

# 外断熱工法に関する研究とその実施例について

田中 辰明 林 好正  
(本社建築本部設備部)  
青山 幹

## Heat Insulation Work at Building Exteriors

Tatsuaki Tanaka Yoshimasa Hayashi  
Tsuyoshi Aoyama

### Abstract

In Japan, sufficient consideration is not given to heat insulation and damp-proofing of buildings, and there are very few cases in which designing of a building is done contemplating heat insulation measures for the building's roof and exterior walls. Most instances of heat insulation have been on the inner sides. Such being the case, when rooms are heated in winter by burning gas or kerosene, the vapors produced frequently give rise to damage due to condensation. In European countries, the usual practice is to execute heat insulation work on the exterior of a building. This method is more rational, and at this time of a serious energy crisis, it is desirable for the method of installing heat insulation work at building exteriors to be put to practical use.

### 概 要

建物の断熱は外側に施工するのが建築物理学上合理的で、欧州では多く外断熱が行われている。建物に断熱を行う習慣のなかったわが国では断熱や防湿に関するディテールが不足しており、断熱工事でも内側断熱が通常に行われてきた。室内ではガスや石油の直燃焼の行われるわが国では室内での水蒸気発生が多く、建物の気密が良くなってくると結露の事故も多くなってきた。欧州で一般に行われている外断熱工法がわが国でできないはずはないと考え永く実験研究を重ね、実用化できるようになったので報告を行う。

### 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世界的な動きとなっている。米国においては連邦基準局 (NBS) 及び空調暖房冷凍協会 (ASHRAE) が具体的な省エネルギー策を立案実施している。欧州の多くの国では既にあった建物の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DIN4108で規定されているが、例えば以前は国土を3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2つの気候区に、かつ条件の厳しい方にまとめる等の改正強化を行った。

エネルギーに関する外国依存、危機の度合はわが国の方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

ルギーの方策は未だ政府民間とも足並みが揃っていない。消費されるエネルギーには民生用と産業用があるが、我が国は欧米諸国と違って産業用に消費されるエネルギーの割合が大きい。今後生活水準が欧米なみに向上することは全国民の願いであるが、とすれば民生用に消費されるエネルギーの節約についても真剣に検討をしておかなければならない。

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。本来夏型に建てられてきた日本の建築では断熱や防湿に関する考慮が不足しており、これに関するディテールも確立されていない。

断熱に関する基準の確立している欧州では、断熱は

外壁の外側に行うのが一般である。これは内側に断熱するのに比べて、建築物理学的に合理的だからである。わが国では一般建築に断熱を施す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った。冷凍倉庫には断熱が行われてきたが、これは内側に断熱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われる時も、この冷凍倉庫等に行われた内断熱が応用されてきた。わが国では冬季の暖房がガスや石油の直燃焼で行われる場合が多く、それだけに室内の水蒸気発生量も多く、内断熱を行った建物では結露の被害も多かったのである。

筆者らは欧州で一般に行われている外断熱工法がわが国でも行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、このたび実用化の確信を得たので内容を報告したい。

### 1. 欧州における断熱基準の考え方

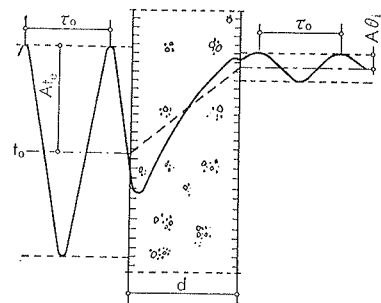
ドイツでは最低限断熱 (Mindestwärmeschutz) と完全断熱 (Vollwärmeschutz) という言葉をよく耳にする。最低限断熱とは設計外気温度、設計室内条件に対し、外壁の内表面に結露を生じないようにする断熱をいう。実際には安全をみて外壁の内表面温度をそこの露点温度より1~2°C高く保つようにする。室内条件が20°C、60%とすると露点温度は12°Cである。この場合安全をみて、12.0+1.5=13.5°C、すなわち外壁の内表面温度を室温との差20-13.5=6.5°C に保てる断熱を最低限断熱と称している。東西ドイツとも、現在の断熱基準はこの最低限断熱に基づいている。これ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方が有利になる。

完全断熱とはL. Sautter により提案されたもので<sup>3)</sup>、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って快適さの点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°C~17.5°Cになるのが快適であって、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比べずっ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づいているが、石油危機以来基準改訂の動きがあり<sup>2)</sup>、基準に完全断熱の考えを取り入れようとしている。

