

部材接合部のムーブメントが硬化過程にあるシーリング材に及ぼす影響

松本 洋一
(技術研究所)小野 正
(技術研究所)丸一 俊雄
(技術開発本部)

§ 1. 緒言

近年、各種の建築部材の工場生産化が進み、現場施工においてはそれらの部材を単に組立てる工法が非常に多くなった。これに伴い建築物の各部位に、シーリング材を用いた新しい型の接合部が増大している。これらの接合部の形式やシーリング材の取扱いは、組立・接合などの諸作業を進める上での要点となるばかりでなく、温度変化に伴う伸縮、地震・振動などによって起きるさまざまなムーブメントを調整する役割が求められている。したがって、外壁その他の接合部に充填されたシーリング材は、これらのムーブメントの調整機能を果たすとともに適切な水密性・気密性を確保することが必要である。

しかし、何らかの原因でシーリング材に欠陥を生じた場合、降雨の状況によっては建築物内部に浸水し、物品その他の汚染や建築各部に腐食・損傷などを招き、これが大きな問題となっている。

以上の背景から、本研究はシーリング材の欠陥、特に施工後初期に生じる損傷について種々の角度から試験的研究を行ない、その発生状況を明らかにすることを意図して行なった。

§ 2. 研究の目的

2.1 本研究の目的

外壁の実態調査などによって、接合部に使用したシーリング材がその被着体との界面で剝離を起こしたり、シーリング材自体にひび割れ・くびれ・破断などの損傷が多いことが認められている。

このうち剝離は、主に被着面に施したプライマーとシーリング材、またはいずれかの選択不良ならびに施工担当者の技能の未熟に起因することが多い。一方、損傷にはシーリング材の表面に生ずる細かいひび割れ、目地の長さ方向に沿った亀裂あるいはシーリング材の裏面（バ

ックアップ材側）から入る亀裂などの数種類の型が見受けられる。

ところで外壁の目地には、気温その他の環境条件の変化によってムーブメントが間断なく発生している。したがって、シーリング材には充填直後から長期間にわたって部材のムーブメントが継続して作用することとなる。特に施工後の初期に生じる損傷は、硬化しつつあるシーリング材にムーブメントが作用したため起きるものと推定され、これに類する事例が少なくない。

実際の建築物の接合部におけるシーリング材に、この種の損傷が多発している現状をかながみれば、シーリング材のムーブメントに対する挙動の研究は重要な意味を持っている。

筆者はかねてから、シーリング材の損傷防止について材料の基本性質を究明する観点から調査を進めてきた。本研究はその第一段階として、シーリング材が硬化してゆく過程で目地に起きるムーブメントの影響をどのように受けるかを明らかにすることを目的として試験的研究を実施した。

2.2 既往の研究

シーリング材に関する研究は多いが、硬化過程にあるシーリング材に及ぼすムーブメントの影響を取り上げたものは非常に少なく、幾つかの研究があるに過ぎない。すなわち、加藤正守は接合部に充填して硬化過程にあるシーリング材に対して、外気温の変化に伴う部材のサーマルムーブメントの影響を検討するために、シーリング材を充填してから3時間、および1日後に1.5あるいは3.0mmの振幅を与え、その後の引張試験によって求めた応力-ひずみ曲線を評価するとともに、外観に起こる異常を指摘している¹⁾。また、小池迪夫らは硬化過程にあるシーリング材の粘弾性的性質をレオメータで求めつつ連続的に正弦波形のムーブメントを与え、その影響を確かめている²⁾。一方、各種のシーリング材を対象とした曝露試験の研究結果が報告されているが、いずれもシー

リング材の長期間にわたる耐久性を検討しようとするもので^{3)~7)}、硬化過程において生じる損傷を確かめたものはほとんどない。

シーリング材の硬化過程において、部材のムーブメントがもたらす影響が注目されながらも、それが招く様々な損傷を具体的に示した資料や、その現象を解明する手掛かりは既往の研究によって十分把握することができなかった。特に今日市販されているシーリング材には、その材質の系統によって硬化機構や物性に著しい差異があり、多様なシーリング材の正しい用法を確立するうえでこのことには多くの問題を感じている。

2.3 本研究の項目

部材のムーブメントが硬化過程にあるシーリング材に及ぼす影響が重大であるにもかかわらず、その研究が今日なお立ち後れている。その主な理由としては、シーリング材に生じるこの種の影響を過少評価していることが第一にあげられるが、同時に実地に近いムーブメントを作用させる試験方法が確立されていないため、このことの検討が十分行なわれなかったことによると考える。

そこで筆者は、次の項目について研究を進めることとした。

- (1)シーリング材の動曝露試験装置の試作
- (2)試作した動曝露試験装置による曝露試験の実施
- (3)ムーブメントの作用によってシーリング材に生じる損傷の調査
- (4)シーリング材の種類と損傷との関係についての考察
- (5)シーリング材の損傷に影響を与える因子の検討
- (6)動曝露試験方法の提案

