

ポーラスコンクリートの乾燥収縮特性とその予測式に関する研究

STUDY ON DRYING SHRINKAGE CHARACTERISTIC OF POROUS CONCRETE AND ITS PREDICTION

張 茂 剛*, 三島直生**, 畑中重光***

Maogang ZHANG, Naoki MISHIMA and Shigemitsu HATANAKA

In this study, a series of experiments on drying shrinkage of porous concrete was carried out to examine the influence of void ratio and water cement ratio on drying shrinkage characteristic. As a result, the drying shrinkage of porous concrete occurs much faster than that of normal concrete. It was also found out that the final amount of drying shrinkage of porous concrete is smaller than that of normal concrete. In addition, such tendency was more obvious when void ratio became bigger. Based on the experimental result, the prediction equation of drying shrinkage of porous concrete was inferred where the water cement ratio and void ratio are being considered. It was demonstrated that the curve of drying shrinkage of porous concrete can be well predicted by using the formula obtained.

Keywords: Porous concrete, Drying shrinkage, Void ratio, Water cement ratio, Prediction

ポーラスコンクリート, 乾燥収縮, 空隙率, 水セメント比, 予測式

1. はじめに

ポーラスコンクリートは, その内包する多量の連続空隙により, 透水性や保水・揚水性といった普通コンクリートにはない様々な性能を持つことが注目され, 既に多方面において実用化が進められている¹⁾。

一方, ポーラスコンクリートの乾燥収縮特性に関する研究^{2),3)}はまだ少なく, その特性には不明な点が多い。ポーラスコンクリートの収縮による拘束の形態は, まだ明確にされていないが, 内的には, セメントペーストの収縮が骨材に拘束され, ひび割れが生じる可能性がある。また, 連続空隙から外的な影響要因が内部に速やかに進入できるため, ポーラスコンクリートの急激な体積変化が発生しやすいと予想されている。これにより, 短期間にひび割れが生じ, ポーラスコンクリートの使用性能と耐久性に悪影響を及ぼすことが懸念される。筆者らの調べた範囲では, これまでに, ポーラスコンクリートの乾湿繰返しに関する研究は見られるものの, 乾燥収縮によ

るひび割れに関する学術的な報告はほとんど無い。しかし, 工学的に信頼性の高い設計・施工を行うためには, 乾燥収縮特性の把握は不可欠である。このため, ポーラスコンクリートの乾燥収縮特性を明らかにすることは極めて重要である。

本研究では, これまでにあまり検討されていないポーラスコンクリートの基礎的な乾燥収縮特性を把握し, さらに, ポーラスコンクリートの乾燥収縮に対する普通コンクリートの乾燥収縮予測式の適用性を確認するとともに, ポーラスコンクリート用の乾燥収縮予測式を提案することを試みる。

2. 試験の概要

2.1 調査条件

供試体の使用材料を表1に, 調査表および空隙率, 圧縮強度の試験結果を表2に示す。本実験で検討した要因は, ポーラスコンクリートの空隙率および結合材の水セメント比である。また, 比較のた

表1 使用材料

種類	品質など	
POC*1	セメント	普通ポルトランドセメント(密度:3.17g/cm ³)
	粗骨材	単粒度砕石6号(産地:佐奈山産, 表乾密度:2.74g/cm ³ , 実積率:57.08%)
	混和剤	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)
普通*2	セメント	同上
	細骨材	川砂(産地:町屋川産, 表乾密度:2.55g/cm ³)
	粗骨材	単粒度砕石6号(同上)+単粒度砕石5号(産地:佐奈山産, 表乾密度:2.74g/cm ³ , 実積率:56.18%)
		混合比 6号:5号=1:1
	混和剤	同上

[注] *1 POC: ポーラスコンクリート *2 普通: 普通コンクリート

表2 コンクリートの調査表および試験結果

種類	目標空隙率 (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				28日圧縮強度 (MPa)
			W	C	S	G*1	
POC	15	30	136	454	—	1565	30.1
		25	101	405	—	1565	25.8
	20	30	112	372	—	1565	22.9
		35	121	344	—	1565	19.7
	30	30	63	210	—	1565	10.4
普通	4.5*2	60	193	322	751	1126	36.0

[注] *1 POCでは砕石6号(実積率57.1%), 普通コンクリートでは砕石5号と6号を混合して使用。

*2 空気量を示す。

* 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生・工修
** 三重大学大学院工学研究科 助教・博士(工学)
*** 三重大学大学院工学研究科 教授・工博

Graduate Student, Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., M. Eng.
Assist. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.
Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

表3 試験の流れ

材齢(日)	養生状態	作業内容
1	型枠内養生	脱型
1~12	水中養生 ^{*1}	空隙率の測定、キャッピング等
12~19	室内養生 ^{*2}	1日毎に長さの測定
19~60	室内養生	1週間毎に長さの測定
60~74	室内養生	2週間毎に長さの測定
74以降	室内養生	1ヶ月毎に長さの測定

[注] *1 空隙率の測定・キャッピングなどにより、実際の水中養生時間は9日以内。
*2 温度:20℃・湿度:60%RHの恒温室内で養生。

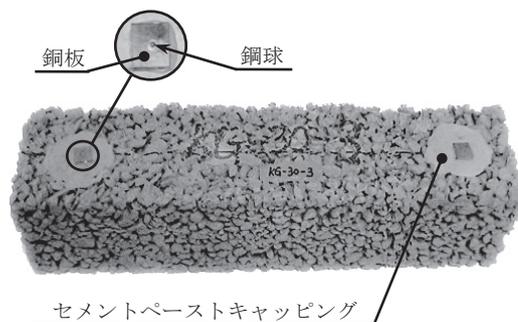


図1 長さ測定用ポーラスコンクリート供試体 (ゲージプラグは供試体側面に接着した)

