

## 論文 簡易乾燥収縮試験法に関する研究

中村 士郎\*1・松崎 一郎\*2・金塚 美喜男\*3・今本 啓一\*4

**要旨:** 大規模な空調設備を必要とせず、塩飽和溶液を用いた簡易的な方法により恒湿環境を供給する簡易恒湿槽の開発およびこれを用いた乾燥収縮試験法に関する検討を行った。塩飽和溶液による方法では、コンクリートからの多量の水分放出が生じる乾燥開始直後に湿度を一定に保つことが困難であるが、平衡湿度の異なる2種類の塩飽和溶液を併用することにより、乾燥開始直後の調湿性能を改善することが可能であった。また、埋込みひずみゲージを用いることにより、塩飽和溶液による乾燥中の乾燥収縮ひずみの測定を小規模な試験装置で実現することが可能であった。提案する簡易乾燥収縮試験法により、JIS法と関連の高い乾燥収縮試験結果を得ることが可能であった。

**キーワード:** 乾燥収縮, 恒温恒湿環境, 塩飽和溶液

### 1. はじめに

コンクリート構造物のひび割れ抑制, 耐久性の確保を目的とし, 使用するコンクリートの乾燥収縮ひずみを施工前に把握する要求が高まっている。また, 骨材の変更や収縮低減剤の使用など乾燥収縮を低減する方法のニーズも極めて高いが, その効果は使用する材料, 配合によって異なり, コンクリートの乾燥収縮試験により確認する必要がある。

コンクリートの乾燥収縮を予測する手法に関する研究も盛んに行われている。28日程度までの短期間の実験データを用いることにより, 長期的な乾燥収縮を精度良く推定する手法<sup>例えば<sup>1)</sup></sup>が提案されている。しかし, 実験を必要とせず, 材料, 配合条件のみから乾燥収縮を高精度で予測できるまでには至っていないのが現状である。今後もコンクリートの乾燥収縮を試験により確認する機会は極めて多いと考えられる。

コンクリートの乾燥収縮試験は, JIS A 1129に従う長さ変化測定を温度  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ , 相対湿度  $60 \pm 5\%$ の恒温恒湿条件下で行うのが一般的である。恒温恒湿条件下でコンクリートを乾燥させるには大規模な空調設備が必要であり, JISに従う長さ測定にはコンタクトゲージなどの特殊な機器と熟練を要する。このため, コンクリートを製造するレディーミクストコンクリート工場において乾燥収縮試験を実施するのは設備面から困難な場合が多く, 専門の試験機関に外注されることが多い。今後, 乾燥収縮がコンクリートに対する要求性能として重視されていく中では, コンクリートの生産者自身により乾燥収縮試験を実施できる体制が望ましい。

本論文では, JISによる方法と同様に乾燥収縮を定量

評価でき, より簡易な機器, 設備により実施可能な簡易乾燥収縮試験法に関する検討を行った。

### 2. 簡易調湿方法

乾燥収縮試験を実施するには, コンクリートを乾燥させる恒温恒湿環境とひずみ測定が必要である。大規模な空調設備を必要とせず, 温度  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ , 相対湿度  $60 \pm 5\%$  (以下, 単に湿度とする)の恒温恒湿環境を実現する簡易調湿方法に関する検討を行った。

#### 2.1 調湿方法に関する検討

##### (1) シリーズ1: 臭化ナトリウム飽和溶液による方法

簡易な調湿方法として古くから知られている方法として, 塩飽和溶液を用いる方法がある。臭化ナトリウム飽和溶液 (以下, NaBr 溶液) の平衡湿度は  $20^\circ\text{C}$ において  $58\%^2)$  であり, この塩飽和溶液を使用した恒湿保存箱による方法は, JIS A 1129-1975にも記載されている。

シリーズ1として, NaBr 溶液を用いた調湿性能を把握する実験を行った。シリーズ1の実験概要と結果を表1に示す。ケース1-1, 1-2では, 水道水1リットルに対して1.2kgのNaBrを投入したNaBr飽和溶液を直径30cm, 容積20リットルの円筒容器内に入れ, 溶液上の空間に  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体をそれぞれ1, 2本設置した。ケース1-3は, 供試体数を2本, NaBr溶液量を倍の2リットルとした。ケース1-4では, 容器の寸法を  $54 \times 34 \times 32\text{cm}$ , 容積を60リットルと大きくし, 容器内の空気を循環させるため, 直径80mm, 回転数1200rpm, 最大風量  $0.4\text{m}^3/\text{min}$ のファンを設置した。