§ 3. 動曝露試験装置の概要

使用した動曝露試験の装置の詳細は、既述の報告に示している⁸⁾。その外観ならびに試験の状況を写真-1に

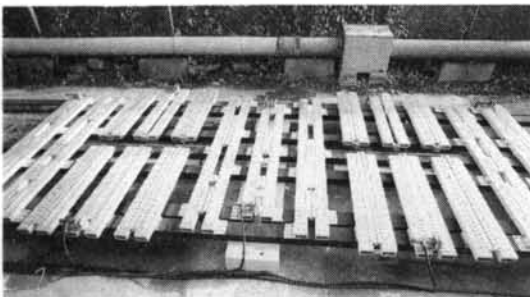


写真-1 動曝露試験装置の外観

示す。この装置の概要は以下のとおりである。

アルミニウムの合金製押出形材を用いた保持枠が、気温や日照の変化によって示す伸縮をシーリング材の試験片に作用させるように試みた。すなわち、コンクリート製の基礎に埋め込んだH形鋼材にアルミニウム合金製押出形材（黒色塗装仕上げ）の一方の端部を固定し、他の一方は自由端として、その自由端の上方に試験片を取り付けるようにしてある。試験片は、地上約400mmの高さに水平で上向きに設置して天然曝露した（東京都江東区清水建設技術研究所敷地内）。試験片の保持枠となるこの押出形材の長さによって、伸縮の大きさは3段階になるように調整した。

本試験の区分であるM-I~IIIの記号は、この伸縮を試験片に作用するムーブメントとみなして、その大きさを表わしている。目標としたムーブメントの大きさは、押出形材の温度差が20℃である場合にM-Iで0.8mm、M-IIで2.1mm、M-IIIで2.7mmである。また、M-0はシーリング材の引張特性などを求める比較試験片として準備したものである。

§ 4. 試験材料および試験方法

4.1 試験に使用したシーリング材

部材のムーブメントによって硬化しつつあるシーリング材に生じる損傷は、シーリング材の材質やその硬化機構によって差異があると思われる。そこで、この試験にはムーブメントの発生しやすい目地部に多用される市販品、および将来使用の増大が予想される材料の中から代表的な材質および硬化機構をもつものを選び、表-1に示す計7種類のシーリング材を用いた。

記号	種類		混合比* (主剤:硬化剤)	備考
	材質	硬化機構		
SR ₁₁	シリコーン	湿気硬化型	—	高モジュラスタイプ
SR ₁₂			—	低モジュラスタイプ
SR ₂₁		反応硬化型	100:10	—
MS ₂₁	変成シリコーン	反応硬化型	100:10	—
PS ₂₁	ポリサルファイド	反応硬化型	100:5	—
PU ₁₁	ウレタン	湿気硬化型	—	—
PU ₂₁		反応硬化型	100:300	—

*）混合比：現場調査で用いる場合の混合比（重量比率）であり、各メーカーが標準仕様として示しているところによった

表-1 試験に使用したシーリング材

4.2 試験片の作製

4.2.1 試験片の形状および寸法

アルミニウム合金製のアングル (50×25×60 mm) を用い、その1辺をシーリング材の被着面とした。目地幅は10 mm とし、充填深さと損傷の関係を調べるために、目地には幅10 mm の発泡ポリエチレン製スポンジをバックアップ材 (片面粘着材付き) として用い、充填深さを5、10 および20 mm に調整した。なお、目地の長さは60 mm であり、試験片の形状および寸法は図-1 に示すとおりである。

4.2.2 試験片の作製

試験は、表-2 に示すように4回のシリーズに分けて行なった。

試験片は、各シリーズとも晴天日が数日間にわたって続くことが予想される日に午前11時頃から開始し、12時頃までの間に動曝露試験装置上に置いて以下に示す手順で作製した。まず、動曝露試験装置に取り付けたアングルの一方に、充填深さを調整するために幅10 mm のバックアップ材を装着する。次に、所定のプライマーをアングルの被着面に塗布しておき、もう一方のアングルを目地幅が10 mm であることを確認しつつ動曝露試験装置の取付枠に固定し、これにシーリング材を充填してM-I、M-II および M-III の試験片とした。また、引張特性を求めるための比較試料となるM-0 の各試験片は、幅が10 mm の固定目地になるようにした特別の治具を用いて同じ場所で同時に作製した。

4.3 試験の方法

4.3.1 曝露試験

試験片は、作製後所定の材令まで動曝露試験装置上にそのままの状態では曝露した。

M-I、M-II および M-III の各目地の試験期間中における目地幅の変化は、各目地に2個の防水型差動トランス (S社製) を取り付け、打点式記録計で連続測定した。また、JIS Z 2381 (屋外曝露試験方法通則) に準拠して、気温および日射量を測定した。

M-0、M-I および M-II の各試験片は、材令2、5、10 および30日の各時点でアングルを含めて1片ずつ曝露装置から取り外した。ただし、M-III の試験片については中間の材令では試験を行わず、材令30日目に取り外した。

4.3.2 引張試験

固定治具を取り外したM-0の試験片は、目地幅と充填深さを測定した後 JIS A 5758 (建築用シーリング材) に準拠して電子管式万能試験機 (S社製) を使用して引

