

論文 部材厚さが乾燥収縮に及ぼす影響とその評価

浅沼 潔*¹・竹下 治之*²・藤井 学*³

要旨：コンクリートの乾燥収縮に影響を及ぼす種々の要因のうち、構造物の部材厚さの影響について検討を行った。実験は、冬期に施工された壁状構造物を対象として、壁厚を変化させた供試体を作製し、その乾燥収縮量を測定した。材齢6ヶ月までの計測結果を対象に検討した結果、(1)部材内に生じる平均的な乾燥収縮ひずみは壁厚の増加に伴い減少し、壁厚が50cm以上の場合はその変化は小さい、(2)これらの値は、一般的な長さ変化試験で求められる乾燥収縮量に比べて小さい値を示し、実構造物の場合は、環境湿度の違いや降雨等の影響も加わるためかなり小さい値を示す、ことなどが明らかとなった。
キーワード：乾燥収縮、部材厚さ、壁状構造物

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮は、構造物周辺の温度・湿度、部材断面の形状・寸法、配筋状態、コンクリートの配合等、種々の要因により影響を受ける。乾燥収縮の予測については、これらの要因を考慮した様々な予測式が提案されているが、実構造物の乾燥収縮ひずみとの関連については必ずしも明確になっていないのが現状である。また、予測式の中で、構造物の部材厚さの影響については、仮想厚さ[1]や部材の体積と表面積の比[2]などを用いて評価されているが、これらは、形状・寸法の比較的小さい供試体を用いた実験結果に基づくものであり、その適用性には制約があると考えられる[3]。このため、構造物の乾燥収縮ひずみを予測する簡易な方法として、JISに定められる長さ変化試験の値を基に、構造物の施工時期、部材厚、配筋状態などの影響を考慮することにより精度よく推定できれば、構造物を設計する上で有用になるものと考えられる。

本研究は、このような観点から、冬期および夏期に施工された壁状構造物を対象として、構造物の部材厚および配筋状態が乾燥収縮に及ぼす影響について検討を行った。

本報告では、一連の実験のうち、冬期施工を対象とした構造物の部材厚の影響について述べる。実験では、使用材料および配合を一定として、壁厚を変化させた無筋供試体を作製し、乾燥収縮量を測定した。測定は現在も継続中であるが、ここでは、材齢6ヶ月までの結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 自由乾燥収縮ひずみおよび平均乾燥収縮ひずみ

コンクリートの乾燥収縮は、乾燥に伴うコンクリート中の水分の逸散によるものであり、水分の逸散は部材表面からの距離によって大きく異なる[4]。このため、乾燥収縮に対する部材内部の拘束がない場合は、自由に収縮するひずみ（自由乾燥収縮ひずみ、以下、自由収縮ひずみと記す）は、図-1に示すように、表面近傍と内部では差が生じることになる。しかし、実際には、このひずみ量の差による内部拘束応力が発生する[5]ため、部材内には平均化されたひずみ（平均乾燥収縮ひ

*1 日本国土開発(株) 技術開発研究所 第三研究室主任研究員（正会員）

*2 日本国土開発(株) 技術開発研究所長 工博（正会員）

*3 京都大学教授 工学部 土木工学科 工博（正会員）

ずみ、以下、平均収縮ひずみと記す)が生じる。一般に、外部拘束のない部材で測定される乾燥収縮ひずみはこのひずみに相当し、部材厚が厚くなると同ひずみは小さくなるものと考えられる。平均収縮ひずみおよび自由収縮ひずみの算定には、それぞれ、式(1)および(2)を用い、図-2に示す部材内の温度分布によるひずみを補正した。式(1)中の ΔT_{av} は、温度分布を2次放物線で近似して求めた平均温度変化量である。なお、算定された各ひずみ値には、前述した拘束応力によるクリープやコンクリートの自己収縮[6]によるものも含まれているが、ここでは、これらの影響は少ないものとして考慮していない。

$$\epsilon_{dav} = \epsilon_m - \alpha \cdot \Delta T_{av} \quad (1)$$

$$\epsilon_{df} = \epsilon_m - \alpha \cdot \Delta T \quad (2)$$

- ここに、 ϵ_{dav} : 平均収縮ひずみ
- ϵ_m : 計測ひずみ
- ΔT_{av} : 平均温度変化量 (°C)
- ϵ_{df} : 自由収縮ひずみ
- ΔT : 温度変化量 (°C)
- α : 熱膨張係数 (/°C)

