

建物の長寿命化に貢献するアクリルゴム系外壁用塗膜防水材
「アロンウオール」の保護効果と耐久性

名古屋クリエイシオ R & D センター 杉浦哲也

1. はじめに

アクリルゴム系外壁用塗膜防水材「アロンウオール」は、1973 年に業界に先駆けて「外壁防水」の概念を確立し、外壁のひび割れに追従する面防水として広く受け入れられてきた。その後、1976 年にはアロンコート連合会を発足させ、全国 9 地区（北海道、東北、関東、北陸、東海、近畿、四国、中国、九州）で責任施工体制を開始した。アロンウオールは、「美しき防水」として、上市後 53 年経過した現在でも、全国アロンコート・アロンウオール防水工事業協同組合の優良な組合員による責任施工に支えられながら、建物の長寿命化に貢献している。

建物における雨漏りは屋上から発生するというイメージもある一方で、実際には屋上よりも外壁およびその開口部回りからの漏水が多い傾向にある。これには、昔と現代の建物の形状の違いも起因していると言われている。表 1 に示すように、昔の建物は屋根の勾配で雨水を流し落とし、外壁は深い軒や庇で保護されていて濡れにくいのに対し、現代の建物は陸屋根で雨水を受けて溜まりやすい構造をしていることや、軒や庇がなくなった結果、壁が風雨や雨水の流下で濡れやすくなった。更に、建物の高層化による風向きの変化などに伴って、横や下側から強い風が吹き上げるようになり、雨水が外壁に対し、より強く作

表 1 構造物の形状と雨に対する防御性

	構造物の形状	雨に対する防御性	
		屋根（水平面）	外壁（垂直面）
昔	木造 [正倉院正倉 (756 年)] ※ 	勾配で雨水を流し落とす	深い軒や庇で雨水から保護し、濡れにくくしている
現代	鉄筋コンクリート造 	雨水を受ける（溜まりやすい） ↓ コンクリートのひび割れ部から雨水が浸透する	風雨、雨水の流下で濡れる ↓ ひび割れがあると雨水が浸透する 

※) 写真は宮内庁「正倉院」ホームページより転載

用するようになったことも漏水の一因となっている。コンクリートの品質向上や構造的な対応によって、ひび割れに起因する漏水は減少しつつあるものの、鉄筋コンクリートの早期劣化や環境による劣化防止を目的とした防水材による保護は、建物の長寿命化における大きな課題である。

日本建築学会では、建築関連分野での地球温暖化対策の長期的な取り組みに関する声明¹⁾や提言²⁾を出しており、現在30～40年と言われている日本の建物の耐用年数を3倍に延長し、欧米並みの100年以上にすることを目指している。防水の観点では、日本の平均年間降水量は1,700 mm/年を超えているとされており、近年では異常気象の影響により、ゲリラ豪雨がたびたび発生し、益々漏水のリスクが高まっている。世界でも有数な多雨な日本において建物の寿命を100年以上に延ばすためには、様々な劣化の主要因である雨水を建物と接触させないことが、建物の長寿命化につながる。建物への雨水の浸入は、「水の存在」、「隙間の存在」、「隙間に水を押し込む力」の3要素が揃ったときに生じる現象であり、これらの要素をゼロになるように制御すればよいことになる。それが防水技術である。

風が吹くと外壁にも雨が当たることとなる。外壁にあたる雨量は、屋根への降雨量と風速との関係から求めることができ、下式の R.E.Lacy の推定式として知られている。

$$R_v = (0.222 \times U_w) \times (0.88 \times R_h)$$

R_v : 外壁にあたる雨量 (外壁面雨量) [mm/時間]

U_w : 風速 [m/秒]

R_h : 屋根にあたる雨量 (屋根面雨量) [mm/時間]

R.E.Lacy の推定式をもとに、屋根 (水平面) 雨量と建物の外壁 (垂直面) 雨量に対する雨量の関係を求め、風速毎に示したものを図1に示す。風速5 m/sで屋根と同量の雨が外壁に付着し、風速15 m/sの強風では屋根の雨量の3倍もの雨が外壁に付着する関係を示している。

鉄筋コンクリート造建屋外壁における主な漏水危険箇所とひび割れ種類を図2に示す。建物の特徴的なひび割れパターンとしては、乾燥収縮ひび割れ、熱応力ひび割れ、コールドジョイント、各種劣化によって生じたひび割れ (中性化、塩害、ア

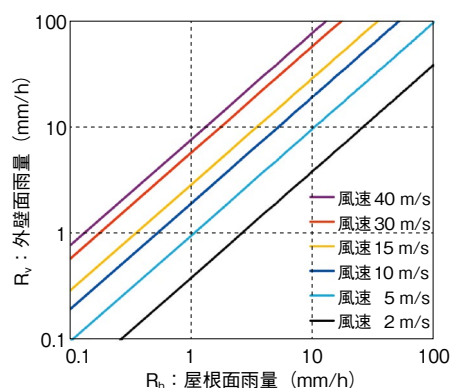


図1 屋根面雨量に対する外壁面雨量³⁾

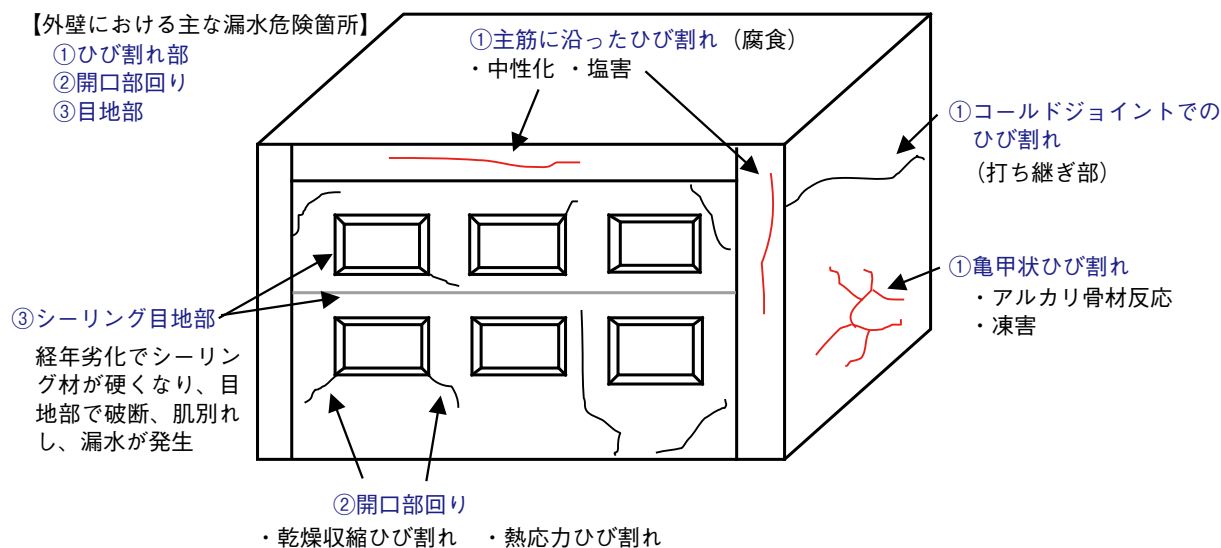


図2 鉄筋コンクリート造建物外壁における主な漏水危険箇所と種類

ルカリ骨材反応、凍害)がある。ひび割れ発生箇所としては、主筋に沿ったひび割れ、打ち継ぎ部でのひび割れ、開口部回りや目地部などで発生したひび割れや隙間が漏水危険箇所として挙げられる。

外壁の雨水は風圧の影響を受けると、水を押し込む力が働くこととなる。風圧は、「風速の2乗」と「受風面積」に比例することから、風速 30 m/s の場合では約 56 kg/m² の圧力が生じる計算となる。これは水位 56 mm に相当する力でひび割れに雨水が押し込まれることに相当する。

このように、雨が外壁に当たることを避けるのは難しく、外壁からの漏水による建物の不具合は多数報告されている。鉄筋コンクリート造(RC造)の新築工事に関する瑕疵・クレームは、一般社団法人 建築業協会の瑕疵保証分科会が1年間に発生したクレームを調査しており、その中で外壁からの漏水による補修件数が最も多いとの報告がされている。瑕疵保証分科会が調査したクレーム事例の種類と比率を図3に示す。

このように、実態としても外壁からの雨漏りが多いことが分かる。また、外壁と屋上からの漏水の合計は半数を超え、更に外壁一般部のひび割れを加えると、約70%占めることとなり、外壁や屋上における不具合を予防することがクレーム低減につながる事が分かる。

次に、日本建築学会の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・同解説では、コンクリートが乾燥によって必ず収縮すること、コンクリートにひび割れが生じることは不可避である前提で対処していく必要性が示されている。本指針においては、漏水抵抗性を確保する場合の許容ひび割れ幅を 0.15 mm、一般環境下での鉄筋腐食抵抗性を確保するための許容ひび割れ幅は屋外で 0.3 mm としている。一方で、ひび割れ幅と漏水量には図4に示す関係があり、ひび割れ幅が 0.05 mm を超えると雨水が浸入し、漏水が発生しうることが報告されており、建物外壁のコンクリートのひび割れ部から雨水が浸入する可能性は十分に考えられ、これらに対する対処が必要である。

コンクリートに発生したひび割れは、コンクリートの乾燥・硬化収縮に従って大きくなり、温度変化、乾湿変化および振動などによっても伸縮する。図5は、昼夜や季節変動に伴うコンクリートのひび割れの動きを模式的に示したものであり、こうした動きをムーブメントと呼ぶ。実際のコンクリートのムーブメントを測定した結果を図6に示す。

このように絶えず伸縮を繰り返すひび割れから雨水やその他の劣化因子を入れないためには、柔軟でひび割れの動きに十分追従できる耐疲労性に優れた材料で包み込むことが有効である。加えて、塗膜が硬くなる低温下でも柔軟であることや、長期にわたって耐疲労性を維持できることが必要となる。

