

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560634

研究課題名（和文）

クールルーフの観点から熱性能を高めた瓦屋根の再構築～瓦及びその工法の開発

研究課題名（英文）

the Reconstruction of Tiled Roof as a Viewpoint of Cool Roof and Thermal Performance
～the Proposal for the Roof Tile Design and Construction Method

研究代表者

木下 光（ KINOSHITA HIKARU ）

関西大学・環境都市工学部・准教授

研究者番号：90288796

研究成果の概要（和文）：

モックアップ実験やテストピースの分析を通して、粘土の純度や焼成温度、成型精度を下げることで、吸水率や熱伝導抵抗値の高い瓦ができることが明らかになった。これは手づくりによる伝統的製法が有する特徴である。また、沖縄の伝統的赤瓦屋根の研究を通して、伝統的な素材の組み合わせによって様々な換気口をデザインすることで、多孔質な屋根をつくり、そのことが涼しさのつながっていることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

We made clear that water absorption and thermal conductivity of roof tile have a strong relationship between the fineness and components of clay, burning temperature and accuracy of molding through the mock-up experiments and test-piece analysis. And the traditional tiled roof of the Nakamura House, which is the oldest house in Okinawa and one of important cultural assets, has various vent devices based on the combination of regional materials in Okinawa. This porous roof is the determinant of cool and comfortable environment in the house without the air conditioner.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・都市計画・建築計画

キーワード：熱環境、多孔質、瓦、吸水率、熱伝導率、焼成温度、精度、蒸暑地域

1. 研究開始当初の背景

瓦は日本の代表的な建材でありながら、一般の住宅における瓦及び瓦屋根に関する研究、あるいは瓦屋根の熱性能に関する研究は非常に少ないのが実状である。他方、近年、土地が細分化し、面積が小さくなっている中で、軒や庇を出す瓦屋根の普及率には減少傾向が見られるようになった。瓦や瓦屋根に、熱環境や地球環境の観点から、新しい付加価値を加えることが重要で、そうしなければ、

瓦屋根は日本の文化的景観をつくっているといいいながらも、現実的には他の屋根材に取って代わられていくのではないかというのが、本研究の背景であり、問題意識である。

研究開始前に行った長野県小布施堂界隈の瓦屋根に関する調査で、地元で製作された古瓦にはヤマキクバゴケという地衣類が生えるが、他地方の新しい瓦には生えず、生えている古瓦は新瓦に比べて多孔性を有していた。また、福岡県八女の伝統的町家の瓦屋

根の葺き替え比較では、新瓦と古瓦では、瓦表面温度と裏面温度に差異があることがわかった。以上のことから、瓦の材料や製造方法、瓦をどのように葺くかという施工やディテールを研究対象と位置づけ、多孔質な瓦や瓦屋根はどのような熱性能を有するか、あるいはどうすればそのような瓦や瓦屋根をつくることができるかが主な関心であった。

2. 研究の目的

地球温暖化が指摘される今日、気候風土上、通風が重要な日本の住宅は多くの開口部を必要とするため、屋根で如何に遮熱、断熱を行うかが重要である。このような前提から、日本の住宅におけるクールルーフの開発、すなわち空調機に頼らない住宅屋根の熱性能向上は、低炭素社会の実現において、火急の課題かつ社会的影響の大きなテーマである。このような背景に基づき、本研究は、日本の伝統的な屋根材であり、私たちの文化的景観ともいえる瓦屋根を如何にクールルーフとして再構築するか、瓦それ自体と瓦下地がどのようなものであればよいか、試験体を用いた実験を行いながら、その開発を進めることを目的とする。

3. 研究の方法

研究は三つの方法を用いて行った。

(1) 伝統的な工法・素材を用いてつくられている実際の瓦屋根の調査・分析である。主に沖縄の国指定重要文化財中村家住宅を事例とした。

(2) 熱性能の検証のために、関西大学内に瓦屋根モックアップ試験体（幅 1.8m×奥行 1.8m、勾配 5 寸、切妻屋根）を設置した。瓦表面から小屋裏まで様々な箇所に熱電対をつけて、その温度を測定し、分析した。

(3) 伝統的手づくりの製法及びたるま窯焼成を再現し、その物性値を明らかにするとともに、瓦の成分や製造工程、さらには焼成方法や焼成温度を変えながら、テストピースを作成し、その物性値を測定し、分析した。

