

RC 中空床版橋の床版上面の合理的な打換えに関する解析的検討

オリエンタル白石株式会社 正会員 ○俵 綾子
株式会社高速道路総合技術研究所 正会員 萩原 裕樹
株式会社高速道路総合技術研究所 正会員 喜多 雄士

1. はじめに

RC 中空床版橋は、単純な構造で施工性に優れることから、床版橋で最も一般的な構造形式として高度経済成長期に建設されたコンクリート橋梁の中でも多くの実績がある。しかしながら、道路構造令の改正に伴う活荷重の増大により設計で想定した荷重を超過した厳しい供用状況下での耐荷力不足や、供用年数による老朽化、凍結防止剤の散布等の影響による床版の劣化などが要因と推察される、RC 中空床版橋特有の損傷事例が多く報告されている。

このような劣化・損傷に対し、NEXCO3 社の設計要領りなどでは劣化進行が広範囲に至っている場合は円筒型枠上部（以下、床版部）を全面的に打換えることを基本的な更新方法として規定しており、コンクリート床版の打換え工事においてボトルネックとなるコンクリートはつり施工量の増大が懸念される。このようなことから、RC 中空床版橋床版部の合理的な補修方法として、床版部上面のかぶり相当厚さの打換えを想定し、3 次元非線形有限要素法による解析的検討を実施した。本稿は、床版部上面の薄層打換えによる補修後の RC 中空床版橋の耐久性や打換えによって発生する境界面近傍の応力変動等について、解析結果から得た知見と課題を述べるものである。

2. RC 中空床版橋の補修に関する検討手法

本検討は、コンクリートおよび打換え材料のひび割れ、クリープおよび収縮を考慮した、3 次元有限要素法による非線形解析によって実施した。超高性能繊維補強コンクリート（以下、UHPFRC という）を打換え材料とすることで、その高い透気・透水抵抗性や物理特性により耐久性向上が見込める。一方で、収縮が拘束されることによって発生する引張応力による、打換え部、既設主桁および境界面の挙動が不明確なため、解析的に検証することとした。解析ケースを表-1 に示す。解析対象橋梁は、図-1 に示す過去に床版部の全面打換えを実施した実績のある 3 径間連続 RC 中空床版橋を選定した。

3. 解析モデル

解析モデルの範囲は解析対象橋梁の上部工全体とした。また、活荷重載荷位置の関係で、対称性は考慮せず全径間をモデル化する必要があるうえに、解析ステップに合わせ収縮ひずみおよびクリープ係数を経時的に考慮することから、解析モデルが煩雑となる。収束困難を回避し解析を効率的に実行するために、コンクリートの非線形性を考慮する区間を限定した。また、解析ステップは、半断面施工を考慮し、既設床版部はつりおよび打換え材料打設等、実際の施工工程を考慮して設定している。

4. 使用材料特性値

既設主桁コンクリートは $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$ の普通コンクリートとして、道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編（平成 24 年）および 2017 コンクリート標準示方書の規準値を用いた。表-2 に主要材料の物性値を示す。

ひび割れ性状に与える影響の大きい引張軟化特性について、解析ケースで適用した打換え材料のひび割れ発生後の引張構成則を図-2 に示す。本検討では、ひび割れ硬化性状は考慮せず、ひび割れ発生強度を超えて応力が一定の

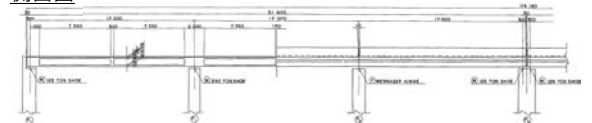
キーワード RC 中空床版橋、はつり、薄層打換え、超高性能繊維補強コンクリート

連絡先 〒135-0061 東京都江東区豊洲 5 丁目 6 番 52 号 オリエンタル白石(株)技術本部技術部 TEL03-6220-0637

表-1 解析ケース条件一覧

解析ケース	床版部補修条件	打換え材料
C1-03u	はつり深さ 30mm 補修厚さ 30mm	UHPFRC
C2-03s	はつり深さ 30mm 補修厚さ 30mm	超速硬 SFRC
C3-10u	はつり深さ 100mm 補修厚さ 100mm	UHPFRC
C4-03us	はつり深さ 30mm 補修厚さ 30mm	UHPFRC 収縮低減型

