

某ビルにおける外断熱

高橋久雄
長尾覚博

Exterior Heat Insulation of a Certain Building

Hisao Takahashi
Kakuhiro Nagao

Abstract

For a certain building, which is 9-storied and of steel and reinforced concrete composite construction, an exterior heat insulation method was adopted with the objects of (1) reducing thermal losses in heating and cooling, (2) improving indoor environment, (3) preventing dew condensation, (4) preventing freezing and thawing of concrete, and (5) preventing thermal cracking of concrete. This report describes studies on the design of exterior heat insulation, pertinent construction practices and the results of investigations made with regard to the items (1) to (5) mentioned above.

It may be given as conclusions that while reduction in thermal loss is not distinctly achieved, indoor environment (temperature and radiation from wall) is maintained in a constantly comfortable condition, temperature changes of the structure is very small and in winter time maintained at a relatively high level (about an average of 20°C) so that there is no occurrence of dew condensation (surface and inner portion of wall), and no risk of frost damage or thermal cracking of concrete.

概要

SRC造、地上9階建の某ビルでは、(1)冷暖房の熱負荷の低減、(2)室内環境の改善、(3)結露の防止、(4)凍害の防止、(5)温度ひびわれの防止、を目的とした外断熱を採用した。本報告は、その設計仕様、施工方法、および前記(1)~(5)に関する外断熱の効果を調査検討した結果を述べたものである。結論として、熱負荷の低減については、はっきりした効果を見出せなかったものの、室内環境(室内温度、輻射温度)は常に快適状態に保持されること。構造体の温度は変動が小さく、冬期には比較的高温(平均温度で20°C前後)であるため、結露(壁体表面、内部)、コンクリートの凍害、温度ひびわれの危険性のないことが判った。

1. はじめに

建物における断熱の目的は主として、(1)冷暖房の熱負荷の低減、(2)結露の防止、(3)室内環境の改善であるが、我が国で従来行われてきた内断熱では、耐久上問題となる、躯体の温度ひびわれ、凍害、結露などの障害をしばしば生じているのが現状である。SRC、地上9階建の某ビルでは、これらの障害を防止し、かつ上記(1)~(3)の目的を達成するため、外気に接する躯体外部に断熱材を取りつけ、アルミパネルのカーテンウォール仕上とする外断熱を採用した。この方法は既に欧米では一般に行われているが、我が国では某ビルが本格的なビル建築としてはじめての外断熱であったので、外断熱の施工方法、外断熱の効果について調査、検討した。

本報告は調査、検討した結果をまとめたものである。

2. 某ビルの概要

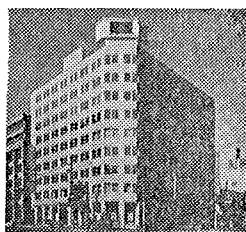
某ビルの規模等の概要は表-1に示した通りである。また建物の竣工時の立面を写真-1に、一般階(7階)平面を図-1に示した。なお図-1には後述の熱負荷、室内環境等を調査した部屋の位置も同時に示した(図中の斜線部分)。

所在地	札幌市内
構造	鉄骨鉄筋コンクリート造
規模	敷地面積—1044.09m ² 建築面積—864.0m ²
	階数—地下2階、地上9階、塔屋3階
	寸法—28.8m(東西方向)×30.0m(南北方向)×31.0m(高さ)
階高	地下1階—4.05m 地下2階—4.4m
	地上1階—5.00m 地上2~9階—3.13m
仕上	外壁—外断熱、アルミパネルカーテンウォール仕上、 屋根防水—断熱防水*(注)
工期	昭和47年1月~48年6月
設備	地下2階~地上4階—温水暖房 地上5階~地上9階—蒸気暖房

