

2008年度 修士論文

土を用いた住居における居住環境に関する研究

On the indoor environment of houses that uses soil and was built

広島女学院大学 大学院

人間生活学研究科 生活科学専攻

武政孝治 研究室

077501 原 佳世

# 目次

## 1章

1-1 研究の背景	.....1
1-2 研究の目的	.....2
1-3 研究の構成	

## 2章 研究対象の概要

建築材料としての土の特徴	.....3
2-1	
2-2 日本における建築材料としての土	.....4
2-2-1 土の蓄熱効果の検証	
2-2-2 藤井厚二による検証	.....7
2-2-3 日本における土壁の現状	.....8
2-2-4 土の断熱性の検証	.....9
2-2-5 環境シミュレーションソフト Esp-r による検証	.....10

## 3章 建築材料としての土

3-1 土建築(土を「充填する」)の工法	.....11
3-1-1 練り土積み(荒壁構築法)	
3-1-2 土団子積み	.....14
3-1-3 日干しレンガ造	.....15
3-1-4 土ブロック積み	.....21
3-2 日本における煉瓦組積造建築物	.....23

4章 構法の提案

4-1 材料の調達	.....25
4-2 配合設計	.....26
4-2-1 配合する材料	.....27
4-2-2 土の沈殿実験	
4-3 日干しレンガ作成	.....29
4-4 日干しレンガの乾燥収縮	.....32
4-5 ケーススタディ	.....44
4-5-1 設計における留意点	
4-5-2 設計プロセス	
4-5-3 プラン	.....50
4-5-4 模型	.....53

5章 結果・今後の知見	.....59
-------------	---------

謝辞

資料

記録写真

参考文献

# 1 章 序論

## 1-1 研究の背景

---

近年、土をはじめとする自然材が建築材料として見直されてきている。その理由として、住宅の安全性が挙げられる。土は新建材とは異なり自然材である。新建材は、戦後新しく開発された建築材料の総称で、合成樹脂を材料とするものが多く、また扱いやすくコストを下げることができるが、新建材に含まれる石油系素材などの化学物質が、廃棄物による地球環境の問題や、シックハウス問題の原因になっている。自然材は、木材、紙、草、石、土など自然界に存在するものを原料にした素材のことで、土は自然生態系で使用された後、その役目を終えると自然生態系本来の土として戻ることができることから、それらの問題の解決に有効であると考えられる。また、土には調温調湿作用があることが挙げられる。そして、日本だけではなく海外においても積極的に建築素材として取り入れる試みがなされている。

自然材としての土は、安価で入手が容易な建築材料で、古くから建築材料として利用されてきた。日本建築においては、技術的、意匠的にも極めて質の高いものがつくられ、地域によっては小舞壁に代表されるように民家の壁体に用いられる素材であり、加えて熱容量の大きい材料であることは土蔵づくりなどの温熱環境調査などで知られている。一方、柱、梁、筋かいなど、住まいの躯体に主に木材を利用する在来木造などの木質系住宅では、太陽熱利用型システムを用いる場合、木材の特性から熱容量が少なく、日中は室温が過度に上昇し居住性の悪化が懸念されている。そこで、木質住居の熱容量増大の手法として土壁などの土の特性を利用する試みが見られる。しかし、土壁が現在あまり普及していないように、土壁には施工性の悪さや、断熱手法が未確立など普及するには解決すべき点多々ある。



1-2 研究の目的

本研究では、このような背景をもとに木質住居に土を導入することを前提に、土を材料とした日干しレンガを日本の在来木造に充填する構法について考案し、現在の在来木造の壁を土壁とする場合に対応した新しい木質工法の提案を目的とする。

1-3 研究の構成

本研究は 5 章で構成される(図 1-1 参照)。第 1 章では研究の目的・背景等を述べ、第 2 章では研究対象の概要を述べる。第 3 章では、文献資料を基に建築材料としての土を用いた工法を例に挙げ、利用実態を整理する。第 4 章では、どのように土を建築に用いれば良いかという構法の考案を行う際に日干しレンガの試作品を作成すると共に、木造住宅(平屋建て)に日干しレンガを充填させた場合のシミュレーションを行い、建築材料としての土の利用特性を明らかにする。第 5 章では、第 4 章までの結果から考察を加えると共に、今後のにおける知見を示す。

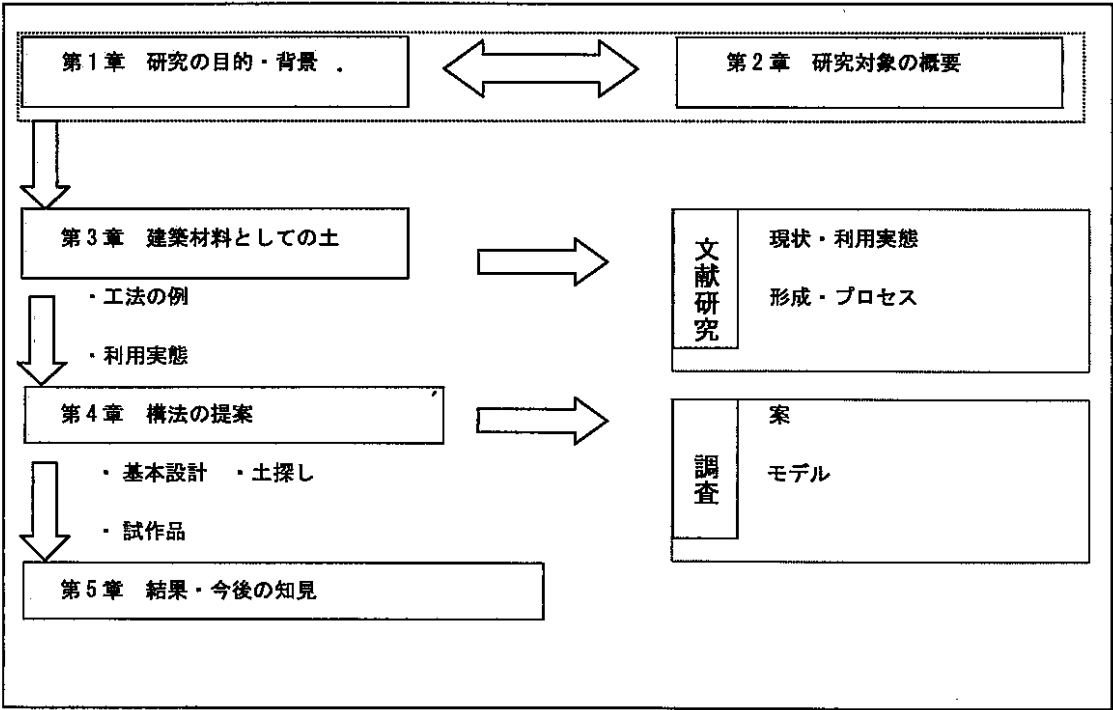


図 1-1 本研究の構成

## 2章 研究対象の概要

2章では、建築材料としての土の特性を整理すると共に、文献資料を基に日本における土壁の利用実態を明らかにし、さらに土の特性を活かすため必要な検証実験を行う。

### 2-1 建築材料としての土の特徴

---

建築材料としての土は、工業材料を使用した建物に比べ、以下の7つの利点を持っている。

#### ① 調湿作用を持つ

土を構成する物質は、非常に小さな孔(ナノ細孔)を持っている。ナノ細孔は、湿度に応じ水蒸気を吸着放出する性質を持っており、この調湿作用により建物内部の湿気の変動を穏やかにする。

#### ② 熱を蓄える

土の熱容量により熱を吸放出し室内温度の変動を小さくする。建築材料としての土は、その熱の隔離に適した材料であるという一般的な認識が十分に検証されていない。「つつっこ」<sup>11)</sup>では、版築の実験棟を2棟建てており、室内温熱環境測定調査(2006年から2008年に実施)において、版築壁の蓄熱効果を確認している。

#### ③ 環境汚染を引き起こさない

土は自然素材であることから、その製造工程で化石燃料消費量が大変少なく地球環境への負担が少ない。また、素材の素性がわかり人体に安全で健康な素材といわれる。

#### ④ 再利用が可能である

建築材料としての土は、廃棄処分時に確実に土に戻るため、循環型のエコロジー素材である。

#### ⑤ 材料と輸送機関のコストが低減できる

建築材料としての土は、安価で入手が容易な建築材料であり、敷地周囲の土を利用することで移送コストの低減が期待できる。

#### ⑥ セルフビルド向きである

職人による施工の際は費用がかかるが、土は容易に入手でき集団での作業が可能のため専門家でなくともセルフビルドで施工を行うことができる。

#### ⑦ 材木や他の有機材料を保護する

住宅において材木などの建材を長持ちさせるために、湿気を逃す構造は不可欠である。塗壁であれば、粘土や漆喰といった透湿性の高い材料を用いることで、湿気対策や害虫保護が可能である。

また、一方では以下の3つの欠点を持ち合わせている。

① 標準化された建築材料ではない

建築材料としての土は、工業材料とは違い、いつでも、どこでも、一様な材料ではない。また、施工性を考えると、それぞれ気候風土の違う地域により性質が異なるため、掘り出されると良い状態に調合する手間や時間、労力がかかる。

② 乾燥させると収縮する

乾燥収縮することで、木造住宅であれば、隙間風などの構造に問題が生じる。

③ 耐水性に劣る

この現象はひび割れの原因となるため、土の表面を保護するなど雨水や湿気などから防水・防湿の対策が必要である。

前述した3つの欠点①で挙げた、標準化された建築材料ではない点においては、土という建築材料が安価で容易に入手可能なため材料のコストが低減できると考えられる。②で挙げた、乾燥させると収縮する点においては、その分硬化し強度を増すと考えられる。また③で挙げた、土は耐水性ではない点においては、土の表面を保護する対策をとることで建築材料として用いることができると考えられる。

## 2-2 日本における建築材料としての土

---

こうした土の持つ利点や欠点を生かし、住宅に取り入れる試みが提案され、現代の居住環境に適応した新たな展開が注目されている。

### 2-2-1 土の蓄熱効果の検証

---

建築材料としての土が、熱の隔離に適した材料であるという一般的な認識は十分に検証されていない。神戸芸術工科大学で行われた版築実験棟と木造茅葺きの小屋(方丈)の夏期・冬期室内温熱環境測定調査(2006年8月、2007年1月)では、版築壁の蓄熱効果が確認された。

版築とは、型枠に土を入れ、たたき締めて土を固めた、強固な土壁をつくるために用いられる工法である。実測結果を以下に示す。

## 夏期室内温熱環境測定調査

### ①建物条件

方丈は、木造茅葺きの小屋で、日射が入る開口部はなく各室に出入りするためのドアが南北 2 カ所に設けられている。室内の天井、壁の仕上げには不燃ボードが張られ、床にはベニヤ板が張られている。断熱材は、壁、間仕切り、天井に充填されており、床下は断熱施工されていない。

版築Ⅰ期は、版築壁そのものを構造体とし、壁厚 450 ミリの版築壁は、土と石灰 3% の配合で造られている。開口部には複層ガラスが使用され、屋根はガルバリウム合板葺き(天井に断熱材を充填)、床は三和土仕上げである。また、日中の日射を遮断するため、四面に簾を設けている。

版築Ⅱ期は、Ⅰ期が壁式構造であったのに対し鉄骨造で造られている。壁厚は 200 ミリ、セメントの重量比は 5% である。開口部には単板ガラスを使用しており、屋根はⅠ期同様、ガルバリウム合板葺きである。床は基礎の上に根太を置いた板張りとしている。天井の断熱はグラスウールで、仕上げはプラスチック製の並板が張られている。



図 2-2① 方丈



図 2-2② 版築Ⅰ期(左)、版築Ⅱ期(右)

### ②実測結果

測定期間中の室温変動と外気温、水平面日射量の推移を以下に示す。

方丈(図 2-2-1③)を構成する壁の表面温度は、ほぼ室温変動と同じ傾向を示しているのに対し、版築(図 2-2-1④)の表面温度は室温変動とは異なり温度が小さく安定していることが確認された。

この結果から、版築壁は熱容量が大きく、方丈(木造平屋建て)は熱容量が小さいことが明らかとなった。また、版築壁の蓄熱効果を活かし、日中の室温上昇を抑えるためには、日射を適切に遮断する対策が重要な前提条件になることがわかった。

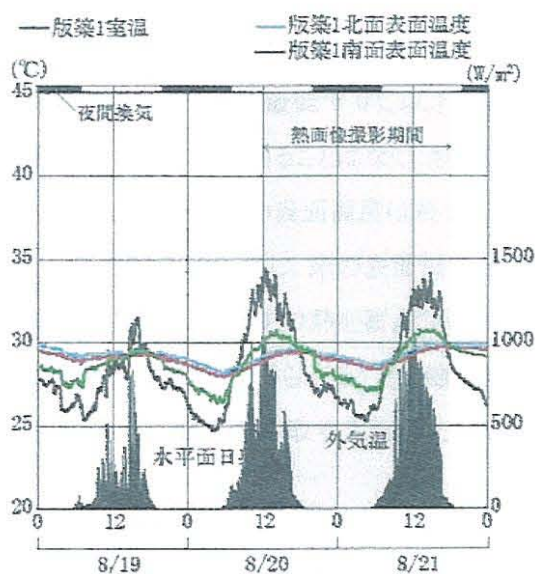


図 2-2-1③ 方丈の表面温度と室温変動

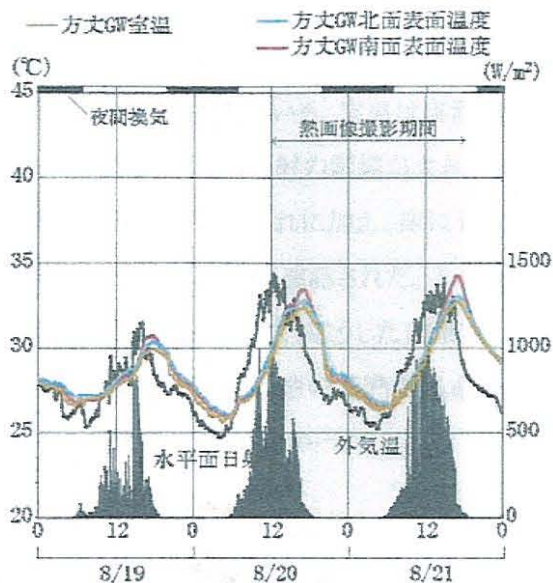


図 2-2-1④ 版築棟の表面温度と室温変動

『「方丈プロジェクト」「版築造実験居室」夏期室内温熱環境実測調査報告書』、神戸芸術工科大学、2006 年

### 冬期室内温熱環境測定

#### ①建物条件

夏期室内温熱環境測定結果から、版築壁の熱特性をより活かすために版築棟Ⅰ期のみには断熱強化を目的とした外断熱（グラスウールと金属サイディング（製品名：ガルバリエ））改修を行っている。また、測定の助走期間とした 9 日間において、熱源 600W（照明器具）を設置し室内を温め、13 日間（1 月 20 日～2 月 1 日）において終日熱源 400W（照明器具）を設置し、室温変動、表面温度の推移を自動計測している。さらに、7 日間（2 月 1 日～2 月 7 日）においては熱源を切り、室温の低下を計測している。



図 2-2-1⑤ 外断熱改修後の版築Ⅰ期



図 2-2-1⑥ 版築Ⅰ期(右)、版築Ⅱ期(左)



②実測結果

測定期間中の室温変動と外気温、水平面日射量の推移を以下に示す。

実測中の外気温は、最低で 0℃以下、日中は最高 12℃程度まで上昇している。室温は実測期間全体を通して 13℃を下回ることではなく、最高室温は 1 月 30 日の 23.4℃であり日射の影響が大きいと考えられる。また、版築壁の表面温度は終日 15℃前後で安定した変動となる。これに加え、床に日射が当たると表面温度は上昇し、床の表面温度は外気温の影響を受けやすいことが確認された。大きな熱容量を持つ版築壁は日中の熱を蓄え、夜間にその熱を放出して室温低下を防ぐ。こうした効果は、外断熱を行うことで十分に得られることが確認された。また、晴天時において版築造の蓄熱効果を得るには、日中の日射を多く取り入れることが重要な前提条件であることがわかった。

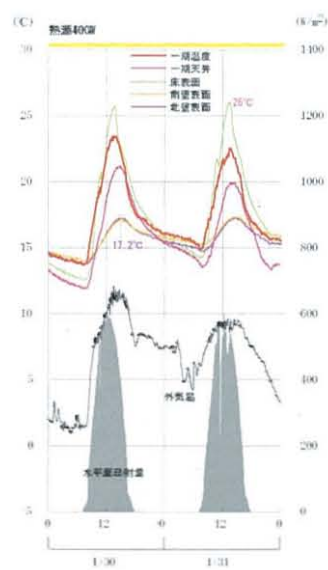


図 2-2-1⑦ 版築Ⅰ期 表面温度と室温変動

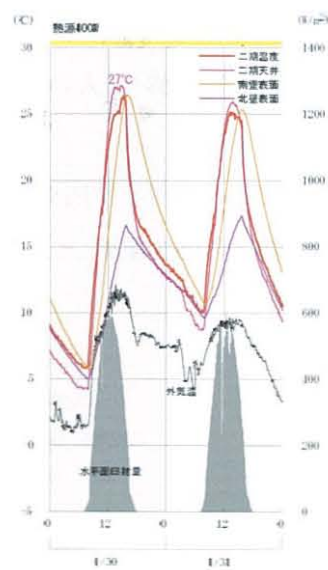


図 2-2-1⑧ 版築Ⅱ期 表面温度と室温変動

『版築壁の熱特性を生かした構法の開発に関する研究 冬期実測調査報告書』、神戸芸術工科大学、2007 年

2-2-2 藤井厚二による検証

日本においては、藤井厚二主著による『日本の住宅』<sup>2)</sup>の中で、住宅における外壁の材料と構法の比較を行っている。和風住宅の手法から木舞壁<sup>3)</sup>と土蔵壁<sup>4)</sup>、洋風住宅の手法から木摺壁<sup>5)</sup>、中空煉瓦壁<sup>6)</sup>、鉄筋コンクリート壁を取り上げ、仕上げの違いも含め 9 種類の壁の断熱性能が比べられている。結論的に、熱容量は和風の土壁が優れ、特に土蔵壁が良好であること、対して洋風の木摺壁は断熱性において問題があることが指摘されている。

2-2-3 日本における土壁の現状

日本では土壁や土間、土蔵に代表されるように、土はなじみ深い建築材料である。土壁は伝統的な工法として一般的であるが、日本で土壁構法を採用している工務店は全国平均で約 24%である(図 2-2-3①参照)。活用状況には顕著な地域性が見られている。東海から西側、特に中国地方と四国地方の瀬戸内海側、東海地方で活用率が高い。北海道、東北、関東は1%程度の活用率である。一方で、土壁を使わなくなった時期に関しても、現在の活用率と似た地域性が見られる(図 2-2-3②参照)。土壁を活用した理由として、西日本では防暑性能を評価しているのに対し、東日本では防寒性能が評価されていることが挙げられる。一方で、土壁を活用しない理由としては、「乾燥期間の長さ」、「工事費の高さ」が挙げられる。また、西日本に比べ東日本では「需要がない」、「職人不足」、「材料入手が難しい」ことも挙げられており、土壁の活用率には、活用するための人的・物的資源の有無が影響していると考えられ、現在では高級な構法として位置づけられている。

