

再度の湿式外断熱工法展望

お茶の水女子大学
名誉教授 生活環境研究センター
田中 辰明

(月刊建材フォーラム2006年10月号より抜粋)

再度の湿式外断熱工法展望

お茶の水女子大学
名誉教授 生活環境研究センター

田中 辰明

外断熱工法とは

コンクリート建築の外断熱工法には、①断熱材が建物躯体の外側にあるので、建物が服を着たようになり外気温や日射の変動から保護される。したがって建物躯体にひび割れが入りにくい。②コンクリートの熱容量が室内側に入るので、暖房が切れても急激に室温が変化しない。同様に夏季は冷房が切れても急激に室温が上昇することはない。すなわち快適性に富む。③室内から屋外にスムーズに水蒸気が抜け、壁体の内部に結露を起こすことがない。従って壁内結露を起こすこともなくカビが生えない。カビを餌として集まってくるダニの被害からも解放される。④既存の建物に断熱改修を行いやすい。極端な場合は室内側をコンクリート打ち放しのまま仕上げるのが可能になるので壁紙の接着剤や塗料から出る揮発性化学物質 (VOCs) から解放される、などの長所がある。さらに開口部である窓、並びに窓周りの気密性、遮音性も良くなっていることから外壁部分に適正な外断熱を施すことにより建物外皮の遮音性が飛躍的に向上する。このことは総合病院で外断

熱施工をしたところ、医師から聴診器の音が以前より聴き取りやすくなったとお褒めを頂いたことがある。

よく外断熱工法と内断熱工法の比較などが示されている場合があるが、熱貫流率はどちらも同じであるから省エネルギー的には変りがないなどとする意見もある。しかし建築の外皮は熱と同時に水蒸気も移動を行っている。熱と水蒸気の同時移動が非定常で解析できるプログラムにドイツのフラウンホーファー研究所が開発したWUFI (ウフィー) がある。これは使用しやすくあらゆる建材のデータと気象条件が入っている。このプログラムで解析を行うと日本の多くの土地で外断熱工法が有利であることが歴然としてくる。当然寒地である北海道など北部はさらに有利になるし、南部である那覇では不利になることも判る。WUFIについては本誌で筆者の研究室に所属する柚本玲が解説を行う。

欧州では殆どの建物が外断熱工法で施工されるが、我が国では外断熱で施工される建物は極めて例外であった。筆者は1973年12月までベルリン工科大学で建築物理学を研究し、建物の断熱は外側に行うものである

ことを学んだ。1973年は石油危機が起きた年であり、筆者もそれと同時に帰国、国内でも代替エネルギーに関する研究開発が盛んになった。太陽熱を利用し、冷暖房給湯をする国家プロジェクト「サンシャイン計画」も始まり、筆者もそれに参加した。ここで、単位面積あたりでは希薄なエネルギーである太陽熱を利用して暖冷房を行うのであれば、建物自体を省エネルギー的に建てなければいけないと考え、ドイツ式の発泡スチレン10cmの断熱材を使用した外断熱工法を採用した。しかしこれは国家プロジェクトであったので建築施工の学識経験者のご意見を伺うというプロセスがあった。しかし当時の施工の専門家は外断熱に経験がなく、さんざんのご意見を賜った。ドイツではよくても日本は気候が違う、発泡スチレンを外側に張ったのでは2~3年でひび割れが入る、冬は良いかも知れないが、夏は考えが逆になるので、夏に結露が起きるなど。このような反対意見は多数あったが、どうか当時の通産省の賛意を得て外断熱施工をすることが出来た(写真1)。しかしこの試験住宅は太陽熱利用の研究が主目的であったので、その実

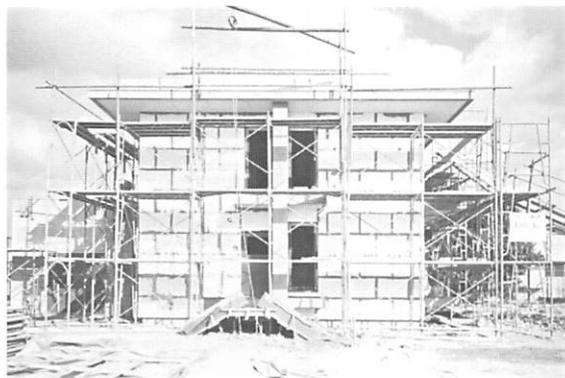


写真1 国家プロジェクト「サンシャイン計画」による太陽熱利用住宅の外断熱工事



写真2 東京都杉並の全面的に外断熱工事を施した田中ソーラーハウス。築後25年になるが全く損傷もなく快適な生活が送られている。

験が終了すると建物は取り壊され、外断熱自体の耐久性などは証明されないままプロジェクトは終了した。これと並行して当時の日本住宅公団の試験場でも同様の試験が行われたが、研究終了と同時に建物は取り壊された。

