

萱生川桥梁の設計・施工

大成建設(株) 土木本部	正会員	工修	○大熊 光
三岐鉄道(株) 鉄道部			森川 陽平
(財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部	正会員	博士(工学)	谷村 幸裕
全日本コンサルタント(株) 技術部			中野 誠嗣

1. はじめに

萱生川(かようがわ)桥梁は、三重県四日市市に位置する三岐鉄道三岐線(富田～西藤原間)上の鉄道橋であり、今回、河川改修に伴い架け替えることとなった。本工事では、メンテナンス性と騒音・振動に対して有利なコンクリート橋とし、また軌道高さを変更しないことが求められた。しかし、軌道高さを抑えられる下路桁橋での設計に対し、従来コンクリートの設計では軌道高さを変更する必要があることが判った。そこで、超高強度繊維補強コンクリート(以下、UFC)を適用することにより、部材の薄肉化を実現し、これらの課題を解決することができた。

鉄道橋にUFCを初めて適用するにあたり、FEM解析などを実施して詳細な設計検討を行った。また実橋において列車荷重による変位量、固有振動数および騒音計測を行い、設計および施工の妥当性を検証した。施工はプレキャストセグメント工法により隣接ヤードにて橋体を完成させ、営業線の運行に支障がないように当夜作業で横取り架設を実施した。完成桥梁全景を写真-1に示す。本工事に伴い河川の切り廻し工事が実施されており、今後新設橋梁下の護岸工事を行い河川改修が完成する予定である。本稿では、本橋の計画から設計、施工、および各種計測結果について報告する。

2. 桥梁概要

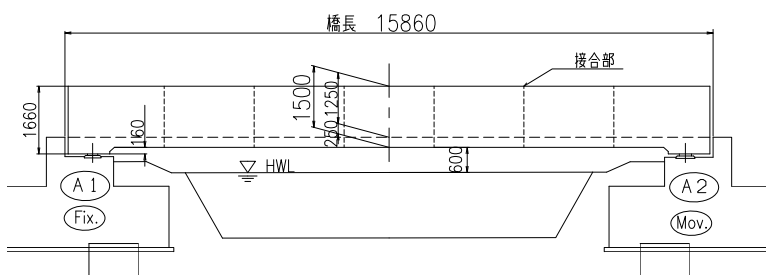
本桥梁はUFCを世界で初めて適用した鉄道橋である。桥梁概要を表-1に、構造図を図-1に示す。

表-1 桥梁概要

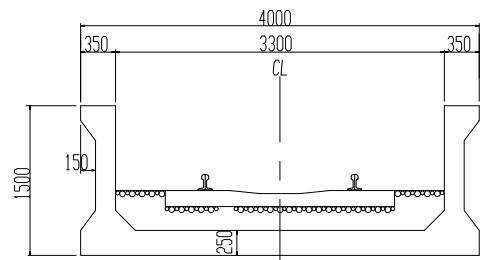
構造形式	PC単純下路桁橋(UFC製)
橋長	15.86 m (支間長 14.50m)
斜角	A1, A2 = 62° 00' 09" , R = ∞
幅員	4.00 m (単線)
桁高	1.50 m (支間中央)
発注者	三岐鉄道株式会社
技術指導	財団法人 鉄道総合技術研究所
設計者	全日本コンサルタント株式会社
施工者	大成建設株式会社



写真-1 完成桥梁全景(河川切替前)



側面図



断面図

図-1 構造図

3. 計画概要

3. 1 構造選定

萱生川は河川の高機能化を目的とした改修事業が計画されており、これに伴って河川を拡幅するため、既設橋梁の架替えが必要となった。既設橋梁は、橋長9.6 m、桁高695 mmの鋼製上路桁であり、昭和6年に開通して以来約80年が経過する中で、既に老朽化による架替えが実施されており、更新工事は3度目となる。そのため、新橋梁には長寿命であること、塗装などのメンテナンス費用が不要であること、かつ騒音・振動など周辺環境への影響を最小限とすることを考慮し、コンクリート橋への架替えを計画した。

