

(2) 長寿命化・低騒音化を目的とした 既設鋼鉄道橋の複合構造化

谷口 望¹・半坂 征則²・小出 宜央³・大垣 賀津雄³
大久保 藤和⁴・佐竹 紳也⁵・杉野 雄亮⁵

¹正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)
E-mail:n-tani@rtri.or.jp

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

³正会員 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)

⁴正会員 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)

⁵正会員 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)

鋼鉄道橋では、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、複合構造化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。そこで、本研究では、既設鋼橋の複合構造化を想定し、新しい材料を有効に活用することで、比較的安価に施工可能な複合構造化手法を提案する。また、施工試験により、厳しい制約の中で施工できることを確認し、さらに、ハンマー衝撃試験(振動測定試験)と載荷試験により、騒音低減効果と剛性向上効果を確認した。

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

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要求されている¹⁾。特に、鋼鉄道橋では、設計耐用年数を超えたものが多くっており、架設後100年以上そのまま使用されているケースも少なくない。設計耐用年数を超えた鋼鉄道橋は、架け替えによって更新されることもあるが、近年の厳しい経営状況から、既設鋼橋をそのまま生かし、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可能である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、桁の剛性は向上せず、複合構造化の効果が小さくなる。また、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による損傷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、数多く現存するリベット桁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

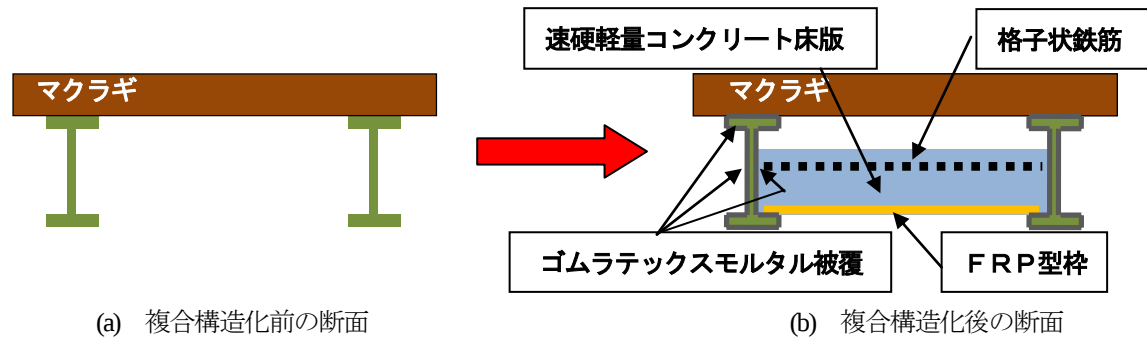


図-1 複合構造化の概要（鉄道用Iビームの場合）

る。したがって、鋼鉄道橋の複合構造化施工にあたっては、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3～5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、3～5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。

そこで、本研究では、き裂損傷や大きな欠食の無い既設鋼橋の複合構造化を想定し、比較的新しい材料を有効に活用することとし、新しい複合構造化手法を提案する。また、実際の鋼橋を使用した施工試験により、厳しい制約の中で施工できることを確認した。さらに、複合構造化の効果を確認するために、ハンマー衝撃試験（振動測定試験）と載荷試験により、騒音低減効果と剛性向上効果を確認した。

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

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/mm^2 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 $2.00 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 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。

