

# 地下室の保温性に及ぼす諸要因に関する 二、三の知見

稲田善紀<sup>1</sup>・島崎 修<sup>2</sup>・上田貴夫<sup>3</sup>・松本 喬<sup>4</sup>・杉 源嗣<sup>5</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町3)

<sup>2</sup>学生会員 愛媛大学大学院理工学研究科博士前期課程 土木海洋工学専攻 (〒790-8577 松山市文京町3)

<sup>3</sup>正会員 工博 ㈱竹中工務店 エネルギーエンジニアリング本部 (〒104-0061 東京都中央区銀座8-21-1)

<sup>4</sup>正会員 日産建設㈱ 工事技術本部土木技術部 (〒107-0062 東京都港区南青山1-2-6)

<sup>5</sup> ㈱杉住宅 (〒790-0014 松山市柳井町1-13-8)

人々の生活水準が向上し、各家庭において様々な機能を持つ生活空間が要求されつつあり、保温効果および遮音効果が高い部屋が要求されている。その解決策の一つとして地下室が考えられる。

本研究では地下室の保温効果に着目し、3タイプの実物大モデル地下室を用いて周辺地盤および室内の温度変化を測定し、地盤の温度変化が地下室に及ぼす影響について検討した。また、地下室の保温性に影響を及ぼす要因の一つである周辺地盤の熱物性値を求め、地下室を想定したモデルの温度解析を行い土中占有部分の差異が室内の温度変化に及ぼす影響について検討した。次に、最近建築資材として普及している断熱材を地下室に使用した場合を想定し、冷暖房に要する消費エネルギー量について検討した。

**Key Words :** *maintaining temperature, soil, basement, adiabatical material, quantity of energy consumption*

## 1. 緒言

近年、人々の生活水準の向上に伴い、各家庭においてオーディオルーム、楽器練習室などの多種多様な目的に使用できる空間が求められている。しかし我が国は土地が狭いうえ、都市部では地価の問題もあり、これらの空間を確保することが困難な状況にある。これら諸問題の解決策の一つとして地下の利用が考えられ、1989年10月に建設省の通達<sup>1)</sup>により、ある一定の制限が設けられているものの無開口タイプの地下室の設置が可能となった。また、1994年6月には地下室の床面積を容積率に算入しない旨の規制緩和を行った<sup>2)</sup>。こうした背景もあり今後、保温性および遮音性の良い地下室の需要が増加するものと思われる。

これまで、地下室の特性に関しては地下式、半地下式において周辺温度の影響による保温効果を検討

するなどの報告がされてきているが<sup>3), 4)</sup>、土中占有部分の異なる地下室において同一条件下で保温性を比較検討した例はない。そこで本研究では、以下に示すように、地盤が地下室の保温性に及ぼす影響について調べた。まず、地下式、半地下式および地上式の3タイプの実物大モデル地下室を用いて周辺地盤と室内の温度測定を行い、土中占有部分の差異が居室の温度変化に及ぼす影響について検討した。次に、地下室の保温性に影響を及ぼす要因の一つとして考えられる地盤の熱物性値を実験により求め、実物大モデル地下室の周辺地盤の熱物性値の分布を求めた。得られた熱物性値を用いて3タイプの地下室を想定したモデルの温度解析を行った。また、近年、快適な住環境を求め、断熱材を施した住宅が増加していることに着目し、地下室に断熱材を使用した場合の冷暖房に要する消費エネルギー量を測定し断熱材の効果を比較検討した。

