

撥水性を強化したシラン系表面含浸材のコンクリートへの適用に関する研究

オリエンタル白石(株)	正会員	○石井 智大
オリエンタル白石(株)	正会員	工修 俵 道和
太平洋マテリアル(株)	工修	竹下 永造
太平洋マテリアル(株)	農修	浜中 昭徳

Abstract : Surface impregnation agent plan reforming of the concrete surface layer and durability improvement of structures. Surface impregnation agent of silane type used in this study, it is efficiently to impregnate in concrete. It has become material to enhanced water repellency, which is to largely restrain the approach of deterioration factors such as water or the chloride by forming the class of prevention of highly-concentrated absorbing water in surface layer region. Therefore, as a result of having evaluated the performance of the surface impregnation agent which used in this study, same class durability improvement effects more than it were confirmed in comparison with a silane pre-existing article in the examination that applied to mortar. Furthermore, it was confirmed which have water repellency and chloride penetration resistance in the room examination that applied to concrete and the outdoor examination that simulated a true structure.

Key words : Surface impregnation agent, Durability improvement, Water-repellent

1. はじめに

近年、塩害、凍害、中性化およびアルカリ骨材反応などに起因するコンクリート構造物早期劣化の問題は社会的に大きな問題となっている。その理由は、①劣化により構造物の安全性と寿命が著しく低下する、②コンクリート構造物の修復が難しい、③供用中のコンクリート構造物を補修する時、構造物の使用が制限され社会的影響が大きい、④コンクリート構造物の修復に巨額な費用がかかることなどが挙げられる。この問題の一つの対策として、新設・既設に関わらず、コンクリート構造物に対して、高い耐久性を付与する予防保全は、大掛かりな補修の必要性を減じコスト削減にもつながるため極めて有効である。こうした状況を背景に、コンクリートの予防保全に適する材料としてシラン系表面含浸材が注目されている。シラン系表面含浸材は、コンクリート表層の改質を図り、構造物の耐久性を向上させる目的で使用される塗布材料である¹⁾。その中でも、本研究で新規開発品として評価したシラン系表面含浸材は、コンクリートにより深く浸透しながらも、表層部に高濃度の吸水防止層を形成することで、水分や塩分等の劣化因子の進入を大幅に抑制するものとなっている。本研究では、新規開発した表面含浸材2種類に対して、モルタル試験により基礎物性評価および既存の表面含浸材との比較を行って1種類を選定し、選定した表面含浸材のコンクリートに適用した際の評価を行った。またプレストレストコンクリートを想定した配合への適用検討、耐久性評価を暴露試験にて行った。

2. モルタル試験

2. 1 試験概要

(1) 表面含浸材の水準

表-1に評価に用いた表面含浸材の水準を示す。既存品としてシラン・シロキサン系のエマルジョンタイプと無溶剤タイプの2種類、新規開発の表面撥水性を強化したシラン系の主成分は同一ながら、

最表層の撥水性の程度 (TM1 > TM2) により 2 種類, 合計 4 種類について比較を行った。

(2) 試験方法

表面含浸材の試験方法は, JSCE-K 571-2013 「表面含浸材の試験方法 (案)」²⁾に準拠した。表-2に試験の種類, 図-1に試験体概要図を示す。

(3) 試験体の作製

試験体の作製は, JSCE-K 571-2013 「表面含浸材の試験方法 (案)」に準拠して作製した。ただしモルタルの練混ぜは, 50Lパン型ミキサを用いて所定の配合にて実施し, 合計180秒の振動締固めにて成形した。表面含浸材は, 材齢35日に刷毛で塗布し, 塗布後1日間の乾燥を経て, 各種試験を開始した。塗布前モルタル試験体の圧縮強度は材齢28日で67.3N/mm²であった。

