

# 論文 実環境下におけるコンクリートの乾燥収縮ひずみの予測

綾野克紀\*1・阪田憲次\*2

**要旨**：本研究は、温度および湿度が変化する下でのコンクリートの乾燥収縮ひずみを予測する手法について検討を行ったものである。実環境下のコンクリートの乾燥収縮ひずみは、湿度よりも温度の変化によって大きな影響を受けることを示す。とくに、温度履歴の影響は大きく、夏に打設されるコンクリートよりも、冬に打設されたものの乾燥収縮ひずみの方が顕著に大きくなる。実環境下の乾燥収縮ひずみは、コンクリートをとりまく環境の平均温度、平均湿度の恒温恒湿度下で測定された乾燥収縮ひずみと温度履歴の影響とを考慮して予測する必要があることを示す。

**キーワード**：乾燥収縮ひずみ、環境温度、環境湿度、温度履歴、打設時季

## 1. はじめに

これまでに提案されている多くの乾燥収縮ひずみ予測式は、一定温度、一定湿度における乾燥収縮ひずみを予測するものであり、乾燥期間中の温度および湿度の変化の影響は明確に示されていない。そこで、本研究は、コンクリートをとりまく外気の温度および湿度が変化する下での乾燥収縮ひずみを、一定温度および一定湿度下で得られた乾燥収縮ひずみを用いて予測する手法について検討を行ったものである。本論文では、一定湿度下において一定温度および温度履歴が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響を実験的に明らかにする。さらに、実環境下のコンクリートの乾燥収縮ひずみにおいては、湿度変化の及ぼす影響が小さいこと、コンクリートの打設時季の影響が大きいことを示す。

## 2. 実験概要

実験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメントである。粗骨材には碎石（比重：2.75，吸水率：0.74，F.M.：6.47）を、細骨材には川砂（比重：2.61，吸水率：1.61，F.M.：2.51）を用いた。コンクリートの配合を表-1に示す。スランブは、 $5.1 \pm 3.3$ cmで、空気量は、 $2.1 \pm 0.1\%$ である。また、 $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体より得られた材齢28日における圧縮強度は、 $36.9 \pm 3.5$ MPaである。なお、乾燥収縮ひずみ試験には、14日間水中養生を行った $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱供試体を用い、ひずみの測定には、検長25cm、最小目盛り1/1000mmのホイットモア式ダイヤルゲージを用いた。

実環境下における乾燥収縮ひずみ試験は、雨および風の影響を受けない室内において実施した。実環境下において乾燥収縮ひずみを測定するコンクリート供試体の打設は、3月（気温14℃）、7月（気温

表-1 コンクリートの配合表

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
20	$5.1 \pm 3.3$	$2.1 \pm 0.1$	60	44.6	200	333	785	1027	—

\*1 岡山大学講師 環境理工学部環境デザイン工学科、工博（正会員）

\*2 岡山大学教授 環境理工学部環境デザイン工学科、工博（正会員）

表-2 温度履歴

1st period (70days)	2nd period (70days)	3rd period (70days)	4th period (70days)
5±0.5℃	20±1.0℃	35±1.0℃	20±1.0℃
20±1.0℃	35±1.0℃	20±1.0℃	5±0.5℃
35±1.0℃	20±1.0℃	5±0.5℃	20±1.0℃
20±1.0℃	5±0.5℃	20±1.0℃	35±1.0℃
5±0.5℃	5±0.5℃	35±1.0℃	
	20±1.0℃		
	35±1.0℃		
20±1.0℃	5±0.5℃		
	20±1.0℃		
	35±1.0℃		
35±1.0℃	5±0.5℃		
	20±1.0℃		
	35±1.0℃		

29℃)、9月(気温25℃)および12月(気温8℃)に行った。供試体本数は、それぞれ、1本である。また、コンクリートの線膨張率は、コンクリートの材齢および温度履歴に関係なく $9.6 (\times 10^{-6} / ^\circ\text{C})$ とし、計測されたひずみから熱ひずみを差し引き、乾燥収縮ひずみを求めている。

