

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： スループットを最大化する住空間システム

2. 研究代表者： 松藤 泰典（北九州大学 国際環境工学部 教授）

### 3. 研究内容及び成果：

本研究は前 CREST「環境低負荷」領域で開発した分散型アンボンドプレストレス理論を用いた乾式工法(SRB-DUP:Steel Reinforced Brick Structure Based on Distributed Un-bond Pre-stress Theory)による煉瓦造住宅を開発し、スループット(生活の豊かさと環境負荷の差)を最大化する住空間システムを構築することを目的とする。SORST では具体的に以下5項目の目標を立て、平成14年11月より平成17年10月まで研究を行った。研究開発は主として松藤グループが所属していた九大院人間環境と北九大(高巢助教授)で行われ、室内熱循環システムの研究については九大院人間環境(渡辺教授)、LCA 評価(Life Cycle Assessment)に関しては九大院工(林教授)がそれぞれ分担した。

目標 1.DUP 石炭灰煉瓦製造 2.SRB-DUP 住宅建設の要素技術開発

3.フォローアップシステムの構築 4.スループット評価 5.室内熱循環システム評価

スループット評価や室内環境システム評価に関しては、レンガハウス(実験棟)が建たないとデータが採れない。そこで第3期棟の建設を急ぐとともに、上記2課題については CREST 時に建設した第1期・第2期棟も活用した。

以下各目標ごとに成果の要点をまとめる。

#### 3-1 DUP 石炭灰レンガ製造

SRB-DUP 工法の固体要素であるレンガに関して、石炭灰ブレンドレンガを成形・研削する装置を用いて約2万個を試作し、第3期実験棟に使用した。この石炭灰ブレンドレンガは、原料に石炭灰等を50%以上使用しているのでエコマークを取得出来るレンガである。製作された DUP 石炭灰研削レンガの密度は $1.96\sim 2.05\text{g/cm}^3$ 、吸水率は $2.8\sim 5.9\text{wt}\%$ 、圧縮強度は $40\sim 120\text{N/mm}^2$ 、であり、石炭灰が30%以上混入しているものの通常レンガと同品質であった。また、色調は、ベージュ系ないし赤みベージュ系であった。このレンガを用いて第3期棟の建設、施工確認を行った。組積みには問題なかったが乾式研削法のため生産性が上がらない。そこで、石炭灰スラリーモルタル先付け高精度レンガ(通称:巻きレンガ)を開発した。施工実験により壁体組積精度を検証したところ、この巻きレンガは生産性も高く、寸法安定性が抜群であり、乾式組積みに有効であることがわかった。今後 SRB-DUP 用レンガとして巻きレンガを採用することにした。

#### 3-2 SRB-DUP レンガ造住宅の建設

福岡市アイランドシティに乾式工法によるレンガ造住宅の実証実験として第3期実験棟を建設することと、これに先立ち CREST 時に建造した乾式工法による第2期棟(熊本県菊水町)をもとに、SRB-DUP 工法という新しい建築物の耐震性試験を実施した。実験データの時刻歴応答解析より

本建築物が十分な耐震構造を持つことが評価され、平成16年5月に国土交通大臣の認定が得られた。この認定をもとに熊本県玉名土木事務所に建築確認申請を行い、平成16年12月に建築確認証を取得した。世界初の SRB-DUP 構造建築物が規定の厳しい日本で実現した。第3期棟についても、新工法の構造確認として平成17年3月に日本建築総合試験所から性能評価、平成17年6月に国土交通大臣の認定(国住指第 180 号)が得られ、福岡市に建築確認申請を行い、確認済証を取得した。意図しない出来事であったが、平成17年3月20日に福岡県西方沖で地震が発生した。震度6弱(福岡県東区)の揺れを受けたにも関わらず、第3期実験棟の被害はほとんど見られず、SRB-DUP 構造の耐震性の高さが実証された。

今回の第3期実験棟の建築を通して施工方法の検証、及び新たに煉瓦割付施工図 CAD アプリケーションを利用して割付図の自動作成法を開発した。

### 3-3 フォローアップシステムの構築

この乾式工法による煉瓦造住宅を実用化するためのフォローアップシステムとして日本ハイブリック建築協会を組織し、事業化への準備段階まで展開させた。

当初の目的は第3期棟建設に関する施工指導であったが、今後は DUP 乾式工法による研究成果を具体化検証することを通じて産学連携を図りながら、豊かな地域社会の実現を目標にしている。

### 3-4 スループット評価

「生活水準を高めながらエネルギー消費の環境負荷を減らせるか?」という命題が21世紀に生きる人々に与えられている。建築の世界でも同様であり、今後は循環建築方程式を解く必要がある。そこで環境負荷低減性と経済性を同時に評価するスループット方程式を提案して、循環型経済社会における建築の評価手法の構築を目指した。

今スループット方程式 T として下記の概念式を与えた。

$$\Delta Ti = \Delta Wi - \Delta Di$$

ここに  $\Delta Ti$ :単体の豊かさの要素(i)の価値(Throughput Unit)、 $\Delta Wi$ :単体の豊かさの要素(i)の水準(Welfare Unit)、 $\Delta Di$ :単体の豊かさの要素(i)を実現するための負荷(Damage Unit)

