

論文 表面含浸材を含浸したモルタルおよびコンクリートの屋外暴露試験

齋藤 耕司*1・齋藤 俊克*2・出村 克宣*3

要旨: 本研究では、シラン系及び無機系表面含浸材を含浸したモルタルおよびコンクリート供試体の屋外暴露 1.5 及び 5.5 年後において、外観観察試験ならびに、シラン系表面含浸材については含浸深さ試験、無機系表面含浸材については中性化深さ試験を行い、それらの試験結果について検討している。その結果、シラン系表面含浸材については、屋外暴露によって供試体表層部において、その劣化が生じるものの、内部の含浸層は健全に維持されていると推察される。無機系含浸材を含浸した供試体の中性化深さは、いずれの暴露期間においても、未含浸供試体に比べて小さく、無機系表面含浸材は中性化抑制効果に優れる傾向にある。

キーワード: 表面含浸材, 屋外暴露, 外観観察, 含浸深さ, 中性化深さ

1. はじめに

表面含浸材は、コンクリートに含浸し、その表層部に吸水、透水および透湿に対する抵抗性を付与すると共に、種類によっては、中性化抑制に寄与する材料であり、短工期および少工程で簡易に施工が可能であり、コンクリートの外観を損なうことがないため、近年、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。一方、その試験方法としては、土木学会の定める「表面含浸材の試験方法(案)」¹⁾ならびに日本建築学会の「浸透性吸水防止材の品質基準(案)」²⁾があるが、表面含浸材の耐久性評価については、室内における促進試験方法が示されているのみであり、表面含浸材の屋外暴露試験結果の研究報告もほとんどないのが現状である³⁾。

そこで、本研究では、シラン系および無機系表面含浸材を含浸したモルタル及びコンクリート供試体の屋外暴露 1.5 および 5.5 年後において、外観観察試験ならびに、シラン系表面含浸材については含浸深さ試験、無機系表面含浸材については中性化深さ試験を行い、それらの試験結果について検討している。

2. 使用材料

2.1 基材モルタル用材料

(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。使用したセメントの物理的性質および化学成分を **Table 1** に示す。

(2) 細骨材

細骨材としては、セメント強さ試験用標準砂を使用した。使用したセメント強さ試験用標準砂の性質を **Table 2**

に示す。

2.2 基材コンクリート用材料

(1) セメント

セメントとしては、基材モルタル用と同様の普通ポルトランドセメントを使用した。

(2) 細骨材

細骨材としては、福島県西白河郡中島村(阿武隈川旧河川敷)産川砂を使用した。使用した川砂の性質を **Table 3** に示す。

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	3330	2-19	3-25	29.7	44.7	61.9

Chemical Compositions (%)

MgO	SO ₃	ig. loss
1.58	2.13	1.90

Table 2 Properties of Standard Sand.

Size (mm)	Fineness Modulus	Bulk Density (kg/l)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
2.00~0.08	2.72~3.14	1.76	2.64	0.42

Table 3 Properties of Fine Aggregate.

Size (mm)	Fineness Modulus	Bulk Density (kg/l)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
≤2.5	2.56	1.56	2.57	1.29

*1 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

*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)

(3) 粗骨材

粗骨材としては、福島県西白河郡表郷村産砂岩碎石を使用した。使用した粗骨材の性質を **Table 4** に示す。

(4) 混和剤

混和剤としては、AE 減水剤を使用した。使用した AE 減水剤の性質を **Table 5** に示す。

2.3 表面含浸材

(1) シラン系表面含浸材

市販のモノマー系表面含浸材 3 種類 (A, B, C) およびオリゴマー系表面含浸材 3 種類 (D, E, F) を使用した。

(2) 無機系表面含浸材

市販のけい酸ナトリウム系表面含浸材 4 種類 (G, H, I) およびけい酸リチウム系表面含浸材 1 種類 (J) を使用した。使用した表面含浸材の性質を **Table 6** に示す。

3. 試験方法

3.1 供試体の作製

Table 4 Properties of Coarse Aggregate.

