

鉄筋コンクリート造における保護塗膜の効果と耐用年数

独立行政法人 日本学術振興会 建設材料第76委員会より、シンポジウムでの講演依頼が東亜合成にあり、2010年5月18日に実施しました。

講演で配布しました資料を“あしば”としてお知らせいたします。当社ブランドの“アクリルゴム系保護塗膜”による、建築・土木の鉄筋コンクリート造の保護・長寿命化に対し、約30年間にわたる研究成果と実績とを集大成したものです。

まず、始めに76委員会とは何かを以下にご紹介します。

1. 日本学術振興会とは

文部科学省所管の独立行政法人で、昭和7年に天皇陛下から学術振興のため文部大臣に下賜された150万円により創設されました。

2. 建設材料76委員会（産学協力研究委員会）

(1) 設立経緯等

本委員会は、昭和19年、天皇陛下より、戦時下で鉄筋コンクリート造の建設が困窮する中、代用コンクリート、代用鉄筋の研究のために下賜された基金で設置されたものです。現在61の委員会がある中で、唯一の建設関係の委員会です。76委員会は76番目にできた委員会の意味で、これまで182できた委員会の中で、残っている二桁ナンバーの委員会は6つしかなく、由緒ある委員会として知られています。現在の委員は、学界 52名、産業界 57名の委員総数 109名です。

(2) 趣旨・目的

建設材料には、様々な使用条件で所要の安全性、供用性、耐久性等が要求されます。また、一般に使用量が膨大であるが故に、省資源、省エネルギー、産業廃棄物の有効活用等を期待する社会的要請もきわめて強いです。これらの課題は、土木、建築および化学の各分野において活発に検討されており多くの新技術が開発・実用化されています。本委員会は、各分野の壁を越えた研究者・技術者が一堂に会し、緊密な連携を保ちながら、建設材料に関する最先端の技術や問題点について情報・意見の交換を行い、今後の技術開発の手法、方向性、在り方について総合的に研究することを目的としています。

(3) 研究テーマ

以下が研究テーマとして掲げられています。

- ①地球環境保護を考えた建設材料の有効利用技術に関する研究
- ②建設材料の高性能化および高機能化に関する研究
- ③構造物の耐久性向上技術に関する研究
- ④構造物の安全性向上技術に関する研究
- ⑤構造物の診断、維持管理、補修・補強、再生等に関する研究
- ⑥建設材料に関連する規格・基準・資格・教育とこれらの国際化に関する研究

更に、今回の76委員会のシンポジウム（年に1回開催）の案内状を以下に示します。

委員各位殿

建設材料第76委員会 395会議（開催通知）

1. 日時 平成22年5月18日（水） 13:00～17:00

2. 場所 学士会館203号室

3. 開会の挨拶 委員長 阿部道彦

4. シンポジウム

(1) テーマ：「鉄筋コンクリート造に塗布する高分子系材料の保護効果と劣化」

(2) 主旨：鉄筋コンクリート造のコンクリート表面に、各種高分子系材料が被覆されることが多くみられます。

美観性向上のみならず、炭酸ガス、塩化物イオン、水、酸素などの劣化因子の浸入を防ぐことをその大きな目的とし、最近では、ヒートアイランド防止を目的に反射・遮熱塗料も採用され、コンクリートの温度上昇・蓄熱・夜間放熱の低減をもたらしています。

しかしながら、これら高分子系の保護材料は、有機化合物であるため耐光性に乏しく、経年劣化することが知られており、一般には、高分子系保護材料が鉄筋コンクリート造の保護材料として有効に働く期間は、その鉄筋コンクリート造の耐用年数に比し短いと考えられます。つまり、鉄筋コンクリート造の耐久性を維持するため、その高分子系保護材料の維持管理・交換が必要となります。

そこで、本委員会では、高分子系材料の機能、劣化メカニズム及び耐用年数、適用事例にみる保護効果について、議論したいと思います。

(3) プログラム（司会 担当企画委員）

①建築に用いられる高分子材料の耐候性

東京工業大学教授 田中享二

②沖縄に於ける塩害対策としての表面保護工法のあゆみ

琉球大学名誉教授 大城 武

③鉄筋コンクリート造における保護塗膜の効果と耐用年数

東亜合成(株) 谷川 伸

④東海道新幹線コンクリート構造物の延命化施策

JR 東海 技術開発部 構造物チームマネジャー 荒鹿忠義

5. 議題審議および報告（常任幹事 湯浅 昇）

6. まとめおよび閉会あいさつ 企画委員会主査 坂井悦郎

上記プログラムの③「鉄筋コンクリート造における保護塗膜の効果と耐用年数」の講演の配布資料を次ページ以下に示します。

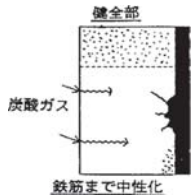
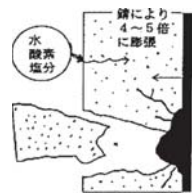

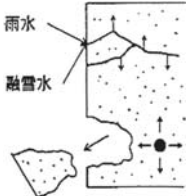
鉄筋コンクリート造における 保護塗膜の効果と耐用年数

東亜合成株式会社 博士(工学) 谷川 伸

1. 鉄筋コンクリートの劣化

鉄筋コンクリート造は置かれた環境によって耐久性に差が生じる。日本列島は北海道から沖縄まで南北に長く、寒冷地から亜熱帯気候までを包含している。また、海岸近くに多くの構造物が建設されており、海洋環境の影響を考慮する必要がある。コンクリート造の劣化は鉄筋腐食（中性化、塩害）とコンクリート自体の劣化（アルカリ骨材反応、凍害）に大別される。全ての劣化に水が絡んでおり、鉄筋腐食とアルカリ骨材反応による劣化は化学反応であり、劣化速度はアレニウス反応速度式（10℃の温度上昇で反応速度は約2倍となる）に従う。鉄筋コンクリートの劣化要因は、水、酸素、飛来塩分、二酸化炭素、大気汚染物質（SO_x、NO_x）、融氷剤等があげられる。劣化要因物質のコンクリート中への浸透・拡散速度は、運動エネルギーであり、温度が高くなると速くなる。

さらに、コンクリートのひび割れは避けがたく、ひび割れ部では劣化要因の浸入を著しく促進する。日本建築学会の許容収縮ひび割れの指針¹⁾では、漏水抵抗性は0.15 mm、劣化抵抗性（耐久性）では0.3 mmとされている。日本コンクリート工学協会（JCI）のひび割れ調査指針²⁾には、アルカリ骨材反応や塩分などが原因となるひび割れが示されている。ひび割れ部を含めて、コンクリート中に水さえ入れなければ、100年程度の耐久性を確保できると考える。

		中性化	塩害	アル骨	凍害
劣化現象					
原因	水	○（鉄筋腐食）	○	○	○
	炭酸ガス	○			
	塩分		○		
	酸素		○		
	反応性骨材			○	
		通常劣化	早期劣化		



全ての劣化に水が絡んでいる

図1 鉄筋コンクリート造の劣化機構

図1に中性化、塩害、アルカリ骨材反応、凍害による鉄筋コンクリート造の劣化機構を示し、図2に Manning (IABSE, 1990)^{3), 4)} が示す鉄筋コンクリート造の劣化速度を示す。

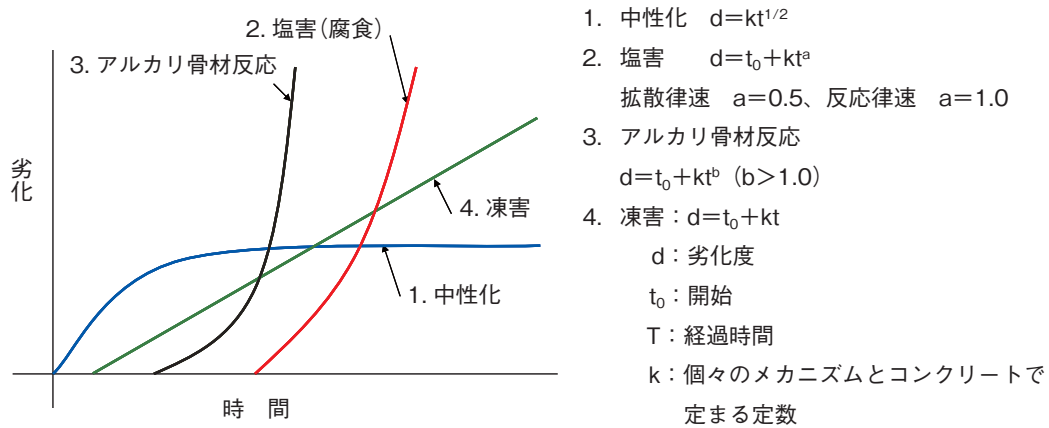


図2 鉄筋コンクリート造の劣化速度

2. 保護塗膜の効果

(1) 保護塗膜への期待

表1⁵⁾にコンクリート造の劣化とそれに対応した保護塗膜への期待性能を示す。

表1 鉄筋コンクリート造の劣化と保護塗膜への要求性能

劣化現象	劣化メカニズム	塗膜の要求性能=外的劣化要因の遮断機能				
		水分		空気		塩分
		雨水	水蒸気	CO ₂	酸素	
(1) 中性化	炭酸ガスの浸入→鉄筋部コンクリートの中性化(不動態状態でなくなる)→鉄筋腐食進行→錆膨張→ひび割れ	○	○	◎		
(2) 塩害	塩分の浸透が鉄筋腐食を著しく促進。鉄筋部が中性化していなくても塩分+酸素+水の存在下で腐食が進行→腐食膨張(約4倍)→ひび割れ、剥離	○	○	—	○	◎
(3) アルカリ骨材反応	水分+アルカリ(コンクリート中のアルカリNa+K+外部塩分は促進)+反応性骨材→ゲルの形成→水分供給(浸透圧)→ゲルの膨張→ひび割れ	○	×	—	—	○
(4) 凍害	水(融雪水)の浸入→凍結(9%の体積膨張)→膨張圧→ひび割れ	○	○	—	—	^
備考	◎~○塗膜の外的劣化要因の遮断機能、×: 内的要因の透過機能(外部への排出)が要求					

(2) コンクリート保護効果を示す実証 (2000)

電源開発(株)技術開発センター鍵本博之博士、金沢大学工学部(土木建設)、川村満紀教授ら⁶⁾は、実証試験設備として建設されたゴム引布製起伏堰(ゴム堰)に付帯するコンクリート擁壁のアルカリ骨材反応(ASR)による劣化状況を調査研究した。“本ゴム堰の目的は、河川最上流部に設置されるコンクリート堰は、流下土石による衝撃、磨耗による劣化が激しいため、この影響をおさえる目的でゴム堰の起立倒伏により流水をせき止める構造としたものである”。

ASRを受けたゴム堰堤での実証として以下のように示されている。“温度、湿度が高い条件のコンクリートは、ASRが主因と思われる劣化が著しく、ひび割れ密度は大きく、コンクリート強度は小さい。これに反し、日射、水分の供給が遮断されていた部位(ゴム堰内)では、ひび割れ密度は小さく、強度は大きい”。と示されている。これは、ゴム堰を保護塗膜に置き換えると、その効果は「劣化環境の緩和」という役割を果たすと考えられる。写真1にゴム堰ダム遠景とゴム堰取り外し後のコンクリート外観を示す。



(a) ASRによって損傷を受けたコンクリート擁壁



(b) ゴム堰側の表面劣化状況(右岸)

