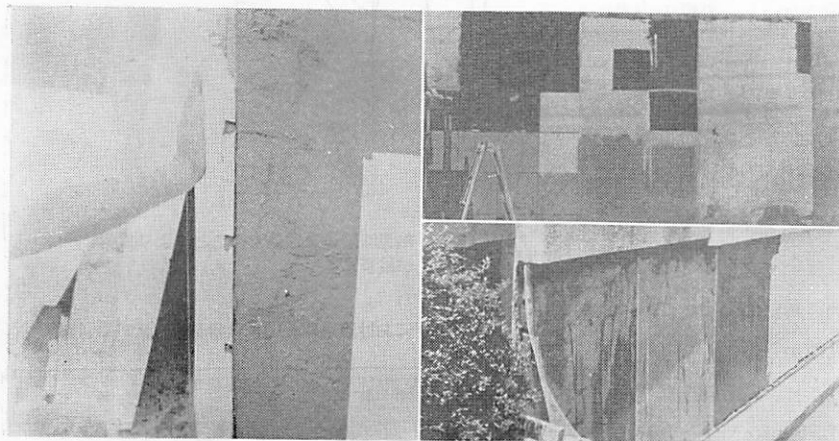


断熱基準と外断熱工法



青山 幹*
田中 辰明**

はじめに

1973年秋に起こった石油危機以来、エネルギーの節約が叫ばれ、世界的な動きとなつている。米国においては、連邦基準局 (NBS) および空調暖房冷凍協会 (ASHRAE) が省エネルギー方策を立案実施している。欧州の多くの国では、すでにあつた断熱の基準を改正強化している。西ドイツの例では、建物の断熱は DIN 4108 で規定されており、以前は国土を三つの気候区にわけて断熱のグレードを規定していたが、これを二つの気候区に、かつ条件の厳しいほうにまとめてしまった。

エネルギーに関する危機の度合は、わが国のほうが米国や欧州諸国よりはるかに厳しい状況であるし、将来の見通しも暗いのであるが、わが国の省エネルギーの方策はまだ政府民間とも足並みがそろつていない。

民生用に消費されるエネルギーのうち、建築分野で消費されるものは暖房、冷房、照明、給湯等が大部分である。これらに消費されるエネルギー消費を節約しようと思えば、まず考えられるのが外壁や屋根の断熱である。本来夏型であつたわが国の建築では、断熱や防湿にたいする考慮が不足してお

り、これに関するデテールも確立されていない。学会や業界の識者が「建築で消費されるエネルギーを節約するために断熱をしましょう」と呼びかけを行なつても、「どのように断熱をしましょう」とまではいつていないのである。

断熱に関する基準の確立している欧州では、断熱は外壁の外気側に行なうのが一般である。これは内側に行なうのにくらべて、建築物理学的に合理的であるからである。わが国では一般建築に断熱を行なうことについて、国民的合意が得られておらず、予算がないといつては設計段階で断熱が削られるのが通例であつた。冷凍倉庫には断熱が行なわれたが、これは内側に断熱をするのが建築物理学上正しいのである。わが国では一般建築に例外的に断熱が行なわれるときも、この冷凍倉庫等に行なわれた内断熱が応用されてきた。わが国では冬期の暖房がガスや石油の直燃焼で行なわれる場合が多く、それだけに室内の水蒸気発生量も多く、内断熱を行なつた建物では結露の被害も多かつたのである。

筆者らは、欧州で一般に行なわれている外断熱工法がわが国でも行なえないはずはないと考え、永く調査研究、実験工事を繰り返して、このたび実用化の確信を得たのでその内容をご紹介します。

1. 欧州における断熱基準の考え方

ドイツでは、最低限断熱 (Mindestwärmeschutz) と完全断熱 (Vollwärmeschutz) という言葉をよく耳にする。最低限断熱とは設計外気温度, 設計室内条件にたいし, 外壁の内表面に結露を生じないようにする断熱をいう。実際には安全を考慮して, 外壁の内表面温度をその露点温度より $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 高く保つようにする。室内条件が 20°C , 60% の場合は, 露点温度は 12°C である。この場合安全を見て, $12.0 + 1.5 = 13.5^{\circ}\text{C}$, すなわち外壁の内表面温度を室温との差 $20 - 13.5 = 6.5^{\circ}\text{C}$ に保てる保温を最低限断熱と称している。東西ドイツとも, 現在の断熱基準はこの最低限断熱に基いている。これは室内での快適さにおいても, 経済的見地からも, かならずしも最適の断熱とはいえず, 多くの場合これより断熱を厚くしたほうが有利になる。完全断熱とは L. Sautter により提唱されたもので¹⁾, 本来の意味は「最低限断熱で保証される外壁の内表面温度は人体にとつて快適さからいうとまだ低い。壁だけでなく床, 天井の内表面温度 (平均ふく射温度) が $17^{\circ}\text{C} \sim 17.5^{\circ}\text{C}$ になるのが快適であつて, それを満足させる断熱性能」と定義している。これは最低限断熱にくらべずつと厚い断熱を必要とする。現在の断熱基準は最低限断熱に基いているが, 石油危機以来基準改定の動きがあり²⁾, 基準に完全断熱の考えをとり入れようとしている。事実, 新築の建物では多く完全断熱が施工されている。それと同時に完全断熱という言葉が保温業者の宣伝にも使われだし, 厚いスチロール板 (多くの場合 $40\sim 50\text{mm}$) で外断熱することを「完全断熱」といいたすようになり³⁾, 当初の Sautter の提唱と若干違つたニュアンスで使われている場合もしばしばある。東西ドイツとも建築各部位に要求される熱抵抗を気候区別に規定し基準としている。西ドイツの断熱基準は DIN 4108 であるが, これに相当する東ドイツの断熱基準は TGL 10686 である。この基準で面白いのは, 外壁の熱容量を定めたものがあることである。これはわが国のように建築物が木造の軽量構造から発達してきた国民にとつては理解しにくい基準であるが, 本来は居住者に快適さを保証するためにできたものである。元来快適性が高い建物ではエネルギーが無駄に消費されず, 省エネルギー的なのである。温度の振幅は壁を通ることにより減衰される。