Size (mm)	Fineness Modulus	Bulk Density (kg/l)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
2.5~20	6.58	1.56	2.57	1.29

Table 5 Properties of Air-Entraining and Water-Reducing Admixture.

Appearance	Density (g/cm ³ , 20°C)	Alkaline Content (%)	Chloride Ion Content (%)
Puce liquid	1.060~1.070	1.0	0.03

Table 6 Type of Surface Penetrants.

Classification	Property	Sign of Surface Penetrants	Main Ingredient Density (%)	Viscosity (MPa·s)	Quantity (g/m ²)	Number of Penetration	
Silane	Monomer	Aquatic	A	40	<10	300	2
		Solvent	B	20	<10	125	1
	Solvent	C	20	<10	200	1	
Oligomer	Aquatic	D	75	Paste	200	1	
		E	80	Paste	200	1	
	Solventless	F	90	Paste	300	1	
Silicate	Sodium Silicate	Aquatic	G	—	—	500	4
		Aquatic	H	—	—	300	1
		Aquatic	I	—	—	250	1
	Lithium Silicate	Aquatic	J	—	—	400	2

Table 7 Mix Proportions of Base Mortar and Base Concretes.

Sign	W/C (%)	s/a (%)	Mix Proportions by Mass (kg/m ³)					Slump (cm)	Air Content (%)	Compressive Strength (N/mm ²)
			Water	Cement	Fine Aggregate	Coarse Aggregate	AE-WRA*			
M-50	50	—	243	486	1461	—	—	18.0	5.9	49.5
C-45	45	44.1	170	378	748	978	0.9450	8.5	4.3	43.5
C-55	55	46.1	176	320	797	961	0.8000	10.0	5.3	33.2
C-65	65	48.1	176	271	851	947	0.6775	10.0	5.6	22.7

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

JSCE-K 571 [表面含浸材の試験方法 (案)] に従って、**Table 7** に示す調合の基材モルタル (水セメント比 50%) および基材コンクリート (水セメント比 45, 55 及び 65%) を製造し、製造業者の指定する仕様で表面含浸材を含浸して、供試体を作製した。なお、モルタル供試体寸法は 100×100×100mm, コンクリート供試体寸法は 100×100×50mm とし、それぞれ 100×100mm の面に表面含浸材を含浸した。

3.2 屋外暴露試験

各種表面含浸材を含浸した含浸供試体および未含浸供試体を、次の条件下で **Photo 1** に示すように暴露した。

- (1) 暴露場所：日本大学工学部 (福島県郡山市) RC 造建物西側外部の太陽光・降雨の当たる場所。
- (2) 暴露期間：2006 年 4 月～2010 年 9 月。
- (3) 暴露方法：水平な金網製暴露台上にステンレス製針金で緊結。なお、含浸供試体については、含浸面が上下面となるように暴露した。



Photo 1 Outdoor Exposure.

Table 8 Condition of Surface after Water Spray.

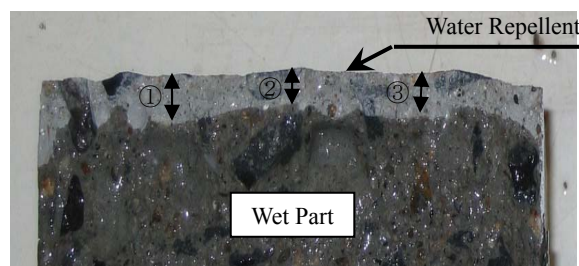
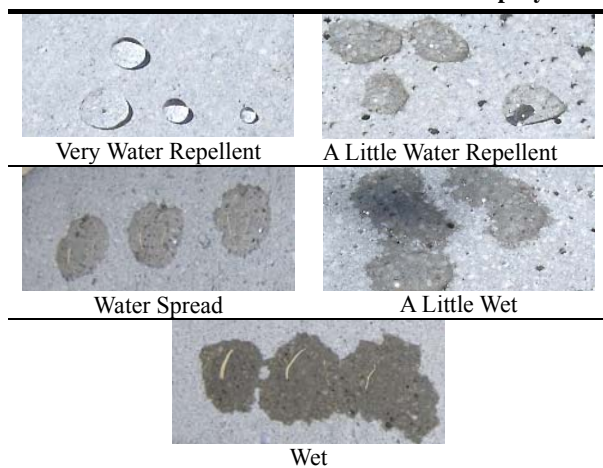


