

技術開発成果報告書

事業名 ・住宅等におけるエネルギーの効率的な利用に資する技術開発	課題名 靱性が高く、軽量で施工がしやすい断熱コンクリートの開発による基礎又は躯体断熱工法の検証と確立
<p>1. 技術開発のあらまし</p> <p>(1) 概要： 住宅基礎の断熱構法は基礎躯体に断熱材を取付ける工法が一般的である。工数が多いこと、基礎と上部躯体（木軸等）の取合いが難しい等、問題が生じている。また、樹脂系の断熱材は経年による劣化、繊維系の材料は吸水等により断熱性能の低下が懸念されている。また、それらの回復（断熱補修）工法も確立されていない。 本技術開発は断熱性能を有するコンクリートを開発することにより、基礎部分の断熱性の確保と耐久性や施工性の向上を目指すとともに、床下地盤の熱容量の活用を可能にするなど、住宅におけるエネルギーの効率的な利用を可能にするとともに、施工時での省力化、CO₂排出量の削減などを可能にすることを目指している。</p> <p>(2) 実施期間： 平成 22 年度～平成 23 年度</p> <p>(3) 技術開発に係った経費：（2 年間の合計） 技術開発に係った経費 6,517 千円 補助金の額 3,259 千円（100 円単位四捨五入）</p> <p>(4) 技術開発の構成員： 株式会社藤島建設（常務取締役 大嶋洋一） 昭和住宅株式会社（取締役工場長 鬼一恭士） 富士川建材工業株式会社（技術部長 小嶋秀典） 西脇智哉（国立大学法人東北大学 大学院工学研究科 准教授） 特定非営利活動法人環境住宅（運営委員会 事業顧問 中山正利） マテラス青海工業株式会社（東北事業部 事業部長 菊池純一）（平成 23 年度から） 株式会社グランドワークス（代表取締役社長 大倉憲峰）（平成 22 年度のみ） 北海道立総合研究機構（北方建築総合研究所 建築研究本部 福田聖治）（平成 22 年度のみ）</p> <p>(5) 取得した特許及び発表した論文等： 1. 平成 23(2011)年 7 月 コンクリート工学年次論文集（Vol.33、No.1）（東北大学 大学院工学研究科 博士課程 S. Kwon、准教授 西脇智哉 他） タイトル：高強度軽量モルタルの開発と繊維混入率が力学的特性に及ぼす影響に関する研究 2. 2011 年 9 月 Proceedings of the 3rd International Symposium on Advances in Concrete through Science and Engineering (Hong Kong, China) (S. Kwon, T. Nishiwaki 他) タイトル：Development of High Strength Lightweight Cement-Based Composites 3. 2012(平成 24)年 7 月 コンクリート工学年次論文集（Vol.34、No.1）（東北大学 大学院工学研究科 博士課程 S. Kwon、准教授 西脇智哉 他） タイトル：最密充填理論を用いた断熱軽量モルタルの材料設計手法に関する基礎的研究 4. 2012(平成 24)年 9 月 日本建築学会大会学術講演梗概集（東海 A-1 材料施工）（東北大学 大学院工学研究科 博士課程 権錫玟、准教授 西脇智哉 他） タイトル：超軽量断熱コンクリートの断熱性に及ぼす空隙率及び繊維の影響 5. 2013 年 5 月 ICCS13 (Tokyo, Japan)、(S. Kwon, T. Nishiwaki 他) タイトル：Development and Application of Lightweight Cement-Based Composites, First International Conference on Concrete Sustainability (Excellent paper に選出)</p>	

2. 評価結果の概要

(1) 技術開発成果の先導性：

本開発技術で先導性の高いものは以下のとおり。

- ①超軽量骨材を用いた断熱コンクリートの調合設計手法の確立
- ②超軽量骨材を用いた断熱コンクリートの強度と断熱性能の両立
- ③ポーラス構造を有する超軽量断熱コンクリートの開発

従来、相反する関係であった断熱性能（軽量化・低密度化）と高強度化を高いレベルで両立すると云う全く新しい材料を開発することを目的として、閉鎖型中空構造を有する超軽量骨材や高強度マトリックスを採用し、『最密充填理論』による骨材充填率の大幅な改善などの検討を行い、高強度超軽量断熱コンクリートの設計手法を確立した。

その結果、骨材充填率を十分に上げることにより単位セメント量を少なくすることが可能となり、理論的に導かれる骨材充填率から算出される密度の計算値と、実際に作製した試験体で実測される密度の誤差は、15%以下と比較的小さく、設計値に基づいた高強度超軽量断熱コンクリートの作製が可能であることが確認された。

また、超軽量骨材と高強度マトリックスを組み合わせることにより、密度を 1.3 g/cm^3 程度としながら、圧縮強度で 27 N/mm^2 を達成した。これは、建築工事標準仕様書-JASS 5（日本建築学会）で定める軽量コンクリート2種の密度の範囲（ $1.4 \sim 1.8 \text{ g/cm}^3$ ）よりも軽く、なおかつこの耐久設計基準強度（標準）として定められている圧縮強度 24 N/mm^2 を超える値であり、構造部材としても十分に適用可能と考えられる高強度超軽量断熱コンクリートを調合することが可能となった。さらに、『最密充填理論』の適用によって軽量骨材の充填率を上げることで、密度を 0.8 g/cm^3 程度まで低下させることが可能となった。ただし、この場合の圧縮強度は 10 N/mm^2 程度に留まった。

