

## 第3章

### 試験装置の開発

### 3.1 はじめに

コンクリートは打設直後から収縮変形を開始し、その変形量と拘束度合に応じて、部材内部に発生する引張応力は徐々に増加する。したがって、拘束されたコンクリートの挙動は乾燥しながら極めてゆっくりとした速度で引張られる破壊の問題に置き換えて考えることができる<sup>3.1)</sup>。若材齢ではコンクリートの力学特性が刻々と変化することになるが、この物性の変化を的確に評価した上でひび割れ発生条件を論じる必要がある。そのためには出来るだけ精度の高い収縮ひび割れ試験を行うことが必須となってくる。ここでは、第2章で述べた従来の収縮ひび割れ試験方法についてまとめるとともに新しい試験装置を開発し、装置の評価実験を行った。

### 3.2 試験装置開発の背景

第2章で述べたように収縮ひび割れ試験方法はこれまでに多くの方法が考案され、実験が行われている。従来の収縮ひび割れ試験装置の概要を表-3.2.1に示す。

(a)リング試験型<sup>3.2)</sup>は、簡便で多数の供試体を試験する各種の調合や材料を変化させた比較試験等には適しているが、拘束の度合いが不明瞭であり、内曲面が鋼材に接しているため乾燥状態が不均一であり、定量的な収縮ひび割れ性状を把握するには適さない。

(b)内部拘束型<sup>3.3)</sup>は、内部に鉄筋のある構造物の拘束状態に対応していると言えるが、コンクリート供試体の内部には鉄筋が埋設されているため、JIS A 1129の長さ変化試験の供試体と異なった断面になり、両者の自由収縮が異なることが懸念される。また、鉄筋比を極端に大きくすることが難しく、拘束の度合いを大きくできないなどの問題点がある。なお、この試験方法はJCI自己収縮研究委員会で自己収縮応力試験方法として採用されている。

(c)外部拘束型<sup>3.4)</sup>は、実構造物におけるひび割れの発生しやすさを実験室レベルでの実験結果から相対的に判断するために、十分な普遍性と信頼性のあるコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験の標準的な方法として、2002年にJIS規格化されている(JIS A 1151「拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法」)。また、拘束供試体のひずみを測定することができ、JIS A 1129の長さ変化試験と対応している。しかしながら、常時一定の拘束を与えることができず、型枠を組み立てる時に生じる鋼材のひずみの影響が大きいという問題点がある。

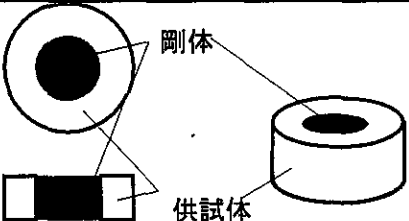
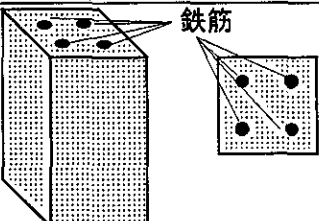
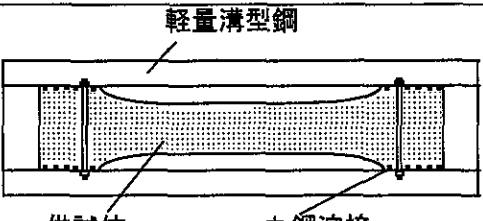
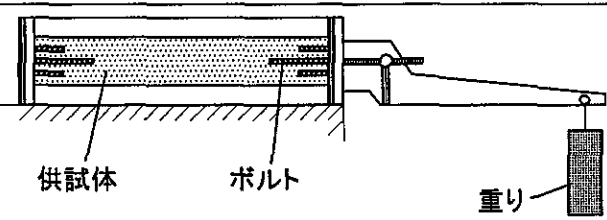
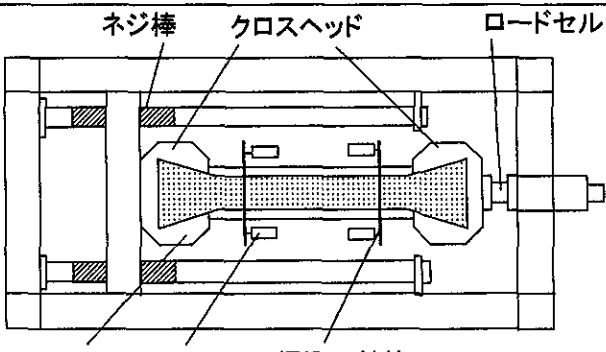
これら、(a)~(c)の試験方法に共通して、拘束されたコンクリートの応力は鉄筋または鋼材のひずみより推定するという間接的な方法のため、必ずしもコンクリートに作用する応力を正確に把握できないという問題がある。特にJIS試験方法では鋼材が曲げの影響を受けるため、正確な応力を推定するには鋼材のひずみ分布の把握が必要であり<sup>3.1)</sup>、装置組立て時の鋼材のひずみも影響する。

