慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	北東アフリカ地域における在来構法と土着材料の応用に関する研究 : ジブチ都市部における日乾し煉瓦の活用に向けたスタディー
Sub Title	A study on the application of vernacular construction and local material in Northeast-Africa : a study for the utilization of "Mud bricks" in Djibouti
Author	小草, 牧子(Ogusa, Makiko)
Publisher	慶應義塾大学湘南藤沢学会
Publication year	2004
Jtitle	Keio SFC journal Vol.3, No.1 (2004. 3) ,p.68- 93
JaLC DOI	10.14991/003.00030001-0068
Abstract	北東アフリカ地域は、依然として人口増加にともなう住宅・施設不足が大きな問題となっている。乾燥地域という特異な気候条件にありながら、環境や土着性を無視した輸入材料、輸入構法に頼るか、スラムに見られる粗末な仮設住宅に頼るかといった状況の中で、経済性、効率性、耐久性をさらに重視した環境適応型建築構法を考察することが急がれている。よって本研究は、この地域の土着材料と在来構法に着目し、力学的・技術的視点から環境条件に合致した建材の最適化を試みるものである。 This paper deals with the study on the application of vernacular construction and local material in the Horn of Africa. In this area, it is requested to upgrade housing conditions restricted by imported materials which disregard the problems of slum quarters. This study aims at developing construction system and building materials in order to attain economical, durable and environment-adaptable systems, as well as to examine its sustainability from the dynamical and technical point of view.
Notes	特集「環境からの思考」
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=0402-0301-0300

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

特集論文

北東アフリカ地域における在来構法と土着材料の応用に関する研究

ジブチ都市部における日乾し煉瓦の活用に向けたスタディー

A Study on the Application of Vernacular Construction and Local Material in Northeast-Africa

A study for the utilization of "Mud bricks" in Djibouti

小草 牧子　慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特別研究助手（非常勤）
Makiko Ogusa / Research Associate (non-tenured)(part-time),
Graduate School of Media and Governance, Keio University

北東アフリカ地域は、依然として人口増加にともなう住宅・施設不足が大きな問題となっている。乾燥地域という特異な気候条件にありながら、環境や土着性を無視した輸入材料、輸入構法に頼るか、スラムに見られる粗末な仮設住宅に頼るかといった状況の中で、経済性、効率性、耐久性をさらに重視した環境適応型建築構法を考察することが急がれている。よって本研究は、この地域の土着材料と在来構法に着目し、力学的・技術的視点から環境条件に合致した建材の最適化を試みるものである。

This paper deals with the study on the application of vernacular construction and local material in the Horn of Africa. In this area, it is requested to upgrade housing conditions restricted by imported materials which disregard the problems of slum quarters. This study aims at developing construction system and building materials in order to attain economical, durable and environment-adaptable systems, as well as to examine its sustainability from the dynamical and technical point of view.

Keywords: 東アフリカ地域、日乾し煉瓦、環境適応型構法技術

1　北東アフリカ地域の在来構法と土着材料

1.1　北東アフリカ地域の構法分類

経済的な環境適応型建築を可能にするのは、その地域もしくは周辺地域で入手できる自然材料を使用した在来構法を応用することにある。アフリカ地域の在来建築技術に関する先行研究は多岐に渡って行われており、ポール・オリバー (Paul Oliver, 1971) が "Shelter in Africa" で、遊牧型住居を建築学的に分析している他、ノーバート・ショウナワー (Norbert Schoenauer, 1981) が "6000 Years of Housing" の中で、マリやスーダンの民族が使用する日乾し煉瓦の住居について、文化人類学的見地から言及している。ここでは、北東アフリカにおける住居構法と材料について論ずることとする。

図 1 は、「構法の成立条件に関する研究」（若山滋、1982）に基づき、東アフリカ地域周辺に対象を絞って構法を再分類したものである。ここで構法は主に組積系と軸組系に別れる。軸組系の編成式は、豊かな木材資源を有する地域に限定され、砂漠気候のジブチには適応しない。また、皮膜式は主に遊牧型住居に適した構法であり、より耐久性が求められる定住型構

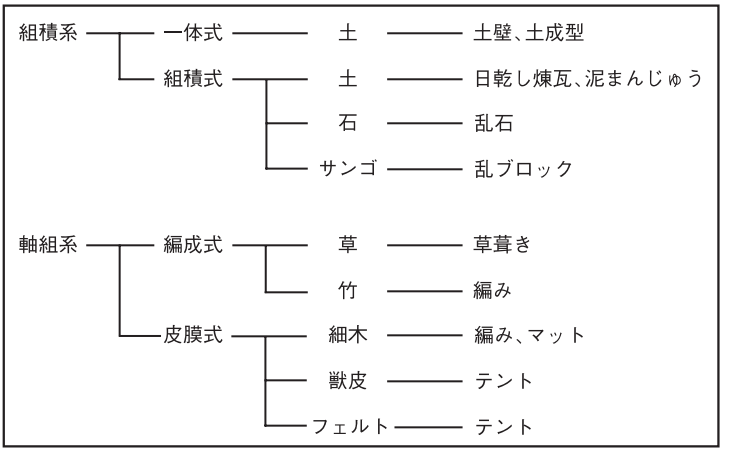

図 1　構法分類図

法としてあてはまらない。一方、組積系の組積式ーサンゴは、自然保護の観点から、その使用が認められにくい。一体式ー土壁、土成形は、基本的に竹や木材による小舞や日乾し煉瓦などが下地に利用されており、さらに多量の粘土質が必要であるため、施工性と必要材料数という観点から、組積式に劣ると言える。そこで組積式ー石と組積式ー日乾し煉瓦に応用の可能性が見えてくる。石の場合、高度な組積技術がないと乱積みなどは安全性に問題があるため、結果として石工等の職人による加工が必要となるが、日乾し煉瓦では、型枠さえあれば高度な専門技術は必要無い。また、重量を比較した場合、日乾し煉瓦により施工性が認められる。建材に適した石は採取できる場所が限られることもあるので、ここでは、どこにでもある土を利用してできる、「日乾し煉瓦」に焦点をあててみる。

