

論文 各種表面含浸材の低圧・高圧水下における透水に対する抵抗性

飯野 将広*1・齋藤 俊克*2・出村 克宣*3

要旨: 気乾又は湿潤状態の基材コンクリートに各種表面含浸材を含浸し、湿度の異なる条件下で養生した供試体について、水頭 250mm とした低圧水下、及び水圧 0.4MPa の高圧水下における透水試験を行い、表面含浸材の透水に対する抵抗性について検討している。その結果、気乾状態の基材コンクリートに含浸した場合に比べて、湿潤状態のものに含浸した場合には、表面含浸材の透水に対する抵抗性は低下する傾向にある。しかしながら、その種類によって性能は異なるものの、表面含浸材は低圧水下及び高圧水下での透水に対して優れた抑制効果を発揮する。

キーワード: 表面含浸材, 基材コンクリート, 含浸深さ, 低水圧, 高水圧, 透水量

1. はじめに

表面含浸材は短工期で施工ができると共に、コンクリート表面の外観を損なうことなく、鉄筋コンクリート構造物の耐久性向上や補修を目的として利用されている。しかしながら、表面含浸材の含浸深さや吸水抑制効果は、コンクリートの含水状態に左右される可能性があることが報告されている^{1)・2)}。その一方で、シラン系表面含浸材は、コンクリートが乾燥状態で含浸することが望ましいと考えられてきたが、今野らは、含浸前後に湿潤状態にあっても、吸水抑制効果は十分に発揮することを明らかにしている²⁾。又、表面含浸材の試験方法としては土木学会の定める JSCE-K571 [表面含浸材の試験方法(案)]³⁾が挙げられるが、規定されている表面含浸材の透水に対する抵抗性試験は低圧水下で行うものである。

以上のことに鑑み、本研究では、気乾又は湿潤状態の基材コンクリートにケイ酸塩系及びシラン系表面含浸材を含浸し、湿度の異なる条件下で養生した供試体について、水頭 250mm とした低圧水下、及び水圧 0.4MPa の高圧水下における透水試験を行い、それらの表面含浸材の透水に対する抵抗性について検討している。

2. 使用材料

2.1 セメント

セメントとしては、JIS R 5210 (ポルトランドセメント) に規定する普通ポルトランドセメントを使用した。その物理的性質及び化学成分を **Table 1** に示す。

2.2 細骨材

細骨材としては、阿武隈川産川砂を使用した。性質を **Table 2** に示す。

2.3 粗骨材

粗骨材としては、砂岩碎石を使用した。その性質を

Table 3 に示す。

2.4 混和剤

混和剤としては、リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体を主成分とする AE 減水剤を使用した。その性質を **Table 4** に示す。

2.5 練混ぜ水

練混ぜ水としては、水道水を使用した。

Table 1 Physical Properties and Chemical Compositions of Ordinary Portland Cement.

Density (g/cm ³)	Blaine Specific Surface (cm ² /g)	Setting Time (h-min)		Compressive Strength of Mortar (MPa)		
		Initial Set	Final Set	3 d	7 d	28 d
3.16	3320	2-14	3-29	30.3	44.7	63.5

Chemical Compositions (%)

MgO	SO ₃	ig. loss	Total Alkali	Chloride Ion
2.21	1.96	2.44	0.45	0.019

Table 2 Properties of Fine Aggregate.

Size (mm)	Bulk Density (kg/l)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
≤2.5	1.33	2.64	2.27

Table 3 Properties of Coarse Aggregate.

Size (mm)	Bulk Density (kg/l)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
5~20	1.61	2.64	1.13

Table 4 Properties of Air-Entraining and Water-Reducing Admixture.