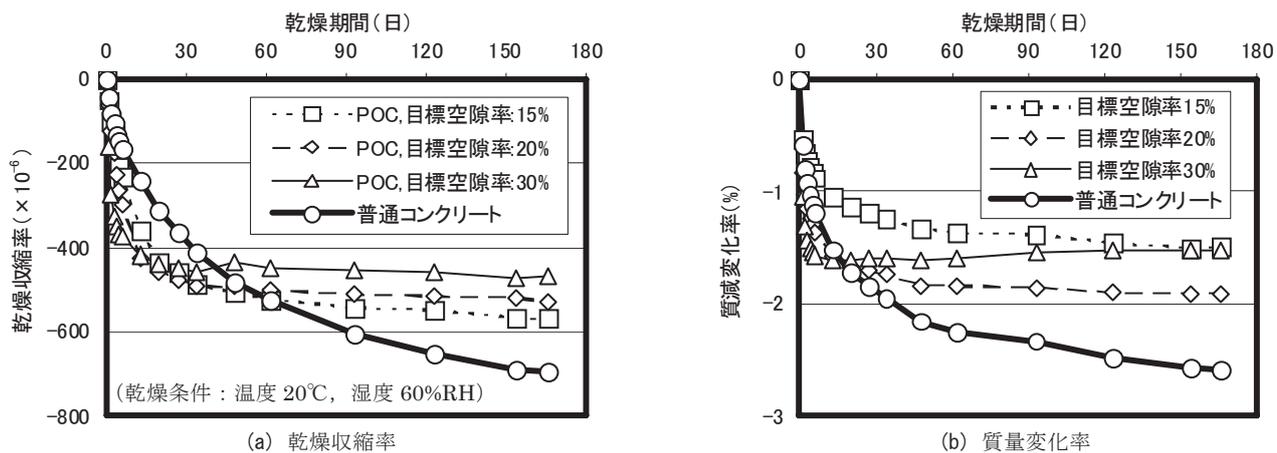


図2 空隙率の影響 (POCのW/C: 30%)

めに、セメントペースト、粗骨材に使用した岩石、および普通コンクリートの供試体も加えて乾燥収縮試験を行った。

2.2 供試体の製作

供試体は、JIS A 1129に従って、各調合で長さ測定用角柱供試体100×100×400mmを3本、圧縮試験用の円柱供試体φ100×200mmを6本ずつ作製した。ポーラスコンクリート供試体は、2層に分けて型枠に詰め、各層ごとに棒突きを行い、最後に表面振動機で10秒間締めを行った。セメントペーストおよび岩石は、それぞれ角柱供試体40×40×160mmおよび円柱供試体φ50×100mmを用いた。

2.3 試験方法

本試験では、供試体の長さ変化の測定は、JIS A 1129-2のコンタクトゲージ法で行った。コンタクトゲージ法で測定するために、図1に示すように、ポーラスコンクリート供試体の片側の側面にセメントペーストキャッピングをし、ゲージプラグを接着した。

表3に本試験の流れを示す。供試体の数が多いため、打設から24時間後に脱型をし、屋外水中で養生(平均水温7.5℃)を行い、水中養生は、空隙率の測定やキャッピングなどの作業を行いつつ、材齢12日まで行った。供試体は、材齢12日から恒温恒湿(温度20℃、湿度60%RH)の乾燥条件で養生し、長さ変化の測定を開始した。ポーラスコンクリートの乾燥収縮は、乾燥期間166日までにはほぼ収束した傾向が見られ、その後の収縮率の変動は小さいと考えられたため、試験を終了した。また、比較のために、セメントペースト、普通コンクリートおよびポーラスコンクリートは同一の試験条件にした。

3. ポーラスコンクリートの乾燥収縮特性

3.1 空隙率の影響

長さ変化率の測定は材齢178日(乾燥期間166日)まで行い、測定値には各調合で3本の試験体の収縮率の平均値を用いた。

図2には、乾燥収縮率および質量変化率に及ぼす空隙率の影響を示す。乾燥収縮の初期段階において、ポーラスコンクリートは空隙率が大きいほど、収縮速度が速くなる傾向が見られる。これは、空隙率が大きくなることにより、セメントペーストの膜が薄くなり、外気に接する表面積が増え、水分の損失が速やかになったためと考えられる。また、ポーラスコンクリートの乾燥収縮は、乾燥期間25日付近で収縮曲線が交差し、乾燥期間166日の時点で乾燥収縮率および質量変化率が共にほぼ収束し、空隙率が小さいほど全収縮率が大きくなった。

これに対し、普通コンクリートでは、初期の収縮速度はポーラスコンクリートと比べると緩やかであるが、乾燥期間166日の時点でも収縮が継続し、最終的には既往の研究²⁾と同様に、ポーラスコンクリートに比べて大きい全収縮率となった。

3.2 水セメント比の影響

図3に示すセメントペーストの測定結果によれば、水セメント比が大きいほど、乾燥収縮率と質量変化率も大きい。これに対し、図4に示すポーラスコンクリートにおいては、W/C35%の最終収縮率が他より若干大きくなった以外は明確な傾向が現れない結果となった。

