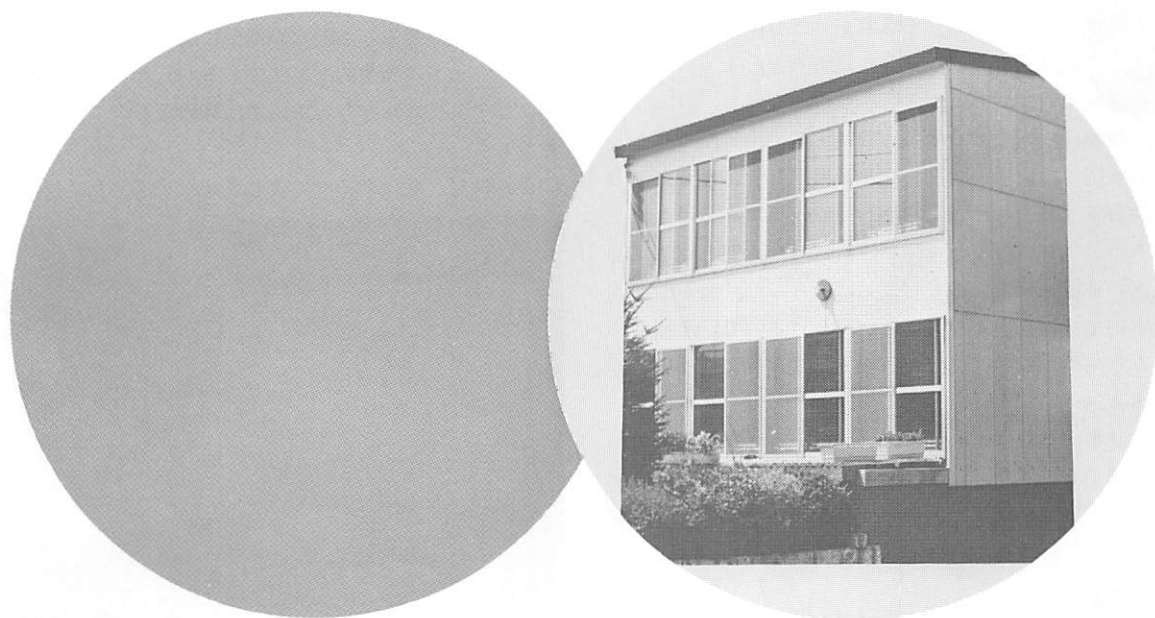


新しい外断熱工法について

青 山 幹 ☆
田 中 辰 明 ★



☆ 〈株〉大林組技術研究所材料研究室主任研究員
★ 〈株〉大林組技術研究所環境研究室

はじめに

1973年秋に起った石油危機以来エネルギーの節約が叫ばれ、全世界的な運動となっている。アメリカに於いては既に連邦基準局（NBS）及び空気調和冷凍協会（ASHRAE）が省エネルギー方策を立案し、実施している。欧州に於ても西ドイツが建物の断熱に関する規準であるDIN4108を改正強化したし、フランスをはじめ他の国々もこれに倣っている。

エネルギーに関する危機の度合はわが国の方が米国や欧州諸国に比べはるかに厳しい状況のはずであるが、わが国の省エネルギー方策は未だ国、民間で足並みが揃わない。わずかに関連の学会や業界がパンフレットを出す程度であった。わが国に於ける省エネルギーの検討は生産、民生の分野にわたる。民生部門を代表する建築分野のエネルギー消費は冷房、暖房、給湯、照明が大部分である。これらで消費されるエネルギーを節約しようと思えばまず考えられるのが外壁の断熱である。本来夏型であった日本建築のディテールとして断熱や防湿に関するものは不足している。省エネルギーが叫ばれ、学会や業界の識者が「外壁に断熱をしましょう」と言っても「どのように断熱をしよう」とまでは言っていないのである。

断熱は欧州では外壁の外側にするのが一般である。わが国では建物に断熱を施す習慣がなく、冷蔵庫や冷凍倉庫に施工される内断熱が一般建築にも応用されてきた。気密度の高い建物での内断熱は冬期の外壁に結露の被害を起すこともしばしばであった。わが国では室内で石油やガスの直燃焼が行われるので、それだけに室内での水蒸気発生が多く、結露の被害も多いのである。