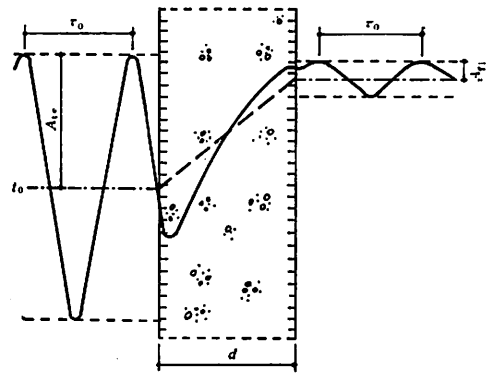


図1 熱流は壁体を通ることにより振幅が減衰する¹⁾ $\nu = A_{ie}/A_{oi}$

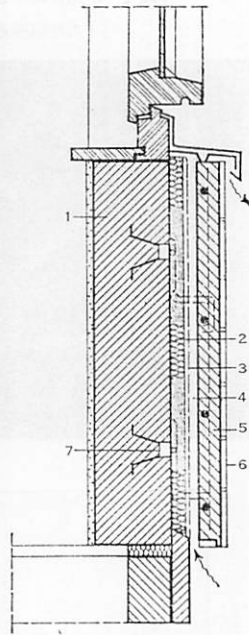
表1: 東ドイツにおける温度振幅減衰の基準 (TGL 10686)

建 物 部 位	最低振幅減衰 ν	備 考
1. 一重屋根	25	} 保健上重要な建築物
2. 二重屋根の下層	15	
3. 一般外壁 (北側の壁を除く)	15	
4. 内部に換気層のある外壁	12	} 保健上特に重要ではない建築物
5. 事務所建築の一般外壁	12	
6. 事務所建築の一般外壁 (内部に換気層のある場合)	10	
7. 北面の外壁または陰となる外壁	10	

図1で A_{ie}/A_{oi} を温度振幅減衰 ν と呼ぶと, ν に関し表1のような規格がある。表1で保健上重要な建築物とは病院, 保育所, 幼稚園, 学校, 住宅を意味している。さて温度振幅減衰 ν が大きい建物とは熱容量の大きい建物といえる。熱容量の大きい建物は外乱の影響を受けにくい建物である。東ドイツにおいても, 省エネルギーと大気汚染防止をスローガンにして地域暖房が発達している。多くは熱併給発電が行なわれているが, 夕刻発電のピークになつたときに背圧タービンから復水タービンへ運転の切換えが行なわれる。こうしたときにも建物に熱容量を持たせておいて, 室温の急激な低下を防ごうという配慮である。壁体の設計は建築家が行なうものであるが, 温度振幅減衰 ν の計算まで建築家が行なおうとすれば, それは比較的簡易な式であたえられていなくてはならない。東ドイツでは, 東欧圏の共同研究成果として開発された簡易式を使用している。この内容は筆者が空気調和衛生工学会発行の「空気調和・衛生工学」1975年11月号, 省エネルギー特集号で解説を行なつていたので, 興味をお持ちの読者は参照されたい。

