

論文

## けい酸塩系表面含浸材による微細ひび割れの透水防止性に関する検討

山本 昌宏\*1, 今井 啓一\*1, 宮崎 保\*1, 遠藤 裕丈\*2, 守屋 進\*3

### Study on Water Proofing Performance of Micro Crack of Concrete by Using Silicate Type Surface Penetrants

Masahiro YAMAMOTO\*1, Keiichi IMAI\*1, Tamotsu MIYAZAKI\*1, Hirotake ENDOH\*2  
and Susumu MORIYA\*3

**要旨**：コンクリート中のカルシウムと反応し，コンクリート組織を緻密化させる機能を有するけい酸塩系表面含浸材の適用によってコンクリートに付与された防水性能の評価を行うことを目的に，微細ひび割れを導入したコンクリート試験体を用いた加圧透水試験を実施した．6種類の材料を用いて種々の検討を行った結果，透水量の程度や材料の種類にもよるが，けい酸塩系表面含浸材はコンクリートの防水性能の改善に有効であることがわかった．

**キーワード**：けい酸塩系表面含浸材，微細ひび割れ，透水試験，防水性能，固形分量

#### 1. はじめに

2005年に表面保護工法設計施工指針(案)<sup>1)</sup>が発刊されて以降，コンクリート構造物の耐久性向上に資する様々な表面保護材料が幅広く用いられるようになった．その中の一つに，けい酸塩系表面含浸材がある．

けい酸塩系表面含浸材は，コンクリート中のカルシウムと反応してけい酸カルシウム水和物を生成し，コンクリート表層の空隙を緻密化させる機能を有する浸透性の保護材である．筆者らが所属するけい酸塩系浸透性コンクリート保護材研究会では，けい酸塩系表面含浸材の適用によってコンクリートに付与される種々の性能の評価を目的に研究活動を行っており，これまでに初期の透水防止性や暴露1年後の耐凍害性に関する研究の成果を報告している<sup>2)</sup>．

けい酸塩系表面含浸材は，これまで防水材とし

て地下構造物，水槽，屋上駐車場などに適用され，多くの施工実績を残してきた．しかしながら，防水の効果の評価・確認する方法の確立には至っていない．このことに鑑み，本研究では微細ひび割れを有するコンクリート試験体にけい酸塩系表面含浸材を塗布し，加圧透水試験による防水性能の確認を試みたので，その結果を述べる．

#### 2. 試験概要

##### 2.1 試験体作製

試験体の作製に用いたコンクリートの材料と示方配合を表-1 および表-2 に示す．型枠は，硬質塩化ビニールパイプのVU管(以下，パイプと記す)を使用した．パイプの外径は89mm，内径は83mm，高さは250mmである．打設後，気中養生を行い，材齢20～34日の間にパイプとコンクリートの界面にエポキシ系の樹脂を注入し

\*1 けい酸塩系浸透性コンクリート保護材研究会 委員

\*2 (独)土木研究所 寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ 耐寒材料チーム 研究員

\*3 (独)土木研究所 つくば中央研究所 材料資源研究グループ 新材料チーム 総括主任研究員

表-1 試験体コンクリート使用材料

種類	記号	詳細
水	W	上水道水 (密度 1.0g/c m <sup>3</sup> )
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/c m <sup>3</sup> )
細骨材	S	海砂 (佐賀県唐津市呼子町小川島沖地先産, 表乾密度 2.56g/c m <sup>3</sup> )
粗骨材(1)	G1	碎石 1505 (岡山市北区上高田産, 表乾密度 2.72g/c m <sup>3</sup> )
粗骨材(2)	G2	碎石 2010 (岡山市北区上高田産, 表乾密度 2.73g/c m <sup>3</sup> )
混和剤	AE	AE 減水剤 標準型 I 種

表-2 試験体コンクリート示方配合

設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	SL (cm)	Gmax (mm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
						W	C	S	G1	G2	AE
21	8	20	4.5	58	44.7	171	295	791	469	574	2.95

※ 骨材混合比 / G1 : G2 = 45 : 55

た。その後、試験体をパイプに入った状態のまま  
で4分割に切断し(分割された個々の試験体の高  
さは50mm)、材齢50~65日の間に微細ひび割れ  
を導入した。微細ひび割れの導入は既報<sup>3)</sup>と同様  
の方法により、アムスラー式試験機を用いてパイ  
プ外側から荷重を載荷することでひび割れを發  
生させた。

