

東アジアの寒冷地におけるプラスチック・木質系複合サッシ開発の考え方

VIEW OF DEVELOPMENT OF PLASTIC-WOOD COMPOUND FRAME ON THE FRIGID ZONE IN EAST ASIA

張 健*, 近藤正一**, 蔡 軍*, 若山 滋***
Jian ZHANG, Shoichi KONDO, Jun CAI
and Shigeru WAKAYAMA

With the major type frames systematically analysed, this paper points out both the superiority and necessity of the plastic - wood compound frame on the frigid zone in East Asia as far as its applying function are concerned. In this paper, the study are made about compound position, technique means of compound, main problems of compound and a compound method compound squeezing method in the production of over - all packed plastic - wood compound frame is put forth, and this project lays foundation for the further study and production of new type plastic - wood compound window.

Keywords: Compound frame, Plastic, Wood, Construction, Compound position, Technique means
複合サッシ, プラスチック, 木材, 構法, 被覆形式, 結合方法

1. はじめに

1.1 研究の目的

近年、日本ではアルミニウム製サッシが全国的に普及し、小規模建築から大規模建築まで幅広く使用されている。アルミニウム製サッシは、気密性や耐久性が高いなどの優れた性能をもつが、サッシ部が金属による単一材料で構成されているため、断熱性能や結露防止などに不利な面もあり、日本においても寒冷地ではプラスチック製サッシやアルミニウム・木質系複合サッシなどが試みられている。また、材料コストが高いことから、発展途上国における普及には障害があり、日本以外の東アジアでは、木製サッシ、鋼製サッシ、プラスチック製サッシが多く用いられているのが現状である¹⁾。

建築構法の妥当性は風土によって異なり、その開発、研究の技術的背景も、風土と社会条件によって左右される。本研究では特に東アジアの寒冷地（具体例として中国東北地方を想定）における住宅などのローコストであることを要求される一般建築を対象として、安価で高性能なサッシを構法開発することを目的に、プラスチックと木材の組み合わせに着目し、それらの複合形式と結合方法について構法的見地から検討することによって、その性能特性を明らかに

する。

1.2 既往の研究

プラスチックと木材による複合サッシは、カナダなどで使用されているが、これらは木材にプラスチックをはめ込むことにより、側面部位のみを被覆する形式である。プラスチック・木質系複合サッシを構法的見地から論じたものについては、ドイツ・日本・アメリカ・カナダ及び中国などにおいて学術的な研究が報告されておらず、東アジアの実情の中での開発研究も報告されていない。

1.3 研究方法

本研究は、1) まず、代表的なサッシ材料について性能比較をすることによって、プラスチックと木材による複合の有効性を検討する。2) 次に、その被覆形式を分類し、それぞれについて検討することによって、適当な方法を提案する。3) 具体的な結合方法について、同様に提案する。4) 以上の結果を踏まえ、プラスチック・木質系複合サッシの特性について考察する。

2. 材料別サッシ性能比較

木材および鋼材は湿気等により腐食・錆を生じるため、表面の被

* 名古屋工業大学社会開発工学科 大学院生・修士(工学)

** 名古屋工業大学社会開発工学科 助手・修士(工学)

*** 名古屋工業大学社会開発工学科 教授・工博

Graduate Student, Dept. of Architecture Engineering and Civil Engineering, Nagoya Institute of Technology, M. Eng.
Research Assoc., Dept. of Architecture Engineering and Civil Engineering, Nagoya Institute of Technology, M. Eng.
Prof., Dept. of Architecture Engineering and Civil Engineering, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

覆が必要である。また、現在の一般的なサッシはどちらも気密性が低い。東アジアだけではなく世界各地においても木製サッシは多く用いられ、その中には金具やパッキングの工夫で水密性や気密性の高いサッシもあるが、良質木材によって生産されるサッシがほとんどを占める。精密な断面で高い水密性や気密性を獲得するため、大きな断面から逐次削っていくので、成形するための浪費が大きい。また、加工する際、局部の削り過ぎによる、繊維断裂を防止するため、木材の力学性質についても考慮しなければならない。たとえ性能がよい良質サッシでもその断面サイズはプラスチックサッシより大きくなり、そのうえ良質な木材が必要である。一方、中国東北地方で多く用いられている雑木によって、生産される木製サッシは、良質木材に比べ、加工性に劣り、水密性と気密性の両面についてプラスチックサッシより劣る。