3.3 岩石の乾燥収縮

今回の実験に使った砕石と同種の岩石の乾燥収縮試験結果を図5

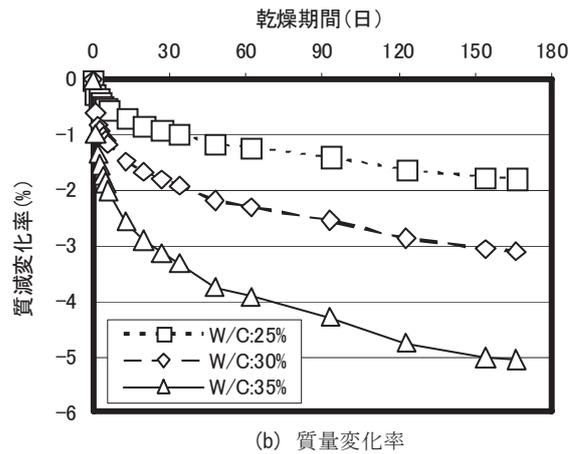
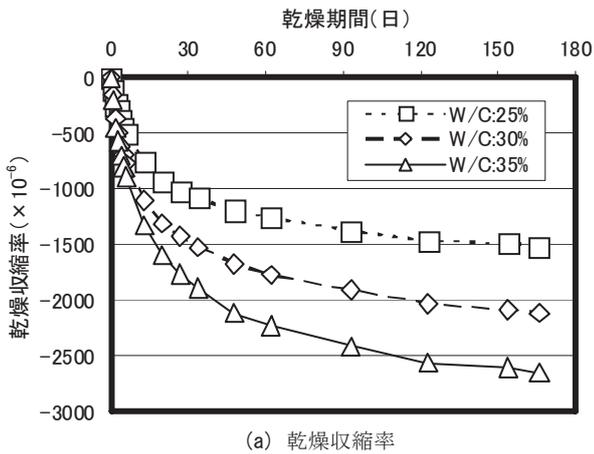


図3 W/Cの影響 (セメントペースト)

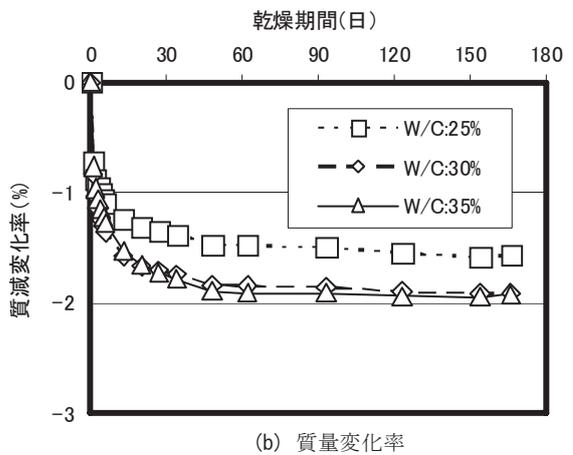
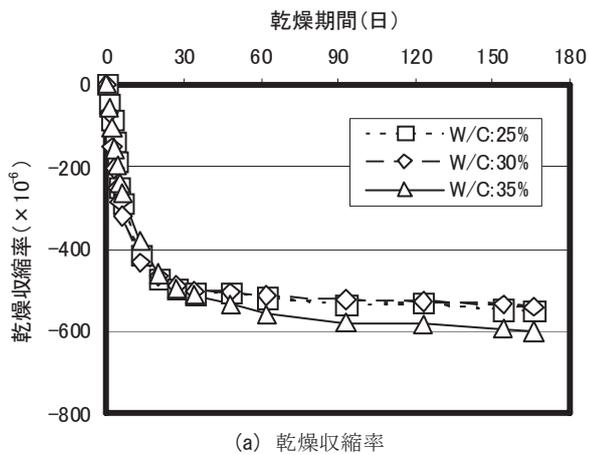


図4 W/Cの影響 (POCの目標空隙率20%)

に示す。岩石は水中 (20℃) に1週間浸漬した後、温度20℃、湿度60%RHの恒温室で乾燥させ、乾燥収縮率を測定した。岩石の乾燥収縮は乾燥期間34日でほぼ安定し、全収縮率は 116×10^{-6} 程度で、セメントペーストと比べて非常に小さい収縮量となった。

4. 普通コンクリートの乾燥収縮予測式

4.1 日本建築学会の予測式¹⁰⁾

普通コンクリートの乾燥収縮に関しては、数多くの予測式が提案されている。日本建築学会は、国内の試験データに対する適合性に配慮し、過去の試験データに基づく普通コンクリートの乾燥収縮予測式として式(1)～式(5)を提案している。

$$\varepsilon_{sh}(t, t_0) = \varepsilon_{sh\infty} \cdot P \quad (1)$$

$$\varepsilon_{sh\infty} = k \cdot t_0^{-0.08} \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{h}{100} \right)^3 \right\} \quad (2)$$

$$P = \left(\frac{t - t_0}{\alpha + (t - t_0)} \right)^\beta \quad (3)$$

$$k = (11 \cdot W - 1.0 \cdot C - 0.82 \cdot G + 404) \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \quad (4)$$

