

「環境低負荷型の社会システム」

平成9年度採択研究代表者

松藤 泰典

(九州大学大学院人間環境学研究科 教授)

「セラピューティック煉瓦造住宅の住環境効果」

1. 研究実施の概要

煉瓦造住宅で構成される町並み景観は、癒しと穏やかな親和性に富んだセラピューティックな効果を有すると言われている。高耐久で LCA 評価の高い煉瓦造住宅に乾式組積工法を採用して、我が国の気候風土に適した省エネ型の室内環境、耐震性及びリサイクル性に優れた煉瓦造住宅の開発を目標に、平成 10 年度はオーストラリア在来構法による煉瓦造住宅実験棟を熊本県玉名郡菊水町に建設した。この実験棟建設及び種々の基礎実験を通じて、各研究グループ（構法・材料・施工G、室内環境G、動的解析G）の研究課題を着実に研究成果として結実させた。

平成 11 年度の構法・材料・施工Gと室内環境Gの研究計画を予定通り進める見通しを得ると共に、平成 12 年度に建設予定のDUP乾式工法による煉瓦造住宅実験棟との比較データ取得と解析により、高品質・高耐震性の煉瓦造住宅を安価に供給できるシステム、低いランニングコスト及び解体時の廃材削減を実現して、低環境負荷型の住宅システム構築を目指す。

2. 研究実施内容

オーストラリア在来構法による煉瓦造住宅実験棟（図1参照）を建設すると共に、以下に示す各研究課題に応じた種々の基礎データを取得した。



図 1 熊本県玉名郡菊水町に建設した煉瓦造住宅実験棟

(1) 分散型アンボンドプレストレス基礎理論の確立

- ・実大規模 (W2,640mm × H2,580mm × D110mm) の DUP 煉瓦壁 (二次元組積体) について、壁体内部及び端部におけるプレストレス分布を解析し、平成 9 年度に検討し選択した導入プレストレスの測定方法を用いて、同解析の検証実験を行った。実験の結果、壁体内部の場合、組積する層とプレストレスを測定する層が近い場合は、実験値の平均は二項分布を適用した解析値に近いことが分かった。組積層とプレストレス測定層が離れるにつれて、実験値の平均は解析値よりピークが高く、裾野が狭くなる傾向が見られた。また、壁体端部を組積した場合のプレストレス分布についても、壁体内部におけるプレストレス分布の解析値を元にした解析方法によって把握できることが分かった。プレストレスの累加については、二次元的な場合も同一層内の総和をとることにより DUP 理論が成立することを確認した。

(2) DUP 乾式工法による煉瓦造部材の耐力実験

- ・DUP 乾式煉瓦造住宅の構造設計を行うにあたって基礎となる壁体のせん断設計式について定式化を行い、使用ボルトの径と導入プレストレス量の異なる DUP 煉瓦壁試験体について面内曲げせん断載荷実験を行って、同設計式を検証した。本工法による煉瓦造壁体の面内せん断に関する設計式は、壁式鉄筋コンクリート造計算基準における耐力壁の短期設計用せん断力に関する検討式を基に、塑性変

形（組積層間の滑り）の発生に影響を及ぼす導入プレストレス量を係数とする式とした。実験の結果、導入プレストレス量として最上層のボルト張力の総和を適用することにより、同設計式を用いる設計方法の妥当性が確認できた。

- ・支持条件の異なる DUP 煉瓦壁試験体について面外載荷実験を行い、その面外異方性挙動について調べた。実験の結果、壁体の面外剛性はプレストレスの影響で低応力時に高い値を示した。荷重を増加し剛性が低下した後に除荷した場合も、変形は載荷時と同様な履歴曲線を描いて元に戻り、残留変形はほとんどなかった。DUP 壁体の面外載荷に対する靱性と耐力は、湿式煉瓦造壁と比較して著しく高いことが分かった。また、面外壁中央の控え壁位置に対する変形（水平たわみ量）は、水平補強要素であるプレートの強軸曲げ剛性で解析的に求めることが出来ることを確認できた。

（３）DUPを用いた乾式煉瓦造住宅の構造設計

- ・湿式煉瓦造住宅実験棟の建設工程において構造設計に関するデータを収集し、DUP 乾式煉瓦造住宅実験棟の基本設計に向けての、平面・立面・断面の計画を行った。DUP 乾式煉瓦造住宅実験棟は、DUP 煉瓦壁を構造体とする方向を確認した。また、小屋裏の換気改善のために屋根勾配を増加させる。熱エネルギー対策として、パッシブクーリング（or ヒーティング）手法を導入する方針を確定した。

（４）乾式工法用金物及び工具の開発

- ・鉛直及び水平補強用金物の試作品を作成し、その施工性を腐食測定用暴露試験体で検討した。その結果、水平補強プレートの形状、鉛直補強用の寸切りボルトの長さ、ナットの締め付け方法等について新たな知見を得た。基礎施工の精度確保として、C型チャンネル及びハーフンチャンネルの適用可能性につて検討した。
- ・工具に関して、寸切ボルト・ナット双方を着脱することができる特殊ビットを考案し、特許申請の準備作業を行った。