2. 2 モルタルの試験結果

(1) 含浸深さ試験結果

図-2に含浸深さ試験結果を示す。表面含浸材の種類に応じておよそ3~4mmの範囲で含浸深さが変化した。外観の性状について色むらなどの異常は確認されなかった。施工性については, TM1 および TM2 は粘性が低く良好な塗布性状を示した。また, SS-1 および SS-2 は乾燥までに数時間要したが, TM1 および TM2 は塗布後 30 分程度で乾燥することが確認された。

(2) 透水量試験結果

図-3に透水量試験結果を示す。無塗布試験体の透水量は透水期間 28 日で 6mL 程度なのに対して, 表面含浸材を塗布した試験体は 1mL 以下に抑制された。また, 表面含浸材の種類で比較すると, TM2 の透水量が他の表面含浸材と比較して小さいことが確認され, 撥水性と含浸深さの双方の影響があったと考えられる。

(3) 吸水率試験結果

図-4に吸水率試験結果を示す。浸漬期間 28 日の無塗布試験体の吸水率は 1%以上なのに対して, 表面含浸材を塗布した試験体は 0.2%程度に吸水を抑制する結果が得られた。また, 表面含浸材の種類による大きな違いは確認されなかった。

(4) 透湿度試験結果

図-5に透湿度試験結果を示す。透湿度はいずれの表面含浸材においても無塗布よりも少ない結果

表-1 表面含浸材の水準

略号	表面含浸材の概要	塗布量 (g/m ²)
PL	表面含浸材無塗布	—
SS-1	シラン・シロキサン系エマルジョンタイプ, フォーム状, 固形分 80%	200
SS-2	シラン・シロキサン系無溶剤タイプ, ジェル状, 有効成分 90%以上	200
TM1	シラン系表面撥水強化, 無溶剤タイプ, 低粘性液体状, 有効成分 99%以上	200
TM2	シラン系表面撥水強化, 無溶剤タイプ, 低粘性液体状, 有効成分 99%以上	200

表-2 試験の種類

試験の種類	試験体寸法と含浸面	試験体
外観観察試験	100×100×50 の切断面	TYPE-I
含浸深さ試験	100×100×100 の切断面	TYPE-II
透水量試験	100×100×100 の切断面	TYPE-II
吸水率試験	100×100×100 の切断面 (両面)	TYPE-II
透湿度試験	100×20 の型枠面	TYPE-III
中性化に対する抵抗性試験	100×100×100 の切断面 (両面)	TYPE-II
塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験	100×100×100 の切断面 (両面)	TYPE-II

