

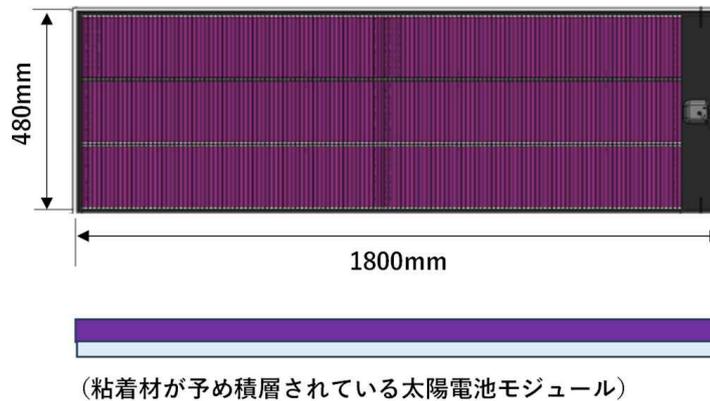
「太陽光発電を利用したアクリルゲル粘着材の耐久性」

事業者：株式会社ケー・エフ・シー

<研究内容について>

淀川左岸線(2期)建設中区間の大淀入路区間において、道路壁面の化粧板に太陽電池モジュールをアクリルゲル粘着材にて設置し、屋外環境での紫外線暴露と気温・湿度・天候変化における粘着層の性能変化の検証を実施するとともに、室内の恒温恒湿槽の中において設置される同様の供試体との粘着力の比較実験を実施します(下記【1】【2】)。

本研究の効果は、万博暫定利用期間において、アクリルゲル粘着材の供用路線での物性の経時的変化を確認し、太陽電池モジュールの粘着による施工技術を確立することであり、この施工技術はペロブスカイト太陽電池の設置方法としても転用できる技術であると考えています。



太陽電池モジュールの概要図

【1】粘着層の経時的性能の確認

屋外かつ供用路線に近い環境での紫外線暴露と環境負荷(気温・湿度・天候変化)による粘着層の性能変化(浮き・剥がれ)を目視・触診により確認や記録を行い、寿命の推定を行います。

【2】せん断付着試験での粘着力の確認

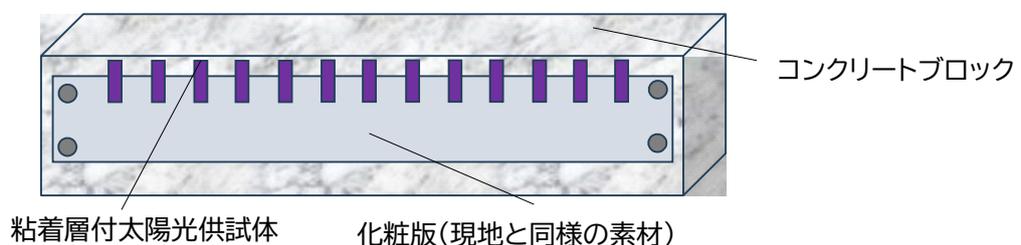
異なる環境下において養生された供試体を用いてせん断付着試験を実施し、粘着力の比較を行います。

<せん断付着試験に使用する供試体>

上記【2】のとおり本検証では、屋外と室内の異なる環境下に配置する供試体を用いて試験を行い、粘着力を比較します。

a.屋外に配置する供試体

太陽電池モジュールと同様の環境下に以下のように試験用の供試体を設置します。試験実施時に、1ピースずつ切り取った供試体を複数枚現場から持ち帰り、データを取得します。