(d)引張装置型<sup>3.5)</sup>は完全拘束を実現できるが、実際の乾燥状態で生じる応力の変化には追従できないことや、拘束率の設定および制御が自由にできないという問題点がある。

(e)VRTMのようにコンクリートに任意の温度条件と拘束条件を与えることができる可変拘束試験機(Variable Restrain Testing Machine)<sup>3.6)</sup>を用いた試験方法が提案されているが、VRTM試験は試験機本体が大きく広いスペースを必要とし、そのため、一度に実験可能と

なる供試体の本数が少ないなどの問題点がある。

表-3.2.1 収縮ひび割れ試験方法の例

<p>(a) リング試験型<sup>3.2)</sup></p>	
<p>(b) 内部拘束型<sup>3.3)</sup></p>	
<p>(c) 外部拘束型<sup>3.4)</sup></p>	
<p>(d) 引張装置型<sup>3.5)</sup></p>	
<p>(e) VRTM<sup>3.6)</sup></p>	

これらの収縮ひび割れ試験方法について測定項目や試験の簡便さなどで評価した結果を表-3.2.2 に示す。筆者らはこのような従来の試験方法の特徴や問題点を踏まえ、収縮ひび割れ発生条件を検討する試験方法であるためには以下に示すような条件が必要であると考えた。

- (1)任意の拘束率が得られる。
- (2)装置の製作が容易で繰り返し使用が可能であり、供試体の製作が簡単である。
- (3)ひずみの測定が容易で、供試体に負荷される応力を直接測定できる。
- (4)ひび割れ発生が肉眼で確認でき、供試体の大きさが実験室レベルでの実験に相当である。

従来の収縮ひび割れ試験では以上の条件をすべて満たすことはできないと考えられる。そこで、本章において以上の条件を満たす新たな収縮ひび割れ試験装置の開発を行うこととした。

表-3.2.2 従来の収縮ひび割れ試験方法の評価

	制御・測定項目			試験の簡便さ		
	拘束率の 制御	ひずみの 測定	応力の 測定	装置の大きさ	供試体の作製	比較試験
(a)リング型 <sup>3.2)</sup>	×	△	△	○	○	○
(b)内部拘束型 <sup>3.3)</sup>	×	△	△	○	○	○
(c)外部拘束型 <sup>3.4)</sup> (JIS A 1151)	△	○	△	○	○	○
(d)引張装置型 <sup>3.5)</sup>	△	△	△	○	○	○
(e)VRTM 試験機 <sup>3.6)</sup>	○	○	○	×	△	×

○・・・非常に適している, △・・・可能である, ×・・・適していないまたは不可能

### 3.3 試験装置の開発

#### 3.3.1 試験装置の概要

##### (a)試験装置の性能条件

乾燥収縮ひび割れ試験の最終目標は、種々の条件下にある鉄筋コンクリート構造物の部材におけるひび割れ発生の有無、発生する場合はその時期などを予測することにある。さらに、ひび割れを抑制する立場から使用する材料やコンクリートの調合の良し悪しの判断、混和剤(材)等の性能比較をすることも重要な目的の一つであると考えられる。

このような目的のための試験装置としては、3.2 項で述べた条件に加え、下記の条件が考慮されていることが必要である。

- (1)実験結果が得られるまでに長時間を要しないこと(例えば、試験期間 6 週間程度まで)。すなわち、実部材に対する一種の促進試験であること。
- (2)適切なひび割れ発生材齢が得られるように、種々の拘束率が選べる装置であること。
- (3)同時に得られた実験データの中に、装置や測定方法などが原因となる未知量ができるだけ少ないこと。
- (4)複数の供試体を同時に実験できること。コンクリートの挙動は、同形状、同養生条件であってもまったく同じ変形をするとは限らない。そこで、実験を数多く行い、統計的に評価する必要がある。

