

## 地盤冷熱と換気の併用による住宅のパッシブクーリング効果に関する実験的研究

張, 晴原

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

片山, 忠久

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

林, 徹夫

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

塩月, 義隆

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

他

<https://doi.org/10.15017/17712>

---

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 10 (1), pp.51-57, 1988-06-30. 九州大学大学院総合理工学研究科

バージョン :

権利関係 :

# 地盤冷熱と換気の併用による住宅の パッシブクーリング効果に関する実験的研究

張 晴 原\*・片山 忠久\*\*・林 徹夫\*\*  
塩月 義隆\*\*・堤 純一郎\*\*\*

(昭和63年2月29日 受理)

## A Study on Passive Cooling Effect on Dwellings Combined with Ground Cool Heat Resources and Ventilation

Qingyuan ZHANG, Tadahisa KATAYAMA, Tetsuo HAYASHI  
Yoshitaka SHIOTSUKI and Jun-ichiro TSUTSUMI

The ground surface temperature in the crawl space in a dwelling building is lower in summer than the outdoor air temperature or the room air temperature by solar shading and water evaporation. The earth ground under the crawl space is available for the heat resources of passive cooling to combine with ventilation because of the large heat storage capacity of soil. The ventilation system, the sucked outdoor air into the crawl space is cooled by contact with the ground surface and this cooled air is induced in the room and exhausted to the outdoor through the attic space, is proposed and examined in this paper.

Two test houses, one has the proposed ventilation system and other has ordinary attic and crawl ventilator, are built and their thermal performances are compared in the experiments and predicted in the simulations to analyze the effect of the proposed ventilation system for passive cooling. The room air temperature in the proposed system is lower about 4°C than that in the ordinary ventilation or the outdoor air. The passive cooling force of the proposed system is estimated as 30kcal/m<sup>2</sup>h for the crawl area in mid summer.

### 1. はじめに

土は大きな熱容量を持つため、気象条件の変化に対して地中温度の変化が小さく、しかもその位相が気象条件のそれより遅れる。この特性を生かして地盤を建物の自然冷暖房、いわゆるパッシブクーリングおよびパッシブヒーティングの熱源として利用する手法に関して、接地床やクールチューブなどをはじめとする種々の研究が盛んに行われている<sup>1)2)</sup>。

筆者らも地盤をパッシブクーリングの冷熱源として利用する手法についてシミュレーションにより検討し<sup>2)3)</sup>、建物床下の地盤は日射遮蔽と水分蒸発により建物内で最も低温となる部位であること、この部位に外気を接触させて冷却し、室に導入すれば換気を併用したパッシブクーリング効果が期待できることを指摘し

ている。本報告では前述の予測に基づいて2棟の試験家屋を製作し、1棟を地盤冷熱利用棟、他を在来棟として比較実験によりそのパッシブクーリング効果を明らかにするとともに、室温変動予測シミュレーションにより地盤の冷却力の定量的解析を行ったものである。

### 2. 試験家屋の概要

#### 2.1 試験家屋の構造

同一仕様の2棟の試験家屋を九州大学筑紫キャンパス(130°29'E, 33°31'N)内に片流れの屋根が北向きになるように建設した。試験家屋の外観をFig. 1に示す。2棟のうち、比較対象となる基準棟をA棟(在来棟)、地盤冷熱と換気を併用する予定の棟をB棟(地盤冷熱利用棟)と呼ぶことにする。試験家屋は床下、室、小屋裏の3スペースで構成されている。試験家屋の室平面をFig. 2に、建物断面と各種測定点をFig. 3に示す。試験家屋はモルタルブロック2段組の基礎の上に100mm角の木材を軸組して、厚さ11mmの