- 1 : コンクリート
- 2 : 断熱材
- 3 : 断熱材のおさえ
- 4 : 空気層
- 5 : プレキャスト板
- 6 : 仕上げタイル

図2 欧州で一般に行なわれる外断熱²⁾



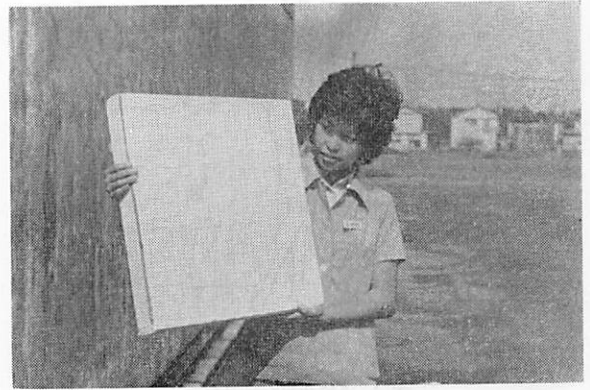
2. 欧州で行なわれる外断熱

欧州で一般に行なわれる外断熱は図2に示すように、断熱材の外側に換気層を設け、その外を耐候性の良い仕上げ材で仕上げる方法がとられている。この方法は外壁内が自然換気され、湿潤にならず、外の仕上げ板が風圧に耐えるのでかつして雨水が外壁に浸透してくることはない。理想的な工法であるが、ただでさえ断熱には金の払われないわが国では高価なものになり有利ではない。

これにたいしドイツでは、換気層を設けず保温材の上を直接モルタルで仕上げてしまう工法を確立している。この工法にも2種類あつて、写真1に示すように、工場で保温材の外側の仕上げまででき上がっているプレハブの保温板を外壁に接着性の良いモルタルで張っていく工法がその一つである。ここに示すものは50cm×50cm、厚さ5cmのスチロポールが保温材として使用されている。写真1に示すものは西ドイツのTREFFERT社製のものである。50cm間隔の目地で温度変動による伸縮を逃げ、ひびわれを防止するようにしているが、大きなタイル工事に似て目地をそろえて断熱板を張っていくのはきわめて困難な仕事になつてくる。

もう一つの工法は、外壁の外側にスチロポール板を張り、その上を左官の手によりモルタルを塗つて仕上げていく方法で

写真1 50cm×50cm×5cmのプレハブの外断熱用材料
(西ドイツ TREFFERT社製)



ある。筆者らはこの工法がわが国に最も適していると判断し、研究を重ねたのである。この工法ならびに外断熱の一般的な長所として、次のものがあげられる。

- (1) 外断熱を行なうと建物躯体を断熱材で包んでしまうので躯体が直接外気温変動や日射変動の影響を受けず、躯体に温度応力が起こらないので、建物躯体にひびわれがはいらない
- (2) 外壁内の温度分布にたいする飽和水蒸気圧分布線が常に壁内の水蒸気圧分布線を越えることがなく、内部結露が起こらない。この内部結露が起こらないということは大切なことで、一度内部結露が生じると断熱材の性能が落ち、結露が促進される傾向がある。内断熱を行なうと壁内の水蒸気圧分布線が飽和水蒸気圧分布線を越えることがしばしば起こり、内部結露が生じやすいのである。
- (3) 建物の熱容量が室内側にはいるため、暖房が切れても室温が急激に下降はしないし、冷房が切れても室温が急激に上昇はしない。すなわち間欠暖房、間欠冷房が行なわれる建物では運転費が大幅に安くなり、かつ快適性に富む室内環境を創造することができる。

恒温恒湿の工場でも、室内側の熱容量を利用すると良い制御が行なえるのである。

人体からの放熱は、種々な条件により一概にはいえないが、図3に示すように、42%はふく射によつて奪われる⁴⁾。わが国で暖房や空気調和の設計を行なうさいには、一般に室温何度、湿度何%ということのみをいい周壁表面温度は無視されている。英国のIHVEによる熱負荷計算規準⁵⁾では环境温度(Environmental Temperature)という考え方を導入し、

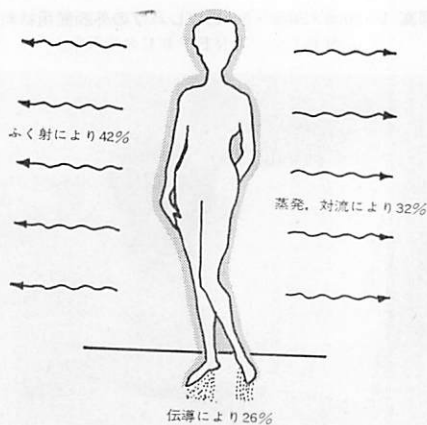
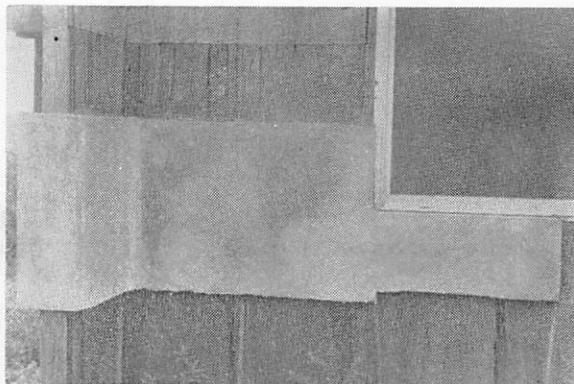


図3 人体からの熱損失⁴⁾

写真2 木造建屋における実験工事
(大林組技術研究所)



周壁表面温度を考慮している。外断熱が施された建物では、冬は壁内表面温度が高めに、夏は低めに保つことができ、快適度の高い環境を創ることができる。東ドイツの基準のように振幅減衰が規定されたときは、同じ材料の配列を変えてみても、外断熱が有利になつてくるのはあきらかである。