いずれのケースも容器を密閉し, 容器内の湿度を静電容量型の湿度センサにより24時間測定した。実験は20

\*1 住友大阪セメント (株) セメント・コンクリート研究所 工博 (正会員)

\*2 東京エスオーシー (株) 芝浦工場

\*3 東京エスオーシー (株) 顧問 (正会員)

\*4 東京理科大学 工学部第二部建築学科准教授 工博 (正会員)

±2℃の恒温室内で実施した。また、円柱供試体は水セメント比55%のコンクリートで作製し、3ヶ月以上水中養生したものを表乾状態にして用いた。

表-1に示す1日後の容器内湿度は、供試体を1本設置したケース1-1において63%であったのに対して、供試体を2本設置したケース1-2では99%に達した。ケース1-2では、供試体から蒸発した水分をNaBr溶液により吸湿しきれなかったものと判断される。溶液量を倍にしたケース1-3では1日後の容器内湿度が74%となり、ケース1-2に比べて湿度は低下した。NaBr溶液の吸湿能力は溶液量の増加に伴って向上したものの、1日後の湿度は十分低くない。容器容積の大きなケース1-4においては、同一逸散水分量に対して湿度の上昇が緩和されるため、供試体を3本としても槽内湿度は68%まで低下した。ファンの導入による槽内の空気循環がNaBr溶液の吸湿能力を改善した効果もあると考えられる。

このように、NaBr溶液を用いることにより、水分が蒸発するコンクリートを入れた密閉空間中の湿度を低下させることが可能であるが、ケース1-1~4の範囲では1日で目標とする湿度60%まで湿度を低下させることができなかった。溶液量を十分に確保することにより、長期的には平衡湿度である58%程度まで湿度を低下させることが可能であると考えられるが、乾燥収縮試験における乾燥初期において、それほど大きくない容器中の湿度を下げるのは困難であると判断される。

表-1 シリーズ1:実験要因および結果

ケース	溶液量 (リットル)	槽容積 (リットル)	循環ファン	供試体* (本)	容器内湿度 (%) (1日後)
1-1	1	20	なし	1	63
1-2				2	99
1-3	2	60	あり	2	74
1-4				3	68

\*φ10×20cm、材齢3ヶ月以上のものを表乾状態にして使用

## (2) シリーズ2：2種類の塩飽和溶液を用いる方法

シリーズ1の検討から、NaBr溶液を用いた方法では乾燥初期に湿度を下げるのが困難と考え、平衡湿度のより低い塩飽和溶液を併用する方法を検討した。20℃における平衡湿度が32%<sup>2)</sup>とされる塩化カルシウム飽和溶液(以後、CaCl<sub>2</sub>溶液)とNaBr溶液を用いた基礎的検討を行ったシリーズ2の実験概要と結果を表-2に示す。なお、以後の検討においては、水道水に対して2倍の重量の塩(NaBrまたはCaCl<sub>2</sub>)を投入した塩飽和溶液を用いた。

ケース2-1では、26リットルの容器内に0.5リットルのNaBr溶液と0.3リットルのCaCl<sub>2</sub>溶液を設置した。ケース2-2では、同様に0.5リットルのNaBr溶液と0.15リットルのCaCl<sub>2</sub>溶液を用いた。ケース2-3では、容器

を76×53×49cm、容積200リットルと大型化し、3リットルのNaBr溶液と0.5リットルのCaCl<sub>2</sub>溶液を用いた。NaBr溶液は液面が48×29cm、CaCl<sub>2</sub>溶液は液面が28×17cmとなるバットに入れ、容器底部に設置した。シリーズ2では、2種類の溶液を用いた場合の湿度を把握することを目的とし、コンクリート供試体は用いていない。いずれのケースもシリーズ1と同様の方法で容器内の湿度を測定した。

1日後の容器内の湿度を表-2に示す。CaCl<sub>2</sub>溶液量に対してNaBr溶液量が多くなるほど、容器内の湿度は上昇した。容器を200リットルに大型化した上で、ケース2-1およびケース2-2の結果から2種類の溶液量比を6:1としたケース2-3では湿度が58%となり、適当な溶液量比を、CaCl<sub>2</sub>溶液を1に対してNaBrを6とすることにした。

