

築 27 年経過した超高層ビルから採取したシーリング材の外部環境影響を踏まえた劣化度調査

DB13067 小野 航太郎

1. はじめに

近年、高層建築物の改修工事が増加しているのにもかかわらず、高層建築物の経年劣化の調査報告が少ない。シーリング材は各種仕上材の中でも比較的耐用年数が短く、また常に露出状態で使用され、風・雨・日射等による気象の影響を受けやすいため劣化しやすい。本研究では 27 年間使用されているが、未だ劣化調査を行っていない工学院大学新宿校舎のシーリング材を対象にする。設立から 28 年目にして新宿校舎の外壁にあるすべてのシーリング材を新しく補修することが予定されているが、27 年間一度も予防保全がされていない超高層建築のシーリング材は劣化度や保全の面でも貴重なサンプルになるため、研究の対象にしていく。カーテンウォール廻りからシーリング材を採取し、種類は 2 成分系変成シリコンであることがヒアリング調査から判明している(窓枠には汚れ防止のために 2 成分系シリコンを使用している)。シーリング材を東西南北の高層・中層・低層に分けてシーリング材の経年劣化による力学的性能・耐久性といった物性能力の低下の度合いを把握する目的で物性試験の調査を行う。高さ・方位・劣化状況の違いを考慮しながら 100 年の期間を想定してシーリング材の補修予算の積算を行い、予防保全が必要かどうか調査を行う。本研究の流れを図 1 で示す。

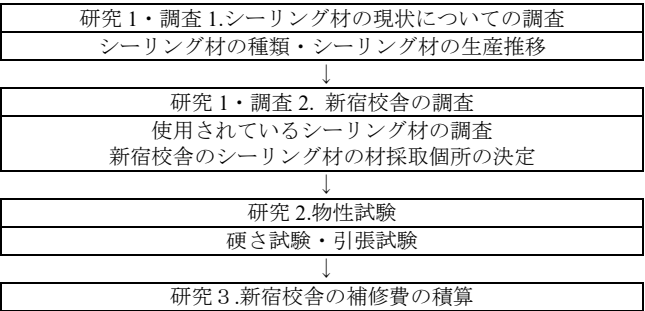


図 1 研究の流れ

表 1 使用材料

分類	使用材料	場所	方角	高さ	経過 年数	その他		
構造材	pc パネル	都内西新宿地区	東方向	上層	27 年	5m×2m の基本 モジュール		
				中層				
				低層				
仕上材	タイル			上層		50mm 二丁 (45mm×95mm)		
				中層				
				低層				
機能材	2 成分系変 成シリコーン			上層		直径 40cm 20 本採取 (No.1～20)		
				中層				
				低層				

表 2 実験要因と水準

		実験要因	水準
研究 1	調査 1	文献調査	防水工事関係の論文
		ヒアリング	外装工事業者 a 社、施設課 s 様
	調査 2	対象建築物	工学院大学新宿校舎
		施工年度	1989 年
		サンプル採取箇所	新宿校舎の上層・中層・低層の東西南北縦・横目地 No.1～20
研究 2	引張試験	JIS K 6251 加流ゴム及び熱可塑性ゴム-引張特性	
	硬さ試験	JIS K 6253 加流ゴム及び熱可塑性ゴム-ゴムの硬さ	
研究 3	予算積算	新宿校舎の 100 年間の補修予算の積算比較	

表 3 実験項目と評価方法

		項目	方法
研究 1	調査 1	文献調査	超高層ビルの高さ関係を考慮したシーリング材の経年劣化による調査
	調査 2	建築物調査	対象建築物の調査,サンプル採取場所の決定,目視調査による問題点の発見
研究 2	引張試験	JIS K 6251 の引張試験方法に準拠して引張応力、破断時の伸びを測定	
	硬さ試験	JIS K 6253 の硬さ試験方法を参考にし、デジタルフォースゲージを用いてゴムの硬度を測定	
研究 3	補修予算積算比較	建築工事の積算を参考にシーリング材の単価を求めて新宿校舎の補修予算の積算比較	