恒温恒湿度室内においてコンクリートに与えた温度履歴を表-2に示す。温度履歴の1区間は、70日である。また、室内の湿度は、いずれの温度履歴下においても $75 \pm 5\%$ の一定とした。供試体本数は、それぞれ、1本である。さらに、湿度を $75 \pm 5\%$ の一定とした条件で、5℃、12.5℃、20℃、27.5℃、35℃および42.5℃の一定温度下における乾燥収縮ひずみの測定を行った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1 一定温度下における乾燥収縮ひずみ

図-1は、乾燥開始後28日目および140日目における乾燥収縮ひずみと外気温の関係を示したものである。乾燥開始後28日目の乾燥収縮ひずみは、外気温にほぼ比例して大きくなっている。これに対して、乾燥開始後140日目の乾燥収縮ひずみは、5℃の温度下で測定されたものを除き、外気温によらずほぼ同じ大きさになっている。

図-2は、5℃、20℃および35℃の一定温度下における乾燥収縮ひずみの経時変化を示したものである。20℃および35℃の下で測定された乾燥収縮ひずみに比べて、5℃の下で測定されたものは顕著に異なることが分かる。図-3は、5℃、20℃および35℃の一定温度下において乾燥収縮ひずみを計測した供試体より得られた水分逸散量の経時変化を示したものである。この図からも明らかのように、水分逸散量においても、5℃の下で測定されたものは20℃および35℃の下で測定されたものよりも明らかに異なることが分かる。

すなわち、12.5℃から42.5℃の一定温度においては、外気温が高いほど乾燥収縮ひずみが終局値に達するのは早くなるが、終局値の大きさは、外気温の高さに関係なく、ほぼ同じ大きさとなる。ただし、12.5℃よりも低い温度下で測定される乾燥収縮ひずみと12.5℃以上の温度下で観測される乾燥収縮ひ

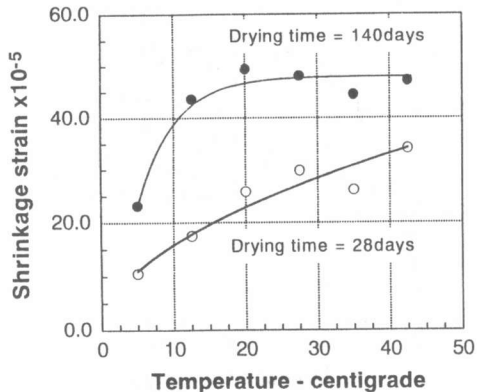


図-1 一定外気温下における温度と乾燥収縮ひずみの関係

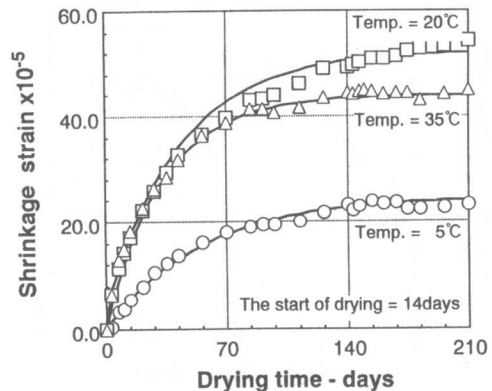


図-2 乾燥収縮ひずみの経時変化に及ぼす外気温の影響

ずみには、明確な差があるといえる。

### 3. 2 温度履歴の影響

図-4および図-5は、実環境下において測定されたコンクリートの乾燥収縮ひずみの経時変化を示したものである。図-4は、コンクリートの打設時季が春と秋の場合を図-5は、コンクリートの打設時季が夏と冬の場合を示している。春に打設を行ったコンクリートと秋に打設を行ったものは、乾燥開始後約60日目までほぼ同じ外気温下におかれるため、乾燥収縮ひずみの大きさに差がない。しかし、乾燥開始後約60日目を過ぎ、春に打設を行ったコンクリートを取りまく外気温が秋に打設を行ったコンクリートを取り