1.2　日乾し煉瓦の種類

日乾し煉瓦の使用は世界各地で見られ、古いものでは 4 世紀初頭エジプトで建てられた世界最古の修道院 "Shams-al-din" がよく知られている。また、イランやウズベキスタンなど、中央アジア、中近東での歴史的建造物に日乾し煉瓦を使用したものが多く見られる。エジプトで見られる日乾し煉瓦は、片手で持ち運びできる大きさで、土、水、繊維質（干し草等）を混ぜ、型をとり、天日で乾かすものである。イエメンなどで使用される日乾し煉瓦は、表面積が広く薄いタイル状のもので、多量の水を使用するのが特徴である。この表面積の広さは、一層積みでも高層建築を可能にできるという利点がある。材料やその分量、生産方法はさまざまであるが、その地域環境に適応した日乾し煉瓦を検討するため、材料検討や強度実験は不可欠である。よって 3 章では、ジブチの環境に適した日乾し煉瓦を検討することとする。

1.3　日乾し煉瓦を使用した建設事業

ここで、現在ジブチにて行っている日乾し煉瓦を使用した小学校施設建設活動を紹介する。

この PK20 小学校建設プロジェクトは、筆者を含む日仏工業技術会と慶應義塾大学（三宅研究室）を中心としたプロジェクトメンバーにより、平

成 13 年度から 14 年度にかけて行われた外務省 NGO 補助金対象事業である。この活動は、ジブチが抱える学校施設不足問題の解決をはかるため、比較的容易に経済的な建物を建設することを目的としており、2003 年度内に竣工予定である。ジブチにおいて、公共施設に日乾し煉瓦が使用される例はこれが始めてである。敷地面積は 5.450m²、メインキャンパスの主な施設は 6 教室、校長室、図書館、厨房、カフェテリア、トイレである。コンクリートのフレーム構造で圧縮式の日乾し煉瓦を壁体に使用している。基礎には周辺で採取できる石を使用し、小屋組は木材でトラスをくみ、折板の屋根をかける。ここで使用される日乾し煉瓦の大きさは 220 × 200 × 115（mm）、インターロック式[1]の一層積みである。仕上げはニスの 2 度塗となる。今後、室内環境、耐久性、耐候性について評価し、日乾し煉瓦の適性を検討していくものである。

本論では、在来構法と土着材料の応用をテーマとし、日乾し煉瓦に焦点を当て、その環境に適した建材を検討するものである。それと同時に、類似している環境のある発展途上国における建築分野の開発手法を示唆するものであると考えられる。我々が発展途上国から学び、提案するべきものは、サスティナビリティを持ち合わせた建築であり、それを可能にするのは「素材と構法技術の開発」であるといえる。なお、本論でいう「土着」や「サスティナビリティ」とは、建築を構成する部分であるところの構法や材料を指しており、必ずしも建築の全ての要素や建物全体について言及するものではない。

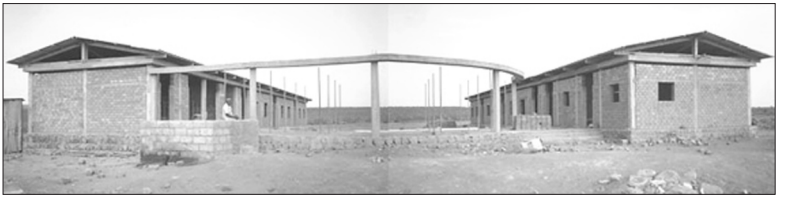

図 2　PK20 小学校外観（2003 年 6 月）

2　途上国における住宅・施設事情

2.1　人口動態とスラム形成

北東アフリカ地域における都市周辺部での人口増加の主な原因は、①純粋な人口増加、②難民・移民、③遊牧民の定住化である。①の例を示すと、2003 年現在で、エチオピアの特殊出生率は 6.300 人、ジブチ共和国は 5.300 人であり、日本の 1.384 人と比較すると、4 ～ 5 倍の数値である。②に関しては、隣国の内戦・民族紛争による難民等の受け入れや、出稼ぎにくる移民である。③は、元来が遊牧民である、ジブチ、スーダン、ソマリア、エチオピアの一部地域などに限られるが、遊牧民族が現存する地域では、人口動態が常に流動的であり、正式な人口統計を把握することが難しく、定住化が顕著になってきた近年になり、統計に影響を及ぼしている。

これらの理由による人口増加や移住は、都市部に集中することが多く、スラムを形成する要因になると考えられる。僻地などに形成される集落レベルでも、将来的な市街地化が充分に予測される。これらのコミュニティーは、同民族や親族が基本単位となり、その住居範囲をスプロールしつつ広げていく傾向が強く、その結果、スラム地区として発展する場合が多い。特に、行政管理が行き届かない場所において、自然発生的に広がるスラム形成は、インフラ整備が遅れ、住宅・施設供給や住居環境の改善も困難になる。なお、ここでいうスラムとは、違法建築群によって不法に占拠された土地・地区をさす。

2.2　スラム型住居

ここで、北東アフリカ地域に位置するジブチに見られるスラム地区に焦点をあて、その住居環境とその発展経緯について検証を試みる。

ジブチ市郊外に位置するバルバラ地区は低所得者層の住居地区であり、その南側に位置するのがババッシュである。この一帯はバルバラの中でも最も貧しく、エチオピアなどの隣国からの難民や、ジブチの他地方出身者で構成されている。行政の介入が全くない土地に勝手に建物を建てているため、敷地や区画といったものは無く、道、水道、電気といったインフラは

整備されていない。収集された材料（トタンや木材の一部、段ボール、石等）を使用し、自分達の手によって建てられる粗末な住居が目立つ。この地区の一般的住居構法は、木材等で柱・梁を組み、そこにトタンなどを張り付けるもので、セルフビルドが基本であるが、この住居形態は、都心部に形成されている各スラム地区で共通している。これは、ジブチ遊牧民の使用する移動可能な遊牧型住居から発展したフレームと外皮の膜構造であるといえる。遊牧型住居は、木の枝をつなぎ合わせたものをアーチ状のフレームとし、その上に木の皮を割いて編んだマットをかける膜構造である。これらの住居を所有する遊牧民が僻地で定住化を始めると、その土地にある石などを利用した組積造で風に抵抗できる強固な住居に発展するが、都心部に定住化した場合、そのフレームや皮膜は違う材料に変化する。ババッシュにおいては、フレームは木材や、鉄筋の破片などに変わり、皮膜は布や段ボール、トタンに変えられる。遊牧型住居の平均建築面積は 17.63 ㎡[2]、ババッシュに見られるスラム型住居の平均建築面積は 10.62 ㎡[3] であった。このように、明らかに住居環境が劣悪な住居形態に移行する原因は、2 点考えられる。