b.屋内に配置する供試体

屋外供試体との比較を行うため、恒温恒湿槽の内部にも供試体を設置・養生し、試験に使用します。



恒温恒湿槽



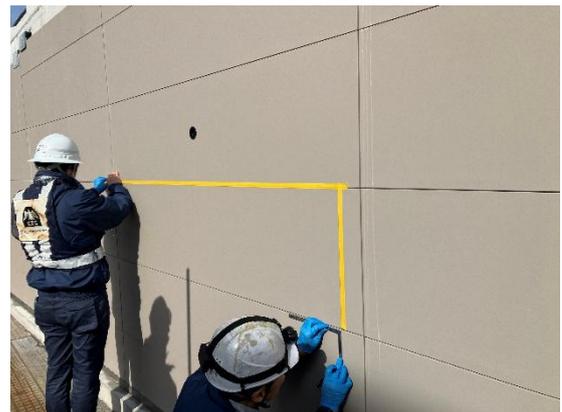
せん断付着試験状況例

<太陽電池モジュールの設置作業>

太陽電池モジュールの設置作業について、作業の工程を写真とともにご紹介いたします。

① 設置箇所のマーキング・粉塵除去

太陽電池モジュールの設置箇所にあらかじめ付着している粉塵等を除去し、太陽電池モジュールの大きさに合わせて、マーキングを行います。



② プライマー(下地)塗布

化粧版と太陽電池モジュールの密着性を高め、接着を補う役割としてプライマーを塗布します。



③ 太陽電池モジュールの設置

粘着材があらかじめ積層された太陽電池モジュールを設置面に空気が含まないように、端からローラーを押し当てて設置します。

今回の検証ではアクリルゲル粘着材の厚みを $150\mu\text{m}$ と $300\mu\text{m}$ に設定したものをそれぞれ3枚ずつ、計6枚の太陽電池モジュールを貼り付けます。



④ せん断付着試験用供試体の設置(作業完了)

最後にせん断付着試験用の供試体を設置します。強風などにより太陽電池モジュールが剥がれてしまった場合に備えて、重みのあるコンクリートブロックに試験用の供試体を設置し、太陽電池モジュールとコンクリートブロックをワイヤーでつないでおくことで、飛散防止対策を施しています。

また、浮き・剥がれの要因となる温度や湿度を常時計測するため、供試体設置箇所に温湿度管理システムの機器をアンカー等で設置固定します。



< 検証結果について >

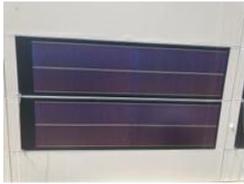
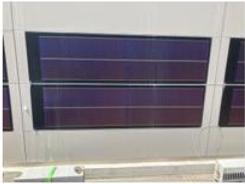
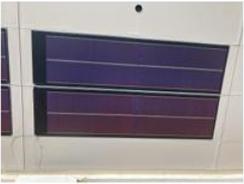
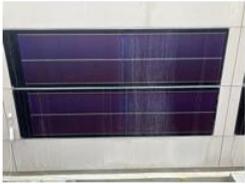
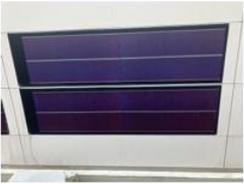
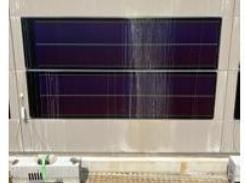
① 外観調査結果(1,3,6,8 か月)

調査は現場に施工した太陽電池モジュールの浮き・剥離がないことを目視・触診により期間ごとに行いました。

(1 か月)	(3 か月)	(6 か月)	(8 か月)
4 月 17 日(29 日目)	6 月 11 日(84 日目)	9 月 17 日(182 日目)	10 月 24 日(219 日目)

項目・暴露期間	1か月	3か月	6か月	8か月
端部浮き	発生なし	発生なし	発生なし	発生なし
剥離・膨らみ	発生なし	発生なし	発生なし	発生なし
変色・ひび割れ	発生なし	発生なし	発生なし	発生なし
汚れ付着	エフロレッセンス	エフロレッセンス	エフロレッセンス	エフロレッセンス
他	なし	なし	なし	なし

