

コンクリートの収縮試験におけるひずみ測定法および供試体寸法の影響

Influence of Strain Measurement Method and Specimen Size on Measured Strain in Concrete Shrinkage Test

室蘭工業大学 大学院工学研究科もの創造系領域 正 員 菅田紀之(Noriyuki Sugata)
室蘭工業大学 大学院工学研究科環境創生工学系専攻 ○学生員 川村祐太(Yuta Kawamura)

1. はじめに

コンクリートは乾燥環境下において乾燥収縮、水和反応による自己乾燥で自己収縮という現象を生じる。このような収縮現象によりコンクリート構造物にひび割れが発生する場合やPC構造物ではプレストレス力の減少を生じるため、コンクリートの収縮量を知ることが重要となる。乾燥収縮試験法としてはJIS A 1129、自己収縮試験法としてはJCI-SAS2-2¹⁾が規定されているが、多くの種類の乾燥収縮試験を同時に行うためには供試体サイズから比較的大きなスペースを必要とする。また、自己収縮試験も同様で、さらに、コンクリートと型枠間の拘束を切る処理や、供試体当たり変位計を2個必要とするなど簡易な方法ではない。そこで、本研究では長さ変化の測定法について比較的簡易な方法を提案し、JCIの方法との比較を行った。また、異なる寸法および形状の供試体を用いて乾燥収縮試験を行い、その影響について検討した。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

コンクリートの製造に用いた材料を表-1に示す。結合材として普通ポルトランドセメントとシリカフュームを用いた。シリカフュームはノルウェー産の粉体系のものであり、比表面積は200,000 cm²/g、平均粒径は約0.2 μm、密度は2.2 g/cm³のものである。細骨材としては陸砂、粗骨材としてはJIS規格2005 砕石を用いた。また、流動性を確保するためにポリカルボン酸系の高性能AE減水剤、空気量を調整するためにポリエチレングリコール系の消泡剤を用いた。

2.2 配合

本研究では自己収縮試験における長さ変化を測定する方法に関する実験1、および乾燥収縮試験における供試体寸法と形状の影響に関する実験2を実施した。実験1に用いたコンクリートの配合を表-2に示す。水結合材比45%、35%、25%のコンクリートおよび水結合材比25%のモルタルで試験を行った。以後、C45、C35、C25、M25で表す。目標空気量をC25、C35は1%、C45は5%とし、目標スランプをC45は12cm、目標スランプフローをC35、C25で65cmとした。実験2に用いたコンクリートの配合を表-3に示す。シリカフュームでセメントの10%を置換した水結合材比25%のコンクリートおよび水セメント比40%、55%のコンクリートで試験を行った。以後これらの配合をW25、W40、W55で表す。目標空気量をW25は1%、W40、W55は5%とし、目標スランプをW40は15cm、W55は8cm、目標スランプフローをW25で65cmとした。

2.4 自己収縮試験

JCI-SAS2-2における自己収縮試験¹⁾は、100×100×400(500)mmの角柱供試体を用いて図-1のように型枠との拘束を切る処理およびゲージプラグを設置し、2個の変位計を用いて行うことになっている。本研究における簡易法1は図-2のように供試体寸法と拘束を切る処理はJCI法と同一として、アクリルをベースとする埋込型ひずみゲージ(ベース長120mm、見掛けの弾性係数2,750N/mm²)を用いる方法、簡易法2は図-3のようにφ100×200mmの円柱鋼製モールド型枠を用い、拘束を切る処理はせずに埋込型ひずみゲージを用いる方法である。ひずみの測定は型枠にコンクリートを打込み、封緘状態としたのちに開始し、凝結始発を起点として以後のひずみを自己収縮ひずみとした。試験環境は温度20℃の封緘状態である。

2.5 乾燥収縮試験

JISにおける長さ変化測定法では、100×100×400(500)mmの角柱供試体を用いてコンパレータあるいはコンタクトゲージ、ダイヤルゲージで測定することになっている。実験2では表-4に示す供試体に簡易法として埋め込み型ゲージを設置し試験を行った。試験は材齢7日まで20℃水中状態で養生されたものを用い、供試体の上下面にアルミテープを貼付け、供試体側面のみを乾燥面とした。試験環境は温度20℃で相対湿度60%である。