仕方がなく、筆者は1980年に自宅を作るときに、これなら耐久性試験も行えるであろうと考え、ここで外断熱工法を実施した次第である(写真2)。採用した工法はサンシャイン計画で行った外断熱工法と同じ密着式の湿式工法であった。すでに25年が経過しているが、損傷も全くなく満足している。むしろ近隣の同じ時期に建設された住宅に比べ表面が汚染されない、ひび割れが全くない、心配して下さった夏型結露など全く生じないなど。20年経過した時点で住宅の改修を行ったが、当然窓周りのコーキング材料は交換を覚悟していた。しかし、いざ開けてみるとコーキング材料も外断熱材料と共にフレキシブルに動いており損傷はなく交換の必要はなかった。建物が汚れにくいというのも理解しにくい点であるが、汚れは結露が原因となる。目に見えない結露であってもこれが塵埃を引きつけ、よごれの原因となり

発生する。外断熱を行うと建物外側にも結露は起こらず、汚れにくいということになる。

外断熱の普及

外断熱工法は我が国でも当然にもっと早期に普及してしかるべきものと考えていたが、現実はそのようでもなかった。我が国でも外断熱工法を試みる気運も高まりつつあるが、価格的問題や設計経験がない、施工経験がないといった問題から必ずしも普及が順調とはいかない。

従来ドイツの建築は断熱がしっかり施されていた。ドイツでは国全体が消費するエネルギー量の約50%が民生用で、25%が運輸用、25%が産業用である。従って民生用の省エネルギーを図ることが国家全体の省エネルギーに大きく寄与する。建物断熱による省エネルギーが効果があるとして、度重なる断熱条令の改正強化で断熱材の厚さが増している。最初の断熱条令は1977年から1984年まで適用された。これは年間居住面積1㎡あたり平均で200kWhの消費を目指すものであった。2回目の断熱条令は1984年から1995年まで適用された。

これは年間居住面積1㎡あたり平均で150kWhの消費を目指すものであった。3回目の断熱条令は1995年から2002年まで適用された。これは年間居住面積1㎡あたり100kWhの消費を目指すものであった。4回目の断熱条令は2002年以降適用された。これは年間居住面積1㎡あたり平均で70kWhの消費を目指すものであった。

断熱は一般に外断熱で行われる。プレハブ住宅の場合は外壁全体が断熱材で構成されているとって過言ではない。外断熱工法はドイツで発展普及してきた工法であるが、外断熱には2つの方式があり筆者は通気層のある外断熱と通気層のない外断熱に分けて評価してきた。ドイツでは通気層のある外断熱を(Hintenlüftung Wärmadämmsystem: 背面通気断熱システム)、通気層のない外断熱を複合断熱システム(Wärmedämmverbundsystem: WDVS)と呼び法律用語にもなっている。そしてこの通気層のない外断熱が湿式外断熱である。

湿式外断熱工事の実際

通気層のある外断熱は一般的に大型の建物に採用される。通気層のない



写真3 旧東ベルリンにおける集合住宅の外断熱改修工事

い外断熱は小型建築物に採用される場合が多かったが、最近では大型建築物に採用される場合も出てきた。断熱材として最近では高密度ロックウール（我が国ではロックウール板とも呼ばれる）、もしくは発泡スチレン板がよく使用されている。

写真3に旧東ベルリンで行われた集合住宅の外断熱改修を行った例を示す。旧東ドイツでは断熱のレベルが低く、統一後は外断熱改修を行っている例が多い。ミュンヘンは内陸性気候で冬は十分に寒い夏は結構暑くなる。ミュンヘンのFrankfurtering（フランクフルターリング）で行われた外断熱改修工事を写真4に示す。ここでは断熱材にロックウールが使用され、通気層が設けられている。我が国でも問題になることがあるが、外断熱は冬は良いが夏に特に内部負荷の大きい建物で、室温が上昇する傾向があると

