

暴露後2年を経過した塩ビサイディングによる鉄筋コンクリート 構造物の保護効果および塩ビサイディングの耐久性

日大生産工 (院) ○小瀬木美紗 日大生産工 湯浅 昇
琉球大学 山田 義智 塩ビ工業・環境協会 一色 実
同 長縄 肇志 同 高村 正彦

1. はじめに

北米では古くから外壁用サイディングとして、塩化ビニル樹脂を多く使用してきた¹⁾。塩ビサイディングの特徴として、軽量で施工性に優れ、コストパフォーマンスの高いことが挙げられる²⁾。また、塩ビ自体が建材として高耐久性を有し、リサイクル性に優れた材料である³⁾。

鉄筋コンクリート造の劣化、鉄筋の発錆、凍害、アルカリ骨材反応は、コンクリート内の含水率と深い関係にあることから、塩ビサイディングを外装材として使用することにより、雨水や塩害などからコンクリート構造物を保護することが期待できる。

本研究では、塩ビサイディングによる鉄筋コンクリートの保護効果を材齢 26 カ月(暴露期間 25 カ月: 2009 年 9 月 1 日~2011 年 10 月 1 日)まで、塩ビサイディング耐候性について、暴露 2 年目(暴露期間: 2009 年 7 月~2011 年 7 月)までの結果を検討した。

2. 塩ビサイディングがコンクリートへの含水率分布に及ぼす影響

2.1 実験概要

(1) 試験体作製

コンクリートの試験体は、普通ポルトランドセメント、大井川水系川砂、大井川水系川砂利および化学混和剤を使

用し、表 1 に示した割合に基づき練り混ぜた。試験体は 300×300×150mm の型枠を用いて作製した。なお、コンクリート試験体中に、図 1 に示すように試験体中央部に暴露面(南面)から 5、20、50、75、100、130、145mm に中心から左右 50mm の位置に 7 個ずつ、計 14 個のセラミックセンサを埋め込んだ。

コンクリート試験体は材齢 1 日で脱型し、側面(300×150mm)4 面にウレタンを塗った後、材齢 1 ヶ月まで恒温恒湿室(20℃、R.H.60%)に静置した。材齢 1 ヶ月において、含水率を測定した後、暴露面(300×300mm)2 面に A 社製塩ビサイディングを施工した。なお、試験体と塩ビサイディングの間のすきまは、実構造物では存在しないので、シーリングにより雨等の浸入を防いだ。

試験体条件として、①ひさし無・サイディング有、②ひさし無・サイディング無、③ひさし有(南北 60cm×東西 45cm)・サイディング無、④ひさし有・サイディング有とし、同条件の試験体数は各 2 体とした。

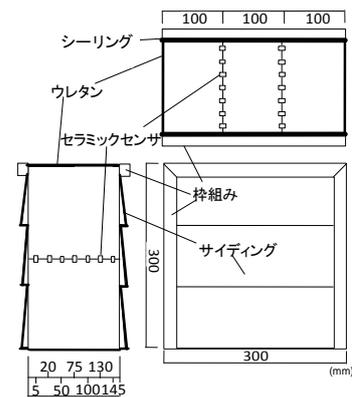


図 1 試験体概要

表 1 割合表

水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	細骨材率 (%)	普通ポルトランドセメント (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	No.70 (g/m ³)	303A (g/m ³)
60	180	47.3	300	842	954	750	1800

Study on protective effect of PVC siding for reinforced concrete structure and durability of PVC siding after exposing for 2 years

Misa OZEKI, Noboru YUASA, Yoshitomo YAMADA, Minoru ISSHIKI,
Tadashi NAGANAWA and Masahiko TAKAMURA

(2) 暴露条件

材齢 1 ヶ月目である 2009 年 9 月 1 日に、千葉・習志野日大暴露場に、暴露面が南北を向くように暴露した。また、日射条件を統一するため、高さ約 30cm の暴露台の上に一列に設置した。