新橋梁は河川改修により橋長が1.6倍以上 (15.9 m) となり、従来コンクリートを用いたPC下路桁 (以下、従来PC下路桁) では390 mmの下床版厚を必要とした。また、計画高水位から決まる桁下余裕量 (600mm) を考慮すると軌道高さを最大150mm上げる必要があった。一方、鉄道事業者の条件として、線路縦断勾配、縦断曲線半径の現状維持、および新設橋梁区間は有道床とすることなどがあった。従来PC下路桁でこれらの条件を満たすには、前後の取付区間を含む約300mの線路の嵩上げが必要であり、駅舎ホームの改築も含まれることから総工事費の大幅な増加が見込まれた。

そこで、薄肉軽量化が可能とされるUFCの採用を検討することとし、詳細検討の結果、全ての制約条件を満足できることが判明した。各種制約条件および比較検討結果を図-2に示す。

3. 2 UFC採用のメリットと課題

UFC採用については、軌道高さの変更が不要である他にも、高耐久性材料であることによるLCCの大幅な低減が期待された。しかしその一方、鉄道橋としての実績が無いこと、従来コンクリートでは規定される最小床版厚 (350mm) を下回る薄さであることなどの課題があった。

そのため、従来設計手法に加えて、3次元FEM解析等を用いた詳細検討を実施した。また、鉄道橋として世界初のUFC橋となることを踏まえ、供用時において各種計測を実施し、設計の妥当性を検証した。

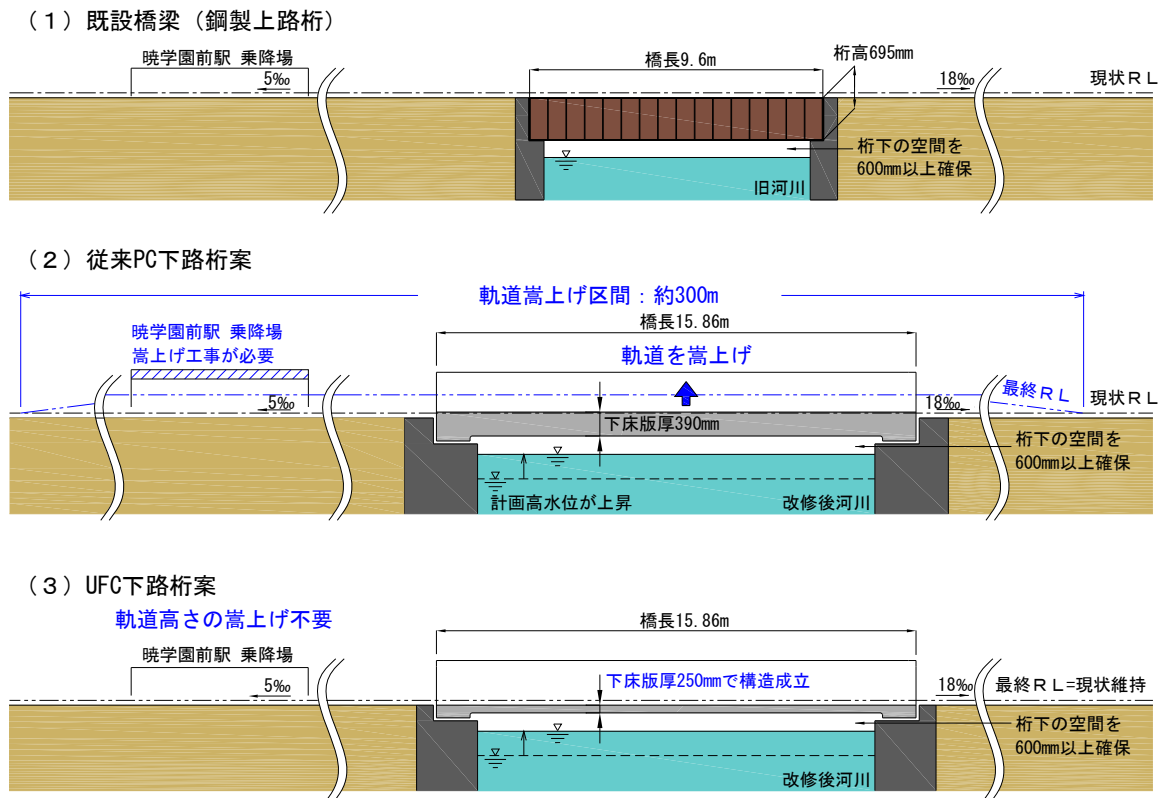


図-2 床版厚の制約条件と構造比較案

4. 設計概要

UFCを用いた鉄道橋は世界にも前例が無く、また本橋では現行基準を下回る薄肉床版を目標としており、その評価方法が課題となった。

設計基準は「鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物 鉄道総合技術研究所編」(以下、鉄道標準)に基づくことを原則とし、適宜「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案) 土木学会」(以下、UFC指針)を適用することとした。