言われる。これは住まい方の問題で、西を向いた独身者住宅などで、住人が夜帰宅する。しかも西側からは夕日がサンサンと照りこんでいる。そのような部屋にご帰還になれば暑くてたまらないのは当然である。常時人が居住していれば、そのような場合ガラス戸を開放するなどして熱を逃がして生活をするであろう。このミュンヘンの事務所ビルでは外付けの日射遮蔽装置を設けて夏季の室温上昇を避けていた。写真5はやはりミュンヘンの住宅の外断熱改修工事の写真である。ここでは断熱材として発泡スチレンが使用されたが、スチレンを接着モルタルで建物躯体に接着した上にさらにジベルで建物に固定するという方法を採用している。写真6はミュンヘン郊外の住宅団地で、発泡スチレンで外断熱改修を行っている例である。同じ団地で、硬質の



写真4 ミュンヘンのFrankfurteringにおける外断熱改修（夏季対策に外付けブラインドが設置される）

ロックウール板を使用して外断熱改修を行っている例を写真7に示す。さらに写真8はシュツトガルトでコルクの断熱板を使用して外断熱を行っている例である。

このように一概に密着式の断熱改修工法と言っても、様々な材料が使用されていることがわかる。ドイツでこのようにバラエティーに富んだ外断熱改修工法が行われていることにはブラウンホーファー研究所などの研究機関が極めて長期にわたり、慎重に実験を行ってきた成果によるところが大きい。ブラウンホーファー研究所の建築物理研究所はシュツトガルトとミュンヘンの郊外のホルツキルヘンにある。特にホルツキルヘン



写真5 ミュンヘン郊外の住宅における外断熱改修工事 発泡スチレン取り付けにジベルが使用される



写真6 ミュンヘン郊外の集合住宅における外断熱改修（断熱材は外断熱協会の認定品が使用されている）



写真7 ミュンヘン郊外の集合住宅の外断熱改修工事。地盤に近い部分では押出発泡スチレンが、上部では硬質ロックウール板が使用されている。



写真8 既設の住宅にコルクを貼り、外断熱施工を実施。

は海拔700mと高いところにあり、ここでの耐候性試験に合格した建材や建築部材はドイツのどの土地に持っていても使用できるものとして多くの耐候性試験が行われた。写真9に断熱材、仕上げ材、塗装を変えて耐候性試験を行っている状態を示す。また写真10は外断熱に使用される各種仕上げに対し、室内側は室温、湿度を一定にしてやはり耐候性試験を行っているところである。



写真9 フラウンホーファー研究所（Holzkirchen）での外断熱耐候性試験



写真10 フラウンホーファー研究所（Holzkirchen）での外断熱耐候性試験（室内側は恒温恒湿に保たれている）



写真11 ウィーンファンデルトバッサールハウス

か、そして自分が幼少時代をすごしたオーストリアの森、郊外に直線はない、全て曲線から構成されていた」と主張し、全て氏の作品は曲線が取り入れられている。

このような一見外断熱を施すのには無理なような建築にも湿式の外断熱工法が採用されている。写真11にウィーンファンデルトバッサールハウス、写真12にドイツはダルムシュタット（Darmstadt）ファンデルトバッサールハウス、そして写真13にドイツプロヒンゲン（Plochingen）ファンデルトバッサールハウスを示す。いずれも湿式の外断熱工法が施されている。我が国にも桂離宮を世界に紹介した建築家として名高いブルーノ・タウトは当初印象派の建築家であったが、第一次世界大戦後ベルリンの住宅局



写真12 ドイツダルムシュタットのファンデルトバッサールハウス



写真13 ドイツプロヒンゲンのファンデルトバッサールハウス



写真14 ベルリン市Onkel Toms Hütteのブルーノ・タウト設計の集合住宅

技師となるや専ら労働者階級の住宅を量産した。1933年までに12,000戸の勤労者住宅を建設している。氏はこれをSiedlung（団地）と呼んでいる。太陽を取り込み、Wieseと呼ぶ芝生の

有名建築物も 外断熱が施工される

有名建築家による住宅も外断熱が施されている。ウィーン建築家ファンデルトバッサールは住宅には中庭を設け、中庭に面するファサードに曲線を多く取り入れた窓、多彩な着色、そして窓辺の植栽と訪問者の目を楽しませてくれる。ウィーン郊外で生まれたファンデルトバッサールは「ウィーンのような大都会に自然はなく、そこに多くの人が生活している。ではその生活の舞台である住宅に自然を取り入れればよいではない