$$\alpha = 0.16 \cdot (V/S), \quad \beta = 1.4 \cdot (V/S)^{-0.18} \quad (5)$$

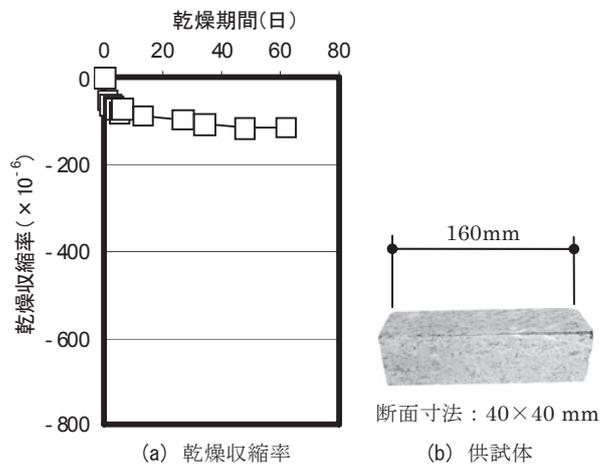


図5 岩石の乾燥収縮

ここに、 $\varepsilon_{sh}(t, t_0)$:乾燥開始材齢 t_0 日における t 日の乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$),
 W :単位水量 (kg/m^3),
 C :単位セメント量 (kg/m^3),
 G :単位粗骨材量 (kg/m^3),
 h :相対湿度 (%) ($40\% \leq h \leq 100\%$),
 V/S :体積表面積比 (mm) ($V/S \leq 300\text{mm}$),

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$:それぞれ、骨材の種類、セメントの種類、および混和材の種類の影響を表す修正係数

4.2 普通コンクリートの計算結果

式(1)～式(5)でポーラスコンクリートの乾燥収縮の計算をする前に、今回の普通コンクリートについて、調査条件を式(1)～式(5)に代入して計算し、試験結果と比較した。

普通コンクリートの計算に用いる定数 W, C, G, h, V および S は、

表2に示した調査および試験条件によって決め、乾燥開始材齢 t_0 は12日、骨材の種類の影響を表す修正係数 γ_1 は1.0(天然骨材)、セメントの種類の影響を表す修正係数 γ_2 は1.0(普通セメント)、混和材の種類の影響を表す修正係数 γ_3 は1.0(無混入)とした。

図6に、普通コンクリートの乾燥収縮試験値と式(1)～式(5)による計算値の比較を示す。計算による乾燥収縮曲線は、3本の供試体の実測曲線の範囲内に位置しており、試験結果とよく合っていることが分かる。

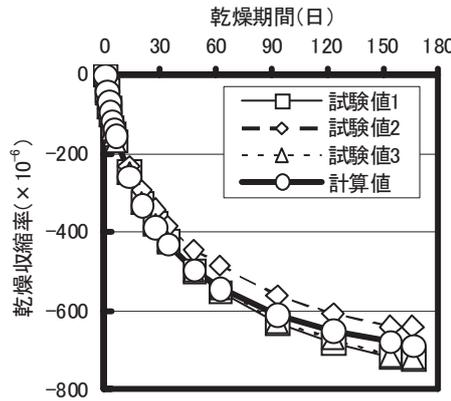


図6 普通コンクリートの試験値と計算値

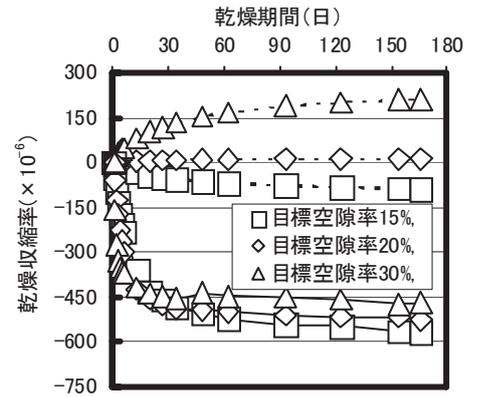


図7 試験値と直接計算値の比較
(実線は試験値、破線は計算値、W/C:30%)

5. ポーラスコンクリートの乾燥収縮ひずみの予測式

普通コンクリートおよびポーラスコンクリートは、何れもセメント硬化体であり、乾湿による体積変化は、水和生成物であるゲル粒子の微視的構造組織と、そこに存在する形態に密接にかかわっている¹⁰⁾。このため、普通コンクリートおよびポーラスコンクリートの乾燥収縮特性には共通点が多いと予想できる。

日本建築学会の普通コンクリートの乾燥収縮予測式〔式(1)～式(5)〕の考え方は、コンクリートの最終乾燥収縮ひずみ ϵ_{shc} に乾燥収縮期間の関数(進行度関数) P を乗じ、各乾燥期間の乾燥収縮ひずみ $\epsilon_{sh}(t, t_0)$ を算出するというものである。この考え方に基づいて、ポーラスコンクリートの乾燥収縮ひずみも、最終乾燥収縮ひずみ ϵ_{shc} と進行度関数 P の積で表現することができると考えられる。

5.1 普通コンクリートの予測式の適用性

普通コンクリートの乾燥収縮予測式〔式(1)～式(5)〕に、ポーラスコンクリートの調査および試験条件を代入し、その乾燥収縮曲線を求めた。ポーラスコンクリートの外気に接する表面積 S は、現状ではまだ測定方法がなく、求めることが困難な値である。今回の計算では、その表面積は供試体(直方体)の外部寸法(100×100×400mm)として、普通コンクリート供試体と同様な数値に設定して計算を行った。すなわち各修正係数は、 γ_1 を1.0(天然骨材)、 γ_2 を1.0(普通セメント)、 γ_3 を1.0(無混入)とした。

図7に、試験結果および式(1)～式(5)を用いた計算結果(以下、直接計算値)による乾燥収縮曲線の比較を示す。直接計算値は試験値から大きく外れているほか、試験では全て負の値(収縮)であるのに対し、正の値(膨張)となる計算結果も見られる。この結果から、普通コンクリートの乾燥収縮ひずみ計算式は、ポーラスコンクリートに直接は適用できないと判断できる。