表-2 シリーズ2:実験要因および結果

ケース	槽容積 (リットル)	溶液量(リットル)		NaBr / CaCl <sub>2</sub>	容器内湿度 (1日後)
		NaBr	CaCl <sub>2</sub>		
2-1	26	0.5	0.3	1.7	52%
2-2	26	0.5	0.15	3.3	56%
2-3	200	3.0	0.5	6.0	58%

次に、一般的な乾燥収縮試験の養生条件である7日間標準養生したコンクリート供試体を、ケース2-3の条件により乾燥させた。水セメント比55%、単位水量173kg/m<sup>3</sup>のコンクリート供試体を作製し、φ10×20cm円柱供試体6本を200リットルの調湿容器に入れ、容器内湿度を測定した。

乾燥開始から28日間の調湿容器内および容器を設置した温度20℃の恒温室内の湿度を図-1に示す。容器を設置した室内の湿度は、実験期間中最大80%から最小40%程度まで日によって大きく変動している。一方、調湿容器内の湿度は、乾燥開始直後に80%を超えるものの急速に低下し、開始から0.75日程度で65%を下回った。その後湿度は57%まで低下し、CaCl<sub>2</sub>溶液を取出した9日目に一旦62%まで上昇した後、再び緩やかに低下した。乾燥開始から0.75日以降は60±5%、1.5日以降では60±3%の範囲に調湿可能であったと判断できる。開始から

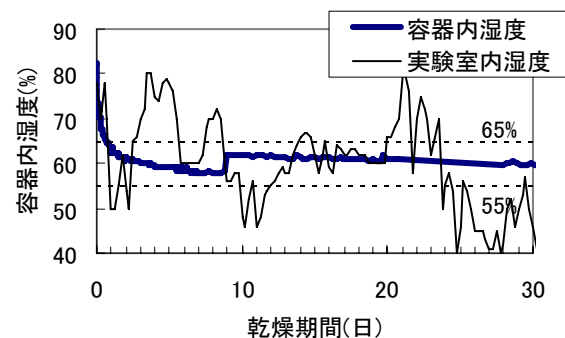


図-1 調湿結果(ケース2-3の条件、供試体6本設置)

9 日目に CaCl<sub>2</sub> 溶液を取出した時点で測定した溶液の質量は、NaBr 溶液が 4g の減少、CaCl<sub>2</sub> 溶液が 282g の増加であった。本実験では供試体の重量変化を測定していないため、同様の配合を乾燥収縮試験した場合の重量減少率データを参考に乾燥 9 日における重量減少率を 1.3% と見積もると、6 本の円柱供試体から蒸発した水量は約 280g となり、コンクリートから蒸発した水分のほぼ全てが CaCl<sub>2</sub> 溶液に吸収されたものと考えられる。

### (3) シリーズ 3 : 調湿性能に与える要因の検討

ケース 2-3 で用いた 200 リットルの調湿容器を使用し、供試体数、溶液量やコンクリートからの逸散水量が調湿性能に与える影響を検討するシリーズ 3 の実験を実施した。シリーズ 3 の実験概要を表-3 に示す。ケース 3-1, 3-2 はケース 2-3 と同じ条件によりコンクリートを乾燥させたものであり、コンクリートの単位水量が 163kg/m<sup>3</sup>, 179kg/m<sup>3</sup> と異なる。ケース 3-3 は、ケース 3-1 に対して供試体数を倍の 12 本とした。ケース 3-4 は、ケース 3-1 に対して供試体本数は同じだが、塩飽和溶液の量を半分とした。

表-3 シリーズ3:実験要因

ケース	槽容積 (リットル)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	供試体数	溶液量(リットル)	
				NaBr	CaCl <sub>2</sub>
3-1	200	163	6	3.0	0.5
3-2		179	6		
3-3		163	12	1.5	0.25
3-4		163	6		

