

長期使用を考慮した 2 次防水仕様を有する乾式外壁材の屋外暴露の施工と初期性能評価

DB18404 佐藤瑞希

1. はじめに

建築外壁の基本的な役割は、雨風や火災を始めとした外環境から居住空間や躯体を隔離することである。近年、地球温暖化の影響で気象環境の変化が大きく生じており、日本を筆頭に世界各地で集中豪雨や自然火災などの自然災害が多発している。このような環境下でも外壁は室内環境を一定に保つ必要があり、これを実現するために現在は、パネル接合部を 1 次・2 次シーリングの二段階で防水することにより室内を保護している。この接合部には高い水密性・気密性が要求されている。シーリング材・ガスケットのライフサイクルは外壁材の 1/5 から 1/3 程度と短く、躯体保護・使用性維持の観点で弱点となる。1 次シーリングについては、建物断面の屋外側に施工されていることから、竣工後のアクセスが容易なため、現時点でも比較的研究が進んでおり図 1 に示すような診断・補修のチャートも作成されている。対して、表 1 に示すように建築用ガスケットは用途により目地ガスケット・グレイジングガスケット・気密ガスケット・構造ガスケットに大きく分類される。その中でも、フィルドジョイント工法における 2 次シーリングの材料として多用される目地ガスケットについては、建物断面の屋内側に施工されていることから、竣工後のアクセスが困難な点も相まって、工学的なデータが少なく劣化度の診断や補修が難しいのが現状である。そこで、本研究では中高層ビルの外壁へ施工する目地ガスケットを研究対象とし、2 次シーリングの既往研究を整理した上で経年変化について評価を行う。

2. 実験概要

2.1 本研究へのウレタン系ガスケットの選定理由

表 2 に建築用ガスケット JIS への記載の変遷、表 3 に本研究で用いる建築用目地ガスケットを示す。一般的に建築用ガスケットに使用される材料はシリコンをはじめとする合成ゴム系がほとんどであるが、本研究ではウレタン系素材も採用する。ウレタンは、合成ゴムと比較すると防水性が低い³⁾傾向がある。1987 年より JIS A 5750「建築用発泡体ガスケット」(以下、5750)で扱われていた、合成樹脂の含浸によって防水性を増補した含浸ポリウレタン系(以下、IU)は利用範囲、要求性能が限定的であった。また、ウレタン(含浸型が対象)は 2013 年の 5750 と JIS A 5756「建築用ガスケット」の統合時に JIS への記載がなくなった。