## 2.2 試験体グルーピング

試験体のグルーピングを行うため、ひび割れ幅  
0.09~0.11mmの試験体を任意に200個抽出し、材  
齢78日より加圧透水試験を行った。ひび割れ幅  
の測定は、0.01mm単位で測定可能な携帯型詳細  
ひび割れ幅測定器を用いて中央付近のひび割れ  
幅の測定を行った。測定状況を図-1に示す。加圧  
透水試験はコンクリート打設時の下面を加圧面  
とし、水頭高さ1m、加圧時間60分で加圧した。

その結果から得られた透水量のレベルを、少ない  
ものから順に小,中,大の3グループに区分けし、  
各区分につきそれぞれ8個の試験体を使用した。  
各区分の透水量は表-3の通りである。

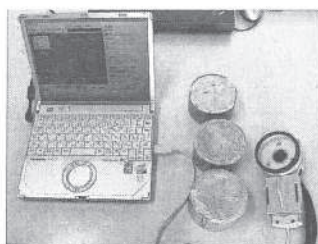


図-1 ひび割れ幅測定状況

表-3 試験体グループ

透水量 区分	透水量 (g/day)
小	840±10%
中	1440±10%
大	6000±10%

## 2.3 けい酸塩系表面含浸材

本試験で使用したけい酸塩系表面含浸材の一  
覧を表-4に示す。試験に用いた含浸材は6種類で、  
主成分と固形分量が異なる。

表-4 使用したけい酸塩系表面含浸材

含浸材	主成分	比重 (20℃)	総塗布量 (kg/m <sup>2</sup> )	固形分量 (g/m <sup>2</sup> )	塗布回数
含浸材A	けい酸ナトリウム	1.24	0.30	94.4	2回
含浸材B	けい酸ナトリウム・けい酸カリウム	1.14	0.24	29.5	2回
含浸材C	けい酸ナトリウム	1.23	0.30	78.6	1回
含浸材D	けい酸ナトリウム・けい酸カリウム	1.14	0.25	30.7	2回
含浸材E	けい酸ナトリウム・変成メチルけい酸カリウム	1.18	0.20	27.4	2回
含浸材F	けい酸ナトリウム	1.15	0.30	38.0	2回

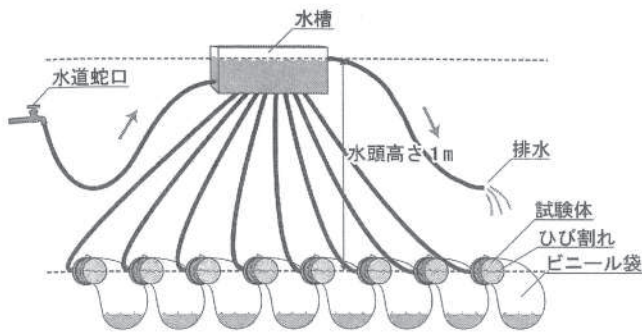


図-2 加圧透水試験装置概要図

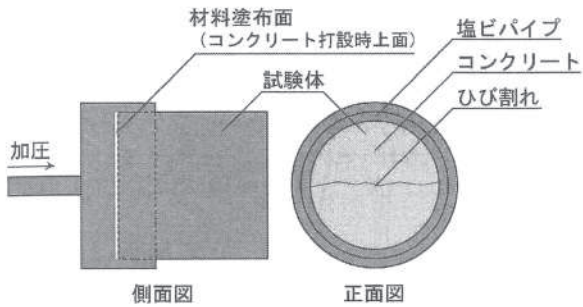


図-3 試験体部分拡大図

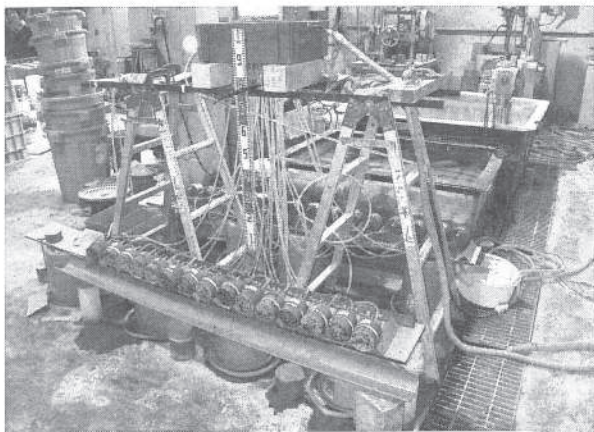


図-4 加圧透水試験状況

材料の主成分は、けい酸ナトリウム単体のもの、けい酸ナトリウムとけい酸カリウムを混合したもの、およびその混合したものには水基を加えて複合させたもの（含浸材 E）の 3 ケースである。

