

平成17-18年度 鳥取県産官学共同研究 研究成果報告

外断熱建築物のライフサイクルコスト低減に関する研究  
～外断熱工法による断熱性能に関する非定常評価～

米子工業高等専門学校 機械工学科  
准教授 森田慎一

平成19(2007)年9月17日(木)14:00～15:00  
フジ化成工業株式会社(米子市)

外断熱工法研究に関する背景 (高耐久性)

外断熱工法は、**耐久性能の向上**および**冷暖房ランニングコスト抑制**が期待できることから、建築物のライフサイクルコスト低減できるとされる。外断熱工法の高耐久性を明らかにした研究は、**コンクリートの中性化を防止を評価した申ら (1)(2)**による研究事例がある。

(1) '外断熱工法の透気性と躯体コンクリートの中性化に関する研究', 申書家, 他2名, 日本建築学会技術報告集 第16号, 21-24, '03.12.  
(2) '外断熱建築物躯体コンクリートの中性化に関する研究', 申書家, 他1名, 日本建築学会技術報告集 第20号, 59-62, '04.12.

外断熱工法研究に関する背景 (高断熱性)

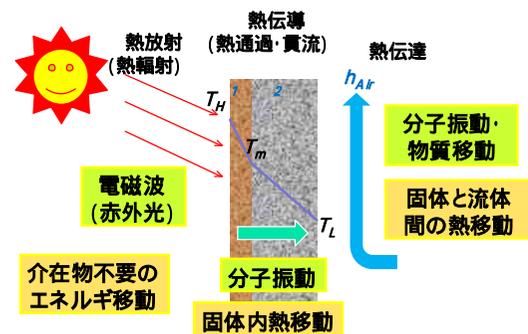
【熱エネルギー的観点による研究】  
森ら<sup>(3)</sup>の実測調査: 札幌市立地, 延べ床面積119.88m<sup>2</sup>, 3階建実建物RC外断熱住宅「深夜電力を利用した空気熱源ヒートポンプシステム」躯体蓄熱型暖房システム(床暖房システム)による室温変動, 躯体の蓄放熱, 熱源機器特性を評価。  
菊田ら<sup>(4)</sup>の数値解析: 森ら<sup>(3)</sup>による実測調査による諸係数を評価対象。

(3) '外断熱建物における躯体蓄熱を利用した暖冷房に関する研究-躯体中心に配管をした場合の蓄放熱性状-', 森太郎, 他4名, 空気調和・衛生工学会北海道支部第38回学術講演論文集, 31-34, '04.3.  
(4) '外断熱住宅の躯体蓄熱型暖房システムに関する研究', 菊田弘輝, 他4名, 日本建築学会環境系論文集, 589, 37-42, '05.3.

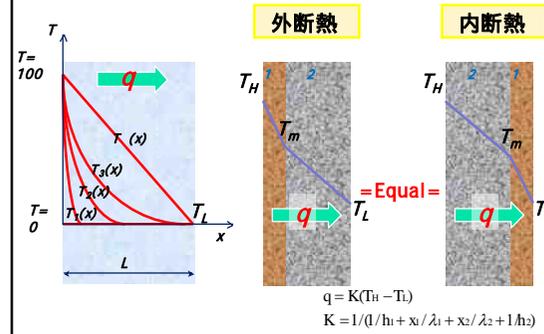
屋外側に断熱材を配する外断熱が、内断熱よりも断熱性に優れていることは明らか。しかし、**具体的数値を示す既往研究は見当たらない。**

外断熱と内断熱を直接比較することによる評価を実施

熱移動(伝熱)の三形態



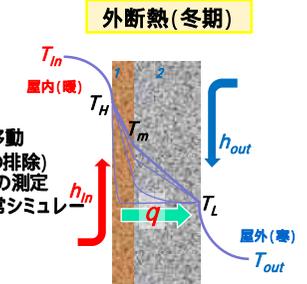
定常と非定常



外断熱工法の断熱性能評価

外断熱工法の断熱性能有効性評価に必要なこと

1. 非定常評価
2. 熱伝達, 熱伝導による熱移動 (冬期想定による熱放射頂の排除)
3. 実験装置による熱伝達率の測定
4. 実験データを用いた非定常シミュレーション