西ドイツの断熱基準は DIN4108 であるが、これに相当する東ドイツの断熱基準は TGL10686 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っ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。図一1で  $A_{te}/A_{ti}$  を温度振幅減衰  $\nu$  と呼ぶと  $\nu$  に関し表一1のような基準がある。表一1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  $\nu$  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われているが、夕刻発電のピークになった時に背圧タービンから復水タービンへ運転の切り換えが行われる。こうした時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。

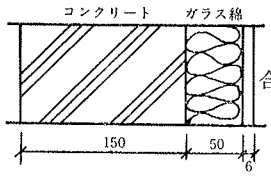
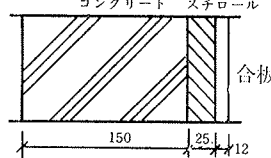

壁体の設計は建築家が行うものであるが、温度振幅減衰  $\nu$  の計算まで建築家が行おうとすれば、それは比較的簡易な式で与えられなくてはならない。東ドイツでは、東欧圏の共同研究成果として開発された簡易式を使用している。この内容は筆者が空気調和衛生工学会発行の「空気調和・衛生工学」1975年11月号で解説を行っているのので、興味をお持ちの読者は参照されたい。この簡易式を用いていくつかの壁体の温度振幅減衰を計算した例を表一2に示す。同じ材料の構成でも



図一1 熱流は壁体を通ることにより振幅が減衰する。  $\nu = A_{te}/A_{ti}$

建 物 部 位	最低振幅減衰 $\nu$	備 考
1. 一重屋根	25	} 保健上重要な建築物 } 保健上特に重要ではない建築物
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	
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	

表一1 東ドイツにおける温度振幅減衰の基準 (TGL 10686)

		内断熱	外断熱
	温度振幅減衰 $\nu$	25.0	37.0
	位相の遅れ $\eta$ h	4.9	4.9
	熱貫流抵抗 R $m^2 h \text{ deg}/Kcal$	1.48	1.48
	温度振幅減衰 $\nu$	12.7	17.9
	位相の遅れ $\eta$ h	4.99	3.07
	熱貫流抵抗 R $m^2 h \text{ deg}/Kcal$	0.87	0.87
	温度振幅減衰 $\nu$	21.27	30.3
	位相の遅れ $\eta$ h	5.60	3.90
	熱貫流抵抗 R $m^2 h \text{ deg}/Kcal$	1.40	1.40

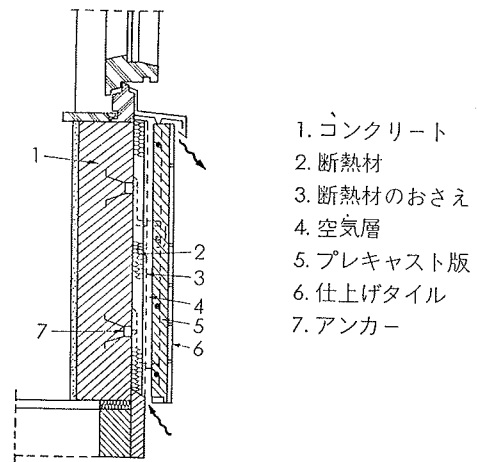
表一 内断熱と外断熱を行った場合の温度振幅減衰  $\nu$  (東ドイツ規格TGL10686により計算)

外断熱の方が内断熱に比べ  $\nu$  が大きくなり「良い壁である」という評価を受けることはあきらかである。

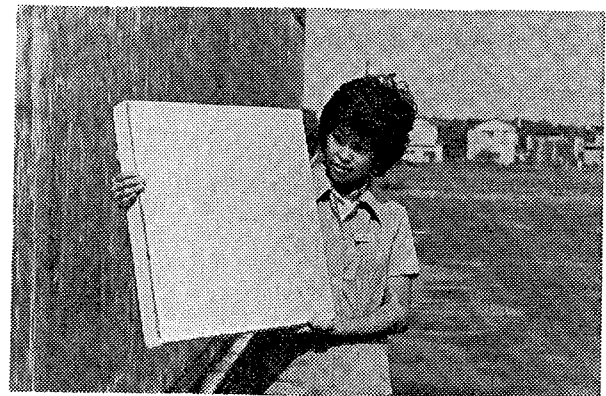
## 2. 欧州で行われる外断熱

欧州で一般に行われる外断熱は図一2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、外の仕上げ材が風圧に耐えるので雨水分が外壁に浸透してくることはない。理想的な工法ではあるが、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。