また、県の通達や検査方法において、土壁の強度を決定する要因が不明であること、サンプルや試験体の信頼性が低く、製作から試験までの手間と時間がかかること、現場で配合を変えることも多いことなどが問題となっている。

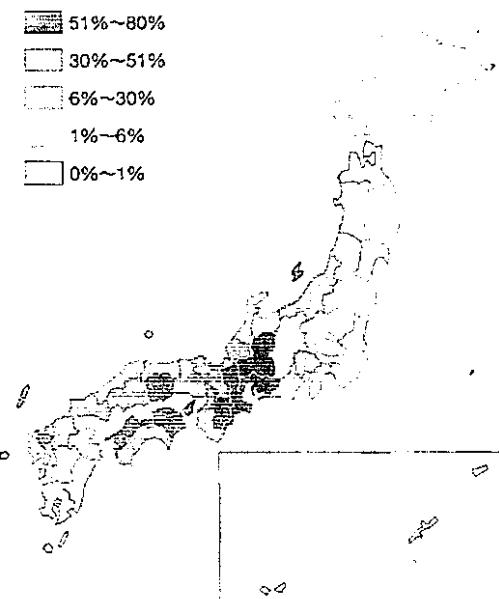


図 2-2-3① 現在の土壁の活用率

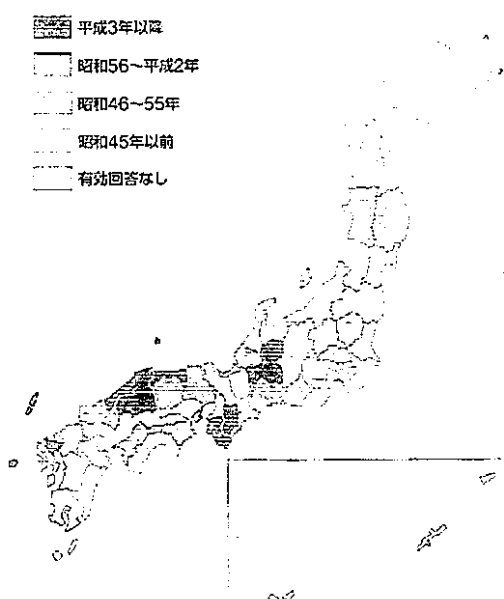


図 2-2-3② 活用をやめた時期

『日本の木造住宅の 100 年』、日本木造住宅産業協会、2006 年

2-2-4 土の断熱性の検証

土壁の熱伝導率は0.62～0.69(W/m・k)であり、グラスウール10Kの0.05(W/m・k)と比較して、1/10以下である。この値を断熱基準となる次世代省エネ基準にあてはめると、東京での値はグラスウール10Kが100mm(10cm)となっている。これと同じ断熱効果を土壁に求める場合、熱伝導率0.69(w/m・K)で計算すると0.69/0.05×100mm＝1380mmになる。つまり1.38mもの壁が必要となる。

熱伝導率とは、物質内の熱の移動しやすさを示す係数であり、熱伝導率が低いほど断熱性能が高いといえる。つまり、断熱だけを見ると残念ながら土壁は、断熱性が高いとはいえない。

一方で、なぜ土壁の家は「夏涼しく、冬暖かい」といわれるかというと、土壁は熱容量が大きいということが影響していると考えられる。土の熱容量は約1600KJ/m<sup>3</sup>℃であるのに対し、断熱材は20(kJ・m<sup>3</sup>・K)程度でしかなく、その差は約80倍の蓄熱性能を持つ。この結果から、例えば「暖房を切った後、明け方までどの程度室温が低下するのか」、という保温性を判断する場合は、土壁の蓄熱性が大きな効果を持つと考えられる。また、コンクリートの熱伝導率は、木材や土と比較すると1/10以下であり、熱を通しやすく熱容量も大きいといえるが、土の熱容量の数値には注目するものがあり、土の特性である調湿整という面に関しては、他の材料より優れていると考えられる。

これらの点をふまえ、現代の住宅に合う土壁の工法を取り入れる試みが提案され、現代の居住環境に適応した新たな展開が期待されている。

表 2-2-4① 各種材料の熱定数

材 料	熱伝導率 λ [W/m・K]	容積比熱 cp[kJ・m <sup>3</sup> ・K]
(普)コンクリート	1.637	2013
レンガ	0.612	1390
木材(中量)	0.158	1034
グラスウール(10K)	0.051	8.4
土	0.612	1582

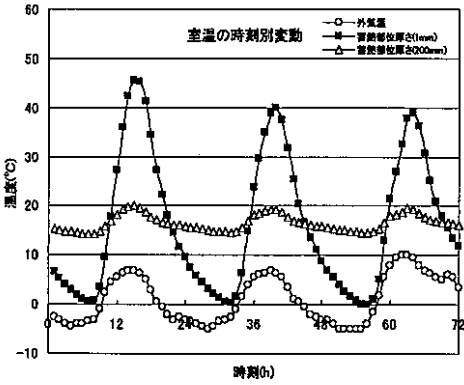
『最新 建築環境工学[改訂3版]』、(株)井上書院、2006 年



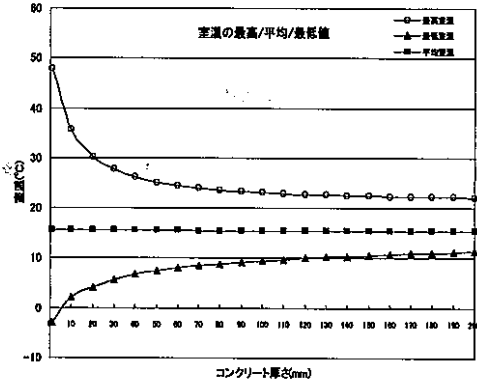
2-2-5 環境シミュレーションソフト Esp-r による検証

環境シミュレーションソフト Esp-r を用いた室内熱容量の評価では、木質住居の蓄熱部位としてコンクリートを用いた場合、コンクリートの厚さが 1 ミリの場合の室温幅は非常に大きく、厚みを増すにつれて室温の変動は穏やかになっている傾向が確認された。

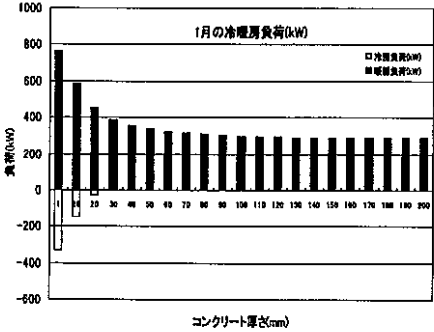
このことから、木質住居は室温変動が非常に大きく、そのため日中の室温上昇などによる居住性の悪化が懸念されているが、十分に熱容量を持たせた建物であれば室温の変動は緩やかで、比較的高く維持され则认为られる。



室温の時刻別変動



コンクリート厚さと最高室温／平均室温／最低室温



コンクリート厚さと冷暖房負荷

「環境シミュレーションソフト Esp-r を用いた室内熱容量の評価」

日本建築学会 2008 年度大会学術講演概集、大谷友里恵

- 注
- 1) 神戸芸術工科大学大学院共同チーム「つつっこ」により建設。
  - 2) 藤井厚二『日本の住宅』、岩波書店、1928
  - 3) 柱と柱の間に竹または木を組みわたし、縦横に組んで荒縄で固定し格子状にした下地の上から土を塗りつけている壁。
  - 4) 4面に土や漆喰(しっくい)を塗りつけている壁。
  - 5) 幅の狭い板を上下約 5 ミリ間隔で水平に間柱に打ちつけた上から土を塗りつけている壁。
  - 6) 内部が空虚である煉瓦壁。

## 3章 建築材料としての土

3 章では、日干しレンガを木造住宅に充填する計画に至るまでの前段階の調査や文献研究をまとめる。文献資料・調査を基に、土建築の構法の中で「土を充填する」構法を整理し、日本における利用実態や実際に日干しレンガを作成するための調査を行う。

### 3-1 土建築(土を「充填」する)の工法

#### 3-1-1 練り土積み(荒壁構築法)

練り土に砂や藁を入れ、版築と荒壁の間くらいに適度な水分でよく練った土を、湿った状態のまま目地材を使わずに手で積み上げていく最も古く原始的な工法である。紀元前1万1500年頃、シリア、ユーフラテス川沿いに始まり、西アジアや中近東、インド、アフリカ、中国大陆などでは今でもつくられている。日本では、土堀や塀、小規模な建物にこの方法が用いられている。

#### 練り塀の集落

祝島集落(山口県上関町祝島)には、島の特徴ともいえる「練り塀」と呼ばれる構造物(写真 3-1①、②参照)が見られる。石を2列に3段ほど積み、石と土を交互に軒の高さまで積み上げ、民家の壁や塀に仕立てている。道側の壁は、漆喰<sup>1)</sup>などで強固に固められている。



写真 3-1-1① 民家の壁体を使用(筆者撮影)



写真 3-1-1② 民家の塀に使用(筆者撮影)

### 練り土を充填した住宅

ドイツ(カッセル)では、練り土を木造住宅の柱に充填する工法が見られる。練り土の自由に加工ができる特徴が活かされている。



図 3-1-1① 粘土状に配合した土を機械から絞り出す



図 3-1-1② 練り土を積み上げる



図 3-1-1③ 表面を丸くカットする

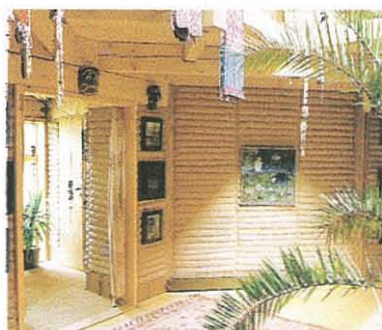


図 3-1-1④ 室内の様子



図 3-1-1⑤ 弾力のある練り土



図 3-1-1⑥ 練り土を積み上げる



図 3-1-1⑦ 室内の様子

『BUILDING WITH EARTH』、2006 年



図 3-1-1⑧ 細い棒状の木に練り土を巻き付ける



図 3-1-1⑩ 作成手順図



図 3-1-1⑨ 回転させながら練り土を巻き付ける

この工法は、1979 年頃に実際の住宅に使用されていた。

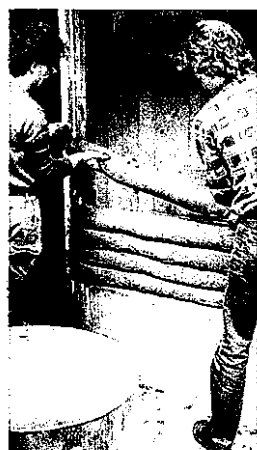


図 3-1-1⑪

完成した練り土付きの棒を柱にはめ込む。

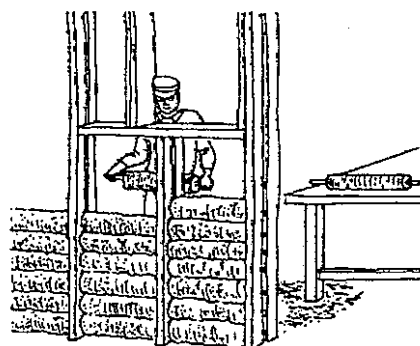


図 3-1-1⑫ 作業図



図 3-1-1⑬

藁と一体化させた練り土を  
柱に巻き込む工法



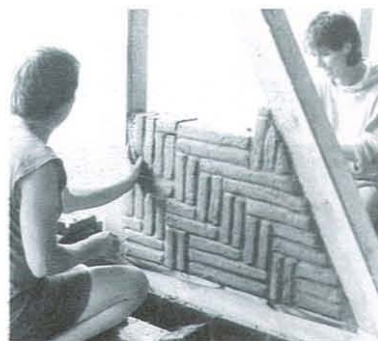
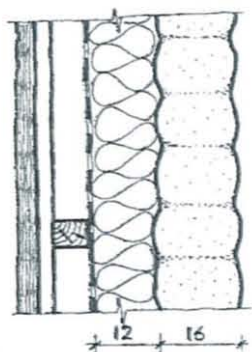


図 3-1-1⑫ 充填断面図

図 3-1-1⑬・⑭ 間柱間には練り土を加工し積み上げる

『BUILDING WITH EARTH』、2006 年

### 3-1-2 土団子積み

道具を必要としない、最も単純な工法である。ソフトボールより少し大きな球形の土団子を手で成形し、半乾きのうちに積み始める。土団子は、強く押せば変形する程度の状態で用いられるため、変形が自由であるが、施工時の水分量の見極めが難しく、雨水による浸食が問題に挙げられる。このため、小規模な住宅や倉庫などにこの方法が用いられる。

#### 土団子積み的小屋

兵庫県丹波篠山市周辺には、灰屋<sup>2)</sup>と呼ばれる土づくりの小屋が多く見られる。



写真 3-1-2① 土団子を積み上げる様子(筆者撮影)



写真 3-1-2② 土団子を積み上げた状態(筆者撮影)

### 壁に土団子を突き刺す

ドイツ(カッセル)では、針状のものが差し込まれている住宅の壁に、土団子を突き刺して完成させる住宅が見られる。

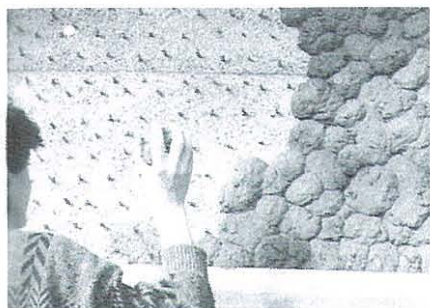


図 3-1-2① 土団子を突き刺す



図 3-1-2② 室内の様子

### 3-1-3 日干しレンガ造

日干しレンガは、水分を十分に含んだ土を型枠に入れ、太陽の下でよく乾燥させたレンガを土のモルタルなどを使って積み上げていく工法である。アドベ、泥煉瓦とも呼ぶ。大きさは、小さいものから（例・ $20 \times 10 \times 5\text{cm}$  程度）、大きいものまで（例・ $40 \times 20 \times 15\text{cm}$  程度）、さまざまであり、アーチやドームのような複雑な壁や薄い壁をつくる時には小さいサイズのものに、単純な形で、分厚く大きな壁をつくる時には大きいサイズのものに加工することができる。日干しレンガをつくる場合は、その大きさや用途、また作業性や経済性から使用する土をその目的に合わせて選択し、準備する必要がある。

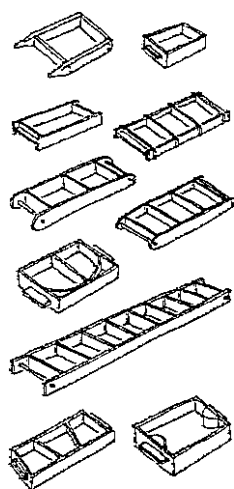


図3-1-3① 型枠の種類

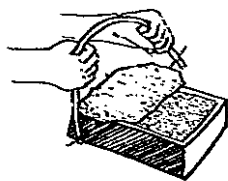


図3-1-3② 表面を材木小片、鋺、ワイヤーで整える

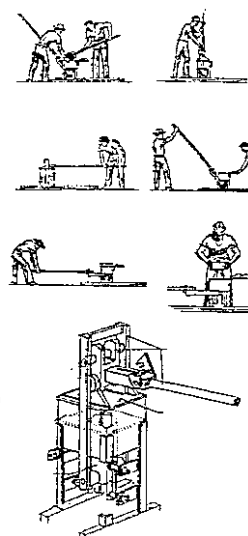


図3-1-3③ 土壌ブロックの圧縮器



図3-1-3④

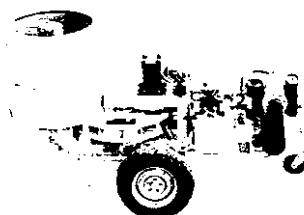


図3-1-3⑤

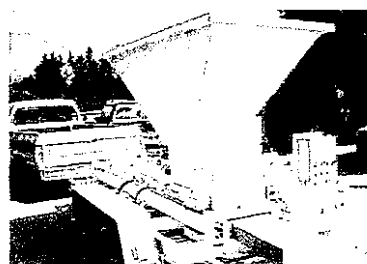


図3-1-3⑥

『BUILDING WITH EARTH』、2006年

(図3-1-3④参照) は、パラグアイで使用されている日干しレンガをつくる道具である。この道具で一人1日あたり150～200ブロックの日干しレンガをつくることができる。このような手動の道具は、主に発展途上国で使用されている。一方で、経済性を考えた自動の日干しレンガブロック製造機が開発されている。(図3-1-3⑤、⑥参照) の製造機を使用すると、毎日1500～4000ブロックの日干しレンガをつくることができる。しかし、この機械を導入するには大きな投資を必要とするため、発展途上国で維持することは難しい。

日干しレンガ作成の準備段階においては、用途（配筋や接合方法）に合わせた様々な種類の型枠が作成される。

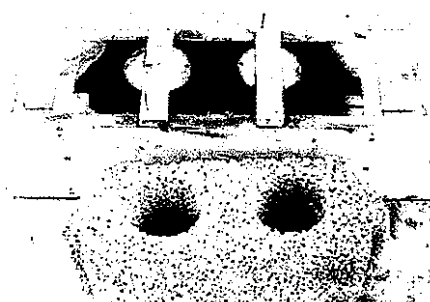


図3-1-3⑦ 配筋を行う場所のための型枠



図3-1-3⑧ 日干しレンガ作成の様子

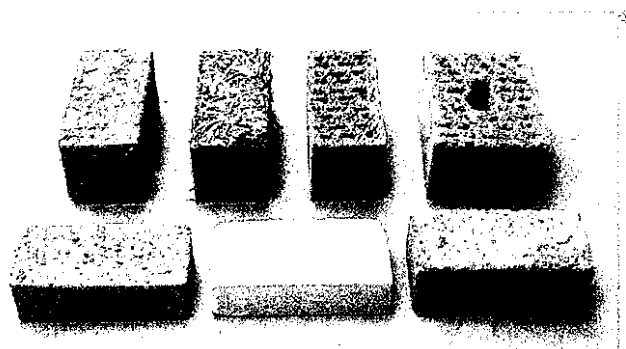


図3-1-3⑨ 日干しレンガ

### 民家の改修に日干しレンガを使用する

石川県輪島市で、土蔵の小舞かき、泥団子や日干しレンガづくりを行い、土蔵の修復工事を着手しようというプロジェクト(輪島土蔵施工プロジェクト)が実施された(2007年8月～9月)。石川県で発生した能登半島地震(2007年3月25日)で、崩壊住宅は同程度の震度の阪神大震災(1月17日)と比べ、極めて少なかったという事実から、在来工法による木造住宅は激しい揺れを吸収して倒壊するのを免れたのではないかと考えられ、その耐震性も注目されている。