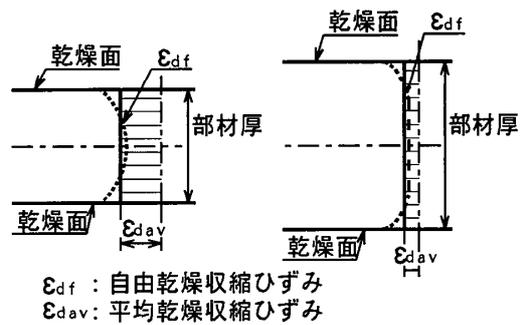
2.2 使用材料および配合

表-1に使用材料を、表-2にコンクリートの配合を示す。コンクリートは、土木および建築を対象として、設計基準強度240kgf/cm²、スランプ15cm、単位水量は比較的多い170kg/m³とした。

2.3 供試体

図-3に、本実験で使用した供試体(以下、単に供試体

と記す)の形状・寸法を示す。供試体は、相対する2表面からの乾燥が卓越する壁状構造物を模擬したものであり、壁厚は、薄肉の建築構造物を対象として15、30cmの2種類、厚肉の土木構造物を対象として50、100cmの2種類、計



(1)部材厚が薄い場合 (2)部材厚が厚い場合

図-1 乾燥収縮ひずみ

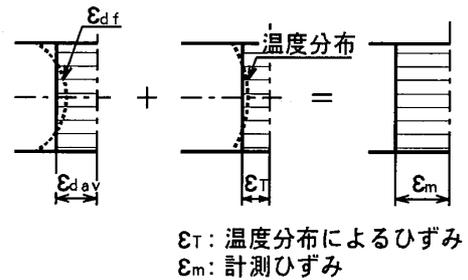


図-2 計測ひずみ

表-1 使用材料

使用材料	種類	基本物性
セメント	普通ポルトランドセメント	比重 3.16
細骨材	混合砂 (相模川水系川砂80% 市原産山砂 20%)	比重 2.59 吸水率 2.29% F.M. 2.80
粗骨材	津久井郡城山産碎石	最大寸法 20mm 比重 2.64 吸水率 1.49% F.M. 6.63
混和剤	標準形AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体 比重 1.25

表-2 配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤
20	15±2.5	4.5±1.5	56.0	48.6	170	304	871	935	1.064

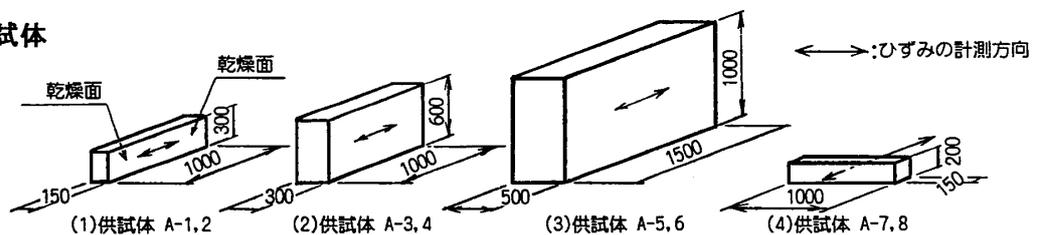


図-3 供試体の形状・寸法

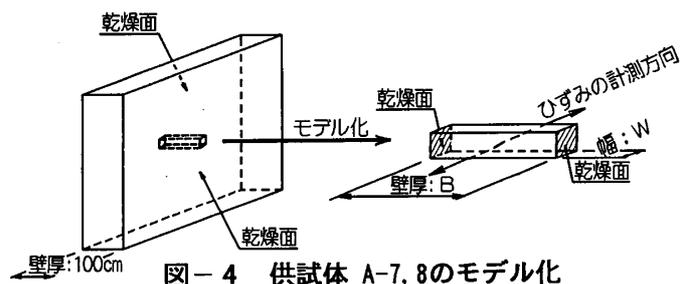


図-4 供試体 A-7,8のモデル化

4種類に変化させた。これらのうち、壁厚15、30、50cmの供試体では平均収縮ひずみを、また、壁厚100cmの供試体では、まず自由収縮ひずみを求めこれらの値から平均収縮ひずみを求めた。