中国東北地方において、一般建築用の木製サッシに良質な木材(チョウセンマツ・コウヨウゼン類など)を使用する可能性はあまりない。日本は「天与の木材産出国」といわれたこともあるが、その絶対量は少なく、今日では国内需要量の30%を供給しているにすぎず、70%内外をアメリカ・カナダなどから輸入をしているのが実情である^{※2)}。中国も同様な状況にある。即ち豊富な森林資源を有してはいるが(森林面積1.2億ヘクタール)、良質木材が乏しく、そのうえ、良質木材は建築材料以外に、有用な用途が広く、その方面の消費量もきわめて多い。したがって、今後は雑木を加工することによる高性能サッシの開発が望まれる。

一方、アルミニウムは高価なため、東アジア寒冷地のほとんどの地域において使用が困難である。プラスチックは強度に不安があり、気密性が高いことから、むしろ被覆材として有効である。

以上のように、単一材料によるサッシは、それぞれ長所とともに短所をもつ(表1)。しかし、むしろこれらの材料を複合して用いることによって、互いの短所を相殺することができると考えられる。

以上の材料別サッシ性能比較から、鋼材(心材)+プラスチック(被覆材)あるいは、木材(心材)+プラスチック(被覆材)の組み合わせが考えられる。前者は仕口部の被覆が技術的に困難であるのに対し(図1)、後者は木製サッシの接合技術をほぼそのまま援用でき、信頼性が高いため、東アジアの寒冷地全域を対象とした場合、後者の組み合わせが望ましいといえる(以降、プラスチック・木質系複合サッシと称する)。

プラスチック・木質系複合サッシは、プラスチック製サッシの長所に加え、心材に木材が加わることによって、強度が増加する。また、プラスチック製サッシの構造壁が不要となることにより、工程が単純になる。木材も、心材として用いることで、断面形が単純化され、安価な材料で対応でき、ネジによる金具の結合力も、プラスチック製サッシに比べ増加する。

以上の分析より、東アジアの寒冷地全域においてはプラスチック・木質系による複合サッシが有効であると思われる。

3. プラスチックによる木材被覆形式

プラスチック・木質系複合サッシの被覆形式は、被覆部位によ

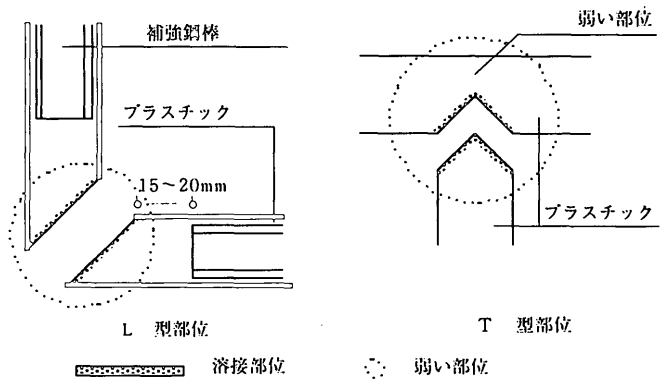


図1 鋼材(心材)+プラスチック(被覆材)複合サッシ仕口部概念図

表1 材料別サッシ性能比較

材料種別	木製サッシ	鋼製サッシ	アルミ製サッシ	プラスチック製サッシ
強度 (MPa) ^{*1}	8.3×10 ² ~1.8×10 ³	4.5×10 ²	2.1×10 ²	3.4×10 ² ~6.178×10 ²
比強度 (MPa) ^{*1}	8.3×10	5.7×10	7.4×10	6.4×10
剛性 (NPa) ^{*2}	1.0×10 ⁴	2.1×10 ⁵	7.2×10 ⁴	1.9×10 ³
気密性(m ³ /h・m) ^{*3}	3.4~3.6	4.2~4.6	0.5~2.5	1.1
水密性 ^{*3} ※	◇	△	○	○
防音性 ^{*3} ※	◇	△	□	○
保温性(W/m・K) ^{*4}	0.18~0.36	60	175~208	0.14
防火性能 ^{*3} ※	△	○	○	□
メンテナンス性 ^{*3} ※	△	◇	○	○
耐食性 ^{*3} ※	◇	△	□	○
加工精密性 ^{*3} ※	◇	△	○	○
エネルギーの節約 ^{*3} ※	□	◇	△	○
コスト (円/m ²) ^{*5}	1480	2400	5600	4400