表 4 シーリング材劣化度の分類

調査項目			劣化度		
			Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
防水機能関連	漏水または痕跡		あり	—	なし
	シーリング材の被着面の剥離		深さの 1/2 以上または深さ 5 mm 以上	深さの 1/4～1/2 または深さ 2～5 mm	深さの 1/4 未満または深さ 2 mm 未満
	シーリング材の破断		厚みの 1/2 以上または深さ 5 mm 以上	厚みの 1/4～1/2 または深さ 2～5 mm	厚みの 1/4 未満または深さ 2 mm 未満
	被着体の破損		ひび割れ幅 0.3 mm 以上	同左 0.1～0.3 mm	同左 0.1 mm 未満
	シーリング材の変形		凹凸が厚みの 1/2 以上または深さ 5 mm 以上	凹凸が厚みの 1/4～1/2 または深さ 2～5 mm	凹凸が厚みの 1/4 未満または深さ 2 mm 未満
	シーリング材の軟化		指先に多量に付着	指先にかかり付着	指先にわずかに付着
	しわ		凹凸の深さ 1～2 mm	同左 0.5～1 mm	わずかに波打っている
	変退色		変退色が極めて著しい	変退色がかなり存在する	変退色が少し存在する
意匠・外観関連	ひびわれ		ひびわれ幅 1～2 mm	同左 0.5～1 mm	同左 0.5 mm 未満
	白亜化		指先に多量に付着	指先にかかり付着	指先にわずかに付着
	仕上材の浮き変色		剥離や変色がある	ひび、やや変色している	左の現象が軽微である
物性	50%引張応力	初期値比	5 倍以上 1/5 以上	3～5 倍 1/3～1/5	3 倍以下 1/3 以上
		測定値	0.59N/mm ² 以上 0.03N/mm ² 以下	0.39～0.59N/mm ² 0.03～0.06N/mm ²	0.39N/mm ² 以下 0.06N/mm ² 以上
	伸び	初期値比	1/5 以下	1/3～1/5	1/3 以上
		測定値	200%以下	200～500%	500%以上
評価	劣化度評価		補修が必要	早い時期に補修が必要	現状放置可能

2. 工学院大学新宿校舎のシーリング材のサンプル採取

2.1 シーリング材のサンプル採取箇所

新宿校舎のシーリング材を対象に東西南北の高層・中層・低層の縦・横目地(低層の横目地は化粧目地のため縦目地のみ)に分け(図 2a 参照)合計 20 本のサンプル(図 2b)を採取する(表 5 参照)。採取するサンプル 1 本の長さは 40cm であり、測定する箇所の名称を暴露していた面を表面、建物の接着面側を裏面、側面を右側面と左側面に分ける(図 2c 参照)。

2.2 シーリング材の採取方法

外装工事業者 a 社に依頼をし、新宿校舎の高層・中層はゴンドラを使用しサンプルの採取を行い、低層は地上階のため足場を組まないで作業を行う。新宿校舎の外壁のシーリング材をカッターナイフで切り取り、補修箇所の周囲にマスキングテープを張り付けてから切り取った箇所に新規のシーリング材である 1 成分系変成シリコンを充填する。コテで平らに均した後にマスキングテープをはがして、養生する作業を合計で 20 本分行う。

