

# 塩害・アルカリ骨材 反応複合劣化対策 塗装システム

Concrete Coating System to Prevent  
Complex Defects by Salt Attack and Alkali-  
Aggregate Reaction



製品開発研究所  
第5部  
安達良光  
Yoshimitsu  
ADACHI



製品開発研究所  
第5部  
松田光司  
Koji  
MATSUDA

## 1. はじめに

半永久的構造物といわれたコンクリート構造物も種々の原因で劣化が認められるようになり、その保護対策のひとつとして塗装による方法が採用されている。コンクリート構造物の劣化は、主に(1)塩害、(2)アルカリ骨材反応、(3)中性化、(4)その他(凍害など)に分類でき、コンクリートのひび割れ、剥落などが生じる現象である。これらの劣化からコンクリートを保護するために、その現象に応じた塗装システムを選択し適用してきた。しかしながら、近年、これらの劣化が複合して生じる現象が認められるようになり、複合した劣化に対応できる塗料、塗装システムの開発が切望されている。本稿では、塩害とアルカリ骨材反応が複合して生じる劣化現象に対して適用できる塗料、塗装システムの開発を行ったので以下に報告する。

## 2. コンクリート構造物の劣化現象

### 2.1 塩害

塩害とは、塩分によりコンクリート中の鋼材が腐食し、それによりコンクリートにひび割れ、剥落が生じる現象である。塩分がコンクリートに含まれる過程は、

- ①コンクリートの使用材料にすでに含まれている場合
- ②コンクリートの硬化後に周囲環境から侵入してくる場合が考えられる。①については、使用材料に関する規制がすでに発令され、各方面で除塩対策が検討されてその成果が得られている<sup>1)</sup>。②については、海浜地区での飛来塩分や寒冷地区での凍結防止剤による塩分がコンクリート構造物表面に付着し、時間とともに内部に侵入して鉄筋の腐食を促進させ、その体積膨張によりコンクリートにひび割れや剥落が生じる<sup>2)3)</sup>。

塩害対策用の塗料は、鉄筋の腐食の原因となる外部環境からの劣化因子(酸素、水、塩分など)の遮断機能、ひび割れが発生した場合、そのひび割れに対し追従することが

できる機能などが主に要求される。

### 2.2 アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応は、セメントに含まれるアルカリ成分と骨材に含まれるある種のシリカ鉱物(反応性シリカ)と水が反応して水ガラス( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4$ )ができ、その水ガラスが膨張圧となってコンクリートを膨張させ、コンクリートにひび割れが発生する現象である。アルカリ骨材反応としては、①アルカリシリカ反応、②アルカリ炭酸塩反応、③アルカリシリケート反応の3種類の反応がある。アルカリ炭酸塩反応は対象となる岩石が限定されており、アルカリシリケート反応も地域が限定されているため、日本ではアルカリシリカ反応が当面の問題となっている<sup>3)4)</sup>。アルカリシリカ反応は、セメント中のアルカリ成分が骨材中の反応性シリカと水の存在下で反応して、例えば珪酸ソーダを生成する反応で(1)式ようになる。

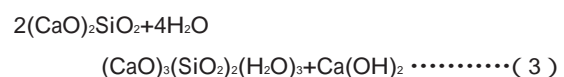
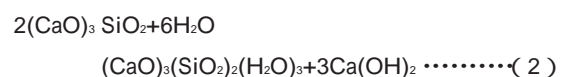


アルカリシリカ反応による劣化は水の存在が必須条件となる。この水は外部環境から与えられるものとコンクリート内部に存在する水である。

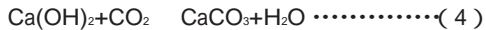
したがって、アルカリ骨材反応対策用塗料には、外部環境からの水の侵入を遮断する機能とコンクリート内部に存在する水を適度に発散させる機能、コンクリートのひび割れに対して追従できる機能などが主に要求される。

