

論文 アスファルト敷設時の熱の影響を受けた超高強度ひずみ硬化型モルタルの性能

江口 輝行^{*1}・国枝 稔^{*2}・長瀧 宏弥^{*3}・中村 光^{*4}

要旨：超高強度ひずみ硬化型モルタル（UHP-SHCC）は高強度，高靱性という優れた力学性能を有し緻密で遮水性にも優れる材料であることから，RC 床版の上面増厚工法への適用が期待されている。本研究では，UHP-SHCC 上にアスファルトを敷設する際の有機（PE）繊維に対する熱の影響を取り上げた。性能の確認のために，上面のアスファルトを除去した UHP-SHCC 板に対して曲げ試験，透気試験，透水試験を実施した。その結果，曲げ強度や靱性，透気係数，および透水量に対して，アスファルト敷設の有無による差異は確認されず，アスファルト敷設時の熱が UHP-SHCC の力学性能や物質移動抵抗性に及ぼす影響は認められなかった。

キーワード：上面増厚工法，UHP-SHCC，PE 繊維，アスファルト

1. はじめに

近年，道路構造物などにおいて，早期劣化や損傷が生じており，合理的な補修・補強工法の確立が急務となっている。とりわけ RC 床版は早期劣化や損傷が生じている構造物の一例である。松井ら¹⁾は，その損傷要因として，①外荷重によるもの，②気象環境条件によるもの，③材料劣化によるもの，以上 3 種類に大別している。また，これまでの調査から①の外荷重による損傷は，そのほとんどが重車両の繰返し走行による疲労劣化であり，②の気象環境条件による損傷は，雨水の浸入による疲労劣化の促進，塩化物の浸入による鉄筋の腐食などがあげられる。また，③の材料劣化による損傷には，中性化による鉄筋腐食やアルカリ骨材反応などが含まれる。もちろん，従来までに様々な材料や工法が開発されているが，特に耐久性等に関して決定打となっているものは少ない。

超高強度ひずみ硬化型モルタル²⁾は，有機短繊維をモルタルに混入した繊維補強モルタルの 1 種であり，圧縮強度が 100MPa 程度，引張強度 8MPa 程度，引張強度時ひずみ 2%程度と，高強度，高靱性で，かつ透気係数が既存のモルタルに比べて 1/100 程度と緻密な材料であることから，床版の増厚工法に適用した場合，前述の各要因による損傷の抑止策となることが期待できる。増厚部分を想定した材料レベルでの疲労試験についてはすでに検討が進められており，剥離が懸念される母材コンクリートとの接合部は実際に想定される荷重レベルにおいては十分な疲労耐久性を有することなどが明らかになっている。しかし実施工を想定した場合に，増厚した

UHP-SHCC の上面に敷設するアスファルトの熱が UHP-SHCC 内部のポリエチレン繊維（PE 繊維）に及ぼす影響については未検討である。一般に PE 繊維の融点は 140℃程度であり，かつ負の膨張性を有するため，高温環境下での複合材料の挙動について確認する必要がある。

本研究では，UHP-SHCC を用いて板状の供試体を作製し，その上面にアスファルトを敷設し，その際の UHP-SHCC 内部およびアスファルトの温度の経時変化を計測した。またアスファルトを除去した供試体，およびアスファルト敷設をしなかった供試体に対して曲げ試験，透気試験，透水試験を実施し，その結果の比較検討をおこなった。

2. 実験概要

2.1 試験の流れ

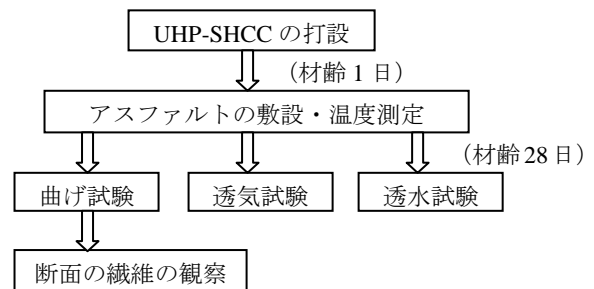


図 - 1 試験の流れ

実施した試験の流れを図 - 1 に示す。本研究では再現性を確認するため同様な実験を 2 回実施した。まず，図 - 2 に示すような板状の UHP-SHCC 供試体を作製した。

