

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13873

研究課題名（和文）ムーブメント発生時の応力状態を踏まえたシーリング材の耐久性設計法の検討

研究課題名（英文）A Study on design method of durability for sealant taken in consideration of stress during movement occur

研究代表者

石原 沙織（Ishihara, Saori）

千葉工業大学・創造工学部・准教授

研究者番号：00589046

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：外壁等に使用されるシーリング材が剥離や凝集破壊が発生すると、そこから漏水するだけでなく建築物自体の耐久性を低下させる恐れがある。

本研究ではそれらの不具合を少なくするため、屋外で使用されるシーリング材の劣化因子の中から温度、紫外線、ムーブメントを取り上げ、それらの組み合わせがシーリング材の耐久性に及ぼす影響について、シーリング材が受ける荷重に着目して明らかにしたものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シーリング材の耐久性は、屋外暴露試験や促進劣化試験により明らかにされることが多かったが、発生した劣化現象でのみ議論されており、そのメカニズムについてはほとんど議論されてこなかった。本研究ではムーブメント発生時のシーリング材の内部応力から劣化メカニズムの検討を行っており、この点に学術的意義がある。

更に本研究はシーリング材の耐久設計法の提案につながるものであるため、シーリング材の不具合を減らし、建築物自体の耐久性を維持するという点で社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：When a sealing material used for an outer wall or the like is peeled off or cohesive fracture occurs, not only water leaks from there but also the durability of the building itself may be lowered. In this study, temperature, ultraviolet light, and movement were selected from the deterioration factors of sealants used outdoors, and the effect of their combination on the durability of sealants was clarified by focusing on the load applied to sealants.

研究分野：建築材料

キーワード：シーリング材 耐久性 防水 ムーブメント 目地 促進劣化試験 応力緩和率 荷重

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

カーテンウォールやサイディング等のパネル状の外壁には、パネル同士の接合にシーリング材が用いられる。このシーリング材には水密性と気密性の確保が要求されるが、パネル間のジョイントには温度によるパネルの熱膨張や層間変位によりムーブメントが発生する。そのため、ムーブメントにより目地幅と目地深さを設定し、パネルの素材や構法、部位により適切な種類のシーリング材を使用することにより、水密性と気密性を確保している。

一方図1に示す様に、シーリング目地の故障は、経過年数が間もない初期故障と、経過年数が10年程度の摩耗故障が多く<sup>1)</sup>、その故障のパターンは図2に示す通り被着面からの剥離の次に、シーリング材の破断が全体の22%と多い<sup>1)</sup>。被着面からの剥離は、シーリング材施工時におけるプライマーの不適合や施工不良、被着面の状態不良や目地設計、目地の納まり不良などが原因として挙げられるが、シーリング材の破断はシーリング材の不適合や不良、過度な荷重の発生などが原因として挙げられる。しかし、シーリング材の荷重に関する研究はこれまでほとんど行われてきておらず、不具合が発生したら対処するという対処療法的な対応しか採られてこなかった。

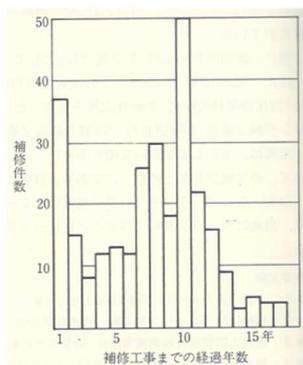


図1 シーリング目地の補修工事までの経過年数<sup>1)</sup>



図2 シーリング目地の故障の種類と件数<sup>1)</sup>

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、(1)シーリング材の荷重測定装置の開発と、(2)温度変化と目地のムーブメントの複合作用がシーリング材の荷重に及ぼす影響の検討、(3)シーリング材の耐久性の新たな評価手法の検討を目的に行った。

### 3. 研究の方法

(1)シーリング材の荷重測定装置の開発  
 ムーブメント発生中のシーリング材の荷重を測定するため、ムーブメントを発生させる機構と荷重を測定する機構を併せ持つ装置を開発した。改良を重ね図3に示す装置を開発した。ハンドルの回転により試験体にムーブメントを発生させ、その際のシーリング材に発生する荷重をロードセルで測定できる仕組みとした。この荷重測定装置には、JIS A 1439に規定されたISO型試験体を設置できる様にし、更に試験体周辺部の温度環境を変えた際に、ロードセルが温度の影響を受けにくくするため、試験体とロードセルの間には100mm程度のクリアランスを設けた。  
 またこの荷重測定装置をさらに改良し、写真1に示す様に、モーターとタイマーを用いて、自動でムーブメントを発生できる様にした荷重測定装置も開発した。