### 2.3 中性化

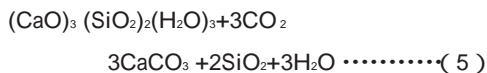
コンクリートに使用するセメントは、その硬化する過程で水和水酸化カルシウムを生成する。その反応は(2)、(3)式のように考えられている<sup>5)</sup>。



この反応により生成した水酸化カルシウムはpH12～13の強アルカリ性を示す。一方、大気中には弱酸性を示す炭酸ガスが含まれており、この炭酸ガスと水酸化カルシウムが反応し炭酸カルシウムを生成する。



この反応により生成した炭酸カルシウムのpHは8.5～10を示す。また、コンクリートの硬化反応で生成した水和物も炭酸ガスと反応し炭酸カルシウムを生成する<sup>5)</sup>。



このように、当初、強アルカリ性を示すコンクリートが徐々にpHが低下し、弱アルカリ性を示す現象を中性化という。中性化に伴い、コンクリート中の鉄筋が錆びて体積膨張し、コンクリートのひび割れ、剥落に繋がる。

中性化対策用塗料には主に外部環境からの劣化因子(炭酸ガス)の遮断機能が要求される。

### 2.4 その他の劣化<sup>2),5)</sup>

その他の劣化としては主に寒冷地区での凍害があげられる。凍害はコンクリート中の空隙内部の水分が凍結融解することで生じる劣化現象で、水分の凍結による体積膨張を吸収できるだけの空隙がない場合に、その膨張圧でコンクリートがひび割れたり、表層が剥落したりする<sup>3),6)</sup>。

凍害対策用塗料には、主に外部環境からの劣化因子の遮断機能、凍結融解で生じるひび割れに対する追従性などが要求される。

## 3. 塩害・アルカリ骨材反応複合劣化とその対策

### 3.1 塩害とアルカリ骨材反応による複合劣化

すでにアルカリ骨材反応の現象が見受けられるコンクリート構造物に、海塩粒子や冬季に散布される凍結防止剤中の塩分が付着し、ひび割れなどから侵入した塩分が内部の鉄筋の腐食を促進させ、コンクリートの劣化が急激に進行する。具体的事例を写真1に示した。写真1 Aはアルカリ骨材反応によりコンクリート面にひび割れが認められる。写真1 Bは塩害・アルカリ骨材反応による複合劣化で、ひび割れに加え鉄筋のある部分に沿ってコンクリートが剥落している。