(3) 含水率の測定方法

含水率の測定は文献⁴⁾の方法によって行った。測定 2 日前に試験体を恒温恒湿室に移動し、24 時間静置させることで測定時の試験体温度を 20℃とした。また、測定日は、原則として各月 1 日とし、1 ヶ月ごとに測定を行った。

2.2 結果および考察

図 2 は、含水率分布の経時変化を示したものである。恒温恒湿室(20℃、R.H.60%)に静置している状態(暴露前：材齢 1 ヶ月まで)で

は、材齢の経過に伴い含水率が全ての試験体で減少した。

暴露後は、試験体条件により、含水率に違いがみられた。

「①ひさし無・サイディング有」の試験体は、サイディングにより試験体表面が保護されているため、南面の含水率は低いが、ひさしが無いため、北面の含水率は高かった。

また、「②ひさし無・サイディング無」の試験体は、雨が直接試験体にあたるため、表面から内部にかけて全体的に含水率が高かった。「③ひさし有・サイディング有」の試験体は、ひさしが雨を防ぎ、さらにサイディングにより表面が保護されているため、含水率が全体的に低く、南北の面の差は見られなかった。

「④ひさし有・サイディング無」の試験体は、ひさしにより雨を防いでいるが、サイディングが無いため、内部の含水率は低く、表面の含水率は高かった。

以上の結果から、塩ビサイディングには、コンクリートの含水率を減少させる一定の効果があることがわかった。

3. 塩ビサイディングがコンクリートの中性化深さに及ぼす影響

3.1 実験概要

(1) 試験体

コンクリートの試験体は、普通ポルトランドセメント、沖

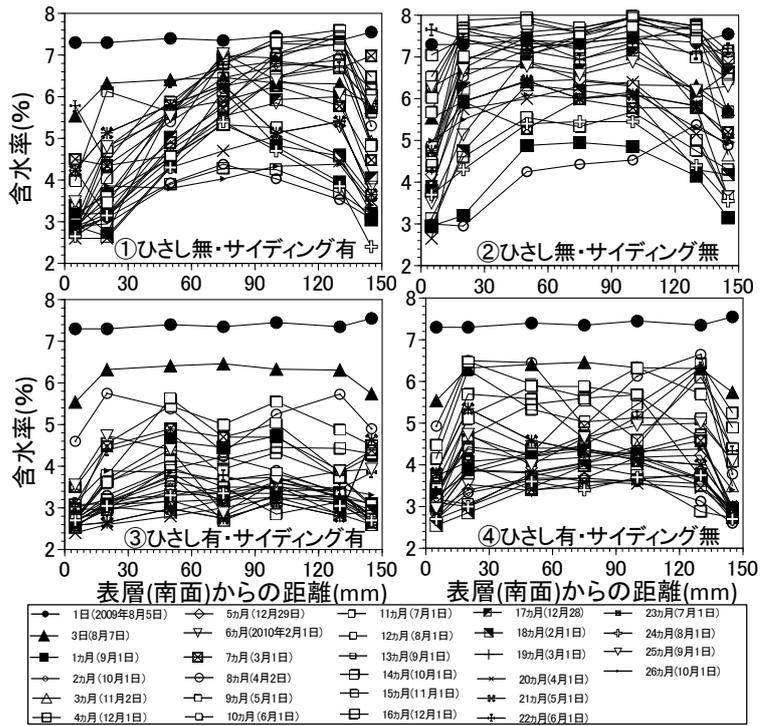


図 2 含水率の経時変化

縄県新川沖の除塩した海砂と本部半島産の砕砂、沖縄県本部半島産の砕石および化学混和剤を表 3 に示した調査表に基づき練り混ぜ、300×300×150mm の型枠を用いて作製した。なお、本試験体には、直径 10mm の鉄筋を 3 本配筋し、かぶり厚は 30mm、20mm、10mm とした。コンクリート試験体は、材齢 28 日まで室内にて湿封養生を行なった。

