窯業系サイディングの耐凍害性に関する屋外暴露実験

OUTDOOR EXPOSURE TEST ON FROST RESISTANCE OF FIBER REINFORCED CEMENT SIDINGS

吉野利幸*, 桂 修**, 松村 宇***, 谷口 円***
Toshiyuki YOSHINO, Osamu KATSURA, Takashi MATSUMURA
and Madoka TANIGUCHI

The purpose of this paper is to clarify the frost resistance of fiber reinforced cement sidings through an outdoor exposure test, and the relation between the results of the outdoor exposure test and the results of the accelerated freezing and thawing test on frost resistance. The outdoor exposure test was carried out at Sapporo, Kamiiso and Kitami for 10 years, and the accelerated test was performed according to JIS A 5422-1995. 21 kinds of sidings which differ in production methods and raw materials were prepared. The results obtained may be summarized as follows:

- 1) Sidings having an apparent density above 1.2g/cm^3 are durable to freezing and thawing action in outdoor exposure test and accelerated test. Also sidings containing air-void, preformed cellular plastic spherical materials and wood flake are durable.
- 2) The results of the outdoor exposure test are not consistent with the results of the accelerated test. It is surmised that there are affectable factors on frost resistance which are not taken account in the accelerated test.

Keywords : outdoor exposure test, fiber reinforced cement sidings, frost resistance

屋外暴露試験, 窯業系サイディング, 耐凍害性

1. はじめに

窯業系サイディング(以下サイディングと言う)は乾式材料であるため温度環境に左右されずに施工が可能で、色やテクスチャーなどの表面デザインが豊富であるほか価格も手ごろであることから、約7割の新築戸建住宅の外装材として利用されている¹⁾。しかし、寒冷地では吸水して含水量が高まると凍害を生じる場合があり、外壁の美観を損ねたり耐久性を低下させる要因となる。建物の長寿命化を図っていくうえで外壁の高耐久化の意義は大きく、このため、外壁材として多くの優位性を有し、今後も主要な材料として使用されていくと思われるサイディングの耐凍害性向上の追求は重要である。

本研究の最終目的は、屋外環境でのサイディング凍害劣化の予測方法を提案し、耐凍害性に優れるサイディングの開発やサイディング外壁の耐久設計に資することにあるが、そのためには、サイディングの耐凍害性がどのような環境要因の影響を受けるかを明らかにする必要がある。本論文は、その第一段階として、①屋外環境下でのサイディング耐凍害性、②屋外環境下での結果と促進凍結融解試験結果との対応性を明らかにすることを目的に、屋外暴露試験および促進凍結融解試験を実施し、考察を加えたものである。

サイディングの耐凍害性に関する既往の研究は、ほとんどが促進試験によるもの²⁾で、屋外暴露試験によるものは星野³⁾により行われた質量変化に関する報告があるのみで、屋外環境下での耐凍害性に関する公表されたデータは筆者の知る限りない。

2. 実験方法

2.1 実験に使用したサイディング

表1に示す10メーカー21種類のサイディングを用いた。これらは、平成7年に札幌市内で市販されていたものまたはメーカーから入手したもので、試験体番号4はハウスメーカー向けに試作されたものであり、試験体番号10はメーカーが使用地域を温暖地に限定したものである。成形法別では抄造法が11種類、押出法が7種類、マット成形法が3種類で、厚さは12~18mmである。養生方法別では、湿熱養生が9種類、オートクレーブ養生が12種類である。なお、試験体番号14には最大直径で1.5mm程度の気泡が、試験体番号16には同程度の寸法の塩ビ製と思われる球状の発泡体が混入されている。試験体19~21には質量割合で15%以上の木質原料が混入されている。

サイディングの物理試験結果を表1にあわせて示す。このうち空隙率は、水銀圧入法の加圧過程で測定される直径 $129\mu\text{m}$ ~ 6.3mm の範囲の空隙を対象として算出された値である。

