

## 現代における土造り住宅の室内環境に関する研究 —土の実験住宅ワークショップをとおして—

主査 畑中 久美子<sup>1)</sup>

委員 笹木 篤<sup>2)</sup>, 米原 久介<sup>3)</sup>

本研究は、古来から伝わる版築工法を用いて土の実験居室を計画し、セルフビルドでの建設、性能測定を通して現代における建築素材としての土の可能性を探ることである。ワークショップ形式での版築造実験居室建設をとおして施工性、精度や施工管理について検証した。さらに、建設後の室内環境測定やシミュレーションにより、居住性能としての熱環境の面からも検証を行い、夏期においては、夜間換気を行なうことで、室温は常に外気温より低い結果が得られた。また、版築をセルフビルドでつくることによる達成感と愛着は大きく、現代においてはこのような建築スタイルにも価値があり、必要とされていることが感じられた。

キーワード：1) 版築, 2) 土, 3) 実験住宅, 4) セルフビルド, 5) ワークショップ,  
6) シミュレーション, 7) 性能測定, 8) 室内環境

### THE RESEARCH OF INDOOR ENVIRONMENT OF THE SPACE MADE WITH SOIL IN THE PRESENT AGE

— By The Workshop of Making a Soil House —

Ch. Kumiko Hatanaka

Mem. Atsushi Sasaki and Hisayoshi Yonehara

This research is a case study for the possibility of soil houses in present age. We built the experiment living space of the soil by means of 'HANCHIKU'(Rammed earth)-method of construction-, and measured performance of soil space. Therefore, we planned and built soil architecture by self-build system, furthermore measured a soil space temperature. As a result, we made clear construction management, and the soil space keeps lower temperature by ventilating in the night. We could feel a great achievement and affection for a self-build soil house.

#### 1. はじめに

##### 1.1 研究の目的・背景

本研究は、版築を用いて4帖半程度の実験居室をセルフビルドで作り、建設後の室内環境測定をとおして、現代における土造り住宅の展開や可能性を探るものである。

土は、古来から建築素材として世界中で使用されてきた身近な素材である。建築素材としての土は、現代の建築生産システムにおいて遅れた素材として敬遠されがちであったが、現在深刻となっている地球環境の問題や、シックハウス問題に有効な素材であること、調湿調温機能があることなどから今後活用すべき素材であると考えられる。実際、ここ数年で建築素材としての土は見直され、海外だけでなく日本においても積極的に取り入れる試みがなされている。

本研究では建築素材としての土は、素人でも扱える身近な素材であることが挙げられる。さらに版築は作業が単純で、ワークショップで扱うには向いている工法であることに着目した。

#### 1.2 研究の方法

本研究をおこなうにあたって、神戸芸術工科大学大学院の講義の一環と共同し、大学院生5名が加わった形で研究を進めた。

版築造実験居室は、神戸芸術工科大学の構内に敷地を選定し、計画、セルフビルドでの建設を行なった。計画では、セルフビルドで建設をおこなえるように実験居室



図1-1 版築造実験居室全景

<sup>1)</sup> 神戸芸術工科大学大学院 研究生

<sup>2)</sup> 建築・都市設計インタースタジオ主宰

<sup>3)</sup> Studio Yonehara 主宰

の設計、型枠の設計、強度試験を基にした土の配合計画、施工の計画、道具の準備をおこなった。

建設後は、実験居室の経過観察や宿泊体験を行うと共に、夏期における実験居室内の熱環境実測実験をすることで実用面に関して分析を行なった。

## 2. 版築造実験居室の計画と概要

### 2.1 版築について

版築とは、堅固な土壁をつくるために用いられる古来から伝わる工法である。日本では土塀や地盤改良、古墳の墓室や大寺の基段などに用いられており、一般に土、石灰、にがり、魚油などを配合する。型枠に土を入れてそれをほぼ半分のかさになるまでたたき締めて土を固める。版築造の場合、構造は塗壁のように木造ではなく、土そのものが構造体となる。海外では古くから建築に使われており、耐用年数が長いのが特徴である。日本では建築工法として採用する例は数少ない。日本の版築事例として、竜安寺石庭奥の油土壁や、法隆寺の土塀、西宮神社の大練壁などが挙げられる。

### 2.2 版築造実験居室の計画

計画の実施にあたって意匠性、施工の容易さ、建設後の環境測定項目を考慮しながらスタディした。

実験居室設計プロセスにおける形態の変化過程を図2-1に示す。

まず、敷地選定においては、大学構内において今後数年間建設予定の無い場所、木工房からの近さ、そして建物による日影の影響が少ない立地条件を考慮した。日影においては、日影シミュレーションにおいて候補の空地全体から建設敷地を絞った。

形態のスタディにて考慮したことから、単純な形態であること、土素材を生かしたものとなることである。意匠性を考慮した理由として、土を用いた建築は現代建築において土俗的、懐古的になりがちであることへの疑問、意匠

性は完成後の満足度に反映されるものと考えたためである。そして、版築の特性を活かす空間計画として、土壁の熱容量と実験室内への熱取得を考え、住空間として成立する開口面積は確保するように心掛けた。同時に型枠の設計もおこない、同じ型枠をくり返して使えることを考慮した。

### 2.3 版築造実験居室の概要

版築造実験居室の平面図・断面図・アクソメ図を図2-2～図2-5に示す。計画した型枠図2-11をくり返して使うことができ、同じ長さの5枚の壁で構成される単純なプランとした。

この版築造による実験居室は、2名が同時に居住可能な広さを確保するため、4帖半程度の広さを想定し、幅3,300mm×奥行き2,300mm(7.59㎡)とした。天井高さは2,260mmであり、室容積は17.1㎡である。主要開口面はほぼ真南で、南側に設けられた開口部は幅1,650mm×高さ2,000mm、である。壁厚は、既往事例<sup>1)</sup>を参考にした結果、450mmとした。