写真1 ゴム堰での保護効果の裏付け

(3) 保護塗膜への要求性能

1) 劣化要因の遮断

保護塗膜の劣化要因に対する拡散抵抗は、コンクリートより大きい。その効果をコンクリートの相当厚さに換算するとわかりやすい。高分子の拡散は一般に次のように理解されている⁷⁾。“高分子の拡散性は、ポリマー分子鎖が熱運動によって生ずるルーズな空間を気体が移動する度合いを表すもので、ポリマー分子鎖のミクロ運動に大きく依存する。拡散に影響を及ぼす構造的因子は、①分子の極性、②水素結合、③分子鎖の剛直性、④結晶化度、⑤架橋密度である”。一般に、ゴム状の弾性系は拡散しやすく、エポキシ樹脂のように三次元網目構造の樹脂は拡散抵抗性が高いといえる。また、水蒸気のように極性の高い物質の透過性は、水系(エマルジョン)の塗材は親水性があるため、透過しやすくなる。

2) アクリルゴム系保護塗膜の拡散抵抗性(1984)

アクリルゴム系保護塗膜(水系で、厚さ約1mm)の拡散抵抗性(水、空気、塩化物イオン、

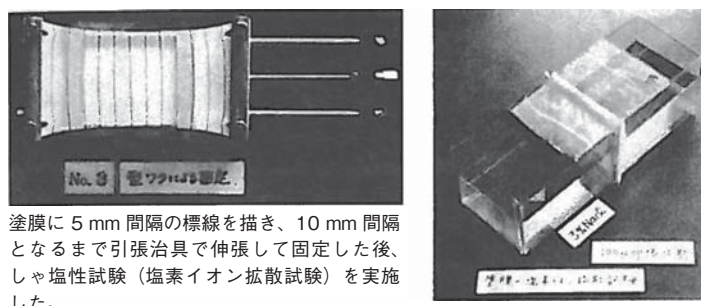
水蒸気) の例を示す⁸⁾。

写真2にコンクリートのひび割れを考慮して、塗膜を100%伸長して、測定した。

図3に各劣化要因(水、空気、塩化物イオン、水蒸気)に対する試験概要を示した^{5)、8)}。

表2に示すようにアクリルゴム系保護塗膜の1mm厚さは空気(酸素、二酸化炭素)に対し、コンクリートの厚さ1,100~5,000mm、塩化物イオンに対しては1,200~4,300mm厚さに相当している。100%伸長した状態では、空気、塩素イオンに対する透過性は2~4倍に増加しているが、コンクリートの1m程度のかぶり厚さに相当している。

図4にエマルションの成膜過程モデルと塗膜の遮塩性をアクリレートのガラス転移温度(Tg点)、樹脂量との関連を示す。エマルションの成膜過程から、ポリマー粒子が硬いと成膜過程で隙間ができ、遮塩性は低下するため、Tg点の低いアクリレートを使用する。また、塗膜中のポリマー量を少なくすると遮塩性は低下する。



塗膜に5mm間隔の標線を描き、10mm間隔となるまで引張治具で伸張して固定した後、しゃ塩性試験(塩素イオン拡散試験)を実施した。

写真2 アクリルゴム系保護塗膜(アロンコートST)の伸張時のしゃ塩性能試験

項目	透水量	空気透過性	塩素イオン	水蒸気透過
試験概要				
単位	mℓ	cc/m・hr・mmHg 注1)	cm ² /sec 注2)	g/m ² ・day
参考	JIS A 6910 複層仕上塗材	JIS Z 7126 プラスチック及びシート の気体透過度試験方法	道路橋の塩害対策指針 (案)	JIS Z 0208 防湿包装材料の透湿度試験法 (カップ法)
注1)・空気透過率 R (cc/m・hr・mmHg) $R = H \cdot \frac{V}{S} + \frac{\ell}{760 + P}$ H: 1時間当りの圧力低下 (mmHg/hr) V: 低圧側の空間容積 (cc) S: 透過面積 (m ²) ℓ: 材厚 (m) P: 低圧側の初期圧力 (mmHg)		注2)・塩素イオンの見掛の拡散係数 D (cm ² /sec) $D = \frac{Q}{t} \cdot \frac{\ell}{C}$ Q: 透過速度が一定になってから時間 t (sec)の間に透過する塩素イオン量 (mole/cm ²) ℓ: 材厚 (cm) C: 初期の塩素イオン濃度差 (mole/cm ²)		

図3 透過試験概要

表2 アクリルゴム系保護塗膜（主材+トップコート）のガス透過性

		透水量 (mℓ)	空気透過率 (cc/m・hr・mmHg)	塩素イオン拡散係数 (cm ² /sec)	水蒸気透過 (g/m ² ・day)
アクリルゴム系保護塗膜	伸張なし	0.0	2.8×10^{-4}	1.4×10^{-11}	12.5
	100%伸張状態	0.1	4.3×10^{-4}	5.3×10^{-11}	—
コンクリート板		72	1.4	6.0×10^{-8}	50.4 1/2 モルタル
		↓	↓	↓	↓
相当コンクリート厚さ (mm)		720 ~ 800	1100 ~ 5000	1200 ~ 4300	≒ 40 (1/2 モルタル)

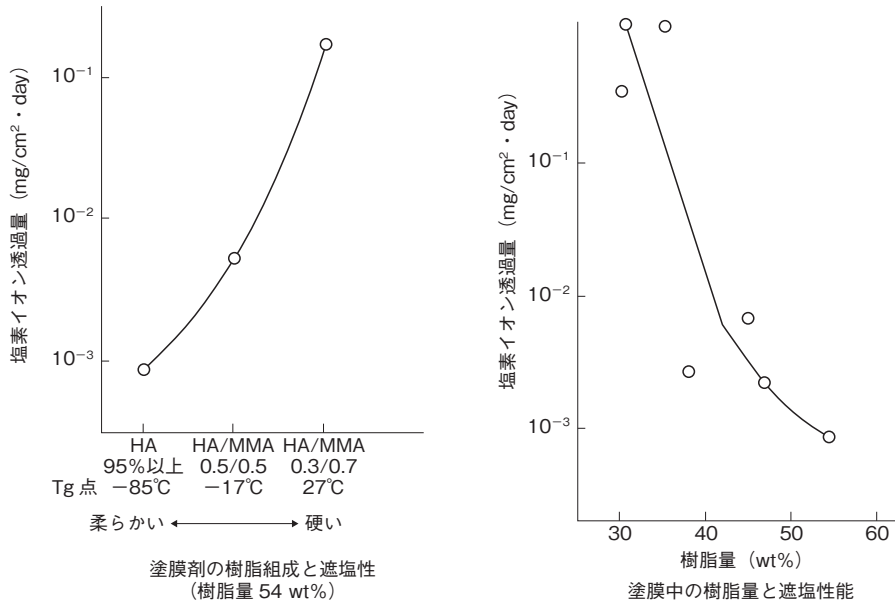
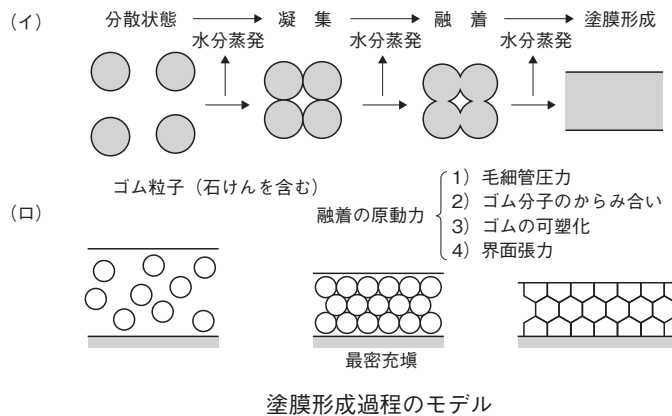


図4 エマルションの成膜過程／遮塩性に及ぼす塗膜中のアクリルのTg点と樹脂量との関連

3) 保護塗膜のひび割れ追従性

保護塗膜には、種々のひび割れ（単純伸び、繰り返し、伸び時の劣化）に対し、10年以上の追従性が求められる。対応すべきひび割れ例として、本四技報（1991年）⁹⁾に“マス

コンクリートへの塗膜は、ひび割れが季節的に変動しており、これへの追従性を含めた耐久性に着目される。塔基礎天端では、気温1℃当たり15 μm程度の動きがあり、夏には0.1 mm幅のものが冬には0.5 mm程度に拡大する。即ち、400%拡張することになる”と示されている。ひび割れに対する保護塗膜の追従性は、繰り返し耐疲労性で評価する必要がある。その繰り返しプログラムはJIS A 1436「建築用被膜材料の下地不連続部における耐疲労性試験方法」¹⁰⁾、日本建築学会標準仕様書 JASS 8「防水工事」(メンブレン防水層の性能評価試験方法、疲労試験)¹¹⁾に示されている。

4) コンクリートとの一体性 (低モジュラス性)

コンクリート自体が伸び縮みするため、保護塗膜がコンクリート表面から破壊、肌別れせず一体化して保護機能を維持することが必要である。そのためには、ヤング係数の小さい塗材が好ましい。表3にアクリルゴムのヤング係数を示すように、コンクリートの約3万分の1である。コンクリート下地の動的挙動に対し、力学的な負荷を掛けることなく一体化してコンクリートを保護できる。

表3 保護塗膜とコンクリートとのヤング係数の比較

		ヤング係数 (N/mm ²)	コンクリートに対する比
コンクリート		2.3×10^4	1
保護塗膜	アクリルゴム系	7.5×10^{-1}	1/30,000
	エポキシ樹脂系	2.0×10^3	1/12 (値が接近し、力学的影響あり)

3. コンクリート造の劣化防止に関する実証実験

アクリルゴム系保護塗膜による、中性化、塩害、アルカリ骨材反応、凍害についての実証実験結果を以下に示す。

(1) 中性化による劣化防止 (ひび割れ部での中性化抑制効果)

東京工業大学 建築物理研究センター 田中享二教授の研究¹²⁾(2006)を以下に引用する。日本建築学会論文集での「塗膜防水層下のコンクリートのひび割れ部分の炭酸化」で“コンクリートの炭酸化抑制には、仕上塗材や防水材の塗布が有効である。しかし、鉄筋コンクリート建物では、ひび割れの発生を完全に抑制することは難しいとされている。従ってひび割れ部でも炭酸化抑制効果が保証されなければ、真の意味でこれらの材料が有効であることにはならない”と示している。

炭酸ガス濃度10%の1ヵ月の促進試験で、一般部では中性化深さが10 mm程度に対し、1 mm幅のひび割れ部では83 mmに達した。アクリルゴム系保護塗膜はひび割れ部に追従し、中性化抑制効果を示した。写真3にひび割れ部での中性化進行を保護塗膜の有無で示す。写真4に塗膜のひび割れ部での伸長状態を示す。