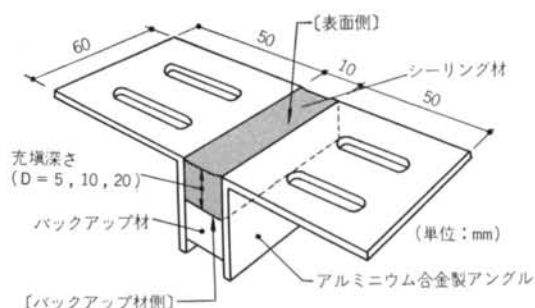


図-1 試験片の形状および寸法

シリーズ番号	試験片作製日	試験に使用したシーリング材*
1	1980. 9. 29	SR ₂₁
2	1980. 10. 23	SR ₁₁
3	1980. 12. 4	SR ₁₂ , PS ₂₁ , PU ₁₁
4	1981. 1. 28	MS ₂₁ , PU ₂₁

*) 表中の記号は表-1の材種別の記号を示す

表-2 動曝露試験のシリーズ

張試験を行ない、最大荷重、50%引張応力および伸びを求めた。試験後の試験片について破壊状況を詳細に観察して、これを記録した。なお、シーリング材の硬化が不十分でバックアップ材が取り外せない試験片は、そのままの状態で行張試験を行なった。

4.3.3 損傷の観察

装置から取り外したM-I、M-II および M-III の各試験片は、十分に硬化するまで20℃、60% RH の室内で状態調節の後、シーリング材に発生した損傷の状態を次の手順で記録した。

- (1) シーリング材表面の損傷を観察後、写真撮影を行なった。
- (2) アングル面との接着状況を検討しながら、カッターでシーリング材をアングルから切り離した。
- (3) 切り離したシーリング材の両端から約10 mm を除去し、残りの40 mm を観察のための試料とした。
- (4) 試料の観察は、長さ40 mm のシーリング材を3等分し、そのうちの2切断面を拡大投影機 (N社製) を用いて10倍に拡大し、その映像から損傷深さを測定した。なお、損傷の形状はインクを用い、記録紙に試料の切断面を軽く押し付ける要領で捺印して記録した。

§ 5. 試験結果とその検討

5.1 ムーブメントの測定結果

曝露期間中に測定した日内の最大目地幅と最小目地幅を、シリーズ1の試験について示せば図-2のとおりで

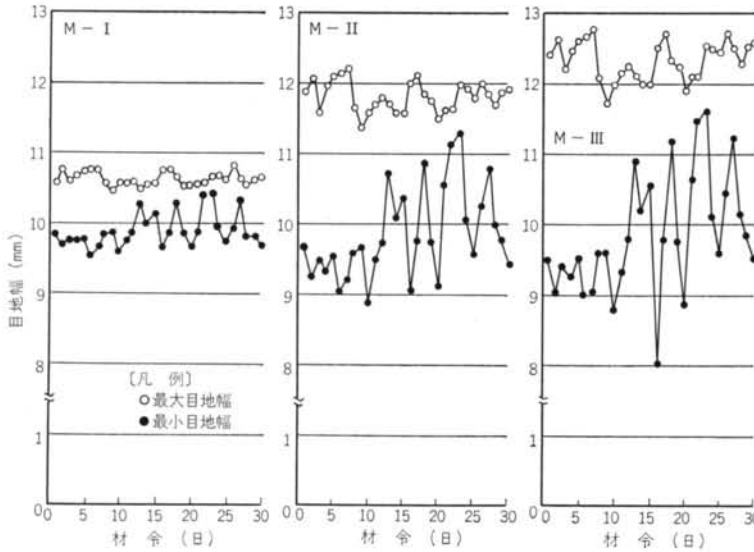


図-2 曝露期間中の目地幅 (シリーズ1の場合)

ある。この期間中には、シーリング材に引張りと圧縮を与えるようなムーブメントが作用した。ここで、日内の最大目地幅から最小目地幅を差引いた値を、目地に発生したムーブメント量とした。

実施した4回の各曝露試験について、シリーズ別に試験開始からの初期(2日間)と全期間(30日間)に分けて、それぞれの平均ムーブメント量、平均気温、平均日内気温差および全天日射量の平均日量を求めた。その結果を表-3に示した。

なお、曝露期間中の天候を同表の備考欄に併記した。

5.2 引張試験の結果

固定治具に装着した曝露試験片(M-0)について、材令2, 5, 10および30日において引張試験を行なった。その結果を示せば表-4のとおりである。

各シーリング材とも、材令の進展に伴って硬化が進み、50%引張応力および最大荷重が増加している。50%引張応力の増加傾向は、シーリング材の種類によって以下のとおり異なっている。

1) 湿気硬化型シーリング材は、充填深さが大きい試験片ほど、時間の経過に伴って穏やかに増加する。その増加量は、シリコン高モジュラスタイプ(SR₁₁)に比べて、シリコン低モジュラスタイプ(SR₁₂)、およびウレタン(PU₁₁)が小さい。