*1 名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 学生 (正会員)

*2 名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 准教授 博士 (工) (正会員)

*3 名古屋大学 全学技術センター工学系技術支援室環境安全技術系

*4 名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 教授 博士 (工) (正会員)

アスファルトの敷設時に専用の転圧装置による転圧をおこなう必要があるため、型枠にはアスファルトの WT 試験に使用する WT 試験用型枠を転用した。寸法は 300mm×300mm×50mm とし、型枠内に材料を投入後、棒状バイブレータにて締め固めをおこなった。写真 - 1 に今回使用した WT 試験用の型枠を示す。この型枠の半分の深さ (5cm) まで UHP-SHCC を打設し、残りの部分にアスファルトを打込むことで実床版におけるアスファルト敷設を再現した。今回使用した UHP-SHCC の示方配合は表 - 1 に示す通りである。繊維には長さ 6mm の PE 繊維を使用した。次に、UHP-SHCC の材齢が 1 日の時点で、供試体上面にアスファルトを敷設した。また、アスファルトの敷設時に、UHP-SHCC 内部とアスファルトの温度の経時的な変化を計測した。アスファルト打込み後の供試体は、20℃の恒温室内において材齢 28 日まで水中養生をおこなった後に、アスファルトを除去し、曲げ試験、透気試験、透水試験を実施した。また、比較のために 300mm×300mm×50mm の UHP-SHCC 供試体 (以下基準供試体と呼ぶ) を作製し、熱の影響を受けない状態での試験も実施した。なお、曲げ試験後の供試体については、その断面から採取した繊維のマイクロスコープ

による観察を実施した。

2.2 アスファルトの打込み時の温度測定

上面にアスファルトを打込む際の UHP-SHCC 内部の所定位置における温度および外気温の経時的な変化を調べるために、図 - 2 に示すようにアスファルト中央部および供試体内部に熱電対を配置した。写真 - 2 にアスファルトの転圧と温度計測の様子を示す。

2.3 曲げ試験

アスファルト敷設時の熱の影響を受けた UHP-SHCC の力学的性能の変化を確認するための曲げ試験を実施した。曲げ試験に用いた供試体の形状は、図 - 3 に示すように、アスファルトを敷設した板状の供試体をコンクリートカッターにより 3 等分に切断した角柱とした。供試体の種類は表 - 2 に示すように、打設面を引張側と圧縮側に配置した場合の 2 ケースと、それぞれについてアスファルトの敷設をおこなったものとおこなわないものの 2 ケースの、全 4 ケースとし、各 4 体の供試体について試験を実施した。載荷方法は、図 - 4 に示すようにモーメントスパンを 50mm、せん断スパンを 100mm とした 4 点曲げ載荷とし、支点沈下と供試体中央の変位を計測した。