### 日干しレンガによる土蔵修復

地震の被害にあった土蔵壁を、日干しレンガの工法を用いて修復を行った。土蔵壁の床から3本目の貫まで日干しレンガを積んでいき、一部残っていた壁土を撤去し、腐っていた貫を交換する。土台より下の部分は、床よりも低く日干しレンガでは水を吸うため、基礎石の上に焼成レンガを数段積んでいる。

日干しレンガを積み上げる際には、2〜3層ごとに漆喰がよく絡むように、丸穴を開けた間渡し竹を柱の間に平づかいに渡し、その上と貫の上には農業用ネットを敷き、壁の両面で抑えることで、壁が前後に倒れるのを防ぐ工夫をしている。また、柱の外側にはカットしたネットを柱にステンレスビスで固定し、控えをとっている。施工途中では、土の収縮が大きく日干しレンガが小さくなったため、目地や面が揃わない部分も多々見られるが、素朴な表情の壁が出来上がっている。外壁は砂漆喰で抑えてあるが、内部は日干しレンガがそのまま表現されている。

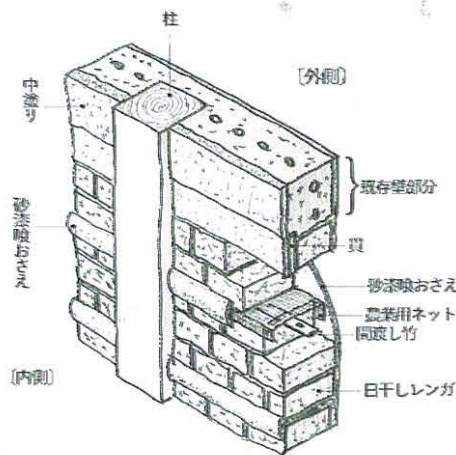


図 3-1-3⑩ 土壁概略図(崩落した部分に日干しレンガを積む) 『CONFORT』、2008 年



写真 3-1-3① 目地に漆喰を埋め込む(筆者撮影)



写真 3-1-3② 完成した壁(筆者撮影)

## 日干しレンガの作成

### 作業手順

- ① 素足で泥をこねる。
- ② 合板で型枠を組み立てる。
- ③ 泥を型枠に入れ、手でならして型枠を外す。



写真 3-1-3③ 素足で泥をこねる(筆者撮影)



写真 3-1-3④ 日干しレンガ作成(筆者撮影)

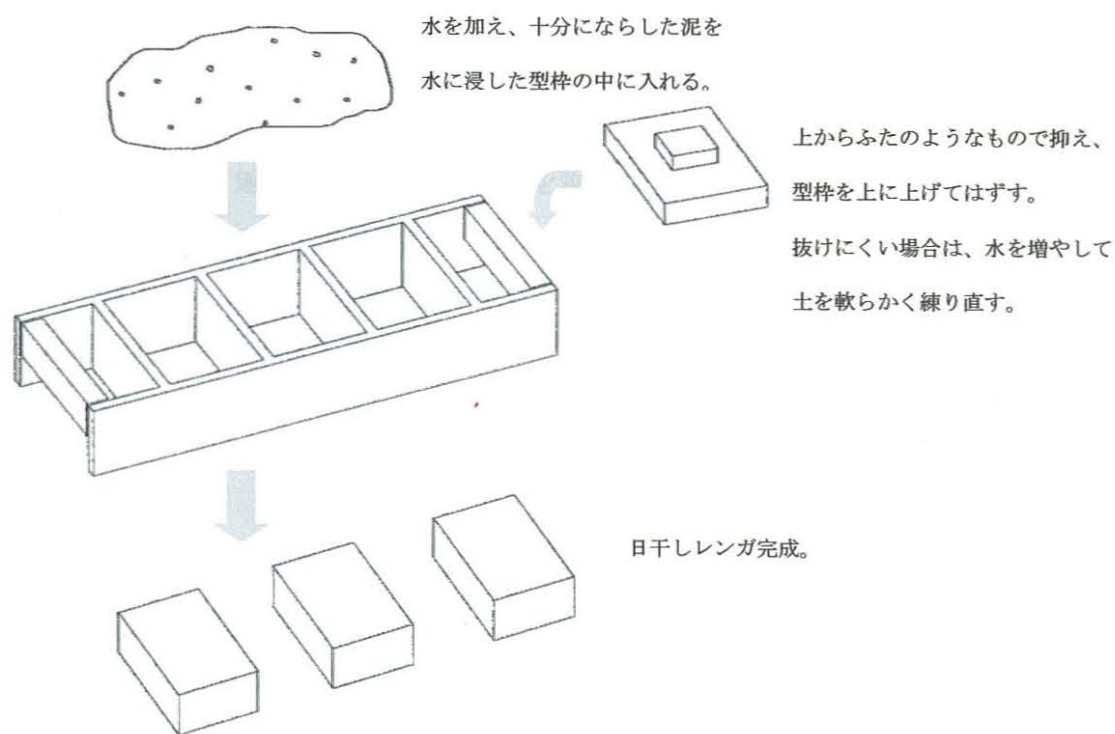


図 3-1-3⑪ 日干しレンガの作成手順

④日干しレンガを太陽の下で乾燥させる。



写真 3-1-3⑤ 日干しレンガを干す作業(筆者撮影)

#### 日干しレンガ積み上げ時の補強

ペルー共和国(ボリビア)では、土を使用した建物が多く存在する。ボリビアでは、土を構造体として住宅に使用しているため、耐震補強に関する技術対策の研究が日々行われている。前述した日本(石川県輪島市)の日干しレンガ積み上げ時の補強方法と合わせて、日干しレンガの補強方法を以下の4つに分類する。

##### ① 水平方向に関する補強

水平に連続的な補強部材を設置するもので、原則として外壁全てを連結するように配置する。

(具体例)

- ・日干しレンガ壁目地の中に半割などの割竹を並べる。
- ・日干しレンガ目地の中に農業用ネット、金属メッシュを引き込む。
- ・日干しレンガ壁上部の端部と噛み合わせながら、コンクリート臥梁を配置する。

##### ② 垂直方向に関する補強

補強部材を一定間隔で日干しレンガを貫通させて配置する。または目地を貫通するように配置する。

(具体例)

- ・葦や竹、鉄筋などを日干しレンガの目地部分を通るように配置する。

##### ③ 水平平面部材の剛性向上に関する補強

屋根面や2階床などの水平平面部材の剛性を高める。

##### ④ 特定部位に関する補強(開口部周辺、壁の端部)

構造的な弱点となりやすい開口部周辺、壁の端部を局部的に補強する。



(具体例)

- ・ 細い竹材を日干しレンガ壁全体に格子状に配置する。竹材と竹材の交点は麻縄などで縛る。
- ・  $\phi 3\text{mm}$  程度の鉄筋を格子状にし、鉄筋と鉄筋の交点を溶接する。この鉄筋網を日干しレンガの隅などの構造的に脆弱な部分に配置する。
- ・ 金属メッシュ、ナイロンストラップ、PP バンド、麻袋などを用いて開口部周辺や壁の端部を補強する。

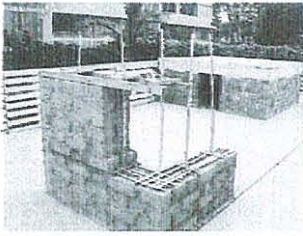


図 3-1-3⑫ 日干しレンガ壁の水平方向と垂直方向を竹材で補強する

『左官教室』、2006 年

### 3-1-4 土ブロック積み

重い石の平面部を内側に向け四方に配置して型枠とし、練り土積みに近い水分量で、日干しレンガよりも粘りの多い土をつき固めながら詰め込む工法である。日干しレンガと土ブロックは、単に大きさが違うだけと思われがちであるが、土ブロックを1人で移動できる重さは1個 40〜50kg ほどである。

大きくなると、さらに問題がある。日干しレンガは乾燥時、その中心に向かって収縮する。従って同じ体積であっても薄く細長い形状だと、自重により中心に向かって収縮できないため中央付近でひび割れを起こす。このためブロックが大きくなるほど単調な立方体の塊にせざるを得ない。また、大きくなるほど平たい形状にできないため、乾燥期間が長くなり、建物全体を構成するための広大な敷地が必要になる。

### 版築のブロック

版築のブロック(120×150×300 ミリ角、その半割、配筋用の穴開きブロック)を積み上げた工法による実験的な建物を以下に挙げる。



図 3-1-4① 北面外観図

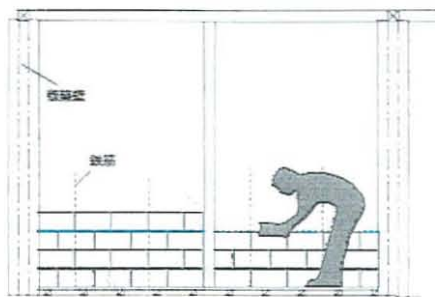


図 3-1-4② ブロック面断面

H 邸アトリエ(畑中久美子デザイン室)『住宅建築』、2006 年

安楽寺(山口県下関市)の外壁には、大型土ブロック積み工法が用いられている。土ブロックの重量は最小で 60kg、最大で 160kg である。現地の土にセメントを混入して強度を上げている。



図 3-1-4③安楽寺外観



図 3-1-4④ 室内

『CONFORT』、2008 年

### 圧縮レンガブロック

オランダのオスカム社製造には、焼かずに圧縮した、「圧縮レンガブロック」の製造機をつくる工房がある。材料は土:20%、砂:80%、少量の水を混ぜたものを油圧のプレス機で上下から一気に圧縮し、1 分間に 6〜8 個の建築用の生レンガが作成されている。



図 3-1-4⑤ 圧縮レンガブロック（手前が赤土、奥は黄土を使用）

『CONFORT』、2008 年

### 3-4 日本における煉瓦組積造建築物

粘土やコンクリートなどを原材料とするレンガやコンクリートブロックなどを組積して建築物の壁体を構成する「組積造建築物」は、ギリシャ・ローマ時代から現代に至るまで広く世界で建設され、現在も世界各地に広く分布している。そのうち耐震国である中国、イラン、インドネシア、トルコなどのアジア諸国やイタリア、ギリシャなどのヨーロッパを始め、メキシコ、コロンビア、ペルー、コスタリカなどの中南米諸国は、大きな地震が発生する度これらの組積造建築物の倒壊の被害が発生しており、そのため数多くの人命が失われている。

日本では明治になり、欧米よりレンガ組積造の技術が輸入され、それまでの木造建築物に代わり恒久的な建築物を実現する新技術として取り入れられた。しかし、1891 年の濃尾地震、1894 年の東京地震、さらに 1923 年の関東大震災における地震被害により、煉瓦組積造建築物の耐震性が疑問視され、その後 RC 造建築物のように一般的に用いられなくなっている。また、そのため煉瓦組積造建築物の耐震性に関する実験的および論理的研究はほとんど行われていない。日本においては、佐野利器<sup>3)</sup>らによる煉瓦造建築物の耐震設計論が 1935 年に発表されており、1952 年に特殊コンクリート構造設計規準・組積造設計規準が制定され、その規準の考え方を引き継ぎ、無補強の組積造の規準が 2006 年に改訂されるのみに留まっている。

この規準は、煉瓦組積造建築物の多い外国にも影響を与え得るように耐震性に優れたものになるよう、耐震壁の開口率制限の他に壁率規定を加えたものになっているが非補強では高さ 9m まで、補強した場合は、3 階以下という制限が日本の建築基準法で示されているため、現在でも日本では煉瓦組積造建築物が一般的ではないのが現状である。

1. 組積造の建築物の軒の高さは、組積造の種類および壁の厚さに応じて、表2の数値以下とし、かつ各階の階高は3.0m以下とする。

表2 規 模

組積造の種類	壁の厚さ	建築物の軒の高さ(m)
1 種組積造	5条の規定による場合	6
	上記規定の1.2倍以上とする場合	9
2 種組積造	5条の規定による場合	9

〔備考〕 バラベットがある場合は、その高さは1.2m以下とし、軒の高さに算入しない。  
ただし、組積造のバラベットは設けてはならない。

2. 鉄骨造・木造その他軽量な小屋組を用いて屋根とする場合においては、1 種組積造にあつては、棟の高さ9m以下かつ軒の高さ6m以下とする。ただし1 種組積造で壁厚を5条の規定の1.2倍以上とするものおよび2 種組積造については、鉄筋コンクリート造または剛なプレキャスト鉄筋コンクリート造のスラブ(居住・格納などによる積載荷重を受けるものを除く)の直上に小屋組がある場合には、棟の高さ13m以下かつ軒の高さ9m以下とすることができる。

図 3-1-3⑬ 『壁式構造関係設計規準集・同解説(メーソソリー編)』、2006 年

注

- 1) 漆喰(しっくい)：消石灰に、にがりなどを加え、粘土などを混ぜて練ったもの
- 2) 灰屋(はんや)：土の総塗り籠めにより、内部で草木を燃やし穀物などの栽培に必要な草木灰をつくる小屋
- 3) 佐野利器、武藤清：家屋耐震並耐風構造、高等建築第26巻、常磐書房、1935



# 4章 構法の提案

## 4-1 材料の調達

日干しレンガを作成するにあたり、まずどの場所の土を使用するかを決める必要があった。土は購入すれば粒度の揃ったものが得られるが、誰もが手軽に作成できるということを重点におき、採取場所は東区牛田の女学院大学近辺に絞った。比較のため豊栄町乃美近辺の土、兵庫県丹波篠山市の赤土を用いた(図 4-1①参照)。

国土地理院承認 平14総検 第149号



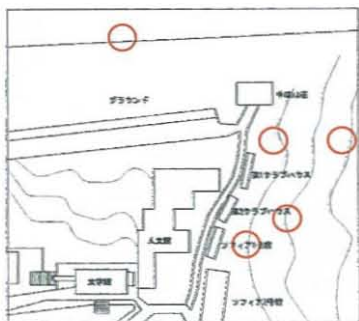
図 4-1① 土の採取場所



## 4-2 配合設計

### 4-2-1 配合する材料

#### 女学院大学周辺の土



学内のグラウンド近辺、牛田山近辺、牛田山荘付近、ソフィア館近辺の斜面・川付近の土を採取した(左図参照)。

図 4-2-1① 女学院大学配置図



女学院大学周辺の土を土壤図で確認する(左図参照)。  
土壌群:未熟土(土の層が浅く未発達な土)  
花崗岩を基岩とした山地の尾根や中腹に広く分布する未熟土。  
土層は浅く、土性は砂質(ほとんどが砂)である。

図 4-2-1② 土壤図『土地分類図 20 万分の 1』



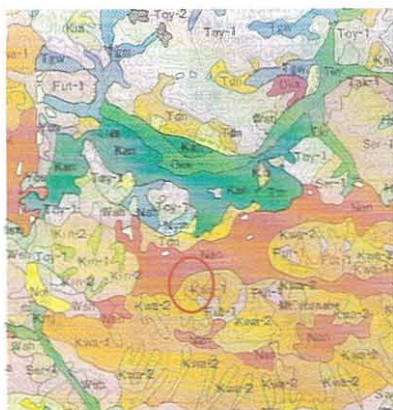
写真 4-2-1① 土採取(筆者撮影)



写真 4-2-1② 土採取(筆者撮影)

### 豊栄町乃美周辺の土

道路斜面の赤土、田んぼ、山の斜面の土を採取している。



乃美近辺の土を土壤図で確認する(左図参照)。

土壤群:灰色低地土(海や湖を耕地に変えた干拓地の土)

壤質(ほとんどが砂か砂と粘土が半々)土層は浅く、透水性があり、水の影響から全体的に灰色である。

図 4-2-1③ 土壤図『土地分類図 20 万分の 1』

## 4-2-2 土の沈殿実験

日干しレンガに使用する土を決定するため粒度構成を沈殿実験にて確認した(写真 4-2-2①～③ 参照)。これを基に、粘土分がなるべく多く含まれていた 5 種類の土(赤土(兵庫)、女学院(ソフィア館近辺の斜面)、赤土(広島県)、田んぼ、牛田山)を使用することにした。

### 作業手順

- ① 透明な容器に水(容器の 3 分の 2)と土(容器の 3 分の 1)を入れる。
- ② 容器の蓋を閉め、土の固まりが完全になくなるまで振る。
- ③ 容器内の土が完全に沈殿するまで数日間置いておく。



写真 4-2-2①



写真 4-2-2②



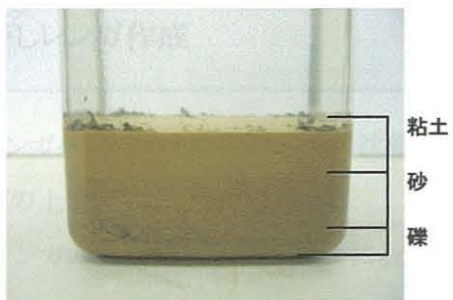
写真 4-2-2③

日干しレンガに使用する土の沈殿実験(筆者撮影)

粒度

小

大



粒度

小

大

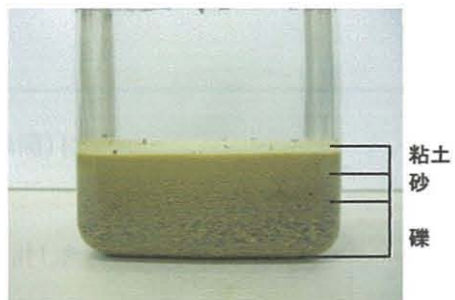


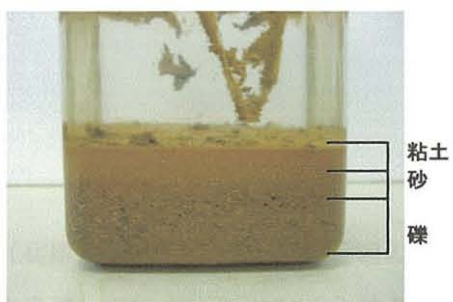
写真 4-2-2④ 赤土(兵庫県)

写真 4-2-2⑤ 学内(ソフィア館近辺の斜面)

粒度

小

大



粒度

小

大

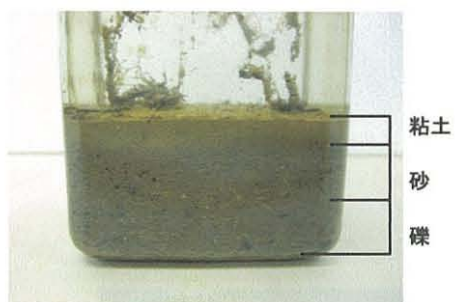


写真 4-2-2⑥ 赤土(広島県)