まず第 1 に、生活環境の違いである。遊牧型住居は、基本的に 1 住居に 1 家族であり、親族単位で移動する（移動単位家族）場合が多い。遊牧圏のどこにでも住居設営が可能であるが、まわりに他の移動単位家族がいない場所を選ぶ。移動単位家族を構成する各家族は、ある程度のスペースを囲むようにして、それぞれ住居を数メートルから数十メートル程度の間隔をあけて建てるため、移動単位家族が占める敷地面積は非常に大きい。寝食ともに住居内外を問わないことが多く、オープンなライフスタイルであることから、遊牧型住居は日よけや貴重品をしまうだけの倉庫的な役割が大きいといえる。しかしながら、都心部では、他人、他民族、他家族が近隣に住むこともあり、閉鎖的なライフスタイルに一変し、建設場所も制限されるため、空いているスペースを有効に利用しなければならない。住居規模は必然的に小さくなり、移動単位家族が同居する場合もあるため、1 人あたりの占有面積はさらに小さくなる。より効率的な空間形成を可能にす

る構法に変化していくのである。

第２に、遊牧型住居を構成している材料が都心部で入手しにくい点である。遊牧民は、遊牧圏内においてメンテナンスや新築のための材料を入手するが、都心部ではそのような自然材料よりも、工業製品の方がはるかに入手しやすい環境にある。遊牧型住居はメンテナンスを定期的に行う必要性があるため、時間とともに衰退していく傾向にあると考えられる。

2.3 輸入住宅

都心部におけるスラム地区以外での住居のほとんどは、コンクリートブロックが一般的構法である。植民地経験からヨーロッパ諸国の技術や材料が流入しやすく、耐久性があり、近代的なイメージである点が中流階級以上では受け入れられる傾向にある。また、公共施設のほとんどは海外資本によるものであり、自国でプランニングを行い、限られた時間で建設を試みると、工期が短く合理的な構法を選択せざるを得ない。しかしながら、これらの輸入建築は、現地の環境に適応しないばかりか、メンテナンスやLCC[4]などの点で、問題が生じるケースが多い。

ジブチのように、建材となる資源を保有せず、そのほとんどを輸入に頼っている場合、遊牧型住居から定住型住居への独自の発展は難しく、劣悪な住居環境にあるスラム型住居か、非将来的な輸入住居かという状況に陥る結果となる。ここで、この地域における経済的な環境適応型建築を検討していくことにする。

3　日乾し煉瓦強度実験

3.1　材料の違いによる圧縮強度の変化

この実験[5]は、日乾し煉瓦を構成する材料の違いが煉瓦の圧縮強度にどのような影響を及ぼすかを検討するものでありる。強度実験は圧縮試験機を使用、煉瓦の成形方法は型枠充填式であり、これは木製の型枠に材料を入れ型をとる単純な方法で現在イエメンなどで見られる方法である。材料は種類の違う土（粘土ではない）A（PK ２０北部より採取）とB（PK ２０南部より採取）を用意し、それぞれ土のみ、土とセメント[6]（５％）、土

表１　材料の違いによる圧縮強度実験

土の種類	材料	強度（KN）
A	土のみ	47.0
	セメント（５％）	117.8
	干し草	117.0
B	土のみ	94.4
	セメント（５％）	117.4
	干し草	116.0

と繊維質（干し草）の３種類、計６種類の試験体を使用する。日乾し煉瓦の大きさは 120 × 90 × 250（mm）で統一し、材齢は 10 日である。表１を見ると、A、B ともに土のみの煉瓦強度が低い値を示しており、セメントを含むものと比較すると、約 1.2 倍から 2.4 倍の強度差が確認できる。また、繊維質を含むものと、セメントを混ぜたものの数値にあまり変化が見られないことが分かる。型枠充填式では、成形時に圧縮を加えないため、繊維質による土のつなぎ効果がかなり高いと考えられる。砂漠気候であるジブチにおいて、繊維質はセメントより貴重で入手しにくいものであるため、セメントがこの代材として使用できることが明らかになった。また土のみの煉瓦を比較した場合、B の値は A の２倍以上の強度を示しており、土の違いによる強度の差異が認められるが、セメントや干し草等を入れたものでは、A、B 両煉瓦の強度に大きな違いは見られない。このことから、繊維質やセメントのつなぎ効果が土そのものの強度に大きく影響していることが分かる。

3.2　セメント含有量の違いによる圧縮強度の変化

この実験[7]は、セメント含有率が日乾し煉瓦の圧縮強度にどのように影響するのかを見るものである。ここで使用される煉瓦の成形方法は、圧縮式であり、これは油圧式の圧縮機械を使用し、加圧して型押し出しするものである。材料は土と少量の水で、セメントを 0.0 ～ 20.0% の間で混入させたものを６種類用意し、煉瓦の大きさを２種類、さらに標準養生[8]と水

中養生の２つの養生方法で、計 24 の試験体で実験を行う。

使用する土、セメントは統一し、煉瓦の高さと幅はそれぞれ、h=11.5cm、w=22.0cm で統一、長さは、10cm 前後と 20m 前後のものに別れる。これは、表面積の違いによる強度差異がどれくらいかを判断するためのものである。材齢は、標準養生が 36 日、水中養生は計 53 日（内、21 日が水中養生期間）であり、どちらについても標準養生期間１ヶ月をすぎている。　ここでは、水中養生の場合でも、標準養生と同一のセメント含有率による強度変化が見られるかを論じ、養生方法の違いによる強度比較については次項で論ずることにする。

実験結果では、養生方法、煉瓦規模に関わらず、セメント含有率が増えるとともに、ほぼ強度も高い数値を示している。標準養生の試験体４と５では、数値が低くなっているが、これは、試験体の保管方法に問題があったためと考えられる。図３と図４は、表２、３を元にその変化率を表したものであり、煉瓦 A は煉瓦の長さが長い方、煉瓦 B は長さの短い方を表す。これを見ると養生方法、煉瓦規模に関わらず、セメント含有率０％～ 10%、

表２　標準養生による圧縮強度実験結果

No.	セメント含有量（%）	重量（kg）	長さ（cm）	体積（m³）	強度（KN）
1	0.0	9.7	19.0	0.0048070	78.8
2	2.0	9.6	19.0	0.0048070	94.0
3	5.0	9.5	19.0	0.0048070	162.0
4	10.0	10.1	20.0	0.0050600	143.0
5	15.0	10.2	20.0	0.0050600	135.6
6	20.0	9.5	19.0	0.0048070	255.3
7	0.0	4.2	9.0	0.0227700	15.6
8	2.0	4.1	9.0	0.0227700	41.2
9	5.0	4.3	9.0	0.0227700	58.2
10	10.0	4.3	9.0	0.0227700	59.4
11	15.0	4.2	9.0	0.0227700	62.8
12	20.0	4.4	9.0	0.0227700	77.9