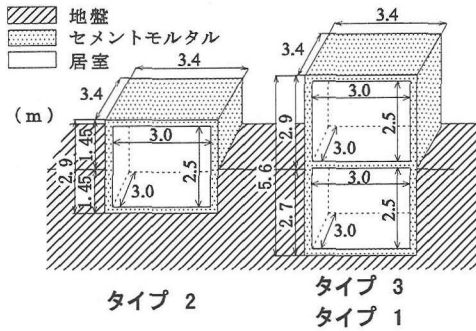


図-1 実物大モデル地下室の断面図

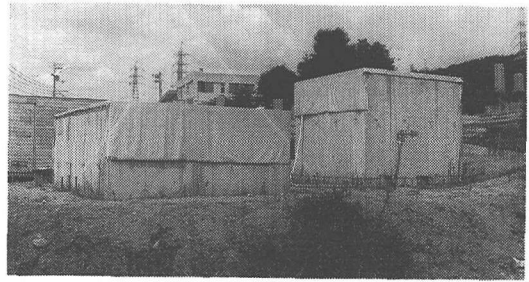


写真-1 実物大モデル地下室の外観

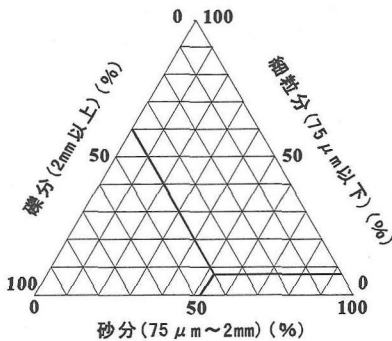


図-2 三角座標による地盤の分類

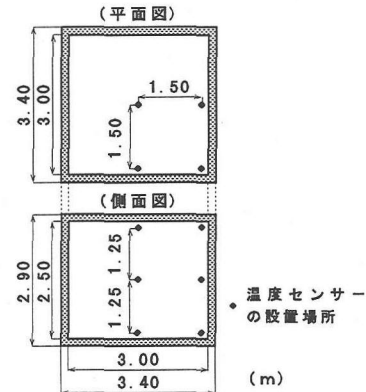


図-3 室内温度センサーの配置図

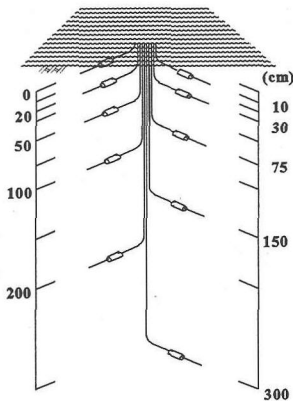


図-4 地中温度センサーの配置図

タイプ 1 居室部分を全て地中に埋設したもの。  
 タイプ 2 居室の下半分を地中に埋設したもの。  
 タイプ 3 タイプ 1 の上部に設置したもの。  
 その断面図を図-1に示す。この場合の紙面直角方向は横方向と同様の形状である。また、外観を写真-1に示す。次に、地下室周辺の地盤を採取し、地盤の物理的性質を求めた。まず、三角座標による分類では図-2に示すように粘性の少ない砂質土に分類され、まさ土であることがわかった。また、液性限界試験を行い流動曲線を求めた結果、液性限界は22.2%、また流動曲線の勾配である流動指数は15.05であることがわかった。次に、地盤の地表面付近および地表面から地下20, 50, 70および100cmまでの5地点において地盤を採取し、式(1)<sup>5)</sup>に代入することにより間隙比を求めた結果、0.86~1.10であった。

## 2. 地下室の保温効果

### (1) 実物大モデル地下室の概要

本実験では、以下に示す3種類の鉄筋コンクリート製の部屋（内寸法3.0×3.0×2.5m、壁厚20.0cm）を実物大モデル地下室として松山市内の一般住宅地に作製した。

$$e = (G_s / \gamma_t) \gamma_w - 1 \quad (1)$$

ただし、

$e$  : 試料の間隙比

$G_s$  : 土粒子の比重

$\gamma_t$  : 試料の湿潤単位体積重量

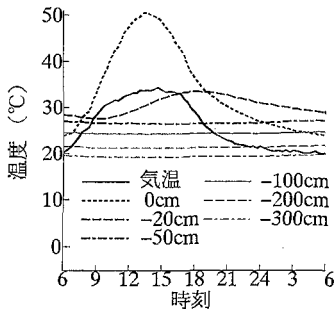


図-5 地中の温度変化(夏)

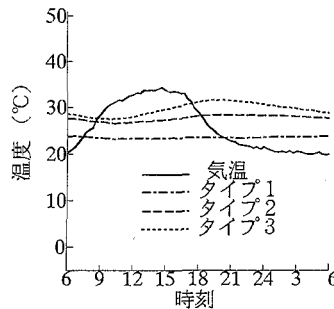


図-6 室内の温度変化(夏)

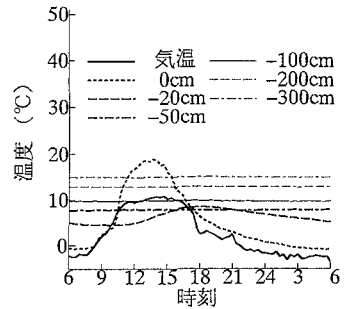


図-7 地中の温度変化(冬)

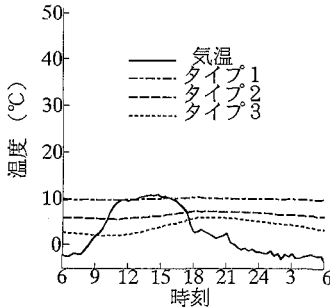


図-8 室内の温度変化(冬)

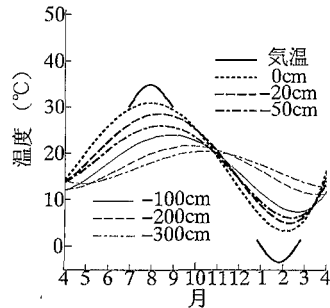


図-9 地中の温度変化(年間)

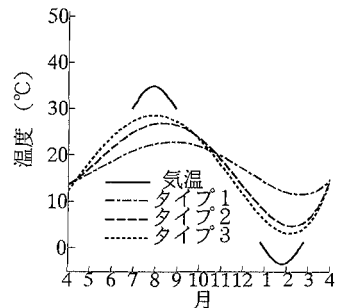


図-10 室内の温度変化(年間)

$\gamma_w$  : 水の単位体積重量

地下室周辺地盤における地下水位について一年を通して観察した結果、梅雨期には地表面付近、梅雨期を除く季節では地下140cm付近に地下水位があることを確認した。

## (2) 測定結果および考察

本実験では、(1)で述べた実物大モデル地下室を用いて春(3月~5月)、梅雨期(6月)、夏(6月~8月)、秋(9月~11月)および冬(12月~2月)の地中温度および室温の経時変化を測定した。図-3に示すように各部屋の内部に温度センサーを12本設置し、また、図-4に示すように地中に地表面から地下3mの間に温度センサーを10本設置して温度測定をした。

まず、8月初旬の2週間温度測定を行い、晴天の日の測定結果の平均値を求めた。地中温度の測定結果を図-5に示す。この結果より、この測定範囲内では、地中深くなるにつれて気温の影響を受けにくく、温度が低くなっており、また、地中50cm以深では1日の温度変化が小さいことがわかる。また、この場合の室温(室内の平均値)の変化を図-6に示す。地中温度の影響を受け、土中占有部分が増すにつれて室温は低くなり1日の温度変化も小さくなることわかる。