写真 4-2-2⑦ 田んぼ

粒度

小

大

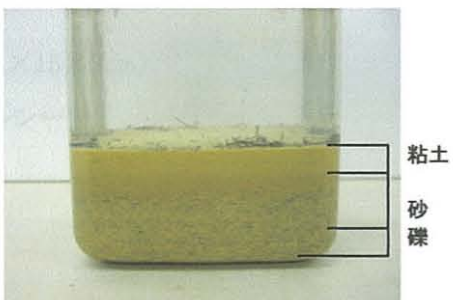


写真 4-2-2⑧ 牛田山

(筆者撮影)

4-3 日干しレンガ作成

日干しレンガを作成するにあたり、土の沈殿実験(4-2-2 参照)により 5 種類の土を使うこととした。

作成するレンガの寸法は 10×15×5cm に設定し、型枠を設計した。  
また、1 種類の土につきセメントを全体の 0%、3%、6%配合させた 3 種類のレンガを作成することとした。

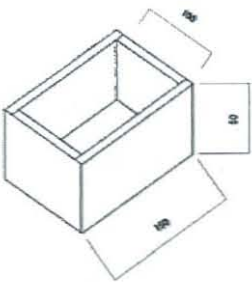


図 4-3① 型枠

材料

- ・土(赤土(兵庫)、女学院(ソフィア館近辺の斜面)、赤土(広島県)、田んぼ、牛田山))合計 5 種類
- ・スコップ
- ・バケツ
- ・型枠(10×15×5cm)
- ・ビニールシート
- ・セメント
- ・藁



写真 4-3① 材料(筆者撮影)

表 4-3① 1 種類のレンガに配合する材料

土	4500g
藁	121.5g
水	適量
セメントの割合	0%、3%、6%合計 3 種類



写真 4-3② ふるいにかける様子  
(筆者撮影)

※均一な材料にするため、土をあらかじめふるいにかけた。



## 作成手順

- ①土と藁を混ぜ合わせる。
- ②材料に水を加えながら練っていく。



写真 4-3③ 土と藁を混ぜ合わせる



写真 4-3④ 水を少量ずつ加える



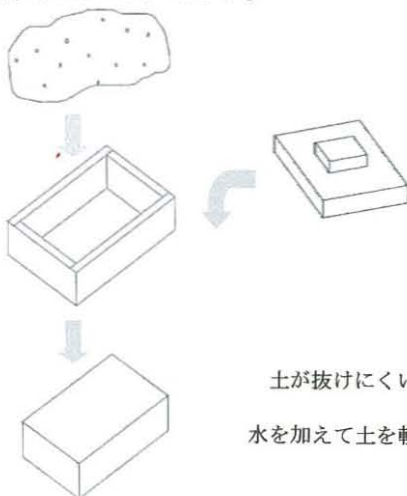
写真 4-3⑤ 材料を混ぜ合わせる



写真 4-3⑥ 適度に水加えながら手で捏ねていく  
(筆者撮影)

- ③ ならした土を、水に浸した型枠の中に入れる。
- ④ 上から蓋のようなもので押えながら、型枠を上へ上げて外す。

ならした土を型枠の隅にきっちり  
入れ込む。空隙はひび割れの原因にな  
るおそれがある。また、水を加える際  
は、軟らかすぎると型枠から抜いた直  
後、形が崩れることに注意する。



土が抜けにくい場合は、  
水を加えて土を軟らかくする。

図 4-3② レンガ作成手順



写真 4-3⑦ ならした土を型枠に入れ込む



写真 4-3⑧ 型枠の上に出ている藁を中に入れ込む



写真 4-3⑨ 上から蓋のようなもので押さえつけ型枠を引き上げる



写真 4-3⑩ 完成したレンガ

作成したレンガは、アイリス館の材料実験室にて乾燥させた。

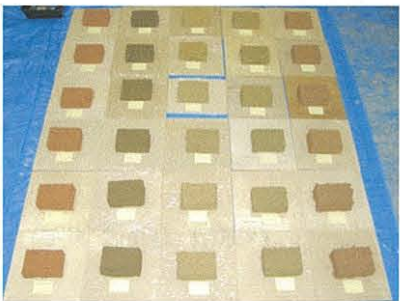


写真 4-3⑪ 完成した日干しレンガ

#### 4-4 測定結果と考察

日干しレンガ作成後、乾燥収縮実験を行った。乾燥期間は約1ヶ月程度(2008年12月3日～2009年1月14日)とした。作成した日干しレンガが、どの程度の期間で重量と寸法の変化が安定するのか、また、夏期に調査した石川県輪島市での日干しレンガづくりの乾燥期間との違いはあるのかを確認する。

##### 乾燥収縮の様子

女学院大学(ソフィア館近辺)の土



写真 4-4① 作成時



写真 4-4② 2週間後



写真 4-4③ 4週間後

田んぼの土



写真 4-4④ 作成時



写真 4-4⑤ 2週間後



写真 4-4⑥ 4週間後

牛田山の土



写真 4-4⑦ 作成時



写真 4-4⑧ 2週間後



写真 4-4⑨ 4週間後



赤土(兵庫県)



写真 4-4⑪ 作成時

写真 4-4⑫ 2 週間後

写真 4-4⑬ 4 週間後

赤土(広島県)



写真 4-4⑭ 作成時

写真 4-4⑮ 2 週間後

写真 4-4⑯ 4 週間後



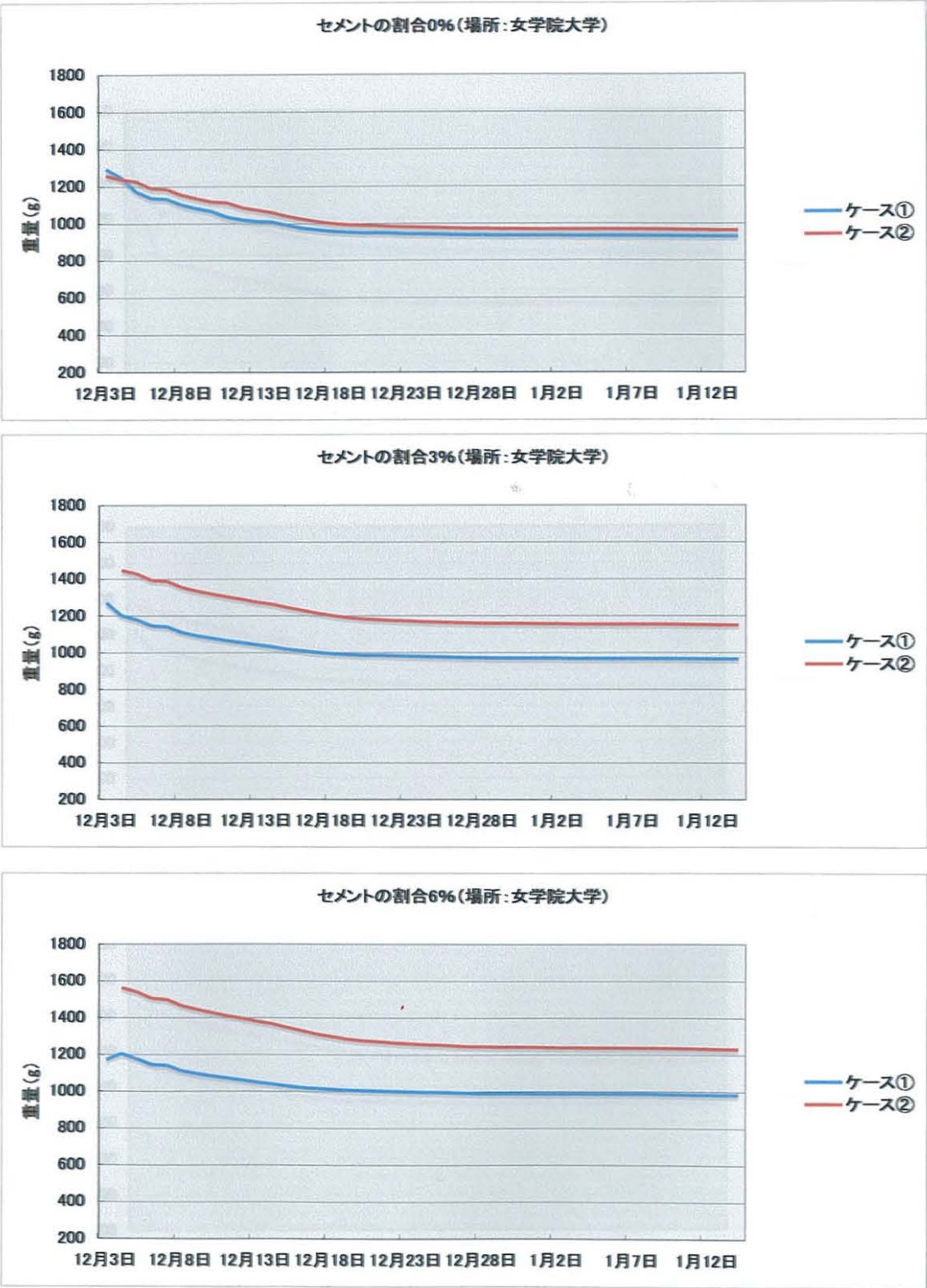


図 4-4① 重量の変化(女学院(ソフィア館近辺)の土)

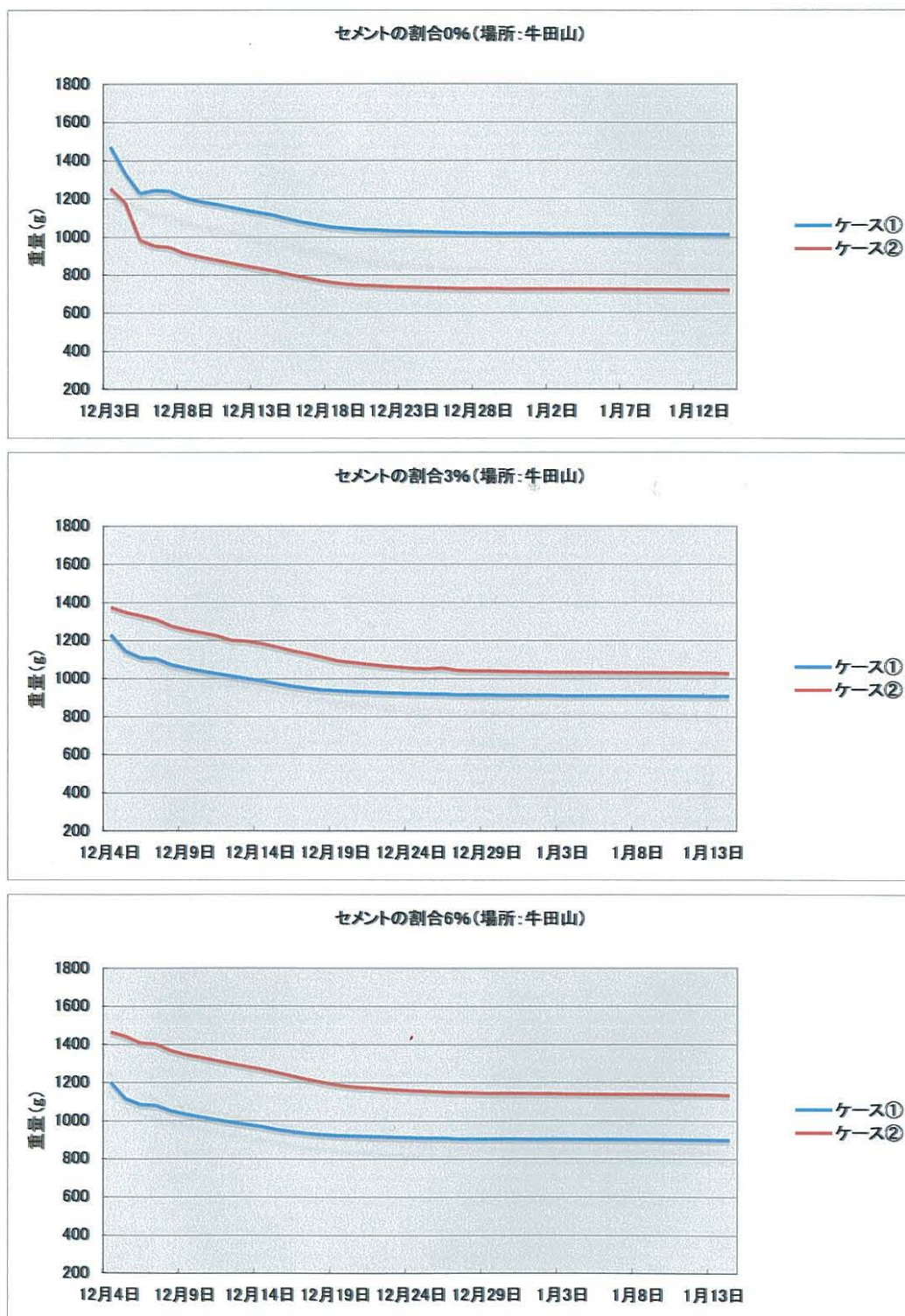


図 4-4② 重量の変化(牛田山の土)

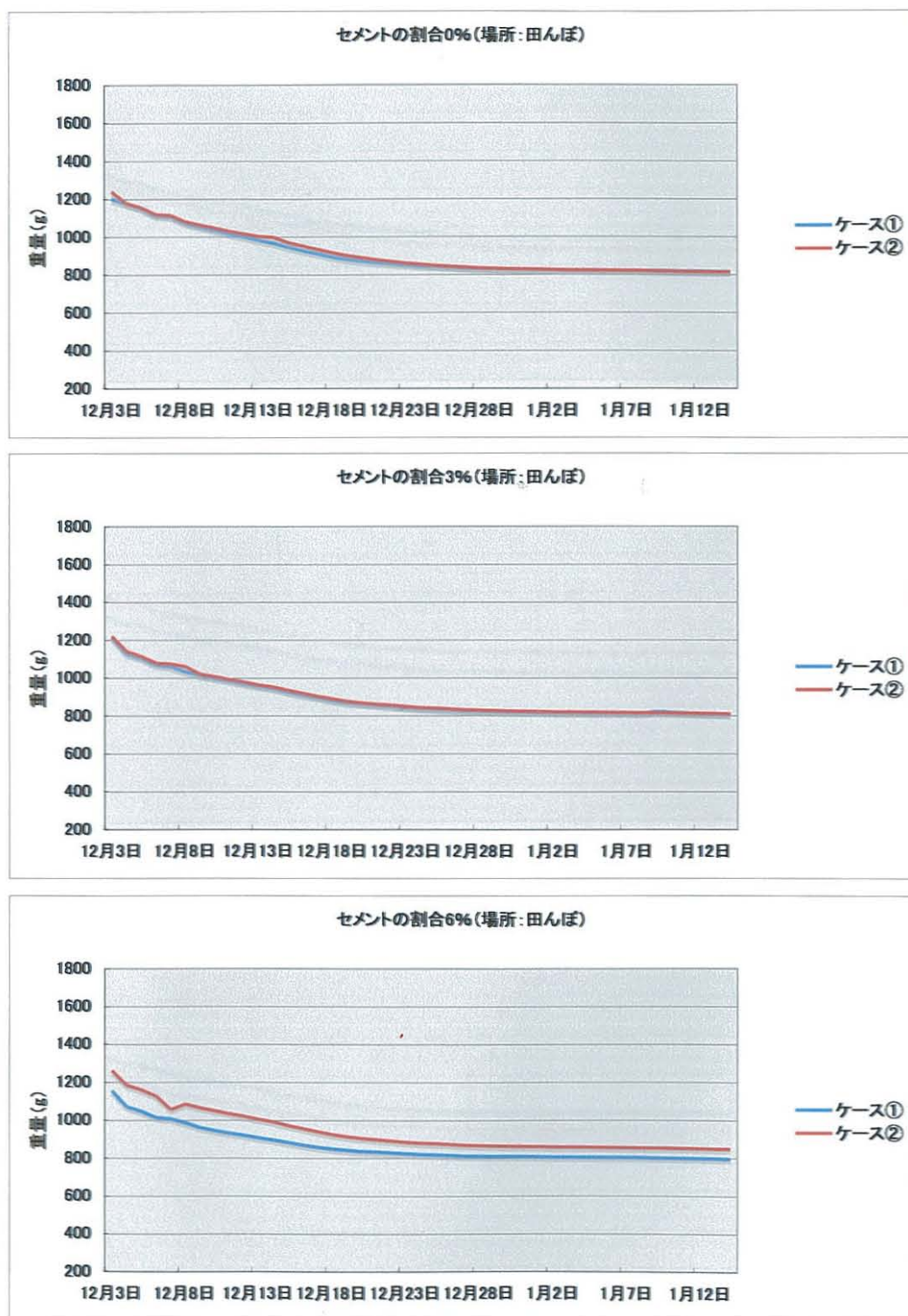


図 4-4③ 重量の変化 (田んぼの土)



