

経済産業省委託

平成22年度社会環境整備・産業競争力強化型規格開発事業

(個別産業技術分野に関する標準化)

窯業系サイディングの長期耐久性評価手法に関するJIS開発

窯業系サイディングの長期耐久性評価手法に関する標準化調査研究

成果報告書

平成23年3月

財団法人 建材試験センター

《 目 次 》

第1章	はじめに	
1. 1	研究目的及び概要	1
1. 2	実施体制	2
1. 3	審議経過	5
第2章	窯業系サイディングの試験条件設定に関する検討	
2. 1	検討因子	6
2. 2	実験計画	6
2. 2. 1	試験体	6
2. 2. 2	試験手順及び試験方法	6
2. 3	試験結果及び考察	7
2. 3. 1	試験結果	7
2. 3. 2	試験結果の考察	14
2. 4	窯業系サイディングの吸水・放湿特性	16
2. 4. 1	概要	16
2. 4. 2	試験結果および考察	18
2. 5	まとめ	26
第3章	窯業系サイディングの複合劣化の検証実験（その1：JTCCM）	
3. 1	実験概要	27
3. 1. 1	実験対象とする窯業系サイディングの種類	27
3. 1. 2	劣化因子項目と処理方法	28
3. 1. 3	実験日程	28
3. 2	実験計画	29
3. 2. 1	一般地を対象とした複合劣化	29
3. 2. 2	寒冷地を対象とした複合劣化	31
3. 3	実験結果	33
3. 3. 1	一般地を対象とした複合劣化	33
3. 3. 2	寒冷地を対象とした複合劣化	40
3. 4	まとめ	47
3. 4. 1	一般地を対象とした複合劣化	47
3. 4. 2	寒冷地を対象とした複合劣化	47
第4章	窯業系サイディングの複合劣化の検証実験（その2：NYG）	
4. 1	実験概要	48
4. 1. 1	実験対象	48
4. 1. 2	劣化因子項目と処理方法	48
4. 1. 3	実験日程	49
4. 2	実験計画	49
4. 2. 1	一般地を対象とした複合劣化	49
4. 2. 2	寒冷地を対象とした複合劣化	51

4. 3	実験結果	53
4. 3. 1	一般地を対象とした複合劣化	53
4. 3. 2	寒冷地を対象とした複合劣化	61
4. 4	まとめ	71
4. 4. 1	一般地を対象とした複合劣化	71
4. 4. 2	寒冷地を対象とした複合劣化	71
第5章 窯業系サイディングの炭酸化による物性変化確認実験		
5. 1	概要	74
5. 2	炭酸化メカニズムに関する一般事項	74
5. 3	炭酸化実験の概要	75
5. 4	測定結果	78
5. 4. 1	中性化深さの測定結果	78
5. 4. 2	化学分析結果	79
5. 4. 3	寸法および質量変化試験結果	87
5. 5	まとめ	90
第6章 窯業系サイディングの長期耐久性評価・促進試験方法に関する検討		
6. 1	長期耐久性評価の考え方	91
6. 1. 1	窯業系サイディングの耐久性評価の現状と課題	91
6. 1. 2	長期耐久性評価として考慮すべき劣化要因	92
6. 1. 3	長期耐久性評価の流れ	94
6. 2	劣化因子と促進試験方法の位置づけ	97
6. 2. 1	試験体の養生	97
6. 2. 2	炭酸化促進試験	100
6. 2. 3	耐候性試験	107
6. 2. 4	温冷・耐湿性試験	112
6. 2. 5	凍結融解試験	116
6. 3	まとめ	124
第7章 窯業系サイディングの長期耐久性評価の標準化原案		
		126
第8章 まとめ		
8. 1	今年度の成果のまとめ	132
8. 1. 1	窯業系サイディングの複合劣化の検証実験	132
8. 1. 2	窯業系サイディングの長期耐久性評価・促進試験方法に関する検討	132
8. 2	今後の課題	133

第1章 はじめに

1.1 研究目的及び概要

本調査研究は、窯業系サイディングを対象とした長期耐久性の評価ならびに複合劣化に関する促進劣化試験方法の標準化原案の作成を目的としたものである。平成20年度及び平成21年度に経済産業省からの委託事業として実施した調査研究「住宅用外装材の長期耐久性評価手法に関する標準化」において、住宅用外装材の劣化メカニズムの検討ならびに促進劣化試験に関する実験検討を行った。本調査研究は、それらの2年間の調査研究成果を踏まえ、窯業系サイディングを対象として、長期耐久性評価手法に関する標準化原案の作成を目的として実施したものである。

調査研究は、研究開発期間を1ヶ年とし、建材試験センター内に「窯業系サイディングの長期耐久性評価手法に関する標準化委員会」及び分科会（試験方法WG）を設置し、試験方法の適用性に関する検証実験及び試験方法の再現性に関する確認実験を実施した。これらの実験結果に基づき、窯業系サイディングを対象とした長期耐久性評価の考え方ならびに複合劣化に関する促進試験方法の標準化原案を作成した。

なお、作成した窯業系サイディングの長期耐久性評価の標準化原案については、JIS A 5422（窯業系サイディング）の改正見直し時に、同規格内に盛り込むことを前提として作成したものである。今後、同規格の改正原案作成委員会を経て、標準化されることが期待される。

平成22年度は、以下の具体的な課題について調査を行った。

①試験方法の適用性に関する検証実験

窯業系サイディングの長期耐久性に関する促進試験方法の適用性に関する検証実験は、(財)建材試験センター中央試験所において実施した。促進試験は、使用される環境条件、複合劣化として評価する耐久性の項目、窯業系サイディングの種類などを勘案し、標準化原案として提案する促進試験方法の適用性に問題がないかを検証したものである。

なお、試験対象とする窯業系サイディングの種類、環境条件による耐久性の項目等については、試験方法WGで審議の上、決定した。

②試験方法の再現性に関する確認実験

試験方法の再現性に関する確認実験は、日本窯業外装材協会に外注して実施した。試験方法の再現性に関する確認実験の内容は、試験方法WGならびに日本窯業外装材協会内に設置したサブWGにおいて審議の上、決定した。

③標準化原案の作成

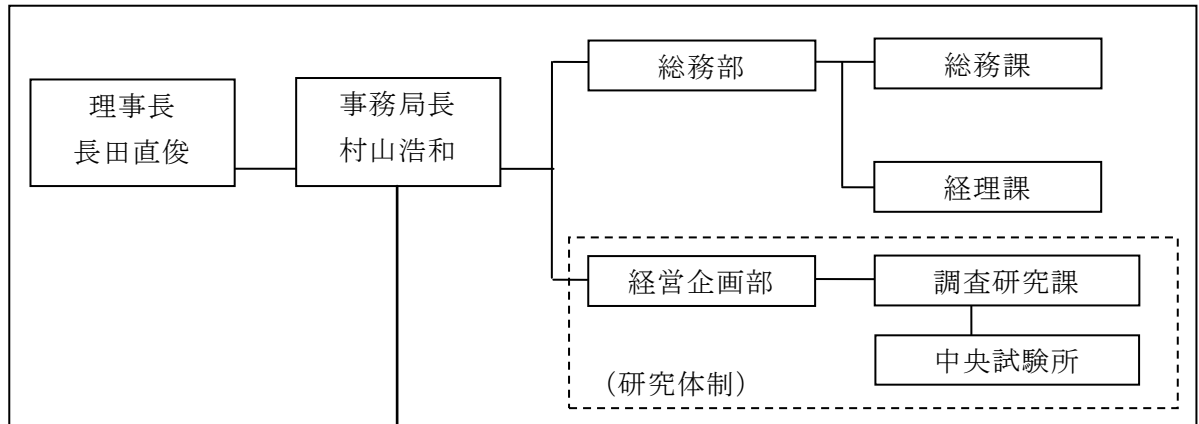
①及び②の実験結果に基づき、窯業系サイディングの長期耐久性評価の標準化原案を作成した。

1.2 実施体制

調査研究の実施体制を図 1.2.1 に、調査研究委員会の委員名簿を表 1.2.1 及び表 1.2.2 に示す。調査研究委員会は、財団法人建材試験センター内に委員会を設置して実施した。

なお、調査研究に関する実験検討は、財団法人建材試験センター中央試験所にて実施した。

管理体制



委員会構成

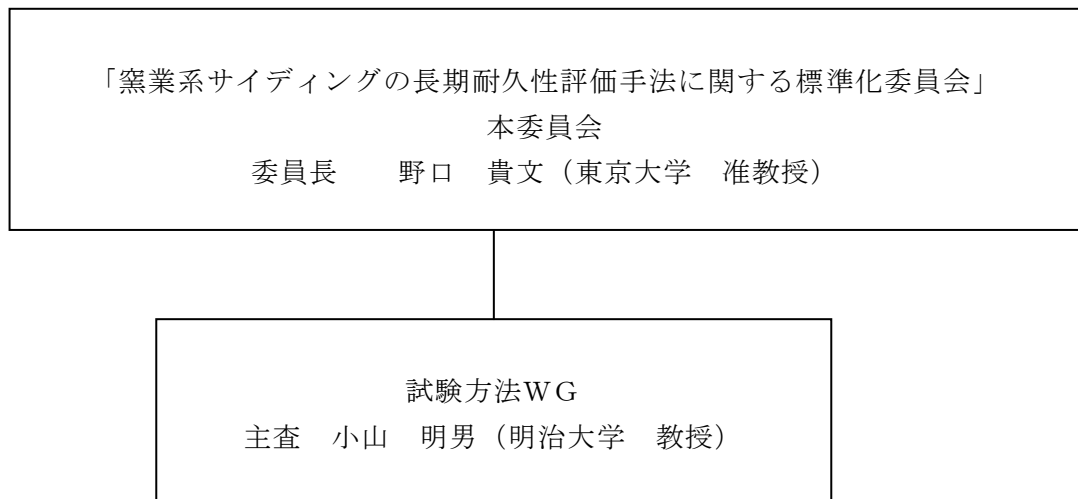


図 1.2.1 調査研究の実施体制

表 1.2.1 本委員会委員名簿

区分	氏名	所属・役職
委員長	野口貴文	東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 准教授
委員	小山明男	明治大学理工学部建築学科 教授
	兼松 学	東京理科大学理工学部建築学科 准教授
	長井宏憲	東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 助教
	濱崎 仁	(独) 建築研究所 材料研究グループ 主任研究員
	梅田浩孝	(財) 日本ウエザリングテストセンター 事務局 課長代理
	吉野利幸	(独) 北海道立総合研究機構 建築研究本部 北方建築総合研究所 環境科学部 研究主幹
	永井香織	(社) 建築業協会
	藤村孝夫	(社) 住宅生産団体連合会 住宅性能部長
	森田育男	日本窯業外装材協会 専務理事
	井上照郷	日本建築仕上材工業会 常務理事・事務局長
	後藤伸二郎	(社) 日本建材・住宅設備産業協会 標準部長
	馬場厚次	(財) 日本規格協会規格開発部規格第一課 調査役
	真野孝次	(財) 建材試験センター 中央試験所 材料グループ 統括リーダー
	藤巻敏之	(財) 建材試験センター 中央試験所 材料グループ 主幹
行政側 委員	小野 正	経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課 企画官
	越海興一	国土交通省住宅局住宅生産課木造住宅振興室 室長
関係者	坂本浩一	経済産業省産業技術環境局産業基盤標準化推進室 土木・建築一係長
オブザーバ	福瀬康裕	経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課 課長補佐
事務局	川上 修	(財) 建材試験センター経営企画部 部長
	鈴木澄江	(財) 建材試験センター経営企画部調査研究課 課長
	菊地裕介	(財) 建材試験センター経営企画部調査研究課 主任
	佐竹 円	(財) 建材試験センター経営企画部調査研究課 主任

表 1.2.2 試験方法 WG 委員名簿

区分	氏名	所属・役職
主査	小山明男	明治大学理工学部建築学科 教授
委員	兼松 学	東京理科大学工学部建築学科 准教授
	長井宏憲	東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 助教
	濱崎 仁	(独) 建築研究所 材料研究グループ 主任研究員
	梅田浩孝	(財) 日本ウエザリングテストセンター 課長代理
	永井香織	(社) 建築業協会
	金澤光明	NPO法人住宅外装テクニカルセンター 専務理事
	難波三男	ニチハ株式会社 工法技術開発部 工法開発課長
	長澤和善	旭トステム外装株式会社 技術部品質保証課 課長
	藤巻敏之	(財) 建材試験センター中央試験所材料グループ
オブザーバ	森 実	NPO法人住宅外装テクニカルセンター 理事
事務局	鈴木澄江	(財) 建材試験センター経営企画部調査研究課 課長
	佐竹 円	(財) 建材試験センター経営企画部調査研究課

1.3 審議経過

調査研究委員会の審議経過は次のとおりである。

年月日		場所	委員会名	議事概要
平成 22年	7月2日	鉄鋼会館 803号会議室	試験方法 WG	<ul style="list-style-type: none"> 平成22年度の実施計画書（案）確認 平成22年度実験計画（案）の検討
	7月22日	鉄鋼会館 704号会議室	本委員会	<ul style="list-style-type: none"> 平成22年度の実施計画書（案）確認 試験方法WGの進捗状況及び実験計画（案）の審議 平成21年度追加実験結果報告
	9月7日	建材試験センター 茅場町オフィス 4階第2会議室	試験方法 WG	<ul style="list-style-type: none"> 窯業系サイディングの長期耐久性評価手法に関する検討 検証実験のための予備実験結果の検討 メカニズムの解析に関する検討 複合劣化試験の経過状況報告
	11月5日	鉄鋼会館 802号会議室	試験方法 WG	<ul style="list-style-type: none"> 複合劣化試験の実験結果の検討 窯業系サイディングの長期耐久性評価に関する検討
	12月9日	鉄鋼会館 706号会議室	本委員会	<ul style="list-style-type: none"> 試験方法WGにおける進捗状況報告 窯業系サイディングの長期耐久性評価に関する検討 平成22年度成果報告書目次案の検討
平成 23年	1月21日	鉄鋼会館 804号会議室	試験方法 WG	<ul style="list-style-type: none"> 成果報告書（案）の検討 窯業系サイディングの長期耐久性評価手法に関する検討
	2月9日	鉄鋼会館 706号会議室	本委員会	<ul style="list-style-type: none"> 成果報告書（案）の検討
	2月15日	鉄鋼会館 804号会議室	試験方法 WG	<ul style="list-style-type: none"> 成果報告書最終（案）の検討

第2章 窯業系サイディングの試験条件設定に関する検討

2.1 検討因子

2009年度成果報告書「第4章 促進劣化試験の検証実験」の中で、耐凍結融解試験の質量変化率が、シール処理を行ったものが大きく、無処理のものが小さい傾向にあった。この原因を調べるため、以下の因子について検討を行う。

- 1)サイディング及びシール材の組み合わせによる影響
- 2)採取直後からの質量変化及び含水率
- 3)凍結時に生じる乾燥の影響

2.2 実験計画

2.2.1 試験体

2009年度試験実施の3種類

(木繊維補強セメント板系、繊維補強セメント板系、
繊維補強セメントけい酸カルシウム板系)

厚さ14mm、可能な限り平板(中実品)表面塗装有

試験体寸法：長さ150mm×幅75mm

表 2.1 シール材の種類及び使用方法

シール材の種類		シール材の使用方法	サイディング種類	n 数
エポキシ 樹脂(EP)	刷毛2回塗り	試験体4側面に塗布	3種類	2
	接着剤へら塗り	試験体4側面に塗布	3種類	2
シリコンシーラント		試験体4側面に塗布	3種類	2
		試験体4側面+裏面に塗布	3種類	2
シラン系プライマー* +シリコンシーラント		試験体4側面に塗布	3種類	2
無処理		—	3種類	2

※:シラン系プライマーの塗布及びオープンタイム保持後、シリコンシーラント塗布。

2.2.2 試験手順及び試験方法

- 1)採取直後の質量測定

[同種の別試験体により含水率測定 (JIS A 5422 により 60℃24 時間乾燥)]

- 2)シール後の質量測定

- 3)24 時間吸水後、質量測定

- 4)JIS A 5422 耐凍結融解性により凍結融解処理を行う。

8 サイクル毎 (24 時間毎) の -20℃ 気中凍結時に、凍結前 (融解終了直後) と凍結終了時 (凍結 2 時間保持後) の試験体を取り出し、質量測定を行う。(図 2.1 参照)
凍結融解のサイクル数は最大で 40 サイクルとする。40 サイクル終了後、-20℃ の気中凍結保持を 1 日間行い、その後質量測定を行う。

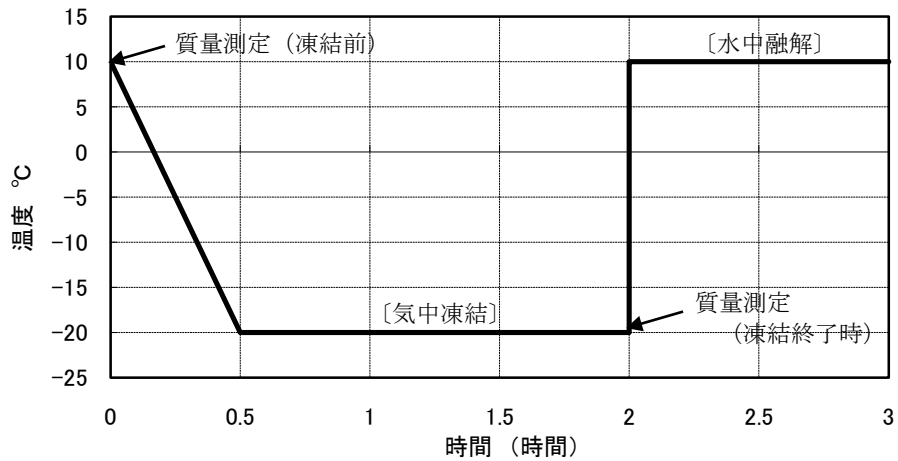


図 2.1 8 サイクル毎 (24 時間毎) の質量測定間隔

2.3 試験結果及び考察

2.3.1 試験結果

各測定時の試験体質量を表 2.2 に、各測定時の質量変化率 (試験体別) を表 2.3 に、各測定時の [平均] 質量変化率を表 2.4 に示す。

また、40 サイクル後の繊維補強セメント板系断面を写真 2.1 に、各測定時の質量変化率 (24 時間吸水後を基準) を図 2.2 に、各測定時の質量変化率 (シール後の質量を基準) を図 2.3 に、各測定時の質量変化量を図 2.4 に示す。



写真 2.1 40 サイクル後の繊維補強セメント板系断面

表 2.2 各測定時の試験体質量

質 量 g		刷毛塗り EP		EP 接着剤		シリコンシーラント				プライマー+シリコン		無処理		無処理(含水)		
		4 側面		4 側面		4 側面		4 側面+裏面		4 側面		—		—		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
木繊維補強 セメント板系	採取直後	186.9	197.8	195.0	189.5	199.2	187.7	186.7	186.8	194.8	192.4	190.1	190.7	187.1	191.4	
	シール後	188.6	199.4	199.3	193.8	203.3	191.8	196.9	197.2	198.7	196.8	190.1	190.7	181.6	186.1	
	【基準質量】24h 吸水後	190.2	200.5	200.6	196.0	205.2	196.5	199.8	198.4	199.8	198.0	206.8	204.0			
	8 サイクル	凍結前	191.1	200.7	200.9	197.5	206.6	199.6	201.6	198.9	200.2	198.5	214.9	209.3		
	気中凍結時	凍結後	191.1	200.8	201.0	197.5	206.5	199.6	201.6	198.9	200.3	198.4	214.5	208.8		
	16 サイクル	凍結前	192.4	201.1	201.1	199.0	207.7	202.3	203.4	199.3	200.7	198.9	221.4	214.4		
	気中凍結時	凍結後	192.6	201.1	201.3	199.0	207.8	202.4	203.4	199.3	200.7	199.0	220.6	213.9		
	24 サイクル	凍結前	193.7	201.2	201.4	200.4	208.9	204.9	205.0	199.6	201.1	199.3	226.4	218.4		
	気中凍結時	凍結後	193.7	201.4	201.4	200.4	208.9	204.9	205.1	199.6	201.0	199.5	225.8	217.7		
	32 サイクル	凍結前	195.7	201.6	201.7	201.9	210.0	207.7	206.5	199.8	201.5	200.0	231.0	222.1		
	気中凍結時	凍結後	195.6	201.6	201.7	201.8	210.0	207.5	206.5	199.8	201.5	200.0	230.1	221.3		
	40 サイクル	凍結前	197.0	201.8	202.0	203.0	211.0	210.2	207.9	200.1	201.6	200.2	235.0	225.1		
	気中凍結時	凍結後	197.2	201.9	202.1	203.0	211.0	210.2	208.0	200.1	201.8	200.4	234.4	224.4		
	凍結保持 1 日後		197.1	201.7	201.9	202.8	210.8	210.0	208.0	200.1	201.5	200.1	232.8	222.9		
繊維補強 セメント板系	採取直後	171.6	174.0	174.5	—	177.1	174.9	172.3	169.8	176.5	—	171.6	174.1	167.7	—	
	シール後	173.7	175.8	179.1	—	181.0	179.8	182.6	180.8	180.5	—	171.7	174.2	164.0		
	【基準質量】24h 吸水後	183.6	186.5	185.5	—	201.9	199.2	208.7	201.9	197.5	—	208.1	209.8			
	8 サイクル	凍結前	191.6	195.3	188.9	—	220.6	212.7	221.6	211.7	205.0	—	223.4	226.2		
	気中凍結時	凍結後	191.6	195.2	188.9	—	220.5	212.7	221.6	211.6	204.9	—	222.4	225.4		
	16 サイクル	凍結前	201.8	206.2	191.5	—	234.1	226.0	234.2	218.2	210.9	—	226.3	228.7		
	気中凍結時	凍結後	202.0	206.2	191.5	—	234.0	226.0	234.2	218.2	210.9	—	225.4	227.9		
	24 サイクル	凍結前	214.4	217.0	194.2	—	234.7	234.4	237.9	223.5	216.3	—	226.9	229.0		
	気中凍結時	凍結後	214.4	217.0	194.3	—	234.6	234.3	237.8	223.4	216.2	—	225.9	228.3		
	32 サイクル	凍結前	225.2	226.4	197.9	—	235.1	235.1	238.5	228.7	221.7	—	227.2	229.4		
	気中凍結時	凍結後	225.1	226.2	197.8	—	234.7	234.9	238.3	228.7	221.6	—	226.1	228.5		
	40 サイクル	凍結前	228.4	229.7	202.4	—	235.6	235.8	239.1	234.2	227.4	—	227.6	229.9		
	気中凍結時	凍結後	228.3	229.5	202.4	—	235.3	235.6	239.1	234.3	227.3	—	226.3	229.0		
	凍結保持 1 日後		228.1	229.3	202.3	—	235.0	235.3	238.9	234.2	227.1	—	225.0	227.5		
繊維補強 セメントけい酸 カルシウム板系	採取直後	147.8	147.6	147.9	147.9	147.7	146.4	147.5	147.6	146.2	145.6	146.6	146.2	147.1	146.3	
	シール後	149.6	149.4	152.0	152.6	151.0	150.1	158.8	157.9	149.2	148.1	146.1	145.6	141.8	140.8	
	【基準質量】24h 吸水後	203.4	202.9	205.0	205.4	203.9	202.9	207.5	208.6	206.0	202.6	202.5	202.7			
	8 サイクル	凍結前	204.8	204.3	206.8	207.4	205.7	204.5	213.4	213.0	207.7	204.7	204.1	204.0		
	気中凍結時	凍結後	203.6	203.1	205.7	206.2	204.2	203.1	213.1	212.8	206.3	203.5	201.9	201.9		
	16 サイクル	凍結前	205.1	204.5	207.2	207.8	206.0	204.7	215.7	214.4	208.0	205.1	204.3	204.1		
	気中凍結時	凍結後	203.9	203.3	206.2	206.6	204.8	203.3	215.8	214.3	206.6	203.6	202.0	202.1		
	24 サイクル	凍結前	205.3	204.7	207.5	208.1	206.4	205.0	216.9	214.9	208.1	205.2	204.2	204.0		
	気中凍結時	凍結後	203.8	203.3	206.2	206.9	205.0	203.4	216.7	214.7	206.6	203.8	201.8	201.8		
	32 サイクル	凍結前	205.5	205.2	207.8	208.3	206.7	205.1	217.5	215.4	208.5	205.5	204.2	204.4		
	気中凍結時	凍結後	204.1	203.7	206.6	207.1	205.3	203.4	217.2	215.0	206.9	203.9	201.9	202.2		
	40 サイクル	凍結前	205.5	205.0	207.8	208.4	206.8	205.4	218.0	216.0	208.5	205.6	204.2	204.2		
	気中凍結時	凍結後	204.1	203.5	206.3	207.1	205.2	203.9	217.9	215.7	207.1	204.2	202.0	202.1		
	凍結保持 1 日後		202.1	201.5	204.5	205.3	203.3	201.8	217.5	215.3	205.2	202.2	198.9	198.8		

表 2.3 各測定時の質量変化率（試験体別）

質量変化率 %		刷毛塗り EP		EP 接着剤		シリコンシーラント				プライマー+シリコン		無処理		採取時含水率		
		4 側面		4 側面		4 側面		4 側面+裏面		4 側面		-		%		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
木繊維補強	採取直後	-1.74	-1.35	-2.79	-3.32	-2.92	-4.48	-6.56	-5.85	-2.50	-2.83	-8.08	-6.52	3.03	2.85	
	シール後	-0.84	-0.55	-0.65	-1.12	-0.93	-2.39	-1.45	-0.60	-0.55	-0.61	-8.08	-6.52			
	【基準】24h 吸水後	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	8 サイクル	凍結前	0.47	0.10	0.15	0.77	0.68	1.58	0.90	0.25	0.20	0.25	3.92			2.60
		気中凍結時 凍結後	0.47	0.15	0.20	0.77	0.63	1.58	0.90	0.25	0.25	0.20	3.72			2.35
	16 サイクル	凍結前	1.16	0.30	0.25	1.53	1.22	2.95	1.80	0.45	0.45	0.45	7.06			5.10
		気中凍結時 凍結後	1.26	0.30	0.35	1.53	1.27	3.00	1.80	0.45	0.45	0.51	6.67			4.85
	24 サイクル	凍結前	1.84	0.35	0.40	2.24	1.80	4.27	2.60	0.60	0.65	0.66	9.48			7.06
		気中凍結時 凍結後	1.84	0.45	0.40	2.24	1.80	4.27	2.65	0.60	0.60	0.76	9.19			6.72
	32 サイクル	凍結前	2.89	0.55	0.55	3.01	2.34	5.70	3.35	0.71	0.85	1.01	11.70			8.87
		気中凍結時 凍結後	2.84	0.55	0.55	2.96	2.34	5.60	3.35	0.71	0.85	1.01	11.27			8.48
	40 サイクル	凍結前	3.58	0.65	0.70	3.57	2.83	6.97	4.05	0.86	0.90	1.11	13.64			10.34
気中凍結時 凍結後		3.68	0.70	0.75	3.57	2.83	6.97	4.10	0.86	1.00	1.21	13.35	10.00			
	凍結保持 1 日後	3.63	0.60	0.65	3.47	2.73	6.87	4.10	0.86	0.85	1.06	12.57	9.26			
繊維補強	採取直後	-6.54	-6.70	-5.93		-12.28	-12.20	-17.44	-15.90	-10.63		-17.54	-17.02	2.26	-	
	シール後	-5.39	-5.74	-3.45		-10.35	-9.74	-12.51	-10.45	-8.61		-17.49	-16.97			
	【基準】24h 吸水後	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00			
	8 サイクル	凍結前	4.36	4.72	1.83		9.26	6.78	6.18	4.85	3.80		7.35			7.82
		気中凍結時 凍結後	4.36	4.66	1.83		9.21	6.78	6.18	4.80	3.75		6.87			7.44
	16 サイクル	凍結前	9.91	10.56	3.23		15.95	13.45	12.22	8.07	6.78		8.75			9.01
		気中凍結時 凍結後	10.02	10.56	3.23		15.90	13.45	12.22	8.07	6.78		8.31			8.63
	24 サイクル	凍結前	16.78	16.35	4.69		16.25	17.67	13.99	10.70	9.52		9.03			9.15
		気中凍結時 凍結後	16.78	16.35	4.74		16.20	17.62	13.94	10.65	9.47		8.55			8.82
	32 サイクル	凍結前	22.66	21.39	6.68		16.44	18.02	14.28	13.27	12.25		9.18			9.34
		気中凍結時 凍結後	22.60	21.29	6.63		16.25	17.92	14.18	13.27	12.20		8.65			8.91
	40 サイクル	凍結前	24.40	23.16	9.11		16.69	18.37	14.57	16.00	15.14		9.37			9.58
気中凍結時 凍結後		24.35	23.06	9.11		16.54	18.27	14.57	16.05	15.09		8.75	9.15			
	凍結保持 1 日後	24.24	22.95	9.06		16.39	18.12	14.47	16.00	14.99		8.12	8.44			
セメントけい酸 カルシウム板系	採取直後	-27.34	-27.25	-27.85	-27.99	-27.56	-27.85	-28.92	-29.24	-29.03	-28.13	-27.60	-27.87	3.74	3.91	
	シール後	-26.45	-26.37	-25.85	-25.71	-25.94	-26.02	-23.47	-24.30	-27.57	-26.90	-27.85	-28.17			
	【基準】24h 吸水後	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	8 サイクル	凍結前	0.69	0.69	0.88	0.97	0.88	0.79	2.84	2.11	0.83	1.04	0.79			0.64
		気中凍結時 凍結後	0.10	0.10	0.34	0.39	0.15	0.10	2.70	2.01	0.15	0.44	-0.30			-0.39
	16 サイクル	凍結前	0.84	0.79	1.07	1.17	1.03	0.89	3.95	2.78	0.97	1.23	0.89			0.69
		気中凍結時 凍結後	0.25	0.20	0.59	0.58	0.44	0.20	4.00	2.73	0.29	0.49	-0.25			-0.30
	24 サイクル	凍結前	0.93	0.89	1.22	1.31	1.23	1.03	4.53	3.02	1.02	1.28	0.84			0.64
		気中凍結時 凍結後	0.20	0.20	0.59	0.73	0.54	0.25	4.43	2.92	0.29	0.59	-0.35			-0.44
	32 サイクル	凍結前	1.03	1.13	1.37	1.41	1.37	1.08	4.82	3.26	1.21	1.43	0.84			0.84
		気中凍結時 凍結後	0.34	0.39	0.78	0.83	0.69	0.25	4.67	3.07	0.44	0.64	-0.30			-0.25
	40 サイクル	凍結前	1.03	1.03	1.37	1.46	1.42	1.23	5.06	3.55	1.21	1.48	0.84			0.74
気中凍結時 凍結後		0.34	0.30	0.63	0.83	0.64	0.49	5.01	3.40	0.53	0.79	-0.25	-0.30			
	凍結保持 1 日後	-0.64	-0.69	-0.24	-0.05	-0.29	-0.54	4.82	3.21	-0.39	-0.20	-1.78	-1.92			

表 2.4 各測定時の〔平均〕質量変化率

〔平均〕質量変化率 %		刷毛塗り EP	EP 接着剤	シリコンシーラント		プライマー+シリコン	無処理	採取時含水率	
		4 側面	4 側面	4 側面	4 側面+裏面	4 側面	—	%	
		平均	平均	平均	平均	平均	平均	平均	
木繊維補強 セメント板系	採取直後	-1.54	-3.05	-3.70	-6.20	-2.67	-7.30	2.94	
	シール後	-0.69	-0.89	-1.66	-1.03	-0.58	-7.30		
	【基準】24h 吸水後	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	8 サイクル 気中凍結時	凍結前	0.29	0.46	1.13	0.58	0.23	3.26	
		凍結後	0.31	0.48	1.11	0.58	0.23	3.04	
	16 サイクル 気中凍結時	凍結前	0.73	0.89	2.08	1.13	0.45	6.08	
		凍結後	0.78	0.94	2.13	1.13	0.48	5.76	
	24 サイクル 気中凍結時	凍結前	1.09	1.32	3.04	1.60	0.65	8.27	
		凍結後	1.14	1.32	3.04	1.63	0.68	7.95	
	32 サイクル 気中凍結時	凍結前	1.72	1.78	4.02	2.03	0.93	10.29	
		凍結後	1.69	1.75	3.97	2.03	0.93	9.87	
	40 サイクル 気中凍結時	凍結前	2.11	2.13	4.90	2.46	1.01	11.99	
		凍結後	2.19	2.16	4.90	2.48	1.11	11.67	
		凍結保持 1 日後	2.11	2.06	4.80	2.48	0.96	10.92	
繊維補強 セメント板系	採取直後	-6.62	-5.93	-12.24	-16.67	-10.63	-17.28	2.26	
	シール後	-5.56	-3.45	-10.05	-11.48	-8.61	-17.23		
	【基準】24h 吸水後	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	8 サイクル 気中凍結時	凍結前	4.54	1.83	8.02	5.52	3.80	7.58	
		凍結後	4.51	1.83	7.99	5.49	3.75	7.15	
	16 サイクル 気中凍結時	凍結前	10.24	3.23	14.70	10.15	6.78	8.88	
		凍結後	10.29	3.23	14.68	10.15	6.78	8.47	
	24 サイクル 気中凍結時	凍結前	16.56	4.69	16.96	12.34	9.52	9.09	
		凍結後	16.56	4.74	16.91	12.30	9.47	8.69	
	32 サイクル 気中凍結時	凍結前	22.03	6.68	17.23	13.78	12.25	9.26	
		凍結後	21.95	6.63	17.08	13.73	12.20	8.78	
	40 サイクル 気中凍結時	凍結前	23.78	9.11	17.53	15.28	15.14	9.48	
		凍結後	23.70	9.11	17.41	15.31	15.09	8.95	
		凍結保持 1 日後	23.59	9.06	17.26	15.23	14.99	8.28	
繊維補強 セメントけい酸 カルシウム板系	採取直後	-27.30	-27.92	-27.70	-29.08	-28.58	-27.74	3.82	
	シール後	-26.41	-25.78	-25.98	-23.89	-27.24	-28.01		
	【基準】24h 吸水後	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	8 サイクル 気中凍結時	凍結前	0.69	0.93	0.84	2.48	0.93	0.72	
		凍結後	0.10	0.37	0.12	2.36	0.29	-0.35	
	16 サイクル 気中凍結時	凍結前	0.81	1.12	0.96	3.37	1.10	0.79	
		凍結後	0.22	0.58	0.32	3.37	0.39	-0.27	
	24 サイクル 気中凍結時	凍結前	0.91	1.27	1.13	3.78	1.15	0.74	
		凍結後	0.20	0.66	0.39	3.68	0.44	-0.39	
	32 サイクル 気中凍結時	凍結前	1.08	1.39	1.23	4.04	1.32	0.84	
		凍結後	0.37	0.80	0.47	3.87	0.54	-0.27	
	40 サイクル 気中凍結時	凍結前	1.03	1.41	1.33	4.30	1.35	0.79	
		凍結後	0.32	0.73	0.57	4.21	0.66	-0.27	
		凍結保持 1 日後	-0.66	-0.15	-0.42	4.02	-0.29	-1.85	

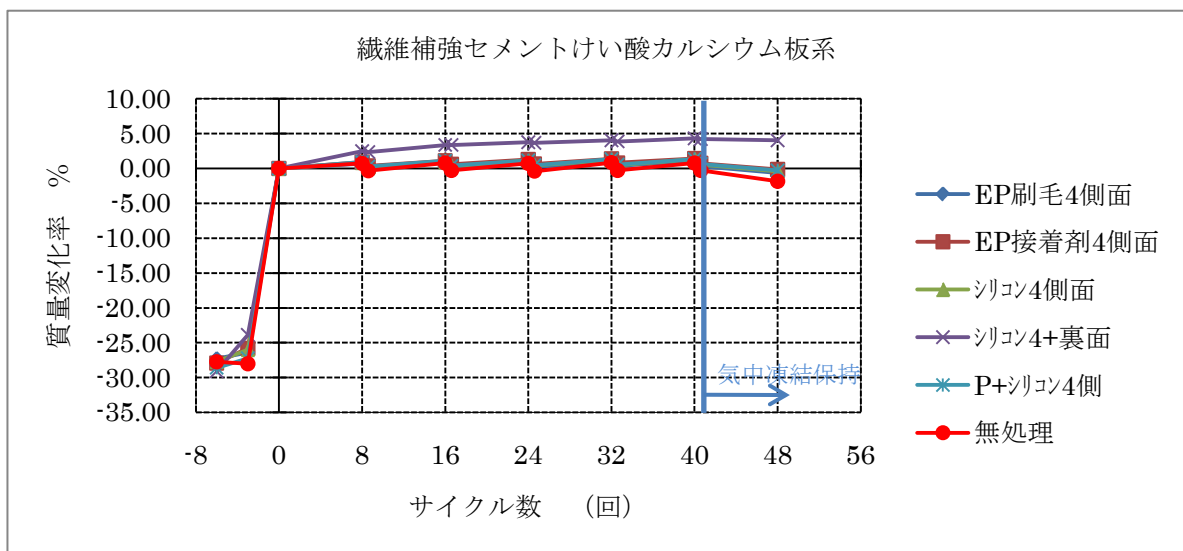
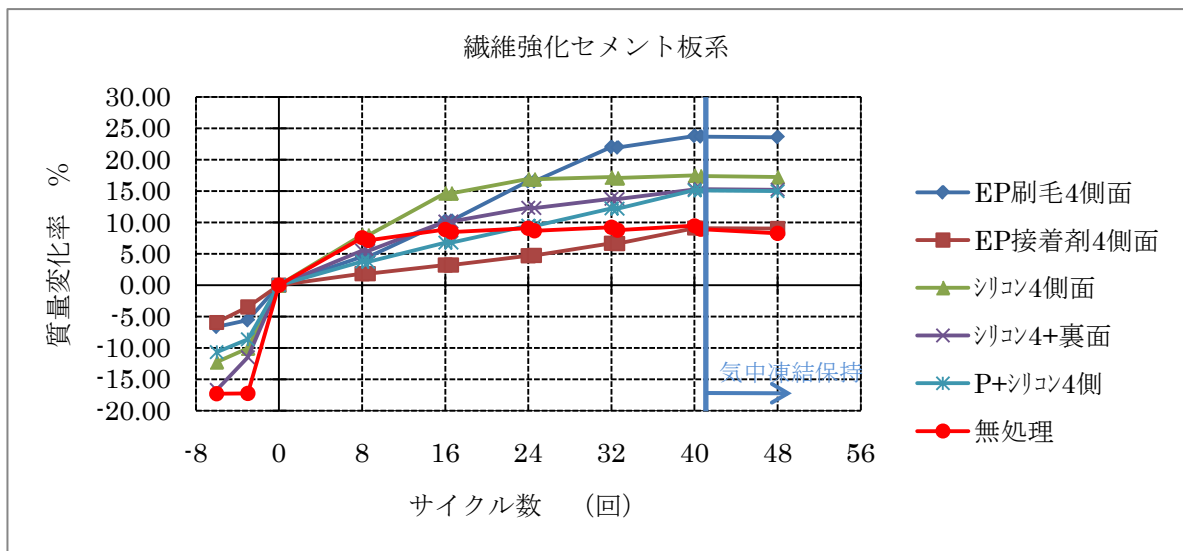
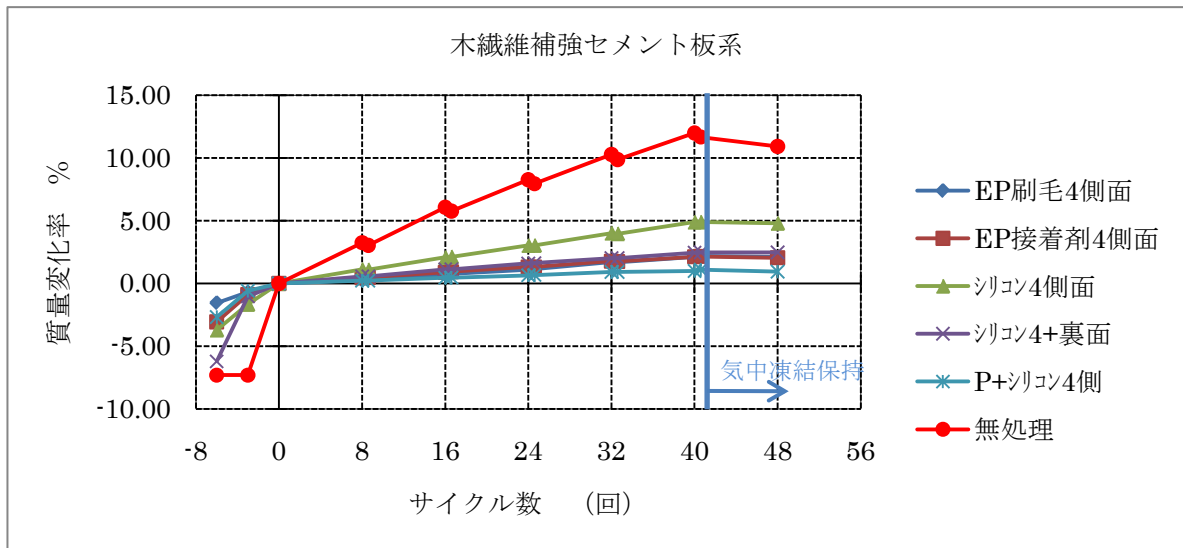


図 2.2 各測定時の質量変化率 (24 時間吸水後を基準)

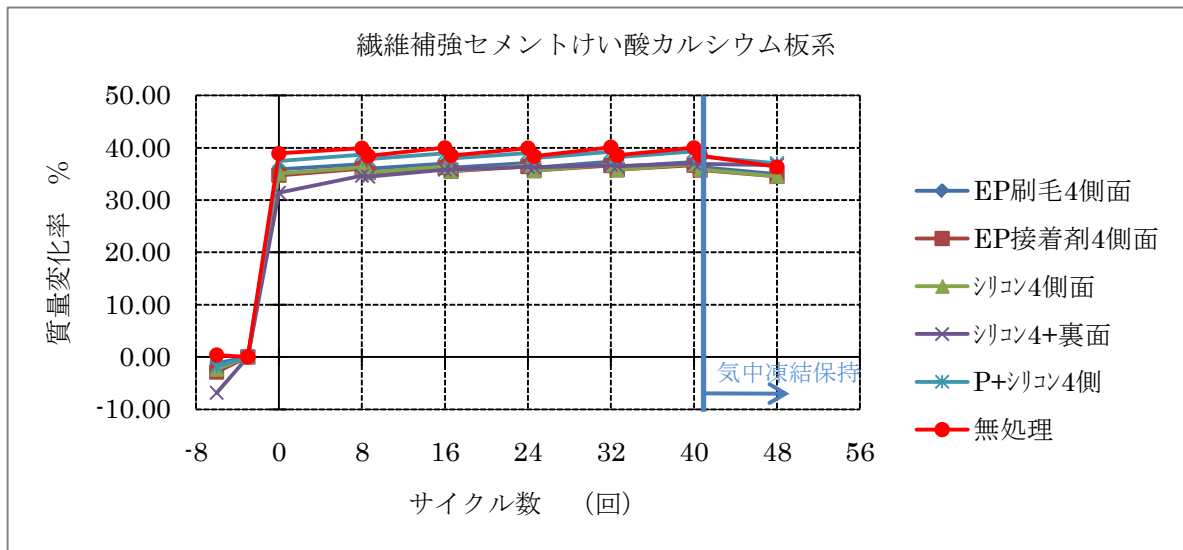
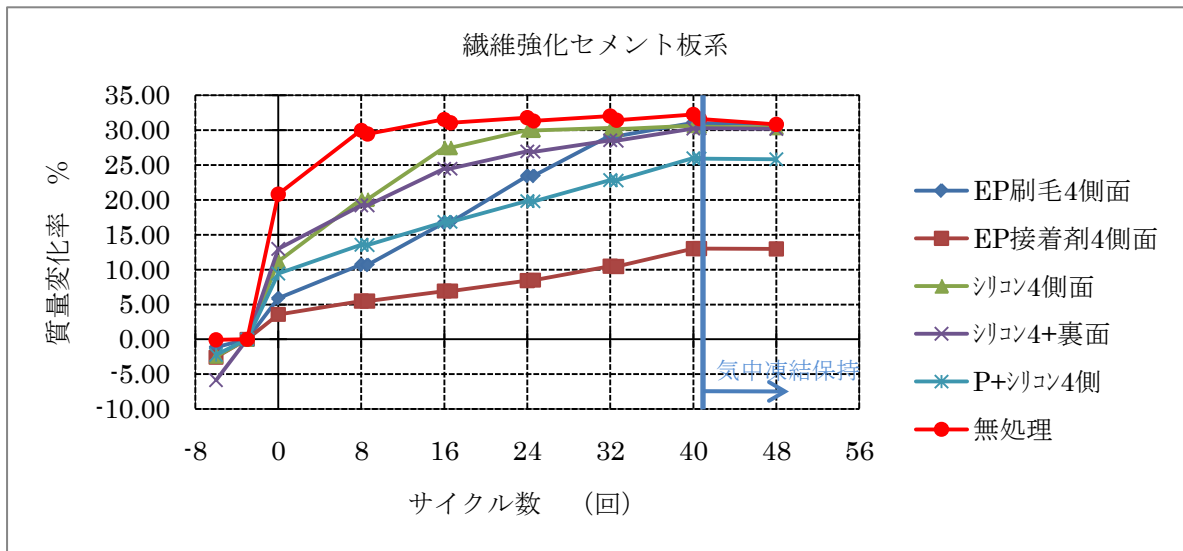
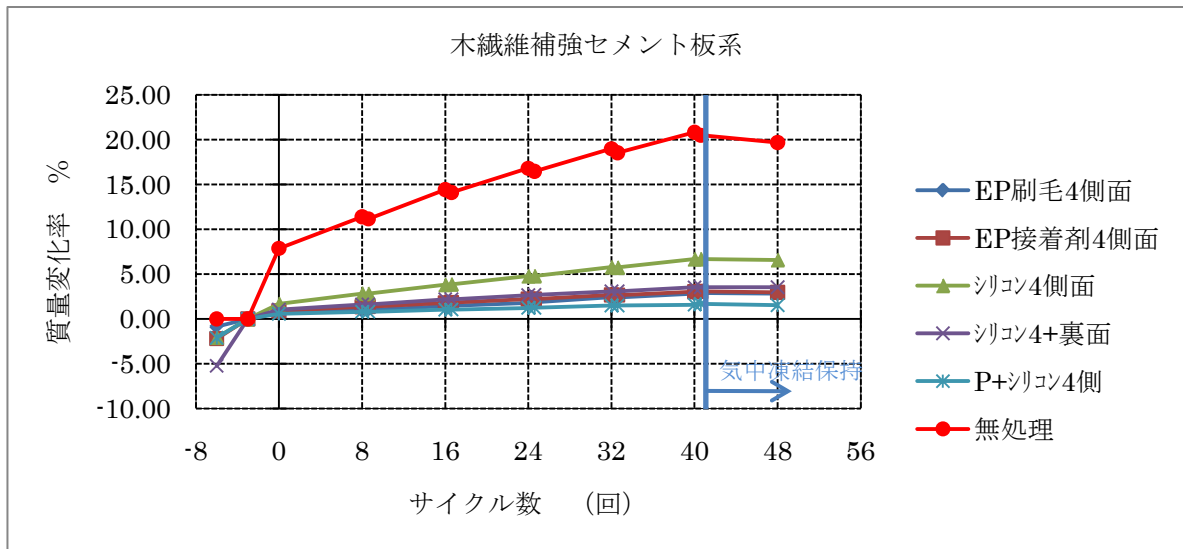


図 2.3 各測定時の質量変化率（シール後の質量を基準）

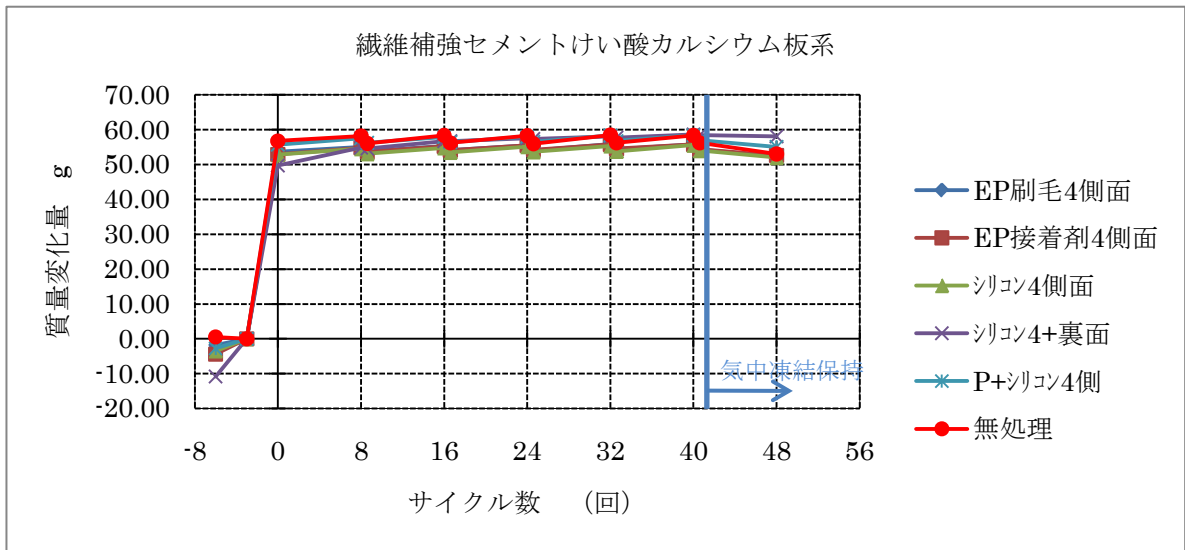
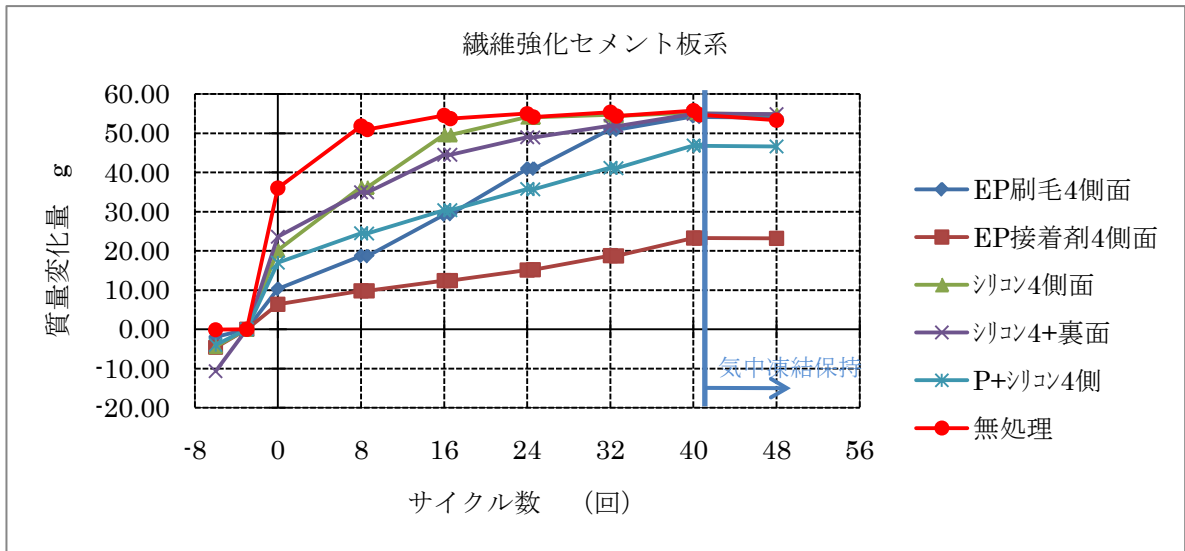
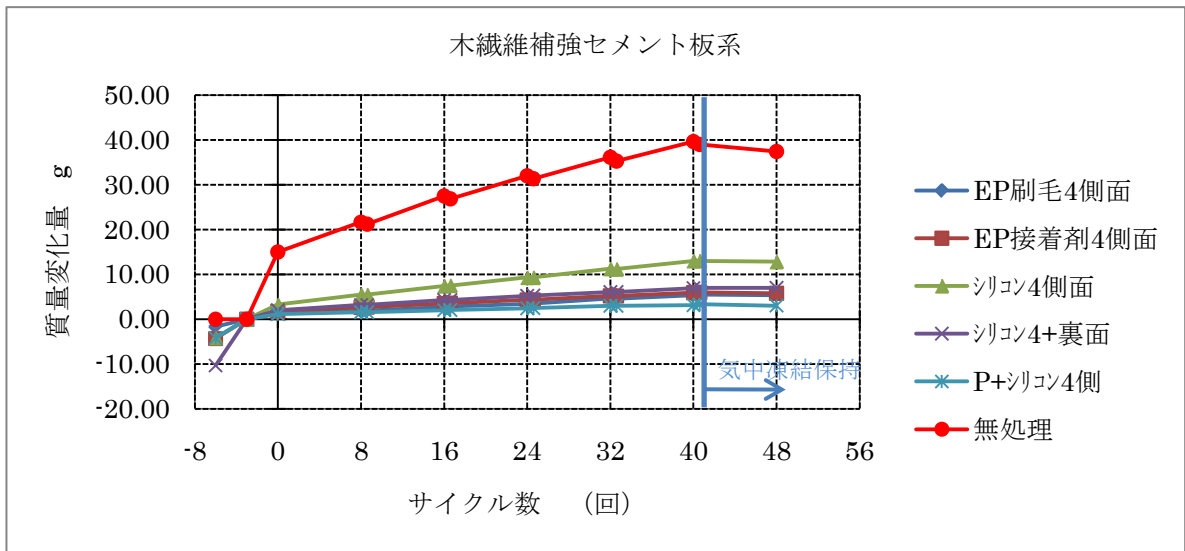