(4) わが国では、新築の建物に断熱材を入れようとする気運はまだ一般的に少ないが、一度結露の生じた建物には断熱材を張つて結露を防止しようとするにはある。しかし内側から断熱をやつて補修をしようとする、居住者に一時的に引越しをしてもらつたり、家具の移動等という迷惑をかけるものである。外断熱は工事が建物内部に立ち入らなくてすむので、居住者に迷惑をかけずに行なえる長所を持つ。かつ補修をした結果も内部の有効面積を減少させることがない。

(5) 断熱材のスチロポール板は、接着性の良いエマルジョン(スチレン系合成高分子)入りモルタルを使用することにより、合板にも接着させることができる。したがつて木質系プレハブ住宅を比較的簡単に断熱を行ない、かつ耐火造とすることができる。出すみ部、入すみ部、窓回り部の取まりを試験した例を写真2に示す。

3. 外断熱工法の予備研究

実際に工事を行なう前に試験施工を行ない、外断熱の特長を知つておく必要があつた。当初は工事に必要な材料をすべて西ドイツより輸入し試験施工を行なつたのであるが、この中から外断熱の特徴が良く出ているデータを紹介したい。

図4に、鉄筋コンクリート造の建物の西壁に外断熱を施した

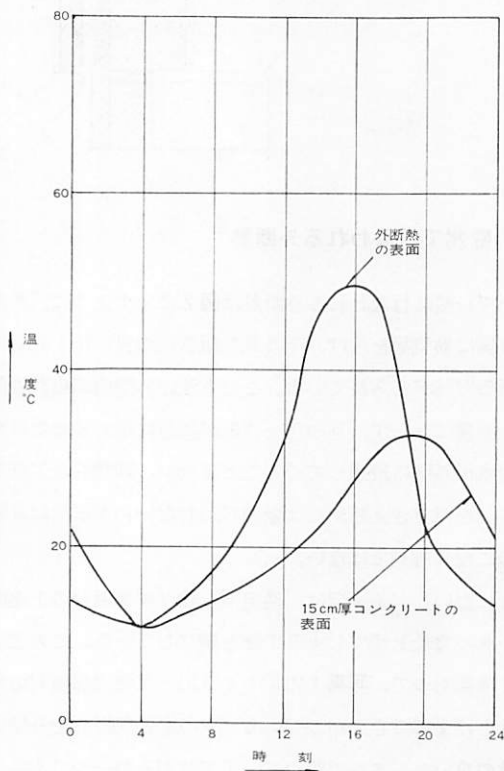


図4 外断熱を施した部分と施さなかつた部分の外表面温度(東京、6月、西壁)

外表面と施さなかつた外表面の温度変化を比較した図を示す。外断熱を行なうと断熱材の表面は薄いモルタル層で仕上げられるが、このモルタル層は日射を吸収し温度が上昇するものの、内部のスチロポールの温度伝播が悪いため、外断熱のない一般の外壁にくらべ温度上昇が大きくなる。モルタル層が薄いので熱容量も小さく、急激に上昇し、急激に降下

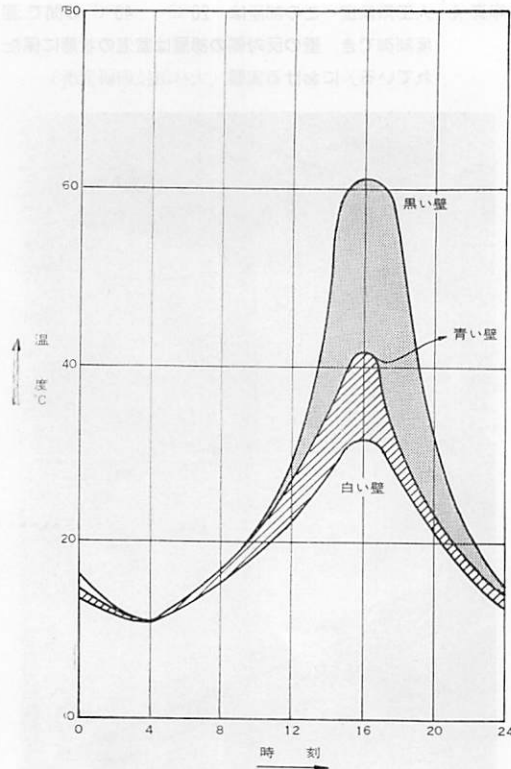


図5 外断熱を施した壁の色の違いによる温度変化
(東京 清瀬, 昭和50年7月測定, 西側)

する傾向がある。断熱材のないコンクリートは内部へ熱が伝播されると、コンクリート自体の熱容量のため温度上昇もゆるやかで、降下もゆるやかである。温度のピークの時間的遅れも観察される。この実験を行なった外断熱の上はモルタルで塗られ、さらにその上はドイツ製のラオザン(Rausan)という吹付材で仕上げられていた。色は淡黄色である。表面温度の変化は日射吸収能力に影響される。また仕上げの色に左右される。