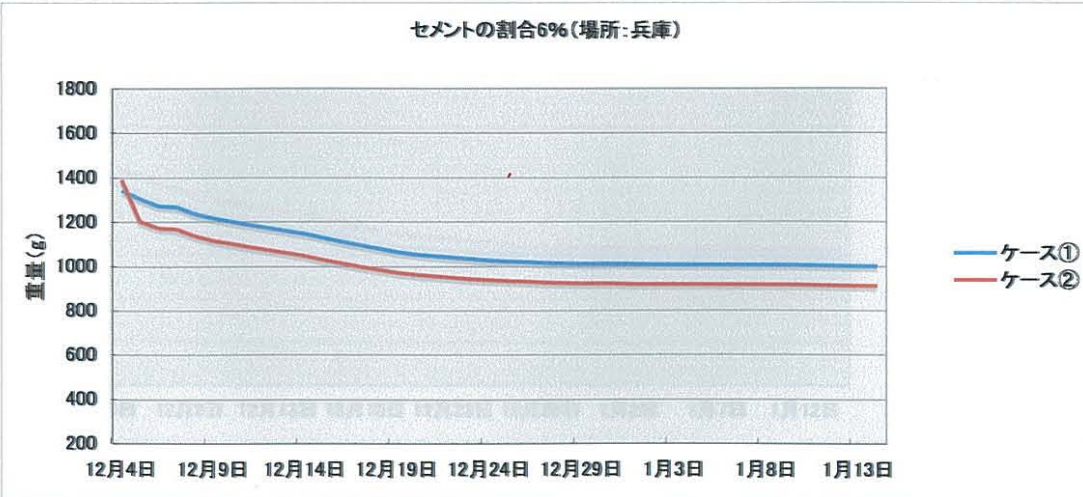
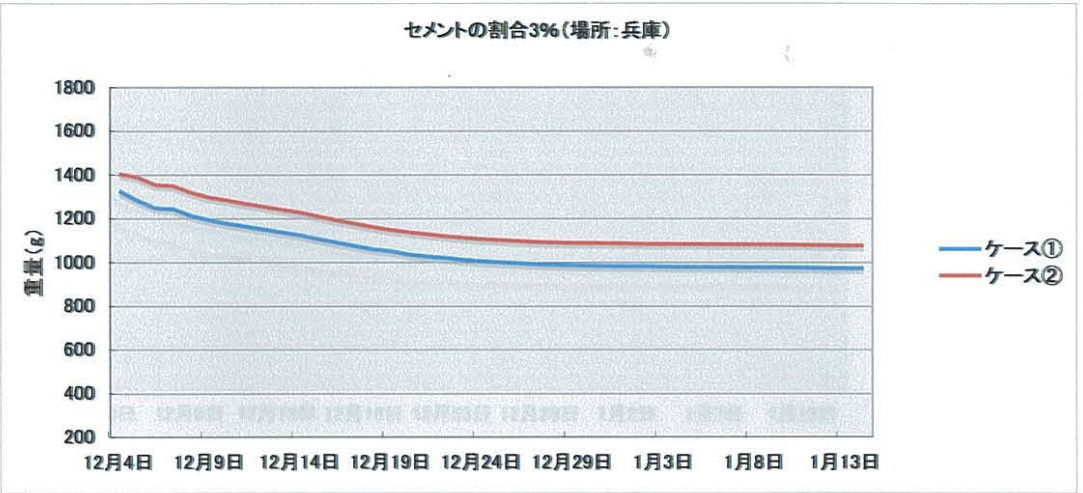
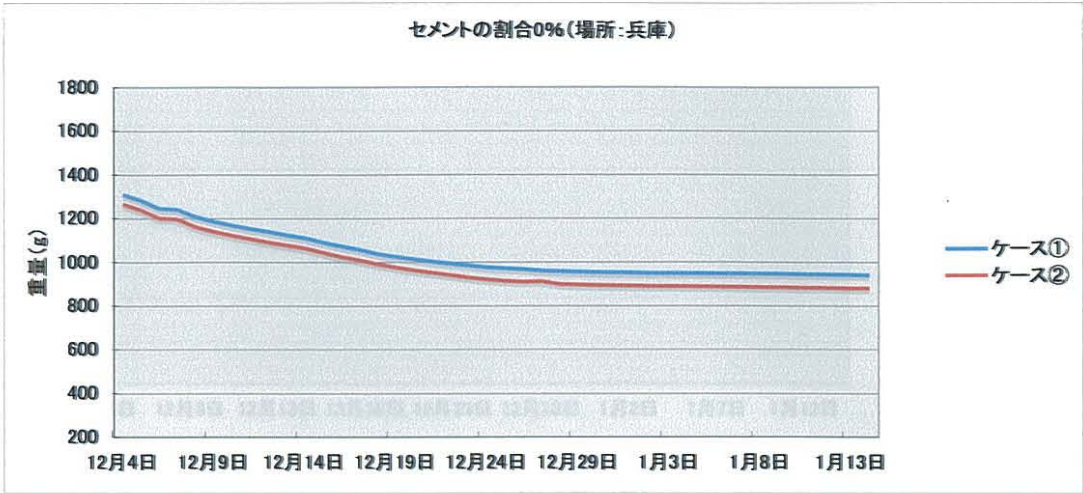
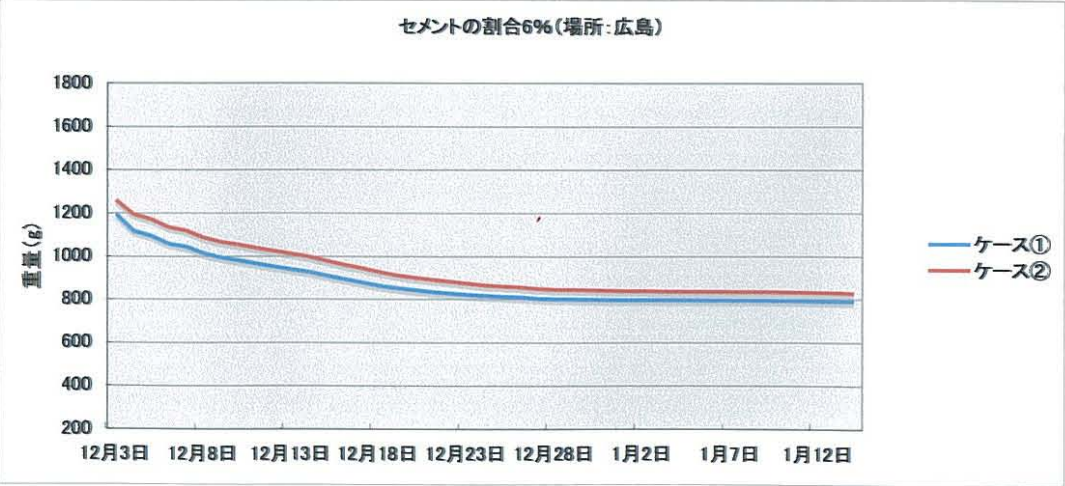
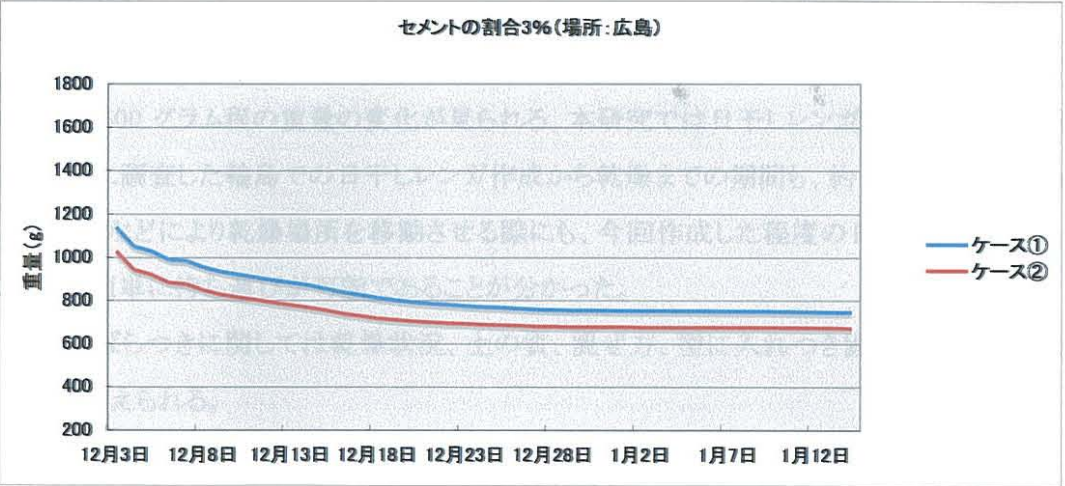
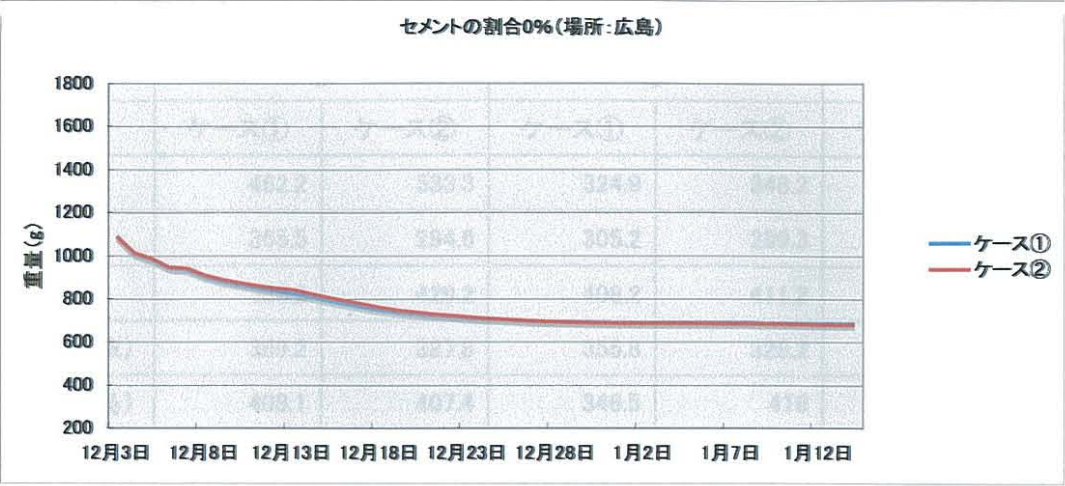


図 4-4④ 重量の変化(赤土(兵庫県))



4-4⑤ 重量の変化(赤土(広島))



	セメントの割合 0%		セメントの割合 3%		セメントの割合 6%	
場所	(g)		(g)		(g)	
	ケース①	ケース②	ケース①	ケース②	ケース①	ケース②
牛田山	462.2	533.3	324.9	348.2	303.2	332.5
女学院	365.5	294.6	305.2	299.3	290.1	333.5
田んぼ	388.2	429.2	408.2	411.2	359.9	415.5
赤土(兵庫)	369.2	387.8	355.8	329.2	344.6	481.6
赤土(広島)	408.1	407.4	346.5	416	405.8	432.1

図 4-4⑥ 日干しレンガ作成から乾燥までの重量の変化

いずれも約 1 ヶ月程度で収縮が収まっている。また、日干しレンガを作成した当初よりそれぞれ 300 から 500 グラム程の重量の変化が見られる。本研究では日干しレンガの試作を冬期に行ったが、夏期に調査した輪島での日干しレンガ作成から乾燥までの期間も、約 1 ヶ月程度であった。

また、雨などにより乾燥場所を移動させる際にも、今回作成した程度の日干しレンガの大きさであれば、簡単に持ち運びが可能であることが分かった。

変化のばらつきに関しては乾燥状況、土の質、混ぜ方、型に入れつき固め方などにより相違が起きると考えられる。

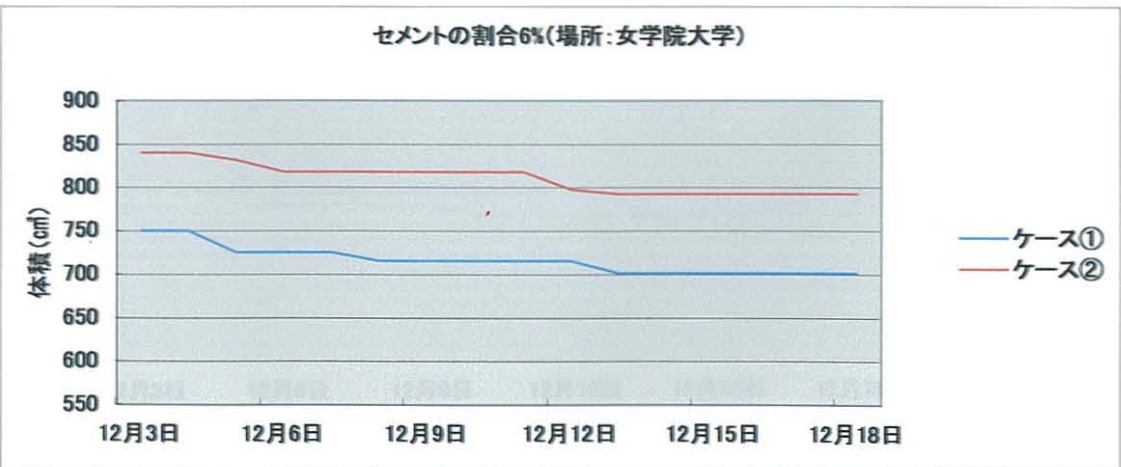
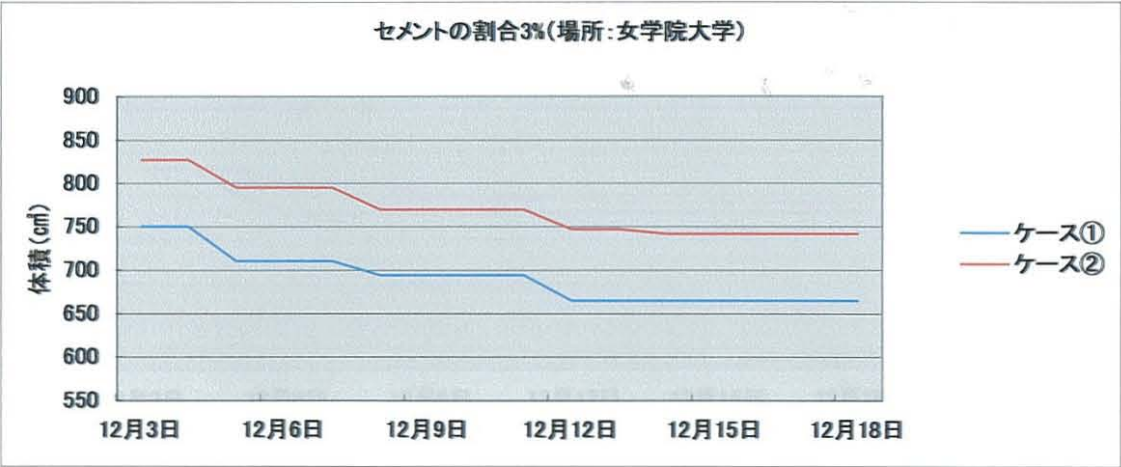
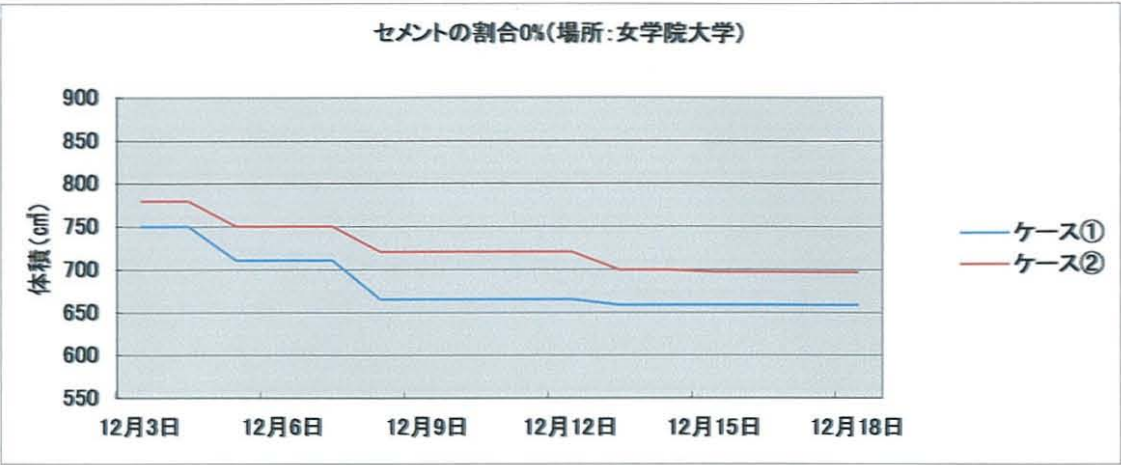


図 4-4⑦ 寸法の変化(女学院(ソフィア館近辺)の土)

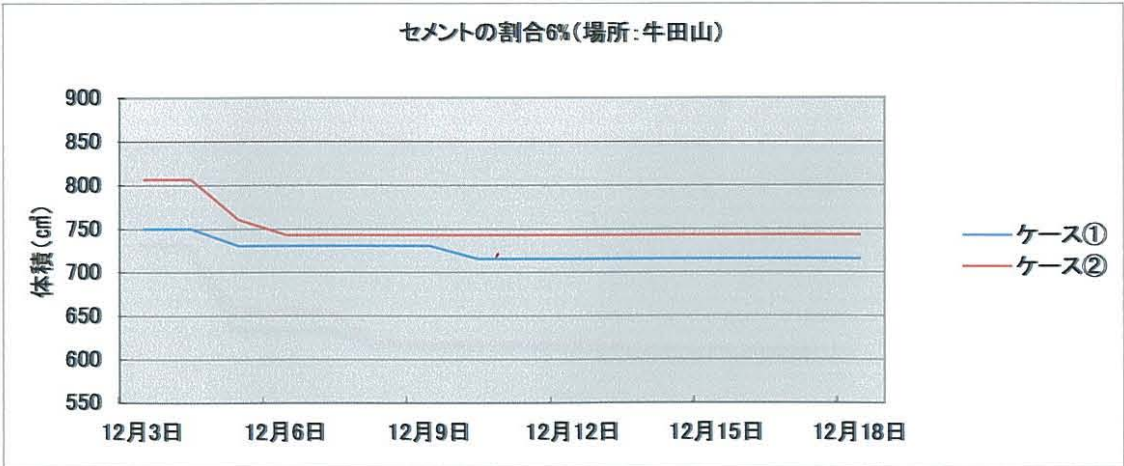
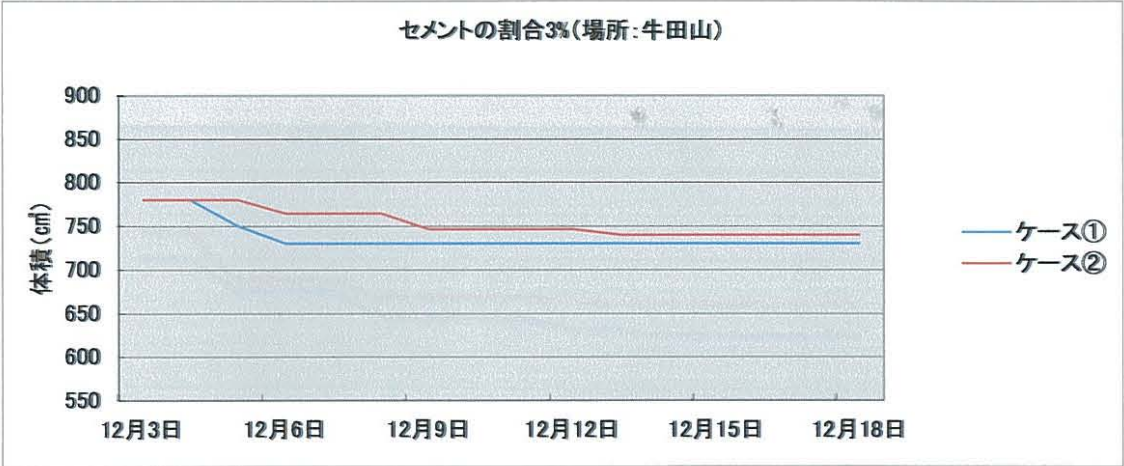
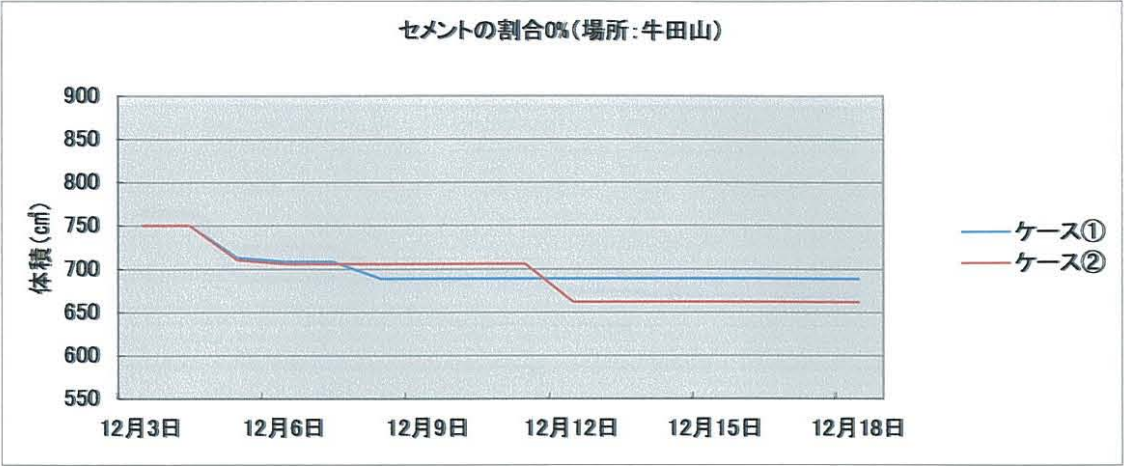