塩害とアルカリ骨材反応の現象とそれらの劣化に対して要求される塗膜の機能について図1にまとめた。塩害・アルカリ骨材反応複合劣化に対して要求される塗膜の機能は、



A



B

写真1 コンクリート構造物の劣化の事例  
Aはアルカリ骨材反応による劣化、Bは塩害・アルカリ骨材反応複合劣化の事例

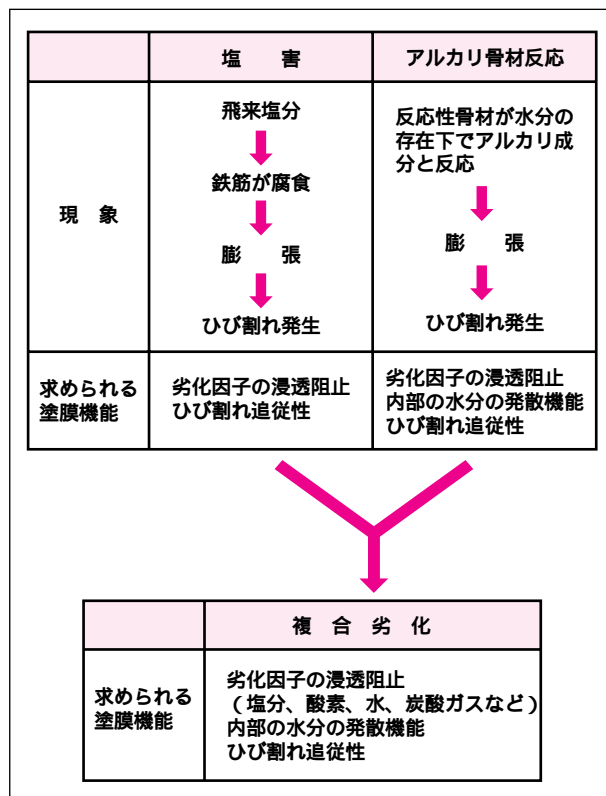


図1 塩害とアルカリ骨材反応の現象  
それらの劣化に対して要求される塗膜の機能

酸素、塩分、水等の外部環境からの劣化因子の遮断機能とコンクリート内部の水分を水蒸気として外部に放出する機能が必要となる<sup>7)8)9)</sup>。

### 3.2 塗装による複合劣化の対策

コンクリートの一般的な劣化と複合劣化に対して求められる塗膜性能の比較を表1に示す。複合劣化に対しては一般的な劣化に比較して、1)塗膜の伸び、2)劣化因子の透過阻止性、3)水分の放出性の点がより重視されており、表1に示すような試験項目と要求値が一般に提唱されている<sup>7)8)10)</sup>。

複合劣化に対応する塗膜としては、一般的な劣化対策に比べ2倍の伸びを有する塗膜で、且つ、常温(20℃)および低温(-20℃)状態での繰り返し耐疲労性(ひび割れの伸縮繰り返しに対する追従性)も必要である。また、水の存在下でアルカリ骨材反応により劣化が進行するため、水蒸気透過性については、コンクリート内部の水分を外部に発散させる機能(放湿機能)が必要となる。

## 4. 設計の考え方

一般的なコンクリート防食用の塗装工程を表2に示す。工程はプライマー(シーラー)不陸調整材(パテ材)主材(中塗)仕上げ材(上塗)の形をとる。プライマーはコンクリート素材への含浸効果によって、コンクリート面に対する付着性を維持するために使用する。不陸調整材はコンクリート表層に存在する無数の穴(素穴)を充てんするとともに、コンクリート表面を平滑にするために使用する。主材は塗装仕様全体の膜厚の50%以上を占め、その塗装仕様を持つ主な機能(劣化因子の遮断性能、ひび割れ追従性など)が主材によって決定される。仕上げ材は美観を長期にわたって維持するために塗装され、主材と同程度の柔軟性を有する高耐候性の塗料が使用される。

本開発品の設計の考え方を図2に示す。まず、主な機能を決定する主材について検討を行った。複合劣化対策用塗料にはひび割れに対する追従性、常温および低温状態での繰り返し疲労に対する耐性が一般的な劣化対策用塗料以上に要求されている。そこで、塗膜の柔軟性を向上させることでひびわれ追従性、耐疲労性の機能を十分に確保した(Step1)。

表1 一般的な劣化と複合劣化に対して求められる性能の比較

機能項目	試験項目	一般的な劣化に対して求められる性能 <sup>9)</sup>	複合劣化に対して求められる性能 <sup>6)7)</sup>
塗膜の伸び	ひび割れ追従性 0スパン伸び	標準養生後 20 0.4 以上 - 20 0.2 以上  SWOM 700 Hr後 20 0.2 以上	標準養生後 20 0.8 以上 - 20 0.4 以上  SWOM 700 Hr後 20 0.4 以上
	繰り返し耐疲労性  0.2 ~ 0.4 mm 伸縮繰り返し	—	標準養生後 20 100万サイクル以上 - 20 5000サイクル以上  SWOM 700 Hr後 20 100万サイクル以上 - 20 2000サイクル以上
劣化因子の透過阻止性	水蒸気透過性	5.0 / ・day以下	—
	酸素透過性	$5.0 \times 10^{-2}$ / ・day以下	$5.0 \times 10^{-2}$ / ・day以下
	水透過性	—	3.5 / ・day以下
	遮塩性	$5.0 \times 10^{-3}$ / ・day以下	$5.0 \times 10^{-3}$ / ・day以下
水分の放出性	水蒸気透過性	—	0.5 / ・day以上