試験体の数は、透水量区分毎に各含浸材を塗布したものを 1 個および無塗布を 2 個使用した。

試験体への施工は材齢 92 日より開始した。塗布は各材料の施工要領に準じて行った。塗布面はコンクリート打設時の上面とし、刷毛塗りあるいは噴霧器を用いた噴霧により塗布した。塗布量は  $0.2 \sim 0.3 \text{ kg/m}^2$ 、塗布回数は 1 回または 2 回である。

塗布面積に対する固形分量は表-4 のとおりである。塗布後の養生方法は、温度  $20^\circ\text{C}$ 、湿度 60% の恒温室にて気中養生を行った。

## 2.4 加圧透水試験

含浸材塗布後、5 週間の養生期間経過した時点から加圧透水試験を行った。加圧面は塗布面とし、水頭高さ 1m、1 日 24 時間連続で加圧した。試験装置概要図および試験体部分拡大図をそれぞれ図-2、図-3 に示す。透水量の測定頻度は 1 日毎とし、試験開始後 3 日目までは 2 時間測定した透水量から、4 日目以降は 8 時間測定した透水量から 1 日（24 時間）当たり透水量を算出した。試験状況を図-4 に示す。

## 3. 試験結果と考察

試験結果は、透水量区分小、中、大それぞれについて試験開始から 25 日目までの各材料および無塗布の透水量の経時変化をグラフに整理した。無塗布については 2 個の試験体による透水量の平均とした。また、累積透水量の経時変化についてもあわせて整理した。

### 3.1 透水量区分：小 試験結果

透水量区分：小の 1 日当たり透水量の経時変化を図-5、図-5 の  $0 \sim 40 \text{ g/day}$  部分を拡大したものを図-6、累積透水量で表したものを図-7 に示す。

透水量の経時変化を 1 日当たり透水量でみると、含浸材を塗布したものは、日数経過とともに徐々に減少する傾向がみられ、試験開始から 5 日経過の段階で  $15 \text{ g/day}$  以下に抑えられている。また、25 日経過時点までに、含浸材 A、C、F は  $0 \text{ g/day}$  となり、水の流出が完全に抑えられていることが確認された。また、含浸材 B、D についても  $0.3 \text{ g/day}$  と、水の流出がほぼ完全に抑えられている結果が得られた。

これに対し無塗布は、含浸材を塗布したものと同様に日数経過に伴い徐々に減少する傾向がみられるものの、 $15 \text{ g/day}$  以下に低下するまで 20 日を要しており、25 日経過時点においても収束するには至らなかった。