Photo 2 Impregnation Layer.



Photo 3 Measurement Points of Carbonation Depth.

3.3 外観観察試験

JSCE-K 571 に準じて、屋外暴露前、屋外暴露 1.5 年後および 5.5 年後において供試体の含浸面に霧吹きで清水を噴霧し、その表面の状態を目視観察した。さらに、暴露後の供試体については、含浸面を 120 番研磨紙を用いて 10 回および 30 回研磨した後、同様の試験を行った。なお、清水噴霧後の含浸面の評価の基準を **Table 8** に示す。

3.4 含浸深さ試験

シラン系表面含浸材含浸供試体については、JSCE-K 571 に準じて、屋外暴露 1.5 年および 5.5 年後において供試体を割裂し、30s 間、20℃の水中に浸せきして、割裂面のはっ水している部分の深さを 6 箇所測定し、その平均値を含浸深さとした。**Photo 2** には、含浸深さの測定箇所を示す。

3.5 中性化試験

屋外暴露 1.5 年および 5.5 年後において供試体を割裂し、割裂面に 1%フェノールフタレイン溶液を噴霧した。

赤変しない部分の 3 箇所を測定し、平均値を算出し中性化深さとした。**Photo 3** には、中性化深さの測定箇所を示す。

なお、屋外暴露 5.5 年後の中性化深さより、次式を用いて、無機系表面含浸材の中性化抑制率を求めた。

$$I_i = 100 - P_i$$

$$P_i = (D_i / D_o) \times 100$$

ここに、 I_i : 中性化抑制率 (%)

D_i : 表面含浸材含浸供試体の中性化深さ

D_o : ブランク供試体の中性化深さ

4. 試験結果および考察

Table 9 および **Table 10** には、モルタル及びコンクリート供試体の外観観察試験の試験結果を示す。基材モルタルおよびコンクリートの種類にかかわらず、シラン系表面含浸材を含浸した供試体においては、屋外暴露 1.5 年後においてははっ水性が確認できたものでも、屋外暴露 5.5

Table 9 Result of Appearance Observation Test (Part 1) .

Type	Sign of Surface Penetrants	Before Outdoor-Exposure	Surface with Water Spraying						
			After Outdoor-Exposure (1.5years)			After Outdoor-Exposure (5.5years)			
			Before Abrasion	After 10 Times Abrasion	After 30 Times Abrasion	Before Abrasion	After 10 Times Abrasion	After 30 Times Abrasion	
M-50	Blank	×	×	×	×	×	×	×	×
	A	▲	▲	△	△	×	▲	△	
	B	◎	◎	◎	◎	×	△	○	
	C	◎	◎	◎	◎	×	○	◎	
	D	○	△	△	○	×	△	○	
	E	◎	◎	◎	◎	×	○	○	
	F	◎	○	◎	◎	×	△	○	
	G	×	×	×	×	×	×	×	
	H	▲	▲	×	×	×	×	△	
	I	▲	×	×	×	×	×	×	
J	▲	×	×	×	×	×	×		

Note, ◎ : Very Water Repellent. ○ : A Little Water Repellent. △ : Water Spread. ▲ : A Little Wet. × : Wet.

Table 10 Result of Appearance Observation Test (Part 2) .