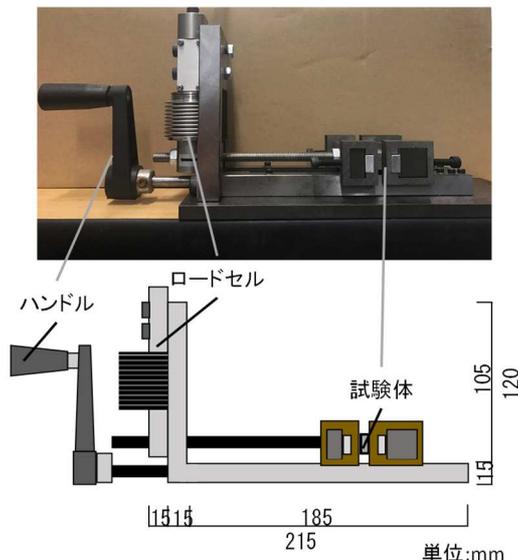


図3 荷重測定装置

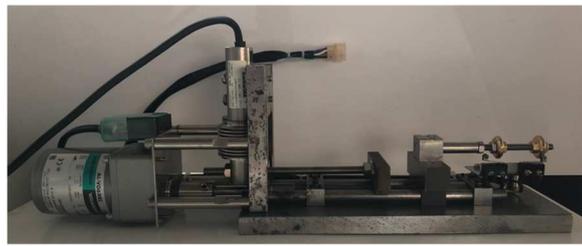


写真1 自動化させた荷重測定装置

### (2) 温度変化と目地のムーブメントの複合作用がシーリング材の荷重に及ぼす影響の検討

#### ①温度環境の設定方法

試験体周辺部の雰囲気温度を制御する必要がある。温度は寒冷地を想定した低温 (-20℃)、常温 (23℃)、温暖地を想定した高温 (40℃) の3水準に設定し、低温は市販の小型冷凍庫の扉の代わりに断熱材で蓋を作製し、ロードセルと試験体間のクリアランスに断熱材を設置し、試験

体は冷凍庫内に設置できる様にした。また、常温は 23℃の恒温恒湿室で行い、高温は試験体周辺部を断熱材で覆い、その内部に面状発熱体を設置することで雰囲気温度を高温状態に保った。

## ②ムーブメントの与え方と試験条件

温度環境が整った事を確認後、試験体の目地幅に対して 30%縮小させた状態で 24 時間保持し、その後試験体の目地幅に対して 30%伸長した状態で 24 時間保持させた。これを 1 サイクルとして、シーリング材に顕著な損傷が発生するまで、発生しない場合は 5 サイクルまで繰り返し行った。また実際の外壁は、日中に温められて膨張するためシーリング目地は縮小し、夜間に冷めるとシーリング目地は伸長する。そのため本研究では、24時間高温で30%縮小させた後、温度切替時間を設けてから 24 時間低温で 30%伸長させる試験も行った。尚、ムーブメントの速度はムーブメント発生時の初期の荷重値に影響を与え、速度が速い程ピーク値が大きくなる。ただ、その後の荷重の推移は、さほど差が見られないことが既往の研究<sup>2)</sup>で明らかとなっている。そこでムーブメントの速度は、約 85mm/min とした。

試験に用いたシーリング材は、国内で最も多く使用されている変成シリコン系シーリング材とした。このシーリング材は中高層以上の PCa 板や金属パネル等動的耐疲労性が要求される部位から、プレハブ住宅などまで広い範囲で使用されており、年々需要が増加している<sup>1)</sup>シーリング材である。尚、同種のシーリング材でも荷重の緩和特性が異なる事が予測されたため、応力緩和率（引張速度 50mm/min、温度 23℃において、30%伸長状態を 18 時間保持させた時に、次式から求めた値（(最大応力 - 18 時間経過後応力) / 最大応力）×100）が 36%、73%の 2 水準となる様に調合されたシーリング材を用いた。また比較のため、ポリウレタン系シーリング材とシリコン系シーリング材でも試験を行った。全ての試験条件を表 1 に示す。