試験体種類はサイディング有とサイディング無の 2 種類とし、含水率用試験体の中性化深さも同時に測定を行なった。

(2) 暴露条件

2009 年 9 月に、千葉・習志野日大暴露試験場に暴露面が南北を向くように暴露した。また、日射条件を統一するため、暴露台の上に一列に設置した。

(3) 中性化の測定方法

2011 年 7 月(暴露期間:23 ヶ月)に暴露面 2 面の中性化深さ測定を、NDIS 3149 に準じて行った。

3.2 結果および考察

中性化深さの結果を図 3、図 4 に示す。含水率用試験体について、試験体種類にかかわらず全ての暴露面で中性化深さは深くなった。①ひさし無・サイディング有の試験体

表 3 調査表

水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	細骨材率 (%)	普通ポルトランドセメント (kg/m ³)	細骨材(kg/m ³)		粗骨材 (kg/m ³)	A _d ×C (%)
				海砂	砕砂		
65	50.5	50.5	277	541	369	918	1.0

は北面に比べ南面の含水率が低かったため、中性化深さも南面の方が深かった。②ひさし無・サイディング無の試験体は、他の試験体種類に比べ、含水率が高かったため中性化深さは浅かった。③ひさし有・サイディング有の試験体は、暴露面によらず含水率が低かったため中性化深さは深かった。④ひさし有・サイディング無の試験体は、暴露面にかかわらず含水率が若干低かったため、中性化深さも深い傾向にあった。

鉄筋入試験体について、試験体種類によらず、北面に比べ南面の中性化が進む傾向にあった。塩ビサイディングが施工されている試験体は、施工されていない試験体に比べ中性化深さが深くなった。これは、含水率用試験体の傾向から含水率が低く保たれているためだと考えられる。

鉄筋腐食用試験体が含水率測定用試験体に比べ全体的に中性化深さが浅いのは、水セメント比が含水率用試験体に比べ大きいにも関わらず、養生を十分に行ったためだと考えられる。

以上の結果から、試験体中の含水率は中性化深さに影響があり、塩ビサイディングを施工している試験体は含水率が低く保たれるため、中性化は進行する傾向にあった。

4. 塩ビサイディングが鉄筋コンクリートの鉄筋腐食に及ぼす影響

4.1 実験概要

(1) 試験体および暴露条件

鉄筋コンクリート試験体に、中性化深さを測定した際に用いた鉄筋入コンクリートを用いた。暴露条件においても同様である。

(2) 鉄筋腐食の測定方法

鉄筋腐食の測定には、交流インピーダンス測定器(S社製)を用い、鉄筋の自然電位、分極抵抗値、腐食電流密度および腐食速度の測定を行なった。鉄筋の中央(試験体中央)の位置で、鉄筋真上のコンクリート表面にセンサーを当て、自然電位(E_{corr})を測定した。次に、この電位を基準に、高低2周波(10Hz、20Hz)交流電圧を別々に印加し、これらの高低2周波の交流インピーダンス値より分極抵抗(R_{ct})を求めた。

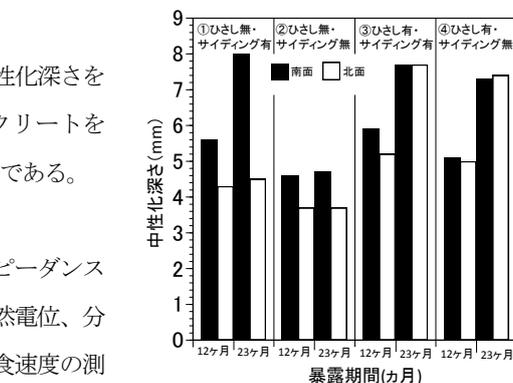


図3 含水率用試験体の中性化深さ

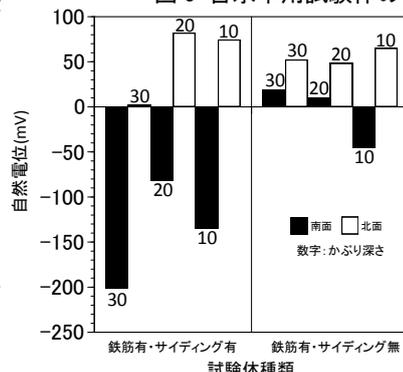


図5 自然電位

4.2 結果および考察

図5に自然電位を示す。ASTMでは、 $-200\text{mV} < \text{自然電位}(E_{corr})$ の場合、90%以上の確率で鉄筋は錆びていないと規定されている。本実験では、全ての試験体で自然電位は -200mV 以上であるため、鉄筋は錆びていないと推測できる。