シリーズ 3 の実験における、調湿容器内の湿度変化を図-2 に示す。ケース 3-1 およびケース 3-2 における湿度は、ケース 2-4 と同様に、乾燥開始から 1 日以内に 65% 以下に低下し、60±5% の調湿が可能であった。コンクリートの単位水量の違いに伴う調湿性能の変化は、本実験の範囲では認められなかった。供試体本数を 12 本としたケース 3-3 では、湿度の低下が緩やかであり、乾燥開始から 3 日間は湿度が 65% 以上となった。また、7 日目に CaCl<sub>2</sub> 溶液を除去した後は、再び湿度が 65% 以上に上昇した。供試体数の増加に伴いコンクリートからの逸散水量が増加したため、ケース 3-3 の条件においては

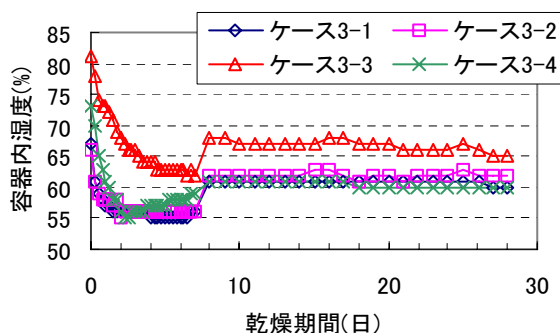


図-2 調湿結果(シリーズ3)

容器内を調湿するのは困難と判断できる。供試体数を 6 本とし、塩飽和溶液量を半分としたケース 3-4 における湿度も、溶液量が倍のケース 3-1 に比べて湿度低下が遅いのに加えて、3 日目には増加に転じた。ケース 3-4 で見られた調湿中の湿度増加は、CaCl<sub>2</sub> 溶液中に溶け残った CaCl<sub>2</sub> が消失し、溶液の吸湿能力が失われたためであると考えられる。したがって、塩飽和溶液の量は、コンクリートからの逸散水量に対して十分余裕を持って設定する必要がある。

### (4) 調湿容器の小型化に関する検討

シリーズ 2 およびシリーズ 3 において、200 リットルの調湿容器の調湿性能を検討し、概ね良好な結果が得られた。しかし、200 リットルの容器は寸法が大きく、持ち運びも容易でない。シリーズ 3 で得られた供試体数、溶液量と調湿性能の関係を考慮し、供試体を 3 本収納して 60±5% の調湿が可能で容器の小型化を検討した。

調湿容器の小型化を検討するために、コンクリートからの水分蒸発を塩飽和溶液により調湿する挙動について、以下の仮定に基づき、式(1)のようにモデル化した。

- ・ 調湿溶液 2 液 (NaBr, CaCl<sub>2</sub> 飽和溶液) の調湿量は雰囲気湿度と平衡湿度の差に比例する。
- ・ コンクリートからの逸散水量は、同一配合のコンクリート重量変化から求めた式(3)で近似できる。

$$\frac{dRh}{dt} = \alpha_1(Rh_1 - Rh) + \alpha_2(Rh_2 - Rh) + \frac{dRh_m}{dt} \quad (1)$$

$$Rh_m = \frac{W \times weight}{H_{saturate}} \times 100 \quad (2)$$

$$W = 2.46 \times (1 - \exp(-0.24t^{0.53})) \quad (3)$$

ここで、

$Rh$  : 容器内の湿度(%)

$Rh_1, Rh_2$  : NaBr 溶液, CaCl<sub>2</sub> 溶液の平衡湿度(%)

$Rh_m$  : コンクリートからの水分蒸発による湿度増加式(2)により計算する。

$\alpha_1, \alpha_2$  : NaBr 溶液, CaCl<sub>2</sub> 溶液の調湿速度係数 (1/日)

$t$  : 乾燥期間 (日)

$weight$  : 容器内コンクリートの初期重量(kg)

$V$  : 容器容積 (m<sup>3</sup>)

$H_{saturate}$  : 温度 20°C の空気の飽和水蒸気量 = 17.3g/m<sup>3</sup>

乾燥開始から NaBr 溶液を取り出す 7 日目までのケース 3-1~3-4 の実験結果にこのモデルを適用し、各ケースでの調湿溶液の調湿速度係数  $\alpha_1, \alpha_2$  を同定した結果を表-4 に示す。また、表-4 の係数を用いて逆計算した湿度変化を図-3 に示す。図-3 の逆計算結果は図-2 に示した実測データの特徴をよく表しており、モデルは概ね妥当であると判断できる。ケース 3-1 を基準に各ケース