*1 参考文献13) 付表によって、換算した。

*2 弾性係数。参考文献6) 参照。

*3 本文参照。

*4 参考文献13) P.60 3.5.2, P.63 3.6.1 参照。

*5 中国における1990年の価格をもとに換算した。

*6 熱伝導率。参考文献6) 参照。

※ ○良い □普通 ◇やや悪い △悪い

て、木材の側面のみをプラスチックで被覆する側面部位被覆式・ガラス取付部分と、枠に接する部分をプラスチックで被覆する接触部位被覆式・木材の表面全体をプラスチックで被覆する完全被覆式の3種類に分類できる(表2)。

表2 被覆形式性能比較

略図 効果	略図		
	側面部位被覆式	接触部位被覆式	完全被覆式
性能			
強さ	○	○	○
剛性	◎	◎	◎
気密性	◇	◎	◎
水密性	◇	◎	◎
防火	◇	◇	□
保温	○	○	◎
定期保守	□	□	◎
耐腐食	□	□	◎
加工の難易度	△	○	◎
加工の精密性	◇	○	◎
エネルギーの節約	△	◎	○
防音性	◇	◎	◎
コスト	○	○	□
外観	○	◇	◎

※ ◎良い ○やや良い □普通 ◇やや悪い △悪い

3.1 側面部位被覆式

側面部位被覆式は、木製サッシの側面部位表面にプラスチックをとりつけた形式で、カナダなどですでに用いられている。木製サッシの基本性能に木材側面の風化防止効果が加わり、塗装が不要となる。しかし、構造的には木製サッシの改良型にすぎず、複雑なディテールに加工できないため、戸・枠間の気密性などに問題が残る。

3.2 接触部位被覆式

接触部位被覆式は、矩形断面の木材を軸として、上下にプラスチック製のガラス取付部と枠接触部を取り付けた形式である。木材を構造材、プラスチックを気密材として用い、従来の木製サッシと比較して、複雑な断面形に対応できるとともに、気密性が飛躍的に向上する。また、木材の断面形状が単純なため、材料の節約にもつながる。しかし、側面露出部分は塗装せねばならず、定期的な保守が必要となる。

3.3 完全被覆式

完全被覆式は、上記両形式の複合形式である。断面は、プラスチック製サッシの内部空隙に木材を挿入した形状で、プラスチック製サッシの長所がそのまま生かされるとともに、短所である強度面を木材で補っている。木材は完全に被覆されるため、品質の低い安価な材料を用いることができ、腐食・虫害等に対する保守が不要となる。また、接触部位被覆式と同様、木材の断面形状が単純なため、材料の節約につながる。一方、プラスチックも内部壁が不要となるた

め、生産工程が単純化でき、コストが低減できる。

したがって、完全被覆式は、プラスチックおよび木材の長所を生かしつつ、互いの短所を補う特徴があり、三形式の中で最も優れた形式といえる。

4. プラスチックと木材の結合方法

これまで論じてきたプラスチック・木質系複合サッシの長所の多くは、プラスチックと木材が空隙なく十分に結合された状態を前提としており、その性能を発揮するためには、被覆形式に合った結合方法を用いる必要がある。本章では、プラスチックと木材の結合方法を5種類に分類し、それぞれの特徴について分析する(表3)。

表3 結合方法性能比較

評価項目 結合方法	略図		
	密着性	結合性	加工性
接着法	○	◎	○
固定法	□	◎	○
挿入法	□	◇	△
はめ込み法	△	△	◇
複合絞り出し法	◎	○	◎

※ ◎良い ○やや良い □普通 ◇やや悪い △悪い

4.1 接着法

プラスチックと木材を防火性能の高い接着剤で貼り合わせる方法で、側面部位被覆式・接触部位被覆式・完全被覆式のいずれにも適用できる。プラスチックと木材の間に、接着剤が充填されるため、結合性が高く、温度変化によるプラスチックの膨張・収縮によるサッシの変形を防止できる。ただし、完全被覆式に適用する場合、プラスチックを2部材に分ける必要がある。

4.2 固定法

ネジによって、プラスチックと木材を固定する方法で、側面部位被覆式・接触部位被覆式・完全被覆式のいずれにも適用できる。結合方法が物理的なため、信頼性が高く、生産工程が簡便である。しかし、構造的にネジの周囲に応力が集中するため、プラスチックの破断が生じやすい。また、プラスチックに部分的に穴が開くため、サッシ内部に水が浸入する可能性がある。

