

細孔径分布に基づくコンクリートの乾燥収縮モデルの提案

東北学院大学 学生会員 ○秋保 達紀
東北学院大学 正会員 石川 雅美

1. はじめに

コンクリート乾燥収縮予測式として土木学会コンクリート標準示方書や日本コンクリート工学会 JCI-TC911 委員会式などが提案されている。しかしながらこれらの式は、コンクリート周辺の相対湿度と乾燥収縮量を関連付けるもので、コンクリート内部の相対湿度とその位置での収縮量との直接の関係については明確にされていない。本研究では、コンクリートの細孔径分布を基に、細孔内部の表面張力の釣り合いから、乾燥収縮ひずみと相対湿度を直接的に結び付けるモデルを提案する。

2. 乾燥収縮モデルの基本概念

ここで提案する乾燥収縮モデルは、コンクリート内部の相対湿度と収縮ひずみを直接関連づけるものである。すなわち、本モデルでは初期状態としてコンクリートの内部圧力と細孔中の表面張力が釣り合っていると仮定する。次に図-1 (A) に示すように、コンクリート内の細孔中に蓄えられている水分が乾燥により逸散し、ここに生じている表面張力（毛管力）のつり合いが崩れ、不平衡力をもたらしと仮定する。表面張力は単位長さ当たりの力で定義されることから、狭い空間ほど強い収縮力が働くことになる。

細孔内の水による表面張力を算出する。ここで、細孔中の水（キャピラリー）は図-1(B) のように半径 r 、高さ R の円筒形であると仮定する。この円筒内に生じる表面張力 Δp は、次式で表せる。

$$\Delta p = \gamma \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right) \quad (1) \text{式}$$

ここで、 γ は水の表面張力 (0.000072N/mm)。さらに、 $r=R$ とおくと、(1)式は

$$\Delta p = \frac{2\gamma}{r} \quad (2) \text{式}$$

となる。一方、キャピラリー半径の大きさと蒸発を開始する湿度の関係は表-1 のように報告されている¹⁾。例えばコンクリート内部の湿度が 89.9% になると 10nm の半径をもつキャピラリー水が蒸発を開始する。その結果、10nm 以上の大きさの細孔の表面張力が失われていくことになる。また、細孔径分布を測定することによって、細孔半径とその容積総量が求

められる。これより、個々の細孔を半径同じく高さ r の円筒形と仮定すると、細孔の数が計算できる。しかたして、細孔径ごとに、その個数が求められる。与えられた湿度において、失われる表面張力は次式で与えられる。

$$\Delta p_h = \frac{\sum_{i=1}^{\beta} \Delta p_i r_{si}^2 n_i}{\sum_{i=1}^{\beta} r_{si}^2 n_i} \quad (3) \text{式}$$

表面張力増分 Δp_h を体積弾性率 $k=E/(3(1-2\nu))$ でわることによって、(4)式より湿度変化量 Δh による乾燥収縮ひずみ増分が求められる。

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta p_h}{k} \quad (4) \text{式}$$

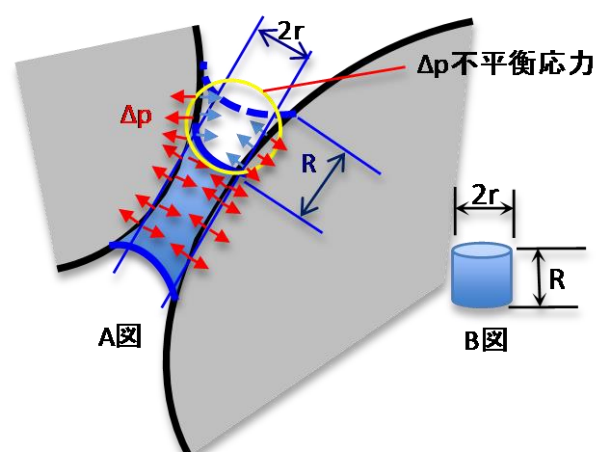


図-1 乾燥収縮モデルの概念図

表-1 相対湿度と細孔半径

半径	1 μ m	100nm	10nm	1nm
湿度	99.9%	99.0%	89.9%	34.8%

3. 実験地に基づく計算例

本モデルを検証例として、収縮試験の実験データとの比較を行う。収縮試験は図-2 に示す試験体を用いて、JIS A1129 に従って行った。試験体に用いたコンクリート配合を表-2 に示す。この実験では水セメント比を 45%, 50%および 55%の 3 種類とした。また、これらのコンクリートの材齢 7 日における細孔径分布を測定し、この分布を本提案モデルの計算に使用した。図-2 に示す試験体のコンクリート内部の湿度については、直接計測したものではなく、数値解析により求めた。解析プログラムは日本コンクリート工学会の JCMAC3 を使用した。解析条件として、材齢 7 日に乾燥を開始し、温度 20℃、湿度 60%の環境にあるとした。図-3 に解析モデルを、また、図-4 にコンクリート内部の断面平均湿度の履歴を示す。図-5 は計算に使用した水セメント比 55%、材齢 7 日における細孔径分布である。なおここでは示さないが、水セメント比 45%および 50%の場合についても測定を行っている。