図 4-4⑧ 寸法の変化(牛田山の土)

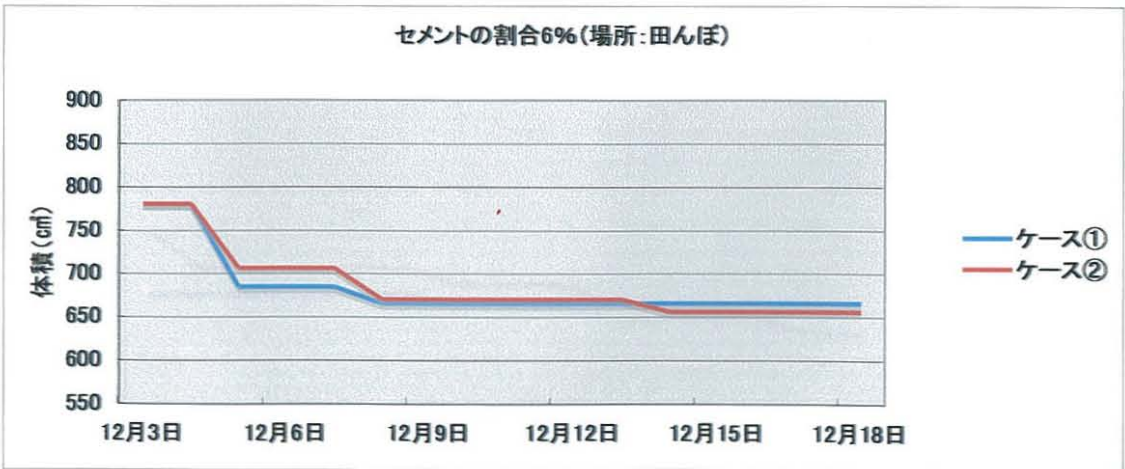
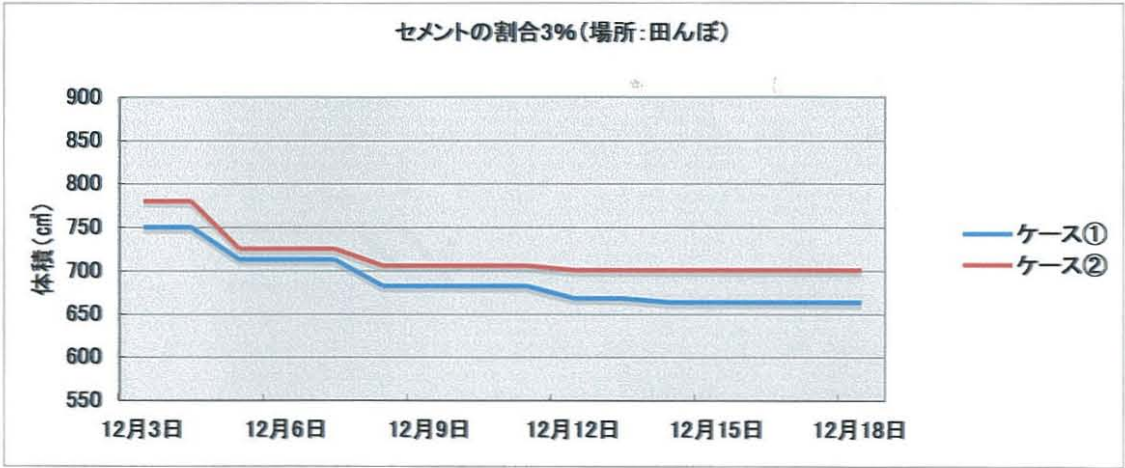
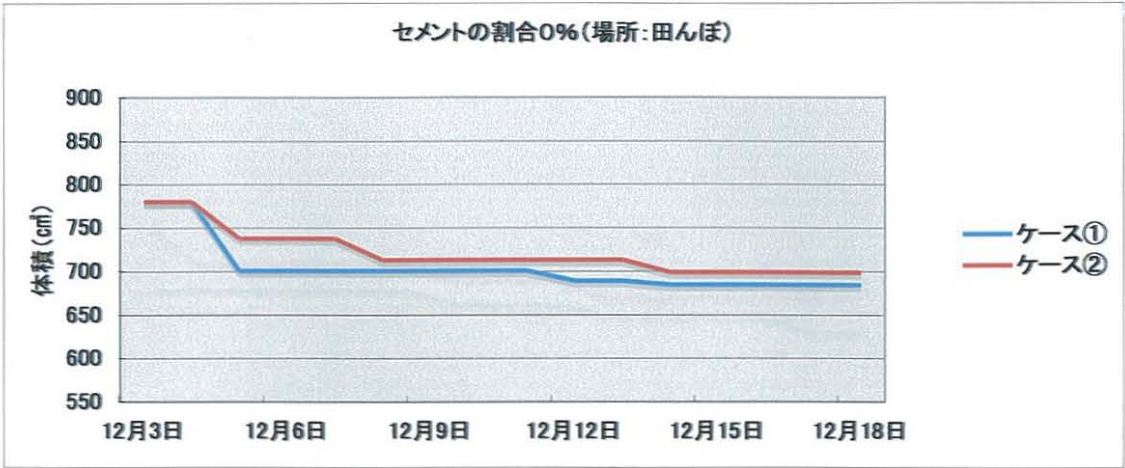


図 4-4⑨ 寸法の変化(田んぼの土)



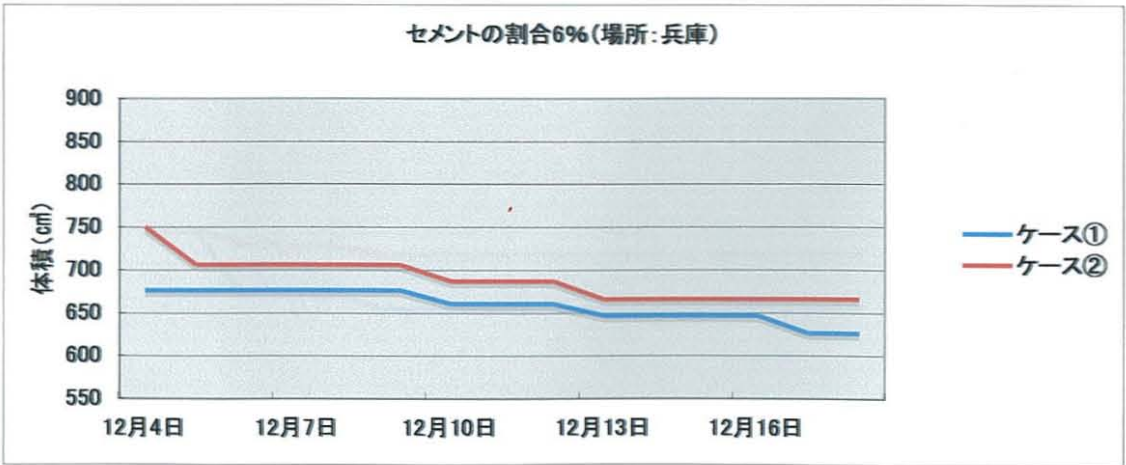
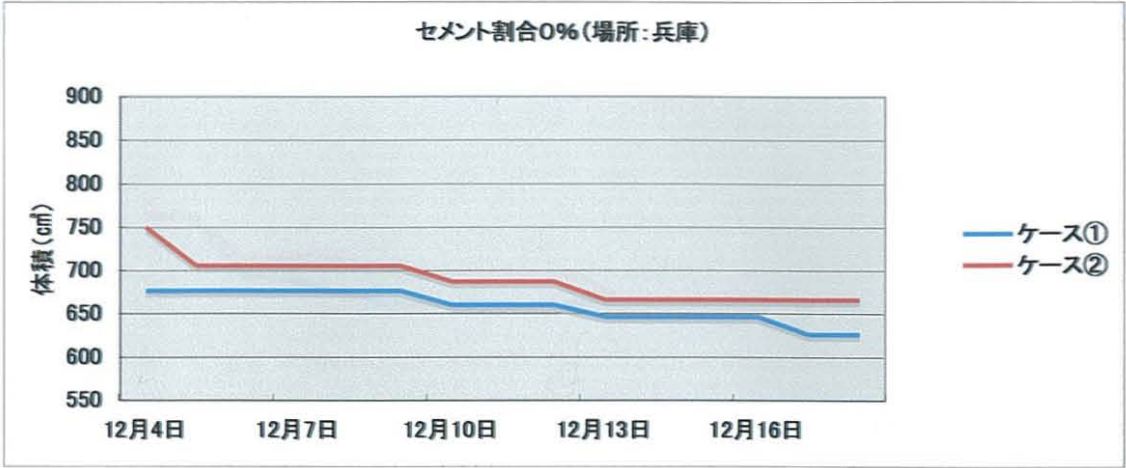


図 4-4⑩ 寸法の変化(赤土(兵庫))

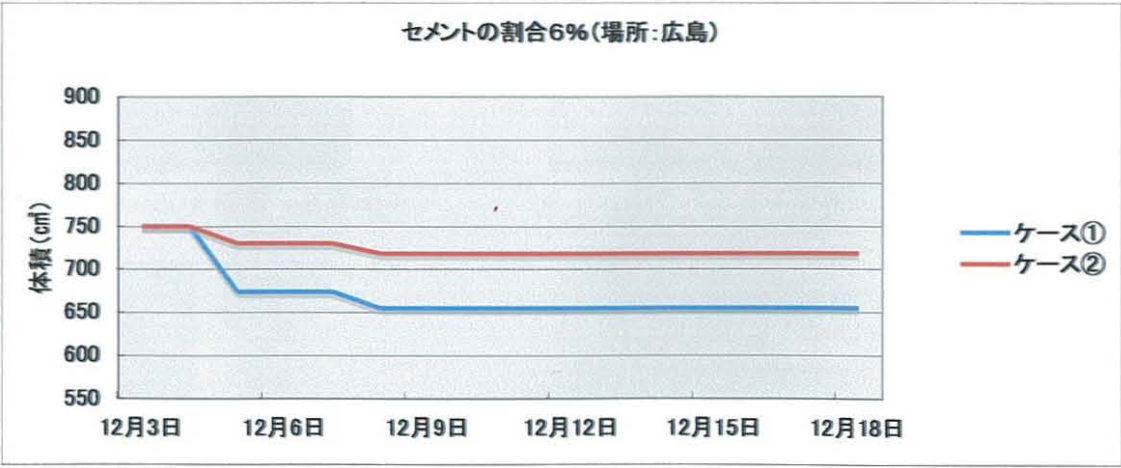
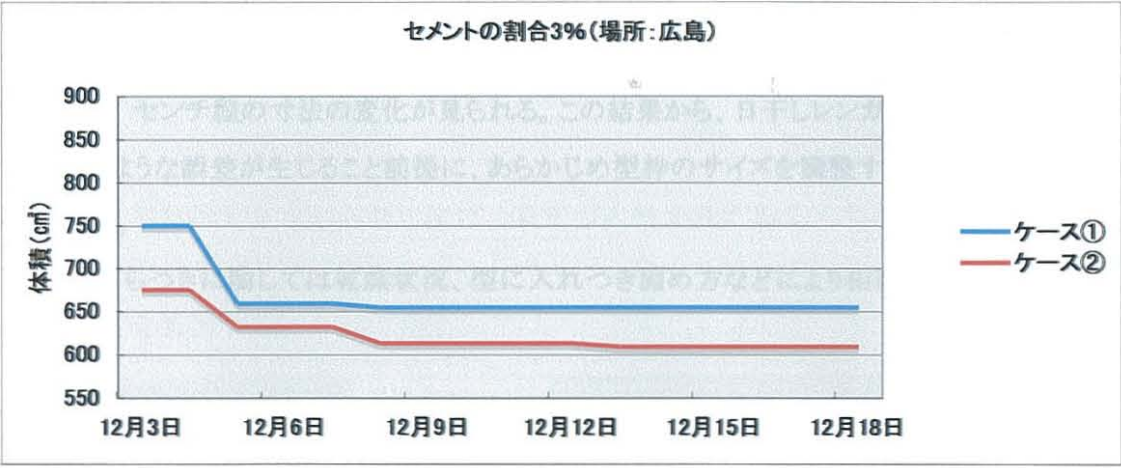
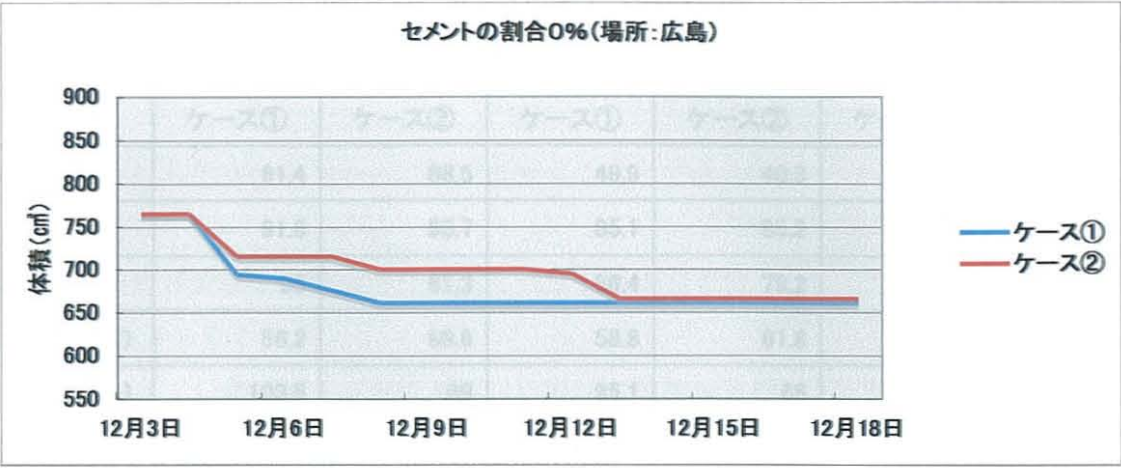


図 4-4⑩ 寸法の変化 (赤土(広島))

	セメントの割合 0%		セメントの割合 3%		セメントの割合 6%	
場所	(cm <sup>3</sup> )		(cm <sup>3</sup> )		(cm <sup>3</sup> )	
	ケース①	ケース②	ケース①	ケース②	ケース①	ケース②
牛田山	61.4	88.5	49.9	40.3	34.8	63.5
女学院	91.8	83.7	85.1	85.2	48.9	47.7
田んぼ	96	81.3	86.4	79.2	114.4	124
赤土(兵庫)	56.2	69.8	58.8	81.8	123.8	84.2
赤土(広島)	103.5	99	95.1	66	95.1	32

図 4-4⑫ 日干レンガ作成から乾燥までの寸法の変化

いずれも約 2 週間程度で収縮が収まっている。また、日干レンガを作成した当初よりそれぞれ 3ミリから 1 センチ程の寸法の変化が見られる。この結果から、日干レンガを壁体に充填する際には、このような誤差が生じること前提に、あらかじめ型枠のサイズを調整することが重要であると考えられる。

変化のばらつきに関しては乾燥状況、型に入れつき固め方などにより相違が起これと考えられる。

## 4-5 ケーススタディ

### 4-5-1 設計における留意点

設計を行うにあたり、以下の点に留意を置くこととする。

#### ① 土の特性

木質住居の熱容量確保を重点的に考慮した構法の提案を行う。

#### ② 単純な形態であること

シミュレーションや技術レベルに対応した単純な形態を目指す。

#### ③ 意匠性

特に土を用いた現代住宅は土俗的、懐古的な形態になりがちであることを考慮する。

### 4-5-2 設計プロセス

南面にできるだけ大きな開口部を設け、日中の日射を多く取り込み土間床を設けることで、多少の蓄熱効果が期待できる。また、室内に土間床を設けることで意匠的には家の内と外の一体感を表現する。

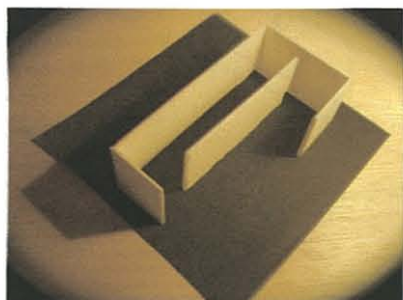


写真 4-5-2① 原型模型（筆者撮影）

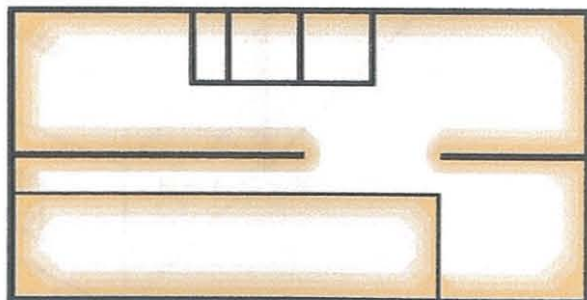


図 4-5-2① イメージ図



図 4-5-2② 土間と畳の空間写真

『Built by Hand』、2003 年

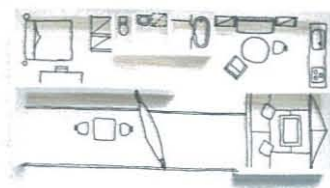


図 4-5-2③ 平面図イメージスケッチ



版築壁に見られる土のみで構成された建造物の蓄熱効果は現在注目されている。しかし、日本においては建築基準法などの規定により、建築の実現は困難である。一方で、木造建築の熱容量を増加させ、その効果を室温変動の緩和や蓄熱（冷）のために使うことが期待されている。本研究で考案する木質住居の構造体は木で、壁や床の内に断熱材の代わりとして自然素材である日干しレンガを充填していくこととする。日干しレンガは構造体にはならないが、木骨を構造体と考え、木造住宅の熱容量の少なさや遮音の弱点を日干しレンガで補う。