表３　水中養生による圧縮強度実験結果

No.	セメント含有量（%）	重量（kg）	長さ（cm）	体積（m³）	強度（KN）
1	0.0	—	—	—	—
2	2.0	9.6	19.0	0.0048070	65.4
3	5.0	9.5	19.0	0.0048070	133.9
4	10.0	9.5	19.0	0.0048070	196.9
5	15.0	9.6	19.0	0.0048070	224.9
6	20.0	9.6	19.0	0.0048070	288.9
7	0.0	—	—	—	—
8	2.0	4.1	8.5	0.0021505	14.1
9	5.0	4.2	8.5	0.0021505	27.1
10	10.0	4.2	8.5	0.0021505	61.9
11	15.0	4.3	9.0	0.0227700	65.9
12	20.0	4.3	9.0	0.0227700	100.7

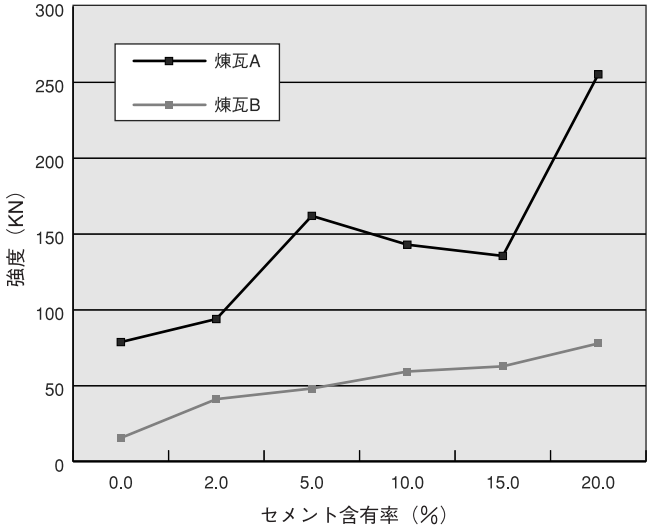

図３　標準養生による圧縮強度

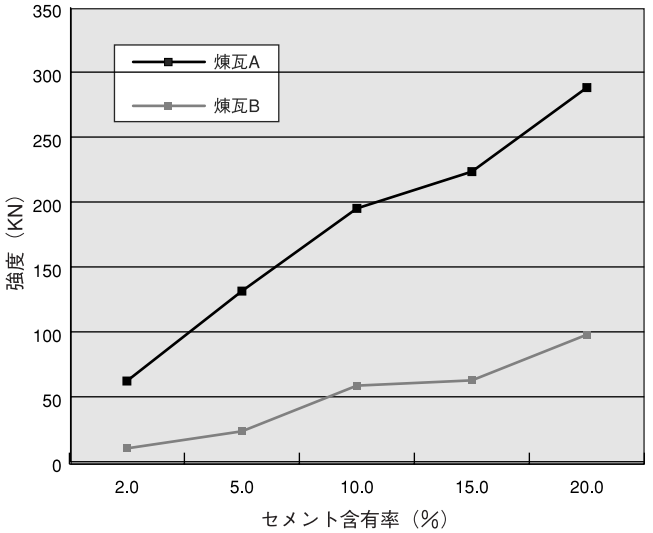

図 4　水中養生による圧縮強度

15%～ 20%の強度変化率に比べ、10%～ 15%の間での強度変化率は大きくない。今回の場合、セメント含有率 20%までは、ほとんどの場合強度と比例し、4 種類の試験体とも 10%～ 15%の間においては、セメント含有率の違いによる強度効果は見られなかったが、このような実験をくり返し行うことによって、煉瓦強度を効果的に高めるためのセメント含有率を検討することができるといえる。

3.3　養生方法の違いによる圧縮強度の変化

この実験は、養生方法の違いが、日乾し煉瓦の圧縮強度にどのような影響を及ぼすのかを見るためのものである。2 つの実験結果をもとに、それぞれの検証を試みる。図 5 、図 6 は、3.2 で使用した表 1 、2 を基に煉瓦の大きさ別に折れ線グラフで表したものである（試験体についての詳細は前項参照）。表 4 は、新たに実験 [9] を行って得た結果である。ここで使用する日乾し煉瓦は、圧縮式であり、土とセメントも全てこれまでのものと同一である。試験体は、標準養生で養生期間が 5 日のものと 45 日のものをそ

れぞれ2つずつ、水中養生のものは、それぞれの標準養生期間に44日の水中養生期間を足した、49日と89日のものを用意する。セメント含有率は、全て9％～10％で統一している。

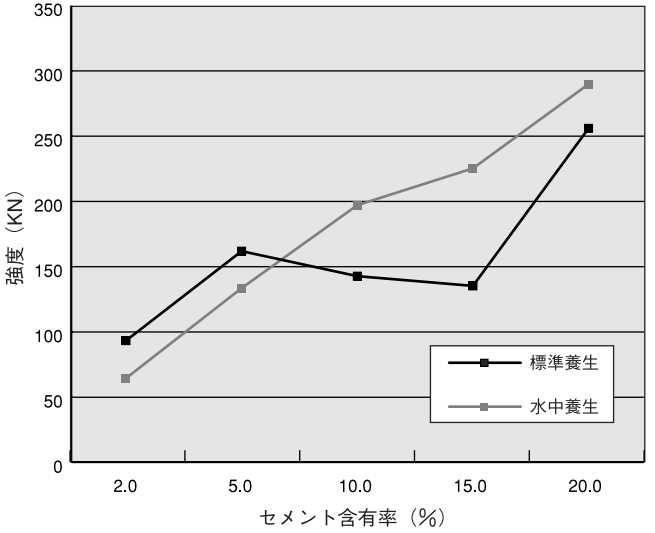

図5　煉瓦A圧縮強度

図5における日乾し煉瓦圧縮強度は、セメント含有率7％前後まで、標準養生が水中養生よりも高い強度値を示しているが、それ以降は、水中養生の方が高い強度を示している。図6においても、10％を境に、標準養生と水中養生の示す強度が入れ代わることが分かる。つまり、1ヶ月以上の標準養生期間を経たものであれば、7％までのセメント含有率で日乾し煉瓦をつくる場合、標準養生の方が有効であり、10％以上のセメント含有率の日乾し煉瓦をつくる場合では、水中養生の方がより効果的であるといえる。7％～10％の間においては、どちらの養生方法でも強度に違いは見られないので、作業効率、工期の点から考えると、標準養生の方が適した養生方法であると言える。このことは、表3の実験結果でも証明されてい