また、RC造における「建物が劣化して寿命が短くなる」こととは、鉄筋が錆びることで耐久性が低下し、計画共用

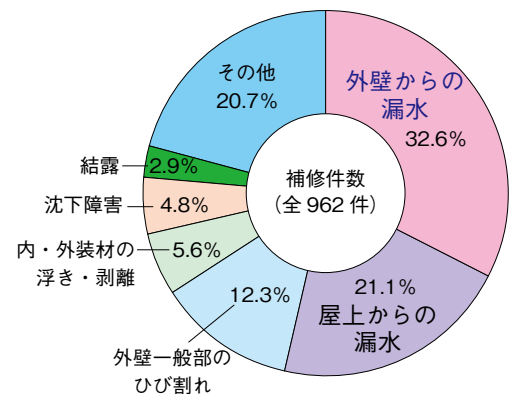


図3 RC造の新築工事におけるクレームの種類と比率⁴⁾

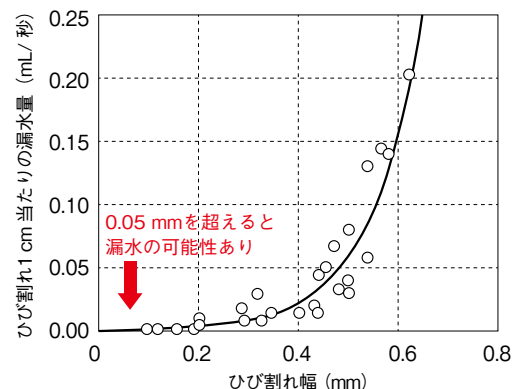


図4 ひび割れ幅と漏水量の関係⁵⁾

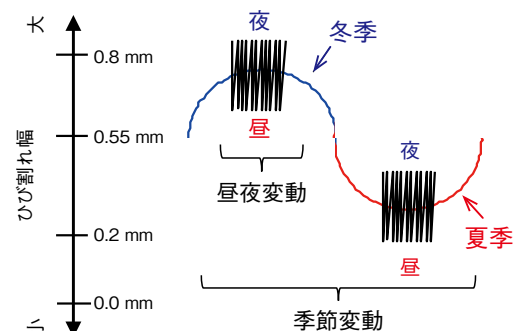


図5 コンクリートひび割れムーブメント(昼夜・季節変動)⁶⁾

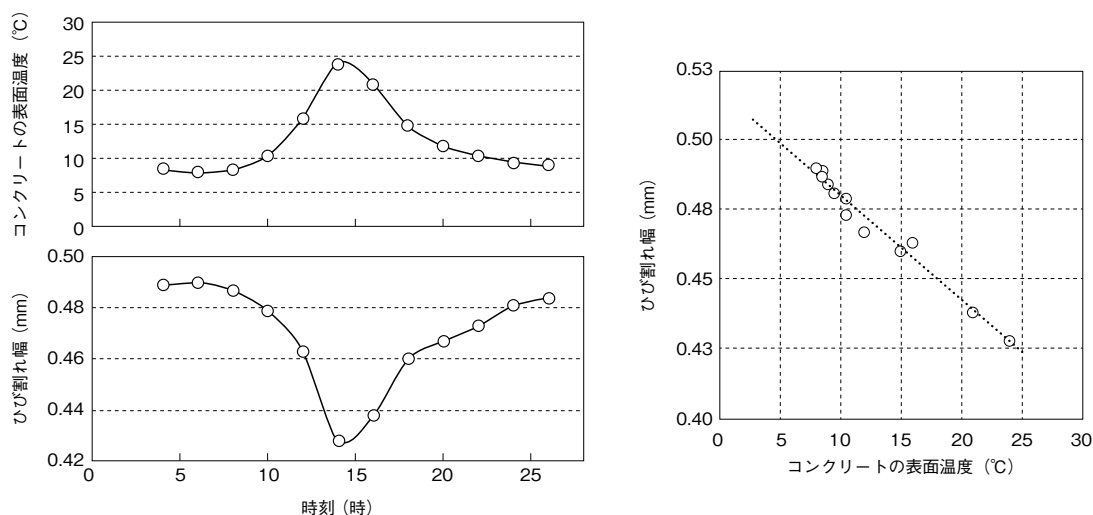


図6 温度変化とコンクリートひび割れ幅の関係⁷⁾

期間に対応して定められた耐久設計基準強度以下となり、建物が使えなくなることという考え方がある⁸⁾。RC造の鉄筋は、コンクリートのアルカリ性が高いことによって錆びないが、大気中の二酸化炭素によってコンクリートの中性化が進んで鉄筋にまで中性化が到達すると、鉄筋が錆びてコンクリートにひび割れや脱落が生じ、耐久性の低下が進行する。また、鉄筋の発錆は海水や融雪剤などに起因した塩分によっても進行することから、RC造建物を長寿命化させるには、これらの劣化要因の浸入を防ぐ必要がある。

こうした劣化現象に対し、アクリルゴム・外壁化粧防水「アロンウオール」は、柔軟で耐久性の高いアクリルゴム塗膜で建物を包み込み、水分だけでなく、二酸化炭素や塩化物イオンなどの各種劣化因子の浸入を長期にわたって遮断することにより、建物の健全性を維持することができ、数多くの実績と信頼を得てきている。

本報では、「アロンウオール」による建物の長寿命化の基本的な考え方、アクリルゴム系塗膜防水材に求められる基本性能を説明した上で、これまで積み上げてきた建物の長寿命化に関する各種劣化因子に対する実証試験の検証結果について報告する。

2. アクリルゴム系塗膜防水材「アロンウオール」の性能

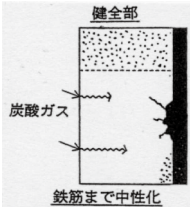
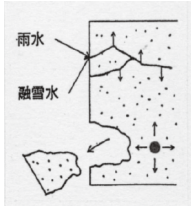
外壁用塗膜防水材を施工する対象である鉄筋コンクリートにおける代表的な劣化現象には、中性化、塩害、アルカリ骨材反応および凍害が挙げられる。劣化現象の外観、劣化因子および劣化メカニズムを表2に示す。

これらの劣化の主な原因物質として、水、炭酸ガス、酸素、反応性骨材および塩化物イオンなどが挙げられるが、すべての劣化現象に対して共通するのは水である。このことから建物への水の浸入を防ぐことが、建物の長寿命化につながる。

こうした観点から、塗膜防水材には、①水や各種劣化因子を遮断すること、②コンクリートなどにひび割れが生じたとしても破断せず、ひび割れに追従する柔軟な塗膜性能を有すること、③その機能が長期にわたって維持できることなどが求められる。

建物の長寿命化においてアクリルゴム系塗膜防水材に求められる基本性能には、JIS A 6021（建築用塗膜防水材）の「外壁用」に定められた基本性能への適合はもちろんのこと、ひび割れ部での伸縮繰返しムーブメントに対する追従性（ひび割れ追従性、耐疲労性）、外部からの劣化因子（水、酸素、炭酸ガス、塩

表2 鉄筋コンクリートの劣化と原因となる因子

		中性化	塩害	アルカリ骨材反応	凍害
現象					
					
劣化因子	水	○	○	○	○
	炭酸ガス	○			
	塩化物イオン		○		○
	酸素		○		
	反応性骨材			○	
劣化メカニズム		- 炭酸ガスにより鉄筋コンクリートの中性化が進行し、鉄筋の腐食する。 - 発錆部が膨張し、ひび割れやコンクリートの剥離が進行する。	- 塩分浸透により鉄筋が腐食して膨張し、ひび割れやコンクリートが剥離する。 - 中性化していなくても、塩分、酸素および水により腐食が進行する。	- コンクリート中に含まれるアルカリ成分と反応性骨材が水分と反応し、アルカリシリカゲルを生成する。 - 膨張圧によりコンクリートにひび割れが発生する。	- 雨水や融雪水からの水分が、コンクリートやALC内で凍結融解を繰り返す。 - 膨張収縮を繰り返すことで、ひび割れやコンクリートの剥離が進行する。

化物イオン)の遮断性(劣化因子とコンクリートの接触を遮断)、下地に対する付着性、美装性などが挙げられる。ストック社会の形成には、長寿命化改修と同時に改修頻度の低減が重要となるため、防水材料の耐久性および再改修方法を考慮した維持管理性の優れた工法が求められる。

以下では、アクリルゴム系塗膜防水材「アロンウオール」に関し、主な性能について取り上げ、JIS A 6909に規定される防水形複層塗材Eとの比較や、実際の建物から採取した経年塗膜の調査結果を紹介する。

2.1 防水性

JASS8では、防水層に必要な性能は「水を漏らさない」ということを防水性能としており、これを確保するため、単に防水層が水を通さないことだけでなく、施工管理の下で施工された時に「水を漏らさない」性能を有していること(施工塗膜が連続、膜厚が適切に確保できているなど)、および、防水層が十分な耐久性を有していることが重要であるとしている⁹⁾。

アロンウオールは、塗膜が軟化する高温や、塗膜が硬くなる低温下でも柔軟かつ良好な引張性能を発揮する。参考に、低温下においても、アロンウオールが柔軟性を維持している様子を示す動画を表3(a)に示す。このようなアロンウオールの性状はアクリルゴムポリマーの組成、高分子鎖の長さ、分岐度合いおよび塗膜中の樹脂量などにより左右される(詳細は「3.1 アロンウオールの特性」で説明する)。

(1) JIS 引張性能

JIS A 6021による引張性能試験は、ダンベル状の塗膜片(約1mm厚)を試験片とし、引張速度200mm/minで塗膜を引張り、塗膜が破断した際の引張強さと伸び率を求める試験である。各温度でのJIS引張試験の様子を表3(b)に、試験結果を表4(a)に示す。

表3 アロンウオールの特長および評価に関わる参考動画

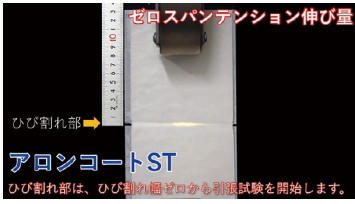
	参考資料	閲覧用ホームページ
(a) 低温下におけるアロンウオールの柔軟性	 低温下での塗膜性能 アロンコートST アロンコートSTは低温でも柔軟性を保持するのが特長です。	 https://www.aronkasei.co.jp/kenzai/secret/movie/movie3.html
(b) アロンウオールのJIS A 6021 引張試験の様子	 JIS A 6021 引張試験 試験概要 ・膜厚1mmの防水塗膜の伸び率と引張強さを測定 ・伸び率と引張強さが高いほど、塗膜がひび割れに追従し、塗膜が破断しにくい	 https://www.aronkasei.co.jp/kenzai/secret/movie/movie5.html
(c) アロンウオールのゼロスパンテンション伸び量試験の様子	 ゼロスパンテンション伸び量 ひび割れ部 アロンコートST ひび割れ部は、ひび割れ幅ゼロから引張試験を開始します。	 https://www.aronkasei.co.jp/kenzai/secret/movie/movie4.html

表4 アロンウオール塗膜および防水形複層塗材 E の塗膜性状

				アロンウオール	防水形複層塗材 E
試験体	試験膜厚（mm）			1.0	0.8
	施工仕様 （kg/m ² ）	プライマー・下塗材		0.1	0.1
		防水材・主材		1.7	1.7
		仕上塗料・上塗材		0.3	0.3
(a) 引張性能	引張強さ（N/mm ² ）		－20℃	4.7	7.0
			23℃	1.5	1.2
			60℃	1.3	1.0
	破断時の伸び率（％）		23℃	470	140
	破断時の つかみ間伸び率（％）		－20℃	120	20
			23℃	260	60
			60℃	160	50
(b) ゼロスパン テンション 伸び量	80℃加熱期間	初期	－20℃	2.5	0.9
			0℃	4.0	1.7
			23℃	6.5	5.0
		56 日		2.6	1.1



(a) JIS 引張試験



(b) ゼロスパンテンション伸び量試験

(2) ひび割れ追従性

ひび割れ追従性試験は、スレート板に張り付けた塗膜片（約 1 mm 厚）を試験片とし、ひび割れ幅がゼロの状態からの伸び量を測定するゼロスパンテンション伸び量試験により試験する。

ゼロスパンテンション伸び量試験は、実際のひび割れをイメージした試験であり、JIS A 6021 の引張性能試験よりも遅い 5 mm/min で塗膜引張りを行う。また、ひび割れ幅が 0 mm の状態から塗膜を引張

るため、伸び代が少なく JIS 引張試験より厳しい試験とされている。なお、前述のひび割れ追従性および耐疲労性の試験は、日本外壁防水材工業会規格（NBKS-003：2022）として試験方法を制定している。

各温度でのゼロスパンテンション伸び量、加熱処理（80℃ 28 日）による劣化試験の様子を表 3（c）に、試験結果を表 4（b）に示す。アロンウオールは、低温および 80℃ 加熱後もゼロスパンテンション伸び量を維持していたが、防水形複層塗材 E は -20℃ での試験および実暴露 10 年に相当する加熱処理によって、1 mm 前後まで低下していた。コンクリートのひび割れは低温で拡大することから、低温でのゼロスパンテンション伸び量が低い防水形複層塗材 E は、冬季や寒冷地に施工した経年塗膜のひび割れ部で破断する可能性が考えられた。

次に、アロンウオールの塗膜厚とゼロスパンテンション伸び量の関係を図 7 に示す。塗膜厚が大きいほどゼロスパンテンション伸び量は大きくなる傾向がある。ひび割れ幅がゼロの状態から塗膜が伸びるには、引張り方向に対して伸び代がないため、塗膜自身に変形して薄くなった分が伸び代となることで、塗膜はひび割れ幅がゼロの状態から伸びることができる（写真 1 参照）。その結果、伸び代にあたる塗膜の膜厚が厚いほど、低温でも高温でも塗膜が柔らかく変形しやすい材料ほど、ゼロスパンテンション伸び量が大きくなる。

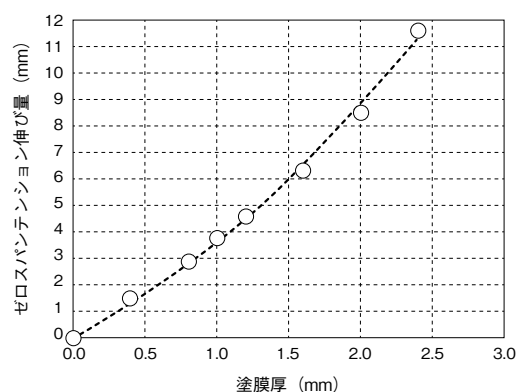


図 7 塗膜厚とゼロスパンテンション伸び量

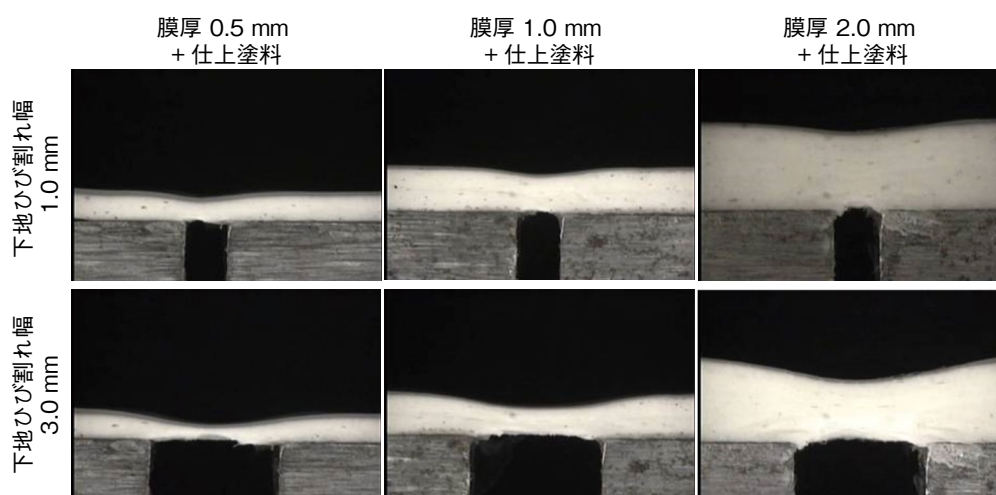


写真 1 ひび割れ部での塗膜の伸長状態

(3) 耐疲労性

前述の引張試験やゼロスパンテンション伸び量試験が単純引張りでの試験に対し、耐疲労試験は各温度での伸縮繰返しのムーブメントを与える試験であることから、より現実的な評価方法といえる。