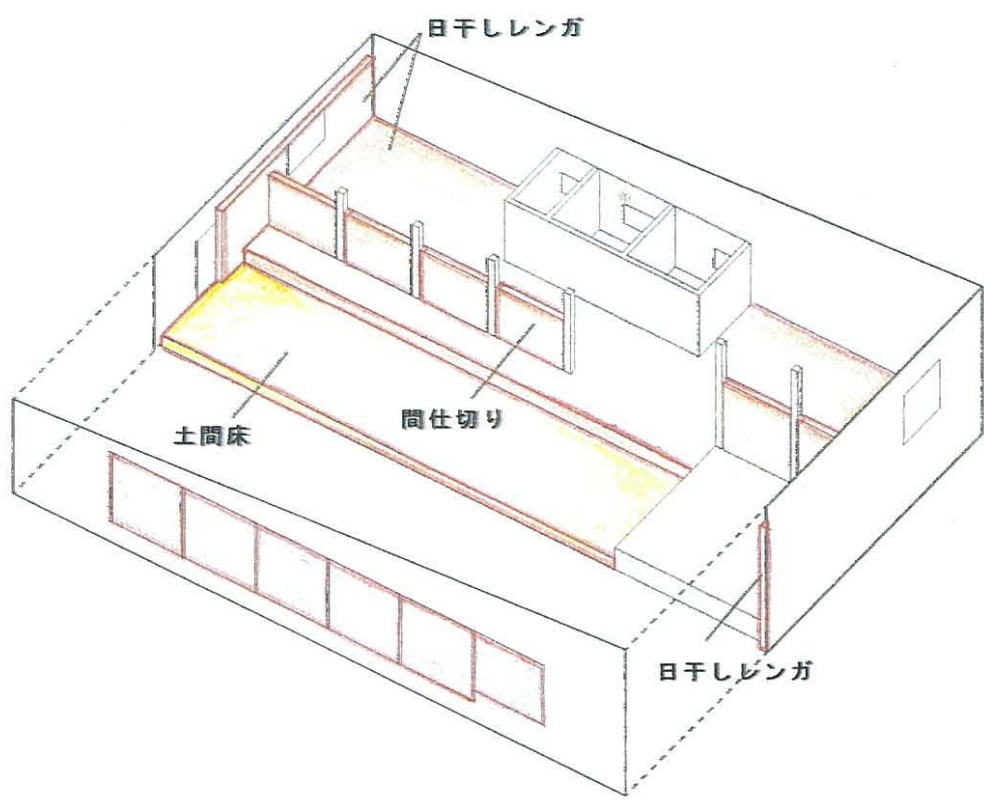


図 4-5-2③ 日干しレンガ充填イメージ図

### 壁に日干しレンガを充填する

柱間に日干しレンガを充填し、その外側に断熱ボードを張る。このボードと外壁の間に、空気が通る通気層が設け、ボードにより遮られた熱気を外部へ排出する仕組みである。この施工により、土壁の特徴である調湿性、蓄熱性の効果を室内へ向けて出すことが期待される。

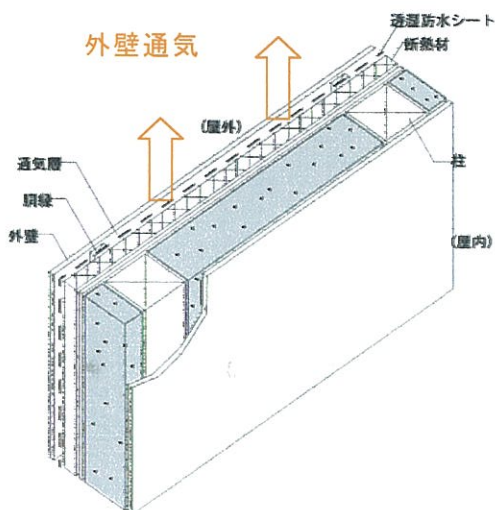
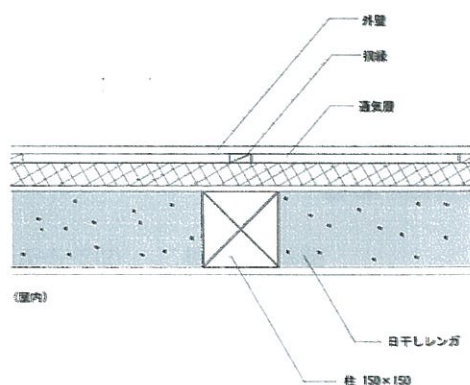


図 4-5-2② 壁の平面詳細図

図 4-5-2② 外断熱により断熱性を高める

日干しレンガを積むにあたり、補強筋を入れる。配筋部分は、あらかじめ穴の開いたレンガを作成する。目地部分にネット(農業用など)を差し込み、レンガ間を連結させる。

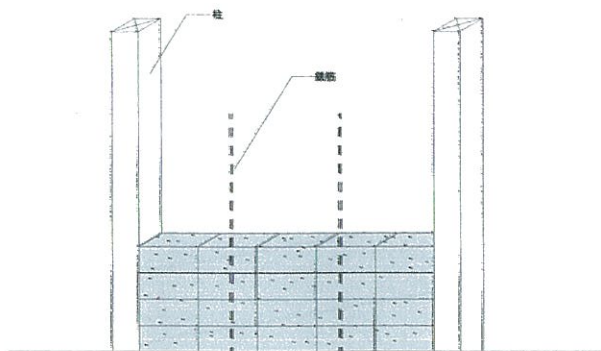
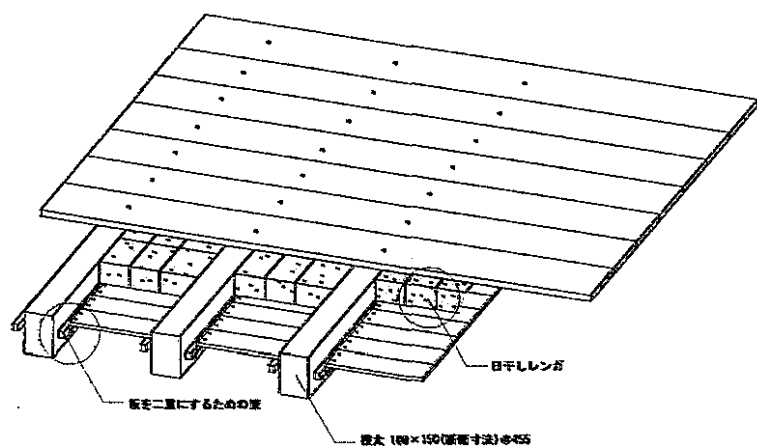


図 4-5-2② 配筋を通す

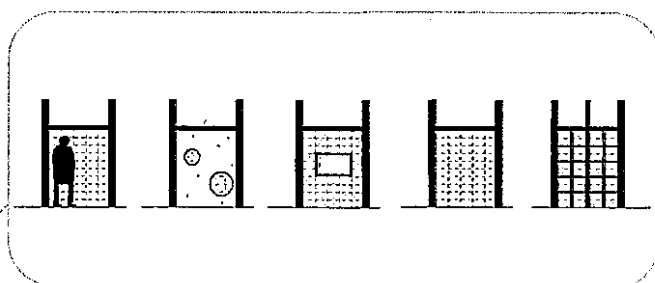
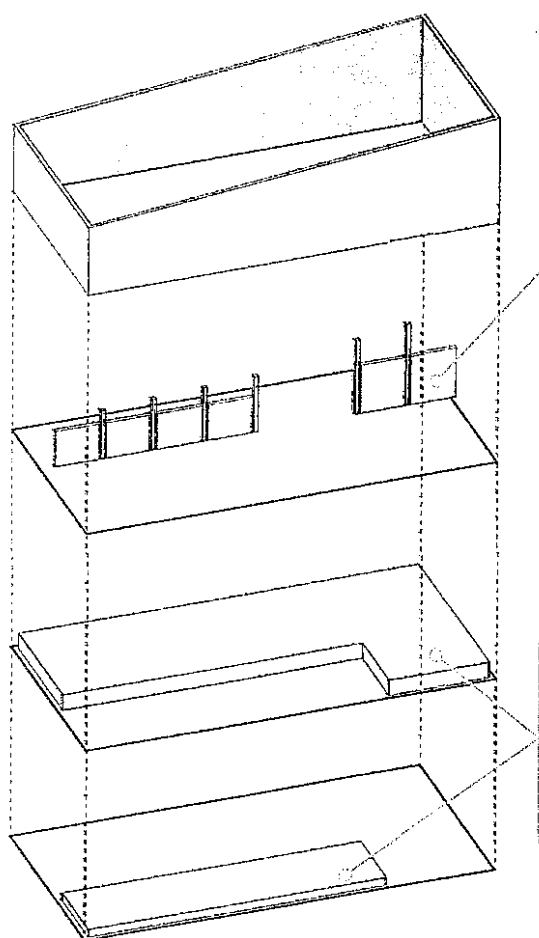
床に日干しレンガを充填する



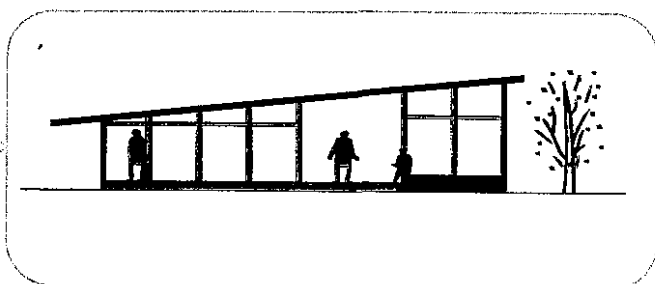
1 階段床下の、根太の間に日干しレンガを充填する。

重みに耐えられるように、板を二重に張り、根太の背を高くする。

図 4-5-2② 二重床の詳細



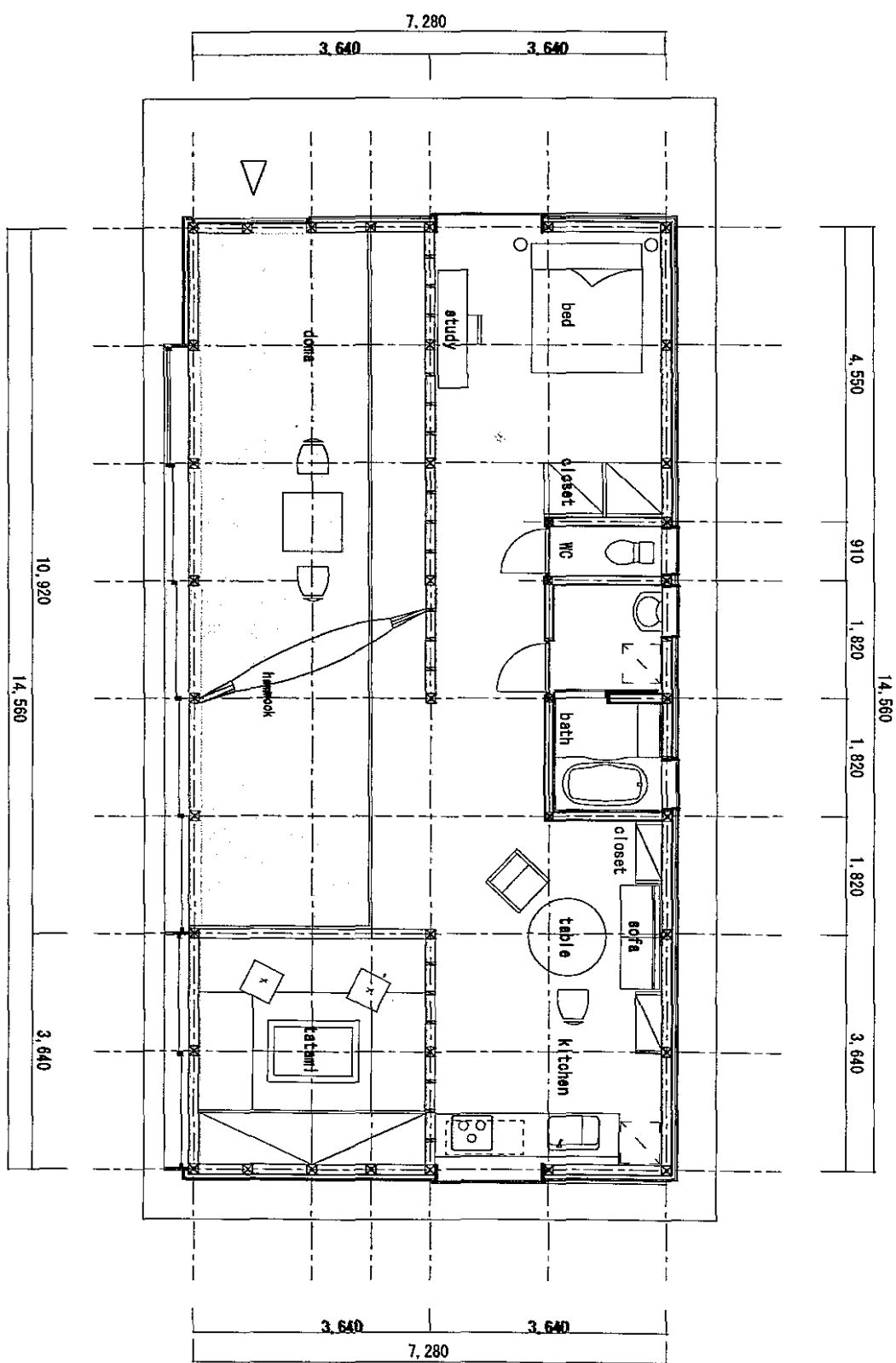
間柱においては、表面を和紙で覆うことで壁表面を保護する。  
また、貫と間柱を交互に格子状に組んだ壁にレンガを詰め込む、  
などの日干しレンガ積みの様々な試みを行うことができる。



環境性、意匠性（昔の「労働」のための土間ではなく、「生活を楽しむ」ための土間）を考慮し、室内に土間を設ける。

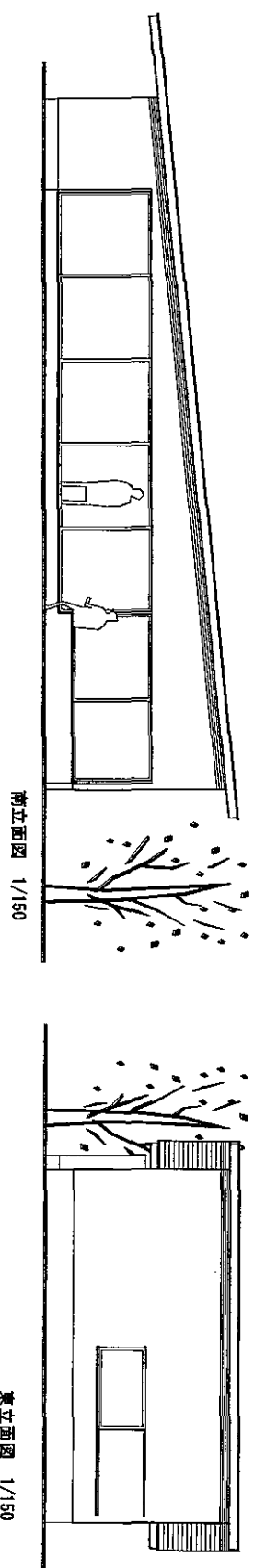
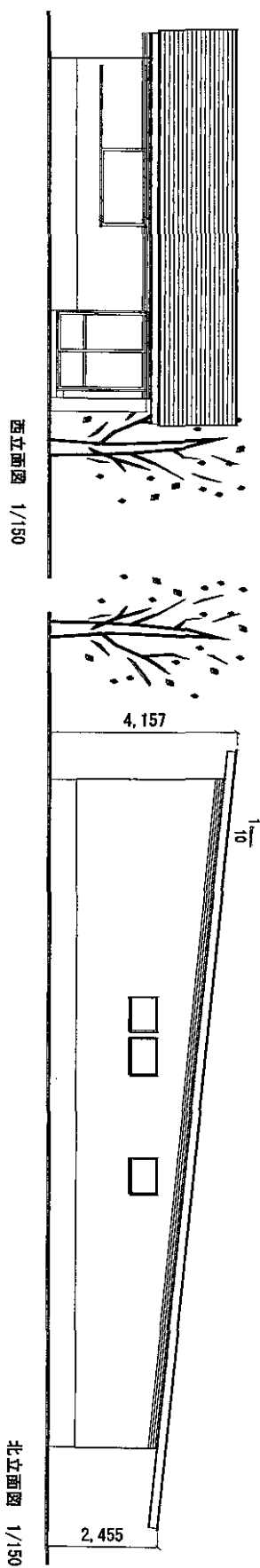
図 4-5-2③ 展開図