試験では荷重測定と同時に、伸長時には試験体の状態を目視で観察し、特に被着体近傍で発生する凝集破壊については試験体の幅方向の凝集破壊の長さを定規で測定すると共に、破壊の深さはテーパゲージで測定した。

表 1 試験条件

| シーリング材の種類 | 応力緩和率 | 低温 | 常温 | 高温 | 高温縮小<br>低温伸長 |
|-----------|-------|----|----|----|--------------|
| 変成シリコン系   | 36%   | ○  | ○  | ○  | ○            |
|           | 73%   | ○  | ○  | ○  | ○            |
| ポリウレタン系   | —     | ○  | ○  | ○  | ○            |
| シリコン系     | —     | ○  | ○  | ○  | ○            |

○：試験実施

## (3) シーリング材の耐久性の新たな評価手法の検討

前述の ISO 型試験体は、端部から損傷が進行する傾向が見られた。一方で、実際の建物のシーリング材には端部がなく、連続的に施工されている。そのため、ISO 型試験体を用いた場合、実際の建物に使用されているシーリング材よりも過小評価となっている可能性がある。そこで、端部のない新たな試験体で、シーリング材の耐久性を評価することが可能かを検討した。

図 4 に示す円形の試験体を試作した。被着体は直径 70mm の円形とし、その内部には直径 30mm の中空部分を設け上下二つの被着体の間に二面接着となる様に、幅 15mm でシーリング材を施工した。中空部分には直径 30mm の棒を差し込み、中空部分方向にシーリング材が過剰に変形しないようにした。シーリング材は前述で使用したものの中から、応力緩和率 36%の変成シリコン系シーリング材とした。

この試験体を万能試験機に固定し、前述と同様に試験体の目地幅に対して 30%縮小させた状態で 24 時間保持し、その後写真 2 に示す様に、目地幅に対し 30%伸長させた状態で 24 時間保持させた。これを 1 サイクルとして 2 サイクル行った。

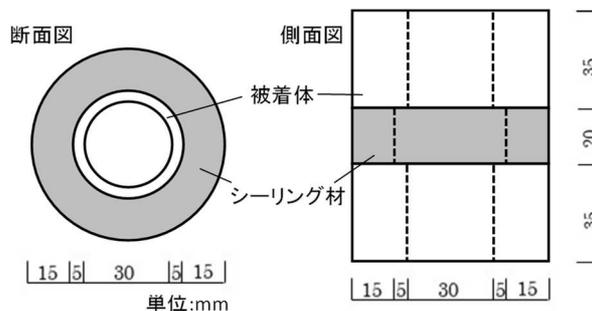


図4 端部のない円形試験体



写真2 30%伸長時の状態

## 4. 研究成果

### (1) シーリング材の荷重測定装置の開発

前述の通り、改良を重ねシーリング材のムーブメント発生時の荷重測定装置を完成させた。更に、温度環境を変えた状態における荷重測定が適切に行われていることも確認した。

### (2) 温度変化と目地のムーブメントの複合作用がシーリング材の荷重に及ぼす影響の検討

各試験条件におけるシーリング材の荷重の推移を図5に、写真3に示す凝集破壊の一例より求めた凝集破壊の長さおよび深さの推移を図6にそれぞれ示す。

#### ① 損傷と荷重の推移

負が目地を縮小した時、正が伸長した時の荷重である。全ての試験条件で、顕著な損傷が発生したのは変成シリコンの応力緩和率73%の常温と高温と高温縮小低温伸長の3種類であったが、そのいずれも、1回目の伸長時に端部より凝集破壊が発生し、それがサイクル数の増加に伴い内部に進行していった。また損傷が発生した試験条件では、24時間保持中の荷重が時間経過と共に低下している。変成シリコンの応力緩和率73%の低温では損傷が発生しなかったが、縮小時の荷重の低下が損傷発生の有無に影響を及ぼしている。すなわち目地が縮小し、シーリング材が圧縮状態となっている時にその状態にシーリング材が馴染んでしまい、損傷が発生する。尚、目