2) 反応硬化型シーリング材は、いずれも充填深さにかかわらず、おおむね同じ値を示しながら、時間の経過に伴って増加する。

材令5日以降の増加量は、シリコン(SR₂₁)および変成シリコン(MS₂₁)が微かな量であるのに対し、ポリサルファイド(PS₂₁)およびウレタン(PU₂₁)は比較的大きい。

この理由としては、湿気硬化型シーリング材は図-1に示す表面側から硬化が進み、反応硬化型シーリング材は全体がほぼ均一に硬化が進むという硬化機構の相違が考えられる。

なお、伸びの値は材令の進展に伴って若干低下する傾向にある。

5.3 ムーブメントの作用によって生じる損傷

5.3.1 損傷の種類とその深さ

シーリング材にムーブメントが作用して生じた損傷は表-5に示す4種類の型に分類できる。しかも、これら

シリーズ	曝露期間		平均ムーブメント量 (mm)			平均気温 (°C)	平均日内気温差 (°C)	全天日射量の平均日量 (cal/cm ²)	備考(期間中の天候) (日)		
			M-I	M-II	M-III				晴天	曇天	降雨
1	初期*	1980. 9. 29~9. 30	0.90	2.52	3.25	18.9	8.4	407	2	0	0
	全期	" ~10. 28	0.72	1.94	2.45	18.7	7.1	255	14	10	6
2	初期	1980. 10. 23~10. 24	0.89	2.10	2.81	14.1	7.5	266	1	1	0
	全期	" ~11. 24	0.74	1.99	2.54	13.4	8.6	228	18	10	2
3	初期	1980. 12. 4~12. 5	0.83	1.89	2.60	11.2	8.7	233	2	0	0
	全期	" ~1. 2	0.68	1.73	2.31	7.0	7.9	201	25	1	4
4	初期	1981. 1. 28~ 1. 29	0.70	1.84	2.49	4.3	7.7	281	2	0	0
	全期	" ~2. 26	0.62	1.47	2.00	5.4	7.2	226	18	7	5

*) 初期とは試験開始から2日間を指す

表-3 曝露期間中の平均ムーブメント量と気象条件の記録

記号	充填深さ (mm)	材令 2 日			材令 5 日			材令 10 日			材令 30 日		
		最大荷重 (kgf)	50% 引張応力 (kgf/cm ²)	伸 び (%)	最大荷重 (kgf)	50% 引張応力 (kgf/cm ²)	伸 び (%)	最大荷重 (kgf)	50% 引張応力 (kgf/cm ²)	伸 び (%)	最大荷重 (kgf)	50% 引張応力 (kgf/cm ²)	伸 び (%)
SR ₁₁	5	13.8	2.81	180	18.9	4.25	165	26.4	4.62	156	28.2	4.80	161
	10	14.1	1.08	200	28.8	2.85	173	43.2	4.07	165	51.6	4.75	155
	20	16.5	0.62	211	45.6	2.36	161	63.0	3.37	158	87.6	4.56	150
SR ₁₂	5	1.89	0.27	380	4.05	0.74	320	5.31	1.16	272	8.46	2.21	210
	10	2.16	0.16	540	5.10	0.42	305	8.28	0.81	264	15.8	1.90	219
	20	2.28	0.08	365	5.64	0.26	280	9.96	0.49	246	20.6	1.09	222
SR ₂₁	5	22.5	1.55	1,316	27.7	2.19	1,216	27.6	2.15	1,136	27.0	2.17	1,102
	10	28.8	1.40	1,280	43.4	1.68	1,250	47.4	1.92	1,195	46.8	2.02	1,135
	20	35.4	1.34	1,138	62.4	1.55	1,221	70.8	1.71	1,250	82.8	1.98	1,290
MS ₂₁	5	9.99	0.80	640	16.5	1.10	658	17.7	1.12	650	16.2	1.12	645
	10	19.6	0.75	660	36.0	1.43	665	39.0	1.40	690	36.4	1.45	652
	20	36.7	0.75	650	64.8	1.58	645	72.0	1.65	670	70.8	1.67	660
PS ₂₁	5	0.84	0.26	390	5.70	1.28	826	10.6	2.03	650	11.3	2.45	618
	10	1.80	0.30	520	12.1	1.32	800	21.0	1.88	730	24.0	2.39	692
	20	4.08	0.33	480	23.4	1.28	778	39.9	2.08	680	49.5	2.41	648
PU ₁₁	5	1.02	0.07	850	3.63	0.77	517	15.7	1.74	530	25.8	4.29	505
	10	0.90	0.04	725	6.12	0.46	590	24.6	1.25	493	37.9	3.37	472
	20	1.96	0.02	630	7.44	0.25	485	36.3	0.64	528	54.7	2.02	464
PU ₂₁	5	5.25	0.35	720	19.8	1.20	662	24.4	1.60	625	24.8	1.63	612
	10	9.18	0.37	860	50.7	1.34	705	57.3	1.92	673	60.3	2.10	653
	20	16.8	0.45	950	117.0	1.60	755	118.8	2.32	627	129.6	2.35	618