2.3 採取したシーリング材の劣化度の評価方法の種類

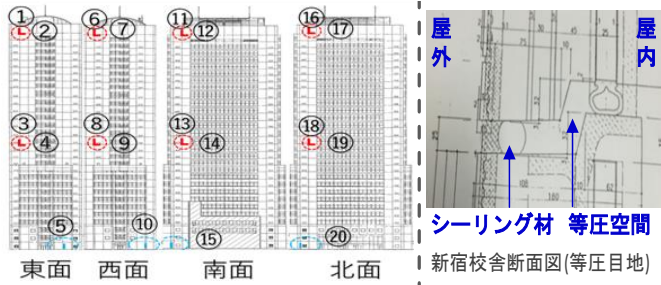
新宿校舎から採取したシーリング材の劣化度を評価するとき「建築防水の耐久性向上技術」(以下、技術指針とする)を参考にして、劣化度の指標(表 4 参照)をⅠ・Ⅱ・Ⅲに分けて示す。新宿校舎から採取したシーリング材の劣化度の評価方法は、防水機能と意匠・外観を元に評価を決める外観検査と、50%引張応力と破断時の伸びから評価を決める物性試験の 2 つの結果を総合して評価を決める。Ⅰから順に数値が上がるごとにシーリング材の経年劣化による耐久性の危険度が上がっていき、劣化度Ⅰは現状放置可能、劣化度Ⅱは早い時期に補修が必要(現状放置可能)劣化度Ⅲは補修が必要(表 4 参照)と技術指針によって定義されている。

2.4 採取したシーリング材の劣化度の評価

新宿校舎から採取したシーリング材の劣化度の結果(表 6 参照)を方角ごとに見ると(図 3 参照)東方向は中層・横目地以外は劣化度がⅢであるため、全体的に劣化している。西方向は上層が劣化度Ⅱで中層・下層は劣化度Ⅲであるため、下層にいくほど劣化している。南方向も西方向と同様に下層にいくにつれて劣化度が高くなる傾向にある。南方向は西方向と経年劣化の傾向が似ていることから、劣化の要因が直射日光と関係していると推測される。北方向は上層・中層が劣化度Ⅲであり、低い位置よりも高い位置の方が劣化している。上記のことから建物高さや方位による経年劣化は関係があることが判明した。

表 5 新宿校舎から採取したサンプルの番号と採取箇所

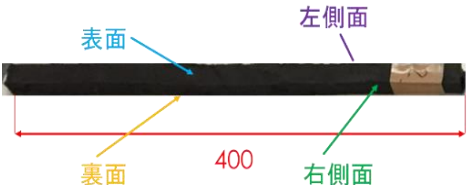
試料 NO.	方角	採取場所	採取したシーリング材の向き
1	東面	RF PC 板間	縦目地
2			横目地
3		15F PC 板間	縦目地
4			横目地
5		1F PC 板間	縦目地
6	西面	RF PC 板間	縦目地
7			横目地
8		15F PC 板間	縦目地
9			横目地
10		1F PC 板間	縦目地
11	南面	RF PC 板間	縦目地
12			横目地
13		15F PC 板間	縦目地
14			横目地
15		1F PC 板間	縦目地
16	北面	RF PC 板間	縦目地
17			横目地
18		15F PC 板間	縦目地
19			横目地
20		1F PC 板間	縦目地



a) シーリング材サンプル採取(左：採取位置、右：断面図)



b) 採取したシーリング材サンプル(20 本)



c) 採取したシーリング材サンプルの寸法と名称

図 2 新宿校舎のシーリング材サンプル採取概要

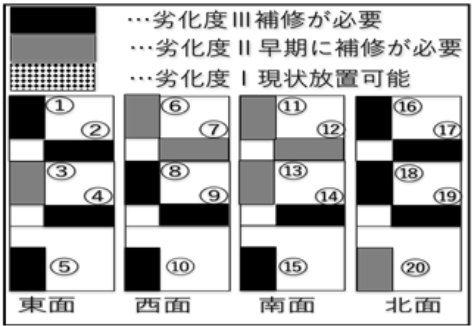


図 3 新宿校舎のシーリング材の外観劣化度評価模式図

3. 工学院大学新宿校舎から採取したシーリング材の物性試験

3.1 採取したシーリング材の引張試験の実験方法と結果

3.1.1 採取したシーリング材の引張試験の実験方法

JIS K 6251 の加硫ゴムの引張試験方法に準拠して採取したシーリング材で試験を行う。50%引張応力(N/mm²)・最大引張応力(N/mm²)・破断時の伸びを求めて 20 箇所測定する。新宿校舎から採取したシーリング材をダンベル 3 号形に加工(図 4 参照)をして表層から厚さ約 2mm ごとに 上層・低層の 2 層にスライスをして試験体を合計 40 本作成する。