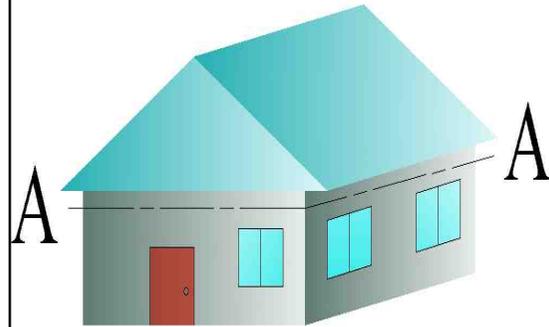
## 本共同研究の目的

H17～18年度共同研究

1. 非定常伝熱現象として評価
  2. 外断熱と内断熱外壁の直接比較
  3. 外断熱、内断熱コンクリート外壁による熱伝達率測定
  4. 損失熱量比較シミュレーション
- H19年度～
5. 実験値を用いた数値シミュレーション
  6. 空調機器のランニングコスト試算

以上、本報告内容

## 内断熱と外断熱の違いとは



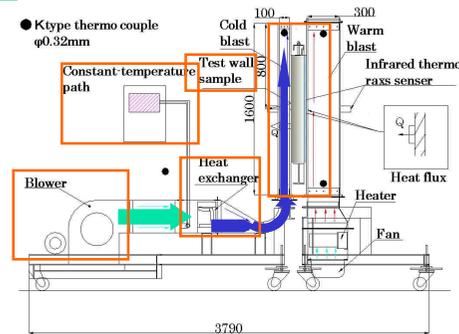
## 実験

### 外断熱・内断熱壁非定常伝熱実験

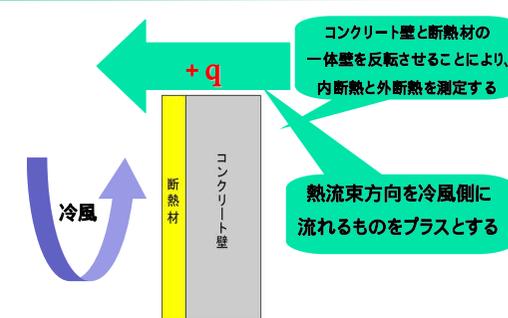
## 実験装置の外観写真



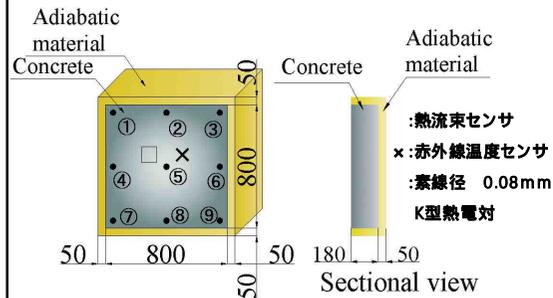
## 実験装置および方法1



## 実験装置および方法2



### 試験片および測定装置

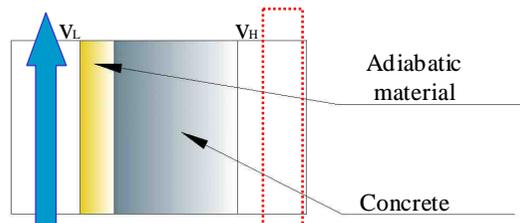


### 実験条件

想定季節 冬期

冷風の流速  $v_L=0.52, 1.25, 1.86$  [m/s]