図 2.4 各測定時の質量変化量 (シール後の質量を基準)

2.3.2 試験結果の考察

各試験体の採取時含水率は、2.26～3.91%の範囲であった。(表 2.3 参照)

凍結融解時の質量変化率は、サイディングの種類により傾向が異なった。図 2.2 では、事前処理の 24 時間吸水後を基準質量としたが、24 時間吸水後では各試験体における飽水度の差が大きいため、シール後の質量を基準とした図 2.3 を用いて比較を行った。

(1) サイディングの種類別による考察

1)木繊維補強セメント板系：図 2.3 上図より、無処理は質量変化が大きく、シール有は質量変化が小さくなっている。シール材の種類による影響は小さい。

2)繊維補強セメント板系：図 2.3 中図より、無処理は 8 サイクル以降、ほぼ飽水状態になるのに対し、シール有は試験体とシール材との接着力が低いものから順に無処理を追従する形となっている。

3) 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系：図 2.3 下図より、シールの有無にかかわらず事前処理の 24 時間吸水でほぼ飽水状態となっている。試験体（素材）自体の吸水性が高いため、シールの有無による影響は小さい。

(2) シール材の検討及び選定

試験体の小口をシールするのは、小口からの吸水を防止するためであり、試験の目的によって下記 2 項目に分けられる。

①無限大の板中央を再現する。

②目地部を再現する（実施工と同仕様のシーリング材を使用することが必要）。

本複合劣化試験は、上記①を目的としている。シール材として用いるシーリング材及びプライマーには多種多様な製品が存在し、その影響を取り除くためシール材は限定しておく必要がある。

本章では、サイディング 3 種類に対しシール材 4 種類の検討を行い、凍結融解時における試験体の質量変化を測定し比較検討を行った。その検討結果を表 2.5 に示す。

表 2.5 凍結融解試験におけるシールの検討結果

シール材の種類		検討結果
エポキシ樹脂(EP)	刷毛 2 回塗り (低粘性)	凍結融解時の質量変化は中程度であるが、低粘性の刷毛塗りのため中空断面のサイディングには適さない。
	接着剤へら塗り (高粘性)	凍結融解時の質量変化は小さく良好あるが、硬い素材であるため試験体の 4 側面を拘束してしまう懸念がある。
シリコンシーラント		単独使用では接着力が弱く、凍結融解時の質量変化は大きくなる傾向にある。
シラン系プライマー +シリコンシーラント		プライマーを併用することで接着力が強くなり、凍結融解時の質量変化は中程度であった。

上記検討結果から、シール材は、サイディングの断面形状別に下記を選定した。

- ・ 中実品：刷毛塗りエポキシ樹脂（2回塗り）
- ・ 中空品：シラン系プライマー+シリコンシーラント（クリア）

なお、第3章及び第4章の複合劣化試験では、耐候性試験時のシャワーリングによる小口からの吸水を防止するため、耐候性試験前に4側面シールを施した。耐候性試験の際、紫外線からシール材を保護するため、4側面のシール材を覆うようにアルミ箔テープを貼ることとした。

現行の JIS A 5422 耐凍結融解性試験では、厚さ変化率を求める際、事前処理の 24 時間吸水後を基準厚さとしている。その為、2009 年度成果報告書の質量変化率も 24 時間吸水後を基準質量として扱った。

本試験結果より、事前処理の 24 時間吸水で、無処理の吸水量（飽水度）が大きく、シール有の吸水量（飽水度）は小さい傾向であった。この結果より、2009 年度の実験は、無処理の飽水度が大きい状態を基準質量とし、シール有の飽水度を小さい状態で基準質量としたため、その後の質量変化率に逆転現象が現れたと思われる。

なお、凍結時に生じる乾燥の影響は、若干の質量減少であった。

2.4 窯業系サイディングの吸水・放湿特性

2.4.1 概要

窯業系サイディングの含水率は、出荷時の含水率を 20%以下とすることを JIS A 5422 において定めていることから、通常、試験開始時の含水率は 20%前後であることが想定される。しかしながら、各種促進劣化処理によって材の含水率が変化することから、適宜目的に応じて含水率を調整する必要がある。

また、窯業系サイディングの耐久性評価において、材の含水率は、各種性能・物性試験や各促進劣化試験に少なからず影響を与えることが懸念される。例えば、長さ変化試験や強度試験は含水率の影響があることは言うまでもないが、凍害試験や促進中性化試験においても試験開始時の試験体の含水状態の影響を大きく受けると考えられる。特に、凍害試験の場合は、事前養生やシールの影響により、試験開始時や試験中の含水率が異なることが明らかとなっており、想定した劣化外力が与えられない可能性がある。

そこで、特に寒冷地仕様の窯業系サイディングについて、

目的 1：標準的な養生条件と想定される 24 時間あるいは 48 時間浸漬における含水状態の変化、および浸漬後の乾燥に伴う含水状態の変化の把握

目的 2：より長期的な浸漬に伴う含水状態の変化の把握

を明らかにすべく、「浸漬・乾燥試験」(目的 1 に対応)および「長期浸漬試験」(目的 2 に対応)を実施した。

尚、試験期間中、側面シールを施すことが想定されることから、6.2 に引き続き、シールの有無の影響についても検討することとした。

(1) 試験水準

以下の 2 試験項目 (3 水準) に対し、材料種類 3 系統 (4 種類)、計 12 水準について試験を実施した。尚、試験体数は各 2 とし、その平均値を結果として示した。

試験項目	： 浸漬・乾燥試験 (24 時間浸漬後乾燥、48 時間浸漬後乾燥)
	： 浸漬試験 (7 日間浸漬)
材料種類	： 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系 (16mm 寒冷地仕様、14mm 寒冷地仕様)
	： 繊維補強セメント板系 (14 mm 寒冷地仕様)
	： 木質繊維補強セメント板系 (14 mm 寒冷地仕様)

(2) 試験方法

含浸試験	： プラスチック性バケツに水没
乾燥方法	： デシケーター中にシリカゲルと同梱して放置
測定環境	： 20°C (・ 60% RH)
試験体寸法	： 全て 150mm×150mm
シール	： エポキシ樹脂
シール箇所	： 側面のみ(表面・裏面はシールなし)
数量	： 各 2 体

(3) 結果の整理

試験結果より、質量変化量(g)、吸水率(%)および飽水度(%)を算定して分析した。
質量変化量(g)の算定式を式(1)に示す。

$$\Delta Wg = Wg - Wini \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

ここで、 ΔWg : 質量変化量[g]
 Wg : 測定時の試験体質量[g]
 $Wini$: 初期試験体質量[g]

吸水率(%)の算定式を式(2)に示す。

$$Ar = \frac{Wg - Wini}{Wini} = \frac{\Delta Wg}{Wini} \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

ここで、 Ar : 吸水率[%]

飽水度(%)の算定式を式(3)に示す。

$$Wr = \frac{Wg - Wini}{Wmx - Wini} \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

ここで、 Wr : 試験体飽水度[%]
 Wmx : 測定期間中に観測された試験体質量[g]の最大値[g]

2.4.2 試験結果および考察

(1) 浸漬・乾燥試験結果

各サイディング種類における試験体質量変化量の試験結果を図 2.5 から図 2.8 に示す。

各図には、シールの有無および浸漬時間(24 時間、48 時間、192 時間)を水準とした、全データを掲載した。尚、本データの詳細については、図 2.9 から図 2.24 に示す。

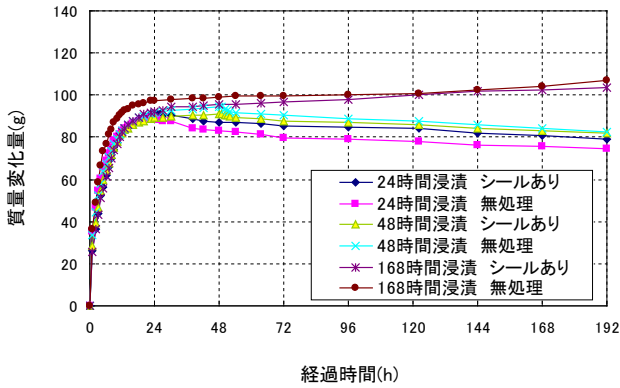


図 2.5 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系(16 mm 寒冷地仕様)の試験体質量変化量 全試験水準結果

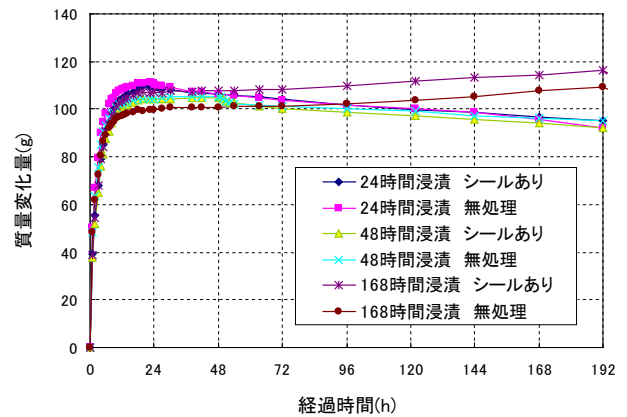


図 2.6 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系(14 mm 寒冷地仕様)の試験体質量変化量 全試験水準結果

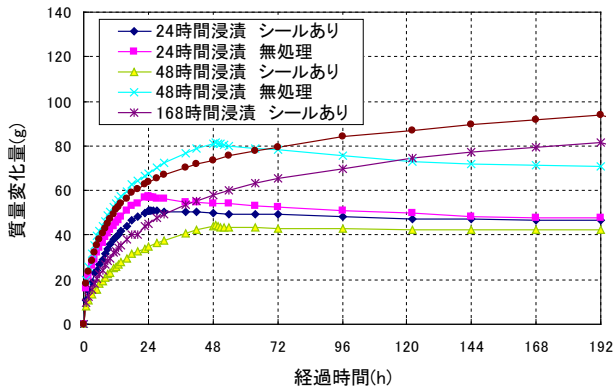


図 2.7 繊維補強セメント板系(14 mm 寒冷地仕様)の試験体質量変化量 全試験水準結果

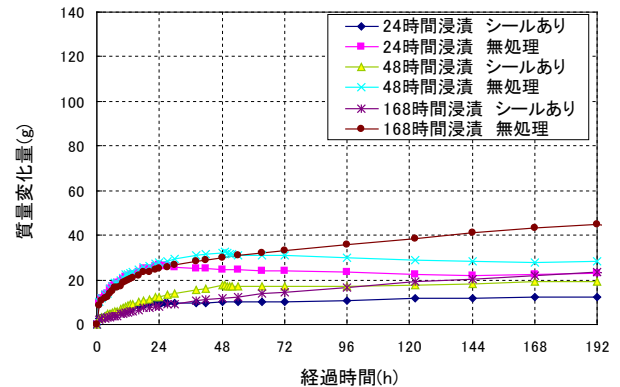


図 2.8 木繊維補強セメント板系(14 mm 寒冷地仕様)の試験体質量変化量 全試験水準結果

a) 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系(16mm 寒冷地仕様)

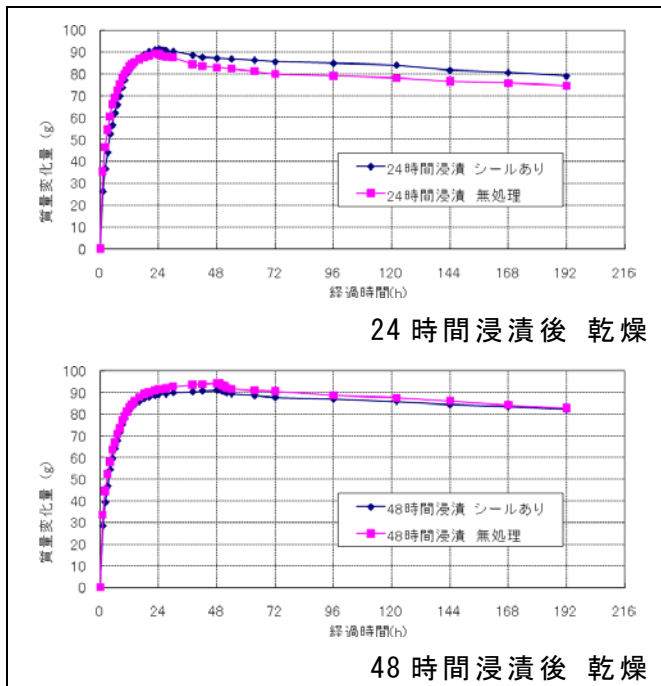


図 2.9 浸漬・乾燥試験 試験結果
質量変化量[g]の経時変化

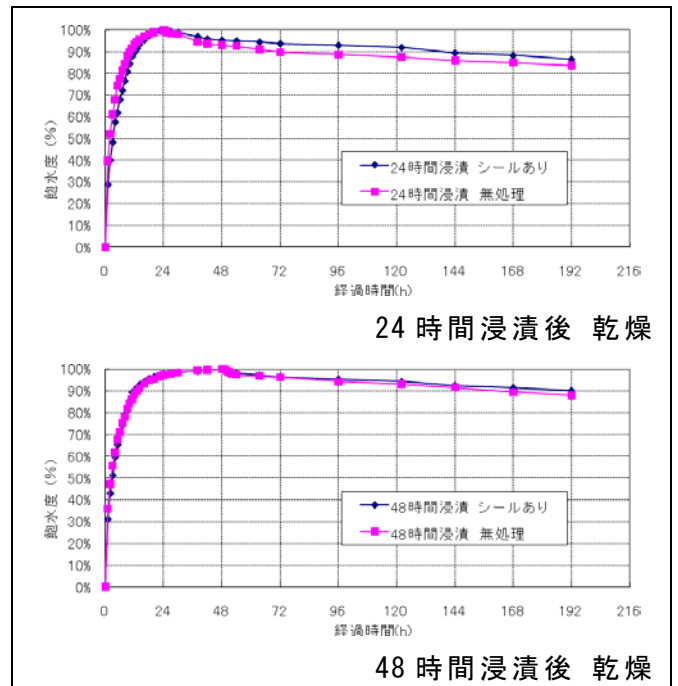


図 2.10 浸漬・乾燥試験 試験結果
飽水度[%]の経時変化

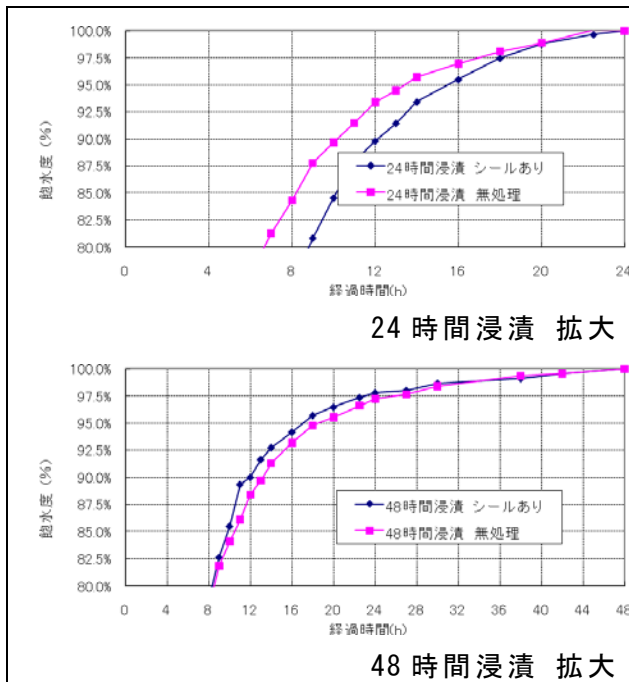


図 2.11 浸漬・乾燥試験 浸漬プロセス
飽水度[%]拡大図

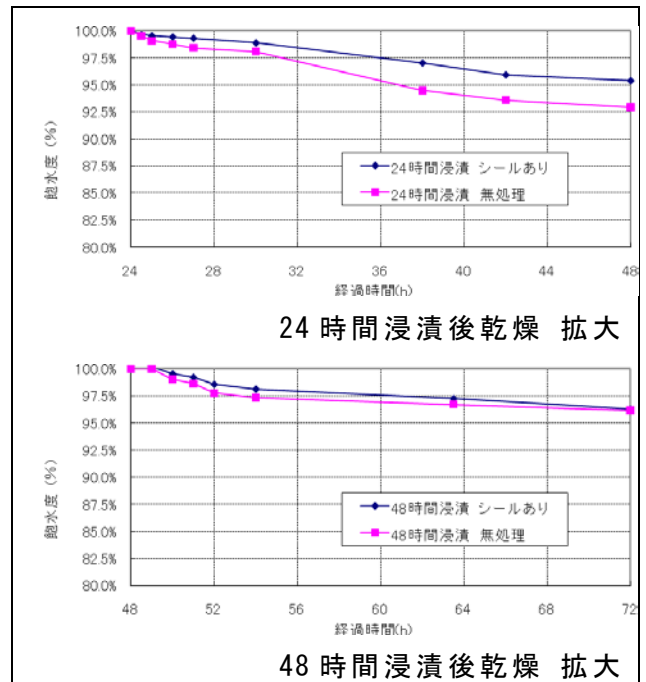


図 2.12 浸漬・乾燥試験 乾燥プロセス
飽水度[%]拡大図

b) 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系 (14 mm 寒冷地仕様)

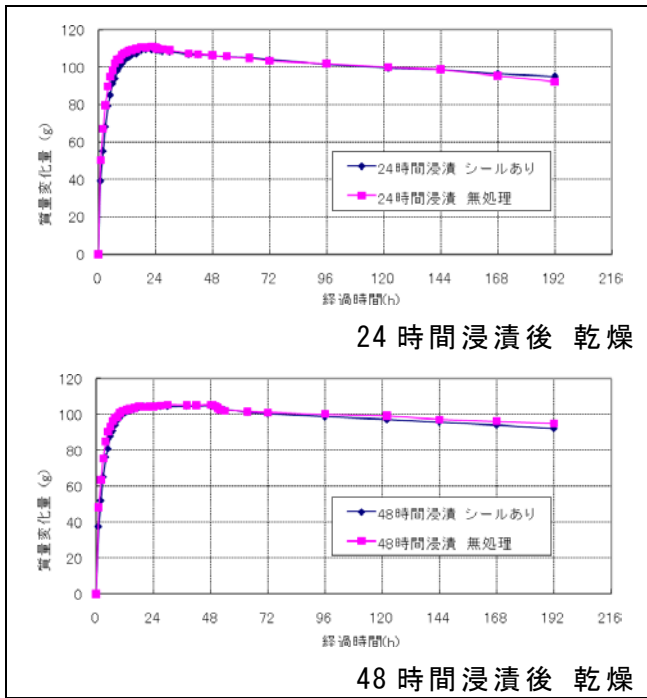


図 2.13 浸漬・乾燥試験 試験結果
質量変化量 [g] の経時変化

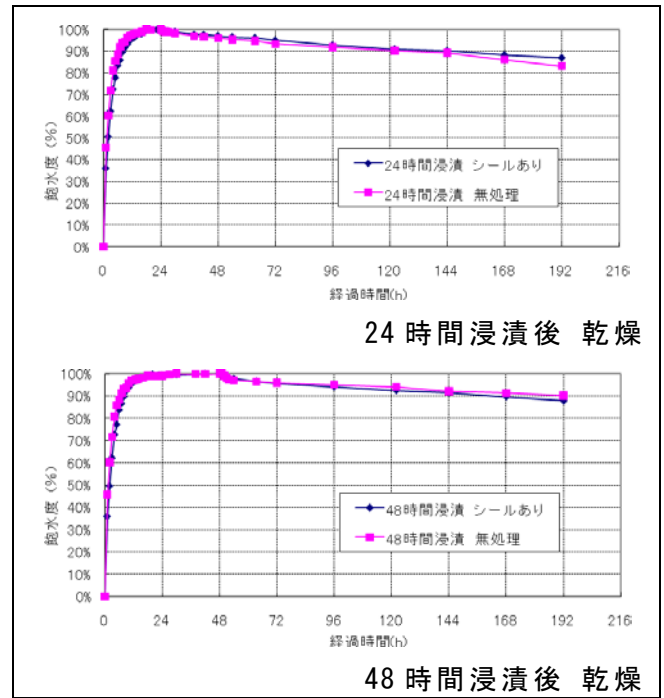


図 2.14 浸漬・乾燥試験 試験結果
飽水度 [%] の経時変化

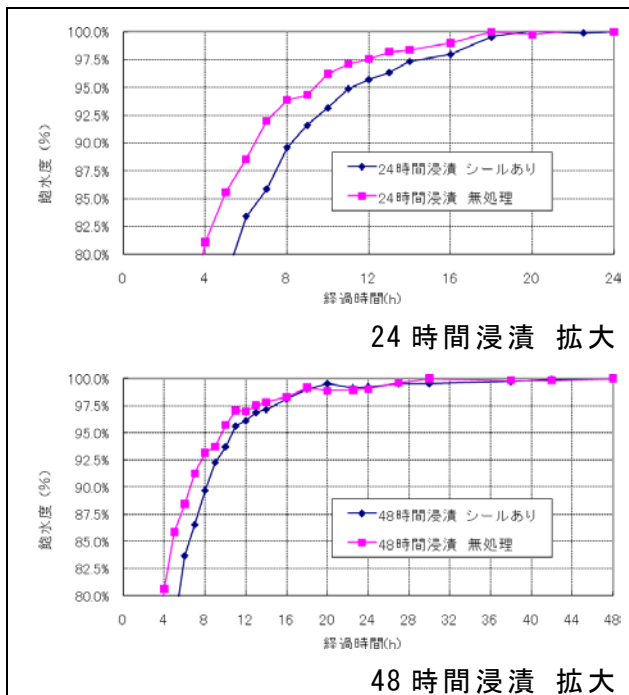


図 2.15 浸漬・乾燥試験 浸漬プロセス
飽水度 [%] 拡大図

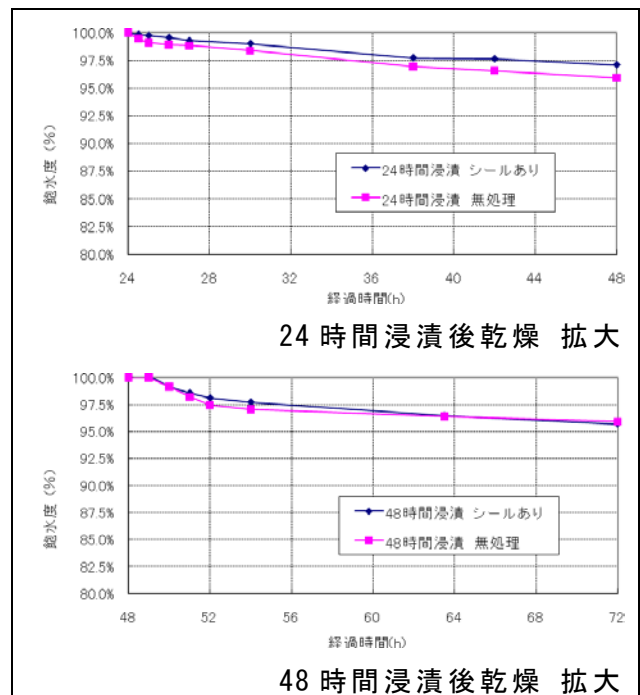


図 2.16 浸漬・乾燥試験 乾燥プロセス
飽水度 [%] 拡大図

c) 繊維補強セメント板系 (14mm 寒冷地仕様)

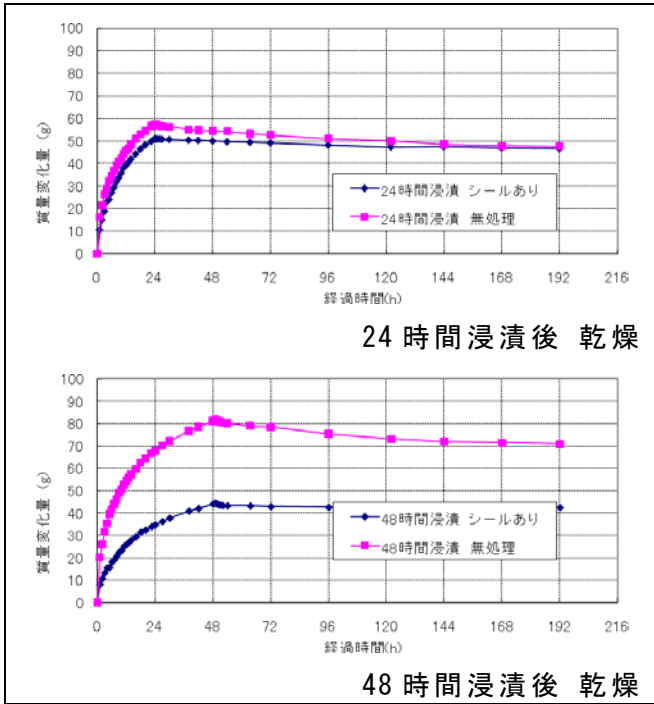


図 2.17 浸漬・乾燥試験 試験結果
質量変化量 [g] の経時変化

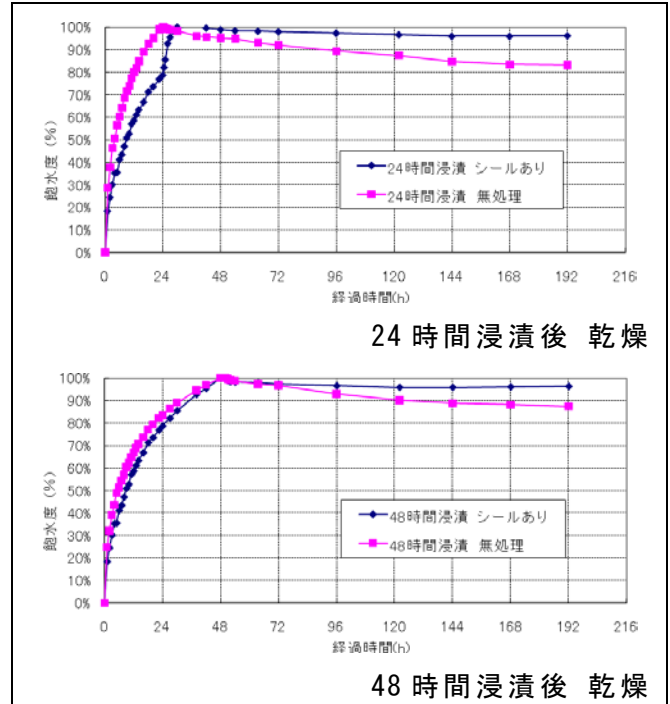


図 2.18 浸漬・乾燥試験 試験結果
飽水度 [%] の経時変化

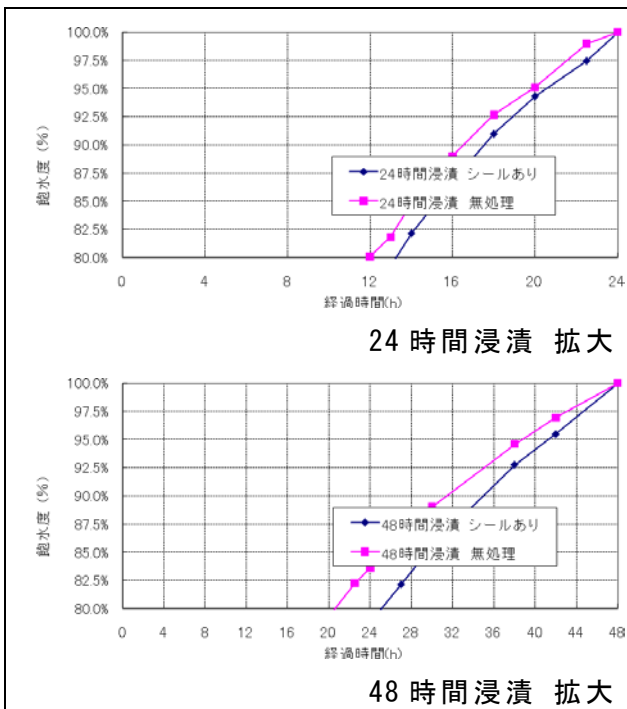


図 2.19 浸漬・乾燥試験 浸漬プロセス
飽水度 [%] 拡大図

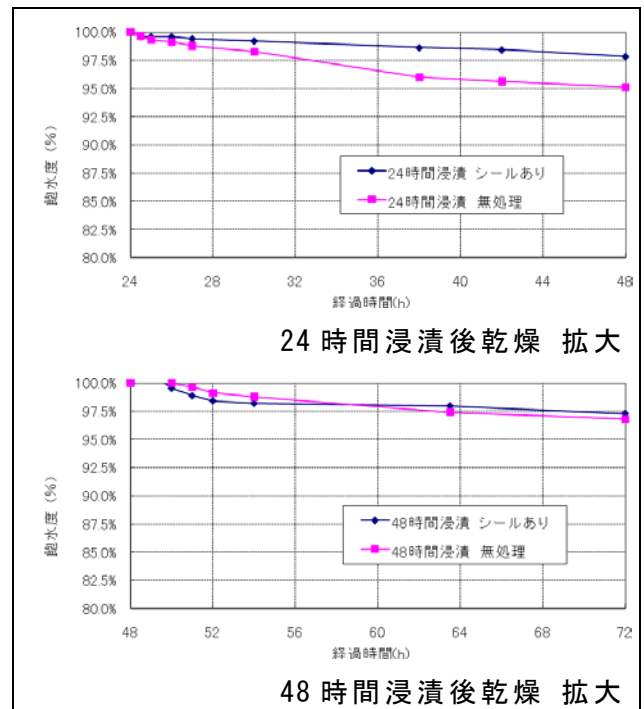


図 2.20 浸漬・乾燥試験 乾燥プロセス
飽水度 [%] 拡大図

d) 木繊維補強セメント板系 (14mm 寒冷地仕様)

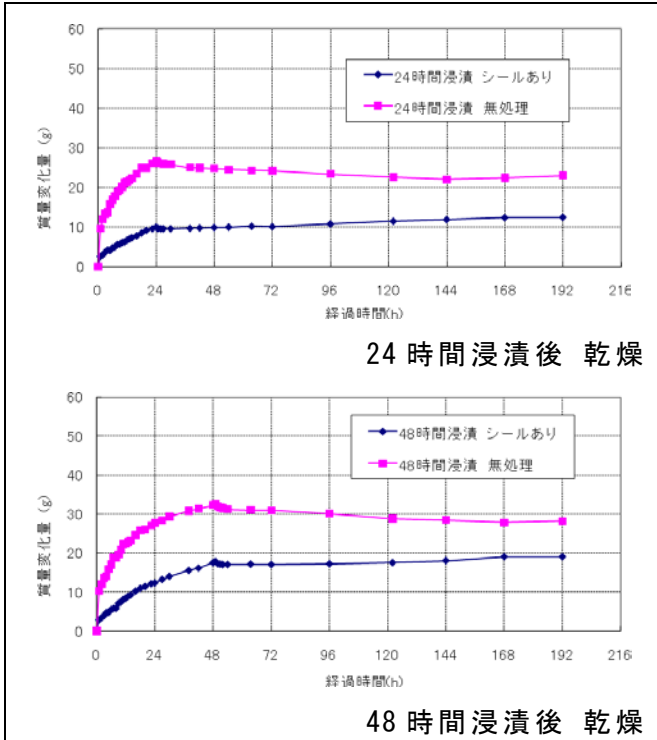


図 2.21 浸漬・乾燥試験 試験結果 質量変化量[g]の経時変化

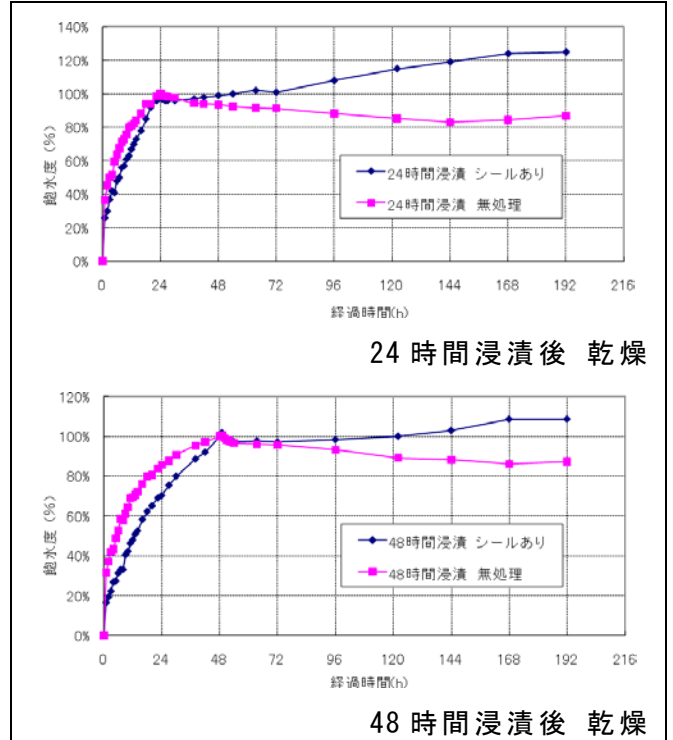


図 2.22 浸漬・乾燥試験 試験結果 飽水度[%]の経時変化

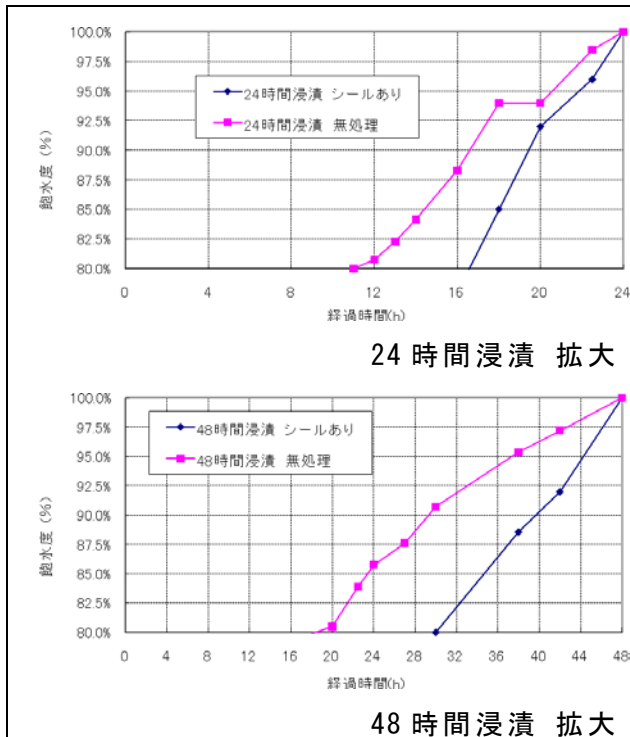


図 2.23 浸漬・乾燥試験 浸漬プロセス 飽水度[%]拡大図

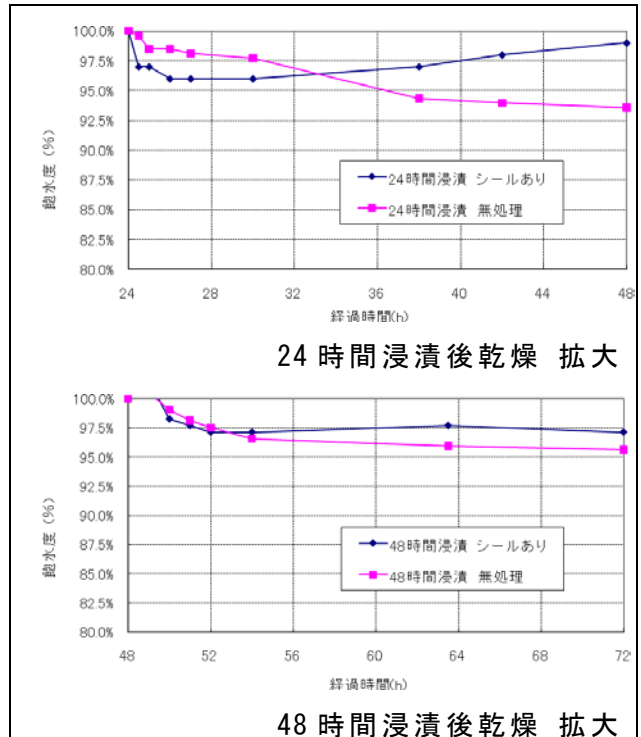


図 2.24 浸漬・乾燥試験 乾燥プロセス 飽水度[%]拡大図

(2) 浸漬試験結果

浸漬試験結果について、192 時間までの測定結果について、吸水率および飽水度でまとめたものを図 2.25 に示す。

また、192 時間の含水率を 100%とした場合の、24 時間浸漬および 48 時間浸漬時の飽水度を図 2.26 に、浸漬時間の経過に伴う吸水率の変化を図 2.27 に示す。

さらに、24 時間浸漬終了 直前 1 時間の吸水量および直後 2 時間の乾燥量(飽和度(%))を図 2.28 に示す。

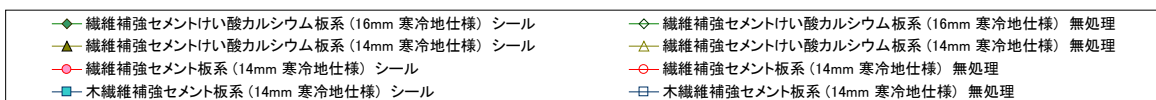
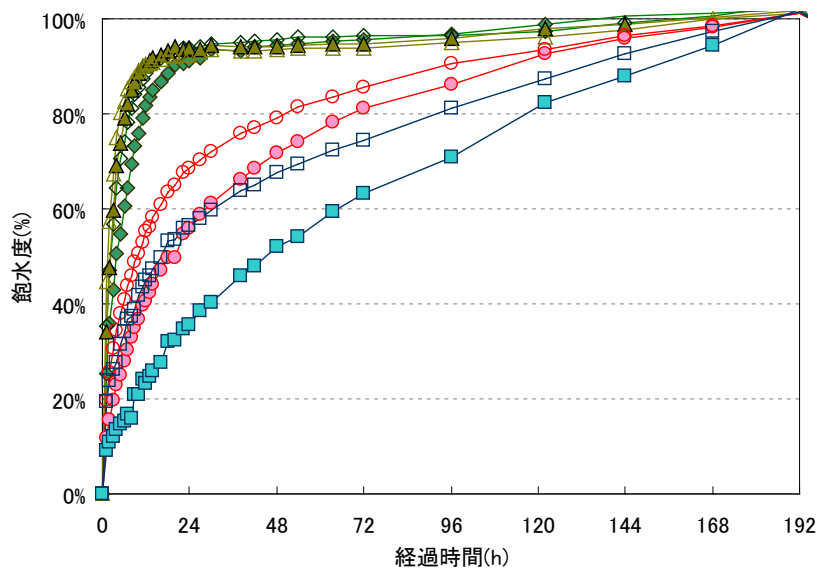
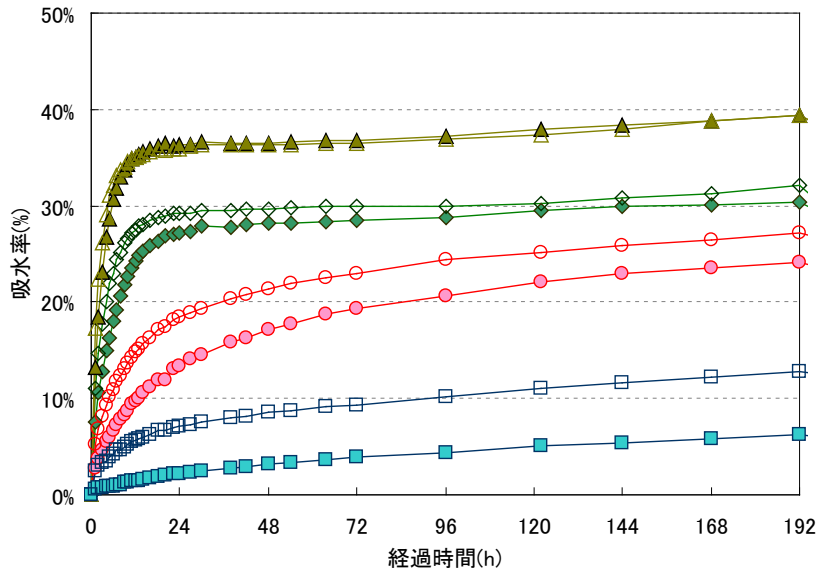


図 2.25 系の違いおよびシールの有無による吸水特性

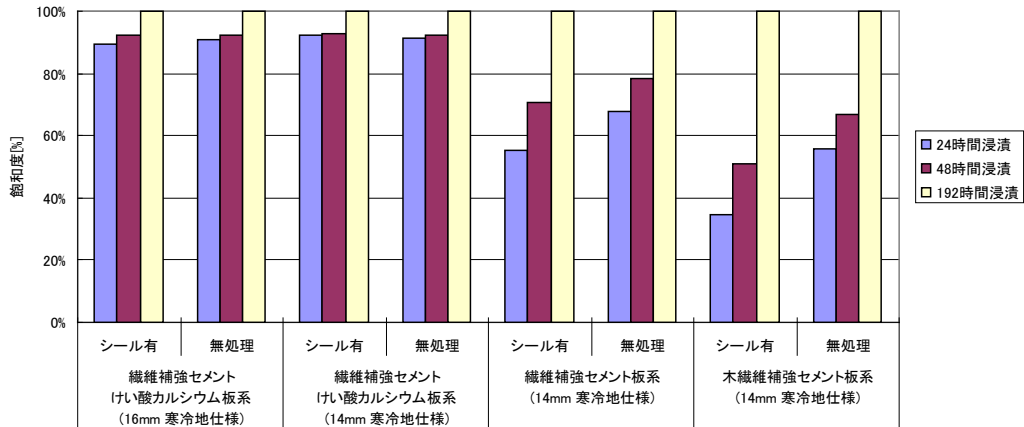


図 2.26 各種窯業系サイディングの吸水特性比較(飽水度)

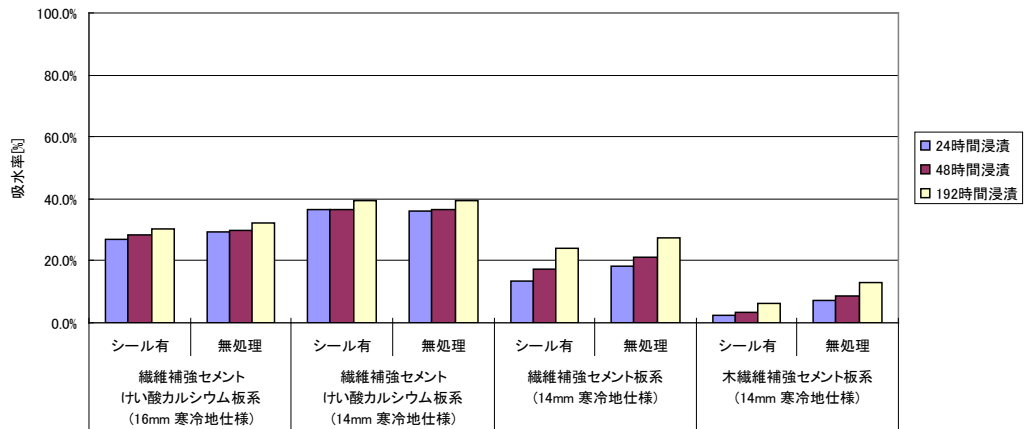


図 2.27 各種窯業系サイディングの吸水特性(吸水率)

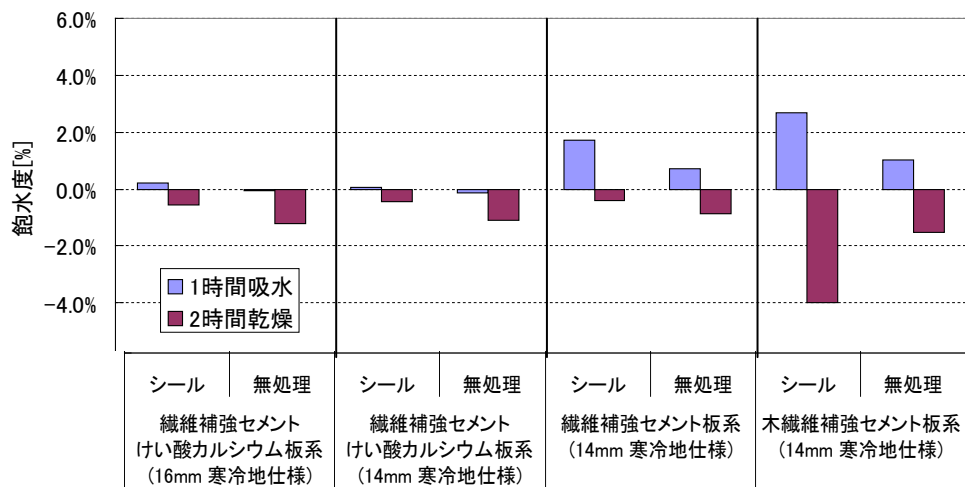


図 2.28 24 時間浸漬終了 直前 1 時間の吸水量
および直後 2 時間の乾燥量(飽水度(%))

(3) まとめ

以上の結果より、以下のことが言える。

- ・ 7日までの吸水傾向は、繊維補強けい酸カルシウム板系は早期に飽水する傾向を示した。また、他の2水準、木繊維補強セメント板系および繊維補強セメント板系については、7日においても吸水が続く傾向を示した。
- ・ 192時間の吸水量を基準とすると、繊維補強セメントけい酸カルシウム板系は他の系と比して吸水速度が速く24時間で90%を超える吸水量となっている。これに対して、繊維補強セメント板系、木繊維補強セメント板系は24時間で30%~60%程度で有り、材料種類により吸水状況に大きな差がみられた。
- ・ 吸水速度の遅い、繊維補強セメント板系、木繊維補強セメント板系は、そもそもの吸水量が少ない傾向となった。
- ・ 24時間浸漬、48時間浸漬の差は、繊維補強セメントけい酸カルシウム板系ではさほど大きくないが、繊維補強セメント板系、木繊維補強セメント板系では、一定の差異が見られた。
- ・ シールの有無は、凍結融解試験の含水率変化に影響を及ぼすが、シールを施すことで、吸水が遅く、乾燥も遅い傾向が示された。
- ・ 24時間浸漬の場合、いずれの試験体も、吸水に関してはシールありのほうが増加する傾向を示した。実際の凍結融解試験の場合、乾燥は凍結環境で行われるため、図で示されるような乾燥傾向を示さないものと推定される。その結果、シールを施すことで、凍結融解プロセスの含水率増加率は大きくなることが予測され、2.3までの結果(2.3.2試験結果の考察参照)と合致する。これは、24時間吸水の場合、吸水余力が大きい試験体で顕著であり、具体的には、繊維補強セメント板系や木繊維補強セメント板系で、含水率が高くなる可能性が示された。
- ・ シールの有無による質量増加傾向への影響は、そもそも凍結融解試験スタート時点の飽水度の違いによるものと考えられ、「無限大の板中央を再現」する目的を鑑みると、問題とはならないと判断される。
- ・ 一般に、吸水速度に比して乾燥速度のほうが遅い結果となった。このため凍結融解試験期間中は、サイクルの進行とともに含水率が上昇する傾向になることが予測される。

2.5 まとめ

以上より、窯業系サイディングの試験条件設定に関して、次の通りと考える。

- (1) 窯業系サイディングの吸水・乾燥特性は材料によって大きく異なり、24時間程度では含水率が同程度にならない可能性がある。(2.4 参照)
- (2) 凍結融解試験などでは、水を吸収し易いあるいは水分を保持し易いと言った性質自体が、耐凍害性の優劣に関わるものである。今回の検討結果より、凍結融解試験の前養生としては、現行の JIS A 5422 耐凍結融解性試験で定められている 24 時間の事前吸水養生により、水分の保持性能を考慮した形で性能評価可能であると考え。(2.3 および 2.4 参照)
- (3) 無限大の板中央を再現することを目的として、試験体 4 側面の小口のシール方法の標準化について検討を行い、以下が望ましいとの結論を得た。(2.3 参照)
 - ◇ 中実品：刷毛塗リエポキシ樹脂（2 回塗り）
 - ◇ 中空品：シラン系プライマー＋シリコンシーラント（クリア）
- (4) シールの有無による質量増加傾向への影響は、そもそも凍結融解試験スタート時点の飽水度(吸水余力)の違いによるものと考えられるため、「無限大の板中央を再現」する目的を鑑みると、シールの有無を問題とする必要は無いものと判断される。(2.3 および 2.4 参照)
- (5) 関連して、吸水率が条件そろっていることが要求される物性試験では、これら特性に配慮した養生が必要となることが明らかになった。(2.4 参照)

第3章 窯業系サイディングの複合劣化の検証実験（その1：JTCCM）

3.1 実験概要

3.1.1 実験対象とする窯業系サイディングの種類

実験対象とする窯業系サイディングの種類は、一般地用7種類（G-1～G-7）、寒冷地用11種類（C-1～C-11）とする。試験体の組成系と製法の組合せによる分類を表3.1に示す。

なお、各試験体は、各製品幅×600mmの寸法で搬入され、所定の寸法（長さ150mm×幅75mm）に切り出し試験に供した。

表3.1 試験体の組成系と製法の組合せによる分類

	一般地用		寒冷地用	
	抄造	押出	抄造	押出
木繊維補強セメント板系			1	
繊維補強セメント板系	2		2	
繊維補強セメント けい酸カルシウム板系	5	0	2	6(3)*
	7		11(3)*	

注) : 該当する窯業系サイディングの製造はなし。

* : ()内は中空品の内数を表す。

3.1.2 劣化因子項目と処理方法

1) 中性化

JIS A 1153（コンクリートの促進中性化試験方法）に準じて、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $(60 \pm 5)\%$ 、二酸化炭素濃度 $(5 \pm 0.2)\%$ の試験槽内に設置し、質量変化を測定する。

2) 耐候性

JIS A 5422 及び JIS A 1415（高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法）の 6.3 に規定された内容で、1000 時間照射後、表面のはく離、膨れ面積率、色差により評価する。

3) 耐温冷耐湿性

JIS A 1437（建築用内装ボード類の耐湿性試験方法）の耐湿性 B 法に準じて、温度及び湿度変化を繰り返し、はく離面積率、厚さ変化率により評価する。

4) 耐凍結融解性

JIS A 5422 及び JIS A 1435（建築用外壁材料の耐凍害性試験方法）の 3.3 に規定された内容で、200 サイクル後、はく離面積率、厚さ変化率により評価する。

5) 上記複合劣化による強度低下

JIS A 1408（建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法）の飽水状態で曲げ試験を行い、無処理及び複合劣化後の曲げ強度を比較する。

3.1.3 実験日程

複合劣化の検証実験は、2010 年 8 月より開始し、2011 年 1 月に終了した。実験工程を表 3.2 に示す。

表 3.2 実験工程

		2010 年												2011 年			
		7 月		8 月		9 月		10 月		11 月		12 月		1 月			
試験体準備																	
複合劣化	促進中性化処理																
	側面シール																
	耐候性																
	温冷耐湿性																
	耐凍結融解性																
	湿潤曲げ																

3.2 実験計画

3.2.1 一般地を対象とした複合劣化

1) 試験体

一般地用、厚さ14~16mm、可能な限り平板（中実品又は中空品）、表面塗装有

試験体寸法：長さ150mm×幅75mm

試験体の切り出し方法：複合劣化処理有・無で表面形状（模様）が同じになるように採取する。（図3.1参照）



図 3.1 試験体の切り出し方法例

2) 一般地を対象とした複合劣化の処理条件

一般地を対象とした複合劣化の処理条件を表 3.3 に示す。

表 3.3 一般地を対象とした複合劣化の処理条件

			一般地		
			処理有	処理無	
処理順序	1	促進中性化 4 週	○	×	
	2	側面シール	○	×	
	3	耐候性	1000h	○	×
	4	温冷耐湿性	200c	○	×
	5	湿潤曲げ		○	○
試験数	n 数		2	2	
	種類		7	7	
	小計		14	14	

3) 試験方法及び評価項目

①促進中性化

JIS A 1153 に準じて、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $(60 \pm 5)\%$ 、二酸化炭素濃度 $(5 \pm 0.2)\%$ の試験槽内に設置し、1 週間毎の質量変化を測定する。

②側面シール実施（側面シール方法）

- ・中実品：刷毛塗リエポキシ樹脂
- ・中空品：シラン系プライマー＋シリコンシーラント（クリア）

上記シール材を使用し、4 側面をシールする。その際、表面及び裏面の外周部は、2mm 程度表裏面を覆うようにシールする。シール材硬化後、シール材を覆うようにアルミ箔テープを貼る。

③耐候性

JIS A 1415（高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法）の 6.3 に規定された内容で、1000 時間照射後、表面のはく離、膨れ面積率、色差により評価する。

④温冷耐湿性

JIS A 1437（建築用内装ボード類の耐湿性試験方法）の耐湿性 B 法に準じて、温度及び湿度変化を繰り返し、はく離面積率、厚さ変化率により評価する。温冷・耐湿性の繰り返し条件を図 3.2 に示す。

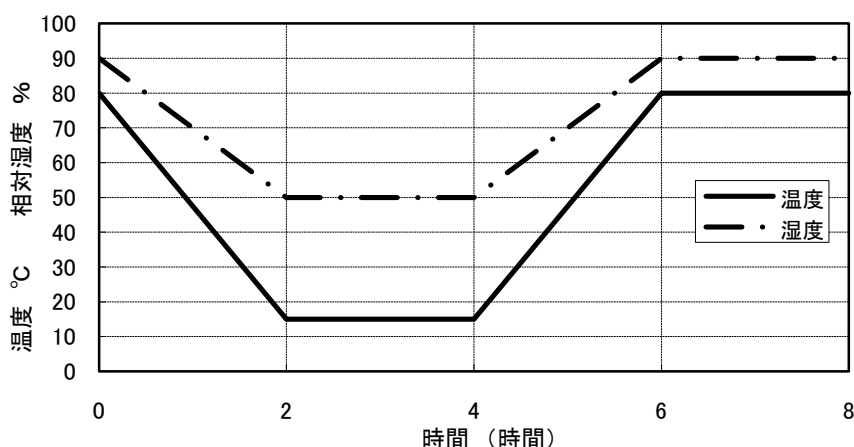


図 3.2 温冷・耐湿性の繰り返し条件（1 サイクル）

⑤湿潤曲げ

JIS A 1408（建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法）の湿潤状態で曲げ試験を行い、無処理及び複合劣化後の曲げ強度を比較する。