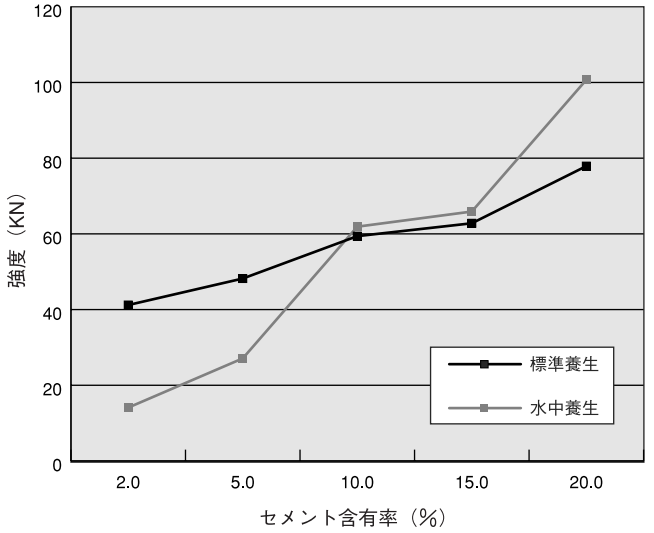

図６　煉瓦Ｂ圧縮強度

る。使用している日乾し煉瓦は全て９～10%のセメント含有率であるが、標準養生 45 日を経過しているものは、さらに 44 日の水中養生期間を経ても強度変化があまり見られない。しかし、標準養生期間が５日のものは 44 日の水中養生期間を経ることで、強度値が急激に増しており、結果は、より長い標準養生期間を経た試験体４、５、６と変わらない結果となっている。つまり、標準養生期間を 45 日以上経たものは、すでに強度が安定しており、

表４　養生方法の違いによる圧縮強度

No.	養生日数（日）	セメント含有量（%）	養生方法	強度（KN）
1	49	9.0 ～ 10.0	水中養生	450.0
2	5	9.0 ～ 10.0	標準養生	165.0
3	5	9.0 ～ 10.0	標準養生	177.0
4	89	9.0 ～ 10.0	水中養生	480.0
5	45	9.0 ～ 10.0	標準養生	420.0
6	45	9.0 ～ 10.0	標準養生	470.0

その後水中養生を行う必要はない。また、水中養生による強度効果が期待できるのは30日程度までの標準養生期間を経たものであることが推測される。このような実験をくり返すことによって、各セメント含有率について、日乾し煉瓦の強度を効率的に高める養生方法を検討することが可能となる。

3.4　耐火実験

この実験[10]は、日乾し煉瓦の耐火性能を検討するためのもので、通常、不燃とされている日乾し煉瓦が一定の時間火中におかれた場合、その後煉瓦にどのような影響が出るかを見るものである。

図７　燃焼実験

図８　燃焼後の日乾し煉瓦

使用される煉瓦は、可燃の繊維質を含まないもので、土だけでつくられたものとセメント（５％）を含む２種類の試験体４つを使用する。窯の中にコンクリートブロックの台を３列に置き、その上に試験体を乗せ、薪によって（750℃前後）約５時間程度燃やし、その後の大きさと状態を見る。

実験結果を見ると、試験体の熱による収縮は、ほとんど見られない。何回かこの実験をくり返し行ったが、結果は同じであった。火を止めた直後の試験体の状態は、黒く煤がついている程度で、煉瓦自体はその形を維持していた。試験体を取り出す際に、Cが崩壊し、Dは煉瓦自体が２つに割れた。Aは、多少のクラックが確認されたが、割れるに至らず、Bに関しては、変化が見られなかった。よって、セメントを含んだものが、土だけのものよりも崩れやすいことが分かる。また、クラックの原因は、急激な水

分蒸発によるものと推測される。燃えたことにより、試験体の表面の硬度が増し、接触や摩擦による崩れは生じない。しかし、内部は通常の日乾し煉瓦よりももろい状態であった。建物として考えた場合では、火災等により、建物がすぐ崩壊することないが、煉瓦自体の強度は劣化しているため、そのままでの使用は非常に危険である。

表 5　燃焼実験結果

試験体	燃焼前の大きさ（㎜）	燃焼後の大きさ（㎜）	備考
A（セメントなし）	110 × 110 × 230	110 × 110 × 230	クラック
B（セメントなし）	120 × 80 × 240	120 × 80 × 240	
C（セメントあり）	105 × 120 × 245	測 定 不 能	崩れた
D（セメントあり）	120 × 90 × 240	120 × 90 × 240	割れた

3.5　圧縮強度比較

これまで行ってきた各実験によって、明らかになった圧縮強度値を相対的に評価するため、既存研究との比較を行う。過去に行われた日乾し煉瓦の圧縮強度実験の実例は少なく、また、実験目的や条件が異なるため、正確な比較研究とならないが、本実験結果の強度値の妥当性を検討する上で、参考となると思われる。

エジプトの建築家ハッサン・ファシ（Hassan Fathy, 1976）が "Architecture for the Poor" において、コロネル・デベス（Colonel Debes）による砂と藁の割合に対する圧縮強度実験を参照している。ここで使用される日乾し煉瓦は、5%、20%、40%の砂を加えたものに、それぞれ 1%、1.75%、2.5%、5%の藁を加え、計 12 の試験体をつくり、標準養生で、期間をそれぞれ 7 日、30 日、90 日、180 日おき、圧縮強度について測定している。これをみると養生期間 30 日までの強度値は高くなるが、それ以上経たものは、逆に強度値が低くなっている場合が多く見られる。このことから、項 (3.3) において論じた通り、日乾し煉瓦は標準養生期間一ヶ月以内に強度が安定することが証明される。また、コロネル・デベスが行った実験の中で一番高い強度を示す、

表6の試験体1（標準養生30日、砂5％、藁1％）の53.6kgf/cm^2[11]は、表1の試験体6（標準養生36日、セメント含有率20%）の255.3KN（58.02kgf/cm^2）とほぼ同じくらいの強度であり、砂と藁による効果がセメント20%の効果と同じ程度であると考えられる。また、ジブチにおいて使用されるコンクリートの標準強度は75kgf/cm^2[12]であり、これは、表4試験体5（標準養生45日、セメント含有率10%）の420KN（95.4kgf/cm^2）よりも低い強度値であることから、日乾し煉瓦でもコンクリートと同等もしくはそれ以上の強度を出すことが十分可能であることが分かる。