表—4 引張試験の結果

種類	断面に生じる損傷	説 明
F _a 型		バックアップ材の自由端近傍（バックアップ材を接着していないアングル側）から入る亀裂や円形の欠損
F _b 型		シーリング材内部に入る上向き亀裂
F _c 型		表面から入るくぼみや破断
F _d 型		アングル際から全体に落ちこんだ表面のくぼみ

表—5 損傷の型の種類

の損傷には単独で発生するもの（単独型損傷）と、組み合わせで発生するもの（複合型損傷）とがあった。写真—2はこの損傷の型の一例である。

損傷の種類別に充填深さ方向における損傷の長さを測定し、この値を損傷深さとした。ただし、F_c型についてはM—0の試験片によって試験片作製時の仕上げに伴う表面のくぼみを補正して求めた。材令30日における損傷の種類別に求めた損傷深さの測定結果を表—6に、ま

た材令の進展に伴う各試験片における損傷深さの測定結果の総和を表—7に示す。

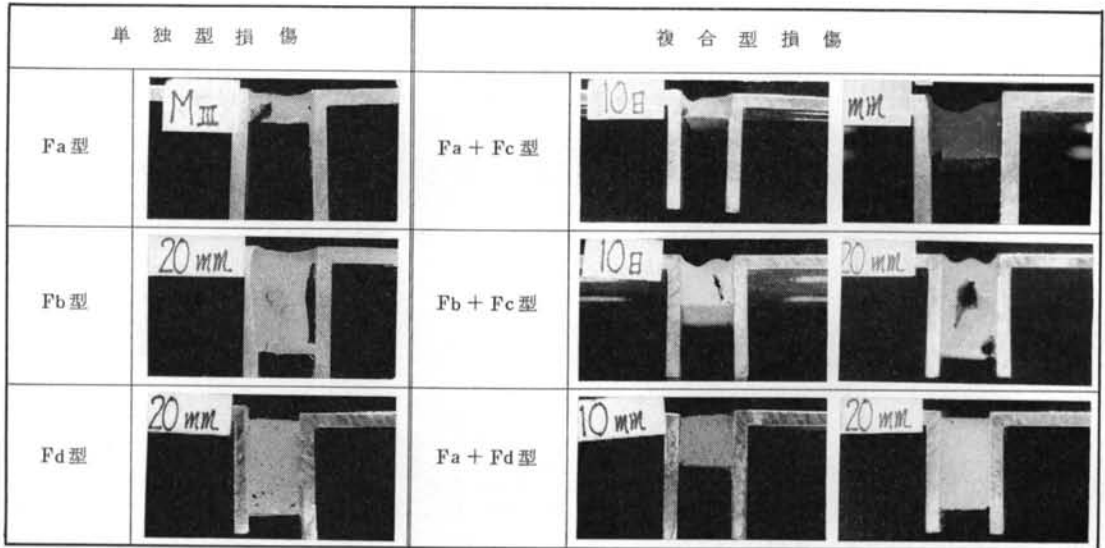
5.3.2 シーリング材の種類別にみた損傷

シーリング材の種類と損傷について、表—6のM—IIIの場合について考察した結果は以下のとおりである。

1) シリコン湿気硬化型高モジュラスタイプ (SR₁₁) は、表面側の損傷 F_c、F_d 型は生じないで、バックアップ材側に F_a、F_b 型の損傷が単独で生じている。充填深さ別にみると損傷の型が変化し、5mmの場合には F_a 型であるが、10および20mmの場合には F_b 型である。すなわち、表面側に損傷は発生せず、充填深さが大きくなるとバックアップ材側の損傷が F_a 型から F_b 型に転じている。この現象は、空気と接している面からゴム状硬化物が急速に形成されてゆく硬化機構に関係があることが推察できる。

2) シリコン湿気硬化型低モジュラスタイプ (SR₁₂) およびウレタン湿気硬化型 (PU₁₁) は、F_a あるいは F_b 型と F_c 型の複合型損傷が生じている。特に充填深さが10、20mmの場合には、バックアップ材側から入る F_b 型の損傷が大きい。