- ・湿潤条件：吸水 48 時間、載荷面：表面、支持スパン：100mm、載荷速度：5mm/min
- ・曲げ強度算出の際の断面係数は、すべて長方形中実断面と仮定して計算する。
- ・破断面寸法の厚さは、破断面の最大と最小の平均値を使用する。

3.2.2 寒冷地を対象とした複合劣化

1) 試験体

寒冷地用、厚さ14～16mm、可能な限り平板（中実品又は中空品）、表面塗装有

試験体寸法：長さ150mm×幅75mm

試験体の切り出し方法：複合劣化処理有・無で表面形状（模様）が同じになるように採取する。（図3.3参照）

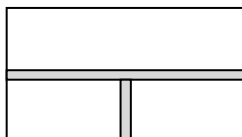


図 3.3 試験体の切り出し方法例

2) 寒冷地を対象とした複合劣化の処理条件

寒冷地を対象とした複合劣化の処理条件を表 3.4 に示す。

表 3.4 寒冷地を対象とした複合劣化の処理条件

			寒冷地		
			処理有	処理無	
処理順序	1	促進中性化 4 週	○	×	
	2	側面シール	○	×	
	3	耐候性	1000h	○	×
	4	耐凍結融解性	200c	○	×
	5	湿潤曲げ		○	○
試験数	n 数		2	2	
	種類		11	11	
	小計		22	22	

3) 試験方法及び評価項目

①促進中性化

JIS A 1153 に準じて、温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $(60\pm 5)\%$ 、二酸化炭素濃度 $(5\pm 0.2)\%$ の試験槽内に設置し、1 週間毎の質量変化を測定する。

②側面シール実施（側面シール方法）

- ・中実品：刷毛塗リエポキシ樹脂
- ・中空品：シラン系プライマー＋シリコンシーラント（クリア）

上記シール材を使用し、4 側面をシールする。その際、表面及び裏面の外周部は、2mm 程度表裏面を覆うようにシールする。シール材硬化後、シール材を覆うようにアルミ箔テープを貼る。

③耐候性

JIS A 5422 及び JIS A 1415（高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法）の 6.3 に規定された内容で、1000 時間照射後、表面のはく離、膨れ面積率、色差により評価する。

④耐凍結融解性

JIS A 5422 及び JIS A 1435（建築用外壁材料の耐凍害性試験方法）の 3.3 に規定された内容で、200 サイクル後、はく離面積率、厚さ変化率により評価する。

⑤湿潤曲げ

JIS A 1408（建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法）の湿潤状態で曲げ試験を行い、無処理及び複合劣化後の曲げ強度を比較する。

- ・湿潤条件：吸水 48 時間、載荷面：表面、支持スパン：100mm、載荷速度：5mm/min
- ・曲げ強度算出の際の断面係数は、すべて長方形中実断面と仮定して計算する。
- ・破断面寸法の厚さは、破断面の最大と最小の平均値を使用する。

3.3 実験結果

3.3.1 一般地を対象とした複合劣化

1) 促進中性化

促進中性化による質量変化試験結果を表 3.5 及び図 3.4 に示す。

表 3.5 促進中性化による質量変化

用途	種類	番号	質量 g					質量変化率 %			
			初期値	促進 1 週	促進 2 週	促進 3 週	促進 4 週	促進 1 週	促進 2 週	促進 3 週	促進 4 週
一般地	G-1	1	182.1	193.4	193.9	193.6	193.6	6.21	6.48	6.32	6.32
		2	177.1	188.4	188.8	188.5	188.4	6.38	6.61	6.44	6.38
		平均	—					6.30	6.55	6.38	6.35
	G-2	1	222.2	238.1	242.2	242.4	242.4	7.16	9.00	9.09	9.09
		2	221.6	237.6	242.2	242.9	243.0	7.22	9.30	9.61	9.66
		平均	—					7.19	9.15	9.35	9.38
	G-3	1	176.2	179.1	181.9	182.2	182.3	1.65	3.23	3.41	3.46
		2	177.1	181.2	183.8	184.0	183.8	2.32	3.78	3.90	3.78
		平均	—					1.99	3.51	3.66	3.62
	G-4	1	172.1	184.5	185.6	185.9	186.1	7.21	7.84	8.02	8.13
		2	164.3	175.6	176.3	176.5	176.7	6.88	7.30	7.43	7.55
		平均	—					7.05	7.57	7.73	7.84
	G-5	1	202.9	207.8	208.1	208.3	208.5	2.41	2.56	2.66	2.76
		2	200.9	207.2	207.9	208.2	208.4	3.14	3.48	3.63	3.73
		平均	—					2.78	3.02	3.15	3.25
	G-6	1	202.8	206.0	206.4	206.5	206.8	1.58	1.78	1.82	1.97
		2	203.4	206.5	206.9	207.0	207.2	1.52	1.72	1.77	1.87
		平均	—					1.55	1.75	1.80	1.92
	G-7	1	174.6	180.4	182.7	183.8	184.5	3.32	4.64	5.27	5.67
		2	175.3	180.9	183.5	185.0	185.9	3.19	4.68	5.53	6.05
		平均	—					3.26	4.66	5.40	5.86

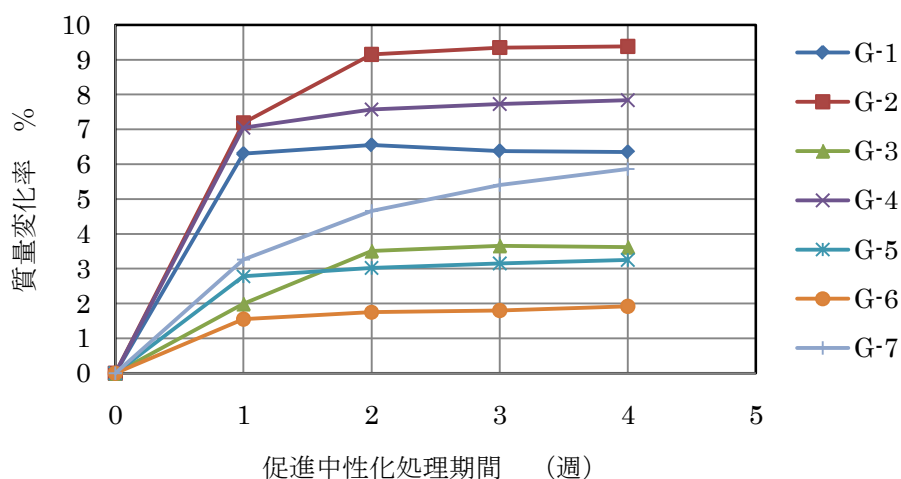


図 3.4 促進中性化による質量変化

2) 耐候性

耐候性試験結果を表 3.6 及び表 3.7 に示す。

表 3.6 耐候性試験結果 (色差)

用途	種類	試験体 番号	測点	初期値			暴露後			色差		
				L *	a *	b *	L *	a *	b *	ΔE^*_{ab}	平均	総平均
一般地	G-1	1	1	83.35	-0.94	3.36	82.90	-1.15	3.72	0.6	0.5	0.6
			2	83.25	-1.00	3.41	83.00	-1.19	3.74	0.5		
			3	83.11	-1.01	3.41	82.87	-1.20	3.79	0.5		
		2	1	82.73	-1.10	3.38	82.14	-1.33	3.73	0.7	0.6	
			2	82.67	-1.09	3.37	82.26	-1.39	3.69	0.6		
			3	82.37	-1.14	3.47	82.19	-1.38	3.76	0.4		
	G-2	1	1	64.62	-0.85	3.81	64.94	-0.99	3.97	0.4	0.4	0.6
			2	64.25	-0.78	3.71	64.62	-0.99	3.95	0.5		
			3	64.15	-0.76	3.68	64.42	-0.94	3.90	0.4		
		2	1	64.52	-0.82	3.69	63.97	-0.99	3.93	0.6	0.7	
			2	64.68	-0.81	3.68	64.06	-0.98	4.04	0.7		
			3	64.86	-0.79	3.54	64.07	-0.94	3.95	0.9		
	G-3	1	1	83.15	0.64	9.62	82.99	0.51	9.61	0.2	0.2	0.3
			2	82.86	0.62	9.48	82.84	0.43	9.54	0.2		
			3	82.69	0.61	9.58	82.47	0.42	9.62	0.3		
		2	1	82.85	0.62	9.73	82.66	0.49	9.75	0.2	0.3	
			2	83.04	0.58	9.55	82.83	0.45	9.61	0.3		
			3	83.15	0.64	9.49	82.75	0.45	9.59	0.5		
	G-4	1	1	67.65	2.09	14.64	67.03	2.10	15.42	1.0	1.1	1.1
			2	67.80	2.06	14.45	67.03	2.10	15.42	1.2		
			3	67.69	2.09	14.61	67.03	2.10	15.39	1.0		
		2	1	68.04	2.04	14.29	67.31	2.05	15.31	1.3	1.1	
			2	67.78	2.09	14.49	67.05	2.07	15.28	1.1		
			3	67.93	2.07	14.76	67.32	2.11	15.32	0.8		
	G-5	1	1	70.50	-0.73	1.45	70.34	-0.75	1.44	0.2	0.3	0.4
			2	70.82	-0.67	1.35	70.29	-0.69	1.36	0.5		
			3	70.72	-0.65	1.46	70.48	-0.73	1.30	0.3		
		2	1	70.93	-0.69	1.42	70.53	-0.76	1.29	0.4	0.4	
2			71.28	-0.68	1.36	70.75	-0.74	1.29	0.5			
3			70.93	-0.69	1.42	70.68	-0.74	1.31	0.3			
G-6	1	1	81.02	-0.68	9.83	80.89	-0.74	9.87	0.1	0.2	0.3	
		2	79.63	-0.44	9.83	79.73	-0.56	9.99	0.2			
		3	80.59	-0.82	9.95	80.62	-0.97	9.97	0.2			
	2	1	81.50	-0.85	9.92	81.77	-0.94	9.90	0.3	0.4		
		2	79.95	-0.66	9.71	80.28	-0.88	9.70	0.4			
		3	78.70	-1.10	9.89	79.20	-1.32	9.79	0.6			
G-7	1	1	79.11	-0.72	9.69	78.92	-0.79	9.79	0.2	0.1	0.1	
		2	78.47	-0.76	9.81	78.47	-0.81	9.85	0.1			
		3	78.49	-0.68	9.80	78.37	-0.72	9.80	0.1			
	2	1	79.96	-0.46	8.28	80.00	-0.56	8.28	0.1	0.1		
		2	79.02	-0.50	8.32	79.12	-0.57	8.22	0.2			
		3	80.34	-0.53	8.47	80.44	-0.59	8.50	0.1			

表 3.7 耐候性試験結果（質量変化及び外観観察）

用途	種類	はく離、膨れ面積率 %	質 量 g		備考
			耐候性前	耐候性後	
一般地	G-1	0	196.2	202.0	はく離、膨れは無かった。
		0	191.1	185.6	はく離、膨れは無かった。
	G-2	0	245.4	298.4	はく離、膨れは無かった。
		0	245.7	298.8	はく離、膨れは無かった。
	G-3	0	184.5	239.8	はく離、膨れは無かった。
		0	186.1	189.9	はく離、膨れは無かった。
	G-4	0	189.4	188.9	はく離、膨れは無かった。
		0	180.4	176.9	はく離、膨れは無かった。
	G-5	0	211.7	207.8	はく離、膨れは無かった。
		0	211.4	220.7	はく離、膨れは無かった。
	G-6	0	209.8	212.7	はく離、膨れは無かった。
		0	210.1	246.9	はく離、膨れは無かった。
	G-7	0	187.2	210.1	はく離、膨れは無かった。
		0	188.6	232.8	はく離、膨れは無かった。

3) 温冷耐湿性

温冷耐湿性試験結果を表 3.8 及び写真 3.1 に示す。

表 3.8 温冷耐湿性試験結果

用途	種類	サイクル	試験体 番号	塗膜 外観	厚さ mm					厚さ変化率 %	質量 g	質量変化率 %
					a	b	c	d	平均			
一般地	G-1	0	1	—	14.26	14.17	14.19	14.19	14.20	0.00	202.0	0.0
			2	—	14.11	14.20	14.11	14.09	14.13	0.00	185.6	0.0
		200	1	異常なし	14.25	14.16	14.19	14.20	14.20	0.00	201.7	-0.1
			2	異常なし	14.11	14.19	14.13	14.13	14.14	0.07	191.2	3.0
		平均	—	—					0.04	—	1.5	
	G-2	0	1	—	16.00	16.05	16.05	16.04	16.04	0.00	298.4	0.0
			2	—	16.23	16.14	16.13	16.21	16.18	0.00	298.8	0.0
		200	1	異常なし	16.00	16.04	16.04	16.04	16.03	-0.06	266.4	-10.7
			2	異常なし	16.18	16.14	16.13	16.21	16.17	-0.06	256.5	-14.2
		平均	—	—					-0.06	—	-12.5	
	G-3	0	1	—	14.10	14.08	14.01	14.13	14.08	0.00	239.8	0.0
			2	—	14.29	15.20	14.27	14.09	14.46	0.00	189.9	0.0
		200	1	異常なし	14.08	14.06	13.98	14.11	14.06	-0.14	183.4	-23.5
			2	異常なし	14.29	15.19	14.23	14.10	14.20	-0.07	183.1	-3.6
		平均	—	—					-0.11	—	-13.6	
	G-4	0	1	—	13.78	13.73	13.73	13.76	13.75	0.00	188.9	0.0
			2	—	13.62	13.59	13.77	13.68	13.67	0.00	176.9	0.0
		200	1	異常なし	13.78	13.74	13.74	13.78	13.76	0.07	190.1	0.6
			2	異常なし	13.62	13.57	13.78	13.68	13.66	-0.07	179.9	1.7
		平均	—	—					0.00	—	1.2	
	G-5	0	1	—	15.43	15.33	15.34	15.37	15.37	0.00	207.8	0.0
			2	—	15.53	15.36	15.33	15.28	15.38	0.00	220.7	0.0
		200	1	異常なし	15.42	15.35	15.37	15.39	15.38	0.07	213.0	2.5
			2	異常なし	15.57	15.37	15.33	15.29	15.39	0.07	214.9	-2.6
		平均	—	—					0.07	—	-0.1	
	G-6	0	1	—	14.91	16.16	15.66	16.33	15.77	0.00	212.7	0.0
			2	—	16.24	15.55	14.14	16.41	15.59	0.00	246.9	0.0
		200	1	異常なし	15.13	16.07	15.73	16.36	15.82	0.32	211.7	-0.5
			2	異常なし	16.38	15.21	14.24	16.39	15.56	-0.19	219.2	-11.2
		平均	—	—					0.07	—	-5.9	
G-7	0	1	—	13.96	14.22	12.39	13.14	13.43	0.00	210.1	0.0	
		2	—	14.64	13.89	14.67	13.77	14.24	0.00	232.8	0.0	
	200	1	異常なし	14.00	14.33	12.45	13.20	13.50	0.52	189.1	-10.0	
		2	異常なし	14.68	13.90	14.64	13.74	14.24	0.00	190.4	-18.2	
	平均	—	—					0.26	—	-14.1		

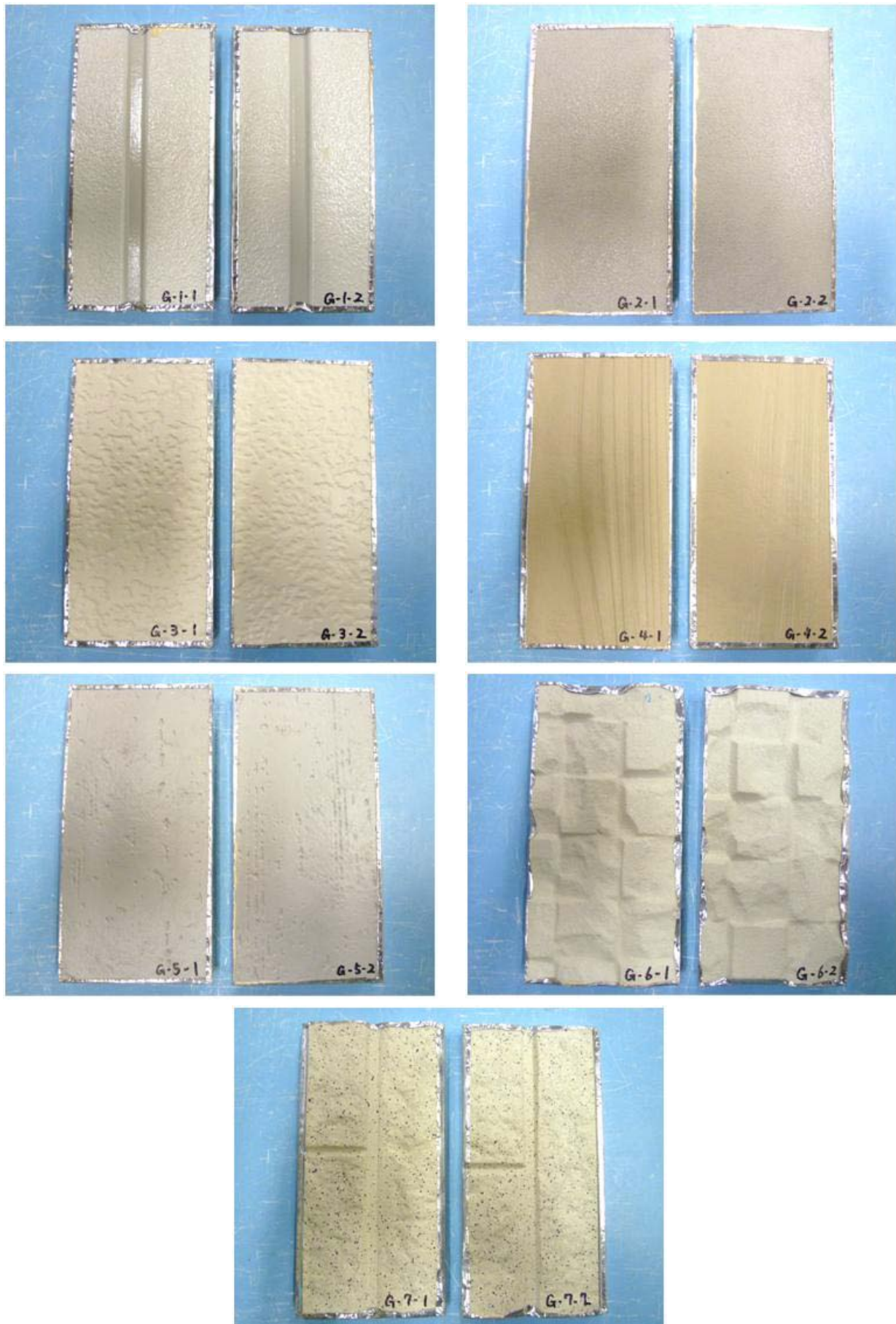


写真 3.1 温冷耐湿性試験後の試験体外観

4) 湿潤曲げ

湿潤曲げ試験結果を表 3.9 及び図 3.5 に示す。

表 3.9 湿潤曲げ試験結果

用途	種類	処理条件	試験体番号	48h 吸水前 質量 g	48h 吸水後 質量 g	破断面寸法 mm		最大荷重 N	曲げ強度 N/mm ²	
						幅	厚		測定値	平均/比率
一般地	G-1	無処理(気乾)	気乾	—	183.2	74.8	12.8	1500	18.4	—
			CO ₂ 後	—	187.5	74.9	13.0	1330	15.8	—
		無処理	1	180.8	237.6	74.8	12.8	852	10.4	10.4
			2	182.1	238.6	74.9	12.9	861	10.4	100
		複合劣化	1	201.7	254.4	75.0	12.9	883	10.6	10.4
			2	191.2	248.5	75.0	12.9	848	10.2	100
	G-2	無処理(気乾)	気乾	—	221.5	75.0	16.1	1800	13.9	—
			CO ₂ 後	—	242.4	74.9	16.1	1780	13.8	—
		無処理	1	223.6	288.9	75.1	16.2	1010	7.7	7.8
			2	224.4	287.8	75.0	16.0	1000	7.8	100
		複合劣化	1	266.4	302.6	75.3	16.0	1020	7.9	7.9
			2	256.5	303.4	75.0	16.2	1020	7.8	101
	G-3	無処理(気乾)	気乾	—	—	—	—	—	—	—
			CO ₂ 後	—	—	—	—	—	—	—
		無処理	1	165.9	243.9	75.6	13.8	549	5.7	5.8
			2	166.4	245.4	75.5	13.9	569	5.9	100
		複合劣化	1	183.4	255.0	75.0	14.1	623	6.3	6.2
			2	183.1	256.2	74.9	14.1	610	6.1	107
	G-4	無処理(気乾)	気乾	—	178.0	74.8	13.3	1070	12.1	—
			CO ₂ 後	—	187.8	74.6	13.8	1090	11.5	—
		無処理	1	162.5	221.2	74.9	13.4	430	4.8	4.8
			2	169.4	227.1	75.1	13.6	441	4.8	100
		複合劣化	1	190.1	248.9	74.9	13.8	597	6.3	5.9
			2	179.9	241.3	75.1	13.7	521	5.5	123
	G-5	無処理(気乾)	気乾	—	195.8	74.6	14.9	1280	11.6	—
			CO ₂ 後	—	208.2	74.3	15.4	1390	11.8	—
		無処理	1	191.7	254.8	74.6	15.0	900	8.0	8.1
			2	202.1	264.9	74.6	15.2	947	8.2	100
		複合劣化	1	213.0	277.6	74.9	15.4	958	8.1	8.5
			2	214.9	278.2	75.1	15.4	1040	8.8	105
G-6	無処理(気乾)	気乾	—	203.1	75.0	15.2	1430	12.4	—	
		CO ₂ 後	—	211.9	75.1	14.9	1850	16.6	—	
	無処理	1	203.5	265.9	74.9	14.3	1070	10.5	9.7	
		2	203.7	266.9	75.0	14.6	950	8.9	100	
	複合劣化	1	211.7	274.5	75.3	14.1	1250	12.5	12.0	
		2	219.2	275.6	74.9	14.6	1210	11.4	124	
G-7	無処理(気乾)	気乾	—	175.1	74.8	12.5	1010	13.0	—	
		CO ₂ 後	—	182.5	75.0	12.2	1000	13.4	—	
	無処理	1	175.0	236.3	74.9	12.5	752	9.6	9.8	
		2	172.2	233.4	75.0	12.4	761	9.9	100	
	複合劣化	1	189.1	240.9	74.9	12.3	774	10.2	10.3	
		2	190.4	243.3	75.0	12.0	751	10.4	105	

注：①断面係数は、すべて長方形中実断面として計算。

②破断面寸法の厚さは、破断面の最大と最小の平均値。

③試験体番号の「気乾」は、無処理かつ 48 時間吸水を行わない予備の試験体。

④試験体番号の「CO₂ 後」は、促進中性化 4 週間+4 側面シールまで行った予備の試験体。

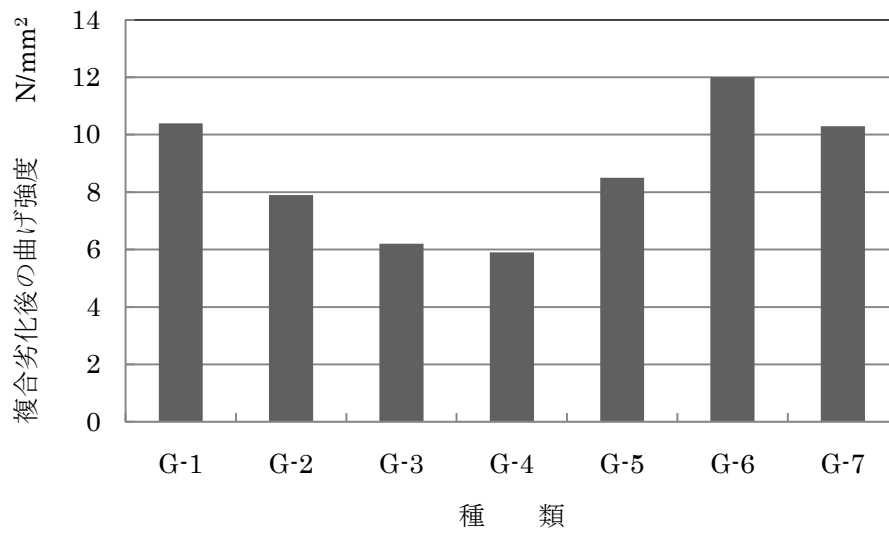
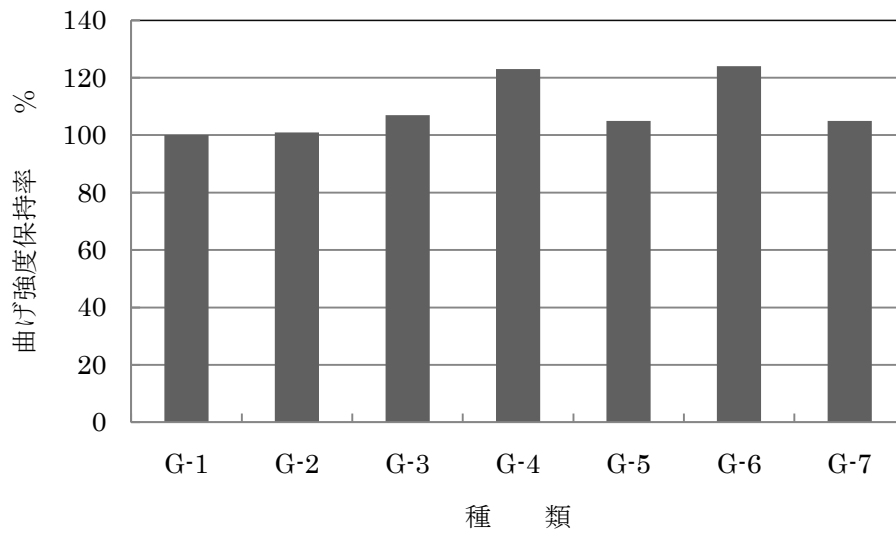


図 3.5 湿潤曲げ試験結果（一般地）

3.3.2 寒冷地を対象とした複合劣化

1) 促進中性化

促進中性化による質量変化試験結果を表 3.10 及び図 3.6 に示す。

表 3.10 促進中性化による質量変化

用途	種類	番号	質量 g					質量変化率 %			
			初期値	促進 1 週	促進 2 週	促進 3 週	促進 4 週	促進 1 週	促進 2 週	促進 3 週	促進 4 週
寒冷地	C-1	1	191.1	195.9	197.2	198.6	199.4	2.51	3.19	3.92	4.34
		2	191.8	196.0	198.5	198.5	199.1	2.19	3.49	3.49	3.81
		平均	—					2.35	3.34	3.71	4.08
	C-2	1	218.7	225.5	225.3	225.2	225.2	3.11	3.02	2.97	2.97
		2	241.8	248.7	248.8	248.7	248.6	2.85	2.89	2.85	2.81
		平均	—					2.98	2.96	2.91	2.89
	C-3	1	209.8	220.5	223.7	224.6	225.2	5.10	6.63	7.05	7.34
		2	207.5	217.8	221.0	222.1	222.7	4.96	6.51	7.04	7.33
		平均	—					5.03	6.57	7.05	7.34
	C-4	1	240.7	243.5	245.1	246.8	248.7	1.16	1.83	2.53	3.32
		2	244.2	247.2	248.6	250.4	252.5	1.23	1.80	2.54	3.40
		平均	—					1.20	1.82	2.54	3.36
	C-5	1	186.2	190.7	190.0	190.3	190.7	2.42	2.04	2.20	2.42
		2	185.0	191.1	189.6	189.8	190.1	3.30	2.49	2.59	2.76
		平均	—					2.86	2.27	2.40	2.59
	C-6	1	206.2	212.2	214.6	216.5	218.1	2.91	4.07	5.00	5.77
		2	204.9	211.5	213.6	215.6	217.1	3.22	4.25	5.22	5.95
		平均	—					3.07	4.16	5.11	5.86
	C-7	1	163.2	169.0	169.4	169.8	170.2	3.55	3.80	4.04	4.29
		2	156.3	160.9	161.2	161.5	161.8	2.94	3.13	3.33	3.52
		平均	—					3.25	3.47	3.69	3.91
	C-8	1	149.3	156.4	157.3	157.8	158.5	4.76	5.36	5.69	6.16
2		151.3	158.5	159.2	159.3	159.7	4.76	5.22	5.29	5.55	
平均		—					4.76	5.29	5.49	5.86	
C-9	1	207.9	220.1	221.7	221.4	221.7	5.87	6.64	6.49	6.64	
	2	207.9	220.0	221.7	221.3	221.4	5.82	6.64	6.45	6.49	
	平均	—					5.85	6.64	6.47	6.57	
C-10	1	183.1	192.0	195.7	198.1	199.2	4.86	6.88	8.19	8.79	
	2	181.0	189.3	193.0	195.3	196.6	4.59	6.63	7.90	8.62	
	平均	—					4.73	6.76	8.05	8.71	
C-11	1	170.8	176.8	177.6	178.2	178.8	3.51	3.98	4.33	4.68	
	2	176.4	182.8	185.2	186.2	187.1	3.63	4.99	5.56	6.07	
	平均	—					3.57	4.49	4.95	5.38	

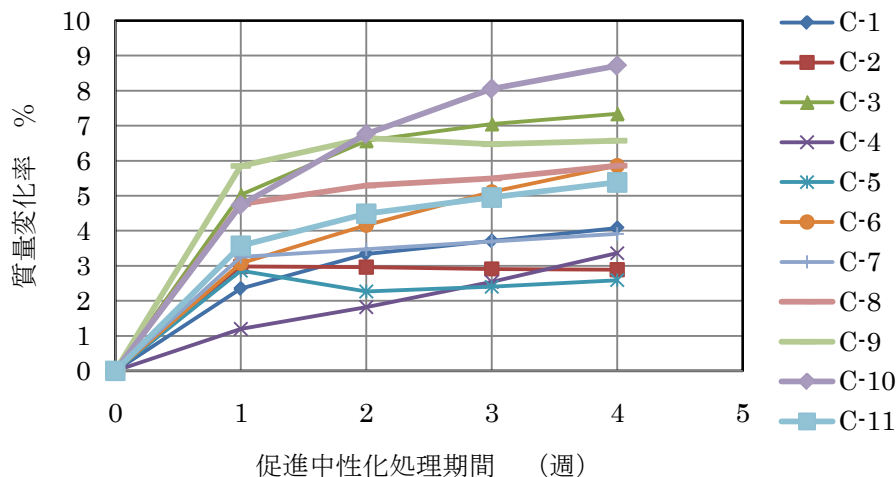


図 3.6 促進中性化による質量変化

2) 耐候性

耐候性試験結果を表 3.11、表 3.12 及び図 3.7 に示す。

表 3.11 耐候性試験結果 (色差)

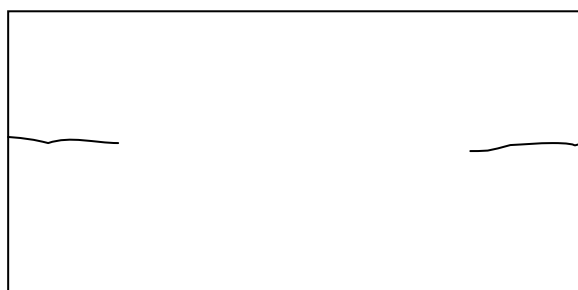
用途	種類	試験体 番号	測点	初期値			暴露後			色差		
				L *	a *	b *	L *	a *	b *	ΔE^*_{ab}	平均	総平均
寒冷地	C-1	1	1	16.45	-0.38	-1.47	14.34	-0.63	-1.39	2.1	2.0	1.8
			2	16.26	-0.40	-1.33	14.34	-0.63	-1.39	1.9		
			3	16.94	-0.54	-1.51	14.90	-0.56	-1.20	2.1		
		2	1	16.60	-0.15	-1.42	15.06	-0.54	-1.38	1.6	1.5	
			2	16.36	-0.17	-1.09	15.22	-0.52	-1.32	1.2		
			3	16.55	-0.15	-1.30	15.01	-0.55	-1.32	1.6		
	C-2	1	1	81.90	-1.48	3.69	82.08	-1.79	3.53	0.4	0.4	0.4
			2	82.29	-1.46	3.52	82.12	-1.74	3.37	0.4		
			3	82.20	-1.49	3.52	82.17	-1.74	3.38	0.3		
		2	1	82.14	-1.57	3.78	82.22	-1.78	3.54	0.3	0.3	
			2	82.00	-1.54	3.77	82.10	-1.79	3.56	0.3		
			3	82.08	-1.53	3.74	82.15	-1.76	3.52	0.3		
	C-3	1	1	82.75	-1.08	9.72	82.70	-1.41	9.65	0.3	0.3	0.4
			2	82.03	-1.18	8.67	81.97	-1.45	8.55	0.3		
			3	81.96	-1.02	9.50	81.79	-1.37	9.53	0.4		
		2	1	82.53	-1.05	9.81	82.42	-1.28	9.23	0.6	0.5	
			2	82.34	-1.24	10.63	82.27	-1.63	10.51	0.4		
			3	81.61	-1.13	9.80	81.98	-1.52	9.96	0.6		
	C-4	1	1	91.93	1.26	13.01	91.33	0.77	13.22	0.8	1.1	1.2
			2	91.92	1.28	13.01	90.79	0.81	13.49	1.3		
			3	91.91	1.28	13.04	90.73	0.75	13.36	1.3		
		2	1	91.92	1.24	13.02	90.60	0.70	13.36	1.5	1.2	
			2	91.85	1.24	13.08	90.57	0.82	13.51	1.4		
			3	91.86	1.24	13.09	91.19	0.76	13.20	0.8		
	C-5	1	1	83.22	-0.33	11.82	82.79	-0.79	11.95	0.6	0.6	0.6
			2	84.02	-0.32	11.79	83.63	-0.71	11.86	0.6		
			3	83.90	-0.31	11.74	83.49	-0.70	11.81	0.6		
		2	1	84.65	-0.24	11.58	84.34	-0.61	11.73	0.5	0.5	
			2	84.19	-0.31	11.97	83.81	-0.60	12.10	0.5		
			3	83.63	-0.27	12.07	83.48	-0.65	12.13	0.4		
	C-6	1	1	86.98	-1.68	8.20	86.60	-2.01	8.25	0.5	0.5	0.5
			2	87.02	-1.70	8.14	86.48	-1.98	8.17	0.6		
			3	87.04	-1.70	8.17	86.66	-1.99	8.19	0.5		
		2	1	86.87	-1.74	8.02	86.32	-2.03	7.98	0.6	0.5	
			2	86.74	-1.76	8.08	86.40	-2.06	8.00	0.5		
			3	86.83	-1.72	8.02	86.57	-2.06	8.07	0.4		
	C-7	1	1	73.68	0.94	11.39	73.38	0.66	11.78	0.6	0.6	0.6
			2	73.23	1.05	11.77	72.78	0.82	12.11	0.6		
			3	73.00	1.07	11.96	72.75	0.79	12.28	0.5		
		2	1	73.23	1.00	11.44	72.87	0.69	11.66	0.5	0.6	
			2	73.27	1.00	11.43	72.81	0.74	11.77	0.6		
			3	73.03	0.98	11.50	72.35	0.74	11.77	0.8		
C-8	1	1	82.83	-0.13	6.35	82.73	-0.51	6.30	0.4	0.4	0.5	
		2	83.23	-0.12	6.41	83.33	-0.48	6.46	0.4			
		3	83.46	-0.14	6.27	83.48	-0.56	6.28	0.4			
	2	1	82.62	-0.15	6.26	82.66	-0.61	6.24	0.5	0.5		
		2	82.88	-0.15	6.30	82.88	-0.57	6.39	0.4			
		3	83.07	-0.13	6.32	83.29	-0.58	6.35	0.5			
C-9	1	1	82.85	-0.31	15.40	82.82	-0.60	15.64	0.4	0.4	0.5	
		2	83.43	-0.15	15.76	83.25	-0.39	16.02	0.4			
		3	83.38	-0.22	15.51	83.08	-0.48	15.69	0.4			
	2	1	82.95	-0.21	15.42	83.27	-0.53	15.97	0.7	0.5		
		2	84.12	-0.34	15.77	83.95	-0.60	16.03	0.4			
		3	84.11	-0.34	15.88	84.05	-0.62	16.09	0.4			
C-10	1	1	78.63	-0.13	12.82	78.27	-0.42	13.19	0.6	0.5	0.5	
		2	78.90	-0.16	12.77	78.83	-0.47	13.19	0.5			
		3	78.65	-0.13	12.85	78.65	-0.49	13.20	0.5			
	2	1	78.86	-0.16	12.94	78.68	-0.46	13.32	0.5	0.5		
		2	78.69	-0.15	12.84	78.42	-0.43	13.20	0.5			
		3	79.17	-0.23	12.82	78.94	-0.43	13.20	0.5			
C-11	1	1	79.26	-0.63	9.69	79.39	-0.84	9.79	0.3	0.3	0.4	
		2	78.76	-0.63	9.78	78.91	-0.84	9.82	0.3			
		3	79.18	-0.64	9.58	79.33	-0.93	9.70	0.3			
	2	1	78.25	-0.63	9.59	78.45	-0.84	9.74	0.3	0.5		
		2	78.60	-0.64	9.70	78.82	-0.88	9.76	0.3			
		3	78.22	-0.60	9.71	79.03	-0.96	9.69	0.9			

表 3.12 耐候性試験結果（質量変化及び外観観察）

用途	種類	はく離、膨れ面積率 %	質 量 g		備考
			耐候性前	耐候性後	
寒冷地	C-1	0	201.3	199.7	はく離、膨れは無かった。
		0	201.8	202.6	はく離、膨れは無かった。
	C-2	0	229.2	226.5	はく離、膨れは無かった。
		0	252.2	247.3	はく離、膨れは無かった。
	C-3	0	228.1	223.9	はく離、膨れは無かった。
		0	225.9	234.2	はく離、膨れは無かった。
	C-4	0	267.9	275.2	表裏面にひび割れが生じた。
		0	263.2	256.0	表面にひび割れが生じた。
	C-5	0	198.9	237.4	はく離、膨れは無かった。
		0	196.5	233.1	はく離、膨れは無かった。
	C-6	0	221.3	229.7	はく離、膨れは無かった。
		0	220.0	218.8	はく離、膨れは無かった。
	C-7	0	182.5	186.1	はく離、膨れは無かった。
		0	172.1	171.9	はく離、膨れは無かった。
	C-8	0	161.9	188.2	はく離、膨れは無かった。
		0	163.1	191.3	はく離、膨れは無かった。
	C-9	0	224.0	221.6	はく離、膨れは無かった。
		0	224.3	221.2	はく離、膨れは無かった。
	C-10	0	202.2	250.6	はく離、膨れは無かった。
		0	199.3	220.0	はく離、膨れは無かった。
	C-11	0	181.7	201.7	はく離、膨れは無かった。
		0	190.0	200.7	はく離、膨れは無かった。



C-4-1



C-4-2

図 3.7 C-4 に生じたひび割れの状況
（最大ひび割れ幅 0.3mm）

3) 耐凍結融解性

耐凍結融解性試験結果を表 3.13 及び写真 3.2～写真 3.3 に示す。

表 3.13 耐凍結融解性試験結果

用途	種類	サイクル	番号	塗膜 外観	厚さ(24h 吸水後基準) mm					厚さ 変化率 %	24h 吸水後基準		吸水前基準	
					a	b	c	d	平均		質量 g	変化率 %	質量 g	変化率 %
寒冷地	C-1	0	1	—	13.51	13.59	13.51	13.60	13.55	—	240.5	—	199.7	—
			2	—	13.47	13.53	13.66	13.75	13.60	—	242.0	—	202.6	—
		200	1	異状なし	13.50	13.57	13.51	13.64	13.56	0.07	248.5	3.3	248.5	24.4
			2	異状なし	13.47	13.53	13.63	13.75	13.60	0.00	248.5	2.7	248.5	22.7
			平均	—	—					0.04	—	3.0	—	23.6
	C-2	0	1	—	15.72	15.50	15.66	15.72	15.65	—	238.4	—	226.5	—
			2	—	16.04	15.71	15.67	15.86	15.82	—	253.9	—	247.3	—
		200	1	異状なし	15.68	15.60	15.54	15.73	15.64	-0.06	286.6	20.2	286.6	26.5
			2	異状なし	16.08	15.77	15.71	15.91	15.87	0.32	303.3	19.5	303.3	22.6
			平均	—	—					0.13	—	19.9	—	24.6
	C-3	0	1	—	15.28	15.40	16.02	16.25	15.74	—	260.3	—	223.9	—
			2	—	14.85	15.37	16.34	16.35	15.73	—	251.7	—	234.2	—
		200	1	ひび割れ	15.73	15.73	16.56	16.88	16.23	3.11	289.2	11.1	289.2	29.2
			2	ひび割れ	15.02	15.46	16.63	16.58	15.92	1.21	284.1	12.9	284.1	21.3
			平均	—	—					2.16	—	12.0	—	25.3
	C-4	0	1	—	15.70	15.68	15.45	15.43	15.57	—	284.9	—	275.2	—
			2	—	15.58	15.63	15.38	15.36	15.49	—	260.4	—	256.0	—
		200	1	ひび割れ	15.88	15.97	15.57	15.60	15.76	1.22	295.9	3.9	295.9	7.5
			2	ひび割れ	15.60	15.67	15.53	15.43	15.56	0.45	282.7	8.6	282.7	10.4
			平均	—	—					0.84	—	6.3	—	9.0
	C-5	0	1	—	14.61	14.55	15.59	13.78	14.63	—	246.0	—	237.4	—
			2	—	15.29	15.84	14.33	14.68	15.04	—	242.7	—	233.1	—
		200	1	ひび割れ	15.24	14.85	15.80	14.00	14.97	2.32	256.3	4.2	256.3	8.0
			2	ひび割れ	15.45	16.09	14.67	14.81	15.26	1.46	252.8	4.2	252.8	8.5
			平均	—	—					1.89	—	4.2	—	8.3
	C-6	0	1	—	16.15	16.23	16.06	16.04	16.12	—	258.0	—	229.7	—
			2	—	16.14	16.04	16.25	16.02	16.11	—	248.7	—	218.8	—
		200	1	ひび割れ	16.16	16.25	16.14	16.07	16.16	0.25	287.1	11.3	287.1	25.0
			2	ひび割れ	16.20	16.05	16.14	16.03	16.11	0.00	283.6	14.0	283.6	29.6
			平均	—	—					0.13	—	12.7	—	27.3
	C-7	0	1	—	15.91	15.98	15.93	16.11	15.98	—	219.9	—	186.1	—
			2	—	15.42	15.40	15.31	15.28	15.35	—	213.6	—	171.9	—
		200	1	異状なし	15.89	15.85	15.93	16.10	15.94	-0.25	239.4	8.9	239.4	28.6
2			異状なし	15.42	15.40	15.35	15.27	15.36	0.07	229.9	7.6	229.9	33.7	
平均			—	—					-0.09	—	8.3	—	31.2	
C-8	0	1	—	13.35	13.56	13.80	13.75	13.62	—	207.8	—	188.2	—	
		2	—	13.31	13.62	13.06	13.38	13.34	—	207.7	—	191.3	—	
	200	1	ひび割れ	13.37	13.64	13.85	13.73	13.65	0.22	211.9	2.0	211.9	12.6	
		2	ひび割れ	13.40	13.57	13.19	13.43	13.40	0.45	211.1	1.6	211.1	10.4	
		平均	—	—					0.34	—	1.8	—	11.5	
C-9	0	1	—	14.59	14.42	14.08	14.49	14.40	—	264.4	—	221.6	—	
		2	—	14.43	14.92	13.76	14.51	14.41	—	266.6	—	221.2	—	
	200	1	ひび割れ	15.45	14.99	14.85	15.31	15.15	5.21	281.2	6.4	281.2	26.9	
		2	ひび割れ	15.31	15.78	14.94	15.42	15.36	6.59	285.3	7.0	285.3	29.0	
		平均	—	—					5.90	—	6.7	—	28.0	
C-10	0	1	—	14.22	14.70	14.65	14.76	14.58	—	256.7	—	250.6	—	
		2	—	14.71	14.82	14.83	14.60	14.74	—	255.5	—	250.0	—	
	200	1	ひび割れ	14.79	15.16	15.37	15.56	15.22	4.39	275.6	7.4	275.6	10.0	
		2	ひび割れ	15.99	15.46	15.56	15.68	15.67	6.31	278.5	9.0	278.5	11.4	
		平均	—	—					5.35	—	8.2	—	10.7	
C-11	0	1	—	13.77	13.07	14.55	13.43	13.71	—	223.4	—	201.7	—	
		2	—	13.10	13.89	13.91	13.76	13.67	—	238.9	—	200.7	—	
	200	1	異状なし	13.98	13.56	14.56	13.50	13.90	1.39	240.7	7.7	240.7	19.3	
		2	ひび割れ	13.34	14.36	13.97	14.47	14.04	2.71	252.9	5.9	252.9	26.0	
		平均	—	—					2.05	—	6.8	—	22.7	

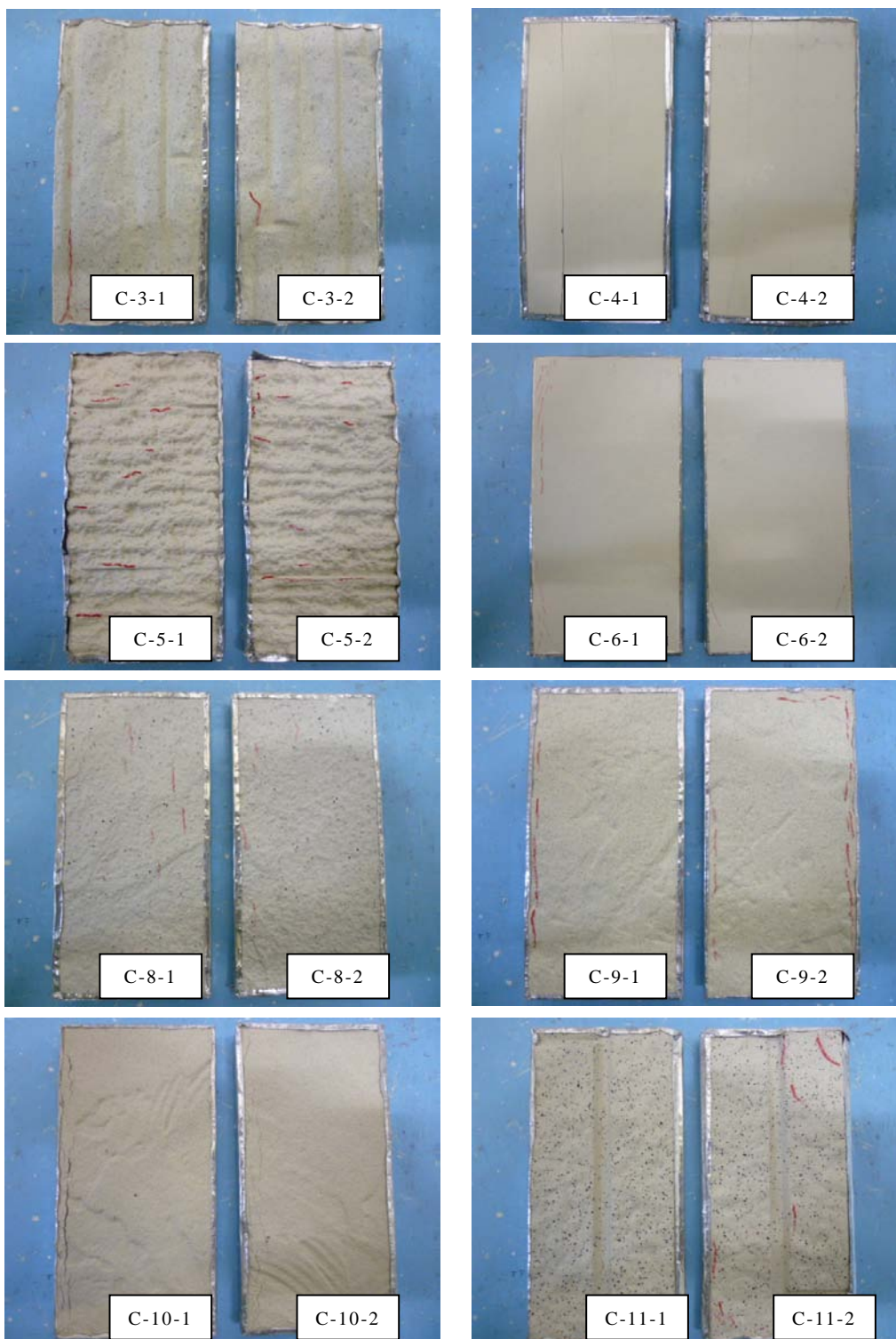


写真 3.2 耐凍害性試験後の試験体外観（ひび割れ部を赤線で表記）

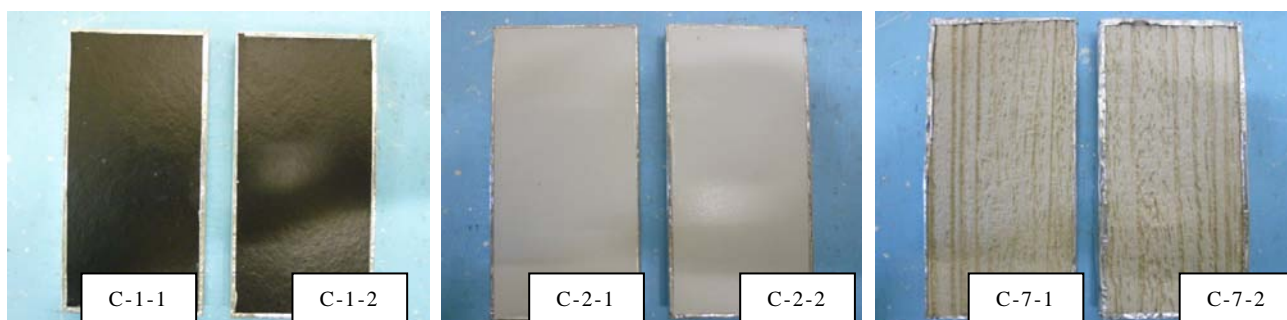


写真 3.3 耐凍害性試験後の試験体外観（異常なしの試験体）

4) 湿潤曲げ

湿潤曲げ試験結果を表 3.14 及び図 3.8 に示す。

表 3.14 湿潤曲げ試験結果

用途	種類	処理条件	試験体 番号	48h 吸水前 質量 g	48h 吸水後 質量 g	破断面寸法		最大荷重 N	曲げ強度 N/mm ²	
						幅	厚		測定値	平均/比率
寒冷地	C-1	無処理(気乾)	気乾	—	191.6	74.8	13.4	1430	16.0	—
			CO ₂ 後	—	197.4	74.9	13.6	1350	14.6	—
		無処理	1	190.6	216.8	74.7	13.6	1250	13.6	13.5
			2	191.4	222.3	74.8	13.4	1190	13.3	—
		複合劣化	1	248.5	248.8	75.0	13.5	1070	11.7	11.5
			2	248.5	249.1	74.9	13.6	1030	11.2	85
	C-2	無処理(気乾)	気乾	—	227.2	75.1	15.5	1580	13.1	—
			CO ₂ 後	—	237.6	75.2	15.4	1830	15.4	—
		無処理	1	237.3	262.3	74.9	15.4	1510	12.8	12.5
			2	237.3	261.6	74.8	15.5	1460	12.2	—
		複合劣化	1	286.6	286.3	75.1	15.5	1210	10.1	11.2
			2	303.3	302.9	75.3	15.7	1520	12.3	90
	C-3	無処理(気乾)	気乾	—	210.4	74.9	14.5	1100	10.5	—
			CO ₂ 後	—	224.7	75.0	14.6	1230	11.5	—
		無処理	1	208.3	250.9	74.9	14.5	659	6.3	6.2
			2	207.3	256.4	74.9	14.2	614	6.1	—
		複合劣化	1	289.2	289.3	74.9	14.3	582	5.7	5.8
			2	284.1	284.0	75.0	14.5	625	5.9	94
	C-4	無処理(気乾)	気乾	—	244.9	75.0	15.3	3140	26.8	—
			CO ₂ 後	—	253.2	75.4	15.2	2450	21.1	—
		無処理	1	251.4	269.3	75.1	15.5	1970	16.4	17.0
			2	242.7	256.7	75.2	15.3	2050	17.5	—
		複合劣化	1	295.9	292.0	75.2	15.4	953	8.0	10.8
			2	282.7	291.3	76.1	15.4	1620	13.5	64
	C-5	無処理(気乾)	気乾	—	—	—	—	—	—	—
			CO ₂ 後	—	—	—	—	—	—	—
		無処理	1	175.7	233.0	76.0	14.7	358	3.3	4.1
			2	174.8	230.9	75.0	14.7	516	4.8	—
		複合劣化	1	256.3	256.3	76.1	13.8	194	2.0	2.3
			2	252.8	253.8	76.5	13.5	233	2.5	56
	C-6	無処理(気乾)	気乾	—	207.0	74.7	16.1	1600	12.4	—
			CO ₂ 後	—	219.7	74.8	16.0	1720	13.5	—
		無処理	1	207.9	253.3	75.1	15.9	1060	8.4	8.5
			2	206.5	254.1	74.8	15.9	1070	8.5	—
		複合劣化	1	287.1	287.6	75.2	16.0	1100	8.6	8.9
			2	283.6	284.6	75.0	16.0	1160	9.1	105
	C-7	無処理(気乾)	気乾	—	159.8	75.0	14.6	1200	11.3	—
			CO ₂ 後	—	177.9	75.2	15.2	1380	11.9	—
		無処理	1	165.1	221.3	75.0	15.5	937	7.8	7.3
			2	157.7	212.7	75.1	14.7	722	6.7	—
		複合劣化	1	239.4	240.3	75.6	15.7	922	7.4	7.3
			2	229.9	230.8	76.1	15.3	845	7.1	100
	C-8	無処理(気乾)	気乾	—	153.9	74.5	13.6	918	10.0	—
			CO ₂ 後	—	162.4	74.6	13.2	789	9.1	—
無処理		1	152.9	201.2	74.9	12.9	603	7.3	7.1	
		2	154.8	203.3	74.7	13.4	616	6.9	—	
複合劣化		1	211.9	212.0	74.9	13.5	608	6.7	6.6	
		2	211.1	211.1	74.9	13.5	591	6.5	93	
C-9	無処理(気乾)	気乾	—	211.6	74.8	14.7	1380	12.8	—	
		CO ₂ 後	—	220.3	74.9	14.0	1430	14.6	—	
	無処理	1	216.7	257.1	74.9	15.0	1170	10.4	10.1	
		2	211.8	252.6	74.9	14.8	1070	9.8	—	
	複合劣化	1	281.2	280.5	75.0	15.1	713	6.3	6.1	
		2	285.3	284.6	75.1	15.4	691	5.8	60	
C-10	無処理(気乾)	気乾	—	179.6	75.1	14.6	1160	10.9	—	
		CO ₂ 後	—	201.7	74.7	14.4	1170	11.3	—	
	無処理	1	183.8	246.8	74.9	14.2	847	8.4	8.4	
		2	188.1	253.3	75.0	14.9	926	8.3	—	
	複合劣化	1	275.6	274.7	75.5	15.1	567	4.9	4.8	
		2	278.5	277.5	75.3	15.0	533	4.7	57	
C-11	無処理(気乾)	気乾	—	175.8	75.2	12.3	1050	13.8	—	
		CO ₂ 後	—	187.0	75.1	11.6	984	14.6	—	
	無処理	1	177.2	225.4	75.0	12.5	790	10.1	9.9	
		2	178.2	224.9	75.0	12.5	758	9.7	—	
	複合劣化	1	240.7	241.0	75.3	12.5	590	7.5	7.3	
		2	252.9	253.0	75.4	12.7	569	7.0	74	