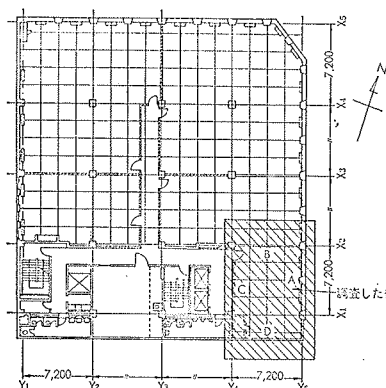
表-1 某ビルの概要

(注) 断熱防水：屋根スラブと防水層との間に断熱層

を設ける防水工法で、スラブへの熱の流入低減を目的としている。



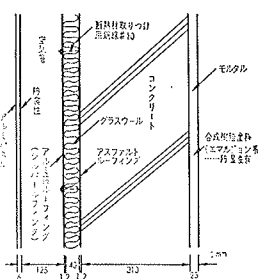
写真—1 竣工時



図—1 一般階平面

3. 外断熱の仕様

某ビルで実施した外断熱は、図—2に示すように、躯体の外気に接する面に断熱材を取りつけ、空気層を設けてアルミパネルのカーテンウォール仕上とした。また、室内側は防湿性のある合成樹脂塗料で仕上げた。



図—2 外断熱の仕様

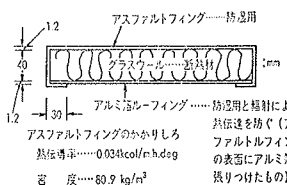
ここで空気層は屋上パラペットまで吹抜けとなっているため、湿気の滞留が防止できるようになってきている。さらに空気層によって仕上材が直接断熱層に密着していないため、熱変形による仕上材の障害が防止できる仕様となっている。

3.1. 断熱材の選択

外断熱に使用する断熱材に要求された性能は以下に示す通りで、

- 1) 熱伝導率は0.03~0.05kcal/m・hr・deg
- 2) 不燃性でかつ火災時に有毒ガスの発生がない。
- 3) 吸透湿による断熱性能の低下がない。

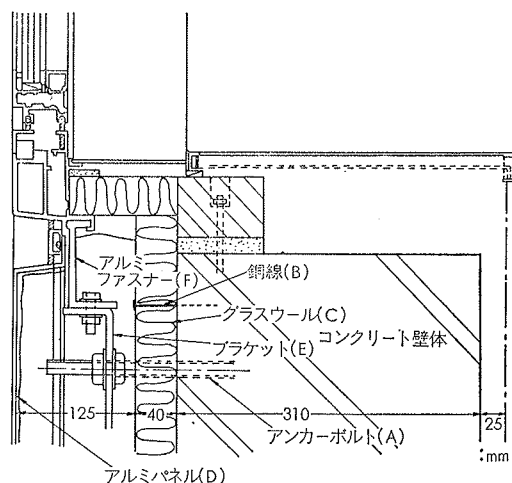
上記1)~2)の条件を満足する断熱材としてグラスウールを選定し、吸透湿による断熱性能の低下を防ぐために、グラスウールの廻りをアスファルトルーフィングで覆った。さらにアルミパネルから躯体への輻射熱伝達を低減するため、断熱材の外気側表面にアルミ箔を張りつけ、あらかじめ図—3に示すようなブロック状に成型したものをを使用した。



図—3 断熱板

4. 外断熱の納まりと施工

一般に外断熱は内断熱に比較して、その納まりおよび施工が難しいとされているが、当ビルにおける代表的な納まり(縦断面)の詳細は図—4に示す通りで、



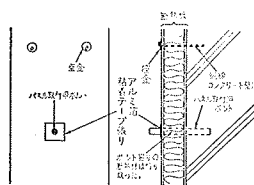
図—4 外壁部分の納まりの詳細

その施工は以下に示す手順で行い、納まりに不具合などを生ぜず良好な結果を得た。

- 1) 下地の補修と墨出し——断熱板の取りつけに先立ち、下地の不陸直し、掃除、墨出しを行った。
- 2) パネル取り付け用アンカーボルト(図—4のA)の埋込み——コンクリート壁体にコンクリートドリルで穴をあけ、パネル取り付け用アンカーボルトを埋込んだ。
- 3) 断熱板取り付け用銅線(図—4のB)の埋込み——コンクリート壁体にコンクリートドリルで10φの穴をあけ、銅線を埋込み、アンカー部分をエポキシ樹脂接着剤で固定した。
- 4) 下地のプライマー処理——コンクリート下地と、断熱板張りつけ用アスファルトとのなじみを良くするため、下地をプライマー処理した。
- 5) 下地への張りつけ用アスファルトの塗布——コンクリート下地へ断熱板取り付け用の溶融アスファルトを塗布した。
- 6) 断熱板(図—4のC)への張りつけ用アスファルトの塗布——断熱板のアスファルトルーフィング側に、張りつけ用アスファルトを塗布し、下地との接着性を増した。
- 7) 断熱板の取り付け——断熱板は、張りつけ用アスファルトで接着性を確保するとともに、図—5に示すように、座金を介した取り付け用銅線で取りつけた。