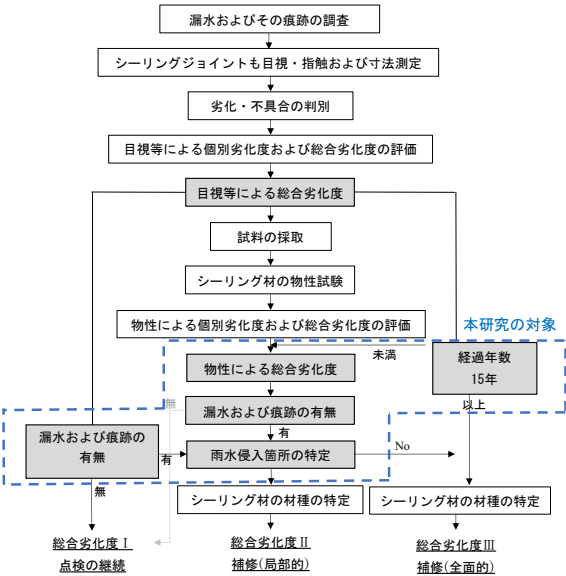


図 1 シーリングジョイントにおける
詳細調査・診断の流れ 1) と本研究対象

表 1 建築用ガスケットの分類²⁾と本研究対象

	ガスケット名称	目地ガスケット	グレイジングガスケット	気密ガスケット	構造ガスケット
		国内・国際規格 JIS A 5756 ISO 3934	JIS A 5756 ISO 3934	JIS A 5756 ISO 3934	JIS A 5760 ISO 5892
	用途	目地周りの気密・止水	ガラス周りの気密・止水	サッシ・ドアの 框・枠周りの 気密・止水	ガラス周りの気密・止水、ガラスの 固定
サッシ	取付方法	外装目地部分に押し込む 溝式目地と嵌式目地の併用もある	ガラスに巻きつけてサッシの框に押し込む(軟質PVC、TPE) ガラスの4辺にくっ立たせる (高軟質PVC)	アルミ材の框や枠に挿入する かしめや接着剤の併用もある	
	ガスケットの交換	専門業者	可能・専門業者	殆ど不可能	
ドア	取付方法		ドアの框に挿入し、押し込む(軟質PVC、TPE) ガラスの4辺にくっ立たせる (高軟質PVC)	アルミ材の框や枠に挿入する かしめや接着剤の併用もある	
	ガスケットの交換		可能・専門業者	殆ど不可能	
ビルサッシ	取付方法	目地部分に押し込む アルミ材の框に押し込む	ガラスに巻きつけてサッシの框に押し込む(軟質PVC、TPE、EPDM、SR) ガラスの4辺にくっ立たせる (高軟質PVC)	アルミ材の框や枠に挿入する かしめや接着剤の併用もある	金属・支持枠に嵌 合させる
	ガスケットの交換	可能・専門業者	可能・専門業者	殆ど不可能	可能・専門業者
ビル高層サッシ・超高層アルミ	取付方法	アルミ材の框や枠に挿入する かしめや接着剤の併用もある	内部側は支持部材に先付けで ール併用が多い。外部側は 後押し込みでコーキング箇所は 加硫成形でエンドレスにする場合が多い (EPDM、SR)	アルミ材の框や枠に挿入する かしめや接着剤の併用もある	工場内での取付と 現場における取付がある
	ガスケットの交換	可能・専門業者	可能・専門業者	殆ど不可能	可能・専門業者
カーテンウォール	取付方法	接着剤等で張り付ける 溝に流し込む			
	ガスケットの交換	殆ど不可能			

■ 本研究の対象

表 2 建築用ガスケット JIS 規格への記載の変遷

年代	規格	
	JIS A 5756 建築用ガスケット	JIS A 5750 建築用発泡体ガスケット
1981	制定 (「建築用軟質塩化ビニル製グレイ ジングガスケット」から改称)	
1987	-	
1989	合成ゴムの種類が細分化	-
1997	ISO規格との整合化	-
2000	-	JIS A 5756 との整合化、合成ゴムの 種類が細分化、塩化ビニル系が削除
2013	JIS A 5750 が 5756 へ統合、 ウレタン系が削除	

一方で、IUの改良型として登場した非含浸型ポリウレタン系(以下、NIU)は原材料およびその発泡度合いを微細に調整し、材料自体に防水性、耐久性を付与した材料である。NIUは建築物における施工性改善やコスト、目地交差部の止水性向上等の一案として、建築分野への適応が模索されており、供給量は増加しているものの、実環境での暴露データが十分ではないことから試験対象に採用する。

2.2 ガスケット屋外暴露試験概要

本学八王子キャンパス11号館実験棟屋上にて、壁角度30度と90度の外壁を模した押出成形セメント板(以下、ECP)の2次シールとして、試験対象のガスケットを装着し、屋外暴露試験を実施する。表3にECP屋外暴露試験体の使用材料、表4に実験要因と水準、表5に試験方法を示す。1次シールには1液性変成シリコンを用い、高さ方向の影響を調べるため試験対象ガスケットの両隣に標準試料を装着する。このとき、温度変化・紫外線等の外的要因によらないガスケットそのものの経年劣化を測るため、同建物室内ならびに恒温状態でも同様の試験を実施する。また、暴露期間が終了したガスケットの物性試験結果から経年変化に関する評価を行う。なお、屋外側に1次シール、屋内側に2次シールを施工する二段階防水が一般的であるが、本試験では2次シール単体での劣化や耐久性を調べるため、ガスケット単体でも暴露を行う。