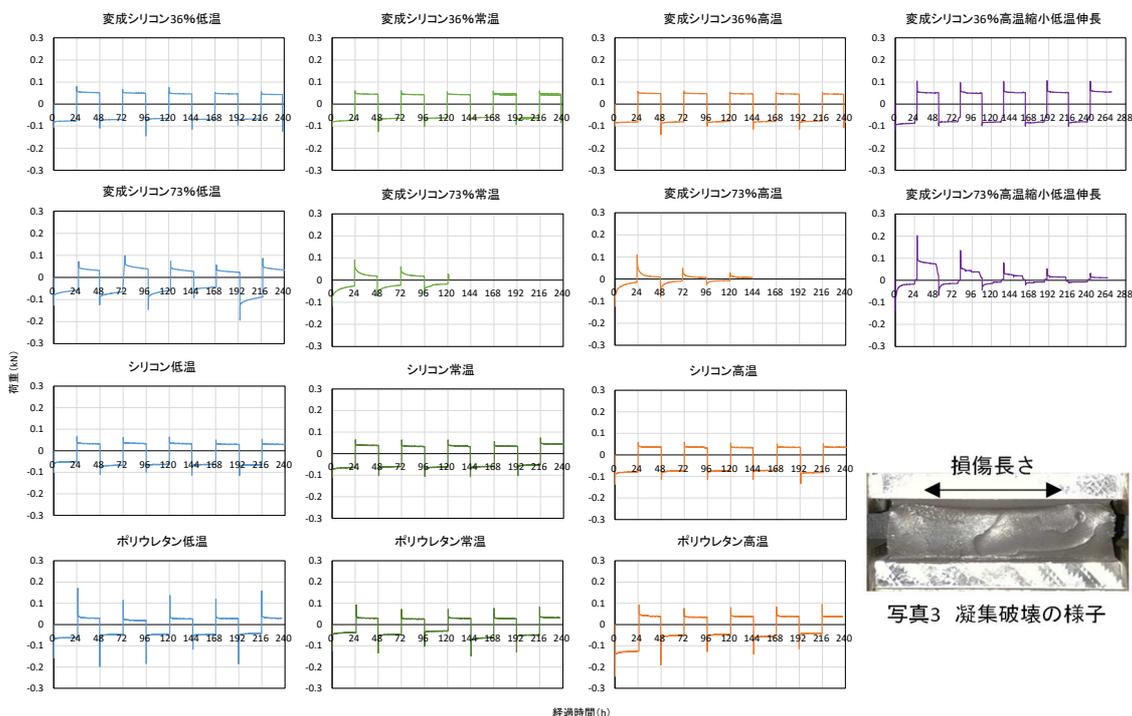


図5 荷重の推移

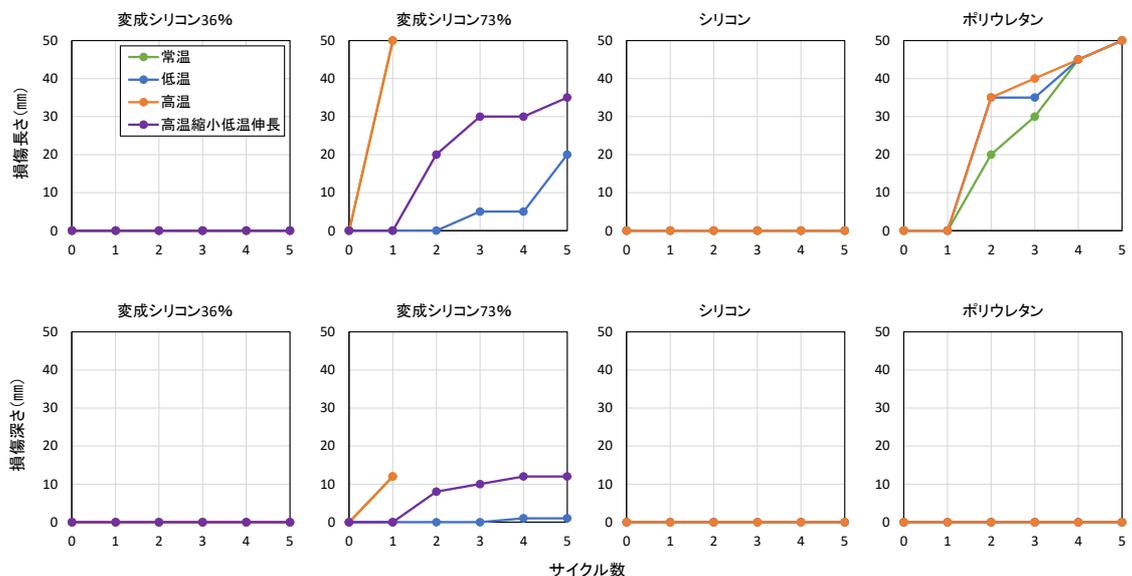


図6 損傷長さおよび損傷深さ

地を縮小後に伸長した時の荷重のピーク値は損傷の発生の有無に関わらず同等であっても、この現象は生じる。このことより、目地縮小時の荷重の緩和傾向を見ることで、損傷の発生しやすいかを推測することができると考えられる。