耐疲労試験は、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）に準拠し、表 5 に示す試験条件で、経年での塗膜劣化を想定した初期および 80℃ 28 日の加熱処理後の結果および疲労区分を評価した（試験体の施工仕様は表 3 と同じ）。

防水形複層塗材 E の初期疲労区分は A3 であり、最大 1 mm 程度のひび割れに対する追従性を有していたが、加熱処理後では追従可能なひび割れ幅が 0.5 mm 以下である A2 まで低下していた。一方、アロンウオールは、加熱処理後においても破断することなく疲労区分は A4 を維持しており、最大 2 mm のひび割れ幅まで追従できる性能を示していた。

表 5 アロンウオールおよび防水形複層塗材 E の耐疲労性

	加熱 期間	ムーブメント (mm) および温度 (℃) ※ ¹									疲労 区分※ ²
		0.25 ～ 0.5			0.5 ～ 1.0			1.0 ～ 2.0			
		20	60	－10	20	60	－10	20	60	－10	
アロンウオール	初期	○	○	○	○	○	○	○	○	○	A4
	56 日	○	○	○	○	○	○	○	○	○	A4
防水形 複層塗材 E	初期	○	○	○	○	○	○	×			A3
	56 日	○	○	○	○	×					A2

※ 1) ○：異常なし、×塗膜が破断、各ムーブメントと試験温度において、周期 1 分で 500 回伸縮繰返しを実施

※ 2) 疲労区分は下表による

疲労区分	試験結果	追従可能なひび割れ幅
疲労 A4	破断しない	2.0 mm 以下
疲労 A3	1.0 ～ 2.0 mm で破断	1.0 mm 以下
疲労 A2	0.5 ～ 1.0 mm で破断	0.5 mm 以下
疲労 A1	0.25 ～ 0.5 mm で破断	なし



耐疲労試験の
専用試験装置

(4) 各種劣化要因の遮断性

各種劣化因子に対する遮断性、および、その効果をコンクリート相当厚さに換算した結果を表 6 に示す。

アロンウオールは、外からの劣化因子である水は通さないが、建物内部からの水蒸気は適度に排出する特長を有するとともに、炭酸ガスを含む空気や塩化物イオンに対し、コンクリートと比べて良好な遮断性を有している。こうした特長は、水分子が連なり塊となった水滴のような状態や、炭酸ガスや塩化物イオンのように分子やイオンのサイズが大きい場合には、アクリルゴムの高分子鎖の隙間を通過するのが難しくなる一方で、水蒸気の状態では水分子単体のサイズが小さく、分子鎖の隙間を通過できることに起因する。

表 6 材料 1 mm での遮断性およびコンクリート相当厚み

遮断機能 (測定対象)		透水性 (透水量)	気密性 (空気透過度)	遮塩性 (拡散係数)	水蒸気透過性 (透湿度)
測定対象		水	気体	塩化物イオン	水蒸気
単位		ml	cm ³ /m ² ・h・Pa	cm ² /sec	g/m ² ・日
試験方法					
参考		JIS A 6909 「建築用仕上塗材」 防水形複層塗材	JIS K 7126 「フィルム及びシート」 ガス透過度試験方法	「道路橋の 塩害対策指針 (案)」	JIS Z 0208 「防湿包装材料の透湿度 試験方法 (カップ法)」
アロンウオール※ ¹	初期状態	0	3.7 × 10 ⁻²	1.4 × 10 ⁻¹¹	12.5
	100%伸長状態	0 ～ 0.1	5.7 × 10 ⁻²	5.3 × 10 ⁻¹¹	—
コンクリート※ ¹		72	190	6.0 × 10 ⁻⁸	50.4
コンクリート相当厚み		720 mm	3,000－5,000 mm	1,100－4,300 mm	40 mm

※ 1) 乾燥塗膜厚は 1 mm 相当

なお、こうした防水塗膜の遮断性は、高分子鎖の設計（極性、水素結合、剛直性、結晶化度、架橋密度など）や、塗膜中の樹脂量が少ないことなどに起因した微小な空隙や、ピンホールなどの塗膜欠陥有無などにより左右される。また、アロンウオールは水系エマルジョン系の材料であり、水分子に対してある程度なじみやすいことから、劣化因子の遮断性を有しながらも適度な透湿性を与えている。

2.2 耐久性

建物を保護するためには、塗膜防水材に建物の寿命以上の長期にわたって防水性及各種劣化要因からの遮断性を維持するといった耐久性が求められる。図8に、実際の施工物件より採取したアロンウオールのゼロスパンテンション伸び量の経年変化を示す。実線は標準的な経年劣化曲線を示しており、アロンウオールのゼロスパンテンション伸び量は、経年と共に徐々に低下する。

図9に、同じ方法で建物から採取したアロンウオールの耐疲労性の経年変化を示す。一般的に、塗膜は経年で徐々に硬くなり、ひび割れ追従性が低下する傾向があるが、アロンウオールの耐疲労性は、30年経過しても疲労区分がA2であり、0.5 mm程度のひび割れに追従できる可能性を示した。

また、JIS A 1436（建築用被膜状材料の下地不連続部における耐疲労試験）で、現場打ち鉄筋コンクリート外壁でのムーブメントの目安を0.5～1.0 mmとしていることから、本試験に供したアロンウオールは、疲労区分がA2に低下する施工後15年以降を再改修の目安とすることが望ましいと判断できた。

塗膜防水材の耐久性の評価は、その他に経年での付着性や各種引張性能などの評価を行うが¹⁰⁾、これらの評価は、実験室での促進試験のみで劣化現象を再現することは難しいため、実環境において追跡調査を実施したうえで改修方法や改修時期を明らかとした防水材料を用い、建物改修を計画するのが好ましい。

なお、アロンウオールの長期防水性能については、過去の技術レポート あしば Vol.122『アクリルゴム・外壁化粧防水「アロンウオール」の長期防水性能と「アロンリフレッシュ工法」によるメンテナンス効果』や、あしば Vol.124『アクリルゴム・外壁化粧防水「アロンウオール」の長寿命化改修を目的とした外装仕上げにおける位置づけと優位性』でも報告しているので参考として頂きたい。

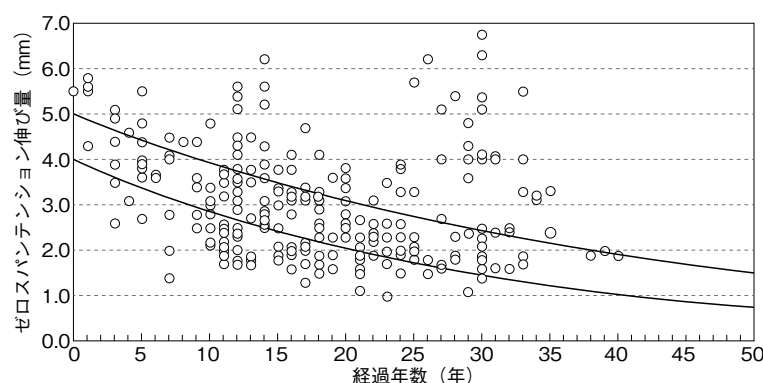


図8 ゼロスパンテンション伸び量の経年変化

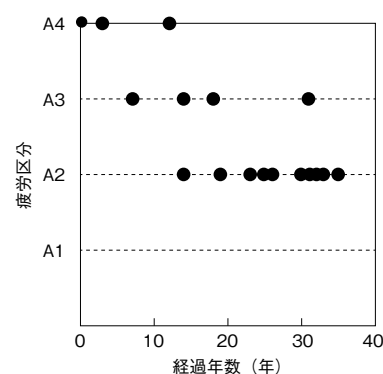


図9 耐疲労性の経年変化

2.3 改修工事におけるアロンウオールの優位性

(1) 簡便なひび割れ処理

外壁における施工者不足による省力化や環境対応が求められる中、アロンウオールの施工時におけるひび割れ部の処理方法として、下地挙動緩衝材がある。下地挙動緩衝材は、ひび割れ部に発生する伸縮繰返しムーブメントの影響を緩和し、防水材のひび割れ追従性を向上させることを目的としたひび割れ部に塗布する材料である。0.2 mm 以上 2.0 mm 未満のひび割れに対し、低モジュラスなアクリルゴムである下地挙動緩衝材を写真2に示すように約 50 mm の幅で 0.5 kg/m² 塗布し、図10に示すようにその上にアロンコート ST を施工する。



写真2 下地挙動緩衝材の施工

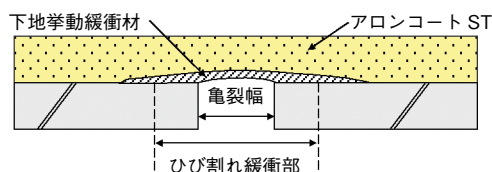


図10 下地挙動緩衝材施工部の断面イメージ

表7 下地挙動緩衝材によるゼロスパンテンション伸び量の増大効果

	ゼロスパンテンション伸び量 (mm)	
	単純引張	面内せん断
下地挙動緩衝材なし	6.1	7.2
試験状況例	25.0 	21.5 

※下地挙動緩衝材 0.5 kg/m² + アロンウオール塗膜約 1 mm + 模様吹き

表8 下地挙動緩衝材「アロンウオール SH」とUカットシール材充填工法の比較

	Uカットシール材充填工法 (下地処理として実施)	アロンウオール SH (アロンウオール工程内で実施)
工程数・工期	× 4 工程	○ 1 工程
居住者・作業員への影響	× 騒音・振動・粉塵発生	○ なし
化粧性(経年変化)	× シーリング材のやせ発生	○ なし

下地挙動緩衝材を施したアロンウオールは、表7に示すように、ひび割れ追従性が大幅に向上する。また、電動カッターによるUカットも必要とせず、施工時の粉塵（石綿含有下地の場合には石綿飛散がない）や騒音の発生がなく、工期も短縮できる経済的な方法である。Uカットシールとの比較を表8に示す。

このように下地挙動緩衝材は、外壁改修においてアクリルゴム系塗膜防水工法のみで適用可能な特徴的な材料であり、公共建築改修工事標準仕様書（建築工事編）の4章 外壁改修工事7節外壁用塗膜防水材による改修において、幅0.2mm以上2.0mm未満のひび割れに対し、下地挙動緩衝材を特記として適用できることが記載されている。2024年には「日本建築工学会規格 M-102 外壁用塗膜防水工法に使用する下地挙動緩衝材」として品質規格が制定されている。

(2) シーリング材の保護効果

シーリング材は、様々な目地に対する防水性付与を目的として施工され、線防水と呼ばれているが、経年でのシーリング材の収縮、ひび割れの発生、目地材との付着低下による隙間発生などで、シーリング材の劣化は建物を防水する上で大きな弱点となりうる。特に、ポリウレタン系シーリング材は耐候性が低い。これを保護するために仕上塗材の上塗りが必要となる。シーリング材の保護に汎用の硬質な微弾性塗料を用いた場合、写真3のようにシーリング材のやせや動きに追従しきれずにシーリング材上の仕上塗料が経年で割れたり、剥がれが発生した部分でシーリング材が劣化して表面に割れが発生し、防水上無防備な状態となる。

一方アロンウオールは、柔軟な塗膜でシーリング材上でも割れや剥がれが生じないため、シーリング材を保護し、経年でのシーリング材の劣化を防止することができる。仮に、建物の動きによって、シーリン