\*熱エネルギーシステム工学専攻 博士課程

\*\*熱エネルギーシステム工学専攻

\*\*\*日本学術振興会特別研究員

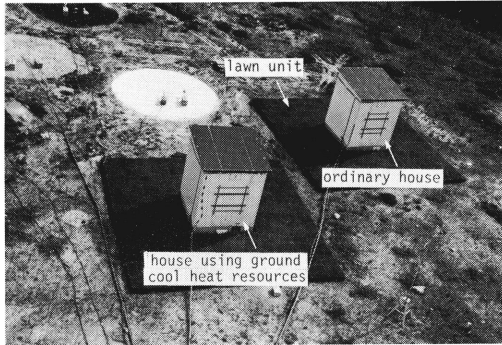


Fig. 1 Model houses

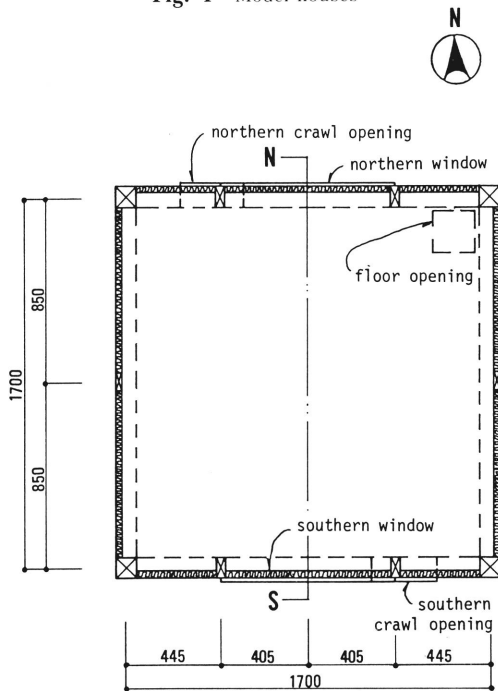


Fig. 2 Room plan of the model houses

白色ペイント塗装合板で外壁を仕上げた。屋根は茶色塗装のトタンで下地は厚さ 6 mm の合板である。また、床は 11mm、天井は 6 mm の厚さのそれぞれ合板である。室外壁と天井はそれぞれ 30mm および 50mm の厚さのフォームポリスチレンで断熱してある。室南北面には窓、床下および小屋裏の南北面にも換気口がある。また、床には床下と室を結ぶ、天井には室と小屋裏を結ぶ換気口がそれぞれある。全ての窓および換気口は密閉閉鎖することが可能である。空気温度は 0.1mm φ、表面および地中温度は 0.3mm φ の T 熱

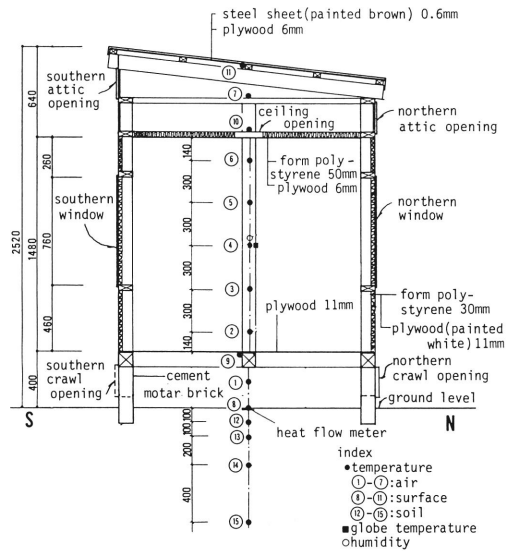


Fig. 3 South-north section of the model houses and measuring points

電対、湿度は高分子素子湿度計で測定する。開口部の通過風量や室内の換気風量が必要な場合には、開口部中央に温度補償熱線風速計を設置して流速を測定し換算する。日射量、外気温、外気露点温度、大気放射量、風向および風速などの気象条件は試験家屋に近接している 5 階建の建物の屋上で測定している。

### 2.2 試験家屋の熱的性能および気密性能

窓およびすべての開口を閉鎖した状態で 2 棟の試験家屋の室温変動および気密性能の同一性を実験的に確認する。

Fig. 4 に A・B 2 棟とも開口部を密閉した状態で地中 80cm の温度、床下地表面温度、床下空気温度、室中央空気温度、室中央グローブ温度および小屋裏空気温度を比較して示す。2 棟の違いはほとんどない。