3.1.2 採取したシーリング材の 50%引張応力の結果

採取したシーリング材のサンプルの 50%引張応力の測定結果(図 5 参照)を高さ別に見ると低層が 1 番引張応力が高く上層と中層では上層のほうが少し引張応力が高いことが分かる。劣化度の中でも 1 番正常な状態である劣化度 I を満たす条件(表 6 参照)が採取したシーリング材のサンプルは全て劣化度 I であるため物性能力は低下していない。

3.2 採取したシーリング材の硬度試験の実験方法と結果

3.2.1 採取したシーリング材の硬度試験の実験方法

シーリング材の引張応力の結果(図 5 参照)を参照してデジタルフォースゲージで測定したシーリング材の全体の数値を硬度に置き換える。採取したシーリング材 20 本の中の 1 本につき表面と裏面は奥行き方向に 5 か所、それを直径方向に 5 か所、25 か所づつ測定。側面は奥行き方向に 3 か所直径方向に 5 か所、計 15 か所を測定する。測定番号は表・裏面は左から右に手前側から奥にかけて番号が大きくなっており、側面は左から右にかけて被着面に近づくにつれ番号が大きくなっている(図 6 参照)。一つのサンプルから 80 か所採取し、20 本測定したため、全 1600 か所測定した。

3.2.2 採取したシーリング材の硬度試験の実験結果

南側の上層縦目地(試料 No.11)に着目して表面(図 7a 参照)裏面(図 7b 参照)の数値を比較した。表面と裏面の表面の結果に着目すると直径方向は中央に行くほど硬度の数値が高くなりやすい傾向にあることが読み取れることから負荷が中央に集中して硬化しやすくなっていることが推測される。奥行き方向は中央よりも端に行くほうが硬度が高い。これはシーリング材の端の方が建物と接着していたため負荷が大きいかかり硬度が大きくなったと推測される。

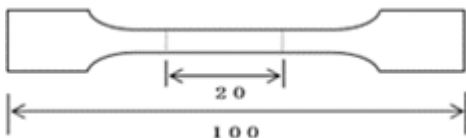


図 4 シーリング材の引張試験の試験体・ダンベル 3 号形

表 6 新宿校舎から採取したシーリング材の劣化度の結果一覧

試料 NO.	表面状態	劣化度		判定
		外観	物性	
1	ひび割れ,汚れ付着	II	I	II
2	ひび割れ,汚れ付着	II	I	II
3	ひび割れ,汚れ付着	II	I	II
4	ひび割れ,汚れ付着,しわ,退色	III	I	III
5	ひび割れ,汚れ付着,しわ,退色	III	I	III
6	ひび割れ,汚れ付着,退色	III	I	III
7	ひび割れ,汚れ付着,退色	III	I	III
8	ひび割れ,汚れ付着,退色	III	I	III
9	ひび割れ,汚れ付着,退色	III	I	III
10	汚れ付着	II	I	II
11	ひび割れ,汚れ付着,退色	III	I	III
12	ひび割れ,汚れ付着,退色	III	I	III
13	ひび割れ,汚れ付着	II	I	II
14	ひび割れ,汚れ付着,退色	III	I	III
15	ひび割れ,汚れ付着,しわ	III	I	III
16	ひび割れ,汚れ付着	II	I	II
17	ひび割れ,汚れ付着,退色	II	I	II
18	ひび割れ,汚れ付着,退色	III	I	III
19	ひび割れ,汚れ付着,退色	III	I	III
20	ひび割れ,汚れ付着	III	I	III