3. 結果および考察

3.1 自己収縮試験

図-6に実験1の各測定法における自己収縮試験の材齢14日までの結果を示す。

表-1 使用材料

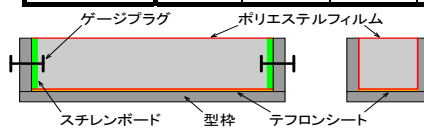
材 料	性 質 等
セメント(C)	普通ポルトランドセメント 密度：3.16g/cm ³
シリカフューム(SF)	比表面積：200,000 cm ² /g 密度：2.2g/cm ³
細骨材(S1)	陸砂 表乾密度：2.71g/cm
(S2)	陸砂 表乾密度：2.70g/cm
粗骨材(G)	JIS 2005 砕石 表乾密度：2.68g/cm ³
高性能AE減水剤(SP)	ポリカルボン酸系
消泡剤 (AF)	ポリエチレングリコール系
AE剤(AE)	天然樹脂酸塩系

表－2 配合(実験1)

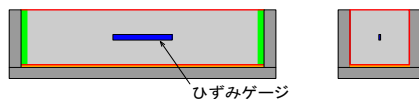
配合名	W/B (%)	SF/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
				W	C	SF	S1	G	SP	AF	AE
C25	25	10	49	165	594	66	806	830	7.26	0.029	0
C35	35	10	49	160	411	45.7	902	928	4.57	0	0
C45	45	0	45	164	364	0	818	989	0	0	0.073
M25	25	10	100	236	850	94.4	1198	0	10.38	0.042	0

表－3 配合(実験2)

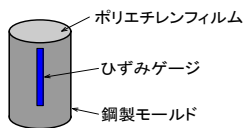
配合名	W/B (%)	SF/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
				W	C	SF	S2	G	SP	AF	AE
W25	25	10	49	165	594	66	803	830	7.92	0.024	0
W40	40	0	49	160	400	0	806	978	2.80	0	0
W55	55	0	45	162	295	0	844	1024	0	0	0.059



図－1 JCI-SAS2-2



図－2 簡易法1



図－3 簡易方2

表－4 供試体の概要

試験体 記号	形状	寸法(mm)	体積/表面積 (mm)
C75	円柱	φ75×150	18.75
C100		φ100×200	25
C150		φ150×300	37.5
R100	角柱	100×100×400	25
R150		150×150×400	37.5

の平均が-292μ、C35 では材齢 1 日でひずみゲージの平均が-78μ、材齢 14 日ではひずみゲージの平均が-105μ、C45 では材齢 1 日でひずみゲージの平均が-6μ、材齢 14 日ではひずみゲージの平均が-42μ、M25 では材齢 1 日でひずみゲージの平均が-337μ、材齢 14 日ではひずみゲージの平均が-538μ であることから、簡易法 2 では JCI 法と同程度か若干小さな収縮ひずみが測定されていることがわかる。また 2 つの測定値の差も大きくなる場合がある。以上より、簡易法 2 については、ばらつきを考慮すると測定を行う供試体本数を増やすなどの処理が必要ではないかと考えられる。

3.3 乾燥収縮試験

図－5 に実験 2 における各配合の乾燥収縮試験の経過日数 60 日までの結果を示す。部材寸法で比較すると、どの配合においても寸法が小さい供試体の乾燥収縮ひずみは速く進行し、大きくなっていることが分かる。また、断面形状で比較すると角柱供試体に比べ円柱供試体のひずみが大きくなる傾向が見られる。乾燥収縮には体積－面積比が影響することが知られており、土木学会コンクリート標準示方書の算定式²⁾にも影響パラメーターとして導入されている。表－4 に示すように本研究で行った 2 端面にアルミテープを貼り付ける方法では角柱と円柱で体積－表面積比は同一であるが、図－6 に示すように直径 100mm の円柱は中心までの距離が一定で 50mm であるのに対して、角柱では 50～70.7mm (平均 56.5mm) で距離が若干長い。よって円柱の方が中心までの平均距離が短いため、乾燥収縮ひずみは大きくなったと考えられる。