表2 一般的なコンクリート塗装工程

工程	工程名	施工方法
1	プライマー(シーラー)	はけ、ローラー
2	不陸調整材(パテ材)	こて、へら
3~5	主材(中塗):1~3回塗り	はけ、ローラー
6	仕上材(上塗)	はけ、ローラー

各種柔軟材料を探索した結果、主材に柔軟型変性エポキシ樹脂系を用いると各種性能を発揮するのに有効であった。表3に各種柔軟型エポキシ樹脂の20、-20における破断強度と伸び率を示した。特殊変性を施したウレタン変性エポキシ樹脂が低温(-20)においても優れた伸びと硬化性を示した。

次に、酸素、水蒸気等の劣化因子の透過性のコントロールを行った(Step2)。劣化因子のコントロールについては、塩害対策としての酸素、水蒸気などの透過阻止機能とアルカリ骨材反応対策としてのコンクリート内部の水分の放湿機

表3 エポキシ樹脂の特数値

	破断強度(MPa)		破断伸び率(%)		硬化性(24時間後)	
	20	-20	20	-20	20	5
グリシジルエステル型	11.0	35.0	157	4	○	○
ビスA系プロピノキサライド付加型	9.0	23.0	80	7	○	△
特殊変性・ウレタン変性型	3.5	14.0	260	200	○	○

(注) 硬化剤:変形ポリアミン、当量比=1.0  
硬化性:○:硬化、△:塗膜表面に粘着性有り

能を兼ね備えることを目標とし、本塗料1品種で種々の劣化に対応し得る品質の設計を行うこととした。

種々検討を行った結果、鱗片状顔料が劣化因子の遮断機能とコンクリート内部の水分の放湿機能の両機能を得るのに有効であった。

### 5. 開発品の基本組成

開発品の基本組成を表4に示す。特殊な変性を施したウレタン変性エポキシ樹脂を使用することでひび割れ追従性、耐疲労性の機能を確保し、鱗片状顔料を併用することで劣化因子の遮断性とコンクリート内部の水分の放出性の機能をコントロールした。

表4 開発品の基本組成

組成		配合量
ベース	特殊変性・ウレタン変性エポキシ樹脂	50.0
	着色顔料・鱗片状顔料	18.0
	添加剤	6.0
	溶剤	15.0
硬化剤	変形ポリアミン	10.0
	溶剤	1.0
合計		100.0
混合比(ベース/硬化剤)		8/1
加熱残分(%)		78
PVC(%)		10

