

コンクリート部材の乾燥収縮挙動の解析

岐阜大学大学院工学研究科 学生会員 ○中村 恭香 永井 拓太
岐阜大学工学部 正会員 森本 博昭 小澤 満津雄

1. はじめに

乾燥収縮は構造物の諸性能を低下させる原因となるため、その解析手法の確立は重要である。本研究では、コンクリートの乾燥収縮挙動の解析において必要となるコンクリートの相対湿度と乾燥収縮ひずみの関係（以下、乾燥収縮ひずみ特性と記す）を実験により明らかにし、これをもとに乾燥収縮ひずみの合理的な評価式を提案する。さらに得られた評価式を用いて、コンクリート供試体の応力と変形の解析を試みる。

2. 乾燥収縮ひずみ特性とその評価式の提案

2.1 微視的構造に基づく収縮モデルの提案

本研究では、次式に示す界面の状態方程式にもとづく界面張力モデルを用いた乾燥収縮評価式を提案する。

$$\phi_{lg} [A_{lg} + 2A_{sg} \cos \theta_w] = -\frac{RT \ln(h)}{\nu} \cdot V_w \quad (1)$$

ここで、 ϕ_{ij} ：界面張力(N/m)、 A_{ij} ：界面の面積(m²)、 θ_w ：接触角(°)、 R ：気体定数(J/K·mol)、 T ：絶対温度(K)、 ν ：水分子の比容積(m³/mol)、 h ：相対湿度(%)、 V_w ：吸着水の体積(m³)である。(1)式において右辺は水分のポテンシャルに関する量であり、本研究ではこれを ΔP （収縮駆動力）とし、セメントマトリックスに作用する収縮駆動力を(2)式のように表す。そして乾燥収縮ひずみは、線形変形係数 E_s を導入し、構成関係を(3)式のように定義する。

$$\sigma_s = A_s \Delta P \quad (2)$$

$$\varepsilon_{sh} = \frac{\sigma_s}{kE_s} \quad (3)$$

ここで、 σ_s ：界面張力に起因する駆動力(Pa)、 A_s ：収縮駆動力の作用程度に関する係数、 ε_{sh} ：乾燥収縮ひずみ(×10⁻⁶)、 E_s ：変形係数(Pa)、 k ：乾燥開始材齢に関する補正係数である。

2.2 実験概要

実験は表-1に示す供試体を用い、コンクリート中の相対湿度と長さ変化を計測し、乾燥収縮ひずみ特性を明らかにした。

2.3 実験結果

実験結果を用いて係数 A_s の値を同定した結果を図-1に、また実験により得られた乾燥収縮ひずみの終局値と、本研究の提案式により得られた乾燥収縮ひずみ特性を図-2に示す。図-1より A_s は、供試体内部の相対湿度の低下に伴い減少する傾向が見られた。図-2より実測値と推定値とはよく合致している。

3. コンクリート供試体の乾燥収縮挙動の推定

3.1 実験概要および解析概要

50×50×300mm、100×100×400mm、150×150×600mmの寸法の異なる3種類の供試体について、本研究の提案式を用いて

表-1 供試体概要

寸法 (cm)	水セメント比 W/C(%)	単位水量 W(kg/m ³)	乾燥開始材齢 (日)
4×4×30	57	180	7

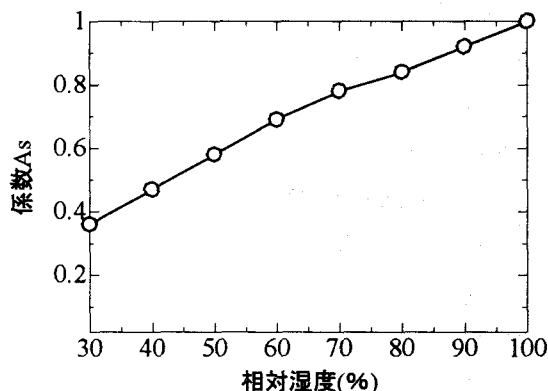


図-1 係数 A_s の同定結果

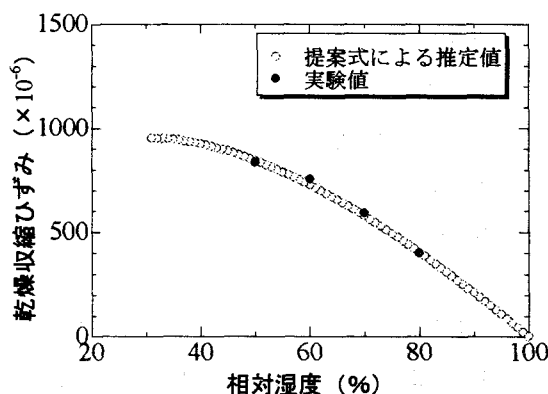


図-2 乾燥収縮ひずみ特性

乾燥収縮挙動の推定を行い、さらに実験によりコンクリート内部の相対湿度および長さ変化を計測した。供試体はすべて $W/C=57\%$ 、乾燥開始材齢は7日とした。

解析は、まず供試体断面をモデル化し、水分移動解析により得られた部材の相対湿度分布に、本研究で求めた乾燥収縮ひずみ評価式を適用して、乾燥収縮挙動の推定を行った。なお部材の収縮ひずみは、部材断面各部の収縮ひずみの平均値として評価した。