簡易法 1 (角柱・ひずみゲージ) と JCI 法を比較すると、C25 では材齢 1 日でレーザーの平均が-164μ に対し、ひずみゲージの平均が-182μ、材齢 14 日ではレーザーの平均が-306μ に対し、ひずみゲージの平均が-316μ であり、差は 10～20μ 程度である。C35 では材齢 1 日でレーザーの平均が-89μ に対し、ひずみゲージの平均が-90μ、材齢 14 日ではレーザーの平均が-146μ に対し、ひずみゲージの平均が-130μ であり、差は 16μ 以下である。C45 では測定されたひずみが小さいこともあり角柱 1 のレーザー変位計によるひずみ大きくなっているが、材齢 1 日でレーザーの平均が-7μ に対し、ひずみゲージの平均が-4μ、材齢 14 日ではレーザーの平均が-62μ に対し、ひずみゲージの平均が-49μ であり、差は 13μ 以下である。M25 では材齢 1 日でレーザーの平均が-372μ に対し、ひずみゲージの平均が-404μ、材齢 14 日ではレーザーの平均が-584μ に対し、ひずみゲージの平均が-628μ であり、差は 32～44μ である。以上より簡易方 1 と JCI 法の差は 10%程度以下であり、おおむね同様の収縮ひずみが測定できるといえる。次に簡易法 2 (円柱・ひずみゲージ) については、C25 では材齢 1 日でひずみゲージの平均が-153μ、材齢 14 日ではひずみゲージ

