

UHPFRC により床版上面を打替えた RC 中空床版橋の床版片持部の挙動

中日本高速道路 (株) 正会員 ◦牧 田 通 北川寛和
 中日本高速技術マーケティング (株) 正会員 熊谷紳一郎 立松秀之

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 中空床版橋は、中日本高速道路 (株) が管理する橋梁の約 25%を構成し、コンクリート橋としては最も数の多い形式の橋梁である。RC 中空床版橋は建設年次の古いものが多く、設計荷重として B 活荷重が規定される以前に設計された橋梁が全体の約 95%を占め、ほぼ全ての橋梁の耐荷性能を照査する必要がある。また、高速道路橋では 1998 年まで床版防水工を標準的に施工してこなかったことから、凍結防止剤の散布の影響等により多くの RC 中空床版橋で上面に劣化がみられる状況となっている。高速道路リニューアルプロジェクトでは、健全度評価に基づいて RC 中空床版橋の床版部 (以下、床版上面と称す) の更新を実施する計画であり、標準的な更新方法として床版上面の全面的打替えを実施することとなっている。打替えの材料として、物質移動抵抗性が高く高強度な超高性能繊維補強セメント系複合材料 (UHPFRC) を使用することで耐久性および耐荷性能の向上を図ることができると考え、実現に向けた研究・開発を現在実施している。本論文は、床版上面を UHPFRC で打替えた RC 中空床版橋の構造特性を把握するために実施した 3 次元非線形有限要素法 (FEM) による構造解析のうち、床版片持部について得られた結果を述べるものである。

2. 構造解析

TL-20 により設計された RC 中空床版橋について、床版上面を 10cm の深さで UHPFRC により打替えた構造 (以下、RU-RC モデルと称す) と打替えない構造 (以下、RC モデルと称す) に対して 3 次元非線形 FEM 構造解析を実施し、挙動を比較した。解析には、汎用非線形構造解析システムである DIANA を使用した。解析モデルは、1967 年 (昭和 42 年) に供用を開始した 5 径間連続 RC 中空床版橋を基に作成し、橋軸方向は 2.5 径間の範囲を、橋軸直角方向は全幅員をモデル化した。コンクリートと UHPFRC はソリッド要素で、鉄筋はバータイプの埋込み鉄筋要素でモデル化した。図-1 に RU-RC モデルの断面を示す。

コンクリートの圧縮強度は建設時の値を使用し、ヤング係数は道路橋示方書に、引張強度はコンクリート標準示方書に準拠して定めた。コンクリートの構成則は、圧縮・引張ともにコンクリート標準示方書に基づく圧縮軟化モデル・引張軟化モデルを採用した。UHPFRC の材料物性値は実験結果に基づいて定め、圧縮の構成則としては圧縮強度まで直線で表されるモデルを、引張の構成則としては引張強度まではひずみ硬化挙動を考慮しないバイリニアで表され、軟化域は実験結果に基づくバイリニアで表されるモデルを採用した (図-2)。鉄筋は SD295 で建設時の材料物性値を使用し、バイリニアで表されるモデルを採用した。表-1 に全ての材料の物性値を示す。

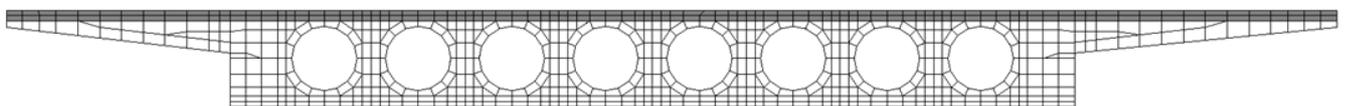


図-1 RU-RC モデルの断面図

表-1 材料の物性値
 圧縮強度 (MPa) 引張強度 (MPa) ヤング係数 (GPa)

	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
コンクリート	24	1.91	25
UHPFRC	150	8	45
鉄筋	295	295	200

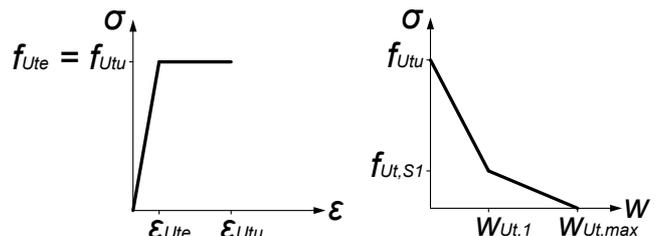


図-2 引張作用下の UHPFRC の構成則

キーワード UHPFRC (UFC), RC 中空床版, 補修・補強, 高速道路リニューアル, 構造解析

連絡先 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 2-18-19 中日本高速道路 (株) TEL052-222-1594