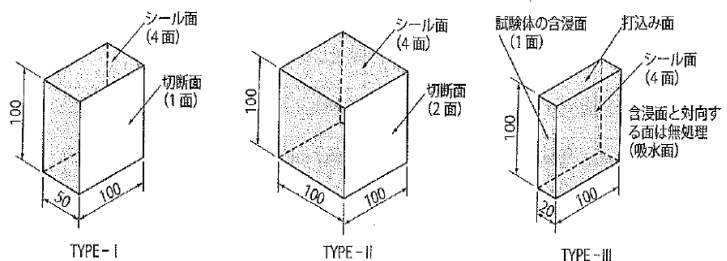


図-1 試験体概要図

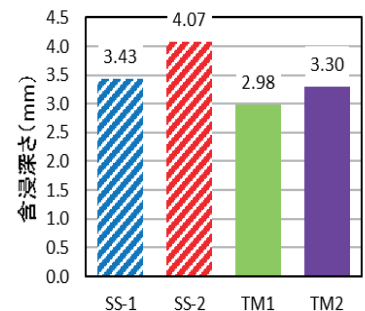


図-2 含浸深さ試験結果

となった。本試験において、乾燥期間の初期において測定誤差が大きく、性能を評価するのが難しい結果となった。

(5) 中性化に対する抵抗性試験結果

中性化深さ測定結果について、無塗布試験体においては中性化域の呈色が明確で促進中性化 28 日で中性化深さ 6.2mm の測定結果が得られた。対して、表面含浸材を塗布した試験体では濃い呈色域の外側にさらに薄い呈色が確認され、非呈色領域が確認されなかったため、中性化深さは 0mm とした。また薄い呈色部の表面からの深さは、表面含浸材の含浸深さとほぼ一致していた。これは、表面含浸材を塗布した水準の薄い呈色部では、フェノールフタレイン溶液が表面含浸材の含浸層で撥水されてしまうため、中性化域の確認が困難になったと考えられる。中性化深さについては、EPMA による面分析にて硫黄の濃度分布から評価する方法³⁾が検討されており、中性化の有無を判定する手法としてより有効であると考えられる。

(6) 塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験結果

塩化物イオン浸透深さ試験結果について、硝酸銀溶液の噴霧法は、塩化物イオン存在領域では銀イオンが反応し、塩化銀の白色沈殿を生じるのに対し、塩化物非存在領域では酸化銀(I)の黒褐色沈殿を生じるのを利用して塩化物イオンの有無を調べるものである。表面含浸材を塗布した試験体においては、中性化深さの測定と同様に、表面含浸材の含浸層が、硝酸銀溶液を撥水してしまうため呈色せず判別できなかった。少なくとも表面含浸材の含浸深さ以上には塩化物イオンの浸透は認められないと評価した。JSCE-K 571-2013「表面含浸材の試験方法(案)」では、浸漬期間 63 日までの試験となっているが、硝酸銀溶液の噴霧法で測定するには、表面含浸材の含浸深さよりも深くに塩化物イオンが浸透する長期的な材齢が望ましいと考えられる。そこで、EPMA による面分析結果を図-6 に示す。SS-1 および SS-2 と比較して、TM1 および TM2 は同等以上の塩化物イオン浸透抵抗性が確認された。また、SS-1 は 6mm 程度の塩化物イオンの浸透が確認されたが、他の表面含浸材はその含浸深さの範囲内