著者らは外国で一般に行われている外断熱工法がわが国でもできないはずはないと考え、永く調査研究を行い、実験を繰返し、この度実際の工事にも使える確信が得られたので内容をご報告したい。

1. 欧州での外断熱

欧州での外断熱はディテールを図-1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

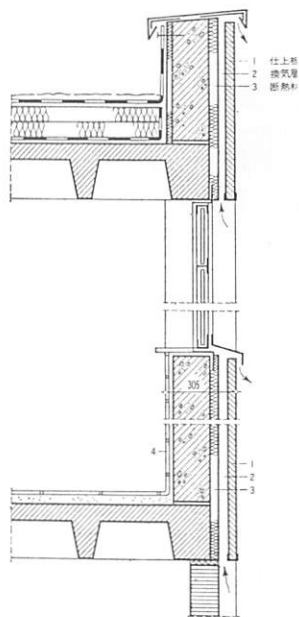


図-1 欧州で一般に行われている外断熱（文献2）

仕上材で仕上げる方法がとられている。この方法は外壁内が換気され、湿潤にならず、外の仕上板が風圧に耐えるので決して雨水が外壁に浸透してくることはない。まさに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不利である。

これに対し既にドイツで確立された工法として換気

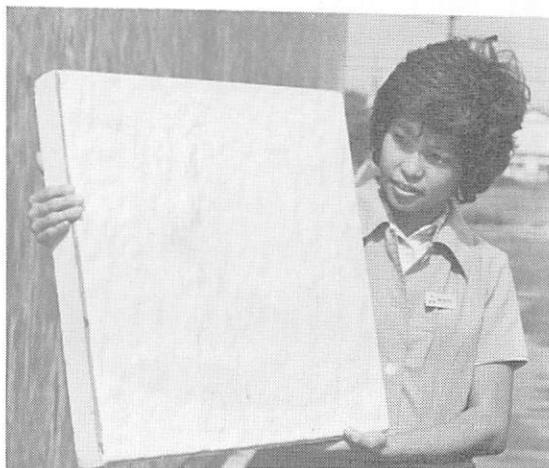
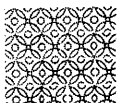


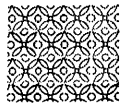
写真-1 プレハブ化された外断熱用保温板（西独 TREFFERT社製）

層をとらず保温材の上を直接モルタルで仕上げてしまう工法がある。これには2種類あって写真-1に示すように工場で保温材の外側の仕上げまで出来上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貼っていく工法である。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われている西独のT R E F F E R T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るができるが、下地となる外壁が極めて平坦でないとい何枚も貼っていくうちに目地の交点に狂いが生じ見苦しいものとなる欠点がある。一枚のプレハブ化された保温板が大きいので、接着にあたり一般のタイル工事より難しいものとなるのである。

もう一つの工法は外壁にスチロポール板を貼り、その上を左官の手によってモルタルを塗り仕上げていく工法である。著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。この方法は保温材の上のモルタルの仕上げが薄いのと、目地がないので表面の亀裂を防止することが大切になる。室内の湿度は外側へ抜き、外からは室内へ入れないという、水分の移動に関し一方通行の構造を作る必要があった。この為に屋外の実験や、人工気象室での実験を繰り返し、実施の目どがついたので早大、木村教授邸の外壁で実験工事（詳細後述）を行い良い結果を得た。



2. 外断熱の長所



外断熱は建築物理学上合理的な断熱法で次のような利点を持つ

A. 壁内の温度分布に対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上廻り内部結露を起さない。この内部結露を起さないということは極めて重要なことで、一度内部結露を起した外壁は熱抵抗が落ち、結露を促進させてしまうことが多いのである。そして内断熱を行うと、しばしば壁内の水蒸気圧分布線が飽和水蒸気圧分布線を越えてしまい、内部結露が生じることがあるのである。