2 棟の試験家屋の気密性能を加圧法<sup>4)</sup>によって測定する。室内外の差圧と隙間からの空気漏れ量の関係を Fig. 5 に示す。圧力差 0.5~10mmAq では、2 棟の気密性能はよく一致している。

### 2.3 地盤冷熱利用棟

外気を床下地盤面と接触させて冷却し、その冷気を室に導入してパッシブクーリングを行った後、小屋裏を経て排気させるように B 棟を改造する。具体的には床下空間をさらに 2 層に分割しており、B 棟内の空気の流路を Fig. 6 に示す。外気は北側の床下換気口

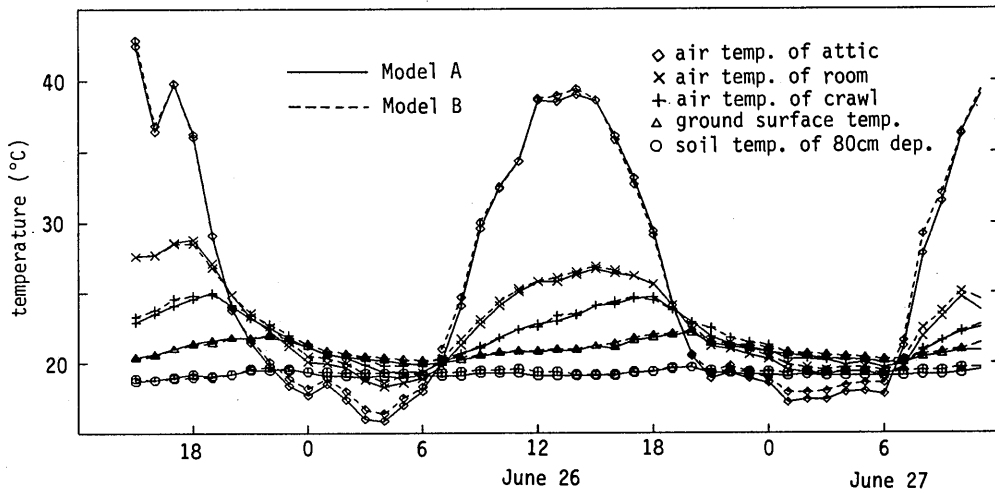


Fig. 4 Fluctuation of temperatures in Model A and B when all openings are closed

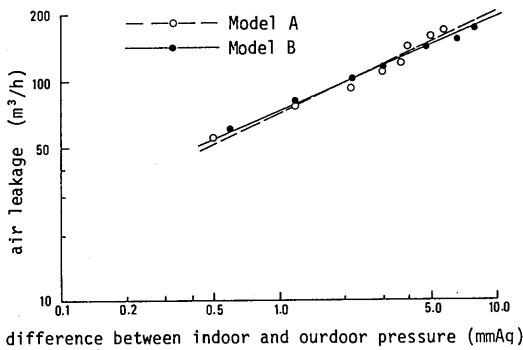


Fig. 5 Relation between indoor-outdoor pressure difference and air leakage of Model A and B

から床下空間に入り、そこで地盤面と接触して冷却された後、床面に設けられた換気口を通じて室に導入される。ここで室空気と混合することによって室温を低下させ、小屋裏換気口を経て室外へ流出する。このような経路の換気を垂直換気、伝統的な床下および小屋裏の各個換気を水平換気と呼ぶことにする。垂直換気の駆動力として今回は天井換気口に小型換気扇(30W)を設置しているが、自然換気を用いた実験も今後予定している。換気扇を運転して垂直換気を行った時の換気量は  $150\text{m}^3/\text{h}$  である。床下で空気を地盤と充分接触させるために設置したガイド板は地盤から  $8\text{cm}$  の高さにある。