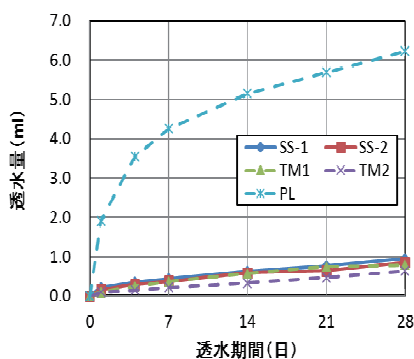


図-3 透水量試験結果

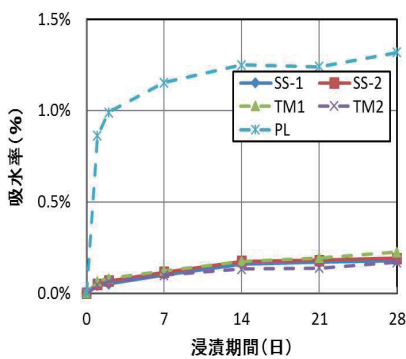


図-4 吸水率試験結果

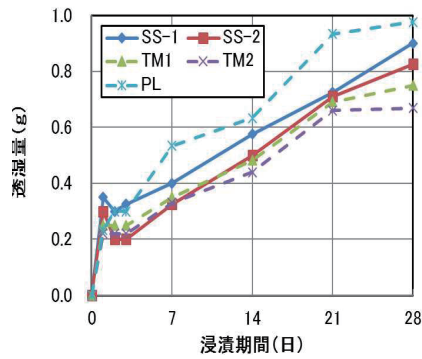


図-5 透湿度試験結果

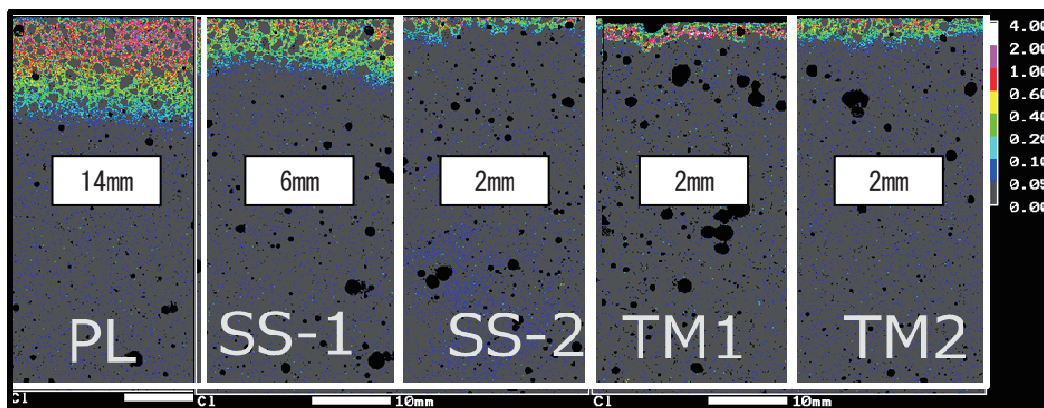


図-6 EPMA 測定結果

の塩化物イオン浸透深さであると判断できる。よって所定の浸漬期間 63 日にて塩化物イオンの濃度拡散状況を調査する場合は EPMA による面分析が有効と考えられる。

表-3 コンクリート配合

	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
Fc21	65.0	50.0	185	285	877	898
Fc30	55.0	46.0	168	305	819	641

表-4 耐久性に関する試験概要

試験項目	試験体寸法	試験概要
圧縮強度試験	φ10×20cm	JIS A 1108-2006 水中 28 日後, 含浸材塗布→91 日
透水試験	φ15×4cm	JIS A 1404 (材齢 1 日, 3 日, 7 日) 含浸材塗布後 3 日で試験開始
凍結融解試験	10×10×40cm	JIS A 1148 水中 28 後, 含水率 5%程度まで乾燥 →塗布後 3 日で試験開始
乾燥収縮試験	10×10×40cm	JIS A 1129-2 水中 28 後, 含水率 5%程度まで乾燥 →塗布後基長→試験開始
促進中性化試験	10×10×40cm	JIS A 1152 含浸材塗布後 3 日で試験開始
塩化物イオン浸透試験	φ10×20cm	JSCE-G 572-2013 含浸材塗布後 3 日で試験開始

3. コンクリート試験

3.1 試験概要

モルタル試験結果より透水および透湿度で良好な結果が得られ、その他項目においても既存のものと同様以上の結果が得られた TM2 について建築及び土木構造物用としてそれぞれ標準的なコンクリート 2 配合での評価を行った。コンクリートの配合を表-3 に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。試験はモルタル試験と同様に、含浸深さ測定の基本試験を実施しており、表面含浸材の塗布量は 180g/m² とした。耐久性試験の概要を表-4、試験水準を表-5 に示す。

3.2 コンクリートの試験結果

(1) 含浸深さ試験結果

図-7 に含浸深さ試験結果を示す。含浸深さはコンクリート強度 Fc30 の方がより含浸していることが分かるが、これは TM2 塗布時の試験体含水率が Fc21 は 5.5%, Fc30 は 4.8%であり Fc21 の方が高かったため、含浸深さが小さくなったと考えられる⁴⁾。なお、TM2 塗布後の試験体について色むらなどの異常は確認されなかった。

(2) 圧縮強度試験結果

表-6 に圧縮強度試験結果を示す。材齢 28 日までは水中養生を行いその後、表面を乾燥させ TM2 を塗布して材齢 91 日まで気中養生を行った。その結果、TM2 の塗布により強度低下は認められなかった。

(3) 透水試験結果

図-8 に透水試験結果を示す。TM2 の塗布により透水抑制効果はその透水量比で、Fc21 は 78%, Fc30 は 58%となり、高い透水抵抗性が確認された。

(4) 凍結融解試験結果

図-9 に凍結融解試験結果を示す。Fc30 配合においては TM2 の塗布により相対動弾性係数の若干の大きな低下が認められるものの、300 サイクル後でも 60%以上を十分に保った。

