

## 「断熱型枠」を見直した寒冷地コンクリート構造の物性観察

只石幸夫\*1 成田優\*2  
サデギアン・M・タギ\*4

長谷英法\*3  
申 雪寒\*5

### 1. はじめに

従来の断熱型枠は、寒中コンクリート施工の断熱養生に用いたもので、コンクリートの強度が0 に冷えるまでに5 N/mm<sup>2</sup>を得られた時点で取り外すものである。

写真1、写真2及び図-1に示している「断熱型枠」は、コンクリート構造を両面断熱して、室内環境の改善や省エネルギーの効用、建物の耐久性も大いに向上するとともに、断熱養生の機能もある。また、構造上の特質の一つとして、断熱と型枠と外装を一体化した施工が可能になることが<sup>1)</sup>上げられ、型枠等の組立て、解体工事を省略するものであり、工期の短縮とコストを抑えることができる。さらに、コンクリート構造を外から断熱していることから、厳しい温度環境にある北海道においても室内温度の調整が容易になり、自然エネルギー利用が可能になるという利点が上げられる。

今まで、この「断熱型枠」を用いた施工実績はまだ少ないのが現状であり、コンクリート構造は外界変動による室内取得熱の変動、外壁からの貫流熱の変動および耐久性などがまだ明らかになっていない。

本研究では、「断熱型枠」を見直したコンクリート構造について、外界変動による室内取得熱の変動と外壁からの貫流熱の変動を解析し、促進中性化試験と実建物の中性化深さ調査を行った。

### 2. 建物熱容量について

鉄筋コンクリートの構造体によって壁体温度が室温に近づき、夏冬を通して安定した温度が保たれれば、耐久性の面での効果は大きい。しかし建物全体の熱容量を増す効果という点では、外壁の熱容量それ自体は床・間仕切り・柱・梁などに比較してそれほど大きいとは言えない。むしろ外断熱による熱容量の増大とは、貫流熱の低下に伴う蓄熱蓄冷効果の増大で、夏なら夜間換気や深夜の冷房、冬なら日中の窓からの日射熱や夜間電力熱蓄冷効果が大きくなり、建物全体の熱性能の向上にその原因がある。

従って両側断熱であっても、厚い断熱と共に床や床下地盤の熱容量を室内側に取り入れる工夫をするならば、



写真-1 コンクリートを流し込む前の「断熱型枠」



写真-2 「断熱型枠」の施工事例

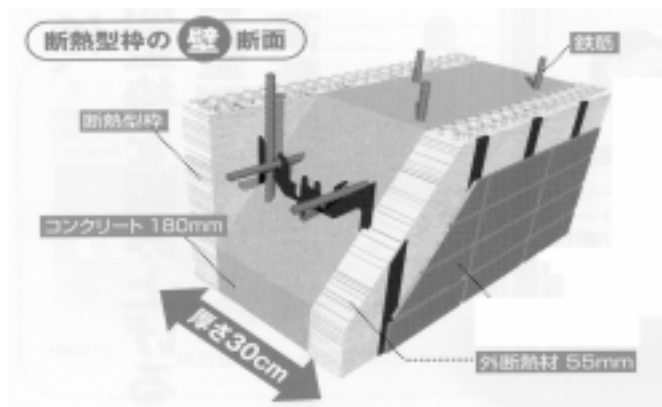


図-1 「断熱型枠」の断面図

\*1 シスコン・カムイ(株) 代表取締役社長  
\*2 シスコン・カムイ(株) 1級建築士 建築部長  
\*3 シスコン・カムイ(株) コンクリート診断士

\*4 タギ建築環境コンサルタント(有) 工博 代表取締役  
\*5 北海道大学大学院工学研究科 工博 外国人研究員

外断熱と同様の効果が生まれる。

### 3. 外界変動による室内取得熱の変動

壁体に厚い断熱を施された内外断熱建物になると、貫流熱量そのものが小さくなるだけでなく、変動成分の減衰と位相の遅れが大きくなり、外気温の室内への影響は小さくなる。

外界変動の影響が最も顕著に現れるのは、外気温と室温の日平均値が等しい場合であるので、以下の変動影響の解析では（外気温 + 日射による相当外気温上昇）貫流熱量の日平均値に対する変動成分および遅れ時間の検討を行った。