ある庭を設け、当時から自動車の普及を考慮し、駐車場を設けるなどの配慮をしている。団地であるだけに同じ住居を繰り返して建設している例が多い。1925年にBerlinの南部のRitzに平面的に見ると馬蹄形に見える団地を造っている。馬蹄をドイツ語でHufeisenと呼ぶが、Hufeisensiedlung Britzとして有名である。完成は1930年で1963戸である。その他Berlinの西郊Onkel Toms Hütteに造った森の団地“Waldsiedlung Onkel Toms Hütte”も規模が大きく、1926年から1931年の間に完成している。1952戸あるが、ここには486戸の独立住宅もしくは2軒の家族を1棟とした住宅も含まれている。タウトがベルリンに来た頃はインフレが酷く、労働者がベルリンに集まり、労働者の住環境は劣悪であった。この状況を当時の画家ハインリッヒ・チレ (Heinrich Zille) が漫画に残している。写真15は当時の子沢山の勤労者集合住宅を描いているし、写真16は女の子が「あなたの鼠どうして死んだの？」と問いている。男の子は「おれんちとても湿ってんだ」と答えている。ねずみも死んでしまうほど劣悪な住環境に住んでいた労働者階級、親も子供におもちゃを買い与えることが出来ず、子供はねずみの死骸をおもちゃにしている。

そんな時代であった。タウトは労働者の健康と住環境の改善を考え、緑を多くに配置した住宅を量産していった。今で見れば当たり前の住宅団地にしか見えないが、当時では画期的なことであった。現在ではRitzの団地にもOnkel Toms,Hütteの団地にもブルーノ・タウトに対する顕彰碑が立っている(写真17)。しかしタウトが住宅を量産建設したのは1920年



写真15 ブルーノタウトが活躍した時代のベルリンの労働者集合住宅(どっこも子沢山) Heinrich Zille

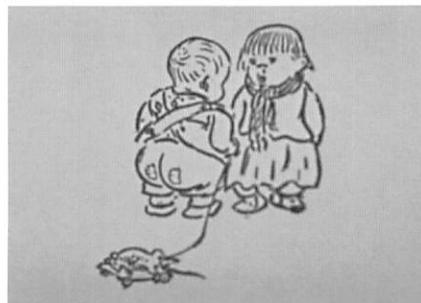


写真16 ブルーノ・タウトが活躍した時代の子供の生活「どうしてあなたのねずみは死んだの?」「おれんち、とても湿ってんだ!」



写真17 Onkel Toms Hütteの団地に立つブルーノ・タウトの顕彰碑(労働者の住環境改善に貢献)

代であった。当然断熱の配慮はなかった。現在その団地も外断熱改修が行われている(写真18)。

ドイツにおける外断熱の協会

我が国においても建物の長期使用に心がけないと、資源の有効利用、産業廃棄物問題など重要な懸案事項の解決に至らない。ドイツで外断熱工事を行っている会社は左官業、塗装業が多く、これらが指導的立場に立っている。またこれら業種がBaden Badenに湿式外断熱の協会を作り工事に当り標準の仕様書を作成したり啓蒙活動を行っている。協会の会長はWolfgang Setzler博士で所在地はFremersbergerstrasse 33,76530 Baden Badenで協会の名称はFachverband



写真18 ブルーノ・タウトが1920年代に設計した住宅は現在も使用されている。ただし、省エネルギーの観点から湿式外断熱工法が施されている。

Wärmedämm-Verbundsysteme e.V.という。筆者はよくバーデンバーデンにゼツラー博士を訪問し、情報交換を行っている。

写真19は2006年9月4日に訪問した際のもので、日本で外断熱が進まない理由、どうすればよいかなどの討論を行った。やはり外断熱の規格が欧州規格だけになっており国際規格になっていないことが、外断熱に理解の少ない国にとって問題であろう。外断熱を普及するために外断熱の国際規格化が急務あるということで意見の一致を見た。

国際化と外断熱工法

我が国では日本工業規格JISが重要であったが、グローバル化と共により国際規格ISOが重要視されるよう



写真19 Baden Badenの湿式外断熱協会Setzler博士と筆者の交流

になった。工業国は欧州に多く、欧州は欧州連合EUでの欧州規格(EN)作りに熱心である。最近では欧州規格がISOと同時に審査され国際規格ISOになることが多い。ドイツは規格作りに熱心で、ドイツ工業規格(DIN)は定評があった。湿式外断熱に関しても本来DINであったものが欧州の規格委員会に提案され、審議の結果欧州規格(EN)になったものも多い。