まく外気温よりも高くなると、乾燥収縮ひずみの大きさも、春に打設を行ったものの方が大きくなっている。しかし、乾燥期間が1年を超えると、両者の大きさに明確な差はない。一方、冬に打設を行ったコンクリートの乾燥収縮ひずみは、夏に打設を行ったものよりも、明らかに大きなものとなっている。すなわち、外気温が高くなる履歴下ほど、コンクリートの乾燥収縮ひずみは大きくなる事が分かる。

なお、図-4および図-5で、乾燥収縮ひずみが収縮から膨張に転じている期間がある。この期間は、いずれも、コンクリートを取りまく環境が冬の時季にあたる。温度履歴が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響および乾燥収縮ひずみが収縮から膨張に転じる現象を明確に再現するために、温度および湿度の調整可能な室内において、70日間は温度を一定に保つ温度履歴を与えた。その結果が、図-6および図-7である。

図-6は、春および秋に打設を行ったコンクリートが乾燥期間中に受ける温度履歴を想定し、20°C→35°C→20°C→5°Cおよび20°C→5°C→20°C→35°Cの温度履歴を与えたコンクリートの乾燥収縮ひずみである。図-7は、夏および冬に打設されるコンクリートを想定し、35°C→20°C→5°C→20°Cおよび5°C→20°C→35°C→20°Cの温度履歴を与えたコンクリートの乾燥収縮ひずみである。これらの図中の○、□および△は、それぞれ、外気温が5°C、20°Cおよび35°Cであることを示している。図-6および図-7