表3 ECP屋外暴露試験体の使用材料

部位	使用材料	記号	その他
外構	単管パイプ		外構寸法t2175×w4190×h2422. 試験体想定重量587kg
	留付金具		
外壁	押出成形セメント板	ECP	パネル寸法150×w590×1105, 横7列×縦19列=133枚使用
目地	1次シール	1液性変成シリコン	ガスケット寸法 t12×w354×h15
	2次シール	エーテル系ウレタン発泡体	
		NIU-es-1	
		NIU-es-2	
		NIU-et-1	
		NIU-et-2	
		NIU-et-3	
		エチレンプロピレンゴム発泡体	
		EPDM-1	
		EPDM-2	
		クロロブレンゴム発泡体	
		CR	
		シリコーンゴム発泡体	
		SR	

表4 実験要因と水準

実験要因	水準
暴露環境	屋外、室内(東京都八王子市)
暴露年数	半年(夏), 半年(冬), 1年, 2.5年, 5年, 10年, 20年
外壁の角度	30度壁(安全側判定用), 90度壁(通常判定)
2次シール(ガスケット)の種類	表1に示した9種類のガスケット
ガスケット圧縮率	10mm(設定目地幅), 15mm(ガスケットの高さ) 設定値: (ガスケット高さ-目地幅)/ガスケット高さ×100=33%
1次シールの有無	1次シールあり, 1次シールなし(2次シール単体)



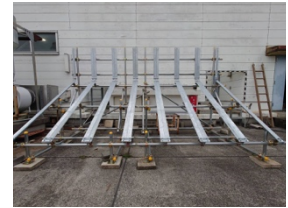
a) ECP穴あけ



b) ECP+ガスケット



c) 単管パイプ組み立て



d) 架台完成



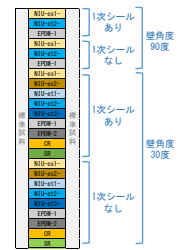
e) ECP取り付け



f) 1次シーリング施工



g) ECP屋外暴露試験体



h) ガスケット配置

図2 ECP屋外暴露試験体施工と配置

表5 試験方法と内容

実験項目	内容	関連写真
積算紫外線量(μW)	壁角度(30度・90度)、季節、天気、日射影響ごとに測定(2021年5月~2022年12月)	a) 紫外線測定の様子
温度変化(℃)	K熱電対による各壁角度の表面・裏面・中空(30度-表面・裏面・中空、90度-表面・裏面・中空)を季節ごとに1ヶ月間24時間測定(2021年6月~8月, 12月~2022年2月)	b) 温度測定ロガー
湿度変化(%RH)	外気湿度を季節ごとに1ヶ月間24時間測定(2021年6月~8月, 12月~2022年2月)	
ガスケット圧縮率(%)	JIS K 6400-4により非暴露と暴露後ガスケットの比較を行い、今後評価する	
ガスケット劣化度	汚れによる質量変化(%)	d) 抗張積残率の考え方
	最大点応力	
	最大点伸び	
	抗張積残率	e) 使用した引張試験機
		c) 温度測定箇所

レーン	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
1	0.5年	0.5年	1.0年	2.5年	2.5年															
2			5.0年																	
3			5.0年																	
4				10年																
5				10年																
6					20年															
7						20年														

図 3 屋外暴露試験期間 (2021 年 5 月～2040 年 4 月)

2.3 シーリング材の既往研究と外部環境調査

榎本らの研究⁴⁾では、旭川・銚子・宮古島の3箇所で見守り材の屋外暴露試験を行った結果から、気象要素の中でも気温による温度変化と日射によるパネルの温度上昇はシーリング材の劣化に影響することが示されている。これより、本研究の八王子 ECP 屋外暴露試験体においてもパネル温度変化と浴びる紫外線積算量の測定を行い、経年変化への影響を考察する。