（５）乾式工法用金物の防食システム開発

- ・煉瓦組積用金物（ボルト、プレート等）の腐食状況について、平成 8 年 12 月に建設したモデル実験棟を 2 年経過した平成 10 年 11 月に解体して腐食状況を点検確認した。
- ・電気防食システムを検証するために、暴露試験体（電気防食有無、目地有無を組み合わせ、4 回解体可能な 8 面）を作製し、非破壊状態での腐食状況の測定評価手法について検討した。

（６）ハウジングコンクリート及び目地材の開発

①ハウジングコンクリート

- ・在来工法の煉瓦造住宅実験棟建設時と暴露試験体作製時に、コンクリート打設試

験におけるハウジングコンクリートの施工で、セルフレベリング性があり、ノンブリーディングで低収縮のハウジングコンクリートをほぼ開発できた。

- ・土間コンクリートをべた基礎で施工したところ、資材置き場としての利用、作業場所の平坦性の確保、雨などによるぬかるみの回避など、現場施工改善の利点が認められた。

②目地材の開発

- ・ポリマーセメント系シール材の基本配合を設計した。従来品（外装タイル用）より広範囲な粒径分布とするために 3 種類の珪砂を配合した。ポリマーは作業性と接着性からアクリル系ポリマーディスパージョンを選定した。その配合量は最大曲げ強度を示す 9%とした。
- ・暴露試験体作製時に開発目地材の施工性を評価すると共に基本物性を確認した。

(7) 石炭灰を用いたセラピューティック煉瓦及び構造瓦の開発

- ・石炭灰種類と粒度、粘土種類及び焼成条件（温度：1200～1300℃、時間：1～4h）を変えて、小片煉瓦（100×50×6～8mm）を試作し、密度、強度、吸水率、熱伝導率等の性能を評価した。
- ・屋根を DUP 乾式組積工法を適用した構造体として構成し、自重や風荷重、地震力などの荷重に抵抗できる強度、並びに煉瓦壁と同様の耐久性、耐火性を有する構造瓦の開発を目的として研究を行った。防水性能、製造・施工のし易さ、精度などを考慮して形状、材料を検討し、固定荷重および風荷重に対する設計を行った。

(8) 煉瓦造住宅の企画・設計及び資材調達のコスト解析

- ・在来工法の煉瓦造住宅実験棟の生産プロセスにおいて企画・設計及び資材調達プロセスを対象にして、煉瓦造住宅着工前段階のデータを記録した。資材調達過程において実験棟に採用した調達手法がコストパフォーマンス面で優れていたことを明らかにした。DUP 乾式工法の煉瓦造住宅実験棟建設にも同一手法を適用することにした。

(9) 煉瓦造住宅建設コスト解析

- ・煉瓦造住宅実験棟の施工プロセスを全て記録し、歩掛りと工期の関係を検討した。煉瓦造住宅と同じ平面プランで工法を各種に変えた場合の見積を試算し、在来の住宅工法（2×4 木造住宅等）の建設コストと対比した。研究対象の煉瓦造住宅は在来住宅に対してコストパフォーマンス面でも対等に競争できる目処が得られた。DUP 乾式工法の煉瓦造住宅実験棟建設にも同一手法を適用することにした。

(10) 環境低負荷型生活排水浄化システム

- ・居住者の生活に伴って生じる環境負荷の低減を目的として、酵素を用いた生活排水浄化システムを導入し、浄化処理した排水の定期的なサンプリングを行ってそ

の水質調査を行い、浄化能力の評価を行う計画で、煉瓦造住宅実験棟に市販の小型合併浄化槽（嫌気濾床接触ばっ気方式、6人用）を設置したが、居住者研究が実現しなかったため、浄化処理排水の水質調査は行わなかった。但し、実験棟利用者の飲用可否を判断するために利用水の水質調査を行った。

- ・居住者を設ける研究計画が実現できないことが明らかになったので、活性酵素を利用する生活排水浄化システムを一般住宅に導入する場合の試設計を行った。このシステムは牛豚舎の排水処理で有効性が検証されつつあり、一般住宅用浄化槽にも適用できる。

(11) 煉瓦造住宅の設計図書類解析

- ・オーストラリアの煉瓦造住宅建設に関する文献を収集し、煉瓦造住宅建設職務に関する資料を翻訳し、その要約を作成した。
- ・特に重要となる煉瓦組積職務の詳細及び評価の概要に関する書籍2冊と安全管理マニュアルの一部を翻訳して、煉瓦組積に関わる用語集を作成した。

(12) 煉瓦造住宅建設者の育成システム研究

- ・Holmesglen Institute of TAFEとコンタクトして、住宅建設者の育成システムに関する資料を収集し、教育マニュアルを翻訳した。オーストラリアの職業教育・訓練を理解するのに必要となる略語集を作成した。
- ・オーストラリアで職業教育・訓練のシステム改革が煉瓦造住宅建設者の育成システムに与える影響と、改定内容に関する資料を収集、整理し、一部を要約した。