また、累積透水量の総量は、含浸材を塗布した

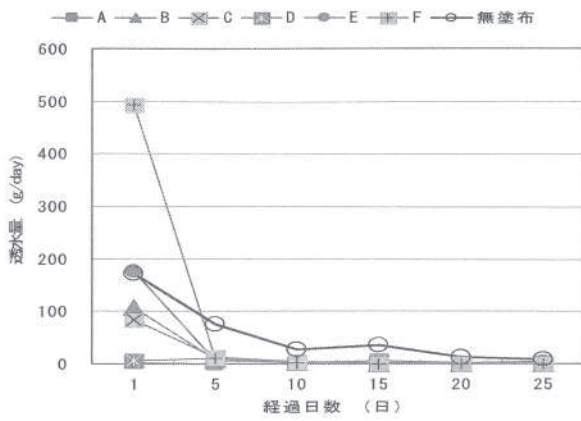


図-5 透水量区分：小 透水量の経時変化

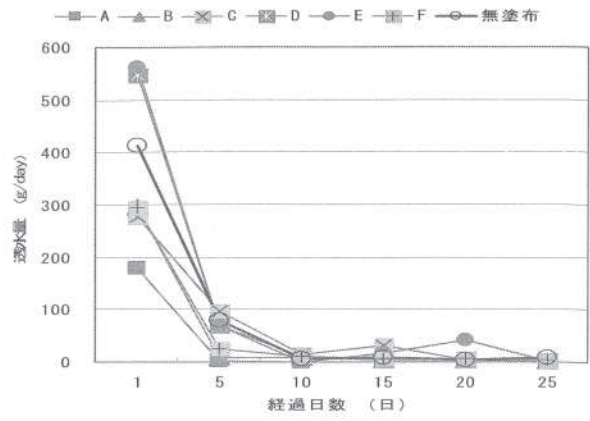


図-8 透水量区分：中 透水量の経時変化

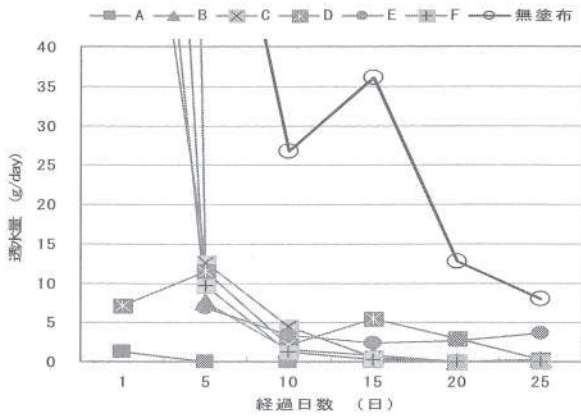


図-6 透水量区分：小 透水量の経時変化 (拡大)

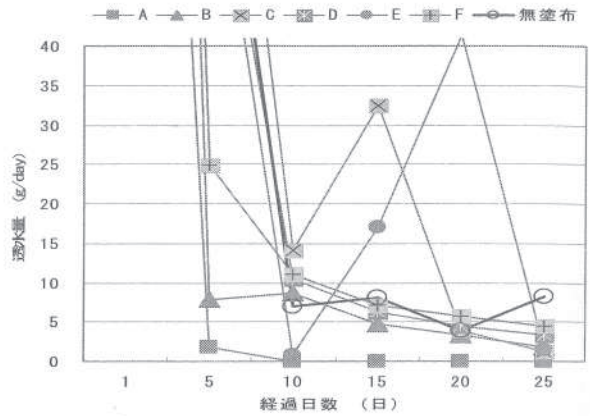


図-9 透水量区分：中 透水量の経時変化 (拡大)

