

水分供給・逸散および水和解析による養生条件の影響評価に関する研究

安藤ハザマ

正会員

○野間康孝

石川工業高等専門学校

学生会員

岸 亨祐

石川工業高等専門学校

正会員

福留和人, 安藤ハザマ

正会員

齋藤 淳

1. はじめに

所要の強度・耐久度等の性能を有するコンクリート構造物を構築する上で、養生は極めて重要な作業であり、セメントがその性能を十分に発揮するように、すなわち、セメントの水和が所要のレベルに達するように水分と温度条件を所定期間維持するように養生計画を立案する必要がある。以上の観点から、養生で達成されるセメントの水和の程度を解析的に予測し、目標の水和率が得られるように養生計画を立案する手法（図-1）を提案する。すなわち、構造物中の水分分布履歴を水分供給・逸散解析により予測し、その結果を基に水和解析を行いセメントの水和率を算定する。さらに、解析で得られた構造物中のセメントの水和率とコンクリートの性能を確保するために必要なセメントの目標水和率を比較することによって養生の適否を照査し、適切な養生計画を立案する手法を確立するものである。

本研究では、水分供給・逸散および水和解析にコンクリート材料性能解析プログラム DuCOM-SD を用い、供試体レベルの実験結果との比較により、養生条件が圧縮強度に及ぼす影響の評価を試みた。

2. 解析概要

2. 1 解析プログラム DuCOM-SD の概要

DuCOM とは、コンピューター上の仮想空間にバーチャルコンクリート構造を製造・建設する総合シミュレーション技術であり、1990 年から東京大学土木工学科コンクリート研究室で構想、開発が進められてきた。DuCOM は任意の配合と粉体・環境条件のもとに、コンクリート構造物／部材レベルの特性を、時間軸上で算定でき、また、構造物部材表面から内部方向は向かう 1 次元場における、物質移動や温度変化を考慮しつつ水和進展・空隙構造を連成して解析するものであり、部材ごとの水和度、収縮現象の進展、不均一な温度分布による応力発生といった現象が追跡可能である。そのため、本研究の目的である湿潤養生条件の影響を評価可能と考えられる。

2. 2 解析条件

DuCOM の使用材料および配合の設定は、実験と同様（表-1、表-2）とした。また、養生条件は、以下のとおりである。

- (1) 養生温度：10℃、20℃、30℃
- (2) 湿潤養生条件：①水中養生（全期間）、②封緘養生（全期間）  
③封緘養生 7 日＋気中暴露、  
④水中養生 7 日＋気中暴露、⑤水中養生 14 日＋気中暴露

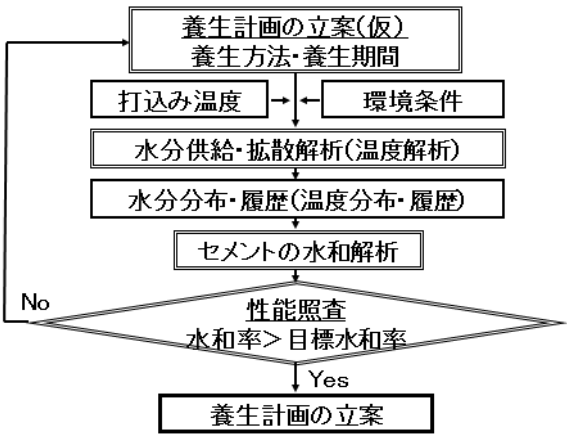


図-1 養生計画立案フロー

表-1 コンクリートの配合

| 水セメント比<br>W/C(%) | 単位水量(kg/m <sup>3</sup> ) |        |           |           |       |
|------------------|--------------------------|--------|-----------|-----------|-------|
|                  | 水 W                      | セメント C | 細骨材 S1(細) | 細骨材 S2(粗) | 粗骨材 G |
| 50               | 177                      | 354    | 543       | 181       | 992   |

表-2 セメントの鉱物組成表

|               |                   |    |
|---------------|-------------------|----|
| 鉱物組成<br>mi(%) | C <sub>3</sub> S  | 55 |
|               | C <sub>2</sub> S  | 19 |
|               | C <sub>3</sub> A  | 12 |
|               | C <sub>4</sub> AF | 8  |
|               | 石こう               | 3  |

実験では、 $\phi 10 \times 20 \text{cm}$  の円柱供試体を用い、水分供給・逸散量（質量変化率）および圧縮強度の測定を行なっている。なお、供試体は、シール等を行うことなく試験に供したため、

DuCOM-SD の表面から内部に向かう一次現場における解析条件と異なっている。また、気中暴露では、温度のみ制御された恒温室に静置した。

以上のことから、湿度条件および供試体厚さをパラメータとして、養生温度  $20^\circ\text{C}$  の条件で質量変化率が実験結果と合致するように解析パラメータを設定することとした。