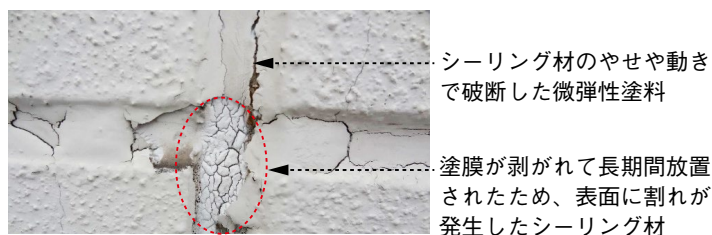


写真3 微弾性塗料を被せたシーリング材の劣化の様子



写真4 アロンウオールのシーリング材保護効果（施工後25年）

グ材が割れたり、下地から剥離したとしても、アロンウオールがその上から面防水として覆っていれば、目地からの漏水を防止することができる。

写真4は、アロンウオールを施工後25年経過したシーリング材を実物件から採取し、シーリング材の状態を評価した際の様子である。25年経過後においても、シーリング材は十分な柔軟性を保持（2mm厚のダンベル状3号形による引張試験で破断時伸び率が約1000%）できており、アロンウオールによる既存シーリング材の劣化防止が期待できる。一般的に仕上塗材での改修時には、劣化した既存シーリング材を撤去し、新たなシーリング材を再度充填する方法が一般的であるが、アロンウオールでは既存シーリング材に破断や下地から剥離するなどの劣化状況でなければ、既存シーリング材を撤去せずにアロンウオールを施工できるケースがあり、既存シーリング材の打替えにより発生する廃棄物や施工費用の削減が可能となる。

(3) 責任施工による品質の確保と防水保証

現場施工を前提とする湿式材料は、製品出荷時は半製品であり、現場で施工されることにより完成品となるため、完成品の良し悪しは施工者の知識と技量にかかっている。均一でピンホールのない施工が確実に行われ、規定通りの膜厚が確保されること、そして美しく仕上げることなどが求められ、施工と材料が一体となって完成させるものであるといえる。アロンウオールは、全国アロンコート・アロンウオール防水工事業協同組合（略称：全アロン防水組合）に属する全国256社の施工代理店（2026年7月1日現在）による責任施工であり、施工管理に関するプライベートライセンス（アロン調査診断・防水管理士）により、施工品質を確保している。

責任施工の結果として、新築や改修にかかわらずメーカーおよび施工代理店の連名による最長10年の防水保証を発行している。仕上塗材を施工した場合には塗膜保証となり、「著しい変退色や剥離が発生した場合に無償で補修する」という内容であるのに対し、アロンウオールの防水保証は屋根防水と同じで、「漏水が発生した場合に漏水箇所を無償で補修する」という内容であり、ひび割れ部での伸縮繰返しムーブメントに対する追従性と防水的な納まりを考慮した施工を担保している。

3. アクリルゴム系塗膜防水材「アロンウオール」の保護効果とその劣化

3.1 長期にわたり保護効果を維持するための必要条件

(1) アクリル樹脂の設計

アクリルゴムとは、常温でゴム弾性を示すアクリル樹脂と無機顔料からなる防水塗膜である。アクリル樹脂がゴム弾性を示すには、使用温度よりもアクリル樹脂のガラス転移温度 T_g (°C) を充分低く設計する必要がある。ガラス転移温度 T_g と高分子材料の塗膜硬さの関係を図11に示す。高分子材料は低温領域では硬い「ガラス状態」であるのに対し、温度上昇により高分子鎖の運動が活発になると、「ゴム状態」とな

て柔らかくなる。この柔らかくなる温度をガラス転移温度 T_g と呼ぶ¹¹⁾。

アクリルゴムの化学構造は、アクリル酸エステル（モノマー）が重合反応によってつながって高分子鎖（ポリマー）となったものであり、使用するモノマーの種類で T_g を制御することができる。図12にアクリルゴムを構成する代表的なモノマーの化学構造と、高分子鎖の側鎖の部分にあたるアルキル基（-R で示した部位）の炭素原子数と T_g の関係を示す。側鎖のアルキル基の炭素原子数が多いほど T_g が低くなる関係となる。なお、アルキル基の炭素数が6までのポリアクリル酸エステルは低級アルコールのポリアクリル酸エステルと呼ばれているのに対し、アルキル基の炭素数が7以上のポリアクリル酸エステルは高級アルコールのポリアクリル酸エステルと呼ばれている。

アロンウオール中の樹脂は、2-エチルヘキシルアクリレート（HA）というアクリルモノマーを90%以上使用し、アルキル基の炭素数は8に当たる。HA のホモポリマーの T_g は -60℃以下であり、低温でも十分な柔軟性を有している。 T_g -60℃と聞くと、防水材の使用温度に対して低すぎるように感じるかもしれないが、これには理由がある。

アクリルゴムの塗膜中には、アクリルゴム樹脂以外に無機顔料も配合されており、無機顔料の添加量を増やすほど塗膜は硬くなるため、アクリルゴム樹脂の T_g は、あらかじめ低く設定しておく必要がある。また、塗膜の柔軟性を充分維持するには、塗膜中の樹脂量を一定以上に保つ設計が必要となる。

アクリルゴムの高分子鎖は、高分子鎖同士が絡み合ったり、部分的に化学結合して3次元の網目状となっている。このようなアクリルゴム塗膜はゴム弾性と呼ばれる性質を有しており、塗膜は柔軟性を有し、伸び縮みする。その概念を図13に示す。引張り伸長前の塗膜の高分子鎖は縮んだ状態で、分子鎖が動きやすくエントロピー（乱雑さ）が大きい状態であるのに対し、伸長した塗膜中では高分子鎖が伸びた状態となってエントロピーが小さくなる。エントロピー増大の法則に従い、分子鎖は乱雑さの大きい状態（伸長前の状態）に戻ろうとし、引張力を除去した場合、分子鎖は元の

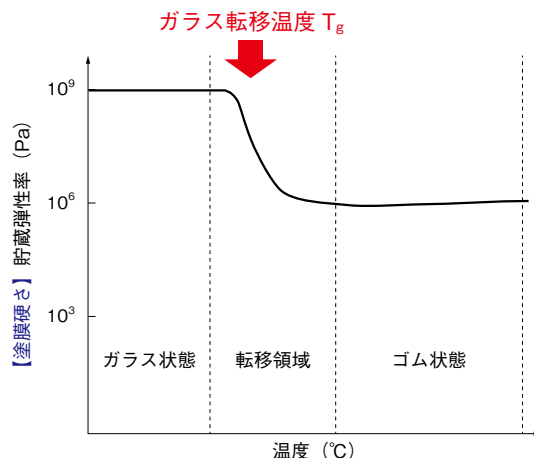


図11 ガラス転移温度 T_g と塗膜硬さの関係

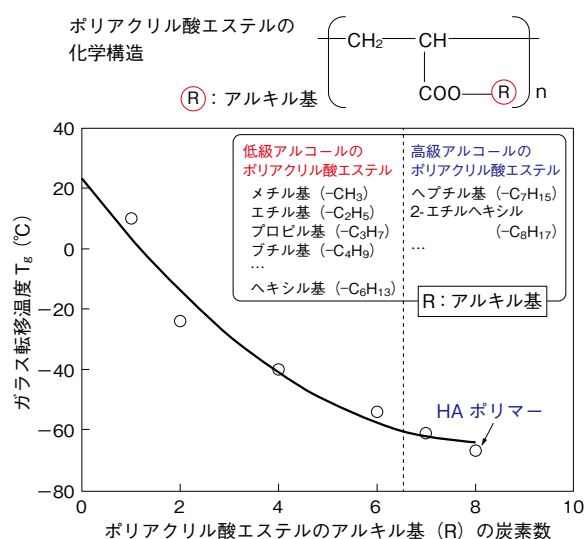


図12 ポリアクリル酸エステルのアルキル基の炭素数とガラス転移温度 T_g (°C) の関係

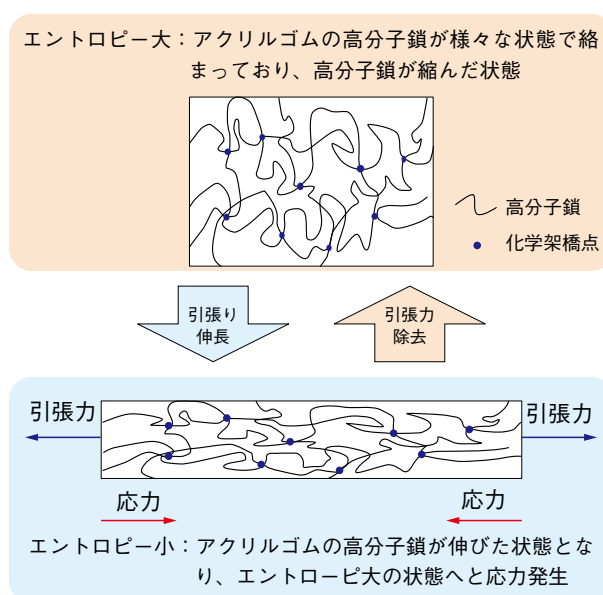


図13 アクリルゴムのゴム弾性（エントロピー弾性）のイメージ図

状態に戻る性質を発現する。

ここまでは化学構造や高分子鎖の観点から説明してきたが、以下では、もう少し大きなサイズの視点からアロンウオールの特長を説明する。アロンウオールは水系1液の材料であり、施工前のアロンウオール中のアクリルゴムは水系エマルジョン（アクリルゴム粒子が水中に分散した液体）の状態では水中に存在している。

図14に、水系エマルジョンにおけるアクリルゴム粒子の塗膜形成過程のイメージ図を示す。(1)分散状態では、水の中にアクリルゴム粒子が一定の距離を保ちながらブラウン運動によって均一に分散している。ゴム粒子の周りには、分散をよくするために界面活性剤（石けん）が取り巻いている。(2)凝集の段階では、水分の蒸発に伴って固形分が高くなると、ゴム粒子が接近する。(3)融着の段階で、さらに水分の蒸発が進むとゴム粒子同士が接触し、押し詰まった状態となる。(4)塗膜形成の段階では、ゴム粒子同士の空隙での毛細管圧力や界面張力などによりゴム粒子は圧縮変形を受け、粒子間で互いの高分子鎖の絡み合いが始まり、粒子同士の融着が進んで一体化した塗膜を形成する。

(3)の融着段階では、アクリルゴム粒子の T_g が常温より高い場合、ゴム粒子が硬くて融着が進まなかったり、融着に時間を要する。その結果、空隙などの欠陥ができて防水性や遮断性が劣る塗膜となる可能性が高まることから、前述の通り、アクリルゴム粒子の T_g を充分低く設計する必要がある。

なお、建築用塗膜防水材のJIS A 6021の膜物性試験では、低温 -20°C での塗膜伸びおよび引張強さの試験項目がある一方で、冬季や寒冷地を前提とした低温下での施工を再現した試験項目は存在しない(23°C 50RH%での成膜が前提)が、アロンウオールの場合、低温で柔らかいHAモノマーを樹脂中に90%以上使用することで、低温でも融着（成膜性）および膜物性に優れた性能を発揮できる設計としている。

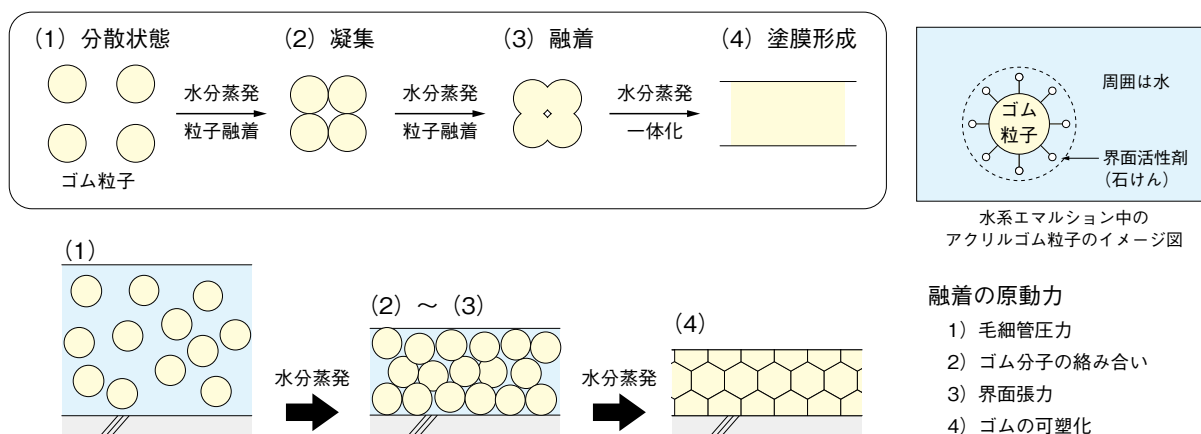


図14 水系エマルジョンにおけるアクリルゴム粒子の塗膜形成過程のイメージ図

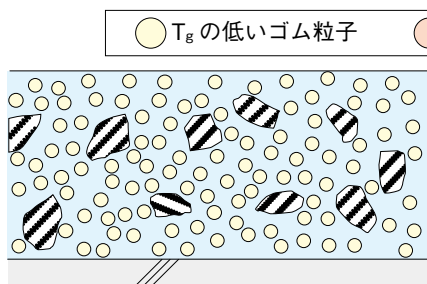
(2) アクリルゴム系塗膜の配合設計

ここまで塗膜中のアクリルゴムの部分に着目してきたが、実際の塗膜にはアクリルゴムだけでなく、無機顔料が分散した状態となっている。有機成分と無機成分からなるアクリルゴム系塗膜防水材の塗膜形成過程について、良い例と悪い例を図15に示す。