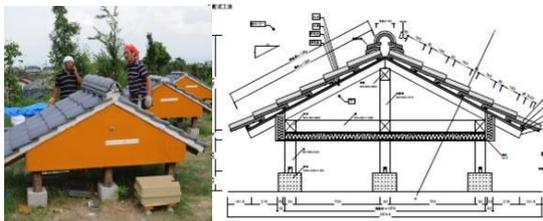


図1 モックアップ試験体

4. 研究成果

(1) 沖縄の重要文化財中村家住宅を中心とする伝統的瓦屋根の分析

瓦屋根の地域性や熱性能を考える上で、沖縄の素焼き瓦に着目し、国指定重要文化財中

村家住宅の瓦屋根を測定していた。ここでは、琉球竹とサンゴを含む葺き土が遮熱だけでなく、吸湿としての性能を有しているのではないかということ、本葺き屋根でも丸瓦が高く、平瓦の幅の狭い、すなわち陰をつくる、ヒダの多い屋根形状であること、軒先に設けられた雀口とよばれる換気口やクキミと呼ばれる大棟に開けられた換気口、かまどの吹抜けや天井の工夫などによって空気の流れをつくりだすディテールの重要性が明らかとなり、その結果、小屋裏温度湿度はほぼ外気と同じ状態にあることがわかった。特に、大棟の雀口は、通常、平瓦の上に丸瓦が葺かれる屋根の考え方をひっくり返して、平瓦を抜き、丸瓦の上に平瓦をのせることで、簡単に止水しつつ、小屋裏の熱をにがす工夫である。このような換気口は、スリランカの瓦屋根でも同様に考え方による換気口を見ることができたため、今後の展開として、アジアの蒸暑地域における屋根の熱性能の分析が考えられる。また、中村家住宅が住宅として使われていた際、ヒヤリングから、居住者は快適な場所を求めて、一日の時間帯に応じて、家の中で居場所をかえられていたことが明らかになった。技術革新だけでなく、このようなライフスタイルの修正も必要である。



写真1 クキミとよばれる換気口

(2) 関西大学千里山キャンパスにおけるモックアップ実験の分析

①瓦下の空気層

瓦裏の空気層や二重野地板による空気層は効果的であることが測定され、葺き土を使わない乾式工法における下地の作り方として推奨できる。

②製法の違い

伝統的製法である有空で土を練り、焼成温度が低い瓦は、真空で土を練り、ガス窯で焼成した瓦と比べると、瓦裏温度があがりにくい傾向にあることが明らかになった。

また、同じ下地で、製法の違う瓦屋根を比較した結果、焼成温度、粘土の純度において、伝統的製法を採用した瓦の方が吸水率が高かった。吸水率の高い瓦は瓦表面の温度低減に効果を示し、特に雨天後の晴天時は、その効果が顕著であった。これにより、伝統的製法による瓦の利用は、周辺外部の熱環境改善やヒートアイランド緩和に寄与すると推測

される。しかし、この効果は晴天が続くにつれて弱まり、顕著な効果は概ね 1~2 日程度しか継続しなかった。夏季は降水量が意外と少ないこともあり、定期的に屋根に水を散水するなど保水量を維持するための工夫が必要である。

③瓦の成型精度の影響

JIS 瓦（淡路産）の瓦屋根にも、手づくり瓦の瓦屋根にも、面外方向に、瓦継ぎ目などの隙間を介した気流があることが分かった。特に、JIS 瓦（淡路産）と手づくり瓦との比較から、手づくり瓦の方が面外方向の通気量の方が大きいことが分かった。これは、日中の瓦下空気層の気温差としても、明瞭に現れた。瓦の成型精度の向上は、施工性の向上などのメリットもあることながら、クールルーフの観点から見ると、大阪のような暑熱環境を有する地域では、瓦屋根の面外方向の通気量が低下し、屋根を熱しやすくしてしまっているデメリットもあると言える。

(3) 伝統的製法による瓦の物性と瓦テストピースを用いた実験室内分析

①熱伝導率

熱伝導率に影響を及ぼしたのは、全比表面積（瓦内部の細孔の表面積の大きさ）である。つまり、全比表面積が大きいほど、熱伝導率が小さくなる。そして、その全比表面積を大きくする要因として、粘土の純度、焼成温度が順にあげることができる。粘土の純度の低さや低温焼成による焼き締まりにくさが細孔の全比表面積を大きくし、その結果、熱伝導率が低くなったと推測される。