Type	Sign of Surface Penetrants	Before Outdoor-Exposure	Surface with Water Spraying						
			After Outdoor-Exposure (1.5years)			After Outdoor-Exposure (5.5years)			
			Before Abrasion	After 10 Times Abrasion	After 30 Times Abrasion	Before Abrasion	After 10 Times Abrasion	After 30 Times Abrasion	
C-45	Blank	×	×	×	×	×	×	×	×
	A	▲	△	△	△	×	△	△	
	D	○	○	○	△	×	○	△	
	E	◎	○	○	△	×	△	△	
	F	◎	○	○	△	×	△	△	
C-55	Blank	×	×	×	×	×	×	×	
	A	▲	△	△	△	×	▲	△	
	B	◎	◎	◎	◎	×	▲	△	
	C	◎	◎	◎	◎	×	○	○	
	D	○	○	○	○	×	△	○	
	E	◎	◎	○	○	×	○	○	
	F	◎	△	○	○	×	△	○	
	G	×	×	×	×	×	×	×	
	I	▲	×	×	×	×	×	×	
	J	▲	×	×	×	×	×	×	
C-65	Blank	×	×	×	×	×	×	×	
	A	▲	○	○	▲	×	△	△	
	D	○	○	○	○	×	△	○	
	E	◎	◎	◎	◎	×	○	○	
	F	◎	○	○	◎	×	○	○	
	G	×	×	×	×	×	×	×	
	H	▲	▲	×	×	×	×	×	
	I	▲	×	×	×	×	×	×	
	J	▲	×	×	×	×	×	×	

Note, ◎ : Very Water Repellent. ○ : A Little Water Repellent. △ : Water Spread. ▲ : A Little Wet. × : Wet.

年後においては水が全く認められない。これは、供試体表面に付着した汚れや、供試体表面の表面含浸材の劣化によって、そのはっ水性が失われたためと推察される。しかし、屋外暴露期間にかかわらず、供試体表面を研磨することにより、その表面においては水が復活する傾向にある。これは、供試体表面を研磨することによって汚れや劣化層が除去され、新たな含浸層が現れることに起因するものと考えられる。

一方、屋外暴露前並びにその期間にかかわらず、無機系表面含浸材ははっ水性を形成する性質を持ち合わせていないために、それを含浸した供試体においては、シラン系含浸材のようなはっ水性は確認できない。

Fig.1 から Fig.4 には、シラン系表面含浸材を含浸したモルタルおよびコンクリート供試体における含浸深さを示す。シラン系表面含浸材の種類によって含浸深さは異なるものの、いずれの含浸材においても、屋外暴露前、暴露 1.5 年後および 5.5 年後の含浸深さに大きな違いは認められない。このことから、屋外暴露した場合、シラン系表面含浸材については、含浸面のはっ水性能が低下するものもあるが、供試体内部の含浸層は、健全に維持されていることが示唆される。

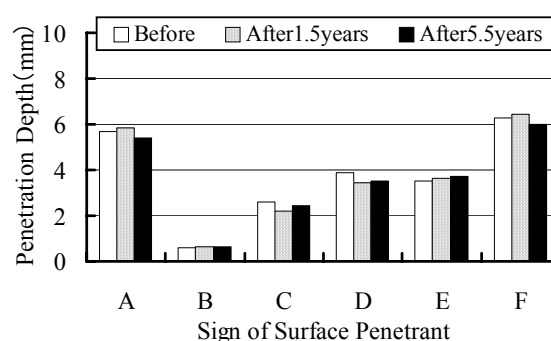


Fig.1 Penetration Depth of M-50 Specimen.