良い例は、固形分が高く、塗膜中の樹脂量が多く、 T_g が低いアクリルゴム粒子を使用しており、水分蒸発や下地への水分浸透でゴム粒子が凝集・融着し、樹脂の海の中に、無機顔料が島のように分散した状態の塗膜を形成する。高固形分設計は、乾燥成膜時に塗膜がやせにくく、膜厚の確保がしやすい特長を与える。塗膜中の樹脂量の高さは、アクリルゴム由来のゴム弾性の特長を反映して優れた膜物性を発現すると共に、各種劣化因子に対する遮断性を向上する。更に、 T_g の低いゴム粒子を用いることで、低温成膜性に優れ、かつ、低温下でも柔らかく優れたひび割れ追従性を有する塗膜を得ることができる。

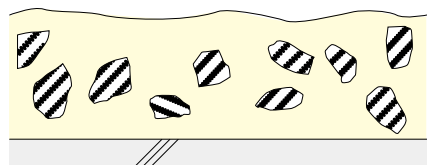
【良い例】

- ・固形分が高い
- ・塗膜中の樹脂量が多い
- ・ T_g の低いゴム粒子を使用



水分の蒸発および
下地への浸透

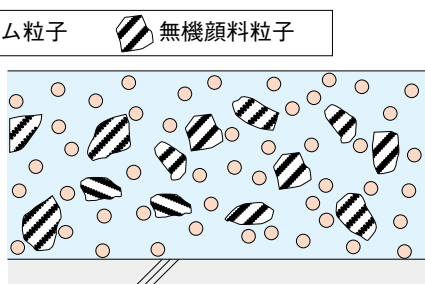
乾燥成膜



- 固形分が高く、膜厚を確保しやすい
- ゴム粒子が柔らかく、かつ、成分が多く、低温でもゴム粒子が融着しやすい

【悪い例】

- ・固形分が低い
- ・塗膜中の樹脂量が少ない
- ・ T_g の高いゴム粒子を使用



水分の蒸発および
下地への浸透

乾燥成膜



- × 固形分が低いため、膜厚が確保できない
- × ゴム粒子が硬くて融着しにくく、成分量も少ないため、空隙がしやすい

図 15 アクリルゴム系防水材における塗膜形成過程のイメージ図

一方、悪い例では、固形分が低いために膜厚が確保しにくく、樹脂量が少なくゴム粒子の凝集・融着が無機粒子に邪魔されて塗膜に欠陥ができてしまっている状態のイメージを示した。また、 T_g の高いゴム粒子を使用しており、ゴム粒子の柔軟性が不十分で融着しにくく、塗膜の所々に空隙ができてしまうイメージを示した。

こうした考え方から、アロンウオールでは良い例の特長を前提として配合設計している。なお、悪い例で示した T_g の高いゴム粒子を用いた塗膜の場合に、塗膜を柔軟にするために可塑剤と呼ばれる油状の添加剤を配合する場合がある。可塑剤は、高分子鎖を軟化 (T_g を低下) させる効果があり、外部可塑化と呼ばれるが、長期的には可塑剤が揮発したり、下地に拡散して消失するため、経年でゴムが硬くなり防水性能が失われる欠点がある。

また、可塑剤は他の材料へ浸透して汚れの付着などの不具合を引き起こすため、可塑剤は不使用とすることが望ましく、そのためには可塑剤に頼らずとも低温で柔らかい低 T_g のゴム粒子を主体とした設計とする（内部可塑化とも呼ばれる）ことが好ましい。

防水材の樹脂量は、試験によって確認することができる。表 9 にアロンウオールの防水材および他社 JIS A 6021 準拠品の樹脂量測定の結果を示す。アロンウオールは樹脂量 57.8 wt% なのに対し、他社 JIS

表 9 アロンウオールおよび他社 JIS A 6021 塗膜の樹脂量測定

	アロンコート ST (アロンウオールの 防水層)	他社 JIS A 6021 準拠品				
		A 社	B 社	C 社	D 社	E 社
樹脂量 ^{※1)} (wt%)	57.8	48.7	43.7	38.7	51.0	46.9

※1) 樹脂量の測定方法

るつぽに乾燥塗膜を入れ、550℃の電気炉で 30 分加熱し、燃焼分を有機成分として測定する



乾燥塗膜



品は高くとも樹脂量 51.0 wt% であることが確認できた。

(3) アクリルゴム系塗膜防水材「アロンウオール」の防水材に求められる 4 つの品質規格

以上の考え方を踏まえ、アクリルゴム系防水材「アロンウオール」の防水材に求められる特長として、当社の提唱するアロンウオールに求められる品質規格と各性能への影響を表 10 に示す。

表 10 アロンウオールに求められる 4 つの品質規格と各性能への影響

	防水機能 (ひび割れ追従性)	躯体保護機能 (劣化要因遮断機能)	耐久性
①主材中の固形成分 70 wt%以上	◎膜厚確保	○	○
②塗膜中の樹脂量は 55 wt%以上	◎耐疲労性	◎遮断性	◎
③アクリルゴム中の 2-エチルヘキシル アクリレート (HA) の量は 90 wt%以上	◎低温下の伸び 低温成膜性	◎遮塩性	○
④塗膜中の可塑剤等の抽出成分量は 1 wt%以下	○	○	◎

①主材中の固形成分は 70 wt% 以上

垂直面に 1000 μm 近い塗膜厚を形成させるには、高い固形分濃度が必要である。

②塗膜中の樹脂量は 55 wt%以上

塗膜中の樹脂量が少ないと、伸び性能が低下し、下地ひび割れに対する追従性が低下するばかりか、気密性に劣る塗膜となり、中性化や塩害などの早期劣化を防止できない。

③アクリルゴム中の 2-エチルヘキシルアクリレート (HA) の量は 90 wt% 以上

アクリルゴムには、低温から高温まで高い柔軟性が要求される。このようなアクリルゴムを作るには、HA モノマー (T_g は約 -60°C) を 90 wt% 以上使用し、アクリルゴムの T_g を低温に設計し、低温で成膜しやすく、かつ、低温で柔軟性を持ったアクリルゴム粒子およびアクリルゴム塗膜とする必要がある。

④塗膜中の可塑剤などの抽出成分量は 1 wt% 以下

可塑剤は塗膜を柔らかくする添加剤で、これを添加すると硬い塗膜でさえ柔らかくすることができる。しかし、可塑剤は塗膜から徐々に逸散し、短期間でひび割れ追従性が失われてしまう。アロンウオールは、低温で柔軟な樹脂を使用することにより、塗膜中にこうした可塑剤成分を添加していない。

東亜合成の強みは、アクリルゴムの原料に当たる各種アクリル酸エステルをモノマー段階から、水系アクリルエマルションの合成まで自社工場で製造し、そこへ充填剤や添加剤を配合したアロンウオールを自社で一貫して製造していることであり、これらによって上記の品質規格を満たすアクリルゴム系防水材を提供している。これらの条件をすべて満たすことで、長期にわたって優れた下地ひび割れ追従性や各種劣化因子に対する遮断性を有するアクリルゴム系防水材「アロンウオール」を得ることができる。

3.2 化学劣化に対する考え方

熱や紫外線による高分子鎖の劣化反応は、高分子の主鎖や側鎖の切断反応であり、表 11 に示す結合エネルギーと、熱や紫外線のエネルギーの大小に左右される。アクリルゴムの場合、高分子の主鎖は炭素-炭素結合 (C-C 結合) で構成されており、紫外線や熱による分解反応が起きにくい特長を有する。C-C 結合の結合エネルギーは約 348 kJ/mol であるのに対し、ウレタン結合 (C-N 結合) の結合エネルギーは 292 kJ/mol であるため、C-N 結合の方が低いエネルギー (温度や紫外線量) でも化学結合が切断される傾向がある¹²⁾。

熱や紫外線以外の劣化メカニズムには、ウレタン結合やエステル結合の加水分解反応が知られている。アロンウオールの場合、主鎖部分の C-C 結合は加水分解による切断を生じないのに対し、ウレタンゴムの場合、加水分解により切断されやすい C-N 結合が主鎖部分に位置するため、劣化の影響を受けやすい。アクリルゴムに関しても、側鎖のエステル (COO 結合) は加水分解を生じうるため、塗膜は徐々に硬く

なり防水性が低下する。いずれにおいても、防水性能を長期に維持するには、耐候性の高い仕上塗料で紫外線を遮断し、防水層を保護することが基本的な考え方となる。

また、大気は微量のオゾンを含含有しており、強い酸化作用を持つオゾンによる高分子鎖の劣化を引き起こし、特に炭素の二重結合（C=C 結合）はオゾンによる酸化切断が進みやすいことが知られている。JIS A 6021 においても、オゾン劣化の試験として、オゾン濃度 75 pphm で 168 時間処理後、塗膜表面のひび割れ有無を確認する試験が行われている（pphm は 1/100 ppm に相当し、75 pphm は 0.75 ppm に相当）。

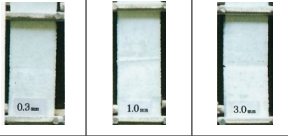
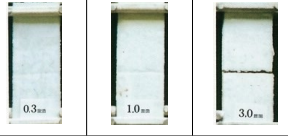
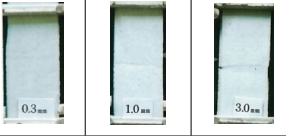
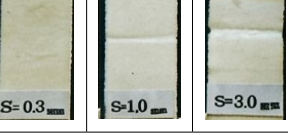
表 12 に、アクリルゴム系塗膜防水材のアロンウオール、他社のウレタンゴム系塗膜、他社のポリブタジエンゴム系塗膜に対し、仕上塗料のない厳しい条件下において、実際に紫外線劣化またはオゾン劣化により塗膜を劣化させた状態を比較評価した結果を示す。

アロンウオールは、紫外線劣化とオゾン劣化のいずれの試験においても、ひび割れ幅 3.0 mm の塗膜伸張状態での試験後に塗膜破断はなく、塗膜表面に亀甲状の割れも生じず、良好な状態だった。一方、他社のウレタンゴムでは、オゾン劣化ではひび割れ幅 3.0 mm の塗膜伸張状態での試験後に塗膜破断はなかったが、紫外線劣化後の塗膜表面に亀甲状の割れが生じ、ひび割れ幅 3.0 mm で塗膜が破断した。他社のポリブタジエンゴムは、オゾン劣化を受けやすい二重結合を有しており、紫外線劣化後およびオゾン劣化後の塗膜表面に亀甲状の割れが生じ、オゾン劣化でもすべての伸長幅で塗膜が破断した。

表 11 各種結合エネルギー

	結合エネルギー (kJ/mol)
C—C	348
C—N	292
C—O	351
C=O	728
C—H	413
N—H	391
Si—O	369
Si—H	295
C—F	441

表 12 防水塗膜の紫外線およびオゾンに対する耐久性

	アロンウオール			他社品 A			他社品 B		
組成	アクリルゴム系			ウレタンゴム系			ポリブタジエンゴム系		
分子構造	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{COOR}}{\text{CH}} \right]_n$			$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{O}}{\text{C}} - \underset{\text{H}}{\text{N}} - \text{CH}_2 \right]_n$			$\left[\text{CH} = \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n$		
ひび割れ幅 (mm)	0.3	1.0	3.0	0.3	1.0	3.0	0.3	1.0	3.0
紫外線劣化 (塗膜伸張時)									
試験体：下塗材+中塗材 条件：サンシャインウェザー 1000 hr	○			△ (表面に亀甲状の割れ発生。 伸長幅 3 mm で塗膜破断。)			△ (表面に亀甲状の割れ発生。)		
オゾン劣化 (塗膜伸張時)									
試験体：下塗材+中塗材 条件：オゾン 75 pphm	○			○			× (表面に亀甲状の割れ発生。 伸長幅 0.3 mm でも塗膜破断あり。)		

(試験条件) 紫外線劣化：サンシャインウェザーメーターにより 1000 時間処理
オゾン劣化：オゾン濃度 75 pphm で 168 時間処理
(試験体方法) ひび割れを想定した切込みの入ったスレート板上に、各防水塗膜が乾燥成膜後の塗膜が約 1,100 μm となるように施工し、ひび割れ幅が 0.3 mm、1.0 mm、または、3.0 mm となるように、保持具で塗膜を伸長状態で固定した状態で劣化試験を行い、劣化後の状態を目視観察した