壁角度 30 度と 90 度の ECP について、パネル表面・裏面・中空(ガスケット本体)の温度変化測定を実施する。図 4 に 2021 年 6 月から 12 月の ECP 屋外暴露試験体における代表的な温度変化測定結果として、最高気温を記録した 7 月 19 日(暑中期)と、最低気温を記録した 11 月 28 日(寒中期)のグラフを示す。これより、測定箇所を部分的に見たとき 1 日を通しての温度変化は暑中期の 30 度壁表面と寒中期の 90 度壁表面で最大約 40 度となること、壁角度 90 度よりも 30 度の方が角度影響は大きく、温度変化が激しいことが確認された。これより、壁角度 30 度に施工したガスケットの方が温度変化要因の劣化が大きいと考えられる。

図 5 に 2021 年 5 月から 12 月において ECP 屋外暴露試験体が浴びる紫外線積算量測定の代表的な結果として春季(5 月)・夏季(8 月)・冬季(11 月)の紫外線量変化と各月の積算紫外線量を示す。このとき、各月の晴れ・曇り・雨のとある日において一日 3 回(正午・15 時・18 時)瞬間的な紫外線量の測定を行い、測定結果の積算からひと月あたりに ECP が浴びた紫外線積算量を求める。紫外線量は上空のオゾン量や雲の影響を受けて変化する。中でも太陽高度は特に大きく影響し、一般的に太陽高度は紫外線量に比例する。そのため、紫外線量は正午を中心に線対称のグラフを描く太陽高度と同様に変化することから測定時刻を設定している。2021 年 5 月に ECP が浴びた紫外線積算量は 25,740kW(1 日あたり晴れ：1,456kW、曇り：740kW、雨：237kW)、8 月は 60,599kW(1 日あたり晴れ：3,652kW、曇り：380kW、雨：324kW)、11 月は 32,446kW(1 日あたり晴れ：1,185kW、曇り：920kW、雨：194kW)、測定結果の積算から 2021 年 5 月から 12 月までの半年間で ECP が浴びた紫外線量は 262,444kW であった。これより、最大 20 年の暴露期間で浴びる紫外線総量の算出が可能となった。

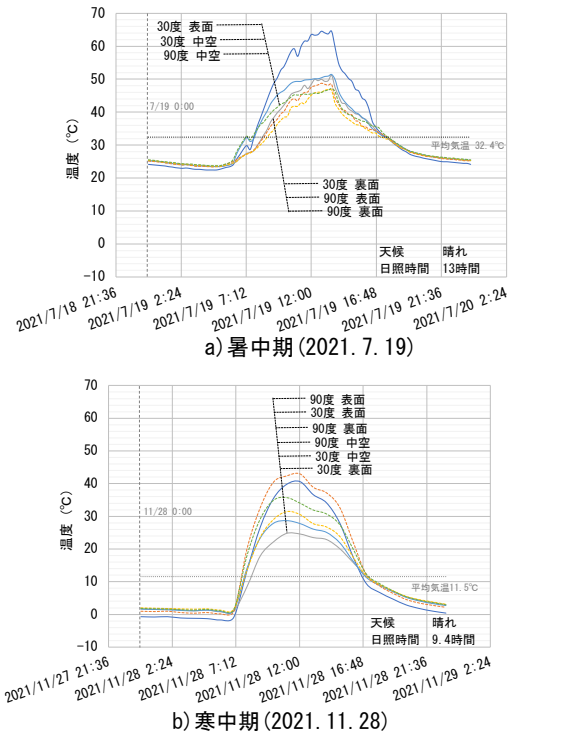
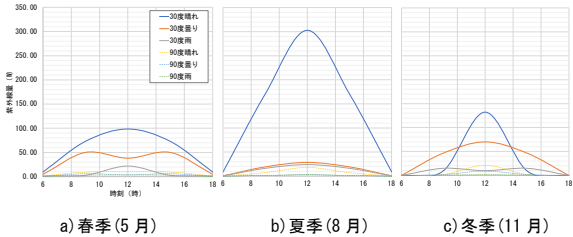


