

長岡技術科学大学大学院 学生会員 小幡浩之  
 長岡技術科学大学工学部 正会員 下村 匠  
 長岡技術科学大学工学部 フェロー 丸山久一

## 1. はじめに

著者らは、コンクリートの乾燥収縮による部材の変形、初期応力の導入を合理的に評価するために、コンクリート中の水分移動解析と応力解析に基づく予測手法の開発研究に取り組んでいる。本論文では、環境条件の違いにより乾燥速度が異なる乾燥収縮の実験結果を示し、その傾向を数値解析により表現する方法について論じる。

## 2. 乾燥収縮挙動における乾燥速度依存性<sup>2)3)4)</sup>

自由収縮供試体を用いた乾燥収縮試験において、温度、相対湿度の環境条件を変化させ供試体の乾燥速度を変化させた場合、得られる逸散水量と収縮ひずみの関係は、配合、材齢が同一であれば変わらないという実験結果<sup>1)</sup>、および乾燥速度によって異なる実験結果<sup>2)3)</sup>の、一見矛盾する二通りの報告がある。著者らの研究グループでは、実験条件により、双方の傾向の実験結果が得られることを明らかにした<sup>4)</sup>。環境条件の制御の方法として、調湿剤を用いた場合には前者の結果が得られ、恒温槽、真空乾燥法を用いた場合には後者の結果が得られた(図-1)。本論文では、コンクリート表面における微細なひび割れを考慮した数値解析により、双方の実験結果の統一的な説明を試みる。

## 3. 材料モデルと解析手法<sup>3)5)</sup>

供試体中の水分移動解析の結果得られる各時間各部分の水分量に応じた非拘束乾燥収縮ひずみを初期ひずみとして与え、供試体の応力解析を逐一行うことにより、供試体の乾燥収縮挙動を評価する。

コンクリート中の水分移動モデル、各部分の水分量と非拘束乾燥収縮ひずみの関係は、著者らが提案したコンクリートの細孔構造に基づくモデル<sup>3)</sup>を用いる。応力解析には、図-2に示すひずみ軟化型構成モデル<sup>5)</sup>を用いる。ひずみ軟化域は、乾燥過程における供試体内部の不均一な水分分布による内部拘束応力に起因した、表面の微細なひび割れによる応力緩和の表現を意図している。

## 4. 実験概要

実験には表-1に示すモルタルを用い、供試体は  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$  とした。供試体は材齢1日で脱型し、材齢7日まで封緘養生を行った。その後、所定の環境条件の下で乾燥させ、重量と長さの経時変化を測定した。調湿剤を用いたシリーズIIでは、デシケータ内に湿度センサーを設置し、相対湿度の経時変化を測定した。

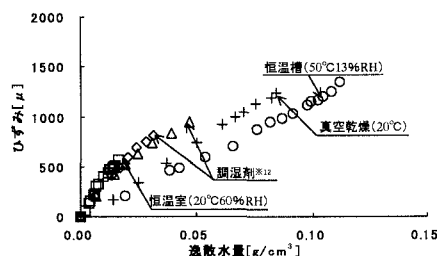


図-1 逸散水量と収縮ひずみの関係<sup>4)</sup>

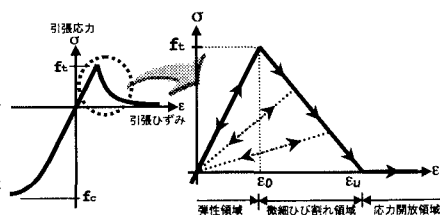


図-2 ひずみ軟化型構成モデル

表-1 供試体の配合と乾燥条件<sup>2)4)</sup>

| シリーズ | Case   | 乾燥条件               | 単位重量(kg/m³) |      |    |     |
|------|--------|--------------------|-------------|------|----|-----|
|      |        |                    | W           | C    | L  | S   |
| I    | Case-1 | 20°C, 60% RH       | 289         | 1144 | 40 | 917 |
|      | Case-2 | 真空乾燥               |             |      |    |     |
| II   | Case-3 | 調湿剤 <sup>※1)</sup> | 311         | 1247 | -  | 803 |
|      | Case-4 | 調湿剤 <sup>※2)</sup> |             |      |    |     |
|      | Case-5 | 調湿剤 <sup>※3)</sup> | 360         | 1135 | -  | 767 |
|      | Case-6 | 調湿剤 <sup>※3)</sup> |             |      |    |     |

O: 中層ポルトランドセメント, L: 石灰石微粉末

調湿剤<sup>※1)</sup>: 濃硫酸

調湿剤<sup>※2)</sup>: 塩化マグネシウム飽和水溶液

調湿剤<sup>※3)</sup>: 塩化リチウム飽和水溶液

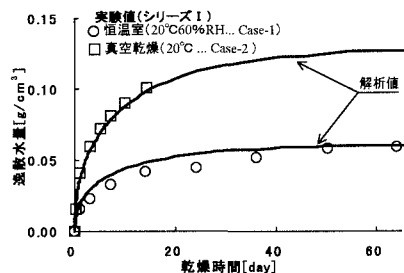


図-3 乾燥時間と逸散水量の関係

**Keywords:** 乾燥収縮, ひずみ軟化, 乾燥速度, 水分移動解析, 応力解析  
**連絡先:** 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL 0258(46)6000