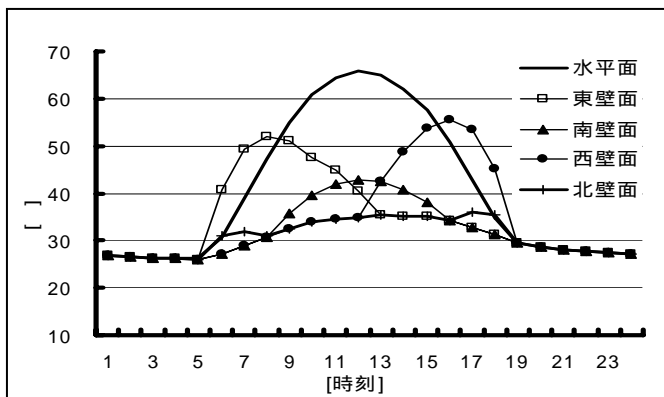


図 - 2 設計用夏の外気温および方位別の相当外気温

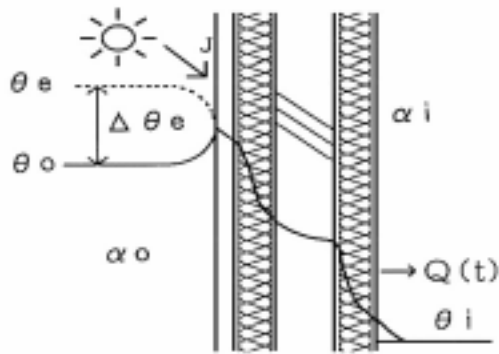


図 - 3 壁体からの貫流応答

### 4. 西向外壁からの貫流熱の変動と断熱

図4は日射吸収率を 0.8 とした外気側の熱伝達率  $23 \text{ w/m}^2$  で室内側が熱伝達率を  $9.3 \text{ w/m}^2$  としたときの西向きの壁面を対象に、室温を平均外気温に等しい一定値と仮定したときの室内への流入熱の変動を示したものである。断熱なしコンクリート 180mm壁の流入熱の最大値は大きく、相当外気温のピークからの遅れも 2 時間程度であるのに対して、内断熱 30mm壁の場合、最大値は急激に減少し、位相の遅れ時間も 3 時間となる。断熱型枠の

壁では、流入熱の振幅がさらに小さくなり、日平均値（定常熱流）に近づくとともに、その位相の遅れは 4 時間を越えるようになる。南側壁面については、5 時間以上の位相の遅れとなるので、相当外気温の影響は小さいことがわかる。

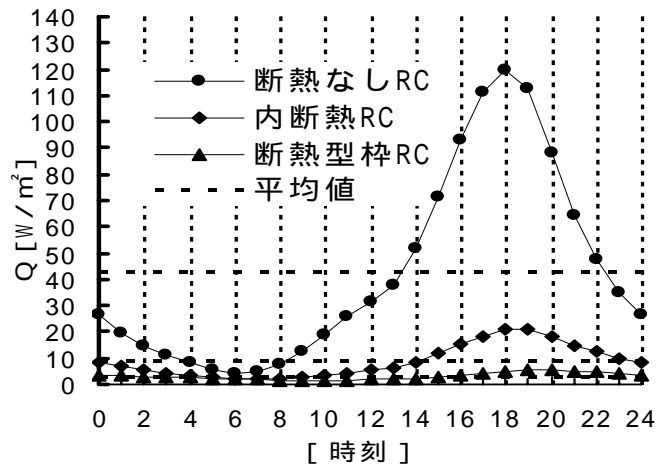


図 - 4 西面壁  $1 \text{ m}^2$ あたりの流入熱

断熱型枠を採用した建物では、夏の外界（外気温 + 日射による相当外気温上昇）変動による流入熱はその絶対値が小さくなるだけでなく、その振幅減衰が大きくなり、しかもその位相に 5 時間以上の遅れが生じることがわかった。つまり少なくとも外界変動に対しては、室温に与える影響は少ないと言える。

屋外設定外気温 日平均 -20 変動幅 ± 10	断熱型枠	断熱型枠	21.1	室内設定温	22	
		断熱型枠	21.2	22		
		断熱型枠	17.6	19.1	20.8	
地中	断熱型枠	断熱型枠	-10.3	16.2	17.7	19.5
		断熱型枠	-4.2	17.4	床下	
		断熱型枠	0.4	17.4		
		断熱型枠	6.5	13.9	17.1	17.9
		断熱型枠				