側面図



断面図

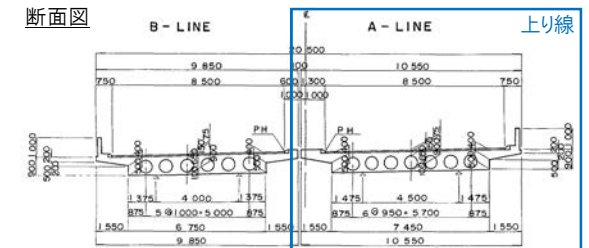


図-1 対象橋梁概要図

状態で微細なひび割れが発生する区間を解析的に表現するため、試験によって求められる「引張応力-開口変位関係」を直接適用した。

5. RC 中空床版橋の床版部打換え解析結果

表-3 に A1-P1 支間中央部および

P1 支点部の主要な解析結果を示す。制限値の目安は土木学会 UFC 指針²⁾、コンクリート標準示方書等より設定した。

図-3 には各解析ケース結果のうち C3-10u と C4-03us の活荷重載荷時におけるひび割れ幅図を示す。

UHPFRC を打換え材料とした床版部上縁かぶり 30mm の打換えによって発生する最大ひび割れ幅 (P1 支点打換え部上縁) は、低収縮型を模擬した C4-03us において、制限値の目安とした 0.1mm を満足した。たわみも全ケース内で最も小さく、主桁下縁鉄筋応力は現行の制限値内であった。一方で、超速硬 SFRC を打換え材料とした C2-03s は、ひび割れ幅は C1-03u と同等であるものの、比較的たわみが大きく主桁下縁鉄筋応力も大きい結果となった。C4-03us と同様に、低収縮型の材料の適用によっては有効な材料となる可能性もある。また、劣化状況によってはつり範囲が深くなった場合を想定した C3-10u については、打換え部のひび割れは少なくひび割れ幅も 0.1mm を下回っているが、既設部に大きなひび割れが進展する結果となった。

以上より、本解析の範囲において薄層打換えによる床版補修は、UHPFRC の低収縮型による 30mm の打換えの採用が望ましいといえる。

6. RC 中空床版橋の床版部薄層打換え検討に関する課題

本検討で未考慮である以下の事項を、更なる検討によって適切に評価することで、薄層打換えによる更新工事の実現に寄与すると考える。

- ・境界面の付着性能を考慮した要素試験を実施し、解析パラメータに設定する。
- ・打換え材料の若材齢時の挙動に関して、本解析では考慮していない初期の温度応力によるひび割れ発生および若材齢時のクリープ変動による拘束応力の緩和効果³⁾について、その解析手法を含め実験的検討を実施し解析的検討に考慮する。

参考文献

- 1) 東日本高速道路 (株)・中日本高速道路 (株)・西日本高速道路 (株)：設計要領第二集 橋梁保全編 2020.7
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー113 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案)，2004
- 3) 牧田，渡邊：既設部材の補修補強に用いる場所打ち UHPFRC の引張特性および拘束条件下における挙動に関する研究，土木学会論文集 E2，Vol.77 No.3 pp.92-107，2021

表-2 材料物性値

部位	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	引張強度 ft (N/mm ²)
はつり前既設主桁	24	25000	0.2	1.914
新設床版 UHPFRC	180	46000	0.2	8.8
新設床版 SFRC	39.8	30900	0.2	2.681

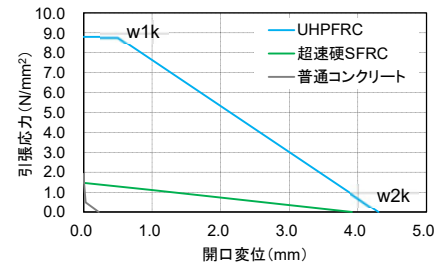


図-2 解析に適用した引張構成則

表-3 床版部打換え解析結果一覧

	抽出位置	制限値目安	既設橋復元	C1-03u UHPFRC 30mm	C2-03s 超速硬 SFRC 30mm	C3-10u UHPFRC 100mm	C4-03us 低収縮 UHPFRC 30mm	
A1-P1 支間活荷重時	たわみ	—	35	35	39	38	32	
	最小主応力度 N/mm ²	打換上縁	-9.6	—	—	-0.01	—	—
		既設上縁	-108.0	—	0.3	—	0.2	-4.6
	ひび割れ幅 mm	主桁内部	—	0.31	0.26	0.33	0.83 (既設上縁)	0.28
主桁下縁		0.245	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15	
鉄筋応力度 N/mm ²	主桁下縁	180	183	184	195	186	171	
P1 支点活荷重時	最小主応力度 N/mm ²	主桁下縁	-9.6	—	-6.0	-6.0	-7.0	-5.8
	ひび割れ幅 mm	打換上縁	0.189	0.18	—	0.13	—	—
		既設上縁	—	0.1	0.13	—	0.07	0.06
	鉄筋応力度 N/mm ²	主桁上縁	180	116	106	119	72	94

赤字：制限値目安超過 ■ 比較的良好 ■ 比較的不良

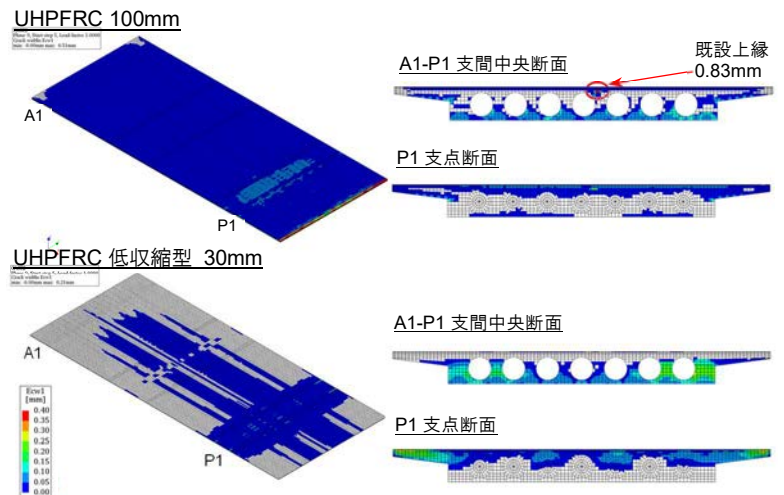


図-3 活荷重時ひび割れ幅図 (打換え部鳥瞰図・断面図)