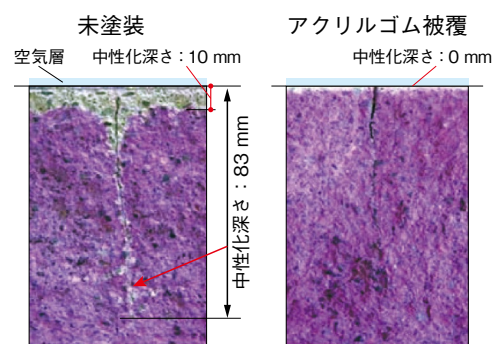
3.3 アロンウオールによる保護効果

アクリルゴム系防水材「アロンウオール」は、単に防水機能を有するだけでなく、気体や塩化物イオンなどの各種劣化因子に対しても、優れた遮断性能を有することを『2. (4) 各種劣化要因の遮断性』において説明した。本節では、実際の建物において施工後長期経過した後の実証試験や、コンクリート中に塩分を含有させたり、腐食が促進される厳しい実環境での実証試験を通し、アロンウオールの優れた保護効果について説明する。

(1) CO₂ に対する保護効果の実証試験

大気中の二酸化炭素によるコンクリートの中性化は、すべての鉄筋コンクリート造建物に共通の問題であるため、古くから鉄筋コンクリート造建物の長寿命化における課題とされてきた。コンクリートの主な成分であるセメントは、水硬化の過程で重量の1/3の水酸化カルシウムを溶出し、コンクリートを pH12～13の強アルカリ条件とし、コンクリート中の鉄筋を高アルカリ環境下で不動態化することで、錆などの腐食による劣化を防止している。一方、コンクリートは大気中の炭酸ガス（CO₂）や水に溶解した亜硫酸ガスなどの酸性ガスの作用を受け、アルカリ性の水酸化カルシウムが中性の塩に変化し、コンクリートは pH7 に近づく。参考に、炭酸ガスによるコンクリートの中性化に関する化学反応式を右下式に示す。

コンクリートの中性化は、フェノールフタレイン溶液で調査することができる。割裂したコンクリートにフェノールフタレイン溶液を噴霧すると、健全な部分はアルカリ性に由来して赤紫色に呈色するが、中性化した部分は着色しない。写真5に、未塗装の試験体とアクリルゴム塗膜で被覆した場合のコンクリートの中性化の進行状態の違いを示す。



※水セメント比（W/C）：60%、ひび割れ幅：1 mm、CO₂ 濃度：10%、促進期間：1 か月

写真5 ひび割れ部からの中性化促進状況およびアクリルゴム塗膜による中性化抑制効果¹³⁾

鉄筋コンクリート中の鉄筋腐食の概念図を図16に示す。

鉄筋コンクリートの表面から鉄筋までの距離のことを、かぶり厚と呼び、コンクリートの中性化はコンクリート表面から進行する。中性化深さが、かぶり厚に達して鉄筋周辺のコンクリートが中性化すると、鉄筋の腐食が始まる。鉄筋は錆びると体積が元の鉄筋より著しく大きくなるため、かぶりコンクリートを破壊してひび割れが発生する。このひび割れから二酸化炭素、酸素や水分などが供給されることとなり、鉄筋の腐食は、より短時間で進行する。

未塗装の試験体では、表層部から10 mm程度中性化が進んでおり、ひび割れ部周辺からも中性化が進行している状態だった。一方、

(中性化の化学反応式)

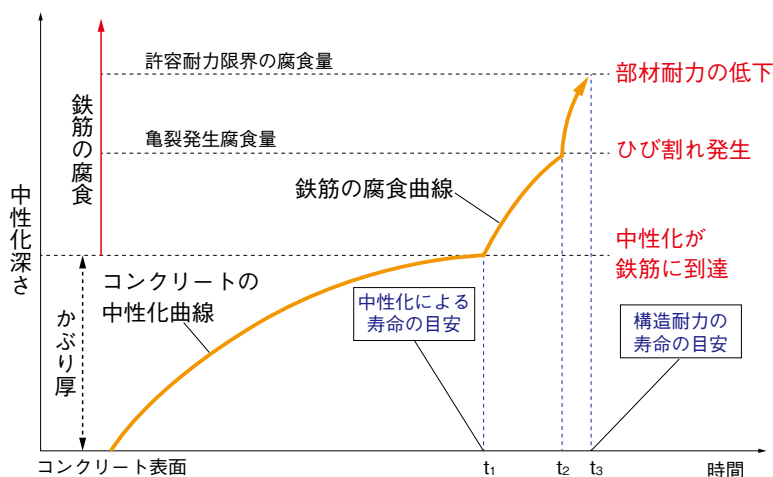
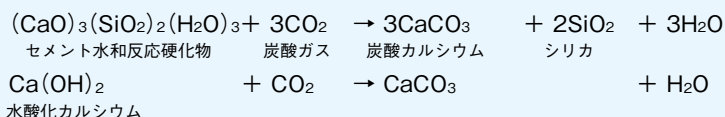


図16 鉄筋コンクリート中の鉄筋腐食の概念図

アクリルゴムを被覆した試験体は、二酸化炭素の浸入を防ぎ、表層部とひび割れ部のいずれでも中性化が抑制できていた。

表13に、アロンウオールを施工後39年経過した建物の概要、外観、経年の防水塗膜および鉄筋コンクリートの中性化の進捗度合いを調査した結果を示す。本物件は、岡山県の内陸部に位置しており一般的な劣化環境に位置し、アロンウオールを施工後メンテナンスなしで39年経過している。39年後の付着強さは良好であり、防水性は初期と比べて低下が進んでいるものの、疲労性試験の疲労区分はA2であり、幅0.5mmまでのひび割れに追従できる性能を維持していた。

施工後39年後の中性化防止性の調査は、鉄筋コンクリート建物からコア（直径100mm）を抜き取り直後に割断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、中性化深さを測定した。アロンウオール未施工の面（右側）では中性化が約30mm進行していた。一方、アロンウオールを施工した箇所のコンクリート表面近傍（左側）ではアルカリ性を保てており、鉄筋の発錆も認められないことから、アロンウオールに

表 13 一般環境におけるアロンウオール施工建物の調査結果（施工後 39 年）

物件概要

建物名称（所在地）	鏡野町中央公民館（岡山県山間部）	構造・規模	RC 造 2F 建て
下地	鉄筋コンクリート	気候	内陸気候
施工工法	アロンウオール	アロンウオール施工	1978 年（新築時）
備考	メンテナンスなしで施工後 39 年経過していたが漏水はなく、所々に仕上塗料の割れが認められたものの、防水材の破断は認められなかった。建物およびアロンウオール塗膜の外観、付着性、防水性能および中性化抑制状況は良好だった（※）。		

調査結果

外観



調査時の建物外観

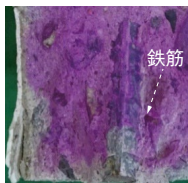


仕上塗料の割れ（防水層は破断なし）

調査結果

試験項目				初 期			39 年経過後		
付着性	付着強さ（N/mm ² ）			—			1.6（33 年経過時点）		
	ゼロスパンテンション伸び量(mm)			4 ～ 5			2.0		
防水性	疲労性	ムーブメント	0.25 ～ 0.5 mm	○	○	○	○	○	○
			0.5 ～ 1.0 mm	○	○	○	○	×破断	
			1.0 ～ 2.0 mm	○	○	○			
		疲労区分		A4（破断しない）			A2(0.5 ～ 1.0 mm で破断)		
	躯体保護性	透湿度(g/m ² ・日)			37			—	
塩化物イオン透過量(mg/cm ² ・日)			4.8 × 10 ^{−4}			—			
中性化深さ（mm）			—			2			

中酸化防止性

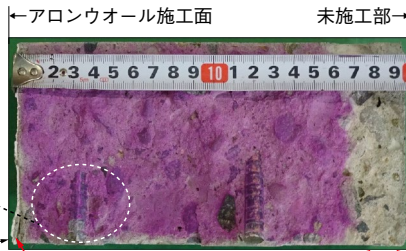


鉄筋

アロンウオール

←アロンウオール施工面

未施工部→



2・3 4 5 6 7 8 9 10 1 2 3 4 5 6 7 8 9

中酸化深さ：約 2 mm

中酸化深さ：約 30 mm

※）詳細は、テクニカルレポート No.43、および、あしば Vol.130 参照

よる中性化防止性を確認することができた。鉄筋にも発錆は認められず、施工後 39 年経過後でも優れた保護性能を有していることを確認できた。

(2) 塩分による劣化促進条件での実証試験

台風通過時には海から巻き上げられた海水が海岸から数十 km 離れた内陸地域でも観測されることが知られており、四方を海に囲まれる日本では海岸から離れていても、飛来塩分に伴う塩害による劣化の影響を受ける。また、鉄筋コンクリート建物における塩害は、海からの飛来塩分だけでなく、冬季に融雪剤として使用される塩化カルシウムなどからも供給され、飛来塩分はコンクリート内に浸入し、鉄筋コンクリートの中性化が促進していなくとも、外的要因である水と酸素により鉄筋の腐食が加速し、発錆が進行する。そのメカニズムを図 17 に示す。

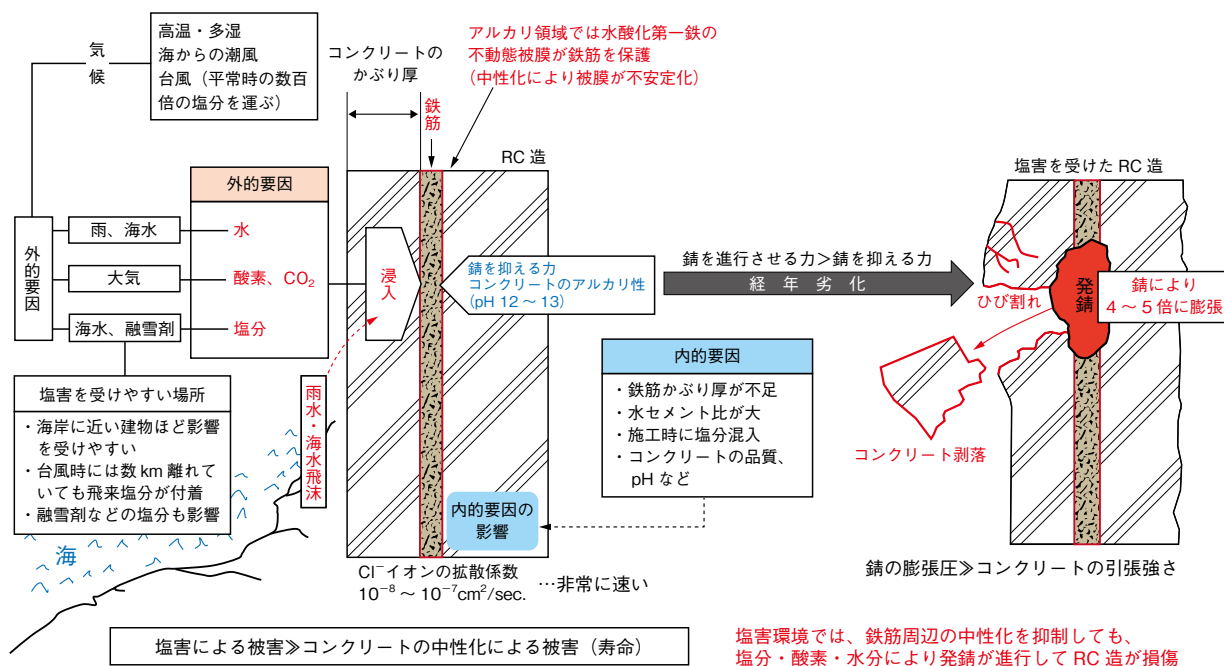


図 17 塩害環境における鉄筋コンクリート造建物における鉄筋腐食促進のメカニズム

塩分を含まない鉄筋コンクリートの鉄筋は、コンクリートのアルカリ成分で鉄筋の周りに不動態被膜を形成しているが、コンクリートの中性化が経年で進行すると不動態被膜が不安定化して発錆が進行する。一方、鉄筋コンクリート中に塩分が浸入した条件では、中性化が進んでいなくとも、外的要因の水・酸素・塩分の存在によって鉄筋腐食が進行する。こうした塩分による劣化促進を利用し、アロンウオールによる建物の鉄筋腐食抑制効果について、実暴露環境での実証試験結果について以下に紹介する。

塩分による鉄筋コンクリートの劣化促進を利用し、亜熱帯気象の沖縄県海岸で、鉄筋コンクリートに塩分を含まない条件と塩分 0.5% を含有させた実大サイズの構造物を建設し、アロンウオールによる保護効果の検証試験を実施した¹⁴⁾。試験の立地環境および試験の様子を表 14 に、試験結果を表 15 に示す。