(5) 乾燥収縮試験

図-10 に乾燥収縮試験結果を示す。TM2 の塗布により、乾燥収縮率が小さくなる傾向が確認され

表-5 耐久性に関する試験水準

	TM2 の塗布量	
	無塗布	180g/m ²
Fc21	Fc21-PL	Fc21-180
Fc30	Fc30-PL	Fc30-180

表-6 圧縮強度試験結果

	材齢 28 日 (N/mm ²)	材齢 91 日 (N/mm ²)
Fc21-PL	27.0	32.7
Fc21-180		33.6
Fc30-PL	34.2	42.6
Fc30-180		43.2

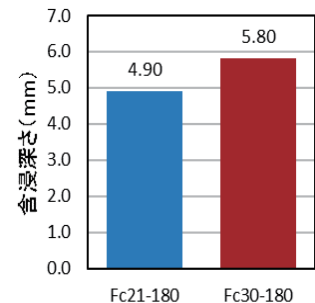


図-7 含浸深さ試験結果

た。これは、透湿度の試験結果から、TM2 塗布により、透湿が抑制されたためと考えられる。

(6) 促進中性化試験

図-11に促進中性化試験結果を示す。表面含浸材含浸深さを中性化深さが上回り十分に評価可能となる材齢 25 週において、TM2 の塗布により Fc21 は 13%、Fc30 は 27%程度中性化が抑制された。

(7) 塩化物イオン浸透試験

表-8に塩化物イオン浸透試験結果を示す。表面含浸材含浸深さを塩化物イオン浸透深さが上回り十分に評価可能となる浸漬材齢 182 日において、TM2 の塗布により、Fc21 は 23%、Fc30 は 29%まで塩化物イオンの浸透を抑制された。

表-8 塩化物イオン浸透試験結果

	塩水浸漬材齢 182 日後の浸透深さ (mm)
Fc21-PL	35.0
Fc21-180	7.9
Fc30-PL	29.3
Fc30-180	8.4

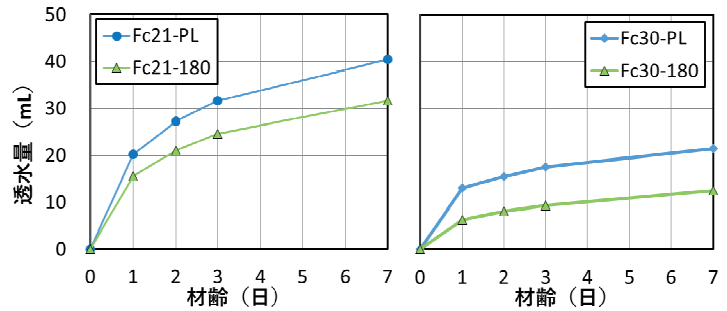


図-8 透水試験結果 (左: Fc21, 右: Fc30)

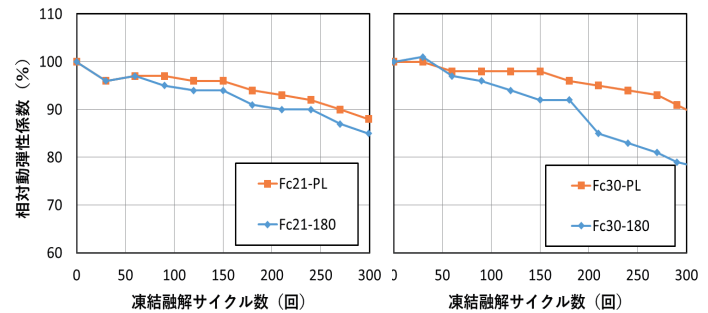


図-9 凍結融解試験結果 (左: Fc21, 右: Fc30)