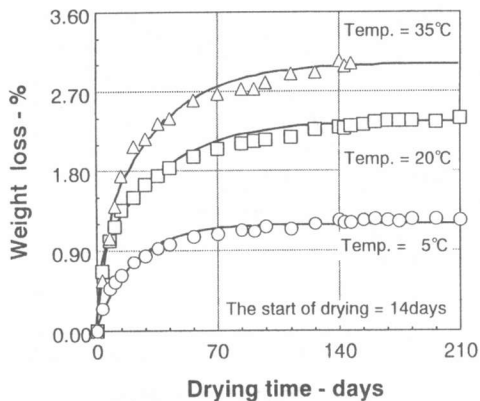


図-3 コンクリート中の水分逸散量

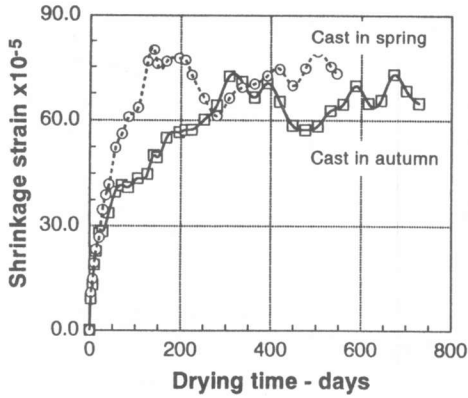


図-4 春および秋に打設を行ったコンクリートの実環境下における乾燥収縮ひずみ

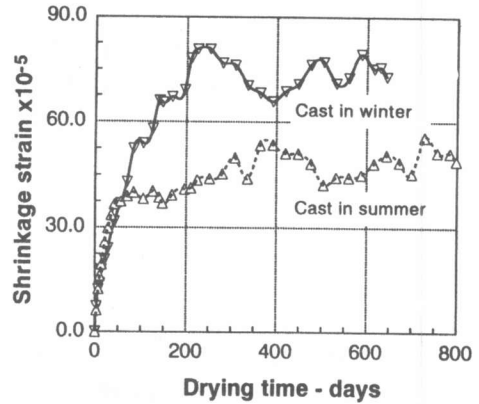


図-5 夏および冬に打設を行ったコンクリートの実環境下における乾燥収縮ひずみ

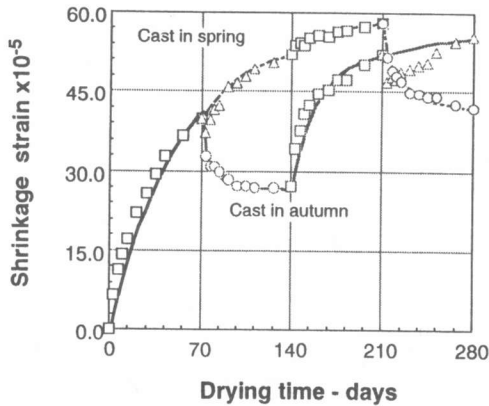


図-6 春および秋打設を行うコンクリートを想定した温度履歴下の乾燥収縮ひずみ

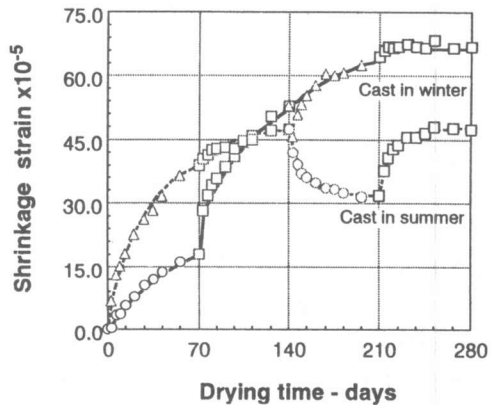


図-7 夏および冬打設を行うコンクリートを想定した温度履歴下の乾燥収縮ひずみ

の実験結果は、図-4および図-5に示した乾燥収縮ひずみの経時変化の傾向によく一致し、乾燥開始後1年の乾燥収縮ひずみの大きさもほぼ同じ程度である。図-6および図-7においても、冬打設を想定したコンクリートの乾燥収縮ひずみは、夏打設を想定したものよりも大きくなっており、春打設および秋打設を想定したコンクリートの乾燥開始後1年の乾燥収縮ひずみの大きさはほぼ同じである。また、20℃から5℃に外気温が下がる場合に乾燥収縮ひずみは、収縮から膨張に転じている。これらのことより、実環境下における乾燥収縮ひずみに及ぼす湿度の変化の影響は、温度履歴の及ぼす影響に比べて小さいといえる。

図-8は、外気温が、20℃から5℃に変化することによって生じる乾燥収縮ひずみの膨張現象を示したものである。乾燥開始後70日目に外気温を5℃とした場合も、140日目に5℃とした場合でも、乾燥収縮ひずみは、収縮から膨張に転じている。ただし、収縮から膨張に転じた後、最終的に達するひずみの大きさは、乾燥開始直後より5℃の室内におかれたコンクリートの乾燥収縮ひずみを下回ることはないことが分かる。また、図-9は、20℃の温度下で70日間乾燥を行った後、さらに、5℃、20℃および35℃の温度下で乾燥させた場合に生じるコンクリート中の逸散水分量を調べた結果である。この図から