アクリルゴム系塗膜：ひび割れ部（1 mm 幅）での中性化防止

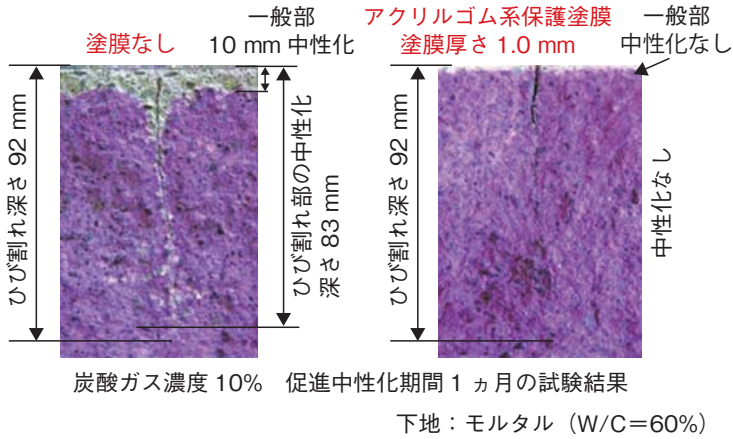


写真3 ひび割れ部での中性化進行

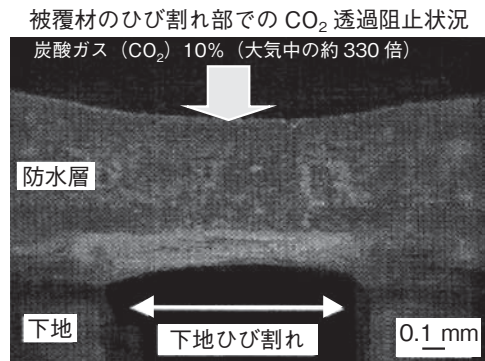


写真4 ひび割れ部での保護塗膜の伸長状態

(2) 塩害劣化の防止

1) 補修時に内在する塩害劣化要因に対する保護効果

建設省建築研究所 コンクリート研究室 榎田佳寛室長との共同研究結果（1987～1993）を以下に示す^{13)～15)}。

表4に補修対象のコンクリート造の劣化状態を、「実験Ⅰ」は外的な損傷はないが、内部

表4 供試体の構成

実験	I 鉄筋腐食要因の内在	II マクロセルの形成	III ひび割れの発生																						
コンクリート供試体	形状																								
	かぶり厚さ	a, c: 30 × 15 mm b, d: 40 × 40 mm	a, c: 30 × 15 mm b, d: 40 × 40 mm	a, c, b, d: 20 × 20 mm																					
	塩分量	0.3, 0.6, 1.0%	0/0.3, 0/0.6%	0.1, 0.3%																					
	含水状態	絶乾、気乾、湿潤	気乾	気乾																					
	中性化深さ	15～25 mm	15～25 mm	5～15 mm																					
コンクリート配合	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">最大資材寸法 (mm)</th> <th rowspan="2">水セメント比 (%)</th> <th rowspan="2">細骨材率 (%)</th> <th rowspan="2">空気量 (%)</th> <th rowspan="2">スランブ (cm)</th> <th colspan="4">単位量 (kg/m³)</th> </tr> <tr> <th>水</th> <th>セメント</th> <th>細骨材</th> <th>粗骨材</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25</td> <td>65</td> <td>47</td> <td>4</td> <td>18</td> <td>185</td> <td>285</td> <td>847</td> <td>958</td> </tr> </tbody> </table>		最大資材寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	スランブ (cm)	単位量 (kg/m ³)				水	セメント	細骨材	粗骨材	25	65	47	4	18	185	285	847	958	
最大資材寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)						空気量 (%)	スランブ (cm)	単位量 (kg/m ³)															
			水	セメント	細骨材	粗骨材																			
25	65	47	4	18	185	285	847	958																	
アクリルゴム系保護塗膜 伸び率、強さ（樹脂量）を表示	防水材 A 330%、25 kgf/cm ² （樹脂量 54%）	防水材 A 330%、25 kgf/cm ² （樹脂量 54%）	A 330%、25 kgf/cm ² （樹脂量 54%） B 810%、27 kgf/cm ² （樹脂量 54%） C 175%、28 kgf/cm ² （樹脂量 34%）																						

に鉄筋腐食要因（塩分、水分、中性化）を内在、「実験Ⅱ」は断面修復材と旧コンクリート界面に生じる塩分の濃淡分布（マクロセル）、「実験Ⅲ」はひび割れが鉄筋まで達している場合、の3種類に分類して実験した。

促進試験は高温（60℃）高湿（40% RH ⇔ 100% RH）劣化試験、塩害促進劣化試験（3% 塩水シャワー⇔50℃乾燥）を行い、自然暴露（1～3年）を実施した。塩分0.6%までの供試体で、コンクリートのかぶり厚さを50～100 mm 厚さ増加させた塩害防止効果を示した。鉄筋腐食は塩分濃淡部界面で生じやすいこと、塗材の樹脂量が少ないと鉄筋腐食防止効果が小さい（1990）。写真5に試験体の暴露状況を示す。

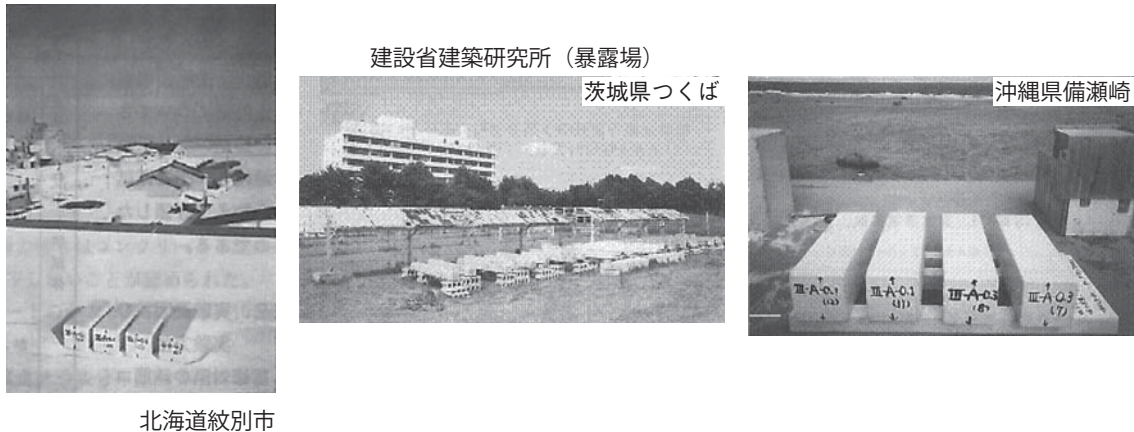


写真5 北海道、つくば、沖縄暴露状況

2) 保護塗膜によるコンクリート中への塩分浸透防止に関する実験（1996）

英国シェフィールド大学（工学部）R. N. Swamy 教授、運輸省港湾技術研究所（構造研究室）濱田秀則主任研究員¹⁶⁾らと、水セメント比（W/C）を変えたコンクリート供試体 No.1 (0.45)、No.2 (0.60)、No.3 (0.75) に対し、乾湿繰り返しでの塩分浸透を実験した。試験は4%のNaCl溶液（約15℃）を7日間供試体の上部表面に貯留し、その後溶液除去し、3日間実験室内での自然乾燥を行った。10日間を1サイクルとして、60サイクルまで行った。

写真6に試験状況、図5に無塗布コンクリート、図6にアクリルゴム系保護塗膜被覆の塩分浸透結果を示すように塩分浸透を抑制した。



写真6 NaCl溶液の浸透実験

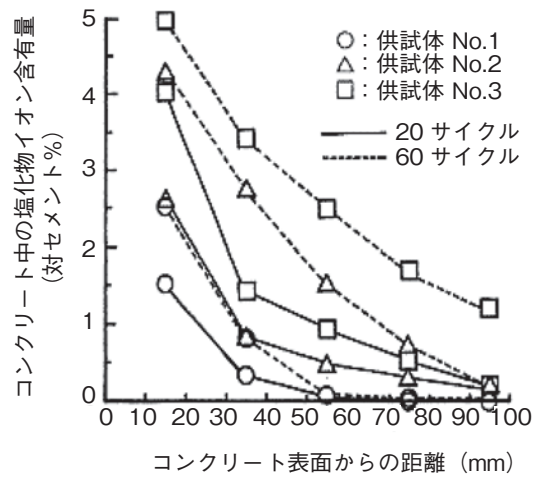


図5 普通コンクリート中の塩化物イオン含有量

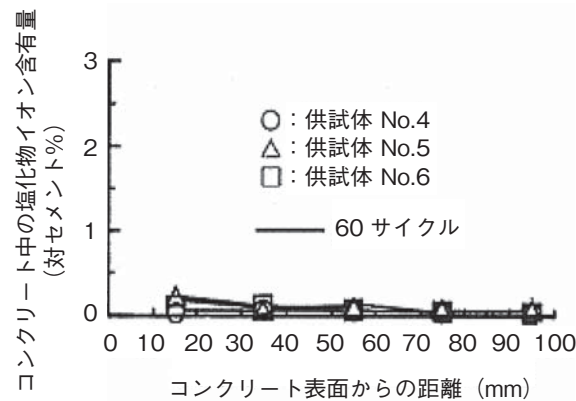


図6 アクリルゴム系保護塗膜を施した
コンクリート中の塩化物イオン含有量

3) 実大 RC 構造物を用いた沖縄海岸暴露実験結果 (1996)

琉球大学 工学部(建設工学) 大城武教授らとの共同研究結果(1984年～2003年解体)は、以下の通りである¹⁷⁾。本実験は、長期の塩害防止機能を把握する目的で、暴露そのものが本州よりも促進試験となる高温・多湿の亜熱帯気象下の沖縄県の海岸で実大の鉄筋コンクリート造による暴露実験を行った。保護塗膜の選定は、アクリルゴム系、ウレタンゴム系、ポリブタジエンゴム系塗膜を対象に耐候性、ひび割れ追従性、塩害の促進試験の結果、紫外線、オゾンの環境下で最も優れていたアクリルゴム系保護塗膜を採用した。写真7に構造物外観、写真8に暴露3年後試験状況、図7に構造物水準を示した。結果は、表5にひび割れ状況、図8¹⁸⁾に暴露10年後の塩分浸透状況示した。アクリルゴム系保護塗膜は暴露10年も塩分を防止し、当初より塩分を内在するコンクリートに対しても鉄筋腐食を抑制した。

なお、JASS 5「鉄筋コンクリート工事」(2009)¹⁸⁾には、“表面被覆材の遮塩性には幅があるが、アクリルゴム系塗膜は、飛来塩分をほぼ完全に遮断するとの報告がある”と記載され (p.604)、JASS 5N¹⁹⁾「原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事 (2001)」にも同様に記載されている。



写真7 RC 実験構造物外観

初期塩分 0.5% を含む柱の状況



写真8 暴露3年後の試験状況

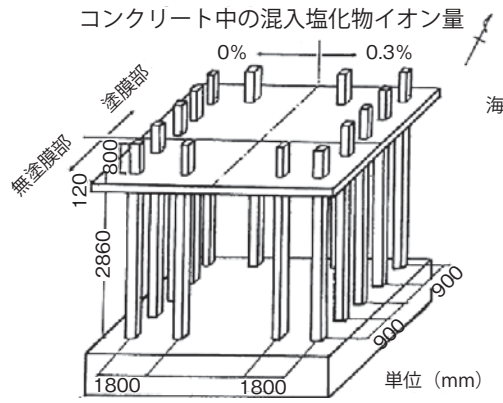


図7 RC 実験構造物の水準

表5 コンクリートのひび割れ

塗膜の種類	無塩部 (0%)	有塩部 (0.3%)
無塗膜部	暴露 3.5 年でひび割れ (0.1 ~ 0.3 mm)	暴露 3 ヶ月でひび割れ (0.1 ~ 0.3 mm)
塗膜部	暴露 10 年後でひび割れなし	暴露 7 年で微細なひび割れ (0.1 mm)