2.2 促進凍結融解試験

JIS A 5422-1995(窯業系サイディング)に準じて促進凍結融解試験を実施した。ただし、本実験では、サイディング素材の耐凍害性を評価するという観点から、試験体の切断小口面のシールは行わなかった。試験体数は1種類につき2個とした。

促進凍結融解試験は200サイクルまで実施し、約33サイクルごとに試験体の外観観察、厚さおよび質量の測定を行った。表面はく離と

本論文の一部は、文献8)で発表している。

* 北海道立北方建築総合研究所 主任研究員・博士(工学)

** 北海道立北方建築総合研究所 科長・博士(工学)

*** 北海道立北方建築総合研究所 研究職員

Senior Research Officer, Hokkaido Northern Regional Research Building Inst., Ph. D.
Chief, Hokkaido Northern Regional Research Building Inst., Ph. D.
Researcher, Hokkaido Northern Regional Research Building Inst.

表1 実験に使用したサイディングの種類及び物理性能試験結果

成形法	試験体番号	養生方法	見掛け密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	強さ		空隙率 (cc/g)	備考
					曲げ (N/mm ²)	平面引張 (N/mm ²)		
抄造	1	オートクレーブ	1.09	46.1	12.73	1.52	0.51	
	2	オートクレーブ	1.10	44.3	11.90	1.36	0.46	
	3	湿熱	1.14	46.0	12.97	1.40	0.48	
	4	湿熱	1.04	26.4	10.98	0.75	0.51	
	5	オートクレーブ	1.19	44.3	12.01	1.40	0.43	
	6	湿熱	1.12	44.8	7.47	0.76	0.45	
	7	湿熱	0.96	36.6	8.22	1.48	0.56	
	8	湿熱	1.03	52.8	11.06	1.40	0.52	
	9	湿熱	0.98	50.9	10.93	0.63	0.53	
	10	オートクレーブ	0.89	61.3	9.10	0.86	0.74	
	11	湿熱	1.64	29.4	19.35	5.43	0.14	
押出	12	オートクレーブ	0.96	41.5	7.94	2.09	0.64	
	13	オートクレーブ	1.05	35.5	5.20	1.43	0.47	
	14	オートクレーブ	0.98	42.9	6.75	3.04	0.60	気泡混入
	15	オートクレーブ	1.07	47.1	6.03	2.81	0.51	
	16	オートクレーブ	1.00	34.6	6.78	1.17	0.50	塩ビ発泡体混入
	17	オートクレーブ	1.04	53.4	9.02	2.54	0.54	
	18	オートクレーブ	1.38	34.6	6.55	4.25	0.14	
マット	19	オートクレーブ	1.11	21.4	10.12	1.08	0.37	木質原料15%以上混入
	20	湿熱	1.30	21.8	14.33	1.42	0.28	
	21	湿熱	1.21	19.2	8.92	0.71	0.42	

層間はく離を対象として外観観察を行い、小口に明らかな隙間を生じた場合を「著しい層間はく離あり」とした。

2. 3 屋外暴露試験

(1) 試験体および暴露方法

暴露試験体の寸法は、長さ300mm×幅100mmで、試験体数は各3個とし、促進凍結融解試験の場合と同様の考えから切断木口面のシールは行わなかった。試験体を24時間水中浸せきした後、温度20℃湿度60%の恒温恒湿室内に7日間放置し、その後厚さおよび質量測定を行い、暴露試験に供した。

暴露方法は南正面30度傾斜の直接暴露とした。暴露装置の試験体受け枠は雨水や融雪水が溜まるような形状になっている。試験体の取付方法を図1に、暴露試験状況を写真1に示す。

(2) 暴露場所および暴露期間

暴露場所は北海道内の札幌市、上磯町(現在名は北斗市)、北見市の3か所で、いずれもRC造建物の屋根スラブ上である。

暴露期間は平成7年9月～17年6月までの約10年間である。

(3) 試験体の測定

試験体の測定は5月頃に行い、6年目までは毎年、その後は1年おきとした。測定項目は目視による外観観察、厚さおよび質量とした。厚さの測定か所は、試験体の下辺から20mmの位置で両辺から20mmの2か所および中央の1か所の合計3か所とした。厚さおよび質量測定に先立ち、試験体を7日間温度20℃湿度60%の恒温恒湿室内に放置した。