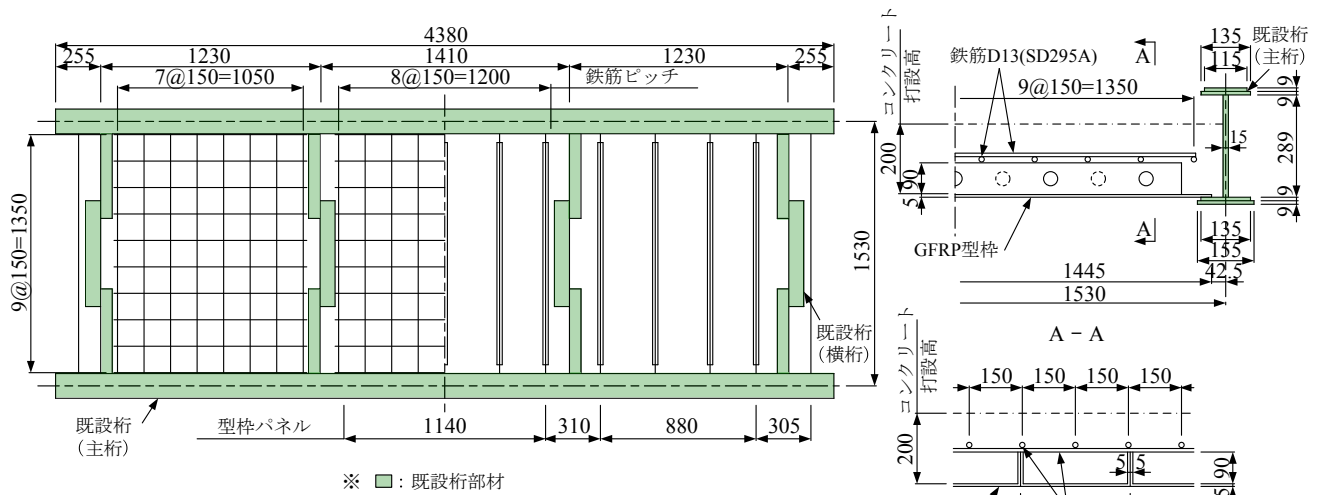


図-2 試験桁の概要（標準軌鉄道用Iビーム，単位:mm）



写真-1 試験桁の写真(撤去後)

表-1 ゴムラテックスモルタルの配合

W/C(%)	S/C	P/C(%)	単位量(kg/m³)	
			混和液	パウダー
26.9	1.86	18.8	306	1912

水 (W) , セメント (C) , 珪砂 (S) , ポリマー (P)

況および検討結果を示す。なお、複合構造化完成時に床版上には水が貯まる構造となるため、施工時に、現地合わせてFRP型枠に孔を設けた後、ゴムホースを差し込み、その後に速硬軽量コンクリートを打設する手法で、水抜きを設置した。

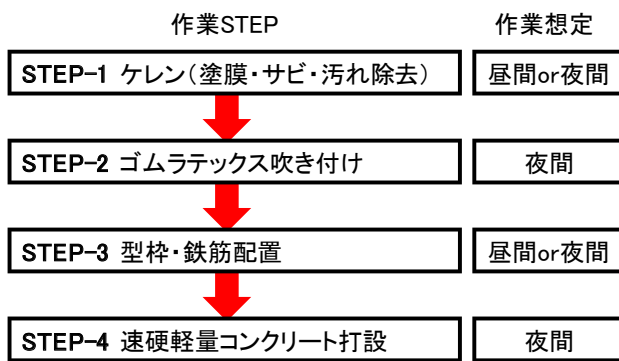


図-3 施工手順の概要と実施工での想定

3. 施工試験

本複合構造化の施工試験に当たっては、図-2、写真-1の実橋試験桁を用いて実施し、実際の手順で各施工試験を行った。施工手順は、①ケレン（ディスクサンダーによる塗膜除去）、②ゴムラテックスモルタル被覆の施工、③FRP型枠、格子状鉄筋の設置、④速硬軽量コンクリートの打設、で実施した（図-3）。施工試験では、作業時間も測定し、鉄道における夜間作業に対応できるかどうか検討した。以下に①を除いた各手順の施工状