これに対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種類あって、写一1に示すように、工場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貼っていく工法がその一つである。写真に示すものは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。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貼っていくのはきわめて困難な仕事になってくる。もう一つの工法は、外壁の外側にスチロポール板を貼り、その上を左官の手によりモルタルを塗って仕上げていく方法である。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。この工法は日本式の木造住宅、特にベニヤによる木質系プレハブ住



図一2 欧州で一般に行われている外断熱



写真一1 50cm×50cm×5cmのプレハブの外断熱用材料 (西ドイツ TREFFERT社製)

宅にも施工ができ、比較的簡単に耐火造とすることができる。出すみ部、入すみ部、窓廻りの収まりを木造

建屋で試験した例を写真-2に示す。

わが国では、新築の建屋に断熱材を入れようという気運はまだ一般的に少ないが、一度結露の生じた建屋には断熱材を貼って結露を防止しようとする事はある。しかし内側から断熱をやって補修をしようとする事、居住者に一時的に引越しをしてもらったり、家具の移動等という迷惑をかけるものである。外断熱は工事が室内に立入らないので、居住者に迷惑をかけずに行えるなどの長所をもつ。

外断熱、内断熱、断熱の無い場合の長所短所の比較を表-3に示す。

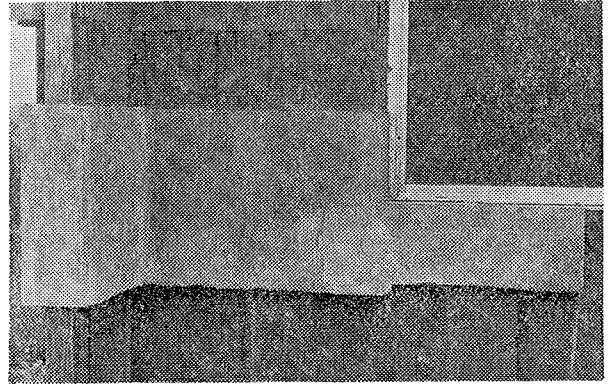


写真-2 木造建屋における実験工事

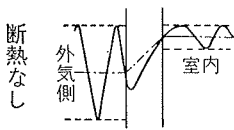
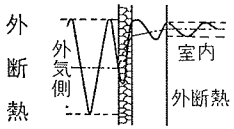
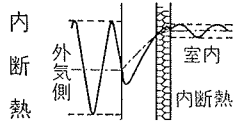
	熱負荷 (冷暖房運転費)	内側壁表面 温度変動	室内における 快感度	躯体の挙動 (ひびわれの 入りやすさ)	結露の可能性	工事の難易
断熱なし 	大	大	よくない	安い	大	表面結露を 生じやすい
外断熱 	非常に小 (特に間欠運転 で有利)	小	良い	やや高い	小	非常に少ない 特殊な工法 で可能
内断熱 	小	小 (室温の変動 影響を 受ける)	室温変動の ある時は よくない	やや高い	大	内部結露を 生じることが ある 簡単である

表-3 外断熱と内断熱の比較

### 3. 外断熱工法の予備研究

実際に工事を行う前に試験施工を行い、外断熱の特長を知っておく必要があった。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ったのであるが、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ます。図-3に鉄筋コンクリート造の建物の西壁に外断熱を施した外表面と施さなかった外表面の温度変化を比較した図を示す。外断熱を行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、内部のストレッチールの温度伝播が悪いため、外断熱のない一般の外壁に比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、急激に降下する傾向がある。断熱材のないコンクリートは

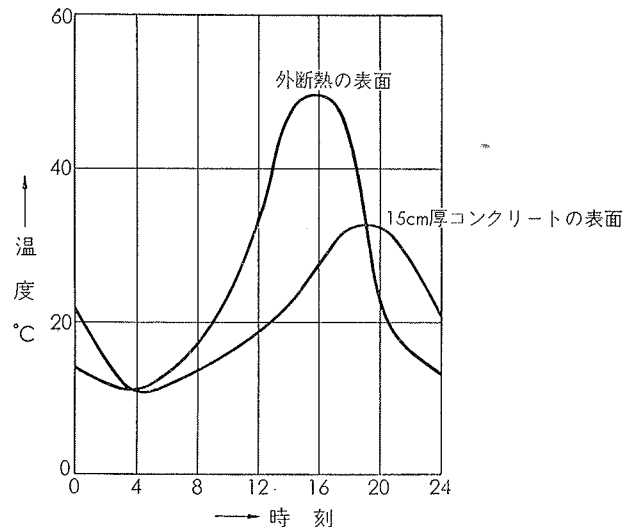


図-3 外断熱を施した部分と施さなかった部分の外表面温度 (東京, 6月, 西壁)