ISOTC163という断熱に関する国際規格の会議が東京の日本建築センターで平成17年10月3日から1週間開催され、ここで欧州規格の国際規格化の審議に入ることが決定された。湿式外断熱に係る主なる欧州規格を以下に示す。

外断熱に係る欧州規格(EN)

DIN EN 14318-1 Wärmedämmstoffe für Gebäude—An den Verwendungsstelle hergestellte Wärmedämmung aus dispensiertem Polyurethan (PUR) -schaum—Teil I: Spezifikation für das Schaumsystem vor dem Einbau; Deutsche Fassung prEN 14318-2002 (März 2002) (建築用断熱材—施工現場で製造される発泡ポリウレタン、1部；仕上げ前の発泡システムの特性)

DIN EN 13162 Wärmedämmstoffe für Gebäude Werkmässig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) Spezifikation (Oktober 2001) (建築用断熱材—工場生産による鉱物ウールの特性)

DIN EN 14165 Wärmedämmstoffe für Gebäude Werkmässig hergestellte Produkte aus Polyurethan Hartschaum (PUR) Spezifikation Deutsche Fassung EN 13165 : 2001 (Oktober 2001) (建築用断熱材—工場生産による硬質発泡ポリウレタンの特性)

DIN EN 13171 Wärmedämmstoffe für Gebäude Werkmässig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF) Spezifikation Deutsche Fassung EN 13171:2001 (建築用断熱材—工場生産による木毛繊維の特性)

EN 13500 Wärmedämmstoffe für Gebäude—Aussenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle-Spezifikation (April 2003) (建築用断熱材—鉱物ウールによる通気層の無い外断熱の特性)

DIN EN 13495 Wärmedämmstoffe für das Bauwesen Bestimmung der Aussenseitigen Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) (Schaumblockverfahren) Deutsche Fassung EN 13495:2002 (Februar 2003) (建築用断熱材—発泡法による通気層の無い外断熱システムの特性)

DIN EN 13496 Wärmedämmstoffe für das Bauwesen Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Glasfasergewerbe Deutsche Fassung EN 13496 : 2002 (Februar 2003) (建築用断熱材—グラスファイバーメッシュの機械的的特性の決定)

DIN EN 13497 Wärmedämmstoffe für das Bauwesen Bestimmung der Schlagfestigkeit von aussenseitigen Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) Deutsche Fassung EN 13497 : 2002 (Februar 2003) (建築用断熱材—通気層の無い外断熱システムの衝撃強度の決定)

国際規格ISOはどのようにして作成されるか？放置しておいても誰かが一生懸命努力してISOになるものもあれば、そうでないものもある。外断熱関連の規格は欧州規格ENにはなっているが、国際規格ISOにはなっていない。これはENを作成した方々がEUの中で通用すればよいと考え、ISO化までは考えていなかったことによる。従って我が国のように外断熱工法がそれほど理解されていない国で普及を図ろうとすると、我が国がリーダーシップを取り、普及していくほかに手はない。そこで、筆者は何回かベルリンのDINの事務所などを訪問し、ENのISO化に対する助力を要請した。ENを全く変更せずにISO化することには協力をするということで賛成を得ている。近く国内で(財)建材試験センター内に委員会を設置し、スウェーデンの本部からの指示を待ち、世界の委員に現状の外断熱ENに関し順次賛否を問う状態に入っている(本来なら一挙に全て賛否を問いたいが、これは膨大な作業になり、混乱を引き起こすに相違ない)。

我が国においても外断熱を単なる建設工法と考えるのではなく、住宅長寿命化への可能性を秘めているものとし外断熱に取り組む企業も増えてきた。

まことに喜ばしいことではあるが、なかには大丈夫かとも思われる工法もある。外断熱に関する欧州規格が国際規格化されることで、少なくとも従来長期にわたりドイツで育ってきた工法が標準化されることになる。この規格に規定されている工法により施工すれば誤りはないと考えられる。しかし、「国際規格になっている工法しか使用してはいけない」という



写真20 外断熱工事の日曜大工における指導書の例

ことになると今度は新しい発展が期待できなくなる。国際規格外の工法はそれぞれ施工者が十分な試験を行い、実績が認められてから工事に移せばよいであろう。健全な外断熱工法が我が国においても発展していくことを望んで止まないものである。