3) 反応硬化型のシリコン (SR₂₁)、変成シリコン (MS₂₁)、ポリサルファイド (PS₂₁) およびウレタン



写真—2 損傷の一例

種 類	記 号	充 填 深 さ (mm)	M—I				M—II				M—III			
			F _a 型	F _b 型	F _c 型	F _d 型	F _a 型	F _b 型	F _c 型	F _d 型	F _a 型	F _b 型	F _c 型	F _d 型
シリコーン	湿気硬化	SR ₁₁	5	3.0			4.0				4.3			
		10		6.5			8.0				8.0			
		20		17.5			18.0				18.5			
	反応硬化	SR ₁₂	5	0.2			4.0			1.2	2.5		2.0	
		10	0.4	0.4			8.5	1.5			7.4	1.5		
		20	0.8	0.6			14.8	1.5			14.5	1.5		
反応硬化	SR ₂₁	5	0.1			0.7	0.8			1.2		1.2		
	10	0.1	0.1			0.6	1.3			1.4		2.1		
	20	0.1	0.3			0.7	2.4			2.1		3.4		
変成シリコーン	反応硬化	MS ₁₂	5	0.1	0.2		0.2	0.5			0.4			0.9
		10	0.3	0.2		0.5	0.8			0.7			1.3	
		20	0.1		2.2	1.0		1.5	1.2				1.9	
ポリサルファイド	反応硬化	PS ₂₁	5	0.8	0.7		2.0	1.1			2.5		2.4	
		10	1.2	0.5		1.8	1.4			2.8		2.2		
		20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ウレタン	湿気硬化	PU ₁₁	5	0.3	0.2		1.0	1.0			1.5		2.0	
		10		5.0	0.5			6.8	1.4			6.0	2.5	
		20		17.5	1.0			15.8	3.2			15.7	4.7	
	反応硬化	PU ₂₁	5				0.1	0.8		1.1		1.0		1.7
		10					0.1	0.8		1.1		1.2		1.9
		20					0.5	1.0		1.9	1.3		2.5	

注) 空欄は該当する損傷の型が生じていないことを示す

(材令: 30日, 単位: mm)

—印は試験片の作製ミス

表—6 各試験片に生じた損傷とその種類別にみた損傷深さ

(PU₂₁)では、バックアップ材側の損傷のうち F_b型はいずれも発生していない、わずかな量の F_a型と、表面側の損傷 F_cあるいは F_d型との複合型損傷が生じてい

る。F_b型が生じない理由は、これらのシーリング材が硬化剤との反応によって全体がほぼ均一に硬化してゆくためと思われる。

記号	充填深さ(mm)	M-I				M-II				M-III
		2日	5日	10日	30日	2日	5日	10日	30日	30日
SR ₁₁	5	3.5	2.5	3.0	3.0	3.7	3.5	4.0	4.0	4.3
	10	6.5	6.5	7.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.0	8.0
	20	16.5	17.5	16.5	17.5	17.0	18.5	18.0	18.0	18.5
SR ₁₂	5	0.2	0.2	0.2	0.2	5.3	5.1	5.1	5.2	4.5
	10	0.6	0.8	0.9	0.8	3.9	8.7	9.2	10.0	8.9
	20	1.8	1.3	1.5	1.4	10.6	12.8	16.3	16.5	16.0
SR ₂₁	5	0.2	0.2	0.1	0.1	1.4	1.5	1.5	1.5	2.4
	10	0.4	0.2	0.3	0.3	1.8	1.8	1.8	1.9	3.4
	20	0.5	0.4	0.5	0.5	3.2	3.2	3.1	3.2	5.5
MS ₂₁	5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7	0.8	1.4
	10	0.3	0.3	0.3	0.3	1.2	1.4	1.2	1.3	2.0
	20	0.3	0.4	0.3	0.3	2.6	2.5	2.6	2.5	3.1
PS ₂₁	5	0.5	1.0	1.1	1.5	1.6	2.0	2.3	3.1	4.9
	10	1.2	1.1	1.5	1.7	1.9	2.2	2.8	3.2	4.5
	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
PU ₁₁	5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.2	2.0	1.9	2.0	3.2
	10	2.4	4.5	4.5	5.5	3.8	7.4	8.1	8.2	8.5
	20	7.1	11.0	15.5	18.5	11.0	18.7	18.9	19.0	20.0
PU ₂₁	5	0	0	0.1	0.1	0.5	1.9	1.9	1.9	2.7
	10	0	0.1	0.1	0.1	0.8	1.8	2.0	1.9	3.1
	20	0.5	0.5	0.1	0.5	1.0	3.0	3.0	2.9	3.8

注) 一印は試験片の作製ミス (単位: mm)

表一7 損傷深さの経時変化

また、ムーブメント量が異なるM-IおよびM-IIの試験片についても同じような検討を行なった。その結果は上述とほぼ同様の傾向であった。したがって、硬化過程にあるシーリング材にムーブメントが作用して生じる損傷のパターンは、その硬化機構および充填深さによって著しく異なることが分かる。また、湿気硬化型シーリング材の損傷深さが大きいのは、表面側からゴム状硬化物を形成してゆくために、バックアップ材側の未硬化部

分に応力集中が生じたことによると思われる。

5.3.3 損傷に影響する因子

損傷深さに影響する因子を検討するために、シーリング材の充填深さ、曝露開始初期(2日間)の平均ムーブメント量および材令の3因子を取り上げ、重回帰分析を行なった。その結果から、標準偏回帰係数、回帰式、寄与率および分散比を求め表一8に示す。

各因子の損傷に及ぼす影響の程度は、標準偏回帰係数の大小を比較することによって検討できる。全般に、充填深さとムーブメント量の影響が大きく、材令の影響は小さい傾向にある。材令の影響を大きく受けているものとしてポリサルファイド(PS₂₁)があり、比較的受けているものにウレタン(PU₁₁, PU₂₁)がある。これらは、5.2で述べた経時的な硬化の速度が穏やかなものであり、材令の影響は硬化速度との関係が深いと考えられる。