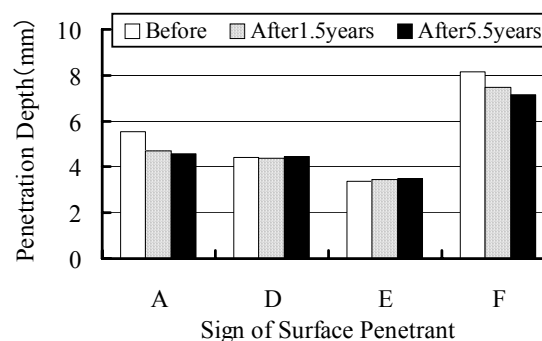


Fig.2 Penetration Depth of C-45 Specimen.

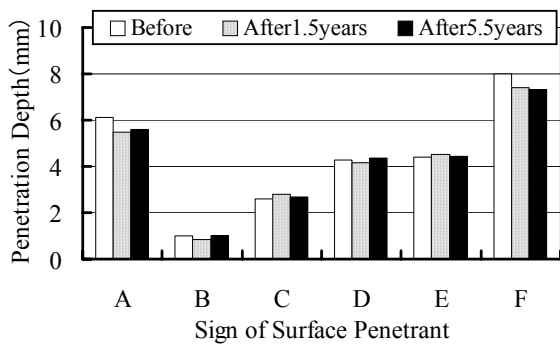


Fig.3 Penetration Depth of C-55 Specimen.

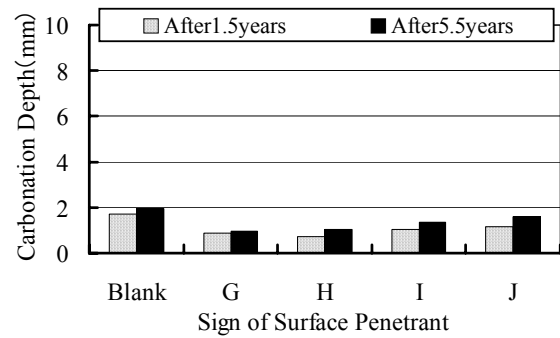


Fig.7 Carbonation Depth of M-50 Specimen.

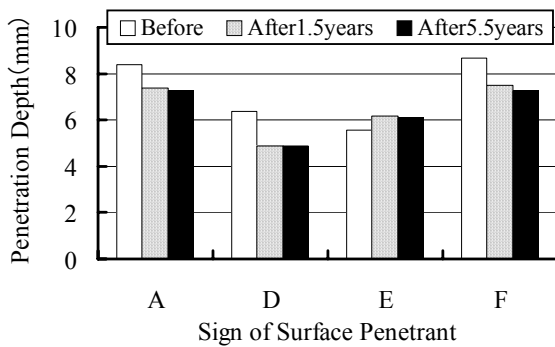


Fig.4 Penetration Depth of C-65 Specimen.

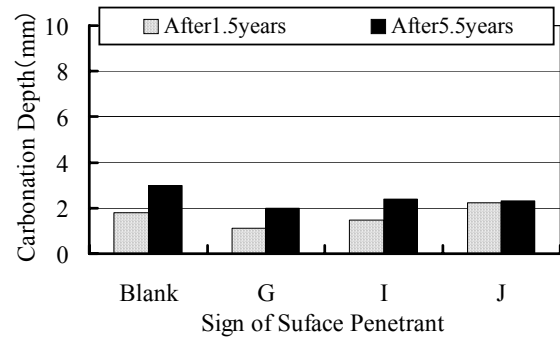


Fig.8 Carbonation Depth of C-55 Specimen.

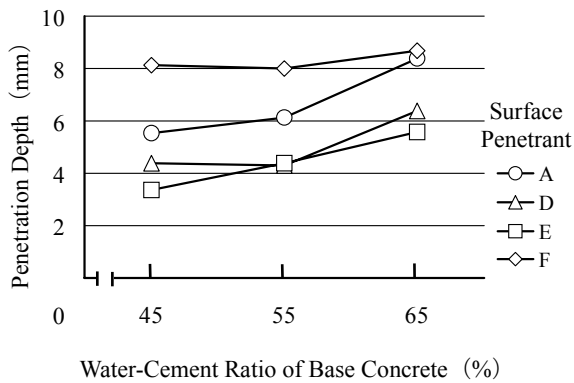


Fig.5 Water-Cement Ratio of Base Concrete vs. Penetration Depth of Surface Penetrants before Outdoor-Exposure.