4.3 挿入法

あらかじめ成型されたプラスチックに木材を挿入する方法で、完全被覆形式のみに適用できる。以下の3種類に分類される(図2)。

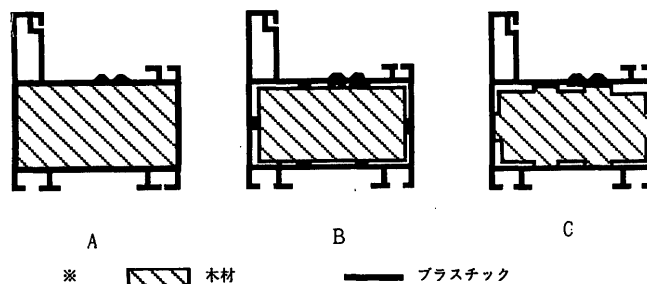


図2 挿入法概念図

- A. プラスチック内面と木材表面を平滑に加工し、密着した状態で挿入する。この方法は、プラスチックと木材の間に隙間は生じないが、木材挿入時の摩擦が大きいため、加工性が低い。
- B. プラスチック内面に縦筋状の突起を設け、木材との接触面を減らすことによって、摩擦を低減させる方法であるが、プラスチックと木材の間に隙間が生じるため、プラスチック・木質系複合サッシの加工方法として、望ましくない。
- C. 挿入する木材の表面に縦筋状の突起を設け、木材との接触面を減らすことによって、摩擦を減らす方法。この方法も、プラスチックと木材の間に隙間が生じる。また、木材の加工上、削りくずが大量に生じ、突起部が壊れやすい。木材の断面積を一定にした場合、サッシ断面が大きくなるのも、短所といえる。

表4 結合方法・被覆形式の適用関係及び概念図

被覆形式 結合方法	被覆形式		
	側面部位被覆式	接触部位被覆式	完全被覆式
接着法			
固定法			
挿入法	不適用	不適用	
はめ込み法			
複合絞り出し法	不適用	不適用	

※ 木材 プラスチック

4.1 はめ込み法

プラスチックの弾性を利用して、木材にプラスチックを取り付ける方法で、側面部位被覆式・接触部位被覆式・完全被覆式のいずれにも適用できる。以下の3種類に分類される。

- A. 木材のフレームにプラスチックの凸型レールをネジで固定し、そこにプラスチック被覆材をはめ込む方法で、側面部位被覆式に適用できる。
- B. 木材のフレームに溝を掘り、そこにプラスチック被覆材をはめ込

- む方法で、側面部位被覆式・接触部位被覆式に適用できる。
- C. 木材を包むように両側からはめ込み、結合部を溶融して密封する方法で、完全被覆式に適用できる。

これらの方法は、生産工程の簡便な点が長所といえるが、プラスチック被覆材と木材の結合性が摩擦力のみによるため低く、温度変化によるプラスチックの膨張・収縮のため、サッシの変形が生じやすい。また、完全被覆式に適用する場合、プラスチックを2部材に分ける必要がある。

4.5 複合絞り出し法

表面に防水接着剤を塗布した木材と溶融プラスチックを、同時に型に通すことによって一体成型する方法で、完全被覆式に適合できる。この方法は、一種の押し出し成型のため、プラスチックと木材は、完全に一体化し、プラスチックと木材の間に隙間がまったく生じないため、プラスチック・木質系複合サッシの性能を十分に発揮させることができる。また、プラスチックの対衝撃性が高く、肉厚を薄くすることができる。木材表面の平滑性を求められないため、製材の精度を求められない点も、長所といえる。しかし、この方法は、長さ数メートルの木材を金型に通すため、大型の機械を必要とする点が短所といえる。

4.6 考察

5種類の結合方法のうち、固定法・挿入法・はめ込み法は、プラスチックと木材の結合性が不足しており、プラスチック・木質系複合サッシの性能を十分に発揮できないと考えられる。また、接着法は、完全被覆式に適用する場合、生産工程が複雑となり、高い精度を要求される。それゆえ、完全被覆式に最適な結合方法は、複合絞り出し法と思われる(表4)。

5. プラスチック・木質系複合サッシの特性

これまで、複合絞り出し法による完全被覆式のプラスチック・木質系複合サッシの有用性を論じてきたが、本章では、その力学的特性、強度、熱伝導特性および気密性について、定量的見地から分析し、最後に耐食・耐虫性能およびコストに関する考察に触れる。

5.1 温度変化・湿度変化による力学的特性

プラスチック・木質系複合サッシの外力による力学的性質は、ほぼ木製サッシと同様であり、本論文ではむしろ、プラスチックと木材のそれぞれの変形と結合性について論じる。

プラスチックはおもに温度変化によって変形し、木材はおもに含水率の変化と温度変化によって変形する。プラスチックと木材は、それぞれ変形量が異なり、サッシ全体の変形につながるため、それぞれが適正な接着力によって結合される必要がある。