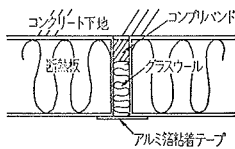
この際アンカーボルト廻りの断熱材は切り取った。

8) パネル取り付け用アンカーボルト周辺の処理——断熱板とアンカーボルト間の空隙をふさぐために、アンカーボルト周辺をアルミ箔粘着テープ張りとした(図—5)



図—5 断熱板の取り付け 箔粘着テープ張りとした(図—5)

9)断熱板つき目地部の処理—
—断熱板相互のつき目地部の空隙を図—6に示すようにコンプリバ
ンドでバックアップし、グラスウ
ールを充填してから、目地部をアルミ
箔粘着テープで密ぺいた。



図—6 目地部の処理

10)アルミパネル(図—4のD)の取り付け—断熱
板取り付け後、アンカーボルトにブラケット(図—4
のE)およびアルミファスナー(図
—4のF)を介して取りつけた。

写真—2は断熱板の取り付けを
完了し、一部アルミパネルを取り
つけた外壁の様子である。



写真—2 施工中の外壁

5. 外断熱の効果に関する調査

建物竣工後の外断熱の効果を検討するため、1975年
2月21～27日の冬期に表—2に示す各項目についてそ
の実態を調査し、検討した。

5.1. 調査方法

調査の対象とした部屋は、
南、東南が外気に接し、床面
積が約 60m² の7階事務室
(前述の図—1参照)である。

当部屋は未使用の部屋であつ
たため、家具類は全くなく、
照明も調査期間中は使用しなかつた。調査した部屋の
詳細は後述の図—7の通りである。

調査項目	調査の目的
①供給熱量	熱負荷の実態
②室内温度	室内環境の検討
③輻射温度	
④室内湿度	
⑤壁体の表面温度	結露、凍害、ひびわれの危険 性の有無の検討
⑥壁体内部温度の変化	内断熱、外断熱の温度分布の相違
⑦壁体の内部温度の解析	

表—2 調査項目と目的

5.1.1. 供給熱量 部屋に供給される熱量は、ラジ
エーターおよびダクトからのみ供給されるものとし、1
～3式によって算出した。

$$\begin{aligned} \text{全供給熱量} &= q_r (\text{ラジエーターからの供給熱量 kcal/hr}) \\ &+ q_d (\text{ダクトからの供給熱量 kcal/hr}) \end{aligned} \quad \text{— 1}$$

ここに、ラジエーターからの供給熱量は、流入蒸気の
温度($s\theta_i$ °C)を測定し、流出温水をコンデンスBOXに
コンデンスして、その量(V kg/hr)と温度($s\theta_o$ °C)の
測定値から2式によって算出した。

$$q_r = V \cdot \{ (s\theta_i - 100) \cdot sC_p + Q_s + (100 - s\theta_o) \} \quad \text{— 2}$$

ここに sC_p : 蒸気の比熱 (1.0 kcal/kg·°C と仮定),
 Q_s : 100°C 蒸気の潜熱・538 kcal/kg と仮定, 温水
の比熱は 1.0 kcal/kg·°C と仮定

またダクトからの供給熱量は、流入空気速度 (v
m/sec)と温度(θ_i °C)、およびガリから流出する空気
温度(θ_o °C)の測定値から3式によって算出した。この
際ダクトからの送風空気はチャンバーで静流に修正し
てから速度を測定した。

$$q_d = (\theta_i - \theta_o) \cdot v \cdot S \cdot C_p \cdot \gamma \cdot 3600 \quad \text{— 3}$$

(ここに S : チャンバーの吹出口の面積 m², $C_p \cdot \gamma$
 γ : 空気の比熱と比重との積 (0.288 kcal/°C·m³ と
仮定)