Appearance	Density (g/cm ³)	Alkaline Content (%)	Chloride Ion Content (%)
Puce Liquid	1.04~1.08	1.0	0.03

*1 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻 (学生会員)

*2 日本大学 工学部建築学科 助教 博士 (工学) (正会員)

*3 日本大学 工学部建築学科 教授 工博 (正会員)

2.6 表面含浸材

表面含浸材としては、Table 5 に示すケイ酸塩系表面含浸材 Si 及び4種類のシラン系表面含浸材 SA, SB, SC 及び SD を使用した。なお、シラン系表面含浸材 SC 及び SD は含浸面に薄い塗膜を形成する造膜性を有する。

Table 5 Type of Surface Penetrants.

Type of Surface Penetrant	Sign of Surface Penetrant	Ingredients
Silicate-Type	Si	Solution of Colloidal Silica
Silane-Type	SA, SB	Silane Monomer
	SC, SD	Silane Oligomer

3. 試験方法

3.1 基材コンクリートの作製

JSCE-K571 に準じて、Table 6 に示す調合のコンクリートを練り混ぜ、低圧透水試験用として寸法 10×10×40cm に、高圧透水試験用として寸法φ15×30cm に成形し、1d 湿空 [20℃, 80% (RH)]、6d 水中 (20℃) 及び 28d 乾燥 [20℃, 50% (RH)] 養生を行った。その後、養生したコンクリートを低圧透水試験用として寸法 10×10×10cm に、高圧透水試験用として寸法φ15×4cm に切断し、1d 気中 [23℃, 50% (RH)] 又は 1d 水中 (20℃) に静置してコンディショニングを行い、気乾又は湿潤基材コンクリートとした。

なお、調製したコンクリートについては、JIS A 1101 (コンクリートのスランプ試験方法) 及び JIS A 1116 (フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法 - 空気室圧力方法) に従ってスランプ及び空気量を測定した。更に、JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験) に従い、所定の寸法に成形して、1d 湿空 [20℃, 80% (RH)] 及び 27d 水中 (20℃) 養生した後、圧縮強度を測定した。それらの測定結果を Table 7 に示す。

3.2 供試体の作製

JSCE-K571 に従って、基材コンクリートの切断面の 1 面に、製造業者の定める仕様で表面含浸材を含浸し、20℃, 50% (RH)、又は 20℃, 80% (RH) の条件下で、7d 養生を行い供試体とした。なお、養生中、表面含浸材含浸後 3d 経過した時点で、基材コンクリート側面にエポキシ樹脂塗料を塗布して、シールした。又、比較のため、含浸材を含浸しない同材齢のものを未含浸供試体 (Blank) とした。更に、ケイ酸塩系表面含浸材を含浸した供試体については、含浸面を紙やすりで研磨して、含浸面に生成した結晶層を除去した後に試験に供した。但し、高圧透水試験用供試体についてはその処理を行わないものも準備した。

なお、未含浸供試体については、表面含浸材含浸供

Table 6 Mix Proportions of Base Concrete.

W/C (%)	Mix Proportions by Mass (kg/m ³)				
	Water	Cement	Fine Aggregate	Coarse Aggregate	AE-WRA*
55	176	320	797	961	0.800

Note, *: Air-entraining and water reducing admixture.

Table 7 Properties of Concrete.

Slump (cm)	Air Content (%)	Compressive Strength (MPa)
12.5	3.0	33.2

Table 8 Impregnation Condition of Surface Penetrants.

Sign of Surface Penetrants	Impregnation Method	Quantity (g/m ²)
Si	Brushing	200
SA	Brushing	400
SB	Brushing	200
SC	Brushing	120
SD	Brushing	100

試体の含浸面に相当する面を試験面と称する。Table 8 には、表面含浸材の含浸方法と含浸量を示す。

3.3 含浸深さ試験

シラン系表面含浸材については、次の要領で含浸深さを測定した。供試体の含浸面を 2 分割するように割裂し、割裂した供試体を 1 分間水に浸せきして、はっ水している部分の含浸面からの深さを含浸深さとして測定した。なお、測定は 1 割裂面当たり 3 箇所とし、計 6 箇所の平均値を算出しての含浸深さとした。その際、供試体の中で含浸深さを測定する位置に粗骨材、又は粗骨材の抜けた空隙及び大きな空隙が存在する場合には、JIS A 1152 (コンクリートの中酸化深さの測定方法) に準じて、各供試体の含浸深さを測定した。