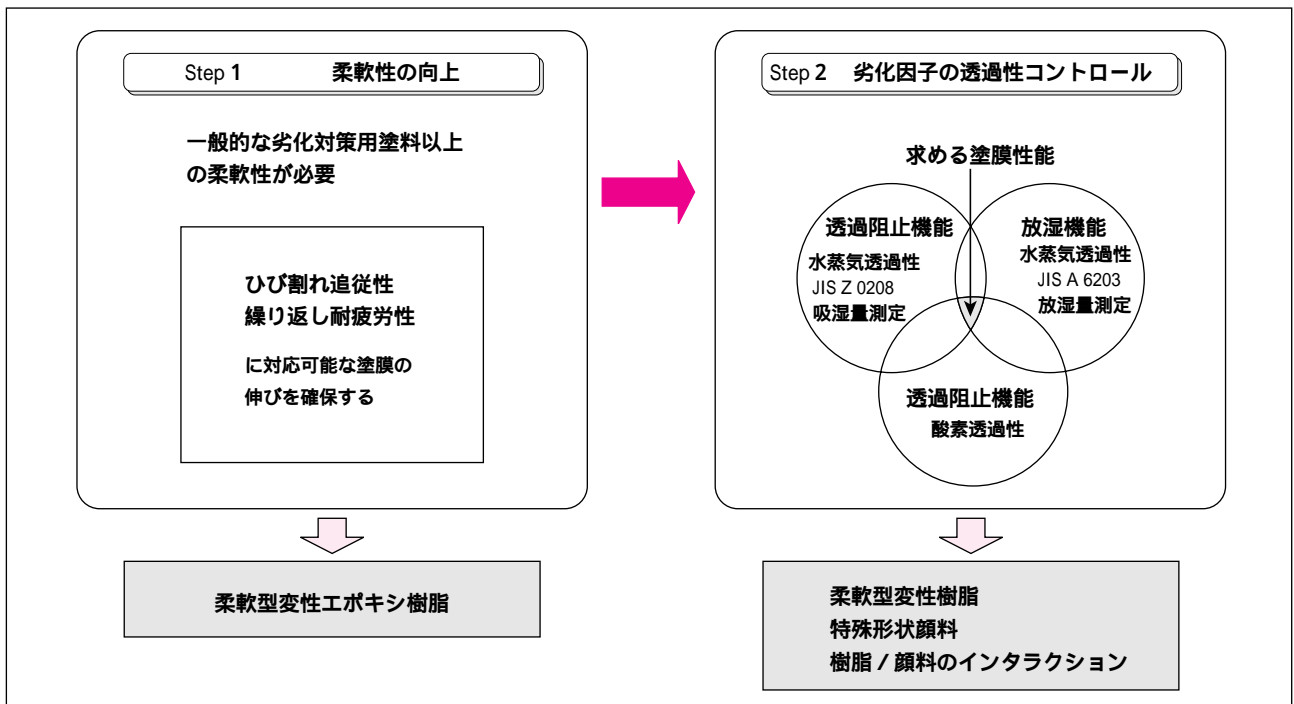


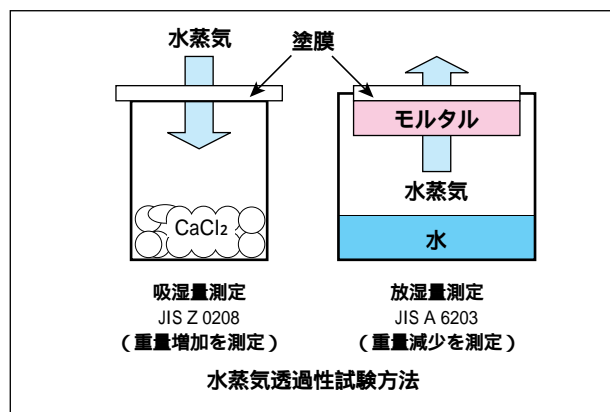
図2 設計の考え方

表5 複合劣化対策の塗装システム

工程名	一般名称 製品名	目標膜厚 ( )	施工方法	塗装間隔 (20 )
素地調整	コンクリート表面のレイタンス、油分、その他の異物をディスクサンダー、ブラシ等にて除去する			
プライマー	エポキシ樹脂系 KCエポプライマー	—	はけ、ローラー	1~10日
不陸調整材	エポキシ樹脂系 KCエポパテ	210	こて、へら	1~7日
主材	特殊・ウレタン変性エポキシ樹脂系 開発品	160	はけ、ローラー	1~7日
主材	特殊・ウレタン変性エポキシ樹脂系 開発品	160	はけ、ローラー	1~7日
仕上材	低汚染・柔軟型ポリウレタン樹脂系 KCセラエラストU	30	はけ、ローラー	