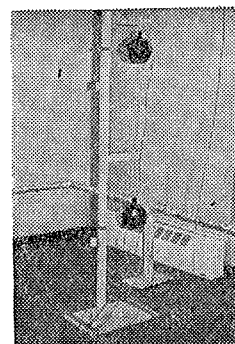
また同時に建物全体への供給熱量を空調機械室に設
置されている熱量計で測定した。

5.1.2. 室内温度 CC熱伝対を用い、自記温度記
録計で記録した。

5.1.3. 輻射温度 CC熱伝
対をグローブサーモ球(写真—
3)にそう入し、自記温度記録
計で記録した。

5.1.4. 室内湿度 毛髪湿度
計で測定した。

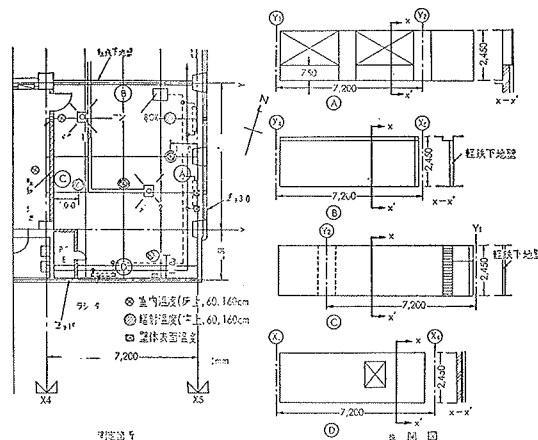
5.1.5. 壁体表面温度 壁体
表面にCC熱伝対の感温部をテ
ープで張りつけて測定し、自記
温度記録計で記録した。



写真—3 グローブ
サーモ球

5.2. 測定箇所

ダクト、ラジエーターの位置、コンデンスBOXの設
置場所、および室内温度、輻射温度、壁体表面温度そ
れぞれの測定箇所を図—7に示した。なお室内温度、
輻射温度は、同一地点で、床上60cm、160cmの上下
2箇所で測定した。



図—7 調査した部屋の詳細と測定箇所

5.3. 調査の経過および結果

5.3.1. 外気温の変化 図—8に調査期間中の外気

温の変化を示したが、これより変動の幅はおおよそ $-7.0 \sim 2.0^{\circ}\text{C}$ であった。

5.3.2. 供給された熱量 外断熱の場合、建物全体を断熱材で包み込むため、内断熱のように、スラブ-梁接合部などに、断熱の不連続部分がないため、外部に流出する熱量を可能なかぎり押えることができ、さらに熱容量の大きいコンクリート躯体が室内側にあるため、躯体が暖まった後は、内断熱よりも熱負荷が低減されることが考えられる。

今回は内断熱、外断熱の定量的な比較はできなかったが、室内温度を 24°C に保つために供給された熱量の傾向は図-9に示した通りで、休日あけを除いて予熱時の負荷が比較的小さい結果が得られた。さらに建物全体への供給熱量のうちエコノベントの効率については調査しなかったため、外断熱による熱負荷の正しい評価をすることはできなかった。また実測

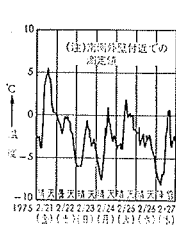


図-8 外気温の変化

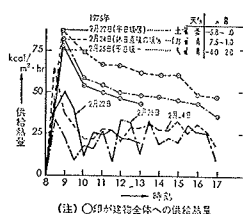


図-9 供給された熱量

値と定常計算値(設計値)とを比較したところ(表-3)、実測値が計算値よりも3~4割小さな値となり、設計値と実測値に大きな差のあることがわかった。

	7F事務所	設計全体
平均室内温度	23.2°C	24.0°C
計算値(逆算)	34.8Kcal/hr	54.6Kcal/hr
実測値	25.2	35.3

表-3

今後、外断熱による熱負荷の低減効果の定量的な把握について検討を進める必要がある。

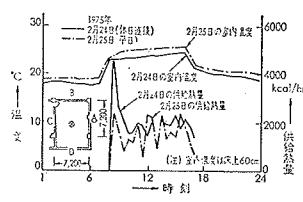
5.3.3. 室内環境

i) 室内温度

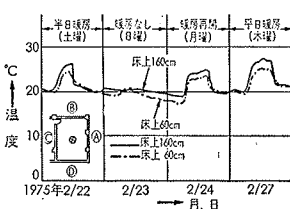
快適な居住性を得るためには室内温度が、

- 1) 冷暖房の開始後できるだけ早く快適温度に達する。
- 2) 冷暖房中の室内温度の変動が少ない。
- 3) 冷暖房停止後の室内温度の急激な変化がない。
- 4) 均一な室内温度分布が得られている。

