

## 審査の結果の要旨

氏名 丸山 一平

本論文は、「マイクロメカニクスに基づくコンクリートの時間依存特性」と題したものであり、コンクリート造建築物の美観劣化、漏水、鉄筋の腐食による構造耐力といった問題を生じさせる原因となるコンクリートのひび割れの発生抑制に資する解析技術を開発することを目的として、セメントの水和反応に基づき、収縮挙動・応力緩和挙動をモデル化した上で、拘束条件下における応力発現を追跡可能なコンクリートの時間依存特性予測モデルを開発したものである。

本研究は、大きくは二つの流れで構成されている。一つは水和反応に基づくコンクリート挙動のモデル化であり、第2章から第5章に相当する。もう一つは、実構造物中でのコンクリートのひび割れ現象の把握を可能とする試験機の開発であり、第6章に相当する。

第2章では、友澤による水和反応モデルを基に、粒子間の相互依存性を空間制限モデルという形で実装する一方、粒度分布の考慮を行うことでより現実に即した形の水和反応モデルであるC-CBM (Computational Cement Based Material) の開発がなされた。C-CBMでは、水和発熱実験に基づき普遍性の高いパラメータが決定され、あらゆる粒度およびセメントの組成に関して実用上十分な精度で水和発熱曲線の予測を可能とした。

第3章では、水和により硬化しつつあるセメントペーストについて、強度と弾性係数がセメントペースト中の空隙量に依存するという経験則は、粒子同士の接触具合を意味する接触面積と表裏一体であることを示し、強度と弾性係数を予測できるモデルをC-CBMに実装している。

第4章では、セメントペースト内の相対湿度が、空隙分布、水分、温度および凝縮水の表面張力から仮定される凝縮水と吸着水の総量のバランスによって導出できることをした上でモデル化し、C-CBMに実装するとともに、凝縮水の持つ化学ポテンシャルに基づきセメント硬化体が収縮する現象を毛管空隙理論に基づきモデル化し、C-CBMに実装している。また、モデル化を通じて、毛管空隙分布は、セメントペースト内の水分の熱力学的状況を決定するのに重要な役割を果たすことを明らかにした。

第5章では、コンクリートのクリープに関して、メカニズムに対する仮説の提案とモデル化がなされている。すなわち、非平衡熱力学の概念を用いて圧縮クリープにおける支配的なメカニズムが表面拡散する水分であることを示すとともに、引張クリープが圧縮クリープと異なるメカニズムに支配されている可能性を示し、線形破壊力学に立脚して引張クリープの予測式が提案されている。また、若材齢コンクリートのクリープに関しては、現象が水和生成物に固有の現象であるとの仮定を立て、新規生成水和生成物と既成水和物の間における応力再分配をモデル化することで、若材齢コンクリートのクリープ現象を精度良く予測できることを示した。

第6章では、実構造物の拘束状態を模擬できる試験機の開発を行うとともに、それを用

いて高強度コンクリートの拘束状態でのひび割れ発生に関する実験を行い、高強度コンクリートの若材齢時のひび割れ挙動に関して新たな知見を得ている。すなわち、完全拘束状態を模擬できる試験機を用いて、異なる温度・調合において自己収縮ひずみと自己収縮応力が測定され、自己収縮は温度上昇とともに大きくなるといった一律な性質を示さないこと、自己収縮応力は温度の上昇とともに大きくなり、特に 30℃以上の比較的高温領域では材齢 3 日以内にひび割れが発生する場合があることを示している。

第 7 章では、第 2 章から第 5 章で開発された C-CBM によって若材齢の自己収縮応力がどの程度予測できるかの検証がなされている。自己収縮応力挙動に際しては、水の表面拡散速度における温度依存性の活性化エネルギーおよび化学ポテンシャルによる温度の影響を考慮することにより、クリープの温度依存性のモデル化がなされており、自己収縮応力を C-CBM によって算出した結果、実験値に近い自己収縮応力を予測できることが示されている。

本論文は、セメントの水和反応という微視的視点からコンクリート全体の挙動を予測するモデルを構築したものであり、そのアプローチは見事な成功を収めたと考えられる。また、実コンクリート部材の拘束状態を模擬できる可変拘束試験機を開発し、コンクリートのひび割れ問題を解決するのに有用な材料性能の取得を可能としたものであり、コンクリート工学の発展に大きく寄与するものである。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。