3. 床版片持部の構造解析

道路橋示方書に準拠して上述の3次元非線形 FEM モデルに荷重を載荷し、死荷重・死活荷重・風荷重・衝突荷重(以下、これらの4ケースを設計荷重と称す)・終局荷重が作用する時の床版片持部の支点における曲げモーメントとせん断力を算出した(表-2)。曲げモーメント・せん断力ともに、全てのケースで RU-RC モデルの方が大きい値となった。これは UHPFRC がコンクリートより引張力をより多く負担し、橋梁の平面内や断面内における応力の再分配挙動が異なっていたためであると考えられる。

算出した曲げモーメントとせん断力を用いて、道路橋示方書に従い部材の照査を実施した(せん断耐力の算出のみコンクリート標準示方書に準拠)。UHPFRC に関しては引張強度を考慮し、応力-ひずみ曲線は図-2 に示したものをを用いた。以下では、設計荷重作用時と終局荷重作用時に分けて照査結果を説明する。

表-2 曲げモーメントとせん断力の算出結果

		死荷重	死活荷重	風荷重 ^{※1}	衝突荷重	終局荷重 ^{※2}
曲げモーメント [kNm/m]	RC モデル	-61	-76	-80	-80	-155
	RU-RC モデル	-63	-88	-92	-93	-177
せん断力 [kN/m]	RC モデル	98	153	141	160	224
	RU-RC モデル	100	197	193	188	388

※1 活荷重載荷時に橋梁の内側から外側に風荷重が作用

※2 終局荷重は $1.3 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$

3.1 設計荷重作用時

各荷重ケースについて、断面計算による鉄筋応力の値とコンクリートせん断応力の値を表-3 に示す。鉄筋応力の値は、曲げモーメントにより引張状態となる上側鉄筋に発生する応力の値である。

鉄筋の引張応力に関して、RC モデルでは死荷重作用時と死活荷重作用時で許容応力を超過したが、RU-RC モデルでは全ての荷重ケースにおいて許容応力を下回った。上側鉄筋を含んで床版上面のコンクリートを UHPFRC により打替えたことで、鉄筋の負担する引張力が大きく低減されたためであり、UHPFRC の補強効果が明らかとなった。なお、全ての荷重ケースにおいて UHPFRC の最外引張縁に発生する応力はひび割れ発生強度以下であった。

コンクリートのせん断応力は、RC モデルでは死活荷重作用時に、RU-RC モデルでは死活荷重作用時と風荷重作用時において許容応力を超過した。せん断応力の算出は RC モデルと RU-RC モデルで同じ方法に準拠したため、全ての荷重ケースでせん断力が RC モデルより大きい RU-RC モデルの方がせん断応力も大きくなった。UHPFRC とコンクリートの合成部材のせん断応力の照査方法は確立されていないため、今後検討する必要がある。

表-3 断面計算による応力の算出結果

		死荷重	死活荷重	風荷重	衝突荷重
上側(引張)鉄筋応力 [MPa]	RC モデル	<u>119.0</u>	<u>147.8</u>	155.5	155.0
	RU-RC モデル	9.5	13.4	13.9	14.1
コンクリートせん断応力 [MPa]	RC モデル	0.28	<u>0.43</u>	0.40	0.45
	RU-RC モデル	0.28	<u>0.56</u>	<u>0.55</u>	0.53

※下線の値は道路橋示方書に規定の許容応力を超過

3.2 終局荷重作用時

曲げ破壊安全度は、RC モデル/RU-RC モデルで各々1.03/1.92 であった。RU-RC モデルでは曲げ破壊に関する安全性が大きく向上しており、UHPFRC による曲げ挙動の改善が明らかとなった。一方、せん断に関する破壊安全性は、RC モデル・RU-RC モデルともに有していなかった。RU-RC モデルのせん断耐力は、UHPFRC をヤング係数比で鉄筋に換算して引張鉄筋として考慮し、算出した。この算出方法についても確立されたものはないため、今後検討する必要がある。

4. おわりに

RC 中空床版橋の床版片持部における曲げ挙動は、床版上面のコンクリートを上側鉄筋の背面の範囲まで UHPFRC により打替えることで、大きく改善されることが分かった。せん断挙動に対する UHPFRC の寄与については、実験等の実施により今後詳細に検討し、UHPFRC とコンクリートの合成部材の正確な挙動評価に繋げる所存である。