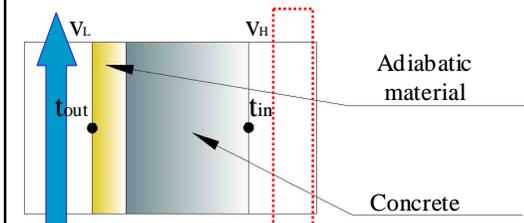
温風の流速  $v_H=0$  [m/s]



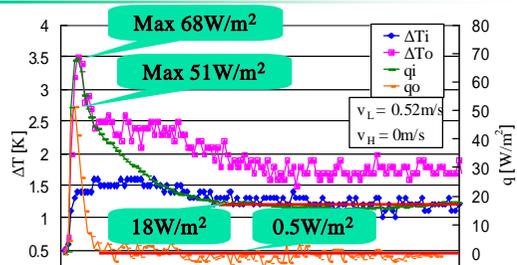
### 実験結果(温度差 $t$ について)

温度差  $t$  は、以下の式により求める。

$$T = |t_{out} - t_{in}|$$



### 実験結果(内・外断熱温度差と熱流束の経時変化 $v_L=0.52$ m/s, $v_H=0$ m/s)



熱移動量の少ない外断熱が  
外乱の影響を受けにくいといえる。

### 数値計算

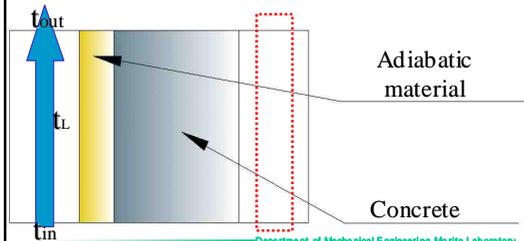
実験結果から得た値から、以下の数値計算を行って内断熱と外断熱を評価していく。

1. 実験より得た熱流束値から熱伝達率を計算する。
2. 計算した熱伝達率より、積算透過熱量を計算する。
3. 一般住宅と10階建てビルを想定したパラメータを与え、それぞれのコンクリート温度差が30K上昇するまでの時間を計算する。
4. 与えた時間内で変化するコンクリート温度差を計算する。

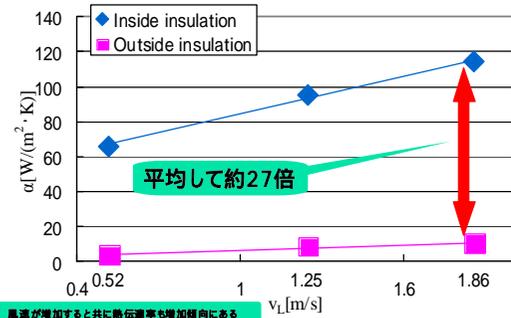
### 計算条件(熱伝達率)

$$\Delta T = \left( \frac{t_{in} - t_{out}}{2} \right) \cdot t_L \text{ [K]}$$

流動空気温度  $t_{in}$   $t_{out}$  試験片表面温度  $t_L$



計算結果 (熱伝達率平均値と各冷風風速 $v_L$ )



風速が増加すると共に熱伝達率も増加傾向にある

計算条件 (積算透過熱量)