仕上げの色を黒、青、白と変えて表面温度測定を行なった実測の例を図5に示す。濃い色の仕上げは日射吸収も大きく、温度上昇が大きいことを示している。この実験の様子を写真3に示す。表面温度は日射の影響を受けるので、壁の向く方位によっても異なってくる。日射と外気温をこみにした温度を相当外気温度と呼ぶ。相当外気温度イコール外表面温度ではないが、外表面温度に一番影響をあたえるファクターである。相当外気温度は次式で表わされる。

$$t_e = \frac{\alpha}{\alpha_0} I + t_0$$

写真3 表面仕上げの色を変えての温度上昇試験
(大林組技術研究所)

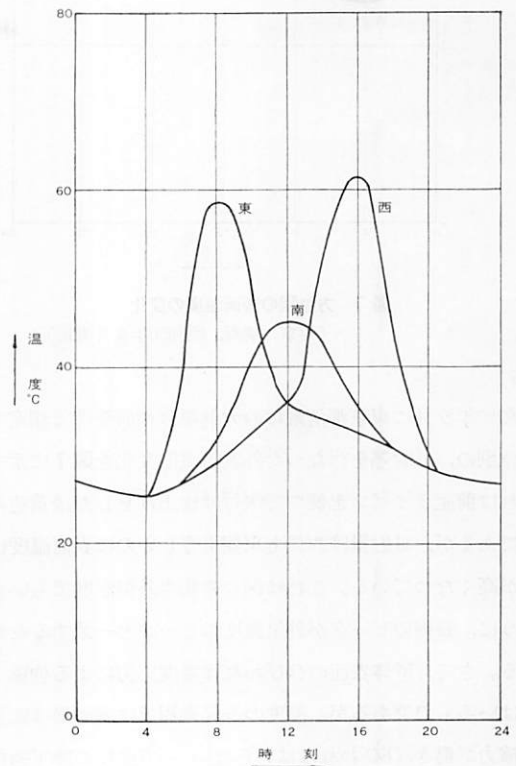
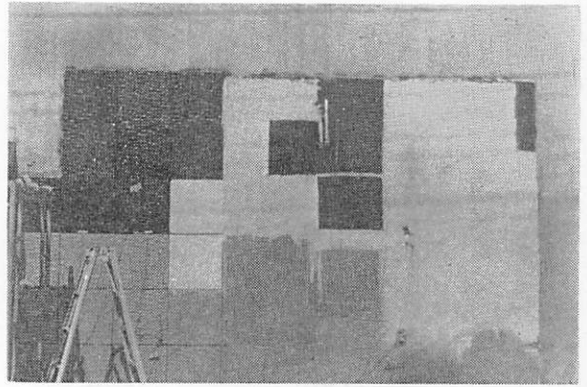


図6 東京の7月23日の相当外気温度(井上宇市著「空調調和ハンドブック」丸善よりプロットしたもの)

ここに、 t_e : 相当外気温度 ($^{\circ}\text{C}$)、 α : 日射吸収率

α_0 : 表面熱伝達率 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{deg}$)

I : 日射量 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)、 t_0 : 外気温度 ($^{\circ}\text{C}$)

井上宇市著「空調調和ハンドブック」(丸善)よりプロットした東面、西面、南面の相当外気温度を図6に示す。これは7月23日のデータで、 $\alpha/\alpha_0=0.05$ として計算されたものである。

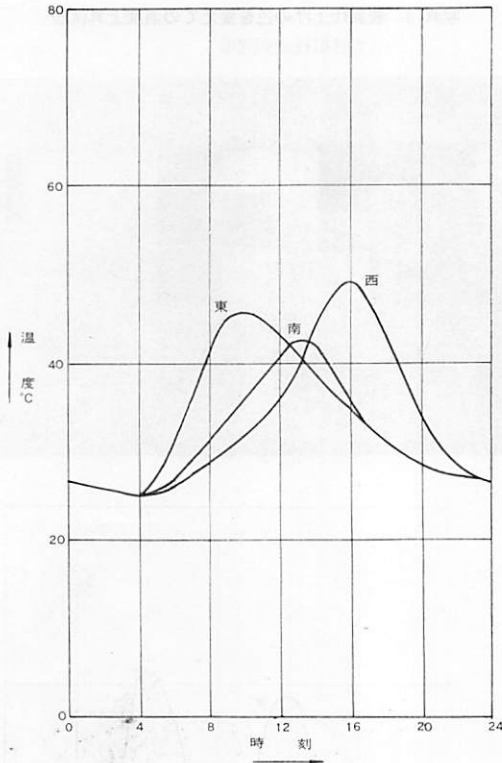
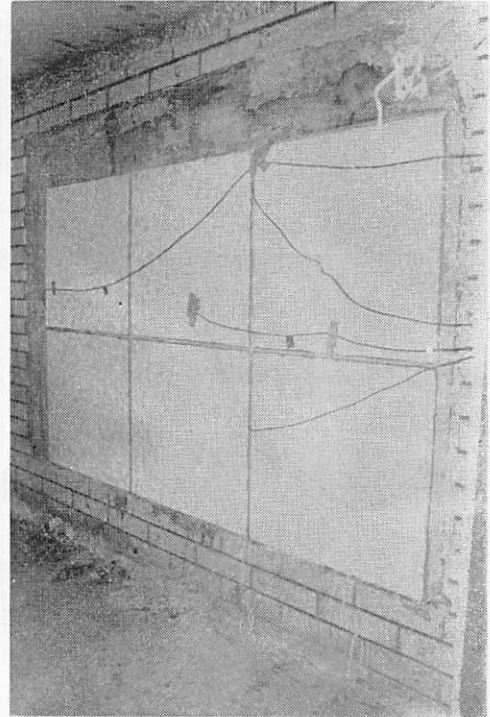