次に、2月初旬の2週間温度測定を行い、晴天の日の測定結果の平均値を求めた。地中温度の測定結果を図-7に示す。地中深くなるにつれて気温の影響を受けにくく、温度が保たれており、また、夏の場合と同様に、地中50cm以深では1日の温度変化が小さいことがわかる。また、この場合の室温の変化を図-8に示す。地中温度の影響を受けるため、土中占有部分が増すにつれて室温は高く、また、1日の温度変化も小さくなることわかる。

月ごとの測定結果から晴れた日の地中および室内の平均温度を求め、一年を通しての地中および室内温度の経時変化を図-9および図-10に示す。これより、地中深くなるにつれて温度変化が小さくなることわかる。また、その影響を受けて室内の温度変化も土中占有部分が大きくなるにつれて小さくなることわかった。

## 3. 地下室周辺地盤の熱物性値

地下室の温度変化を解析によって求める場合、周辺地盤の比熱、熱拡散率などの熱物性値が必要となる。しかし熱物性値は地盤の間隙比および含水比に影響され変化するものと推察される。そこでここでは、まず、深さによる地盤の間隙比の変化を求め、間隙比の変化が地盤の熱物性値に及ぼす影響について検討した。次に、季節および深さによる地盤の含

表-1 地盤の熱物性値 (含水比=0%)

間隙比	熱拡散率 cm <sup>2</sup> /sec	熱容量 cal/(cm <sup>3</sup> ・°C)	熱伝導率 cal/(cm・sec・°C)
0.823	4.713 × 10 <sup>-3</sup>	3.690 × 10 <sup>-1</sup>	1.739 × 10 <sup>-3</sup>
1.032	4.861 × 10 <sup>-3</sup>	3.311 × 10 <sup>-1</sup>	1.609 × 10 <sup>-3</sup>
1.180	5.107 × 10 <sup>-3</sup>	3.086 × 10 <sup>-1</sup>	1.576 × 10 <sup>-3</sup>

1 [cm<sup>2</sup>/sec] = 1.0 × 10<sup>-4</sup> [m<sup>2</sup>/sec]

1 [cal/(cm<sup>3</sup>・°C)] = 4186 [kJ/(m<sup>3</sup>・K)]

1 [cal/(cm・sec・°C)] = 418.6 [W/(m・K)]

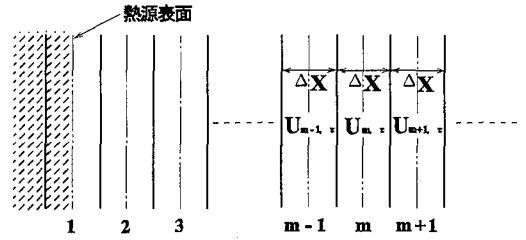


図-11 一次要素分割法の原理説明図

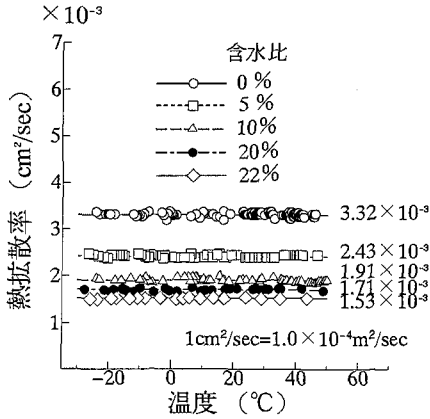


図-12 地盤の熱拡散率

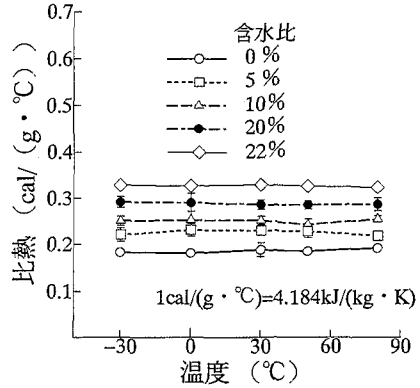


図-13 地盤の比熱

水状態の変化を求め、含水比の変化が地盤の熱物性値に及ぼす影響について検討した。

### (1) 地下室周辺地盤の諸性質

2. (1) より地下室周辺地盤における間隙比は、0.86~1.10であることがわかった。ここでは、この間隙比の変化の範囲内で間隙比が熱拡散率、熱容量などの熱物性値に及ぼす影響を調べるため、松山市内の住宅地から地盤を採取し、含水比0%の地盤を用いて間隙比を変化させた場合の熱物性値を求めた結果、表-1に示すように実用上はほぼ一定であることがわかった。周辺地盤はある程度締め固められていることが考えられ、この変化の範囲内では地盤の熱物性値に及ぼす影響は実用上はほぼないと想定される。そこで、以下において含水比および温度を変化させた場合における比熱、熱拡散率などの熱物性値を比較した結果について検討する。今回対象とした地盤の間隙比は周辺地盤の平均値である0.95の一定とした。この場合、含水比が0%の場合の体積含有率は土粒子：空気=51：49、土粒子が液体状になる含水比22%の場合、土粒子：水：空気=51：28：21である。