図 - 5 冬の外気からの室内への影響

図5は冬の室内の温度設定を 22 とし、外気温の日平均値が -20、日変動幅は ± 10（最低気温 -30、最高気温 -10）のときの室内と床下への影響を解析した内外の表面温度分布を示したものである。室内換気排気熱を一旦床下から通して、そこから外へ排出している。一番低い -30 でも壁の温度は 17.6 を保てている。

## 5. 「断熱型枠」を用いたコンクリート構造の耐久性

### 5.1 「断熱型枠」を用いたコンクリートの中性化促進試験

ビーズ法ポリスチレンフォームの「断熱型枠」を用いたコンクリート(写真 - 3)は、中性化の進行が以下の促進中性化試験の結果<sup>3)</sup>とほぼ同様であると考えられる。



写真3 「断熱型枠」を用いたコンクリート

#### 実験方法

コンクリートは、普通ポルトランドセメント、勇払産陸砂、常盤産砕石を用い、水セメント比 58.5%、スランプ 18.0cm、空気量 4.5%である。試験体は厚さ 100mm のモデル壁(100×400×厚 100mm)とし、コンクリートを断熱型枠内に打込み、またはその後 4 週間封緘養生、封緘を解除し、4 週間気中養生(20℃、RH60%)後、両側面にポリスチレンフォーム断熱材を取り付け、それ以外の面はブチルゴムテープでシールした。

促進中性化試験条件は、(社)日本建築学会の「コンクリートの促進中性化試験方法(案)」により温度 20℃、湿度 60%、CO<sub>2</sub> 濃度 5%とした。中性化試験開始後の 8 週において、試験体を割り、フェノールフタレイン法で中性化深さを測った。

#### 実験結果および考察

促進 8 週間の中性化深さの試験結果を表1に示す。また、この表は断熱型枠を施工した場合の施工なし(打放し、N)の場合に対する中性化深さの比を求めて、断熱型枠の中性化抑制効果を表している。

押出法ポリスチレンフォームを用いた工法では、打込み工法の場合(X1)には中性化が全く進行していない。後張り工法(X2)の場合には中性化がわずかに進行した(8 週間で 1.0mm)が、これは試験中のコンクリートと断熱材の密着性がシールが不十分であったためと考えられる。

ビーズ法ポリスチレンフォームを用いた後張り工法(E)では、中性化深さはわずかに 8 週間で 2mm であった。これも試験中のコンクリートと断熱材の密着性がシールが不十分であったためと考えられ、打込み工法の場合には中性化が実際に全く進行しないと思われる。中性化抑制効

果は極めて大きい。

表1 「断熱型枠」によるコンクリートの中性化深さ

記号	断熱型枠	中性化深さ(mm)	中性化深さの比
N	なし	33.7	1
E	・ビーズ法ポリスチレンフォーム ・後張り工法	2.0	0.06
X1	・押出法ポリスチレンフォーム ・打込み工法	0.0	0.0
X2	・押出法ポリスチレンフォーム ・後張り工法	1.0	0.03

### 5.2 「断熱型枠」を用いたコンクリート構造の中性化調査

透気性が極めて小さい押出法ポリスチレンフォームの「断熱型枠」を用いた打込み工法では、既往の実態調査によれば、100mm 厚の打込み工法の場合、建築後 20 年経過しても中性化が全く進行していないとの報告がある<sup>4)</sup>。これらの結果の汎用性について再度確認する必要があるので、押出法ポリスチレンフォームの「断熱型枠」を用いた実建物を調査対象とし、躯体コンクリートの中性化深さの測定を行った。

5.1の促進中性化試験により、二酸化炭素濃度 5%の促進条件で 8 週間経過後の中性化深さは、ビーズ法、押出法ポリスチレンフォームの「断熱型枠」ともほぼ同じであるとの結果が得られた。このことから、ビーズ法ポリスチレンフォームの「断熱型枠」を用いたコンクリート構造(写真4)は、中性化の進行が以下の調査結果<sup>3)</sup>とほぼ同様であると考えられる。