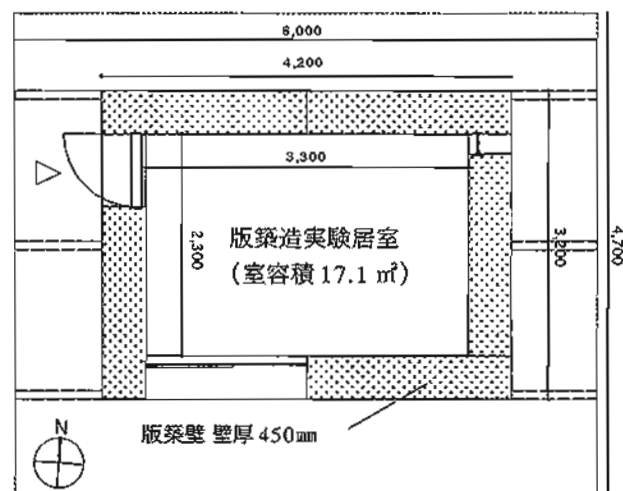


図2-2 版築造実験居室 平面図

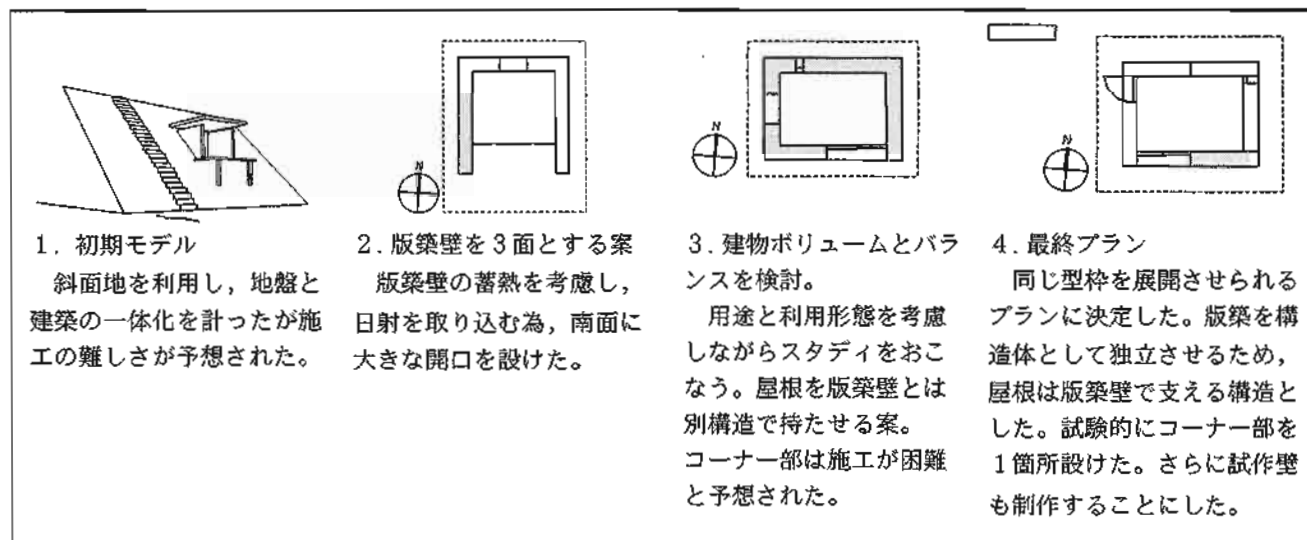


図2-1 実験住宅設計プロセスにおける形態の変化過程

版築を主要構造としたことから、屋根と版築壁を一体とするため図2-6に示すように版築壁に埋木を入れ、屋根の風圧による引き抜き力に耐えるようにした。

天井は竿縁天井とし、天井材には白色のプラスチック製ダンボールを使用した。

屋根の断熱にはスタイロフォーム（厚30mm）を敷き込んだ。使用した屋根材は0.6mm厚の折板である。

開口部（天窓、サッシ、ドア、スリット）においては、熱の逃げる場所であり、土の性能を活かすには気密性を高める必要があると考えた。今回、実験室の開口部は居室として成立することを想定した大きさと計画した。そのため開口部からの熱損失を低減させるため、ペアガラスを用いた。建具や床の木部は型枠材を再利用した。

また、実測にて版築に平面及び垂直方向に多数の歪みを確認されたため、枠を大きめに作り、枠内で調整することにした。サッシとドア部分の枠の打ち付けは版築施工時、枠の場所にあらかじめ版築壁に凹みを付けておき、木ブロックを埋め込んでおいたものに打ち付けた。枠と土壁の隙間には水と石灰で練った土を充填させた。また、ガラスと枠の間にはコーキングを行った。

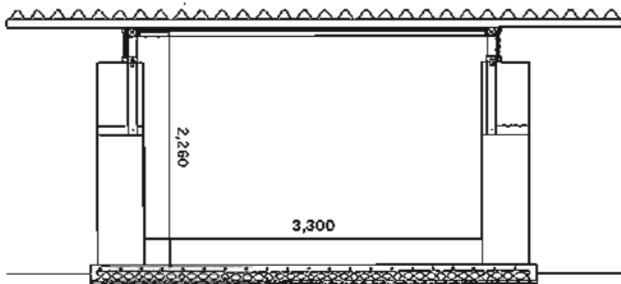


図 2-3 版築造実験居室 断面図

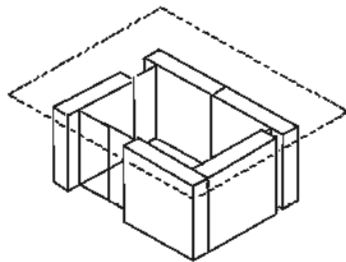


図 2-4 版築造実験居室 アクソメ図

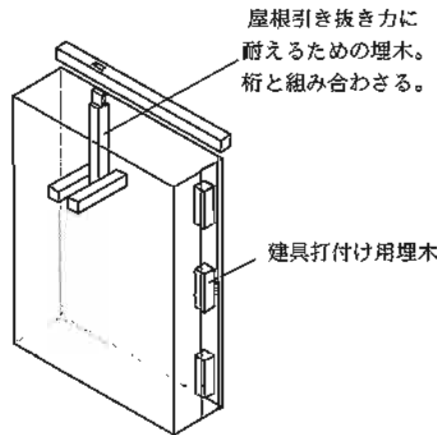


図 2-6 版築の埋木とその役割

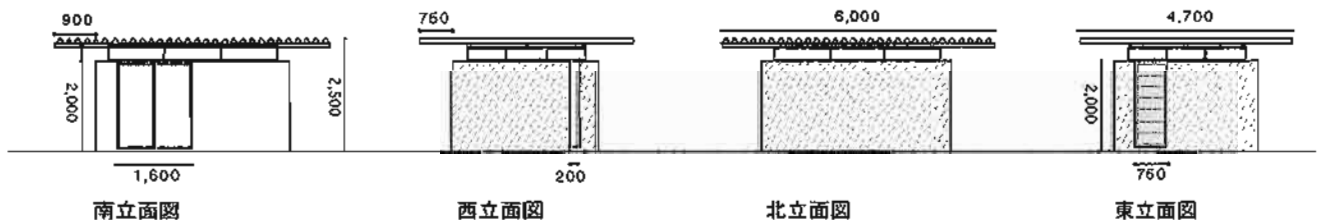


図 2-5 版築造実験居室 立面図

## 2.4 道具・材料の準備

施工に用いる道具の準備では、図2-7・図2-8に示すように土ふるいや、鉄製及び木製のたたき棒を独自に製作して、施工が容易になるよう工夫した。土混ぜにおいてはミキサーを使用し、省力化した(図2-9)。

ほとんどの材料はホームセンター、建築金物店、木材店、建材店から調達した。版築に用いる土の選定については、土の色味や、主に塗壁に用いる荒壁土と比べ粘土分が少なく砂分が多く含まれている性質のものを、工事現場、採土場などから採取し、検討した。その結果、建設地から1km程離れた工事現場の残土を40立米提供してもらい、30mm角のふるいにかけて使用した。石灰は、市販の消石灰と自作の牡蠣殻から作った貝灰を3：1の割合で混ぜて使用した。



図 2-7 ふるい



図 2-8 版築の道具  
上：たこ  
下：たたき棒



図 2-9 使用したミキサー

## 2.5 版築型枠について

型枠は、セルフビルドで版築をつくる際、施工性に大きくかかわってくるため、実験居室の設計と並行していくつかの型枠試作品をつくり、検討をおこなった。

最初に計画した型枠は、文献から中国の客家で使用されている型枠を参考に設計したものであった(図2-10)。

この型枠は、長さ1,200mm高さ600mmの版築が出来、大きなレンガを積んでいくよう、型枠を移動させながら壁をつくるものである。これは型枠に用いる木材が最小限で済むことが特徴であるが、足場の確保、垂直面の精度の確保が困難であると予測されたため不採用とした。