5.2 ポーラスコンクリートの乾燥収縮の予測式

ポーラスコンクリートの乾燥収縮の予測式は、乾燥収縮ひずみを最終乾燥収縮ひずみ ϵ'_{shc} と、乾燥収縮進行度係数 P' の積で計算する考え方に基いて、下記の式(6)の形で計算することとした。

$$\epsilon'_{sh}(t, t_0) = \epsilon'_{shc} \cdot P' \quad (6)$$

$$P' = \left(\frac{t - t_0}{\alpha + (t - t_0)} \right)^\beta \quad (7)$$

ここに、 $\epsilon'_{sh}(t, t_0)$: POCの乾燥開始材齢 t_0 日における t 日の乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$),

ϵ'_{shc} : POCの最終乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$),

P' : 乾燥収縮進行度係数

$(t - t_0)$: 乾燥期間 (日),

α, β : 体積と表面積に関わる係数

ポーラスコンクリートの実測空隙率は、供試体によってばらつきが存在するため、同じ粗骨材と目標空隙率を持つ供試体でも、実測空隙率の差により、結合材の単位量は違うと考えられる。このため、式(6)以降の計算は、全てポーラスコンクリートの実測空隙率を用いて行う。また、ポーラスコンクリートの実測空隙率の誤差は、結合材量の変化のみによる(粗骨材の実積率は常に一定)と仮定し、以降の計算においては、各供試体の結合材の単位量は、それぞれの実測空隙率によって修正した値を用いた。

今回の試験では、乾燥期間166日までの時点でポーラスコンクリートの乾燥収縮が、完全に止まっていないため、その時点の乾燥収縮率は最終乾燥収縮ひずみとならない。このため、式(6)および式(7)において、乾燥期間 $(t - t_0)$ を変数として設定し、最小二乗法による回帰分析を行い、各供試体に対する最終乾燥収縮ひずみ ϵ'_{shc} および係数 α, β の値を求めた。

表4に、各供試体の実測空隙率、水セメント比 W/C 、最終乾燥収縮ひずみの推定値 ϵ''_{shc} 、および各パラメータ α, β の回帰分析結果と決定係数 R を示す。同一水準の試験体の場合には図8に示すように、ポーラスコンクリートの試験データのばらつきは、それほど大きくないが、近似式のパラメータの敏感性が大きいので、 α と β の回帰分析結果に極端に外れた数値も含まれている(図8中△印)。

これらの係数が他の解析結果から外れていることは明らかであるため、ここでは、試験データのばらつきが小さいことを勘案し、データ整理の便宜上、 α が0.1以下、 β が10以上のデータ(表4中の網かけ)は除外して考察を進める。

(1) 最終乾燥収縮ひずみ

ポーラスコンクリートに対して、式(1)～式(5)をそのまま適用した場合に、きわめて大きな誤差が発生した。原因としては、ポーラスコンクリートと普通コンクリートでは、最終乾燥収縮ひずみに対する各要因の影響が異なることが考えられる。ポーラスコンクリートの乾燥収縮予測式に関しては、普通コンクリートの式を参考に、これに空隙率 A を影響要因として取り入れ、最終乾燥収縮ひずみ $\epsilon'_{sh\infty}$ を式(8)によって表すこととした。

$$\epsilon'_{sh\infty} = \epsilon'_{sh\infty}(W, C, G, A, t_0, h, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) \quad (8)$$

- ここに、 W :単位水量 (kg/m³),
- C :単位セメント量 (kg/m³),
- G :単位粗骨材量 (kg/m³),
- A :空隙率 (%),
- t_0 :乾燥開始材齢 (日),
- h :相対湿度 (%),
- $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$:それぞれ、骨材の種類、セメントの種類、および混和材の種類の影響を表す修正係数

今回の乾燥収縮試験の検討範囲においては、式(8)中の影響要因のうち、単位粗骨材量 G 、乾燥開始材齢 t_0 、相対湿度 h が一定であるため、それぞれ一定値としておき、また、 A は W 、 C から計算することができるため、式(8)を縮約し、以下の式(9)を用いて検討する。

$$\epsilon'_{sh\infty} = \lambda_1 \cdot W + \lambda_2 \cdot C + \lambda_3 \quad (9)$$

(計算条件、単位粗骨材量:1565 kg/m³、乾燥開始材齢:12日、相対湿度:60%、骨材:天然骨材、セメント:普通セメント、混和材:無混入)

ここに、 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$:計算係数

表4に示す $\epsilon'_{sh\infty}$ の値を用いて重回帰分析により、式(9)中の係数を求めた。得られた最終乾燥収縮ひずみ $\epsilon'_{sh\infty}$ の計算式を式(10)に示す。

$$\epsilon'_{sh\infty} = 1.67 \cdot W - 0.07 \cdot C + 388 \quad (10)$$

$$R = 0.858$$

ここに、 R :重相関係数

供試体の調査条件を式(10)に入れて求めた最終乾燥収縮ひずみ $\epsilon'_{sh\infty}$ の計算結果と表4の回帰結果 $\epsilon'_{sh\infty}$ の比較を図9に示す。最終乾燥収縮ひずみの計算結果は、バラツキがあるものの、おおむね良好な精度が得られているといえる。