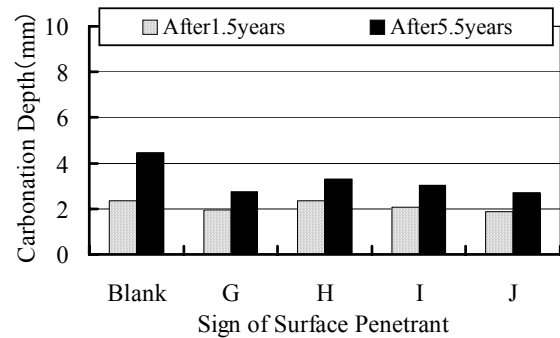


Fig.9 Carbonation Depth of C-65 Specimen.

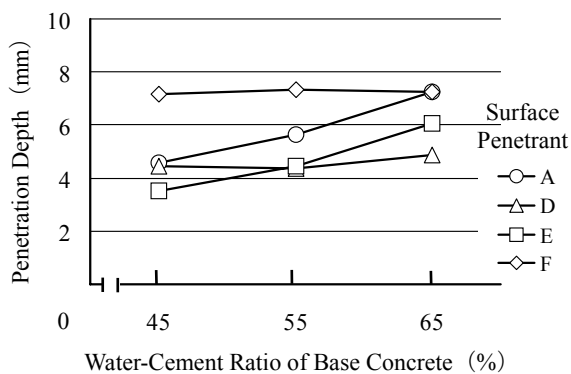


Fig.6 Water-Cement Ratio of Base Concrete vs. Penetration Depth of Surface Penetrants after 5.5 Years Outdoor-Exposure.

Fig.5 および Fig.6 には、それぞれ、シラン系表面含浸材を含浸したコンクリート供試体の水セメント比と屋外暴露前および屋外暴露 5.5 年後の含浸深さを示す。屋外暴露前後共に、基材コンクリートの水セメント比が大きくなると、シラン系表面含浸材の含浸深さは大きくなる傾向にある。また、使用したシラン系表面含浸材のうち、未溶剤系ペースト状のもの及び含浸量の多いものの含浸深さが大きい傾向にある。なお、未溶剤系ペースト状のもの含浸深さが大きいのは、含浸量が多いことならびに、ペースト状であることから溶剤の有無が含浸性能に現れないことに起因するものと考えられる。

Fig.7 から Fig.9 には、無機系表面含浸材を含浸したモルタルおよびコンクリート供試体の中性化深さを示す。基材モルタルおよびコンクリートの種類にかかわらず、無機系表面含浸材を含浸した供試体の屋外暴露 1.5 年お

よび 5.5 年後における中性化深さは、未含浸供試体（ブランク）のそれに比べて小さい傾向にある。

そこで、Fig.10 から Fig.12 には、無機系表面含浸材の屋外暴露 5.5 年後における中性化抑制率を示す。水セメント比 50% 基材モルタルおよび水セメント比 55% 基材コンクリートに含浸した供試体においては、けい酸ナトリウム系表面含浸材の中性化抑制率が大きい傾向にある。しかし、水セメント比 65% 基材コンクリートに含浸したもののにおいては、けい酸リチウム系表面含浸材においても優れた中性化抑制効果が確認できる。けい酸リチウム系表面含浸材は鎖状の分子構造を持ち、けい酸ナトリウ

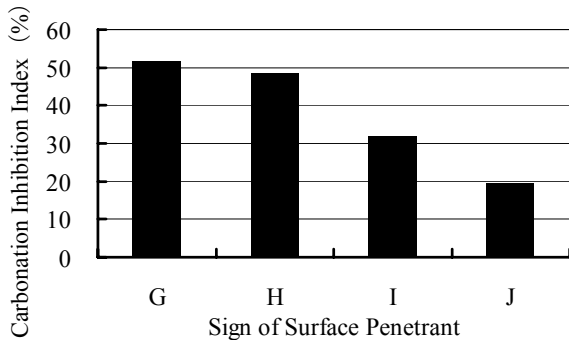


Fig.10 Carbonation Inhibition Index of Silicate-Type Surface Penetrant for M-50 Specimen.