また、温度測定用試験体のほぼ中央部の側面から埋め込んだ熱電対により毎正時の試験体温度を測定し、冬期間(10月1日～4月30日)に試験体に生じる凍結融解回数を求めた。最低温度が-1.0℃以下で最高温度が0℃以上になるまでを1回の凍結融解とし、凍結時

図1 試験体取付方法

写真1 冬の暴露試験状況(札幌市2月)

図2 暴露試験終了後の試験体からの試験片の採取位置

表2 屋外暴露実験における凍害劣化程度の区分

評点	凍害劣化状況
0	凍害が認められない(汚れ、欠け程度)
1	凍害の兆候が認められる(軽微なひび割れ、表層の浮き等)
2	はっきりと凍害が認められる(層間はく離、欠損等)
3	著しい凍害が認められる(著しい層間はく離や欠損等)

の最低温度は、最低温度が-1.0℃以下の期間の最も低い温度とした。

さらに、10年間暴露試験に供された試験体から切断採取した長さ200mm×幅100mmの試験片合計3枚と40mm×40mmの試験片合計6枚を用いて促進凍結融解試験と平面引張強さ試験を行った。試験片は原則として図2に示す位置から採取し、凍害によるはく離発生部や欠損部はできるだけ避けた。

(4) 劣化判定と凍害劣化度の定義

促進凍結融解試験では外観(表面はく離面積および層間はく離程度)と厚さ変化率を指標として凍害の評価を行っているが、本研究での屋外暴露試験では3.2の(3)で述べる理由により厚さ変化率を指標とすることは困難であった。このため、屋外暴露試験における凍害劣化の程度を外観で評価することとし、凍害劣化の程度を表2に示す区分に基づいて判定し、3個の試験体の評点の平均値をそのサイディングの評点とした。さらに、得られた評点が2以上の場合、凍害が生じたものと判断し、評点が2以上に至った暴露年数(10年目の評点が2未満の場合は10年)で評点を除した値を凍害劣化度と定義し、以後の検討に用いた。凍害劣化の程度の例を写真2に示す。

図3 促進凍結融解試験における厚さ変化率

写真2 屋外暴露試験における凍害劣化の例

3. 実験結果

3. 1 促進凍結融解試験

(1) 外観

外観観察結果を表3に示す。21種類中18種類は、JIS A 5422-1995に規定された外観上の耐凍結融解性能を満足していた。表面はく離面積が2%以上となったのは抄造法で成形された2種類のみであった。表面はく離の形態は、直径数mm程度の無数の表層はく離が生じるもの(試験体番号8)と、厚さの増加に伴って表面が脆弱化しはく離するもの(試験体番号10)とであった。また、著しい層間はく離は、抄造法の1種類(試験体番号10)と押出法の1種類(試験体番号17)に見られ、厚さ変化率が5%を超えたあたりから観察された。しかし、厚さ変化率が10%を超えても著しい層間はく離が観察されないもの(試験体番号4)もあった。

(2) 厚さ変化率

試験体の厚さ変化率を図3に示す。厚さ変化率がJIS A 5422-1995の耐凍害性能基準である10%を超えたのはいずれも抄造法成形品で、ハウスメーカー向けの試作品(試験体番号4)と温暖地限定品(試験体番号10)の2種類であった。200サイクル時の厚さ変化率は、抄造法による成形品では先の2例を除いておよそ0~4%の範囲にあった。押出法成形品ではおよそ0~6%で、2例を除くとほぼ1%以下であった。マット法成形品ではおよそ1~3%であった。このように、促進凍結融解試験条件では成形法等にかかわらず大多数のサイディングが優れた耐凍害性を示した。