表6 試験方法<sup>9),10)</sup>

項目	試験方法
ひび割れ追従性	40×120×10 のモルタル板上に割れ線を入れた後、プライマー、主材、仕上げ材を塗付し、試験体を作成した。20%湿度65%で28日間養生後(以下標準養生と表現する)あるいは規定試験後、引張試験機を使用し、速度5 /minで引張り、塗膜が破断するまでの伸び値を測定した。
繰り返し耐疲労性	40×150×3 のスレート板の裏面中央に深さ約2 のカットを入れた後、プライマー、主材、仕上げ材を塗付して試験体を作成した。標準養生後あるいは規定試験後、島津サーボパルサを使用し、3Hzで0.2~0.4 伸縮繰り返しを行い、規定サイクル終了後の塗膜の状態を確認した。
水蒸気透過性 (吸湿量の測定)	ガラス板上にはく離紙および和紙を張り、その上に主材、仕上げ材を塗付し試験体を作成した。標準養生後、下図に示すようにJIS Z 0208に従って試験体を透過して容器内部に吸収される水蒸気量を測定した。
水蒸気透過性 (放湿量の測定)	70×70×10 のモルタル板上にプライマー、主材、仕上げ材を塗付し試験体を作成した。標準養生後、下図に示すようにJIS A 6203に従って試験体を透過して容器外部に放出される水蒸気量を測定した。
酸素透過性	ガラス板上にはく離紙および和紙を張り、その上に主材、仕上げ材を塗付して試験体を作成した。標準養生後、製科研式酸素透過率計を用いて試験体を透過する酸素量を測定した。
塗膜の付着性	70×70×10 のモルタル板の上面にプライマー、不陸調整材、主材、仕上げ材を塗付して作成した。JIS A 6909 5.8に従って付着強さを測定した。
遮塩性	ガラス板上にはく離紙および和紙を張り、その上に主材、仕上げ材を塗付して試験体を作成した。「道路橋の塩害対策指針(案)同解説」の付録1(3)2) により塩素イオン透過量を測定した。 <sup>11)</sup>



## 6. 塗装仕様と試験方法

### 6.1 塗装仕様

複合劣化対策の塗装システムを表5に示す。素地調整を行った後、プライマーとしてエポキシ樹脂系「KCエポプライマー」、不陸調整材としてエポキシ樹脂系の「KCエポパテ」、主材として特殊・ウレタン変性エポキシ樹脂系の開発品、仕上げ材として低汚染・柔軟型ポリウレタン樹脂系の「KCセラエラストU」を使用する一般的な塗装工程での設計を行った。

## 6.2 試験方法

本検討で実施した主な試験方法を表6に示す<sup>9)10)</sup>。

## 7. 複合劣化適応型塗装システムの性能

複合劣化に適応する塗装システム(以下、開発品と表現する)の性能を当社の一般的な劣化対策用塗装システム(以下、一般型と表現する)及び他社の塗装システム(以下、他社品と表現する)と比較して以下に示す。

### 7.1 ひび割れ追従性

ひび割れ追従性の測定結果を図3に示す。一般型、他社品は-20℃での伸びが小さく0.4mmに満たないのに対し、開発品は-20℃で0.4mm以上の伸びを示し、且つ、促進耐候性

試験後も20℃で0.4mm以上の伸びを示した。

### 7.2 繰り返し耐疲労性

繰り返し耐疲労性の測定結果を表7に示す。一般型、他社品は低温条件、促進耐候性試験後の試験において塗膜が破断したのに対し、開発品は全ての試験条件において塗膜に異常はなく優れていた。

### 7.3 水蒸気透過性

水蒸気透過性の測定結果を図4に示す。水蒸気の透過阻止性を評価する吸湿量の測定においては、開発品、一般型、他社品とも5.0mg/cm<sup>2</sup>・day以下であった。一方、水蒸気の外部への放出性を評価する放湿量の測定においては、一般型、他社品に比べ開発品は優れた放湿性を示した。

