

「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院 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

オーストラリアで完成度の高い中空壁を有する煉瓦造住宅をベースモデルとして、平成10年度に湿式在来構法による煉瓦造住宅(第1期実験棟)を建設し、建設コスト、室内熱環境データ解析から煉瓦造住宅のコストパフォーマンス、住環境効果が優れていることを実証した。

12年度はDUP乾式組積工法に関する構造耐力等の要素技術開発を集成した乾式煉瓦造住宅(第2期実験棟)を建設中である(平成13年6月末竣工)。第2期実験棟の建設を通じて、乾式煉瓦組積工法を習得し、耐震煉瓦造住宅建設の目処を得た。今後は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を確保した高耐久でLCA評価の高い環境低負荷型煉瓦造住宅の開発実現を目指す。

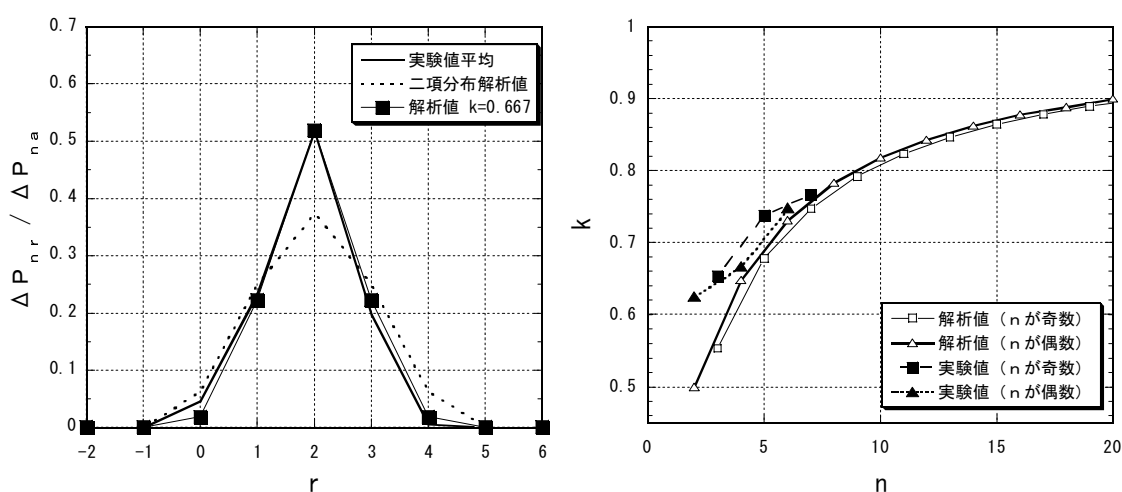


乾式煉瓦造住宅(第2期実験棟)南側からの全景

2. 研究実施内容

(1) 分散型アンボンドプレストレス基礎理論の確立

- ・ 二項分布の一般解を利用したDUP分布解析を行い、より実測値に近いプレストレスの二次元分布が同解析によって得られることを確認した(図1)。
- ・ 第2期実験棟建設前の期間におけるDUPボルトの応力緩和性状を計測し、実験棟建設時に導入すべきプレストレス量決定のためのデータを得た。
- ・ 第2期実験棟壁体内にひずみゲージを貼り付けたボルトを挿入し、建設時のプレストレスの累加及び分布性状を調べるとともに、壁体組積完了後のDUPボルトひずみの経年変化計測を開始した。



第5層組積時の第1層プレストレス分布

組積段数と係数k値の関係

図1 二項分布の一般解を利用したDUP分布解析結果

(2) DUP乾式工法による煉瓦造部材の耐力実験

- ・ 11年度に継続して軸力載荷壁体の水平載荷実験・解析を行い、DUP煉瓦壁の鉛直軸方向力に対する挙動、並びに軸力を載荷した場合の水平耐力及び剛性の変化について明らかにした。
- ・ DUP煉瓦壁を構成する水平補強プレートの効果について検討した。まず水平補強プレートを挿入しない壁体の水平載荷実験を行い、その変形挙動を調べた。
- ・ 11年度に実施したDUP乾式煉瓦造住宅の構造設計を通じて、基礎的な構造設計ガイドラインの体系化整備に要する検討課題を抽出し、そのうち「振動外乱によるプレストレス力の緩和」について動的実験を行った。DUP煉瓦壁への入力加速度の増加に伴う補強筋(ボルト)ひずみの低下を調べたところ、加振振幅を1000cm/s²まで上げててもレラクゼーションは20%程度であることが分かった。
- ・ 「面外振動を防止する直交壁の効果」に関する動的実験では、控え壁により加

