 6) 浜中昭徳、長塩靖祐、中島裕：速硬性混和材および軽量骨材を用いたコンクリートの基礎性状、土木学会平成22年度全国大会、土木学会、V-710, pp.1419-1420、2010.9.
- 7) 半坂征則、御船直人、西本一夫、伊藤修二、永井靖隆：磁性複合型制振材の制振特性、日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集、1992.

An Examination on Hybrid Structures Renovated from the Old Railway Steel Bridges

Nozomu TANIGUCHI, Fujikazu OHKUBO, Shinya SATAKE, Yusuke SUGINO,
Shiro MATSUURA and Masanori HANSAKA

The maintenance of the steel bridges is considered to be problems recently. Therefore, in this study, the steel bridges are composed with concrete members. The noises of the steel bridges are reduced by these means. In addition, the stiffness increases from the bridges of only steel members. The remainder life of the structure is extended by this effect. These effects are confirmed by the experiments.