②吸水率

全細孔容積（瓦内部の細孔の容積）が大きいほど、吸水率は大きくなることが分かった。そして、その全細孔容積を大きくする要因として、成型精度、焼成温度、粘土の純度が順にあげられる。低温焼成による焼き締まりにくさや粘土の純度の低さが細孔の全細孔容積が大きくなり、その結果、吸水率が高くなったと推測される。また、成型精度が高い瓦ほど、吸水率が低くなる傾向が見られた。これは、機械成型時にプレス加工が行われるため、表面がより平滑になることや、基材が圧縮されるために細孔容積が小さくなったことが要因と考えられる。

③吸水速度

低温焼成であるほど、吸水速度に比較的影響を及ぼしていることが考えられる。

以上の研究成果から、導き出されるクールルーフに向けた方向性、つまりどのようにして多孔性を生み出すかのポイントは三点あり、それは瓦の下、瓦の中、瓦と瓦の間である。

瓦の下とは、瓦屋根の下地の工夫で、瓦下の空気層をどのようにとるか、あるいは、瓦

のディテールから瓦の下の空気をどのように換気口から出すかということである。次に、瓦の中とは、瓦の成分や製法工程、焼成手法や焼成温度を見直すことで、熱が伝わりやすく、吸水率の高い瓦という、現代の瓦にはない性能を持った瓦をつくることのできるというものである。そして、最後の瓦と瓦の間とは、瓦の形状や寸法精度と関連しながら、重ねて葺かれるという瓦屋根の特徴から、瓦と瓦の間に如何に空気層や熱の逃げ道をつくるかが重要であるという考え方である。最後の視点は、日本のように厚い瓦ではなく、薄い瓦を幾層にも重ねるアジアの蒸暑地域における伝統的瓦屋根を参照する必要があるにある。また、瓦の製造工程と瓦の物性での関係性では、地域毎に粘土それ自体に差異があること、違いの影響はどのようなものか、分析できていない。今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計 18 件）

- (1) 岡本祐樹、宮崎ひろ志、木下光、坂口誠：「製法の異なる瓦のクールルーフ材としての評価—吸水速度による検討—」、2013 年度日本建築学会大会発表確定(2013)、2013 年 9 月 1 日、北海道大学札幌キャンパス
- (2) 埴倫太郎、宮崎ひろ志、木下光：「屋根瓦下空気層の気流と瓦形状精度との相関—モックアップを用いた実測調査—」、2013 年度日本建築学会大会発表確定(2013)、2013 年 9 月 1 日、北海道大学札幌キャンパス
- (3) 山本衣純、宮崎ひろ志、木下光、坂口誠、青野謙哉：「製造方法の異なる瓦の熱環境的評価—試験体を用いた温度実測その 2—」、2012 年度日本建築学会学術梗概集、869-870 (2012)、2012 年 9 月 14 日、名古屋大学東山キャンパス
- (4) 坂口誠、木下光、宮崎ひろ志、山本衣純、東坂憲一、青野謙哉：「製造方法の異なるいぶし瓦の製作—試験体を用いた温度実測その 1—」、2012 年度日本建築学会学術梗概集、867-868 (2012)、2012 年 9 月 14 日、名古屋大学東山キャンパス
- (5) Izumi Yamamoto, Hiroshi Miyazaki, Hikaru Kinoshita, Makoto Sakaguchi : Thermal Evaluation of roof tiles manufactured in different production methods -The Traditional Technology of Japanese Roof Tiles as Cool Roofs- (Part 1), 9th International Symposium on Architectural in Asia (ISAIA 2012), 24 August 2012, Gwangju, Korea, PE-9
- (6) Makoto Sakaguchi, Hikaru Kinoshita, Hiroshi Miyazaki, Izumi Yamamoto : Reconstruction of Production Methods and Process based on Thermal Evaluation -The Traditional Technology of Japanese Roof Tiles as Cool Roofs- (Part 2), 9th International Symposium on