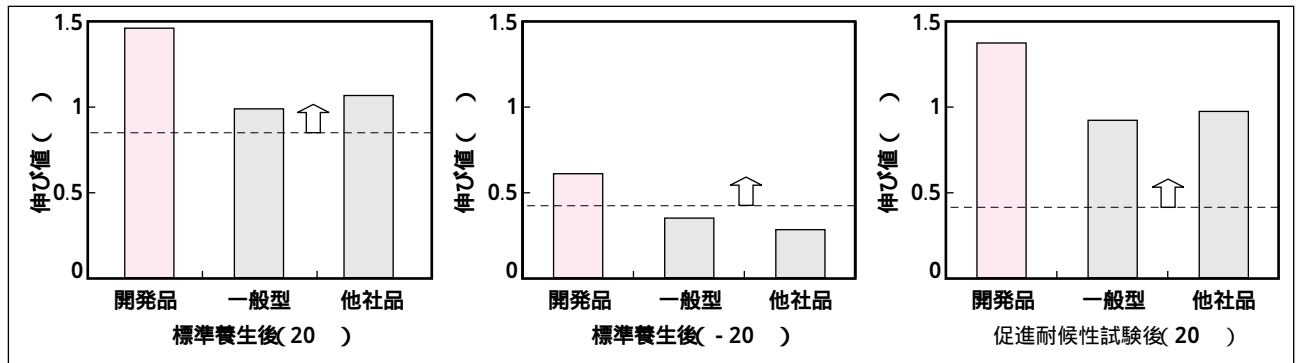


図3 ひび割れ追従性試験結果

表7 耐疲労性試験結果

	試験温度	サイクル数	開発品	一般型	他社品
標準養生後	20	100万	○	○	○
	-20	5000	○	×	×
促進耐候性試験 700時間後	20	100万	○	○	○
	-20	2000	○	×	×

(注)○:異常なし、×:塗膜破断

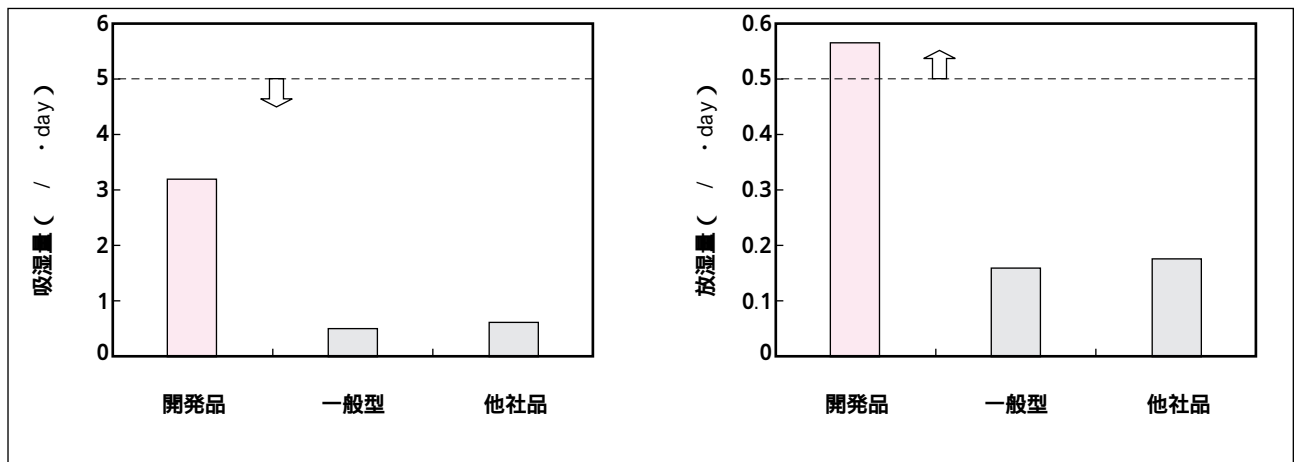


図4 水蒸気透過性試験結果(左図:吸湿量、右図:放湿量)