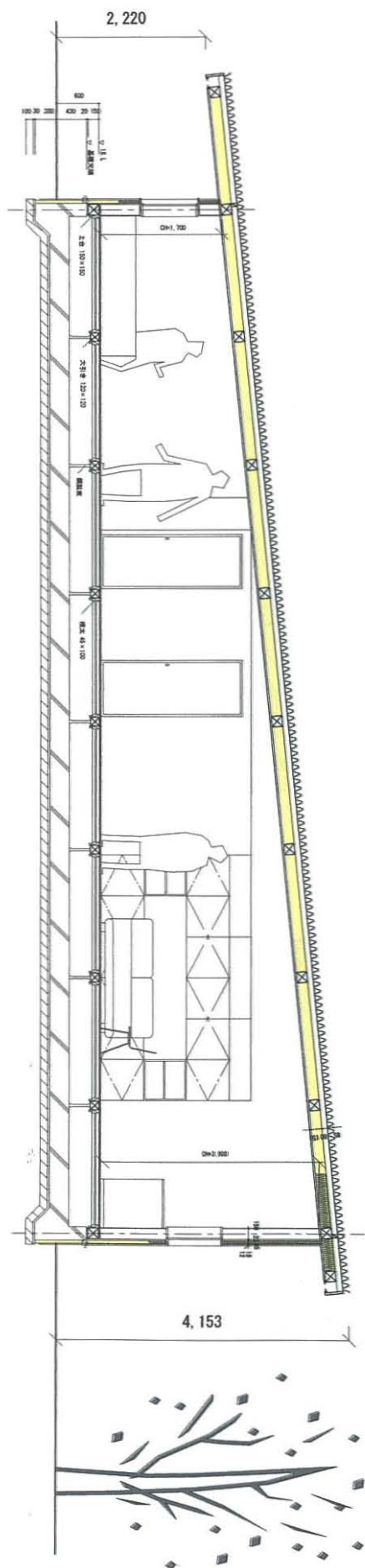
4-5-3 プラン



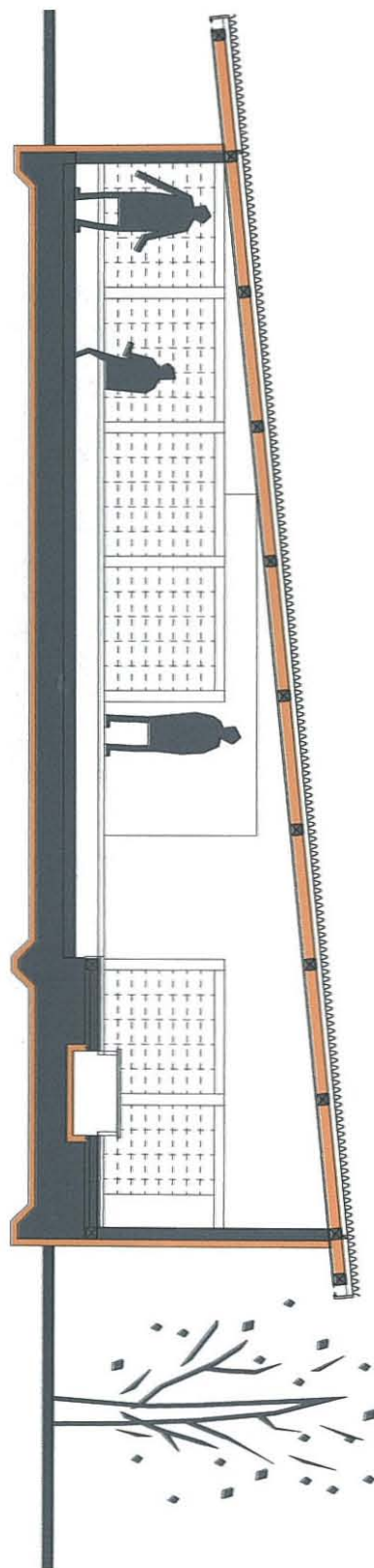
1階平面図 1/100







外断略イメージ 断面図



#### 4-5-4 模型

---

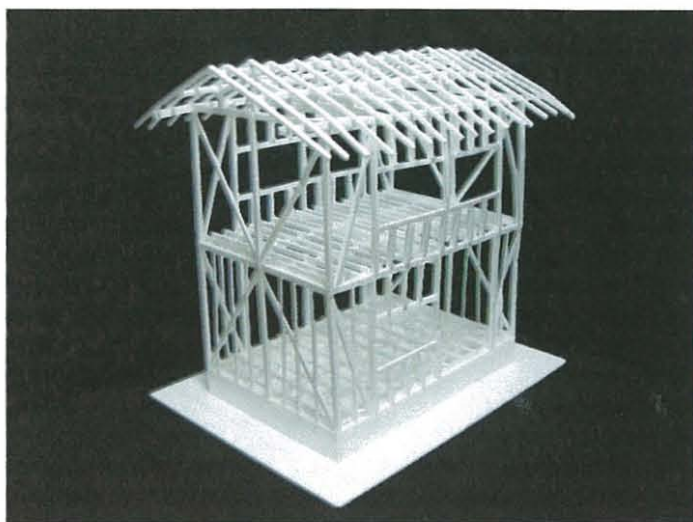


写真 4-5-4① 参考にした在来木造住宅模型（筆者撮影）



写真 4-5-4③ 鳥瞰写真（筆者撮影）



写真 4-5-4④ 南面外観（筆者撮影）



写真 4-5-4④ 南面外観（筆者撮影）





写真 4-5-4⑤ 南東面外観（筆者撮影）



写真 4-5-4⑥ 西南面外観（筆者撮影）

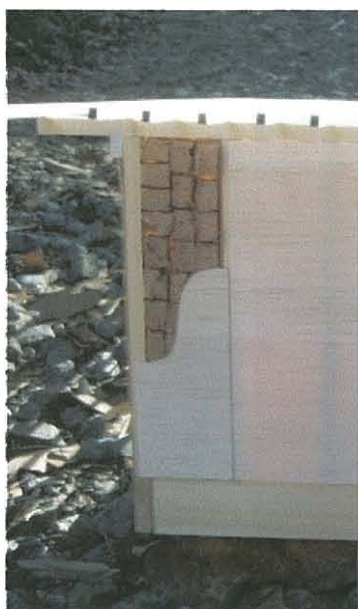


写真 4-5-4⑦ 柱に日干しレンガを充填  
(筆者撮影)

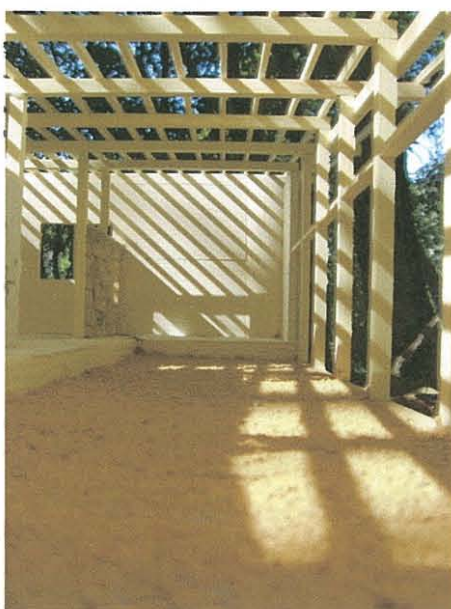


写真 4-5-4⑧ 室内の土間 (筆者撮影)



写真 4-5-4⑨ 間仕切り壁 レンガの間にフレームを作成 (筆者撮影)



写真 4-5-4⑩ 室内の土間と和紙で覆った間仕切り壁

日本の茶室や数寄屋風の住宅では、壁を傷つけない配慮から、また和紙の調湿整を活かし、壁に和紙を張る技法が用いられていた。そこで、機能性に加え意匠性も含め、間仕切り壁にこのような和紙の技法を用いることとする。部分的に和紙を切り取り、土の表面を見せることで、土の素材感を現せるような意匠的なものも期待できる。 （筆者撮影）



写真 4-5-4⑪ 室内の土間（土間で植物を育てる）と間仕切り壁 （筆者撮影）



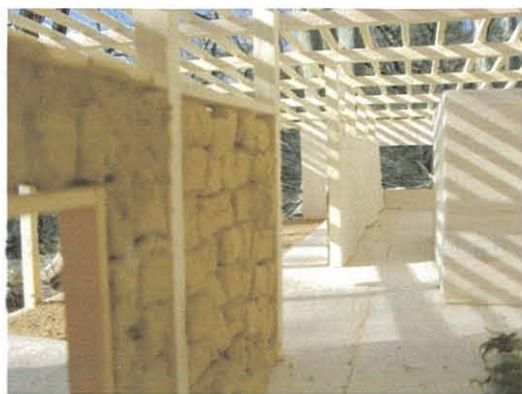


写真 4-5-4⑫ 室内（東面窓）（筆者撮影）



写真 4-5-4⑬ 室内（東面窓）（筆者撮影）



写真 4-5-4⑭ 室内（西面窓）（筆者撮影）

## 5 章 結果・今後の知見

---

1章では、建築材料としての「土」を、現在の日本における土壁の利用実態や研究結果を基に、木質住居に土を導入することを前提に、土を材料とした日干しレンガを日本の在来木造に充填する構法について考案し、現在の在来木造の壁を土壁とする場合に対応した新しい木造住居の提案を行うことを定義した。

2章では、土壁の蓄熱効果を検証により明らかにした。結果として、土壁に外断熱を施すことで、大きな熱容量を持つ版築壁は日中の熱を蓄え、夜間にその熱を放出して室温低下を防ぐ効果を持つことが確認された。また、土の蓄熱効果を得るためには日中の日射を多く取り入れることが前提条件であることが示されている。

3章では、現在日本において伝統工法とされる土壁や土間、土蔵などによる土壁構法を採用する工務店はわずかであり、高級な構法として位置づけられていることを明らかにした。また、土壁は調湿・蓄熱効果が確認されているが、断熱性能は高いとはいえないことを示した。そこで、外断熱工法により土壁の蓄熱性を上手く取り入れることで、複雑な機械や設備に頼ることのない快適な住まい環境の実現が期待されることを示した。

4章では、どのように土を建築に用いれば良いかという構法の考案を行うにあたり、日干しレンガの試作を行った。また、日干しレンガの乾燥収縮には、それぞれ土の質、混ぜ方、型に入れつき固め方、配置による相違が起ることが確認された。また、型枠を設計する際には、数センチの収縮による誤差があることを前提条件とすることを明らかにし、日干しレンガは本研究で試作した程度の大きさであれば、セルフビルドで手軽に持ち運びも可能であることを示した。さらに、ケーススタディを行い、在来木造を対象として、日干しレンガを組み入れた構法を考案することとした。まず、日本では建築基準法等の規制により構造体に土を用いることは困難であることを示し、日干しレンガは構造体にならないため、木骨を構造体とした木造建築の床面、壁面での断熱手法を考案し、上手に使用すると高断熱性能を有した木造の熱容量確保に有効であることを示した。この結果から、建築材料としての土は、利点や欠点を合わせ持つ材料であることが明らかとなり、これらを上手く取り入れることで環境や経済性を考えた家造りの足しになると考えられる。今後、土壁の特性を活かし、かつ断熱性の高い工法が提案され、現代の居住環境に適した新たな展開が期待される。



## 謝辞

本研究を進めるにあたり、学部から指導をして下さった武政孝治教授に深く感謝を申し上げます。私が土に興味を持ったきっかけは、武政教授に同行し、神戸芸術工科大学を訪問したことから始まりました。様々なことに興味を持ち、自由に研究をさせて頂いた傍ら、悩み、方向を見失う度、幾度も軌道修正をして頂きました。

実験を行うにあたり、宇吹暁教授には豊栄町乃美の土と藁を提供して頂いたうえ、道具類の買い出しや、一緒にスコップを持ち学内の土採取にも協力して頂きました。田頭紀和准教授には、実験用のビーカー、スコップ等を提供して頂きました。

また、設計当初の段階からご指導頂きました本村佳久教授、多くのご助言に加え資料提供をして頂きました堀田佳克教授、実験等の具体的なことに関しては古井博先生にご協力頂きました。論文の構成や書き方等では、横山昭正教授に細かく指導して頂きました。末永航教授には、最新情報の提供や調査等に同行させて頂きました。常に温かく見守って頂いたことで、私1人の実行力ではなし得なかったことを実感すると共に、深く感謝を申し上げます。

そして、畑中久美子デザイン室の畑中久美子、大先輩の存在は、とても大きなものでした。研究分野に加え、私生活における助言や励まし、情報提供をして頂き、深く感謝を申し上げます。

他大学の生徒である私を温かく受け入れご指導頂きました、神戸芸術工科大学の小玉裕一郎教授、蓮井睦子先輩、宮岡大先輩、広島工業大学の森保洋之教授、前田真子講師、萩野アトリエの萩野紀一郎先生、佐藤真理子先輩、豊橋技術科学大学の泉田英雄教授、左官職人の人見正美先生に深く感謝を申し上げます。

大学院入学時より面倒を見て頂いた女学院大学実習助手の石田裕子先輩、植木由佳先輩、中村智代先輩、建築業界で活躍されている平尾愛先輩、新山晶子先輩方には、実験における協力や温かい励ましを頂きました。また同級生である陶梨さん、八幡夏美さん、梁艶さん、森田梨津子さん、女学院大学実習助手の峯さやかさんには、お互い励まし合うと共に、土採取や実験等の協力を快く引き受けてもらいました。加えて優秀な武政ゼミ、大学院1年生の大谷友里恵さん、藤本聡美さん、伏見明日香さん、宮澤翔子さんには、進んで協力してもらい、深く感謝を申し上げます。

ここで触れることができませんでしたが、大学院2年間での多くの方々との出会いは、とても貴重なものであったと思います。

最後に、大学院での研究を行う環境を与えてもらったうえ、精神面、健康面でのサポートをしてくれた両親に感謝いたします。

資料 記録写真

土塗壁の耐震性向上のための物理的および技術的研究 土壁ネットワーク（香川） 2007.2.



練り堀の集落（山口県上関町祝島） 2007.3





日本三練り堀

三十三間堂（蓮華王院）（京都府）2008.1







西宮神社（兵庫県） 2008.1





熱田神宮（名古屋県） 2008.2





聴竹居（京都府） 2008.2



輪島土蔵改修ワークショップ（石川県） 2008.8～9







土壁勉強会（京都造形繊維大学） 2008.12



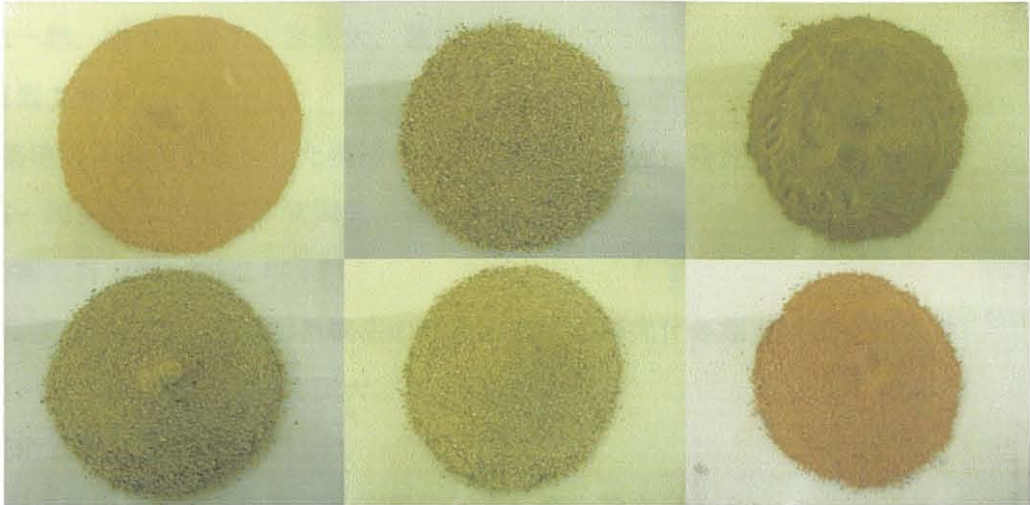
版築実験棟（神戸芸術工科大学） 2008.7



2008.1〜2



日干しレンガ作成 2008.11





## 参考文献

- ・「方丈プロジェクト」「版築造実験居室」夏期室内温熱環境実測調査報告書

小玉祐一郎、畑中久美子、宮岡大、蓮井睦子

神戸芸術工科大、2006 年

- ・「版築壁の熱特性を生かした構法の開発に関する研究」研究計画書

小玉裕一郎、畑中久美子、宮岡大、蓮井睦子

神戸芸術工科大学、2007 年

- ・「版築壁の熱特性を生かした構法の開発に関する研究」冬期実測調査報告書

小玉祐一郎、畑中久美子、宮岡大、蓮井睦子

神戸芸術工科大学、2007 年

- ・「セルフビルドによる版築造の実験的試み」修士論文

畑中久美子、2001 年

- ・「環境シミュレーションソフト Esp-r を用いた室内熱容量の評価」

大谷友里恵、武政孝治、小玉祐一郎、宮岡大、日本建築学会 2008 年度大会学術講演概集

- ・「第八回 日中建築構造技術交流会論文集 中国・北京」、2008 年 10 月

- ・「土を用いた住居における居住環境に関する基礎的研究」卒業論文

原佳世、2006 年

- ・『CONFORT 特集 日本の素材 vol.2 土・泥』

黒部芳彦、建築資料研究社、2003 年 4 月

- ・『CONFORT 特集 「熱」を知る』

馬場瑛八郎、建築資料研究社、2003 年 1 月

- ・『CONFORT 特集 土と左官の力』

馬場瑛八郎、建築資料研究社、2007 年 6 月

- ・『CONFORT 土と左官の本』

馬場瑛八郎、建築資料研究社、2002 年 6 月

- ・『CONFORT 土と左官の本 2』

馬場瑛八郎、建築資料研究社、2003 年 8 月

・『CONFORT 土と左官の本 3』

馬場瑛八郎、建築資料研究社、2005 年 5 月

・『CONFORT 土と左官の本 4』

馬場栄一、建築資料研究社、2008 年 12 月

・『建築技術』

清水謙一、建築技術、2006 年 10 月

・『住宅特集 特集 土壁の家をつくる！』

馬場瑛八郎、建築資料研究社、2006 年 1 月

・『住宅建築 連合設計社市谷建築事務所／小玉祐一郎のパッシブデザイン』

平良敬一、建築資料研究社、2007 年 5 月

・『住宅建築 木原千利 現代の住宅に「和」を息づかせる』

馬場瑛八郎、建築資料研究社、2006 年 1 月

・『月刊／左官教室』

小林澄夫、黒潮社、2006 年 9 月

・『月刊／左官教室』

小林澄夫、黒潮社、2006 年 12 月

・『秘土巡礼 INAX BOOKLET』

住友和子編集室・松村寿満子 INAX 出版 2001 年 9 月

・『泥小屋探訪 INAX BOOKLET』

住友和子編集室・松村寿満子、INAX 出版、2005 年 3 月

・『日本の壁 INAX BOOKLET』

山田幸一、INAX 出版 2003 年 4 月

・『れんがと建築 積み重ねた美の表情／INAX ギャラリー企画委員会企画』

木村昌夫、INAX 出版、1989 年 9 月

・『ディテールがつくる風景 タイル・レンガ・テラコッタ紀行 INAX BOOKLET』

水谷千加古、INAX 出版、1997 年 6 月

・『日本壁のはなし』

山田幸一、鹿島出版会、1985 年 10 月

・『れんがと建築 デザイン／ディテール設計／工法』

セシル・ハンディサイド、バリー・ハセルタイン、彰国社、1980 年 6 月

・『SOLAR CAT 特集 いのちを育む土』

真鍋弘、OM 研究所、1996 年 7 月

・『ディテール マテリアル・デザイン 2008 建築の素材・材料チェックリスト』

後藤武、彰国社、2008 年 3 月

・『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 改訂版』

後藤武、彰国社、2003 年 6 月

・『高等建築第 26 巻 家屋耐震並耐風構造』

佐野利器・武藤清、常磐書房、1935 年

・『世界の住まいにみる 工匠たちの技と知恵』

太田邦夫、学芸出版社、2007 年 10 月

・『おさまり詳細図集① 木造編』

筋野三郎・畑中和穂、理工学社、2005 年 3 月

・『最新 建築環境工学』

田中俊六・武田仁・土屋喬雄・岩田利枝・寺尾道仁、井上書院、2006 年 3 月

・『季刊“アプローチ”第 152 号』

竹中工務店、2001 年 10 月

・『構法で学ぶ 建築構法入門 在来木造編』

森永智年、井上書院、2006 年 2 月

・『図と模型でわかる木構造』

辻原仁美、学芸出版社、2006 年 6 月

・『日本の住宅』

藤井厚二、岩波書店、1928 年

・『日本の木造住宅の 100 年』

坂本功、日本木造住宅産業協会、1992 年

・『BUILDING WITH EARTH』

GernotMike、Birkhäuser、2006 年

• 『Built by Hand』

小松義夫、Gibbs Smith、2003 年 8 月

• 『세상에서 가장 따뜻한 집 스트로베일 하우스』

이용희 • 홍순천 시골생활 2007 年 6 月

• 『목천에게 배우는 흙집 짓는 법』

목천 조영길 황소걸음 2005 年 5 月