表6　コロネル・デベスの圧縮実験

		圧縮強度（kgf /cm^2）			
砂（%）	藁（%）	7日	30日	90日	180日
5	1.00	34.2	53.6	48.0	47.3
	1.75	33.0	48.0	43.3	45.9
	2.50	30.0	45.0	40.0	42.2
	5.00	28.5	40.0	37.0	35.6
20	1.00	32.4	44.1	40.3	40.5
	1.75	37.0	48.4	46.5	47.5
	2.50	32.0	44.6	37.6	39.0
	5.00	25.0	27.0	35.0	34.2
40	1.00	30.6	36.6	34.5	35.4
	1.75	32.0	37.0	36.0	35.8
	2.50	34.0	39.8	38.2	36.0
	5.00	22.0	32.0	30.0	28.2

3.6　まとめ

第3章では、ジブチの環境に適応した日乾し煉瓦を検討するべく、圧縮強度に焦点を当て実験を行った。各実験結果が示している通り、日乾し煉瓦の圧縮強度は、材料となる土の性質やセメント含有量、養生方法などによって大きく影響を受ける。しかし、これらの特性を活かし、より効果的

に煉瓦の圧縮強度を高めていくことも可能であると言える。特に各地域の気候環境に合わせた煉瓦づくりを検討する上で、これらの実験を行うことは有効である。一方で、今回取り上げた圧縮強度は煉瓦の 1 要素にすぎず、耐水性や耐候性、硬度やその他の力学的性質についてもさらに検討していかなくてはならない。また日乾し煉瓦の場合、材料自体、特に土の均質性が重要であることが明らかになっており、材料検討の際、地質学的な分析も必要とされる。ジブチに代表されるような東アフリカ地域の発展途上国では、セメントなどの輸入材料は高価で、その効果的な利用方法が求められており、さらに特異な気候条件（ジブチ：年間平均気温 35℃、年間降水量 150 mm 以下）が工期中の建材に及ぼす影響は大きく、工期短縮は重要な課題となっている。そういった状況を踏まえると、今回の実験結果は、日乾し煉瓦における他の力学的性質や煉瓦の効率的、効果的な使用を検討するための判断材料として有効であったといえる。

4　日乾し煉瓦を利用した施設評価

4.1　フランスによる実験住宅

この実験住宅は、1990 年から 1991 年にかけて、フランス外務省の文化協力機関（Mission française de coopération et d'action culturelle）とジブチ建設省の協力によってバルバラ地区に建設されたものである。ジブチで安価に入手できる材料を用いて、コストと住居環境を比較することを目的とし、将来的なジブチの住宅を研究するために行われたプロジェクトである。同一プランで、実験棟 1 から実験棟 6 まであり、それぞれ、コンクリートブロック造（No.1）、コンクリート造兼日乾し煉瓦組積造（No.2）、日乾し煉瓦組積造（No.3）、コンクリート造兼焼成煉瓦組積造（No.4）、焼成煉瓦組積造（No.5）、木材による柱梁構造（トタン使用）（No.6）の合計 6 軒の実験住宅が建てられている。ここで使用されている日乾し煉瓦は、大きさ 160 × 160 × 320（mm）のもので統一され、1 層積みのインターロック式である。日乾し煉瓦材料は少量の水、繊維質（パウダー状）と土で、セメントが含まれない純粋煉瓦である。油圧式プレスマシーンによる圧縮式で成形され、

その後天日で６～８時間かけて乾したものである。２種類ある日乾し煉瓦住宅は、純粋な煉瓦組積造とコンクリートフレーム構造に壁体を煉瓦で積み上げたものとで構造の差別化をはかり、実験のポイントとしている。ここでは、この日乾し煉瓦を使用した実験住宅を利用して、日乾し煉瓦の耐候性を検討することとする。

日乾し煉瓦を使用した実験棟２棟は10年以上経過した現在でも住居として使用されており、これまでメンテナンスやその他の補強工事等は一切行われていない。２棟ともプラスターで仕上げられていたが、仕上げ材はほとんど剥がれており、日乾し煉瓦の表面がむき出しの状態である。煉瓦組積造をタイプａとし、コンクリート構造をタイプｂとして、この２つの実験住宅を比較すると、タイプａの日乾し煉瓦はタイプｂに比べてかなり損傷しており、特に壁のコーナー部分や開口部周辺の損傷が顕著である。各コーナーの損傷度を比べると、Ｄ＞Ａ＞Ｂ＞Ｃ＞Ｅの順に損傷が激しい。Ｅは両住宅ともコンクリートで補強されているため損傷はほとんど無い。Ａ、Ｄは南側で日光が最もよく当たる部分である。Ｄの部分が一番ひどく損傷しているのは、開口部と接しているため、人の手による接触、摩擦が原因と考えられる。また、全体的に雨水や砂風による煉瓦の浸食が認められる。

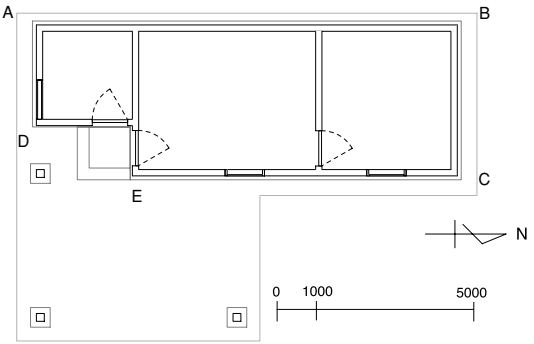

図９　実験住宅平面図

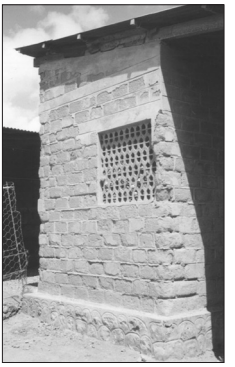

図10　実験棟４のA-D面

日乾し煉瓦は硬度が低く、物体による摩擦や接触、自然現象による浸食の影響を受けやすい。よって日乾し煉瓦を使用する際、煉瓦自体の強度とともに、重視しなければならないのは、設計計画でこれらの被害を最小限に防ぐことである。以下にそのポイントを挙げる。

① 耐震性[13]の点から、特に日乾し煉瓦組積造の場合、壁厚を大きくする必要がある。一層積みの場合、煉瓦の接着面積を広くするかインターロック方式で煉瓦同士の接着力を高める。また、イギリス積みやフランス積み等などの二層積みも有効である。