本実験では、まずコンクリート自体の乾燥収縮量を把握するため、各供試体は無筋コンクリートとし、壁厚15、30、50cmの供試体は、乾燥収縮に対する供試体周囲の影響を少なくするために、長さは壁厚の3倍以上、高さは2倍とした。一方、自由収縮ひずみを求める壁厚100cmの供試体は、前述した拘束応力の影響を極力小さくするために細長いブロック状の供試体とした。すなわち、供試体の幅Wと壁厚に相当するB（図-4参照）を変化させたモデルについてFEMによる応力解析を行った結果、W/Bを0.1~0.2とすることによって、計測ひずみが同部の自由収縮ひずみとほぼ同等の値を示すことから、W/B=0.15のブロック状の供試体とした。また、本実験では、基準とする自由乾燥収縮ひずみを求めるため、JIS A 1129に準じて10×10×40cmの供試体（以下、基準供試体と記す）を作製し、その乾燥収縮量を基準値とした。これらの供試体および基準供試体の養生は、20±1℃、60±5% R. H. の恒温恒湿室（以下、恒温室と記す）および屋外（計測期間中の平均気温17℃、平均湿度71%）の2通りとした。これらの供試体の一覧を表-3に示す。

2.4 実験方法

基準供試体を除く各供試体の一般図を図-5に示す。供試体作製時は、乾燥面となる2面は合板（厚さ:9mm）とし、そのほかの面は、熱および水分の移動を防ぎ、また、乾燥収縮に対する供試体底部の拘束を小さくするために、ビニルシート（厚さ:0.05mm）および断熱材（厚さ:15cm）で囲い、コンクリート打込み後、水和熱による温度が安定する7日間静置した。その後、乾燥面の合板を取り除き、恒温室および屋外に静置して乾燥収縮の測定を開始した。基準供試体は、JIS A 1129に準じて、打込み1日後に脱型し7日間水中養生を行った後、恒温室および屋外に静置して計測を開始した。

2.5 計測項目および計測器

表-4に計測項目および計測器を、図-6に計測器の設置位置を示す。

表-3 供試体一覧

供試体番号	設定壁厚 (cm)	養生方法
A-1	15	恒温室内に静置
A-2	15	屋外に暴露
A-3	30	恒温室内に静置
A-4	30	屋外に暴露
A-5	50	恒温室内に静置
A-6	50	屋外に暴露
A-7	100	恒温室内に静置
A-8	100	屋外に暴露
B-1	10x10x40	恒温室内に静置
B-2	10x10x40	屋外に暴露

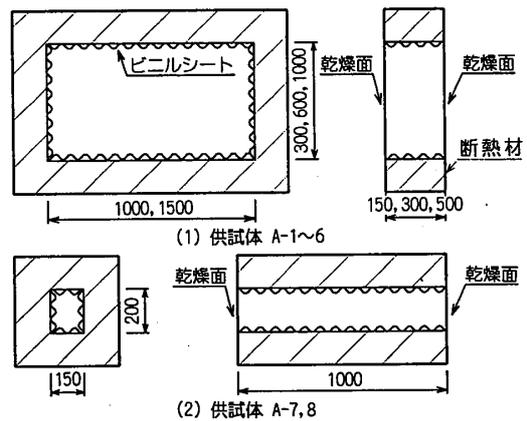


図-5 供試体一般図

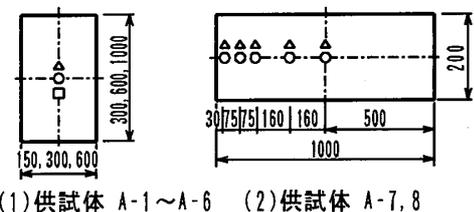


図-6 計測器設置位置 (断面)