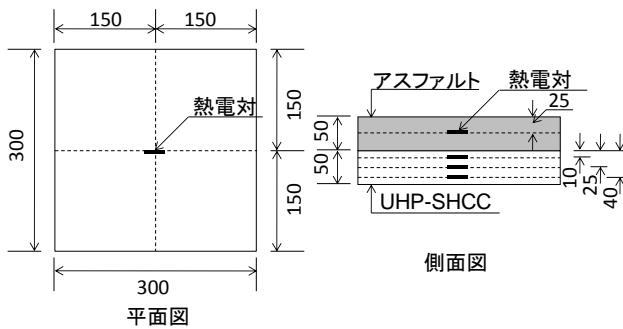


図 - 2 供試体形状と熱電対の配置



写真 - 2 アスファルト転圧時の状況



写真 - 1 WT 試験用型枠

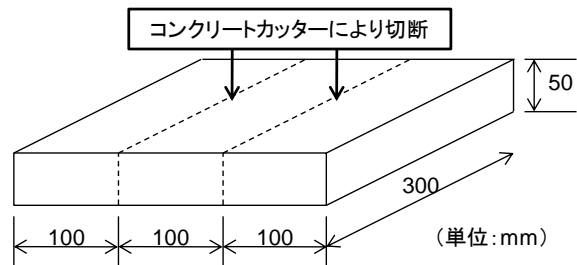


図 - 3 曲げ試験用供試体形状

表 - 1 UHP-SHCC の配合

V _f (%)	W/B	S/B	単位量 (kg/m ³)							
			水	セメント	シリカフェーム	細骨材	混和剤 ^{*1}	抑泡剤	膨張材	繊維
1.5	0.22	0.1	347	1300	236	158	15.6	0.06	40	14.6

*1 高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸系)

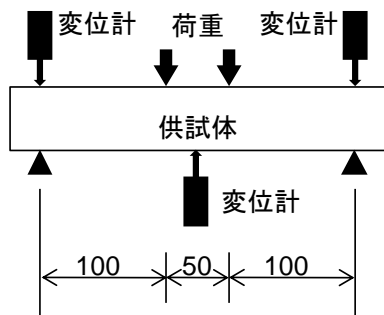


図 - 4 荷重方法

表 - 2 供試体の種類

供試体名	アスファルト敷設	曲げ試験時の打設面位置
基準 - 1	無	圧縮側
基準 - 2	無	引張側
アス - 1	有	圧縮側
アス - 2	有	引張側

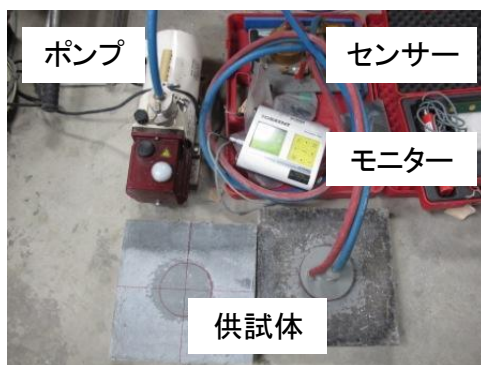


写真 - 3 透気試験の状況

2.4 透気試験

アスファルトの敷設をおこなった UHP-SHCC 供試体と基準供試体について、それぞれ 2 体の供試体に対して、写真 - 3 に示すように供試体中央部において透気試験³⁾を実施した。材齢 28 日の時点で養生用水槽から供試体を取り出し、3 時間気中で静置し表面を乾燥させた後に測定を実施した。

2.5 透水試験

透気試験と同様、アスファルトの敷設をおこなった UHP-SHCC と基準供試体について、それぞれ 2 体の供試体に対して、図 - 5 に示すように、供試体中央において JSCE-K571-2005 に準じて透水試験を実施した。材齢 28 日の時点で養生用水槽から供試体を取り出し、直径 75mm の漏斗に容量 5ml のメスピペットをゴム管でつないだものを供試体に固定した。その際、供試体と漏斗の境界面からの水漏れを防ぐためにシーリング材を塗布した。また、水の蒸発を防ぐためにラップと輪ゴムでメ

