混合セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみ予測式におけるセメント係数の検証

東北学院大学　学生会員　○渡邊　裕輝
東北学院大学　正会員　石川　雅美
東北学院大学　半澤　隆一

１．目的

ここ数年の解析技術の発展により，コンクリートの乾燥収縮や自己収縮による応力についても温度応力と同様に具体的な数値的予測が可能となった。しかしながら，コンクリート中の相対湿度の変化とそれに伴う乾燥収縮ひずみとの一般的な関係については，JCI-TC911 委員会 1)が提案している予測式など散見されるにすぎない。同予測式は，JCMAC3 などの FEM 解析コードにも組み込まれ，乾燥収縮ひずみの算出に使用されているが，その入力パラメータであるセメント係数については，普通および早強セメントのみに推奨値が示され，混合セメントに関しては，その具体的な値が示されていないのが現状である。

そこで本研究では， その値について湿度変動の環境下の評価を行い、FEM 解析プログラムである JCMAC3 と予測式を比較し、差異を修正する補正関数を近似した。

２．乾燥収縮ひずみ予測式の概要および増分型の提案

JCI TC911 委員会は相対湿度とコンクリートの乾燥収縮について以下の式を提案している。

$$\varepsilon_{sh}(t,t_0)=\frac{\varepsilon_{sh\infty}\cdot(t-t_0)}{\beta+(t-t_0)} \tag{1}$$

ここに，$\varepsilon_{sh\infty}$：乾燥収縮ひずみの最終値（μ）
β　：乾燥収縮ひずみの経時変化を表す項
t　：コンクリートの材齢(日)
t_0　：乾燥開始時材齢(日)

$$\varepsilon_{sh\infty}=\frac{\varepsilon_{sh\rho}}{1+\varphi\cdot t_0} \tag{2}$$

$$\varepsilon_{sh\rho}=\frac{\alpha\cdot(1-h)\cdot W}{1+150\exp\left\{-\dfrac{500}{f'_c(28)}\right\}} \tag{3}$$

ここに，ϕ　：回帰分析によって求める係数
α　：セメントの種類により異なる係数
（普通　α＝11，早強　α=15）
h　：周囲の相対湿度(as decimal)
W　：単位水量(kg/m^3)
$f'_c(28)$　：28 日圧縮強度(MPa)

$$\beta=\frac{4\cdot W\cdot\sqrt{V/S}}{100+0.7\cdot t_0} \tag{4}$$

$$\varphi=10^{-4}\left\{15\cdot\exp\left(0.007\cdot f'_{c(28)}\right)+0.25\cdot W\right\} \tag{5}$$

本研究では乾燥収縮の進行速度を制御するために,式(4)における W にかかる定数である”4”を”γ”とおいてこれをパラメータとする修正を行った。

$$\beta=\frac{\gamma\cdot W\cdot\sqrt{V/S}}{100+0.7\cdot t_0} \tag{6}$$

上式よりα，γの値を定めることより，αの値から乾燥収縮ひずみの最終値，γの値から収縮の進行速度を推定することができる。すなわち，αの値が大きいほど，収縮の最終値が大きく，γの値が大きいほど収縮の進行速度が遅いと言える。

表－1　本実験の配合表

記号*	W/B(%)	s/a(%)	単位質量(kg/m³)									
			W	OPC	BB	FA	S	G1	G2	空気量(%)	混和剤(%)	スランプ(cm)
N	50	46.7	175	350	－	－	816	377	565	1.4	0.75	19.3
FA20	50	46.7	175	245	－	70	805	372	557	1.2	0.50	22.0
BB40	50	46.7	175	210	140	－	811	374	562	1.9	0.50	21.0

*ここで，N は普通セメント，FA はフライアッシュセメント，BB は高炉セメント使用，数字は置換率を示す

キーワード　フライアッシュ，混合セメント，乾燥収縮ひずみ，乾燥収縮ひずみ予測式，自由収縮試験
連絡先　〒985-8537　宮城県多賀城市中央一丁目 13 番 1 号　東北学院大学工学部
ＴＥＬ022-368-1116 E-mail：b0844212@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp

また，実際の構造物は周辺湿度が変動する環境下におかれるため，湿度が変動した場合においても対応できるよう同式を増分型で表す

$$\varepsilon_{sh(t-t_0)} = \sum\left\{\varepsilon_{sh(t_i-t_0)} - \varepsilon_{sh(t_{i-1}-t_0)}\right\} \quad (7)$$

ここで，式(3)における”h”はその時刻における相対湿度を代入する。

３．湿度変動時の乾燥収縮ひずみ予測式と本実験結果との比較

前節で示した乾燥収縮予測式を評価するため，100×100×400 の寸法，湿度変動のある環境下で自由収縮試験を行った。養生条件は 7 日間湿潤養生の後，脱型後上下面を乾燥面とし，その他の面はアルミテープを貼り封緘した。試験体の配合を表-1 に示す。試験結果と予測式との比較を図-1～3 に示す。ここで、予測式における α・γ の値は試験結果と合わせたものである。