(2) 乾燥収縮進行度係数

普通コンクリートの計算式〔式(3)〕では、係数 α 、 β は体積表面積比 V/S の関数となっている。ポーラスコンクリートでは、体積

表4 供試体の実測空隙率と各パラメータの回帰結果

実測空隙率 (%)	W/C (%)	$\epsilon'_{sh\infty}$	α	β	R
17.25	30	550	1.44	2.36	0.999
18.13	30	550	2.08	1.91	0.998
17.50	30	517	0.05	82.37	0.996
10.38	30	576	3.33	2.47	0.998
10.75	30	613	4.84	1.36	0.999
12.25	30	586	7.22	1.08	0.999
30.50	30	444	0.11	5.67	0.987
30.25	30	482	0.00	1043.70	0.988
30.13	30	469	0.44	4.61	0.998
18.38	25	570	1.27	4.11	0.998
18.13	25	551	0.93	4.82	0.997
18.00	25	574	0.03	130.60	0.996
11.63	35	621	7.74	1.00	0.999
17.13	35	645	2.99	2.08	0.999
17.38	35	624	3.43	1.95	0.999

[注] : α, β の値が有効範囲から外れるもの
 $\epsilon'_{sh\infty}$: 最終乾燥収縮ひずみの推定値

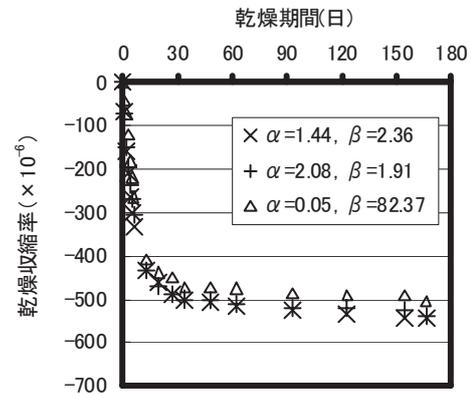


図8 実測乾燥収縮曲線の例

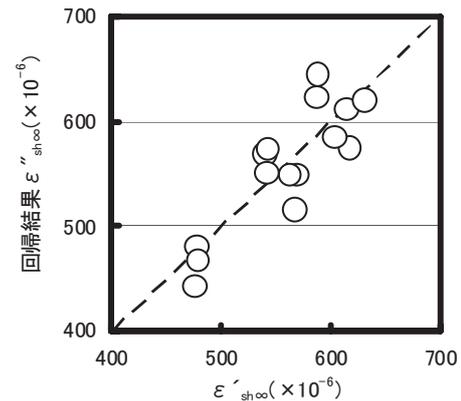


図9 最終収縮ひずみの計算値 $\epsilon'_{sh\infty}$ と回帰値 $\epsilon''_{sh\infty}$ の比較(絶対値)

表面積比 V/S を求めることができないため、普通コンクリートの計算式を参考とした式(7)における、 α と β の値と各調査要因の関係について検討する。

表4に示す係数 α とポーラスコンクリートの実測空隙率の関係を図10に、同係数 α と水セメント比の関係を図11に示す。2つのグ

ラフの比較から、 α と実測空隙率 A の間には明らかな相関性が見られる。これは、ポーラスコンクリートでは同じ粗骨材量の場合、空隙率が大きいほど、外気に接する表面積が大きくなるためと考えられる。これに対し、 α と水セメント比との間には明確な相関関係が見られない。このため、普通コンクリートの予測式における係数 α と体積表面積比 V/S の関係は、ポーラスコンクリートの場合、係数 α と空隙率 A の関係に置き換えて表現できると考えられる。

以上の結果から、係数 α の計算式は、空隙率 A をパラメータとして、回帰分析によって得られた式(11)とした。

$$\alpha = 35.5 \cdot \exp(-0.167 \cdot A) \quad (11)$$

係数 β と実測空隙率の関係を図 12 に、同係数 β と水セメント比の関係を図 13 に示す。係数 α と同様に、 β と実測空隙率 A との間には相関性が見られ、 β と水セメント比との間には明確な相関関係が見られない。このため、係数 β も空隙率 A との相関性だけに着目し、式(12)で近似することとした。

$$\beta = 0.193 \cdot A - 0.624 \quad (12)$$

(3) 乾燥収縮曲線の推定結果

以上の分析で得られた式(6)～式(12)を用いて、ポーラスコンクリート供試体の乾燥収縮曲線の推定を行った。図 14 に空隙率および水セメント比を変化させた場合の推定乾燥収縮曲線を示す。図 14(a)によれば、空隙率が大きいほど初期の乾燥収縮速度が速く、最終の乾燥収縮率が小さくなるといった、試験結果から得られた傾向が表現できている。図 14(b)によれば、水セメント比の影響に関しては、試験結果と若干異なり、水セメント比が大きいほど最終の乾