写真4 「断熱型枠」を用いたコンクリート構造物

#### 調査の概要

調査対象押出法ポリスチレンフォームの「断熱型枠」を用いた打込み工法の既存 RC 造建物は、概要を表2に示す。

#### 調査箇所

調査箇所は、建物の部材、部位、方位を考慮して表3

に示す。

表2 調査対象建物の概要

建物名称	建物の概要
経過年数	19年
階数	3階
面積	899m <sup>2</sup>
壁厚さ	180mm
断熱工法	・押出法ポリスチレンフォーム ・打込み工法
内装材	石膏ボード(12mm) + ビニルクロス
断熱材	・押出法ポリスチレンフォーム (厚さ 25mm, 密度 25kg/m <sup>3</sup> )
外装材	繊維混入セメント板(厚さ 8mm)
室内用途	寝室
屋外状況	調査外壁付近に建物なし

表3 建物の調査箇所

部材部位	方位	断熱型枠	調査位置
外壁 外側	南面	・押出法ポリスチレンフォーム ・打込み工法	GL + 40cm
	北面		

#### 中性化深さの調査方法

日本非破壊検査協会規格(NDIS3419:1999)の「ドリル削孔粉を用いた構造物コンクリートの中性化深さ試験方法」に準じて、調査箇所の外装材と断熱材を取り外し、躯体コンクリート面を露出させ、壁の側面に垂直に電動ドリルでゆっくり削孔し、落下した削孔粉が試験紙(1%フェノールフタレインを吸収したろ紙)の一部分に集積しないように試験紙をゆっくり回転させ、落下した削孔粉が試験紙触れて紅色に変色したとき、直ちに削孔を停止し、測定した孔の深さを中性化深さとした。

#### 調査結果および考察

「断熱型枠」を用いた建物の躯体コンクリートの中性化深さの調査結果を表4に示す。この結果より、25mm厚の押出法ポリスチレンフォームと繊維混入セメント板(厚さ8mm)を用いた打込み工法では、外壁の外側は南面、北面とも建築後約20年経過しても中性化が全く進行していないことを示している。これは、既往の実態調査の報告<sup>4)</sup>の結果と一致し、また、5.1の促進中性化試験による実験結果とも一致している。従って、「断熱型枠」を用いた建物は、押出法ポリスチレンフォームを用いた工法では、躯体コンクリートの中性化が全く進行しないといえる。

表4 建物の躯体コンクリートの中性化深さ

部材部位	方位	断熱型枠	中性化深さ(mm)
外壁 外側	南面	・押出法ポリスチレンフォーム ・打込み工法	0
	北面		0

#### 6. まとめ

「断熱型枠」を用いたコンクリート構造の物性を検討した結果は、以下のようにまとめられる。

- (1) 「断熱型枠」壁の夏における流入熱はその絶対値が小さくなるだけでなく、振幅減衰が大きくなり、しかもその位相に5時間以上の遅れが生じることから、外界変動に対しては、室温に与える影響は少ない。
- (2) 一番低い外気温-30 のときで、室内の壁が17.6 を保っていた。このことから冬期の厳しい寒さにも対応が可能であるといえる。また室内換気排気熱を床下から通すことを連続で行うことで、中間期・夏の床下結露の防止にもなる。
- (3) 「断熱型枠」のピース法・押出法ポリスチレンフォームを用いたコンクリート構造物は、中性化が全く進行しない。この結果より、コンクリート構造中の鉄筋が腐食しないといえる。従って、ポリスチレンフォームの「断熱型枠」を用いたコンクリート構造物は、非常に長寿命となる。
- (4) 実態調査によって、押出法ポリスチレンフォームを用いた打込み工法の建物は、躯体コンクリートの中性化が全く進行しないことを再度確認した。この結果は既往の調査結果(20年)と促進中性化試験による結果と同様である。

#### [参考文献]

- 1) 北海道外断熱協議会：外断熱工法ハンドブック、1991年度版
- 2) 絵内正道他：外断熱建物の実用レベルの熱負荷計算法、空気調和衛生工学 第76巻 第1号
- 3) 申雪寒：RC造外断熱建物躯体コンクリートの乾燥と寿命予測に関する研究、北海道大学学位論文、2004.6
- 4) (社)日本建築学会北海道支部：外断熱建築物に関する調査研究報告書、pp.48、1999.3

\* 解析に使用したプログラム: 逐次積分法による二次元非定常熱伝導解析