速度応答が抑えられることを確認した。試験体頂部(底部より2,660mmの高さ)において、控え壁のある箇所は控え壁のない箇所に比べて半分程度の応答変位であった。

(3) DUPを用いた乾式煉瓦造住宅の構造設計

- ・ 「振動外乱によるプレストレス力の緩和」並びに「面外振動を防止する直交壁の効果」について動的実験を行い、基礎的な構造設計ガイドラインの体系化整備に着手した。組立時の補強筋ひずみ、加振時の応答値、面外方向固有振動数の変化及び加振後の補強筋ひずみについて知見を得た。
- ・ 乾式煉瓦造住宅の耐火性向上の観点から、第2期実験棟の屋根を木造トラスからスチールトラスに変更するための試設計を行い、図面を作成した。

(4) 乾式工法用金物及び工具の開発

- ・ 11年度までに開発した乾式工法用金物及び工具を第2期実験棟建設工事に適用し、その使用性を検証した。金物については、第2期実験棟がフルブリックであるためプレートの種類が多くなり、その整理と割付規則の体系化の必要性を確認した。工具については、プレストレス導入精度の高い非インパクト型の電動レンチを使用した。各壁体の上端2層の組積において電動レンチの締付トルク不足が発生した。今後は打撃回数の制御が可能なインパクト型電動レンチの適用可能性を検討する。

(5) 乾式工法用金物の防食システム開発

- ・ 暴露試験体の壁体で2年経過後を解体点検し、その時に採取したプレートの亜鉛メッキ層を分析し、耐食性に与える防錆処理の効果、亜鉛メッキ鋼板の耐久性を評価した。その結果、顕著な腐食の進行は認められないが、電気防食はそれ程効果がないこと、目地材は防食対策上好ましくないこと、壁体下部5段目までを集中的に防食対策するのが望ましいことなどを明らかにした。
- ・ プレートのメッキ材質、防食剤塗布有無、煉瓦挟み込み有無、浸漬液を種々組み合わせての浸漬乾燥繰り返し実験に着手した。

(6) ハウジングコンクリートの開発

- ・ セルフリベリング材を使用して施工性に優れる基礎工法を検討した。基礎工法は第2期実験棟工事によって評価した。施工は、あらかじめ型枠に墨入れした高さまで流し込み工法で実施した。工事に要した人数は、グラウト練り混ぜに2人、流し込みに2人の計4人で、作業は内側の施工に約1時間、外壁の施工に約1時間の合計2時間で比較的容易に終了した。本工法は、誰でもが手軽に施工できる方法であることが判明した。ただし、型枠からセルフリベリング材が漏れた場合、再注入ができないため、レベルの確保が困難となる。

- (7) 石炭灰を用いたセラピューティック煉瓦の開発
- ・ 11年度と同様に赤煉瓦用粘土に石炭灰の混入率を変化させて配合して、押出成形後焼成した焼結体について、各種物性を測定した。
 - ・ リサイクル性とカラーバリエーションを有するDUP工法用焼成煉瓦を開発するために、石炭灰にシリカ系未利用資源を配合した焼結体の各種物性を測定し、比較検討した。
 - ・ 実寸大の焼成煉瓦を試作して、各種性能を評価した。
 - ・ 石炭灰を用いたセラピューティック煉瓦が工業化されるまでの間、研究成果を民間に還元するためには、DUP煉瓦は製造コストと品質面からオーストラリアでの製造煉瓦を輸入して、高精度自動研削装置で高精度煉瓦に加工せざるを得なかったものの、量産製造できることを検証した。
- (8) 煉瓦造住宅の企画・設計及び資材調達のコスト解析
- ・ 資材調達システムの現地調達機能、アセンブル機能をビルダーが行うCPSB (Cyber Procurement System by Builder) のスケルトンを具体化し、現状に対応できるファイリング型のシステムを設計して試験運用を開始した。
 - ・ コストシミュレーションによりCPSBを運用した場合の資材調達コストを算定した結果、在来ブローカーシステムより約31%のコスト削減効果が確認され、コスト競争力を有する資材調達システムが確立できた。
- (9) 煉瓦造住宅建設コスト解析
- ・ DUP乾式工法による第2期実験棟における煉瓦組積工程のデータ収集を行った結果、実施工においても湿式工法より高い煉瓦組積歩掛りを有し、高い施工精度を確保できることを確認した(表1)。
 - ・ DUP高精度煉瓦の研削管理目標値を設定するために、コンピュータ上での煉瓦組積シミュレーションを行い、14段組積での研削煉瓦高さ標準偏差を0.118mmに設定した。
 - ・ DUP乾式工法によって第1期実験棟を建設した場合のコストシミュレーションを行った結果、国産資材を使用して建設した湿式煉瓦造住宅に対して約14%コストダウンとなり、DUP乾式工法においてもコスト競争力を有する目処を得た(図2)。