スピペットの上部に封をした。

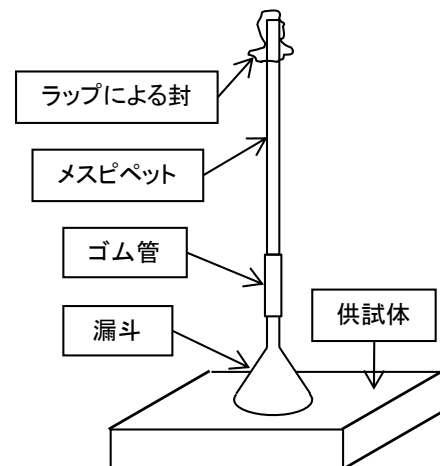


図 - 5 透水試験方法

表 - 3 UHP-SHCC 円柱供試体 (Φ50×100mm) の圧縮試験結果

1 回目打設			2 回目打設		
No.	f _c (MPa)	平均 (MPa)	No.	f _c (MPa)	平均 (MPa)
1	88.0	88.0	1	86.6	86.1
2	88.4		2	87.6	
3	87.6		3	84.1	

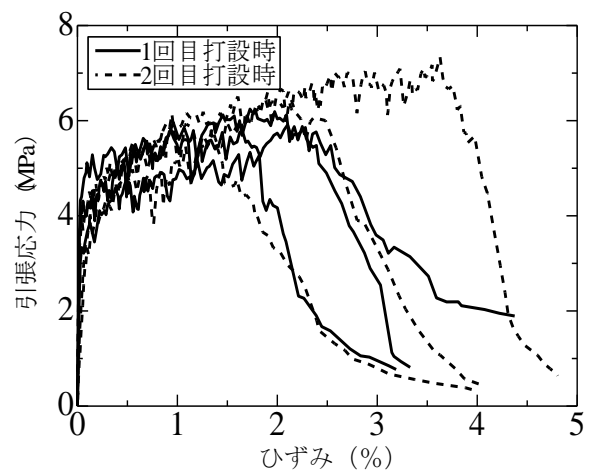


図 - 6 引張試験時の応力 - ひずみ関係 (材齢 28 日)

3. 実験結果

3.1 UHP-SHCC の圧縮強度および引張試験時の挙動

今回使用した UHP-SHCC の材齢 28 日における圧縮試験の結果を表 - 3 に、ダンベル供試体 (試験部の断面 30mm×13mm) による引張試験時の応力-ひずみ関係を図 - 6 に示す。圧縮強度は 86~88MPa であり、1 回目の打設と 2 回目の打設の間に大きな違いは認められなかった。引張強度についても、ややばらつきは大きいですが、引張強度は約 6MPa であり、その際の引張ひずみも 2% 以上を有している。

3.2 UHP-SHCC およびアスファルト内部の温度の経時変化

アスファルト敷設時の供試体内部の各位置における温度、アスファルトの温度、および外気温の経時変化を図-7に示す。なお、アスファルトそのものの温度は2回目のみ計測した。図-7より、敷設時のアスファルトの温度は150度以上であることがわかる。一方、UHP-SHCC内部の温度は、アスファルトとの界面に最も近い、界面から1cmの測定箇所において、アスファルト敷設開始から20分程で90度以上まで上昇している。また、界面から離れるにしたがって最高温度は低くなり、最高温度に到達するまでの時間は長くなる。この傾向から、界面の直近ではアスファルトの温度近くまでUHP-SHCCの温度が上昇していることが予想できる。

3.3 曲げ試験時の変位と曲げ応力の関係

図-8、図-9に打設面を圧縮側および引張側に配置した場合の、曲げ試験の結果（曲げ応力と変位の関係）をそれぞれ示す。基準供試体、アスファルト敷設供試体ともに、打設面を引張側に配置した場合に靱性が比較的低くなる傾向が見られる。これはUHP-SHCCの表面仕上げにおいて、完全に平滑な仕上げができず、打設面にある微小な凹凸に応力集中が起こり、ひび割れが局所化し易かったことや、型枠面では壁の拘束効果により補強繊維が2次元方向に配向し易かったことが考えられる。写真-6は曲げ試験後の供試体側面におけるモーメントスパンの拡大写真である。この写真からも、打設面を圧縮側に配置した供試体の方が高いひび割れ分散性を示していることがわかる。一方、PE繊維は負の膨張性を持つ材料であるため、アスファルト敷設時の熱により収縮し、その際に繊維とマトリクスの界面の付着が失われ、結果として複合材料の強度や靱性に影響を与えることが懸念された。図-10はPE繊維単体に対して実施された乾熱収縮試験時の履歴曲線である⁴⁾。このグラフから、PE繊維が温度の上昇に伴い収縮することがわかる。しかし、