の速度係数を比較すると、コンクリートの単位水量のみ異なるケース 3-2 はほぼ同等の速度係数となり、溶液量を半分としたケース 3-4 はケース 3-1 に対してほぼ半分の速度係数となった。したがって、調湿溶液固有の単位速度係数×溶液量が各ケースで得られた速度係数となっている可能性がある。ただし、供試体数の多いケース 3-3 では CaCl<sub>2</sub> 溶液の速度係数が負の値をとるなど解釈しがたい結果も含まれており、今後原因を検討する必要がある。

表-4 調湿速度係数の推定結果(シリーズ3)

ケース	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	供試体数	溶液量 (リットル)		調湿速度係数 (1/日)	
			NaBr	CaCl <sub>2</sub>	$\alpha_1$ (NaBr)	$\alpha_2$ (CaCl <sub>2</sub> )
3-1	163	6	3.0	0.5	443	74
3-2	179	6			549	72.8
3-3	163	12	1.5	0.25	370	-31.7
3-4	163	6			226	34.4

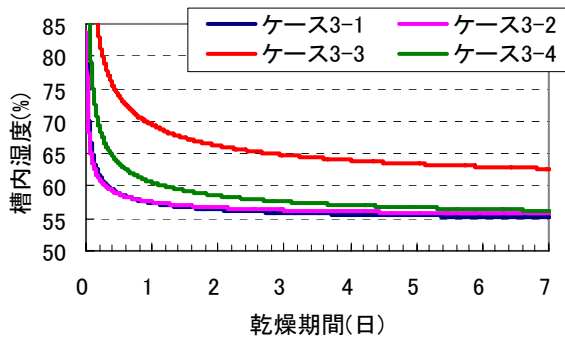


図-3 槽内湿度の逆計算結果(シリーズ3)

このように本モデルは問題点も残されているものの、コンクリートと2種類の調湿溶液が共存した調湿容器内の湿度を予測でき、調湿溶液の速度係数は溶液量に依存すると考えられる。そこで、基本ケースであるケース 3-1 の実測データより得られた速度係数を真値と仮定し、容器容積、供試体数を変化させた表-5 に示す仮想ケース 3-5、3-6、3-7 の調湿挙動をシミュレーションした。容器容積を半分の 100 リットルとし、供試体数、溶液量を変化させたものである。速度係数は溶液量に比例するものとして、ケース 3-1 の値を基に定めた。槽容積と供試体数の変化は、式(2)におけるコンクリートからの放湿による湿度増加  $Rh_{in}$  にて考慮される。

ケース 3-1 および仮想ケース 3-5~3-7 における推定湿度変化を図-4 に示す。容器容積を 100 リットルとした場合、溶液量や供試体数を基準ケース 3-1 と同じにしたケース 3-5 では、湿度低下が遅くなる。供試体数を半分の 3 本としたケース 3-6 の調湿挙動はケース 3-1 と同一になる。また、溶液量を標準量の半分としたケース 3-7 では湿度低下が遅くなり、ケース 3-5 と同一の調湿挙動となる。つまり、容器容積を半分に小型化した上で同様

の調湿能力を発揮させるには、溶液量はそのままに供試体数を半分の 3 本にすれば良いと予想される。さらに一般的には、溶液量一定条件のもと、調湿能力は「容器容積/供試体数」に応じてほぼ決まるものと考えられる。なお、ここまでの検討において、塩飽和溶液の量のみに着目しているが、溶液量が一定でも、その表面積が大きいほど調湿速度は大きくなるものと考えられる。しかし、溶液の表面積を大きくするのは、調湿容器の寸法の制約を受け難い場合も多いため、以後の検討でもシリーズ 3 までと同一寸法の溶液用バットを用いることとした。

容器容積、溶液量、供試体数に関する上記の見解をもとに、図-5 に示すような小型化した調湿容器を作製し、次章に示す検証実験に用いることとした。容器はケース 1-4 にも用いた約 60 リットルの透明ポリプロピレン製とし、供試体数は 3 本、溶液量はケース 3-1 と同一とした。

表-5 調湿シミュレーション条件

ケース	槽容積 (リットル)	供試体数	溶液量 (リットル)		調湿速度係数 (1/日)	
			NaBr	CaCl <sub>2</sub>	$\alpha_1$	$\alpha_2$
3-1	200	6	3.0	0.5	443	74
3-5	100	6			443	74
3-6		3	1.5	0.25	222	37
3-7		3				