(1) ゴムラテックスモルタル被覆の施工

ゴムラテックスモルタル被覆の施工は、以前著者らが製作した、低騒音鋼橋の製作時³⁾と同様である。ゴムラテックスモルタルの配合は表-1を用いており、被覆厚は5mmを目標とした。桁は、単純支持に配置した桁は移動することなく、1基のスプレーにより吹き付け施工を行った。吹き付けは、一度に5mm厚分吹き付けた場合、垂れが生じるため、複数回に分割して吹き付けを実施した（写真-2）。吹き付け後は、被覆厚の管理として、桁の各部位21ヶ所をそれぞれノギスで測定し、その結果すべての部位で5～7mmの範囲となっていることを確認した。今回の作業では吹き付けには240分要した。したがって、本結果からは、養生時間も含めて、鉄道工事における想定制約時間の中には収まらない結果となった。しかし、今回は1基としたスプレーを、複数基で対応することや、分割施工とすることで、想定制約時間で施工できる可能性があると考えられる。今回吹き付けたゴムラテックスモルタルの特性では、圧縮強度は24.9N/mm²（材令1日）、33.1 N/mm²（材令7日）、付着強度は3.0N/mm²（材令1日）、4.6N/mm²（材令7日）であった。



写真-2 ゴムラテックスモルタル吹き付け状況
(飛散対策を行っている)



写真-3 GFRP 型枠の運搬状況

表-2 速硬軽量コンクリートの配合

水/結合材 (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)						遅延剤 (kg/m ³)
		水	普通 セメント	速硬材	細骨材 (山砂)	細骨材 (砕砂)	軽量 骨材	
37.5	2.5	183	341	146	538	241	440	1.95

表-3 速硬軽量コンクリートの基礎物性

スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/ℓ)	圧縮強度(N/mm ²)				
				4時間	12時間	24時間	7日	28日
24	44.0×44.5	2.1	2.03	17.7	24.1	31.6	44.3	57

(2) FRP型枠、格子状鉄筋の設置

FRP型枠の形状概要は図-2のとおりであり、リブを有するパネル状となっている(写真-3)。今回は、横桁に合わせて、7分割とし、桁およびFRP型枠同士の接触部には充填式の接着剤(メタクリレート系樹脂、硬化時間90分)を使用し、クランプを用いて両者を固定した。FRP型枠と格子状鉄筋は、実際の施工では、桁上面にマクラギや軌道があることが予想されるため、これを考慮して桁下面からのみ搬入を行い、マクラギや軌道を存置した状態でも施工可能であることを確認した。また、本作業時間は約60分(1パネル当たり5~20分)であり、線区の状況によっては夜間でなく、昼間の列車間合いでも作業可能であると考えられる。なお、今回使用したGFRPの材料特性は、引張弾性率18.4 N/mm²、引張強さ334 N/mm²(JIS K 7164)、曲げ弾性率14.9N/mm²、曲げ強さ366N/mm²(JIS K 7017)であり、打設時に生じる理論たわみは、約2.5mm程度であった。

(3) 速硬軽量コンクリートの打設

速硬軽量コンクリートの配合を表-2に、基礎物性を表-3に示す。本コンクリートは、硬化時間を調整するために遅延剤も配合している。速硬軽量コンクリートは1時間程度で施工が終了し、材齢4時間での圧縮強度は17.7N/mm²であった。強度発現の速度については、調整

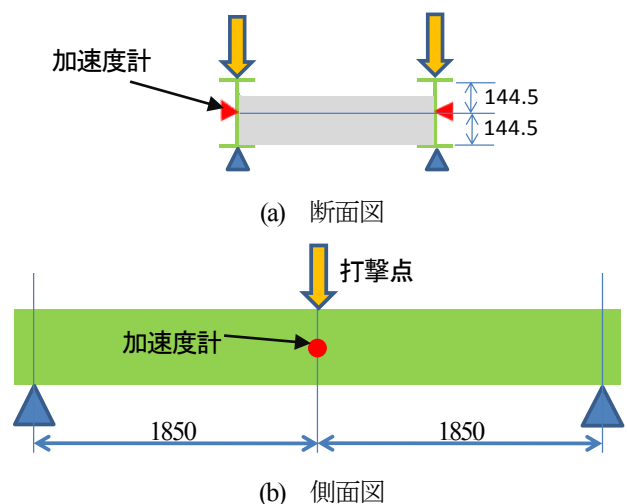
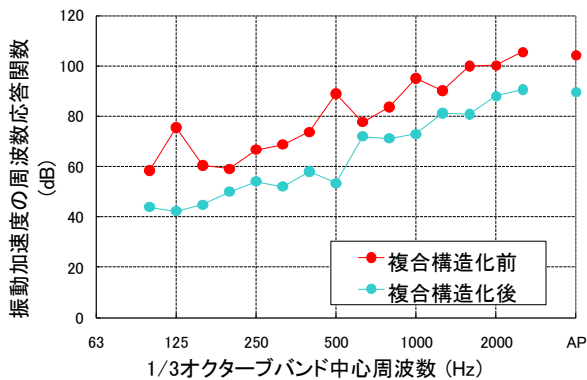