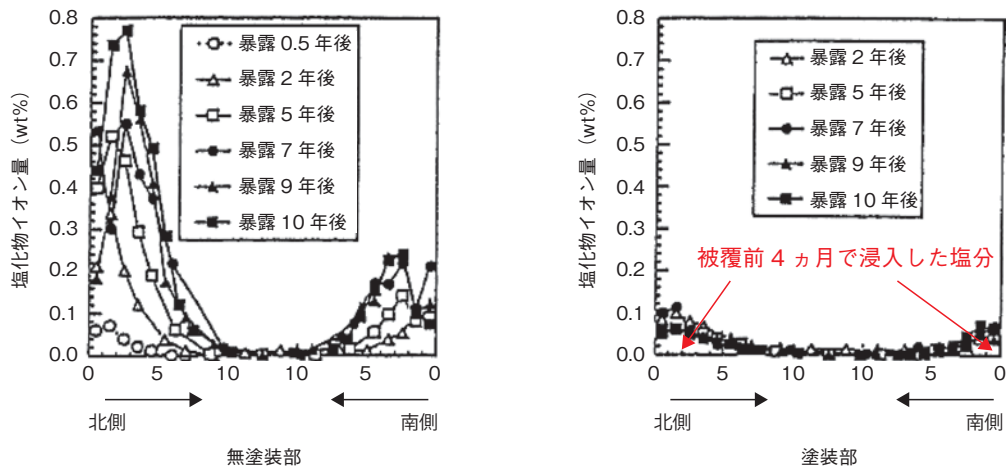


図8 暴露10年後の浸透塩分量

(3) アルカリ骨材反応 (ASR) 劣化に対する抑制

1) 異なる自然環境下 (温度、外部塩分の影響) での ASR による膨張とひび割れ

金沢大学 工学部 (土木建設) 川村満紀教授らと、共同研究 (1984 ~ 1994) 成果^{20)、21)、22)}を以下に示す。

図9に供試体、図10に暴露箇所、写真9に暴露状況を示した。

図11に、アクリルゴム保護塗膜被覆品の屋上暴露での膨張量を示す。暴露8.6年後も単位セメント量 $300 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ までのコンクリートに対して、ASR膨張とひび割れ抑制効果を発揮した。写真10に示すように、単位セメント量が 400 kg/m^3 の供試体の非塗膜品にはASRによるひび割れが多く認められた。被覆品は、上面の塗膜部を剥ぎ取ってコンクリート表面を露出させて観察したが、ASR膨張によるひび割れは認められなかった。但し、単位セメント量が 500 kg/m^3 となると被覆品にもひび割れ発生が認められた。

図12に海岸暴露結果を示すように、単位セメント量が 450 kg/m^3 塗では塗膜部のASR抑制効果が現れている。ASR膨張率は、海岸よりも日射による温度上昇が高いと思われる屋上の方が大きかった (温度の膨張促進影響大)。

日本コンクリート工学論文 (1996) に、以下のようにまとめている。

- ①自然環境下に暴露した供試体は、季節による環境条件の変化を反映した階段状の膨張挙動を示す。気温の高い夏季のASR膨張は速く、冬季では遅くなる。

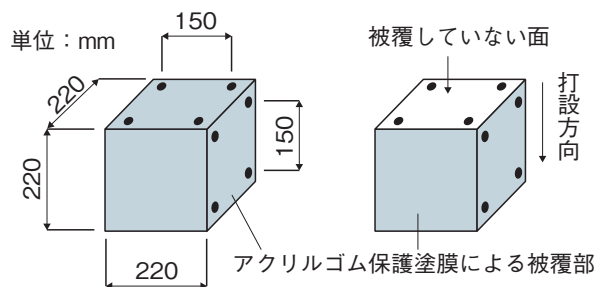


図9 自然環境下における暴露試験用の供試体



図 10 自然環境下における暴露試験の実施位置



写真 9 暴露状況 (金沢大学屋上／松任海岸)

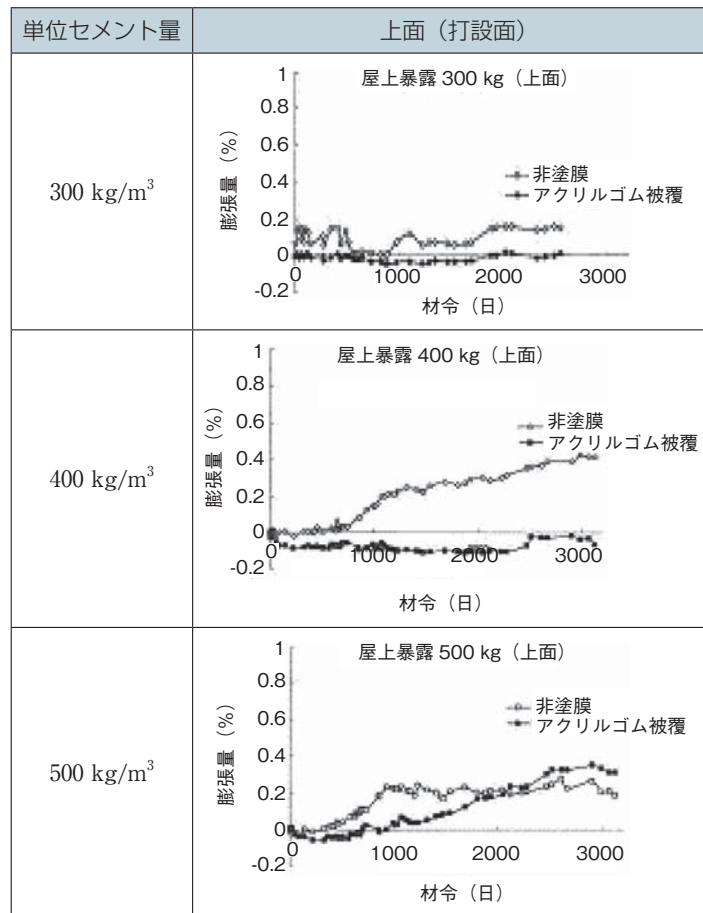


図 11 屋上暴露品の ASR による膨張率

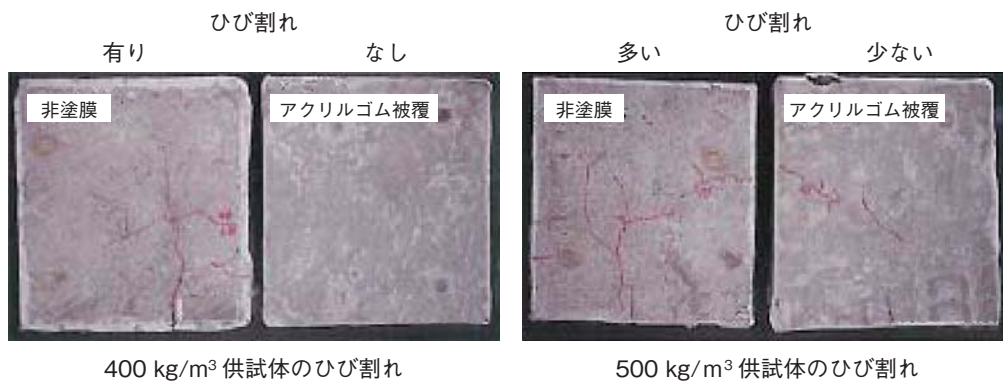


写真10 コンクリート上面のひび割れ

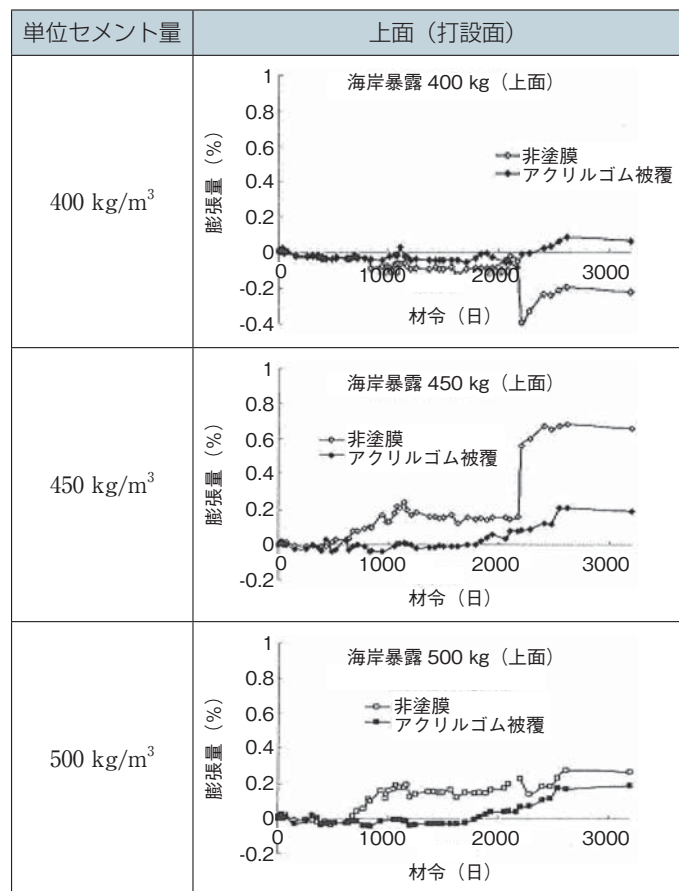


図12 海岸暴露品のASRによる膨張率

- ②単位セメント量の比較的小さな供試体では、防水材による被覆は、アルカリシリカ膨張を長期間抑制する効果がある。しかし、単位セメント量の大きな供試体では、被覆することによって膨張の開始と速度は遅くなったが長期の膨張量は減少しなかった。
- ③海洋環境に暴露した供試体は、長期間経過後において海水が浸入するような条件に変化すると、単位セメント量の比較的小さなもの（450 kg/m³）でも膨張が生じる可能性がある。
- ④自然環境に暴露した供試体は、乾湿の繰り返しや温度差によってひび割れが発生した後に膨張が進行するが、湿気槽中に置かれた供試体は、膨張量が0.03から0.045%に達するとひび割れが発生する。

2) 持続荷重下でのアルカリ骨材反応 (ASR) 膨張圧の低減効果

持続荷重下および ASR の影響下にある RC はりおよび RC 柱の内部応力に及ぼす保護塗膜の効果に関する、英国シェフィールド大学 R. N. Swamy 教授、運輸省港湾技術研究所濱田秀則主任研究員らとの共同研究成果^{23)、24)、25)} (1990～1995) を以下に示す。

ASR の生じた RC はり部材は 0～20% の耐力低下が報告されているが、持続荷重下での RC 部材の内部応力の特性については研究されていない。コンクリートの膨張のみの観点ではなく、構造的な観点から表面被覆の効果を実験した。

【はり供試体：持続荷重の実験結果】

図 13、写真 11 に、はり供試体と荷重状況を示す。

表 6 に試験水準を示す。図 14 に ASR による仮想外力の経時変化を示す。仮想外力の方向は、B2、B3、B4 はでは引張方向、B1 では圧縮方向である。

B3、B4 はほとんど等しい大きさの引張力となっており、B4 に施された表面被覆の効果はまったく認められない。これは、表面被覆を実施した時期が遅かったこと、ならびに表面被覆上面は被覆されておらず NaCl 溶液の浸透をさせたことがその原因であると考えられる。一方、B2 の場合引張方向外力が示されているものの、B3、B4 に比べるとその大きさは極めて小さく、表面被覆の効果を明確に認めることができる。また、B1 においては、ASR による膨張よりも乾燥収縮の方位が卓越したものと考えられる (1994)。