まず、複合絞り出し法による完全被覆式のプラスチック・木質系複合サッシは、木材がプラスチックによって完全に密封されているため、木材の含水率は一定となる。すなわち、生産工程の初期の段階で、木材を十分乾燥させることによって、含水率の変化による木材の変形は防止できるといえる。また、温度変化によって生ずる内部応力によるサッシの破壊は、A) 軸方向せん断力がプラスチックと木材間の結合力を上回り、分離する場合と、B) プラスチック部が変形を制約されて破断する場合とが考えられる。以下にそれぞれの場合について検証する。

- A) まず、プラスチック・木質系複合サッシの軸力を算出する。

プラスチックと木の相対変位は0であり、

$$\sum X = 0, \quad N_p = N_w \quad (1)$$

$$\Delta L_{pt} - \Delta L_{pn} = \Delta L_{wt} + \Delta L_{wn} \quad (2)$$

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (3)$$

が成り立つ。ただし、

N_p : プラスチックの軸力 (N)

N_w : 木材の軸力 (N)

L : プラスチック・木質系複合サッシの長さ (m)

ΔL_{pt} : 温度変化によるプラスチックの変形 (m)

ΔL_{pn} : 軸力によるプラスチックの変形 (m)

ΔL_{wt} : 温度変化による木材の変形 (m)

ΔL_{wn} : 軸力による木材の変形 (m)

Δt : 温度変化量 (°C)

α_p : プラスチックの線膨張係数 (1/°C)

α_w : 木材 (フジマツ) の線膨張係数 (1/°C)

(2), (3) 式より、

$$L \cdot \alpha_p \cdot \Delta t - \frac{N_p \cdot L}{E_p \cdot A_p} = L \cdot \alpha_w \cdot \Delta t + \frac{N_w \cdot L}{E_w \cdot A_w} \quad (4)$$

ただし、

E_p : プラスチックの弾性率 (Pa)

E_w : 木材の弾性率 (Pa)

A_p : プラスチックの断面積 (m²)

A_w : 木材の断面積 (m²)

ここで、東アジア寒冷地の地域性を考慮し^(注8)、以下の値を代入し

てみると、

$$L = 2 \text{ (m)}$$

$$\Delta t = 60 \text{ (°C)}$$

$$\alpha_p = 8.0 \times 10^{-5} \text{ (1/°C)}$$

$$\alpha_w = 1.0 \times 10^{-5} \text{ (1/°C)}$$

$$E_p = 0.019 \times 10^{11} \text{ (Pa)}$$

$$E_w = 0.1 \times 10^{11} \text{ (Pa)}$$

$$A_p = 4 \times 10^{-1} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A_w = 2.4 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$$

より、

$$N_p = N_w = 3.1 \times 10^3 \text{ (N)}$$

となる。

次にプラスチック・木材間の内部剪断力を算出する。

$$Q_s = N_p = N_w \quad (5)$$

$$\tau_s = \frac{Q_s}{A_s} \quad (6)$$

ただし、

Q_s : プラスチックと木材の剪断力 (N)

τ_s : プラスチックと木材間の内部剪断力 (Pa)

A_s : プラスチックと木材の接触部面積 (m²)

ここで、(6) 式に

$$A_s = 400 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$$

を代入すると、

$$\tau_s = \frac{Q_s}{A_s} = 0.00775 \text{ (MPa)}$$

ここで、プラスチック・木材用の一般的な防水合成樹脂接着剤は、

$$[\tau_s] = 4.1 \sim 5.5 \text{ (MPa)}$$

$[\tau_s]$: 接着材の許容内部剪断力 (Pa)

であり、

$$0.00775 \text{ (MPa)} \ll 4.1 \sim 5.5 \text{ (MPa)}$$

より、軸方向剪断力がプラスチックと木材間の結合力を上回る可能性は、ないと考えられる。

B) 次に、プラスチックが結合力により熱変形の制約を受け、内部応力を生じ、破断する可能性について検証する。

$$\delta_p = 7.75 \text{ (MPa)}$$

δ_p : プラスチックの引張強度 (Pa)

ここで、

$$[\delta_p] > 36.8 \text{ (MPa)} \quad \text{注9)}$$

$[\delta_p]$: プラスチックの許容引張強度 (Pa)