また、凍結融解回数と厚さ変化率の関係は、200サイクル時の厚さ変化率が10%を超えるものを除くと、ほぼ原点を通る直線となった。このため、ある凍結融解回数終了時の厚さ変化率からその後の厚さ変化率を推定すること、スクリーニング等を目的とした場合などでは簡易で迅速な耐凍害性評価が可能と考えられる。

3. 2 屋外暴露試験

(1) 試験体に生じる最低温度別の凍結融解回数

表4に屋外暴露期間中の試験体に生じた凍結融解回数の年平均値を最低温度別に示す(一部欠測期間あり)。札幌市や上磯町では、それぞれ年113回、103回の凍結融解がある。そのうち100回、94回は最低温度-10℃未満での凍結融解であり、JIS法での凍結最低温度で

表3 促進凍結融解試験における外観観察結果

試験体番号	サイクル数					
	32	67	100	133	167	200
1	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	▲
9	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	■	▲■
11	○	○	○	○	○	○
12	○	○	○	○	○	○
13	○	○	○	○	○	○
14	○	○	○	○	○	○
15	○	○	○	○	○	○
16	○	○	○	○	○	○
17	○	○	○	■	■	■
18	○	○	○	○	○	○
19	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○
21	○	○	○	○	○	○

○：異状無し、▲：表面のはく離面積2%以上、■：著しい層間はく離

表4 暴露試験体に生じた最低温度別凍結融解回数の年平均値

暴露場所	凍結時の最低温度(θ)					合計
	-1℃≥θ >-5℃	-5℃≥θ >-10℃	-10℃≥θ >-15℃	-15℃≥θ >-20℃	-20℃≥θ	
札幌市	51	49	13	1	0	113
上磯町	63	31	9	1	0	103
北見市	48	37	28	21	7	141

ある-20℃相当の凍結融解は1回程度しかない。北見市は、年間凍結融解回数141回のうち、-10℃未満の凍結融解回数は85回と3都市の中で最も少なく、-20℃程度の凍結融解回数は28回と最も多くなっている。この結果、最低温度や凍結融解回数に関しては北見市の暴露環境が最も厳しく、次いで札幌市、上磯町の順と言える。

(2) 外観上の凍害劣化状況

屋外暴露試験における凍害劣化の評点と凍害劣化度を表5に示す。

抄造法による成形品は暴露開始後2~5年目で凍害を生じ、1種類(試験体番号11)を除いて評点3となり、著しい劣化が観察された。凍害は試験体下辺から生じはじめ、層間はく離や表層部のはく離が徐々に進行し、広い範囲の素材の欠損に至った。凍害劣化度は0.3~1.0であった。

押出法による成形品は、凍害劣化が観察されたもの(試験体番号12、13と17の一部)と観察されないもの(試験体番号14、15、16、18)に分かれた。凍害劣化の評点が2以上の試験体では暴露開始後5~6年目から劣化が顕在化し、試験体端部に微細なひび割れを生じ