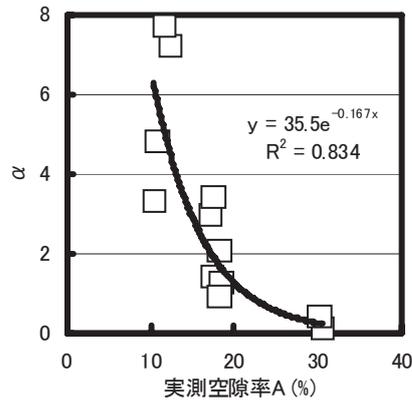


図 10 α と実測空隙率 A の関係

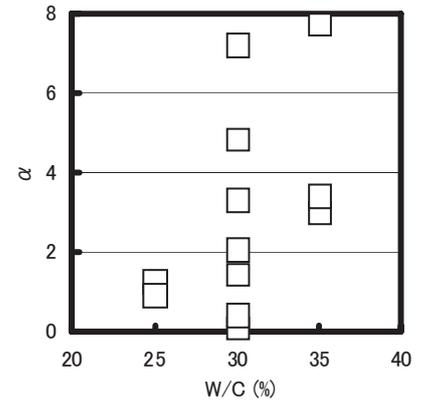


図 11 α と W/C の関係

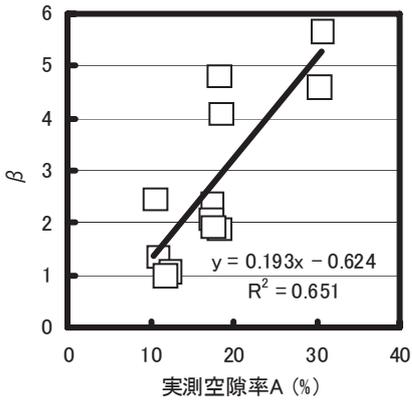


図 12 β と実測空隙率 A の関係

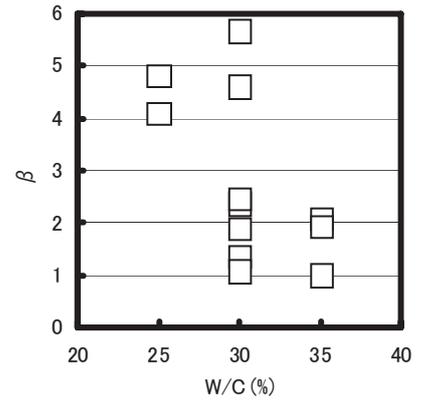


図 13 β と W/C の関係

乾燥収縮率がわずかに大きくなっている。

乾燥収縮曲線の実測値と推定値(いずれも 3 本の供試体の平均値)の比較を図 15 に示す。同図中に用いた試験結果は、図 2 および図 4 で用いたものと同一のものである。推定曲線は、実測曲線と概ね一致する結果となった。