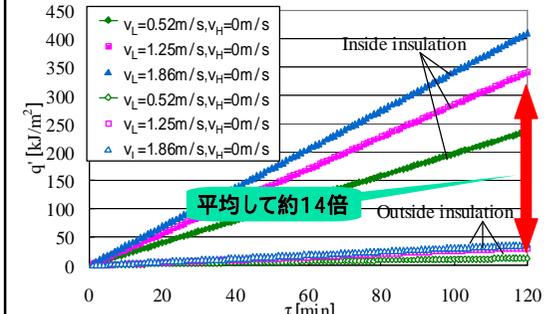
計算から得られた熱伝達率から透過熱量を以下の式から求める。

$$q' = \alpha \cdot \Delta T \quad [kJ / (m^2 \cdot min)]$$

$\alpha$ : 熱伝達率  
 $q'$ : 透過熱量  
 $\Delta T$ : 温度差

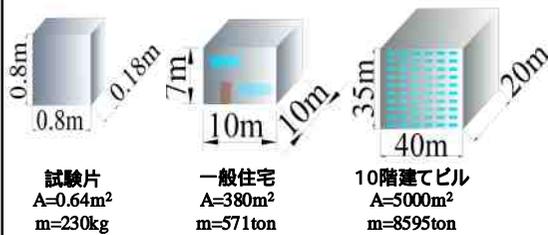
またここでいう  $\Delta T$  は、室内温度を25、室外温度を-5とした時と想定し、温度差30Kをとるものとする。

計算結果 (積算透過熱量)



外断熱が透過させる熱量が少しいことから外断熱による影響が少しいといえる。

各建築物のパラメータ



ただし質量は、建物に厚さ180mmの外壁があるとし、柱や内壁や窓は、考慮しないものとする。

計算条件 ( $t$  に達する時間)

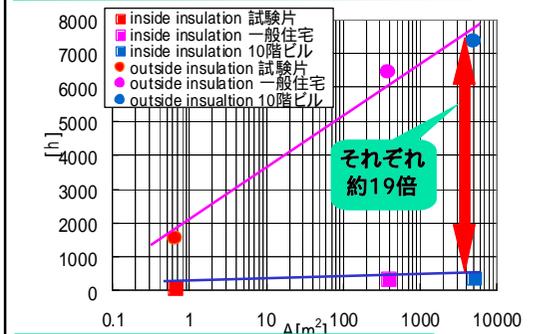
まず、 $t$  を積算熱量同様に室内温度を25、室外温度を-5とした時と想定し、温度差30Kをとるものとして、以下の式より  $t$  に達する時間を算出する。

また式の分子には、30K温度が低下するために必要な熱量分母には、時間変化ごとに逃げる熱量をとる。

$$\tau = \frac{C_p \cdot m \cdot \Delta t}{q' \cdot A}$$

$C_p$ : コンクリート比熱  
 $m$ : 各コンクリート質量  
 $q'$ : 経時透過熱量  
 $A$ : 各建物表面積  
 $\tau$ : 時間

計算結果 (熱量に達する時間と表面積との関係)



外断熱が内断熱に比べ外断熱が低くても室内温度も一度に達することができるといえる。

### 計算条件(時間内で変化する温度差)

時間変化を1,2,5,10hの4種類をとり、それぞれの時間内で変化した温度差  $\Delta t$  を求めた式を以下に示す。

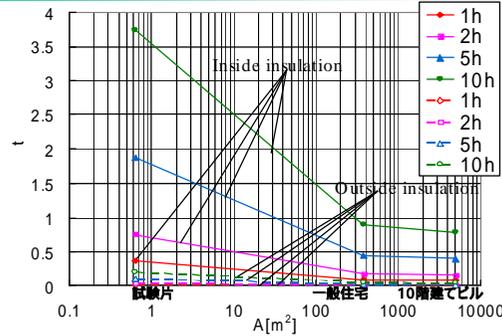
$$\Delta t = \frac{W}{C_p \cdot m}$$

$W$ : 経時変化熱量 [kJ]  
 $C_p$ : コンクリート比熱 [kJ/(kg·K)]  
 $m$ : コンクリート質量 [kg]