4. 結果

図-6 に提案したモデルを使用した収縮ひずみの計算結果と実測値の比較を示す。計算結果では、細孔径分布の違いに起因して水セメント比によって収縮ひずみが異なっているが、実測では水セメント比の違いは明瞭ではない。しかしながら、本モデルによる計算結果は、実測を概ね表しうるものとなっていることが確認された。

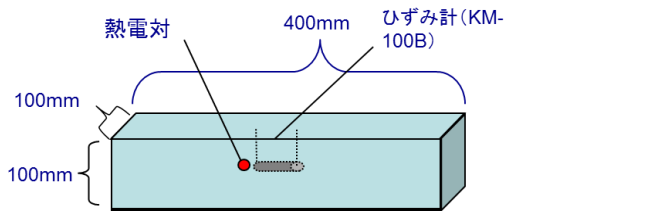


図-2 コンクリート試験体

参考文献

1) W. チェルニン：建設技術者のためのセメント・コンクリート化学

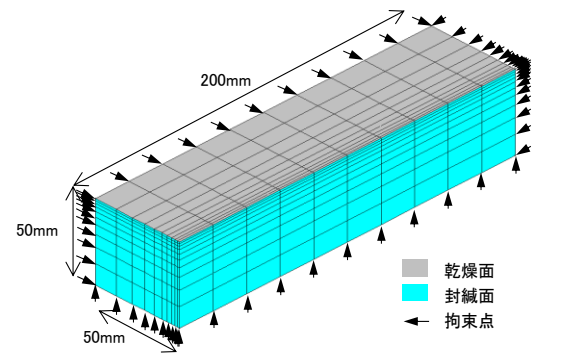


図-3 内部湿度の解析モデル

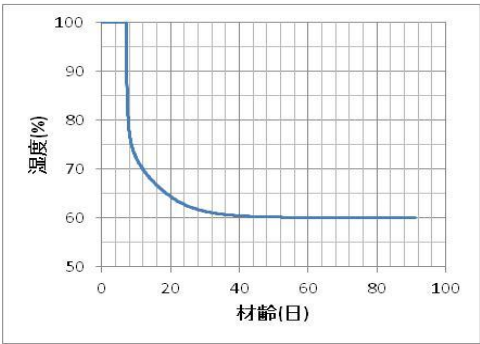


図-4 内部断面の平均湿度

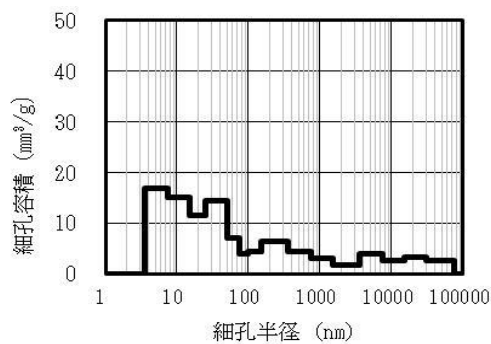


図-5 水セメント比 55%における細孔径分布

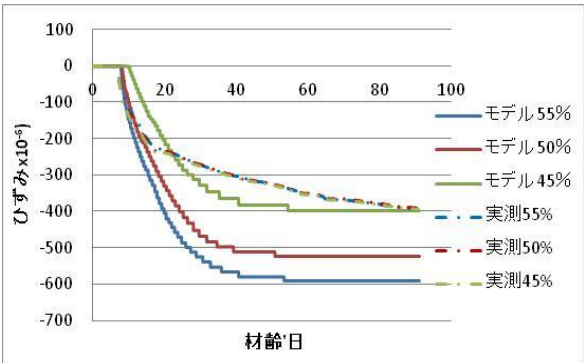


図-6 モデルと実測値

表-2 配合表

W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m3)						スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)
		W	C	S	G1	G2	AE減水剤			
55	43	160	291	756	634	423	0.0085c	9	6.3	27.4
50	42	160	320	730	637	425	0.007c	8.7	6	27.6
45	41	160	356	699	636	424	0.00625c	9	6.3	27.6