よって、

$$\delta_p = 7.75 \ll 36.8 \text{ (MPa)}$$

より、プラスチックが熱変形による内部応力によって、破断する可能性はないといえる。

5.2 強度について

複合絞り出し法による完全被覆式のプラスチック・木質系複合サッシの強度はほぼ木材の強度と同等であり、木材とプラスチックとがしっかりと結合され、丈夫に一体化されることによって、プラスチックの対衝撃性が高められる。

プラスチック被覆損傷の可能性について、プラスチック被覆の許容受力を検討する。プラスチックの圧縮強度と曲げ強度は木材と同等以上であるため^(注10)、検討する必要がない。ゆえに、その許容引張力のみを算出する。

$$[P] = \frac{2bh^2}{3L} [\delta_p] \quad (7)$$

ただし、

$[P]$: プラスチック被覆の許容受力 (N)

b : プラスチック・木質系複合サッシの厚さ (m)

h : プラスチック・木質系複合サッシの幅 (m)

L : プラスチック・木質系複合サッシの長さ (m)

$[\delta_p]$: プラスチックの許容引張強度 (Pa)

ここで、(7) 式に

$$b = 0.06 \text{ (m)}$$

$$h = 0.04 \text{ (m)}$$

$$L = 2 \text{ (m)}$$

$$[\delta_p] = 36.8 \text{ (MPa)} \quad \text{注9)}$$

を代入すると、

$$[P] = \frac{2bh^2}{3L} [\delta_p] = 1177.6 \text{ (N)}$$

一般的に、サッシは1,177.6 Nもの外力を受けることはない。そのうえ、上述は最も不利な条件において得た結果である。実際の使用にはこのような荷重な条件はほとんどないので、プラスチック被覆損傷の可能性は低いと思われる。

一方、プラスチックの加工性は木材とほぼ同様であり、プラスチック・木質系複合サッシは木製サッシと同様の仕口によって接合されるため、同等の強度を有すると考えられる。

以上に述べたように、複合絞り出し法による完全被覆式のプラスチック・木質系複合サッシの強度は、木製サッシと同様であり、プラスチック被覆破断の可能性は低いといえる。

5.3 耐食・耐虫性能

プラスチック・木質系複合サッシにおいて、構造材となっている木材の耐食・耐虫性能は、サッシの寿命に影響する重要な要素である。

A. 側面部位被覆式の場合

今存在する側面部位被覆式多くは、外側を被覆して室内側を木製のままにする。このような複合サッシは風化に対して有効性が高いが、防腐に対しては以下のような問題がある。

a. プラスチックと接触する木材の腐食

はめ込み法によって生産される側面部位被覆式のサッシは、プラスチックと木材の間に隙間があるので、水分が侵入すると出にくい。特に寒冷地の冬季、空隙部に結露が生じ、木材の腐食の原因となっている。腐食だけについていえば、側面部位被覆式のサッシは全面露出の木製サッシより不利といえる。

b. 使用範囲が有限

外側面部位被覆式は室内側に木材が露出しているため、浴室・風呂場・台所などの湿度が変化する部屋には不適合である。居間などでも湿度の変化が大きい場合は腐食が進行する。

c. 木材の品質

室内側の木材が露出するので、チョウセンゴヨウやチョウセンマツなどの良質な木材が必要であり、木材の表面に塗装をする必要がある。

B. 接触部位被覆式の場合

腐食に対しては、Aとほぼ同様であるのに加え、外側が木材が露出されるため、風化に不利である。

C. 完全被覆式の場合

5.2に述べたように、複合絞り出し法による完全被覆式のプラスチック・木質系複合サッシは、プラスチック被覆破断の可能性が低い。木材が含水率を10～12%^(注11)まで十分乾燥させ、表面に防水接着剤を塗布し、プラスチックの中に密封することによって、木材の腐食を防止することができる。

万一プラスチック被覆が損傷し、木材が大気と触れた場合も、プラスチックと木材は完全に一体化し、プラスチックと木材の間に隙間がまったく生じないため、プラスチック被覆が傷つけられ、水分がプラスチックと木材の間に入り込むことはない。木材露出部分は、木製サッシの状況と同様になり、風化は進行するが、面積が小さいため、サッシ全体の性能低下にはつながらない。防腐性を高めるた

めには、薬剤^(注12)注入・塗装・プラスチックによる補修などの対策が考えられる。木材は十分乾燥され、表面に防水接着剤を塗布されているため、水分は木材へ出入りしない。