注：①断面係数は、すべて長方形中実断面として計算。

②破断面寸法の厚さは、破断面の最大と最小の平均値。

③試験体番号の「気乾」は、無処理かつ 48 時間吸水を行わない予備の試験体。

④試験体番号の「CO₂後」は、促進中性化 4 週間+4 側面シールまで行った予備の試験体。

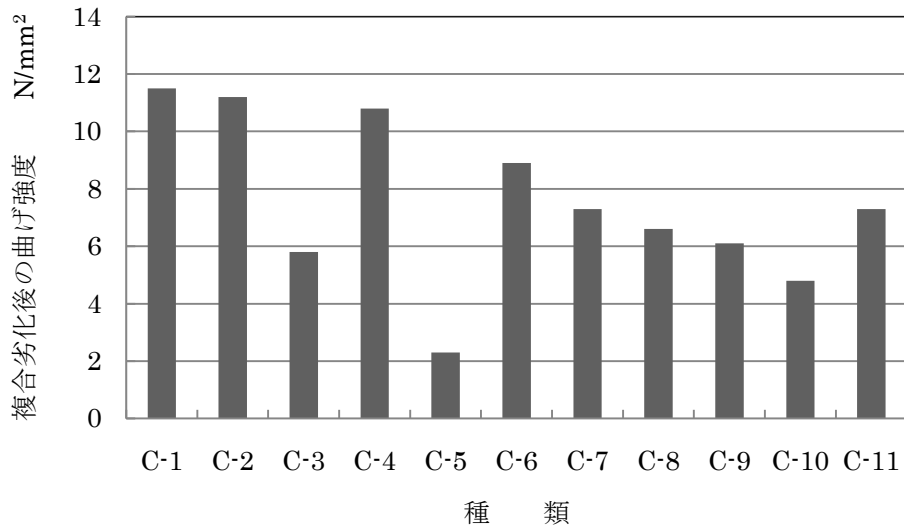
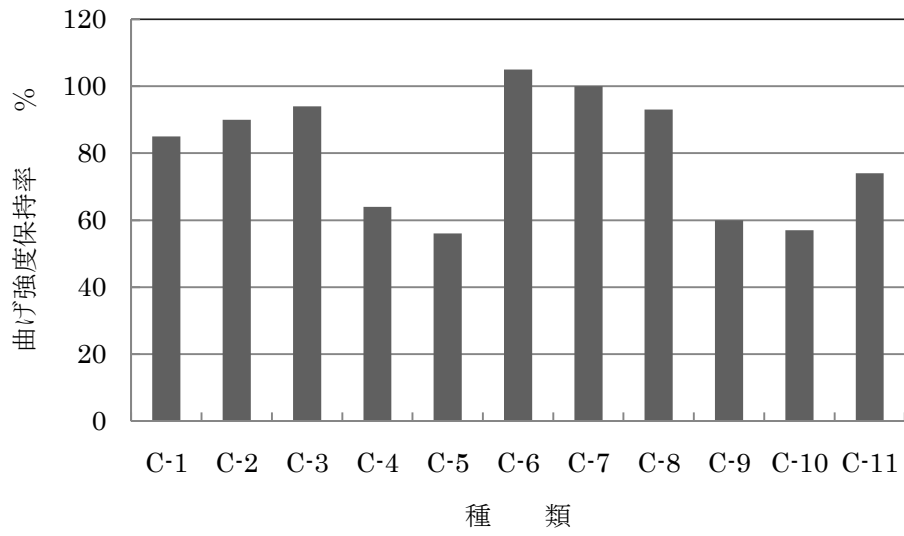


図 3.8 湿潤曲げ試験結果（寒冷地）

3.4 まとめ

本試験結果を一般地と寒冷地に分けて以下にまとめる。

3.4.1 一般地を対象とした複合劣化

1) 促進中性化

すべての試験体で質量が増加した。試験体の質量変化率は、促進期間 4 週でほぼ恒量となったものや、まだ増加傾向にあるものが見られた。今後、試験開始時の含水率や促進期間の検討を行う必要がある。

2) 耐候性

色差及び外観観察の試験結果から、著しい変化は見られなかった。

3) 温冷耐湿性

塗膜の外観及び厚さ変化率試験結果から、著しい変化は見られなかった。しかし、質量変化率では、大きなバラツキが見られた。その理由として、基準となる 0 サイクル時の質量は、耐候性処理後の質量であるため、耐候性処理中の散水により各試験体の含水に差が生じたものと思われる。

4) 湿潤曲げ

曲げ強度保持率は、100%～124%の範囲であり、すべての試験体種類において強度低下は見られなかった。

3.4.2 寒冷地を対象とした複合劣化

1) 促進中性化

すべての試験体で質量が増加した。試験体の質量変化率は、促進期間 4 週でほぼ恒量となったものや、まだ増加傾向にあるものが見られた。今後、試験開始時の含水率や促進期間の検討を行う必要がある。

2) 耐候性

種類 C-4 は、端部からひび割れが生じた。その他の試験体は、色差及び外観観察の結果から、著しい変化は見られなかった。

3) 耐凍結融解性

塗膜の外観観察結果から、種類 C-3、C-4、C-5、C-6、C-8、C-9、C-10、C-11 にひび割れが見られたが、塗膜のはく離は見られなかった。また、厚さ変化率は、各種類 2 体の平均で-0.09%～5.90%の範囲であった。これらの結果は、JIS A 5422 に規定される耐凍結融解性の性能を満たす結果であった。

4) 湿潤曲げ

曲げ強度保持率は、57%～105%の範囲であった。種類 C-9 や C-10 では、耐凍結融解性の厚さ変化率が大きい（厚さ変化率 5%程度）と曲げ強度保持率が低下する傾向が見られた。しかし、その他の試験体の厚さ変化率が 1%～2%程度と比較すると、曲げ強度保持率は種類別に 56%～94%であった。厚さ変化率と曲げ強度保持率の相関性は、試験体の種類により傾向が異なる結果であった。

第4章 窯業系サイディングの複合劣化の検証実験（その2：NYG）

4.1 実験概要

4.1.1 実験対象

実験対象とした窯業系サイディングは、一般地用 11 種類（G-1～G-11）、寒冷地用 20 種類（C-1～C-20）である。なお、これらのうち、一般地用の 7 種類（G-1～G7）及び寒冷地用の 11 種類（C-1～C-11）は、第 3 章において実験対象とした窯業系サイディングと同一の種類である。また、寒冷地用の C-18 は窯業系サイディングを下地として、これに陶磁器質系タイルを有機系弾性接着剤で張り仕上げしたものである。試験体の組成系と製法の組合せによる分類を表 4.1 に示す。

表 4.1 試験体の組成系と製法の組合せによる分類

	一般地用		寒冷地用	
	抄造	押出	抄造	押出
木繊維補強セメント板系			2	
繊維補強セメント板系	3		2	
繊維補強セメントけい酸カルシウム板系	5	3(1)*	4	12(9)*
	11(1)*		20(9)*	

□：該当する窯業系サイディングの製造はなし。

*：()内は中空品の内数を表す。

4.1.2 劣化因子項目と処理方法

1) 中性化

JIS A 1153（コンクリートの促進中性化試験方法）に準じて、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $(60 \pm 5)\%$ 、二酸化炭素濃度 $(5 \pm 0.2)\%$ の試験槽内に設置し、質量変化を測定した。

2) 耐候性

JIS A 5422 及び JIS A 1415（高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法）の 6.3 に規定された内容（以下、WOM）で 1000 時間照射後、表面のはく離、膨れ面積率、色差により評価した。また、実験対象 G-7、C-10 及び C-11 については WOM で 1000 時間照射後の他、光源にメタルハライドランプを用いた耐候性試験機（以下、SUV）で 200 時間照射後でも同様に評価し、一方 G-10 及び C-6 については WOM に替えて SUV で 120 時間照射のみとした。尚、種類表記について、SUV を用いて照射したものは G-*(SUV)、C-*(SUV) と表記した。実験対象と耐候性試験機の関係を表 4.2 に示す。

表 4.2 実験対象と耐候性試験機の関係

	一般地	寒冷地
WOM・1000h	G-1、G-2、G-3、G-4、G-5、 G-6、G-7、G-8、G-9、G-11	C-1、C-2、C-3、C-4、C-5、C-7、C-8、C-9、C-10、 C-11、C-12、C-13、C-14、C-15、C-16、C-17、 C-18、C-19、C-20
SUV・120h	G-10(SUV)	C-6(SUV)
SUV・200h	G-7(SUV)	C-10(SUV)、C-11(SUV)

3) 耐温冷耐湿性

JIS A 1437（建築用内装ボード類の耐湿性試験方法）の耐湿性 B 法に準じて、温度及び湿度変化を繰り返し、はく離面積率、厚さ変化率により評価した。

4) 耐凍結融解性

JIS A 5422 及び JIS A 1435（建築用外壁材料の耐凍害性試験方法）の 3.3 に規定された内容で、200 サイクル後、はく離面積率、厚さ変化率により評価した。

5) 上記複合劣化による強度低下

JIS A 1408（建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法）の飽水状態で曲げ試験を行い、無処理及び複合劣化後の曲げ強度を比較した。

4.1.3 実験日程

複合劣化の検証実験は、2010 年 8 月より開始し、2011 年 1 月に湿潤曲げまで終了、あるいは複合劣化処理を中途まで行った。実験工程を表 4.3 に示す。

表 4.3 実験工程

		2010 年												2011 年			
		7 月		8 月		9 月		10 月		11 月		12 月		1 月			
試験体準備																	
複合劣化	促進中性化処理																
	側面シール																
	耐候性																
	温冷耐湿性																
	耐凍結融解性																
	湿潤曲げ																

4.2 実験計画

4.2.1 一般地を対象とした複合劣化

1) 試験体

一般地用、厚さ 14～16mm、可能な限り平板（中実品又は中空品）、表面塗装有。

試験体寸法：長さ 150mm×幅 75mm。尚、試験装置の都合等により、一部は幅を小さくした。

試験体の切り出し方法：試験体の切り出しは各SWGメンバーで行い、複合劣化処理有・無で表面形状（模様）が同じになるように採取した。（図4.1参照）

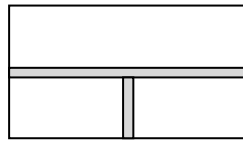


図 4.1 試験体の切り出し方法例

2) 一般地を対象とした複合劣化の処理条件

一般地を対象とした複合劣化の処理条件を表 4.4 に示す。

表 4.4 一般地を対象とした複合劣化の処理条件

			一般地		
			処理有	処理無	
処理順序	1	促進中性化 4 週	○	×	
	2	側面シール	○	×	
	3	耐候性(WOM)	1000h	○	×
		耐候性(SUV)	120h 又は 200h ^{*1}	○	×
	4	温冷耐湿性	200c	○	×
	5	湿潤曲げ		○	○
試験数	n 数		2 ^{*2}	2	
	種類		11	11	
	小計		21	22	

*1：G-7(SUV)は 200h 照射、G-10(SUV)は 120h 照射。

*2：11 種類のうち、1 種類（G-10(SUV)）は n=1。

3) 試験方法及び評価項目

①促進中性化

JIS A 1153 に準じて、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $(60 \pm 5)\%$ 、二酸化炭素濃度 $(5 \pm 0.2)\%$ の試験槽内に設置し、1 週間毎の質量変化を測定した。

②側面シール実施（側面シール方法）

- ・中実品：刷毛塗りエポキシ樹脂
- ・中空品：シラン系プライマー+シリコンシーラント（クリア）

上記シール材を使用し、4 側面をシールする。その際、表面及び裏面の外周部は、2mm 程度表裏面を覆うようにシールした。シール材硬化後、シール材を覆うようにアルミ箔テープを貼った。

③耐候性

WOM で 1000 時間照射後、表面のはく離、膨れ面積率、色差により評価した。また、処理有の実験対象 11 種類のうち G-7 については、4.1.2 2) に述べた通り、WOM 1000 時間照射の他、SUV200 時間照射後でも同様に評価し、一方、G-10 については SUV120

時間照射のみとした。尚、種類表記については、4.1.2 2)を参照のこと。

④ 温冷耐湿性

JIS A 1437（建築用内装ボード類の耐湿性試験方法）の耐湿性 B 法に準じて、温度及び湿度変化を繰り返し、はく離面積率、厚さ変化率により評価した。温冷耐湿性の繰り返し条件を図 4.2 に示す。

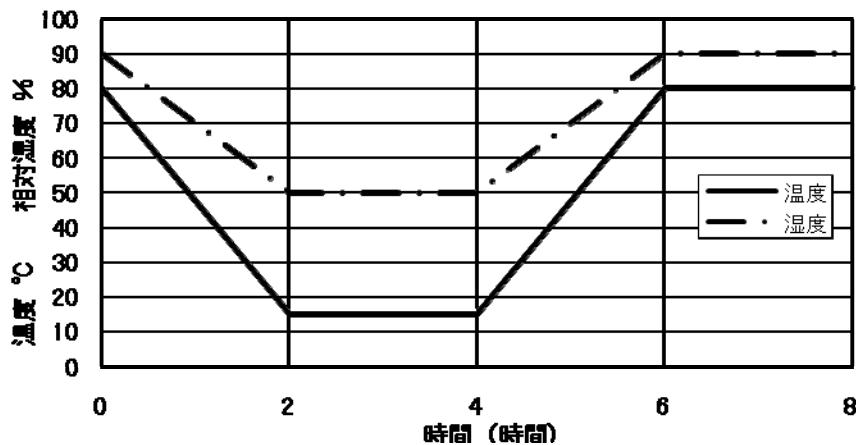


図 4.2 温冷耐湿性の繰り返し条件（1 サイクル）

⑤ 湿潤曲げ

JIS A 1408（建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法）の湿潤状態で曲げ試験を行い、無処理及び複合劣化後の曲げ強度を比較した。

- ・ 湿潤条件：吸水 48 時間、載荷面：表面、支持スパン：100mm、載荷速度：5mm/min
- ・ 曲げ強度算出の際の断面係数は、すべて長方形中実断面と仮定して計算した。
- ・ 破断面寸法の厚さは、破断面の最大と最小の平均値を使用した。

なお、複合劣化試験のうち、促進中性化試験は建材試験センターで行い、その後の試験は各 SWG メンバーで行った。

4.2.2 寒冷地を対象とした複合劣化

1) 試験体

寒冷地用、厚さ14～16mm、可能な限り平板（中実品又は中空品）、表面塗装有。

試験体寸法：長さ150mm×幅75mm。尚、試験装置の都合等により、一部は幅を小さくした。

試験体の切り出し方法：試験体の切り出しは各SWGメンバーで行い、複合劣化処理有・無で表面形状（模様）が同じになるように採取した。（図4.3参照）



図 4.3 試験体の切り出し方法例

2) 寒冷地を対象とした複合劣化の処理条件

寒冷地を対象とした複合劣化の処理条件を表 4.5 に示す。

表 4.5 寒冷地を対象とした複合劣化の処理条件

			寒冷地		
			処理有	処理無	
処理順序	1	促進中性化 4 週	○	×	
	2	側面シール	○	×	
	3	耐候性 (WOM)	1000h	○	×
		耐候性(SUV)	120h 又は 200h ^{*1}	○	×
	4	耐凍結融解性	200c ^{*2}	○	×
	5	湿潤曲げ		○	○
試験数	n 数		2 ^{*3}	2	
	種類		20	20	
	小計		39	40	

*1 : C-6(SUV)は 120h 照射、C-10(SUV)及び C-11(SUV)は 200h 照射。

*2 : C-18 (タイル張り仕様) は 300c まで実施。

*3 : 20 種類のうち、1 種類 (C-6(SUV)) は n=1。

3) 試験方法及び評価項目

①促進中性化

JIS A 1153 に準じて、温度 20±2℃、相対湿度(60±5)%、二酸化炭素濃度(5±0.2)% の試験槽内に設置し、1 週間毎の質量変化を測定した。

②側面シール実施 (側面シール方法)

- ・中実品：刷毛塗りエポキシ樹脂
- ・中空品：シラン系プライマー+シリコンシーラント (クリア)

上記シール材を使用し、4 側面をシールする。その際、表面及び裏面の外周部は、2mm 程度表裏面を覆うようにシールした。シール材硬化後、シール材を覆うようにアルミ箔テープを貼った。

③耐候性

WOM で 1000 時間照射後、表面のはく離、膨れ面積率、色差により評価した。また、処理有の実験対象 20 種類のうちの 2 種類 C-10 及び 11 については、4.1.2 2)に述べた通り、WOM 1000 時間照射の他、SUV200 時間照射後でも同様に評価し、一方、C-6 については SUV120 時間照射のみとした。尚、種類表記については、4.1.2 2)を参照のこと。

④耐凍結融解性

JIS A 5422 及び JIS A 1435 (建築用外壁材料の耐凍害性試験方法) の 3.3 に規定された内容で、200 サイクル後、はく離面積率、厚さ変化率により評価した。尚、実験対象 C-18 については、凍結融解処理を 300 サイクルまで行った。

⑤ 湿潤曲げ

JIS A 1408(建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法)の湿潤状態で曲げ試験を行い、無処理及び複合劣化後の曲げ強度を比較した。

- ・湿潤条件：吸水 48 時間、載荷面：表面、支持スパン：100mm、載荷速度：5mm/min
- ・曲げ強度算出の際の断面係数は、すべて長方形中実断面と仮定して計算した。
- ・破断面寸法の厚さは、破断面の最大と最小の平均値を使用した。

なお、複合劣化試験のうち、促進中性化試験は建材試験センターで行い、その後の試験は各 SWG メンバーで行った。

4.3 実験結果

4.3.1 一般地を対象とした複合劣化

1) 促進中性化

促進中性化による質量変化試験結果を表 4.6 及び図 4.4 に示す。

表 4.6 促進中性化による質量変化

用途	種類	番号	質量 g					質量変化率 %			
			初期値	促進 1 週	促進 2 週	促進 3 週	促進 4 週	促進 1 週	促進 2 週	促進 3 週	促進 4 週
一般地	G-1	1	178.5	187.0	189.6	189.6	189.3	4.76	6.22	6.22	6.05
		2	182.2	190.7	193.6	193.5	193.3	4.67	6.26	6.20	6.09
		平均	—					4.72	6.24	6.21	6.07
	G-2	1	227.9	241.2	243.4	246.2	246.1	5.84	6.80	8.03	7.99
		2	230.5	243.0	245.0	247.4	247.2	5.42	6.29	7.33	7.25
		平均	—					5.63	6.55	7.68	7.62
	G-3	1	180.2	183.2	185.3	185.4	184.9	1.66	2.83	2.89	2.61
		2	174.4	178.6	180.4	179.4	179.2	2.41	3.44	2.87	2.75
		平均	—					2.04	3.14	2.88	2.69
	G-4	1	169.0	178.8	180.3	180.9	181.2	5.80	6.69	7.04	7.22
		2	177.8	186.9	190.4	191.1	191.6	5.12	7.09	7.48	7.76
		平均	—					5.46	6.89	7.26	7.49
	G-5	1	203.1	207.7	208.2	208.3	208.3	2.26	2.51	2.56	2.56
		2	201.1	206.2	206.7	206.8	206.9	2.38	2.63	2.68	2.73
		平均	—					2.32	2.57	2.62	2.65
	G-6	1	204.4	207.5	207.6	207.7	207.6	1.52	1.57	1.61	1.57
		2	205.7	208.5	208.7	209.2	209.7	1.36	1.46	1.70	1.94
		平均	—					1.44	1.52	1.66	1.76
	G-7	1	182.6	188.3	189.7	192.3	193.2	3.12	3.89	5.31	5.81
		2	177.1	182.9	184.8	187.2	188.0	3.27	4.35	5.70	6.15
		平均	—					3.20	4.12	5.51	5.98
G-7 (SUV)	1	180.1	184.8	186.7	189.1	190.2	2.61	3.66	5.00	5.61	
	2	182.7	187.3	188.9	191.2	192.4	2.52	3.39	4.65	5.31	
	平均	—					2.57	3.53	4.83	5.46	
G-8	1	198.4	200.7	200.8	201.4	201.0	1.16	1.21	1.51	1.31	
	2	197.1	199.0	198.9	200.1	200.7	0.96	0.91	1.52	1.83	
	平均	—					1.06	1.06	1.52	1.57	
G-9	1	243.7	247.3	251.5	253.4	255.6	1.48	3.20	3.98	4.88	
	2	243.3	246.3	249.8	251.6	253.7	1.23	2.67	3.41	4.27	
	平均	—					1.36	2.94	3.70	4.58	
G-10 (SUV)	1	205.9	214.0	215.4	217.2	218.3	3.93	4.61	5.49	6.02	
	平均	—					—	—	—	—	
G-11	1	207.9	218.3	219.6	219.6	219.5	5.00	5.63	5.63	5.58	
	2	204.2	214.2	215.8	216.1	216.2	4.90	5.68	5.83	5.88	
	平均	—					4.95	5.66	5.73	5.73	

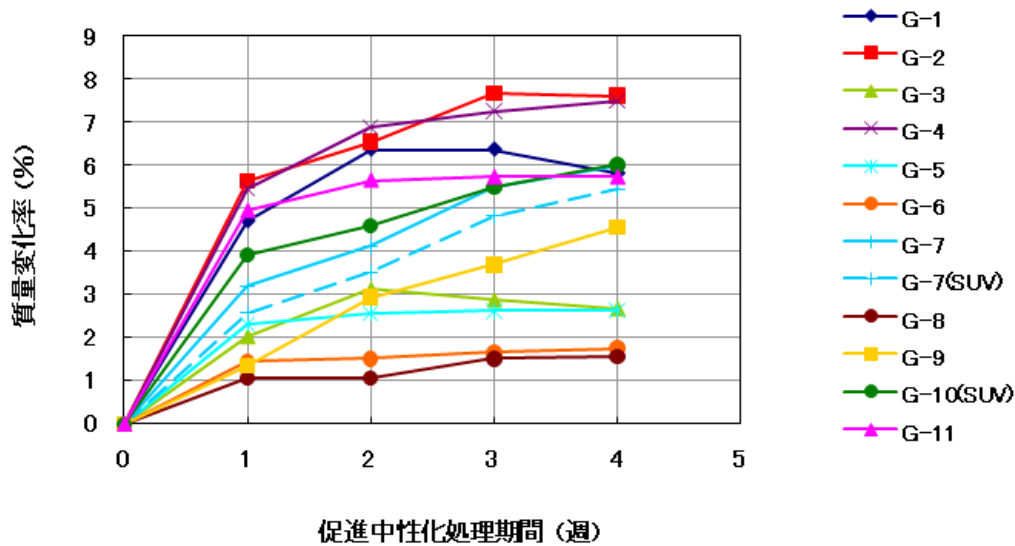


図 4.4 促進中性化による質量変化

2) 耐候性

耐候性試験結果を表 4.7 及び表 4.8 に示す。

表 4.7 耐候性試験結果 (色差)

用途	種類	試験片番号	測点	初期値			暴露後			色差		
				L *	a *	b *	L *	a *	b *	ΔE^*_{ab}	平均	総平均
一般地	G-1	*1	1	83.88	-0.54	2.81	83.57	-0.26	2.95	0.4	0.4	0.5
			2	83.79	-0.55	2.76	83.57	-0.25	2.90	0.4		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
		2	1	83.69	-0.58	2.72	83.44	-0.26	2.93	0.5	0.6	
			2	83.86	-0.54	2.76	83.39	-0.26	2.97	0.6		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
	G-2	1	1	65.46	-0.72	4.89	64.95	-0.68	4.92	0.5	0.5	0.4
			2	65.40	-0.70	4.89	64.89	-0.67	4.93	0.5		
			3	65.47	-0.70	4.90	64.90	-0.70	4.90	0.6		
		2	1	64.71	-0.68	4.92	64.96	-0.65	4.90	0.3	0.3	
			2	64.73	-0.66	4.90	64.98	-0.66	4.91	0.3		
			3	64.60	-0.70	4.92	64.90	-0.64	4.93	0.3		
	G-3	*1	1	82.64	1.93	9.11	82.72	1.88	9.17	0.1	0.1	0.2
			2	82.48	1.95	9.20	82.56	1.90	9.28	0.1		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
		2	1	83.07	1.94	9.00	82.83	1.88	9.12	0.3	0.3	
			2	82.92	1.96	9.10	82.66	1.90	9.22	0.3		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
	G-4	1	1	68.09	2.79	13.98	68.15	3.05	14.16	0.3	0.3	0.5
			2	67.92	2.83	14.02	67.79	3.06	13.97	0.3		
			3	67.91	2.79	13.86	67.65	3.05	13.94	0.4		
		2	1	67.95	2.84	13.97	67.46	3.02	14.00	0.5	0.6	
			2	68.25	2.83	14.03	67.60	3.04	13.97	0.7		
			3	68.44	2.84	14.13	67.82	3.02	13.94	0.7		

表 4.7(つづき) 耐候性試験結果 (色差)

用途	種類	試験片 番号	測点	初期値			暴露後			色差		
				L *	a *	b *	L *	a *	b *	ΔE^*_{ab}	平均	総平均
一般地	G-5	1	1	70.87	0.04	0.83	70.75	0.21	0.66	0.3	0.5	0.5
			2	71.84	0.01	0.77	71.62	0.17	0.67	0.3		
			3	71.01	0.04	0.74	70.23	0.28	0.53	0.8		
		2	1	71.93	-0.02	0.66	71.49	0.21	0.50	0.5	0.5	
			2	71.36	0.02	0.73	70.91	0.25	0.61	0.5		
			3	71.62	0.01	0.67	71.34	0.20	0.54	0.4		
	G-6	1	1	82.18	-0.46	9.43	82.15	-0.58	9.51	0.1	0.2	0.2
			2	82.13	-0.52	9.36	81.95	-0.57	9.44	0.2		
			3	82.22	-0.51	9.33	81.98	-0.55	9.46	0.3		
		2	1	82.33	-0.49	9.65	82.22	-0.57	9.63	0.1	0.1	
			2	81.62	-0.42	9.54	81.80	-0.54	9.66	0.2		
			3	82.14	-0.48	9.44	82.12	-0.57	9.51	0.1		
	G-7	1	1	77.24	-0.28	9.29	77.94	-0.34	9.37	0.7	0.3	0.3
			2	80.08	-0.35	9.56	79.78	-0.41	9.62	0.3		
			3	76.34	-0.21	9.17	76.31	-0.22	9.18	0.0		
		2	1	77.65	-0.32	9.43	77.84	-0.33	9.59	0.2	0.2	
			2	79.11	-0.22	9.33	79.05	-0.30	9.50	0.2		
			3	76.76	-0.24	9.24	76.78	-0.31	9.36	0.1		
	G-7 (SUV)	1	1	77.70	-0.20	9.42	76.98	-0.25	9.38	0.7	0.6	0.4
			2	79.78	-0.29	9.50	79.50	-0.32	9.51	0.3		
			3	77.69	-0.22	9.22	76.76	-0.25	9.15	0.9		
		2	1	79.54	-0.28	7.67	79.46	-0.32	7.77	0.1	0.2	
			2	79.65	-0.32	7.61	79.24	-0.32	7.73	0.4		
			3	78.97	-0.30	7.45	78.82	-0.31	7.38	0.2		
	G-8	1	1	26.18	-0.04	0.04	26.38	-0.17	0.15	0.3	0.3	0.3
			2	26.14	-0.16	0.04	26.50	-0.23	0.09	0.4		
			3	26.40	-0.02	-0.01	26.63	-0.18	0.05	0.3		
		2	1	26.28	-0.04	0.08	26.45	-0.34	0.17	0.4	0.2	
			2	26.30	-0.16	0.10	26.45	-0.28	0.13	0.2		
			3	26.16	-0.13	0.10	26.23	-0.24	0.11	0.1		
	*2 G-9	1	1	91.06	3.01	12.59	90.71	2.93	12.35	0.4	0.4	0.5
			2	—	—	—	—	—	—	—		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
2		1	91.06	3.00	12.63	90.64	2.94	12.35	0.5	0.5		
		2	—	—	—	—	—	—	—			
		3	—	—	—	—	—	—	—			
G-10 (SUV)	1	1	86.18	-1.65	4.90	86.04	-1.64	4.87	0.1	0.1	0.1	
		2	86.20	-1.65	5.11	86.01	-1.65	5.10	0.2			
		3	86.15	-1.68	4.82	86.12	-1.66	4.79	0.0			
G-11	1	1	84.55	-0.14	16.15	84.97	-0.28	16.10	0.4	0.2	0.4	
		2	84.86	-0.14	15.98	84.92	-0.19	16.16	0.2			
		3	84.79	-0.25	16.07	84.86	-0.28	16.19	0.1			
	2	1	84.24	-0.12	16.01	84.31	-0.56	15.54	0.6	0.5		
		2	84.47	-0.01	16.15	84.52	-0.61	15.93	0.6			
		3	84.18	-0.22	15.86	84.14	-0.39	15.84	0.2			

*1：測点は2箇所。

*2：測点は1箇所。

表 4.8 耐候性試験結果（質量変化及び外観観察）

用途	種類	はく離、膨れ面積率 %	備考
一般地	G-1	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	G-2	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	G-3	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	G-4	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	G-5	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	G-6	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	G-7	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	G-7 (SUV)	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	G-8	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	G-9	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	G-10 (SUV)	0	はく離、膨れは無かった。
	G-11	0	はく離、膨れは無かった。
0		はく離、膨れは無かった。	

3) 温冷耐湿性

温冷耐湿性試験結果を表 4.9 に示す。尚、試験結果は研究期間内で終了したもののみ記載する。

表 4.9 温冷耐湿性試験結果

用途	種類	サイクル	試験片 番号	塗膜 外観	厚さ mm					厚さ変化率 %	質量 g	質量変化率 %
					a	b	c	d	平均			
一般地	G-1	0	1	—	13.95	14.00	14.00	14.00	13.99	—	187.4	—
			2	—	14.00	14.10	14.10	14.00	14.05	—	191.4	—
		200	1	異常なし	13.95	14.00	14.00	14.00	13.99	0.00	191.2	2.0
			2	異常なし	14.00	14.10	14.10	14.00	14.05	0.00	198.5	3.7
		平均	—	—					0.00	—	2.9	
	G-4	0*1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		200	1	異常なし	13.81	13.65	13.87	13.88	13.80	—	196.2	—
			2	異常なし	13.82	13.94	13.86	13.96	13.90	—	194.5	—
		平均	—	—					—	—	—	
	G-5	0*1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		200	1	異常なし	15.53	15.28	15.61	15.71	15.53	—	224.2	—
			2	異常なし	15.42	15.60	15.25	15.40	15.42	—	221.9	—
		平均	—	—					—	—	—	
	G-7 (SUV)	0	1	—	14.86	—	14.80	—	14.62	—	191.44	—
			2	—	14.94	14.90	14.91	14.81	14.89	—	193.96	—
		200	1	異常なし	14.88	14.01	14.83	14.85	14.64	0.14	195.08	1.9
			2	異常なし	14.94	14.86	14.89	14.94	14.91	0.13	197.56	1.9
		平均	—	—					0.14	—	1.9	

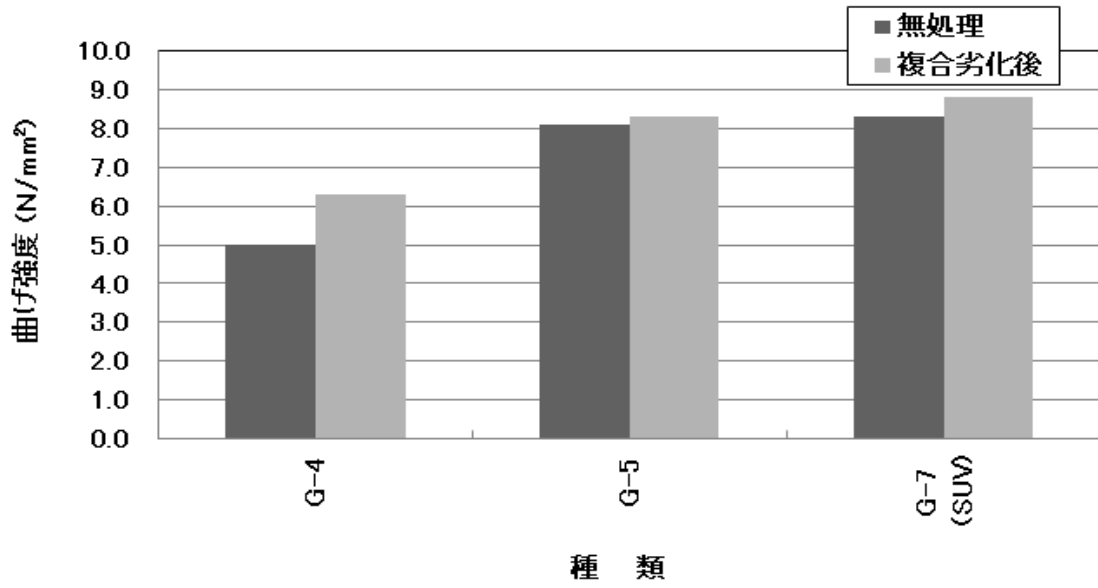
*1:未測定。

4) 湿潤曲げ

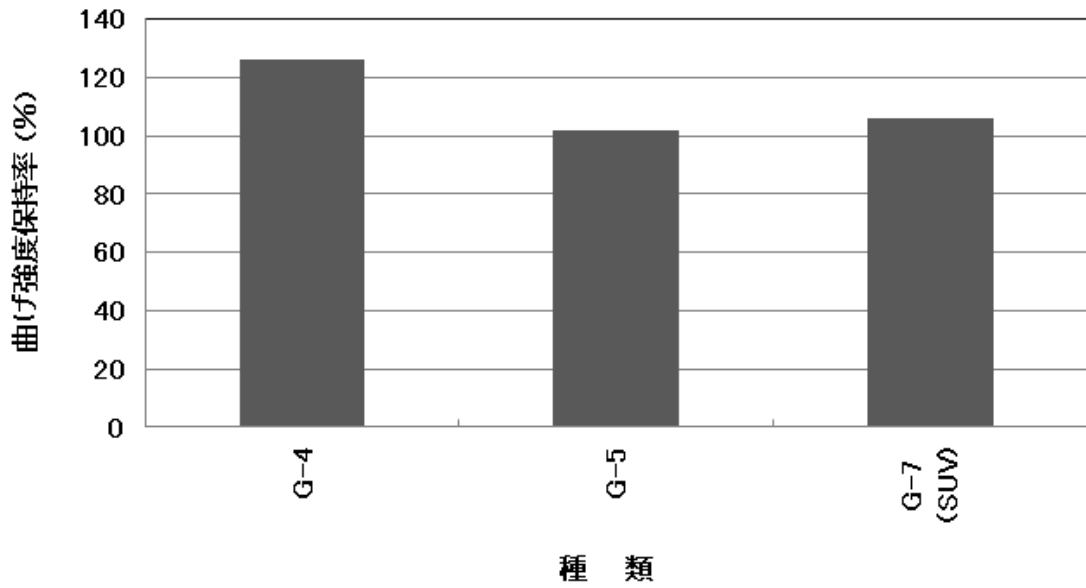
湿潤曲げ試験結果を表 4.10 及び図 4.5 に示す。尚、表 4.10 及び図 4.5 の NYG 試験結果については、研究期間内で終了したもののみ記載する。

表 4.10 湿潤曲げ試験結果

用途	種類	処理条件	試験片 番号	48h 吸水後 質量 g	破断面寸法 mm		最大荷重 N	曲げ強度 N/mm ²	
					幅	厚		測定値	平均/比率
一般地	G-4	無処理	1	183.4	60.4	13.7	376	5.0	5.0
			2	181.8	60.4	13.5	370	5.0	—
		複合劣化	1	196.2	60.1	13.8	463	6.1	6.3
			2	194.5	60.0	13.9	503	6.5	126
	G-5	無処理	1	213.0	60.4	15.5	799	8.3	8.1
			2	211.4	60.4	15.4	747	7.8	—
		複合劣化	1	224.2	59.9	15.7	832	8.5	8.3
			2	221.9	59.8	15.3	750	8.0	102
	G-7 (SUV)	無処理	1	238.4	75.2	12.7	700	8.7	8.3
			2	244.3	76.3	13.0	681	7.9	—
		複合劣化	1	249.9	76.9	13.3	682	7.5	8.8
			2	245.5	76.5	12.4	791	10.1	106

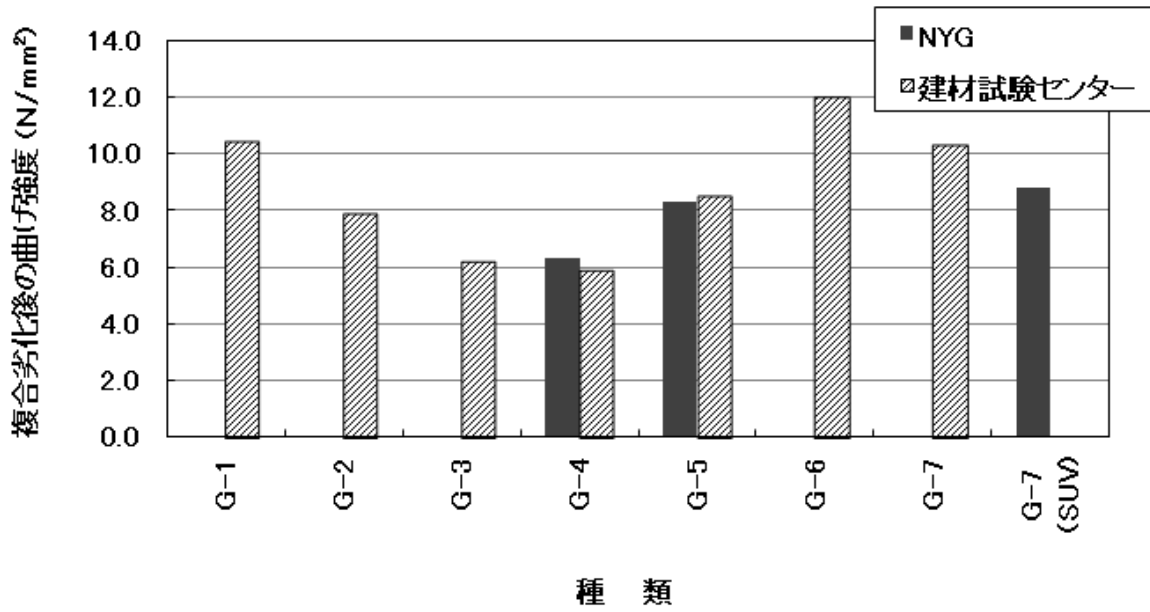


NYG 試験結果 (研究期間内で終了したもの)

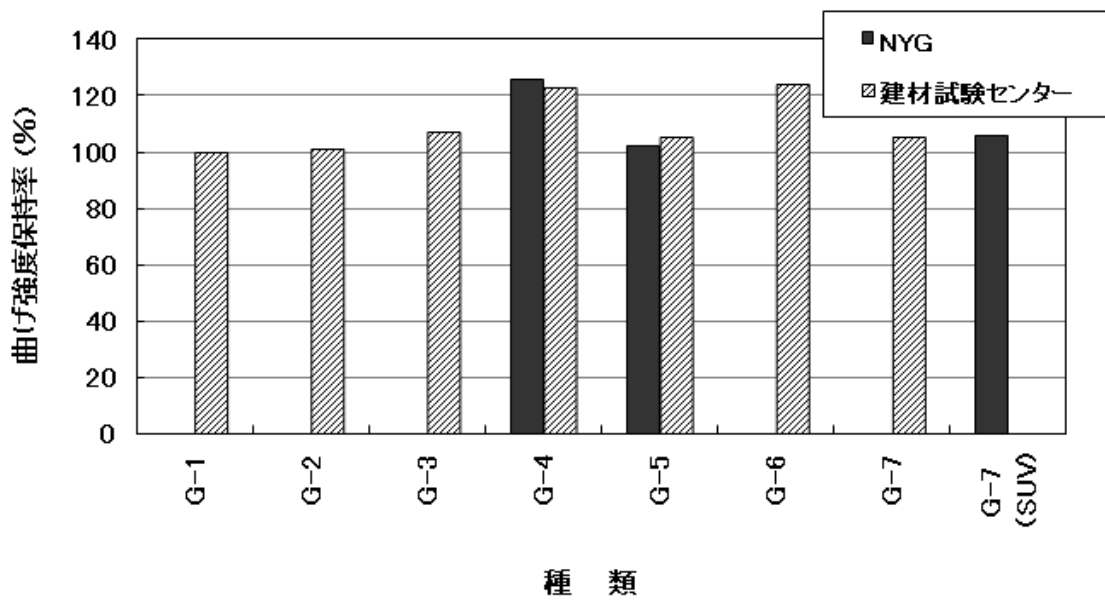


NYG 試験結果 (研究期間内で終了したもの)

図 4.5 湿潤曲げ試験結果 (一般地)



NYGと建材試験センターの結果比較



NYGと建材試験センターの結果比較

図 4.5 (つづき) 湿潤曲げ試験結果 (一般地)

4.3.2 寒冷地を対象とした複合劣化

1) 促進中性化

促進中性化による質量変化試験結果を表 4.11 及び図 4.6 に示す。

表 4.11 促進中性化による質量変化

用途	種類	番号	質量 g					質量変化率 %			
			初期値	促進 1 週	促進 2 週	促進 3 週	促進 4 週	促進 1 週	促進 2 週	促進 3 週	促進 4 週
寒冷地	C-1	1	196.4	199.6	200.0	201.3	200.2	1.63	1.83	2.49	1.93
		2	196.8	198.7	198.4	199.7	200.6	0.97	0.81	1.47	1.93
		平均	—					1.30	1.32	1.98	1.93
	C-2	1	229.3	234.0	234.4	234.2	234.2	2.05	2.22	2.14	2.14
		2	233.6	238.3	238.9	238.7	238.7	2.01	2.27	2.18	2.18
		平均	—					2.03	2.25	2.16	2.16
	C-3	1	201.0	211.2	213.2	214.4	214.6	5.07	6.07	6.67	6.77
		2	205.8	215.6	217.9	219.4	219.7	4.76	5.88	6.61	6.75
		平均	—					4.92	5.98	6.64	6.76
	C-4	1	242.3	246.2	250.5	252.6	254.7	1.61	3.38	4.25	5.12
		2	248.1	248.6	251.1	252.0	253.8	0.20	1.21	1.57	2.30
		平均	—					0.91	2.30	2.91	3.71
	C-5	1	184.5	193.2	193.3	192.8	191.9	4.72	4.77	4.50	4.01
		2	185.5	194.8	195.0	194.2	193.3	5.01	5.12	4.69	4.20
		平均	—					4.87	4.95	4.60	4.11
	C-6 (SUV)	1	210.1	218.4	219.8	221.6	222.7	3.95	4.62	5.47	6.00
		2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平均	—					3.95	4.62	5.47	6.00
	C-7	1	162.5	166.4	167.0	167.3	167.6	2.40	2.77	2.95	3.14
		2	165.5	169.3	169.7	170.0	170.2	2.30	2.54	2.72	2.84
		平均	—					2.35	2.66	2.84	2.99
	C-8	1	156.7	155.0	155.4	156.2	156.8	-1.08	-0.83	-0.32	0.06
		2	159.5	154.8	155.3	156.2	157.1	-2.95	-2.63	-2.07	-1.50
		平均	—					-2.02	-1.73	-1.20	-0.72
	C-9	1	206.8	216.7	217.6	217.6	217.6	4.79	5.22	5.22	5.22
		2	205.6	216.0	217.2	217.4	217.3	5.06	5.64	5.74	5.69
		平均	—					4.93	5.43	5.48	5.46
	C-10	1	181.3	187.4	189.0	192.1	193.7	3.36	4.25	5.96	6.84
2		187.5	192.0	193.0	196.0	197.3	2.40	2.93	4.53	5.23	
平均		—					2.88	3.59	5.25	6.04	
C-10 (SUV)	1	184.3	189.0	190.6	193.6	195.1	2.55	3.42	5.05	5.86	
	2	182.6	187.9	189.4	192.3	193.8	2.90	3.72	5.31	6.13	
	平均	—					2.73	3.57	5.18	6.00	
C-11	1	180.4	186.0	187.9	190.4	191.2	3.10	4.16	5.54	5.99	
	2	178.7	185.2	186.1	186.9	187.3	3.64	4.14	4.59	4.81	
	平均	—					3.37	4.15	5.07	5.40	
C-11 (SUV)	1	187.4	192.5	194.1	196.8	198.0	2.72	3.58	5.02	5.66	
	2	179.9	186.1	187.0	187.9	188.5	3.45	3.95	4.45	4.78	
	平均	—					3.09	3.77	4.74	5.22	
C-12	1	245.8	248.3	250.5	250.7	252.7	1.02	1.91	1.99	2.81	
	2	244.4	246.5	249.4	250.5	251.9	0.86	2.05	2.50	3.07	
	平均	—					0.94	1.98	2.25	2.94	
C-13	1	346.5	347.3	348.2	348.4	348.8	0.23	0.49	0.55	0.66	
	2	349.8	350.5	351.4	351.7	352.1	0.20	0.46	0.54	0.66	
	平均	—					0.22	0.48	0.55	0.66	
C-14	1	224.3	231.1	232.1	233.4	234.1	3.03	3.48	4.06	4.37	
	2	233.8	241.9	242.7	244.1	244.8	3.46	3.81	4.41	4.70	
	平均	—					3.25	3.65	4.24	4.54	
C-15	1	261.4	270.7	268.3	268.0	267.7	3.56	2.64	2.52	2.41	
	2	258.8	267.0	264.2	263.8	263.5	3.17	2.09	1.93	1.82	
	平均	—					3.37	2.37	2.23	2.12	
C-16	1	204.7	212.3	211.0	211.0	210.8	3.71	3.08	3.08	2.98	
	2	209.5	218.2	216.9	216.7	216.4	4.15	3.53	3.44	3.29	
	平均	—					3.93	3.31	3.26	3.14	

表 4.11(つづき) 促進中性化による質量変化

用途	種類	番号	質量 g					質量変化率 %			
			初期値	促進 1 週	促進 2 週	促進 3 週	促進 4 週	促進 1 週	促進 2 週	促進 3 週	促進 4 週
寒冷地	C-17	1	206.0	214.8	213.7	213.3	212.9	4.27	3.74	3.54	3.35
		2	206.5	215.2	214.3	213.9	213.6	4.21	3.78	3.58	3.44
		平均	—					4.24	3.76	3.56	3.40
	C-18	1	398.5	402.6	402.7	402.8	402.8	1.03	1.05	1.08	1.08
		2	390.6	394.3	394.4	394.5	394.5	0.95	0.97	1.00	1.00
		平均	—					0.99	1.01	1.04	1.04
	C-19	1	194.4	202.8	205.5	208.5	209.4	4.32	5.71	7.25	7.72
		2	198.2	204.4	206.5	209.8	211.4	3.13	4.19	5.85	6.66
		平均	—					3.73	4.95	6.55	7.19
	C-20	1	198.9	202.3	202.1	202.2	202.1	1.71	1.61	1.66	1.61
		2	204.1	206.8	206.7	206.9	206.9	1.32	1.27	1.37	1.37
		平均	—					1.52	1.44	1.52	1.49

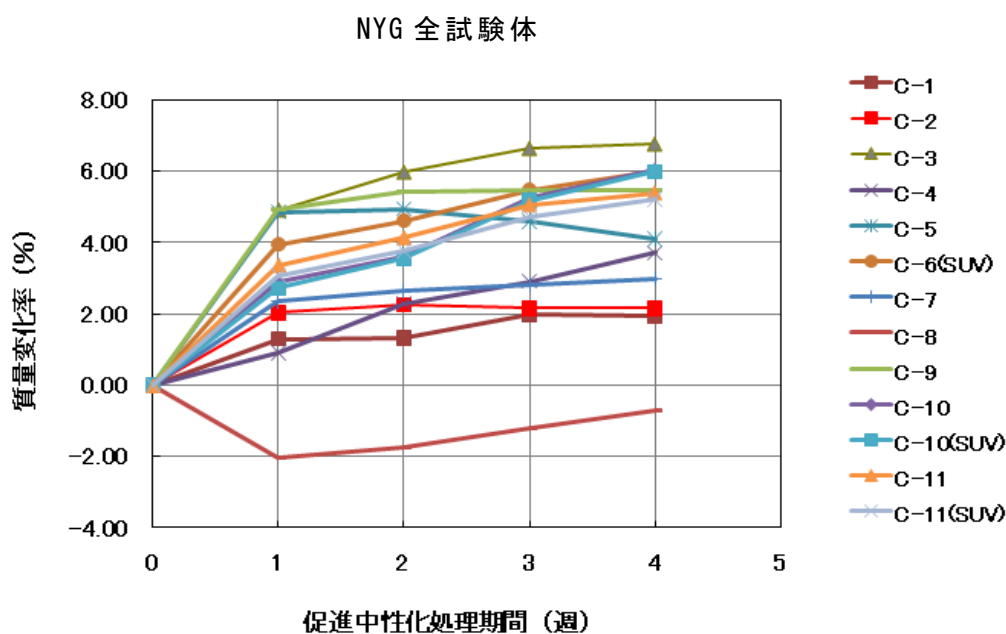
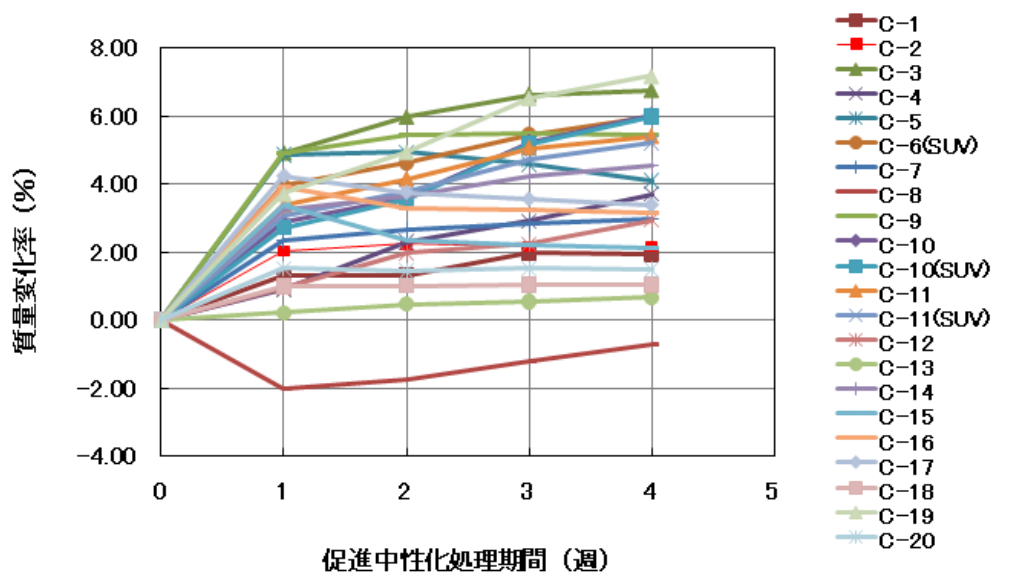