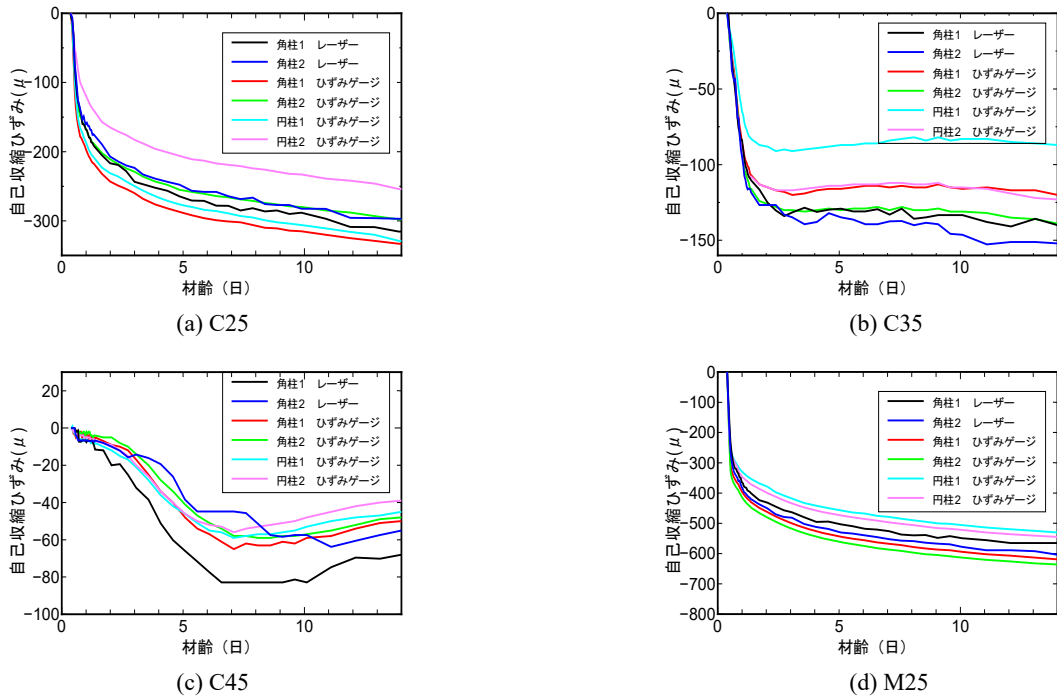


図-4 自己収縮試験結果

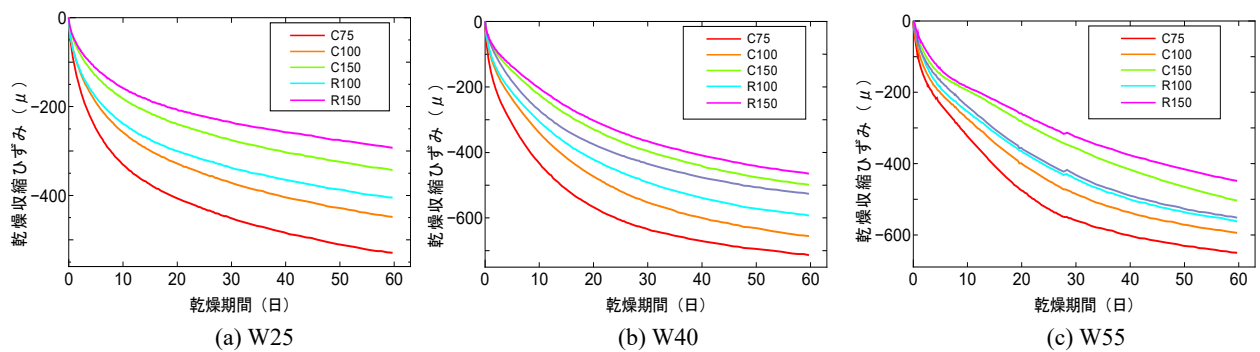


図-5 乾燥収縮ひずみ



図-6 角柱、円柱の断面形状

土木学会コンクリート標準示方書²⁾において基準供試体(100×100×400)の収縮ひずみから任意断面の収縮ひずみを算定する式として次式が示されている。

$$\varepsilon'_{sh}(ts) = \frac{\frac{1-RH/100}{1-60/100} \varepsilon'_{sh,inf} \cdot ts}{\left(\frac{d}{100}\right)^2 \cdot \beta + ts} \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon'_{ds}(ts)$ ：乾燥期間 ts までの収縮ひずみ、

