

UFC 複合床版の防水性能に関する検討

東日本高速道路(株) 正会員 ○広瀬 泰之 (株)大林組 正会員 佐々木 一成, 大場 誠道

1. はじめに

道路橋の床版には橋面より浸入した雨水等が床版内部に浸透しないように防水層等を設けることとなっており、高速道路の床版取替でも床版防水工を施工する。通行規制をともなう高速道路リニューアルプロジェクトでの床版取替工事では施工期間をできる限り短くすることが望まれる。その中、工事の終盤で行う床版防水工は天候に左右される工種であり、悪天候が続くと施工が進まなくなり、交通規制解除に影響を及ぼす。そのため、現場の床版防水工の施工をなくすことができれば、これらのリスクを低減することにつながることを期待される。そこで、防水性能を有する超高強度繊維補強コンクリート(Ultra high strength fiber reinforced concrete: 以下、「UFC」と呼ぶ。)を床版上面にあらかじめ工場で施工したプレキャストPC床版(以下、「UFC 複合床版」と呼ぶ。)を採用することで、現場の天候に左右される床版防水工の施工を不要とする工法を開発した²⁾。

本稿では、主に UFC 複合床版の防水層に求める要求性能について検討した内容の一部について報告するものである。

2. UFC 複合床版の防水層に求める防水性能

UFC 複合床版の防水層となる UFC には、高速道路の技術基準³⁾における床版防水層(グレードII)と同等以上の防水性能を求めることとした。これは、普段リニューアルプロジェクトで行っている床版防水工と同等以上の性能が求められると考えたためである。なお、UFC 複合床版の防水層は床版の一部でもあることから、設計耐用期間は橋の設計供用期間⁴⁾と同じと考え100年を求めることとした。

3. 防水性能の要求水準

防水性能の性能評価の指標には透水係数を用いた。これは、UFC の水の通しにくさを表す指標として透水係数が適当と考えたためである。

表-1に UFC 複合床版の透水係数を検討する際に参考にした材料の透水係数を示す。表-1には普通コンクリートにおける一般的な値、道路橋防水便覧⁴⁾に示される防水性試験 I に適合する防水シート、後述する UFC に残留ひずみ 200 μ が生じた場合の値を示している。

防水性試験 I に適合する防水シートの透水係数は、合否判定の目安である減水量 0.2ml 以下を用いて算出したものである。すなわち、試験体となる防水層に 0.1MPa で 30 分間 0.2ml の減水量の関係が次式に示すダルシー則にしたが

表-1 各材料の透水係数

材料		透水係数 [m/s]
普通コンクリート	ひび割れなし	1.0×10^{-12}
UFC	ひび割れなし	6.8×10^{-20}
	残留ひずみ 200 μ	2.5×10^{-13}
防水性試験 I に適合する防水シート		2.1×10^{-13}

表-2 設計耐用期間中の通過軸数の累計時間の計算

項目	値	単位
年間の軸数 (A_y)	8,226,096	[台/年]
設計耐用期間中に作用する軸数 ($A_{100y} (=A_y \times 100)$)	822,609,600	[台/100年]
車両の走行速度 (v)	80	[km/h]
T荷重が作用する長さ (L_T)	200	[mm]
T荷重が通過する時間 ($t_1 (=L_T/v)$)	0.009	[秒]
床版上面が湿潤状態と想定される日数 (W_d)	240	[日]
設計耐用期間中の通過軸数の累計時間(湿潤状態) ($T (=A_{100y} \times t_1 \times W_d/365)$)	1,353	[時間/100年]

表-3 UFC に求める透水係数の検討

透水係数 [m/s]	水の浸透深さ [mm]
1.0×10^{-11}	49.3
1.0×10^{-12}	15.6
1.0×10^{-13}	4.9
1.0×10^{-14}	1.6
1.0×10^{-15}	0.5
1.0×10^{-16}	0.2

うとして算出したものである。

$$q = k \cdot i \quad (1)$$

ここに、

q : 流速[m/s]で次式による。

$$q = L/t \quad (2)$$

L : 防水材の厚さ[m] (本稿では 0.001 と仮定。)

t : 防水材に浸透するのに要した時間[s]

k : 透水係数[m/s]

i : 導水勾配で次式による。

$$i = h/L \quad (3)$$

h : 水頭差[m]

UFC 複合床版の防水層には設計耐用期間中に想定される作用の組合せに対して防水性能を保持し続ける必要があり、そのための透水係数として求める値について検討した。

キーワード 高速道路リニューアルプロジェクト, 床版取替, UFC, 防水層, UFC 複合床版, 透水係数

〒100-8979 東京都千代田区霞が関 3-3-2 新霞が関ビル 東日本高速道路(株)技術本部 技術・環境部 構造技術課

まず、設計耐用期間中に湿潤状態で走行車両のタイヤによって繰返し踏まれる累計時間を求める。算出結果を表-2に示す。表-2は作用する軸数を2005年の東名高速道路日本平における軸重計データ⁵⁾を、床版上面の湿潤日数は気象データ⁶⁾から全国の年間降雨日数の平均である約120日の翌日も滞水していると仮定し算出したものである。