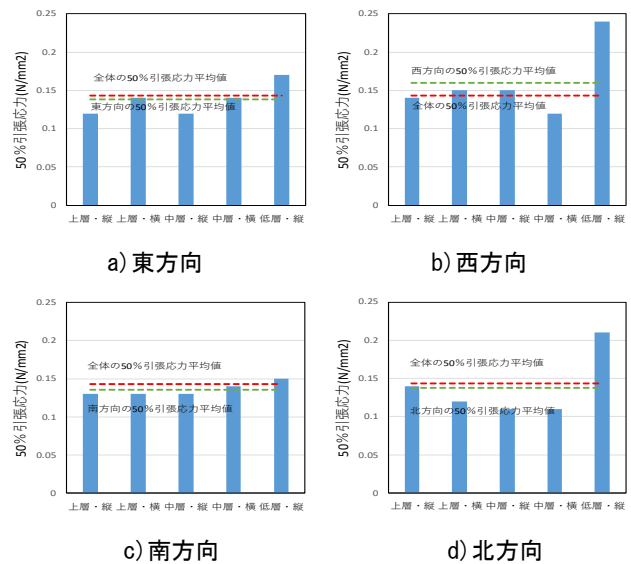
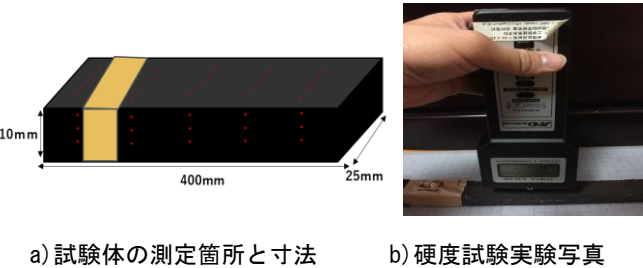


図 5 シーリング材の引張試験の 50%引張応力の結果



a) 試験体の測定箇所と寸法 b) 硬度試験実験写真

図 6 採取した試験体の硬度試験の測定箇所

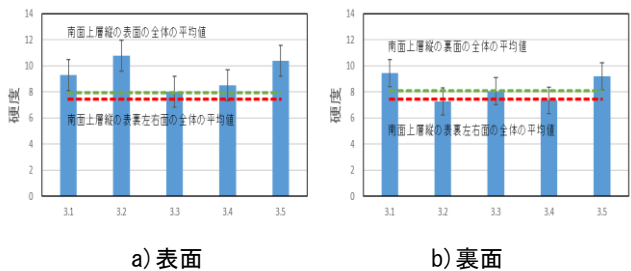


図 7 南面上層縦のシーリング材の表面と裏面の結果の比較

4. 新宿校舎のシーリング材の劣化リスクの計算方法と結果

4.1 新宿校舎のシーリング材の劣化リスクの計算方法

新宿校舎のシーリング材の補修工事費用と補修工事の頻度により工事費リスクを算出する。リスク値は JIS A 8051-2004 の規定に準拠し次の式 1)により算出する。

R(損傷回復リスク値：円)

=P(損傷発生確率：%) ×E(損傷影響度：円) -I)

今回は発生確率を補修工事の頻度とし、本研究の対象建築物が築 28 年で補修工事を行うため、29 年経過時点で劣化度Ⅲの箇所が漏水すると仮定、33 年経過した時点ですべての箇所が漏水すると仮定したとき、100 年の期間内で 28 年ごとに補修工事を行う c1、29 年ごとに劣化度Ⅲの漏水と劣化の補修工事を行う c2、33 年ごとに全箇所の漏水と劣化の補修工事を行う c3 とする。一方の影響度は補修工事費と損害金額とする。シーリング材 1m 当たりの単価(表 8 参照)をもとにすると補修作業の単価は 1m 当たり 1770 円のため、表 8 を参考に新宿校舎のシーリング材の補修費だけを考えると工事費用は (1700 万)となった。新宿校舎は教室空間を有し外装タイルの点検・補修工事に加わり、さらに 28 年目の最初のシーリング工事のためタイルを含む外装清掃工事が追加されることから追加で 1700 万円がかかることがヒアリング調査から判明しているため 1 回の補修工事で合計 3400 万円になる。損害金額は漏水した時の影響を仮定し、被害が生じた部屋のエアコンの修理費用と石膏ボードの修理費を想定して 1 部屋当たり 100 万円の損失としてリスク値を求める。

