

- 2 コンピュータシミュレーションを利用したコンクリートの調合・養生計画最適化技術の実用化

Optimization system of mixture proportion and curing plan of concrete using computer simulation of cement hydration

(研究期間 平成 16~17 年度)

材料研究グループ

Dept. of building materials and components

杉山 央

Hisashi Sugiyama

Synopsis - This study proposed a new system for optimizing the mixture proportion and curing plan of concrete using computer simulation. The system is based on the model for simulating the strength development and temperature rise of concrete. The simulation model is based on the mathematical model for cement hydration and microstructure formation of cement. The proposed system enables to output the optimal value to satisfy the required performance of concrete.

【研究目的及び経過】

近年、高強度コンクリート、プレキャストコンクリート、マスコンクリートなどの多様なコンクリートが使用されている。それらの硬化特性も多岐にわたっており、従来の調合設計方法や養生計画方法では十分な対応ができない状況にある。このため、あらかじめ実大のコンクリート部材を作製して所定の性能が得られることを確認する方法が採られている。しかし、この方法では多大な労力・費用・時間を要し、効率的ではないという問題が多方面から指摘されている。

一方、最近ではセメント・骨材など使用材料の特性値、コンクリートの調合、部材の形状・寸法、養生方法、環境条件など各種の情報・条件をもとにしたコンピュータ解析により、コンクリートの材料特性を精緻に予測する技術が研究・開発されている。このようなコンピュータシミュレーションによる解析手法を実務に利用すれば、コンクリートの種類ごとに試験を行うことなく、最適な調合設計や養生計画を決定することが可能となる。

本研究では、コンクリートに関する既知の情報を入力することにより、硬化過程にあるコンクリートの材料特性を的確にシミュレートし、このシミュレート結果を利用して要求性能を満足させるための調合や養生に関する最適解を出力するシステムを開発した。

【研究内容】

下記について検討した。

(1) コンクリート調合・養生計画最適化モデルの構築

セメント・骨材など使用材料の特性値、コンクリートの調合、コンクリート部材の形状・寸法、養生方法、環境条件などのうちで既知の情報・条件を入力してシミュレーションを展開することにより、要求性能を満足させるための調合や養生に関する未知の条件についての最適解を導出するモデルを構築した。

(2) 調合・養生計画最適化モデルの適用性の検証

本研究で開発したコンクリートの調合・養生計画最適化モデルの適用性を検証した。特に、高強度コンクリート、プレキャストコンクリート、マスコンクリートのように特殊な条件のもとで製造・施工されるコンクリートへの適用を主な対象として検討した。

(3) 調合・養生計画最適化モデルの実用システム化

コンクリートの調合・養生計画最適化モデルを実務で利用することを目指して、ユーザーが操作しやすい実用的な形にシステム化した。

【研究結果】

セメントの水和反応を起点としてコンクリートの硬化性状および発熱性状をシミュレートするモデルを利用して、要求性能を満足させるための調合や養生に関する最適解を出力するシステムを開発した。具体的には、本システムにより図 1 に示すような事例の最適解を出力することができる。最適値を導出するためには何回かの複雑なシミュレーションを繰り返す必要があるが、昨今のコンピュータ計算処理能力を利用することにより実現可能となった。

図 2 は必要強度を満足するための W/C の最適値を出力した例である。コンクリート部材内では位置（例えば、中心、表面、隅各部）によって強度が異なる。ここでは、コンクリート部材内のすべての位置において、材齢 10 日で 30N/mm^2 の強度を満足するためには、W/C を 43.4% にすればよいという結果が出力されている。

図 3 は所定の温度を超えないための単位セメント量の上限值を出力した例である。部材厚の大きなマスコンクリートでは、部材内部にセメント水和熱を蓄積させて温度上昇が生じる。この性状はコンクリート強度に影響を大きな及ぼすため、問題視されている。ここでは、断面寸法 $1000 \times 1000\text{mm}$ のコンクリート柱部材が履歴する温

度を 60 以下に抑えるためには単位セメント量を 408.4kg/m³ 以下にすればよいという結果が出力されている。図 3 ではコンクリート柱部材断面内の温度分布を示