表5 屋外暴露試験における凍害劣化の評点と凍害劣化度

成形法	試験体 番号	暴露 場所	暴 露 年 数 (年)								凍害 劣化度
			2	3	4	5	6	8	10		
抄造法	1	札幌	2.0	3.0	3.0	3.0	終了				1.0
		上磯	1.0	2.0	3.0	3.0					0.7
		北見	0.3	2.3	3.0	3.0					0.8
	2	札幌	1.0	2.0	3.0	3.0	終了				0.7
		上磯	0.0	1.3	2.0	3.0					0.5
		北見	0.0	1.3	2.3	3.0					0.6
	3	札幌	0.7	2.7	3.0	3.0	終了				0.9
		上磯	1.0	2.0	2.7	3.0					0.7
		北見	1.0	1.7	2.7	3.0					0.7
	4	札幌	1.0	2.3	3.0	3.0	終了				0.8
		上磯	1.0	2.3	2.7	3.0					0.8
		北見	0.0	2.0	2.0	3.0					0.7
	5	札幌	0.0	1.0	1.7	2.5	2.5	3.0	3.0	0.5	
		上磯	0.0	0.0	1.0	2.3	3.0	3.0	3.0	0.5	
		北見	0.0	0.0	1.0	1.3	1.3	2.0	3.0	0.3	
	6	札幌	0.0	0.3	1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	0.6	
		上磯	0.0	0.0	1.0	1.0	1.3	1.3	3.0	0.3	
		北見	0.0	0.0	0.0	0.3	1.3	2.3	3.0	0.3	
	7	札幌	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	0.7	
		上磯	0.0	1.3	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	0.5	
		北見	1.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	0.7	
	8	札幌	1.0	1.3	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	0.5	
		上磯	0.0	1.0	2.0	2.3	3.0	3.0	3.0	0.5	
		北見	0.0	1.3	1.3	1.7	2.0	3.0	3.0	0.3	
	9	札幌	0.0	1.7	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	0.5	
		上磯	0.0	1.0	1.3	3.0	3.0	3.0	3.0	0.6	
		北見	0.0	1.3	2.0	2.3	3.0	3.0	3.0	0.5	
	10	札幌	0.0	3.0	3.0	3.0	終了				1.0
		上磯	1.3	3.0	3.0	3.0					1.0
		北見	2.0	3.0	3.0	3.0					1.0
11	札幌	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	上磯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	北見	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
押出法	12	札幌	0.0	1.0	1.7	2.0	2.5	3.0	3.0	0.4	
		上磯	0.0	0.3	1.0	2.0	2.3	3.0	3.0	0.4	
		北見	0.0	0.0	0.0	1.0	1.3	1.3	2.0	0.2	
	13	札幌	0.0	0.0	1.0	1.5	3.0	3.0	3.0	0.5	
		上磯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.2	
		北見	0.0	0.0	0.0	0.3	2.0	2.3	3.0	0.3	
	14	札幌	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.1	
		上磯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.1	
		北見	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.1	
	15	札幌	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		上磯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		北見	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	16	札幌	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		上磯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		北見	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	17	札幌	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		上磯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.7	0.2	
		北見	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.7	0.2	
	18	札幌	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		上磯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		北見	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	マ ッ ト 法	19	札幌	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0.1
			上磯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0
			北見	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0
20		札幌	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		上磯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		北見	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
21		札幌	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		上磯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		北見	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

た後、ボロボロになって欠損を生じた。凍害劣化度は0.2～0.5であった。

マット法成形品の評点は0.0～1.0で凍害劣化は観察されず、比較的優れた耐凍害性を示した。

(3) 厚さ変化

暴露試験体の厚さ変化を図4に示す。図の中で、黒く塗りつぶした点は凍害が顕在化したことを示している。

厚さ変化率は、概して凍害の顕在化との間に相関性があり、厚さ変化率が增大すると凍害が顕在化してくる傾向にある。しかし、厚さ変

図4 屋外暴露試験における厚さ変化率

化率が小さくても凍害が見られる場合もある。その理由は、凍害は試験体の下辺から生じ始め、その後上方に広がっていくが、厚さ変化率は試験体下辺から20mmの位置で測定されており、凍害の発生位置と厚さ変化率の測定位置とのあいだにずれがあるためと思われる。このため、暴露試験体の厚さ測定は、凍害が発生し始める位置にできるだけ近い位置で行うのが望ましいと考える。なお、厚さ変化率が増加した後、大きく減少に転じているのは凍害により素材が欠損したためである。

3. 3 屋外暴露試験後の試験体による試験

(1) 促進凍結融解試験による厚さ変化

屋外暴露試験後の試験体から切り出した試験片の促進凍結融解試験による厚さ変化率を図5に、暴露試験前の厚さ変化率と暴露試験後の厚さ変化率の関係を図6に示す。抄造法成形品は、暴露後の厚さ変化率が暴露前と比較して大幅に増加する傾向があり、押出法成形品の一部にも、抄造法成形品ほどではないが暴露後の厚さ変化率が増加するものがある。特に、暴露期間中に凍害が顕在化した試験片において厚さ変化率の増加が顕著であり、暴露によって耐凍害性能が低下したものと考えられる。マット法成形品では、暴露前と暴露後で厚さ変化率の相違は少ない。