外観調査結果

4月17日 暴露29日目			
6月11日 暴露84日目			
9月17日 暴露182日目			
10月24日 暴露219日目			
代表参考写真	 打診棒による浮き確認	 端部剥離確認(拡大)	 暴露完了(全景)

外観調査写真記録

【考察】

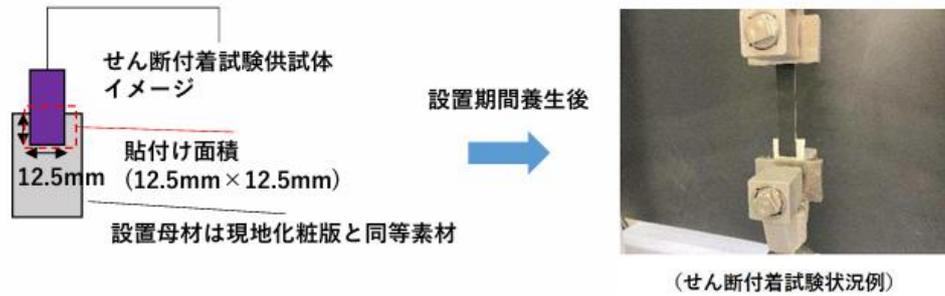
パネル上部から流れてきた水(雨水など)によりコンクリートのエフロレッセンスが太陽電池モジュールに付着しましたが、モジュールの浮き膨らみや端部からの剥離などは全てにおいて発生しませんでした。以上の結果から、外観調査による粘着層の劣化は確認されませんでした。

計画時の目標値:浮き・剥がれなし

実験における成果物:浮き・剥がれがないことを確認

② 室内せん断付着試験結果

以下の供試体により粘着力のせん断付着試験を実施しました。試験機(オートグラフ:島津製作所社製)のつかみ具上側で短冊状の太陽電池モジュールをつかみ、下側で貼付け母材をつかみそれらを引張ることによりせん断付着耐力を測定しました。



せん断付着試験供試体概要とせん断付着試験イメージ

試験片数:条件後ごとに 3 供試体

試験速度:2.0mm/min

【試験結果】

【恒温恒湿庫養生】せん断粘着力試験結果まとめ (粘着層厚さ150μm)					
養生期間	No.	荷重(N)	面積	せん断粘着力(N/mm ²)	破壊形状
初期	No.1	240.18	167.70	1.43	粘着材の凝集破壊
	No.2	175.26	167.81	1.04	粘着材の凝集破壊
	No.3	158.47	169.71	0.93	粘着材の凝集破壊
	平均	191.30	—	1.13	
1か月	No.1	143.67	173.84	0.83	粘着材の凝集破壊
	No.2	218.19	168.45	1.30	粘着材の凝集破壊
	No.3	183.48	165.35	1.11	粘着材の凝集破壊
	平均	181.78	—	1.08	
3か月	No.1	183.16	171.33	1.07	粘着材の凝集破壊
	No.2	217.71	173.05	1.26	粘着材の凝集破壊
	No.3	170.29	170.38	1.00	粘着材の凝集破壊
	平均	190.39	—	1.11	
6か月	No.1	201.62	164.61	1.22	粘着材の凝集破壊
	No.2	219.28	174.89	1.25	粘着材の凝集破壊
	No.3	222.22	178.66	1.24	粘着材の凝集破壊
	平均	214.37	—	1.24	
8か月	No.1	213.75	171.86	1.24	粘着材の凝集破壊
	No.2	181.84	177.56	1.02	粘着材の凝集破壊
	No.3	208.34	169.31	1.23	粘着材の凝集破壊
	平均	201.31	—	1.16	