最終的に使用した型枠は、ラムドアースセミナー<sup>④</sup>で使われていた型枠を参考に設計したものを採用した。用いた型枠を図2-11に示す。壁の打上りに合わせて上部へ順々と足していくものである(図2-12)。押さえに使う木材は、足場としても利用できること、型枠の移動が少なく、水平垂直の確保など施工精度が保ちやすいことが特徴である。この型枠はユニットとして次の壁にそのまま使うことができ、数回の転用に耐えられる。また、側板を外すことで長尺の壁もつくれ、コーナーの型枠としても発展させることができる。

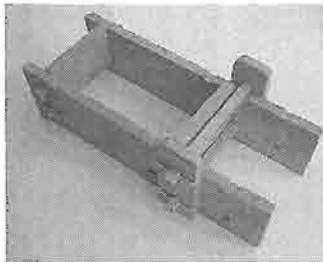


図2-10 中国式型枠模型



図2-11 採用した型枠

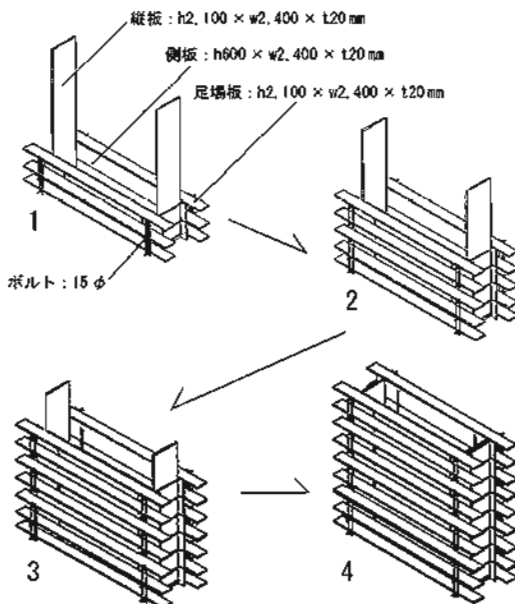


図2-12 版築型枠図

## 2.6 版築における土の配合と圧縮強度試験

版築に使用する土の配合を決定するため粒度構成を沈澱実験にて確認した(図2-13)。これを元にして西宮神社の壁を補修を行なった左官職人<sup>⑤</sup>の意見を参考に、土に混ぜる石灰の配合を変えたものを4種類つくり、1週、2週、4週強度の圧縮強度試験をおこなった(表2-1・図2-14・図2-15)。実験の結果を表2-2に示す。強度が全て右上がりでないのは、施工性にばらつきがあったためと考えられる。その結果、石灰：土の配合を石灰の量が最も少なく、他の配合に比べ強度の劣らない1：40とした。今回版築に配合した材料は土、石灰のほかは、原塩、20%濃度の塩化カルシウム水である。

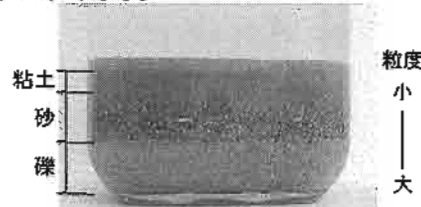
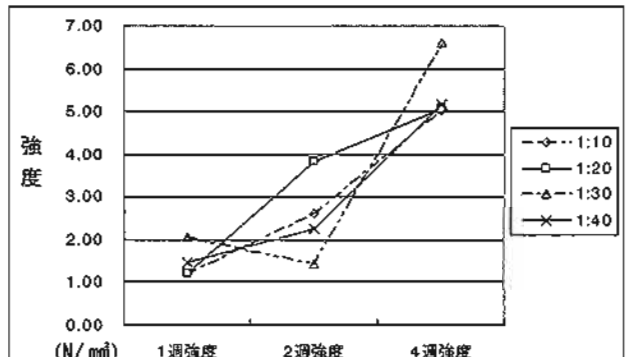


図2-13 版築に用いる土の沈澱実験

表2-1 テストピースの種類と配合表

配合	土 (g)	石灰 (g)	塩化カルシウム水 (g) 20%濃度
石灰：土	(g)	(g)	(g) 20%濃度
1:10	3,000	300	150
1:20	3,000	150	150
1:30	3,000	100	100
1:40	3,000	75	100

表2-2 圧縮強度試験の結果



配合(石灰：土)	1週強度 (N/mm²)	2週強度 (N/mm²)	4週強度 (N/mm²)
1:10	1.20	2.61	5.03
1:20	1.21	3.84	5.08
1:30	2.07	1.43	6.61
1:40	1.46	2.27	5.16



図2-14 圧壊時の様子



図2-15 試験後のテストピース

### 3. セルフビルドによる版築造実験室の施工

#### 3.1 ワークショップの体制

施工やワークショップの運営・作業指導は主に大学院生6名で進めた。土日は外部参加者や社会人のプロジェクトメンバーも参加し、多人数で進めた。「つちっこ」と称したワークショップは、参加者をホームページ図3-1、学内ポスターにて募った。また、ワークショップの状況も随時ウェブにアップすることで最新の情報図3-2を発信し、学内だけでなく、他大学の学生や、近隣住民までも参加する結果となった。

ワークショップへの参加方法は申し込みシステムでなく、ワークショップ開催時間に現地集合し、参加してもらうようにした。参加費は無料で、一度参加した人にはEメールアドレスを参加者名簿に記入してもらい、次回からのワークショップ情報を配信するようにした。



図3-1 つちっこホームページ



図3-2 最新情報のページ

#### 3.2 工程

版築造実験居室の施工は8月中旬から始まり、3月下旬までの7ヶ月間行った(表3-1)。

版築の施工は経験が無く、文献も殆ど無いことから工程を予測することが困難であった。着工前におおよそのスケジュールを予想したが、実際には2ヶ月程工期が延びる結果となった。これは工程の大部分を占める版築の施工に多くの時間を要したためである。

版築の施工は労力がかかる割には進みが遅く、この版築造実験居室で最も苦勞した箇所であった。

版築の施工は、土混ぜ・版築の大きく2つの作業に分かれる。実際、作業場所も離れているため人をバランス良く配置させる必要があった(図3-12)。

土混ぜの作業は土をふるい、その土をミキサーで他の材料と混ぜ合わせ、一輪車で版築作業場まで運ぶという内容である。この作業は3人以上必要であった。

版築作業は混ぜられた土を型枠に入れ、たたきしめる作業である。1壁につき2人、2壁同時進行していたので4人必要であった。

平日の3人~5人の少人数作業の場合、施工を1壁だけにすることによって土混ぜの作業も半分に減らして施行を進めた。2人程度の時は、土ふるい作業のみを行うことで人数によって作業を対応させた。

版築の標準作業は、型枠に高さ50mm程土を入れ、半分のかさである25mmまでたたき締めるもので、1層のたたきに

およそ30分かかる。そのため1日約7時間の作業で6人が作業を行ってひと壁あたり150mm程度の進み具合であった。

以上のような要領で5枚の壁をつくるのに、延べ人数182人延べ日数28日かかった。

#### 3.3 版築における配合管理

2.6での強度試験の結果、石灰：土の割合を1：40とした。そして現場では、土混ぜにおける配合管理を下記のとおり、ミキサーの許容量に合うように簡略化した。

土：スコップ25杯

石灰：バケツ1/3(既製品3：貝灰1)

原塩：備付カップ1杯(500g程度)