次に、タイヤによる荷重を大型車両のタンデム軸重を想定して接地圧0.5MPa⁷⁾とし、表-2に示す設計耐用期間中の湿潤状態での軸数の累計時間1,353時間を用いて式(1)の関係から透水係数と防水層への水の浸透深さの関係について算出する。表-3はその計算結果である。

UFCに仮にひび割れなどが生じても防水層としての性能を十分な余裕を持って発揮できなければならない。一方で過大な要求は技術開発へのブレーキや高コスト化など負の影響をもたらしかねない。したがって、要求水準は要求性能を満たす範囲である程度の余裕を持って満足度が得られる範囲で設定すべきである。そこで、UFC層に求める透水係数を表-3の設計耐用期間中に水が浸透する深さの計算値にUFC層の最小厚20mmにある程度の余裕を持たせ $1.0 \times 10^{-13} \text{m/s}$ 以下とした。この値は、UFCに残留ひずみ 200μ が生じたときの透水係数とも調和的である。なお、UFCに残留ひずみ 200μ が生じる状態とはひび割れ発生強度 8.0N/mm^2 に達する引張応力が作用し続けた状態に近似している。設計照査では荷重条件によってひび割れ発生強度を限界値とした照査を行うが、ひび割れ発生強度が作用し続けることはないのでこの観点からも余裕を持った設定と考えられる。

4. 性能確認試験

UFC複合床版を模擬した試験体において透水試験を実施した。図-1に試験体の概要図を示す。厚さ220mmのUFC複合床版の上層20mmにUFCを打ち重ねた。下層に用いたコンクリートは実構造物を想定した設計基準強度 50N/mm^2 の早強コンクリートである。試験片には、肉眼では確認できない微細なひび割れ(以下、「マイクロクラック」と呼ぶ。)を発生させている。透水係数の計測はマイクロクラックが発生した箇所から図-2に示す直径 $\phi 100 \text{mm}$ 、高さ100mmで試験片を採取して実施した。透水試験はインプット法により、水圧1MPa、加圧時間24時間で試験片に水を浸透させ、加圧終了後マイクロクラックに沿って試験片を割裂させて浸透深さを計測し、割裂面の浸透深さから拡散係数を算出し、その値を用いて透水係数⁸⁾を求めた。実験結果を表-4に示す。いずれの試験片も下層のコンクリートへの浸水は見られなかった。試験によって得られた透水係数は最大で $1.78 \times 10^{-14} \text{m/s}$ であり、いずれも $1.0 \times 10^{-13} \text{m/s}$ 以下であることを確認した。

参考文献

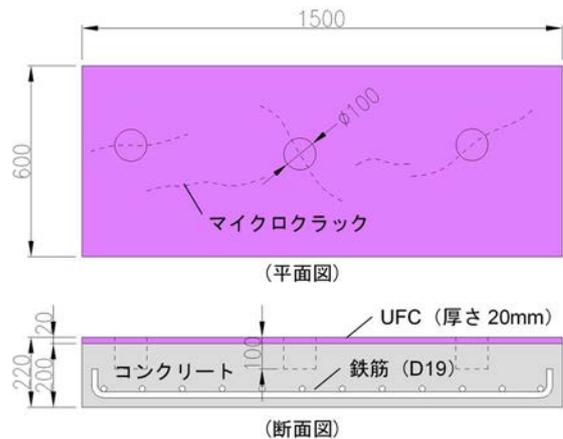


図-1 透水試験に用いた試験体の概要

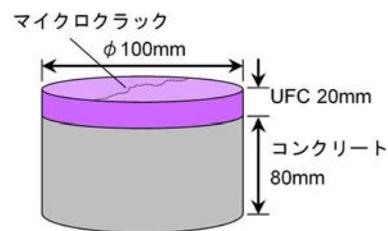


図-2 透水試験を行った試験片の概要

表-4 UFCに求める透水係数の検討

No.	平均浸透深さ D_m [mm]	拡散係数 β_0^2 [$\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$]	透水係数 k [m/s]	最深部	
				浸透深さ [mm]	透水係数 [m/s]
1	2.61 2.61	2.13×10^{-3}	8.17×10^{-16}	11.3	1.78×10^{-14}
2	0.18 0	1.18×10^{-5}	4.53×10^{-18}	4.1	2.35×10^{-15}
3	浸透なし	—	—	浸透なし	—

- 1) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，2017.11
- 2) 安川義行，大場誠道：防水性能を有するプレキャストPC床版の実用化，道路，pp.46-47，2020.8
- 3) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領第一集 舗装，2020.7
- 4) 公益社団法人日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007.3
- 5) 後藤俊吾ほか：PC床版の疲労耐久性評価方法の提案，土木学会構造工学論文集，vol.66A，pp.762~773，2020.3
- 6) 総務省統計局，統計で見る都道府県の姿 B/自然環境2021，政府統計の総合窓口 HP：<https://www.e-stat.go.jp/>
- 7) 東・中・西日本高速道路株式会社：舗装施工管理要領，2020.7
- 8) 村田二郎：コンクリートの水密性とコンクリート構造物の水密性設計，技報堂出版，2002