無塩部の未塗装部は、海からの飛来塩分で塩化物イオン量が高くなり、暴露 3.5 年目には 0.1 ～ 0.3 mm のひび割れが発生した。一方、無塩部のアロンウオール施工部は、施工前の 4 か月で飛来塩分が試験体に浸入したが、その後は塩化物イオン量に変化はなく、暴露 10 年後でもひび割れは発生しなかった。コンクリートをコア抜きし、鉄筋の腐食状態を調査すると、未塗装部では経年で鉄筋腐食面積が増え、9 年目には断面欠損を伴うほどの著しい腐食が認められたが、アロンウオールを施工した試験体は塩害腐食を完全に抑制していた。

塩害促進条件である有塩部の未塗装部は、短期間で試験体内部の塩化物イオン量が高まり、暴露3か月で0.1～0.3 mmのひび割れが発生した。一方、有塩部のアロンウオール施工部は、アロンウオール施工前の未施工状態の4か月間で塩化物イオン量がわずかに増えたが、アロンウオール施工後については、塩化物イオン量の変化は認められなかった。その後、暴露7年後に0.1 mm程度の微細なひび割れが発生した。

未塗装部のひび割れ発生時期と比較すると、アロンウオール施工部は塩害からの保護効果により、試験体の寿命を28倍相当に延長していた（7年×12か月÷3か月＝28倍）。鉄筋腐食面積率は、未塗装の無塩部では早期から著しい腐食が進行したが、アロンウオールを施工した試験体では、腐食面積率の上昇を軽減し、塩分0.5 wt%を含んでいても、その他の劣化要因を遮断することで10年後でも部分的な浮きや錆が小面積の斑点状に発生している程度で、腐食グレードⅡを維持していた。

また、塩害促進環境における暴露10年後までのゼロスパンテンション伸び量を、日本各地の実際の施工物件から採取したアロンウオールの経年塗膜の実績値と比較した結果を図18に示す。暴露10年後までのゼロスパンテンション伸び量は、一般環境におけるアロンウオールの経年調査結果の範囲であり、亜熱帯地域の塩害地域においても防水性が長期にわたって維持できていることを確認できた。

なお、コンクリートの表面距離と塩化物イオン濃度の経年変化の違いに基づいたアクリルゴム系塗膜防水材料による保護効果は、日本建築学会のJASS5N『15.5 波しぶきの影響を受けるコンクリート』に、「波しぶきの影響を受けるコンクリート（海岸から約100 m以内を対象）の外表面には、鉄筋腐食が生じないよう、塩化物イオンの浸透を抑制する効果のある被覆を施す」、「アクリルゴム系塗膜が塩化物イオンの浸透を防ぐ効果があることが10年間の暴露試験によって明らかにされている」として引用されている¹⁵⁾。

表14 沖縄塩害環境下での塩害促進試験の立地環境および試験の様子

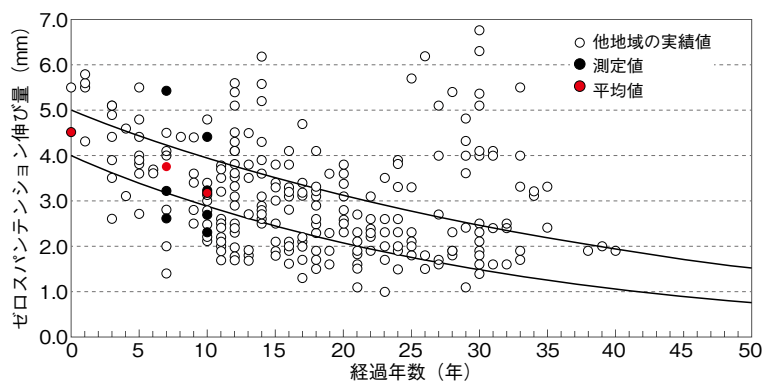


図18 塩害環境における10年暴露後までのゼロスパンテンション伸び量

表 15 沖縄塩害対策暴露センターにおける実暴露促進試験

	未塗装	アロンウオール施工	未塗装	アロンウオール施工
	無塩部	有塩部 (NaCl 0.5% 配合)	無塩部	有塩部 (NaCl 0.5% 配合)
鉄筋の腐食面積率と 腐食グレードの 経年変化				
	鉄筋の状態	鉄筋の状態	鉄筋の状態	鉄筋の状態
	0	0	0	0
	1	1	1	1
表面距離と 塩化物イオン濃度の 経年変化				
	表面距離と 塩化物イオン濃度の 経年変化	表面距離と 塩化物イオン濃度の 経年変化	表面距離と 塩化物イオン濃度の 経年変化	表面距離と 塩化物イオン濃度の 経年変化
	0.1 ~ 0.3 mm	0.1 ~ 0.3 mm	0.1 ~ 0.3 mm	0.1 ~ 0.3 mm
	0.1 ~ 0.3 mm	0.1 ~ 0.3 mm	0.1 ~ 0.3 mm	0.1 ~ 0.3 mm
ひび割れの発生時期	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制
	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制
	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制
	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制	腐食を完全に抑制

次に、塩害促進環境で実際にアロンウオールを施工した物件における経年調査として、空港ターミナルビルの外壁にアロンウオールを施工した物件を調査した結果を表16に示す。

アロンウオールは新築時に施工しており、調査は施工後13年経過後に実施した。鉄筋付近の塩化物イオン濃度の実測値は 0.1 kg/m^3 以下（JASS5における許容塩化物イオン量は 0.3 kg/m^3 ）で良好な状態を保てており、かつ、写真の示す通り鉄筋には錆が認められず、アロンウオールが優れた塩害防止効果を有することを確認できた。下地に対する付着強さは 0.5 N/mm^2 以上であり、防水性の試験ではゼロスパンテンション伸び量は1.7 mm、疲労性試験はムーブメント $0.25 \sim 0.5 \text{ mm}$ の -10°C で破断した。本結果は

表16 塩害促進環境でのアロンウオール施工建物の調査結果（施工後13年）

物件概要

建物名称（所在地）

空港ターミナルビル（沖縄県那覇市）

構造・規模

RC 造

下地

鉄筋コンクリート

気候

亜熱帯（塩害環境）

施工工法

アロンウオール

アロンウオール施工

1999 年（新築時）

備考

付着性と劣化因子の遮断性は良好だったが、厳しい塩害環境により防水性がかなり低下していた。耐疲労性の観点では、幅 0.5 mm まで追従できる可能性を示した。保護機能を長期間維持するためには、改修が必要と調査結果から判断でき、アロンウオールによる再改修の計画提案につながった。

外観立地環境



調査時の建物外観



亜熱帯地域の海に近い塩害環境



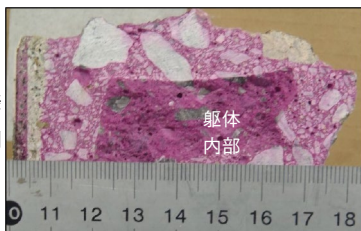
地理院地図より転載

調査結果

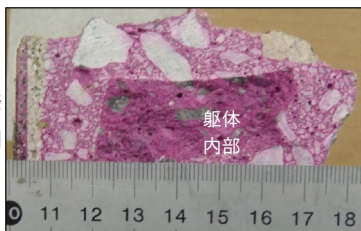
試験項目				初 期			13 年経過後		
付着性	付着強さ（N/mm ² ）			—			1.6（13 年経過時点）		
	ゼロスパンテンション伸び量(mm)			4 ～ 5			1.7		
防水性	疲労性	ムーブメント	0.25 ～ 0.5 mm	○	○	○	○	○	×破断
			0.5 ～ 1.0 mm	○	○	○			
			1.0 ～ 2.0 mm	○	○	○			
		疲労区分		A4(破断しない)			A1(0.25 ～ 0.5 mm で破断)		
躯体保護性	透湿度(g/m ² ・日)			37			31		
	塩化物イオン透過量(mg/cm ² ・日)			4.8 × 10 ⁻⁴			8.9 × 10 ⁻⁴		
	中性化深さ（mm）			—			4		



鉄筋の発錆は認められなかった



表層側



躯体内部

表層付近で僅かに中性化

幅 0.25 mm までのひび割れに追従できる結果を示しており、沖縄の最低気温が 10℃ 前後であることを考慮すると幅 0.5 mm までのひび割れには追従できるものと考えられた。

一方、透湿度および塩化物イオン透過量は初期値と同程度であり、十分な保護性能を維持していた。塩化物イオン濃度は、表層から 10 mm までの間では JASS5 で規定する許容量 0.3 kg/m^3 を超えているものの、かぶり付近では 0.1 kg/m^3 以下であり、鉄筋の腐食リスクは低いと考えられた。

コンクリートの中性化深さは僅か 4 mm であったが、塗膜と下地間に位置する下地調整材が中性化していないことから、型枠脱型後から下地調整までの間に中性化したものと判断した。更に、鉄筋には発錆が認められないことから、アクリルゴム系防水は優れた保護性能を発揮し、塩害促進環境にありながら鉄筋コンクリートを良好に維持しているものと考えられた。

図 19 に、本物件から採取した塗膜のゼロスパンテンション伸び量を、日本各地の実際の施工物件から採取したアロンウオールを経年塗膜の実績値との比較した結果を示す。暴露 13 年目の本物件から採取した塗膜のゼロスパンテンション伸び量は、一般環境での 30 年以上経過相当であり、本環境の厳しさに由来するものと考えられ、保護機能を長期間維持するためには、改修が必要と本調査結果から判断でき、アロンウオールによる再改修の計画提案につながった。

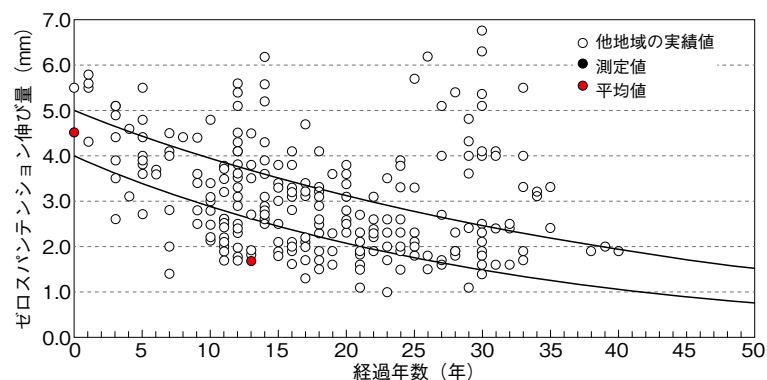


図 19 塩害環境における 13 年暴露後までのゼロスパンテンション伸び量

(3) 低温高湿環境下における実証試験

アロンウオールは、低温でも優れた柔軟性と耐候性を持ったアクリルゴムを主成分としており、冬季や寒冷地でも長期にわたって防水性を維持する。また、アロンウオールは液体の水は通さず低温高湿条件でも塗膜が膨れることなく優れた耐水性を有しながらも、気体の水である湿流（水蒸気）は適度に通して逃がす性質（透湿性）を有しており、施工後の建物を乾燥側に導き、内部の湿気を放湿することで凍害劣化を抑制する。低温高湿環境では、水分が原因で膨れや凍害等を引き起こすため透湿性が必要であるが、一方で透湿性が高くとも耐水性の低い材料の場合、塗膜の吸水膨潤による不具合を引き起こす¹⁷⁾。

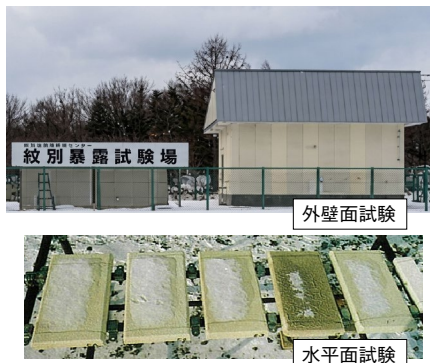
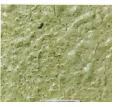
こうした低温高湿環境での耐水性と透湿性に関わるアロンウオールの性能評価を行うため、下地が吸水しやすい ALC 造の暴露構造物を建設し、アロンウオールおよび他社の透湿性材料の比較試験を行った。低温高湿環境での実証試験は、北海道紋別市の紋別暴露試験センターにおいて検証試験を実施している。紋別市は、12 月から 3 月までの月平均気温が 0℃ を下回る寒冷地であり、年間の降雪量合計が 200 ～ 300 cm、年間平均相対湿度が 70 ～ 80%、年間平均風速が 3 ～ 4 m/s であり、厳しい凍害環境の地域にあたる。また、本試験センターはオホーツク海に面した海岸から約 500 m 地点に位置し、海からの塩害にも晒される厳しい環境下に置かれた試験場である。試験条件と試験結果を表 17 に示す。