塩化カルシウム水(20%濃度)適量

塩化カルシウム水の量の目安は、手で土を強く握りしめると団子になり、わずかに水分が感じられる程度で、塗壁に使用する土と比べると極めて少量の水分でよい。これは、その日の土の湿り気に併せて調節した。

#### 3.4 セルフビルドによる版築の施工水準の確保

施工の水準を保つ為に以下の4点を重点的に管理した。

1) 型枠にて水平垂直を保つ為に型枠をひとつ組み上げる度に水平器や下げ振りにて確認を行った。型枠の歪みは下げ振りや水平器にてチェックできるが、簡易的な方法として周辺の建物と型枠を重ねて見るだけでも歪みをチェックできる。歪んだ時はボルトを緩めて木槌で叩くことで歪みを矯正した。

2) ある高さまで来ると仕込まなければならない埋木があるときは、あらかじめ型枠に印を付けておき、その高さが近くなると監督が施工者に伝えるようにした。

3) 養生においては、急激な乾燥を防ぐため、一日の施工終了後には版築の上面に塩化カルシウム水を撒き、い草製のごさを被せて養生した。完成し、型枠を外した版築壁はある程度乾燥してから強度が出てくる為、型枠を外してから1週間程度はブルーシートで覆い、養生した。

4) 版築の施工におけるたたき方については、初めのうちは、なんとなくタキ棒とたこを使い分けながら行っていた。しかし、左官職人の指導を受けることで道具の効果的な使い方や、施工のポイントが分かり施工精度が上がった。版築は、たたき方が弱いとそこから風化しやすく、壁が欠けやすくなる。また、ひとりが同じエリアをたたいていると、別のひとつの力の差で圧縮に差が現れてくるので、1回のたたきでも型枠のきわをまわるようにしてたたいていくことがよいと分かった。また、ワークショップにおいて初心者は、コアメンバーの者と組んで作業を行ってもらうようにした。コアメンバーは作業方法を教え、初心者の作業をカバーしながら施工をすすめることで一定のたたき精度は保たれるようになった。

### 3.5 版築造実験居室の計画と建設の過程



図3-3 基本設計 形態のスタディ

#### 1) 基本設計

皆で案を出し合いながら、コンセプトと形態のスタディを進めた。



図3-4 貝灰を焼く

#### 2) 貝灰制作

牡蠣殻を焼いて石灰を作成した。一晚焼成したものを釜から取り出し、水をかけて消石灰にした。



図3-5 土到着

#### 3) 土探し

版築に適した土を探した結果、現場から1kmほど離れた工事現場から40立米の土を提供してもらった。



図3-6 縄張り

#### 4) 草刈り・地鎮祭・縄張り

草刈りを行なった後、地鎮祭にて工事の安全と完成を祈り、縄張りを行なった。



図3-7 型枠づくり

#### 5) 型枠づくり

型枠には米松を焼板加工し、版築壁に木目を写すものと、焼き加工しない木材を使用し、テクスチャを比較した。



図3-8 圧縮強度試験

#### 6) 強度試験

版築の配合を決定するため、テストピースをつくり、圧縮強度を測定した。



図3-9 試作基礎づくり



図3-10 試作版築壁づくり

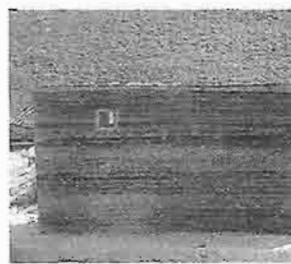


図3-11 試作版築壁完成

#### 7) 試作基礎試作壁施工

計画上の問題点をあらかじめ見出し改善するために試作基礎と試作版築壁を制作し、改良を加え実験居室の施工に移行した。

表3-1 版築造実験居室の工程

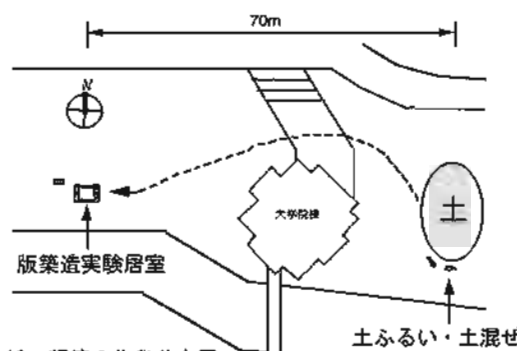
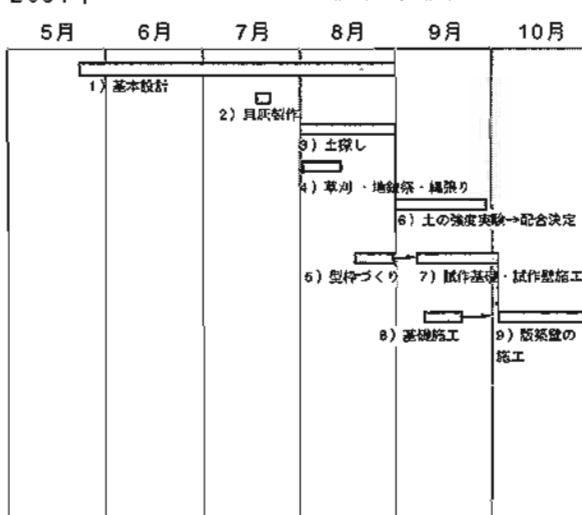


図3-12 版築の作業分布図



図3-13 版築造実験居室基礎づくり

#### 8) 実験居室基礎づくり

基礎掘りをおこない、砂利、コンクリートブロックを敷いた後、掘り出した土に石灰を1:3の割合で混ぜ、たたき締めて基礎をつくった。



図3-14 土ふるい、土混ぜ

9) 版築壁施工

土をふるい、ミキサーで土と石灰等を混ぜたものを土を型枠へ入れて叩き締める作業である。土置き場と版築現場が離れていたため、土の移動にも労力がかかった。



図3-15 型枠に土を入れる



図3-16 版築風景



図3-17 1壁目の脱型

1壁目の施工が終わってから2壁同時進行させるほうが効率的であると考え、型枠を1ユニット追加し、2壁同時進行した。



図3-18 2・3壁目の版築完成



図3-19 型枠の中の様子

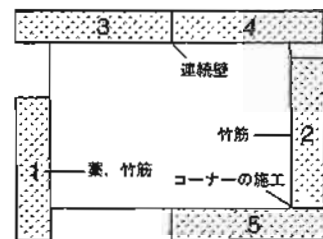
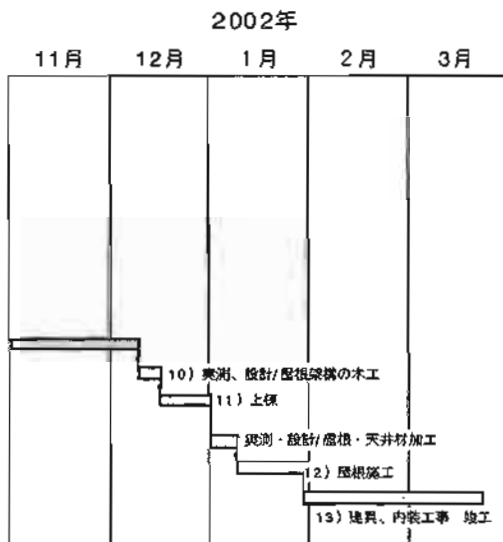