薄肉部材によるねじり等の剛性低下の影響については、従来と同様に格子解析による照査の他、3次元FEM解析により、部材に発生している主応力がUFCの引張応力の制限値内にあることを照査した。ただしセグメント継目部はフルプレストレスで設計した。また3次元FEMによるEuler座屈解析を実施し、横座屈に対する安全性を照査した(図-3)。

振動特性については、簡易式および固有値解析により本橋の固有振動数が従来PC下路桁と同等であり、共振や衝撃等の影響がないことを確認した。たわみ量については、2次元骨組み解析およびFEM解析により、常時の走行安定性から決まる限界値を十分下回ることを確認した。

従来PC下路桁ではPC定着部、落橋防止装置の補強鉄筋および吊下げ鉄筋が必要となるが、本橋では主応力がUFCの引張強度の制限値内であり、補強鉄筋を不要とした。

表-2に従来PC下路桁とUFC下路桁との設計結果比較表を示す。UFC下路桁の自重は従来PC下路桁と比較して約50%の軽量化が図られている。鉄道橋梁として初適用となることをふまえ、従来PC下路桁と比べ極端な剛性低下を避けるため、桁高は従来PC下路桁と同等とした。

5. 施工概要

プレキャストセグメントは三重県内にあるコンクリート2次製品工場にて製作し、架設地点横のヤードに運搬、組立て、当夜作業にて横取り架設を実施した。以下に、現地ヤードでの施工概要を述べる。

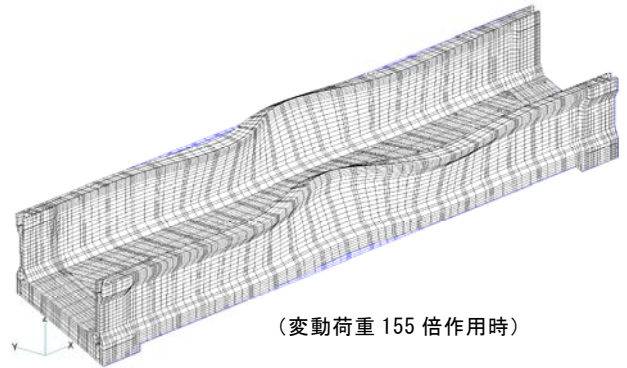
5.1 プレキャストブロック組立て

プレキャストブロック間の間詰部(以下、WJ)は現地にてUFCを打設した。WJは全6箇所、打設数量は0.6 m³であった。混練りはプレキャストブロック製造工場にて行い、ホッパーに投入した後、乾燥防止のためビニールシートにて封緘養生し、4 tトラックにて運搬した。運搬時間は15分程度であり、混練完了から1.5時間以内で打設を完了した。

本橋の主ケーブルはウェブ内に12S12.7 mm×4本、下床版内に1S21.8 mm×7本が配置されている。設計強度確認後に1,700kNおよび500kNジャッキにてウェブ、下床版ケーブルの本緊張を実施した。緊張後、速やかにグラウトを充填し、橋体は完成した。

5.2 切替工事

切替イメージ図を写真-2に示す。架設総重量はUFC桁(約70 t)にバラスト、軌きょう重量(約50



(変動荷重 155 倍作用時)

図-3 横座屈照査結果

表-2 下路桁の設計結果比較表

	UFC下路桁	従来設計によるPC下路桁																
断面形状																		
断面積	1.6 m ² (0.5)	3.2 m ² (1.0)																
設計荷重	<table border="1"> <tr><td>桁</td><td>700kN (0.54)</td></tr> <tr><td>軌道、砕石</td><td>500kN</td></tr> <tr><td>列車</td><td>1100kN</td></tr> <tr><td>計</td><td>2300kN (0.79)</td></tr> </table>	桁	700kN (0.54)	軌道、砕石	500kN	列車	1100kN	計	2300kN (0.79)	<table border="1"> <tr><td>桁</td><td>1300kN (1.00)</td></tr> <tr><td>軌道、砕石</td><td>500kN</td></tr> <tr><td>列車</td><td>1100kN</td></tr> <tr><td>計</td><td>2900kN (1.00)</td></tr> </table>	桁	1300kN (1.00)	軌道、砕石	500kN	列車	1100kN	計	2900kN (1.00)
桁	700kN (0.54)																	
軌道、砕石	500kN																	
列車	1100kN																	
計	2300kN (0.79)																	
桁	1300kN (1.00)																	
軌道、砕石	500kN																	
列車	1100kN																	
計	2900kN (1.00)																	
断面剛性	1.6×10 ⁷ kN・m ² (0.76)	2.1×10 ⁷ kN・m ² (1.00)																