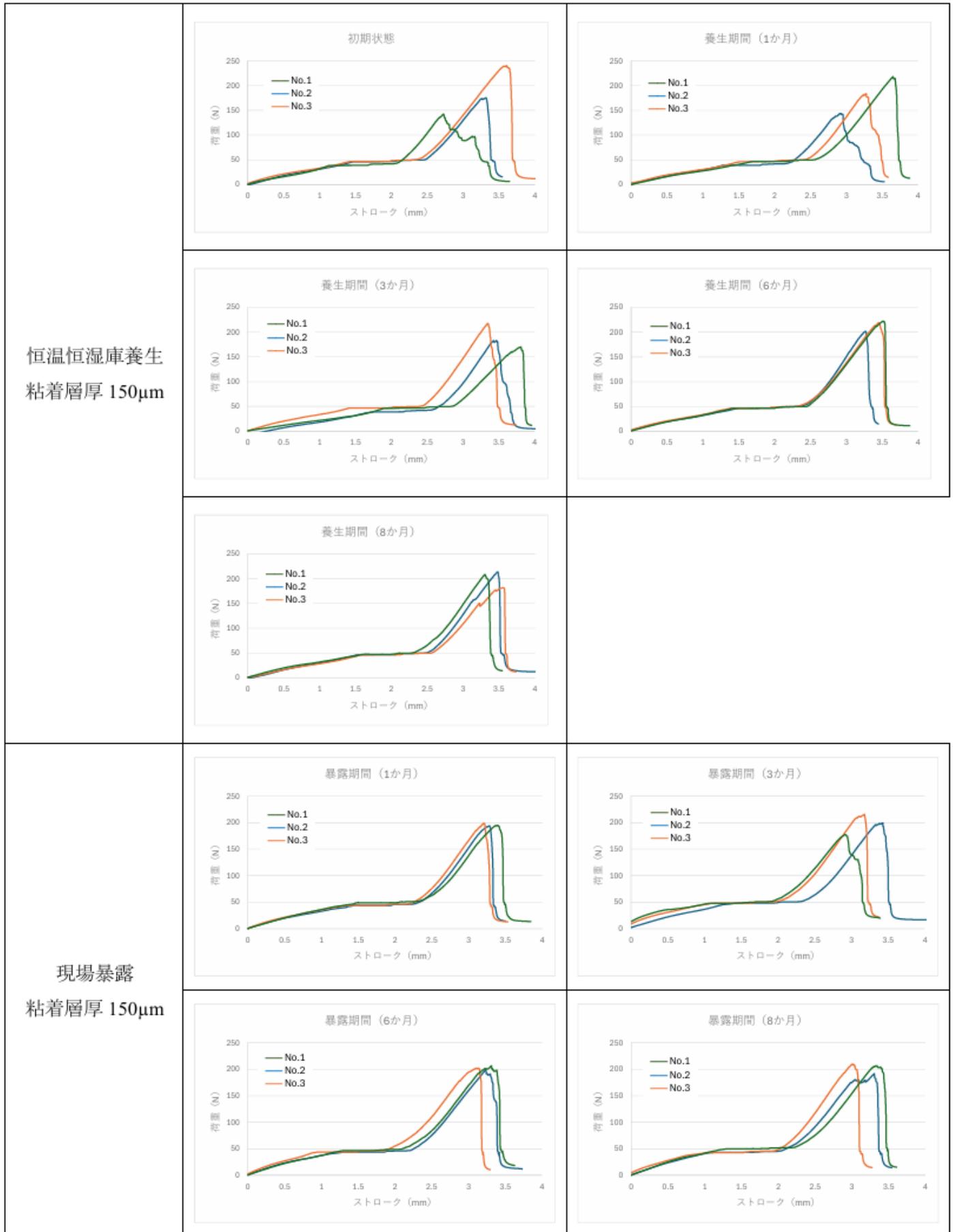
【現場暴露】せん断粘着力試験結果まとめ (粘着層厚さ150μm)					
暴露期間	No.	荷重(N)	面積	せん断粘着力(N/mm ²)	破壊形状
1か月	No.1	193.99	167.05	1.16	粘着材の凝集破壊
	No.2	198.75	163.24	1.22	粘着材の凝集破壊
	No.3	195.24	173.65	1.12	粘着材の凝集破壊
	平均	196.00	—	1.17	
3か月	No.1	199.72	167.05	1.20	粘着材の凝集破壊
	No.2	215.84	167.39	1.29	粘着材の凝集破壊
	No.3	177.55	170.42	1.04	粘着材の凝集破壊
	平均	197.70	—	1.18	
6か月	No.1	199.83	164.59	1.21	粘着材の凝集破壊
	No.2	202.11	164.99	1.22	粘着材の凝集破壊
	No.3	206.83	161.97	1.28	粘着材の凝集破壊
	平均	202.92	—	1.24	
8か月	No.1	192.02	165.20	1.16	粘着材の凝集破壊
	No.2	209.89	164.84	1.27	粘着材の凝集破壊
	No.3	206.77	165.99	1.25	粘着材の凝集破壊
	平均	202.89	—	1.23	