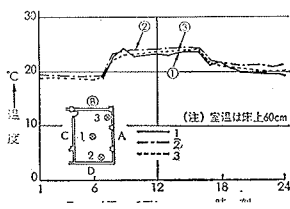
などの条件を満足する必要がある。従来の内断熱では、冷暖房開始後短時間で所定の室温に達しても、冷暖房停止後の変化が大きく、断熱に不連続部分があるため、均一な室内温度分布が得られにくい場合があった。図-10は調査の結果を示したもので、これより、暖房開始後の室内温度は短時間で所定(24°C)の温度に達し(図-10のa)、暖房停止後も比較的低下が少なく、暖房のない休日や夜間でも室内温度は約 20°C に保持されていた(図-10のb)。さらに室内各部でのばらつきもほとんどなく(図-10のc)、外断熱によって当ビルの室内の居住性は良好な状態が保持されていることがわかった。



a) 供給熱量と室内温度



b) 暖房条件と室内温度



c) 室内温度のばらつき

図-10 室内温度

ii) 輻射温度

「室内温度が快適温度であっても、壁、床、天井などからの輻射温度」に著しい高低があると不快感の原因となる。従って快適な居住性を得るためには輻射温度もできるだけ快適室内温度に近似している必要がある。図-11にその調査結果を示したが、輻射温度は室内各部でのばらつきも少なく、ほぼ室内温度に一致していることがわかった。つまり外断熱によって躯体が快適温度に保持されていると考えられる。

iii) 室内湿度

室内湿度は、ガラス内表面、サッシ廻りの結露を防止するため、30%(暖房中)~50%(暖房停止後)RH程度に制御されていた。

6. 室内側壁体表面温度

壁体表面温度は、輻射温度および壁体内部の温度変動に影響する。図-12は調査の結果を示したもので、表面温度は暖房条件のいかんにかかわらず、約 $18 \sim 22^{\circ}\text{C}$ 程度に保たれ、変化が小さく、比較的高温であるため、定性的には、コンクリート壁体の内部温度はその表面温度に比例することを考慮すれば、内部温度の変動も同様の傾向を示すことが推察され、外

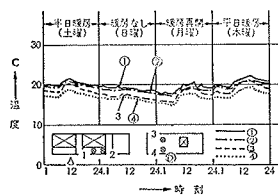


図-12 壁体表面温度

断熱によって、温度ひびわれ、凍害の危険性が著しく低減されるものと思われる。

7. 結露の判定

調査期間中の2月27日の室内温度、湿度の実測値からコンクリート壁体の結露の判定を行い、図13にその結果を示した。図中実測値による水蒸気圧の分布線が飽和水蒸気圧の分布線よりも下側にあることから、コンクリート壁体表面および内部での結露の危険性は全くなく、実際にも結露の発生は認められなかった。

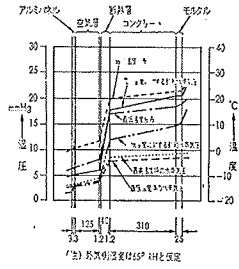


図-13 結露の判定

8. 室内温度および壁体内部温度の解析

今回の調査では、外断熱と内断熱との具体的な比較ができなかったため、外気条件の室内温度、構造体温度分布への影響が両者間で定性的にどのように異なるかを簡単なモデルを想定し、計算によって比較した。

8.1. 室内温度の解析

解析は表-4に示す密閉された空間を想定し、外気温が変動するときの自然室温を応答係数法²⁾を利用した4式によって求めた。解析に使用した定数は表-5の通りである。

$$\phi_n = A \cdot \left\{ \sum_{j=0}^{\infty} Y_j \cdot \theta_{n-j} - \sum_{j=1}^{\infty} Z_j \cdot \phi_{n-j} \right\} + C_p \cdot \gamma \cdot V \cdot \phi_{n-1} / (C_p \cdot \gamma \cdot V + A \cdot Z_0) \quad \text{--- 4}$$