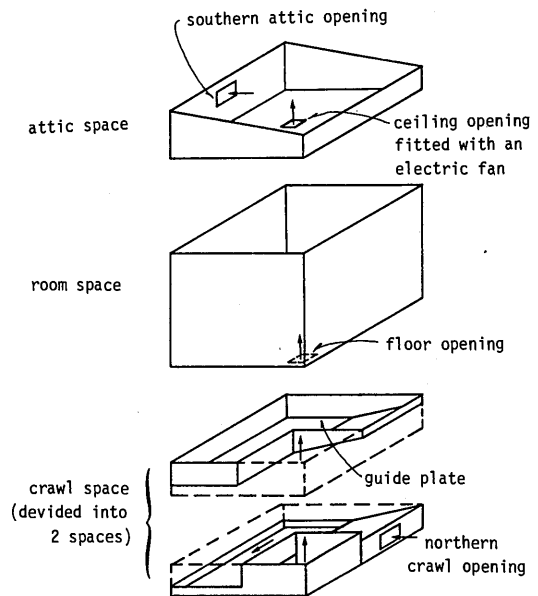


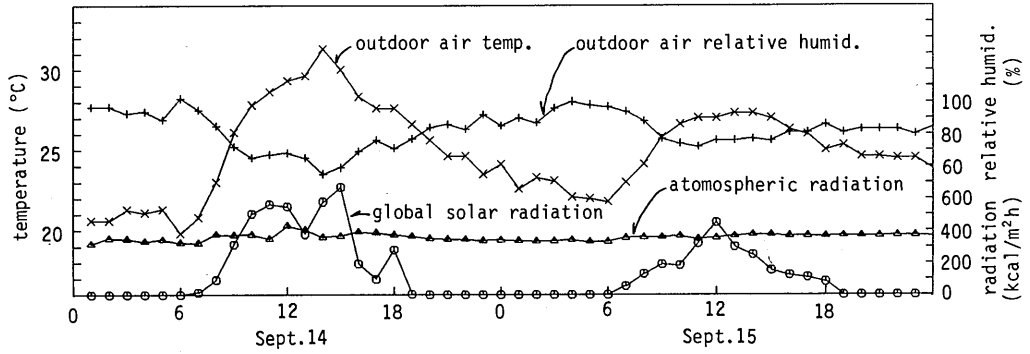
Fig. 6 Air flow route in Model B

### 3. 地盤冷熱利用効果に関する比較実験

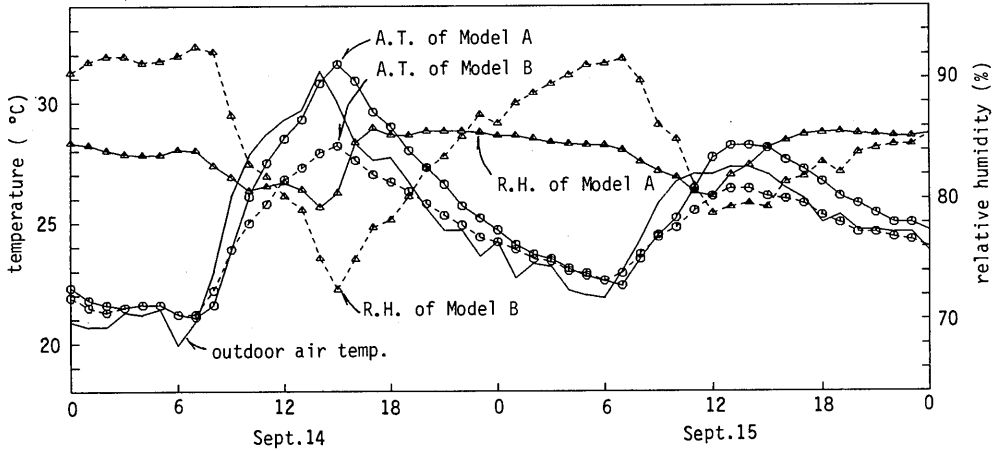
#### 3.1 垂直換気の冷却効果 (実験 No. 1)

垂直換気の効果を明らかにするために、B棟は垂直換気、A棟は全ての換気口を閉鎖して測定を行う。

Fig. 7 (a) に実験時の気象条件を、Fig. 7 (b) に実



(a) weather conditions



(b) room air temp.(A.T.) and relative humidity(R.H.) of Model A and Model B

Fig. 7 Weather conditions and results of experiment No. 1

験結果を示す。密閉した A 棟の室空気温度は外気温と同じ程度である。一方、外気温の最高 32°C に対して B 棟の室空気温度は 28°C に留まり、地盤の冷却効果が明瞭に現れている。A 棟に比較して、B 棟の相対湿度は日中低く、夜間高い傾向にある。