回帰式の寄与率は0.78~0.99であり、分散比はいずれも高度に有意であった。求めた回帰式に基づき、材令30日におけるムーブメント量と損傷深さの関係を、充填深さ10および20mmの場合について求め、その結果を示せば図一3および図一4のとおりである。このような結果から、以下の事項について考察することが出来る。

1) 湿気硬化型シーリング材は、充填深さが大きくなると損傷深さも大きくなっているが、反応硬化型シーリング材は充填深さが大きくなっても損傷深さはわずかに大きくなるだけである。

2) 硬化過程に作用するムーブメント量が大きくなるといずれのシーリング材も損傷深さは大きくなっている。損傷深さの大小はシーリング材の種類によって異なり、シリコン湿気硬化型高モジュラスタイプ(SR₁₁)とウレタン湿気硬化型(PU₁₁)、シリコン湿気硬化型低モジュラスタイプ(SR₁₂)および反応硬化型シーリング材(SR₂₁, MS₂₁, PS₂₁, PU₂₁)の3つのグループに分け

記号	標準偏回帰係数			回帰式 ¹⁾		
	充填深さ(D)	ムーブメント(M)	材令(t)	損傷深さ = $a + b_1D + b_2M + b_3t$ (単位: 損傷深さ: mm, D: mm, M: mm, t: 日)	寄与率	分散比 ²⁾
SR ₁₁	0.992	0.080	0.020	$-2.925 + 0.951D + 0.683M + 0.010t$	0.99	830.82**
SR ₁₂	0.456	0.756	0.004	$-8.486 + 0.386D + 6.301M + 0.002t$	0.78	27.44**
SR ₂₁	0.386	0.841	0.074	$-1.956 + 0.084D + 1.263M + 0.009t$	0.89	65.08**
MS ₂₁	0.481	0.766	0.007	$-1.229 + 0.069D + 1.039M + 0.0005t$	0.82	35.04**
PS ₁₁	0.104	0.738	0.432	$-0.849 + 0.048D + 1.351M + 0.042t$	0.93	67.11**
PU ₁₁	0.900	0.191	0.185	$-7.381 + 0.947D + 1.973M + 0.103t$	0.90	69.61**
PU ₂₁	0.269	0.829	0.164	$-1.627 + 0.051D + 1.486M + 0.016t$	0.86	48.93**

注1) 回帰式により損傷深さを算出する場合は、試験条件の範囲を適用範囲とする
すなわち、目地幅10mmで $5 \leq D \leq 20$, $0.70 \leq M \leq 3.25$, $2 \leq t \leq 30$

注2) **は有意水準1%で有意

表一8 損傷に影響する因子の回帰分析の結果

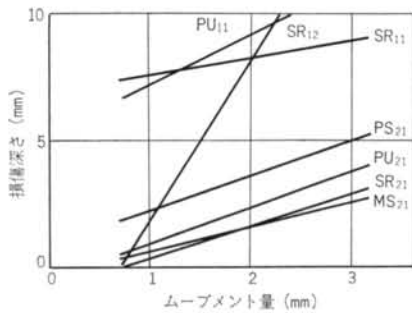


図-3 ムーブメント量と損傷深さの関係(その1, 充填深さ: 20 mm, 材令: 30日)

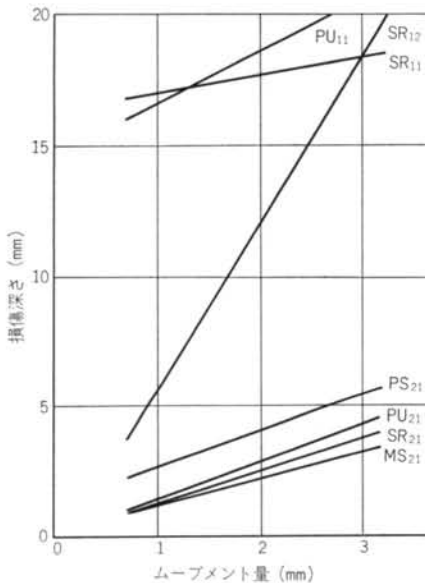


図-4 ムーブメント量と損傷深さの関係(その2, 充填深さ: 20 mm, 材令: 30日)

ることができる。

3)すなわち、ムーブメント量と損傷深さの関係は以下のとおりである。

(i)SR₁₁ と PU₁₁ は、ムーブメント量が小さくても大きな損傷を生じている。したがって、ワーキングジョイントへ使用することは困難であり、その適用範囲はノンワーキングジョイントに限定しなければならない。

(ii)SR₂₁ は、大きなムーブメント量では損傷深さが大きい。したがって、ワーキングジョイントへ使用する場合はムーブメント量の大きさについて十分留意しなければならない。

(iii)反応硬化型シーリング材は、他のシーリング材に比べてムーブメント量が大きくなっても損傷深さは小さい。したがって、ワーキングジョイントへ使用することが可能である。