【恒温恒湿庫養生】せん断粘着力試験結果まとめ (粘着層厚さ300μm)					
養生期間	No.	荷重(N)	面積(mm ²)	せん断粘着力(N/mm ²)	破壊形状
初期	No.1	169.41	162.76	1.04	粘着材の凝集破壊
	No.2	154.25	175.24	0.88	粘着材の凝集破壊
	No.3	152.22	174.07	0.87	粘着材の凝集破壊
	平均	158.63	—	0.93	
1か月	No.1	156.18	172.88	0.90	粘着材の凝集破壊
	No.2	144.21	166.53	0.87	粘着材の凝集破壊
	No.3	164.75	175.50	0.94	粘着材の凝集破壊
	平均	155.05	—	0.90	
3か月	No.1	176.79	173.75	1.02	粘着材の凝集破壊
	No.2	165.91	178.61	0.93	粘着材の凝集破壊
	No.3	164.27	167.54	0.98	粘着材の凝集破壊
	平均	168.99	—	0.98	
6か月	No.1	143.30	172.59	0.83	粘着材の凝集破壊
	No.2	184.47	169.26	1.09	粘着材の凝集破壊
	No.3	135.50	162.43	0.83	粘着材の凝集破壊
	平均	154.42	—	0.92	
8か月	No.1	151.63	165.57	0.92	粘着材の凝集破壊
	No.2	160.38	168.06	0.95	粘着材の凝集破壊
	No.3	146.22	175.16	0.83	粘着材の凝集破壊
	平均	152.74	—	0.90	