### 3.2 在来床下・小屋裏換気との比較 (実験 No. 2)

A 棟は床下および小屋裏換気口を開放して水平換気を行い、B 棟は実験 No. 1 と同じ垂直換気を行った際の A, B 棟の空気温度および湿度を比較する。実験時の気象条件および実験結果をそれぞれ Fig. 8 (a) および (b) に示す。A 棟は小屋裏と室を天井で断熱しているため、水平換気による室の熱環境の改善は認められないが、B 棟の室空気温度は A 棟のそ

れより 2.5°C 低く、温熱環境の立場から見ると、垂直換気は水平換気より優れていると言える。B 棟の空気温度が外気温より実験 No. 1 ほど顕著に低下しないのは、実験 No. 2 実施時の外気温が実験 No. 1 実施時に比較してかなり低下し、地盤の冷却効果が薄れたためと考えられる。

## 4. シミュレーションによる地盤の冷却力の検討

### 4.1 シミュレーションとその結果

地盤の冷却力を定量的に解析するため、多数室室温変動の解析プログラム PSSP/MV1<sup>(5)(6)</sup>を利用する。床下の空気の通路は長方形の断面を持つので、地表面の熱伝達率を (1) 式<sup>7)</sup>と (2) 式<sup>8)</sup>で予測する。

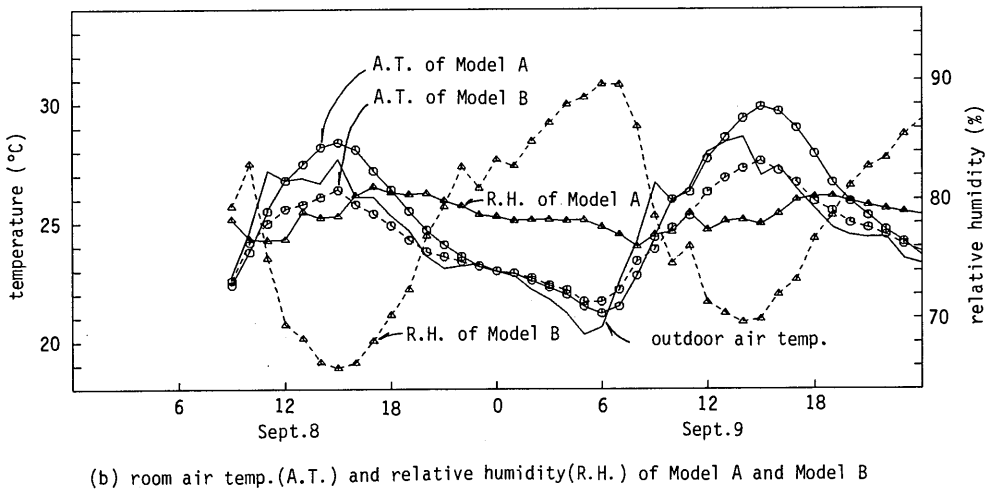
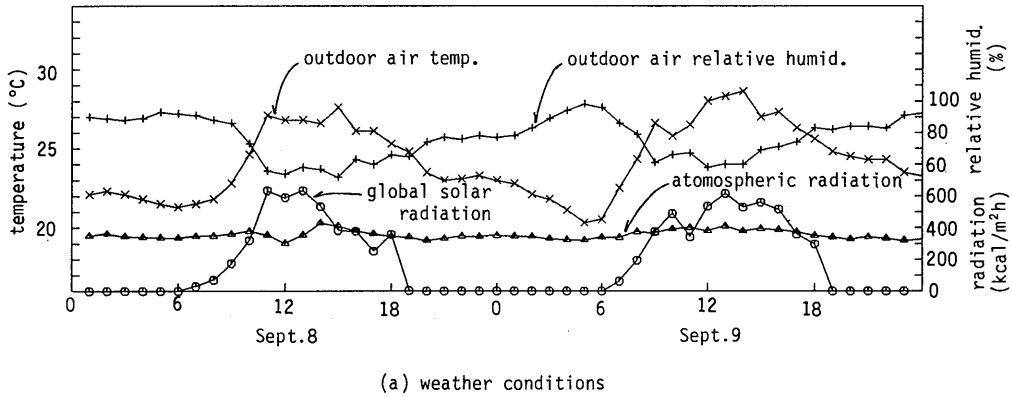