5.4 検討結果の総括

5.4.1 ムーブメントと損傷

硬化過程について、本章で検討した結果をまとめて以下に示す。

1)硬化過程において生ずる損傷の型は4種類であり、これらが単独で発生するものと複合して発生するものがある。これらの損傷の発生パターンは、シーリング材の硬化機構や充填深さによって異なる。また、損傷の型は筆者が長年調査を行なった実際の建築物の目地に発生しているものと良く一致している。

2)損傷深さとムーブメント量および充填深さとの関係について分析したところ、目地における実用上の充填深さを考えれば、ワーキングジョイントにおいては反応硬化型シーリング材がもっとも損傷を受けにくい。

5.4.2 ムーブメントの影響を考慮した曝露試験方法の提案

本研究においては、動曝露試験装置上でシーリング材を直接充填し、以後そのままの状態では部材のムーブメントを作用させる曝露試験を行ない、ムーブメントを測定すると同時に、発生した損傷について観察調査を行なった。この方法は、実地に近いムーブメントの下でシーリング材の挙動を把握する試験方法として試みたものであり、シーリング材の硬化過程に作用するムーブメントの影響を確かめることができ、シーリング材の性質を把握する上で有効な試験方法と考える。したがって、このような試験を通じてムーブメントが作用する目地におけるシーリング材の挙動を、様々な角度から検討することが必要である。ただし、動曝露試験は天然曝露であるためにその再現性については検討の余地があり、今後は装置の改良を加えるとともに曝露試験の方法、損傷評価の方法等についてさらに研究を進めたいと考えている。

§ 6. 結言

本研究は、部材のムーブメントが硬化の過程にあるシーリング材に及ぼす影響を明らかにする目的で、その試験装置を試作し、試験方法の検討を含めて各種シーリング材に関する動曝露試験を行なったものである。その結果、以下に示す事項を究明することができた。

(1)気温や日照の変化によって、アルミニウム合金製押出型材に起きる伸縮を利用した動曝露試験装置を試作することができた (§ 3. 参照)。

(2)この試作した曝露装置を用いて曝露試験を実施し、ムーブメントおよび気象条件を測定するとともに、シー

リング材に生じる損傷について調査を行なった(4.3.1, 4.3.3および5.1参照)。

(3)動曝露試験によってシーリング材に生じた損傷は、4種類の型に分類しうることを示した(5.3.1参照)。

(4)また、損傷の種類およびその発生パターンは、シーリング材の硬化機構や充填深さによって異なることを明らかにした(5.3.2参照)。

(5)生じた損傷深さに影響する因子として部材のムーブメント量、充填深さおよび材令の3因子を取り上げて検討を行ない、シーリング材の性質に応じた適用条件(ワーキングジョイントあるいはノンワーキングジョイントの区分)を明らかにした(5.3.3参照)。

(6)硬化過程にあるシーリング材の性質を把握するうえで、動曝露試験装置を用いた曝露試験は有効な方法であることを示した(5.4.2参照)。

なお、本研究では硬化しつつあるシーリング材が呈する初期的損傷のみに注目して試験を行なったものであり、ここで確認した損傷がさらに長期にわたって天然曝露した場合の経時変化までも明らかにしたわけではない。また本研究で行なった動曝露試験では、4.2で述べたようにシーリング材充填時のバックアップ材は圧縮の状態になかったため、圧縮の状態にあるようにバックアップ材を挿入した場合の損傷については未検討である。さらに、バックアップ材の形状が変わった場合についても検討が及んでいない。今後はこれらの点を究明し、耐久性の面から損傷を防止する適切な方法を検討する予定である。また、今回の研究は曝露試験を開始したのが初秋から冬にかけての時期であり、シーリング材の硬化速度が気温の影響を大きく受けるために、この点を考慮した検討も今後の課題と考えている。

<参考文献>

- 1) 加藤正守：“弾性シーラントの性状に関する研究(XI) 弾性シーラントの性能に及ぼす硬化時の動きの影響について” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1971年11月)
- 2) 小池通夫・田中享二・富坂崇・宗像安則：“シーリング材の耐久性に関する研究(その2：硬化過程におけるジョイントムーブメントの影響)” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1977年10月)
- 3) K. K. Karpati, K. R. Solvason & P. J. Sereda: “Weathering Rack for Sealants” J. of Coatings Technology (March 1977)
- 4) J. C. Beech: “The Performance Concept in Relation to Jointing Products” BRE, Princes Risborough Labo., (June 1979)
- 5) P. G. Burstrom: “Durability and Ageing of Sealants” ASTM STP-691 (1980)
- 6) 小池通夫・田中享二・富坂崇・宗像安則：“シーリング材の耐久性に関する研究(その1：曝露ムーブメント試験機の試作)” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1977年10月)
- 7) 加藤正守・吉池佑一：“弾性シーリング材の耐久性に関する研究(その2) 屋外曝露ムーブメントテスターの概要とジョイントムーブメントの検討” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1977年10月)
- 8) 松本洋一・小野正・丸一俊雄：“シーリング材の動曝露試験(その1) 装置の開発” 日本建築学会関東支部研究報告集(1980年7月)