図1にBaden Badenの外断熱協会が発表した協会傘下の企業が施工した密着式外断熱工法の毎年の施工面積を示す。密着式外断熱工法が市場に現れたのが1950年代であったが、1977年から2004年までの間に6億3000万㎡の施工をしている。実際には協会傘下でない企業や個人が行った工事も多いので、この面積をはるかに上回る。

**湿式外断熱工事は
難しい工事ではない**

ドイツではDIYに相当する日曜大工が盛んである。休暇も長く取れることから、地下室に工事用の仕事部屋を設けている家庭も多い。この密着式外断熱も規模の大きな日曜大工店

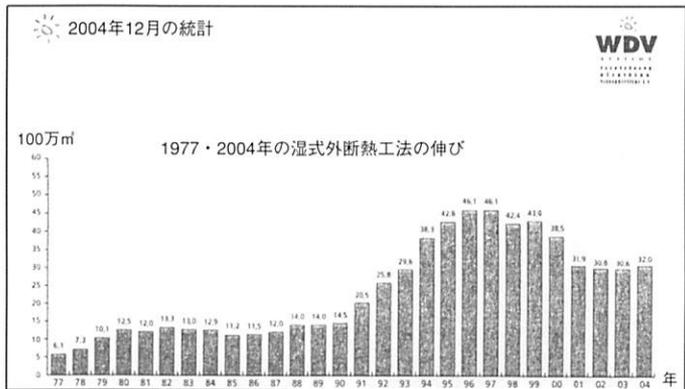


図1 合計6億3,000万平方メートル施工された。

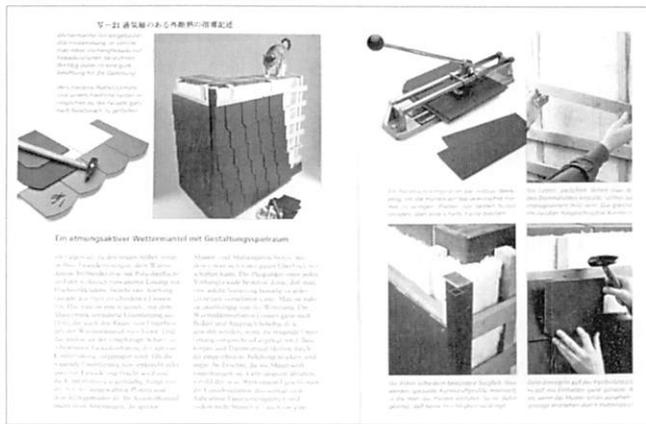


写真21 通気層のある外断熱の指導記述

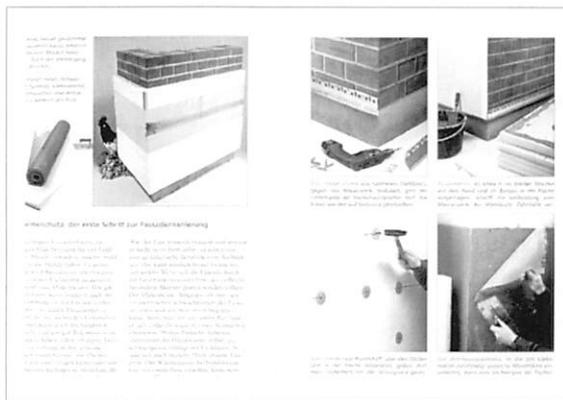


写真22 湿式外断熱工法の指導記述

に材料が置かれ、自分で工事が出来るようになってきている。日本のように規制が厳しくないで、足場も借りて使用することが出来る。また各種の施工指導書もこのような日曜大工店で販売されている。その例として写真20～写真22に例を示す。ここでは通気層のある外断熱(写真21)と通気層のない外断熱(写真22)の施工要領を示している。

参考文献

- 1.田中辰明「ドイツに学ぶ外断熱工法のありかた」建築仕上技術 2002年7月号、工文社
- 2.Wolfgang Setzler "Wärmedämmung Bedarf wecken! WDV Systeme" Julius Hoffmann Verlag
- 3.DIN 13499 Wärmedämmstoffe für Gebäude Aussenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol
- 4.Walter F.Cammerer "Wärme-und Kälteschutz im Bauwesen und in der Industrie
- 5.Auflage, Springer
- 6.Selber machen "Energiesparen durch Wärmedämmung" rororo Sachbuch

謝辞

今回の外断熱に関するドイツの調査で康和地所株式会社(夏目康広代表取締役社長)の協力を得た事を記し、深甚なる謝意を表す。