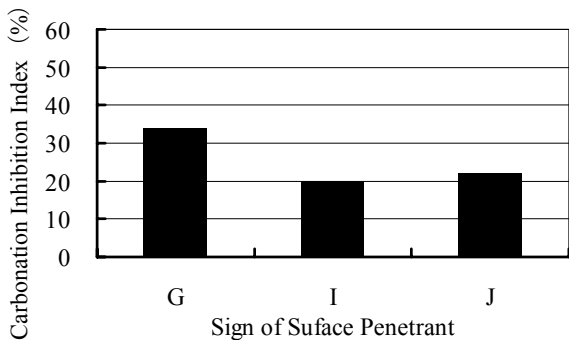


Fig.11 Carbonation Inhibition Index of Silicate-Type Surface Penetrant for C-55 Specimen.

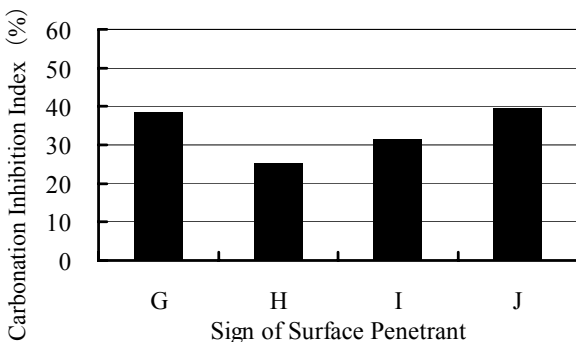


Fig.12 Carbonation Inhibition Index of Silicate-Type Surface Penetrant for C-65 Specimen.

ム系表面含浸材に比べて、含浸性能が劣るものと考えられる。そのため、含浸性能を確保するために適度な粘度になるように固形分濃度が調整されている。その場合でも、水セメント比が小さい場合にはコンクリート組織がち密になることに起因して含浸性能が抑制され、水セメント比が大きい場合には適度な含浸効果が得られることによって、優れた中性化抑制効果が発揮されるものと推察される。なお、コンクリート供試体においては、20～40% 中性化抑制率であり、その水セメント比が大きくなるほど中性化抑制効果が発揮される傾向にある。

5. 結論

本研究を総括すれば、以下の通りである。

- (1) シラン系表面含浸材を含浸したモルタルおよびコンクリートを屋外暴露した場合、暴露期間が長くなると、その表面のはっ水性は失われる傾向にある。しかしながら、モルタルおよびコンクリート内部に含浸しているシラン系表面含浸材の性能については、長期間にわたって維持されるものと推察される。
- (2) 無機系表面含浸材については、モルタルおよびコンクリートの中性化抑制効果が確認でき、屋外暴露 5.5 年後において、ブランク供試体に比べて、20～40% 中性化抑制効果を有する。

参考文献

- 1) 土木学会：表面保護工法設計施工指針（案），工種別マニュアル編，コンクリートライブラリー119，2005
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説，付 1.4 浸透性吸水防止材の品質基準（案），1997
- 3) 佐々木一人，出村克宣：表面含浸材の屋外暴露試験，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），A-1 材料施工，Sep.2006，pp.883-884.

謝辞

本研究は、土木学会コンクリート委員会表面保護工法研究小委員会表面保護含浸工法 WG の共通試験時に作製した供試体を屋外暴露した結果である。同 WG メンバー各位に謝意を表す。