表6に試験体種類による分極抵抗値、腐食電流密度および腐食速度を示す。鉄筋腐食判定基準では、 $130 < \text{分極抵抗値}(R_{ct})$ 、腐食電流密度(I_{corr}) < 0.2 および腐食速度 < 0.0023 である場合、鉄筋の腐食速度は極めて遅いと規定されている。本実験において、試験体種類によらず規定を満たしているため、極めて遅い腐食速度と判断できた。

5. 塩ビサイディングの耐久性

5.1 実験概要

(1) 試験体

塩ビサイディングは、A社製(色:アイボリー)およびB社製(色:ヘブルクレイ、表面形状:cおよびd)の3種類を用いた。なお、本実験に用いた塩ビサイディングの表面は、試験体表面に対し、横(X軸)に平行に凹凸が施してある。

(2) 暴露条件

暴露期間は、北海道・泊(2009年7月~2011年7月(24ヶ月))、沖縄・辺野喜(2009年7月~2011年7月(24ヶ月))および千葉・

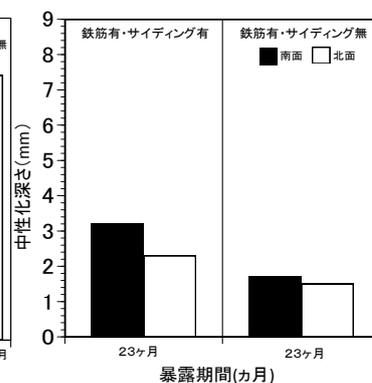


図4 鉄筋腐食用試験体の中性化深さ

表3 試験体種類の違いによる腐食速度判定

試験体種類	暴露面	かぶり(mm)	分極抵抗測定値 R_{ct} ($\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$)	腐食速度推定値	
				腐食電流密度 I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	腐食速度 (mm/year)
鉄筋有・サイディング有	南面	30	845	0.031	0.0004
		20	5075	0.005	0.0001
		10	1685	0.015	0.0002
	北面	30	1900	0.014	0.0002
		20	5115	0.005	0.0001
		10	4860	0.005	0.0001
鉄筋有・サイディング無	南面	30	3815	0.007	0.0001
		20	4842	0.006	0.0001
		10	2430	0.011	0.0001
	北面	30	3025	0.000	0.0001
		20	6527	0.000	0.0001
		10	3140	0.009	0.0001

習志野(2009年9月～2011年7月(23ヵ月))
とした。なお、暴露は南向き45度の仰角で
行った。

(3) 試験方法

1) 色差試験

色彩色差計(M社製CR-300)を用いて色差
(ΔE^*ab)を測定した。

2) 光沢度試験

光沢度試験機(M社製GMX-101)を用い、

JIS K 5600-4-7に準じて光沢度を測定した。

3) 表面粗さ測定

高精度形状測定変位計(K社製LE-400)を用いて表面粗
さを測定した。測定は、各方向(X軸、Y軸)に行なった。

5.2 結果および考察

(1) 色差試験

図6に、色差の経時変化を示す。全ての暴露地で、A
社製塩ビサイディングの色差は、B社製に比べ大きな値
を示した。また、千葉に暴露した試験体は、他の暴露地
に比べ色差が大きくなる傾向にあった。暴露1年から2
年にかけて沖縄に暴露した試験体は色差が大きくなる
傾向にあったが、北海道および千葉に暴露したものは色
差の変化があまり現れなかった。