② 日乾し煉瓦の硬度を補強する手段として有効なのは、仕上げ材の使用である。土モルタル、セメントモルタルやプラスターなどで壁面を仕上げ、直接の雨水や砂風を防ぐだけでなく、煉瓦自体への水分の浸透を防ぐことが可能である。土が水を吸収することで煉瓦の自重が増し、クラックや崩壊を招く危険性があるため、防水処理は定期的にメンテナンスを行わなければならない。

③ 構造の違いによる建物の強度は、10年以上たった現在でも差異が認められないが、ものや人間の接触などの摩擦の可能性がある部分に対しては、仕上げ材だけでは対応できないため、コンクリートや焼成煉瓦などの硬度が高い材料を使用することが損傷に対して有効である。

④ 屋根の軒の出を大きくとり、できるだけ日光や雨風を防ぐことで、自然要因による煉瓦の浸食を最小限に押さえることができる。

次に実験棟1から6の材料コスト比較を行う。表7（ジブチ建設省によ

表7　実験棟材料費比較表

No.	構造	建築面積（m²）	材料費（FD）[14]	比較
1	コンクリートブロック	25.0	1,828,733	1
2	コンクリート／日乾し煉瓦	25.0	1,678,622	0.91
3	日乾し煉瓦	25.0	1,620,878	0.88
4	コンクリート／焼成煉瓦	25.0	1,986,231	1.08
5	焼成煉瓦	25.0	1,914,656	1.04
6	木造（トタン）	25.0	1,657,192	0.91

るプロジェクト報告書 "Construction en materiaux locaux" からの抜粋）は、建設にかかった材料費のみの比較表であり、人件費は含まれない。

実験棟１（コンクリートブロック造）の建設費を１とした比較場合、焼成煉瓦を使用した実験棟２、３だけが、上回っており、その他は下回っている。中でも日乾し煉瓦組積造実験棟３は、６棟の中で一番安価であり、ジブチのスラム型住居と同構法である実験棟６よりも下回っている。実験棟６は、柱、梁に使用している木材が高価であったため、結果的に費用が高くなったといえる。建設材料費だけに関していえば、実験棟２と実験棟６は、ほぼ同じであるが、強度、耐久性、室内環境の点から考えると、日乾し煉瓦の方がトタンよりも優れた建材であることは明らかである。しかしながら工期の点では、実験棟６の方がはるかに効率的であり、スラム地区において、柱、梁構造のトタン仕様が普及していることもこの点にあると考えられる。また、日乾し煉瓦の組積造は、実験棟で使用されている建材の中で、もっとも工期が長く、実際にはその人件費を考慮する必要がある。実験棟２と３では、コンクリートを使用しない実験棟３の方が安価であるが、強度や耐久性においては、コンクリート造である実験棟２の方が優れている。以上のことから、さらに日乾し煉瓦の強度や耐久性を高めていくとともに、工期短縮とそれによる人件費のコストダウンが可能になれば、ジブチにおける安価で安全な建材・構法として、日乾し煉瓦が普及していくと思われる。また、実験住宅の居住者に対して住居環境に関するアンケート調査を行い、その結果を参考にすることも重要であると考えている。

4.2　バルバラ実験棟

この実験棟は、筆者を含むプロジェクトチーム[15]が、現地の教育機関と協力して、1999 年から 2001 年にかけて建設されたものである。将来的な小学校施設建設を目標に、経済性を検討するとともに、日乾し煉瓦を扱う工程でどのような問題が生じるのかをシュミレーションするものである。ここで使用される日乾し煉瓦は、型枠充填式で成形され、大きさ 120 × 90 × 250（mm）、構造は日乾し煉瓦組積造、平家、建築面積 54m² の教室である。土間、まぐさ、臥梁部分はコンクリートを使用し、壁体は日乾し煉瓦のイギ

リス積みで、目地材は煉瓦材料と同様の土モルタルを使用する。小屋組みは鉄骨、屋根材は折板を片流れで取り付ける。

この建物に必要な煉瓦は約6000個であり、1日2～3人で平均400個の生産量が可能であることを考えると、単純計算で15日間もあれば完了する。この大きさの建物であれば、1日3～4段の積み上げ作業が可能であり、天井高3メートルとすると、8～10日で積み上げ作業は終了する。しかしながら、型枠充填式は成形時に多量の水を使用するため、乾燥工程に2週間以上の時間が必要であり、日ざしの強いジブチでは、天日で急激に乾かすと内部の水分が蒸発する際、煉瓦にクラックが生じるため、陰干しが必要となる。組積造の短所は工期の長さにあるが、日乾し煉瓦の場合、さらに日乾し期間が加わるため、乾燥工程の短縮が課題となっている。また、積み上げ工程については、煉瓦の大きさを変えることにより、ある程度の短縮が可能であるが、運搬能力等の能率性を考え、一番効果的な大きさを検討することが大事である。ここでは、エジプトで使用される煉瓦の大きさを参考にしている。

構造は、予算等の都合上、純粋な日乾し煉瓦の組積造を採用したが、施工時においても、すでにコーナー部や開口部周辺の煉瓦の磨耗が見られ、補強等の処置が必要である。また、コンクリート臥梁の重量が煉瓦に直接かかるため、煉瓦にひずみが生じる原因となる。以上のことから、コンクリート等によるフレームと壁体を分離させた構造が、より有効であると考えられる。壁体の防水処理としてはセメントモルタルを使用したが、日乾し煉瓦との付着性が悪く、内部の日乾し煉瓦のひずみによるクラックも生じた。土との付着性のよさは、石灰がよく知られているが、高価なためそれに変わる仕上げ材を検討する必要がある。煉瓦と同様の材料を使用した土モルタルであれば、壁の強度が均一になり、時間の経過に比例して一体化する。しかしながら、防水性にかけるため、定期的なメンテナンスが必至とされる。コストに関しては、材料費だけで、コンクリートブロックを使用した場合と比較すると、15分の1から10分の1に抑えられる結果となった。

以上のことから、日乾し煉瓦を使用する場合、構造条件、煉瓦同士の接着

方法、仕上げ方法（材料）が重要であることが明らかになった。また、安価な材料費であることの利点を活かすため、人件費削減のための工期短縮をどう解決していくかが大きな課題である。