3.2 実験結果および解析結果

一例として、 $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ における乾燥収縮ひずみの推定結果を、実測値とあわせて図-3に示す。全体的に実際の推移をよく捉えているといえる。このことから、水分移動解析結果に、乾燥収縮ひずみ特性を適用することで、コンクリート部材の乾燥収縮挙動を推定することが可能であることが確認できた。

4. 鉄筋コンクリートの乾燥収縮応力の解析

4.1 鉄筋コンクリートに生じる乾燥収縮応力

鉄筋コンクリートには、コンクリート中の鉄筋の拘束による応力が作用する。本研究では、評価式を用いて鉄筋拘束による応力と変形の解析を試みた。クリープについては重ね合わせ法を用いて解析に反映させた。クリープ評価式は土木学会式¹⁾を用いた。鉄筋比 $p=0.7, 1.2, 1.9\%$ における鉄筋とコンクリートに生じる乾燥収縮応力の推定結果を、図-4および図-5に示す。図より、鉄筋比が大きいほど、鉄筋に生じる応力は小さく、コンクリートに生じる応力は大きくなる傾向が見られた。また、時間が経つにつれてクリープにより応力が緩和される傾向が見られた。

4.2 鉄筋コンクリートにおける乾燥収縮挙動の推定

各供試体の乾燥収縮挙動の推定結果を図-6に示す。図より、鉄筋比が大きいほどひずみは小さくなる傾向が見られた。これは、鉄筋比が大きいほど拘束が大きくなるためである。また、時間が経過すると、応力の緩和に伴い収縮も多少回復する傾向が見られた。

5. まとめ

本研究では、界面張力モデルを用いた乾燥収縮ひずみ評価式を提案した。提案式を用いると、コンクリート部材の乾燥収縮ならびにコンクリートと鉄筋の応力を推定することが可能であることを示した。

【参考文献】

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書，構造性能照査編，2002

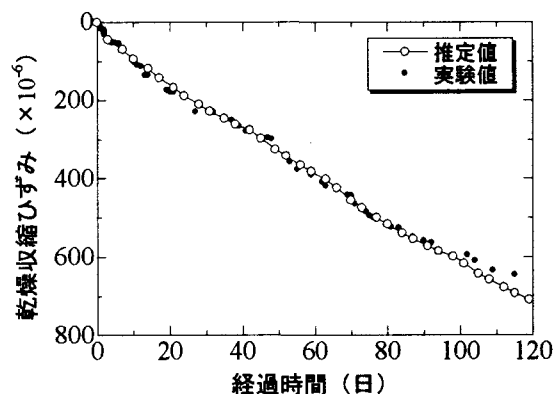


図-3 乾燥収縮挙動の推定

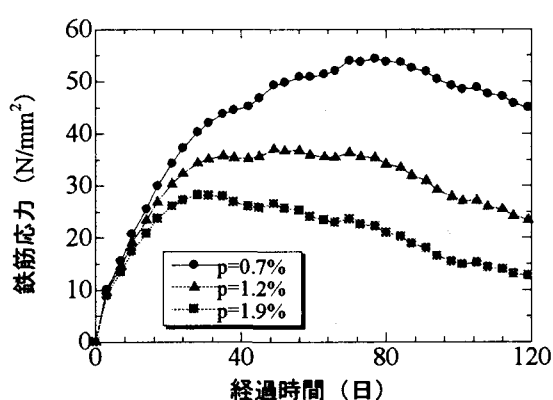


図-4 乾燥収縮応力（鉄筋）

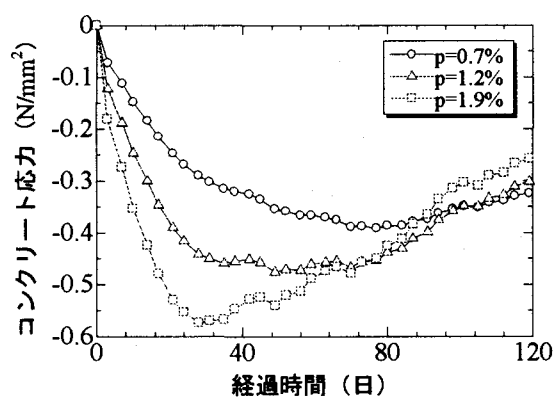


図-5 乾燥収縮応力（コンクリート）

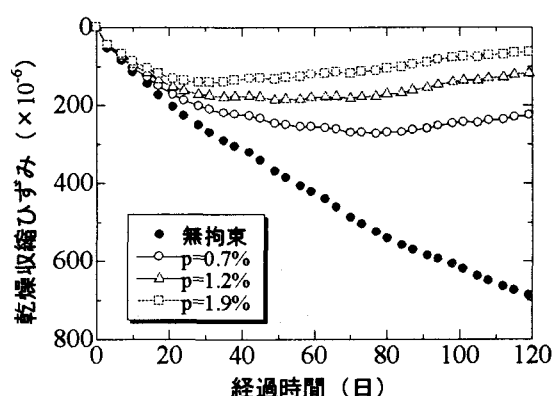


図-6 乾燥収縮挙動の推定結果