4.2 新宿校舎のシーリング材の劣化リスクの計算結果

新宿校舎の工事費リスクの結果(図 8 参照)を見ると、c1 の補修工事金額だけの 1 億 2000 万円に対して、c2 は 6 億 3300 万円、c3 は 8 億 8200 万円と漏水のリスクが高まることに比例して工事の金額が大幅に増えることが読み取れる。c1 と c2 に着目して結果を比較すると漏水による損失が約 5 億円と影響が大きいため、28 年で劣化度Ⅲの箇所が多くなる前に 1 度メンテナンスが必要だと推測される。

5. まとめ

- 1)本研究の結果、新宿校舎から採取したシーリング材は物性より外観の劣化の度合いが大きいことが判明した。
- 2)今後は劣化度Ⅲとなる箇所を事前にメンテナンスを行い、経年劣化を防ぐことで外観の劣化による漏水を未然に防ぐ必要があり、定期的な補修工事を行う必要性があると予想される。

表 7 新宿校舎の工事費リスクの概要

a) 2 成分系変成シリコンの 1m における労務費

名称	規格	単位	数量	単価(円)	金額(円)
シーリング	2 成分系	ℓ	0.34	1610	547.4
補足材	-	-	一式	-	161
防水工		人	0.044	19500	858
その他		-	一式	-	203.63
計	-	円	-	-	1770.03

b) 石こうボードの 1 m²における労務費

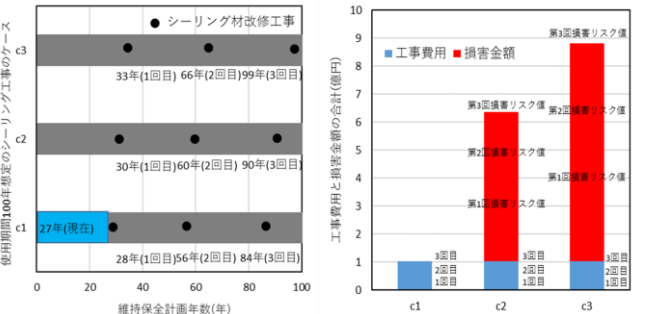
名称	規格	単位	数量	単価(円)	金額(円)
石こうボード張り	厚さ 9.5mm	m ²	1.05	163.02	171.17
ボード釘		kg	0.03	305.00	7.63
内装工		人	0.04	17500.00	700.00
その他		-	一式	-	114.24
合計		円	-	-	993.04

c) 窓際下の内部エアコンの台数 (台数@100 万円)

	東方向	西方向	南方向	北方向	合計
上層	0	0	69	58	127
中層	0	0	46	47	93
低層	0	4	21	15	40
合計	0	4	136	120	260

d) 方位・高さごとのエアコン漏水時損害金額(台数×100 万=円)

	東	西	南	北	合計
上層	0	0	69000000	58000000	127000000
中層	0	0	46000000	47000000	93000000
低層	0	4000000	21000000	15000000	40000000
合計	0	4000000	136000000	120000000	260000000



a) 使用期間 100 年想定の新宿校舎のシーリング工事のケース b) 各ケースの費用の合計

図 8 新宿校舎の漏水リスク算定結果

参考文献

- 1)建築用シーリング材ハンドブック,日本シーリング材工業会 2013
- 2)建築防水の耐久性向上技術,技術堂出版,1987
- 3)建築工事の積算,経済調査会積算研究会,2012
- 4)高橋愛枝,他：10 年以上経過した超高層建物のシーリング材の劣化調査,大成建設技術センター報,第 43 号,2010

謝辞

本研究は、H27 年度工学院大学 UDM プロジェクト、H28 年度私大研究ブランディング事業の一部であり、工学院大学施設課関係各位、日本シーリング材工業会、日本ビソープ岡範明氏関係各位に助力を賜り感謝致します。