表-4 計測項目および計測器

計測項目	計測器
ひずみ	埋込み型ひずみ計
熱膨張係数	無応力計
温度	熱電対

表-5 圧縮強度および静弾性係数

材齢 (日)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (kgf/cm ²)
7	179	2.08 × 10 ⁵
28	331	2.70 × 10 ⁵
91	381	2.91 × 10 ⁵
168	393	2.94 × 10 ⁵

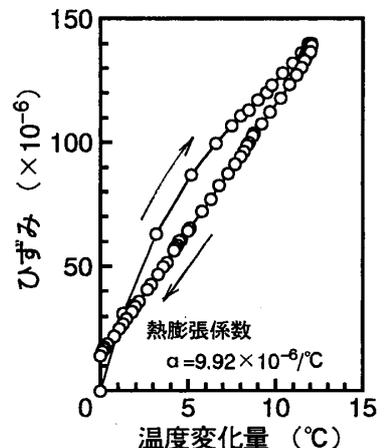


図-7 無応力計のひずみと温度変化量の関係

ひずみの測定方向は、図-3に示すように、供試体の長さ方向とし、埋込み型ひずみ計は供試体長さの中央に設置した。

また、本実験では、硬化コンクリートの物性を把握するために圧縮強度試験（JIS A 1108）および静弾性係数測定試験（JSCE（案））を行った。

3. 実験結果および考察

3. 1 硬化コンクリートの特性

表-5に、コンクリートの圧縮強度および静弾性係数の試験結果を示す。自由収縮ひずみおよび平均収縮ひずみの算定には、式(1)および(2)に示されるようにコンクリートの熱膨張係数が必要である。このため、図-7に示す無応力計のひずみと温度変化量の関係から熱膨張係数を求め、各算定には、コンクリート硬化後の値 $9.92 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を使用した。

3. 2 平均収縮ひずみ

屋外養生の供試体（以下、屋外供試体と記す）の計測値は、天候、外気温、日射等の要因によって変動する。ここでは、これらの温度変化の影響を極力少なくするために、1日の気温が比較的安定する午前6時前後の値を代表値として用いたほか、日変化による計測値のばらつきを除くために、図-8に示すように計測値を平滑化した。また、材齢については、部材の温度変化による強度発現の相違を考慮して、式(3)で修正した有効材齢を用いた。冬期に実験を開始したため、各供試体の有効材齢は、例えば1、3ヶ月の場合、それぞれ、実際の材齢より、12、19日程度短くなったが、材齢180日では夏期を経たためにほぼ同等の材齢となった。