この図から，α の値が N に比べて FA20 は低く，BB は大きいことから，収縮の最終値は N に比べて FA20 は小さく，BB は大きい。また，γ の値は N と FA20 が同値，BB40 は大きいことから，BB40 の収縮の進行速度は遅いことが分かる。

このように前節に示した式を用いることで，湿度変化に対応した乾燥収縮ひずみの予測について各種セメントの特性の違いを定量的に行うことができること確認した。

４．乾燥収縮ひずみの解析的検討

FEM 解析プログラムにより算出した乾燥収縮ひずみと予測式とを比較した。N コンクリートについての解析値と予測式および実験結果との比較を図－4 に示す。

この図からわかるように，予測式および実験結果に対して，グラフの増減に関しては概ね良好なものの，解析値の傾きは大きい値を示している。

このような差異が生じる要因として、予測式において”h”は試験体周辺の相対湿度を使用しているのに対して、解析プログラムでの”h”はコンクリート内部の湿度により計算されているためであると考えられる。さらに、予測式は材齢に対する収縮ひずみを算出しているのに対して、解析ではその時刻におけるコンクリート内部の湿度に対する $\varepsilon_{sh\rho}$ を収縮ひずみとして表されている。そのため，実際のひずみよりも解析値は大きく増減する結果となったと考える。

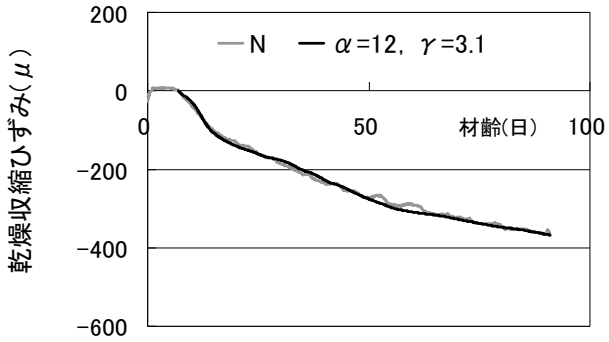

図-1　本実験結果と予測式との比較(N)

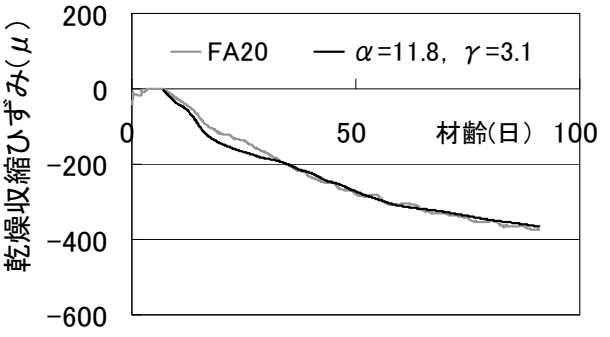

図-2　本実験結果と予測式との比較(FA20)

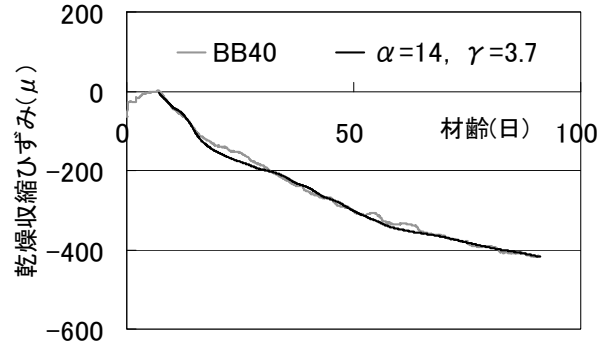

図-3　本実験結果と予測式との比較(BB40)

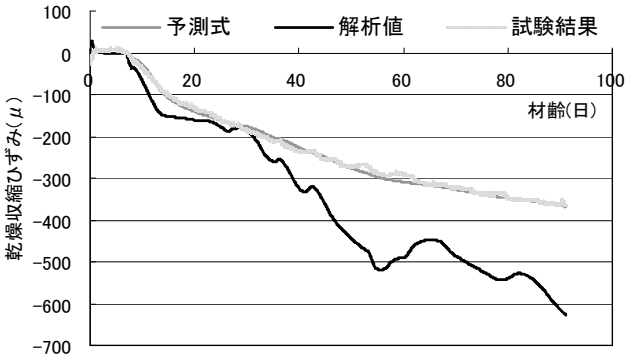

図-4　解析値と予測式および実験結果の比較

参考文献

1)　日本コンクリート協会コンクリート構造物のクリープおよび収縮による時間依存変形研究委員会報告書，pp. 101-121, 2001