図 4.6 促進中性化による質量変化

2) 耐候性

耐候性試験結果を表 4.12 及び表 4.13 に示す。尚、試験結果は研究期間内で終了したもののみ記載する。

表 4.12 耐候性試験結果（色差）

用途	種類	試験片 番号	測点	初期値			暴露後			色差		
				L *	a *	b *	L *	a *	b *	Δ E * ab	平均	総平均
寒冷地	C-1	1	1	26.05	-0.05	0.06	26.40	-0.18	-0.05	0.4	0.3	0.3
			2	26.12	-0.10	0.02	26.45	-0.20	-0.03	0.3		
			3	26.15	-0.11	0.09	26.28	-0.29	-0.04	0.3		
		2	1	25.94	-0.08	0.05	26.20	-0.18	0.05	0.3	0.3	
			2	25.91	-0.10	0.06	26.28	-0.14	0.13	0.4		
			3	25.71	-0.07	0.04	26.00	-0.17	0.07	0.3		
	C-2 ^{*1}	1	1	82.21	-0.83	2.94	81.77	-0.65	2.85	0.5	0.6	0.6
			2	82.19	-0.84	2.93	81.63	-0.65	2.81	0.6		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
		2	1	82.13	-0.85	2.94	81.85	-0.65	2.84	0.4	0.5	
			2	82.27	-0.88	2.98	81.77	-0.67	2.83	0.6		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
	C-3	1	1	84.89	-0.42	8.88	84.64	-0.54	9.08	0.3	0.4	0.3
			2	84.86	-0.40	8.81	84.60	-0.55	9.01	0.4		
			3	84.89	-0.42	8.87	84.61	-0.55	9.08	0.4		
		2	1	84.45	-0.33	9.17	84.35	-0.30	9.14	0.1	0.1	
			2	84.46	-0.33	9.16	84.33	-0.35	9.13	0.1		
			3	84.47	-0.30	9.16	84.34	-0.35	9.13	0.1		
	C-4 ^{*2}	1	1	90.96	2.95	12.65	90.47	2.87	12.39	0.6	0.6	0.5
			2	—	—	—	—	—	—	—		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
		2	1	91.10	3.03	12.59	90.94	2.93	12.38	0.3	0.3	
			2	—	—	—	—	—	—	—		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
	C-5 ^{*1}	1	1	84.41	1.56	11.60	84.99	1.52	11.37	0.6	0.6	0.4
			2	84.34	1.59	11.69	84.94	1.55	11.48	0.6		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
		2	1	83.81	1.50	11.42	83.86	1.50	11.30	0.1	0.1	
			2	83.78	1.53	11.53	83.83	1.52	11.41	0.1		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
	C-6 (SUV)	1	1	86.25	-1.66	4.88	86.14	-1.65	4.87	0.1	0.0	0.0
			2	86.35	-1.67	4.78	86.37	-1.65	4.75	0.0		
			3	86.40	-1.64	4.80	86.38	-1.60	4.79	0.0		
	C-7	1	1	70.96	2.05	11.86	70.46	2.14	12.21	0.6	0.3	0.5
			2	70.52	20.16	11.85	70.69	2.17	11.82	0.2		
			3	72.17	1.97	11.25	72.31	1.98	11.36	0.2		
		2	1	72.87	1.82	10.45	72.85	1.97	10.86	0.4	0.6	
			2	71.72	2.07	11.33	71.61	2.16	12.12	0.8		
			3	72.05	1.93	11.19	71.72	2.01	11.49	0.5		
	C-8	1	1	82.35	0.68	6.01	82.51	0.79	5.94	0.2	0.2	0.3
			2	82.50	0.70	6.05	82.36	0.79	5.94	0.2		
			3	82.77	0.66	6.04	82.78	0.67	5.89	0.2		
		2	1	82.16	0.69	5.80	82.13	0.69	5.66	0.1	0.3	
			2	82.57	0.72	5.93	82.09	0.75	5.78	0.5		
			3	82.25	0.69	5.93	81.99	0.71	5.79	0.3		
	C-9	1	1	84.51	-0.14	16.15	83.99	-0.15	16.19	0.5	0.5	0.6
			2	84.66	-0.14	16.00	84.47	-0.10	16.35	0.5		
			3	84.16	-0.25	16.08	83.83	0.01	16.27	0.5		
2		1	84.04	-0.12	16.01	84.47	-0.17	16.18	0.5	0.6		
		2	84.49	-0.01	16.15	85.07	-0.09	16.40	0.6			
		3	83.18	-0.20	15.86	83.77	-0.24	16.08	0.6			
C-10	1	1	79.22	-0.03	12.38	78.96	0.03	12.64	0.4	0.4	0.4	
		2	77.94	0.00	12.39	77.69	0.00	12.67	0.4			
		3	78.11	0.02	12.39	77.86	0.00	12.65	0.4			
	2	1	78.85	0.02	12.36	78.69	0.03	12.65	0.3	0.3		
		2	77.96	0.02	12.31	77.83	-0.01	12.66	0.4			
		3	78.68	0.03	12.39	78.66	0.02	12.72	0.3			
C-10 (SUV)	1	1	78.68	-0.02	12.35	78.58	0.02	12.47	0.2	0.2	0.3	
		2	78.83	0.00	12.36	78.78	0.00	12.31	0.1			
		3	77.29	0.02	12.37	77.25	-0.02	12.22	0.2			
	2	1	78.84	0.06	12.39	78.88	0.04	12.31	0.1	0.3		
		2	77.77	0.01	12.36	77.56	0.02	12.25	0.2			
		3	78.58	0.05	12.47	78.65	0.07	11.87	0.6			

表 4.12(つづき) 耐候性試験結果 (色差)

用途	種類	試験片 番号	測点	初期値			暴露後			色差		
				L *	a *	b *	L *	a *	b *	ΔE^*_{ab}	平均	総平均
寒冷地	C-11	1	1	78.21	-0.28	9.09	78.65	-0.32	9.24	0.5	0.4	0.4
			2	79.43	-0.31	9.57	79.76	-0.38	9.71	0.4		
			3	76.11	-0.27	8.97	76.26	-0.39	9.02	0.2		
		2	1	79.26	-0.30	9.27	79.23	-0.39	9.50	0.2	0.3	
			2	76.68	-0.23	9.13	76.92	-0.29	9.27	0.3		
			3	77.29	-0.33	9.14	77.62	-0.36	9.21	0.3		
	C-11 (SUV)	1	1	80.21	-0.39	9.18	79.96	-0.36	9.30	0.3	0.4	0.3
			2	77.20	-0.27	9.20	76.65	-0.27	9.16	0.6		
			3	80.50	-0.38	9.25	80.33	-0.46	9.33	0.2		
		2	1	79.69	-0.41	9.35	79.40	-0.38	9.42	0.3	0.2	
			2	78.05	-0.26	9.26	78.07	-0.27	9.33	0.1		
			3	76.44	-0.34	9.07	76.45	-0.40	9.12	0.1		
	*1 C-14	1	1	78.22	3.78	13.41	78.43	3.79	13.51	0.2	0.2	0.4
			2	78.16	3.80	13.51	78.36	3.81	13.62	0.2		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
		2	1	77.05	3.88	13.69	77.69	3.86	13.69	0.6	0.6	
			2	77.00	3.90	13.78	77.63	3.88	13.80	0.6		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
	*1 C-15	1	1	84.40	1.23	8.32	84.24	1.21	8.31	0.2	0.2	0.2
			2	84.11	1.26	8.42	83.97	1.23	8.42	0.1		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
		2	1	84.28	1.24	8.32	84.35	1.24	8.32	0.1	0.1	
			2	83.98	1.26	8.42	84.06	1.26	8.43	0.1		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
	*1 C-16	1	1	43.51	1.59	3.32	42.83	1.61	3.47	0.7	0.7	0.7
			2	43.47	1.63	3.41	42.78	1.65	3.58	0.7		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
		2	1	42.17	1.35	2.84	41.58	1.43	2.94	0.6	0.6	
			2	42.15	1.34	2.94	41.53	1.47	3.04	0.6		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
	*1 C-17	1	1	84.04	0.94	8.14	84.15	0.94	8.09	0.1	0.1	0.1
			2	83.79	0.97	8.22	83.90	0.96	8.20	0.1		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
		2	1	84.02	0.88	8.02	84.14	0.88	7.96	0.1	0.1	
			2	83.79	0.91	8.12	83.90	0.91	8.07	0.1		
			3	—	—	—	—	—	—	—		
	C-18	1	1	75.61	1.06	11.53	75.25	1.14	11.02	0.6	0.7	0.6
			2	76.77	1.09	11.21	76.07	1.17	11.26	0.7		
			3	74.92	0.91	13.02	74.05	1.17	13.12	0.9		
		2	1	76.07	1.05	12.21	76.38	0.98	12.27	0.3	0.4	
			2	75.29	1.11	11.71	75.37	1.16	11.98	0.3		
			3	76.10	0.91	11.67	76.24	0.90	12.21	0.6		
	C-19	1	1	74.50	0.79	15.31	74.28	0.69	15.55	0.3	0.3	0.4
			2	74.69	0.82	15.43	74.46	0.78	15.66	0.3		
			3	73.50	0.82	15.23	73.45	0.67	15.58	0.4		
		2	1	74.66	0.83	15.42	74.58	0.76	15.66	0.3	0.5	
			2	74.25	0.80	15.38	74.28	0.71	15.69	0.3		
			3	73.49	0.76	15.20	72.67	0.73	15.30	0.8		
C-20	1	1	82.08	-0.56	9.27	81.90	-0.61	9.35	0.2	0.4	0.5	
		2	81.85	-0.53	9.31	81.54	-0.58	9.40	0.3			
		3	81.79	-0.55	9.25	81.17	-0.58	9.26	0.6			
	2	1	82.02	-0.52	9.37	81.27	-0.57	9.32	0.8	0.5		
		2	82.14	-0.55	9.31	82.36	-0.60	9.42	0.3			
		3	81.96	-0.54	9.31	82.21	-0.62	9.33	0.3			

*1：測点は2箇所。

*2：測点は1箇所。

表 4.13 耐候性試験結果（質量変化及び外観観察）

用途	種類	はく離、膨れ面積率 %	備考
寒冷地	C-1	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-2	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-3	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-4	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-5	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-6 (SUV)	0	はく離、膨れは無かった。
	C-7	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-8	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-9	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-10	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-10 (SUV)	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-11	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-11 (SUV)	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-14	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-15	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-16	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-17	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-18	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-19	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。
	C-20	0	はく離、膨れは無かった。
		0	はく離、膨れは無かった。

3) 耐凍結融解性

耐凍結融解性試験結果を表 4.14 に、塗膜、外観に変化のあった C-9 の状況を写真 4.1 示す。尚、試験結果は研究期間内で終了したもののみ記載する。C-9 の表面に生じた塗膜クラックは非常に軽微なもので、写真での識別は困難であった。

表 4.14 耐凍結融解性試験結果

用途	種類	サイクル	番号	塗膜 外観	厚さ (24h 吸水後基準) mm					厚さ 変化率 %	24h 吸水後基準	
					a	b	c	d	平均		質量 g	変化率 %
寒冷地	C-1	0	1	—	13.53	13.48	13.48	13.46	13.49	—	193.6	—
			2	—	13.41	13.53	13.54	13.56	13.51	—	194.5	—
		200	1	異状なし	13.54	13.46	13.48	13.48	13.49	0.00	247.4	27.8
			2	異状なし	13.45	13.55	13.55	13.59	13.54	0.22	247.2	27.1
			平均	—	—					0.11	—	27.5
	C-2	0	1	—	15.55	15.45	15.40	15.50	15.48	—	238.7	—
			2	—	15.50	15.55	15.80	15.90	15.69	—	244.1	—
		200	1	異状なし	15.60	15.50	15.45	15.55	15.53	0.32	293.2	22.8
			2	異状なし	15.55	15.60	15.85	15.95	15.74	0.32	297.3	21.8
			平均	—	—					0.32	—	22.3
	C-3	0	1	—	16.07	15.94	—	—	16.01	—	153.4	—
			2	—	16.35	16.11	—	—	16.23	—	160.4	—
		200	1	異状なし	16.07	15.95	—	—	16.01	0.00	163.7	6.71
			2	異状なし	16.35	16.11	—	—	16.23	0.00	178.4	11.2
			平均	—	—					0.00	—	9.0
	C-6 (SUV)	0	1	—	15.96	15.96	15.94	15.95	15.95	—	263.3	—
			2	—	15.92	15.94	15.95	15.95	15.94	-0.06	279.1	6.0
		200	平均	—	—					—	—	—
	C-7	0	1	—	16.07	16.02	15.97	15.98	16.01	—	178.6	—
			2	—	16.03	15.99	15.94	16.01	15.99	—	181.3	—
		200	1	異状なし	16.13	16.27	16.13	15.98	16.13	0.75	186.2	4.3
			2	異状なし	16.13	16.12	15.98	16.13	16.09	0.63	188.9	4.2
			平均	—	—					0.69	—	4.3
	C-8	0	1	—	13.88	13.92	13.78	13.87	13.86	—	164.5	—
			2	—	13.93	13.42	13.79	13.48	13.66	—	162.6	—
		200	1	異状なし	14.07	14.03	13.82	13.87	13.95	0.65	167.0	1.5
			2	異状なし	14.13	13.51	13.79	13.52	13.74	0.59	165.4	1.7
			平均	—	—					0.62	—	1.6
	C-9	0	1	—	14.73	14.76	14.72	15.01	14.81	—	262.1	—
			2	—	14.65	14.55	14.83	14.89	14.73	—	261.7	—
200		1	ひび割れ(軽微)	15.54	15.90	15.66	15.95	15.76	6.41	279.5	6.6	
		2	層間はく離	15.63	15.78	15.55	15.85	15.70	6.59	280.2	7.1	
		平均	—	—					6.50	—	6.9	
C-10	0	1	—	14.48	14.18	14.64	14.64	14.49	—	222.6	—	
		2	—	14.79	14.60	14.79	14.70	14.72	—	262.3	—	
	200	1	異状なし	14.48	14.14	14.60	14.57	14.45	-0.28	258.3	16.0	
		2	シール不良異常値	15.93	15.54	16.04	15.56	15.77	7.13	285.6	8.9	
		平均	—	—					3.43	—	12.4	
C-10 (SUV)	0	1	—	15.24	15.08	15.08	15.22	15.16	—	202.3	—	
		2	—	14.77	14.77	14.59	14.51	14.66	—	199.9	—	
	200	1	異状なし	15.12	15.01	15.01	15.21	15.09	-0.46	235.6	16.4	
		2	異状なし	14.64	14.58	14.59	14.55	14.59	-0.48	219.4	9.7	
		平均	—	—					-0.47	—	13.1	

表 4.14(つづき) 耐凍結融解性試験結果

用途	種類	サイクル	番号	塗膜 外観	厚さ (24h 吸水後基準) mm					厚さ 変化率 %	24h 吸水後基準	
					a	b	c	d	平均		質量 g	変化率 %
寒冷地	C-11	0	1	—	14.51	14.13	14.44	14.55	14.41	—	244.2	—
			2	—	14.52	14.51	13.71	14.41	14.29	—	243.8	—
		200	1	異状なし	15.13	14.30	14.78	15.11	14.83	2.91	257.1	5.3
			2	異状なし	14.91	14.79	14.00	14.57	14.57	1.96	255.6	4.9
			平均	—	—					2.44	—	5.1
		C-11 (SUV)	0	1	—	14.68	14.02	14.23	14.46	14.35	—	218.4
	2			—	14.58	14.56	14.64	14.49	14.57	—	210.8	—
	200		1	異状なし	14.82	14.09	14.28	14.73	14.48	0.91	256.0	17.2
			2	異状なし	14.62	14.56	14.65	14.65	14.62	0.34	253.6	20.3
			平均	—	—					—	—	18.8
	*1 C-18		0	1	—	12.88	12.83	12.91	12.93	12.89	—	398.5
		2		—	13.01	12.91	12.92	12.92	12.94	—	390.6	—
		300	1	異状なし	13.01	12.93	13.02	12.95	12.98	0.70	434.5	9.0
			2	異状なし	13.11	13.01	13.07	13.06	13.06	0.93	428.1	9.6
			平均	—	—					0.82	—	9.3
		C-19	0	1	—	14.76	14.50	14.69	14.75	14.68	—	223.7
	2			—	14.37	14.67	13.93	14.64	14.40	—	240.8	—
	200		1	異状なし	14.67	14.45	14.65	14.60	14.59	-0.61	234.7	4.9
			2	異状なし	14.37	14.66	13.88	14.56	14.37	-0.21	263.9	9.6
			平均	—	—					-0.41	—	7.3
	C-20		0	1	—	15.86	15.83	15.89	15.89	15.87	—	227.8
		2		—	16.05	16.18	16.10	16.15	16.12	—	269.4	—
		200	1	異状なし	15.81	15.77	15.84	15.82	15.81	-0.38	247.9	8.8
			2	異状なし	16.35	16.42	16.34	16.32	16.36	1.49	290.6	7.9
		平均	—	—					0.56	—	8.4	

*1 : タイル張り仕様 300 サイクル実施。

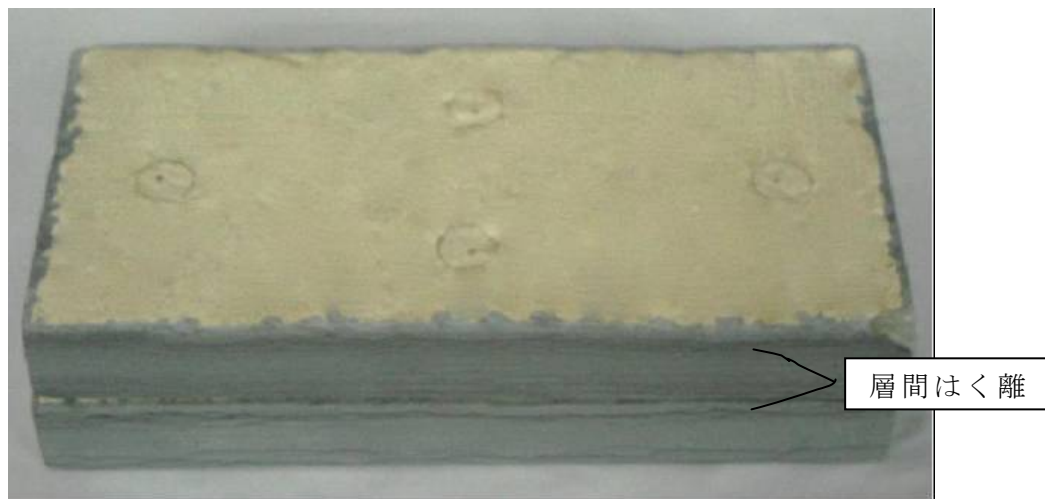


写真 4.1 種類 C-9 の凍結融解試験後の状況
(○ : 厚さの測点マーク)

4) 湿潤曲げ

湿潤曲げ試験結果を表 4.15 及び図 4.7 に示す。尚、表 4.15 及び図 4.7 の NYG 試験結果については、研究期間内で終了したもののみ記載する。

表 4.15 湿潤曲げ試験結果

用途	種類	処理条件	試験片 番号	48h 吸水後 質量 g	破断面寸法		最大荷重 N	曲げ強度 N/mm ²	
					幅	厚		測定値	平均/比率
寒冷地	C-1	無処理	1	226.9	75.4	13.5	1130	12.3	12.5
			2	219.0	74.9	13.5	1160	12.7	—
		複合劣化	1	249.0	75.2	13.6	1080	11.6	11.6
			2	249.2	75.1	13.6	1070	11.6	93
	C-2	無処理	1	257.3	75.2	15.7	1779	14.4	13.8
			2	257.9	75.5	15.8	1662	13.2	—
		複合劣化	1	271.9	75.5	15.6	1146	9.4	9.4
			2	273.4	75.5	15.7	1151	9.3	68
	C-3	無処理	1	156.4	49.1	16.4	311	3.5	4.4
			2	165.8	49.9	16.3	464	5.2	—
		複合劣化	1	172.2	53.2	16.2	641	6.9	6.5
			2	182.7	53.1	16.2	568	6.1	148
	C-6 (SUV)	無処理	1	269.6	78.1	16.2	1160	8.5	8.5
			2	262.6	76.4	16.2	1140	8.5	—
		複合劣化	1	285.0	76.1	16.0	1210	9.3	9.3
			2	—	—	—	—	—	109
	C-7	無処理	1	178.3	60.4	15.7	614	6.2	6.3
			2	174.6	60.4	15.6	613	6.3	—
		複合劣化	1	186.2	59.9	16.0	736	7.2	7.4
			2	188.9	60.1	15.8	754	7.5	117
	C-8	無処理	1	160.8	60.5	13.4	503	6.9	6.5
			2	161.6	60.4	14.0	485	6.1	—
		複合劣化	1	167.0	60.1	14.0	423	5.4	5.5
			2	165.4	60.1	14.1	451	5.6	85
	C-9	無処理	1	253.8	75.3	14.8	887	8.1	8.1
			2	255.6	75.3	15.1	911	8.0	—
		複合劣化	1	282.3	75.3	15.3	541	4.6	4.6
			2	282.9	75.1	15.5	551	4.6	57
	C-10	無処理	1	252.4	75.2	14.7	750	6.9	7.4
			2	244.1	75.2	14.1	789	7.9	—
		複合劣化	1	258.6	75.3	14.7	715	6.6	5.4
			2	286.2	76.9	15.5	518	4.2	73
C-10 (SUV)	無処理	1	252.4	75.2	14.7	750	6.9	7.4	
		2	244.1	75.2	14.1	789	7.9	—	
	複合劣化	1	238.4	74.1	15.1	916	8.2	8.4	
		2	220.5	74.4	14.6	902	8.5	114	
C-11	無処理	1	235.9	76.0	12.7	724	8.8	9.4	
		2	230.8	77.0	12.7	815	9.9	—	
	複合劣化	1	255.0	75.5	13.7	506	5.4	5.5	
		2	254.2	76.3	13.7	534	5.6	59	
C-11 (SUV)	無処理	1	235.9	76.0	12.7	724	8.8	9.4	
		2	230.8	77.0	12.7	815	9.9	—	
	複合劣化	1	257.9	77.3	13.6	586	6.1	6.3	
		2	251.4	76.8	13.3	593	6.5	67	
C-18	無処理	1	406.3	75.0	12.9	1120	13.5	14.3	
		2	411.2	74.2	12.5	1160	15.0	—	
	複合劣化	1	434.5	74.5	13.0	1130	13.5	13.9	
		2	428.1	76.2	12.9	1200	14.2	97	
C-19	無処理	1	251.9	75.8	14.3	922	8.9	9.0	
		2	251.6	75.3	14.4	925	9.0	—	
	複合劣化	1	235.6	75.2	14.4	1047	10.1	9.2	
		2	265.0	75.8	14.7	899	8.2	102	
C-20	無処理	1	232.8	76.2	14.0	1024	10.2	9.9	
		2	240.6	76.4	14.2	987	9.5	—	
	複合劣化	1	241.6	77.8	14.1	993	9.6	8.7	
		2	280.2	77.6	14.8	864	7.7	88	

注：①断面係数は、すべて長方形中実断面として計算。

②破断面寸法の厚さは、破断面の最大と最小の平均値。

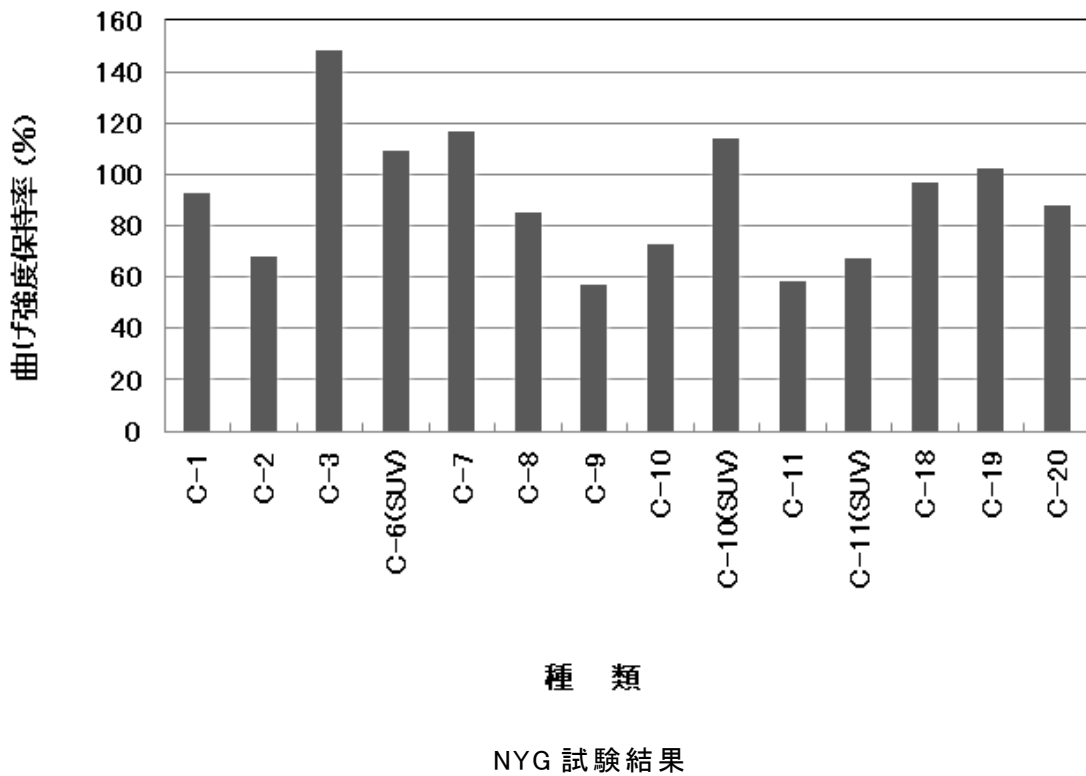
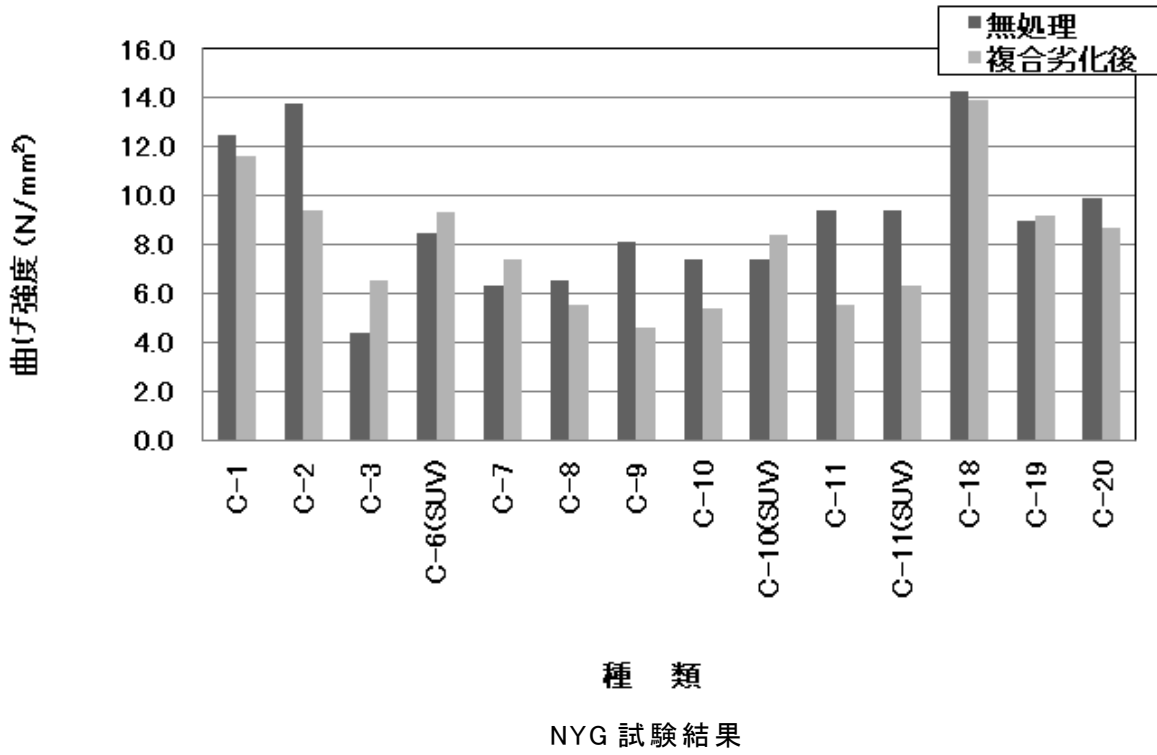
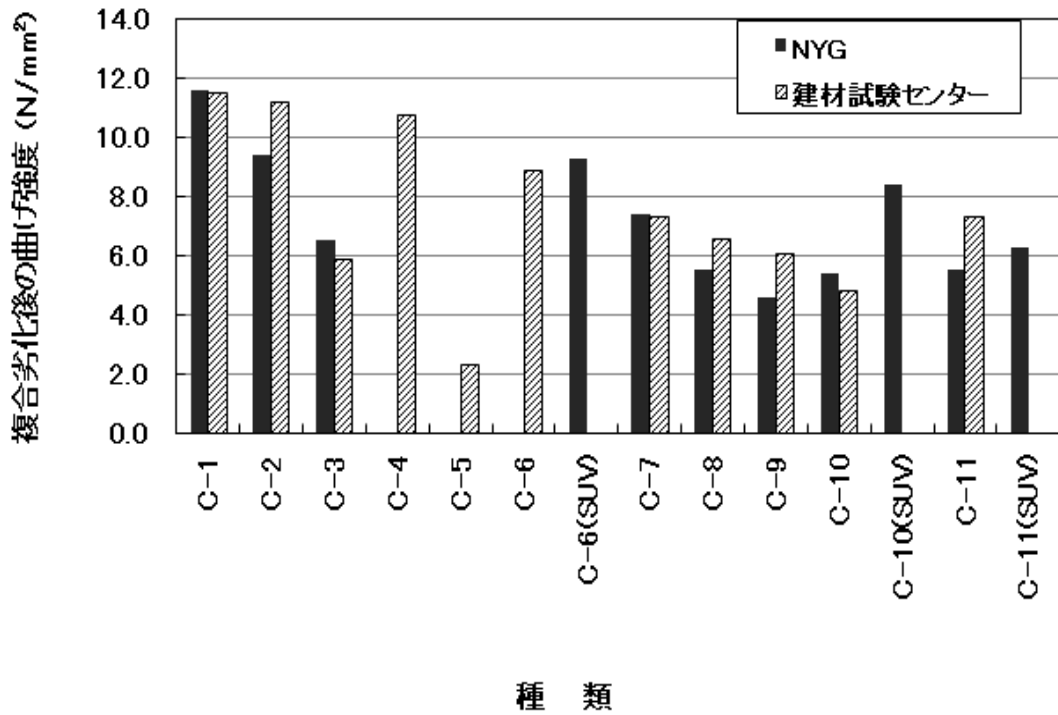
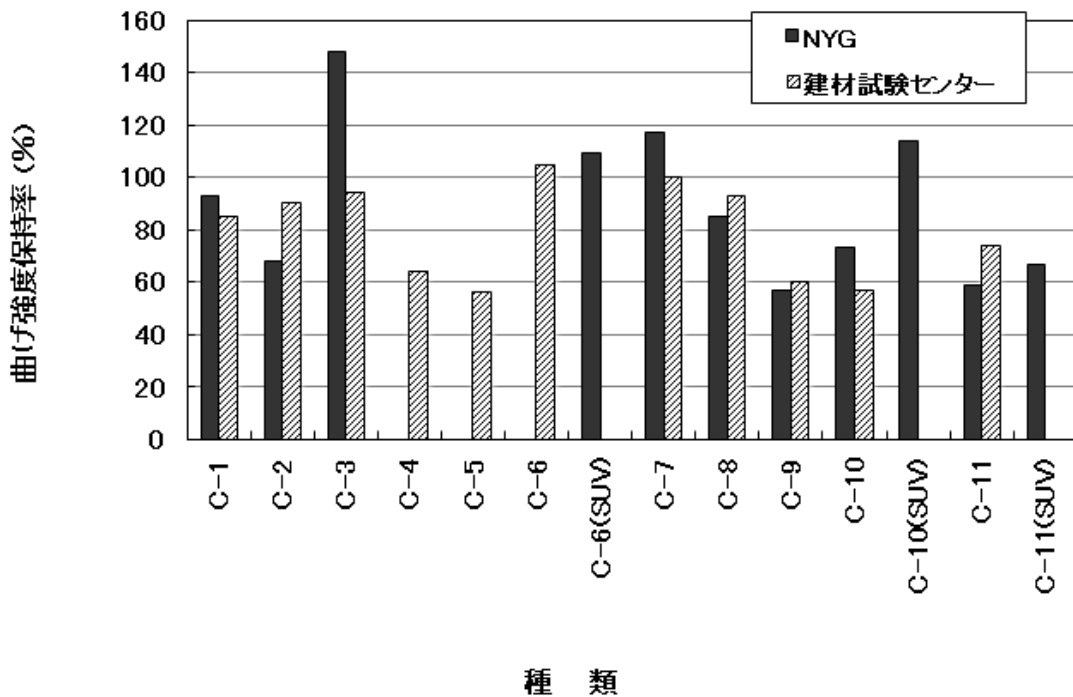


図 4.7 湿潤曲げ試験結果 (寒冷地)



NYGと建材試験センターの結果比較



NYGと建材試験センターの結果比較

図 4.7 (つづき) 湿潤曲げ試験結果 (寒冷地)

4.4 まとめ

本試験結果を一般地と寒冷地に分けて以下にまとめる。

4.4.1 一般地を対象とした複合劣化

1) 促進中性化

初期に対してすべての試験体で質量は増加した。試験体の質量変化率は、促進期間 4 週でほぼ恒量となったものや、まだ増加傾向にあるものが見られた。

2) 耐候性

試験が終了したものについて、色差及び外観観察の試験結果から、著しい変化は見られなかった。第 3 章の建材試験センターにおける結果（以下、建材試験センターの結果）との対比において、種類 G-4 は相対的に多少大きな色差の差異を示したが、その他についてはほとんど差異はなかった。また、種類 G-7 について、WOM と SUV の結果を見ると、両者はほぼ同じ色差を示した。

3) 温冷耐湿性

試験が終了したものについて、外観の異状は認められなかった。種類 G-1 の厚さ変化率及び質量変化率は建材試験センターの結果とほぼ同様の値を示した。また、種類 G-7(SUV)については、質量は温冷耐湿処理によって増加したが、建材試験センターの結果（耐候性は WOM）では減少しており、この差異については種類 G-7 の結果を待って NYG のなかで別途対比、考察を行う。なお、種類 G-4 及び G-5 については、温冷耐湿処理前の厚さ及び質量が測定できておらず、厚さ変化率及び質量変化率は不明である。

4) 湿潤曲げ

試験が終了したものすべてにおいて、曲げ強度は増加し、曲げ強度保持率は 102～126 であった。建材試験センターの結果と比較すると、種類 G-7(SUV)も含めて、両者の曲げ強度及び曲げ強度保持率はともにほぼ同程度の値を示した。

4.4.2 寒冷地を対象とした複合劣化

1) 促進中性化

種類 C-8 で質量が減少した他は、すべての試験体で質量が増加した。試験体の質量変化率は、促進期間 4 週でほぼ恒量となったものや、まだ増加傾向にあるものが見られた。

種類 C-8 の試験体は建材試験センター、NYG とともに同 Lot、かつ同一の板体から作製されたものである。NYG の試験体のサイズは SWG メンバーの試験装置の都合上、幅 60mm × 長さ 150mm としたが、両者の初期の質量（平均）は建材試験センター：150.3g、NYG：158.1g と、NYG の方が大きくなっている。未測定ではあるが、NYG の試験体は何らかの原因で促進中性化前の初期含水率が高くなっており、このために促進 1 週めで質量が減少したと推察される。このことから、促進中性化にあたって乾燥、調湿といった前処理を行うなど、初期含水率に留意する必要も示唆される。

2) 耐候性

色差及び外観観察の試験結果から、著しい変化は見られなかった。建材試験センターの結果との比較では、種類 C-1 の色差（平均）が建材試験センター：1.8 に対して 0.3、また種類 C-4 の色差（平均）が建材試験センター：1.2 に対して 0.5 となり、それぞれ 1.5 及び 0.7 の差異があったが、その他について色差の差異はほとんどなかった。また、種類 C-10 及び C-11 において、WOM と SUV の相違による色差の差異は見られなかった。

尚、中性化前から湿潤曲げ（48時間吸水後）までの試験体の質量（平均）の推移を見ると、図 4.8 に示すようになり、SUV による種類 C-6 が他の WOM による種類と同様の質量変化を示したのに対して、種類 C-10 及び C-11 は、WOM に対して SUV では耐候性試験中の質量増加が相対的に小さい傾向を示した。

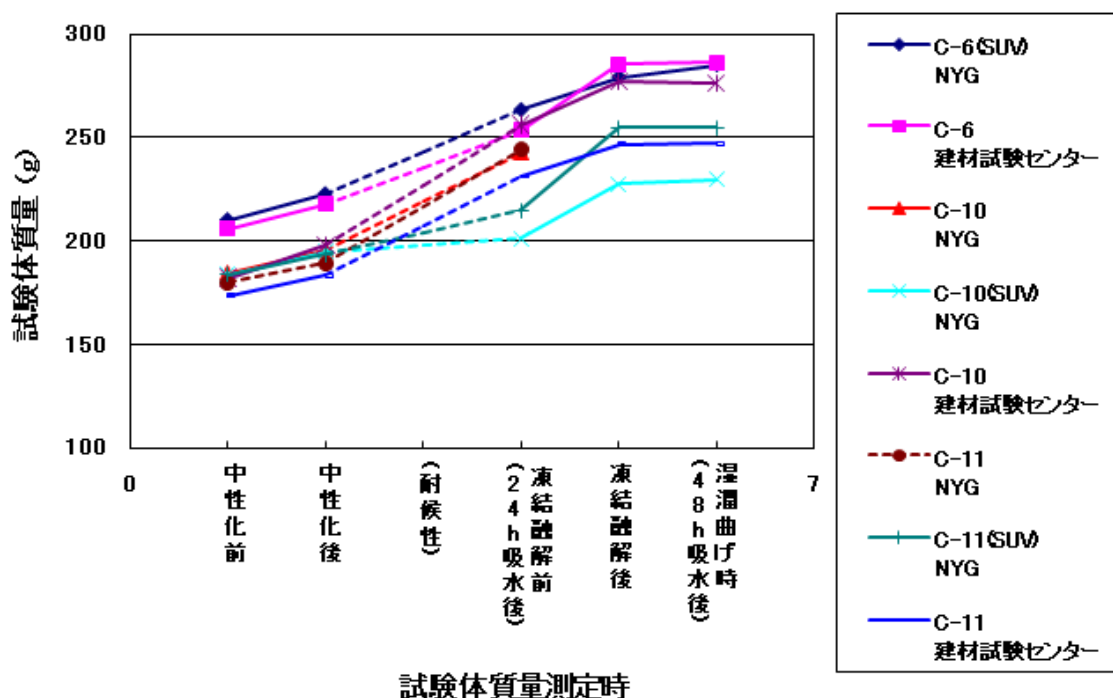


図 4.8 複合劣化処理段階における試験体の質量変化（寒冷地）

種類 C-6 と、種類 C-10(SUV)、C-11(SUV)それぞれに用いた SUV は同一メーカー、かつ同一の形式であるが、SUV については現在 JIS の規定がなく、今回の試験時の条件は表 4.16 に示すように試料面紫外線強度と照射時間が異なっており、この条件の相違が上記の質量変化に影響を及ぼしたことも考えられる。

表 4.16 複合劣化処理段階における試験体の質量変化（寒冷地）

	種類 C-6	種類 C-10、C-11
試料面紫外線強度(mW/cm ²)	90	100
試験体距離(mm)	240 (光源～試験体表面)	240 (光源～試験体表面)
ブラックパネル温度(°C)	63±2 (照射時)	63±2 (照射時)
湿度(%RH)	50(照射時)	50(照射時)
	100(結露時)	100(結露時)
サイクル	照射 6h→シャワー120s→ 結露 2h→シャワー120s	照射 6h→シャワー10s→ 結露 2h→シャワー10s
照射時間(h)	120(15cycle)	200(25cycle)

3) 耐凍結融解性

試験が終了したものについて、外観観察の試験結果から、種類 C-9 でひび割れ（ごく軽微）及び層間はく離が見られた。また、種類 C-10 は 2 体で結果のばらつきが大きかったが、試験体 No.2 はシール不良による異常値と思われる。建材試験センターの結果においてひび割れが複数の種類で見られたことに比較すると、塗膜外観において異なる傾向を示した。

4) 湿潤曲げ

試験が終了したものの曲げ強度保持率は 57～148 の範囲であった。種類 C-3 の曲げ強度保持率が 148 と、他に比べて大きな値を示した。種類 C-3 の複合劣化処理をした試験体の曲げ強度は平均で 6.5N/mm^2 で、建材試験センターの結果 (5.8N/mm^2) と近い値を示すが、一方で無処理では建材試験センターの結果 (6.2N/mm^2) に対して 4.4N/mm^2 と低く、これは No.1 試験体の曲げ強度が 3.5N/mm^2 と極めて低いことに起因している。種類 C-3 は耐候性試験機の都合上、試験体の幅を 50mm 程度に小さくしており、さらに表面の柄の影響を受けて無処理の曲げ強度が低くなり、曲げ強度保持率が特異な値を示した可能性がうかがえる。種類 C-3 の無処理 No.1 試験体の曲げ試験後の状況を写真 4.2 に示す。上記 C-3 を除くと、曲げ強度保持率は 57～117% の範囲であり、曲げ強度とともに建材試験センターの結果と概ね近い値を示した。



写真 4.2 種類 C-3 無処理 No.1 試験体の曲げ試験後の状況

第5章 窯業系サイディングの炭酸化による物性変化確認実験

5.1 概要

窯業系サイディングはセメント質、ケイ酸質材料および繊維質材料を主原料とした建材であるため、二酸化炭素により炭酸化することで化学組成が変化することが知られている。この炭酸化による組成変化は、質量、寸法の変化を引き起こすとともに、炭酸化による炭酸塩の生成により空隙構造が変化することが想定される。

例えば、寒冷地での使用における凍結融解抵抗性への悪影響の事例が報告^{1), 2)}されており、凍結融解による劣化、特に炭酸化後の凍結融解抵抗性については、これまでの研究成果においてすでにその関連性が示されている^{3), 4)}。また、炭酸化に伴う窯業系サイディング材の構造変化は、部材内の不均一な収縮や反り、それら寸法変化による留め付け部に対する作用などの観点から劣化現象につながる可能性がある。メーカー関係者へのヒアリング結果等から、留め付け部の木部がルーズホール化することで、サイディング材自体の破損につながる可能性は小さいことが推察されるが、長期耐久性を考慮する上でこれら性状の確認の必要性は否定できない。

しかしながら、長期耐久性に関わる劣化現象の一要因として炭酸化のメカニズムを把握するための基礎データは不足しており、提案予定の長期耐久性評価のための促進試験方法において、促進中性化を含む複合促進試験を検討するには、窯業系サイディング材の炭酸化による化学組成および空隙構造の変化に関して工学的に十分な精度で把握しておく必要がある。

そこで、本章では窯業系サイディングの炭酸化による物性変化を確認し、材種や環境条件による炭酸化性状の変化を把握することを目的とした実験的検討をおこなった。

目的1：窯業系サイディングの炭酸化および中性化メカニズムの把握
(XRD、TG/DTA、DSC)

目的2：窯業系サイディングの炭酸化に伴う物性変化の確認
(収縮量・質量変化)

目的3：窯業系サイディングの炭酸化の評価に関する知見

また、窯業系サイディングの表面塗装は、炭酸化抑制に効果があると考えられることから、耐侯性試験により塗装を痛めることで、その効果について上記3つの目的の観点から検討を行った。

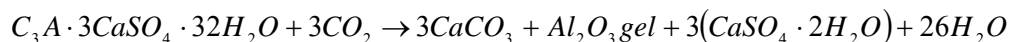
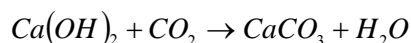
5.2 炭酸化メカニズムに関する一般事項

以下に、既往の研究などから示されている、窯業系サイディングの炭酸化メカニズムに関する一般事項について概説する。

セメント系材料の炭酸化とは、高アルカリ環境が中性環境に近くなることから中性化と呼ばれており、その識別法としてフェノールフタレインによる呈色反応が利用されている。ただし、炭酸化していなくても中性化は起こるため、中性化の判定によって必ずしも炭酸化の有無を判断することはできない。

セメント水和物の常温下での炭酸化反応は、以下の反応式で示される水酸化カルシウム、

C-S-H、エトリンガイトの炭酸化とカルシウムアルミネート水和物の炭酸化であると考えられる。



一般的には、炭酸化によって 10~100nm の空隙が炭酸カルシウムなどによって充填されるため、強度が向上することが多いとされている。また、セメント系材料は乾燥の過程で収縮するが、二酸化炭素雰囲気中での乾燥過程では炭酸化が加わることで、収縮量が大きくなることが知られている。図 5.1 に窯業系サイディングの経過日数による長さ変化率を示す。基材への水分の出入りによって、膨張収縮を短期的に繰り返していることがわかる。これに対して、基材中のセメント水和物と空気中の二酸化炭素の炭酸化反応は約 1 年以上の長期的変化であり、ゆっくりと収縮が進行することが確認できる。

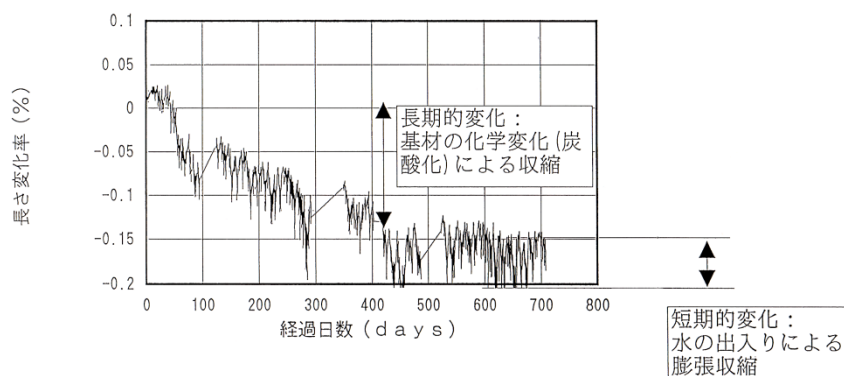


図 5.1 窯業系サイディングの長さ変化率⁵⁾

5.3 炭酸化実験の概要




(1) 材料水準

使用材料および製法の違いによって区分される一般的な窯業系サイディング 3 種類（繊維補強セメントけい酸カルシウム板系、繊維強化セメント板系、木繊維補強セメント板系）を試験体として使用した。なお、3 種類とも寒冷地仕様の試験体である。表 5.1 に試験体の概要を示す。

各試験体は 15×15cm に切断し（TG-DTA 試験用は 5×5cm）、表面塗装された面（屋外側）以外の面をエポキシ樹脂塗料で塗布してアルミテープで密封することで、塗装面からのみ炭酸化が進行するように処理して促進中性化試験に供した。

また、これらの試験体は、①塗装面に処理を施さない試験体（以下、無処理）、②塗装面を研磨により除いた試験体（以下、塗装除去）、③紫外線による劣化を想定した耐候性試験により塗装面を促進劣化させた試験体（以下、塗装劣化）、の三水準を用意し、それぞれの炭酸化性状の変化を実験的に検証した。

表 5.1 試験体概要

種 類	繊維補強セメント けい酸カルシウム板系	繊維強化セメント板系	木繊維補強セメント板系
試験体 写 真			
厚 み	16mm	14mm	14mm
仕 様	寒冷地対応	寒冷地対応	寒冷地対応

(2) 耐候性試験の概要

サイディング内部への炭酸化の進行は表面塗装により抑制されるが、塗装は自然環境下においては紫外線、温冷乾湿の繰り返しによりチョーキング、ひび割れなどの劣化現象を起こす。表面塗装が劣化することで物質移動抵抗性が低減することから、劣化後の炭酸化挙動および塗装のサイディング保護効果が通常のメンテナンスサイクルでどの程度失われるかを確認するための促進劣化実験をおこなった。

サイディング材の表面塗装を紫外線により早期に劣化させるためメタルハライド式促進耐候性試験機による促進劣化を実施した。耐候性試験装置内の照射面における紫外線照度の均斉度をあらかじめ把握し、試験サイクルごとに試験体のローテーションを行い、試験体の配置条件による照射量に差が生じないように配慮した。

表 5.2 に耐候性試験の条件を示す。

表 5.2 耐候性試験の条件

劣化促進条件	設 定
紫外線照度	100mW/m ²
光学特性波長	295－450nm
ブラックパネル温度	63℃
試験槽内湿度	50%
サイクル	1.8 時間紫外線照射 ↓ 0.2 時間休止 ↓ 30 秒シャワー

(3) 炭酸化促進試験

炭酸化条件は、コンクリートの促進中性化試験（JIS A 1153）に準拠し、温度 20℃、相対湿度 60%、CO₂ 濃度 5%とし、中性化材齢は 3、7、14、28、56、91 日とした。なお、所定の中性化材齢が終了した試験体はデシケーターに保存し、速やかに中性化深さ試験、重量および寸法の計測、化学分析試験を実施した。

1) 中性化深さの測定

中性化深さの測定方法は、所定材齢で試験体を切断し、1%フェノールフタレイン溶液を噴霧して、赤紫色を呈する部分の観察をおこなった。

2) 寸法および質量の測定

中性化材齢毎に炭酸化に伴う寸法及び質量の変化を測定した。収缩量については15×15cm試験片の表面にコンタクトチップを貼付し、基準長100mmのコンタクトゲージにより寸法変化測定をおこなった。コンタクトチップは試験体表面四カ所に貼付し、直行する二方向について測定した。

3) 水酸化カルシウム量の測定

サイディングの基材中に存在するセメント水和物である水酸化カルシウムが炭酸化により消費される量を確認することで、炭酸化の進行状況を把握することを目的として、示差走査熱量測定（以下、DSC試験）を実施した。DSC試験によって、試料中の水酸化カルシウム量を定量することができる。

DSC試験の試料は、所定の材齢まで炭酸化させた寸法5×5cmのサイディングから約4cm³の小片を切り出してボールミルで粉碎後、粉碎した試料から10mgを採取して測定に供した。基準試料は α -Al₂O₃、温度上昇速度は10°C/minとした。

4) 炭酸カルシウム量の測定

DSC試験では試料中の水酸化カルシウム量の変化を確認することで炭酸化の進行状況を把握しようとしているが、炭酸化によって水酸化カルシウム以外のセメント水和物からも炭酸カルシウムは生成されることから、示差熱・熱重量同時測定（以下、TG-DTA試験）によって試料中に生成された炭酸カルシウム量の測定を実施した。

試料はDSC試験と同様に作成し、炭酸カルシウムの脱炭酸による質量減少から試料に含まれる炭酸カルシウム量を定量する。TG-DTA試験の測定条件を表5.3に示す。

表 5.3 TG-DTA 試験の測定条件

試料重量	10.0mg
リファレンス試料	α -Al ₂ O ₃
昇温速度	10.0°C/min
サンプル容器	Pt
雰囲気	大気空気 100ml/min

5) 炭酸塩鉱物の特定

炭酸化によって生成される炭酸カルシウムはカルシウムの炭酸塩であるが、結晶構造の違いによってカルサイト、バテライト、アラゴナイトの三種類の炭酸塩鉱物が存在する。そこで、サイディング材の炭酸化によって生成される炭酸塩鉱物を特定し、各種サイディング材の炭酸化性状を把握することを目的として、X線回折分析（以下、XRD試験）を実施した。測定角度範囲（2 θ ）は25–60°とし、各0.02°毎に2秒間の測定をおこなった。試料はDSC試験、TG-DTA試験と同様の手順で作成した。

5.4 測定結果

5.4.1 中性化深さの測定結果

促進中性化後の試験体のフェノールフタレイン溶液による呈色の結果を図 5.2 に示す。

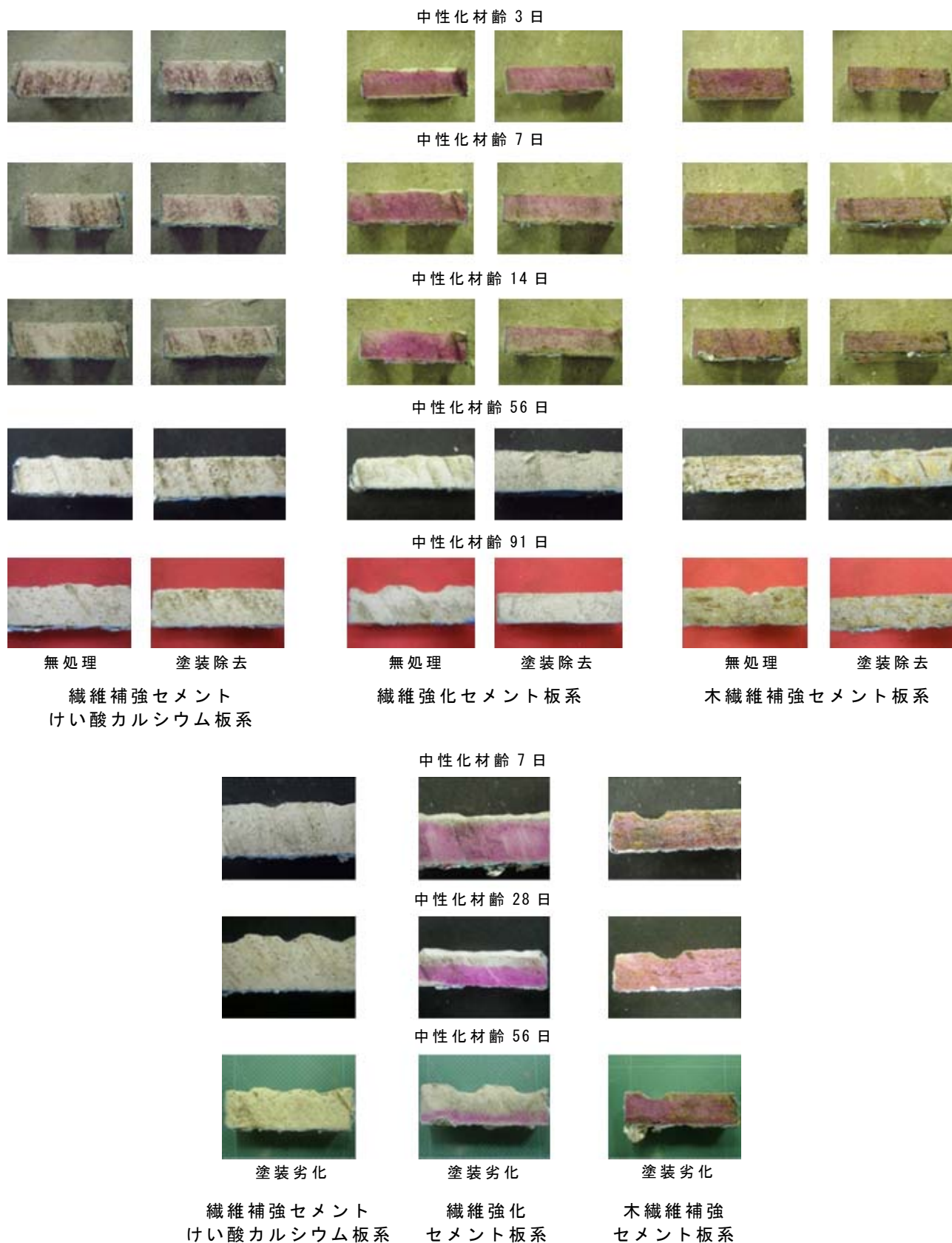


図 5.2 中性化深さの測定（フェノールフタレインによる呈色の様子）

通常、屋外暴露された試験体ではサイディングの裏面から中性化が進み、サイディング表面から赤紫色を呈する部分までの距離を中性化深さとして測定するが、促進中性化した試験体では全体的に薄く呈色し、中性化部分と未中性化部分とを明確に判断することは難しかった。