図-4 衝撃試験と測定器の取り付け位置(単位:mm)

が可能であり、本結果より、鉄道工事での夜間作業へ適用できる可能性が示されたと言える。なお、本コンクリートは、収縮に対する挙動として、材令28日で、250 μ 程度の膨張挙動を示すことが知られている⁶⁾。

4. 複合構造化の効果確認試験

複合構造化の効果を確認するために、ハンマー衝撃試験と載荷試験を行った。それぞれの試験は、その効果を



図－5 衝撃試験結果の比較

確認するために、複合構造化の前後で試験を行っている。以下にそれぞれの試験概要と結果を示す。

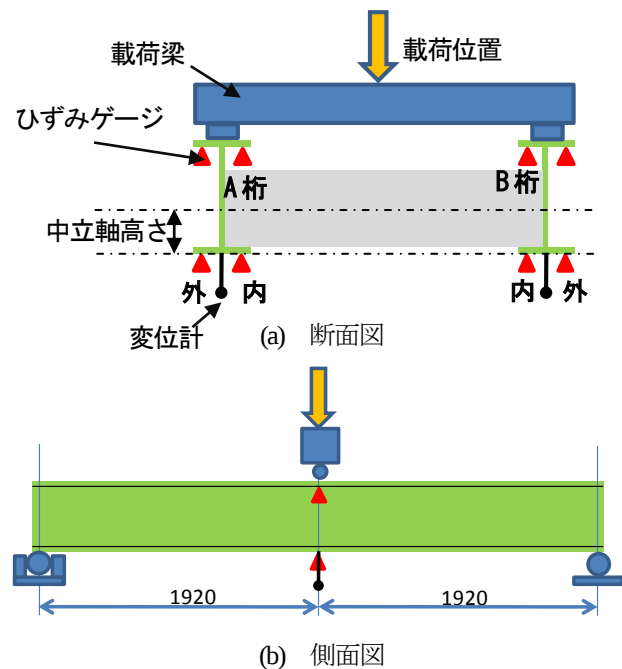
(1) 衝撃試験（騒音低減効果の確認）

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、ハンマーによる衝撃試験を行った。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－4）。これは、鋼橋から生じる構造物音の多くは、主桁ウェブ（腹板）から発生していることが知られているためである²⁾。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－5に示す。図－5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 $0\text{dB}=10\text{-}5\text{ms}^{-2}/\text{N}$ 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。鋼橋の構造物音では一般的に125～2000Hzが卓越することから、横軸の周波数は、100～2500Hzの範囲とした。また、オールパス値（AP値）もこの範囲で算出している。

図－5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、AP値でも約15dBの低減効果が確認できる。以前著者らが行ったゴムラテックスモルタル被覆のみの同様な試験³⁾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