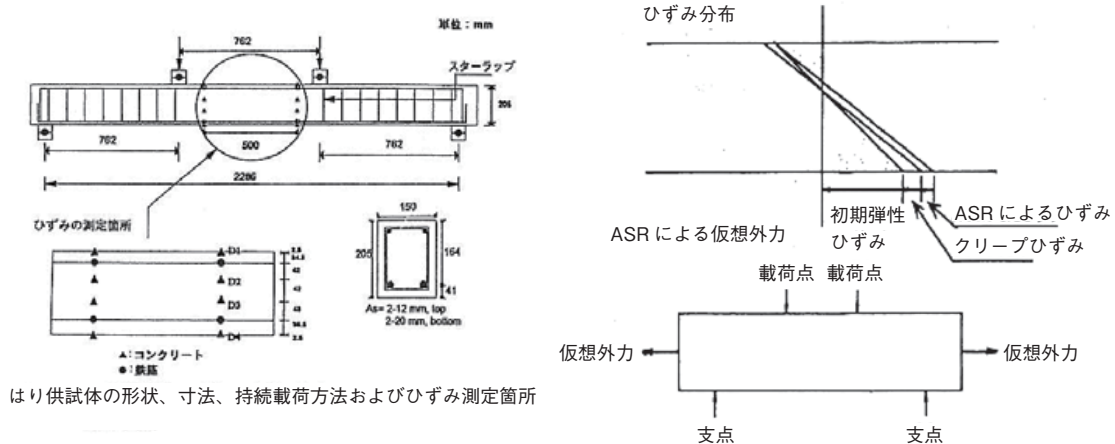


図 13 はり供試体



写真 11 はり供試体の持続荷重実験

表6 はり供試体の水準 (B2、B3 アクリルゴム系保護塗膜)

種別	番号	コンクリートの保護塗膜	養生状態
はり	B1	なし	乾燥状態を継続
	B2	載荷、暴露開始前に実施 (全面塗装)	NaCl 溶液による湿潤状態
	B3	なし	NaCl 溶液による湿潤状態
	B4	載荷、暴露中に実施 (上面は非塗装)	NaCl 溶液による湿潤状態

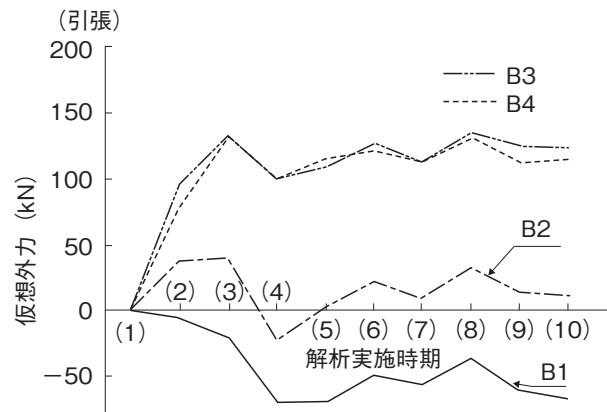


図14 はり供試体、仮想外力の経時変化 (B2、B4 アクリルゴム系保護塗膜)

【柱供試体：持続荷重下の実験結果】

図15に柱荷重実験の供試体を、写真12に荷重状況を示す。

表7に示した供試体水準での仮想外力の経時変化を図16に示す。外力の方向はC2、C3、C4では引張方向、C1では圧縮方向である。

C3に施された表面被覆の効果は認められなかった。これは、表面被覆を実施した時期が遅かったことがその原因であると思われる。一方、C2の場合引張方向外力が示されているものの、C3、C5に比べるとその大きさは小さく表面被覆の効果を明確に認めることができる。C1においては、圧縮方向外力となっているが、B1 (はり) の場合と同様に ASR よりも乾燥収縮のほうが卓越したためと考えられる (1995)。

3) アクリルゴム系とエポキシ樹脂系の ASR 抑制効果の違い

「コンクリート橋のリハビリテーション」³⁾ (1997) の第5章 保護・防食、5.2.5、ASR 対策用のコンクリート表面処理 (p.159) に塗材の種類による ASR 抑制効果の違いが紹介されている。

“Swamy と Tanikawa (1992)²⁶⁾ は、室外のほかに3つの苛酷な促進環境に暴露したアクリルゴムコーティングの効果に関するデータを発表している。高弾性アクリルゴムがエポキシコーティングよりも効果的であり、もとのコンクリート強度の80%の強度を保持していた”と紹介されている (なお、透湿性は、アクリルゴム塗膜 (1,000 μm) 12.5 g/m²・日、エポキシ樹脂 (500 μm) は 3.8 g/m²・日である)。

塗膜の透湿性は、ASR 抑制に重要であり阪神高速道路規格²⁷⁾ (アルカリ骨材反応 F 種防水系に透湿性 5 ~ 15 g/m²・日 (可) 以上とされており、土木学会の表面保護工²⁸⁾ にも同

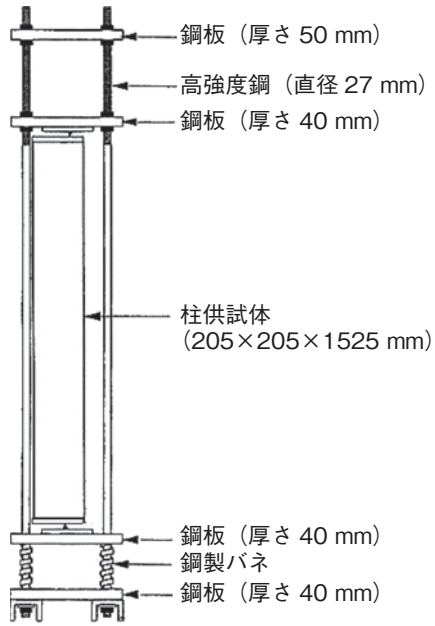


図 15 柱供試体



写真 12 柱供試体の実験荷重

表 7 柱供試体の水準 (C2、C3 アクリルゴム系保護塗膜)

種別	番号	コンクリートの保護塗膜	養生条件
柱	C1	なし	乾燥状態を継続
	C2	載荷、暴露開始前に実施 (全面塗装)	NaCl 溶液による湿潤状態
	C3	載荷、暴露中に実施 (全面塗装)	NaCl 溶液による湿潤状態
	C4	なし	NaCl 溶液による湿潤状態

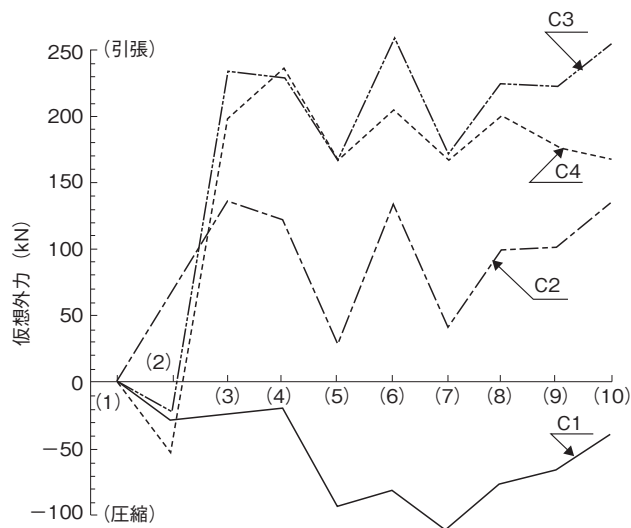


図 16 柱供試体の仮想外力の変化 (C2、C3 アクリルゴム系保護塗膜)

様の規格が示されている。

4) その他：高反射塗料（遮熱塗料）と ASR 構造物への適用例

遮熱効果に影響を与える塗料の要因として、色、光沢、膜厚、着色顔料の種類が日射吸収に与える影響を、東京工業大学 田中享二教授との共同研究を実施した²⁹⁾ (2005)。

塗装面の光の吸収率は明度 (L) と顔料の種類で決まり、光沢と膜厚の影響は有意とならなかった。明度の高い白色の反射率が最も高く、暗色となると吸収率が大きくなる。同色では、いわゆる遮熱塗料（顔料を工夫）の方が吸収率は小さいが、明度の水準を超えるものではない。

適用例として、写真 13 に示すようにコンクリート表面に白色系の保護塗膜で被覆すれば、ASR の劣化速度を遅くすることが可能と思われる。日射を受けた場合、塗装面は冷たく、コンクリート面は暖かく、指触で明らかな表面温度差を感じた (10℃程度の差)。



写真 13 ASR の発生した橋脚にアクリルゴム系保護塗膜の上塗材として高反射塗料を施工した事例

(4) 凍害：アクリルゴム系保護塗膜の寒冷地でのコンクリートの凍害防止実験

北海道大学 工学部（建築） 鎌田英治教授との共同研究（1992～2005）成果を示す³⁰⁾。寒冷地（北海道紋別市）での、コンクリートに対するアクリルゴム系保護塗膜の凍害防止効果を実験した。コンクリート供試体は凍害を促進するために消泡剤を使用して目標空気量を 1%とした（供試体 N）、AE 材を使用して目標空気量を 4.5%とした（供試体 A）、それに塩化物イオン 0.5%を添加した（供試体 S）の 3 種類で実験した。供試体は箱型とし、内部に砂を入れて水が溜まる構造とした。さらに上端部はつばをつけ建築物の底の形状を模擬した。

写真 14 に空気量 1%の 13 年後の状況を示す。被覆したコンクリートは凍害を受けなかったが、被覆しないものは、つば部で著しい凍害を受けた。

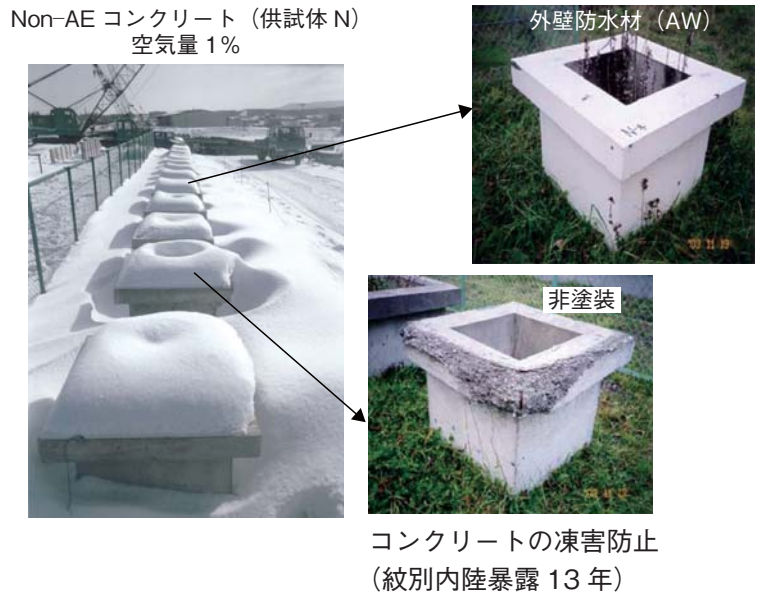


写真 14 凍害に対するアクリルゴム系保護塗膜の効果

(5) 保護塗膜の必要特性

上記の実験結果および実際の構造物に適用した経年調査から、コンクリート用保護塗膜としての長期にわたり機能を維持するために、次の3つの条件を備えていることが重要と考えている。

- ①柔軟性のあること。
*可塑剤は使用しない。可塑剤とは硬い高分子に添加して塑性を与える物質。
- ②膜厚のあること。
*保護塗膜の膜厚とひび割れ追従幅は、ほぼ正比例する。
- ③耐候性（耐久性）が最低10年はあること。
この3つが揃っていれば短期間（数年レベル）での保護塗膜の劣化は少なさそうである。

4. 高分子系保護塗膜とその劣化

(1) 無機化合物との違い

無機物は燃えない（酸素に対し安定）、紫外線で劣化しない、朽ちないという特徴を有している。無機材料のコンクリートは100年以上もつ材料であるが、ひび割れ発生や塩分も浸透しやすい問題を抱えている。鉄筋も無機物（金属）であるが、空気中の酸素と著しく反応し、腐食劣化に常に悩まされる。建築材料の代表的な無機物として、タイルやレンガがあり、そのもの自体の耐久性はほぼ永久的であるが、目地モルタルの耐久性に問題があり、その面積は14～19%と大きい。