3.4 透水試験

表面含浸材を含浸した各供試体について、次に示す低圧透水試験及び高圧透水試験を行った。なお、Fig.1 には、供試体作製から透水試験までの手順を示す。

3.4.1 低圧透水試験

JSCE-K571 に従って、含浸供試体の含浸面及び未含浸供試体の試験面に、低圧透水試験用の器具として、メスピペットを結合した漏斗を取り付けた。その後、水を供試体の表面から高さ約 250mm まで入れ、水漏れを起こさないことを確認してから、水が蒸発しないようにパラフィン油をたらし、水頭の高さとしてメスピペットの目盛りを読み取り、低圧透水試験を開始した。試験は 7d 間行い、試験前の水頭の高さと測定時の水頭の差から、低圧透水試験における透水量 (ml) を算出した。なお、含浸供試体及び未含浸供試体の透水量から、式(1) によ

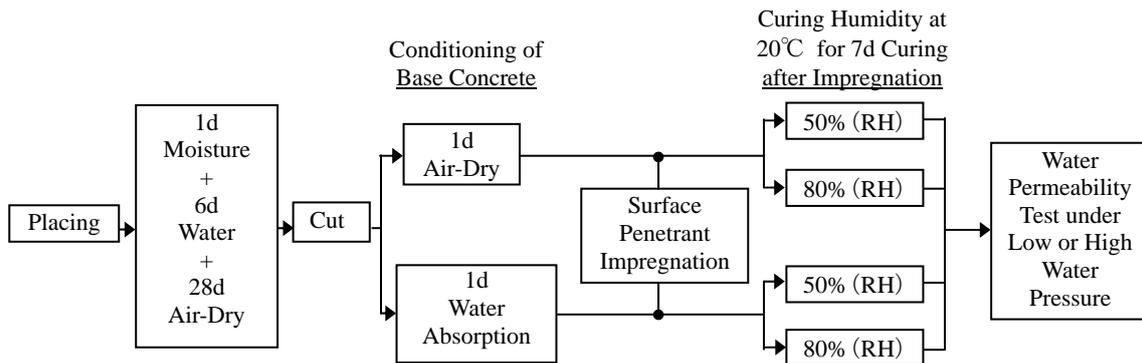


Fig.1 Flow Chart from Specimen Preparation to Water Permeability.

って、透水比を算出した。

$$\text{透水比 (\%)} = \frac{\text{含浸供試体の透水量}}{\text{未含浸供試体の透水量}} \times 100 \quad (1)$$

3.4.2 高圧透水試験

JIS A 1404 (建築用セメント防水材の試験方法) に準じて、含浸供試体の含浸面及び未含浸供試体の試験面から 0.4MPa の水圧を 2h かけて透水試験を行い、試験前後の供試体質量の差から、高圧透水試験における透水量 (g) を求めた。又、低圧透水試験と同様に透水比を算出した。

4. 試験結果及び考察

Table 9 には、ケイ酸塩系表面含浸材を含浸した供試体について、含浸面を研磨した場合と無処理の場合の高圧透水試験における透水量を示す。基材コンクリートの

Table 9 Water Permeability under High-Water Pressure of Specimen Impregnated with Silicate-Type Impregnant.

Base Concrete	%(RH)*	Untreated	Grinded
Air-Dried	50	10.0	2.6
	80	7.3	2.4
Water Absorbed	50	10.3	2.6
	80	7.7	2.3

Note, *: Curing humidity after impregnation.