図－6 荷重試験と測定器の取り付け位置（単位:mm）

計測結果以上の騒音低減効果があると言える。

(2) 剛性向上効果の確認試験

複合構造化により、どの程度剛性が向上しているか、また、この効果をどの程度の荷重まで保持できるかを把握するために、静的な荷重試験を行った。荷重試験は、複合構造化前後で実施し、複合構造化後は速硬軽量コンクリート打設後6カ月後に実施した。荷重試験の方法と測定器の設置位置を図－6に示す。複合構造化前の荷重では、鋼部材のみとなるため、試験桁の剛性が確認できる程度の小さな荷重（30kN程度）までで行った。複合構造化後の荷重では、100kNまでで3回の除荷を行ったうえで、鋼桁が降伏するまで荷重を行った。なお、本試験のスパンは、前述の衝撃試験（図－4）とは異なっているが、これは、本橋梁の支点はコンクリート橋台に直に置く支承形式のため、試験の種類により多少異なるスパンを設定した。

図－7～図－10は、110kNまでの範囲の挙動を示している。この110kNという値は、鉄道用荷重M10⁷⁾ 荷重に相当する値であり、本橋梁が実際に使用されていた状況での実使用上の荷重（使用限界時）に相当している。

図－7は、スパン中央の荷重－変位関係を示している。ここで、理論値は、複合構造化前（鋼桁のみ）と、複合構造化後（完全合成）を示している。なお、理論値（完全合成）では、有効幅を考慮せずに、コンクリート床版と鉄筋の剛性を全幅有効とし、鋼とコンクリートのヤング係数比を $n=9$ として計算を行っている。ここで、FRP

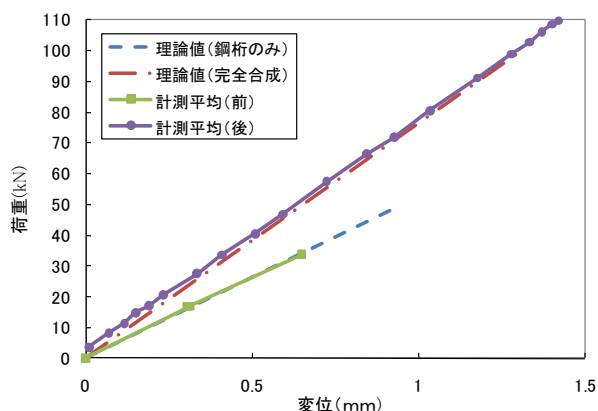


図-7 スパン中央の荷重－変位関係の比較
(使用限界範囲)

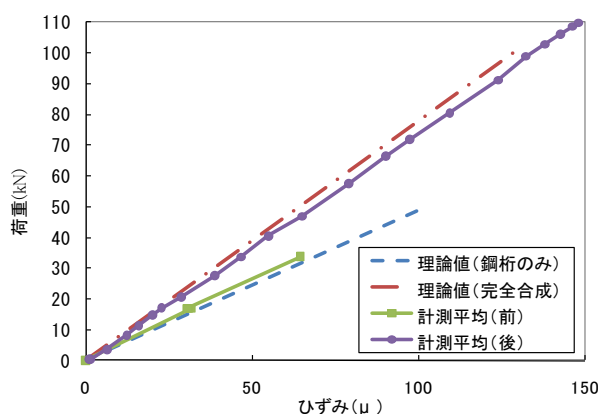


図-8 スパン中央の下フランジの荷重－ひずみ関係
(使用限界範囲)

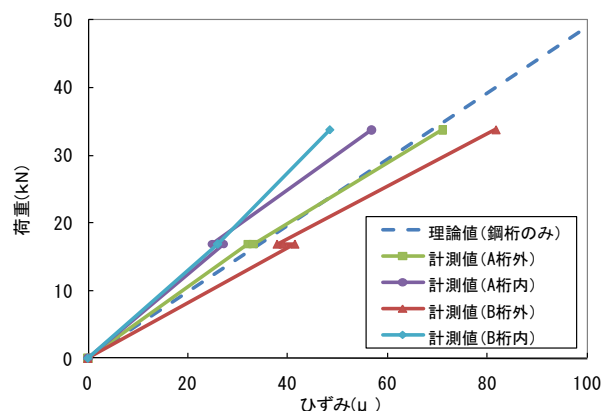


図-9 下フランジ各ゲージの荷重－ひずみ関係
(複合構造化前，使用限界範囲)