### (2) 熱拡散率

含水比の差異が地盤の熱拡散率に及ぼす影響について検討するため、要素分割法に実測値を適用させる方法<sup>6)</sup>により地盤の熱拡散率を求めた。今回用いた試料は地下室周辺から採取したものを使用し、含水比22%において液性限界であることから、含水比0%、5%、10%、20%および22%の試料を作製した。また、周辺環境の温度が変化することも考慮して-25°C~50°Cの範囲の熱拡散率を求めた。実験では試料を20×20×10cmに作製したものを使用し、供試体の上部のみに熱源を設置し、他の面は断熱材で覆い、一次的に熱が伝わるようにした。熱源には低温時に液体窒素、高温時には熱湯を使用し、その場合の温度分布の経時変化を熱源から5mm間隔に温度センサーを設置して測定した。図-11に示すような一次的な熱伝導問題である場合、熱拡散率は式(2)<sup>6)</sup>に代入することにより求めることができる。

$$\left( \frac{\Delta X^2}{\kappa \Delta \tau} - 2 \right) U_{m,\tau} + U_{m+1,\tau} + U_{m-1,\tau} = \frac{\Delta X^2}{\kappa \Delta \tau} U_{m,\tau+\Delta \tau} \quad (2)$$

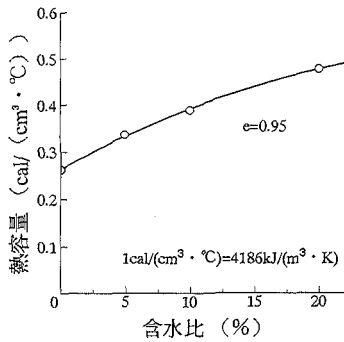


図-14 地盤の熱容量

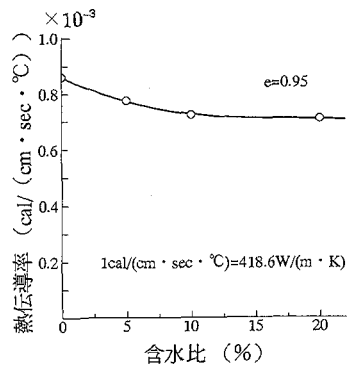


図-15 地盤の熱伝導率

ただし、

- $U_{m,\tau}$  : 要素  $m$  の時間  $\tau$  における温度
- $\Delta\tau$  : 時間間隔
- $\Delta X$  : 要素間の幅
- $\kappa$  : 熱拡散率

得られた結果を図-12に示す。これより、含水比が増加するにつれて試料の熱拡散率が低下していることがわかる。これは、水の熱拡散率が空気の熱拡散率に比べて小さいためであると考えられる。また、温度による値の変化はほとんどなく、実用上ほぼ一定とみなせる値である。

### (3) 比熱

本実験では、含水比の差異が地盤の比熱に及ぼす影響について検討した。実験に用いた試料の含水比は前述の熱拡散率の場合と同様にし、 $-30^{\circ}\text{C}$ 、 $0^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C}$ 、 $50^{\circ}\text{C}$ および $80^{\circ}\text{C}$ における試料の比熱を求めた。

実験では、蒸留水を入れた断熱材の容器の中に試料を投入し、容器を密閉した後に容器内部を攪拌し、水温と試料の平衡温度を測定した。得られた結果を式(3)に代入することにより比熱を求めた。

$$c = \frac{m_w |t_2 - t_1|}{m_s |t - t_2|} c_w \quad (3)$$

ただし、

- $c$  : 試料の比熱
- $c_w$  : 水の比熱
- $m_s$  : 試料の重量
- $m_w$  : 水の重量
- $t_1$  : 初期の水温
- $t_2$  : 試料と水が平衡状態時の水温
- $t$  : 試料の初期温度

実験結果を図-13に示す。これより、含水比が増加するにつれ試料の比熱が大きくなるのがわかる。これは、空気の比熱と比較して水の比熱が大きいためであると考えられる。また、温度による値の変化はほとんどなく、それぞれ実用上ほぼ一定とみなせる値であると考えられる。

### (4) 熱容量

(3)における実験で得られた比熱を用いて、含水比を変化させた場合における地盤の熱容量を算出した。ただし、このとき用いた試料の単位体積重量は地下室周辺地盤の間隙比が0.95であることを考慮して式(4)に含水比を代入することにより求めた。

$$\gamma_i = \frac{G_s(1+w/100)}{1+e} \gamma_w \quad (4)$$

ただし、

- $\gamma_i$  : 試料の湿潤単位体積重量
- $G_s$  : 土粒子の比重
- $w$  : 試料の含水比
- $e$  : 試料の間隙比
- $\gamma_w$  : 水の単位体積重量

得られた結果を図-14に示す。その結果、含水比の増加に伴い試料の熱容量は増加していることがわかる。これは間隙中の水の熱容量が空気の熱容量に比べ大きいためと考えられる。