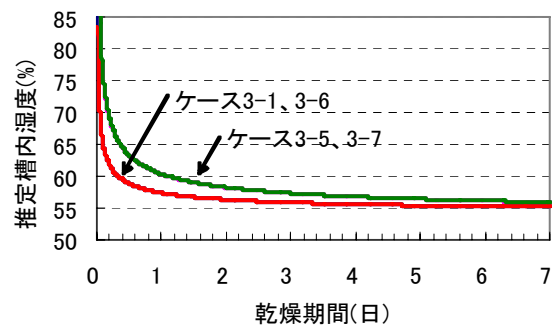


図-4 槽内湿度の推定結果(ケース3-5~3-7)

### 3. 簡易乾燥収縮試験

JIS A 1129 に示される長さ変化測定方法を用いた乾燥収縮試験では、一般に温度 20±3℃、湿度 60±5%とした恒温恒湿環境において長さ変化測定が行われる。これまで検討してきた簡易調湿方法に用いる小型調湿容器は小さく、容器の開閉時には湿度が周辺環境に応じて変動するため、JIS 法により長さ変化を測定するのは困難である。

コンクリート供試体を調湿容器内に入れたまま乾燥収縮ひずみを測定するため、閑田ら<sup>3)</sup>の提案する省力化乾燥収縮試験法を用いた。この方法は、円柱供試体の中心部に設置した埋込みひずみゲージを用いて静ひずみ計により長さ変化を測定するものであり、得られる乾燥収縮ひずみは JIS 法と同等の試験精度を有することが確

認められている<sup>3)</sup>。

また、ここまでの検討において、調湿容器は20℃の恒温室内に設置してきたが、レディーミクストコンクリート工場の試験室など恒温室の無い場合を想定し、調湿容器内を20℃恒温環境にするために養生水槽を利用する方法を試行した。

### 3.1 実験概要

表-6に示す13配合、16ケースにおいて、簡易乾燥収縮試験を実施した。ここで、簡易乾燥収縮試験とは、2種類の塩飽和容器を使用して調湿された小型容器内にてφ10×20cm円柱供試体3本を乾燥させ、乾燥中のコンクリートの長さ変化を埋込みひずみゲージにより測定するものである。埋込みひずみゲージには、低弾性の防水ゲージ（共和電業製、基長120mm）を使用し、円柱供試体の中心部に設置されるよう軽量型枠に固定の上、コンクリートを打設した。JIS法との比較を行うため、円柱供試体と同一バッチのコンクリートで10×10×40cm角柱供試体を作製し、温度20±3℃、湿度60±5%の恒温恒湿実験室における乾燥収縮ひずみの測定（コンタクトゲージ法）も併せて実施した。供試体は全て打設後1日で脱型し、材齢7日の乾燥開始まで標準養生した。

簡易乾燥収縮試験のケース5, 7, 9では、レディーミクストコンクリート工場の養生水槽（20±2℃）に、円柱供試体を設置した調湿容器を高さの1/4から3/4程度まで浸漬させ、水槽内で安定するように錘を設置した。残りのケースでは、前章までと同様、調湿容器を20℃恒温室内に設置した。

### 3.2 実験結果

#### (1) 温度および湿度

小型容器の高さ1/4程度まで水槽に浸漬させたケース5（8月に実験開始）では、容器内の温度が最大23℃まで上昇した。一方、高さ3/4程度まで浸漬させ容器上部に厚さ10cmの断熱材と錘を載せたケース7, 9（2月開始）では、容器内の温度は20±2℃の範囲で安定した。