また、サイディング内部にある細孔部分を中心として中性化している様子も確認できた。無処理と塗装除去の水準間の差はほとんどなく、どちらも同程度に中性化が進行しているようである。なお、繊維補強セメントけい酸カルシウム板系については初期の状態から呈色反応を示していないことから、ほぼ中性の状態であることが確認された。

以上の結果より、その結果、窯業系サイディングの炭酸化は、コンクリートの場合と異なり、フェノールフタレイン塗布による中性化判定が困難であることが確認された。また、あわせて窯業系サイディングの炭酸化メカニズムに立脚した評価が必要であることが確認された。

5.4.2 化学分析結果

(1) XRD 試験の結果

図 5.3～5.5 に XRD 試験によって炭酸塩鉱物のピークを特定した測定結果を示す。測定した試料は各種類とも、中性化無し、無処理および塗装除去の中性化材齢 56 日の試験体である。図中の回折強度のピークに示した記号は、C：カルサイト、V：バテライト、A：アラゴナイトである。また、促進中性化前後で強度が増加している炭酸塩鉱物については記号を四角で囲っている。

図 5.4 に示した繊維補強セメント板系の測定結果によると、中性化後の試験体でカルサイト、バテライト、アラゴナイトの各強度ピークが大きく測定されていることが分かる。特に、塗装除去の試験体でこの傾向が顕著である。この結果より、炭酸化によって繊維補強セメント板系の基材中のカルシウムが炭酸塩となっていることが確認できる。なお、角度 26-27°間に強いピークが計測されているが、今回の測定では炭酸塩鉱物のピークと断定できなかったため、更に詳細な測定が必要である。図 5.3 の繊維補強セメントけい酸カルシウム板系の測定結果からは、中性化後にバテライトの生成が確認されるが、そのピーク量は繊維補強セメント板系と比較すると小さい。また、図 5.5 の木繊維補強セメント板系については、中性化前後の炭酸塩鉱物のピーク変化はほとんど確認されなかった。

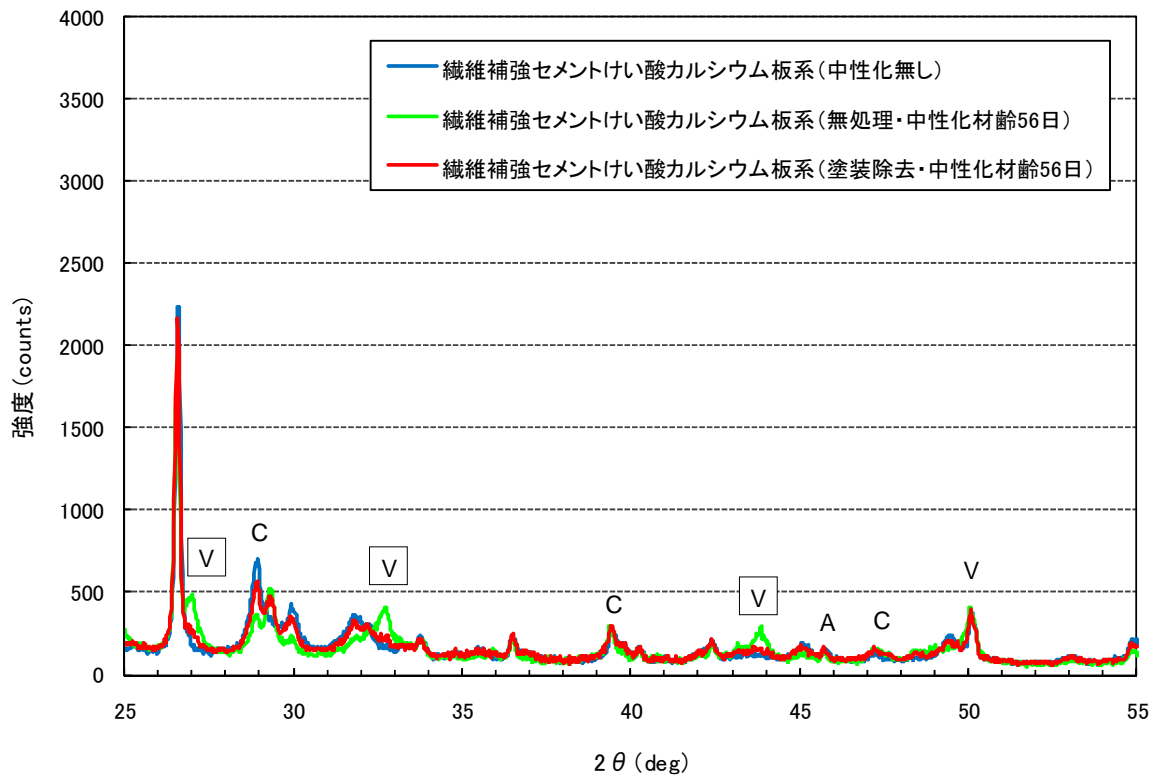


図 5.3 XRD 試験結果 (繊維補強セメントけい酸カルシウム板系)

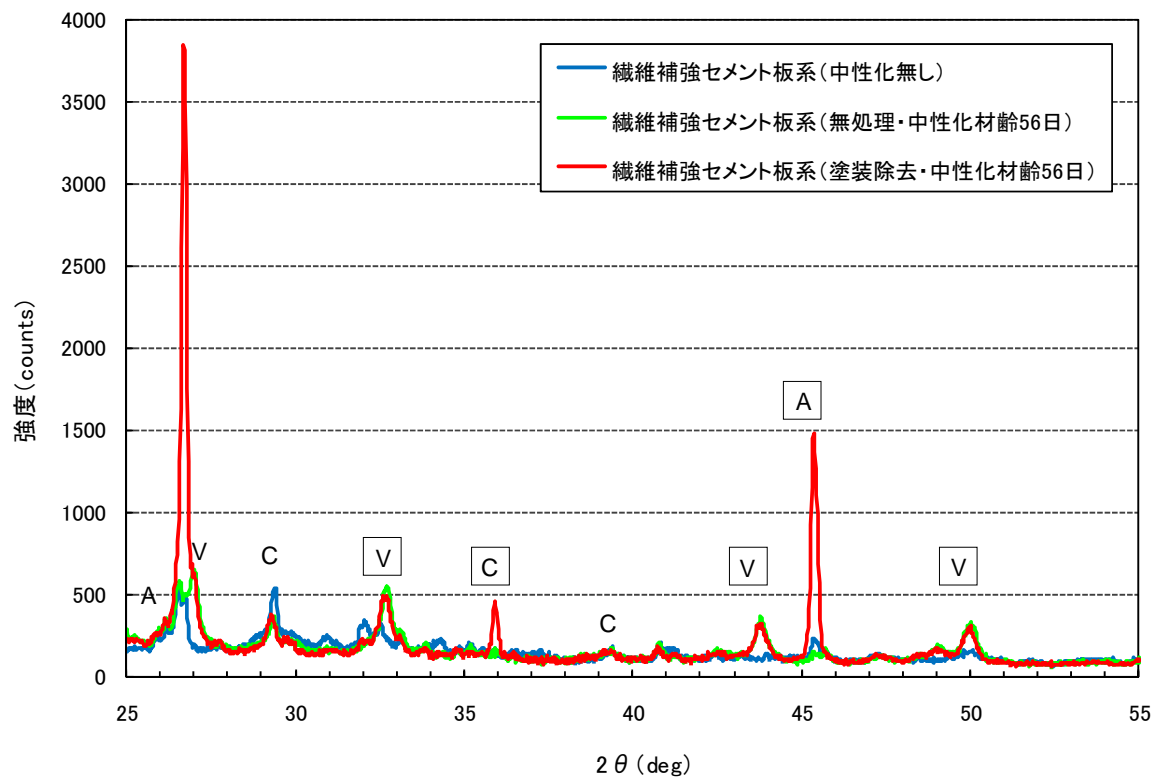


図 5.4 XRD 試験結果 (繊維補強セメント板系)

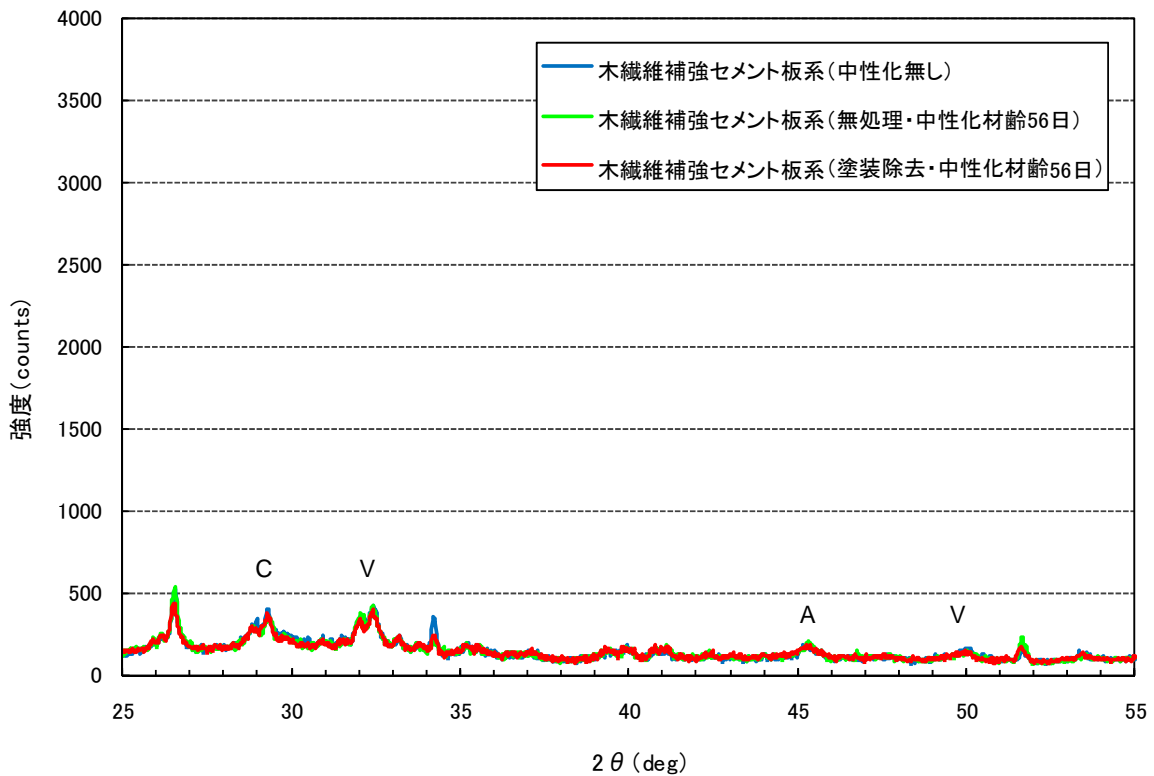


図 5.5 XRD 試験結果 (木繊維補強セメント板系)

(2) DSC 試験の結果

炭酸化による水酸化カルシウムの減量を確認することで、炭酸化の進行状況を把握することを目的として DSC 試験を実施した。

図 5.6 に中性化前の初期状態および塗装除去・中性化材齢 28 日の各種サイディングの測定結果を示す。なお、参考のために水酸化カルシウム粉末 (10mg) の DSC 値も同時に示す。

水酸化カルシウムが存在している場合、図 5.6 に示されるように 400~500℃ に水酸化カルシウムの脱水反応による吸熱ピークが確認できるが、中性化していない状態の全ての試験体において明確な吸熱ピークは測定されなかった。この測定結果については、以下のよう原因が考えられる。

窯業系サイディングはセメントや混和材、補強用繊維が混練され板状に加工されたあと、その成形性を高めるために早期の硬化を目的として 150~200℃ でオートクレーブ養生される。オートクレーブ養生は高温高圧下でセメントを水熱反応させることで反応を促進するための養生法である。オートクレーブ養生による水和反応では、常温時の水和生成物とは異なる生成物が生じることが知られている。温度が上昇するとカルシウムシリケートの反応が促進され水酸化カルシウム量は減少することから、オートクレーブ養生されたセメント系材料では、トバモライト系やゾノライト系の水和物がほとんどである。そのため、オートクレーブ養生される窯業系サイディング材には水酸化カルシウムはほとんど存在していないと考えられ、DSC 試験において吸熱ピークが確認できなかったと推測される。

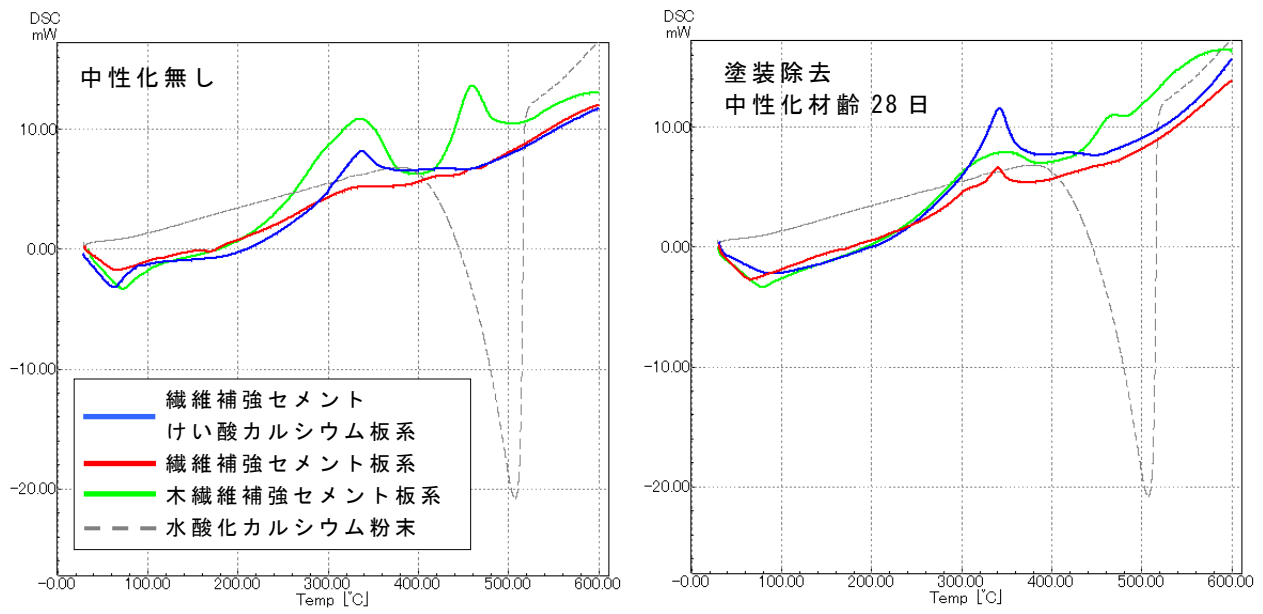


図 5.6 DSC 試験の結果

(3) TG-DTA 試験の結果

図 5.7～5.9 に各試験体の促進中性化材齢における TG-DTA 曲線を示す。なお、すべての材齢の TG 曲線および DTA 曲線を表示すると煩雑となるため、中性化前の初期試料の測定結果と中性化材齢 28 日の測定結果のみを比較できるようにグラフに示している。

これらの測定結果より、600℃付近から 800℃付近までに観測される炭酸カルシウムの脱炭酸による DTA 曲線の吸熱ピークを伴った質量減量は明確には確認できなかった。しかし、試験体によっては炭酸化後の試料が初期試料と比較して、400℃付近から 700℃付近まで緩やかに減量していることが確認できる。また、僅かながら脱炭酸によると考えられる吸熱ピークがみられる繊維補強セメント板系の測定結果もあった。したがって、炭酸カルシウムによる脱炭酸の量を正確に捉えることはできないものの、試験体、材齢間で減量部分を相対的に比較することは可能であると考えられる。

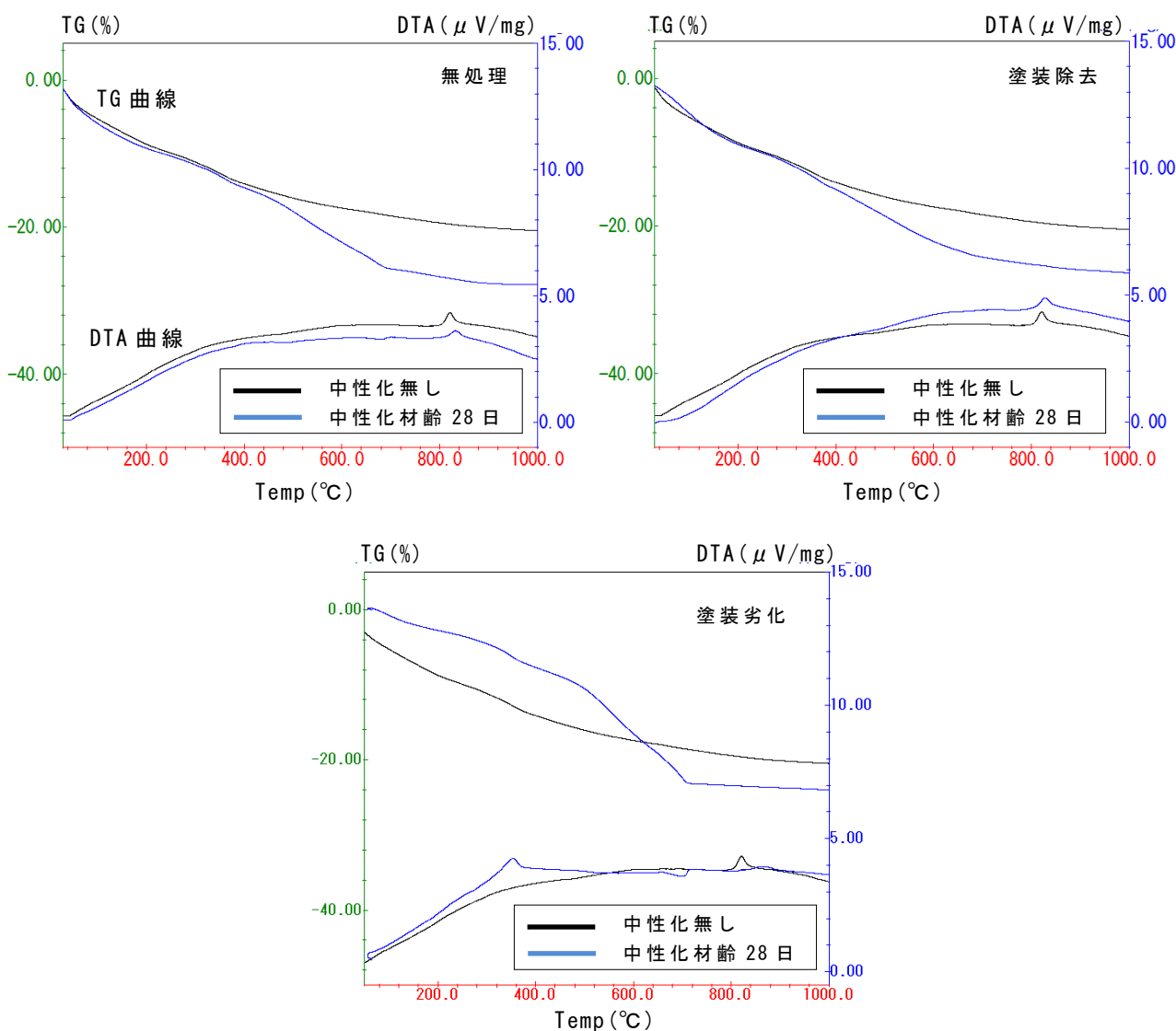


図 5.7 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系の TG-DTA 試験結果

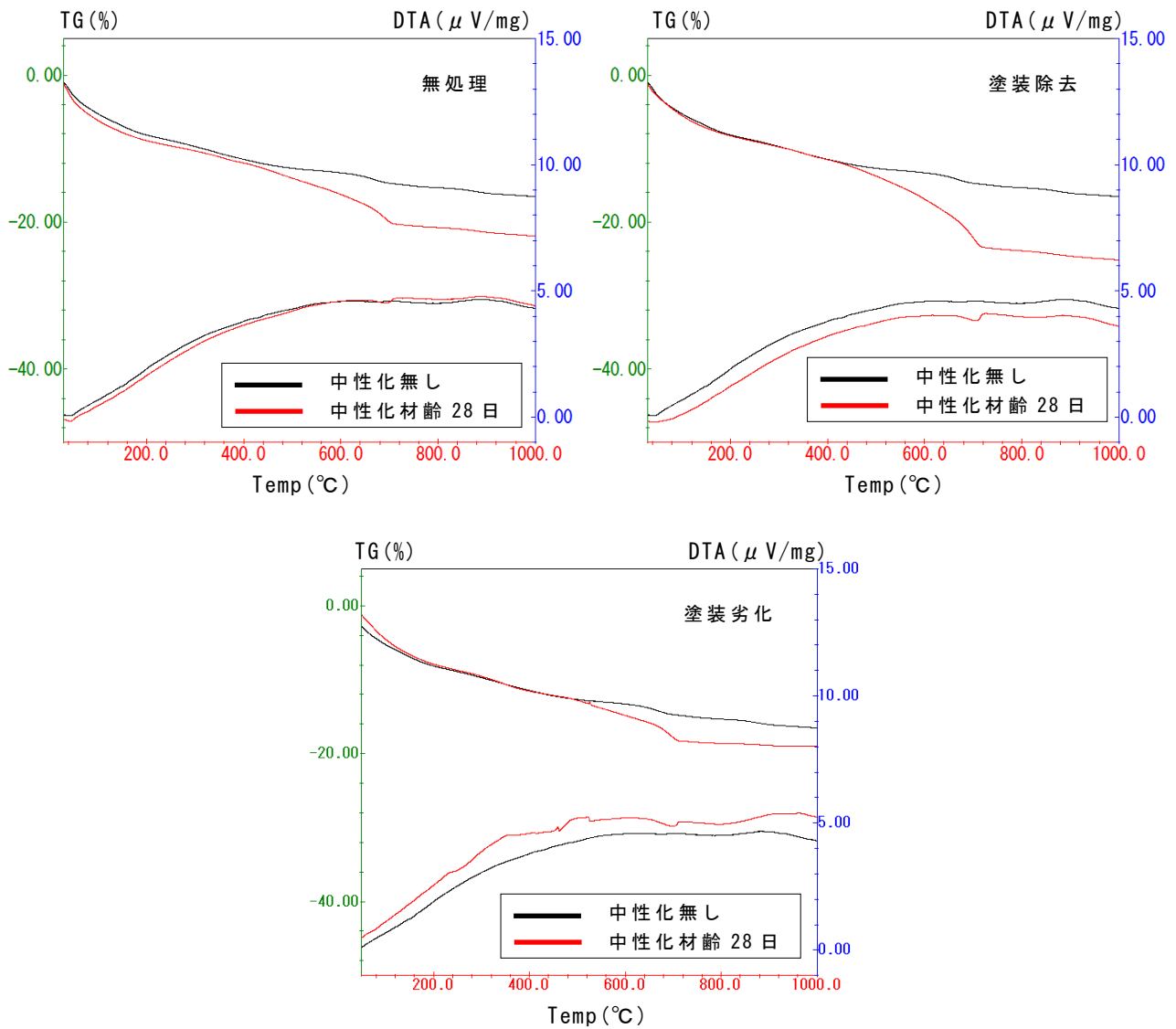


図 5.8 繊維補強セメント板系の TG-DTA 試験結果

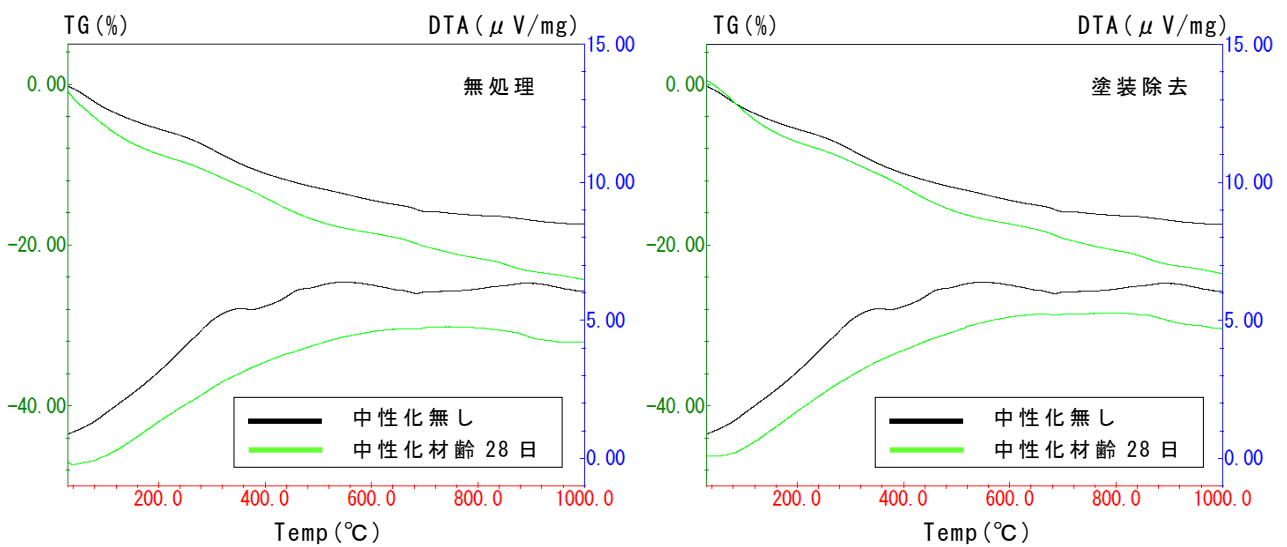


図 5.9 木繊維補強セメント板系の TG-DTA 試験結果 (無処理、塗装除去)

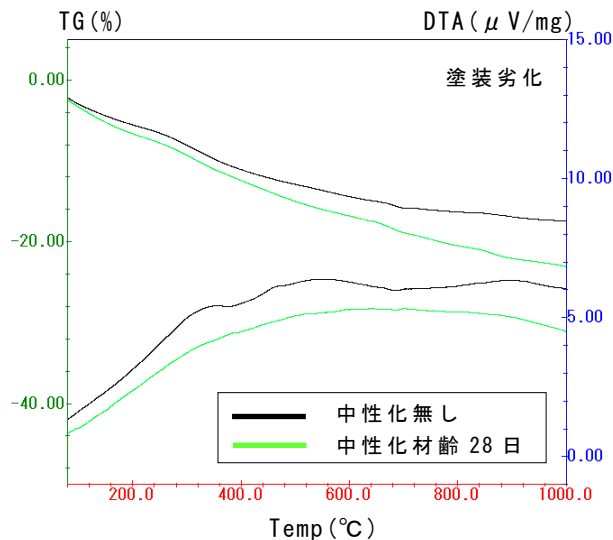


図 5.10 木繊維補強セメント板系の TG-DTA 試験結果（塗装劣化）

そこで、サイディングの基材に含まれる他の材料による質量変化の影響を除去するため、中性化無しの初期の試料と促進中性化各材齢の試料の測定データの差分によって、炭酸カルシウムによる脱炭酸の減量を確認した。この補正により 400°C 付近から緩やかに減量が始まり 700°C 付近で減量が停止する TG 曲線が得られた。中性化前後で測定された減量をすべて炭酸カルシウムの脱炭酸によるものと仮定して炭酸カルシウム量を計算し、測定試料 10mg における炭酸カルシウムの占める質量割合を求めた。図 5.11 および図 5.12 に中性化材齢と炭酸カルシウム量が試料全体に占める割合との関係を示す。木繊維補強セメント板系については補正をしても減量および吸熱のピークを確認することができなかった。

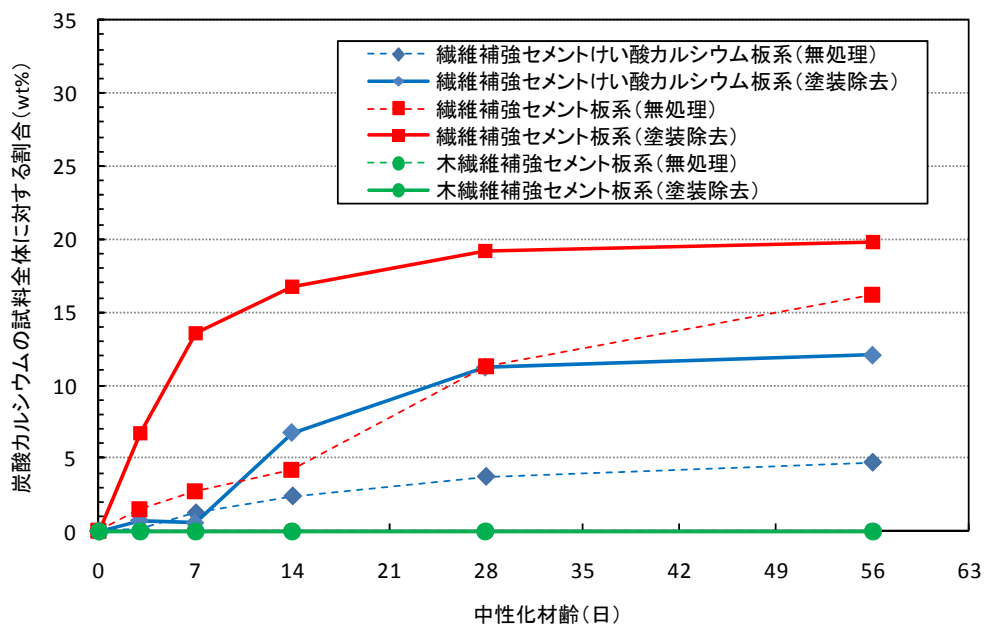


図 5.11 中性化材齢における炭酸カルシウムの割合の変化（無処理および塗装除去）

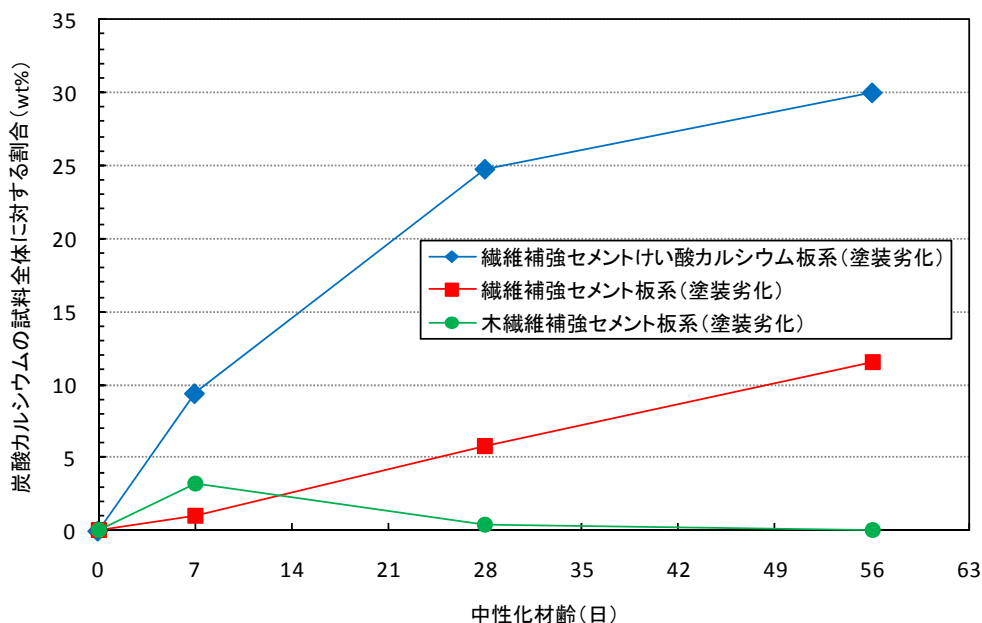


図 5.12 中性化材齢における炭酸カルシウムの割合の変化（塗装劣化）

これらの結果より、中性化材齢が進むにしたがって各試料における炭酸カルシウム量が増加していることが確認できる。ただし、繊維補強セメントけい酸カルシウム板系においては塗装除去した試料に比べて無処理の試料の方がより炭酸化が進んでいることから、試験体による測定誤差があることも考えられる。

また、サイディング材全体において製造時に使用されるセメントが約 40%であると仮定した場合、完全に炭酸化したとしても理論上は全体の 25%程度が炭酸カルシウムになると考えられるので、この TG-DTA 試験の解析によって得られた炭酸カルシウム量はかなり多めに見積もられていると考えられることに注意が必要である。

(4) 化学分析結果まとめ

促進中性化によるサイディング材の物理量変化が炭酸化による化学組成の変化によるものであることを確認するために、DSC 試験、TG-DTA 試験および XRD 試験を実施した。セメント系材料である窯業系サイディング材の基材中の水酸化カルシウムが、促進中性化によって消費されることを確認するため DSC 試験をおこなったが、水酸化カルシウム量を定量的に測定することはできなかった。製造過程におけるオートクレーブ養生によって、促進中性化前にほとんどの水酸化カルシウムが消費されているためだと考えられる。

サイディング材の基材中に存在する水酸化カルシウム以外の CSH 生成物等のセメント水和物が、促進中性化によって炭酸カルシウムに変化した量を把握するため TG-DTA 試験を実施した。得られた TG 曲線からサイディング基材中の炭酸カルシウムの脱炭酸の量を定量的に評価することは困難であった。ただし、繊維補強セメントけい酸カルシウム板系、繊維補強セメント板系においては、中性化材齢に応じて脱炭酸による減量が増加していることから、炭酸カルシウム量の増加を確認することは可能であった。また、試料間の脱炭酸の減量を相対評価することで、物理量の変化率とほぼ同様な炭酸化進行の傾向を示すことが確認できた。

炭酸化によってサイディング基材中に生成される炭酸塩鉱物の種類を特定するために、X線回折試験を実施し、促進中性化後にカルサイト、バテライト等の炭酸塩鉱物の回折強度の増加を確認することができた。木繊維セメント補強板系は、TG、DSC、XRDのいずれの結果からも炭酸化していないことが確認され、収缩量、質量変化も小さいことが確認された。

5.4.3 寸法および質量変化試験結果

図 5.13 に中性化材齢と質量変化率の関係、図 5.14 に長さ変化率との関係を示す。なお、紫外線による塗装劣化試験体については、耐候性試験のサイクルにおけるシャワー処理によって試験体が水分を吸収しており、含水状態のまま促進中性化試験を実施したことから、乾燥により重量が減少する結果となったため質量変化率の結果から除外している。

一般的に炭酸化が進むことでセメント系材料の質量は増加し、収縮することが分かっている。繊維補強セメントけい酸カルシウム板系、繊維補強セメント板系については質量が増加し、収縮する傾向が確認されたが、木繊維補強セメント板系については質量増加、長さ変化ともに他の二種と比較して小さいことから、炭酸化による物性変化の影響は少ないと考えられる。

さらに、図 5.15 および図 5.16 に、5.3.2 で求めた炭酸化割合(%)と質量変化および収缩量の関係を示す。

結果より、質量変化および収缩量と、炭酸化割合は良好な相関関係を示した。一部炭酸化を伴わない収縮現象が確認されたが、これは、水分逸散に伴う乾燥収縮による可能性があり、今後さらなる検討が必要である。

フェノールフタレインによる中性化判定が困難であることを考えると、窯業系サイディングの炭酸化を質量変化により観測することの有効性が示されたと考える。

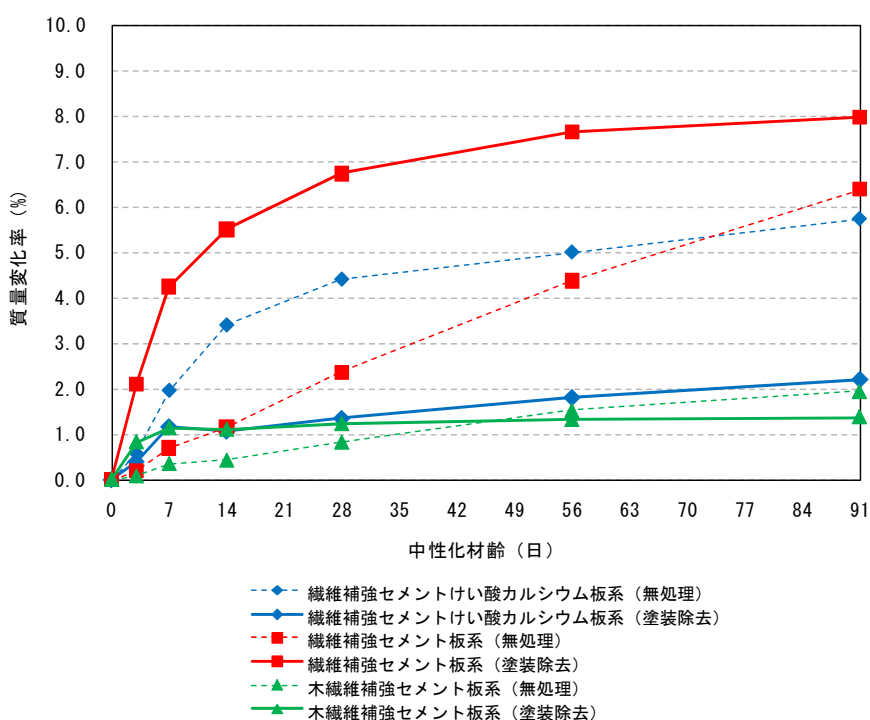


図 5.13 中性化材齢と質量変化率

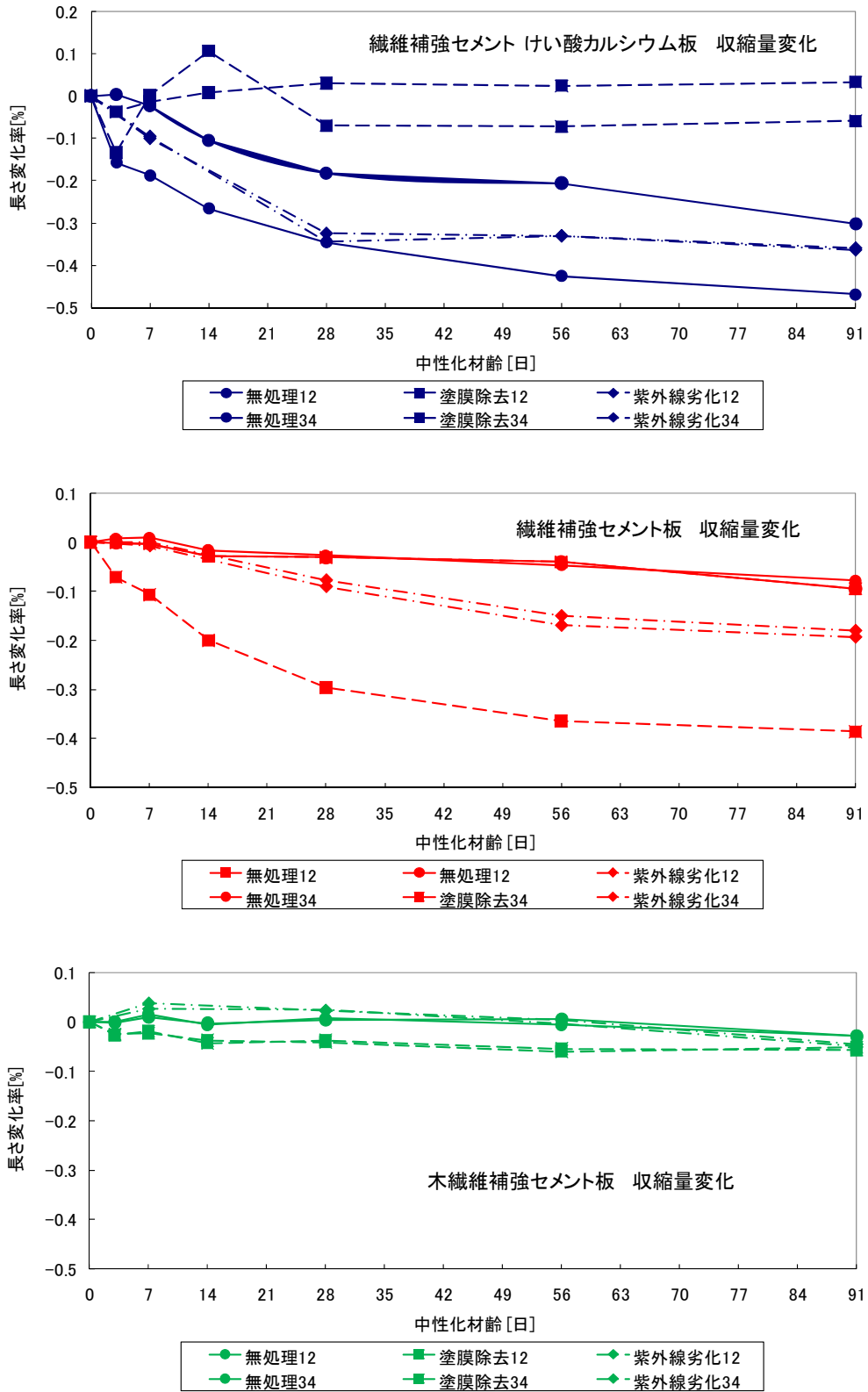


図 5.14 中性化材齢と長さ変化率

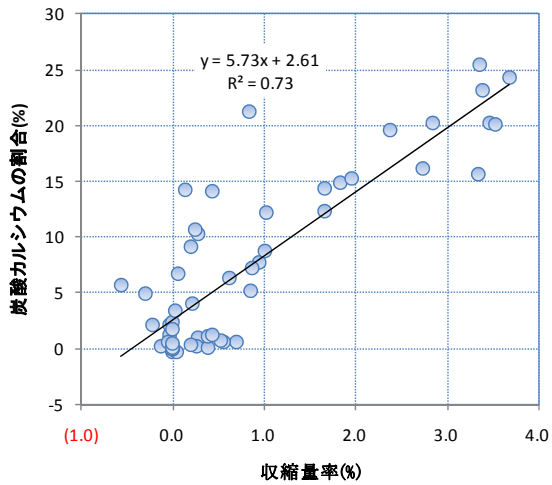


図 5.15 炭酸カルシウムの割合 [%]と収縮率 (%) の関係

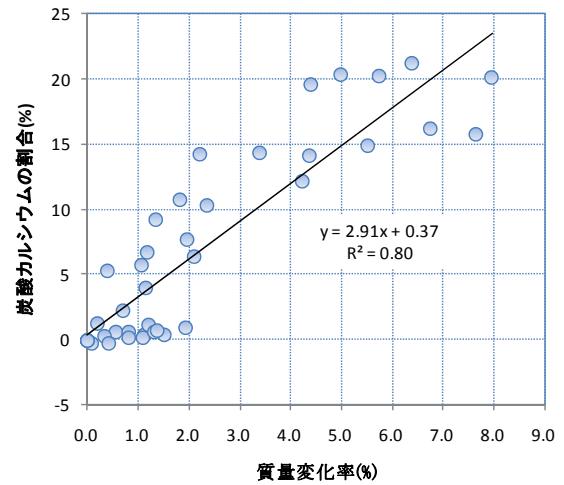


図 5.16 炭酸カルシウムの割合 [%]と質量変化率 (%) の関係

炭酸化による窯業系サイディング材の物理量変化の把握のために、炭酸化促進材齢による質量変化率と長さ変化率を測定し、炭酸化による質量の増加および寸法の収縮を確認した。

特に繊維補強セメント板系においては、表面塗装の有無および紫外線による塗装劣化の影響による炭酸化速度の差を明確に確認することができた。繊維補強セメントけい酸カルシウム板系においても、炭酸化による質量増加と収縮を確認できたが、表面塗装の有無および紫外線劣化の影響を理論的に説明可能な測定結果を得ることはできなかった。木繊維補強セメント板系については、他の二種類のサイディングと比較して質量変化率、長さ変化率ともに小さいことから、本試験の中性化材齢においては物理量変化への炭酸化の影響は少ないと考えられる。

5.5 まとめ

本章では窯業系サイディングの炭酸化による物性変化を確認し、材種や環境条件による炭酸化性状の変化を把握することを目的とした実験的検討をおこなった。

以上を纏めると、以下のとおりである。

- (1) 窯業系サイディングの炭酸化メカニズムについて検討し以下の知見を得た。
 - ・ 本実験の促進中性化材齢において、窯業系サイディングの種類によってその程度は異なるものの、基材中に存在するセメント水和生成物が炭酸化し、中性化材齢に応じて物理性状、化学組成が変化していることを確認した。
 - ・ 炭酸化による炭酸塩鉱物としてカルサイト、バテライトが確認された。
 - ・ 木繊維補強セメント板系では炭酸化が確認されず、他の質量変化・収縮率などの変化も小さいことが明らかになった。
- (2) 炭酸化メカニズムから考えて、フェノールフタレインによる中性化判定は有効でないことが示された。
- (3) 炭酸化と質量変化、収縮量には一定の相関がみられた。このことから、サイディングの炭酸化の指標として、質量変化を用いることが有効である可能性が示された。
- (4) 材料種類によっては、炭酸化によりおおきく収縮することが確認された。

参考文献

- 1) 西野由記彦，大羽伸和，安田延明：窯業系サイディング材の諸物性に及ぼす炭酸化の影響・その1 凍害の原因調査，日本建築学会学術講演梗概集，A-1，pp.355-356，1993
- 2) 安田延明，大羽伸和，西野由記彦：窯業系サイディング材の諸物性に及ぼす炭酸化の影響・その2 物性試験，日本建築学会学術講演梗概集，A-1，pp.357-358，1993
- 3) 窯業系サイディングの凍害に影響する品質要因の検討，日本建築学会学術講演梗概集，A-1，pp.447-448，1997
- 4) 吉野利幸，桂修，松村宇，谷口円：窯業系サイディングの耐凍害性に関する屋外暴露実験，日本建築学会構造系論文報告集，No.613，pp.23-28，2007
- 5) 日本窯業外装材協会より資料提供

第6章 窯業系サイディングの長期耐久性評価・促進試験方法に関する検討

6.1 長期耐久性評価の考え方

6.1.1 窯業系サイディングの耐久性評価の現状と課題

住宅の長寿命化の必要性が高まるなか、長期優良住宅に向けた取り組みも進められている。そのようななかで、戸建て住宅の外装の多くに用いられる窯業系サイディングの耐久性評価の重要性は大きい。窯業系サイディングは、JIS A 5422において規格化された製品であり、同規格内において試験を課して性能を確認し、一定の品質保証を行っている。性能の確認を行う試験の一部には、耐候性試験（JIS A 1415 高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法）や耐凍害性試験（JIS A 1435 建築用外壁材の耐凍害性試験方法）があるものの、時間軸をもった試験は限られている。また、耐候性や耐凍害性試験にしても製品同士の比較を行う、あるいはある一定の性能を担保する上では有用であるが、必ずしも長期耐久性、すなわち50年程度といった耐久性を考えて試験方法が考えられたわけではない。

一方、窯業系サイディングの製造者は、10年ごとのメンテナンス（塗装の塗替えやシーリングの打替え）を前提に30年程度の使用までを想定している程度であり、昨今求められている50年以上の長寿命化を考えていく上では、多くの課題が残されている。

ただし、現在製造されている窯業系サイディングは、製造・使用実績が30年程度しかなく、製造業者自身が30年以上の性能を保証することに躊躇があるため、必ずしも現在製造されている窯業系サイディングが50年以上性能を保有できない訳ではないと考えられる。また、外装材の長期耐久性を考えるということは、使用環境に受ける劣化因子は様々で、設計すなわち対象建材の種類とその構法的な納まりやメンテナンスあるいは地域特性や使用形態などの要因によっても性能の経時変化は異なったものとなることに留意しなければならない。

これらのことから、窯業系サイディングの耐久性評価は、50年以上までを保証するような手法、試験規格などが定まっていないのが現状であり課題となっている。なお、本研究では昨年度までの調査結果に基づき、長期耐久性評価を確立する上で、次のような考え方、手順、検討内容を実施していくこととした。

- ①使用者・設計者等にとって情報が不足した状況では、長寿命化の判断やメンテナンス周期の目安もできないため、まずは試験方法の標準化を行い、将来に向けて（特に実暴との相関性確認）試験データの蓄積をしていくことが重要である。
- ②使用者、設計者からみれば何年といった数字で耐久性を知りたいが、まずは相対比較ができる試験方法が必要で、その後に耐用年数との相関を明確にしていく。
- ③そのためには、使用環境に応じた試験条件や試験サイクルなどを決めていく必要がある。
- ④また、劣化メカニズムを考慮に入れながら評価方法（判定値など）を決めていく。
- ⑤使用者、設計者にとって必要な情報として、現状の窯業系サイディングの30年とそれ以上(例えば50年)の2種類程度には製品のランク分けができるような評価方法を考える。

6.1.2 長期耐久性評価として考慮すべき劣化要因

構法的な納まりやメンテナンスあるいは地域特性や使用形態などによって性能の経時変化が異なることから、窯業系サイディング長期耐久性評価を行う上では、その使用状態と材料特性について検討を行う必要がある。

使用状態としては、日本全国で特定の地域に限定せず、負荷すべき試験方法あるいは促進負荷する劣化外力の大きさ（例えばサイクル数など）を変化させる必要がある。また、環境条件を考慮すると、窯業系サイディングは耐凍害性が劣化要因としてかなり大きな影響を及ぼすことが知られている。一方、材料特性としては、窯業系サイディングがセメントを主成分とする材料であるため、長期の暴露環境下において必ず炭酸化を受けることが挙げられる。また、窯業系サイディングの多くは、表面塗装された製品であり、一部の性能は塗装の性能によって担保されているものもあると考えられる。よって、紫外線や熱が劣化要因として考えられ、この種の促進試験を課す必要がある。

これらのことから、窯業系サイディングの長期耐久性評価として取り上げる促進劣化試験としては、次のものを想定した。

- ①炭酸化（中性化）
- ②耐候性
- ③温冷・耐湿性
- ④耐凍害性
- ⑤これらの複合劣化

また、各促進劣化試験における検討課題としては、次のことが考えられる。

①炭酸化

窯業系サイディングは、セメントを主原料としており、経年における炭酸化によって、組織の化学組成や構造が変化することが5章の検討でも明らかとなっている。よって、組織構造が変化した場合でも各種性能を保有していることを確認する必要がある（ただし、強度的には炭酸化によって増進することが知られている）。3章および4章の検討でも明らかかなように、窯業系サイディングの炭酸化は質量増加とそれに伴う収縮を起こすことが明らかである。よって、窯業系サイディングの確認すべき現象としては、寸法変化および反り変化が挙げられる。また、最終的に求められる性能としては、有害なき裂（有害の判断は評価方法による）、ひび割れあるいは破断・割れなどが起きないことを確認する必要がある。

なお、既往の研究において炭酸化した場合に凍結融解性が低下する事例が報告されており、炭酸化を実施した後に、現製品規格（JIS A 5422）と同様の耐凍害性試験を実施しなければならない場合もあると考えられ、複合劣化試験が要求される。また、この炭酸化を考慮した耐久性試験を提案する上での課題としては、炭酸ガス濃度、促進材齢などの促進条件の設定、気中濃度と促進濃度との関係から経年数をモデル化する必要もある。

②耐候性

窯業系サイディングは、一般に表面が塗装されており、その表面塗装材の性能によってパネルとしての性能を担保している場合があるとすると、紫外線によって塗膜が劣化することで、各種性能が低下していないことを確認する必要がある。塗膜の劣化現象としては、

変退色、ふくれ、割れおよびはく離などが考えられるが、既にこれらのほとんどは JIS A 5422 によって試験を実施することとしている。そこで、耐久性の観点から確認すべき性能としては、これらの塗膜劣化によって、パネルの透水性、強度、寸法変化あるいは耐凍害性などが低下していないことが求められる。昨年度の実験結果によれば、窯業系サイディングの種類によっては、炭酸化および耐候性試験を実施した後に、透水性試験において減水高さが増加したものも認められている。また、耐凍害性試験結果にも炭酸化および耐候性試験を受けた影響が認められる窯業系サイディングもあった。よって、紫外線による劣化を受けた後において、透水性、吸水による反り、曲げ強度および耐凍害性などを確認する複合試験の必要がある。

ただし、紫外線による劣化を受けた後の性能試験について、初期性能試験と同じ方法・基準で実施すればよいのかどうかなど、検討すべきことは多い。例えば、塗装が塗り直されることを前提にすれば、塗装に対して 10 年相当の耐候性試験を課し、その後 1～2 年以内に凍結融解作用を受ける回数だけで良いとするとかなどである。また、その他の検討事項として、耐候性後に炭酸化させ、さらに耐凍害性試験（すなわち、複合劣化試験）がどの程度のサイクルで必要か、あるいは熱劣化試験は不要かなどの検討事項もある。

