

論文の内容の要旨

論文題目 熱力学連成解析システムによる実構造物の状態 /
寿命推定と環境条件の定量化

氏 名 李 春鶴

高度成長的なパラダイムから安定成長期に移行しつつある社会背景の中，社会基盤施設も維持管理時代に突入した．その中で，コンクリート構造物に対しても，設計、施工、供用期間全般にわたる事象の体系化と，種々の性能を任意の時点で直接かつ定量的に評価することが求められている．特に最近では塩害，中性化，アルカリ骨材反応などのように，環境作用の影響によって少なからず劣化する事例が報告されている．以上から，任意の配合・使用材料を有し，かつ種々の環境・気象条件に曝された場合に対して，コンクリート構造物の劣化・変性状態を精度良く評価する数値解析手法の構築が，喫緊の研究課題として認識されている．

以上の背景を踏まえて，東京大学コンクリート研究室では，任意の環境・気象作用及び荷重作用を受ける構造体の状態及び性能を，時空間軸上での確に予見する熱力学連成解析システム (DuCOM)の開発を行っている．本熱力学システムは，若材齢コンクリートの固体形成過程の追跡と，その後続く長期間に渡って進行する劣化現象（塩分浸透による鋼材腐食現象ならびにコンクリートの炭酸化反応）を予測するまでに至っている．ただし，長期にわたるコンクリートの材料劣化・変性現象の予測と評価については，実験室レベルの一定温度・湿度の理想的な環境条件下の予測と評価に検証が留まっており，実環境に曝されている構造物への適用は未だ検討されてない現状である．

そこで本研究では，巨視的に実測される複数の材料特性を俯瞰的に捉え，微視的機構に基づく炭酸化過程に対する一般化熱力学モデルを提案した．さらに，初期条件としての構造物内部の配合推定と，周辺環境のモデル化も合わせて試みた．熱力

学システムによる実構造物の寿命推定を目的として、必要な技術構成要素の高度化を総合的に図ったものである。

まず炭酸化反応モデルの高度化を行うために、反応に関与する種を水酸化カルシウムのみならず CSH ゲルにまで拡張した。さらに、二酸化炭素の拡散モデルの改良と反応・非反応結晶および CSH ゲルの質量保存・体積変化にさかのぼって、コンクリート細孔構造の変化のモデル化を試みた。続いて、炭酸化進行を支配する熱力学事象、すなわち拡散、溶解平衡、反応係数などの温度依存性を適切にモデル化することによって、任意の温度条件に適用範囲を拡張することに成功した。

以上の高度化された炭酸化反応モデルを用いて実構造物を予測するためには、さらに入力情報として二つの要素が必要となる。一つは構造物中に達成される材料の品質、すなわち初期の配合状態の推定である。もう一つの要素は、乾湿繰返し、温度変動、日射、風等に代表される、複雑な周辺環境の数量化である。実験室レベルの供試体と異なり、何らかの理由によって設計配合から乖離する実構造物のコンクリート配合については、精度良く、かつ迅速に推定できる化学分析試験方法を提案した。ここでは、熱力学連成解析システムや、測定した実構造物のコアの圧縮強度などの様々な側面から、提案した試験方法による配合推定値の妥当性を確認した。推定したコンクリート配合とモデル化した実環境条件を入力として与えることで、提案する手法は実際の炭酸化深さを概ね良好に予測できることを示した。