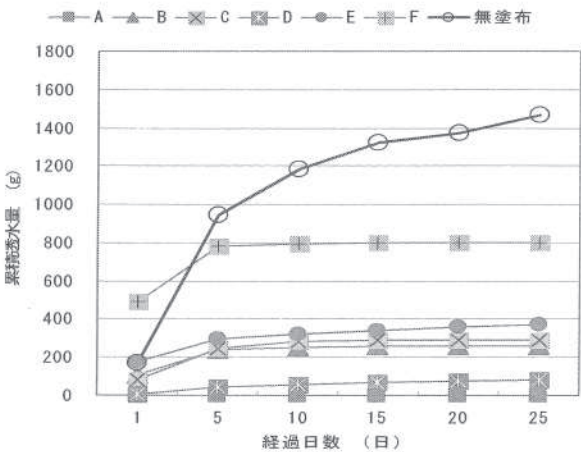


図-7 透水量区分：小 透水量の経時変化

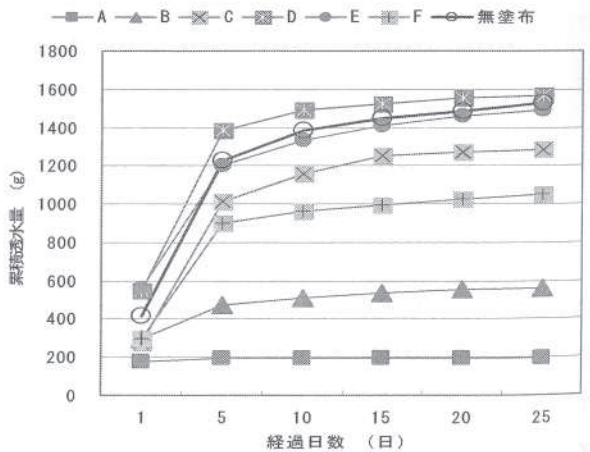


図-10 透水量区分：中 透水量の経時変化

ものは全て無塗布以下の値であった。

### 3.2 透水量区分：中 試験結果

透水量区分：中の1日当たり透水量の経時変化を図-8、図-8の0~40g/day部分を拡大したものを

図-9、累積透水量で表したものを図-10に示す。

透水量の経時変化を1日当たり透水量で見ると、透水量区分：小同様、含浸材を塗布したものは、日数経過とともに徐々に減少する傾向がみられ、

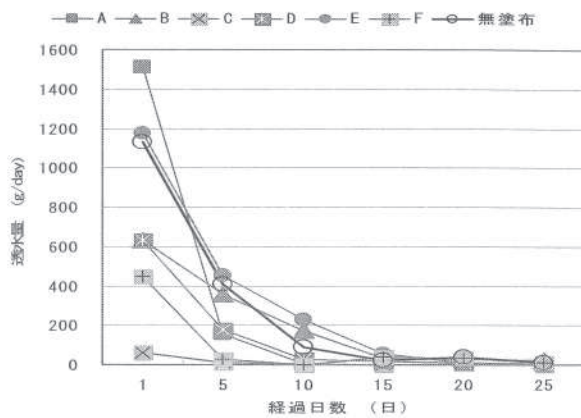


図-11 透水量区分：大 透水量の経時変化

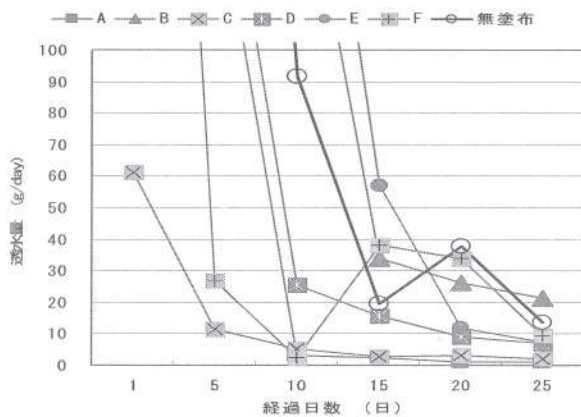


図-12 透水量区分：大 透水量の経時変化 (拡大)

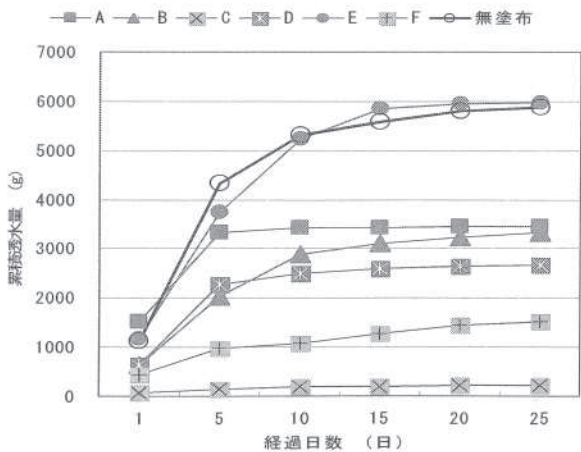


図-13 透水量区分：大 透水量の経時変化

試験開始から 10 日経過の段階で 15 g/day 以下に抑えられている。水の流出が完全に防止されたものは含浸材は A のみであり、それ以外の含浸材は、25 日経過時点においても収束には至っていない。

無塗布についても、含浸材 A 以外のものとほぼ同様の日数経過とともに徐々に減少する傾向がみられ、収束にも至らなかった。

累積透水量の総量は、含浸材 D と E を除く他の含浸材を塗布したものは無塗布よりも小さい値となったが、含浸材 D と E を塗布したものは無塗布とほぼ同量であった。

### 3.3 透水量区分：大 試験結果

透水量区分：大の 1 日当たり透水量の経時変化を図-11、図-11 の 0~100g/day 部分を拡大したものを図-12、累積透水量で表したものを図-13 に示す。

透水量の経時変化を 1 日当たり透水量でみると、含浸材を塗布したものは、日数経過とともに徐々に減少する傾向がみられるが、これは無塗布についてもほぼ同様であった。25 日経過時点において、いずれの含浸材も完全に水の流出が防止されるには至らなかった。しかし、含浸材 A と C を塗布したものは 10 日経過あたりで水の流出が完全ではないがほぼ収束している。