$$t_e = \sum (T + 10) \cdot \Delta t / 30 \quad (3)$$

ここに、 t_e ：有効材齢（日）

T ： Δt 日間の平均温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）

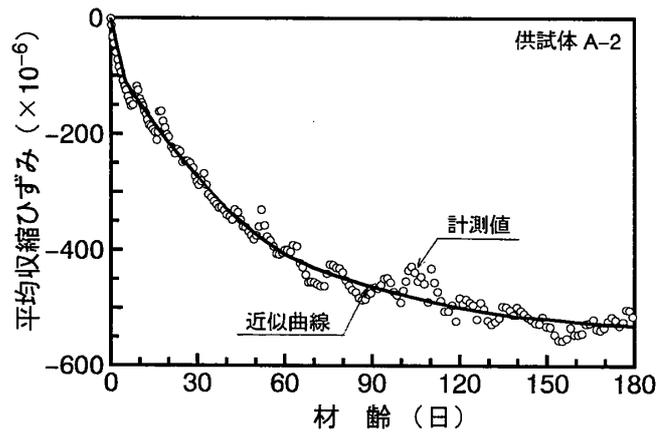


図-8 計測値の平滑化

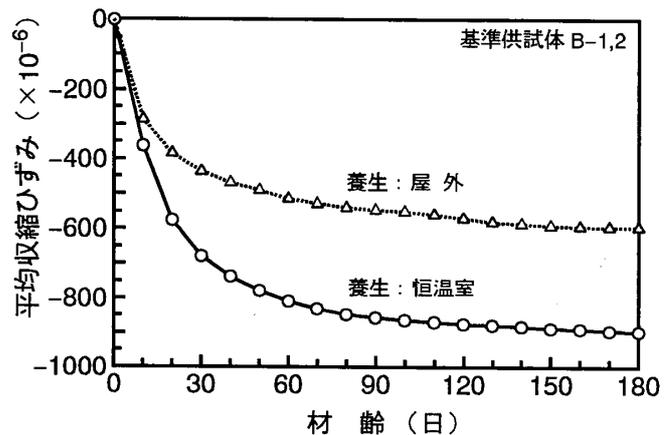


図-9 基準供試体の平均収縮ひずみ

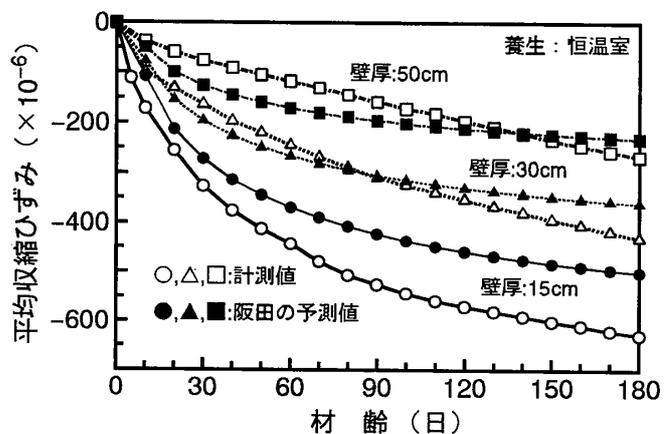


図-10 供試体 A-1, 3, 5の平均収縮ひずみ(養生：恒温室)

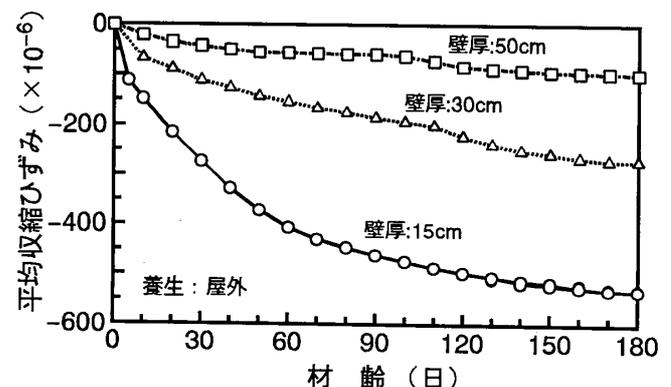


図-11 供試体 A-2, 4, 6の平均収縮ひずみ(養生：屋外)

図-9に基準供試体の平均収縮ひずみを示す。同図から分かるように、屋外供試体の平均収縮ひずみは恒温室内の供試体（以下、室内供試体と記す）の値に比べて小さく、後者の65%程度の値を示した。この結果より、部材の寸法が小さい場合には、平均収縮ひずみは環境湿度や降雨等の影響を大きく受けることが分かる。

図-10~11に、壁厚15、30、50cmの供試体の平均収縮ひずみを示す。図-10には、阪田らの式[7]による予測値も併記した。これらの図から、壁厚が厚くなると平均収縮ひずみは減少することが分かる。これは、乾燥面からの距離の増加に伴い、水分の逸散量が減少するため[4]と考えられる。また、屋外供試体の平均収縮ひずみは、前述と同様、室内供試体のそれに比べて小さい値を示し、このような傾向は壁厚が厚くなるほど顕著となる。阪田らの予測式は、湿度、コンクリートの単位水量、部材の体積と乾燥面の面積の比を変数としたものであるが、図-10から分かるように、予測値と計測値は比較的良い対応を示した。

3.3 自由収縮ひずみ

図-12~13に壁厚100cmの供試体の自由収縮ひずみを示す。これらの図から、自由収縮ひずみは、乾燥面からの距離によって大きく変化することが分かる。すなわち、乾燥面からの距離が3cm程度の位置では乾燥直後から比較的大きな自由収縮ひずみが発生するが、10cmより内部では緩やかな増加傾向を示し、さらに、約30cmより内部では距離の影響は少なくなるものと推定される。