種類及び含浸後の養生湿度にかかわらず、含浸面を研磨処理したものに比べて、無処理供試体の透水量が大きい値を与える。ケイ酸塩系表面含浸材は、コンクリートの細孔内に含浸して不溶性の結晶体を生成することによって透水抑制効果を発揮する材料である。しかし、本研究のような基材コンクリートを用いる場合、含浸面にひび割れなどが生じておらず、所要の含浸量をその表面に塗塗布しても、余剰の表面含浸材が供試体表面に残存するものと考えられる。本試験においても、供試体表面に結晶体の生成が確認された。高圧透水試験は、中央部に透水面となる穴を持つゴム製パッキンを供試体に当てて、水圧をかける方法で実施される。従って、含浸面を無処理として試験を行った場合には、ゴム製パッキンと供試

体の間に形成されている結晶部分を通じて、透水面外にまで水が浸透し、透水量が大きくなるものと考えられる。このことから、本研究で適用したような高圧透水試験においては、基材コンクリート表面に無機物の結晶層を形成するような表面含浸材の性能評価を行う場合、試験前に供試体表層部の結晶を除去することが必要であると考ええる。

Fig.2 及び Fig.3 には、それぞれ、気乾及び湿潤基材コンクリートに対するシラン系表面含浸材の含浸深さを示す。シラン系表面含浸材の種類にかかわらず、気乾基材コンクリートに対する含浸深さに比べて、湿潤基材コンクリートに対する含浸深さが小さい傾向にある。これは、湿潤基材コンクリートは飽水状態にあり、シラン系表面含浸材を含浸しても、コンクリート中の水分がその含浸性を阻害するためと考えられる。しかしながら、湿潤基材コンクリートを用いた供試体においても含浸深さが得られていることから、本研究で使用したシラン系表面含浸材は水に対する相容性を有するものと推察される。なお、本研究の限りでは、シラン系表面含浸材を含浸した後の養生湿度が含浸深さに及ぼす影響はほとんど認められない。

Fig.4 から Fig.7 には、各種表面含浸材を含浸した供試体の低圧透水試験結果を示す。未含浸供試体の透水量は、透水試験前の養生湿度（含浸供試体における含浸後の養生湿度）を 80% (RH) としたものが小さな値を与える。又、透水試験前の養生湿度にかかわらず、気中でコンディショニングしたもの（含浸供試体における気乾基材コンクリート）に比べて、水中でコンディショニングした未含浸供試体（含浸供試体における湿潤基材コンクリート）の透水量が小さい。これらのことは、未含浸供試体中に存在する水分が透水試験時の水の透過を抑制することによるものと推察される。

一方、表面含浸材を含浸した供試体の透水量についても、基材コンクリートの含水状態にかかわらず、表面含浸材 Si, SA 及び SB においては、含浸後の養生湿度が 80% (RH) の場合にわずかに小さく、表面含浸材 SC 及

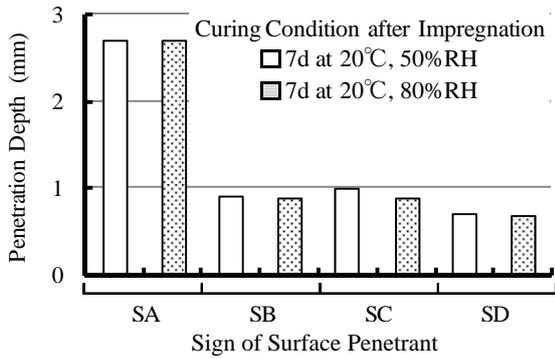


Fig.2 Penetration Depth of Surface Penetrant to 1d-Air Dried Base Concrete before Impregnation.

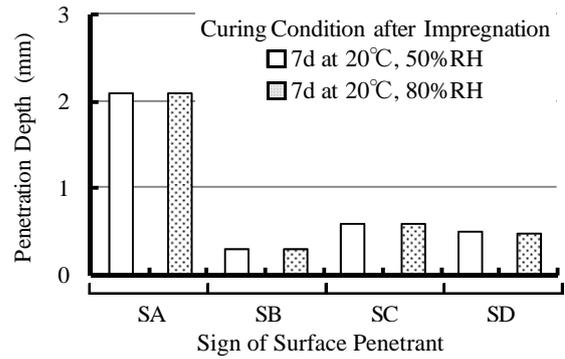


Fig.3 Penetration Depth of Surface Penetrant to 1d-Water Absorbed Base Concrete before Impregnation.