日射を受けても、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。熱容量があるために温度のピークの時間的遅れも観察される。この実験を行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た。色は淡黄色である。表面温度の変化は日射吸収能力に左右される。言い換えれば仕上げの色に左右されるのである。

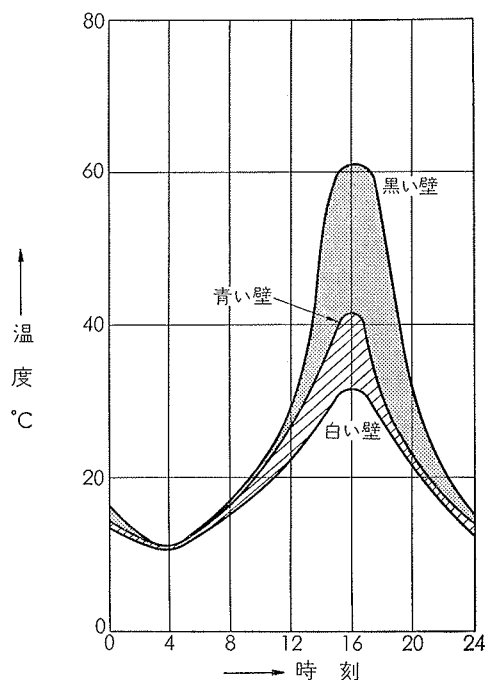
仕上げの色を黒、青(明かるいコバルトブルー)白と変えて表面温度測定を行った実測の例を図一4に示す。濃い色の仕上げは日射吸収も大きく、温度上昇が大きいことを示している。

昭和50年9月に測定した方位別の、外断熱を行った外表面温度変化を図一5に示す。これは前記のラオザンを使っ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っている。これは西側の場合日射のピークが、外気温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収縮により入るものであるが、温度の上昇過程では表面層は膨張し圧縮力が働き、ひびわれは入らない。一方温度の降下過程では収縮により引張力が働き、ひびわれが入りやすい。図一5であきらかなように、西の壁は東の壁に比べ温度の高いところから急激に降下し勾配が急である。それだけに西側の壁は他の方位を向く壁にくらべひびわれ対策を十分にしなければならない。

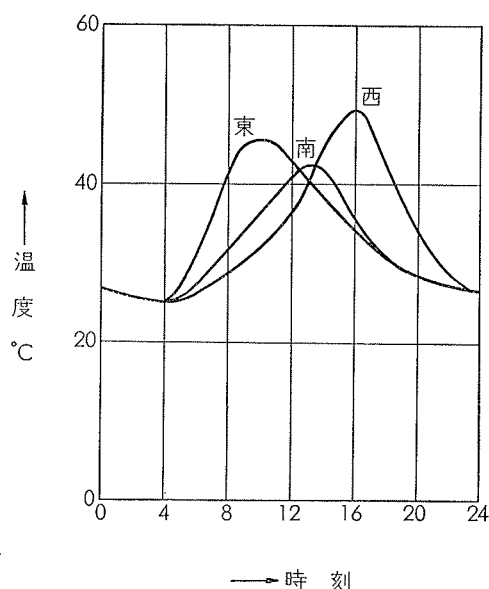
このような予備研究を行い、ひびわれに対する防止策を考え、充分に実施のめどがたったので、K教授邸の外壁で実際の工事を行ったのである。この工事記録を公けにすることにより、この工法をご紹介したい。

#### 4. K教授邸における外断熱工事

K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って暖房、給湯が行われている。太陽熱はクリーン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。したがって太陽熱を使って暖房を行おうとすれば、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ったり、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



図一4 外断熱を施した壁の色の違いによる温度変化 (昭和50年7月測定, 西側)