※()内は、対 PC下路桁との比率を示す

t) を加え約120 tであった。2本の横移動用軌条上にある移動台（スライディングシップ）を、50tクランプジャッキを用いて約6.5 m横移動させた。クランプジャッキを2台×2セット準備することにより、1セット目のジャッキストロークを戻している間にも、2セット目で連続移動させ、時間短縮を図った。また2セット目は万一の故障時の予備としても考えていたが、機械のトラブルは無く、横移動は問題なく20分で完了した。横移動状況を写真-3に示す。切替工事は時間内に無事完了し、始発電車は定刻通り通過した。



写真-2 切替イメージ



写真-3 桁横取り架設状況

6. 計測工

列車荷重による計測変位量と計算値との比は90%程度であり、本橋の剛性が設計と同等であることが示された。また固有振動数についても、床スラブの中央における駆動点インピーダンスの計測結果より、1次の固有振動数は12 Hzであり、計算値（11.1Hz）と同等であった。

UFC橋の列車通過時の騒音を把握するため、実橋にて騒音レベル (L_{ASmax}) の計測を行った。①UFC橋の他に、同一路線上の②一般軌道部（盛土部）および③鋼橋（富田国道架道橋：開床式で下路桁構造）の計3箇所を対象とし、それらを比較した。なお、いずれの計測箇所もレール継目近傍であった。

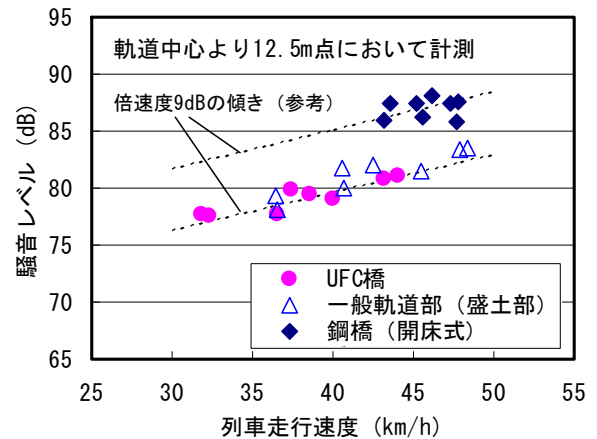


図-4 騒音レベル計測結果 (L_{ASmax})

計測結果として列車速度と騒音レベルの関係を図-4に示す。①UFC橋と②一般軌道部（盛土部）の騒音レベルの差は見られない。また、転動音に対する既往の研究で報告されているとおり¹⁾、速度Vに対して騒音レベルはほぼ $30 \log_{10} 10V$ （倍速度で9 dB増加）の傾きに沿う傾向が見られた。また、①UFC橋は③鋼橋と比べて、速度がほぼ同じ列車では騒音レベルが5 dB以上小さかった。

7. おわりに

河川改修に伴う極めて厳しい架替条件の中、UFCを世界で初めて鉄道橋に適用することにより、軌道の嵩上げ工が不要となり、工程短縮、全体コストの低減、施工リスクの低減等を図ることができた。

騒音計測では、UFC橋の方が開床式鋼橋より騒音が小さい結果となった。都市部の鋼橋では騒音対策として有道床を用いる場合があるが、荷重増加が避けられない。UFCならば軽量で一般軌道とも騒音が変わらない利点も示された。

これまで多くのご尽力を賜った関係各位に深く感謝するとともに、本稿が鉄道施設技術の発展と品質向上の一助となれば幸いである。

〔参考文献〕

1) 森藤他：在来鉄道騒音の予測評価手法について、騒音制御, Vol. 20, No. 3, pp. 32-37, 1996