基礎方程式  $\Delta T$  を基準価値で表し、各算定モデルについてスループットの算定を行った結果、SRB-DUP レンガ造住宅は木造 2×4 工法住宅、湿式レンガ造住宅の2つの住宅に比べ高い値を示した。これは耐用年数が高いことのほか、SRB-DUP レンガ造住宅は構造体のリユース・リサイクルを可能としているので、他工法に比べて資産価値の低下が小さいことによる。

### 3-5 室内熱循環システム

CREST 時に、レンガ住宅が外気温の変動によらず室温がフラットになる効果を観測していたが、SORST でも第2期実験棟において、実測調査を行い、中間季においては、昼夜の外気温差が大きくなる場合にも、レンガの熱容量によって居室空気温度の変動幅は小さく、1日を通して快適な温熱環境が得られることを確認した。また、梅雨期間を含む夏季において、クールチューブ運転による冷房実測を行った結果、梅雨期間においては昼夜ともにクールチューブ運転による冷房効果が見られた。ただし、外気温の非常に高い盛夏においては、小屋裏のダクト内で循環空気が

加熱されてしまうため、クールチューブの昼間利用が有効でないことも確認された。また、一戸建住宅への家庭用燃料電池の導入効果を明らかにするため、福岡県内の戸建住宅における実測負荷データを用いて数値シミュレーションを行った。その結果、買電、給湯負荷をガスボイラーによって賄うというシステムに比較して、1次エネルギー消費量が年間約10%、CO2排出量約5%の削減効果がみられた。

#### 4. 事後評価結果

##### 4-1 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

- ・発表論文 26件
- ・その他(新聞報道) 17件
- ・口頭発表 79件
- ・特許出願 国内 6件・外国 2件

本研究はCRESTの「セラピューティック煉瓦造住宅の住環境効果」の成果を受け、SORSTの研究目標を、①DUP 乾式工法を用いた高い耐震性・耐風性・耐火性及び施工性を有する煉瓦造住宅の開発、②煉瓦造住宅のライフサイクルコスト及びライフサイクルアセスメントに絞り、平成14年11月～平成17年10月まで研究を進め、世界で初めての耐震性の高い乾式レンガ住宅の建造など、大きな成果を得た。

本プロジェクトのアウトプットであるレンガ住宅は、D-BHS (Dry masonry Brick House System) という。この住宅の構造体としてはいくつかの特徴がある。まず、工法としては、穴の開いたレンガをボルトで締めつける工法で、レンガに2～3個の穴が開いていれば世界中のほとんどのレンガに適用することが出来る。ここで使用するレンガは、巻きレンガというペーストを薄く塗った加工を施して寸法精度を高めている。

レンガ壁は、長手方向1枚の破れ目地積みとし、基本的に圧縮力をレンガが負担し、引張力をボルトが負担する仕組となっている。さらに水平目地に短尺プレートを挿入することによって、全体として地震や風荷重に強い耐震性の高い構造になる。

レンガはモルタル等の目地材で接着しない乾式工法とすることによって、解体や増改築にあたって、そのままリユース出来る型になり、時価で売ることも可能で建材の資産化を図った。

事業化に向けてのレンガ住宅D-BHSは、中空壁工法・ブリックベニアとする。構造は木軸で、内壁になる。その外側に中空層があって、積みレンガで外壁を構成する型をとる。両方の壁は完全に分離しているので、基本的に、結露の原因となる熱橋 (Heat Bridge) が生じない構造になっている。更に、レンガ外壁にガードされた内壁の木軸は、風雨に曝されず、木材が自由に呼吸出来る納まりを可能にしている。

このような特徴を持つ上に、レンガの断熱性がそのまま生かされるので、全体として循環型かつ快適空間が実現した。

本研究の成果は基本的な工法及び素材については特許でガードされ、第3期棟の施工でノウ

ハウも蓄積された。福岡市の緑化フェアへの出展をはじめ、数多くの新聞報道で全国的に注目されるようになっていく。

#### 4-2 成果の戦略目標・科学技術への貢献

本研究は21世紀に必須とされる「環境低負荷型で持続可能な」サステナブル社会を実現するため、建築の立場から新しい建築材料及び新工法を提案している。

このようなテーマは通常の実験室を越えて具体的な空間を設計する必要があり、研究の性格づけはおのずとシステム研究となる。この点、サステナブルに関して言えば、建築物の寿命よりも短い材料や設備機器の取り替えを容易にするとともに、全体を合理的で単純なシステムとして造ることによって、環境に柔軟に対応することが出来る循環型建築を実現した。この間、フィールドワーク的な仕事が順調に推移したのは、研究代表者のリーダーシップのもと、多くの企業の協力が得られたことが大きい。ただし、本研究は日本の住宅産業の構造的な問題から、本研究が日本国内で活用されるには別途のブレークスルーが必要と思われる。

#### 4-3 その他特記事項(受賞歴など)

- (1) 平成 17 年 9 月 9 日より 11 月 20 日まで福岡市アイランドシティにて行われた第22回全国都市緑化フェアに第3期実験棟を出展。期間内来場者数 66,511 名(1日平均 930 名)で、数千枚のアンケート記載もあり、レンガ住宅への関心を集めた。
- (2) これに先立つ平成 17 年 3 月 20 日、完成した直後の第3期実験棟は福岡県西方沖地震で震度6弱(福岡県東区)の揺れを受けた。しかし、被害はほとんど見られず、SRB-DUP 構造の耐震性の高さが実証された。