6. まとめと今後の課題

本研究では、ポーラスコンクリートの基礎的な乾燥収縮特性を調べた。さらに、実験結果に基づき、水セメント比および空隙率をバ

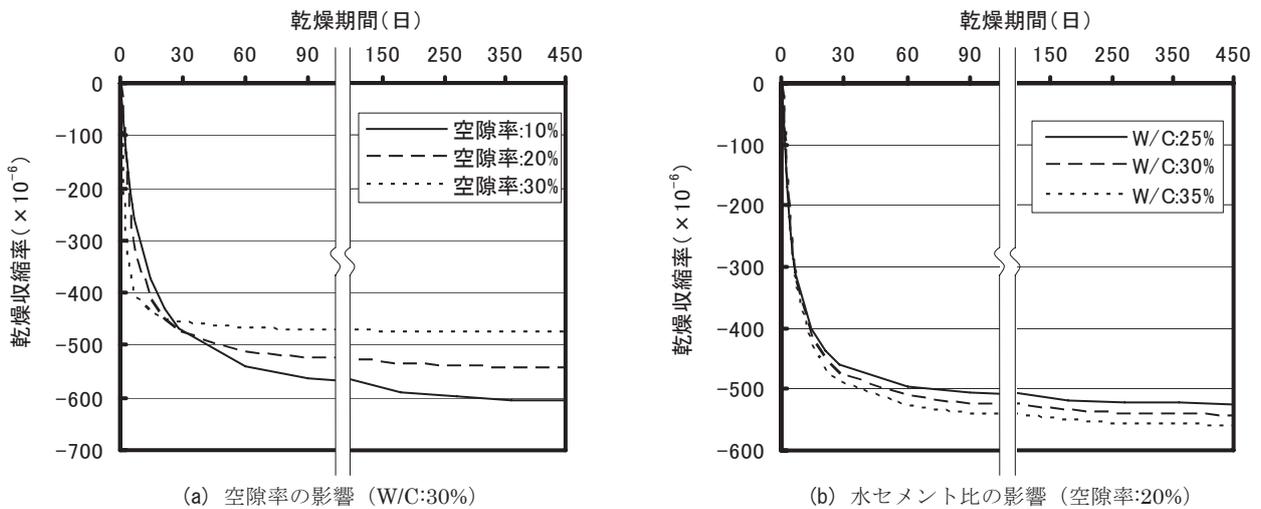


図 14 推定式による計算結果の例

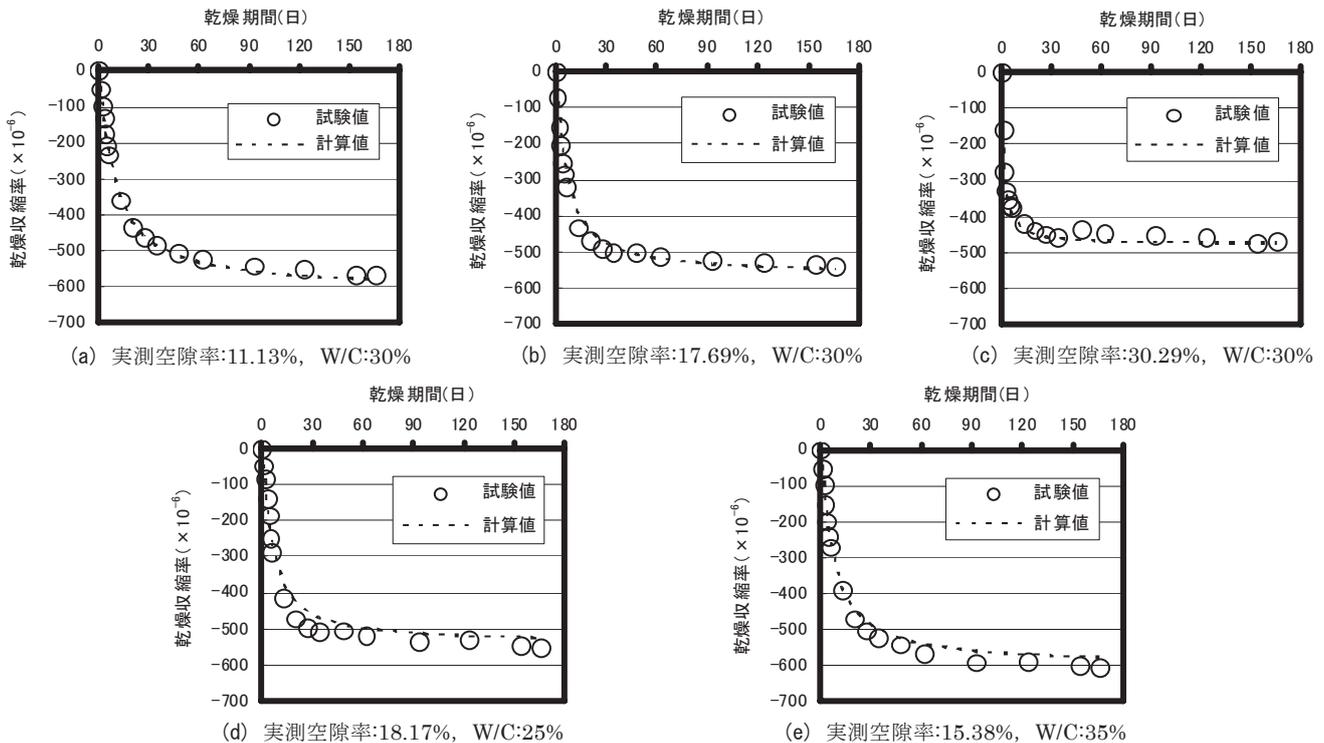


図 15 乾燥収縮の曲線の試験結果と推定結果の比較

ラメータとしたポーラスコンクリートの乾燥収縮挙動の予測式を提案した。提案式をまとめて【付録】に示す。

なお、今回の試験では、ポーラスコンクリート供試体は、全て同じ粗骨材を用いて作製したため、乾燥収縮に及ぼす骨材の影響は十分に検討できていない。今後、その他の調査要因の影響に関しても更なる検討が必要である。

謝辞

収縮試験に際して、東海コンクリート工業株式会社より、試験装置を貸与していただいた。本研究費の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究(B) (研究代表者：畑中重光) によった。付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) ポーラスコンクリートの設計・施工法に関する研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, p.231, 2003.5
- 2) 鄭木蓮, 陳栓發, 王秉綱: ポーラスコンクリートの収縮特性に関する研究, 中国西安建築科学技術大学学報, Vol.37, No.4, pp.483-487, 2005.12
- 3) 吉森和人, 岡本亨久, 下山善秀, 堀口剛: 植生ポーラスコンクリートの製造と耐久性に関する実験的研究, エココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム, pp.39-46, 1995.11
- 4) 張茂剛, 三島直生, 畑中重光: ポーラスコンクリートの乾燥収縮特性に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), A-1 材料施工, pp. 845-846, 2007
- 5) 張茂剛, 三島直生, 畑中重光: ポーラスコンクリートの乾燥収縮特性とそのモデル化に関する基礎的研究, 東海支部研究報告集 (日本建築学会東海支部), pp. 101-104, 2008.2
- 6) 張茂剛, 三島直生, 畑中重光: ポーラスコンクリートの乾燥収縮特性とその定式化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp. 277-282, 2008
- 7) 張茂剛, 三島直生, 畑中重光: ポーラスコンクリートの熱膨張特性に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), A-1 材料施工, pp. 585-586, 2008
- 8) 大野和男: モルタル及びコンクリートの乾燥収縮と亀裂防止に関する研究, 北海道大学工学部研究報告, No.9, pp. 49-110, 1953.12
- 9) 岸谷孝一, 馬場明生: 建築材料の乾燥収縮機構, セメント・コンクリート, No.346, pp. 30-40, 1975.12

- 10) 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針 (案), 日本建築学会, pp.53-60, pp.179-190, 2006

付録

本試験で得られたポーラスコンクリートの乾燥収縮の推定式を以下にまとめて示す。

$$\varepsilon'_{sh}(t, t_0) = \varepsilon'_{shc} \cdot P' \quad (6)$$

$$P' = \left(\frac{t - t_0}{\alpha + (t - t_0)} \right)^\beta \quad (7)$$

$$\varepsilon'_{shc} = 1.67 \cdot W - 0.07 \cdot C + 388 \quad (10)$$

$$\alpha = 35.5 \cdot \exp(-0.167 \cdot A) \quad (11)$$

$$\beta = 0.193 \cdot A - 0.624 \quad (12)$$

ここに、 $\varepsilon'_{sh}(t, t_0)$: POC の乾燥開始材齢 t_0 日における t 日の乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$),

ε'_{shc} : POC の最終乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$),

P' : 乾燥収縮進行度係数,

$(t - t_0)$: 乾燥期間 (日),

t_0 : 乾燥開始材齢 (日),

W : 単位水量 (kg/m^3),

C : 単位セメント量 (kg/m^3),

G : 単位粗骨材量 (kg/m^3),

A : 空隙率 (%),

推定式の適用範囲: 空隙率 A , 10%~30%; 水セメント比 W/C , 25%~35%; 単位粗骨材量, 1565 kg/m^3 ; 乾燥開始材齢, 12 日; 相対湿度, 60%; 骨材, 天然骨材; セメント, 普通セメント; 混和材, 無混入

(2009年5月10日原稿受理, 2009年10月15日採用決定)