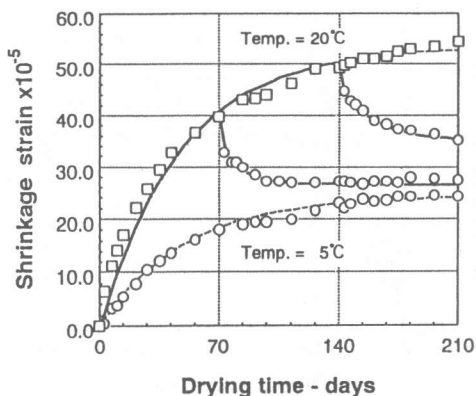


図-8 温度履歴を受けたコンクリートの乾燥収縮ひずみの膨張現象

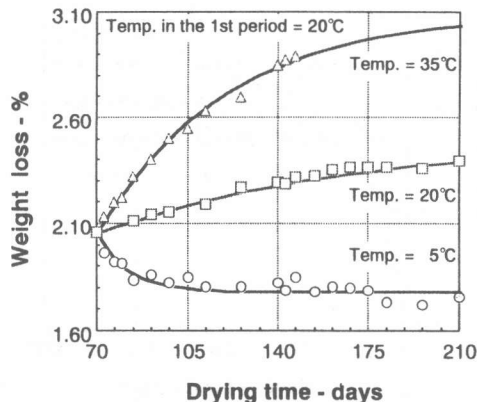


図-9 外気温の変化に伴うコンクリート中の水分逸散

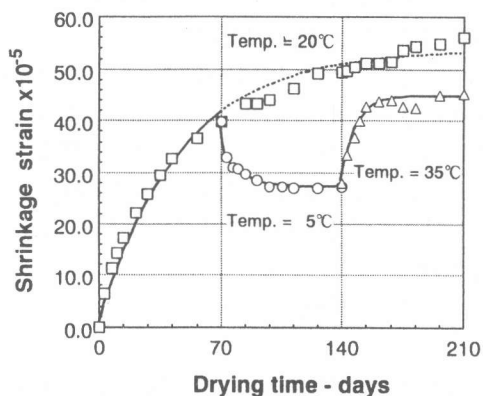


図-10 一定温度下と温度履歴を受けたコンクリートの乾燥収縮ひずみの関係

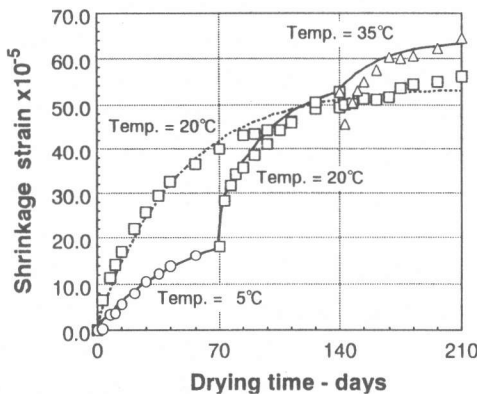


図-11 一定温度下と温度履歴を受けたコンクリートの乾燥収縮ひずみの関係

明らかなように、20℃から5℃の温度下におかれたコンクリートは、水分を吸収している。すなわち、水分が外気からコンクリート中に吸収され、乾燥収縮ひずみが収縮から膨張に転じていることが分かる。20℃で70日間乾燥を行ったコンクリート内部の水分量は、5℃で外気とコンクリート内部の水分移動が平衡状態に達している場合の水分量よりも少ないと考えられる。

図-10 は、一定温度下において、20℃→5℃の温度履歴下と20℃一定の温度下で測定された乾燥収縮ひずみの比較を行ったものである。また、図-11 は、5℃→20℃→35℃の温度履歴下と20℃一定の温度下で測定された乾燥収

表-3 温度履歴と乾燥収縮ひずみの関係

Temp. history			Shrinkage	
1st	2nd	3rd	$10^{-5}$	Rate
5℃	35℃	35℃	65.4	1.6
5℃	20℃	35℃	64.6	1.6
5℃	5℃	35℃	62.5	1.6
20℃	35℃	35℃	54.8	1.4
20℃	20℃	35℃	53.8	1.4
35℃	20℃	35℃	46.1	1.2
35℃	5℃	35℃	45.3	1.1
20℃	5℃	35℃	44.4	1.1
35℃	35℃	35℃	39.7	1.0