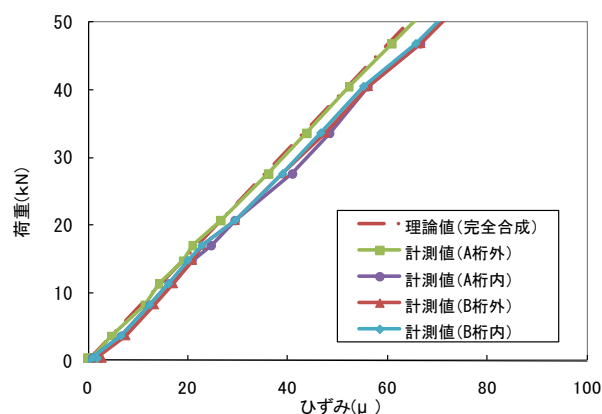


図-10 下フランジ各ゲージの荷重－ひずみ関係
(複合構造化後，使用限界範囲)

型枠は橋軸方向に分割されており、さらに、鋼桁と充填式の接着剤で固定されているのみのため、理論値（完全合成）の計算にFRPの剛性は考慮していない。また、計測結果では、複合構造化前・後で、A桁、B桁の結果をそれぞれ平均化し、計測平均（前・後）として示している。なお、各変位の計測結果には支点沈下補正を行っている。本結果のうち、理論値（鋼桁のみ）と計測平均（前）については、ほぼ一致する結果となっており、試験結果の妥当性が確認できる。また、計測平均（後）は、理論値（鋼桁のみ）よりも大きな剛性を示しており、理論値（完全合成）よりもやや小さい剛性となっているものの、ほぼ一致する結果となっている。さらに、110kNまでの範囲では、計測平均（後）はほぼ線形となっていることから、複合構造化後は、コンクリート床版が合成として挙動していると考えられる。

図-8は、スパン中央のひずみゲージ（図-6）の計測結果と理論値の比較である。ここで計測結果は、4か所の計測値の平均値としている。図-8は下フランジの結果であるが、本結果も変位の結果（図-7）と同様な傾向を示しており、複合構造化後は線形であり、理論値

（完全合成）よりもやや剛性が低いものの、複合構造化前よりも剛性が向上する傾向が見られ、この点からも床版の合成効果があることが確認できる。

本複合構造化による剛性向上効果は、図-7、図-8の結果から、前後剛性比で約1.5（平均値）となっている。鉄道用鋼構造物では、累積疲労損傷度で構造物の余寿命を算定する事が行われているが、本理論では、構造物の余寿命は応力振幅の3乗と比例の関係がある⁸⁾。したがって、この理論を本複合構造化桁の前後での結果にあてはめると、応力振幅が剛性向上効果により1/1.5となるため、構造物の余寿命に対しては3倍以上の長寿命化効果があると想定できる。

図-9、図-10は、50 kNまでの範囲で、下フランジのひずみ4点（図-6）の計測値を示しており、図-9は複合構造化前、図-10は複合構造化後を示している。複合構造化前（図-9）では、フランジの各4点で、それぞれ線形ではあるものの、ひずみの値は大きくばらついている。一方、複合構造化後（図-10）は、フランジ4点におけるばらつきが小さくなり、平均化されている傾向がわかる。このばらつきは、桁の面外方向の挙動（ねじ