表1 各工法の煉瓦組積歩掛かり

	在来湿式工法	DUP乾式工法
オーストラリア人煉瓦工	4.1	—
日本人煉瓦工	2.0	6.3
日本人普通作業員	—	5.2

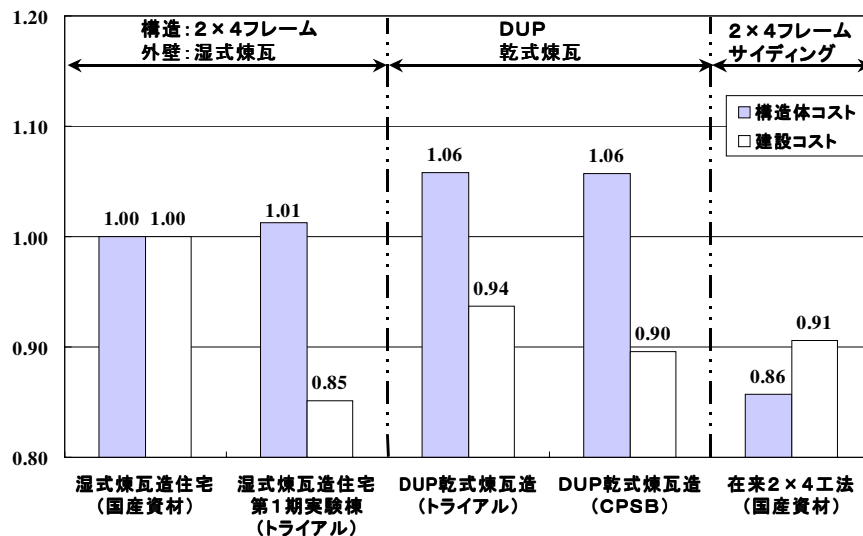


図2 乾式工法と他工法の建設コスト比較

(10) 煉瓦造住宅の設計図書類解析

- ・ 乾式工法の煉瓦造住宅（第2期実験棟）建設工事が遅れ、煉瓦組積・屋根架けまでしか工事が進まなかったため、基礎から煉瓦組積までのマニュアル化を進めた。

(11) 煉瓦造住宅保全技術及びコスト解析

- ・ リサイクル、リユースの上位概念であるリデュース性を循環型煉瓦造住宅に適用しエネルギー負荷を低減するグリーンサイクルの提案を行った。
- ・ 循環型煉瓦造住宅のリデュース性を基礎工法の違いによる型枠の縮減量で評価を行った結果、循環型煉瓦造住宅が採用するベタ基礎工法は住宅建築で一般的な布基礎工法に比べて約40%縮減できることが確認できた。

(12) 煉瓦造住宅の室内環境および断熱・防露システム

- ・ 煉瓦造住宅の室内熱環境を改善するため、夏季は地中冷熱(クールチューブによる外気の地中冷却効果)を、冬季は太陽熱(集熱、南面のトロンプウォール、周壁煉瓦からの蓄放熱)を利用する空気循環式パッシブソーラーシステムを提案し、第1期実験棟で11年度に引き続き計測を行った。測定にはシステムのそれぞれの基本性能を把握するために、熱流計や赤外線放射カメラ等を用いた。冬季においては、集熱パネル使用時の室内空気の温度分布は一様であった。集熱パネルから送られた空気により日中北壁が暖められ、夜間北壁から室内への放熱が見られた。トロンプウォール使用時には、一日を通してトロンプウォールから室内への放熱が見られた。また、集熱パネル、トロンプウォール併用時の室内空気温度は日中最高で約26℃であり、朝方には最低で約15℃であるが、外気温度と比べると約10K高い室内空気温度となった。夏季において、クール

チューブは流量 $130\text{m}^3/\text{h}$ で使用するよりも、流量 $260\text{m}^3/\text{h}$ で使ったほうが冷却能力は大きく、クールチューブを19時～7時に流量 $260\text{m}^3/\text{h}$ で使った場合の冷却熱量の日積算値は $3.3\sim 3.6\text{kWh}/\text{日}$ であった。さらに室内空気温度はクールチューブを使用することで徐々に低下した。