図 11　実験棟煉瓦積み上げ作業

図 12　実験棟外観

5　結び

地球環境的視点から考えてみても、自然材料やローテクニックにおける可能性を見い出すことは有意義であるが、それらをどう現代の生活環境に適応させていくか、また応用していくかということがより重要であると思われる。特に、経済性や施工効率性を建築の一要素と考えた場合、現代において自然材料や在来構法にすべてを委ねることは難しく、輸入材料や工業製品が普及しているのも事実である。よって、単なる机上論ではなく、現実的に使用可能な材料・構法を考えた場合、これらの普及材料・構法の特徴をいかし、在来構法をどう発展させていくかを議論することが必要である。本論は、セメントを利用した日乾し煉瓦という建材の最適化を検討したものであったが、そのような意味で、上述した方向性を示唆するものであったと考える。

注

1　ここでいうインターロック式とは、煉瓦に凹凸の型押しが施されており、積み上げた際に煉瓦同士がロックされるシステムのことを言う。
2　1999年4月から6月にかけて慶應義塾大学三宅研究室によって行われた調査結果に基づく。
3　2001年10月から11月にかけて慶應義塾大学三宅研究室によって行われた調査結果に基づく。
4　Life Cycle Cost ＝生涯費用
5　小草牧子、庄屋大輔により1991年6月にLycée Industriel et Commercial（工業・商業専門学校）にて行われた。
6　2章で取扱うセメントは、すべてポルトランドセメントを使用。
7　小草牧子、千葉英彦により2003年3月から6月にかけて、Lycée Industriel et Commercial（工業・商業専門学校）において行われた。
8　2章でいう「標準養生」とは、気温３５℃で、試験体を日陰で自然乾燥させたものをいう。
9　小草牧子、千葉英彦により2003年3月から6月にかけて、Ministère des Travaux Publiques（ジブチ教育省公共事業局）において行われた。
10　小草牧子、庄屋大輔により1991年7月にLycée Industriel et Commercial（工業・商業専門学校）にて行われた。
11　1KN=100.02kgfとする。
12　ジブチにおけるコンクリート強度は、LE COVEC Jean, "Memento d'emploi du B.A.E.L 84"(France,1984) を参考としている。
13　東アフリカに広がる大地溝帯は、ジブチから始まっており、ジブチ北部は火山群山である。ジブチの国立研究機関であるInstitut Supérieur d'Etudes et Recherches Scientifiques et Techniquesの統計によれば、ジブチにおいて1989年から1994年までの間に年間6.6回の割合で、ジブチ市内から半径20 km ～ 220kmの地点で、マグニチュード3.7 ～ 6.4の規模の地震が発生している。
14　参考として、1FD=0.75円
15　日仏工業技術会ジブチプロジェクトチーム（会員：小草牧子、楠本正幸、庄屋大輔、マニュエル・タルディッツ、三宅理一、望月真一）

参考文献

小草牧子「紅海地域における日乾し煉瓦工法に関する研究（1）－日乾し煉瓦の特性と各地域における構法の比較」『日本建築学会2000年東北大会学術講演梗概集』E-1 建築計画 I pp. 683 - 684
小草牧子「紅海南西部地域における遊牧型住居に関する研究 - ジブチ共和国に見られるイッサ族・アファール族の遊牧型住居について」『日本建築学会1999年中国大会学術講演梗概集』F-2 建築歴史･意匠 pp. 221 - 222
小草牧子「紅海南西部における遊牧民の定住化現象に関する研究（3）－ジブチ・バルバラ地区におけるスラム形成について」『日本建築学会2002年北陸大会学術講演梗概集』E-2 建築計画 II pp. 765 - 766
庄屋大輔、小草牧子「紅海地域における日乾し煉瓦工法に関する研究（2）－日乾し煉瓦による実験棟の建設とその評価」『日本建築学会2000年東北大会学術講演梗概集』E-1 建築計画 I pp. 685 - 686
若山滋著「構法の成立条件に関する研究その1 構法の分類と分布」『日本建築学会論文報告集』第317号 1982.7

Hassan Fathy, Architecture for the Poor (University of Chicago, 1976).
Ministere de l'equipement et transports, "Construction en matériaux locaux" (Djibouti,Ministère de l'habitat, 1991)
Mission française de coopération et d'action culturelle, "Habitat pilote Balbala maisons témonins" (Djibouti, Ministère des Travaux, 1991)

〔2003. 7 . 7 受理〕
〔2003.11. 8 採録〕

論文に関するコメント

本研究は（北）東アフリカ地域に属するエチオピアとソマリアに囲まれたジプチを取上げ、同国のスラム住宅の改良と庶民住宅の建設を促進するために、この地域から得られる土着材料の活用と在来構法の改善が緊急に必要とされるという認識の下に行なわれた。

まず、土着材料についてはセメントの含有率、煉瓦の大きさ、標準養生と水養生という養生方法の違いにより 24 の試験体を造り、これらに対し圧縮強度の実験が行なわれた事は評価される。しかし、標準養生の試験体 4 と 5 については、セメント含有量の少ない試験体 3 より、強度が低く出ていて、その理由として、試験体の保管方法について問題があったとしているが、日乾し煉瓦の各生産工程の管理は極めて重要であり、この点で、より徹底した調査・検討が行なわなければならない。

次に、ジプチで建設された日乾し煉瓦を利用したフランス政府援助による 6 棟の実験住宅と我が国の外務省 NGO 補助金対象事業によるバルバラでの実験棟（小学校施設）についての調査・検討した結果がまとめられている。ここで日乾し煉瓦造構造物の利点と欠点を他の工法の構造物との比較において適切に指摘している点は評価される。しかし、日乾し煉瓦造の構造物は、材料費が他の工法による構造物に比し、安価である点、また広く一般に使用されている点に関連して、その質的改善がますます求められており、今後この種の研究・調査を通じて、適切な価格で、最低限の安全性、保健性を確保できる日乾し煉瓦造構造物の開発に期待したい。

地域研究事務所　　佐々波 秀彦　記

筆者は途上国の建築プロジェクトという実践からの教訓を活かそうとしています。論文の基盤となったこの実践は、SFC の学生が触れることのできる豊かな機会の代表的なものです。しかしながら、遠い現場で頑張っている筆者が学術環境にいないために学術論文の書き方を習得する機会が少ないと思います。記述されている実践は素晴らしいものですので、これの解釈や表現を成熟させる機会が必要です。この論文で筆者は中途ではありますが、その実践をより広い読者に勇気を持って、伝えようとしています。現場での興味深いフィールドワークに従事する学生に概念上や表現の洗練化をさせる訓練をどのように与えるのかが、教授たちのこれからの課題となるはずです。

慶應義塾大学環境情報学部　ティースマイヤ・リン　記