アロンウオールを施工した試験体は、暴露 5 か月後および 28 か月後のいずれでも塗膜に割れや膨れなどの異常はなく、壁体内が湿潤状態でも附着強さの初期に対する低下も認められず良好な結果を示した。比較試験としてアロンウオールの透湿性を高く設計した試験体 B は、外観に異常は認められなかったが、

湿潤状態での付着試験で、初期より付着強さが低下する傾向があった。試験体 D は、試験開始後すぐに塗膜破断や、水による塗膜軟化や膨れが認められ、暴露 28 か月後には塗膜の膨れが広範囲で発生した。試験体 B と D は冬季を一度超えただけで塗膜に割れや膨れが認められており、塗膜の付着も初期から大きく低下した。試験体 B～D は、いずれもアロンウオールよりも透湿性が高い塗膜であるが、冬季に塗膜が割れや膨れを生じたり、付着も著しく低下することが分かった。

次に、鉄筋コンクリート構造物に対する低温環境での実証試験として、コンクリート供試体を同紋別暴露試験センターで 13 年暴露し、アクリルゴムの有無による保護効果を検証した結果を表 18 に示す¹⁸⁾。寒冷地では、海からの飛来塩分だけでなく、融雪剤として使われる塩化カルシウムなども塩害の劣化要因となることから、塩害と凍害による複合的な劣化条件とするため、塩分 0.5% を内在させた条件でコンクリートを打設した（鉄筋のかぶり厚は 50 mm）。供試体は、内部に砂を入れた構造として水の影響を受けやすい箱型構造とし、試験体の上端部は建築物の庇の形状を模して鰐状の形状とした。

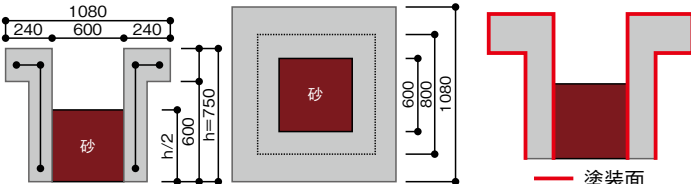
表 17 低温高湿環境における ALC 下地に対する各種外装材の実証試験

			A (アロンウオール)	B (比較品)	C (他社品)	D (他社品)	E (他社品)
			外壁化粧防水材	外壁化粧防水材	複層単層仕上塗材	透湿・防水形弾性塗料	透湿・防水形弾性塗料
			JIS A 6021	JIS A 6021 (透湿形)	JIS A 6910 防水形	JIS A 6909 単層形	JIS A 6910 防水形
紋別暴露試験場センター ・鉄骨造 ALC 下地建物外壁 ・水平面試験体での試験の様子 ・立地環境 (室内条件) 夏季：制御なし 冬季：20℃で 60RH% 以上に加湿							
実暴露 5 か月	意匠性	一般部	○	○	○	× 割れ	○
		窓サッシ枠回り	○	○	△ 膨れ	× 割れ、膨れ、剥れ	× 割れ、膨れ
		外観 (壁面)					
	付着強さ (kgf/cm ²) [] は初期値に対する保持率		3.1 [95%]	3.5 [67%]	1.1 [20%]	0.6 [69%]	0.6 [68%]
	透湿性能 (外壁面 ^{*1})	壁体内含水率 (wt%)	39.8	42.6	45.6	39.1	44.7
		20℃透湿性 (g/m ² ・日)	14	24	22	70	39
実暴露 28 か月	意匠性	外観 (水平面 ^{*2})	 異常なし	 異常なし	 若干の汚染あり	 膨れ、シワ、汚染あり	 ひび割れ、汚染あり

※ 1) 室内側からの湿流の影響を与えるため防湿層はなしとした

※ 2) 水平暴露試験体は、水が溜まりやすく凍結融解の影響を受けやすいため、壁面よりも劣化が進行した状態だった

暴露 13 年目の各試験体は、鰐部分の一部を切り出し、腐食状態の評価として中性化深さおよび鉄筋腐食面積率の調査を行った。未施工の試験体の暴露 13 年後の中性化深さが 8 mm であるのに対し、アロンウオールを施工した試験体の中性化深さは 2 mm であった。寒冷地においても中性化深さは 1/4 に抑制されており、低温下でも中性化抑制効果を確認できたが、本試験体の鉄筋までのかぶり厚は 50 mm であり、いずれの試験体でも鉄筋までコンクリートの中性化は到達していなかった。暴露 13 年後において、未施工の試験体はコンクリートがアルカリ性に保てていながらも鉄筋腐食面積率が 45% に達しており、コン

			未施工	アロンウオール施工	
紋別暴露試験場センター ● 中型の鉄筋コンクリート構造体での試験の様子					
			試験体設置	未塗装	
			暴露 13 年目の外観	暴露 13 年目の試験体解体の様子	
試験体仕様	中型コンクリート構造体の仕様 水セメント比：52.4 wt% 設計空気量：4.9 vol% 混和剤：AE 混和剤 含有塩分：0.5 wt%				
	被覆材	なし	アロンウオール工法		
評価結果（暴露13年）	腐食状態	外観	鏽部分が劣化損傷	異常なし	
		中性化深さ (mm)	8.0	2.0	
		鉄筋腐食面積率 (%)	45	15	
	経年塗膜	付着強さ (N/mm ²)	—	1.8	
		ゼロスパンテンション伸び量 (mm)		3.12 (膜厚 1.0 mm)	
				3.13 (膜厚 0.9 mm)	
2.89 (膜厚 0.9 mm)					
2.48 (膜厚 0.7 mm)					
平均：2.91 (膜厚 0.9 mm)					

25

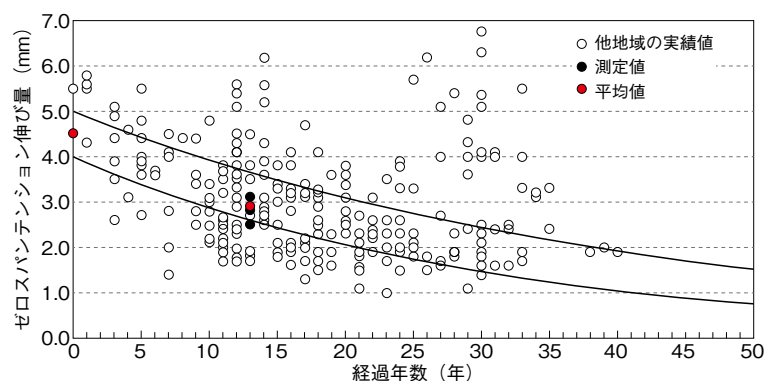


図 20 凍害環境における 13 年暴露後までのゼロスパンテンション伸び量

クリート中の塩分および浸入した水分や酸素の影響で発錆が進行したものと考えられた。一方、アロンウオールを施工した試験体の鉄筋腐食面積率は 15% に留まっており、腐食の程度は未施工と比べて 1/3 程度に抑制されていた。アロンウオールは低温下でも、試験体内部へ劣化要因である水や酸素の浸入を抑制し、凍害と塩害の複合劣化環境でも鉄筋コンクリートを保護し、発錆を抑制していることが確認できた。

図 20 に、本試験体から採取した塗膜のゼロスパンテンション伸び量を、日本各地の実際の施工物件から採取したアロンウオールの経年塗膜の実績値との比較した結果を示す。寒冷地における暴露 13 年後のゼロスパンテンション伸び量は、一般環境におけるアロンウオールの経年調査結果の範囲であり、低温下でも防水性が長期にわたって維持できていた。

4. まとめ

アクリルゴム系塗膜防水材「アロンウオール」は、建物の劣化要因である水を遮断しながらも、適度な透湿性を有したユニークな材料であり、水以外の劣化因子（ CO_2 、塩化物イオンなど）も遮断し、鉄筋コンクリートの中性化、塩害、凍害を長期に抑制する性能を有している。こうしたアロンウオールの性能は、保護効果が長期にわたって維持されていることを実証試験から確認している

東亜合成グループでは、アクリルゴムの樹脂設計・合成から配合・品質管理・経年調査・施工指導までを一貫して実施しており、50 年以上にわたって建物の長寿命化に貢献してきた。本レポートでは、「アロンウオール」の長期にわたる優れた保護効果について、各種主要性能の特長、材料設計や劣化に対する考え方を整理した上で、北は北海道から、南は沖縄の実環境での実証試験を踏まえ、優れた保護効果と耐久性について報告した。

また、「アロンウオール」は、省力化や環境対応が可能なひび割れ部の処理方法である下地挙動緩衝材「アロンウオール SH」などの周辺材料や、シーリング材に対する保護効果、アロン防水組合による責任施工体制や防水保証による実務上の品質確保と維持管理面でも優位性を有している。

材工が一体となって、高品質のアクリルゴム系塗膜防水材「アロンウオール」によって建物を包み込むことにより、建物を水・塩害・中性化・凍害などの劣化因子から長期にわたって建物を保護することで、単にトータルメンテナンスのコスト低減や資産価値向上に貢献するだけでなく、多量の二酸化炭素排出が伴う建設や解体頻度を低減し、持続可能な社会の実現に貢献できるものとして、今後ますます活躍できることに期待する。

以上

【参考文献】

- 1) 会長声明 気候温暖化への建築分野での対応, 日本建築学会, 1997.
- 2) 提言 地球温暖化対策アクションプラン 2050—建築関連分野のカーボン・ニュートラル化への道筋—, 建築雑誌, No.1672, 日本建築学会, pp.54 ~ 58, 2015.
- 3) 防水工法辞典, 産業調査会, p.11, 1981.
- 4) 建築工事 瑕疵・クレーム防止技術マニュアル, 一般社団法人建築業協会, 1992.
- 5) 仕入豊和, キレツによるコンクリートの水密性低下の防止に関する二三の実験的検討, 日本建築学会論文報告集, No.69, pp.217 ~ 220, 1961.
- 6) 室井壮一, 建築塗料における高分子ラテックスの応用, 工文社, pp.45 ~ 47, 1983.
- 7) 田中亨二, 建築防水の立場からみたコンクリート, コンクリート工学, Vol.41, No.3, pp.20 ~ 25, 2003.
- 8) 既存鉄筋コンクリート造建築物の長寿命化に対する取り組み, コンクリート工学, Vol. 57, No.5, 2019.
- 9) 日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS8 防水工事」, p.101, 2022.
- 10) 建物の長寿命化に寄与するアクリルゴム系外壁用塗膜防水材の特性, 日本外壁防水材工業会, pp.64 ~ 65, 2019.
- 11) 本橋健司, アクリルゴム系塗膜防水材の可能性と信頼性を高めるための方向性, 防水ジャーナル, No.654, pp.46 ~ 53, 2026.
- 12) L. Pauling, 化学結合論, 共立出版, pp.72 および 170, 1962.
- 13) 塚越雅幸, 宮内博之, 田中亨二, 塗膜防水層下のコンクリートひび割れ部分の炭酸化, 日本建築学会構造系論文集, No.606, pp.43 ~ 50, 2006.
- 14) 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塗膜の効果, 日本建築学会構造系論文集, 61 巻, 第 487 号, 1996.
- 15) 日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」, p.422, 2013.
- 16) 阿知波政史, 湯浅昇, 本橋健司, 山田義智, アクリルゴム系外壁用塗膜防水工法による鉄筋コンクリート造建物の保護性能, 日本建築学会大会梗概集, pp.299 ~ 300, 2018.
- 17) 鎌田英二, 北海道建築指導センター 寒冷地の外装仕上塗工法に関する研究委員会, 寒冷地での ALC の上手な使い方—ALC 外壁のあり方と塗装材の選定—, 工文社, 1998.
- 18) 片平陽大, 濱幸雄, 小型コンクリート構造体の長期屋外暴露試験による性状評価, 室蘭工業大学 工学部 卒業論文, 2012.

東亜合成 (株)
技術報 あしば:





販売部門

あした、多彩に。 **アロン化成**

東日本支店	〒105-0003 東京都港区西新橋2-8-6	TEL 03(3597)7342 [ダイヤルイン]
中日本支店	〒460-0003 名古屋市中区錦1-4-6	TEL 052(209)8594 [ダイヤルイン]
西日本支店	〒530-0005 大阪市北区中之島3-3-3	TEL 06(6446)6568 [ダイヤルイン]
福岡支店	〒810-0001 福岡市中央区天神4-1-1	TEL 092(687)1415 [ダイヤルイン]
札幌営業所	〒060-0004 札幌市中央区北4条西4-1-7	TEL 011(804)8614 [代表]

www.aronkasei.co.jp



 0120-557-947 (フリーダイヤル)

www.toagosei.co.jp