## 5. 実験結果および解析結果

シリーズIの供試体の逸散水量の経時変化、供試体の逸散水量と収縮ひずみの関係を図-3、図-4にそれぞれ示す。計算では、すべての供試体に対して同一の材料パラメータを用いている。真空乾燥のケースの方が20°C 60%RHのケースよりも供試体の乾燥速度（単位時間あたりの逸散水量）が大きい（図-3）。一方、乾燥速度が大きいほど、同一の逸散水量における収縮ひずみが小さい傾向を示している（図-4）。ひずみ軟化型構成モデルを用いて応力解析を行った結果、この傾向を表現することができた（図-4）。環境条件が異なれば、供試体の逸散水量が同一の時点においても、内部の水分の分布が異なるために、内部拘束による損傷の状態が異なり、観察されるひずみに差が生じたことを示唆している<sup>5)</sup>。

図-5は調湿剤を用いたシリーズIIにおけるデシケータ内の相対湿度の経時変化の測定結果である。デシケータ内部の相対湿度は、乾燥初期には高く(80~70%RH)、その後減少し、乾燥後半では低湿度(25~15%RH)で安定することがわかる。CASE-3,4 および 5,6 を比較すると、CASE-3,4 の方が乾燥初期の相対湿度が高い。デシケータ内の調湿剤の種類が同一ならば平衡する相対湿度は同一であるが、供試体の配合の違いにより平衡に至るまでの湿度変化過程に違いがあることが確認できる。

シリーズII CASE-3,4 の供試体の逸散水量の経時変化、供試体の逸散水量と収縮ひずみの関係を図-6、図-7にそれぞれ示す。逸散水量の経時変化は、乾燥期間10日以降では違いが見られるが、乾燥期間10日以前では大きな違いはない（図-6）。逸散水量と収縮ひずみの関係は、乾燥後半で両ケースの違いが若干現れるものの、全体を通じてその違いは小さい（図-7）。シリーズIと比較して、逸散水量と収縮ひずみの関係に違いがみられない理由として、図-5に示したように刻々と変化するデシケータ内の相対湿度の変化が大きく影響していると考えられる。

図-7にデシケータ内の相対湿度の経時変化の実測値を用いた計算値と、相対湿度が乾燥開始から一定（平衡時の相対湿度）とした計算値を示す。相対湿度の経時変化の実測値を用いた計算値では、逸散水量と収縮ひずみの関係における両ケースの違いは小さく、相対湿度を乾燥開始から一定とした計算値では、乾燥初期段階から明確に両者の違いが現れた。

## 6. まとめ

実験条件が供試体の逸散水量と収縮ひずみの関係に影響を及ぼすことを示した。微視的ひび割れを考慮した構成モデルを用い、環境条件の経時変化を考慮することにより、実験結果が統一的に説明できることを示した。

### 【参考文献】

- 1) 永松・佐藤・大常：セメント硬化体の乾燥の程度と乾燥収縮ひずみの関係，日本建築学会構造系論文報告集，第439号，pp13-21，1992.9
- 2) 福留・下村：時間依存性変形を考慮したコンクリートの乾燥収縮モデル，土木学会第47回年次学術講演会第5部，pp944-945，1992.9
- 3) 下村・福留・前川：微視的機構モデルによるコンクリートの乾燥収縮挙動の解析，土木学会論文集，No.514，pp41-53，1995.5
- 4) 田中哲也：乾湿にともなうコンクリートの体積変化における経路依存性，東京大学土木工学科卒業論文，1993.3
- 5) 小幡・下村・丸山：コンクリートの乾燥収縮における乾燥速度依存性に関する解析的研究，第52回ミッド技術大会，1998.5(投稿中)

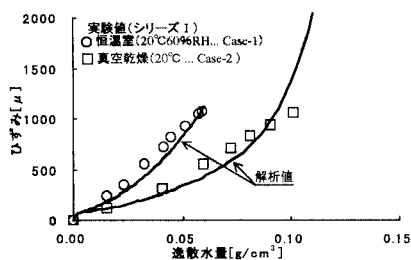


図-4 逸散水量と収縮ひずみの関係

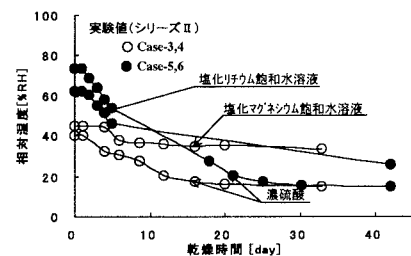


図-5 デシケータ内の相対湿度の経時変化

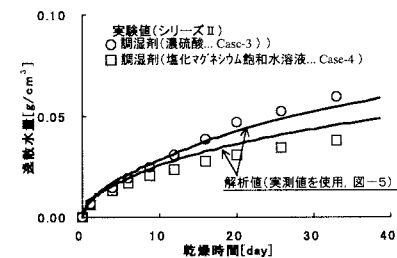


図-6 乾燥時間と逸散水量の関係

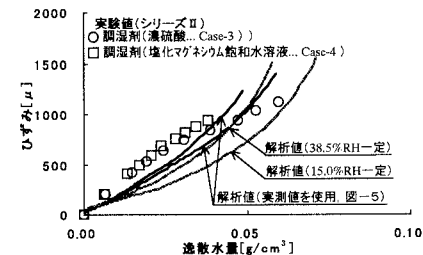


図-7 逸散水量と収縮ひずみの関係