- ・ 太陽熱や地中冷熱などの自然エネルギーと煉瓦の熱的特性および空気循環を利用した空気循環式パッシブシステム煉瓦造住宅(第2期実験棟)は通気層と循環空気層を挟む煉瓦二重構造(フルブリック)であり、外壁断熱材には真空断熱材(熱伝導率: $0.008\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 、厚さ: 30mm)を用いて断熱層および循環空気層を確保した。
- ・ 空気循環式パッシブシステムを採用した第2期実験棟を対象に数値シミュレーションを行った。冬季システムの使用により、各居室とも室内空気温度は日中約 21°C まで上昇し、期間積算暖房負荷は次世代省エネルギー基準(熱損失係数第1地域 $2.7\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)のクリヤの木造住宅と比較して 9.7GJ (約38%)の減少となった。また、夏季は日中の冷房使用は不可欠となるが、冷房とクールチューブ併用時の期間積算冷房負荷は同木造住宅と比較して 5.1GJ (約24%)の減少となった。

(13) 煉瓦造住宅のライフサイクルアセスメント

- ・ 煉瓦造住宅を含む戸建住宅を対象としたLCA(LCEおよび LCCO_2)算出用ソフトウェアを完成した。本ソフトウェアは煉瓦造住宅、木造軸組、木造 2×4 、湿式煉瓦造、壁式RC造のLCA算定が可能であり、住宅のライフサイクルを資材製造、施工、運用、補修交換および解体破棄の5段階に区分して、運用段階は冷暖房、給湯、照明、機器、調理に分類して算定出来るようになっている。さらに室温変動・熱負荷計算Triple Pの「建物データ」と「壁体データ」に「行為者、照明、機器データベース」と「資材量データベース」を組み合わせ、家族構成、住まい方の設定(照明、冷暖房、調理、給湯についての省エネルギー意識を反映)、建替年数からLCEおよび LCCO_2 を計算することが可能である。
- ・ 第2期実験棟を対象に、夫婦+子供2人(中学生と小学生)の家族構成を想定した工法別のLCE、 LCCO_2 から、DUP工法は他工法と比較してLCEおよび LCCO_2 ともに最少の結果となった。但しパッシブシステムの冷暖房負荷削減効果を含めていない。

(14) 煉瓦造住宅の心理的効果

- ・ 煉瓦造住宅ならびに煉瓦壁に対する感性評価をいやしの効果を念頭に、他の住宅あるいは素材と比較しながら実験心理学的手法により検討し、住宅評価の際の着眼点、住宅ならびに外壁の感性評価とその印象規定因、感性情報の伝達におけるメディア特性等の観点から考察を行った。住宅の印象に関しては、多

様な住宅画像に対して類似性判断と感性評価を行い、6つの建物のタイプ、2つの印象構造(心理的評価特性、物理的外観特性) 3つの着眼点(和風 - 洋風、純粹性、外壁の色彩)を抽出した。煉瓦壁は着眼点の一つに挙げること、印象評価は物理特性に依存しつつも評価者の枠組に取り込まれ判断されることが示された。

- ・ 煉瓦壁の感性評価研究では、煉瓦のもつ色や質感が評価を高め、特に凹凸感の重要性が示唆された。しかし、後者の印象に関してはメディアを介すと十分には伝わらないことも指摘された。
- ・ 煉瓦模様に関する印象評価に関しては、アクセント煉瓦の配置のランダム度がかかなり正確に直感的に把握されること、煉瓦壁パターンでは単純な白黒の煉瓦積みパターンと異なり、規則性から少し逸脱したものが好まれる傾向が示された。

3 . 主な研究成果の発表 (論文発表)

- 石炭灰を用いたセラピューティック煉瓦の開発 , 木村邦夫 , 山田則行 , 恒松絹江 , VSI研究会会報Vol.15 , No.3 , 2000年7月(通巻56号)
- 湿式煉瓦造住宅の生産性分析 , 高巢幸二 , 松藤泰典 , 九州大学工学集報第73巻第6号 , 2000年11月
- Proposal of a Low Energy House with Air-Circulation in Brick Walls, Mikiko Nakamura, Tetsuo Hayashi, Toshiyuki Watanabe, Shuho Takase and Mayuko Nagata, Annual Conference of the Australia & New Zealand Architectural Science Association, Dec. 2000
- 新築住宅の室内ホルムアルデヒドおよび揮発性有機化合物濃度の経時変化 , 原邦夫(労働科学研究所) , 伊藤昭好(労働科学研究所) , 原田幸一(熊本大学) , 宮北隆志(熊本大学) , 魏長年(熊本大学) , 上田厚(熊本大学) , 室内環境学会誌 , Vol.3 , No.1 , 2000年
- 住宅における生産システムの構築 - ビルダーをエージェントとした資材調達システム - , 高巢幸二 , 松藤泰典 , 小山智幸 , 九州大学工学集報第74巻第1号 , 2001年1月