更なる軽量化を目指し、ポーラス構造を有する超軽量断熱コンクリートの開発を行った。全体の25%程度を空隙としたポーラスコンクリートを開発した。密度は 0.6 g/cm^3 程度、熱伝導率は $0.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 程度以下となった。この超軽量断熱コンクリートは軽量化・断熱化に非常に有効であることが確認された。また、凍結融解試験の実施により、比較的良好な耐久性も有していることを確認した。

(2) 技術開発の効率性：

本開発では、効果的な開発を進めるために各要素技術を有している機関が参画してコンソーシアムを形成している。さらに各社の担当の下に問題となっている技術に精通しているスタッフを一時的に参画させる体制を確立している。その結果、技術開発の速度を向上させる事や新たな改良に大きな効果を発揮している。

また、開発を進める中で、単一の材料で施工することは難しいと判断し、ポーラス構造を有するコンクリートと高強度超軽量断熱コンクリートを複合させたハイブリッド断熱ブロック（複合断熱ブロック）での構法に変更することとした。この変更に対しても、ポーラスコンクリート2次製品等を多く開発している企業の参画も得ることができた。さらに、コンソーシアムには参画していないが、技術開発に賛同している機関の協力も大きい。最近での協力や新たな参画について以下に示す。

- ①コンクリートの耐久性確認（凍結融解試験）：仙台高等専門学校
- ②コンクリートの施工性・耐久性の向上（表面改質処理による製造技術の改良）
：崔希燮（東北大学・大学院 助教）
- ③ハイブリッドブロック製作（2次製品の製作工場）：マテラス青海工業株式会社

(3) 実用化・市場化の状況：

現在、ハイブリッドブロックの製造工場での試作を完了し、量産のための調合の見直しを進めている。その実施内容は、調合している繊維素材の仕様変更に伴う、調合の見直しや変更した調合によるコンクリートの性能の確認（強度、密度、熱貫流率）。

また、製作工場での材料の管理や製造を考慮した製作マニュアル等の整備を進める予定である。これらの作業と併せコストの試算も進める予定である。

(4) 技術開発の完成度、目標達成度

補助完了時点では、要素技術（ポーラス構造を有する超軽量断熱コンクリート）の開発が完了していたが、その後各材料の耐久性の確認や調合の見直しを進め、併せて量産化向けコンクリート2次製品の製造業者の協力を得、量産化への作業を進めている。

現時点における技術開発の達成度は、最終段階の製品化直前と言う段階まで来ている。今後は製品としてのハイブリッドブロックの耐久性の確認（凍結融解試験）を行うとともに、現場で施工した結果として、ハイブリッドブロックを建物基礎としての施工性の確認や組立断熱性能の確認を実施する予定となっている。

要素技術の完成度：90%

全体の目標達成度：60%（製品化達成度：30%）

(5) 技術開発に関する結果

・成功点

本技術開発では『最密充填理論』の採用により、今までにない軽量コンクリートの調合方法を確認することにより、高強度軽量断熱コンクリートを開発し、技術の開発を大きく進めることとなった。ただしこの時点では、目標とする断熱性能を満足できなかったため、更なるコンクリートの軽量化を図り、超軽量断熱コンクリートの開発に結び付いた。

これら要素技術を一体化し、ハイブリッドブロックを提案することで断熱性能と強度を有する住宅基礎の提供が可能となった。

・残された課題

現状では要素技術の開発が完了したと考えているが、製品化（量産化）され始めて技術として開発が完了したものと考えている。今後の課題を以下に列挙する。

①量産試作の実施：ピースの工場製作の標準化と量産のための調合計画の確立

②組立性能の確認：ブロックを組立て基礎として性能（断熱性、強度）の確認

③現場施工：実大での施工実験と施工性の確認、施工標準・施工マニュアルの作成

3. 対応方針

(1) 今後の見通し

住宅の省エネ性能の向上では、外皮としての屋根、壁、基礎の断熱性能が大きな要素となっている。その中でも基礎は屋根や壁とは構成素材が大きく異なるため、断熱性能の確保のために根本的な開発がおこなわれず、断熱材を付加することでその性能の確保を行ってきた。そのため、構法選択や施工性の面で多くの制約を受けることとなった。

本構法を展開することにより、基礎躯体での断熱性能の確保が可能となり、施工性の改善や断熱性能の維持や耐久性を向上させる事が可能となる。また、基礎断熱に発泡系の断熱材を使用することにより発生しているシロアリの害を防ぐことも可能であり、4地域以南での基礎断熱の拡大を進めることにより、住宅の性能向上に大きく寄与することが期待できる。

量産化と現場での標準施工法の確立が最大の課題となってくる。今後、施工担当者を中心にこれらの課題の解決を進めることに注力する。