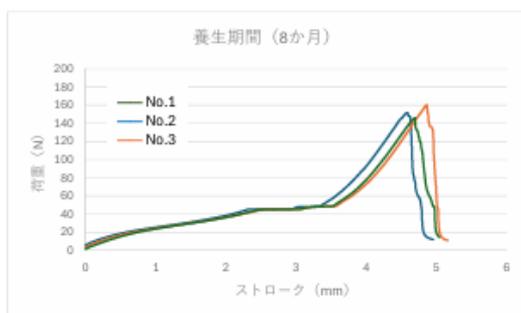
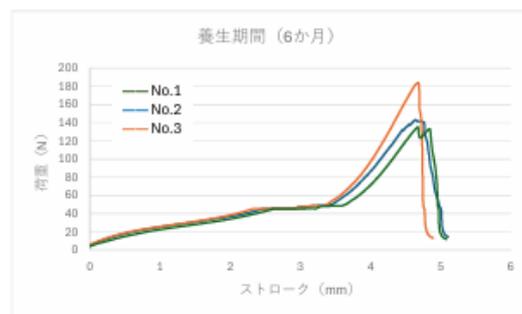
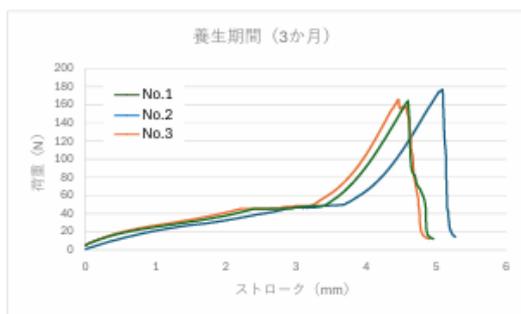
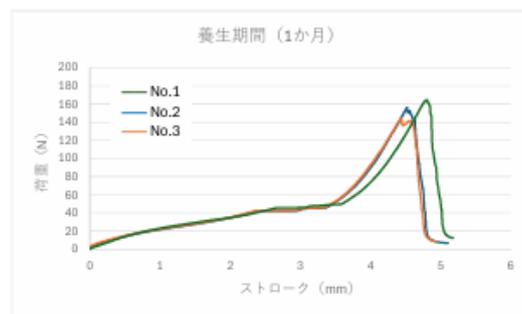
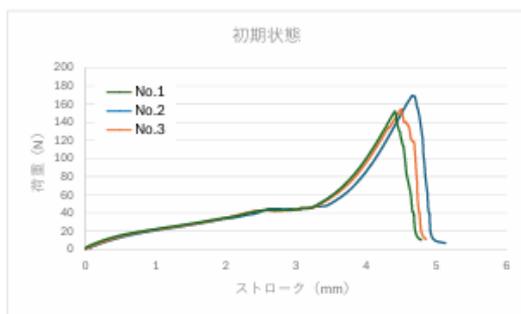
【現場暴露】せん断粘着力試験結果まとめ (粘着層厚さ300μm)					
暴露期間	No.	荷重(N)	面積	せん断粘着力(N/mm ²)	破壊形状
1か月	No.1	149.46	172.13	0.87	粘着材の凝集破壊
	No.2	144.67	175.11	0.83	粘着材の凝集破壊
	No.3	160.23	167.05	0.96	粘着材の凝集破壊
	平均	151.45	—	0.88	
3か月	No.1	152.01	176.74	0.86	粘着材の凝集破壊
	No.2	136.99	161.52	0.85	粘着材の凝集破壊
	No.3	142.35	170.89	0.83	粘着材の凝集破壊
	平均	143.78	—	0.85	
6か月	No.1	151.22	171.73	0.88	粘着材の凝集破壊
	No.2	139.90	170.38	0.82	粘着材の凝集破壊
	No.3	141.41	164.74	0.86	粘着材の凝集破壊
	平均	144.18	—	0.85	
8か月	No.1	146.71	168.47	0.87	粘着材の凝集破壊
	No.2	143.94	164.64	0.87	粘着材の凝集破壊
	No.3	148.61	171.87	0.86	粘着材の凝集破壊
	平均	146.42	—	0.87	