### (5) 熱伝導率

熱伝導率は(2)および(4)で得られた熱拡散率と熱容量を式(5)に代入することにより求めた。

$$\lambda = \kappa c \gamma_i \quad (5)$$

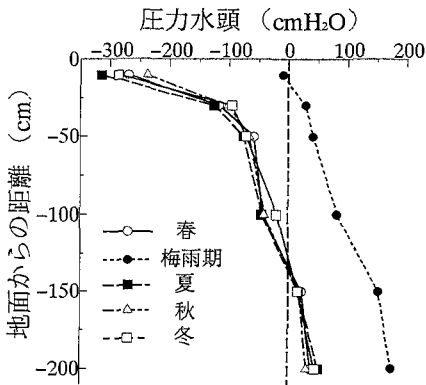


図-16 地盤の圧力水頭の分布

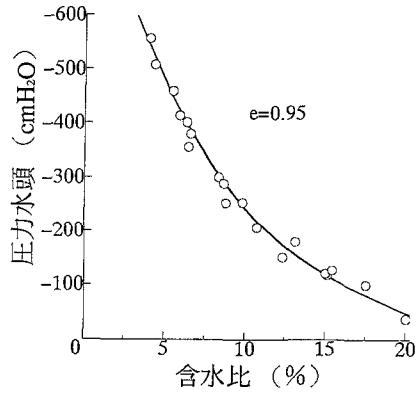


図-17 含水比と圧力水頭の関係

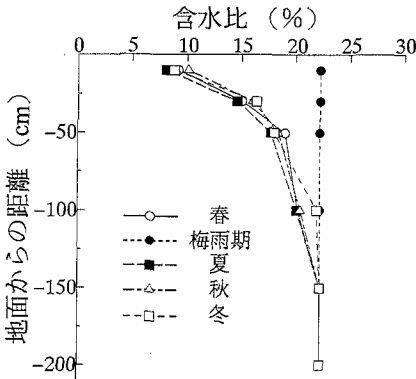


図-18 地盤の含水比の分布

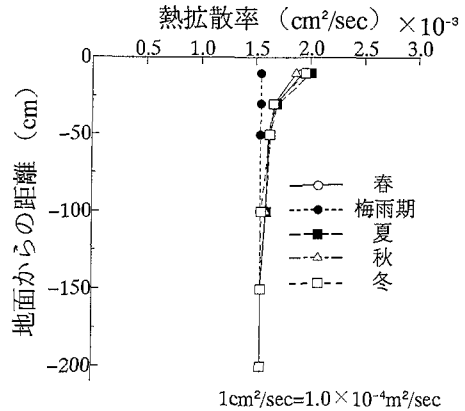


図-19 地盤の熱拡散率の分布

表-2 地盤の地下水位の変化

春	梅雨期	夏	秋	冬
-134cm	-15cm	-137cm	-135cm	-128cm

ただし、

$\lambda$  : 試料の熱伝導率

$\kappa$  : 試料の熱拡散率

$c$  : 試料の比熱

$\gamma$  : 試料の湿潤単位体積重量

得られた結果を図-15に示す。これより、含水比が増加するにつれ熱伝導率は徐々に小さくなるのがわかる。

### (6) 地下室周辺地盤の熱物性値の分布

前述の実験により、地下室周辺地盤における間隙比の変化の範囲内では熱物性値に及ぼす影響はほとんどなく、含水比が影響を及ぼすことがわかった。ここでは、地盤の含水比の季節および地中の深さによる変化を求め、地下室周辺地盤の各季節における

地盤の熱拡散率、熱容量および熱伝導率の分布を求めた。

含水比の分布を求めるため、まず、各季節における地中の圧力水頭を求めた。測定には一般に地盤の毛管現象による負の圧力水頭を求めるのに使用されるテンシオメータを使用した。2. (1) で述べた地下室周辺地盤の地下 10cm, 30cm, 50cm, 100cm, 150cmおよび200cmの深さにテンシオメータを設置し、圧力水頭を測定し、各季節における地盤の圧力水頭の変化を求めた。また、地下水位の変化の観察結果を表-2に示す。測定は一年を通して毎月6, 7回行い、各季節における平均値を求めた。得られた結果を図-16に示す。これより、地盤の圧力水頭は深さが増すにつれ増加していることがわかる。また、梅雨期では雨量が多いため地盤の圧力水頭はいずれの深さにおいても他の季節に比べかなり高く、圧力水頭が0 (cmH<sub>2</sub>O) の地点が地下水位であると考えると、地下水位が上昇していることがわかった。

次に、含水比と地盤の圧力水頭の関係を求めた。実験方法は2. (1) で述べた地下室周辺から地盤

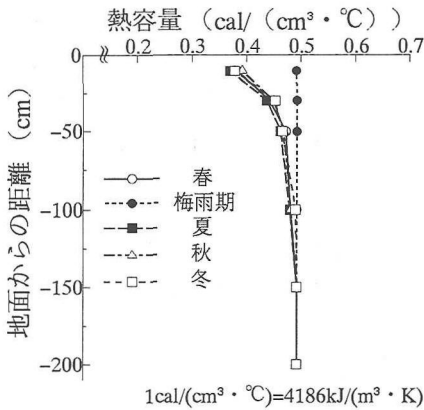


図-20 地盤の熱容量の分布

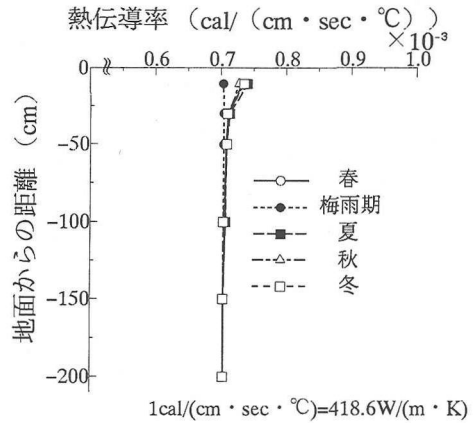


図-21 地盤の熱伝導率の分布

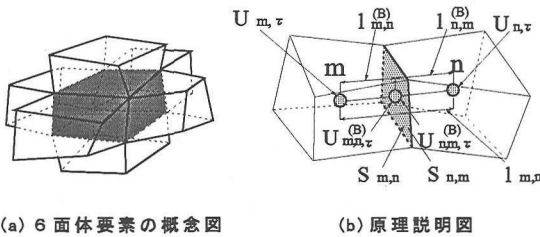


図-22 三次元要素分割法の原理説明図

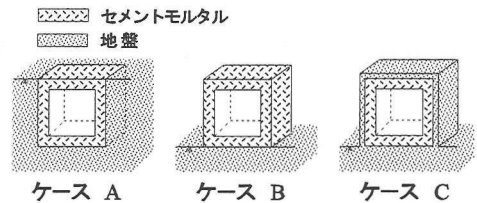


図-23 解析に用いたモデルの断面図

を採取し、周辺地盤の間隙比(0.95)になるように締め固めて25×25×25cmの試料を作製し、テンシオメータを試料に挿入して圧力水頭を求めた。得られた結果を図-17に示す。