Fig. 8 Weather conditions and results of experiment No.2

$$St = C_f / 2 \cdot Pr^{-3/2} \quad (1)$$

$$C_f = \{21 \log(K_s) + 1.68\}^{-2} / 4 \quad (2)$$

ここで、 $St$  はスタントン数、 $Pr$  はプラントル数、 $C_f$  は摩擦係数、 $R$  は水力半径 (m)、 $K_s$  は地表面の粗さ (m) である。

上式によると、換気量が  $150\text{m}^3/\text{h}$  の場合の床下地盤面での対流熱伝達率は  $14\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  となる。床下地盤面の蒸発比を  $0.5$  で一定として床下地盤面の熱収支式を解く。観測されている気象データと地中  $40\text{cm}$  の実測温度を計算条件として入力する。実験データによると、地中  $40\text{cm}$  の温度は  $\pm 0.7^\circ\text{C}$  の変動幅をもちながらその平均値は  $23^\circ\text{C}$  に保たれている。実験 No. 1 を例にして A 棟の地表面温度、床下空気

温度、室空気温度および小屋裏空気温度の実測値と計算値との比較を Fig. 9 に、B 棟のそれらを Fig. 10 に示す。それぞれの計算値は実測値と非常によく一致している。

#### 4.2 地盤の冷却力

垂直換気を行う場合の地盤の冷却力を、外気温度と床下空気温度の差に換気量と空気の容積比熱を乗じたものとする。実験 No. 1 における B 棟を例にして前述の多数室室温変動シミュレーションから地盤の冷却力を求めると約  $10\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$  であった。

実験 No. 1 は 9 月 14 日～15 日に行われており、外気温度は盛夏時よりかなり低い。外気温度の変動に比べて床下地盤の温度変動は小さいため、実験 No. 1 から求めた地盤の冷却力をそのまま盛夏時のものとするこ

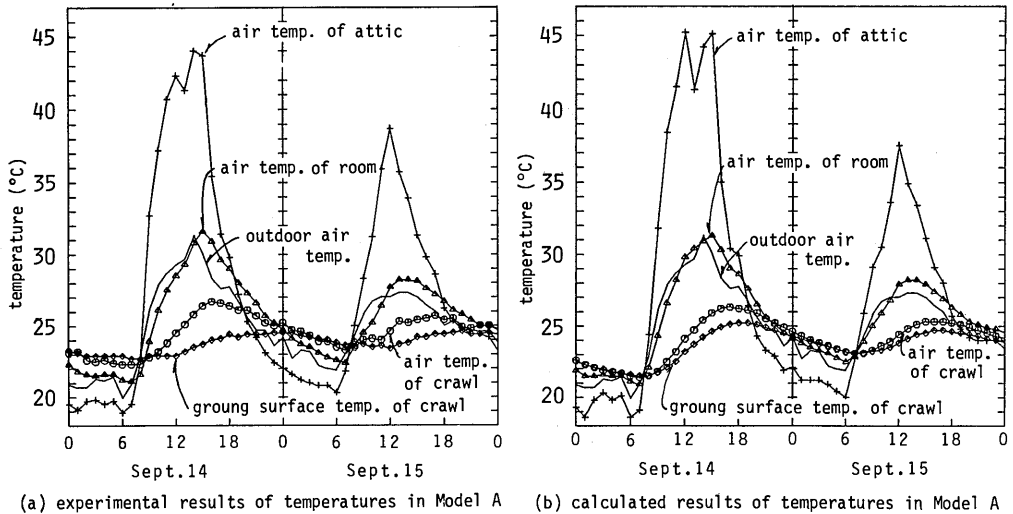


Fig. 9 Comparison of air temperatures and ground surface temperatures between calculated and experimental results of Model A