B. 外断熱を行うと建物躯体を断熱材でつつ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きず亀裂が入らない。

C. 建物の熱容量が室内側に入るため、暖房が切れ

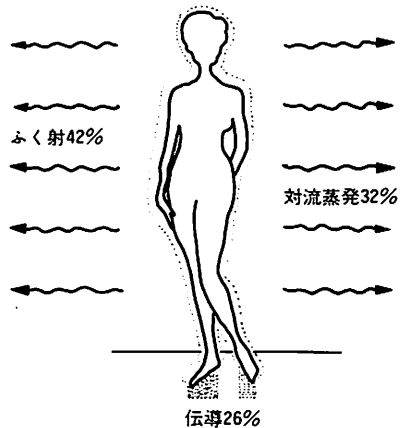


図-2 人体の熱平衡（文献3）

ても室温が急激に低下しないし、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、間欠冷房では運転費が大幅に安くなり快適性に富む室内空間ができるのである。

人体からの放熱は図-2に示すように42%はふく射によって奪われる。わが国では暖房や空気調和の設計を行う時に一般に室温何度、湿度何%ということのみを言い周壁温度は無視されている。しかし周壁温度は実際は重要な要素で、外断熱を行った外壁の内表面は冬は温かく、夏は涼しく保つことができるのである。

D. 既に結露が生じた建物を断熱して補修しようという時、外からの工事であるので、居住者に一時的な引越し、家財道具の移動といった迷惑を掛けずに行える。かつ補修した結果、室内の有効面積を減少させることはない。

E. 木造建築にも施工することができるので、木造家屋を省エネルギー的かつ耐火造の建物とすることができる。特にベニヤによる木質プレハブ住宅の保温に適している。

このように多くの利点を持ちながらわが国で実施されなかったのは良い工法が開発されなかったり、紹介されなかったからである。



3. 工事実施前に行った予備研究



実際の工事を行う前に外断熱の熱的な調査を行い、どのような特性があるのか知っておく必要があった。昭和49年末よりドイツで行われているのと同じ工法で

大林組技術研究所内の建物に試験施工し、熱電対を埋め温度測定を行った。数多く行った測定より、外断熱の特徴がよく出ているデータをいくつか紹介したい。但しこれは人工気象室で行った実験ではないので、室内側は別に一定温度に保たれていたわけではない。一般の事務室として使われていたものである。

図-3は西側外壁の外断熱を施した外表面と、何も断熱をしていない部分の表面温度変化を比較したものである。コンクリートは15cm厚さで、その上に5cm厚さのスタイロポールで断熱が行われたものである。スタイロポールの表面はモルタルで仕上げられた。図から外断熱を行うとスタイロポールの温度伝播が悪い為、表面のモルタル層の温度が日射を受けると急激に上昇し、モルタル層が薄く熱容量が少ないので、日射がかげると再び急激に下ってしまうことを示している。一方コンクリートだけの仕上げだと熱容量の為温度上昇も緩慢だが降下も緩慢であることがわかる。この実験では外断熱のスタイロポール板の上は薄いモルタルで仕上げられ、その上にさらに淡黄色のドイツ製の吹付材「ラオザン (Rausan)」で仕上げられたものである。外断熱を行った外壁は日射を吸収し表面温度が上昇することがわかったが、日射の吸収率の大小は仕上げの色に左右される。前述の吹付材ラオザンの表面を黒、淡い青色、白色に塗った時の表面温度変化を図-4に示す。当然のことながら白い壁が有利であることがわかる。表面温度の形成に最も影響を与える要素は日射量、外気温度、日射吸収率、表面熱伝達率である。これらの要素を考慮した温度は相当外気温度と呼ばれ、次式で表わされる。

$$t_e = \frac{a}{\alpha_0} I + t_a$$

ここに

t_e : 相当外気温度 (°C)

a : 日射吸収率

α_0 : 表面熱伝達率 (kcal/m²hdeg)

I : 日射量 (kcal/m²h)

t_a : 外気温度 (°C)

