

審査の結果の要旨

氏名 小田部 裕一

長期にわたる健全性が期待される鉄筋コンクリート構造物にとって、早期劣化は深刻な問題である。また、セメントの水和熱や硬化収縮に起因する早期材齢におけるコンクリートのひび割れは、構造物の耐久性に多大な影響を及ぼし、現在でも根絶されないコンクリートの生来的な課題である。したがって、鉄筋コンクリート構造の耐久性確保をより確実なものとするためには、施工段階でのプロセス検査と共に、設計段階での性能の事前照査が重要である。また、コスト増加を伴う対策の要否について設計・施工段階でその効果と経済性のバランスを踏まえて合理的な判断を行うには、事前解析の確度を一層向上させることが必要である。本論文は、このような背景のもと、コンクリート構造のライフスパンシミュレーションと温度ひび割れ予測技術の信頼性・適用性の向上に資するべく、コンクリート中のセメント系結合材の反応を複数の鉱物水和反応の総体として記述する複合水和発熱モデルの高度な一般化と、任意の養生温度履歴における種々のセメント系結合材の強度発現を合理的に推定する一般性の高い強度モデルの開発を目指したものである。

複合水和発熱モデルは、コンクリートの温度ひび割れ問題の解析的検討やコンクリート構造物のライフスパンシミュレーションにおいて、水和硬化過程を記述する基幹技術と位置づけられ、事前検討用の解析ツールとして実務に活用するには、広範なセメント系結合材種類に対応することが求められる。したがって、反応鉱物間の複雑な相互依存機構を明らかにしてモデルの高精度化と一般化を図り、適用性と信頼性を高める必要があった。そこで、研究の工学的な適用を睨みつつ、科学的な視点に立った分析と検討を進め、反応間の相互依存機構の定量的な解明を通して、それらのモデル化が行われた。その結果、早強セメントから低熱セメントまでの広範なポルトランドセメント種類への適用性の向上はもとより、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェーム、石灰石微粉末といった現在使用されるほぼ全ての混和材料の多量使用や混合使用に対しても高い適用性を有するモデルの開発に成功している。

強度発現モデルの開発では、強度を記述する上で指標とすべき物理量に関してメカニズムに立脚した理論的な検討を行い、水和組織形成における空隙の粗密を反映した水和生成物の空間占有率に基づいて定式化

することを提案し、その合理性を論じている。この結果、異なるセメント系結合材種類、種々の水結合材比、異なる養生温度を対象として強度発現の時刻歴変化を統一的に記述できる高い一般性を有するモデルの開発に成功している。圧縮強度は、コンクリートの物性を表す最も一般的な指標であり、コンクリート工事においては、常に必要とされるデータである。特に、コンクリートを製造する立場からは、管理材齢における圧縮強度の早期判定が必要であり、製造段階で数ヶ月先の強度を高精度に予測することへのニーズは非常に高いといえる。このように、従来、多くのエンジニアが判断の拠り所としてきた強度に対しても、種々の条件下で確度の高い推定が可能となったことは、設計段階での事前評価のみならず施工管理においても大きな効用をもたらすものと期待される。

本論文の第1章では研究背景と、既往の研究事例、そして本研究の目的について記述している。第2章では、ポルトランドセメントの複合水和発熱モデルの一般化として、主要クリンカー鉱物の反応間相互依存性について明らかにした。主要鉱物反応間の相互依存性を評価することによって、鉱物レベルの反応を高精度で再現することを可能とした。第3章では、有機混和剤による反応遅延効果について論じ、混和剤種類に応じた反応遅延能力が当該混和剤を用いたモルタル試料の凝結時間と密接に関係することを明らかにし、実務に適した混和剤の反応遅延能力の簡易算定手法を提案した。第4章では、混合セメントの複合水和発熱モデルの拡張として、シリカフェームに対応する要素モデルの導入と、多成分系混合セメントでの適用性の検討を通じたモデルの改良を行った。第5章では、複合水和発熱モデルと連関した強度発現モデルの開発を行った。複合水和発熱モデルから出力される水和反応率と鉱物の化学反応式から水和物の形成過程を定量的に捉え、自由空間に占める水和生成物体積を強度発現を表す基本パラメータとした定式化を行い、種々の温度履歴における発現強度の実測値を概ね再現することに成功した。第6章は、以上の検討内容をまとめ、本研究の結論が示されている。

以上、本研究は、実務における工学的な適用性が極めて高く、かつ基礎研究の観点からも種々の支配機構を定量的に明らかにした意義は大きく、有用性に富む独創的な研究成果と評価できる。

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。