### 7.4 酸素透過性

酸素透過性の測定結果を図5に示す。開発品は一般型、他社品とともに0.05mg/cm<sup>2</sup>・day以下という透過阻止性を示した。

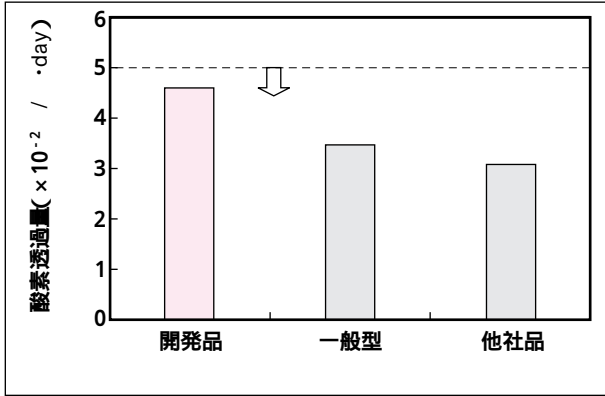


図5 酸素透過性試験結果

### 7.5 その他の試験項目

コンクリートとの付着性、遮塩性の測定結果を表8に示す。全ての項目について開発品は一般型、他社品とともに良好な結果を示した。

## 8. おわりに

コンクリート構造物の劣化として塩害、アルカリ骨材反応、凍害などがクローズアップされるようになって久しいが、最近では複合的に劣化が生じ始めてきており、それらの対策としてより高度な機能を有する塗装システムが求められてきている。今回、塩害・アルカリ骨材反応複合劣化に対応し得る柔軟型エポキシ樹脂系塗装システムの開発を行った。

この塗装システムは低温条件、曝露後においても優れたひび割れ追従性、耐疲労性を示す。また、水分、酸素、塩素といった各種劣化因子に対し、従来の塗装システムと同等の透過阻止性を示し、且つコンクリート内部からの水分の放

出性にも優れた特性を有する。

今回開発した塗料の市場展開を鋭意進め、本塗装システムがコンクリート構造物の塩害・アルカリ骨材反応複合劣化対策用として、少しでも役立つことを期待したい。

## 9. 引用文献

- 1) 大即信明他:コンクリート構造物の耐久性シリーズ、塩害(Ⅱ)、技報堂出版(1991)
- 2) 西澤紀昭、岸谷孝一他編:コンクリート構造物の耐久性シリーズ、塩害(Ⅰ)、技報堂出版(1986)
- 3) 社団法人日本塗装工業会編:コンクリート土木構造物の補修マニュアル、技報堂出版(1994)
- 4) 西澤紀昭、岸谷孝一他編:コンクリート構造物の耐久性シリーズ、アルカリ骨材反応、技報堂出版(1986)
- 5) 西澤紀昭、岸谷孝一他編:コンクリート構造物の耐久性シリーズ、中性化、技報堂出版(1986)
- 6) 西澤紀昭、岸谷孝一他編:コンクリート構造物の耐久性シリーズ、凍害、技報堂出版(1988)
- 7) 松田光司、安達良光:低温物性、耐疲労性に優れたコンクリート用防食塗装システム、第18回防錆防食技術発表大会講演予稿集、p.81、日本防錆技術協会(1988)
- 8) 松田光司、安達良光:低温物性、耐疲労性に優れたコンクリート用防食塗装システム、防錆管理、4[5]、p.196(1999)
- 9) 久保善司、服部篤史他:表面処理による水分抑制がASR膨張抑制に与える影響、土木学会第52回年次学術講演会講演概要集第5部、V-364、p.728(1997)
- 10) 日本道路公団 試験研究所資料 第121号 材料施工資料(第1号)コンクリート保護工
- 11) 〔社〕日本道路協会:道路橋の塩害対策指針(案)同解説、昭和59年2月

表8 その他の試験結果

試験項目		求められる性能	開発品	一般型	他社品
塗膜の外観	標準養生後	異常のないこと	異常なし	異常なし	異常なし
	促進耐候性試験後		異常なし	異常なし	異常なし
	耐アルカリ性試験後		異常なし	異常なし	異常なし
	温冷繰り返し試験後		異常なし	異常なし	異常なし
付着性 (MPa)	標準養生後	1.0以上	3.0	2.5	3.0
	促進耐候性試験後	1.0以上	3.0	2.5	3.0
	耐アルカリ性試験後	1.0以上	2.0	2.0	2.5
	温冷繰り返し試験後	1.0以上	3.0	3.0	3.0
遮塩性 ( / ・day)		5×10 <sup>-3</sup> 以下	0.09×10 <sup>-3</sup>	0.05×10 <sup>-3</sup>	0.04×10 <sup>-3</sup>