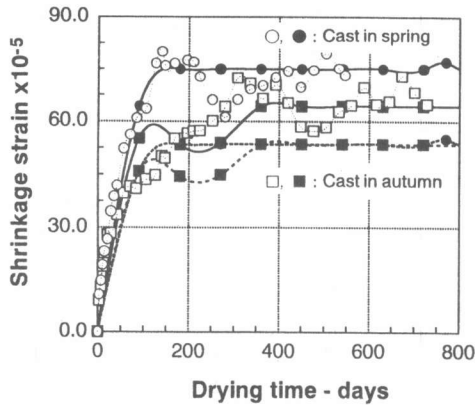


図-12 春および秋に打設を行ったコンクリートの乾燥収縮ひずみの予測

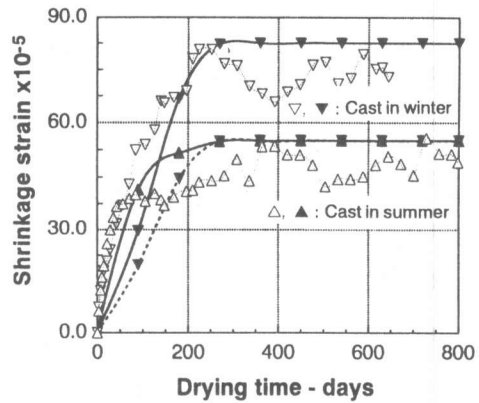


図-13 夏および冬に打設を行ったコンクリートの乾燥収縮ひずみの予測

縮ひずみの比較を行ったものである。20℃→5℃→35℃および5℃→20℃→35℃の温度履歴も、全乾燥期間における平均温度は20℃である。しかし、20℃→5℃→35℃の温度履歴を受けたコンクリートの乾燥収縮ひずみは、20℃一定の温度下で測定されたものよりも小さいのに対し、5℃→20℃→35℃の温度履歴を受けたコンクリートの乾燥収縮ひずみは、20℃一定の温度下で測定されたものよりも大きくなっている。また、表-3は、乾燥開始後140日から210日の期間、35℃の温度下におかれる温度履歴を受けたコンクリートの乾燥期間210日目における乾燥収縮ひずみの大きさを比較したものである。35℃一定の温度下におかれたコンクリートの乾燥期間210日目における乾燥収縮ひずみの大きさを1とした場合の比較からも明らかのように、5℃から単調に上昇する温度履歴を受けたコンクリートの乾燥収縮ひずみは、乾燥開始後210日目において、一定温度下のものの1.6倍に達することが分かる。

### 3. 3 実環境下における乾燥収縮ひずみの予測

図-12 および図-13は、実環境下の乾燥収縮ひずみを恒温恒湿度下で測定された乾燥収縮ひずみを用いて表した結果である。図中の○、□、△および▽は、それぞれ、春、秋、夏および冬に打設を行ったコンクリートの実環境下で測定された乾燥収縮ひずみである。●、■または▲と破線、および、▼と実線で示される曲線は、乾燥開始後から乾燥収縮ひずみを求める乾燥期間までの平均温度に等しい一定温度下で測定された乾燥収縮ひずみの大きさを示したものである。また、●、■および▲と実線で示される曲線は、●、■および▲と破線で表される乾燥収縮ひずみに、春および冬打設のコンクリートの場合は1.4を秋打設の場合は1.2を乗じて求めたものである。温度履歴によって乗じる係数をいくらにするかは、さらに多くの実験を重ねなければ決定できるものではない。しかし、乾燥開始後から乾燥収縮ひずみを求める乾燥期間までの平均温度に等しい一定温度下で測定された乾燥収縮ひずみと温度履歴に依存する係数を用いることにより、実環境下の乾燥収縮ひずみの大きさをほぼ的確に表すことができる。

## 4 まとめ

実環境下における乾燥収縮ひずみは、湿度変化の影響よりも温度履歴の影響を強く受ける。とくに、低温から上昇する温度履歴下の乾燥収縮ひずみは、一定温度下のものより大きくなる。このような実環境下の乾燥収縮ひずみを表すためには、乾燥開始後から乾燥収縮ひずみを求める乾燥期間までの平均温度に等しい一定温度下で測定された乾燥収縮ひずみと温度履歴に依存する係数を用いることが有効であることを示した。