## ②シーリング材の種類と温度環境

本研究では4種類のシーリング材を用いたが、変成シリコンの応力緩和率36%とシリコンは温度の影響がごくわずかであったが、前述の変成シリコンの応力緩和率73%に加えポリウレタンは温度の影響が他のシーリング材に比べて大きくなった。ポリウレタンは特に低温で目地を縮小もしくは伸長させた直後の荷重のピーク値が大きくなる傾向が見られたが、その後の荷重の推移は、常温と高温と同程度であった。

## ③高温縮小低温伸長と一定温度の荷重の差

変成シリコンの応力緩和率36%及び73%共に、目地縮小時は高温一定で行った荷重の推移と高温縮小低温伸長で行った荷重の推移はほぼ同等であった。一方目地伸長時は、応力緩和率36%の場合は低温一定で行った荷重の推移と比較し、高温縮小低温伸長で行った荷重のピーク値が大きくなる傾向が見られたが、その後の荷重の推移はほぼ同等であったが、応力緩和率73%の場合はピーク値だけでなくその後の荷重の推移も大きくなる傾向が見られた。

## (3) シーリング材の耐久性の新たな評価手法の検討

測定された荷重の推移を図7に示す。ここでは前述のISO型の試験体との比較を行うため、測定された荷重を面積で除した単位面積当たりの荷重として示している。

図5と同様に負が目地を縮小した時、正が伸長した時の荷重であるが、目地を縮小した時は円形試験体とISO型試験体の荷重には大きな差が見られた。これは載荷方向のシーリング材の厚みが異なるためだと考えられる。ゴム状材料の引張剛性は、一般的に圧縮剛性に比べて小さくなるが、今回用いたISO型は載荷方向のシーリング材の厚みが12mmに対して円形試験体は20mmと厚い。そのため体積の差により縮小した時の圧縮力に差が生じたが、目地伸長時に作用する引張力は体積の影響がほとんど見られない。

シーリング材の不具合である破断や剥離は、主に目地伸長時に顕在化することを鑑みれば、目地伸長時の単位面積当たりの荷重がISO型と同程度であったことより、本研究で新たに開発した円形試験体を用いた評価手法は、概ね妥当であると考えられる。

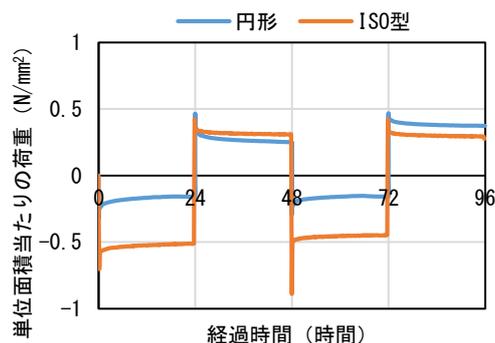


図7 円形試験体とISO型試験体の荷重の推移の比較

## 参考文献

- 1) 改訂4版「建築用シーリング材 ー基礎と正しい使い方ー」 日本シーリング材工業会発行、平成30年4月
- 2) 伊藤彰彦他10名：ムーブメントを受けている状態でのシーリング材の劣化に対する応力緩和特性の影響；日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 1349-1350，2016

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>石原沙織                            |
| 2. 発表標題<br>繰り返しムーブメント発生時のシーリング材の荷重変化と損傷の関係 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会                        |
| 4. 発表年<br>2019年                            |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>石原沙織                           |
| 2. 発表標題<br>温度環境がムーブメント発生時のシーリング材の劣化に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会                         |
| 4. 発表年<br>2018年                           |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Saori Ishihara  |
| 2. 発表標題<br>Development of an Apparatus for Measuring the Load Acting on Joint Sealant when Movement Occurs |
| 3. 学会等名<br>XV International Conference on Durability of Building Materials and Components (国際学会)           |
| 4. 発表年<br>2020年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|