図3-23 版築壁施工順序 平面図

5枚の版築壁の施工順序は図3-23のとおりである。各壁ごとに竹筋を入れたり、藁を入れてみたりと、様々な試みをおこなった。



12) 屋根と天井の施工  
屋根と天井は、同時施工した。屋根材は、人の手で持ち上げられる重量であること、雨漏りの可能性が少なく屋根架構が単純になることから折板を用いた。

図3-25 折板の取り付け



図3-20 4・5壁目の施工



図3-21 版築壁完成



図3-22 屋根架構木工

10) 屋根架構の木工  
出来上がった版築壁は実測をおこなってから実測値に基づいて屋根架構を設計し、工房にて木工をおこなった。



図3-24 上棟

11) 上棟  
版築に埋めてある埋木のほそとほそ穴が数箇所合わず、工房に持ち帰り修正を行なった。高所作業のため、足場の安全に念を入れた。



図3-26 版築造実験居室完成

13) 内装・建具施工を経て竣工  
建具・内装フローリングには版築の型枠に用いた木材を転用させ、2002年3月に竣工した。

### 3.6 ワークショップ

8月から始まった版築造実験室の施工は7か月に及んだ。材料調達、雑用等は除き、延べ日数は86日・延べ人数は374人であった。作業別の延べ人数及び延べ日数は表3-2に示す。

施工期間を通して事故や大きな怪我が無かったことが幸いであった。版築は比較的単純作業ではあるが、最高部では、高さ2mにもなることから、足元に障害物を置かない、道具の受け渡し時は投げないなど注意を払った。

ワークショップの進め方としては、参加者へプログラムや作業内容の説明、役割分担を監督がおこなうこと、そして主催者側がワークショップを楽しむことが重要であった。また、版築をワークショップとして行なっていくには時間と労力がかかるということを十分に認識し目的によって、それを重機の導入で補うか、工期と労力で補うかを選択する必要がある。

### 3.7 施工費について

セルフビルドによる版築造実験居室建設にかかった費用は、ワークショップの運営、工具等全て合わせておよそ80万円であった。内訳と工種による施工費の割合を表3-3に示す。坪単価34万円であるが、工具を揃えたこと、型枠を新調したこと、を考慮すると、次回からの施工費はこれより抑えられると考えている。また、建具が全体の30%と割高になったのは、開口部にペアガラスを用いたためである。版築躯体は4.5万円と全体の6%にすぎなかった。これ

表3-2 版築造実験居室施工の延べ人数・延べ日数

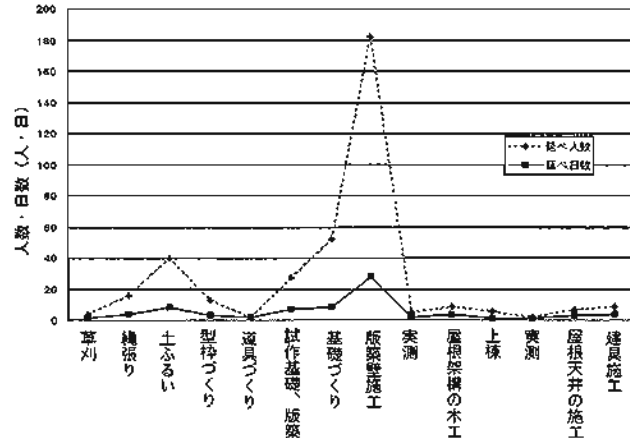
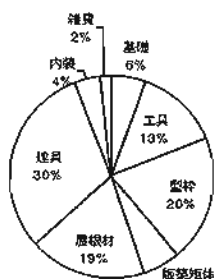


表3-3 版築造実験居室の施工費



工程	基礎	工具	型枠	版築躯体	屋根材	建具	内装	雑費	合計
金額 (万円)	4.5	11	16.3	4.5	15	25	3.1	1.5	80.5

は残土を提供してもらったことが大きな要因である。しかし、資金の限度に合わせ土を自らで振るったり、重機が使用できなかった分作業が多くなった。

### 3.8 現状と経過

実験居室は2002年3月に竣工し、そこから宿泊を行なうなどして、居住性を体験した。竣工当時、土壁表面から土の落下が多く、室内に居ると気になる程で、室内側の壁には何らかの仕上げが必要と思われた。しかし、徐々に減少し、10月現在では表面土の落下はほとんど見られない。これは、施工中に雨に当たって劣化した壁表面部の土が落ち切ったことと、版築壁の炭酸化が進み硬化しているものと判断できる。室内側の壁の養生には充分注意することが必要である。また、室内側の型枠表面処理は木材の毛羽立ちをとり、滑らかにすることで風化の進行を防ぐ効果があると思われる。

さらに風化に関しては、実験居室に先だって施工した試作壁を曝露実験の対象として観察を続けている。完成から1年経つ現在、天端は土が流され砂利が洗い出されており、雨上がりに触ると容易に崩れる。しかし、側面においてはエッジに丸みがみられる程度で風化は顕著にみられない。一方、居室側の版築壁は庇があるため雨ざらしにならず、風化があるとすれば地面からの水の跳ね上りの影響が大きいと思われたが殆ど見られなかった。しかし、高さ1,100mmあたりに風化が見られることから(図3-27)、屋根からの吹き下ろしによって風化が進んでいることが分かった。これらに関しては型枠の表面の違いによる風化具合も含めて継続的に観察を続けると共に、風化が進行した際の補修方法についても考察していく必要がある。

このことから、風化に関しては庇を出したり、型枠表面を滑らかなものにすることや、版築表面に漆喰などの上塗りを行なうことで、住宅としての耐久性を持たせることができると考えられる。

版築の構造面での考察として、建設の終わった現時点で特に、埋木の入っている壁表面に亀裂が走っていることが確認された。これは、土の乾燥収縮が埋木の隅部に集中したものである(図3-28)。亀裂は壁表面から20mm程度の深さと判断できることから構造的には問題はないと考えられる。地震に対しては未検証であるが万一、地震の起きた際や長期的耐久性に関しては竹筋を入れた箇所と入れなかった箇所の違いを調査しようと考えている。

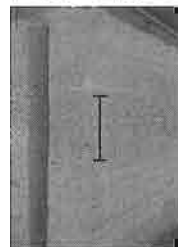


図3-27 版築壁の風化の  
見られる箇所2002.10現在

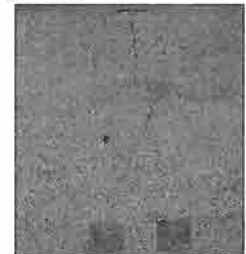


図3-28 版築壁の亀裂



#### 4 版築造実験居室における夏期実測

##### 4.1 実測の概要

版築造の居住性を明らかにする事を目的とし、2002年7月16日から9月18日まで前項に示した実験棟を用いて夏期の実測を行なった。実測では熱電対を用い、室温をはじめとする18ヶ所の温度を測定をした(図4-2~図4-5)。測定箇所を表4-1に示す。

測定方法として、以下に示す4つのモードを設定し、測定を行なった。

モード1：全開放（全ての開口部を終日開放する。）  
 (7/16.17.18.19.20.21.22.23.24.25.)  
 モード2：夜間換気+よしず（20時から8時まで全ての開口部を開放し、南側開口部には日射遮蔽のためのよしずを終日立て掛けている。）  
 (8/6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.)  
 モード3：全閉鎖+よしず（終日開口部を閉鎖し、南側開口部には日射遮蔽のためのよしずを終日立て掛けている。）  
 (8/16.17.18.19.20.21.22.23.24.25)  
 モード4：全閉鎖（全ての開口部を終日閉鎖する。）  
 (9/9.10.11.12.13.14.15.16.17.18)  
 ※アンダーラインは図4-6~図4-9に取り出した3日間を示す。