全16ケースにおける1日ごとの湿度の平均値および最大値と最小値を図-6に示す。容器内の湿度は、平均値では乾燥開始から2日以降65%を下回り、以後は60

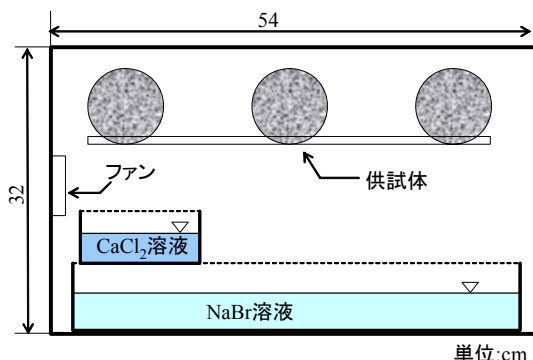


図-5 小型調湿容器

±5%を満足した。しかし、200リットルの大型容器を用いた場合に比べて乾燥初期の湿度低下が遅いケースもあり、4日目まで湿度が65%を上回るケースも見られた。この原因として、前章で示した調湿シミュレーションにおいて、容器容積と供試体数の比が調湿性能を支配すると予想されたものの、用いた小型容器は供試体数3本に対して容積が60リットルであり、200リットル/6本の大型容器に比べてその比が小さいことが挙げられる。一方、ケースごとに調湿挙動が安定しない原因は現時点では明らかでない。本論文で提案する簡易乾燥収縮試験によりコンクリートの乾燥収縮を評価するためには、試験ケースごとに槽内湿度変化が異なるのは好ましくない。安定した調湿性能を発揮させるための変動要因の把握を今後継続して行う予定である。

#### (2) 乾燥収縮ひずみ

乾燥収縮ひずみ変化の一例として、ケース6, 7の簡易乾燥収縮試験と同配合のJIS法によるひずみ変化を図-7に示す。調湿容器を20℃恒温室内に設置したケース6

表-6 検証ケース一覧

ケース	配合			材料				小型調湿槽設置箇所*1				
	W/C	W	スランプ	セメント*2	細骨材	粗骨材	混和剤*3					
4	45	180	21	普通(NC)	山砂+砕砂B	石灰石B	SP-A	①				
5								②				
6								①				
7	50	171	18					NC+S F5%	砕砂B	SP-A	②	
8											①	
9											②	
10	45	167	18					普通(NC)	川砂B	砕石	SP-B	①
11												SP-B'
12												SP-C
13				SP-C'								
14				SP-D								
15				SP-D'								
16	55	180	18	石灰砂A	AE減水剤	AE減水剤	①					
17									石灰砂B			
18									A+川砂B			
19									石灰砂C+川砂B			

\*1: ①は20℃恒温室、②は20℃水槽浸漬

\*2: NCは普通ポルトランドセメント、SFはシリカヒューム

\*3: SP-A,B,C,Dは標準型、SP-B',C',D'は収縮低減型の高性能AE減水剤

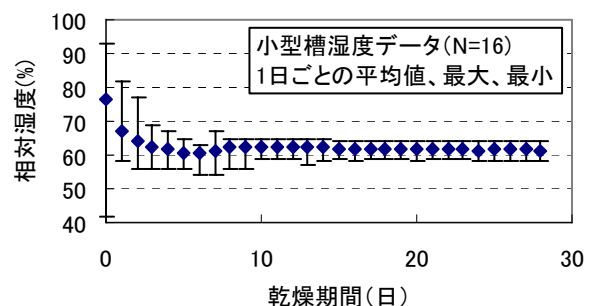


図-6 小型調湿槽の調湿結果

と養生水槽内に浸漬したケース7は同様の乾燥収縮ひずみ変化を示し、JIS法によるひずみ変化に対して乾燥初期は若干小さく、長期では若干大きくなる傾向を示した。この傾向は、他のケースにおいても同様に見られた。乾燥7, 28, 182日における簡易乾燥収縮試験およびJIS法により得られた乾燥収縮ひずみの関係を図-8に示す。

図-8においても、簡易乾燥収縮試験によるひずみは、JIS法によるひずみに比べて乾燥初期(7d)において小さくなり、長期においては大きくなる傾向を示した。このように、簡易乾燥収縮試験により得られる乾燥収縮ひずみは、JIS法に対して絶対値のわずかな差は見られるものの、両者の相関係数は乾燥28日において0.93、乾燥182日において0.91と高く、JIS法による乾燥収縮ひずみに精度良く換算できるものと考えられる。一方、円柱供試体に埋込みゲージを組合せた場合とJIS法による乾燥収縮ひずみの関係を同一の恒温恒湿環境で比較した検討<sup>3)</sup>によると、両者の相関係数は0.95を超えると報告されており、一般的な乾燥収縮試験条件では本実験よりさらに高い相関が得られている。この相関係数の差が、主に初期の調湿精度に起因するものと考えられる。