③ 温冷・耐湿性

窯業系サイディングは、含有する繊維が有機系であるため、過度の水分が内部に侵入すれば膨潤する可能性があり、温冷や乾湿の繰り返し作用を受けた後においても、初期の性能を保有しているか確認する必要があると考えられる。すなわち、温冷・耐湿性試験を課した上で確認すべき現象としては、寸法変化および反り変化が挙げられる。また、最終的に必要な性能としては、寸法変化がパネルを脱落することが無いことや、過度な強度低下がないことが求められる。よって、試験によって確認すべきものとしては、乾湿繰り返し作用を受けた後の、寸法変化率、反り量のほか曲げ強度などが挙げられる。

なお、窯業系サイディングは、想定される環境下において塗膜が劣化しせず、温冷や乾湿の繰り返しによる影響が非常に小さいと判断できれば、この促進試験は不要となる場合も想定される。また、このような試験を耐久性試験として課するのであれば、既存住宅の温湿度状況の例を説明材料とし、促進条件を決定する必要がある。

④ 耐凍害性

セメント系材料は、凍結融解作用を受けると内部の水分の影響により劣化することが知られており、窯業系サイディングにおいても耐凍害性試験は性能判断の重要な試験項目である。この試験については、既に JIS A 5422 において試験が課せられており、長期耐久性試験としてこの試験を考える上では、試験サイクル数と地理的条件による環境条件の設定を行う必要の有無を考慮し、現 JIS A 5422 の凍害性試験の内容を変えることなどが考えられる。例えば、地理的条件と設定する耐用年数から必要な凍結融解サイクル数を求め、その回数だけ試験を行うこととするなどが改善方法として考えられる。しかし、この場合でも既存の凍結融解試験の判定基準が適切かどうかの検討が必要であったり、表面塗装材の性能によってパネルとしての性能を担保している場合があるとすると、紫外線によって塗膜が劣化することで、各種性能が低下していないことを確認する必要などもある。

6.1.3 長期耐久性評価の流れ

1) 単体試験と複合試験

前項までの検討から、窯業系サイディングの長期耐久性を評価する上で必要な事項として、長期耐久性に影響を及ぼす劣化因子ごとの促進試験（単体試験）と、それぞれの劣化因子が複合的に作用することによって起きる劣化を想定した促進試験（複合試験）とに分けることができる。

単体試験は、基本的には既に JIS A 5422 において課せられているものが多い。ただし、既に課されている試験であっても耐凍害性のように、地域などによって負荷するサイクル数を変化させることで、性能評価型の耐久性試験に代えるなどの方法をとることができるものや、炭酸化試験のように劣化因子として想定していないものもある。なお、炭酸化については、既に述べているが、強度的には耐久性を低下する要因にはならないこと、また炭酸化による収縮量が小さい場合などは、実劣化としてパネルにひび割れを起こすなどの不具合が生じない可能性もあり、単体試験として課す場合にはさらに検討を要する。

一方、複合試験については炭酸化や塗膜の劣化が、その後の耐凍害性に影響を及ぼす可能性があり、またそもそも窯業系サイディング自身が複合的にさまざまな劣化因子によって経年変化することから、長期耐久性の評価方法として必要な促進試験といえる。

2) 長期耐久性評価のためのフローおよび複合劣化試験方法

窯業系サイディングの長期耐久性を評価する上では、複合試験によって促進された劣化を模擬し、これを受けた後、どれだけの性能を保有しているかを性能試験によって確認する必要がある。よって、提案すべき評価フローとしては、図 6.1 のようなフローが想定される。

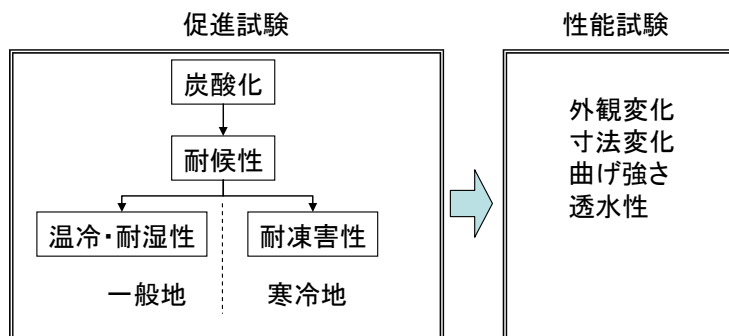


図 6.1 窯業系サイディングにおける長期耐久性の評価フロー

ここで、複合劣化試験は、想定される環境や経時変化を適切に表現できるような順番で各促進試験を課すべきであるが、一方で試験の容易さなども考慮する必要がある。このような点から、ここでは寒冷地を想定した場合は、炭酸化、耐候性、耐凍害性（凍結融解）試験の順に、一般地では耐凍害性に代えて、温冷・乾湿繰り返し試験を行うこととした。

次に、課すべき促進期間について検討を行った結果、以下のような2つの方法が考えられた。

① 10年相当分の促進試験を想定する耐用年数分だけ繰り返す方法

炭酸化や紫外線劣化あるいは凍結融解劣化などは、当然のことながら、同時並行的に作

用される。よって、これらを同時に受けるような試験方法を開発することも考えられるが、新たな試験機器を製造することは、開発費の面からも困難であり、既存の機器で可能できるようにすることが望ましい。また、短い期間で各劣化促進を繰り返すことは、試験を行う場合の煩雑さなどもある。これらのことを勘案し、炭酸化、耐候性、温冷または凍結融解をそれぞれ 10 年相当分で促進試験を課す方法を提案する。

この場合、促進試験を次々に課すことで 20 年、30 年とし、耐用年数を明確にできる。また、例えば 10 年で塗膜を塗り替えることを標準として考えていけば、塗膜を塗り直した上で繰り返すことで、50 年を超えた場合への対応も可能となる。

ただし、この方法では、何年相当か不明な試験体（例えば開発段階のもの）があったとき、まず 10 年の促進を課して品質試験をし、評価値をクリアしているので、次の 20 年の試験をするといった手順になり、無闇に試験体数が増加してしまうことが懸念される。

② 想定する耐用年数分だけの単体試験を順番に実施する方法

①の方法では、複数の促進試験を行ったり来たりするため、試験として煩雑さが残る。そこで、炭酸化、耐候性、温冷または凍結融解の 10 年、30 年、50 年に相当するサイクル等の条件を標準として示し、これを選択させた上で各単体試験を課す。しかし、実際の劣化が同時並行で進行していくことを考えると、劣化のメカニズムの再現性の面からは、余り望ましい試験方法とはいえない。

これら 2 つの方法を検討した結果、本研究では“①10 年相当分の促進試験を想定する耐用年数分だけ繰り返す方法”がより望ましいとし、これを提案していくこととした。

3) 長期耐久性評価としての性能試験の検討

促進劣化試験は、あくまで実際に起きえる劣化を促進するためのものであり、長期耐久性の評価の観点から、次に促進試験を行った後の性能試験として適切なものは何かを決めなければならない。これは、外装材として最低限満たしていない性能・品質は何かを考えることであり、例えば寸法の変化（反りなどが無いことを含む）、強度、透水性などが挙げられる。さらに、その際に必要となる品質値を定める必要があり、例えば、初期の品質（JIS A 5422）と同等であることや、初期の品質の 80%以上などといったものが想定される。

本研究では、この点について製造メーカー各社にアンケートを実施した。その結果を表 6.1 に示す。

課すべき試験としては、外装材として保有すべき基本性能と位置づけられる曲げ破壊荷重試験、反り、耐透水性が確認されるべき項目として上がった。そのほか、クレームとなりやすい外観変化や、既に JIS A 5422 の評価項目となっている耐候性評価項目（はく離・膨れ面積率、色差またはグレースケール）、耐凍害性評価項目（はく離面積率、厚さ変化率）などを回答している製造メーカーもあった。

また、試験結果の評価尺度については、曲げ破壊荷重であれば、初期値の 50、75%以上あるいは耐風圧性能上の計算値とする回答があったが、これについては、耐風圧性能上の計算値とすることがよいと考えられる。その他の試験項目については、製造メーカーとしてのどの程度とするのがよいか判断が難しいと思われる回答であった。

表6.1 窯業系サイディングの長期耐久性評価 J I S 開発に関する日本窯業外装材協会におけるアンケート結果

アンケート調査	1	2	3	4	5	6	7	8
質問1. 促進処理後に何の試験を実施することが適当でしょうか。	・外観変化 ・呈色変化 ・曲げ強度 ・厚さ変化率	①曲げ破壊荷重 ②表面のはく離面積率	①曲げ試験 ②厚み、体積変化 ③寸法変化	・曲げ破壊荷重試験(湿潤)	①曲げ試験 ②耐候性評価項目(はく離・膨れ面積率、色差又はグレースケール) ③耐凍性評価項目(はく離面積率、厚さ変化率) ④反り	・耐透水性 ・表面の外観性	曲げ試験	壁としての性能の基本 =曲げ強度と考えるので通常の強度測定(気乾状態)が必要。
質問2. 上記試験方法を実施するときの評価尺度をどのようにお考えですか。	基本的に、JISA5422制定時の基準を振り返って決めるべき。 1) 制定時の根拠が外壁性能要件やハンドリング時性能を考慮して決まっているならばいじめ試験後の評価尺度もJISA5422規定値に従うべき。 2) 制定時根拠が1)と異なる場合は今回の試験結果と苦情発生の有無を勘案して決めるべき。	基本的には結果をみて判断したい。 ①初期値の50%以上 ②5%以下	まだ未定	・曲げ破壊荷重試験(湿潤) 3. 6N/mm ² 以上 * 785N (JIS基準) = 6.0N/mm ² × 湿潤分 * 湿潤分の60%が妥当か不明。要確認。	①耐風圧性能(正圧)を満足する曲げ荷重又は強度(促進後なので安全率は考慮しない。基準風速V0は再現期間50年を見込んでいる) V0=46m/s、H=13m、地表面粗度区分:Ⅲとして、 14mm:曲げスパン500mm、等分布荷重のとき、曲げ応力は2.91N/mm ² 15mm:曲げスパン606mm(S造考慮)、等分布荷重のとき、同じく3.72N/mm ² ②JIS規格値×0.8(JIS規格値を0.8で除した数値。JISは元来、長期を見込んでいる。JISの想定が何年程度か判然としないが、複合促進劣化の条件を考慮してJIS規格値の80%とする。) ③JIS規格値×0.8(同上) ④試験片長さ150mmの中央矢高で1.0mm以下(JIS吸水による反り試験規格 スパン320mm-矢高2mm以下→スパン150mmのときの矢高を別紙のように測定)	・耐透水性 :今のところどの程度の規格値が良いかは不明 ・表面の外観性 :割れ及び亀裂がないこと	曲げ強度保持率(75%以上)	壁としての性能値(耐風圧力)を有することが尺度となるのではないか。破壊荷重690N程度か?
質問3. 現在すすめている試験方法の実用に対して、意見、要望があれば提案願います。	特になし		試験項目が重なる点、試験期間が長期に渡る点で、JISの変更申請等に関わる負担が大きくなる事を考慮して欲しい。今回のように最終的に評価する項目が曲げ試験とするのであれば、直接の影響が認められない促進項目については複合試験項目から除いて欲しい。 また、促進試験は何年またはどういった条件を想定した試験になるのか促進倍率等で明確にして欲しい。	特になし	JIS変更時に時間がかかりすぎる 試験に時間を要するため、ひとつの試験体で可能な試験項目を選定して欲しい。	・本試験方法が導入される場合でも、従来の耐凍結融解性試験と同様の型式検査項目となるのは避けていただきたい。 →3-4ヶ月にわたる長い試験期間を必要とする試験方法です。新JIS認証品の仕様を変更する場合には、型式検査にて本試験方法も実施することになり、迅速な事業運営を阻害することになる。 ・サンプルサイズが非常に小さいため、中空品や凹凸形状品では、曲げ破壊荷重が大きくばらつくことが予想されます。試験後の評価項目に曲げ破壊荷重を採用される場合には、そのバラツキを提言できるようなくみづくりが必須です。	時間を短縮できませんでしょうか。(もう少し短時間で結果を出したい) 試験に時間を要するため、ひとつの試験体で可能な試験項目を選定して欲しい。	試験体の寸法が小さいため、試験体を採取する箇所によって性能にばらつきが発生することが考えられ、しっかりした結果が得られないと思われる。

6.2 劣化因子と促進試験方法の位置づけ

6.2.1 試験体の養生

窯業系サイディングの耐久性評価において、材の含水率は、各種性能・物性試験や、各促進劣化試験に少なからず影響を与えることが懸念される。例えば、長さ変化試験や強度試験は含水率の影響を受けることは言うまでもないが、凍害試験や促進中性化試験は試験体の含水状態の影響を大きく受けると考えられる。特に、凍害試験の場合は、事前養生やシーリングの影響により、含水率挙動が異なり想定される劣化外力が与えられない可能性がある。

窯業系サイディングの含水率は、JIS A 5422 で出荷時の含水率を 20%以下とすることを定めていることから、通常の試験時の含水率は 20%前後であることが想定される。

しかしながらより正確な性能評価には、試験開始前の養生のみならず、複合試験実施における各サイクル間にはある程度含水率を意識した調整が必要である。

(1) 事前養生

複合サイクルの開始直前の養生は、試験体搬入時の含水率 20%以下が順守されていれば、1 週間程度の乾燥である程度衡量に達していると考えられる。従って、事前養生は、材齢 1 週間以上、温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $60\pm 5\%$ の部屋で保管した後、促進試験に供するのが良いと考えられる。

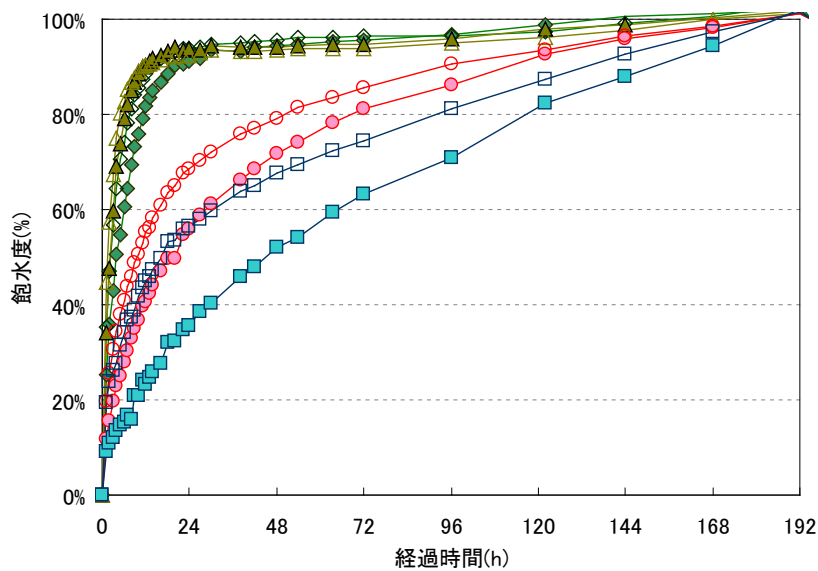
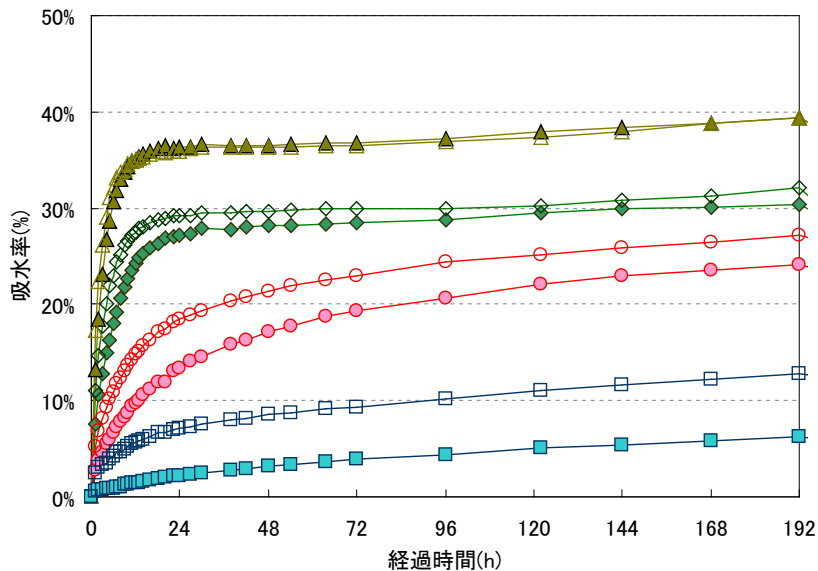
(2) 凍結融解試験の事前養生

2 章で検討したように、各材の吸水・放湿の特徴はすでに明らかになっており、吸水過程は 24 時間程度の吸水で有る意程度吸水がおさまるものとそうでないものがあった (図 6.2 参照)。

試験の結果からは、凍結融解試験ではサイクルを重ねるごとに含水率は増加する傾向が確認された。従って、凍結融解試験実施後に続いて実施される劣化促進サイクルは、必要に応じて含水率調整を実施するのが望ましい。また、同様の理由で、続いて実施される性能評価試験は、各試験の目的を鑑みて必要に応じて一定の乾燥期間を設ける必要がある。

一方で、凍結融解サイクル試験として考えると、例えば凍結融解試験に定める事前吸水時間(現 JIS では 24 時間)では、材種によってはスタート時点での含水率が異なることを意味する。ただし、凍結融解試験などでは、水を吸収し易いあるいは水分を保持し易いと言った性質自体が、耐凍害性の優劣に関わるものである。今回の検討結果より、凍結融解試験の前養生としては、現行の JIS A 5422 耐凍結融解性試験で定められている 24 時間の事前吸水養生により、水分の保持性能を考慮した形で性能評価可能であると考えられる。

尚、凍結融解試験のシーリング方法については 2 章および 6.2.4 を参照のこと。



◆ 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系 (16mm 寒冷地仕様) シール
 ▲ 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系 (14mm 寒冷地仕様) シール
 ○ 繊維補強セメント板系 (14mm 寒冷地仕様) シール
 ■ 木繊維補強セメント板系 (14mm 寒冷地仕様) シール
 ◇ 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系 (16mm 寒冷地仕様) 無処理
 △ 繊維補強セメントけい酸カルシウム板系 (14mm 寒冷地仕様) 無処理
 ○ 繊維補強セメント板系 (14mm 寒冷地仕様) 無処理
 □ 木繊維補強セメント板系 (14mm 寒冷地仕様) 無処理

図 6.2 系の違いおよびシールの有無による吸水特性 (図 2.4.21 再掲)

(3) 炭酸化促進試験の事前養生

セメント系材料の炭酸化の進行速度は、一般に、含水率に依存すると考えられている。この点については窯業系サイディングによる研究成果は見られなかったが、コンクリートやモルタルなどでは炭酸化進行の含水率依存性が確認されている。

従って、炭酸化促進試験前には、有る程度、事前養生を実施して含水率が調整されている必要がある。

(4) その他複合サイクル間の事前養生

例えば、4章で示されたように、1サイクルの凍結融解試験終了時の含水率は飽水に近い状態になっていることが予測され、(1)で述べた事前養生では十分な乾燥状態にならない可能性がある。

したがって、複合サイクルの2サイクル以降の試験では、サイクル間で初期含水率に大きな差が生じないように調整すること、あるいは含水率を確認することが必要となる。

6.2.2 炭酸化促進試験

(1) 劣化外力としての二酸化炭素濃度

窯業系サイディングが実用される環境下において、二酸化炭素は必ず存在する劣化因子のひとつであることから、長期耐久性評価にあたっては一般環境における劣化外力として考慮する必要がある。

二酸化炭素濃度の実測値は、気象庁が発表している綾里、与那国、南鳥島のデータによれば、2010年でおおよそ380ppmから390ppmであり、ここ数十年の間増加傾向にある。他の地域に関しては、WDCGG(World Data Center for Greenhouse Gas)¹⁾などを通して取得可能であり、例えばつくばにおける二酸化炭素濃度は、図6.3、図6.4に示すとおりである。これらの結果をみると、気象庁発表のデータとつくばの測定結果にはあまり差がなく、一般地域においては、おおよそ380ppmから390ppm程度と考えてよさそうである。

ちなみに、室内環境における二酸化炭素濃度は、人の活動の有無によって大きく変動することが知られている。しかしながら、室内環境の保全の観点からおおよそ1000ppmを上限としてコントロールされていることが望ましいとされており、近年では、24時間強制換気が義務付けられていることから、劣化外力としては1000ppmを想定しておけばよいものとする。

二酸化炭素濃度は主に、室内外や排気口の位置、周囲の植栽の状況、近隣の交通量などにより多少の影響を受けるものと思われるが、概ね、上記の値が参考となるものとする。また、通気層内の二酸化炭素濃度もほぼ外気と同程度を考えてよいものとする。

さらに一定した増加傾向であることを考慮すると、劣化外力としての二酸化炭素濃度は、長期的な性能評価であることを踏まえて安全側に評価し、500ppm程度とすることが妥当であるとする。

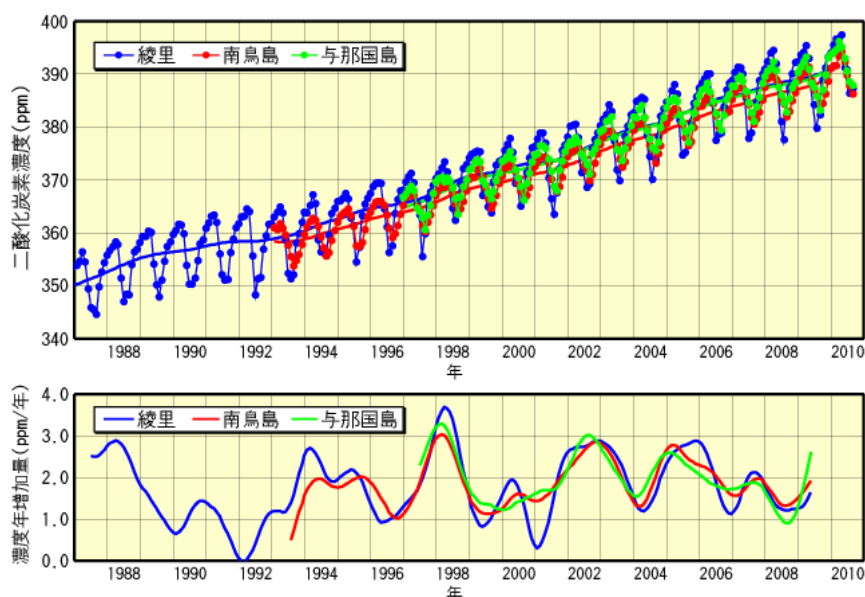


図 6.3 気象庁発表による二酸化炭素濃度の経年変化

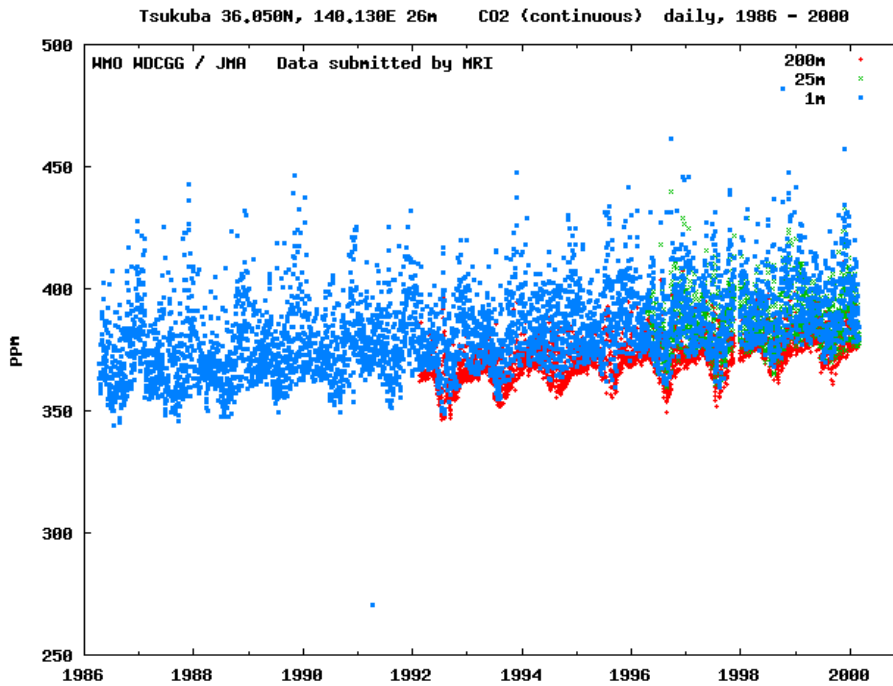


図 6.4 つくばの CO2 濃度の推移 (WDCGG)

(2) 炭酸化メカニズム(反応機構)

第 5 章の試験結果および既往の文献を踏まえると、窯業系サイディングの炭酸化については以下のことが言える。

二酸化炭素濃度をあげたいわゆる中性化促進養生を施した場合、フェノールフタレインによる呈色反応に変化が見られる。図 6.5 に示すように、当該プロジェクトで検証した試験体の範囲の中では、サイディング種類によって呈色反応の変化状況に大きな差が見られ、いわゆる pH が低下する中性化現象が生じているかどうかには疑問が残る。

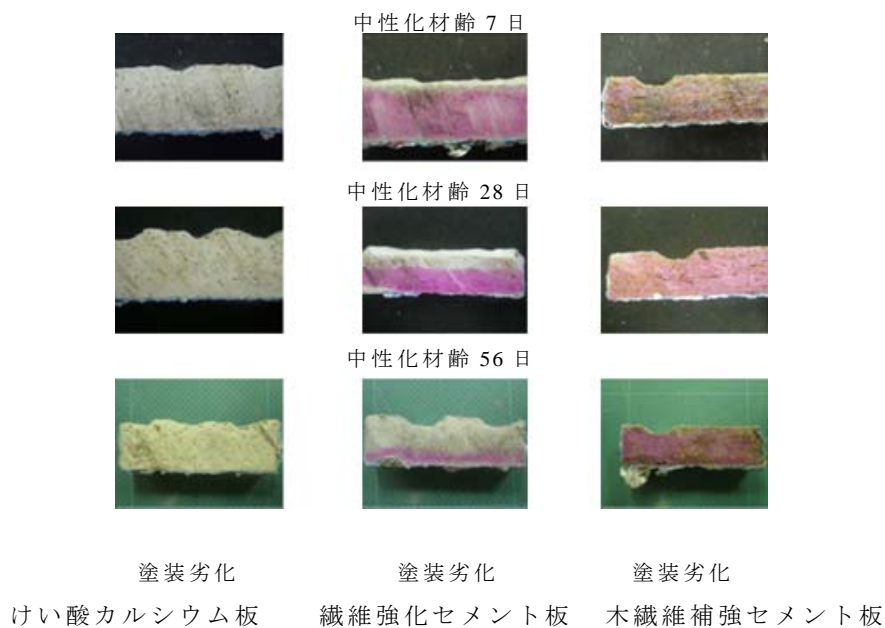
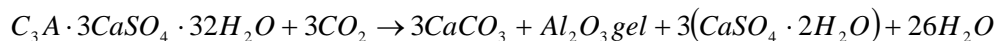
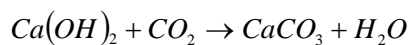


図 6.5 中性化深さの測定 (フェノールフタレインによる呈色の様子) (図 5.2 の再掲)

一般に、セメント水和物の常温下での炭酸化反応は、以下の反応式で示される水酸化カルシウム、C-S-H、エトリンガイトの炭酸化とカルシウムアルミネート水和物の炭酸化であると考えられる。



一般に、セメント硬化体の pH は水酸化カルシウムに起因することが知られているが、オートクレーブ養生などを施した場合には、トバモライトの生成が促進され水酸化カルシウムが消費されるため、初期で水酸化カルシウムがどの程度生じているかは、サイディングの組成、製造方法などにより異なるものとする。すなわち、初期の水酸化カルシウム量が少なくなっている可能性があり、フェノールフタレインの呈色による確認を困難にしているものとする。

これらを踏まえ、中性化促進試験に伴う炭酸カルシウムの生成状況を確認するために実施した TG/DTA および XRD の試験結果によれば、促進材齢に応じて炭酸化カルシウム(バテライトおよびトバモライト)が生成する様子が確認され(図 6.6 参照)、サイディング種類によっては経年に伴う炭酸化が進行することが予測される。

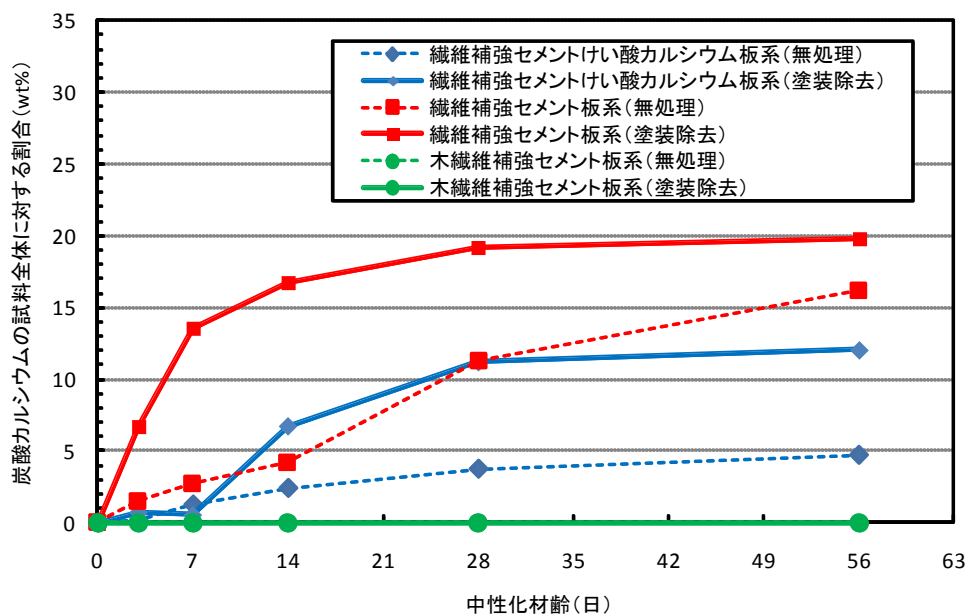


図 6.6 中性化材齢における炭酸カルシウムの割合の変化
(無処理および塗装除去) (図 5.11 の再掲)

(3) 炭酸化メカニズム(質量変化)

炭酸化反応は、前掲の反応に基づき、炭酸カルシウムの生成とそれに伴う脱水に伴い質量が増加する(図 6.7 参照)。

炭酸化促進養生した試験体の質量変化を見ると、炭酸カルシウムの生成量と質量変化に

は概ね相関があることが確認された（図 6.8 参照）。また、後述する収縮変化と質量変化との間にも相関がみられたことから、質量変化は、炭酸化の重要な指標となることが確認された（図 6.9 参照）。

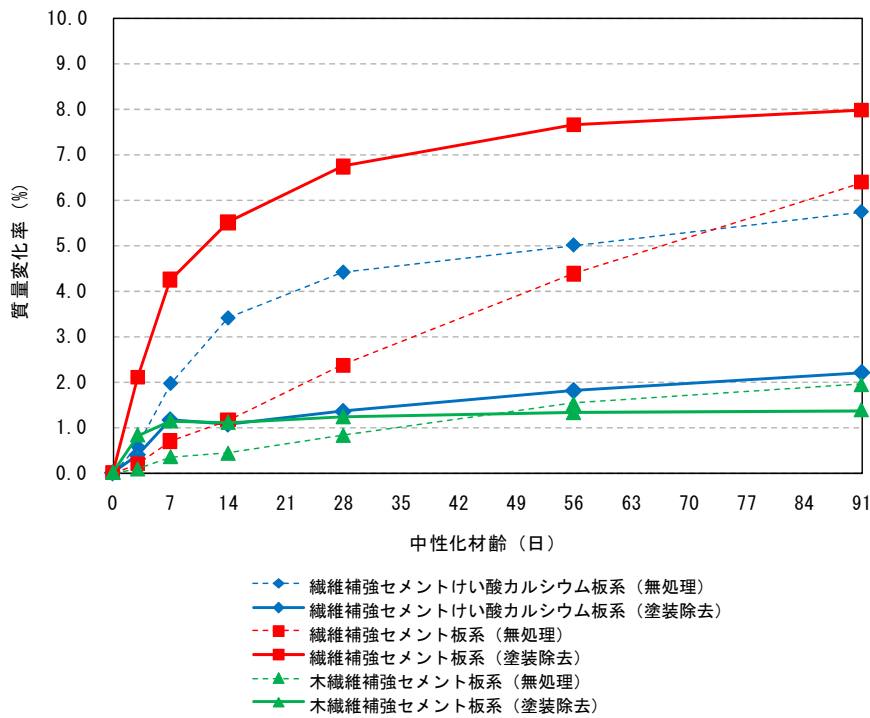


図 6.7 中性化材齢と質量変化率 (図 5.13 の再掲)

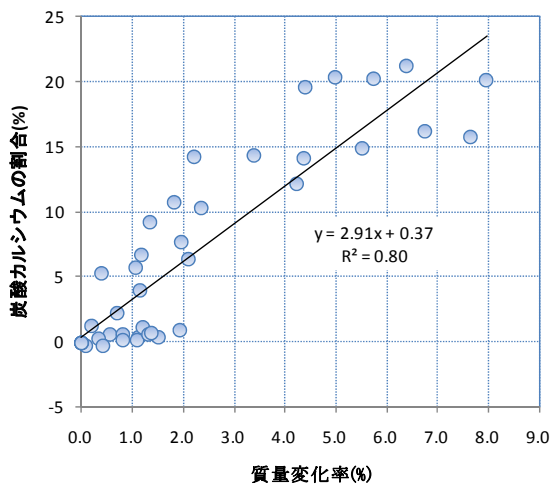


図 6.8 炭酸カルシウムの割合 [%] と質量変化率 (%) の関係 (図 5.16 の再掲)

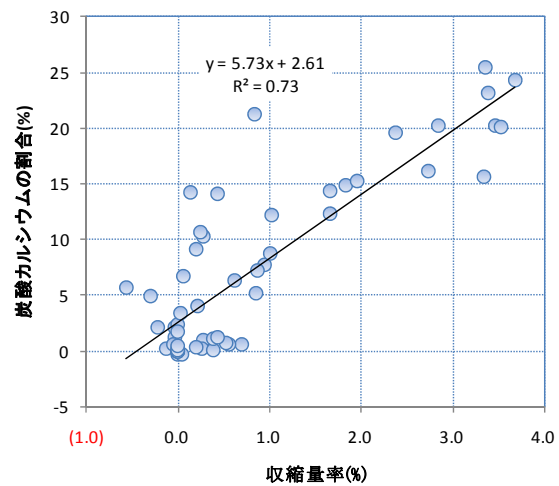


図 6.9 炭酸カルシウムの割合 [%] と収縮率 (%) の関係 (図 5.15 の再掲)

(3) 炭酸化メカニズム (炭酸化収縮)

これまでの検討結果によれば、炭酸化によりサイディングは大幅に収縮することが明らかになっている。本項(2)における考察および、図 6.10 に示されるサイディングの変形挙動から総合的に判断すると、サイディングの変形は、主として炭酸化によりもたらされると考えてよいようである。

その大きさは 4000μ を超えることもある一方で、塗装の有無による変化も確認された。一部、検証が必要な結果が見られるものの、塗装があることで炭酸化が抑制され、長さ変化が抑えられている様子が確認される。

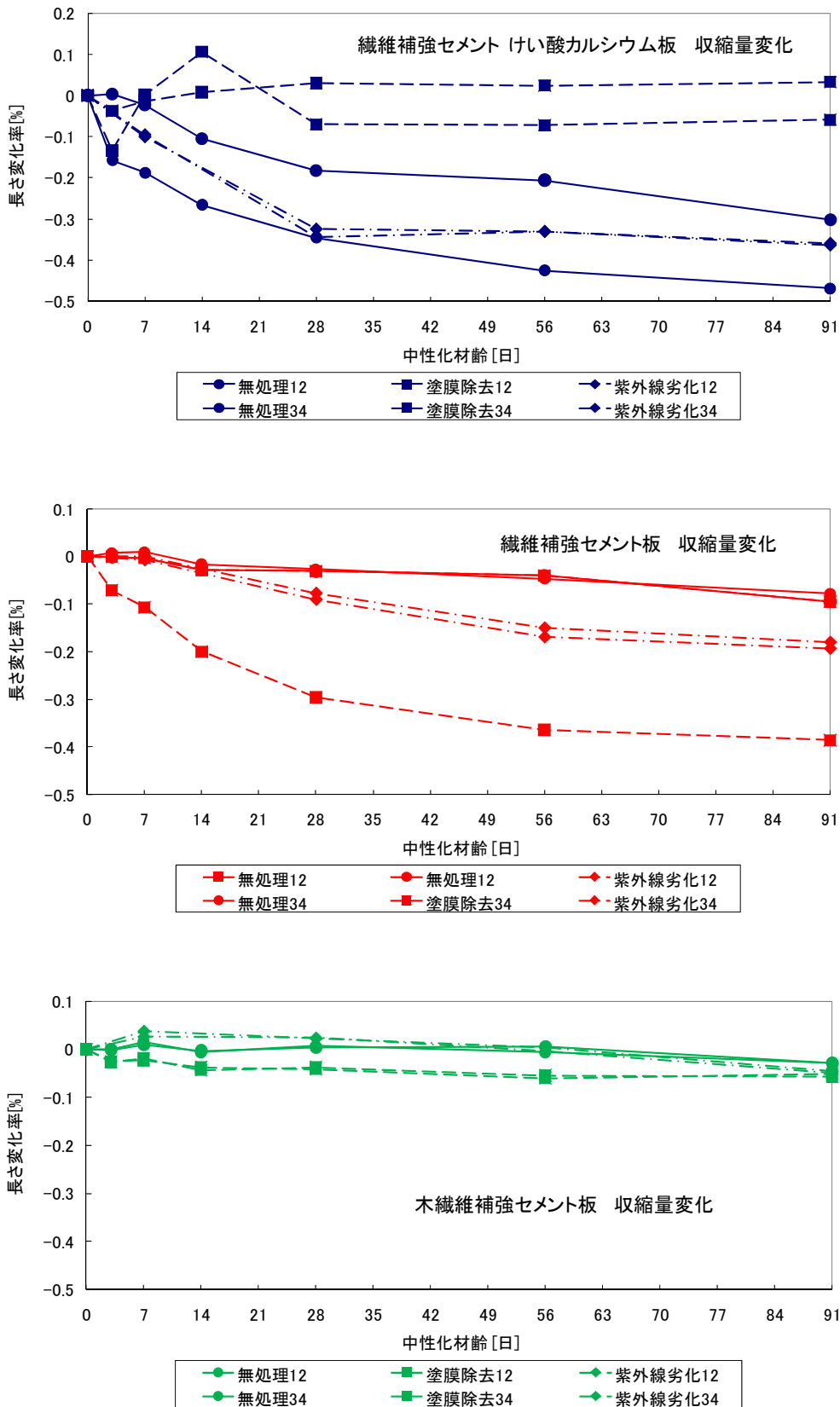


図 6.10 中性化材齢と長さ変化率 (図 5.14 の再掲)

(4) 炭酸化メカニズム(促進倍率)

以上の検討を踏まえ、炭酸化の進行が考えられるサイディングの組成は概ねコンクリートと同様であり、いわゆるコンクリートにおける中性化の概念を援用することが出来ると仮定する。すなわち、以下を仮定する。

- ・ サイディングの炭酸化は、コンクリートと同様にシャープな炭酸化フロントを形成して進行するものと仮定する。すなわち、炭酸化による重量変化は炭酸化深さに比例するものと仮定することが出来る。
- ・ サイディングの炭酸化は、二酸化炭素の作用により、炭酸化合物が逐次反応することにより生じる。
- ・ サイディングの炭酸化は、二酸化炭素の拡散に起因し、フィックの拡散則に従う。これらを仮定すると、コンクリート同様、中性化速度係数(炭酸化速度係数)の二酸化炭素濃度依存性は、以下の式に従うものと考えられる²⁾。

$$(\text{炭酸化速度}) \propto \sqrt{(\text{促進条件の二酸化炭素濃度}) / (\text{曝露環境の二酸化炭素濃度})}$$

(1)で述べた外気の二酸化炭素濃度と、促進条件の二酸化炭素濃度を考えると、中性化速度係数(炭酸化速度係数)の倍率は10倍程度と考えられることから、実時間軸における促進倍率は100倍となる。

炭酸化の進行の早いサイディングでは、炭酸化促進試験を2ヶ月程度施すことである程度炭酸化がおさまってきているものもあり、これは、炭酸化の早いサイディングでは10年を待たずして炭酸化が終了していることを意味する。

一方で、塗装の保護効果が一定程度見られたことから、長期耐久性の評価を塗装込みで実施する場合には、想定する供用期間に応じて、適切な炭酸化促進試験が必要となる事が示唆される。

(5) 促進炭酸化における炭酸化指標に関する検討

以上の考察を踏まえると、以下を述べる事が可能である。

- ・ サイディングは炭酸化するものがあり、炭酸化により質量の増加および収縮が生じるが、その程度は、製品によって異なる。
- ・ 炭酸化促進養生により、炭酸化による変化を捉えることが可能である。
- ・ 質量変化と炭酸カルシウムの生成量は概ね相関する。
- ・ 炭酸化による長さ変化率と炭酸カルシウムの生成量は概ね相関する。
- ・ 塗装による保護効果も定量的に評価することが可能である。
- ・ 促進炭酸化試験における二酸化炭素濃度を5%とした場合の促進倍率は、100倍程度とみなすことが可能である。
- ・ フェノールフタレインによる定量的評価は困難である。

これらの考察を踏まえると、一般環境における劣化外力として二酸化炭素を考慮した炭酸化試験の必要性和有効性がしめされたものと考えられるとともに、塗装による母材の保護効

果も考慮することが可能であると考える。

また、サイディングにおける炭酸化の評価は、その測定の容易さなどを考えると、質量変化による評価である程度評価が可能である。ただし、そのためには、初期の含水条件の調整に関する記述が必要であると考える。

参考文献

- 1) 温室効果ガス世界資料センターHP (http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/jp/wdcgg_j.html)
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針(解説)、2004

6.2.3 耐候性試験

紫外線による劣化は、窯業系サイディングの表面塗装に対する劣化要因の一つであり、表面塗装が劣化することにより窯業系サイディングに対する保護効果が低減し、乾湿の繰り返しや凍結融解作用に対する耐久性の低下を招く。したがって、窯業系サイディングの長期耐久性評価試験においては、紫外線劣化に対する抵抗性についても耐久性評価の劣化因子の一つとして取り扱っている。

促進試験方法によって紫外線劣化を評価する場合、耐候性試験装置や、紫外線劣化装置が用いられる。これらの試験装置を用いた促進試験方法について、試験条件等を検討する場合には、自然環境下において材料が受ける劣化因子の量や回数、および促進試験装置によって与えられる劣化因子の量や回数を明らかにし、両者の関係から試験方法や試験条件の位置づけを明確にする必要がある。本項では、紫外線劣化に対する抵抗性を評価するため、紫外線量と試験装置および試験条件との位置づけについて考察する。

1) 窯業系サイディングが受ける紫外線の量

紫外線は、塗料やシーリング材などの有機系の材料に対する劣化因子として作用し、C-C結合を分解させ、材料を破断させたり脆化させる作用がある。一般に、紫外線は、A領域（315～400nm）とB領域（290～315nm）に分けられ、人体への影響や材料の劣化に対しては、B領域の紫外線量の影響が大きいと言われている。また、近年は、オゾン層の破壊により、紫外線量が増加傾向にあると言われている。

図 6.11 に、札幌、つくば、那覇における年積算紫外線量（UV-B）の推移を示す。また、図 6.12 に 2009 年の月積算紫外線量（UV-B）を示す。札幌、つくば、那覇の観測地の詳細は表 6.2 に示すとおりである。

図 6.11 に示すとおり、紫外線量は観測地によって異なり、1997 年から 2009 年までの年積算紫外線量の平均値は、札幌で $4.0\text{MJ}/\text{m}^2$ 、つくばで $5.1\text{MJ}/\text{m}^2$ 、那覇で $7.8\text{MJ}/\text{m}^2$ である。経年的な増加の傾向は明瞭な傾向としては認められない。年間を通した紫外線量は、太陽高度や天候の影響

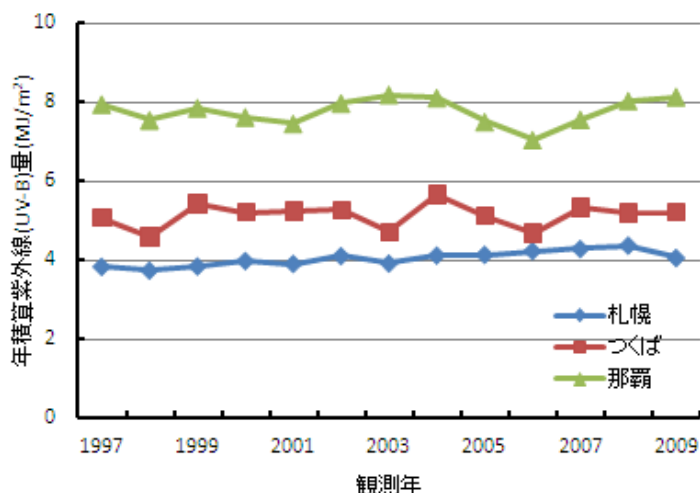


図 6.11 紫外線量（UV-B）の年積算値の推移

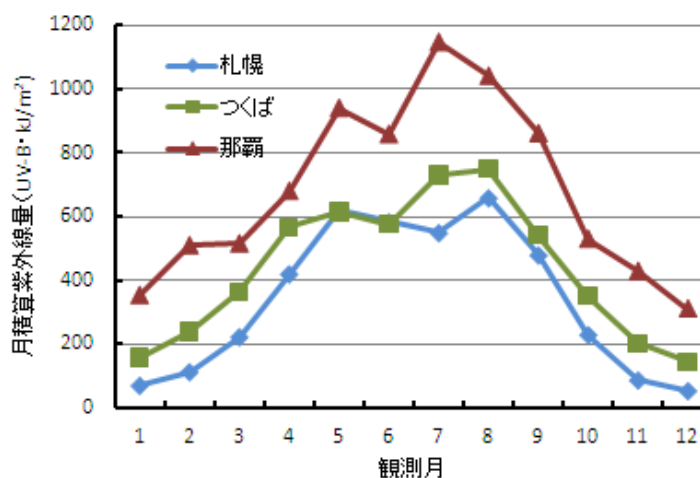


図 6.12 紫外線量（UV-B）の月積算値（2009 年）

を受け夏季に大きく冬季に小さくなる。

ここでの紫外線量は、水平面で測定した場合の紫外線量である。窯業系サイディングは主に壁材として垂直面で使用される場合が多いことから、水平面に対する垂直面での紫外線量が必要である。図 6.13 に (独) 建築研究所で観測した紫外線量について、方位ごとの垂直面および南 30°面と水平面の比を示す。

垂直面が受ける紫外線量は、各方位ともに小さくなる。太陽高度が高い夏季にはその比は小さくなり、高度の低い冬季には比は小さくなる。また、北面ほどその影響を受けやすい。年間を通じた紫外線量の比は、南面が 0.33、西面が 0.35、東面および北面が 0.40 であった。また、南面 30°は日射に対して垂直に近いため水平面よりも大きくその比は 1.25 程度となる。

水平面と垂直面の比は太陽高度の影響を受けるため、緯度の高い地域ではその比は大きくなると思われる。また、周囲の建物や地表面の状況、天候などによっても影響を受ける。建築研究所 (茨城県つくば市) は北緯 36 度に位置しており、国内の一般的な地域の値として考えれば、水平面と垂直面の比は 0.4 程度として考えておけばよいと思われる。

2) 促進試験によって与えられる紫外線量

建築材料を対象とした促進試験は、JIS A 1415 (高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法) に規定されている。JIS A 1415 には、試験方法 (光源) の種類として、キセノンアーク光源、紫外線蛍光ランプ、オープンフレームカーボンアークランプ (サンシャインカーボンアークランプ)、紫外線カーボンアークランプが規定されている。また、試験条件は、屋外での直接暴露を想定した条件と、室内環境を想定した条件がそれぞれ設定されている。それぞれのランプの特徴および試験条件を表 6.3 に示す。このほか、JIS の規定にはないものの、メタルハライドランプが使用される場合もある。メタルハライドランプは、一般にスーパーUV テスター、超促進試験機などと呼ばれる装置に用いられるランプである。

ここで問題となるのが、それぞれの試験装置の違いによる促進劣化の程度や意味合いの違いである。測定装置は、ランプやフィルタの特性により、波長域およびその放射強度が

表 6.2 紫外線量の観測地点の詳細

観測地	管署名	緯度・経度
札幌	札幌管区気象台	N:43° 04' E:141° 20'
つくば	高層気象台	N:36° 03' E:140° 08'
那覇	沖縄気象台	N:26° 12' E:127° 41'

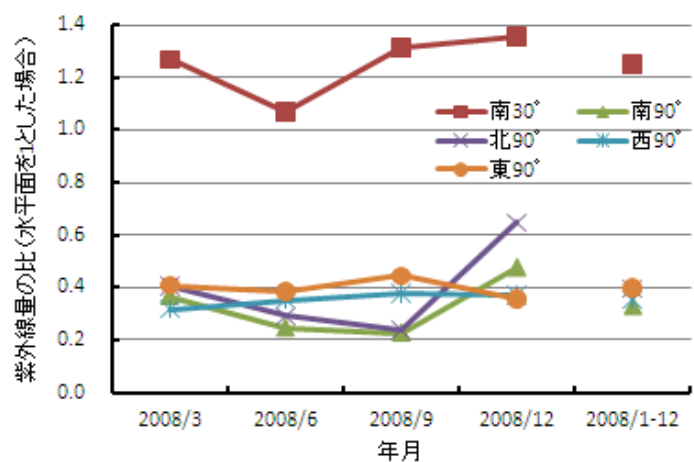


図 6.13 水平面と垂直面および南 30°面の紫外線量 (UV-B) の比

表 6.3 促進試験に使用するランプの分類

光源 (試験方法)	波長域 (nm)	放射照度 (W/m ²) (全波長域)	放射照度* (W/m ²) (300~400nm)	ブラック パネル 温度	相対 湿度	標準的な 照射サイクル
キセノンアーク 光源 (WX-A 法)	290~ 800	550	60.0	63±3℃	50±5%	108 分間照射後 12 分照射+水噴霧
紫外線蛍光 ランプ (WF-2)		500		50±3℃	10±5%	5 時間照射後 1 時 間照射+水噴霧
サンシャイン カーボンアーク ランプ (WS-A 法)	300~ 700	255	78.5	63±3℃	50±5%	108 分間照射後 12 分照射+水噴射 もしくは 48 分間照射後 12 分照射+水噴霧
紫外線カーボン アークランプ (WV-A 法)	300~ 700	500	366.0	63±3℃	50±5%	108 分間照射後 12 分照射+水噴霧
メタルハライド ランプ*	295~ 450	1000	約 1000			

*: JISA1415 の既定には定められていない。表中の値は文献¹⁾を参照した。

異なる。図 6.14 に試験機ごとの各波長のエネルギー照度比²⁾を示す。

キセノンアークランプは、現在 ISO や各国の試験規格で採用されている標準的なランプであり分光特性が太陽光に近いことから、日射との関連性という点では相関性が高いが放射強度はそれほど大きくはない。

サンシャインカーボンアークランプは、従来多く採用されてきたランプでデータの蓄積も多いが、近年では試験規格もキセノンランプに移行している。分光特性は 370~400nm

の強度が太陽光に比べて相対的に大きい点に特徴がある。紫外線カーボンアークランプは紫外域での放射強度は大きくなっているものの、ピーク部分にその強度が集中しており、必ずしも劣化の促進程度が大きいということではないことに注意が必要である。

メタルハライドランプは、近年スーパーUV テスターなどの名称で普及しつつあるランプで、放射強度が高くまた紫外線域に集中しているのが特徴である。試験条件に関する JIS の規定はないものの、一般的には、キセノンアークランプ、サンシャインカーボンアークランプと同様の試験条件で実施される場合が多い。

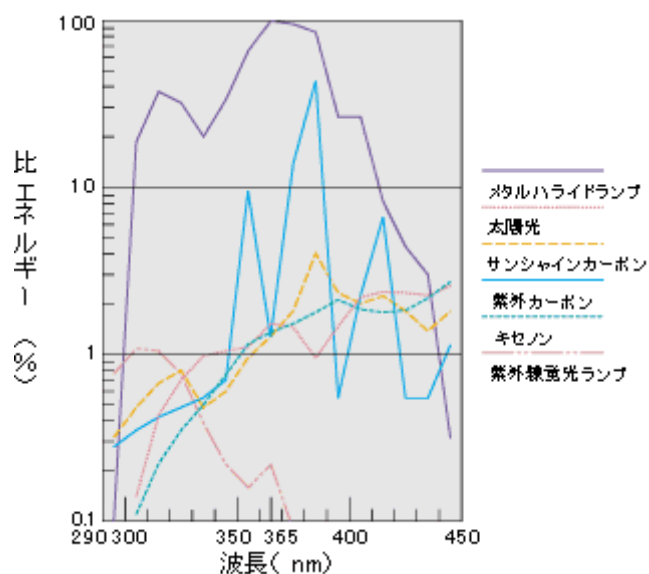


図 6.14 試験機ごとの各波長エネルギー照度比²⁾

3) 実環境と促進試験の関係

表 6.4 に紫外線劣化を対象とした促進試験と実環境における劣化の関係を考える上で考慮すべき要因の例を整理する。表に挙げたとおり、両者の関係は様々な要因の影響を考慮する必要があり、一概に促進倍率として決められるものではないことをまず理解しなければならない。

表 6.4 実環境と促進試験の関係について考慮すべき要因

分類	考慮すべき要因
材料が晒される環境	立地（場所）、方位、角度、雨がかり、日影、天候など
材料の劣化の特性	紫外線の吸収領域、温度、湿度（水分）など
試験装置の特性	分光特性、放射強度、温湿度条件など