しているが、温度が最も高い中心部でも 60 以下になっていることがわかる。

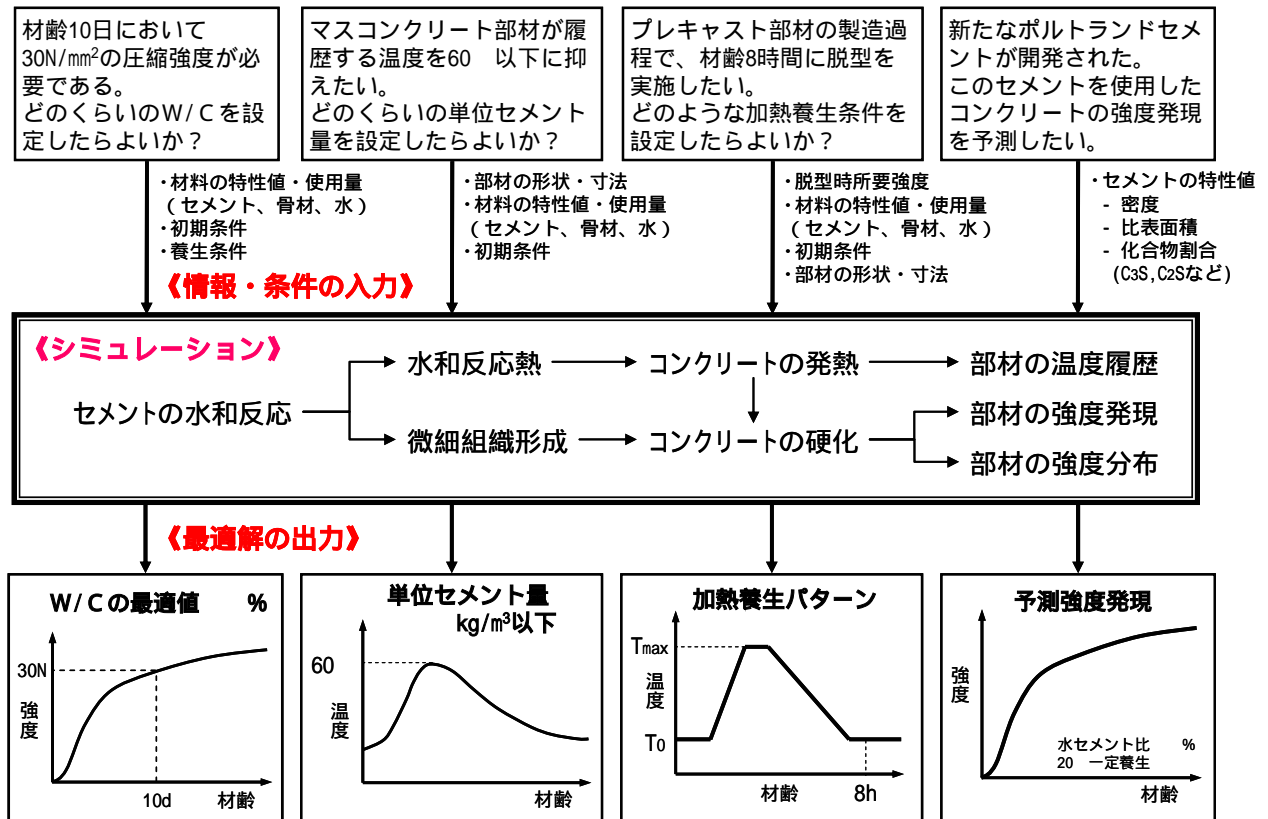


図 1 コンクリート調合・養生に関する最適解出力の事例

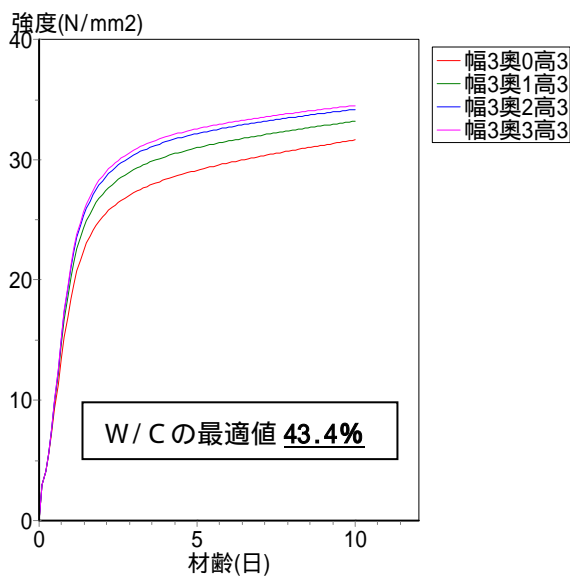


図 2 必要強度を満足するためのW/Cの最適値出力例 (コンクリート部材内の各位置の強度発現)

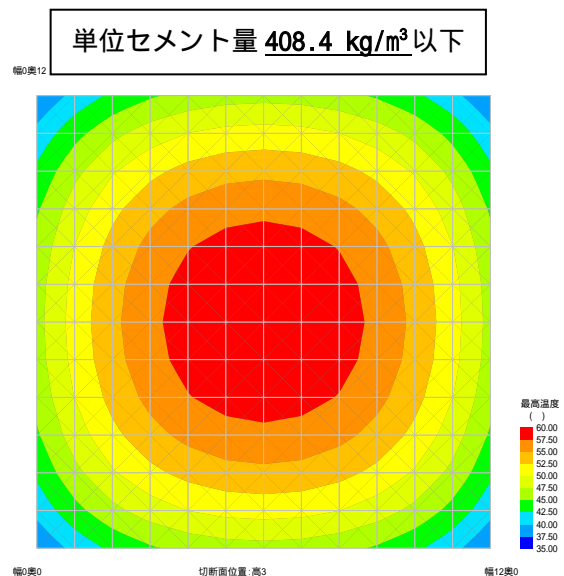


図 3 所定の温度を超えないための単位セメント量の上限値出力例 (コンクリート部材内の温度分布)