(2) 平面引張り強さ

図7に暴露試験前と暴露試験後の平面引張り強さの関係を示す。平面引張り強さ3N/mm²以下では、ばらつきはあるがこれらの関係に特別な傾向は見られなかった。3N/mm²以上では、暴露後の強さが低下する傾向にあった。その場合、サイディング表層の薄皮が剥がれるごとく極めて表面に近い位置で破断を生じ、試験片の内部で破断を生じた他のサイディングとは異なる破断形態であった。

4. 考察

(1) サイディングの耐凍害性

屋外暴露試験における凍害劣化度と見掛け密度の関係を図8に示す。ここで、凍害劣化度0.2未満の点は屋外暴露試験で凍害劣化が見られ

図5 屋外暴露試験後の試験片による促進凍結融解試験時の厚さ変化率

図6 屋外暴露前後の厚さ変化率の比較

図7 屋外暴露前後の平面引張強さの比較

図8 見掛け密度と暴露試験の凍害劣化度の関係

図9 サイディングの空隙径分布

図10 木質原料の空隙径分布

なかった試験体である。見掛け密度が 1.2g/cm^3 以上の試験体は、屋外暴露試験において耐凍害性に優れる結果となった。一般に、セメント硬化体では密度が大きくなるに従って組織が緻密になり、耐凍害性が向上する傾向にある。見掛け密度が 1.2g/cm^3 以上であればいかなるサイディングも耐凍害性に優れると結論づけることはできないが、図9の(a)と(b)に示すように、見掛け密度の大きいサイディングの空隙構造は緻密であり空隙率も小さいため、凍害防止に有利と

なることから、このような結果になったものと考えられる。

また、気泡や塩ビ発泡体、木質原料が混入された試験体の耐凍害性も優れる結果となった。図9の(d)、(e)に示すように、気泡や塩ビ

表6 各暴露場所毎の凍害劣化度, 厚さ変化率, 平面引張強さ

	凍害劣化度	厚さ変化率 (%)	平面引張強さ (N/mm ²)
札幌市	0.39	8.99	1.67
上磯町	0.33	7.68	1.65
北見市	0.30	6.97	1.76

図11 促進試験における厚さ変化率と暴露試験における凍害劣化度の関係

発泡体が混入された試験体では、直径400～2500nm付近にピークを持つ空隙が認められるのに対し、気泡や塩ビ発泡体を含まない試験体(図9の(c))では認められない。このため、これらの空隙は気泡または塩ビ発泡体の混入の影響によるものと推察され、これらの混入が凍害防止に寄与したものと思われる。

木質原料を混入した試験体(試験体番号19, 20, 21)では、図9の(f)の例のように直径1600～2500nm付近に空隙のピークが認められた。木質原料として用いられるスギ材やヒノキ材の仮道管の直径は5000～50000nmと言われており⁴⁾、図10に示した水銀圧入法による空隙径分布の測定結果では約19000nm付近に空隙のピークが認められる。このため、図9の(f)の空隙のピークは木質原料の混入の影響によるものと思われ、木質原料中の空隙が凍害防止に寄与したものと考えられる。

(2) 凍害劣化の地域間の相違

道内3か所の暴露場所での暴露試験における凍害劣化度、暴露試験後の厚さ変化率および平面引張強さの平均値を表6に示す。凍害劣化度および厚さ変化率は、札幌市が最も大きく、次いで上磯町、北見市の順となり、平面引張強さは、上磯町が最も小さく、次いで札幌市、北見市の順となった。この結果は、凍害劣化の外力である凍結融解回数の計算結果および最低温度の測定結果(表4)から想定された傾向(北見市が最も厳しく、上磯町が最も穏やか)と一致しない。一般に、凍害はある限界以上に含水量が高まってくると発生することから、凍害の発生には十分な水分の存在が必須である。ここで、暴露場所に最も近いアメダス観測所で測定された暴露期間中の冬期間(10月1日から4月30日まで)の降水量の平均値を比較すると、札幌市が659mmと最も多く、次いで上磯町の531mm、北見市の362mmの順となり、北見市の降水量は札幌市の約55%であった。降水量とサイディングの含水程度を直接的に結びつけるデータは無いが、降水量が多いほど凍害を生じる含水量となる期間が長くなることは容易に想像されることから、降水量が最も多い札幌市の凍害劣化が3地域のなかで最も大きくなり、降水量の少ない北見市が小さくなったもの