累積透水量の総量は、含浸材 E を除く他の含浸材を塗布したものは無塗布以下の値となっているが、含浸材 E を塗布したものは無塗布とほぼ同量であった。

### 3.4 考察

本試験の結果より、無塗布を含めた全ての試験体において、時間の経過と共に透水量は減少する傾向が示された。これは、ひび割れ内部への水分の供給によってコンクリート自体の水和反応が促進され、水密性が向上した可能性が考えられる。ただし、無塗布の試験結果より、この作用は完全に水の流出を収束させるに至るものではないことがわかる。

試験開始前の透水量が少なかった試験体においては、全ての含浸材において良好な結果が得られた。透水量が中庸あるいは多かった試験体においては、種類にもよるが良好な結果を示した含浸材も確認できた。ただし、けい酸塩には水基を加え複合化させたものについては、無塗布との差があまり表れなかった。

このことから、けい酸塩系表面含浸材は、透水量が少ないひび割れすなわち空隙が小さいひび割れにおいては性能が発揮され透水の抑制が図られるが、空隙の大きいひび割れにおいては十分な効果が得られない場合があり、特に水基と複合化されたものは、ひび割れ内部の界面にも水効果が表れる結果、透水の抑制効果が減少してしまう可能性が考えられる。

なお、本試験において良好な結果が示された含浸材 A および C は、主に防水、止水のために使用される材料であるが、これらの塗布面積に対する固形分量をみると、他の含浸材と比較しおよそ 2 倍以上となっている。また、無塗布との差があまり見られなかった含浸材 E は、主に表面保護、表面強化のために使用される材料であり、塗布面積に対する固形分量が最も少量であった。

#### 4. まとめ

本研究では、けい酸塩系表面含浸材の塗布によって付与される防水性能の効果を評価・確認する方法の確立に向け、微細なひび割れを導入した各種試験体に 6 種類のけい酸塩系表面含浸材を塗布して加圧透水試験を実施し、防水性能についての評価を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) けい酸塩系表面含浸材は、コンクリートの微細なひび割れを充填し、透水抑制効果を発揮することが確認された。
- (2) 空隙の大きいひび割れでは抑制効果は発揮されるが、透水が完全に収束されるには至らなかった。
- (3) 塗布面積に対する固形分量が多い材料では、透水抑制効果が高くなる傾向が示された。
- (4) けい酸塩の成分とは水基が複合化された材料を用いると、空隙の大きいひび割れにおいては効果が発揮されない可能性が示された。

なお、本試験に使用した試験体のひび割れ破断面の性状は、中性化していない可能性が高く、汚れ等の付着もない点で実構造物コンクリートのひび割れ破断面とは条件が異なっている。また、

本試験では無塗布試験体の時間経過に伴う透水量減少が大きく、効果の差が表れにくかった可能性もあった。今後の課題として、コンクリート材齢の進んだ試験体あるいは中性化した試験体などを用いる等、更なる検討が必要である。

#### 謝辞

本研究を行った、けい酸塩系浸透性コンクリート保護材研究会 (Silicate Type Penetrants Workshop) は、2007 年 10 月に発足し、独立行政法人土木研究所を中心にけい酸塩系表面含浸材の材料メーカーと輸入販売元で構成される研究会である。2011 年 5 月時のメンバーは以下のとおりである。(株) アストン、(株) エバープロテクト、(株) 中日、(株) 日興、富士化学 (株)、(株) ラドジャパンの計 6 社。

本研究の実施にあたり、岡山大学大学院環境学研究科綾野克紀教授にご教示を賜りました。また本試験は、岡山大学大学院環境学研究科藤井隆史助教ならびに研究生諸氏にご協力を得て実施しました。本論文の執筆に際し、本研究会が参画している土木学会「けい酸塩系表面含浸材設計施工研究小委員会 (275 委員会/委員長: 武若耕司鹿兒島大学大学院教授)」での議論の内容を参考にさせて頂きました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 土木学会 表面保護工法 設計施工指針 (案)、コンクリートライブラリー119, 2005.4.
- 2) 西野英哉, 富田豊, 守屋進, 遠藤裕丈: けい酸塩系表面含浸材の施工条件と性能評価に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 10 巻, pp.425-430, 2010.10
- 3) 谷村成, 山本昌宏, 安藤尚, 綾野克紀: コンクリート試験体における微細ひび割れの作製方法および試験事例, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 10 巻付録 工事報告集, pp.5-6, 2010.10