図7 方位別の表面温度の変化
(東京 清瀬, 昭和50年9月測定)

る。

昭和50年9月に東京都清瀬市の大林組技術研究所で測定した方位別の、外断熱を行なつた外表面温度変化を図7に示す。これは前記ラオザンを使つて吹付け仕上げをした淡黄色の表面であるが、日射量は西側も東側も等しいのに表面温度は西側が高くなつている。これは図6の相当外気温度でもいえるように、日射のピークが外気温度のピークと一致するためである。さて、壁体表面のひびわれは温度応力による伸縮によりはいるものであるが、温度の上昇過程では表面層は膨張し圧縮力が働き、ひびわれははまらない。一方温度の降下過程では引張力が働き、ひびわれがはりやすい。図7であきらかなように、西の壁は東の壁にくらべ温度の高いところから急激に下降し勾配が急である。それだけに西側の壁は他の面にくらべてひびわれがはりやすいということになる。このような予備研究を行ない、ひびわれにたいする防止策を考え、充分に実施のめどがたつたので、早大木村建一教授邸の外壁で実際の工事を行なつたのである。この工事記録を公けにすることにより、この工法をご紹介したい。

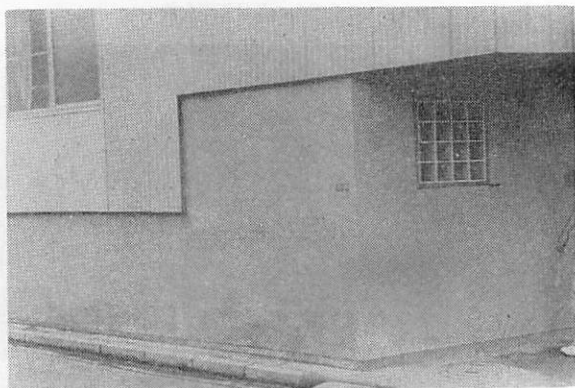
写真4 人工気候室(この部屋は -20°C ~ $+40^{\circ}\text{C}$ の間で温度制御でき、壁の反対側の部屋は室温の状態に保たれている)における実験(大林組技術研究所)



4. 木村教授邸における外断熱工事

木村教授は環境工学を専門とされ、より良い環境を創るための省エネルギー、無公害化ということに力を入れておられる方である。自らこれを実践すべく、所沢の自邸は教授の設計により太陽熱を使つて暖房、給湯が行なわれている。太陽熱は無公害で無尽蔵にあるエネルギーではあるが、単位面積当りのエネルギーとしては希薄であり、天候に支配されやすいものである。したがつて太陽熱を使つて暖房を行なおうとすれば、建物自体省エネルギー的でなければならない。このため教授は大地の熱容量を有効に使えるよう半地下の居室を作つたり、外壁には外断熱を施すなど省エネルギーのための工夫をこらされたのである。しかしこの外断熱は、断熱材として使われたスタイロフォーム板が突付け継ぎであつたため外面変形を起こし、ひびわれがはいつてしまった(写真5)。そこで筆者らが永く研究を重ねてきた工法で断熱のやりなおしをすべく、昭和50年7月14日より工事にかかつたのである。まず既設のスタイロフォーム板を撤去し(写真6)、下地の躯体

写真5 改修前にはいつていた外壁のひびわれ



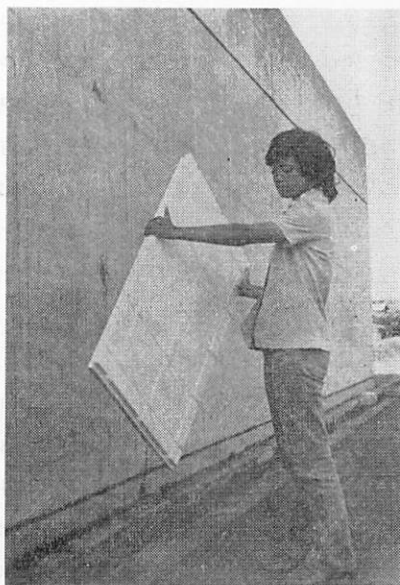
を平らにするため、スチレン系合成高分子のエマルジョン入りの接着の良いモルタルを塗った（写真7）。これは新築工事であれば省ける作業である。