ここで表す経時変化熱量は、各時間変化パラメータごとの熱量変化量を指す。

### tと表面積の関係

少ない時間で内断熱は、蓄熱容量を多くしてしまおうが、外断熱は、蓄熱容量が少なくて済む。



### 数値解析

## 非定常伝熱シミュレーション

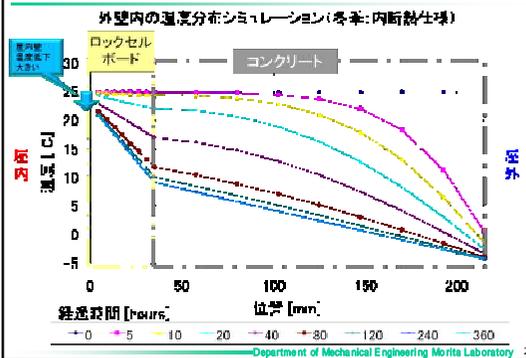
### 外壁の非定常伝熱解析

基礎式 
$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{Q}{c\rho}$$

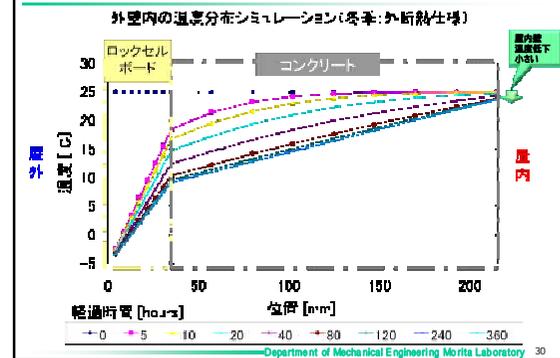
温度伝導率:  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ , 比熱:  $c$ , 発熱密度:  $Q$   
 温度:  $T$ , 時間:  $t$ , 熱流方向:  $x$ , 密度:  $\rho$

発熱密度=0, 外壁内外の熱伝達率に実験値を使用し、差分法によるシミュレーションを実施

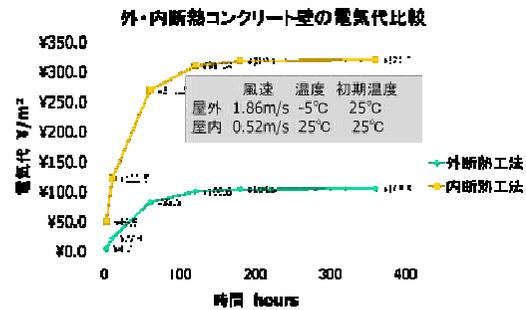
### 数値解析結果: 内断熱壁内の温度分布変化



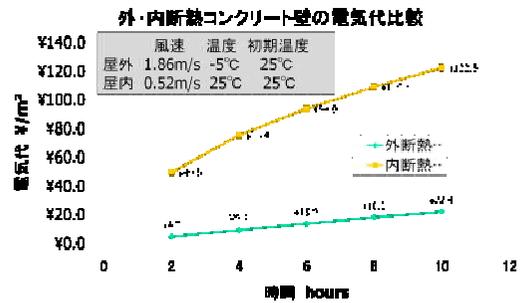
### 数値解析結果: 外断熱壁内の温度分布変化



### コスト比較:長時間



### コスト比較:短時間(一晩)



### まとめ

#### 実験的検討結果

1. 外断熱は,内断熱に比較して外気の影響を受けにくい.
2. 熱伝達率は,内断熱が外断熱の27倍である.

#### 数値シミュレーションによる検討結果

1. 温度差30Kの条件下で,定常状態に達するには約2週間を要する.
2. 外断熱は,内断熱に比較して屋内壁面温度低下を抑制できる.
3. 損失熱量を補う電気代は,外断熱壁が内断熱壁の3分の1となる結果が得られた.

### 今後の検討課題

1. 木造建築物の外断熱工法採用時エネルギーコスト検討
  2. ロックセルボードの薄肉化検討
  3. 湿度透過および凍害検討
- etc

### ご清聴ありがとうございました



謝辞

本研究の実験的検討は,平成18(2006)年度卒業研究テーマ「外断熱工法による断熱性能に関する非定常評価 - 外断熱建築物のライフサイクルコスト低減に関する研究 -」にて実施されたものであり,研究推進にあたっては塚本祥平君(現:川崎造船)に謝意を表す。