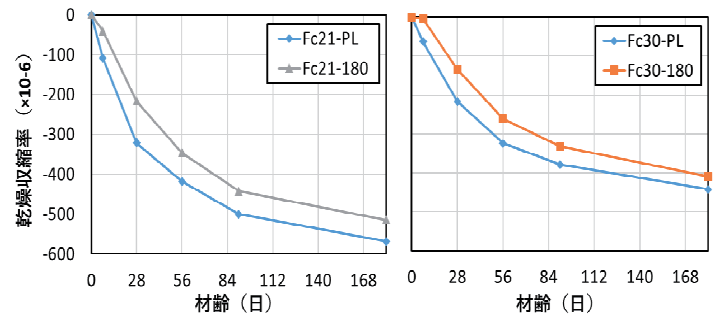


図-10 乾燥収縮試験結果 (左: Fc21, 右: Fc30)

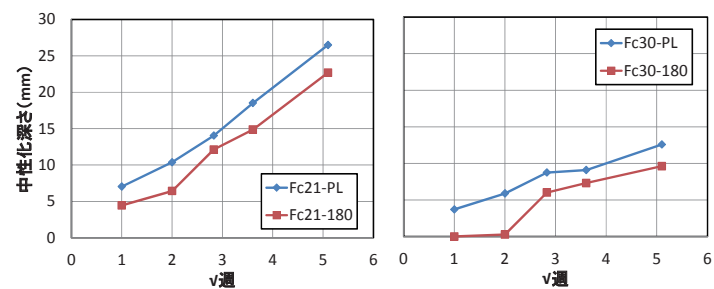


図-11 促進中性化試験結果 (左: Fc21, 右: Fc30)

4. PC 想定配合コンクリートへの適用検討

4.1 試験概要

モルタルおよびコンクリート試験に続き、プレキャスト PC を想定した配合のコンクリートについて適用性を検討した。ここでは長期的な TM2 の耐久性評価も含め既存の表面含浸材と比較するために暴露試験にて評価を行った。表-9にコンクリートの配合を示す。試験体は外観調査および透水試験用に大型平板試験体(500×1000×100mm)、塩化物イオンの浸透抵抗性試験用に角柱試験体(100×100×400mm)を作製し、それぞれ材齢 3 日で脱型を行い、表面含浸材を既存品の設計塗布量と同じ 200g/m² を塗布して、所定の期間暴露を行った後に各種試験を行った。

4.2 暴露試験結果

(1) 透水試験

図-12に透水試験の結果を示す。表面含浸材を塗布したものは暴露期間が1ヶ月目の測定から PL との差が大きく現れ、透水抑制効果が確認された。中でも、TM2 は暴露 12 ヶ月まで既存の表面含浸材と同等以上の透水抑制効果が確認されており、時間の経過によるコンクリートの緻密化を阻害していないことが示唆される。なお、12 ヶ月後までの暴露後も外観に色むらなどの異常は確認されず、継続的な評価を行う予定である。

(2) 塩化物イオンの浸透抵抗性

表面含浸材を塗布後6ヶ月暴露した試験体を10%NaCl水溶液に浸漬させ、塩化物イオンの浸透深さを測定した。図-13は所定の浸漬期間で試験体を割裂し、硝酸銀噴霧法により測定した結果を示す。表面含浸材を塗布した試験体は少なくともPLと比較して塩化物イオンの浸透を抑制していることが確認できた。図-14は浸漬期間20週の試験体をEPMA分析にて塩素の面分析を行った結果を示す。SS-2およびTM2は硝酸銀噴霧法では深さ3mmと評価されているのに対して、EPMAからは表面から約1mm程度の塩化物イオンの浸透が確認された。コンクリート試験においてもモルタル試験と同様に塩化物イオンの浸透抵抗性を評価する手法として硝酸銀噴霧法では判定が難しいため、EPMAなどの試験方法を用いて評価する必要があると考えられる。表-10にEPMAの面分析結果から算出した見かけの拡散係数を示す。表面含浸材を塗布した試験体の見かけの拡散係数は無塗布や既存品と比較して同等以上になることが確認された。

