

審査の結果の要旨

氏名 中田 清史

中田清史氏から提出された「セメント硬化体の炭酸化収縮メカニズムに関する研究」は、コンクリートに必然的に生じる現象、すなわち、コンクリート中のセメント水和物が大気中の二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムに徐々に変化していく化学反応である炭酸化反応を対象にしたものであるが、炭酸化反応に伴うアルカリ性の喪失によるコンクリート中の鉄筋の腐食に関する研究が従来主流であったところ、本論文は、炭酸化反応に伴う体積変化に焦点を当てたものとなっている。炭酸化によってセメント硬化体に収縮が生じることは古くから知られてはいたが、そのメカニズムを掘り下げた研究はなされていないとほい難く、昨今の建築物・土木構造物に対する長寿命化指向や保全コスト削減要求に鑑みると、炭酸化収縮によって発生・助長されるコンクリートのひび割れを抑制することは重要であり、炭酸化収縮のメカニズムを明らかにしようとする本論文の意義は大きいと考えられる。

本論文は7章から構成されており、各章の内容については、それぞれ次のように評価される。

第1章では、本研究の社会的背景、技術的課題、目的、特色および意義、ならびに論文の構成が適確に述べられている。

第2章では、炭酸化収縮に関する既往の研究に関する綿密な調査がなされており、技術の現状が明らかにされるとともに、取り組むべき課題が明確に示されている。すなわち、炭酸化収縮現象を理解するためには、炭酸化反応が全体に生じ得る十分に小さい試験体による実験を行う必要があること、および「炭酸化反応→相組成の変化→固相体積・空隙構造・力学特性の変化→体積変化駆動力の変化→見掛けの収縮」といった一連の挙動を一貫して捉える必要があることが指摘されるとともに、この一連の挙動に関するメカニズムが合理的に想定され、その個々の現象に対する研究課題が適切に設定されている。

第3章では、できる限り均質な炭酸化状態を実現可能な薄板状セメントペースト試験体を用いて、調合・二酸化炭素濃度・相対湿度を実験因子として、炭酸化反応および炭酸化収縮の基本的な性状把握が行われており、炭酸化収縮量は炭酸カルシウム生成量に比例することが明らかにされるとともに、水酸化カルシウムの炭酸化挙動に基づいて、二酸化炭素濃度が低い場合、および相対湿度が高い場合には、炭酸化収縮は生じにくい可能性があることが合理的に推論されている。

第4章では、炭酸化反応によるセメント硬化体の相組成の変化と、それに伴う密度・

空隙率・比表面積の変化との関係が、熱重量分析や物理的構造分析などの結果から明らかにされるとともに、その関係に及ぼす二酸化炭素濃度の影響が明らかにされている。すなわち、空隙率の変化は、水酸化カルシウム以外の相の炭酸化量に比例すること、かさ密度は、調合や二酸化炭素濃度に依存せず空隙率に比例すること、水セメント比45%では炭酸化に伴ってかさ密度は増加するが、水セメント比55%では減少すること、比表面積は水酸化カルシウム以外の相の炭酸化量に比例し、最終的には初期値の50%程度となることなど、炭酸化収縮挙動を左右する硬化体の物性変化が明らかにされている。

第5章では、炭酸化反応に伴って硬化体内に生じる液水の移動に起因する体積変化駆動力の発現挙動が実験的に明らかにされるとともに、分離圧説に基づいて、体積変化駆動力および炭酸化収縮現象が論理的に論じられており、炭酸化によって生じる細孔溶液中のカルシウムイオン濃度の低下やCSHにおけるSi比の増加が分離圧に変化をもたらす理由として述べられ、今後の研究の発展に資する示唆的な内容が示されている。

第6章では、第3章から第5章までの実験で得られた知見を基に、詳細な炭酸化収縮メカニズムが提案されている。すなわち、水和物の炭酸化、相組成の変化、空隙構造の変化、および体積変化駆動力の変化が、順序立てて整理されるとともに、それらの相関関係が理解しやすく図示されている。また、実環境においても炭酸化収縮が生じる可能性があること、混合セメントを用いたコンクリートにおいては早期に炭酸化収縮が生じる可能性があることなどが、論理的に推論されている。

第7章では、本論文の結論が研究目的に対応させて要領よくまとめられている。

以上のように、本論文は、その目的・意義が明確に示されており、適確な手法を用いて実験および分析が進められ、セメント硬化体の炭酸化収縮に及ぼす調合・二酸化炭素濃度・相対湿度の影響が明らかにされるとともに、炭酸化反応から相組成の変化、空隙構造の変化、体積変化駆動力の変化といった一連の炭酸化収縮に関わる現象のメカニズムが明らかにされており、コンクリート構造物の長寿命化・保全最適化に大いに資する論文であると考えられる。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。