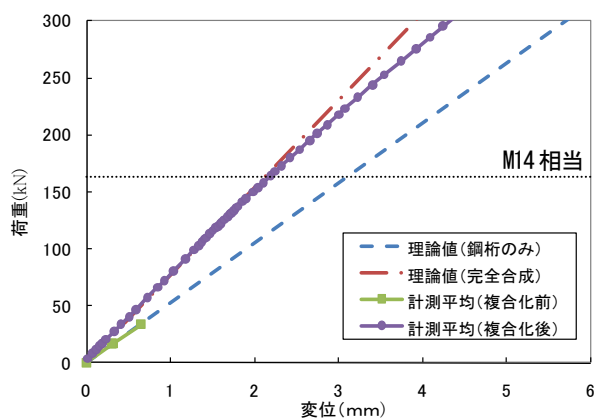


図-11 スパン中央の荷重－変位関係の比較

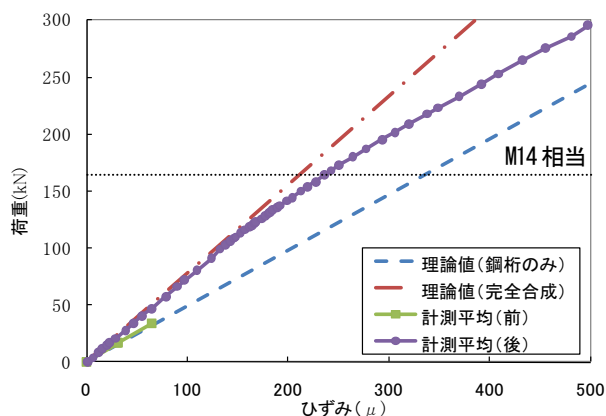


図-12 スパン中央の下フランジの荷重－ひずみ関係

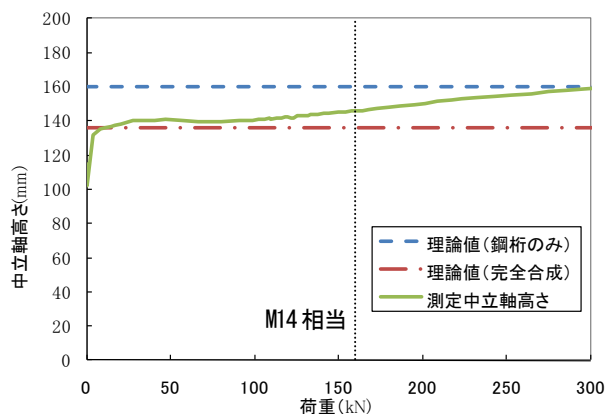


図-13 スパン中央の中立軸の変化の状況

れ)により生じていると考えられ、複合構造化後は複合構造化前よりも、橋軸直角方向(横桁方向)の剛性が大きく向上したため、この挙動が抑えられたと考えられる。したがって、複合構造化前では、面外方向の挙動等により、フランジ端などでは局所的に大きな応力が生じているが、複合構造化により、その局所応力を平均化することができる。本効果により、先述の平均的な剛性向上効果以上に、局所的な応力集中を緩和できること

が示されている。また、このことより、本複合構造化は、鉄道用Iビームの支点部などで問題となっている、荷重のアンバランスによって生じる、面外方向のフランジのねじれによる損傷の低減にも、効果があると考えられる。

図-11～図-13は、鋼桁が降伏する前ではあるが非線形挙動となる、300kNまでの範囲の挙動を示している。各図では、本橋の終局限界時となる鉄道用荷重M14⁷⁾(乗車率250%)相当の荷重(160kN)も示している。

図-11は荷重と変位の関係を示しているが、初期は完全合成として挙動しているものの、170kN付近より剛性が低下している様子が分かる。また、図-12は、荷重と下フランジひずみの関係を示しているが、本図では110kN付近より剛性が低下している。この剛性低下の原因としては、まず、下フランジ付近コンクリートの引張によりひび割れと、せん断による鋼とコンクリートとの付着切れが考えられる。しかし、変位(図-11)より桁中央のひずみ(図-12)の方が、剛性低下が低い荷重から生じていること、および、剛性低下度が高いことから考えると、せん断による影響とは考えにくく、下フランジ付近コンクリートが引張によりひび割れたことが、剛性の低下を生じさせていると考察できる。さらに、図-12の非線形となり始めるひずみが200 μ であり、コンクリートの引張強度のひずみとほぼ同等であることから、コンクリートのひび割れが主な原因となっていることが分かる。したがって、両図より、コンクリートにひび割れが生じるまでは、ゴムラテックスモルタルによる鋼とコンクリートとの付着は、十分に確保されていると推測できる。