と考えられる。

(3) 促進試験試験結果と屋外暴露試験結果の相関性

JIS A 5422¹⁹⁹⁵に規定された促進凍結融解試験による耐凍害性試験結果と屋外環境での凍害劣化度との間に相関性があるか否かを検討した。促進試験で生じる凍害劣化のうち、表面はく離や層間はく離は厚さ変化率と相関性があることから、促進試験による凍害劣化程度を厚さ変化率で代表することとし、屋外暴露試験における凍害劣化度との関係を示したのが図11である。促進試験における厚さ変化率が大きい試験体ほど屋外暴露試験における凍害劣化度が大きい傾向にあるなら、図11で正の相関が認められるはずである。一部にそのような傾向があるものの、多くの試験体で相関は認められなかった。特に、凍害劣化を生じなかった試験体と同程度以下の厚さ変化率でありながら、屋外暴露試験において早期に凍害劣化を生じた試験体が多数見られた。この結果は、一部のサイディングの耐凍害性は、促進凍結融解試験では考慮されていない環境要因の影響を受ける可能性のあることを示唆している。今後は、コンクリートの凍害に関する研究で指摘されている夏期の乾燥⁵⁾や、西野ら^{6), 7)}が指摘する炭酸化などについて、サイディングの凍害への影響の有無を検討していく。

5. まとめ

本実験は、平成7年に主に札幌市内で市販されたサイディングについて10年間の屋外暴露試験と促進凍結融解試験を行い、屋外環境での耐凍害性および屋外暴露試験結果と促進凍結融解試験結果の対応性を検討したものである。本実験の範囲でその結果は次のようにまとめられる。

- (1) 目掛け密度が1.2g/cm³以上のサイディング、気泡・塩ビ発泡体・木質原料が混入されたサイディングは、屋外暴露試験、促進凍結融解試験のいずれにおいても優れた耐凍害性を示す。
- (2) 促進試験における厚さ変化率と暴露試験における凍害劣化度は必ずしも相関せず、このため、促進試験では考慮されていない要因がサイディングの耐凍害性に影響している可能性がある。

謝辞

本研究は、ナショナル住宅産業(株)(現パナホーム(株))との共同研究として行った内容を拡大発展させたものです。関係者に謝意を表するとともに、研究責任者であった吉田繁夫(現(株)自然素材研究所)、北川 聡の両氏に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人日本サッシ協会: 住宅用建材使用状況調査, 2004. 3
- 2) 例えば、平松徹也、松原義雄: 窯業系サイディング材の凍害機構, 第45回セメント技術大会講演集, pp. 526-531, 1991
- 3) 星野雅幸: 寒冷地におけるサイディングの暴露試験に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 579-580, 2001. 9
- 4) 独立行政法人森林総合研究所監修, 木材工業ハンドブック, 丸善(株), 2004
- 5) 田畑雅幸, 平野彰彦, 浜幸雄: 札幌市に長期屋外暴露したコンクリートの耐凍害性について, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 79, pp. 9-12, 2006. 7
- 6) 西野由紀彦, 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), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 355-356, 1993
- 7) 安田延明, 大羽伸和, 西野由紀彦: 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), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 357-358, 1993
- 8) 吉野利幸: 窯業系サイディングの耐凍害性に関する屋外暴露実験, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 79, pp. 13-16, 2006. 7

(2006年9月8日原稿受理, 2006年11月27日採用決定)