以上の測定結果より、地中における含水比の分布を算出した。また、地下水位以下の地盤は液性限界であるので含水比22%とした。得られた結果を図-18に示す。これより、地盤の深さが増すにつれ含水比が増加していることがわかる。また、梅雨期においては地下水位が非常に高いため、いずれの深さにおいても液性限界の含水比22%の値である。

次に、地中における含水比の分布および含水比と熱物性値の関係をもとに、地中における熱拡散率、熱容量および熱伝導率の分布を求めた。得られた結果を図-19～図-21に示す。これより地下50cm付近までは、熱拡散率は徐々に減少しており、熱容量は徐々に増加していることがわかる。しかし、いずれも地下50cm以深ではどの季節においても実用上ほぼ一定とみなせる値である。これは地表面から地下50cmまでの地盤の含水比が大きく増加するためである。また、熱伝導率はいずれの季節においても実用上ほぼ一定とみなせる値である。梅雨期においては地表面付近に地下水位があるため、いずれの深さ

においても含水比は一定で、その結果、熱物性値も一定の値をとり得ることがわかる。

以上のことより、地中における熱物性値を考える場合、周辺環境の温度および地盤の間隙比が変化しても熱物性値はほぼ一定で、含水比に大きく影響されることがわかった。

#### 4. 地下室の温度解析

##### (1) 解析方法

ここでは、三次元要素分割方法<sup>7)</sup>を用いて3タイプの地下室の温度変化を求めた。要素分割方法では、次のような仮定をおく。

- ① 熱は、互いに接する要素の界面を通して出入りするものとする。
- ② 各要素の内部の温度はそれぞれ均一で、熱の授受は、互いに接する要素の重心間で行われるものとする。

図-22に示すように、要素が隣接している場合、単位時間  $\Delta\tau$  の間に要素  $n$  から要素  $m$  に入る熱量を  $Q_{m,n}$  とすると、時間  $\tau + \Delta\tau$  における要素  $m$  の温度  $U_{m,\tau+\Delta\tau}$  は式(6)で与えられる<sup>7)</sup>。

表-3 解析に用いた熱物性値

	熱容量 cal/(cm <sup>3</sup> ・°C)	熱拡散率 cm <sup>2</sup> /sec	熱伝導率 cal/(cm・sec・°C)
空気	2.828 × 10 <sup>-4</sup>	2.215 × 10 <sup>-1</sup>	6.265 × 10 <sup>-5</sup>
セメント	4.931 × 10 <sup>-1</sup>	3.486 × 10 <sup>-3</sup>	1.719 × 10 <sup>-3</sup>
モルタル			

$$1 \text{ [cal/(cm}^3 \cdot \text{°C)]} = 4186 \text{ [kJ/(m}^3 \cdot \text{K)]}$$

$$1 \text{ [cm}^2 \text{/sec]} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ [m}^2 \text{/sec]}$$

$$1 \text{ [cal/(cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{°C)]} = 418.6 \text{ [W/(m} \cdot \text{K)]}$$

$$U_{m,\tau+\Delta\tau} = \frac{\sum_{n=1}^6 Q_{m,n}}{c_m \rho_m V_m} + U_{m,z} \quad (6)$$

ただし、

$c_m$  : 要素  $m$  の比熱

$\rho_m$  : 要素  $m$  の密度

$V_m$  : 要素  $m$  の体積

温度解析を行う際、地盤の縦×横×高さの大きさが900×900×600cmの範囲の中央に地下室が設置されている場合を想定し、縦および横方向の条件は対称とした。この範囲を縦および横方向に二等分した1/4部分の解析を行った。解析において要素の大きさを10×10×10cm、要素数を45×45×60個とし、時間ステップ $\Delta\tau$ を60秒とした。

今回の解析では、室内は常に攪拌している状態を想定し室内温度は一様で、また実測でも室内では対流が非常に緩慢であり、かつ温度差は小さく2°C以内であったことから、各ステップにおける室内の各要素の平均温度を室内温度とし、次のステップはこの温度を初期温度とした。

年間を通じて最も気温の低い冬の季節を想定して室内温度の経時変化を求めた。ただし、地下室自体の初期温度を25°Cとし、地中温度の初期値および熱源となる気温には実物大モデル地下室において得られた典型的な冬の測定値を用いた。また、今回解析を行ったモデルはセメントモルタルの供試体（内寸法3.0×3.0×2.5m、壁厚20cm）を以下のように設置したものを想定した。モデルの断面図を図-23に示す。この場合の紙面の直角方向は横方向と同様の形状をしている。