一方、試験条件を設定する場合には、両者の関係に対する何らかの目安が必要であり、長期耐久性の評価を行う上では、例えば 10 年単位などの一定の期間に相当するような試験条件の目安が必要である。そこで、多少の誤差や考慮すべき要因の欠落は無視した上で、条件設定のために必要な目安としての促進倍率（試験時間が実暴露の何倍の時間に相当するか）について検討する。

前述のように、UV-B 領域の紫外線の方が材料の劣化に影響を及ぼすことは分かっているが、試験装置にはそれ以外の範囲の紫外線も多く含まれ、太陽光も相対的には A 領域の紫外線の方が大きいことから、試験条件の検討にあたっては、紫外線域全域あるいは表 6.5 のようなデータが得られている 300~400nm の波長域について考えることとする。また、材料が晒される紫外線量についても様々な要因が考えられるが、ここでは、壁材として垂直面に施工されることを前提とし、また標準的な地域として、つくばや銚子など北緯 35 度前後の場所を基準として考え、立地の違いについては、図 6.11 のような関係を参考に地域による紫外線量の差を考慮するとよい。

以上のような前提から試験倍率について整理すると、年間の紫外線量を千葉県銚子市（ウェザリングテストセンター）で測定された 1996~2000 年の平均値¹⁾である 313MJ/m²と仮定し、水平面に対する垂直面の比を 0.4 とすると、垂直面が受ける年間の紫外線量は、125MJ/m²となる。

そこで、キセノンアーク、サンシャインカーボンアーク、メタルハライドの各ランプの 300~400nm における放射強度の値を参考に、年間紫外線量に相当する照射時間および促進倍率を求めると、表 6.5 のようになる。ここで対象としたランプの種類については、キセノンアークおよびサンシャインカーボンアークランプは、建築材料の耐候性の評価として、これまでの実績および現在の標準的な試験装置であること、メタルハライドランプについては、JIS A 1415 の規定には含まれないものの試験時間の大幅な短縮が期待できることから検討の対象とした。また、紫外線蛍光ランプ、紫外線カーボンランプについては、分光特性のピークが大きいこと、一般的な試験装置ではないとの判断からここでは対象としていない。

例えば、長期耐久性の評価をする場合に 10 年を一つの目処として考える場合、キセノンアークランプで 237 日、サンシャインカーボンアークランプで 186 日、メタルハライドラ

ンプで約 15 日となる。なお、ここでは試験中の温度の影響は考慮しておらず、63℃の雰囲気中で試験されることを考慮すると、劣化の速度は常温よりも速くなることが予想されるため、試験時間に関しても安全側の評価をしていることになる。また、これらの値については、相当の仮定および誤差が含まれるため一つの目安として考える必要がある。

なお、本報告書の 3 章に記載している複合劣化の検証実験では、サンシャインカーボンアークランプで 1000 時間の照射、4 章の検証実験では、サンシャインカーボンアークランプで 1000 時間の照射のほか、一部の試験体についてはメタルハライドランプで 120 時間の照射を行っている。上記の検討に基づいた場合、サンシャインカーボンアークランプ 1000 時間が 2 年強に相当し、メタルハライド 120 時間が 3 年半弱に相当する程度である。両者を加えても 5 年半程度に相当する耐候性試験であり、試験条件からは長期耐久性を評価した試験とは言い難い。試験結果についても、はく離や膨れ、色差変化もほとんどなく健全な状態であることが分かる。

表 6.5 試験機（ランプ）ごとの年間紫外線量に相当する照射時間および促進倍率

ランプ種類	キセノン アーク	サンシャインカーボン アーク	メタルハライド
年間紫外線量（銚子） に相当する照射時間(h)	568	446	35
促進倍率	15.4	19.6	252

参考文献

- 1) 日本規格協会：JIS ハンドブック 建築Ⅱ（試験）2010、pp.2059-2064、2010.1
- 2) 岩崎電気（株）ホームページ（<http://www.iwasaki.co.jp/>）より引用

6.2.4 温冷・耐湿性

温冷や乾湿といった温度・湿度の変化は、建材が必ず受ける劣化因子である。ただし、これによって、耐久性に阻害を及ぼすほどの劣化が起きるかは、建材の種類や環境条件などによる。窯業系サイディングは、セメント系の無機素材であり、一般環境下における温度変化や湿度変化は、耐久性に阻害を受ける劣化因子と成り得ないと考えることもできる。しかし、窯業系サイディングは、有機系の繊維が含有されていること、あるいは厚さが薄いため、温度や湿度変化によって、反りなどの変形が生じやすいことも、一方では考慮されるべきといえる。したがって、本研究では、窯業系サイディングの長期耐久性評価試験においては、温冷や乾湿の繰り返しを受ける温冷・耐湿性試験も耐久性評価の劣化因子の一つとして扱うこととした。

促進試験によって、温度や湿度による変化、抵抗性を評価する場合には、さまざまな試験方法が用いられるが、窯業系サイディングに限らず、外装材一般に標準化されたものは無い。よって、長期耐久性評価の試験方法として取り扱う場合には、試験条件を検討することはもちろん、温冷や乾湿の繰り返しによって、実際に窯業系サイディングの性能がどれほど低下するかを確かめる必要がある。そこで、本項では、温冷・乾湿繰り返しに対する窯業系サイディングの抵抗性や試験条件等について考察する。

1) 温冷・耐湿性試験の例

窯業系サイディングをはじめ、セメント系外装材では、温度による劣化として耐凍害性が課せられるものの、内部の水分が凍結するほどの低温でなければ、他の温度領域における試験を行うことはほとんど無い。

外装材に用いる窯業系建材のなかで温冷の繰り返し試験が行われるものとして、タイル張りがある。表 6.6 は、外装タイル張りにおいて耐久性に係わる試験項目であり、既調合モルタルの試験として温冷繰り返し試験が行われている。

表 6.6 外装タイル張りの耐久性に関する評価試験項目

材料	規格・認証制度	評価項目
陶磁器質タイル	JIS A 5209、JIS A 1509	耐貫入性
		耐凍害性
		耐薬品性
外装タイル用有機系接着剤	JIS A 5557	アルカリ温水浸せき
		凍結融解
		熱劣化
既製調合モルタル	社団法人公共建築協会 建築材料・設備機材等品質性能評価事業	温冷繰り返し
既製調合目地モルタル	社団法人公共建築協会 建築材料・設備機材等品質性能評価事業	—

既調合モルタルの試験として実施されているものは、JIS A 6909（建築用仕上塗材）の温冷繰返し試験に準じた方法である。これは、試験体を $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ の水中に 18 時間浸せきした後、直ちに $-20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ の恒温器中で 3 時間冷却し、次いで $50 \pm 3^{\circ}\text{C}$ の別の恒温器中で 3 時間加温し、この 24 時間を 1 サイクルとする操作を 10 回繰り返す。この方法では低温側が -20°C と、モルタル内部水分が凍結を起こすほどの過酷な条件であり、一般地における温冷繰返しを想定しているわけではない。また、この試験はタイル+張り付けモルタル+下地、あるいは仕上塗材+下地のように、複数の構成となる外装部において、温冷によってそれぞれの層の変形が異なる場合の繰返しによる劣化を想定していると考えられる。なお、この方法は、塗膜面にひび割れ、剥がれ及び膨れがなく、かつ、著しい変色及び光沢低下がないことを確認するために、窯業系サイディングと同様の利用のされ方をする ALC（JIS には無い）などでも行われている。

このようなタイル張りに関する試験としては、装置内での温度と湿度を制御して、特定の温湿度間で繰返し試験を行うもののほか、特定の温度における水中浸漬とオープンなどによる乾燥を繰返す試験なども研究・開発レベルでは行われることがある。しかしこの場合も、異なる構成層での変形の相違による劣化を想定した試験であり、窯業系サイディングに課す試験として必ずしも望ましいとはいえない。

また、内装ボードに課す温冷・耐湿性試験としては、JIS A 1437（建築用内装ボード類の耐湿性試験方法温冷繰返し）がある。これは雨掛かりを想定していない内装ボードについても、用いる部位によっては高湿度環境下にある場合もあり、そのようなときに、課す試験方法と位置づけられる。よって、JIS 規格上では、外装に用いる窯業系サイディングをこの試験に課す必要は無いといえる。しかし、一般の環境下において受ける温度・湿度変化を考慮した場合の温冷や乾湿の繰返し促進条件としては、この試験方法を参考とすることもできる。そのような考えから、本研究ではこの試験を参考に、窯業系サイディングの促進試験として実施している。

2) 温冷・耐湿性試験を受けた窯業系サイディングの性能

温冷・乾湿繰返し作用が窯業系サイディングの性能に及ぼす影響が、必ずしも明確でないことから、本研究ではこれらの促進試験を実施している。温冷・耐湿性試験は、炭酸化、耐候性試験を実施した後に、JIS A 1437 に準じて 200 サイクルの繰返しを行った。

図 6.15 は、試験結果として温冷耐湿性試験を実施した後にどれほど曲げ強度を保持していたかを保持率として、また実際の曲げ強度も示している。これによると、G-1~7 の種々のメーカーによる窯業系サイディングは、曲げ強度保持率でいずれも 100% 以上を示しており、温冷や乾湿の繰返しが、窯業系サイディングの曲げ性能を低下させるとはいえない。

また、図 6.16 に温冷・耐湿性試験による厚さ変化率および質量変化率を示す。これによれば、厚さ変化率は最大でも 0.5% 程度、質量変化率は 1% 以下、また懸念されるような、反りが生じるようなことも起きていない。

このようなことから、200 サイクルという条件が過酷でなかったとの見方もできるものの、基本的には、窯業系サイディングが温冷・乾湿の繰返しによって受ける影響は小さく、クリティカルな劣化因子として想定しなくてもよいと考えられる。

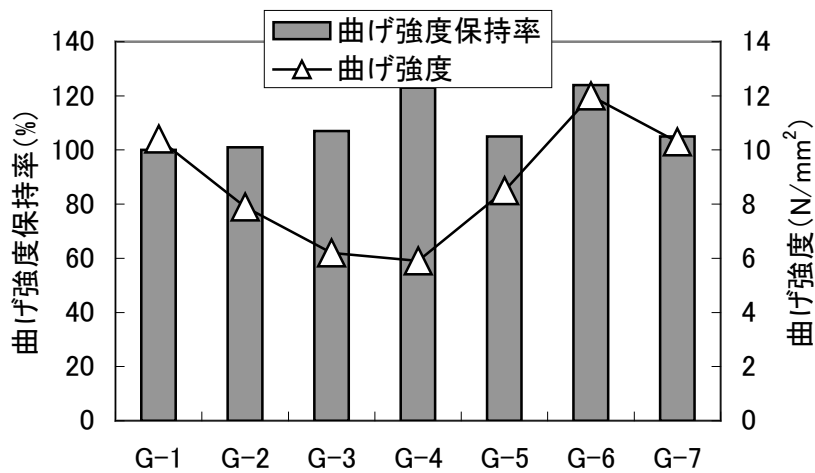


図 6.15 温冷・耐湿性試験後の曲げ試験結果

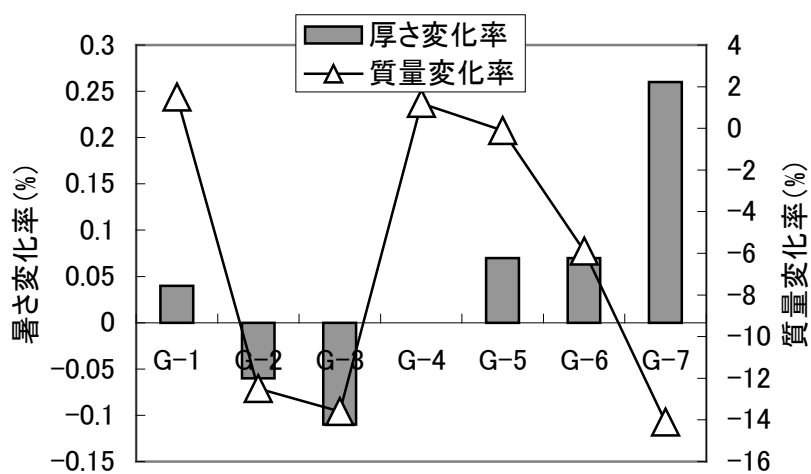


図 6.16 温冷・耐湿性試験による厚さ変化率および質量変化率

3) 窯業系サイディングの長期耐久性評価における温冷・耐湿性試験の位置づけ

本研究の範囲で、JIS A 1437（建築用内装ボード類の耐湿性試験方法温冷繰り返し）に準じた試験を実施した結果、200 サイクルまでで、極端な劣化は認められなかったことから、窯業系サイディングの長期耐久性評価において、温冷・耐湿性試験を課す必要はないといえる。

ただし、窯業系サイディングは、厚さが 14~16mm のものが大半で、反りなどの変形が起きやすい建材であることは事実である。また、冬期の低温乾燥と夏期の高温多湿では計算上 0.5mm/m 程度伸縮することとなり、年間を通して温湿度の変化で日々伸縮を繰り返している。また、一般地において耐凍害性に代わる劣化試験が不要かどうかは、今回の結果のみで必ずしも判断できない部分もある。

このようなことから、基本的には、課す必要のない試験方法ではあるものの、現状すなわち、7 章で提案する試験方法には残しておき、実測データをとっている今後の研究¹⁾等を参考に、定めるのが良いと考えられる。

参考文献

1) 一般社団法人住宅性能評価・表示協会：長期優良住宅実現のための技術基盤強化を行う事業，住宅の外装部の長寿命化及び維持保全技術の評価方法に関する研究成果報告書，平成 22 年 3 月

6.2.5 凍結融解試験

6.2.5.1 劣化外力としての凍結融解作用回数

凍結融解による窯業系サイディング材の劣化は、寒冷地においてサイディング中の水分が氷結および融解をくりかえることで膨れやひび割れ、スケーリングなどが発生する劣化現象を指す。凍結融解の原因は、このような凍結融解を生じる温度変化及び、材中の水分そのものであり、材料の選択や構法仕様によって、温湿度変化や作用する水分の保持量などが異なると考えられている。

したがって、10年程度の促進条件を定めるには、窯業系サイディングがおかれる環境条件を考慮した形で促進倍率を考慮する必要がある。

(1) コンクリート分野の研究事例

環境条件に着目した凍結融解に関する研究は、これまで多くなされてきているが、特に、コンクリート分野においては、凍結融解の作用劣化外力に関する成熟した研究が先行して行われてきている。例えば、2009年に改定となった「日本建築学会 建築工事標準仕様書 コンクリート工事」¹⁾(以下 JASS5)では、「凍結融解作用係数」、「凍害危険度」、「ASTM 相当サイクル数」の3つの手法を紹介しており、JASS5では凍結融解作用係数に基づく凍害対策を示している。表 6.7 に凍結融解作用係数、凍害危険度、ASTM 相当サイクル数の比較を示す。また、凍害危険度の分布を日本地図に示したものを図 6.17 に示す。

これら3つの数値には、箇所により特徴は有るものの、概ね有る程度の相関がみられる。

表 6.7 凍結融解作用係数、凍害危険度、ASTM 相当サイクル数の比較

都市		凍結融解作用係数(JASS 5)			凍害危険度	各地の年間の ASTM 相当 サイクル数 (サイクル/年) (露出している 水平面・水掛か り面のコンクリ ートの場合)
		水と接して凍結融 解作用を受ける部 位(突出部など)	比較的水分供給の 多い部位(一般の 水平面など)	水がかりの少ない 部位(外壁面一般 など)		
		水平面・南面				
		部位係数	1.0	0.8		
	日射係数	1.5				
	最低気温	-	-	-		
帯広	- 15.9	23.9	19.1	7.2	5	64.0
旭川	- 14.1	21.2	16.9	6.3	4	37.0
札幌	- 9.2	13.8	11.0	4.1	3	33.0
稚内	- 8.7	13.1	10.4	3.9	2	21.0
函館	- 7.7	11.6	9.2	3.5	2	24.0
盛岡	- 6.8	10.2	8.2	3.1	2	21.0
松本	- 6.6	9.9	7.9	3.0	2	21.0
青森	- 5.7	8.6	6.8	2.6	2	20.0
長野	- 5.5	8.3	6.6	2.5	1	13.0
宇都宮	- 4.9	7.4	5.9	2.2	1	9.0
仙台	- 2.9	4.4	3.5	1.3	0	5.0
新潟	- 0.7	1.1	0.8	0.3	0	3.0

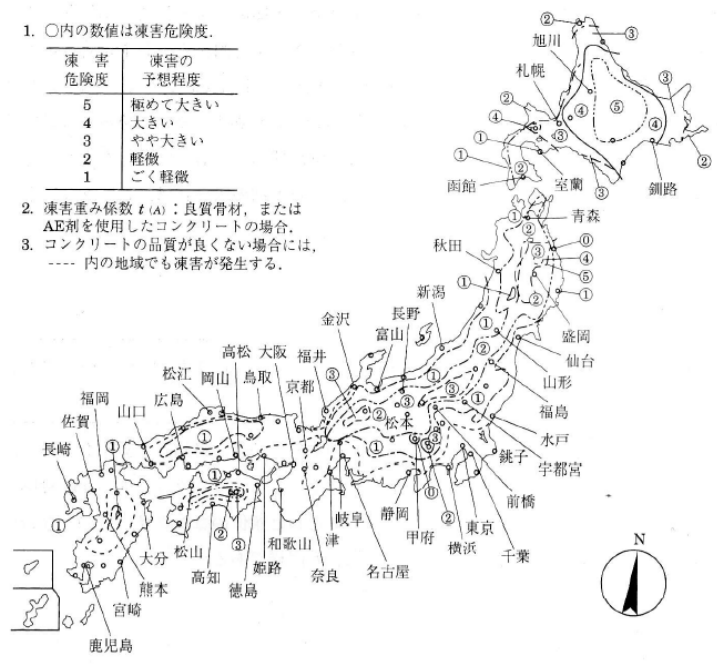


図 6.17 凍害危険度の分布²⁾

ここで、「ASTM 相当サイクル数」は、日本建築学会「RC 造建築物の耐久設計・施工指針(案)」²⁾(以下、耐久設計指針)に提案されている、コンクリートの凍結融解作用に関する劣化外力評価を目的とした数値であり、水中凍結水中融解作用に換算した場合の数値を示しているとされている。窯業系サイディングにおいては気中凍結水中融解である点で異なるが、有る程度の参考となるものと考えられる。ただし、JASS5 などでも指摘されているように、必ずしも十分な検証がなされていない部分もある点に注意が必要である。

また、日射や部位などによる係数も様々提案されており、表 6.8 および表 6.9 に参考値として、先述した JASS5 および耐久設計指針に示される値を示す。

表 6.8 日射係数の参考値 (JASS5)¹⁾

部材の方位		日射係数
水平面		1.5
鉛直面	南面	1.5
	東西面	1.3
	北面	1.0

表 6.9 部材係数の参考値 (JASS5、耐久設計指針)^{1)、2)}

水分の供給程度による部材条件	対象となる部材、部位の例	部材係数
水と接した状態で凍結融解作用を受ける部位	軒先、ベランダ、ひさし、パラペット笠石・笠木などの突出部、屋外階段など	1.0
比較的水分供給の多い部位	一般的な水平部材 (防水押えなど)、斜め外壁、開口部まわり、排気口下部など	0.8
水がかりの少ない部位	一般的な外壁面など	0.3

(2) 次世代省エネ基準における地域区分

一方、国の定める省エネ対策を念頭に置いた地域区分として、次世代省エネ基準におけ

る地域区分が挙げられる（表 6.10、図 6.18 参照）。これらは、住宅の構法仕様の選択に対して一定の影響をおよぼすと考えられる。

ここで示される地域区分は、建築物の冷暖房負荷に着目した形で区分されているため、ちょうど凍害の作用区分とも相関するものと思われる。細かいグレード分けは標準化した促進試験の実運用上はあまり望ましくないことから、これら地域区分と整合する形で凍結融解試験の促進倍率を想定することができれば、大変合理的であると考えられる。

表 6.10 次世代省エネ基準における地域区分

地域の区分	都道府県名
I 地域	北海道
II 地域	青森、岩手、秋田
III 地域	宮城、山形、福島、栃木、長野、新潟
IV 地域	茨城、群馬、山梨、富山、石川、福井、岐阜、滋賀、埼玉、千葉、東京、神奈川、静岡、愛知、三重、京都、大阪、和歌山、兵庫、奈良、岡山、広島、山口、島根、鳥取、香川、愛媛、徳島、高知、福岡、佐賀、長崎、大分、熊本
V 地域	宮崎、鹿児島
VI 地域	沖縄



図 6.18 次世代省エネ基準における環境区分³⁾

(3) 凍結融解回数の提案

以上を踏まえて、凍結融解試験における参考値として、相当サイクル数を以下の手順で算定した。

次世代省エネ基準における地域区分において、各都道府県の標準的な気象条件を考慮して凍結融解回数を算定する。各都道府県における凍結融解回数の算定には、コンクリートの場合の ASTM 相当サイクル数および凍結融解作用係数を用いるものとした。

① ASTM 相当サイクル数

日本建築学会の耐久設計指針に示される値を用いた。

構造体および部材が置かれている地域・周辺・局部環境条件から年間の凍結融

解回数、最低温度^{4)~6)}、およびコンクリートの含水状態⁷⁾を求め、これらから劣化の強さを表す指標として JIS A 1148-2001(コンクリートの凍結融解試験方法) または ASTM C 666 (凍結融解試験) の A 法 (水中凍結水中融解試験) による相当サイクル数 (Ceq) を求める。

②凍結融解作用係数の算定方法を以下に示す。

日本建築学会の JASS5 に示される計算方法を用いた。

$$(\text{凍結融解作用係数}) = -(\text{最低気温}) \times (\text{日射係数}) \times (\text{部材係数}) \quad (\text{解 26.1})$$

ここに、最低気温は、気象庁資料の日本気候表またはアメダス準平年値による日最低気温の平滑平年値の年間極値とした。ただし、JASS5 では、気象庁資料のない地域ではその他の信頼できる資料を用いるか、近郊のデータをもとに推定することとしている。

日射係数は、表 6.8 に従い、鉛直面の南面を想定して 1.5 とした。

部材係数は、表 6.9 に従い、ベランダなど最も外力の強い箇所を想定して 1.0 とした。

以上の算定結果を表 6.11 に示す。

提案値としては、I 地域で 200~300 回、II 地域で 100~200 回、III 地域で 50~100 回、IV~V 地域については、山間部など特に考慮が必要な場合を除いて考慮しなくて良いものとした。

これらは、多くの仮定に基づくものであるのに加え、特にコンクリートの知見に基づくこと、また、参考としている ASTM 相当サイクル数は、水中凍結水中融解を想定した値であることなどを考慮すると、今後、さらなる検討が必要であると考ええる。

尚、窯業系サイディングの凍結融解作用回数に関連する情報としては、現在、住宅性能評価・表示協会「住宅の外装部の長寿命化及び維持保全技術の評価方法に関する研究委員会」で旭川における実曝露試験が実施されている。ここでは、寒冷地における部位別の温湿度データを代表とする劣化外力に関して長期定期に測定を行っており、その成果が待たれる。このような知見の積み重ねにより、今後、本提案がさらに検証されより制度の高いものとなることが期待される。

表 6.11 凍結融解の作用係数の算定結果

地域の 区分	都道府県名	凍結融解作用係数		ASTM 相当サイクル数		提案値
		最小値	最大値	最小値	最大値	
I 地域	北海道	11.6 (函館)	23.9 (帯広)	21 (稚内)	64 (帯広)	200～300
II 地域	青森、岩手、秋田	8.1 (秋田)	10.2 (盛岡)	10 (秋田)	21 (岩手)	150～200
III 地域	宮城、山形、福島、 栃木、長野、新潟	1.1 (新潟)	9.9 (松本)	3 (新潟)	21 (松本)	100～150
IV 地域	茨城、群馬、山梨、 富山、石川、福井、 岐阜、滋賀、埼玉、 千葉、東京、神奈川、 静岡、愛知、三重、 京都、大阪、和歌山、 兵庫、奈良、岡山、 広島、山口、島根、 鳥取、香川、愛媛、 徳島、高知、福岡、 佐賀、長崎、大分、 熊本	-1.4 (長崎)	10.1 (水戸)	1 (東京他)	6 (甲府)	山間部など特に 考慮が必要な場 合を除いて考慮 しなくて良い
V 地域	宮崎、鹿児島	-0.3 (鹿児島)	4.2 (宮崎)	1 (宮崎)	1 (宮崎)	
VI 地域	沖縄	-16.1 (那覇)	—	—	—	

6.2.5.2 凍結融解試験における前養生について

凍結融解試験において、試験スタート時の含水率は結果に影響を及ぼすものとする。

そこで、各種窯業系サイディングの吸水成城について確認すると、その吸水性は材種によって異なり、例えば、192時間の吸水量を基準とすると、繊維補強セメントけい酸カルシウム板系は他の系と比して吸水速度が速く24時間で90%を超える吸水量となっている。これに対して、繊維補強セメント板系、木繊維補強セメント板系は24時間で30%~60%程度で有り、材料種類により吸水状況に大きな差がみられた(図 6.19 および図 6.20 参照)。

すなわち、窯業系サイディングの吸水・乾燥特性は材料によって大きく異なり、24時間程度では含水率が同程度にならない可能性がある。

しかしながら、凍結融解試験などでは、水を吸収し易いあるいは水分を保持し易いと言った性質自体が、耐凍害性の優劣に関わるものであり、長期耐久性の評価にはこれらポテンシャルを含めて評価がなされるのが妥当であるとする。したがって、凍結融解試験の前養生としては、現行の JIS A 5422 耐凍結融解性試験で定められている24時間の事前吸水養生により、水分の保持性能を考慮した形で性能評価可能であるとする。

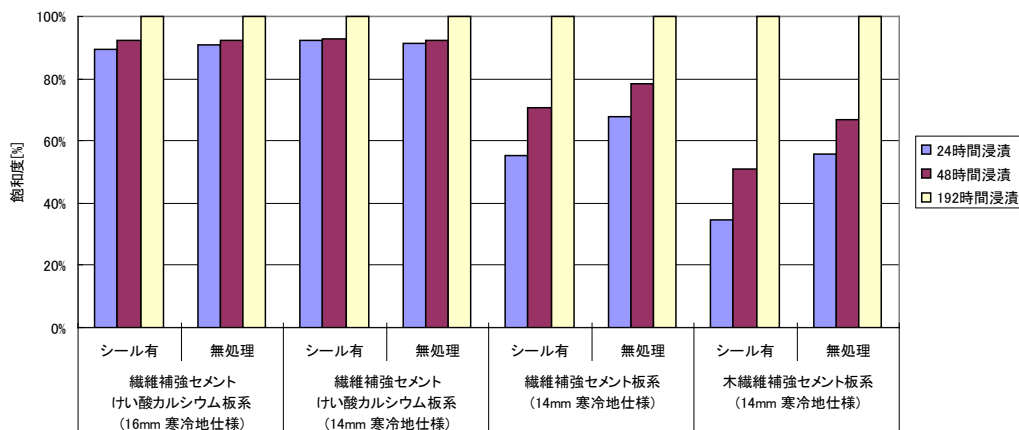


図 6.19 各種窯業系サイディングの吸水特性比較(飽水度) (図 2.26 の再掲)

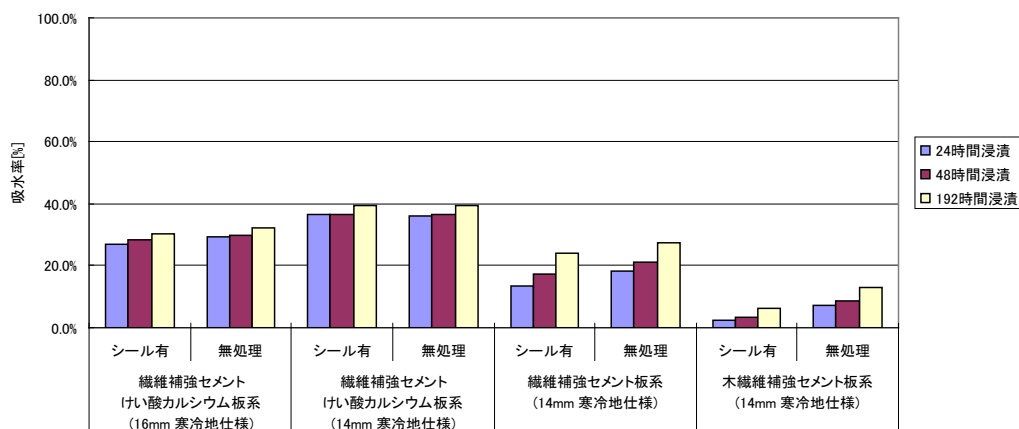


図 6.20 各種窯業系サイディングの吸水特性(吸水率) (図 2.27 の再掲)

6.2.5.3 凍結融解試験におけるシーリング方法について

凍結融解試験は、いわゆる窯業系サイディングの凍害の評価を目的とした試験方法であることから、試験体小口の処理をどのように考えるかが問題となる。

2章で議論したように、小口の処理は試験の目的によって、①無限大の板中央を再現する、②目地部を再現する（実施工と同仕様のシーリング材を使用することが必要）のいずれかが想定される。そこで両目的について検討し、材料自体のポテンシャルを評価する方法として、①無限大の板中央を再現することを目的とするのが妥当であるとの結論を得た。

また、シール材として用いるシーリング材及びプライマーには多種多様な製品が存在し、その影響を取り除くためシール材は限定しておく必要があることから、これを検討し、

- ・中実品：刷毛塗りエポキシ樹脂（2回塗り）
- ・中空品：シラン系プライマー＋シリコンシーラント（クリア）

が望ましいことを確認した(表 6.12 参照)。

なお、耐候性試験時のシャワーリングによる小口からの吸水を防止するため、耐候性試験前に4側面シールを施した。耐候性試験の際、紫外線からシール材を保護するため、4側面のシール材を覆うようにアルミ箔テープを貼ることなどの配慮が必要であると考ええる。

表 6.12 凍結融解試験におけるシールの検討結果(表 2.5 の再掲)

シール材の種類		検討結果
エポキシ樹脂(EP)	刷毛2回塗り (低粘性)	凍結融解時の質量変化は中程度であるが、低粘性の刷毛塗りのため中空断面のサイディングには適さない。
	接着剤へら塗り (高粘性)	凍結融解時の質量変化は小さく良好あるが、硬い素材であるため試験体の4側面を拘束してしまう懸念がある。
シリコンシーラント		単独使用では接着力が弱く、凍結融解時の質量変化は大きくなる傾向にある。
シラン系プライマー ＋シリコンシーラント		プライマーを併用することで接着力が強くなり、凍結融解時の質量変化は中程度であった。

また、2章では、シールの有無による試験前および試験中の含水挙動の変化を確認した。その結果、24時間浸漬の場合、いずれの試験体も吸水に関してはシールありのほうが増加する傾向を示す一方で、シールを施すことで凍結融解プロセスの含水率増加率は大きくなることを確認された。

このような凍結融解プロセスにおける含水率増加現象は、吸水余力が大きい試験体で顕著であり、具体的には、繊維補強セメント板系や木繊維補強セメント板系で、含水率が高くなる結果となった。したがって、シールの有無による質量増加傾向への影響は、そもそも凍結融解試験スタート時点の飽水度の違いによるものと考えられ、「無限大の板中央を再現」する目的を鑑みると、問題とはならないと判断される。

参考文献

- 1) 日本建築学会 建築工事標準仕様書 コンクリート工事(JASS5)、2009
- 2) 日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計・施工指針(案)・同解説、2004
- 3) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構 (IBEC) ホームページ：<http://www.ibec.or.jp/>
- 4) 長谷川寿夫・洪悦郎：コンクリートの凍害に及ぼす凍結温度・凍結持続時間の影響（その1. 予備実験）、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、1969
- 5) 長谷川寿夫・洪悦郎：コンクリートの凍害に及ぼす凍結温度・凍結持続時間の影響（その2. 水中凍結融解試験の場合）、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、1973
- 6) 長谷川寿夫・洪悦郎：コンクリートの凍害に及ぼす凍結温度・凍結持続時間の影響（その2. コンクリート中のモルタルによる実験と本研究のまとめ）、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、1974
- 7) 長谷川寿夫・洪悦郎：コンクリートの湿潤程度と耐凍害性の関係、セメント技術年報 XXVIII、1974

6.3 まとめ

本章では、窯業系サイディングの長期耐久性評価・促進試験方法に関する検討結果について述べた。これらをまとめると以下のとおりである。

1) 長期耐久性評価の考え方

- ・窯業系サイディングの耐久性評価を行うにあたり、考慮すべき劣化要因を定め、複合劣化試験のあり方について検討した。
- ・考慮すべき劣化要因については、炭酸化、耐候性、耐凍害性、温冷・乾湿繰り返しが必要であることを示した。
- ・また、これらの劣化因子を負荷する促進劣化試験における検討課題を整理した。
- ・長期耐久性評価にあたり、複合劣化試験が必要であることを示し、複合劣化試験の流れや促進条件について整理し、10年相当を1セットとする試験を提案した。
- ・長期耐久性評価にあたり、複合劣化試験後に課すべき性能試験について検討した。窯業系サイディングの保有する基本性能の検討や、メーカーへのアンケート結果から、必要となる性能試験について整理した。ただし、性能試験の評価値については今後の課題である。

2) 劣化因子と促進試験方法の位置づけ

2.1) 試験体の養生

- ・窯業系サイディングの性能評価にあたり、窯業系サイディングおよびこれに類似した材料の実験結果を調査・検討した。
- ・炭酸化に及ぼす含水率の影響に関する調査、および耐凍害性試験における予備試験結果などから、各促進試験における適切な養生方法のあり方について提案した。

2.2) 炭酸化

- ・一般環境下にある炭酸ガス濃度について調査を行い、窯業系サイディングが受ける劣化外力としての炭酸ガス濃度は、一般環境下において400ppm程度であることを示した。
- ・また、窯業系サイディングの炭酸化メカニズムについて、理論的な考察と、促進試験結果をもとに、促進試験における炭酸化濃度の促進倍率を求めた。

2.3) 耐候性

- ・札幌、つくば、那覇などにおける紫外線の量を調査し、年間を通じた紫外線量の違いについて考察した。また、方位、水平面と垂直面などの違いを考慮し、窯業系サイディングが受ける紫外線量の一般的な値を求めた。
- ・促進試験によって与えられる紫外線量について、試験方法の違いなどを調査し、実環境における劣化と促進試験の関係から、促進試験方法ごとの促進倍率を求めた。

これらの結果をもとに、7章における促進試験の具体的方法として、促進条件を定めた。

2.4) 温冷・耐湿性

- ・外装材のなかで、温度や湿度変化を劣化因子として課している試験方法について調査を行い、タイル張りの例やJIS A 1437を例として、窯業系サイディングにおいてどのような試験があり得るかを考察した。
- ・また、促進試験結果などから、長期耐久性試験としての位置づけについて述べた。

2.5) 耐凍害性

- ・窯業系サイディングの耐凍害性試験において、適切な評価を行うための試験体処理方法

について検討を行い、望ましいシール方法について提案した。

- ・窯業系サイディングに類似するコンクリートに関する研究例を参考に、窯業系サイディングの耐凍害性試験サイクル数について検討を行い、促進試験における使用地域ごとの負荷サイクル数の提案を行った。

(ASTM 相当サイクルを用いた鉄筋コンクリート造建築物の凍害劣化予測手法等)

第7章 窯業系サイディングの長期耐久性評価の標準化原案

1. 序文

省資源・循環型社会への転換が求められる中で住宅についても長寿命化の必要性が高まっており、長期優良住宅に向けた取り組みが進められている。住宅の長寿命化のためには外部環境に直接接している部材の長期耐久性の確保が必須であるが、現状において紫外線等の個別劣化因子の耐久性に係る試験方法はあるものの、総合的な長期耐久性の評価手法や試験方法は確立していない。そこで今後、我が国の戸建て住宅の長寿命化を促進することを目的に、住宅外装の多くに用いられている窯業系サイディングの長期耐久性に関する評価方法として、本規格を提案した。

2. 適用範囲

この規格は、JIS A 5422 において規定されている窯業系サイディングの長期耐久性評価方法について規定する。

注) 窯業系サイディングとは、主原料としてセメント、けい酸質原料、繊維原料、混和材料などを用いて板状に成形し、主として建築物の外装に用いるもの。

3. 引用規格

次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS A 0203 コンクリート用語

JIS A 1129-1～3 モルタル及びコンクリートの長さ変化測定試験方法

JIS A 1153 コンクリートの促進中性化試験方法

JIS A 1408 建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法

JIS A 1415 高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法

JIS A 1435 建築用外壁材料の耐凍害性試験方法（凍結融解法）

JIS A 1437 建築用内装ボード類の耐湿性試験方法

JIS A 5422 窯業系サイディング

JIS Z 8401 数値の丸め方

4. 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、JIS A 0203 による。

なお、本規格を制定する場合には、記述の採否も含め、以下の用語について検討が必要である。

- a) 窯業系サイディングの耐久性およびその区分（例：標準 30 年、長期 50 年）
- b) 劣化因子（窯業系サイディングの劣化の原因となる因子）
- c) 劣化外力（外部から作用する劣化因子、またはその強さ）

5. 長期耐久性評価のながれ

窯業系サイディングの長期耐久性評価は、図 7.1 に示すように複合試験によって促進された劣化を模擬し、これを受けた後、保有する性能について試験で確認する。複合劣化試験については、寒冷地を想定した場合は、炭酸化、耐候性、耐凍害性試験の順に、一般地では耐凍害性に代えて、温冷・耐湿性試験を行う。

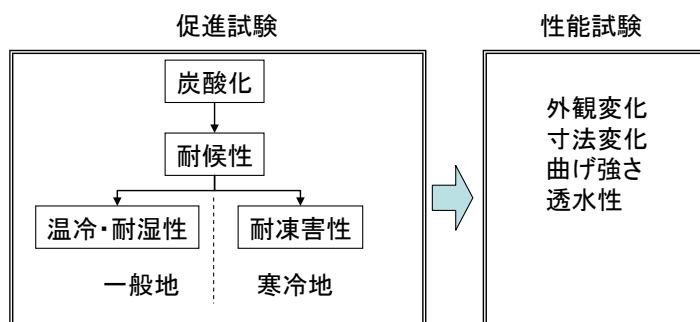


図 7.1 窯業系サイディングにおける長期耐久性の評価フロー

6. 長期耐久性評価の項目と評価方法

長期耐久性の評価は、一般地域、寒冷地域において想定される複合劣化を促進試験により実施し、促進試験後の窯業系サイディングの外観変化、寸法変化、曲げ破壊荷重、透水性を確認する。評価基準については、使用期間および使用地域に応じて複合劣化促進処理のサイクル数を定め、判定値を決定する。

6.1 外観変化

外観変化については、次の事項について測定する。

1) 反り

JIS A 5422 7.2 の方法によって、反り量を求める。

2) 塗膜の剥離

JIS A 5422 の 7.8 の方法によって、はく離、膨れ面積率および変色の程度を測定する。

3) 表層または層間剥離

JIS A 5422 の 7.9 の方法によって、表面のはく離面積率を測定する。

4) ひび割れ等

目視観察によって、表面にひび割れ等の変状がないことを確認する。

6.2 寸法変化

1) 長さ変化率

JIS A 1129-1 (モルタル及びコンクリートの長さ変化測定試験方法-第 1 部：コンパレータ方法)、JIS A 1129-2 (モルタル及びコンクリートの長さ変化測定試験方法-第 2 部：コンタクトゲージ方法) または JIS A 1129-3 (モルタル及びコンクリートの長さ変化測定試験方法-第 3 部：ダイヤルゲージ方法) のいずれかの方法によって、長さ変化率を測定する。ただし、試験体の幅及び長さは 75mm 及び 150mm を標準とする。

2) 厚さ変化率

JIS A 5422 の 7.9 の方法によって、厚さ変化率を測定する。

6.3 曲げ強さ

JIS A 1408 によって、曲げ強さを測定する。ただし、試験体の養生は、飽水状態とする。

6.4 透水性

JIS A 5422 の 7.10 にしたがって透水性試験を実施し、減水高さを測定する。

7. 長期耐久性評価のための複合劣化促進試験方法

7.1 試験項目および方法

複合劣化促進試験は、7.1.1、7.1.2 及び 7.1.3、または 7.1.4 とし、それぞれの促進試験は次のとおりとする。

7.1.1 炭酸化試験

試験装置は、JIS A 1153 による。試験条件は、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 5\%$ 、二酸化炭素濃度 $5 \pm 0.2\%$ とする。また、試験体個々の試験条件が等しくなるよう、各試験体は適切な間隔 (20mm 以上) をとっておくものとする。

7.1.2 耐候性試験

実験室光源による暴露試験方法は、次のいずれかによる。なお、各試験方法は、JIS A 1415 による。ただし、メタルハライドランプを用いる場合は、附属書 A による。

※メタルハライドランプの場合の試験方法を定める必要がある。

また、各試験方法による試験条件は 6.2 による。

- 1) キセノンアーク光源
- 2) オープンフレームカーボンアークランプ
- 3) メタルハライドランプ

7.1.3 凍結融解試験

JIS A 1435 (建築用外壁材の耐凍害性試験方法) による。また、試験条件は 7.2 による。

7.1.4 温冷・耐湿性試験

JIS A 1437 (建築用内装ボード類の耐湿性試験方法) による。ただし、試験の種類は耐湿性 A 法 (繰り返し有り) とし、1 サイクルの温度および湿度の条件は、図 7.2 を標準とする。

※メーカー保有の装置の都合では、低温・低湿領域は 15°C 、50%の方が望ましい。

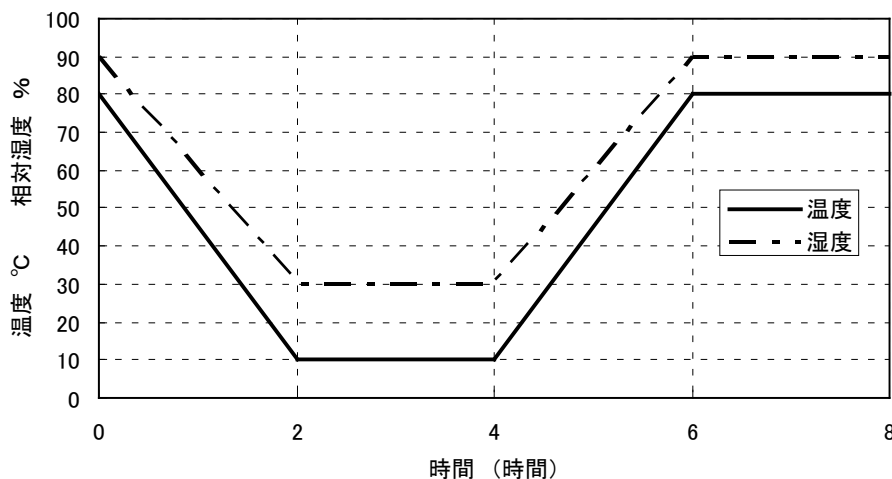


図 7.2 温冷・乾湿繰り返し試験における 1 サイクルの温度および湿度の条件

7.2 複合劣化促進試験方法

複合劣化促進試験方法は、凍結融解作用を受ける地域である寒冷地を想定したものと、その他の一般地域がある。使用期間および使用地域に応じて複合劣化促進処理のサイクル数を定め、7.1 に従い試験する。なお、10 年相当分の複合促進劣化試験を 1 セットとする。

7.2.1 寒冷地（凍結融解作用を受ける地域）を想定した複合劣化促進試験（1 セット）

1) 炭酸化試験

- a) 試験体搬入時の含水率は 20% 以下とし、保管期間 1 週間以上、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 5\%$ の部屋で保管した後、促進試験に供する。また、材齢 1 週間の保管時において、試験体の小口面をシールする。なお、各促進試験終了後、シールの状況を確認し、剥がれ等が確認された場合は、次の促進試験に供する前に再度シールする。
- b) 7.1.1 に従い、促進期間 56 日まで炭酸化促進試験を行う。ただし、56 日までの間で質量変化を材齢 7 日ごとに測定する。促進期間 7 日間の質量変化率が 0.1% 以下となった場合は、炭酸化促進試験を終了して良い。

2) 耐候性試験

- a) 炭酸化試験終了後、直ちに行う。ただし、直ちに行えない場合は、含水率が変化しないよう必要な措置をとる。
- b) 7.1.2 に従い、10 年相当の耐候性試験を行う。10 年相当の試験時間は、実験室光源の種類に応じて表 7.1 を参考に定める。なお、使用を想定する代表的な地域の紫外線量に基づき、表 7.1 の値を修正してもよい。

表 7.1 実験室光源の種類ごとの促進試験時間

試験方法（光源）	時間 ²⁾
キセノンアーク光源	5500
オープンフレームカーボンアークランプ ¹⁾	4500
メタルハライドランプ	350

注 1) 一般にはサンシャインカーボンアークランプと呼ばれる。

注 2) 表 7.1 の時間は、北緯 35 度程度（つくば、銚子等）を参考に定めている。

3) 耐凍害性試験

- a) 耐凍害性試験の前処理として、試験体を温度 $5^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ の清水中に 24 時間（48 時間）以上浸漬する。
- b) 6.1.3 に従い、10 年相当の耐凍害性試験を行う。10 年相当の試験サイクルは、使用を想定する地域に応じて表 7.2 にしたがって定める。

表 7.2 想定地域ごとの促進試験時間

地域の区分 ¹⁾	サイクル数 ²⁾
I	200～300
II	100～200
III	50～100
IV、V、VI	—

注 1) 地域の区分は、住宅に係わるエネルギーの使用の合理化に関する建築主等及び特定建築物の所有者の判断の基準（平成 18 年経済産業省・国土交通省告示第 3 号 平成 21 年経済産業省・国土交通省告示第 1 号一部改正）における「別表第 1」による。

注 2) I 地域は旭川，II 地域は岩手，III 地域は宇都宮の気温を参考に定めている。

7.2.2 一般地（凍結融解作用を受けない地域）を想定した複合劣化促進試験（1セット）

1) 炭酸化試験

7.2.1 1) に従い、促進期間 56 日まで炭酸化促進試験を行う。ただし、56 日までの間で質量変化を材齢 7 日ごとに測定する。促進期間 7 日間の質量変化率が 0.1% 以下となった場合は、炭酸化促進試験を終了して良い。

2) 耐候性試験

7.2.1 2) に従い、10 年相当の耐候性試験を行う。10 年相当の試験時間は、実験室光源の種類に応じて表 7.1 を参考に定める。なお、使用を想定する代表的な地域の紫外線量に基づき、表 7.1 の値を修正してもよい。6.1.2 に従い、10 年相当の耐候性試験を行う。10 年相当の試験時間は、実験室光源の種類に応じて表 1 にしたがって定める。

3) 温冷・耐湿性試験

a) 耐候性終了後、直ちに行う。ただし、直ちに行えない場合は、含水率が変化しないよう必要な措置をとる。

b) 6.1.4 に従い、温冷・耐湿性試験を行う。試験サイクルは、200 サイクルを標準とする。

7.2.3 繰り返し試験

1) 7.2.1 または 7.2.2 の 1 セットの試験を必要量繰り返し試験する。なお、2 セット目以降の試験では、開始前の養生として、温度 $60 \pm 5^\circ\text{C}$ で 48 時間乾燥する。

2) 炭酸化試験について、促進期間 7 日間の質量変化率が 0.1% 以下となった試験体については、これを省略することができる。なお、1 セット時に質量変化率が 0.1% 以下となった試験体については、2 セット目の炭酸化試験を省略することができる。

また、試験体表面の塗膜等の有機素材（シーラー板を想定）を除去した試験体で試験する場合は、耐候性試験を省略することができる。

7.3 試験体

試験体の幅及び長さは、75mm 及び 150mm を標準とする。また、試験体は 1 枚のサイディングの周辺部を除いた中央部から 1 個採取し、合計 3 個とする。

8. 試験結果の記録

試験結果は次の事項について記録する。

- a) ボードの名称
- b) 試験体の製造日
- c) 試験体の寸法（厚さ×幅×長さ）および採取方向
- d) 試験体の状態（必要に応じて含水率を記録する）
- e) 各試験結果の測定値

第8章 まとめ

8.1 今年度の成果のまとめ

8.1.1 窯業系サイディングの複合劣化の検証実験

- 1) 窯業系サイディングの耐凍害性試験において、適切な評価を行えるような試験体準備作業（シール等）のあり方について確認実験を行った。その結果、質量変化率を求める際の基準質量の明確化が必要なこと、およびシール材の組み合わせによる影響を明らかにした。
- 2) 窯業系サイディングの各種試験において、結果が含水状態の影響を受けると考えられることから、含浸・乾燥試験を実施した。その結果、窯業系サイディング種類ごとの吸水特性の違いを明らかにした。また、これらの結果をもとに、耐凍害性試験の前処理としての吸水時間のあり方について言及した。
- 3) 窯業系サイディングの複合劣化試験（炭酸化、耐候性、耐凍害性、温冷・耐湿性試験）の適用性に関する検証実験を行った。その結果、本研究の範囲で負荷したサイクルにおいて、一般地を想定した場合には、いずれの窯業系サイディングも劣化しないことを示した。また、寒冷地を想定した場合には、曲げ強度保持率で 57%～105%と、窯業系サイディングの種類によって差が生じることを示した。
- 4) 複合劣化試験を提案するにあたり、促進劣化試験について再現性を確認するための共通試験を日本窯業外装材協会に加盟している製造メーカ協力のもとで実施した。その結果、一般地および寒冷地を想定したいずれの複合試験によっても、建材試験センターの結果とほぼ同程度の曲げ強度保持率を示すことを確認した。ただし、炭酸化試験における質量変化、耐凍害性試験における厚さ変化率などが相違する試験体もあり、これらは試験に供する際の含水率の調整が異なるためと推察された。
- 5) 窯業系サイディングの炭酸化による物性変化を確認し、窯業系サイディングの種類や環境条件による炭酸化性状の変化を把握することを目的とした実験的検討を行った。その結果、窯業系サイディングの種類による差が質量変化や長さ変化に生じることが確認できた。また、化学組成の分析を実施し、窯業系サイディング基材中に存在するセメント水和生成物が炭酸化し、中性化材齢に応じて物理性状、化学組成が変化していることを確認した。

8.1.2 窯業系サイディングの長期耐久性評価・促進試験方法に関する検討

- 1) 窯業系サイディングの長期耐久性評価にあたり、考慮すべき劣化要因を定め、複合劣化試験のあり方について検討した。考慮すべき劣化因子を考え、負荷すべき試験については、炭酸化、耐候性、耐凍害性、温冷・耐湿性試験が必要であることを示した。また、これらを組み合わせた複合劣化試験方法として、試験の流れや促進条件について整理し、10年相当を1セットとする試験を提案した。
- 2) 長期耐久性評価にあたり、複合劣化試験後に課すべき性能試験について、窯業系サイディングの保有する基本性能の検討や、メーカへのアンケート結果から、必要となる性能試験について整理した。
- 3) 促進試験方法をより具体的に提案するにあたり、試験体の養生をはじめとした準備方法について検討を行い、適切なシールのあり方や含水率の調整などについて提案した。
- 4) 炭酸化、耐候性、耐凍害性および温冷・耐湿性試験における促進条件について、各種調査結果および試験結果をもとに促進倍率を求め、負荷期間や負荷サイクルの提案を行った。

8.2 今後の課題

本研究の結果から、窯業系サイディングの長期耐久性評価方法および促進試験方法について提案を行った。しかしながら、限られた時間のなかでの成果であり、幾つかの課題も残された。課題を整理すると以下のとおりである。

- 1) 耐凍害性試験などにおいて、試験体の含水率による影響が認められた。これは、促進試験間での養生方法を明確に定めていなかったためと考えられ、試験機関による差が生じないように、炭酸化促進試験、耐候性試験、耐凍害性試験、温冷・耐湿性試験のそれぞれの前養生方法について具体的に示す必要がある。
- 2) 本研究で提案した促進試験方法では、1セット10年分に1年程度かかるように、非常に長期間を必要とする。この主な原因は、耐候性試験の促進倍率が低いものしかJISで認められていないためである。紫外線の波長域などの面で課題はあろうが、長期耐久性評価をより現実的な試験として定めていく上では、メタルハライドランプによる促進試験方法の標準化を行うことが喫緊の課題である。
- 3) 耐凍害性試験の促進サイクルについては、先行するコンクリートの研究例を参考に定めた。しかし、窯業系サイディングの凍害による劣化事例と、促進試験による評価結果の関係については、コンクリートのように多くのデータがないため、調査・実験データの収集を急ぎ、これらの関係を明確にすることで、より現実的な促進サイクルに修正していくことが必要である。
- 4) 窯業系サイディングにとって、必ずしもクリティカルと考えられない一般地における温冷・耐湿性試験を定めている。しかし、各種実験結果をみると、必ずしも課す必要のない試験方法とも考えられ、長期耐久性評価のなかでの位置づけを必ずしも明確にはできていない。位置づけを明確にするためには、促進サイクルを増加した実験や、実際に受ける外力としての温冷・乾湿の変化など、実測データの収集が必要である。
- 5) 本研究で提案した複合劣化試験は、10年を1セットとして負荷することが特徴であり、これによって再塗装などのメンテナンスを考慮した試験が実施できる可能性をみている。しかし、初期の試験体は製造工場でしっかりと管理下での塗装板であるのに対し、再塗装は現場での実施となり、塗装仕様等の相違や製造メーカーの責任範囲などの面から、再塗装などを考慮した試験の実施には課題もある。
- 6) 長期耐久性評価にあたり、劣化促進の標準を試験方法として示したが、一方で促進劣化後の評価方法については、必要となる性能試験方法の整理まで行ったものの、定量的な評価値までは示していない。評価値を定めるためには、劣化後の性能試験に関する実験の追加、あるいは製造メーカーだけでなく、使用者側の意見等も取り入れていくことなどが必要である。

この調査研究は、株式会社三菱総合研究所からの委託で実施したものの成果である。

本件についてのお問合せ先

(内容等)

〒340-0015

埼玉県草加市高砂 2-9-2 アコス北館Nビル

TEL : 048-920-3814

財団法人 建材試験センター

経営企画部 調査研究課