図-13は、スパン中央の上下フランジのひずみより、中立軸の位置(中立軸高さ、図-6(a))を算出し、理論値と比較したものである。本図からも、110kN程度までは完全合成を維持し、それ以上の荷重では不完全合成となり、鋼桁のみの理論値に漸近している様子が分かる。

図-11～図-13より、本橋に対しては、コンクリートにひび割れが生じるまでは完全合成を維持しており、また、ひび割れが生じた後も急激に剛性が低下することは無く、コンクリート床版への応力分担もある程度は維持していると言える。したがって、本橋の終局限界荷重M14に対しても、十分に剛性向上効果があると考えられ、長寿命効果も維持されることが考えられる。

5. まとめ

本検討では、既設鋼橋に対してマクラギ等の軌道構造を存置した状況で、複合構造化できる方法を提案し、施工に関する検討、騒音低減効果に関する検討、剛性向上の効果に関する検討を行った。

それぞれの検討より下記の結果が得られた。

- (1) 鉄道工事における夜間施工を想定した施工試験の結果、ゴムラテックスモルタルの吹き付け方法に改良を加える必要があると考えられる。しかし、複数人による施工等の対策を行えば、十分対応可能であることが示された。
- (2) 本複合構造化は、分割施工が可能であるため、鉄道用橋梁を想定した場合、昼間作業と夜間作業を組み合わせることにより、約3~4日間で施工を完了させることができると考えられる。
- (3) 衝撃試験の結果、本複合構造化により、主桁腹板で約15dBの騒音レベルの低減が確認でき、構造物音の騒音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。
- (4) 載荷試験の結果、複合構造化により剛性向上効果（長寿命化効果）が確認できた。この剛性向上は、コンクリート床版を完全合成として計算した理論値と近似し、この効果は実使用上の荷重でも保持できることを確認した。
- (5) 本複合構造化により、橋軸直角方向（横桁方向）の剛性も大きく向上するため、桁の面外方向の挙動（ねじれ挙動）を抑える効果もあり、これによって生じる局所的な応力集中の緩和を図ることも可能であると考えられる。
- (6) ゴムラテックスモルタルによる付着効果は、コンクリート床版にひび割れが生じた以降も維持されることが分かった。したがって、コンクリートにひび割れが生じたとしても、剛性向上効果は消失することは無く、ある程度は維持される。

今後の検討課題としては、疲労挙動による合成効果の低下に関する検討や、コンクリートの長期収縮に対する検討がある。また、本検討では、短スパンのIビームに

ついて検討を行っているが、その他の下路桁を含めた鋼桁についても、検討を行えば対応可能であると考えられる。

謝辞：本検討の実施に当たっては、倉敷紡績（株）堀本歴氏、早稲田大学 依田照彦教授、長岡技術科学大学 長井正嗣教授、宮下剛助教、奥山雄介氏の各位に多大なご協力を得ました。また、供試体については、高松琴平電気鉄道（株）からの提供を受けました。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) 大西弘志：複合構造における防水・排水，土木学会平成22年度全国大会，研究討論会研-20資料，2010.9.
- 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) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説，鋼・合成構造物，2009.9.
- 8) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説，鋼・合成構造物，2007.1.

STUDY OF THE HYBRID STRUCTURES CHANGED FROM THE RAILWAY STEEL BRIDGES FOR EXTENSION OF LIFE AND LOW NOISE

Nozomu TANIGUCHI, Masanori HANSAKA, Norio KOIDE, Kazuo OHGAKI,
Fujikazu OHKUBO, Shinya SATAKE, Yusuke SUGINO

The maintenance of the steel bridges is considered to be problems recently. Therefore, in this study, to be easy to come to do maintenance, 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.