ケースA 供試体の最上部と地表面を一致させ、地中に埋設したもの。

ケースB 地上に設置したもの。

ケースC ケースBに厚さ10cmの覆土を施した

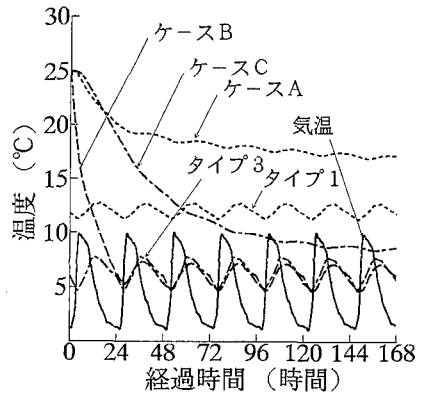


図-24 解析結果

もの。

### (2) 解析に用いた熱物性値

本解析で用いた熱物性値のうち、地盤の熱容量および熱伝導率は3. (6) で得られた値を用い、また、セメントモルタルについても同様の室内実験を行い、得られた値を用いた。表-3に空気<sup>3)</sup>とセメントモルタルの熱物性値を示す。

### (3) 解析結果および考察

解析により得られた室内の温度変化を図-24に示す。また、室内では最大約3°Cの温度分布が生じていたが平均値をとった。図中のタイプ1およびタイプ3はそれぞれ地下式および地上式の実測値である。これより、ケースBは3つのモデルのうち最も気温の影響を受けるため、初期の時間において急激に室内温度は低下し、2日目には既に気温の変化の範囲内で上下に変化することがわかった。また、ケースAは室内温度の低下する割合が小さく、2日目以降はわずかではあるが温度が変化していることがわかる。また、ケースCはケースAに比べて初期の時間において室内温度の低下に遅れが生じているものの、地上に設置されているため7日後には9°Cにまで低下している。しかし、ケースBと比較すると10cmの覆土によって保温性が高くなることがわかる。地下式であるケースAおよびタイプ1の間に温度差が生じているが、これはケースAの初期温度を25°Cに設定したことによる遅れが生じたことが原因だと考えられる。しかし、ケースAは16日後にはタイプ1の温度変化に近づくことがわかった。

以上のことから、地上の部屋がかなり気温の影響を受けるのに対し、地下室は地中温度が室内温度に影響し、逆に気温の影響を受けにくいことがわかる。



表-4 断熱材の熱物性値

熱容量 cal/(cm <sup>3</sup> ・°C)	熱拡散率 cm <sup>2</sup> /sec	熱伝導率 cal/(cm・sec・°C)
$7.286 \times 10^{-3}$	$1.210 \times 10^{-2}$	$8.820 \times 10^{-5}$

1 [cal/(cm<sup>3</sup>・°C)] = 4186 [kJ/(m<sup>3</sup>・K)]

1 [cm<sup>2</sup>/sec] =  $1.0 \times 10^{-4}$  [m<sup>2</sup>/sec]

1 [cal/(cm・sec・°C)] = 418.6 [W/(m・K)]

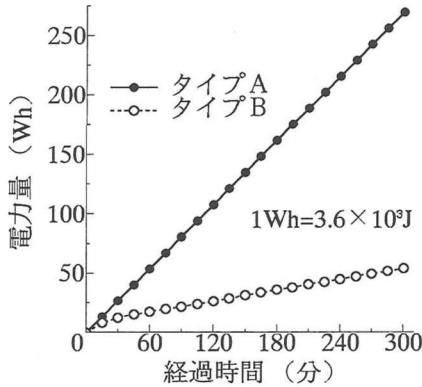


図-26 消費電力量の経時変化

## 5. 地下室における断熱材の効果

断熱材は室内の保温性の向上および結露の防止などを目的として、一般の住宅の建築材料に幅広く利用されている。ここでは、居室に断熱材を施した場合の保温性を検討した。

### (1) 断熱材の熱物性値

本実験で使用した断熱材は、一般の建築材料として広く使用されている押出し発泡ポリスチレンで、これはポリスチレン樹脂に発泡剤を添加し、加熱形成して軽量多泡質の板状にしたものである。また、断熱材の熱物性値は表-4に示す値である<sup>9)</sup>。断熱材の熱容量はセメントモルタルの約1/70、熱伝導率は約1/20であり、どちらもセメントモルタルに比べて極めて小さい。また、熱拡散率はセメントモルタルの約3.5倍である。

### (2) 断熱材の効率的利用

ここでは、居室で暖房を行う場合の断熱材の効果について検討するため、断熱材の施し方の異なる供試体を作製した。供試体は壁厚5.0cmのセメントモルタル供試体に断熱材を施した以下の2種類とした。  
タイプA 外側に5.0cmの断熱材を施したものの。

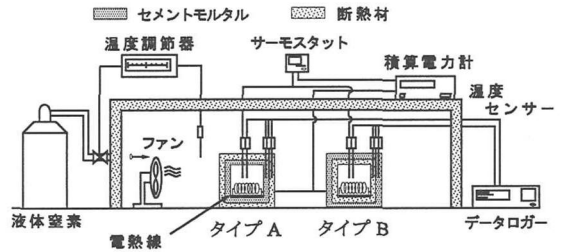


図-25 実験の概念図

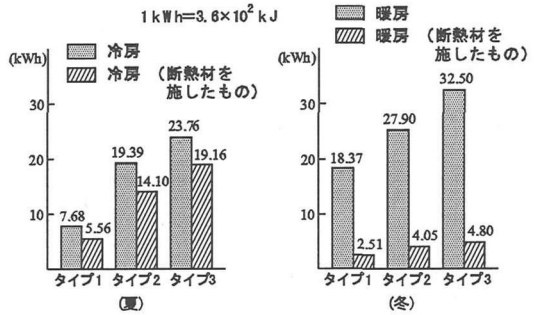


図-27 消費電力量の測定結果

タイプB 内側に5.0cmの断熱材を施したものの。ただし、いずれも内寸法を30×30×30cmとした。実験では、供試体周辺外気を0°Cに保温し、供試体初期温度が0°Cとした場合に室内を25°Cに保温するための消費電力量を測定した。実験の概念図を図-25に示す。