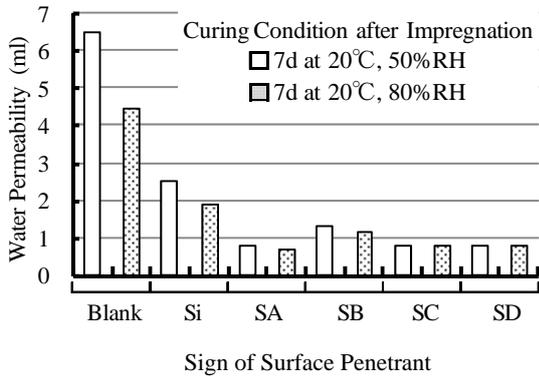


Fig.4 Water Permeability under Low-Water Pressure of Specimens Using 1d-Air Dried Base Concrete before Impregnation.

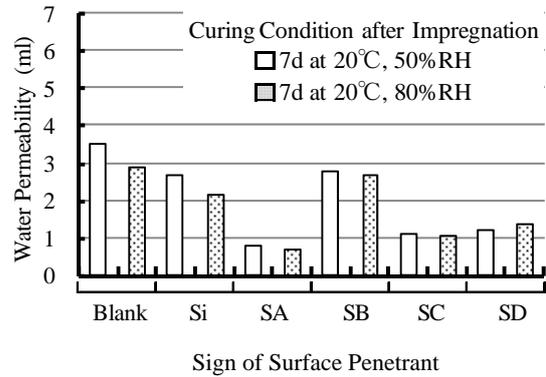


Fig.5 Water Permeability under Low-Water Pressure of Specimens Using 1d-Water Absorbed Base Concrete before Impregnation.

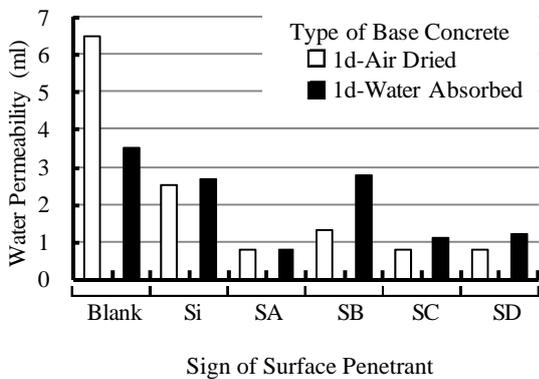


Fig.6 Water Permeability under Low-Water Pressure of Specimens Cured for 7d at 20°C, 50%RH after Impregnation.

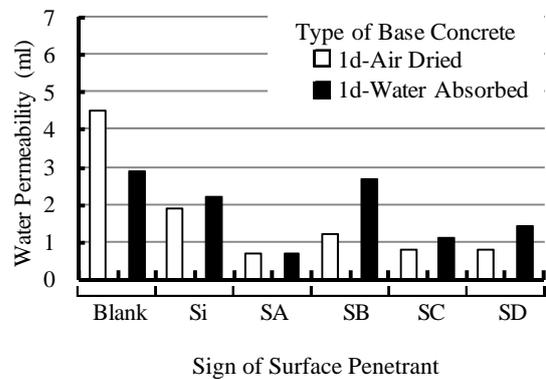


Fig.7 Water Permeability under Low-Water Pressure of Specimens Cured for 7d at 20°C, 80%RH after Impregnation.