測定は各モードとも10日間とした。各モードから代表的と思われる連続した3日間を選び(例：図4-1)外気温、室温、各部温度、各部温度より計算したMRT<sup>②</sup>を比較した。

表4-1 夏期温度測定測定箇所一覧

ch1 外気温	ch10 東室外側壁表面温度
ch2 室温	ch11 東室内側壁表面温度
ch3 天井下温度(10cm下)	ch12 南室外側壁表面温度
ch4 天井表面温度	ch13 南室内側壁表面温度
ch5 北室外側壁表面温度	ch14 床表面温度(木製)
ch6 北壁内温度	ch15 土間表面温度
ch7 北室内側温度	ch16 床下地中温度(10cm下)
ch8 西室外側壁表面温度	ch17 屋根表面温度
ch9 西室内側壁表面温度	ch18 屋根裏温度

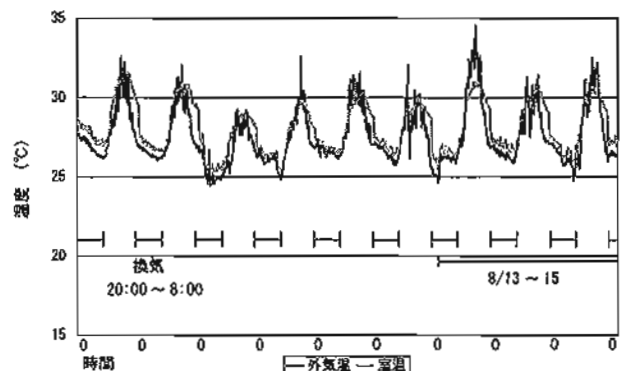


図4-1 モード2における10日間の外気温・室温の変化

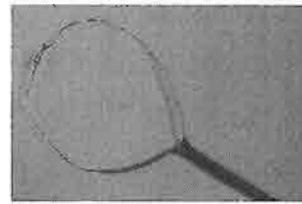


図4-2 熱電対



図4-3 ガムテープによる土壁表面への熱電対固定



図4-4 用いたロガー及び熱電対にて温度検証を行なう



図4-5 測定の準備風景

##### 4.2 室温・外気温変化・MRT (平均放射温度) の検証

###### ○モード1

日中、室温は外気温よりも低く、最高で2°C程度の差がある。夜間は室温が外気温より1°C程高く推移している。本来、開口部を開口しているため室温は外気温に追随するはずであるが外気温とは異なる値を示している。

MRTと室温を比較すると、日中、MRTが室温よりも低く推移するが、逆に夜間は高くなっている(図4-6)。

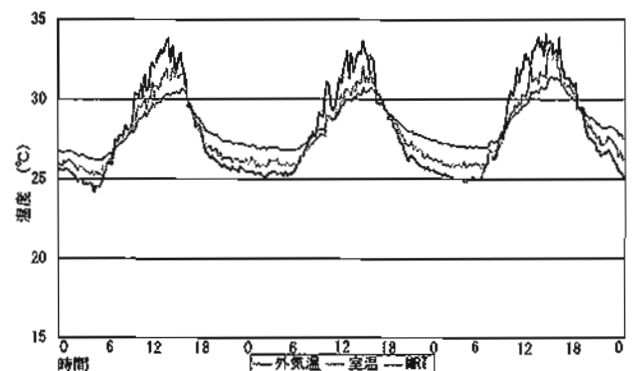


図4-6 モード1 7月21~23日の外気温・室温・MRTの変化

###### ○モード2

夜間換気を行っている間は室温は外気温に追随するものの約1°C程高い。閉め切った日中では外気温が上昇しても、室温は大きく上昇せず、最高気温35°Cの時、室温は31°Cと4°C程低い値を示している(図4-7)。

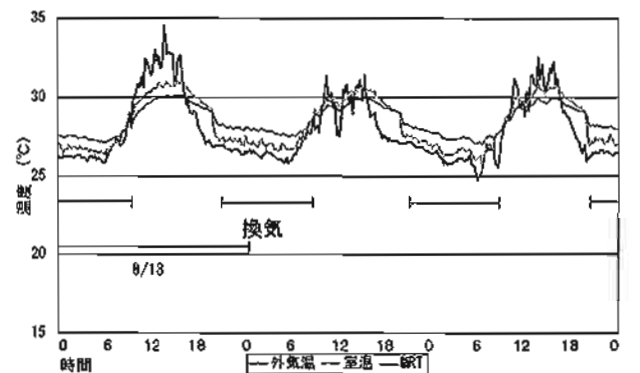


図4-7 モード2 8月13~15日の外気温・室温・MRTの変化

○モード3

よしずの効果で日中、室内に日射が透過しないため、室温は日中であっても大きく上昇せず、外気温より低い値となっている(図4-8)。

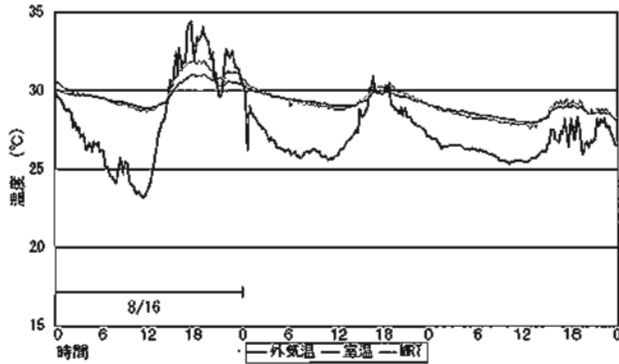


図4-8 モード3 8月16～18日の外気温・室温・MRTの変化

○モード4

モード3ではよしずを用い日射遮蔽を行ったが、モード4では日射遮蔽は行っていない。そのため、日中、室温は日射の影響を受け上昇し常に外気温より高い値を示している。また、夜間も熱容量の影響で室温は大きく低下せず、温度振幅は約5°Cである(図4-9)。

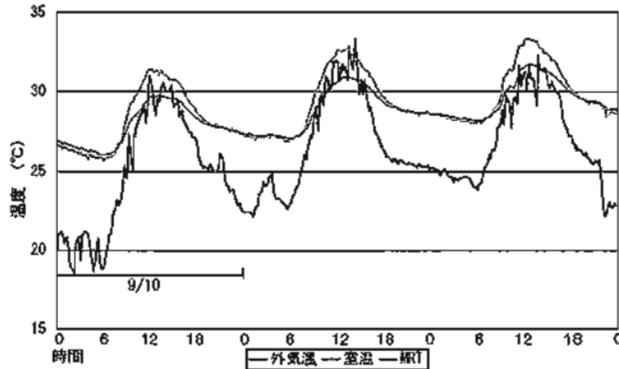


図4-9 モード4 9月10～12日の外気温・室温・MRTの変化

4.3 部位別温度変動

○屋根・天井表面温度

いずれのモードでも、日中、屋根表面温度は日射の影響により55°C程度まで温度は上昇する。しかし、屋根下の空気層温度は40°C程度となり十分とは言えないまでも空気層による遮熱の効果が見られる。