3.4 壁厚の影響

壁厚の影響を一般的に評価するため、基準供試体の平均収縮ひずみに対する各供試体のひずみ値の比（以下、収縮比と記す）により検討を行った。図-14~15

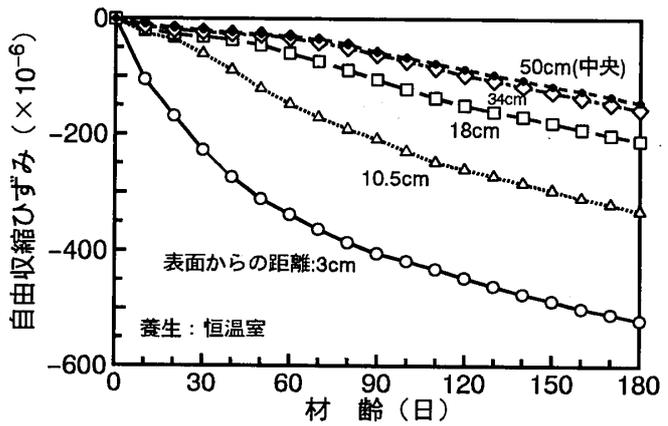


図-12 供試体 A-7の自由収縮ひずみ (養生: 恒温室)

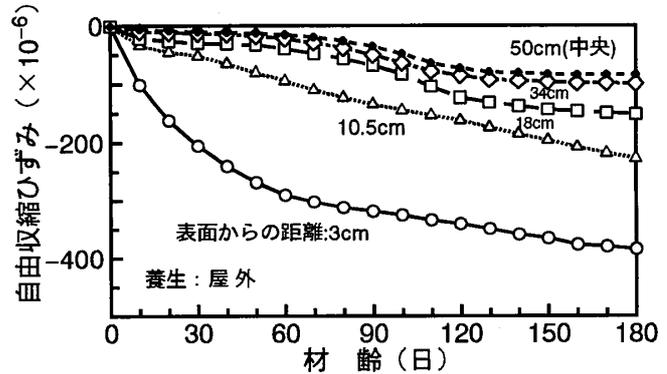


図-13 供試体 A-8の自由収縮ひずみ (養生: 屋外)

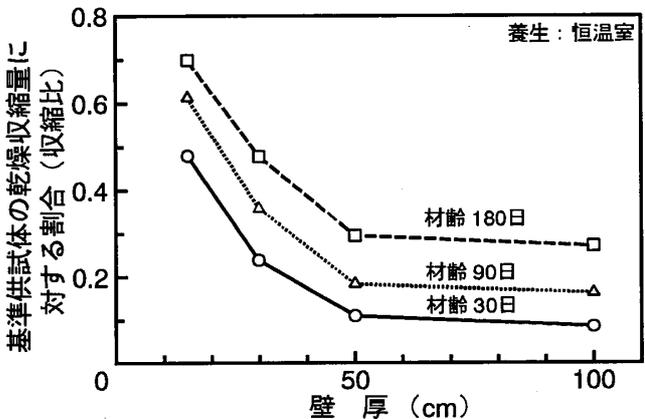


図-14 壁厚と収縮比の関係 (養生: 恒温室)

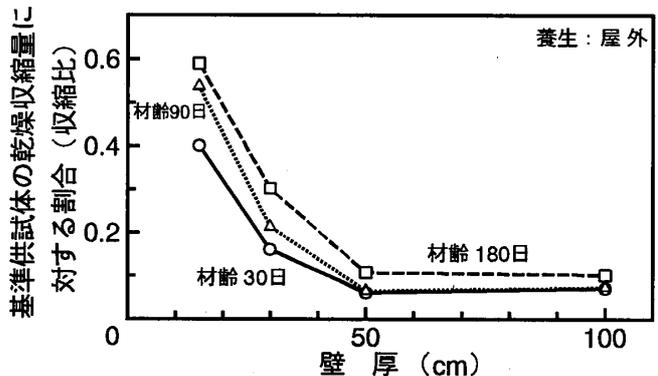


図-15 壁厚と収縮比の関係 (養生: 屋外)

に各供試体の収縮比を示す。これらの図に示すように、収縮比は壁厚の増加に伴い減少するが、壁厚が50cm以上の場合はその変化は少ない。また、材齢6ヶ月(180日)の収縮比は表-6に示すとおりであり、養生条件により異なるが、壁厚が15cmの場合は0.6~0.7、50cmでは0.1~0.3程度の値を示した。これらの結果から、部材内に発生する平均収縮ひずみは、長さ変化試験で求められる乾燥収縮量に比べて小さい値を示し、