びSDにおいては、含浸後の養生湿度を50% (RH) としたものと同程度である。表面含浸材 Si は、供試体細孔中において、水分と反応して不溶性の結晶体を生成するものであり、含浸後の養生湿度が高いほどその反応が促進して緻密な結晶構造を形成するためと考えられる。表面含浸材 SA 及び SB はシラン系表面含浸材であり、供試体細孔中において加水分解して、細孔表面には水層を形成する。従って、これらの含浸材であっても、80%

(RH) 程度の湿度状態においてその反応が良好に生じているものと推察される。

更に、一部のものを除けば、含浸後の養生湿度にかかわらず、気乾基材コンクリートを用いた供試体に比べて、湿潤基材コンクリートを用いたものの方が若干大きな透水量を与える傾向にある。これは、表面含浸材を含浸する際の基材コンクリート中に存在する水分によって表面含浸材の主成分が希釈され、供試体細孔内に形成さ

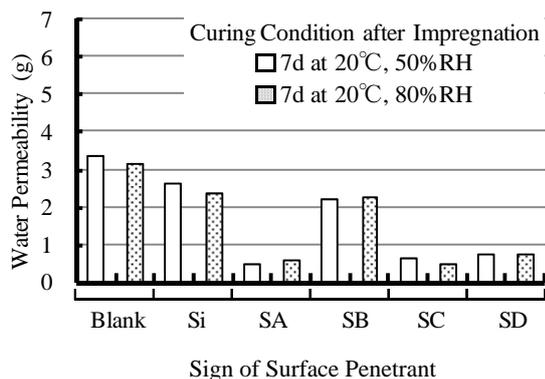


Fig.8 Water Permeability under High-Water Pressure of Specimens Using 1d-Air Dried Base Concrete before Impregnation.

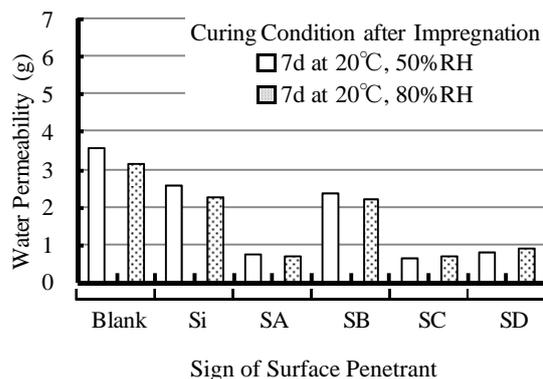


Fig.9 Water Permeability under High-Water Pressure of Specimens Using 1d-Water Absorbed Base Concrete before Impregnation.

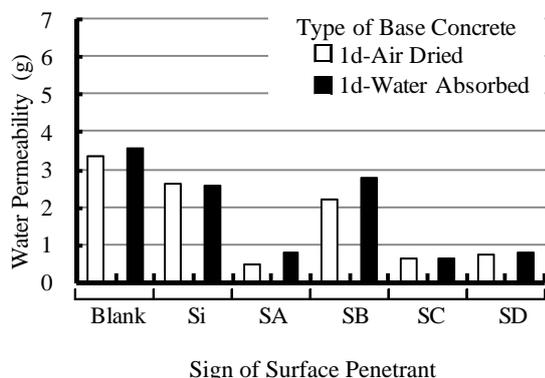


Fig.10 Water Permeability under High-Water Pressure of Specimens Cured for 7d at 20°C, 50%RH after Impregnation.

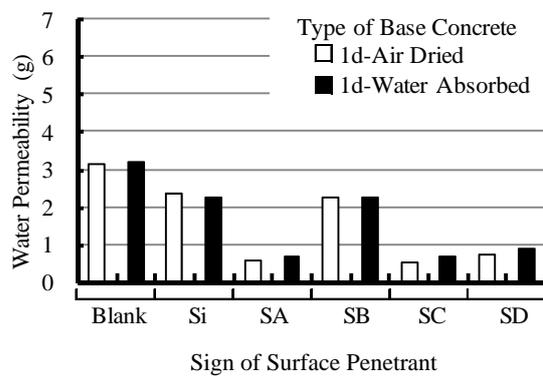


Fig.11 Water Permeability under High-Water Pressure of Specimens Cured for 7d at 20°C, 80%RH after Impregnation.