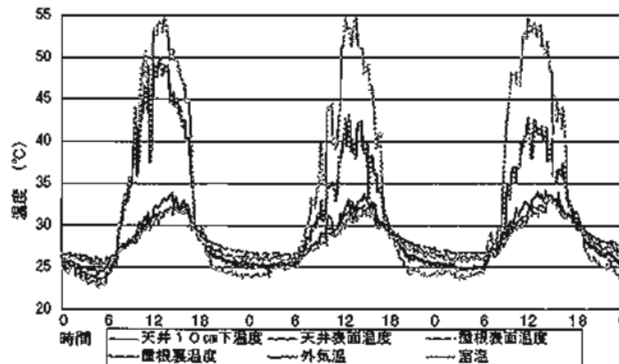


図4-10 モード1 屋根・天井表面温度変化

天井の表面温度は室温とほぼ同じ温度で推移しており、屋根断熱の厚さが30mmと十分でないものの断熱効果は高いことを示している(図4-10)。

○北壁温度変動

北壁には室内、室外、そして壁体内中心部に熱電対を設置して温度変動を測定した。室外の表面温度は外気温の変動に追随するが、壁中心部では約6.5時間遅れてピークに達する。しかし、室内の表面温度は室温に追随し壁中心部に比べてはやくピークに達する。

これは室内壁表面温度は外気温の変動の影響が小さく、室温の影響を主に受けているためと考えられる(図4-11・図4-12)。

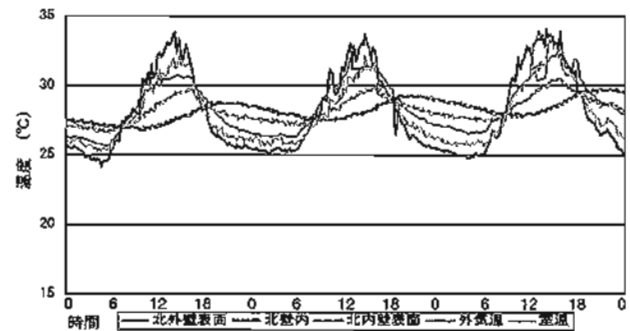


図4-11 モード1 北壁温度変化

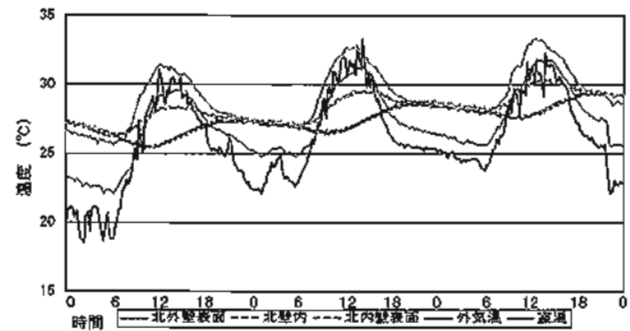


図4-12 モード4 北壁温度変化

○土間床表面温度

床表面(床に設置された木製のこの表面)温度は室温に追随して変動するものの、土間床の表面温度の変動は小さく最高でも27°C程度で室温より6°C低い値を示す。地中

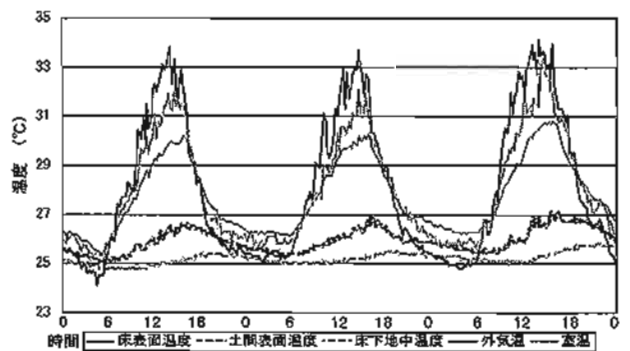


図4-13 モード1 床面温度変化

温度は測定期間中25～26℃を推移している。土間床表面温度は地中温度の影響を受けているものと考えられる(図4-13)。

#### 4.4 実測の結果

以上の夏期温度実測結果より、以下の事が分かった。

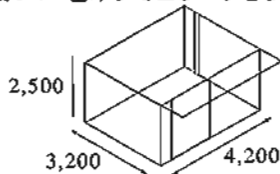
- ・モード1と2の比較より、モード2の夜間換気を行なうことで、外気温よりMRTは5℃程低かった。
- ・モード3と4の比較より、よしずによる日射遮蔽により、室内温度の上昇を抑えられる効果が出た。
- ・折板からの熱影響が大きいと思われたが、屋根断熱効果があり、室内への影響が少ないことが分かった。
- ・北壁温度変化より、室外からの温度が室内に到達することなく外に戻っていると考えられる。
- ・地中温度は他の温度変化影響がみられずほぼ一定であることが分かった。

### 5 版築造実験居室の冬期室内温度変動シミュレーション

#### 5.1 冬期シミュレーション

冬期において版築造実験居室、室内変化にどのような影響を及ぼすかSolar Designet ver4.0を用いてシミュレーションを行なった。シミュレーションを行なうにあたり、基本シミュレーションモデルを作り以下の建築仕様を入力した(表5-1)。

表5-1 基本シミュレーションモデル



建築データ	
建物寸法	4,200(幅)×3,200(奥行き)×2,500(高さ) mm
方位	真南
壁	版築壁 450mm(壁厚)
床	高床
天井	プラスチック段ボール仕上げ 断熱: スタイロフォーム30mm
開口部	ペアガラス 1,600(幅)×2,000(高さ) mm
換気回数	冬期: 常時 換気回数1回/h

表5-2 冬期シミュレーション個別モード一覧

	基本モデル	1	2	3
蓄熱部位	450mm	400mm	300mm	200mm
屋根断熱	30mm	50mm	70mm	100mm
壁断熱	なし	10mm	20mm	30mm
開口部	w=1,600	w=400	w=800	w=3,300
底	900mm	450mm	270mm	0mm
換気回数	1回/h	5回/h	3回/h	0.5回/h