$\varepsilon'_{sh,inf}$ ：最終乾燥収縮ひずみ、

RH ：相対湿度

ts ：乾燥期間(日)、

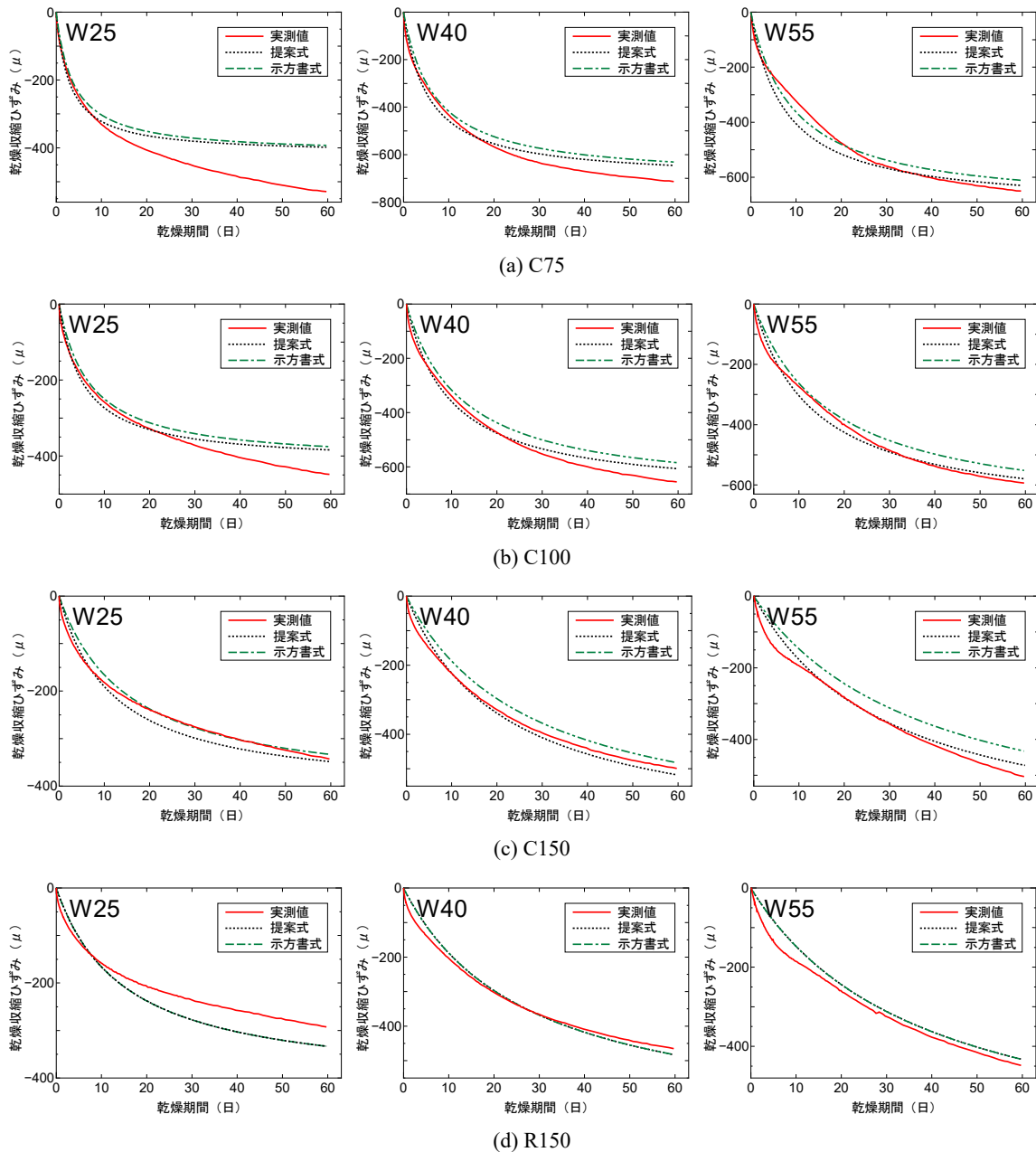
d ：有効部材厚(mm)、

$$d = \frac{4V}{S}$$

V/S ：体積表面積比(mm)

β ：乾燥収縮ひずみの経時変化を表す係数

式中の有効部材厚は[4×体積/乾燥表面積]であり、正方形断面の場合は断面幅、円形断面の場合は直径である。式(1)による算定値と形状を考慮できる有効部材厚の提案式として[√断面積]を用いた算定値を実験結果と合わせて図-10に示す。式(1)中の $\varepsilon'_{sh,inf}$ および β はR100の結果から最小二乗法を用いて求めた。式(1)による算定値と実験結果を比較すると、角柱供試体については概ね一致しているといえるが、円柱供試体については算定値の方が小さくなっている。これは角柱と円柱の有効部材厚が等しいとしていることが要因である。またW25のC75およびC100において算定値が実測値に比べ小さくなっている。次に提案式による算定値と実験結果を比較すると、提案式による値は実測値に近づいていることがわかる。しかしながら、W25のC75およびC100については、式(1)による算定値と同様に実測値よりも小さくなっている。以上より水結合材比が小さく、部材寸法が小さい場合には算定精度は悪くなるが、提案式を用いることにより、より精度の高い収縮ひずみの算定が可能といえる。



図－１０ コンクリート標準示方書による算定値と実験結果の比較

4. まとめ

本研究の実験１では、コンクリートのひずみ測定について100×100×400mmの角柱とφ100×200mmの円柱に埋め込み型ひずみゲージを用いた容易な方法とJCIで規定されている測定方法と比較検討を行った。また、実験２ではコンクリートの乾燥収縮ひずみ測定について、部材寸法および断面形状の影響についての検討を行った。その結果、次のようなことが明らかになった。

- 1) 自己収縮試験において簡易法１はJCI法と同様の収縮ひずみが測定される。
- 2) 自己収縮試験において簡易法２はJCI法と同程度か若干小さな収縮ひずみが測定され、ばらつきは大きくなる場合がある。

- 3) 乾燥収縮試験において角柱供試体に比べ円柱供試体のひずみは早く進行する。

- 4) 有効部材厚が小さいほど、乾燥収縮ひずみは早く進行する。

- 5) 有効部材厚は断面積の平方根が適している。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：JCI-SAS2-2 セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法（改訂版2002）
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕，土木学会，pp. 107－109，2017