実験結果を、図-26に示す。タイプBは実験の5時間後においてタイプAと比較して、約20%の電力量で保温できることがわかった。この消費電力量の差は室内と内壁の壁面との温度差および内壁の材質に大きく影響されることが原因と考えられる。すなわち、タイプAにおいては室内と内壁の壁面との間に温度差があり、内壁のセメントモルタルに熱を奪われたものと想定され、タイプBにおいては室内と内壁の壁面との間に温度差があるものの内壁の断熱材が熱の放散を抑制したものと考えられる。

### (3) 地下室での消費エネルギー

以上の結果より、居室で暖房を行う場合、内側に断熱材を施す方が消費エネルギー量軽減に有利であることがわかったので、ここでは2. (1)で述べた実物大モデル地下室の内側に断熱材を施し、典型的な夏および冬の時期に室内温度を一定に保つための消費エネルギーを測定した。実験では、夏において室内温度を25°C、冬においては15°Cとなるように設定し、24時間で消費する電力量を測定した。また、

用いた断熱材の厚さは5.0cmとした。実験により得られた消費電力量の測定結果を図-27に示す。

実験結果より、夏において地下式(タイプ1)は地上式(タイプ3)と比較して70%、半地下式(タイプ2)は地上式と比較して20%の消費電力量を軽減しており、断熱材を施すことにより、いずれもさらに30%の消費電力量を軽減することがわかった。冬においては、地下式は地上式と比較して45%、半地下式は地上式と比較して15%の消費電力量を軽減しており、断熱材を施すことにより、いずれもさらに85%の消費電力量を軽減することがわかった。この結果の考察として、夏においては設定温度と地中温度との差が小さいため、地上式と比較して地下式での熱放散が少なく、断熱材を施すことによりさらに熱放散を抑制したことが原因だと推察される。冬において断熱材を施した場合の消費電力量を極端に軽減することができたのは、夏の場合と比較して保温する温度と周辺温度に差があったため、居室の壁面温度が低く、断熱材を施していない場合は多量の熱量が壁面に奪われ、放散したことが原因であると考えられる。これより、外気と室内に温度差がある場合、断熱材の効果が大きいことがわかった。

## 6. 結 言

(1) 年間を通じて、地中温度は地中深くなるにつれて温度変化が小さく、特に地中50cm以深では1日の温度変化があまり見られないことがわかった。その影響を受けて地下室も土中占有部分が大きくなるにつれて温度変化が小さくなることがわかった。

(2) 地下室の温度解析に必要なとなる地盤の熱物性

値は、含水比に大きく影響され、含水比の分布を求めることにより、熱拡散率、熱容量および熱伝導率などの熱物性値の分布が推定できる。

(3) 居室で冷暖房を行う場合、断熱材を内側に施す方が効果的であることがわかった。また、常に、外気の影響を受ける地上式に比べ、地下式は年間を通じて室内温度が安定しており、その結果、冷暖房等で費やされる消費エネルギー量の軽減に効果的であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 建設省住宅局建築指導課長通達(建設省住指発第408号), 1989.
- 2) 建設省建設事務次官通達(建設省住街発第74号), 1994.
- 3) Yoshino, H., Nakamoto, M. and Matsumoto, S.: Five-years measurement for thermal performance of a semi-underground test house, *Proc. 4th Int. Conf. on Underground Space and Earth Sheltered Buildings*, pp.521-531, 1991.
- 4) Underground Space Center編: *Earth Sheltered Homes*, pp.10-44, Van Nostrand Reinhold Company, 1981.
- 5) 河野伊一郎, 八木則男, 吉国洋: 土の力学, p. 4, 技報堂, 1993.
- 6) 稲田善紀: 地下の空間利用, pp.101-102, 森北出版, 1989.
- 7) 稲田善紀: 岩盤工学, pp.185-186, 森北出版, 1997.
- 8) 熱物性ハンドブック編集委員会: 熱物性ハンドブック, pp.57-59, 養賢堂, 1990.
- 9) 稲田善紀, 木下尚樹, 関正造: 低温物質貯蔵時の空洞周辺岩盤の挙動および熱応力軽減対策について, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第1巻, pp.125-132, 1995.

(1997.10.29 受付)

## A FEW REMARKS ON SOME FACTORS IN MAINTAINING TEMPERATURE OF BASEMENT

Yoshinori INADA, Osamu SHIMASAKI, Takao UEDA,  
Takashi MATSUMOTO and Genji SUGI

In this study, to investigate the effect of basement for maintaining temperature, ground and room temperatures of some type models which were constructed of cement mortar were measured. From the results of the test, it was found that maintaining temperature of basement was affected by temperature of soil and basement was comfortable. And, to analyze temperature distribution of around basement, thermal properties of soil were investigated by experiment. From the results of the test, it was found that thermal properties of soil were affected by mainly water content. Then, effect of adiabatical materials for maintaining temperature of basement was confirmed by comparison of consumption of energy for maintaining the room temperature constantly.