(2) 保護塗膜と劣化

1) 保護塗膜の種類

建築用保護塗材として、JIS A 6909「建築用仕上塗材」に分類される合成樹脂（主にアクリル樹脂系）およびJIS A 6021「外壁用塗膜防水材」に分類されるアクリルゴム系、ウレタンゴム系、クロロプレンゴム系がある。コンクリート橋の保護塗膜として溶剤型アクリル系、エポキシ樹脂系、弾性系（弾性エポキシ樹脂系、ウレタンゴム系、ポリブタジエンゴム系、アクリルゴム系、クロロプレンゴム系）、ガラスフレーク系（ビニルエステル、エポキシ、タールエポキシ）、ポリマーセメント系材がある。

2) 保護塗膜の劣化に対する考え方

保護塗材は全て有機物（炭素化合物）であり、酸素、紫外線、水、熱、オゾン、下地コンクリートのアルカリ（加水分解）の影響を受ける。

耐久性は、光、熱などなどの静的なもの、ひび割れの繰り返し・伸び時の劣化などの動的なものに大別される。有機物に対する劣化要因として、①耐光性（紫外線）、②耐熱性、③耐オゾン性、④耐水性・耐アルカリ性、⑤耐薬品性（酸性雨、 SO_x 、 NO_x ）、⑥耐微生物性、⑦耐疲労性等があげられる。

3) 紫外線、熱、オゾンによる劣化^{31) ~ 36)} (谷川伸 博士論文 1990 より引用)

表記を以下に要約して示す。

- ①高分子の劣化反応を起こさせるエネルギー源に光と熱がある。太陽光の300～400 nmの領域の波長は化学反応を促進させるので、この紫外線領域の波長を吸収すると光化学反応によるポリマーの劣化が始まる。
- ②300 nmの波長の有する光化学エネルギーは380 kJ/molであり、ポリマーの結合エネルギーの170～420 kJ/molに相当し、ポリマーの劣化を引き起こす。
- ③従って、結合エネルギーの高いポリマーで構成された保護塗膜ほど耐候性は良い。
- ④熱劣化は、酸素の介在による自動酸化反応が熱で促進されて生じる。酸化反応の途中で中間生成物のヒドロパーオキシド（ROOH）を形成し、高分子の切断または架橋反応の何れかが起こる。
- ⑤温度による劣化促進はアレニウス式（注*）に基づいて、温度が10℃上昇すると寿命が半減するという考え方は広く支持されてきたが、温度の影響は、ポリマーの種類によって一律でないこともわかってきた。
- ⑥防水材の熱劣化の研究として、合成高分子ルーフィング（ブチル／エチレン・プロピレン・ターポリマー）の各温度における400時間後の伸びの低下は、70℃で5%、90℃で25%、110℃で42%と温度が高くなる程劣化は早い。
- ⑦日平均気温、日平均風速、日積算日射量をもとに、日本の熱劣化負荷地図が提案されたが、熱だけでなく、日射の紫外線量、雨水の影響を考慮すべきと指摘されている。
- ⑧弾性仕上材について、建設省建築研究所の暴露試験場の南面で傾斜角度が30度では、黒色のトップコート表面の温度が夏場で60～65℃に達するという結果にもとづいて、60℃での促進試験を1,000時間まで実施し、塗材の伸び性能を評価している。その結果、塗材によって伸び低下のないものと、半分に低下したもの等であった。

- ⑨オゾン劣化に対する関心は、第二次大戦中、米軍から世界各国に配布された軍需用の SBR（スチレン・ブタジエン）系ゴムタイヤが、紫外線の影響を受けない倉庫の中で表面に亀裂が生じ、使用に耐えなくなったことから始まった。
- ⑩大気中のオゾン濃度は 4 ppm (ppm の 1/100 の単位) で、光化学スモッグ中では 20 ~ 30 ppm となる。オゾン劣化はゴムに応力が加えられた場合、その直角方向に亀裂が生じる。
- ⑪劣化機構は、ポリマーの不飽和二重結合 (-C=C-) にオゾン (O₃) が付加し、オゾナイドを作り、分子切断を発生させる。ポリマー中に二重結合を有するものは、本質的にオゾン劣化を受けやすい。

(注*)

化学反応速度の温度依存性 (アレニウス式)

$$K = Ae^{-E/RT}$$

K: 反応速度定数

A: 頻度因子

E: 活性化エネルギー (kJ/mol)

T: 絶対温度

R: 気体定数 (8.306 J/mol)

4) 紫外線劣化

表 8^{35) ~ 37)} にポリマーの化学結合と結合解離エネルギーを示す。アクリルゴム系保護塗膜の C-C 結合は 350 kJ/mol であるが、ウレタン結合 (-CONH-の C-N) は 290 kJ/mol と小さいため紫外線劣化を受けやすい。

表 8 各種結合の結合解離エネルギー

化学結合	解離エネルギー (KJ/mol)	化学結合	解離エネルギー (KJ/mol)
C-C	350	N-H	350
C-H	440	Si-O	370
C-O	360	Si-C	290
C=O	730	Si-H	310
C-N	290	C-F	497

表 9³⁸⁾ に下地基板上のアクリルゴム系、ウレタンゴム系、ポリブタジエンゴム系塗膜を基板に 0.1、0.3、1.0、3.0 mm のひび割れ幅を入れて、力学的に拘束 (塗膜の伸び時の劣化) してオゾンおよび紫外線に暴露した。ポリブタジエンゴム塗膜はオゾンで、ウレタンゴム系塗膜は紫外線で破断劣化を受けた (1987 コンクリート工学年次大会発表)。

写真 15 に応力下のアクリルゴム系保護塗膜の紫外線処理後の状況 (伸長部でも異常なし)、写真 16 ポリブタジエンゴム塗膜のオゾン劣化 (伸長部で塗膜亀裂) をそれぞれ示す。

表9 弾性塗膜材伸張時のオゾンおよび紫外線劣化

劣化処理	固定ひび割れ幅	アクリルゴム系		ウレタンゴム系		ポリブタジエンゴム系	
		下塗+中塗	下塗+中塗+上塗	下塗+中塗	下塗+中塗+上塗	下塗+中塗	下塗+中塗+上塗
オゾン劣化 (75 pphm × 168 hr)	0.1 mm					中塗材ひび割れ	
	0.3 mm					中塗材ひび割れ	上塗材中塗材共破断
	1.0 mm					中塗材ひび割れ	破断
	3.0 mm				上塗材破断	完全破断	完全破断
紫外線劣化 (1,000 hr)	0.1 mm			亀甲状の表面亀裂		星状のひび割れ	上塗材ひび割れ
	0.3 mm			表面亀裂	上塗材亀裂		
	1.0 mm			亀裂	上塗材ひび割れ	星状のひび割れ	
	3.0 mm			表面亀裂 / 中塗材破断	中塗材ピンホール / 上塗材破断	ピンホール	上塗材ひび割れ

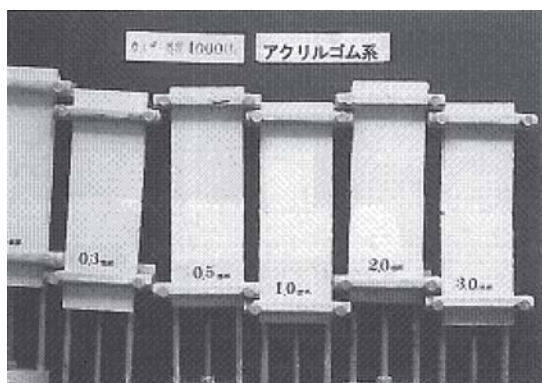


写真15 アクリルゴム系保護塗膜 (紫外線処理)

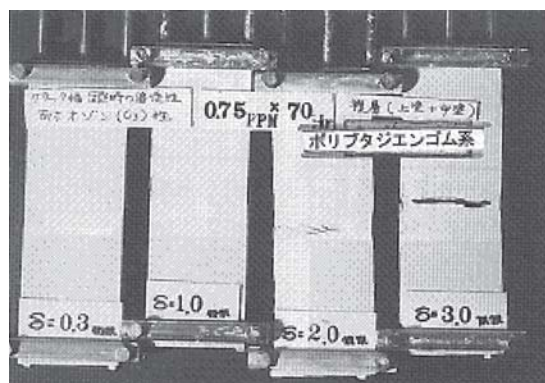


写真16 ポリブタジエンゴム系保護塗膜 (オゾン処理)

(3) アクリルゴム系保護塗膜の化学

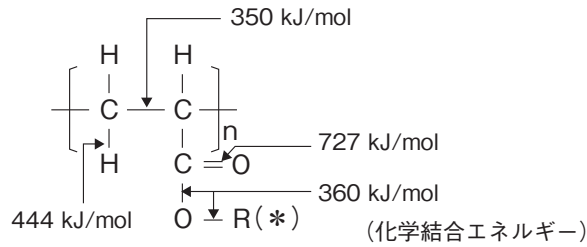
東亜合成では、アクリルゴムの3原則として、

- ① 2-エチルヘキシルアクリレート (Tg -60℃) を 90 wt%以上含むこと。
- ② 塗膜中の樹脂量は 50 wt%以上であること。
- ③ 可塑剤 (見掛けの Tg を下げる外部可塑剤) は 1%以下であること。

この3点が揃っていれば、長期の耐久性を確保できると考えている。

図17 にアクリルポリマーの分子式と結合エネルギー、図18 にアクリルモノマーのアルキル基による Tg の違いを示す。C 数が1では Tg は 0℃、C 数が7では -65℃程度の柔軟

なポリマーとなる。図 19 は塗膜中のアルキルポリマー（線状高分子）と骨材との配合を示す。写真 17 に塗膜中のポリマー重量%の分析法と可塑剤の抽出法を示す。



(*) R : アルキル基

- ・メチル基 (-CH₃)、・エチル基 (-C₂H₅)
- ・ブチル基 (-C₄H₉)
- ・2-エチルヘキシル基 (-CH₂-CH₂-C₄H₉)
 $\begin{array}{c} | \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$

図 17 アクリルポリマーの分子構造

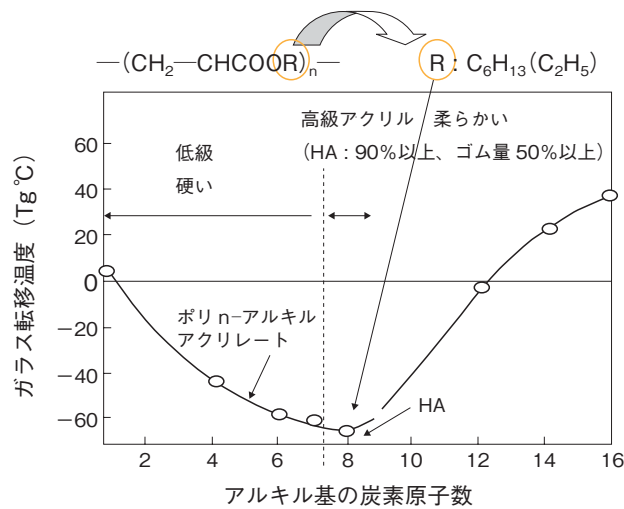


図 18 アクリルモノマーのアルキル基の炭素数による Tg 点の違い

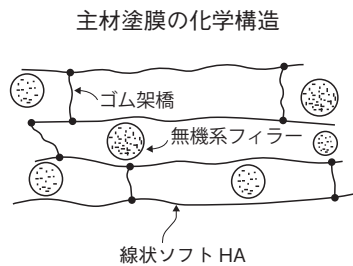


図 19 アクリルゴム系保護塗膜の化学構造の模式図

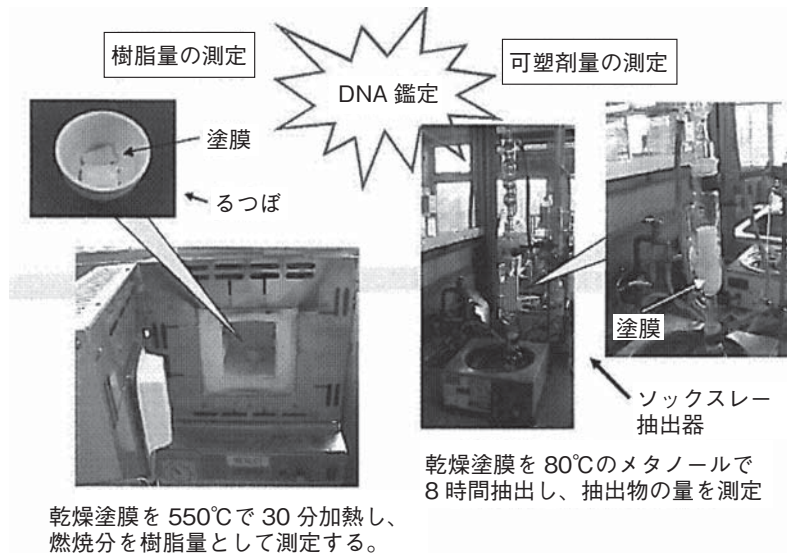


写真 17 樹脂量と可塑剤の測定方法

5. アクリルゴム系保護塗膜の耐用年数

(1) 促進試験での評価 (200 年相当)