本研究の範囲内ではアスファルト敷設の有無による曲げ試験結果の差異は打設面の配置の違いによる差異と比較して小さく、アスファルト敷設時の熱の影響を受けたUHP-SHCCでも10MPa以上の曲げ応力を有し、十分な耐力を保有しているといえる。

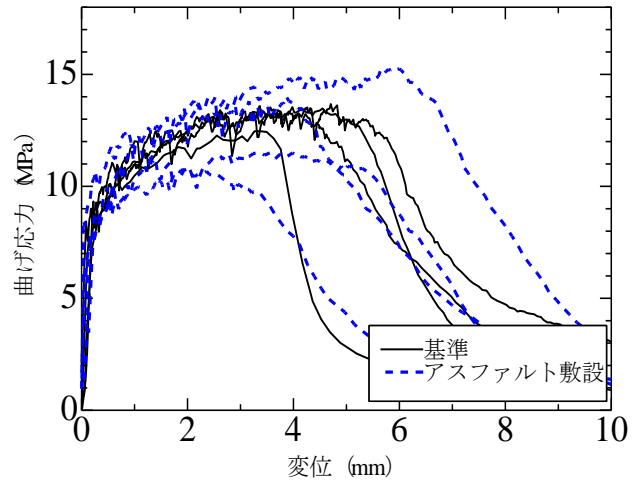


図-8 曲げ応力-変位関係（打設面圧縮側配置）

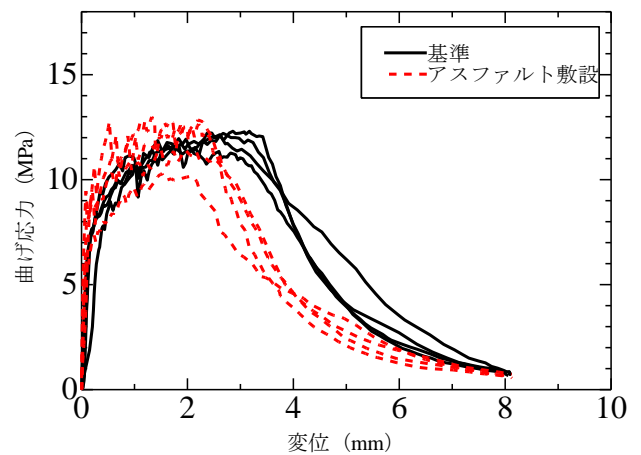


図-9 曲げ応力-変位関係（打設面引張側配置）

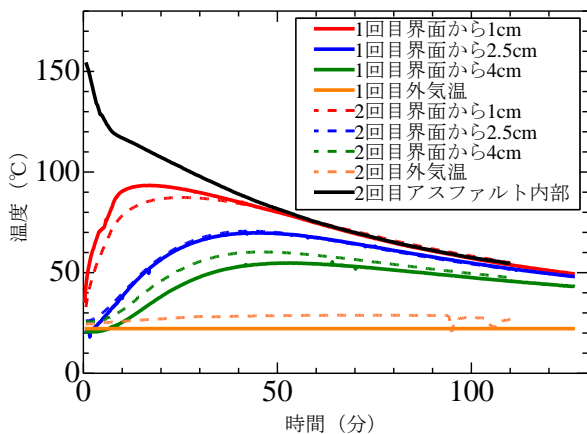


図-7 温度計測結果

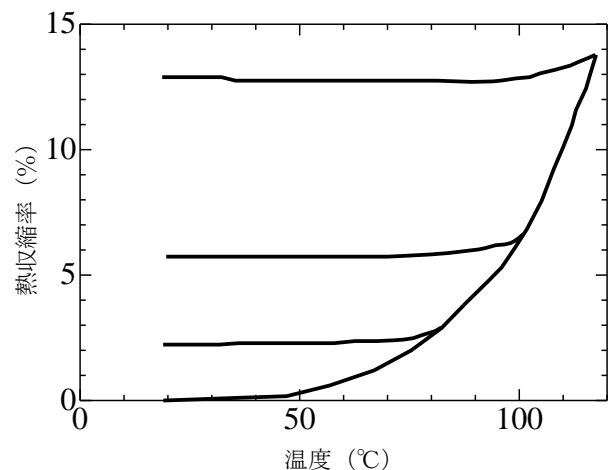


図-10 乾熱収縮試験結果⁴⁾

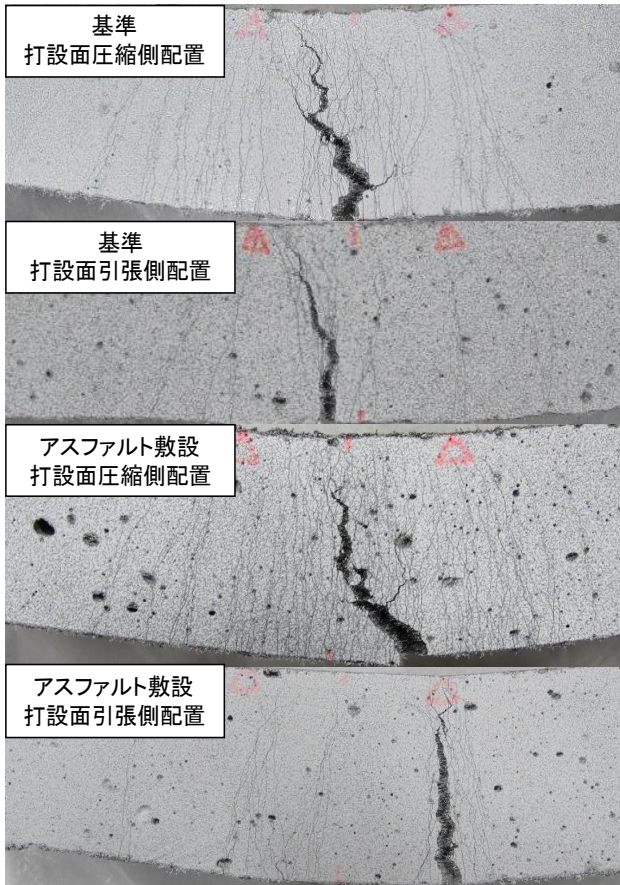


写真 - 4 ひび割れの分散状況

表 - 4 透気係数

	透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	
	基準	アスファルト敷設
第 1 回	0.003	0.004
第 2 回	0.002	0.002

3.4 透気・透水試験結果

(1) 透気係数

表 - 4 に透気試験の結果を示す。2 回の測定結果ともに基準供試体、アスファルト敷設供試体の透気係数は同様な値が得られており、アスファルトの熱の影響による透気係数の変化は確認できない。

(2) 透水性

図 - 12 に透水量の経時変化を示す。2 回目の試験の結果はアスファルト敷設供試体、基準供試体とも同程度の透水量となっている。これに対し、1 回目の試験の結果では、透水開始後 1 日目の透水量において、アスファルト敷設供試体が基準供試体に比べ 2 倍程度の大きな値を示している。しかし、図 - 13 に示した普通コンクリート (W/C=0.57) における透水試験の結果と比較すると 10 分の 1 程度の値であり、当該材料に要求される遮水性は有している結果となっている。