- Architectural in Asia (ISAIA 2012), 24August 2012, Gwangju, Korea, E-3-3
- (7) 山本衣純、宮崎ひろ志、大久保綾、児玉昌子：「種々の和瓦の性能評価と居住環境への効果に関する研究」、空気調和・衛生工学会近畿支部、平成23年度(第41回)近畿支部学術研究発表会論文集、9-12(2012)、2012年3月13日、大阪大学中之島センター
- (8) H. Kinoshita and H. Miyazaki: A Study on the Thermal Performance and Construction Method of the Traditional Wooden House with Roof Tiles-Learning from the Nakamura House as Cool Roof Technique in Okinawa, Japan, International Conference Climate and Construction, 24 and 25 October 2011, Karlsruhe, Germany pp231-242
- (9) 井戸康介、宮崎ひろ志、木下光：「瓦屋根下地の改良によるクールルーフ技術開発に関する研究」、2011年度日本建築学会学術梗概集(環境工学I)、667-668(2011)、2011年8月23日、早稲田大学早稲田キャンパス
- (10) 油田泰輝、宮崎ひろ志、木下光、玉井悠嗣：「瓦屋根の温度実測を基にした熱量計算による通気層の定量的評価」、空気調和・衛生工学会近畿支部、平成22年度(第40回)近畿支部学術研究発表会論文集、129-132(2011)、2011年3月17日、大阪大学中之島センター
- (11) Yuji Tamai, Hikaru Kinoshita, Hiroshi Miyazaki and Yasuki Yuda : A study on the change before-after retiling a tiled roof on historic townscape -the case of traditional house on Preservation District for historic buildings in Yame city-, pp387-392, Proceedings of the 8th ISAIA(International Symposium on Architectural Interchanges in Asia), Nov.9-12, 2010, Kitakyushu, Japan
- (12) Y. Yuda, Y. Tamai, H. Miyazaki, H. Kinoshita : Thermal effects of air layers under roof tiles-proposal for thermal improvement of traditional tile roof method, PALENC2010 1st Cool Roofs Conference, 1st October 2010 Rhodes Island, Greece , USB Flash Drive, ISBN: 978-960-6746-08-6, 1-12
- (13) H. Kinoshita, H. Miyazaki, Y. Tamai, Y. Yuda, K. Higashisaka, T. Kato, Y. Fujinami : The proposal for improving the thermal performance of the tiled roof-based on the historical changes in the traditional tiled roof in Japan, PALENC2010 1st Cool Roofs Conference, 1st October 2010

Rhodes Island, Greece , USB FlashDrive, ISBN: 978-960-6746-08-6, 1-12

- (14) 木下光、藤浪友梨、玉井悠嗣：「いぶし瓦における製造工程の変容 瓦産業の研究その1」、2010年度日本建築学会学術梗概集(都市計画)、265-266(2010)、2010年9月11日、富山大学五福キャンパス
- (15) 玉井悠嗣、藤浪友梨、木下光：「いぶし瓦における JIS 規格の変容 瓦産業の研究その2」、2010年度日本建築学会学術梗概集(都市計画)、267-268(2010)、2010年9月11日、富山大学五福キャンパス
- (16) 藤浪友梨、木下光、玉井悠嗣：「瓦産業の変容から見た淡路島津井地区の地域構造 瓦産業の研究その3」、2010年度日本建築学会学術梗概集(都市計画)、269-270(2010)、2010年9月11日、富山大学五福キャンパス
- (17) 油田泰輝、水沼真佳、宮崎ひろ志、木下光、玉井悠嗣：「瓦屋根の断熱性能に関する研究：試験体を用いた温度実測」、2010年度日本建築学会学術梗概集(環境工学I)、481-482(2010)、2010年9月11日、富山大学五福キャンパス
- (18) 水沼真佳、油田泰輝、宮崎ひろ志：「瓦屋根の断熱性に関する実験的研究 縮尺モデルを用いた温度実測」、空気調和・衛生工学会近畿支部、平成21年度(第39回)近畿支部学術研究発表会論文集、5-8(2010)、2010年3月17日、大阪大学中之島センター

[図書] (計1件)

- (1) 木下光、宮崎ひろ志、東坂憲一、青野謙哉、遊文舎、「中村家住宅のひみつ〜琉球赤瓦の屋根に学ぶ」、2013、96頁、ISBN978-4-946421-22-8 C3452

[その他]

ホームページ等

<http://www.arch.kansai-u.ac.jp/urban/TO P.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木下 光 (KINOSHITA HIKARU)

関西大学・環境都市工学部・准教授

研究者番号：90288796

(2) 研究分担者

宮崎 ひろ志 (MIYAZAKI HIROSHI)

関西大学・環境都市工学部・専任講師

研究者番号：50254462