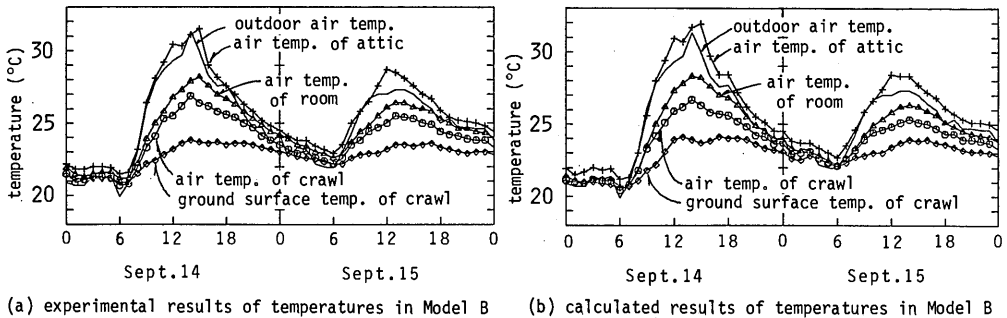


Fig. 10 Comparison of air temperatures and ground surface temperatures between calculated and experimental results of Model B

とはできない。そこで、福岡市の8月1日～7日の1週間の標準気象データ<sup>9)</sup>を用いて、地盤の冷却力を計算した結果、その全日時間平均値は約 15kcal/m<sup>2</sup>h となり、実測時に比較して約 50% 大きな値となる。また昼間(8時～21時)の平均値は約 30kcal/m<sup>2</sup>h であった。

### 5. む す び

試験家屋を作製し、地盤冷熱と換気を併用したパッシブクーリング手法の有効性を明らかにした。試験家屋の熱的挙動のシミュレーションを行い、地盤の冷却力を定量的に解析した。本報告の主な結論は次の如く

である。

- 1) 垂直換気を行って地盤冷熱を利用する家屋の室内温度は外気温度および在来棟の室温より最大 4℃ 低くなる結果が得られた。
- 2) 本研究に用いられる試験家屋および福岡市の標準気象データを用いた場合、盛夏時の昼間における地盤の冷却力は約 30kcal/m<sup>2</sup>h と推定された。

### 謝 辞

本研究に際しては九州大学大学院生中島哲也氏、吉水久雅氏、薛虹氏、北山広樹氏、大黒雅之氏の御世話になった。記して感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 木村建一：ディテール，彰国社，p.61, 1979.
- 2) 林徹夫，片山忠久，塩月義隆，張晴原：地盤冷熱と自然換気を利用した住宅のパッシブクーリング手法の検討，九州大学総合理工学研究科報告，第9巻第1号，昭和62年7月，pp.73-78.
- 3) 林徹夫，片山忠久，塩月義隆，堤純一郎，張晴原，薛虹：地盤冷熱と自然換気を利用した住宅のパッシブクーリングに関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和62年，pp.899-900.
- 4) 村上周三，吉野博：住宅の気密性能に関する研究，日本建築学会論文報告集，No. 325, 1983. 3, pp. 104-115.
- 5) T. HAYASHI, Y. URANO, T. WATANABE and Y. RYU: Passive System Simulation Program "PSSP" and its Application, Proc. of B. E. S. C., pp. 346-353, 1985.
- 6) T. HAYASHI, Y. URANO, T. KATAYAMA, T. SUGAI, T. WATANABE, Y. SHIOTSUKI AND Q. ZHANG: Prediction of Air Distribution in Multiroom Buildings, Proc. of Roomvent'87, pp. 28-47, 1987.
- 7) 西川兼康，藤田恭伸：伝熱学，理工学社，p. 160, 1985.
- 8) H. SCHLICHTING: Boundary Layer Theory, 7th ed., McGraw-Hill, p. 621, 1979.
- 9) 松尾陽，横山浩一，石野久弥，川元昭吾：空調設備の動的熱負荷計算入門，日本建築士協会，1980.