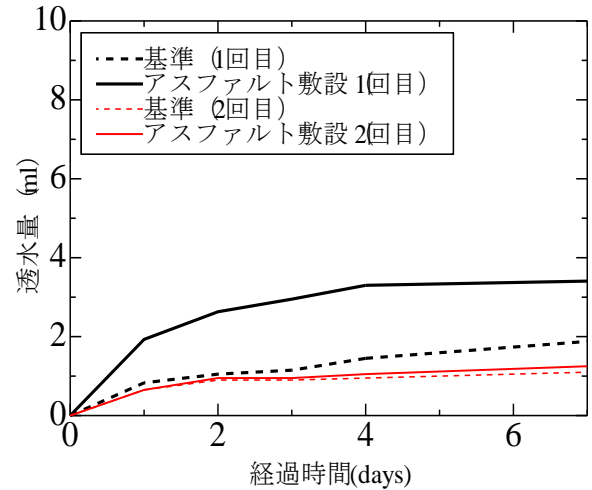


図 - 11 透水量の経時変化

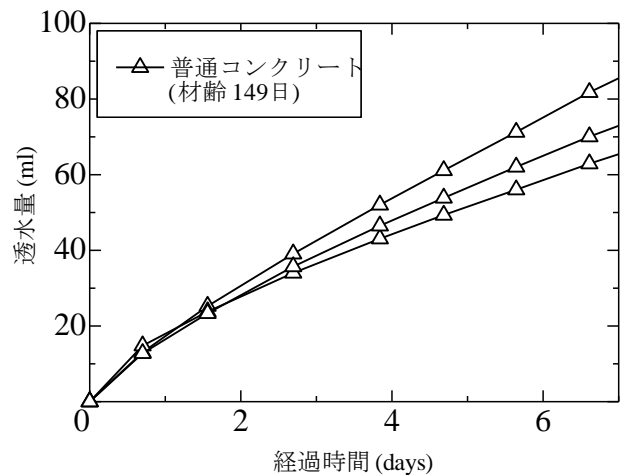
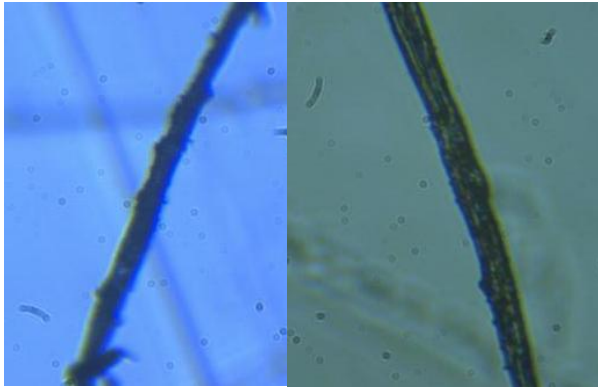