また、プラスチック・木質系複合サッシは、フジマツなどの雑木を材料とするため、木食い虫による被害が考えられる。しかし、木食い虫の繁殖条件は、1) 含水率18～72%、2) 温度2～35℃、3) 木材内空隙率5～15%であり、また、東アジアの寒冷地には木食い虫による被害そのものがほとんどみられないため、腐食と同様に木材を含水率10～12%まで十分乾燥させ、その表面に防水接着剤を塗布することによって、プラスチック中に木材を密封し、腐食を防止することができると予想される。

5.4 熱伝導特性および気密性

複合サッシの熱伝導率より、熱伝導特性について検討する。

$$\lambda_{pw} = \frac{d_{pw}}{R_{pw}} \quad (8)$$

$$R_{pw} = R_p + R_w = \frac{d_p}{\lambda_p} + \frac{d_w}{\lambda_w} \quad (9)$$

ただし、

λ_{pw} : プラスチック・木質系複合サッシの熱伝導率 ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)

d_{pw} : プラスチック・木質系複合サッシの厚さ (m)

R_{pw} : プラスチック・木質系複合サッシの熱伝導抵抗 ($\text{m}^2\cdot\text{K/W}$)

R_p : プラスチックの熱伝導抵抗 ($\text{m}^2\cdot\text{K/W}$)

R_w : 木材の熱伝導抵抗 ($\text{m}^2\cdot\text{K/W}$)

d_p : プラスチックの厚さ (m)

λ_p : プラスチックの熱伝導率 ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)

d_w : 木材の厚さ (m)

λ_w : 木材の熱伝導率 ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)

ここで、(8)、(9)式に

$$d_{pw} = 0.06 \text{ (m)}$$

$$d_p = 0.002 \times 2 = 0.004 \text{ (m)}$$

$$d_w = 0.06 - 0.004 = 0.056 \text{ (m)}$$

$$\lambda_p = 0.14 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$$

$$\lambda_w = 0.18 \sim 0.36 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$$

を代入してしてみると、

$$\lambda_{pw} = \frac{d_{pw}}{R_{pw}} = \frac{d_{pw}}{\frac{d_p}{\lambda_p} + \frac{d_w}{\lambda_w}} = 0.176 \sim 0.324 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$$

以上計算によって、プラスチック・木質系複合サッシは、サッシ断面の大部分を木材で占めるため、ほぼ木製サッシと同様の熱伝導特性を示す。

また、全面被覆式の場合、気密性はプラスチック製サッシと同等の性能を示す。

5.5 コストに関する考察

プラスチック・木質系複合サッシの実際の開発において、コストは大きな要素で、これは今後の研究課題である。力学と窓の機能によって、サッシの具体的な型式と断面サイズを確定して初めて正確な使用材料とコストを出ることができるが、大まかな原料コストについては以下のようにいえる。

プラスチック・木質系複合サッシは雑木を心材としており、プラスチック製サッシに比べ、プラスチック材の厚さを薄くでき、内部壁及び補強鋼棒を節約することができるため、プラスチック製サッシ・アルミ製サッシより中国東北地方におけるコストは低いと予想される。木製サッシ・鋼製サッシとの比較については、ライフサイクルコストを視野に入れた詳細な分析が必要である。また、開発の初期段階でのコストは高いと考えられるが、生産ロットが上がるとそれにつれてコストは下がると予想される。

また、生産技術と設備について、複合サッシを生産する機械はプラスチックサッシを生産する機械を援用することができる。現在、中国ではプラスチックサッシを生産するために用いられている混練押出機(2軸及び多軸型)のあるプロセスラインは200以上あるが、プラスチック製サッシの性能不足から、わずか3%しか利用されていないため、既存機械の活用を図ることにより、低コスト化が考えられる。

6. まとめ及び今後の課題

現在、東アジアの寒冷地では、おもに木製サッシ・鋼製サッシ・プラスチック製サッシが使用されている。これにアルミニウム製サッシを加えた5種類のサッシについて性能比較を行った結果、木材を心材、プラスチックを被覆材とした、プラスチック・木質系複合サッシが有効であると思われる。

プラスチックによる木材被覆形式として、側面部位被覆式・接触部位被覆式・完全被覆式について検討した結果、完全被覆式が高性能といえる。また、プラスチックと木材の結合方法として、接着法・固定法・挿入法・はめ込み法・複合絞り出し法について比較検討した結果、完全被覆式に適したプラスチック・木材結合方法は複合絞り出し法であることが明らかとなった。複合絞り出し法による完全被覆式のプラスチック・木質系複合サッシは、互いの短所を補完し、強度面・保温性・耐久性・経済性などに優れた性能を示すと予想される。