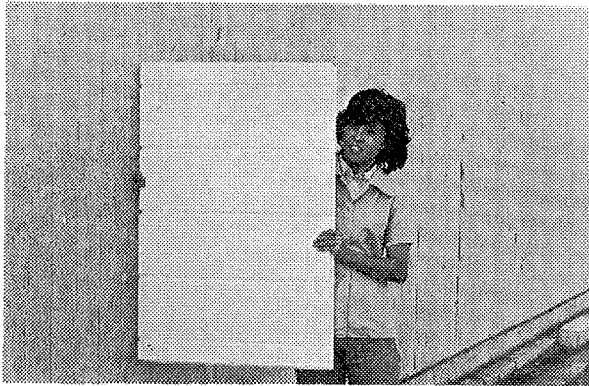
図一5 外断熱を施した壁の方位別の表面温度変化

け継ぎであったため外面変形を起こし、ひびわれが入ってしまった。

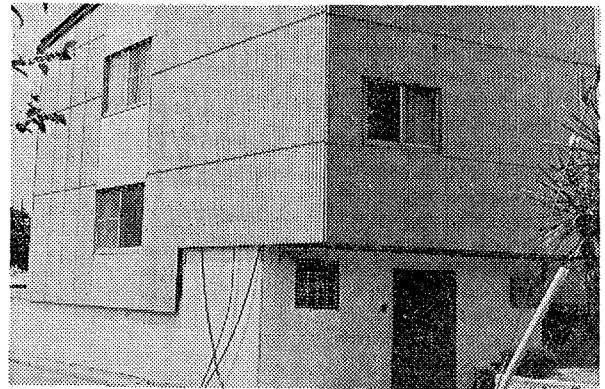
そこで筆者らが永く研究を重ねてきた工法で断熱のやりなおしをすべく、昭和50年7月14日より工事にかかったのである。

まず既設のスタイロフォーム板を撤去し、下地の躯体を平らにするため、スチレン系合成高分子のエマルジョン入りの接着性の良いモルタルを塗った。これは新築工事であれば省ける作業である。

この上に40mm厚でくさび型の溝の入ったスチロボ



写真一三 外断熱用スチロポール板  
(90cm×60cm×4cm)



写真一四 スチロポール板の張付け

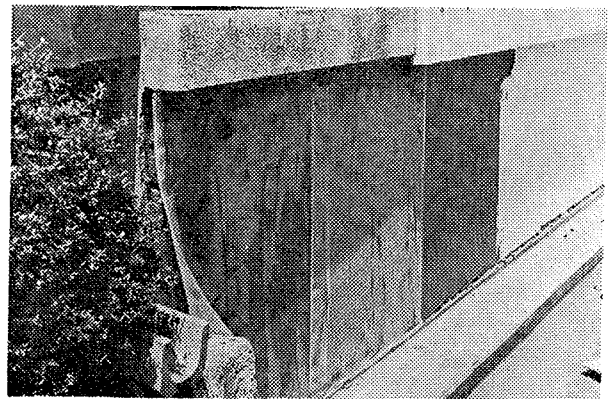
ール板(写真一三)を前記エマルジョン入りモルタルで全面的に張った。(写真一四)このスチロポール板は、接合が重ね接手になるようにできている。こうすることにより、継目から熱が伝わったり(熱橋と呼ぶ)、継目からの外面変形が起らないのである。スチロポール板には縦方向と横方向にくさび型の溝が入っていることにより、そこにエマルジョン入りモルタルがまわって硬化する。こうすることで万一建物躯体とスチロポール板が異なった動きをするようなことがあっても、スチロポール板が剥落することはないのである。

スチロポール板の上には再び2mm程度の厚さでモルタルが塗られ、ひびわれ防止のためのグラスファイバーメッシュが張られる。グラスファイバーメッシュの上に再び2mm厚のモルタルが塗られる。グラスファイバーメッシュはモルタル層の中で、感じとして表面に近い側に入れるのがひびわれを防止することである。グラスファイバーがモルタルの中に入るので、耐アルカリ性のものを使用する必要がある。モルタルの上に吹付を行い、場合により着色をし作業は終る。

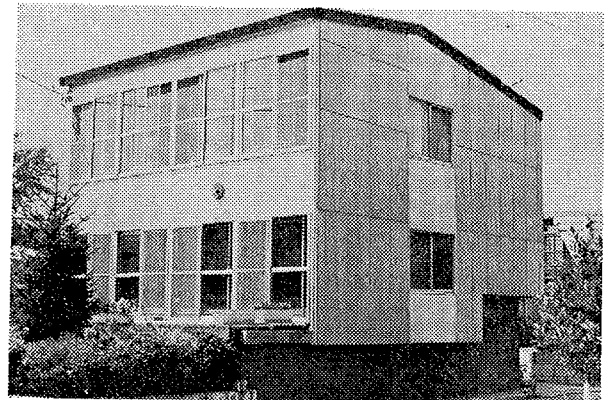
K教授邸の工事に引き続き住宅公団総合試験所のKEPの住宅でもこの方法により外断熱施工を行い、良い成績を収めることができた。

#### 参考文献

- 1) 青山幹, 田中辰明: 新しい外断熱工法について, 月刊建築仕上技術, 昭和50年10月
- 2) 青山幹, 田中辰明: 断熱基準と外断熱工法, 建築技術, 1976・2



写真一五 グラスファイバーメッシュの張付け



写真一六 改修後のK教授邸

- 3) F. Eichler Bauphysikalische Entwurfslehre VDE Verlag