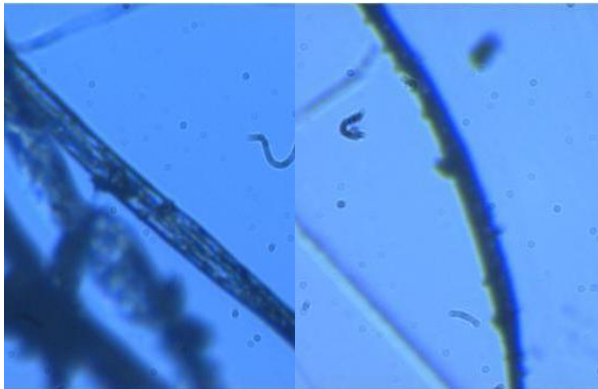
図 - 12 普通コンクリート (W/C=0.57) における透水量の経時変化

3.5 観察された断面の繊維

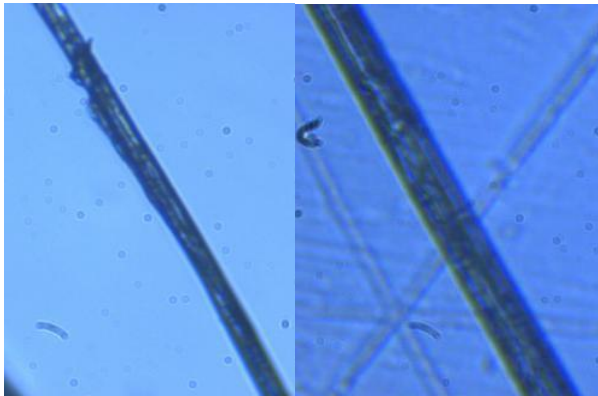
曲げ試験後の供試体断面から繊維を取り出し、マイクロスコップによって撮影した写真 (800 倍) を写真 - 6 に示す。繊維の採取は、表 - 2 に種類分けされているアス - 2 供試体および基準 - 2 供試体のうち 1 つにおいて、界面直近および界面から 1cm の位置の 2 箇所でおこなった。なお、比較のために、乾燥炉において 100°C で 30 分以上加熱した未使用繊維と無加熱の未使用繊維を撮影した写真も併せて示した。写真より、未使用の繊維と比較すると、供試体の中から採取した繊維の表面は平滑さが失われていることが確認できる。これは、繊維がマトリクスから引抜ける際に、その表面が損傷を受けるためであると考えられる。一方、アスファルト敷設の有無による繊維表面の状態の差異は明確ではなく、アスファルト敷設時の熱による繊維の収縮をその表面性状の変化として確認することはできなかった。



(a)アス - 2 界面直近 (b)アス - 2 界面から 1cm



(c)基準 - 2 界面直近 (d)基準 - 2 界面から 1cm



(e)炉加熱した未使用繊維 (f)無加熱未使用繊維

写真 - 5 繊維の状態 (800 倍)

4. まとめ

本研究では床版の増厚における舗装を想定し、UHP-SHCC により作製した板状の供試体上にアスファルトを打ち込み、その際の熱の影響を調べる各種試験を実施した。その結果得られた知見を以下に示す。

- (1) アスファルト打ち込み時の UHP-SHCC 内部の温度はアスファルトとの界面から 1cm の距離の位置で 90 度以上にまで達しており、更に界面の近傍ではアスファルト自体の温度である 150℃により近くまで

度が上昇していることが予想できた。

- (2) 角柱の 4 点曲げ試験をおこなった結果、打設面の配置の仕方（引張側配置もしくは圧縮側配置）の違いと比較し、アスファルト敷設の有無が曲げ強度および靱性に及ぼす影響は小さく、アスファルト敷設時の熱の影響を受けた UHP-SHCC でも 10MPa 以上の曲げ応力を有し、十分な耐力を保有しているといえる。
- (3) アスファルトを敷設した UHP-SHCC および基準供試体の表面に対して実施した透気、透水試験より、透気係数および透水量には有意な差異は見られず、UHP-SHCC の物質移動抵抗性に対するアスファルトの敷設時の熱の影響はないといえる。
- (4) 曲げ試験体断面の繊維表面をマイクログラフで撮影した拡大写真より、アスファルト敷設の有無による供試体内の繊維の表面性状に明確な差異は確認できず、アスファルト敷設時の熱による繊維の収縮をその表面性状の変化として確認することはできなかった。

謝辞

本研究の成果は、新道路技術会議道路政策の質の向上に資する技術研究開発「緻密でよく曲がるセメント系材料を用いた補修・補強工法の開発（代表：中村光）」によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版設計施工と維持管理，森北出版，2007
- 2) 国枝 稔，A,Kamal., 中村 光，E,Brühwiler.：超高強度ひずみ硬化型セメント系材料の開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.29, No .1, pp.315-320, 2007
- 3) R.Torrent.：A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, 25, pp.358-365, 1992
- 4) 木下茂武，滝沢俊治：延長ポリエチレン繊維の熱収縮，春の分科学会講演予稿集，p.14, 1961