図 4 暑中・寒中期の ECP 屋外暴露試験体の温度変化



条件	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
30度 (1日あたり) (kW)	晴れ	2603.66	4448.74	5074.70	6942.67	2020.90	470.88	2039.47
	曇り	1335.74	2669.33	952.56	700.27	826.85	321.41	1683.94
	雨	382.32	1334.45	779.33	586.22	587.95	94.61	360.72
90度 (1日あたり) (kW)	晴れ	309.31	400.90	390.96	308.02	438.91	52.27	331.34
	曇り	145.15	241.06	95.04	60.91	147.31	29.38	151.63
	雨	92.88	120.10	94.61	62.21	127.87	10.80	27.65
月の 総紫外線量 (kW)	25740.84	46074.50	23772.27	60599.63	20037.09	5906.75	32446.67	47866.61

d) 壁角度・月で区分した ECP 屋外暴露試験体が浴びる紫外線量

図 5 ECP 屋外暴露試験体が浴びる紫外線量測定結果

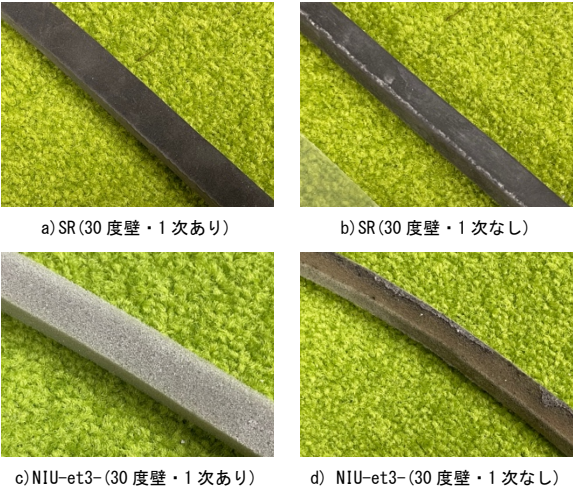


写真 1 採取後ガスケットの例(屋外暴露期間：0.5 年)

2.4 屋外暴露期間半年ガスケットの物性試験と評価

2021年11月18日、屋外暴露期間半年(夏)の試験が終了し、ガスケットの採取と試験体の入れ替えを行った。写真1に採取したガスケットの代表例として、SRとNIU-et3-を示す。また、採取したガスケットについて汚れによる質量変化と引張試験(引張条件: JIS K 6400-5)を実施した。

図6に汚れ質量変化測定結果、図7に最大点応力、図8に最大点伸びを示す。物性評価にあたり、ゴム系材料の老化挙動は材料の硬化によるため、破断時伸び量の低下もあわせて評価する必要がある。そのため、老化前後の引張強度と破断時伸びの積算値を用いた抗張積残率(以下、Tef)により評価する。また、式(1)で算出した結果を図9に示す。

$$Tef(\%) = (T_{B2} \times E_{B2}) / (T_{A1} \times E_{A1}) \quad (1)$$

ここに、 $T_{A1} \times E_{A1}$: 評価前 引張強度×破断時伸び

$T_{B2} \times E_{B2}$: 評価後 引張強度×破断時伸び

3. まとめ

本研究を以下にまとめる。

- 1) 実環境でのデータが十分ではない建築用ガスケットについて、2021年～2041年の屋外暴露によって劣化データベースを構築する。また本研究では、20年間暴露の環境整備と半年間の暴露試験データを得ることができた。
- 2) パネル温度変化は暑中期・寒中期ともに壁角度30度(表面)では90度(表面)のおよそ2倍の1日あたりの温度変化が確認され、瞬間の紫外線量が最も大きい8月の晴れの日において壁角度90度よりも30度の方が1日あたりの積算紫外線量は44%多いことが確認された。これより、壁角度30度の方が温度変化と紫外線の劣化への影響が大きいと考えられる。
- 3) 破断伸び・引張応力だけでなく、抗張積残率によって破断に至るエネルギーによる評価を行うことができた。2021.5～2021.11の半年の暴露期間では、合成ゴム系・ウレタン系ともに抗張積残率は100%前後の結果が多く見られたが、es2単体については4%と大きく数値が低下していた。