壁厚の増加に伴い、この傾向はより顕著となることが分かる。また、屋外で養生した供試体の平均収縮ひずみは、恒温室内で養生した供試体のそれに比べ約0.4~0.8程度になることが分かる。

図-16に、供試体の体積と乾燥面の面積比(V/S)と収縮比の関係を示す。阪田らは、部材寸法の効果をV/Sで評価したBazantの式による予測値と実測値の比較を行っており、ひずみの絶対値は異なるが、予測値および実測値はともに同様の傾向を示す[8]としている。供試体の形状・寸法等の条件が異なるため、本実験結果とこれらの直接比較はできないが、室内供試体の計測値は、V/Sの増加に伴い乾燥収縮量は減少し、V/S=30cm程度で収束する同様の傾向が認められた。

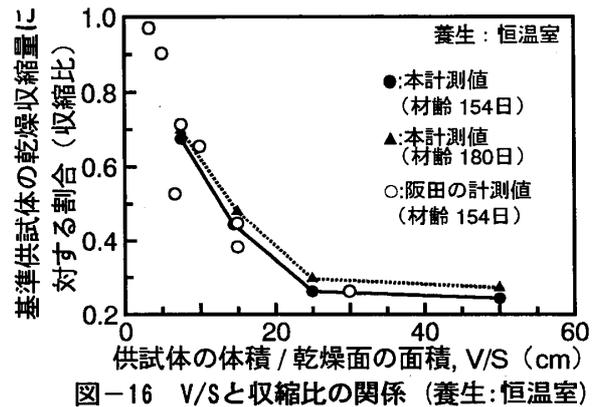


表-6 各供試体の収縮比(材齢180日)

養生	壁厚 (cm)			
	15	30	50	100
恒温室内	0.70	0.48	0.30	0.27
屋外	0.59	0.30	0.11	0.10

4. まとめ

冬期に施工された実大の壁状構造物を対象として、部材厚が乾燥収縮に及ぼす影響について実験的検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 部材内の自由乾燥収縮ひずみは、乾燥面の近傍では乾燥開始直後から比較的急速に進行するが、内部では緩やかな増加傾向を示す。
- (2) 部材内の平均乾燥収縮ひずみは壁厚の増加に伴い減少し、壁厚が約50cm以上の場合はその変化は小さい。
- (3) 部材内の平均乾燥収縮ひずみは、一般的な長さ変化試験で求められる乾燥収縮量に比べて小さくなり、しかも、壁厚が増加するに従い、この傾向はより顕著となる。また、屋外で養生した供試体の場合は、環境湿度の差や降雨等の影響により、さらに小さい値を示し、本実験の範囲では、長さ変化試験結果に比べ、壁厚10および30cmの場合は、それぞれ60、30%および50cm以上では10%程度の値を示した。

【参考文献】

- [1] 土木学会、コンクリート標準示方書「設計編」、pp.24-26、1991.3
- [2] 阪田憲次：コンクリートの乾燥収縮およびクリープの予測、コンクリート工学、Vol.31、No.2、pp.5-14、1993.2
- [3] 土木学会、コンクリート技術の現状と示方書改訂の動向、pp.46-52、1991.9
- [4] 阪田憲次ほか：乾燥に伴うコンクリート中の水分の逸散と乾燥収縮に関する研究、土木学会論文報告集、No.316、pp.145-152、1981.12
- [5] 田澤栄一ほか：乾燥を受ける無筋コンクリートの自己応力について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.10、No.2、pp.255-260、1988.6
- [6] 田澤栄一ほか：セメント系材料の自己収縮に及ぼす結合材および配合の影響、土木学会論文集、No.502、pp.43-52、1994.11
- [7] 阪田憲次ほか：コンクリートの乾燥収縮ひずみ予測式の提案、セメント・コンクリート論文集、No.43、pp.244-249、1989.12
- [8] 阪田憲次ほか：コンクリートの乾燥収縮の予測方法について、セメント技術年報、Vol.36、pp.263-266、1982.12