文献1による東面、西面、南面の相当外気温度をプロットしたものを図-5に示す。これは7月23日のデータで、 $a/\alpha_0 = 0.05$ として計算されたものである。勿論相当外気温度イコール表面温度ではないが、表面

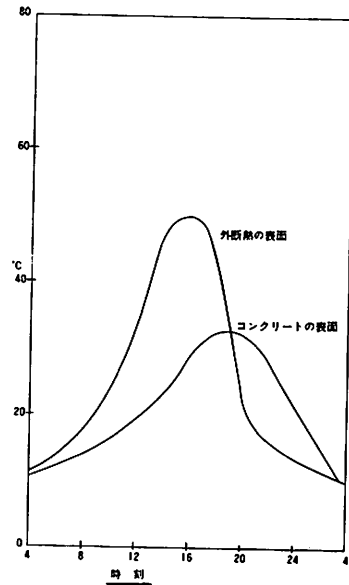


図-3 外断熱を施した部分と施さなかった部分の外表面温度変化 (東京、6月、西壁)

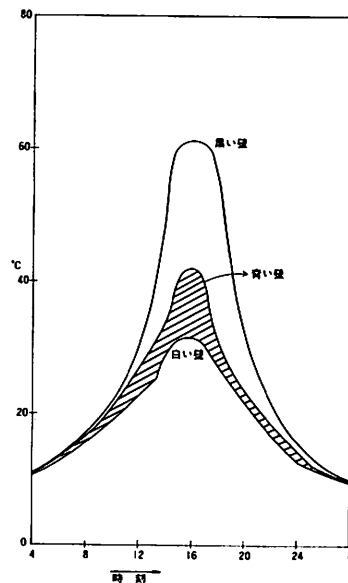


図-4 外断熱を施した壁の色の違いによる温度変化 (西側、昭和50年7月測定、東京)

温度形成に一番大きい影響を及ぼす要素である。

昭和50年9月に東京清瀬市の大林組技術研究所で測定した方位別の、外断熱を行った外表面温度変化を示

す。これは淡黄色に仕上げられた表面であるが、日射量は東面も西面も等しいのに表面温度は西側の方が高くなっている。これは図-5の相当外気温度でも言えるように、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。さて壁体表面の亀裂は温度変動による伸縮により入るものであるが、温度の上昇過程では表面は膨張し圧縮力が働き亀裂は入らない。逆に下降過程では収縮し引張力が働き亀裂が入りやすい。図-6できらかなように西の壁は東に比べ温度の高いつころから急激に下降し勾配が急である。それだけに西側は亀裂が入りやすいということになる。

このような予備研究を行い、充分に実施のめどがたったので、早大、木村建一教授邸の外壁で実際の工事を行ったのである。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。

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攻され、省エネルギー、無公害ということを常時言っておられる方である。これを自ら実践すべく所沢の自邸は教授の設計により太陽熱を使って暖房、給湯が行われている。太陽熱は無公害で、無尽蔵にあるエネルギーではあるが、なにしろ単位面積当りでは希薄なエネルギーであるので、建物自体省エネルギー的でなければならない。教授はこの為に大地の持つ熱容量を有効に使えるよう半地下室の居室を作ったり、外壁には外断熱を施すなど省エネルギーの為に工夫をこらされた。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き付け継ぎであった為外面変形を起し、亀裂が入ってしまった。(写真-2)