ここに ϕ_n : n 時の室内温度、
 θ_n : n 時の外気温度、 X_j, Y_j : 応答係数

図-14に解析結果を示したが、外断熱は内断熱より室内温度の変動の振幅が小さく、外気の影響が室内に及びにくいことがわかる。つまり外断熱では、コンクリート壁体の熱容量が有効に働き、室内温度の振幅が小さくなるものと考えられるが今回の解析ではモデルが実際の建物の形状とかなり相違しており、内部発熱、家具の熱容量、開口部の影響等については考慮していないので解析結果の相違を実際の建物に対応させて考えることはできない。今後実情に合った検討を進める必要がある。

項目	数値	単位	備考
室内空間の体積	27	m ³	
壁面積	214	m ²	
天井面積	115	m ²	
床面積	115	m ²	
開口部面積	115	m ²	

表-4 解析モデル

項目	数値	単位	備考
外断熱	0.09	W/m ² ・K	
内断熱	0.09	W/m ² ・K	
空気熱容量	0.0012	W/m ³ ・K	
壁熱容量	0.0012	W/m ² ・K	
天井熱容量	0.0012	W/m ² ・K	
床熱容量	0.0012	W/m ² ・K	
開口部熱容量	0.0012	W/m ² ・K	

表-5 解析に使用した定数

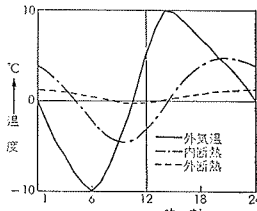


図-14 解析結果

8.2. 壁体内部温度の解析

前述の応答係数を利用した壁体内部の任意点の温度を5式で求めた。

$$x\theta_n = \left\{ \sum_{j=0}^{\infty} Y_j \cdot \phi_{n-j} + \sum_{j=1}^{\infty} Y_j \cdot \theta_{n-j} - \sum_{j=1}^{\infty} Z_j \cdot x\theta_{n-j} - \sum_{j=1}^{\infty} Z_j \cdot x\theta_{n-j} \right\} / (Z_0 X_0 + Z_1 Z_0) \quad \text{--- 5}$$

ここに $x\theta_n$: 壁体内部 x 点での n 時の温度、 $\theta_n, \phi_n, X_j, Y_j, Z_j$ は前述の通り

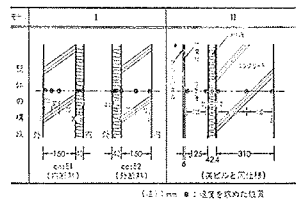


表-6 解析モデル

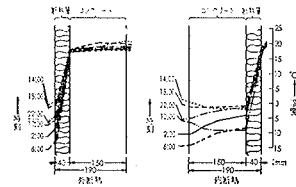


図-15 モデル I の解析結果

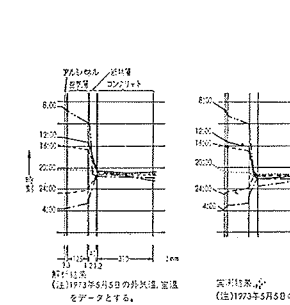


図-16 モデル II の解析結果

解析は表-6に示すモデルについて行い、モデル I に冬期を想定した外気温、室内温度をデータとして与えた場合の解析結果を図-15に示した。これより外断熱は内断熱より壁体内部の温度変化が小さく、かつ冬期には高温に保持されることがわかる。図-17はモデル II の解析結果と実測結果との比較であるが両者ともよく一致した傾向を示している。

これらの結果から、外断熱は壁体の温度変化を低減するため、温度ひびわれ、凍害などの障害防止に非常に有効な方法であることが理論面からも確認された。

9. あとがき

以上の調査結果から、某ビルにおける外断熱では非常に良好な結果が得られ、外断熱が従来の内断熱と比較して、コストが割高になり、施工が難しいなど今後解決すべき問題があるにせよ、冷暖房の熱負荷の低減、室内環境の改善、さらに結露、凍害、温度ひびわれの防止など、内断熱よりはるかに建物の性能向上に効果的な方法であると言えよう。

引用文献

- 1) 藤井正一：断熱設計の基礎知識, Building Engineering, January No. 1973
- 2) 田中辰明, 宮川保之：回転実験室冷暖房熱負荷の非定常理論計算と実例, 大林組技術研究所報, No. 6