れる結晶層又ははっ水層が気乾基材コンクリートを用いた場合に比べて良好でないことによるものと考えられる。

しかしながら、気中でコンディショニングした未含浸供試体に比べれば、気乾及び湿潤基材コンクリートに表面含浸材を含浸した供試体の透水量は相当に小さく、本研究で使用した表面含浸材はコンクリートに対して良好な透水に対する抵抗性を付与する材料といえる。なお、シラン系表面含浸材 SA に比べて、シラン系表面含浸材 SC 及び SD の含浸深さが相当に小さいにも関わらず、それらの透水量に著しい違いは認められない。これは、シラン系表面含浸材 SC 及び SD が造膜性を有しており、形成された塗膜が良好な透水に対する抵抗性を有していることに起因するものと推察される。

Fig.8 から Fig.11 には、各種表面含浸材を含浸した供試体の高圧透水試験結果を示す。低圧透水試験結果とは異なり、未含浸供試体の透水量に及ぼす基材コンクリートと同様のコンディショニング条件及び透水試験前の養生湿度の影響はほとんど認められない。一方、高圧透水試験においても、未含浸供試体に比べて、各種表面含浸材を含浸した供試体の透水量は小さい値を与える。なお、表面含浸材を含浸した供試体の透水量に及ぼす基材コンクリートの含水状態及び含浸後の養生湿度の影響につい

ては、低圧透水試験におけるものと同様の傾向にある。

Fig.12 及び Fig.13 には、各種表面含浸材を含浸した供試体の低圧透水試験結果から算出した透水比を、Fig.14 及び Fig.15 には、高圧透水試験結果から算出した透水比を示す。低圧透水試験においては、湿潤基材コンクリートを用いた場合、表面含浸材 Si 及び SB は 80~90%、表面含浸材 SA は約 20%、SC 及び SD は 30~50%の透水比を与える。気乾基材コンクリートを用いた場合には、表面含浸材 Si は約 40%、表面含浸材 SB は 20~25%、その他の表面含浸材は 20%以下の透水比である。

一方、高圧透水試験においては、湿潤基材コンクリートを用いた場合、表面含浸材 Si 及び SB は 60~80%、その他の表面含浸材は 20~30%の透水比を与える。気乾基材コンクリートを用いた場合には、表面含浸材 Si 及び SB は 65~75%、その他の表面含浸材は 20%以下の透水比を与える。更に、一部のものを除けば、低圧及び高圧透水試験にかかわらず、含浸後の養生湿度が高い方が若干大きい透水比を示す傾向にある。

以上のことから推察すれば、その種類によって性能は異なるものの、0.4MPa 程度の高圧水下においても、表面含浸材は優れた透水抑制効果を有するといえる。

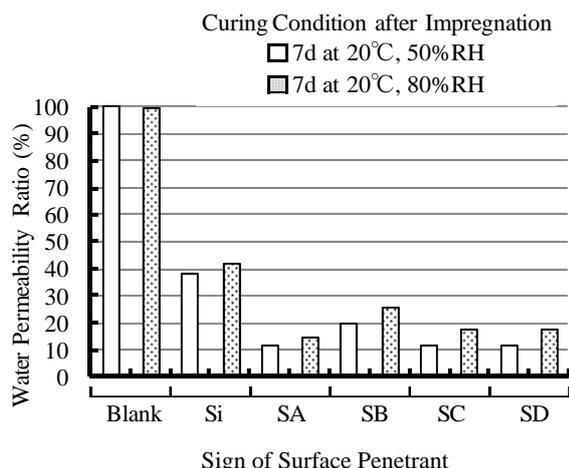


Fig.12 Water Permeability Ratio under Low-Water Pressure of Specimens Using 1d-Air Dried Base Concrete before Impregnation.