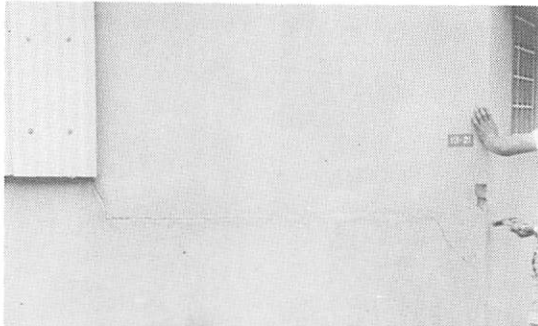


写真-2 当初行われていた外断熱には亀裂が入っていた。

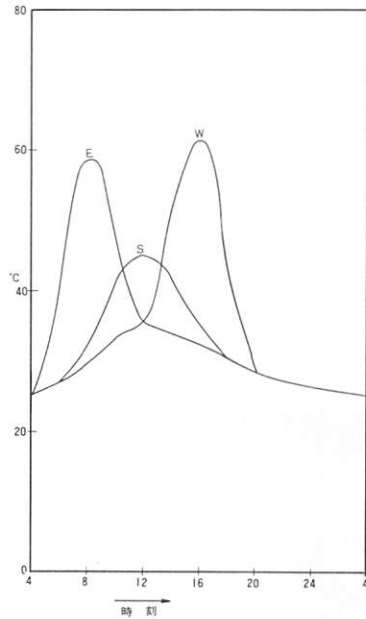


図-5 東面、西面、南面の東京の相当外気温度 7月23日 (井上宇市著 空気調和ハンドブック、丸善よりプロットしたもの)

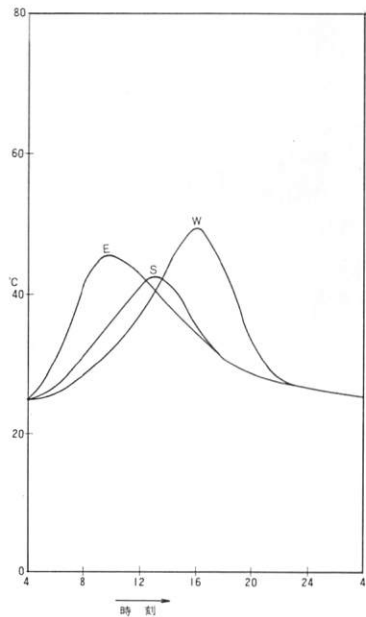


図-6 方位別の表面温度変化 (9月、東京)

そこで筆者らが研究を重ねてきた工法で断熱をやりなおすべく、昭和50年7月14日より工事にかかったのである。

まず既設のスタイロフォーム板を撤去し（写真-3）、下地の躯体を平坦にするため、接着を良くするエマルジョン（スチレン系合成高分子）入りモルタルを塗った（写真-4）。

この上に40mm厚で楔の溝の入ったスチロポール板（写真-5）を前記エマルジョン入りのモルタルで貼った（写真-6）このスチロポール板は接合が重ね継手になるように出来ている。こうすることにより継ぎ目から熱が伝わったり（熱橋と呼ぶ）、継ぎ目からの外面変形が起らないのである。



写真-4 躯体を平坦にするためのモルタル塗り

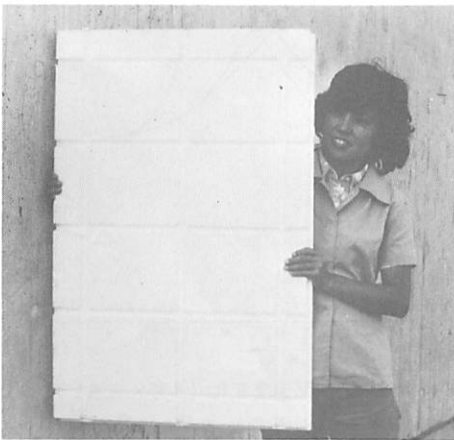


写真-5 楔の溝の入ったスチロポール板
90cm×60cm×4cm 積水化成成品工業製



写真-3 既設の外断熱の撤去作業

スチロポール板には楔の溝が入っていることにより、そこに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異なった動きをするようなことがあってもスチロポール板が剥落しないのである。このようにして外壁全面にスチロポール板が貼られる。（写真-7）ここでスチロポール板の完全接着の為2～3日待たなければいけない。

次の工事は7月18日に行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のモルタルが塗られた。（写真-8）モルタルの塗られたところから乾