(13) 煉瓦造住宅の心理的効果に関するアンケート調査

- ・在豪日本人を対象に煉瓦造住宅に関する意識調査を実施した。ビクトリア日本クラブ（JCV）の会員80世帯にアンケートを依頼し、42人から回答を得た。
- ・日本の風土に適合する耐震性煉瓦造住宅を我が国に普及することを目標とする本研究の方向性と在豪日本人の意識が良く一致するなど、今後の研究展開に活用できる有益な情報が得られた。

(14) 煉瓦造住宅の室内環境および断熱・防露システム

- ・通気構法の煉瓦壁を持つオーストラリア型キットハウス（ブリックベニア構法）において、我が国の夏季蒸暑気候下での室内熱環境上の問題点を把握するため、煉瓦造住宅実験棟で夏季および冬季の実測調査を行った。基本的熱性能は、熱損失係数： $2.91\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ 、相当隙間面積： $2.7\text{cm}^2/\text{m}^2$ であった。夏季実測調査では、室温の高温安定、小屋裏温度の上昇、通風量不足（特に夜間）の現象が認められ、期待した成果が得られなかった。日射遮蔽徹底、小屋裏換気促進、冷氣導入の工夫が必要である。冬季実測調査では、室温は安定（ $16\sim 22^\circ\text{C}$ ）し、壁体内部の結露発生もなく、期待通りの結果となった。
- ・数値シミュレーションにより夏季および冬季において壁体材料・構成の違いや土

間床の有無などが室内熱環境に及ぼす影響について検討した。さらに、煉瓦造住宅の快適性と省エネルギー性を両立させるため、キットハウスに空気循環式パッシブシステムを組み込み、室内熱環境と冷暖房負荷を予測した。

(15) 煉瓦造住宅のライフサイクルアセスメント

- ・煉瓦造住宅のライフサイクルアセスメントの基本的な手順について検討し、資材製造段階（輸送を含む）・現場施工段階・更新段階・解体廃棄段階のエネルギー消費量と CO₂ 排出量の原単位を整理した。
- ・この原単位に資材使用量あるいは施工面積を乗じて、運用以外のエネルギー消費量と CO₂ 排出量を求めた。さらに、シミュレーションとアンケート調査により住宅の運用段階におけるエネルギー消費量と CO₂ 排出量を推定し、ライフサイクルエネルギー（LCE）とライフサイクル CO₂ 排出量（LCCO₂）を算出した。
- ・得られた LCE と LCCO₂ を木造住宅、鉄筋コンクリート（RC）造住宅及び鉄骨造住宅と比較した。

(16) 煉瓦造住宅の環境医学的／生理的効果

- ・煉瓦造住宅実験棟室内の化学成分分析と濃度、ホルムアルデヒド、TVOC（全揮発性有機化合物）濃度を経時的に測定した。
- ・純粹分離した *Fusarium* による過敏性肺炎の起因性に関する実験的検討を行い、健康関連因子の一つとして真菌類を考慮すべきであることを明らかにした。
- ・健康な住居チェックリスト試案作成。
- ・住居及び居住環境の安全と健康に対する危険予知に関する検索システムを構築するために、資料を収集した。

(17) セラピューティック煉瓦造住宅の景観表現

- ・静止画 CG の制作；煉瓦造住宅実験棟外観は、3次元 CAD&CG ソフトウェア Micro GDS でパース図の制作とレンダリングを行い、これを基に3次元レンダリングソフトウェア Piranesi でノンフォトリアリスティックレンダリングして制作した。また、3次元 CAD&CG ソフトウェア Alias により内観4ヶ所の CG を制作した。

(18) 煉瓦造住宅耐風屋根構造解析及び設計

- ・構造瓦用必要強度のための風荷重値に関する資料を作成した。
- ・風向に対して鉛直な成分の風荷重値に関し、住宅模型で乱れのない流れ場（一様流）での風洞実験を行った。

(19) 動的構造実験・解析

- ・DUP モデル実験棟で、実験棟及び壁体架構の常時微動測定を行い、基本特性を把握した。壁体架構は汎用構造解析プログラム MSC/NASTRAN を用いて検証し、実測データと解析結果が良く対応していることを確認した。

- ・小屋組と壁体架構の動的解析は、住宅基本モデルを作成して、架構（骨組、壁、骨組+壁）、屋根形状（寄棟、切妻）、寸法（部材断面寸法、厚さ）をパラメータとする固有振動解析を行い、壁面剛性が壁面の変形パターンのみならず、屋根全体の変形状況に強く影響することを確認した。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

○線形モデルとしてのコンストラクションマネジメント

松藤泰典、小山智幸

九州大学工学集報第 72 巻第 2 号, 1998 年 12 月 10 日

○工学教育におけるプレステージとしての職業教育システム序論

松藤泰典、廣岡彩子

九州大学工学集報第 72 巻第 2 号, 1998 年 12 月 10 日

他 2 件