謝辞

本研究は、株式会社ノザワ、日本発条株式会社、大鳳株式会社との2021年度工学院大学共同研究であり、日本発条株式会社をはじめ関係各位に多大な助力を得た。

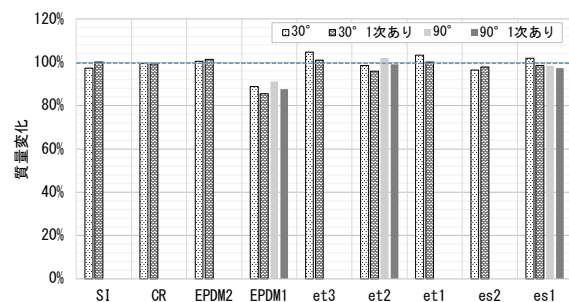


図6 汚れ質量変化測定結果(暴露期間 2021.5～11)

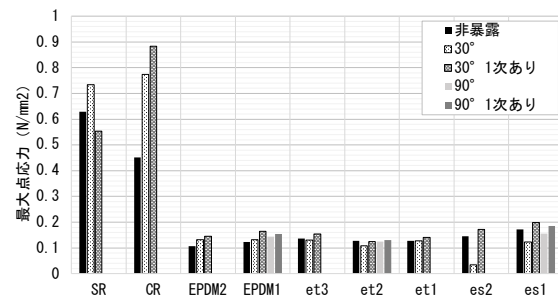


図7 最大点応力(暴露期間 2021.5～11)

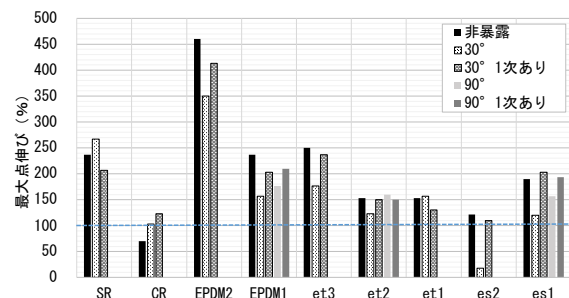


図8 最大点伸び(暴露期間 2021.5～11)

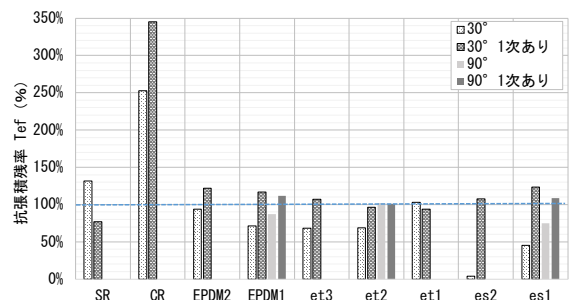


図9 抗張積残率 Tef(暴露期間 2021.5～11)

参考文献

- 1) 奈良利男:シーリング材の劣化判定フローその1, 月間建築仕上げ技術, 2021
- 2) 建築ガスケット協会 HP: 開口部に使用されるガスケットの概要, 2017
- 3) 岡健太郎ほか: 材料選択の観点で見た建築用目地ガスケットの性能評価に関する研究, 日本建築学会学術講演集, 2021
- 4) 榎本教良ほか: 建築用シーリング材の耐候性評価のための新しい試験体及び試験方法, 日本建築学会構造系論文集, 71 巻, 第 604 号, 200