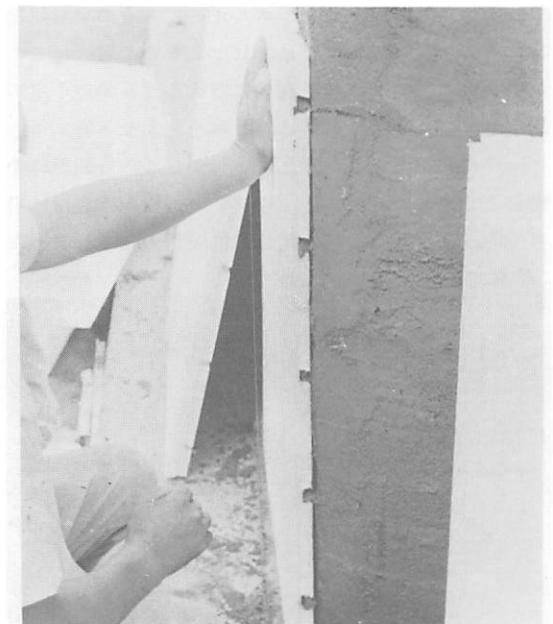


写真-6 スチロポール板の接着

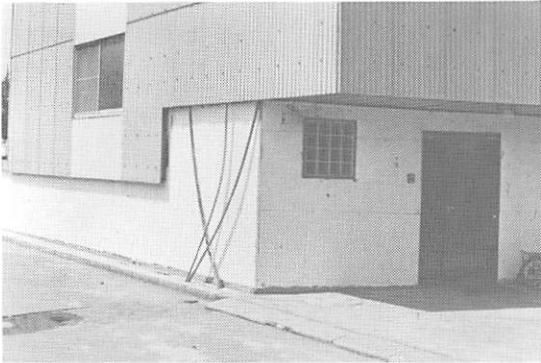


写真-7 スチロポール板を全面に貼った状態

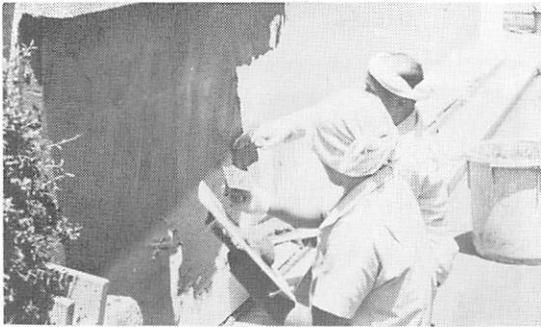


写真-8 スチロポール板の上に2mm厚さでエマルジョン入りモルタルを塗布

燥を待たず、追いかけて亀裂防止のグラスファイバーメッシュが貼られた。これは10cmづつ重ね合わせて貼るといふ配慮がなされた。(写真9~10)このグラスファイバーはモルタルの中に入るので、耐アルカリ性でなければならず、モルタルを鏝で塗る時、グラスファイバーの撚り糸が寄ってしまってもいけないし、目が細かすぎてもモルタルがまわらず、最適の製品を見出すのは困難であった。このグラスファイバーメッシュが貼られた上を再びモルタル2~3mm厚さで仕上げるのである。(写真-11)ここで再び2~3日待たねばならない。

次の工事は7月26日に行われ、教授の希望により茶色のリシン吹付で仕上げられた。(写真-12)図-4にみるように濃い色は不利なのであるが、試験工事なので悪い条件で実験を行うべくこの色が選ばれたのである。吹付リシンも日射吸収の大きい面では表面亀裂を防止する為グラス繊維を細かく切ったものを混入した吹付材を使うのが本来で、この工法の発祥地のドイツではラオザンという材料が使われている。木村教授邸