この上に40mm厚でくさび型のみぞのはいつたスチロポール板（写真8）を前記エマルジョン入りモルタルで張った（写真9）。このスチロポール板は、接合が重ね継手になるようにできている。こうすることにより、継目から熱が伝わったり（熱橋と呼ぶ）、継目からの外面変形が起らないのである。スチロポール板には縦方向と横方向にくさび型のみぞがはい

◀写真6 既存の外断熱の撤去



写真8 外断熱用スチロポール板
（60cm×90cm×4cm）



◀写真7 エマルジョン入りモルタルによる下地ならし

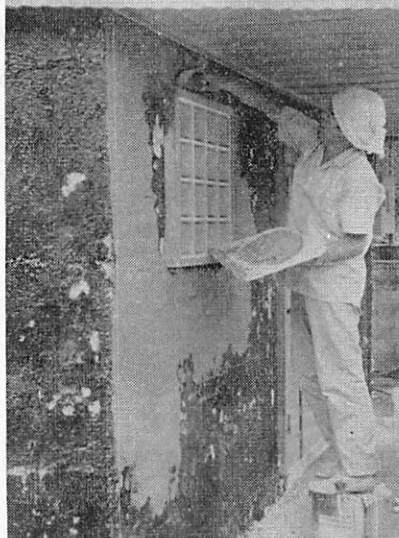
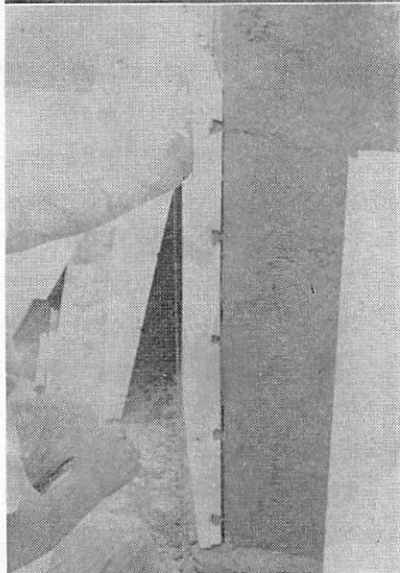


写真9 スチロポール板の張付け



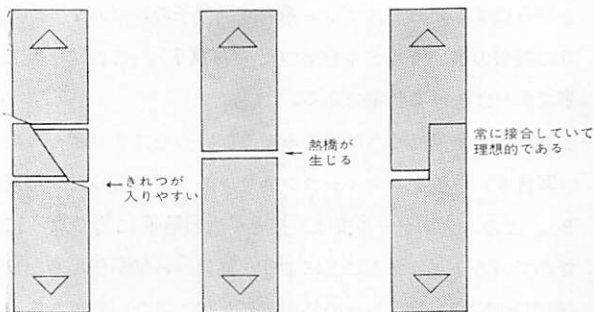


図 8 スチロポール板の接合
(引張りの力が加わった場合)

つてることにより、そこにエマルジョン入りモルタルがまわって硬化する。こうすることで万一建物躯体とスチロポール板が、材料の違いから異なった動きをするようなことがあつても、スチロポール板が剥落することはないのである。こうして外壁全体にスチロポール板が張られるが、左官の作業性を考え板は左から右、下から上へ張られるようにみぞを加工した(写真10)。ここでスチロポール板の完全接着のため、2～3日工事を待たねばならない。

次の工事は7月18日に行なわれ、スチロポール板の上に2～3mm厚さで前記エマルジョン入りモルタルを塗った。モルタルの塗られたところから表面ひびわれ防止のためのグラスファイバーメッシュを張つていった。これは、継目を10cmずつ重ねて張る等の配慮が必要である。グラスファイバー自体はモルタルの中にはいるので、耐アルカリ性でなくてはならず、モルタル塗りのコテで押えても撚り糸がどちらかへ寄つてしまわないものを選ばなければいけない。あみ目もモルタル塗りのために細かすぎず、荒すぎずのものを選ぶ必要がある。このグラスファイバーメッシュの上をふたたび2～3mm厚のモルタルで仕上げるのである(写真12)。

ここでふたたび、乾燥のため2～3日工事を待たねばならない。次の工事は7月26日に行なわれ、教授の希望により濃い茶色のリシン吹付で仕上げられた(写真13)。図5からあきらかなように、濃い色は日射吸収が大きく不利であるが、試験工事でもあるので故意に悪い条件で工事を行なつたのである。木村教授邸で工事を行なつた外壁は東面と北面であることから、西面に比べ有利であるということもある。西面の施工や、1日のうちで温度差の大きい土地(内陸性気候の土

写真 10 スチロポール板の張付け
(ここで2～3日工事を待つ)