(2) 光沢度試験

図7に、光沢度の経時変化を示す。全ての暴露地で、
光沢度は減少傾向にあり、千葉に暴露した試験体は、他
の暴露地比べ光沢度の減少が大きかった。また、全ての
暴露地においてB社製cの減少率が大きかった。

(3) 表面粗さ試験

図8に、表面粗さの経時変化を示す。全ての暴露地に
おいて、試験体種類によらず、表面の凹凸に対して平行
なX軸方向の表面粗さは、平均高さが低くなり、表面の
凹凸に対して垂直なY軸方向の表面粗さは、平均粗さが
若干高くなる傾向にあった。暴露地および試験体種類の
違いによる差はみられなかった。

6. まとめ

(1) 塩ビサイディングおよびひさしの有無が、コンクリ
ートの含水率を減少させる一定の効果があること
がわかった。

(2) 暴露2年において、コンクリートの中酸化深さ進行は、

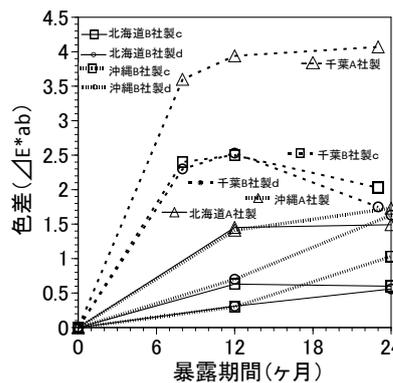


図6 色差の経時変化

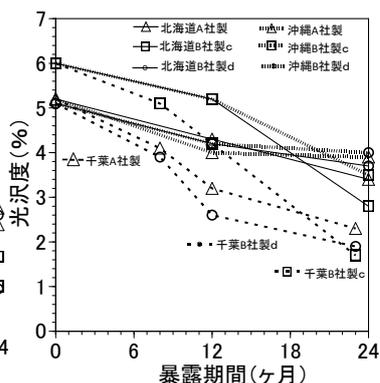


図7 光沢度の経時変化

含水率が高い

北側暴露面
の方が、南面に比
べ遅かった。

(3) 暴露期間2年
では、塩ビサイ
ディングの有無およびか
ぶり深さにか

かわらず90%以上の確率で鉄筋は腐食しておらず、
腐食速度も極めて遅かった。

(4) 塩ビサイディングの色差において、全ての暴露地で
A社製塩ビサイディングの色差は、B社製に比べ大
きな値を示した。暴露2年では千葉に暴露した試験
体が他の暴露地に比べ大きな色差を示した。

(5) 塩ビサイディングの光沢度において、暴露2年では
千葉に暴露した試験体が他の暴露地に比べ現象が
大きかった。また、全ての暴露地においてB社製c
の減少率が大きかった。

(6) 塩ビサイディングの表面粗さは、凹凸に平行なX軸
方向で平均高さが低くなり、凹凸に垂直なY軸方向
の平均高さは高くなる傾向にあった。暴露地および
試験体の違いによる差はみられなかった。

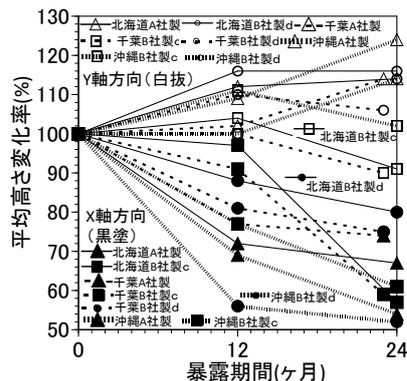


図8 表面粗さの経時変化

参考文献

- 1) 日刊建設工業新聞, 2009年11月5日
- 2) 高村正彦他, 塩ビサイディング材の遮塩性評価に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010年
- 3) 一色実, 塩ビ建材の耐久性とそのリサイクル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2002年
- 4) 湯浅昇他, 埋め込み式セラミックセンサの電気的特性によるコンクリートの含水率測定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, No. 498, 1997年