まず、冬期の居住性を予測するために、夏期実測モードを基に冬期シミュレーションを行なった(図5-1)。

注) 換気回数は常に1回/hとする。

次に、このシミュレーションモデルをもとにそれぞれの仕様を個別に段階的に変化させ(表5-2)、室内にどのような影響を及ぼすかシミュレーションを行なった。

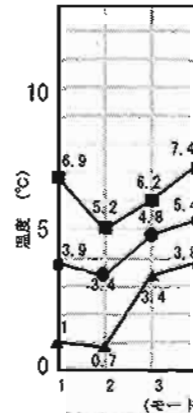


図5-1 冬期シミュレーション室温の変化

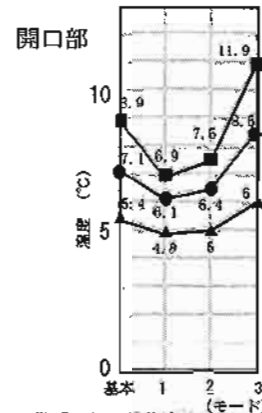


図5-2 冬期個別モードシミュレーション室温の変化

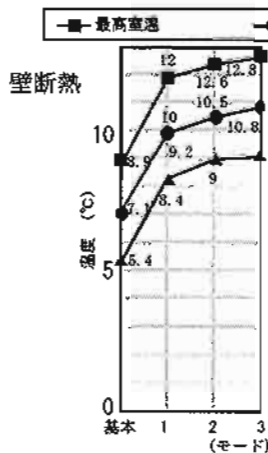


図5-3 冬期個別モードシミュレーション室温の変化

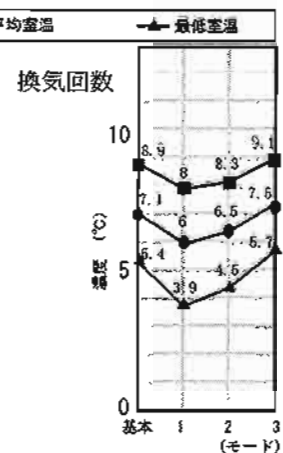


図5-4 冬期個別モードシミュレーション室温の変化

#### 5.2 冬期シミュレーションの結果

○夏期実測モードをもとにした冬期シミュレーション

夏期実測モードをもとにした冬期シミュレーションでは、室温が最高でも7.4℃と低くなっている(図5-1)。

○冬期個別モードシミュレーション

屋根断熱, 底の効果は基本モードとの温度差があまりなく、屋根断熱では1℃以内、底では約1℃差となった。

蓄熱部位は減らすほど室温は緩やかに下がり、温度差は最低室温が1.8℃だが、最高、平均室温の温度差は1℃以内である。

開口部は開口幅が大きいほど室温は上昇し、最高で11.9℃となり、基本モデルとの差は3℃である(図5-2)。

壁断熱は、増やすほど室温が上昇し、最高で12.8℃となり、基本モデルとの差は3.9℃である(図5-3)。

換気回数は減らすほど室温は上昇するが、基本モデルとの差は小さく、換気回数0.5回/hでも、温度差は1℃未満である(図5-4)。

#### 5.3 冬期シミュレーションのまとめ

・夏期実測モードをもとにした冬期シミュレーションでは、モード4の設定は日射遮蔽なしで常に換気回数1回/hとし、最高室温は7.4℃であるが、室温の温度振幅は3.6℃と小さく、室温は低温安定型と予測される。

・冬期個別シミュレーションでは、屋根断熱、庇の効果はあまり見られないが、開口部の拡大、壁断熱を増す、換気回数を減少させることで、冬期における室温は上昇すると考えられる。

## 6 まとめ

2001年5月から始めた計画を経て、ワークショップ形式での版築造の施工を行ない、2002年3月に版築造実験居室が完成し、夏期熱環境実測をおこなうことができた。

版築をワークショップとして行なっていくには時間と労力がかかるという点を十分に認識し、それを重機の導入で補うか、工期と労力で補うかを選択する必要があることが分かった。

風化に関しては、庇をかけたり、型枠表面を滑らかなものにするか、版築表面に漆喰などの上塗りを行なうことで、住宅としての耐久性を持たせることができると考えられた。

建設後の夏期熱環境実測や、シミュレーションにより、性能の面からも検証を行い、夏期においては、夜間換気を行なうことで、室温は常に外気温より低いという結果が得られた。

今後は経年変化の観察を継続的に行ないつつ、2002年冬期においては当研究協力者である川口により、実測が行なわれる予定である。さらに現在、隣地にて同中井によって本研究での経験を基に、重機を用いた2棟目の版築造の実験居室建設が行なわれている(図6-1)。

本研究をとらえて、版築をセルフビルドでつくることによる愛着や達成感は大きく、現代においてはこのような建築スタイルのあり方にも価値があることが実感でき、さらなる研究の可能性を感じた。



図6-1 左下建設中の2棟目版築実験居室と右完成した1棟目  
2002.11 現在

## <注>

- 1) 2001年8月11.12日に長野県駒ヶ根市で開催されたラムド・アースセミナー。講師：デビット・イーストン、シンシア・ライツ 主催：OMソーラー中部・BSI
- 2) 阪神大震災にて倒壊した西宮神社の版築壁補修に携わった(有)山本左宮組のこと。
- 3) 床・屋根・壁それぞれの表面温度を面積平均した温度で、体感温度の目安として使われる。また、各壁の窓表面温度は室内温度に置き換えて考える。

## <参考文献>

- 1) 石田秀樹：素材としての土の魅力、関西自然住宅ネットワーク講演会資料、1999年6月
- 2) 川島宙次：世界の民家・住まいの創造、相模書房

- 3) 彰国社編：自然エネルギー利用のためのパッシブ建築設計手法事典、1983年、彰国社
- 4) 世界のおもしろ住宅：松下電工コミュニティセンター、1993年5月1日
- 6) 武政孝治：設計支援を目的とするパッシブソーラーシステム性能予測技法の研究
- 7) 古木直人、吉野博、松本真一：半地下型住居「アースシップ」の熱的性能に関する研究、平成6年6月～平成7年6月(その1～その3)
- 8) 日経アーキテクチャ：特集「土を究める」p.26-75、新春特別号1999年1-11(No.631)日経BP社
- 9) 山田幸一監修：日本の壁 [INAX BOOKLET] 1985年5月8日、INAX出版
- 10) 山田幸一：壁、法政大学出版局、1981年
- 11) 西宮神社：西宮神社大練壁保存修理工事報告書
- 12) 月刊左宮教室、黒潮社
- 13) Centre Georges Pompidou : ARCHITECTURE DE TERRE, France, 1986
- 14) David Easton : THE RAMMED EARTH HOUSE, INDEPENDENT LIVING BOOK, 1996

## <謝辞>

この研究をおこなうにあたって、たくさんの方々の協力を得て進めることができました。ワークショップ運営に木下善智、中井浩二、村山徹、室内環境測定に川口舞子、報告書とりまとめに梶谷英之、金子尚志、からの多大な協力を得ました。ここに感謝の意を記します。

## <研究協力者>

梶谷 英之	神戸芸術工科大学大学院	修士課程
金子 尚志	神戸芸術工科大学大学院	修士課程
川口 舞子	神戸芸術工科大学大学院	修士課程
木下 善智	神戸芸術工科大学大学院	修士課程
木村 博昭	神戸芸術工科大学大学	教授
小玉 祐一郎	神戸芸術工科大学大学	教授
武政 孝治	広島県立保健福祉大学	助教授
中井 浩二	神戸芸術工科大学大学院	修士課程
村山 徹	神戸芸術工科大学大学院	修士課程

ワークショップ参加者 (神戸芸術工科大学) 井岡靖樹、岩下彩、宇佐美雅司、大山郁子、岡村浩樹、要陽子、河田瑞穂、川端おりえ、河村麻友、木山典子、蔵田優美、黒川茜、新森義明、高室真由子、棚岡里美、田中雅人、玉井潤、中橋一泰、西川可奈子、幡知也、花井架津彦、花岡拓郎、東端秀典、日高奈々恵、平林宏崇、藤沢康子、藤原由紀、松田安代、三好壺矢、百田真治、森川和洋(明石高等専門学校) 延東治、大槻薫、木村恭子、工藤和美、丹羽美菜(大阪工業大学) 北濱聖彦、中邨清、長谷川泰子、山西啓一(京都市立芸術大学) 高尾美香、塚本直子、吉本友子(その他) 石川香織、速藤研吾、大川信博、要信治、金子聖、岸田匡史、喜多川聡子、佐藤定義、島田剛志、島田陽、城下律子、田村亮子、田村篤士、中井直樹、長野和子、流水弘毅、灘井麻裕子、野田武、藤沢和昭、藤良和、三谷佳代、矢野明美(50音順敬称略)