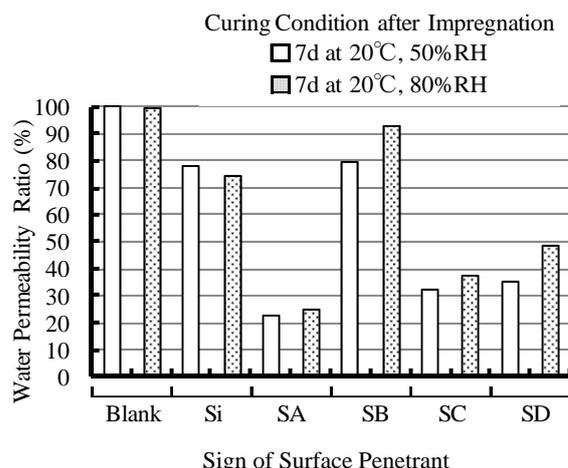


Fig.13 Water Permeability Ratio under Low-Water Pressure of Specimens Using 1d-Water Absorbed Base Concrete before Impregnation.

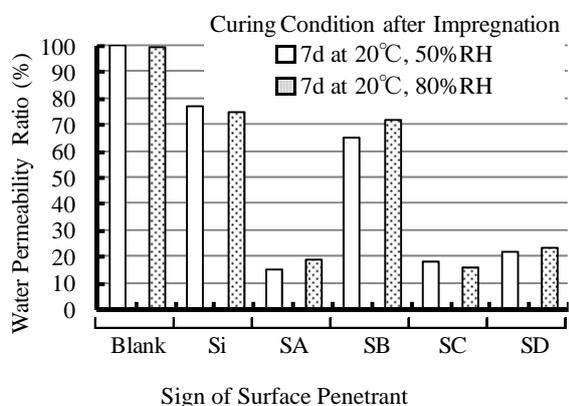


Fig.14 Water Permeability Ratio under High-Water Pressure of Specimens Using 1d-Air Dried Base Concrete before Impregnation.

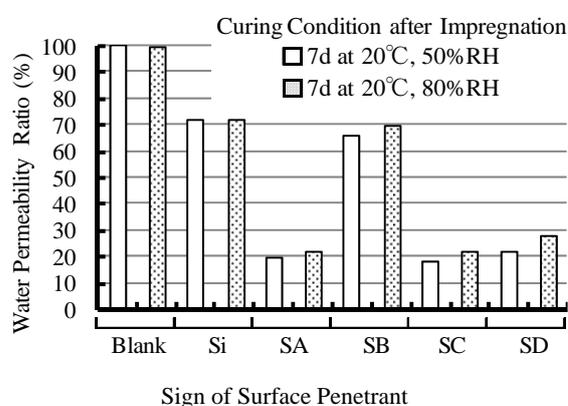


Fig.15 Water Permeability Ratio under High-Water Pressure of Specimens Using 1d-Water Absorbed Base Concrete before Impregnation.

5. 結論

本研究を結論づければ、次の通りである。

- (1) 基材コンクリート表面に無機物の結晶層を形成するような表面含浸材について、本研究で適用したような高圧透水試験による評価を行う場合には、試験前にその結晶層を除去する必要がある。
- (2) シラン系表面含浸材の含浸深さは、湿潤状態のものに比べて、気乾基材コンクリートにおいて大きい傾向にあるが、含浸後養生湿度の影響はほとんど認められない。
- (3) 気乾基材コンクリートに含浸した場合に比べて、湿潤状態のものに含浸した場合、表面含浸材の透水に対する抵抗性は低下する傾向にある。
- (4) 本研究の限りでは、その種類によって性能は異なるものの、表面含浸材は、低圧水下はもちろんのこと、0.4MPa程度の高圧水下での透水に対して

も優れた抑制効果を発揮する。

参考文献

- 1) 林 大介, 坂田 昇, 三村俊幸, 神沢 弘: シラン・シロキサン系撥水材の塗布方法に関する一実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No1, pp.415-420, 2001
- 2) 今野拓也, 細田 暁, 小林 薫, 松田芳範: コンクリート表面含浸材の吸水抑止性能に及ぼす施工条件の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1733-1738, 2006
- 3) 土木学会編: 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, pp.55-67, 2005