また、各ケースの簡易乾燥収縮試験において得られた供試体3本のひずみの標準偏差を平均すると、乾燥7日において $9\mu$ (最大 $26\mu$ )、28日において $11\mu$ (最大 $26\mu$ )、182日において $19\mu$ (最大 $38\mu$ )であり、本実験におけるJIS法による3本の角柱供試体の標準偏差の平均値13, 18,  $28\mu$ (それぞれ乾燥7, 28, 182日)に比べて小さくなった。供試体の容積に対して調湿容器の容積が小さく、また、空気循環用のファンを設けているため、供試体とファンの位置関係により供試体間で乾燥条件が異なることも懸念されたが、個々のひずみデータや3本の標準偏差からは供試体間で均質な乾燥条件にあると判断される。

### 3.3 今後の展開と課題

簡易乾燥収縮試験によりJIS法と相関の高い乾燥収縮試験結果を得ることが可能であり、材料、配合や製造時期の異なるコンクリートの乾燥収縮を定量的に評価できるようになると考えられる。本論文では、7, 28, 182日など同一の乾燥期間におけるJIS法と提案法のひずみの比較を行ったが、乾燥28日など比較的短期間で得られた実測値から長期ひずみを早期判定する既存の予測手法<sup>例え<sup>1)</sup></sup>の適用も可能と考えられる。

一方、2種類の塩飽和溶液を用いた調湿方法においては、16ケースの検証実験の結果、乾燥初期の調湿挙動が安定しないケースも見られ、その原因および乾燥収縮ひずみに与える影響については十分に解明できていないのが現状である。コンクリートの材料特性としての乾燥収縮を、大規模で高価な設備、機器を用いずに、簡易に

評価できる手法を確立するためにも、上記課題の解決も含めて今後提案手法の改良を行っていく必要がある。

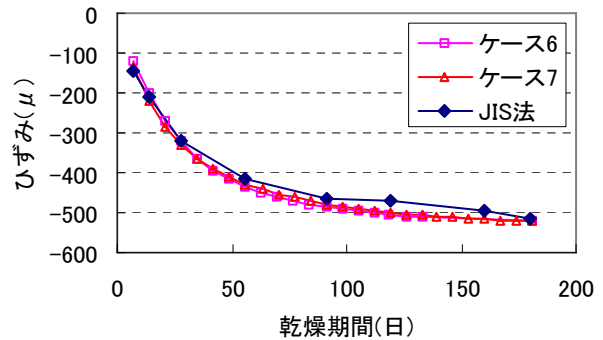


図-7 乾燥収縮ひずみ(ケース6, 7)

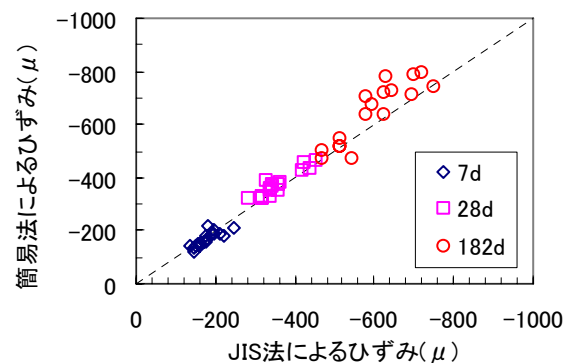


図-8 JIS法と簡易法のひずみの関係

## 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 20℃における平衡湿度が58%の臭化ナトリウム飽和溶液に加えて、平衡湿度が33%の塩化カルシウム飽和溶液を併用した密閉容器を20℃の環境下に設置することにより、コンクリート供試体を相対湿度 $60\pm 5\%$ 、温度20℃の恒温恒湿環境で乾燥することが概ね可能となる。
- 調湿溶液の量を一定とした場合、調湿容器の容積と供試体本数の比が、容器内の調湿性能に支配的な要因となる。
- 上記の簡易調湿容器と埋込みひずみゲージを用いた簡易乾燥収縮試験により、JIS法と相関の高い乾燥収縮ひずみを得ることができる。

## 参考文献

- 1) 今本啓一ほか：短期データに基づくコンクリートの乾燥収縮ひずみ予測に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No. 602, pp. 15-20, 2006.4
- 2) 日本化学会編：改訂3版化学便覧基礎編II，1981.6
- 3) 閑田徹志ほか：乾燥収縮試験法の省力化に関する実験研究，日本建築学会構造系論文集，Vol. 73, No. 628, pp. 851-857, 2008.