写真-9 表面の亀裂防止のためグラスファイバーメッシュを貼る

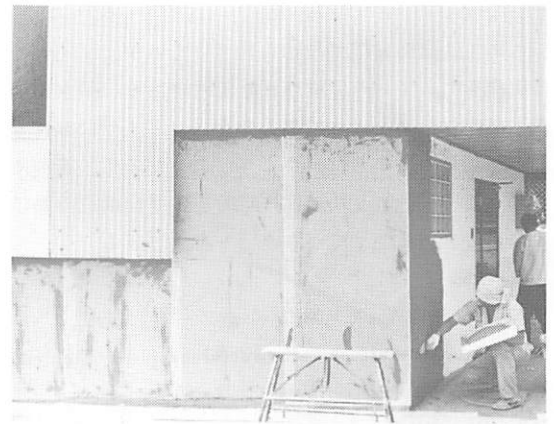


写真-10 グラスファイバーメッシュは10cmづつ重ねて貼らなければいけない



写真-11 グラスファイバーメッシュの上に2mm厚さのモルタルを塗る

で外断熱を行ったのは東面と北面の外壁であるので、西面に比べ日射熱の影響が少なく、大林組技術研究所内で行った予備実験でも事故がなかったことからリシンの吹付けで仕上げたのである。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に比べ大きい傾向がある。こういったこともあり、スチロポール板の上の仕上げにグラスファイバーメッシュを入れ、さらに吹付材に裁断したガラス繊維を入れるというような入念な施工を行っているようである。

外壁に断熱を施そうとすれば窓廻りの取り等が問題になるが、写真-13にみるように窓廻り、扉廻り、電気盤廻りも問題なくうまく収めることができた。

この工法は吹付仕上げの他、写真-15にみるように洗い出し仕上げをすることもできる。



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っており完成された工法である。積水化成産品工業他材料メーカーのご協力を得、ドイツにおけるものと同等の工事が行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為にこの工法を普及させてゆきたいと考えている。

参考文献

1. 井上宇市著 空気調和ハンドブック 丸善
2. Bauphysikalische Entwurfslehre; F・Eichler, VEB-Verlag.
3. Die Ölheizung im Wohnhaus
4. Auflage: Patow/Krienke, Werner-Verlag.

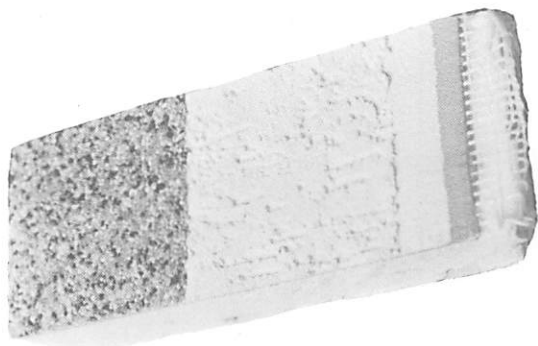


写真-15 外断熱の構成



写真-12 モルタルの色を着色リシンを吹き付けて仕上げる

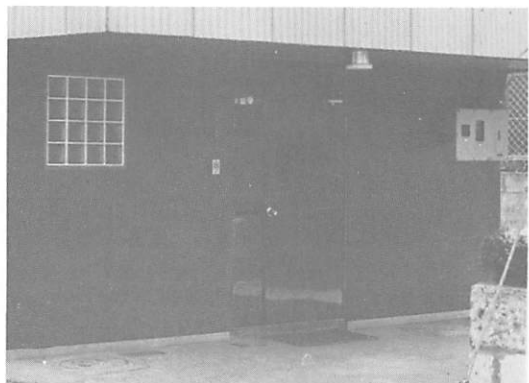


写真-13 仕上後、窓廻り、扉廻り、電気盤廻りもうまく収まっている

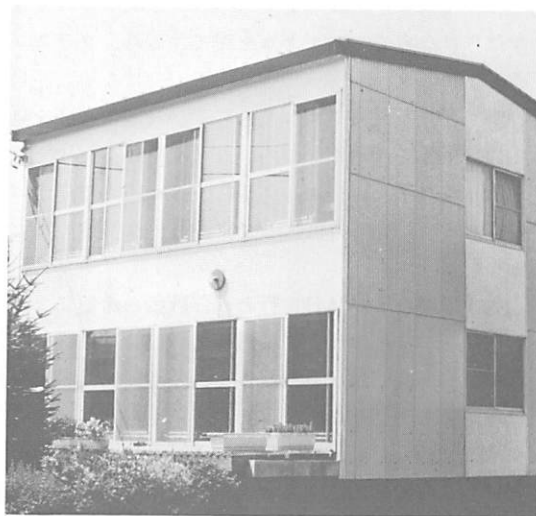


写真-14 外壁を改修後の木村教授邸