### 3. 解析結果および考察

質量変化率の実測値に合致するように解析条件を検討した結果、相対湿度 40%，部材厚さ 1cm に設定した。

#### 3. 1 質量変化率

図-2 に解析値と実測値の材齢と質量変化率の関係を示す。水中養生ではコンクリートが水を吸収し質量が増加し、気中に暴露した場合、水が蒸発する事により質量が減少することが解析され、実測値と同様の傾向が表れている。水中養生は、解析値と実測値は、ほぼ合致している。一方、気中暴露した条件では、湿度、部材厚さの設定により、絶対値はほぼ合致するように解析できたが、解析では急激に乾燥が進行するという結果となった。これは、部材寸法を 1cm と供試体に比べて薄く設定したことによるものと考えられ、今後、境界条件を合致させた実験を行い、検証する必要があると考えられる。

#### 3. 2 圧縮強度

図-3～図-5 に材齢 91 日における圧縮強度比（各養生条件／水中養生）を示す。図より養生条件が圧縮強度に及ぼす影響を適切に評価している。すなわち、湿潤養生期間が短いほど圧縮強度が低く、また、養生温度が低いほど湿潤養生条件の影響が大きくなるという傾向が見られ、また、圧縮強度比の絶対値も実測値とおおそ一致している。一方、解析と実測値で封緘養生と初期に水中養生した条件で圧縮強度の傾向が異なっている。実験結果では封緘養生より初期に水中養生を実施した方が圧縮強度は高くなっている。実際には、セメントの水和には、材齢初期に水分を供給し飽和状態とする効果が大きいということであり、今後、解析との差異について検討する必要があると考えられる。

**謝辞：**本研究は、科学研究費補助金（基盤研究（C）、26420445）によって実施したものである。

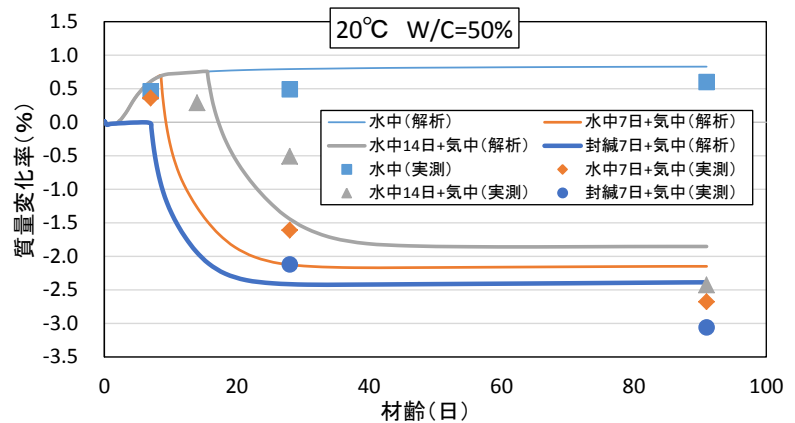


図-2 材齢と質量変化率の関係

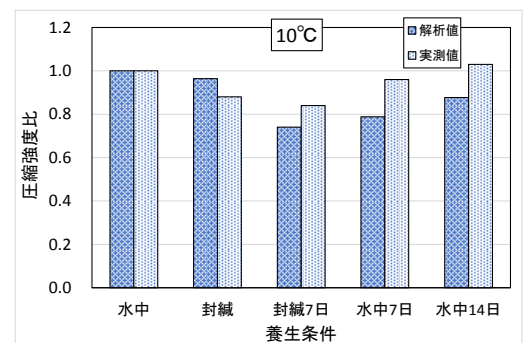


図-3  $10^\circ\text{C}$  圧縮強度比

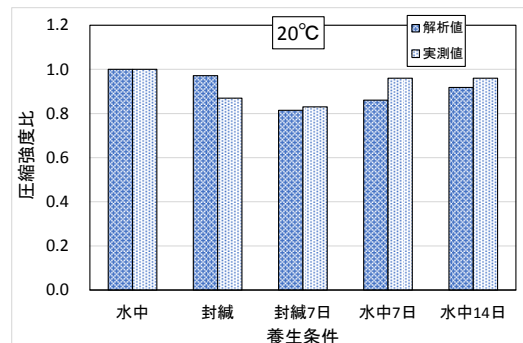


図-4  $20^\circ\text{C}$  圧縮強度比

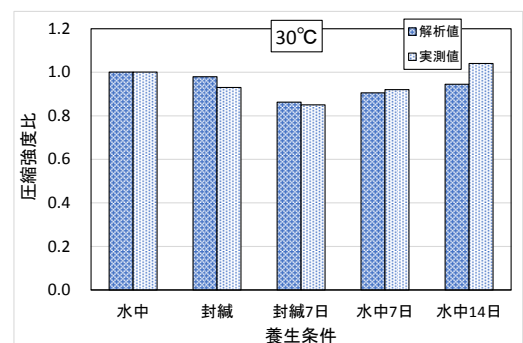


図-5  $30^\circ\text{C}$  圧縮強度比