せん断付着試験結果一覧

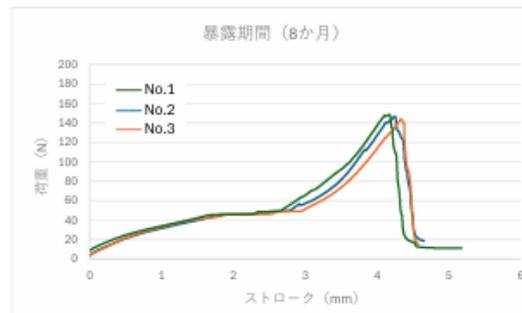
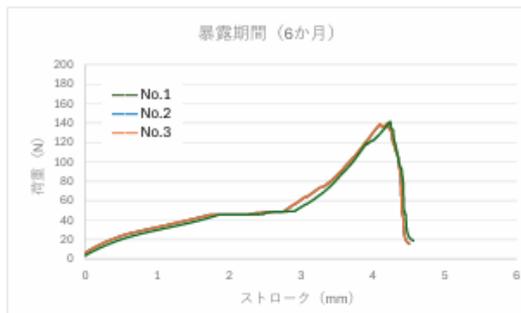
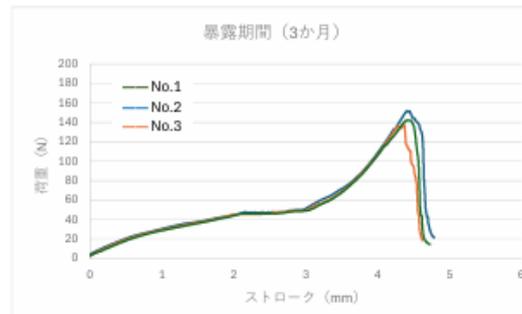
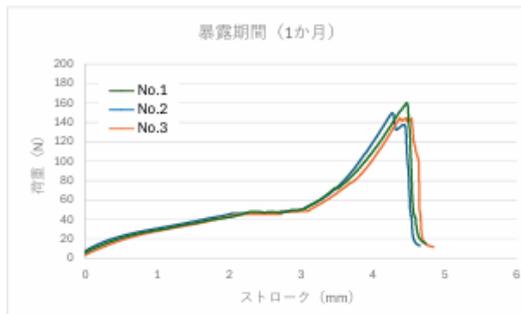
以下には、供試体ごとのせん断付着試験の荷重-ストローク曲線を示しました。



恒温恒湿庫養生
粘着層厚 300 μ m



現場暴露
粘着層厚 300 μ m





せん断付着試験実施状況



試験後供試体(代表)



試験後供試体(拡大)

【考察】

計画時目標:せん断付着試験の結果の保持率が 80%以上。ここでの保持率とは、環境負荷(屋外暴露)なしのせん断付着試験結果の数値を 100%とし、その値に対して養生後の供試体のせん断付着試験の数値の低下率を計測するものです。計算は以下の式で行います。

$$(\text{現地暴露後のせん断付着試験結果}) / (\text{環境負荷なしのせん断付着試験結果}) \times 100 = (\text{保持率})(\%)$$

実験による成果物:全ての暴露期間において試験結果の平均値は保持率 80%以上を確認しました。

保持率 (%)	暴露期間	暴露期間	暴露期間	暴露期間
	1か月	3か月	6か月	8か月
粘着層150μm	103.5(%)	104.4(%)	109.7(%)	108.8(%)
粘着層300μm	94.6(%)	91.4(%)	91.4(%)	93.5(%)

せん断付着試験結果保持率一覧表

③ 耐久性評価の総合考察

本暴露試験では、粘着層の屋外環境における耐久性の確認を目的として、219 日間の外観観察およびせん断付着試験を実施しました。外観観察の結果、表面の汚れ付着は一部に認められたものの、端部の剥がれ、シートのはがれ、膨らみ等の外観上の劣化は確認されず、試験期間を通じて概ね良好な状態を保持していました。

また、現場暴露試験体のせん断付着性能は、負荷なし試験体と比較して保持率 90%以上を示し、計画時に設定した目標値である保持率 80%以上を満足する結果となりました。測定値のばらつきを考慮しても、粘着力の顕著な低下は認められず、屋外環境下においても付着性能が概ね安定して維持されていることを確認しました。

なお、粘着接合部の破壊は粘着層の内部で破壊が起きる凝集破壊、粘着材と被着材料の境界面で破壊が起きる界面破壊の 2 種類あり、今回のせん断付着試験においては環境負荷の有無にかかわらず全て凝集破壊であり、接着界面の変化は確認されていません。粘着層厚 150 μm の試験体では保持率 103~109%を示しましたが、これらの差異はせん断付着試験における施工厚さ、界面状態、試験機把持条件等の影響を含む一般的な試験体間ばらつきの範囲内と考えられ、材料性能は環境負荷の有無によらず同等水準に維持されているものと判断しました。

以上より、本粘着層は少なくとも 8 か月間の屋外暴露において、外観および付着性能の両面で良好な耐久性を示しており、実使用環境下においても所要の性能を発揮するものと評価されます。