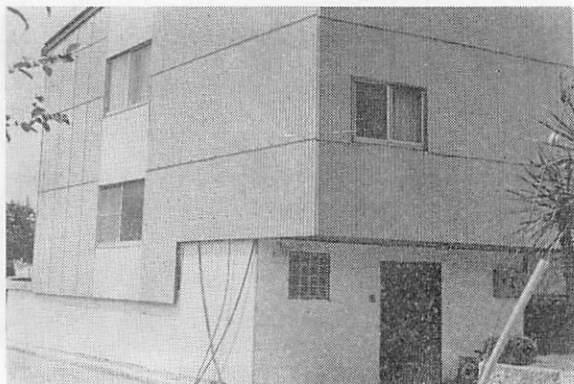


写真 11 グラスファイバーメッシュ張付け
(継目は10cm重ねて張る)



地)では、ヘアクラック防止のため、リシン吹付に代えガラス繊維を細く切つたものを混入させた吹付材料を使うのが本来である。この工法の発祥の地である西ドイツでは、ラオザン(Rausan)という材料が使われている。ドイツの多くの都市は内陸性の気候で、1日の最高、最低の温度差がわが国の都市にくらべかなり大きいことから、こういう入念な施工が行なわれているようである。

外壁に断熱を施そうとすれば、窓回りの取まり等が問題になるのであるが、写真14に見るように、窓回り、扉回り、電気盤回りも問題なくうまく収めることができた。

おわりに

この工法はわが国では知られていないがドイツでは実績を持つており、完成された工法である。積水化成成品工業(株)ほか材料メーカーのご協力を得、ドイツにおけると同等の工事が行

写真 12 グラスファイバーメツシユの上からのモルタル塗り

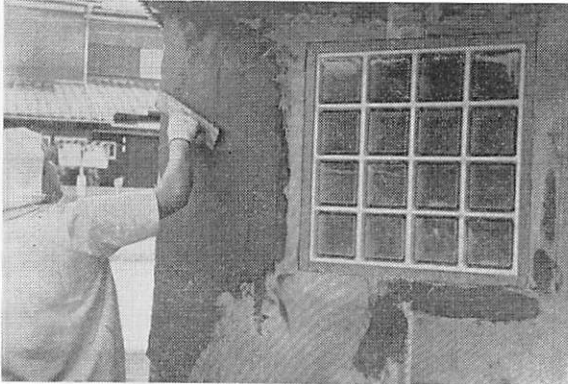


写真 14 扉回り、窓回り、電気盤回りの収まり

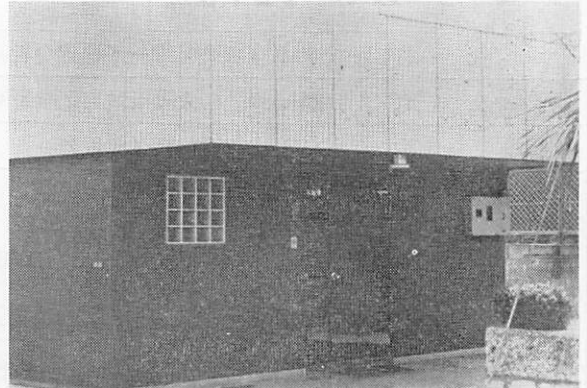
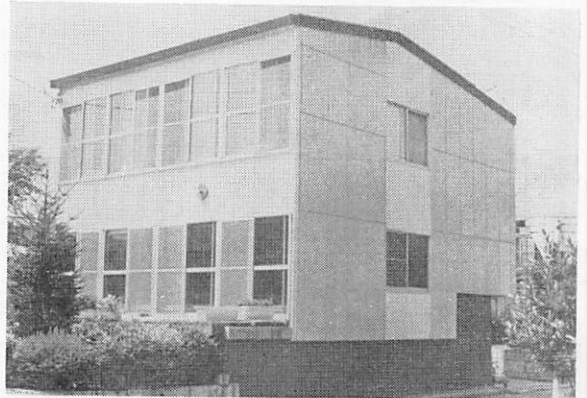


写真 13 リシン吹付による仕上げ



写真 15 改修後の木村教授邸



なえるようになったので、省エネルギーの建築、より快適性に富む居住空間創造のためにこの工法を普及させてゆきたいと願っている。

(筆者・※株式会社大林組技術研究所材料研究室主任研究員
※※株式会社大林組東京本社設備部計画課)

参 考 文 献

1) Bauphysikalische Entwurfslehre, F. Eichler VEB-

Verlag

2) Neue Vorschriften für den Wärmeschutz DBZ 7/
75

3) Vollwärmeschutz mit Thermolith Treffert Co.

4) Die Ölheizung im Wohnhaus Z. Auflage Werner
Verlag

5) IHVE Guide Book 1970 IHVE, London

6) 井上宇市著「空調調和ハンドブック」丸善

■訂正とおわび

本誌1月号の「優良住宅部品認定制度と認定された住宅部品」の記事中、245ページのキッチンユニットの内容に一部誤りがありましたので次ページのように訂正させていただくと同時に、ここに深くおわび申し上げます。