また、温度変化・湿度変化による力学的特性、強度、耐食・耐虫性能、熱伝達特性および気密性について、それぞれ検討したところ、いずれも成立することが証明された。

以上の考察より、東アジアの寒冷地におけるサッシは、複合絞り出し法による完全被覆式のプラスチック・木質系複合サッシが適当であるといえる。

本論文は東アジアの寒冷地におけるプラスチック・木質系複合サッシの開発の基礎的な研究として、被覆形式・結合方法及び特性について、検討した。本論に示した方向性に基づき、実際の開発までにはさらに様々な研究が必要である。今後の課題としては、実験による検証や、サッシの枠と框及び開閉方式による具体的な断面と

型式を明確にすることが必要であると思われる。

謝辞

本研究を作成するにあたり、中国建築技術委員会副主任(当時)ハルビン建築大学鄭忱教授にご指導をいただき、ハルビンプラスチック工場社長(当時)ゴウヘイ氏、中国建築省建築科学研究院高錫九教授、名古屋工業大学河邊伸二助教授にご協力をいただいた。深く謝意を表したい。

註:

- 1) 1990年、中国政府は、住宅等一般建築へのアルミニウム製サッシ窓の使用を禁止する法令を發布した。
- 2) 参考文献13) 参照。
- 3) ここでは、最も一般的なPVC(ポリ塩化ビニル)製サッシについての特徴を挙げた。PVCは、安価で耐久性が高いことから、世界中で広くサッシに用いられている。
- 4) 参考文献6)より、プラスチックの熱伝導率は0.14(W/m·K)であり、木材の0.18~0.36(W/m·K)、鋼の60(W/m·K)、アルミニウムの175~208(W/m·K)より優れている。
- 5) 参考文献1)より、プラスチック製サッシの透過損失は24~47dBであり、アルミニウム製サッシの11~40dBより優れている。
- 6) 防火性は国際消防組織の認証を得ている。
- 7) 参考文献1)より、同じ体積を生産するためのエネルギー量は、鋼:アルミニウム:プラスチック=4.5:8.8:1である。また、中国建築科学研究院の報告によると、北京における暖房累積時間(3,000時間/年)あたりのエネルギー損失量は、鋼製サッシ:プラスチック製サッシ=2,075:498(kJ)、中国東北地方における暖房累積時間(4,338時間/年)あたりのエネルギー損失量は、鋼製サッシ:プラスチック製サッシ=2,670:726(kJ)であり、ともに約4倍異なる。
- 8) 東アジアの寒冷地において、一般的なサッシのほとんどは、長さ2m以下である。温度差は最も温度差の激しい地域を想定した。断面寸法は幅0.04m、厚さ0.06mとした。プラスチック被覆材は厚さ0.002mを設定した。
- 9) 日本(JISK6785-85)・中国(GB8814-88)ともに、プラスチックの引張強度は36.8(MPa)としている。
- 10) 参考文献12) 参照。
- 11) 腐食の湿度条件含水率18~72%である。
- 12) 薬剤はいろいろなものがあるが、その主なものをあげれば次のようになる。(a)クレンジング剤その他油性剤。(b)その他PCPなど。

参考文献:

- 1) 上海市建築科学研究所・全国建材材料情報網化学建材專業組: 塑料門窗資料選編, 1986
- 2) 木結構設計手冊, 中国建築工業出版社, 1981
- 3) 楊培紅 他: PVC塑料窗增角工藝研究, 山西建築, 1985.1
- 4) 李志英: PVC塑料窗的耐侯性, 新型建築材料, 1992.5
- 5) 益小蘇: 塑料接合技術的一些基本問題, 現代塑料加工應用, 1991.2
- 6) 実用建築手冊, 北京出版社, 1988
- 7) Bo, Adamson, B. Jonsson, E. I. Semeonova and A. V. Sherbakov: Window design with respect to thermal performance, 1987
- 8) F. J. Kasper, R. Muller, R. Rudolphi and A. Wagner: The thermal transmittance of windows
- 9) L. 克林德教授等著, 高錫九訳: 塑料窗的設計製造与安装, 四川科学技术出版社, 1986
- 10) 朱紹男: 窗框用PVC的性質和基本配方, 北方塑料, 黑龍江省塑料工程学会・哈爾濱市塑料研究所, 1983.1
- 11) 民用建築熱工設計規程, JGJ24-86, 1986
- 12) 依田彰彦: 建築材料, 理工図書株式会社, 1981
- 13) 狩野春一, 住人豊和, 橋高義典: 建築材料 新版, 市ヶ谷出版社, 1995.11

(1996年11月10日原稿受理, 1997年5月26日採用決定)