表 10 に「アクリルゴム系保護塗膜 (1 mm 厚、2 mm 厚の 2 水準) + 仕上塗料」の複合塗膜をメタルウエザー促進暴露試験で 5,000 時間まで試験した結果を示す。メタルハライドランプを用いる試験機で、キセノンウエザーメータの数倍から数十倍といわれ、25 時間が約 1 年に相当するとしている。サンシャインウエザーメータの約 10 倍の促進倍率である。運転条件は 6 時間照射 (63°C、79% RH) ⇔ 2 時間結露 (30°C、98% RH、結露前に 10 秒間水噴射) で運転した。

アクリルゴム系保護塗膜を 2 mm 厚さとする、5000 時間 (200 年相当) 後も 2.2 mm の単純ゼロスパンテンション性能 (1 mm 厚の性能 0.8 mm の約 3 倍) を保持しており、超長寿命化には標準膜厚より厚くして対応する手法も有効である。遮塩性は 200 年相当の促進試

表 10 アクリルゴム系保護塗膜の 200 年相当の促進試験

促進試験時間 (相当年数)	0Hr (0 年)	250Hr (10 年)	500Hr (20 年)	750Hr (30 年)	1250Hr (50 年)	2500Hr (100 年)	5000Hr (200 年)
塗膜外観	—	○	△	▲	▲	▲	▲
ひび割れ 追従性	1 mm 厚	5.5	3.9	2.2	1.8	1.4	0.8
	2 mm 厚	12.0	8.6	5.2	4.1	3.5	2.2
遮塩性 (mg/cm ² ·day) (対初期値倍率)	3.86 × 10 ⁻³ (1)	6.58 × 10 ⁻³ (1.70)	(未測定)	7.62 × 10 ⁻³ (1.97)	(未測定)	1.00 × 10 ⁻² (2.59)	1.51 × 10 ⁻² (3.91)
備考	外観：○：異常なし、△仕上げ材ひび割れ発生、▲仕上塗料に細かいひび割れ多数						

験で、 $1.51 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ と初期の約 1/4 に低下し、遮塩性の回復は必要である。

写真 18 に示すように、ひび割れは仕上塗料のみで、保護塗膜には認められなかった。これらの結果と実績より、30 年から 50 年を区切りにした、塗り替えサイクルを組み立てていく必要がある。

写真 18 にメタルウエザー促進暴露試験機器の内部と処理後の塗膜サンプル写真（5000 時間）を示す。

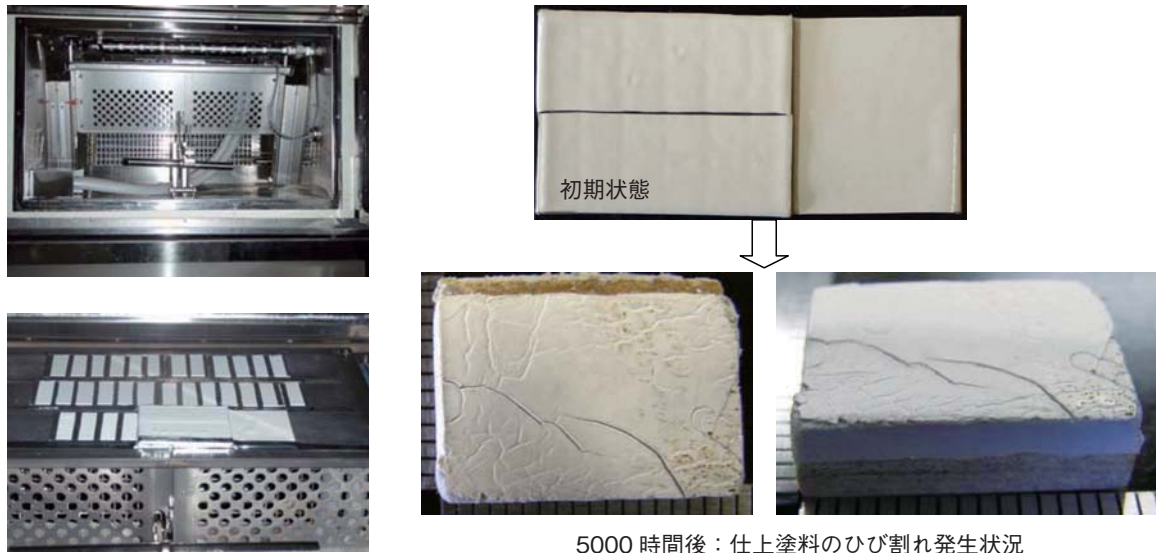


写真 18 メタルウエザー促進試験機と 5000 時間後の塗膜外観

(2) アクリルゴム系保護塗膜の実構造物での耐久性の確認

1) 建物外壁から採取した塗膜のひび割れ追従性

図 20³⁹⁾ に実際の構造物から塗膜を剥ぎ取り、ひび割れ追従性を測定した結果をプロットした。初期値を 4～5 mm の追従性とする、32 年後も 40～50% の性能を維持している。実測値はないが、プロットの傾きから 50 年経過後も、1 mm 以上の単純ひび割れ追従性は有していると思われる。最大限、50 年毎のメンテナンスサイクルが可能と思われる。

なお、印藤文夫⁴⁰⁾ は「マンション修繕・管理の実際」鹿島出版会（2006.11）で、“JIS A 6021 の規格によるアクリルゴム系化粧防水塗料の銘柄にも十数種類のものがあるが、メンテナンスも考慮に入れて長期間の効果を期待するには、アクリルゴム系樹脂固形分が 50% を超え、かつ、可塑剤を含まないもので、使用実績も 15 年を超えるものから選定する”と記載している。

1) 本州四国連絡橋（瀬戸大橋）：コンクリートケーソン上端部に施工した 17 年経過塗膜の性能

写真 19 に 17 年経過後のケーソン上端部の塗膜状況と試験塗膜採取状況を示す。

表 11 に 17 年経過までの塗膜物性を示す。ひび割れ追従性は、17 年後も 3.2 mm まで追

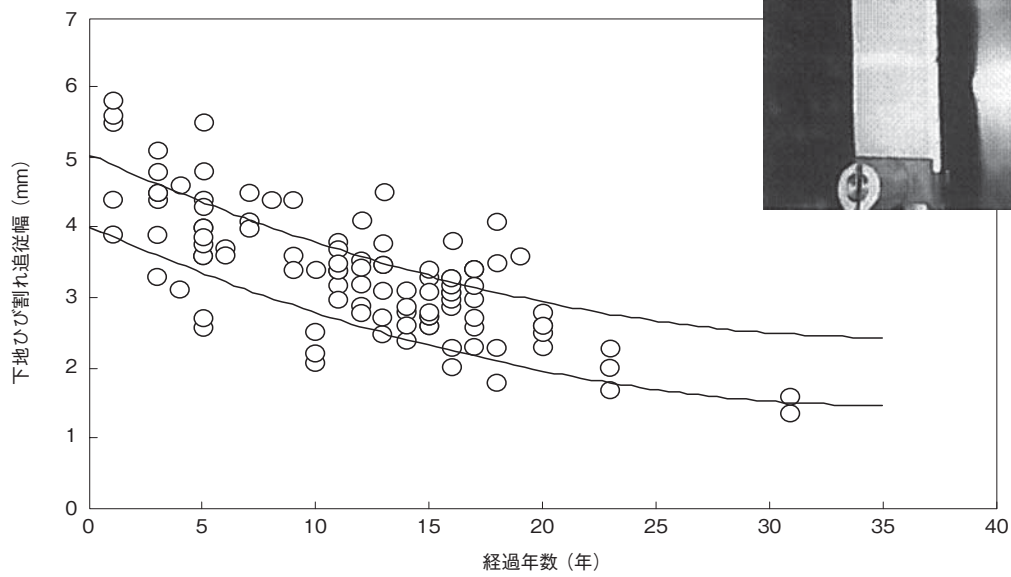


図 20 アクリルゴム系保護塗膜の実構造物での長期ひび割れ追従性



写真 19 本四連絡橋 17 年後の外観および塗膜採取状況

(写真は「本州四国連絡高速道路株式会社」よりの提供)

従できる単純ゼロスパンテンションと 1～2 mm までの耐疲労性を有していた。

表 11 アクリルゴム系保護塗膜の耐久性 (17 年経過)

経過年数	初期	5 年	10 年	17 年
付着強さ (N/mm ²)	1.0	0.8	0.8	未測定 (密着性は良好)
ひび割れ追従性 (mm)	6.5	7.0	—	3.2 (初期の 45%を維持)
耐疲労 *注)	3～6 mm 幅まで追従			1～2 mm 幅まで追従

工程	ムーブメント	試験温度		
		20℃	60℃	-10℃
1	0.25～0.5 mm	○*1) →	○ →	○
2	0.5～1.0 mm	○ ←	○ →	○
3	1.0～2.0 mm	○ ←	○ →	○

※ 1) 各工程とステップで
周期 1 分で 500 回行った

(3) アルカリ骨材反応による劣化構造物への適用実績

写真 20 に示すように、アルカリ骨材反応を受けた橋梁の橋脚、梁にアクリルゴム系保護塗膜を施工して、10 年後の外観を調査した結果、塗膜の外観上の異常は認められなかった²⁸⁾。今後、このような実証を積み上げていくことが重要である。



写真 20 アルカリ骨材反応による劣化構造物の経年調査結果（約 10 年）

6. まとめ

- ①鉄筋コンクリート造の劣化は水を伴った化学反応である。
- ②コンクリート中に水さえ入れなければ相当年数の耐久性を維持できる。
- ③保護塗膜の役割は劣化環境の緩和である。
- ④既に劣化要因がコンクリート中に内在する状態で補修した場合、その保護効果は低下する。特にアルカリ骨材反応では効果が小さく、初期から被覆するほうが保護効果が大きい。
- ⑤保護塗膜は、ガラス転移温度（ T_g 点）の低いポリマー（ -20°C 以下）で、主鎖に二重結合を有せず、弱い化学結合を有さないものであれば、耐候性は良い。可塑剤を用いたものは、早い時期に可塑剤が揮発し、膜が硬くなる。
- ⑥保護塗膜で最も重要な性能は、繰り返し疲労を含めたひび割れ追従性である。
- ⑦保護塗膜の耐用年数は、ひび割れ追従性の保持力で判断することが適切と考える。
- ⑧ 30 年後の機能維持は実物件から採取した塗膜の測定値から、ある程度確認できた。し