5. まとめ

表面撥水性を強化した表面含浸材TM2について、本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) モルタル試験にて、TM2を塗布した試験体は既存の表面含浸材と同等以上の性能を有することが透水、吸水、塩化物イオン浸透抵抗性および中性化試験から確認された。
- (2) コンクリート試験にて、TM2を塗布することで乾燥収縮、中性化および塩化物イオン浸透の抑制効果が向上することが確認された。
- (3) プレキャストPC想定配合コンクリートでの暴露試験にて、約1年暴露後においても透水および塩化物イオンの見かけの拡散係数算出結果が既存の表面含浸材と比較して同等以上の性能を有し、適用性及び高い耐久性が確認された。

参考文献

- 1) 十河茂幸, 竹田宣典: 維持管理(3)コンクリート構造物の維持管理における対策技術, コンクリート工学, Vol. 48, No. 4, pp. 40-45, 2010. 4
- 2) 土木学会: 2013年制定コンクリート標準示法書[基準編] 表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-K 571-2013) pp. 471
- 3) 浜中昭徳, 竹下永造: 表面撥水性を強化したシラン系表面含浸材の基本性能, 土木学会第72回年次学術講演会, pp. 1027-1028, 2017. 9
- 4) 細田 暁, 今野拓也, 松田芳範, 小林 薫: シラン系表面含浸材を用いた適切な表面保護システムのための基礎的研究, 土木学会論文集E, Vol. 64, No. 2, 323-334, 2008. 5

表-9 コンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
38.0	42.0	153	403	742	1036

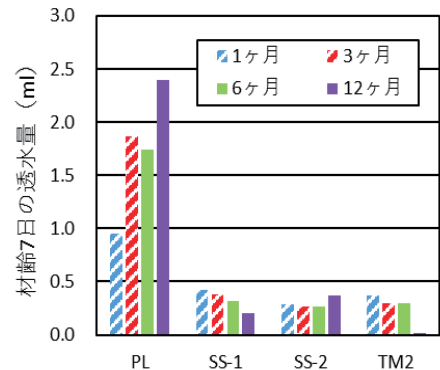


図-12 透水試験結果

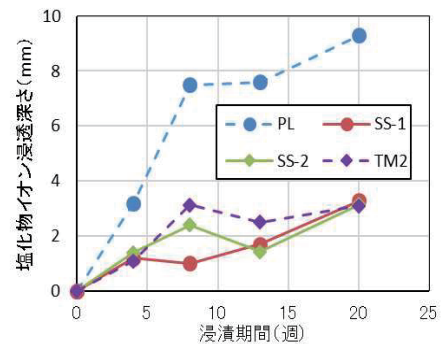


図-13 硝酸銀噴霧法の塩化物イオン浸透深さ

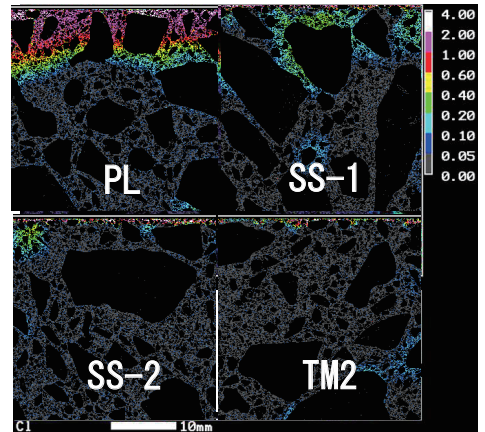


図-14 EPMA測定結果(20週)

表-10 見かけの拡散係数

略号	D_{ap} (cm ² /年)
PL	0.222
SS-1	0.004
SS-2	0.004
TM2	0.002