かし、汚れ等の外観の維持は30年以下である。

- ⑨ 今後は、促進試験と実データを基に30～50年レベルでの維持管理の手法を見出すことが必要と考える。

最後に、**図21**にひび割れ追従性（単純ゼロスパンテンション）の実データと促進試験（メタルウエザ）結果を、200年までプロットした。この図の確度を増せば、有機系保護塗膜でも超長期の信頼性が得られるものと思う。

以上

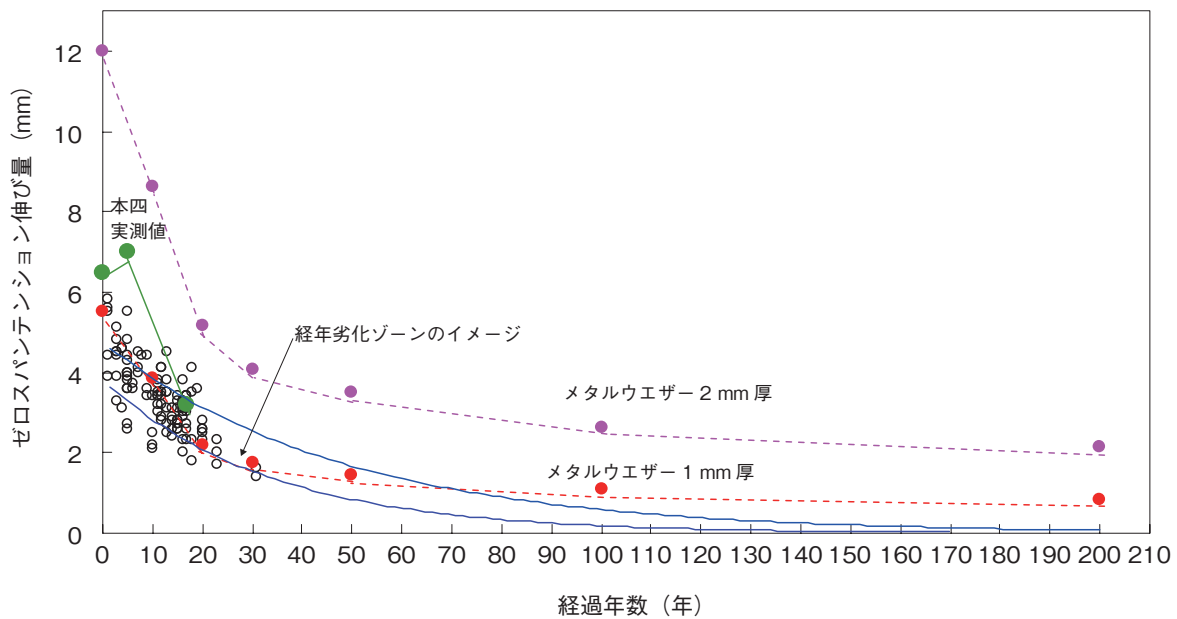


図21 200年を見据えたアクリルゴム系保護塗膜のひび割れ追従性

〈関連文献〉

1. 鉄筋コンクリート造の劣化

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説，2006.2
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針—2009—
- 3) G. P. mallet 著：望月秀次，上田隆雄，宮川豊章共訳，社団法人プレストレスコンクリート技術協会，PC技術基準研究員会監修：コンクリート橋のリハビリテーション，7.3.2 劣化メカニズム Manning(1990)，p.213，技報堂出版，1997
- 4) Manning D, G.(1990). G. Somerville(ed.). Design life of concrete highway structures—the North American scene. British Group of IABSE Colloquium, Cambridge, July, The design life of structures. Blackie (an imprint of Chapman and Hall), Glasgow and London, 1992, p.144–153
- 5) 谷川伸：外壁化粧防水材のガス透過性と躯体保護機能，防水ジャーナル，p.75–80，1989

2. 保護塗膜の効果

- (1) 保護塗膜への期待
- 6) 鍵本広之，佐藤道生，川村満紀：アルカリシリカ反応により劣化した構造物の劣化評価と細孔溶液分析による劣化進行の予測，土木学会論文集，No.641/V-46，p.241–251，2002

- 7) 井出文雄著：特性別にわかる，実用高分子材料，(株)工業調査会，p.211-227，2002
- 8) 宮沢健，谷川伸：アクリルゴム系塗膜材被覆による鉄筋コンクリートの塩害防止，第6回コンクリート工学年次講演論文集，p.209-212，1984
- 9) 山田勝彦，マスコンクリートの塗装に関する調査，本四技報 vol.9, No.74, p.9-13, 1991.4.
- 10) JIS A 1436 建築用被膜状材料の地下不連続部における耐疲労性試験方法，1991
- 11) 日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 8 防水工事，付5. JASS 8 (T-501) メンブレン防水層の性能評価試験方法，3.3 疲労試験，p.448-452，2008

(2) 中性化防止

- 12) 塚越雅幸，宮内博之，田中享二：塗膜防水層下のコンクリートひび割れ部分の炭酸化；日本建築学会建築学会構造系論文集，第606号，p.43-50，2006.8

(3) 塩害防止

- 13) 榊田佳寛，安田正雪，谷川伸，入田一：アクリルゴム系弾性塗膜材による鉄筋コンクリート造の塩害防止に関する実験，コンクリート工学年次論文報告集 12-1, p.495-500, 1990
- 14) 榊田佳寛，安田正雪，谷川伸，武田晋司：アクリルゴム系弾性防水材による鉄筋コンクリート造の塩害防止に関する効果の評価，コンクリート工学年次論文報告集 13-1, p.545-550, 1991
- 15) S. Tanikawa, H. Irita, Y. Masuda, M. Yasuda: Experimental on the Protective Effect of Acrylic Rubber Coating on the Durability of Salt Contaminated Concrete, Durability of Bulding Materials and Components 6, Edited S. Nagataki, T. Nireki and F. Tomosawa, p.431-440, 1993. 8. Tokyo
- 16) 濱田秀則，副手勤，R. N. Swamy, 谷川伸，J. C. Laiw：鉱物質混和材の混入およびコンクリート表面被覆の塩害防止効果の定量的評価に関する研究，土木学会論文集，No.538/V-31, P.169-181, 1996.5
- 17) 谷川伸，山田義智，大城武，川村満紀：厳しい塩害環境下での鉄筋コンクリート構造物の耐久性に関する研究(アクリルゴム系防水材の効果) 日本建築学会論文集 第487号，11-19, p.11-19, 1995.9
- 18) 日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，p.604
- 19) 日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事，p.308-309

(4) アルカリ骨材反応防止

- 20) 竹内勝信，川村満紀，鳥居和之，谷川伸：自然環境下に曝露したコンクリートのアルカリシリカ反応による膨張とひび割れ，コンクリート工学論文集，第6巻第1号，p.11-19，1995.1
- 21) M. Kawamura, K. Torii, K. Takeuchi and S. Tanikawa, Expansion and Cracking to Alkali-Silica reaction in Concretes under The Two Different Environments, The 9th international Conference on Alkali-Aggregate reaction in Concrete, London, 1992. 7 p.519-526
- 22) 谷川伸：Rubber Coating to Control Alkali Silica Reactivity—弾性被覆材によるアルカリ骨材反応の抑制—，道路建設材料に関する国際セミナー—北陸道路研究会50周年と川村満紀教授の退官を記念して—2003.10, p.89-106
- 23) 濱田秀則，R. N. Swamy, 谷川伸：持続荷重およびASRの影響下にあるRCはりの内部応力に及ぼす表面被覆の効果，コンクリート工学年次論文報告集，VOL.16, No.1, p.1105-1110, 1994
- 24) 濱田秀則，R. N. Swamy, 谷川伸，Jaw-Chang Laiw, 持続荷重およびASRの影響下にあるRCはりおよびRC柱の内部応力に及ぼす表面被覆の効果，コンクリート工学論文集 第6巻第2号 1995.7, p.9-20
- 25) H. Hamada, R. N. Swamy, S. Tanikawa, J. C. Laiw : Influence of Protective Surface Coating on the Structural behaviour ASR-affected RC Beams under Sustained Loading, Proceeding of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, 1990
- 26) R. N. Swamy, S. Tanikawa : Acrylic Rubber Coating to Control Alkali Aggregate Reactivity, Proc. 9th Int. Conf. on ASR in Concrete, Queen Elizabeth II International Conference Center, London, 1992
- 27) 阪神高速道路公団，日本材料学会：コンクリート構造物の評目保護工便覧(案)・同解説，平成元年3月
- 28) 土木学会 コンクリートライブラリー119 表面保護工法 設計施工指針(案) 2005.4.
- 29) (高反射塗料)天野時元，田中享二：遮熱塗料の日射吸収に影響する要因の検討，日本建築学会大会学術梗概集(近畿)p.299-300，2005.9

(5) 凍害防止

- 30) 谷川伸，入田一，鎌田英治，田端雅幸：北海道紋別市での表面塗材による鉄筋コンクリートの凍害・塩害防

止効果に関する暴露実験, 第7回 オホーツク海と流水に関する国際シンポジウム講演要旨集, p.150-154, 1992

3. 高分子系材料とその劣化

- 31) 谷川伸, 博士論文: コンクリート中の鉄筋腐食防止対策に関する基礎研究, 金沢大学, 地球環境科学専攻, 平成10年1月(主任指導教官 川村満紀)
- 32) 小池迪夫: 建築メンブレン防水 材料編: 工業調査会, 1970
- 33) 田中享二, 橋田浩, 柗平健, 富板崇, 小池迪夫: 合成高分子防水材料の熱劣化負荷地図の作成とその利用, 日本建築学会構造系論文報告集, No.395, p.13-33, 1989
- 34) 楡木亮, 井上照郷, 平間信行, 小俣一夫: 耐久性能試験方法に関する研究(その29)伸長形仕上塗材の耐久性に及ぼす熱の影響, 日本建築学会学術講演梗概集, p.355-356, 1986
- 35) 大石富士夫著「高分子材料の耐久性」工業調査会
- 36) 福原福次: プラスチックの劣化, 日刊工業新聞, p.190-191, 1970
- 37) 大勝靖一著「高分子の劣化機構と安定化技術」シーエムシー出版(1997)
- 38) 谷川伸, 永井健太郎, 宮沢健: アクリルゴム系塗膜材被覆によるコンクリートの塩害防止効果, コンクリート工学年次論文報告集, 9-1, p.411-416, 1987

4. 保護塗膜の耐用年数

- 39) 谷川伸: アクリルゴムのDNAが支える60年対応外壁塗膜防水工法, 月刊PROOF, p.31-34, 2004.7
- 40) 印藤文夫著「マンション修繕・管理の実際」鹿島出版会(2006.11) p.91-92



東亞合成株式会社 建材・土木グループ

お問い合わせ 0120-557-947 (フリーダイヤル) ホームページ URL / <http://www.toagosei.co.jp>

本店営業部 〒105-8419	東京都港区西新橋 1-14-1	TEL : 03 (3597) 7342 (ダイヤルイン)
大阪支店 〒530-0005	大阪市北区中之島 3-3-3	TEL : 06 (6446) 6568 (ダイヤルイン)
名古屋支店 〒460-0003	名古屋市中区錦 1-4-6	TEL : 052 (209) 8594 (ダイヤルイン)
四国営業所 〒762-0004	坂出市昭和町 2-4-1	TEL : 0877 (46) 3300 (代表)
福岡営業所 〒810-0001	福岡市中央区天神 2-14-2	TEL : 092 (721) 1902 (代表)
札幌出張所 〒060-0807	札幌市北区北七条西 4-1-2	TEL : 011 (757) 8733