##### (b)装置の設計

本研究では、完全拘束が可能な自動制御型拘束試験装置を開発することとした。コンクリートを拘束する方法として、主にスクリュージャッキ式と油圧ジャッキ式に分けられる。特徴として、スクリュージャッキ式はジャッキの回転により変位・速度制御に優れるが、コンクリートのヤング係数は常に変化しているため、荷重制御は難しくなる。油圧ジャッキ式では、荷重制御に優れるが、変位制御は難しくなる。本装置では、拘束率を制御するという目的から始まったため、スクリュージャッキ式を採用した。装置の概要は、パルスモーターをユニットコントロール部分の PC により制御することでコンクリート拘束治具と連結させたボールスクリュージャッキを動かし、コンクリートを拘束する方法により拘束率および拘束応力を制御するものである。このことより、収縮ひび割れ試験だけでなく引張クリープ試験や引張強度試験などの試験も可能な設計となっている。

本装置に採用されたボールスクリュージャッキとは、従来のジャッキのストローク可能な部分に小さな球体を介することで、ストロークをスムーズにしたものである。また、上部に取り付けられているロードセル(引張・圧縮両用型荷重計)により与えられている力を電気的に変換し、応力を直接測定することができる。図-3.3.1 に装置の概略図を、図-3.3.2 に乾燥収縮ひび割れ試験の状況を示す。

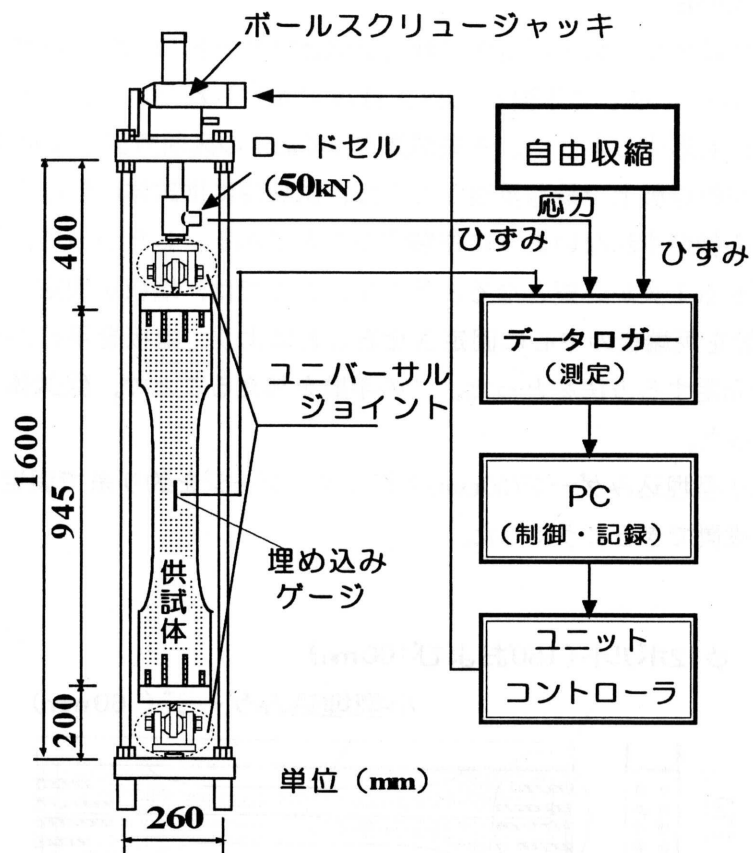


図-3.3.1 装置の概略図



図-3.3.2 乾燥収縮ひび割れ実験状況

### 3.3.2 供試体の作製方法

ひび割れ試験用供試体型枠および引張試験用供試体型枠を図-3.3.3 に示す。ひび割れ試験用供試体は、JIS A 1151 に準じて作製し、JIS A 1129 に規定されたコンクリートの長さ変化試験用供試体の断面に対応するように、中央部長さ 300mm の区間断面を 100×100mm としている。本供試体の型枠作製上で最も重要なことは、試験時に供試体に偏心荷重が作用しないよう、供試体の中心軸がずれないように作製することである。したがって、型枠の端板を確実に平行に設置できる工夫が必要となる。そこで、ここでは、端板を固定する前に、規定の長さ(945mm)の鋼管を両端板の中心に固定させることにより、端板を平行かつ中心軸を一致させた後、側板を固定する方法をとった。この手順を加えることで、供試体を正確に作製することが可能となった。

ひずみの測定は小型埋込みゲージ(60mm)で行うが、ゲージを釣り糸で固定し、打設の際に供試体の中央部に設置できるようにした。

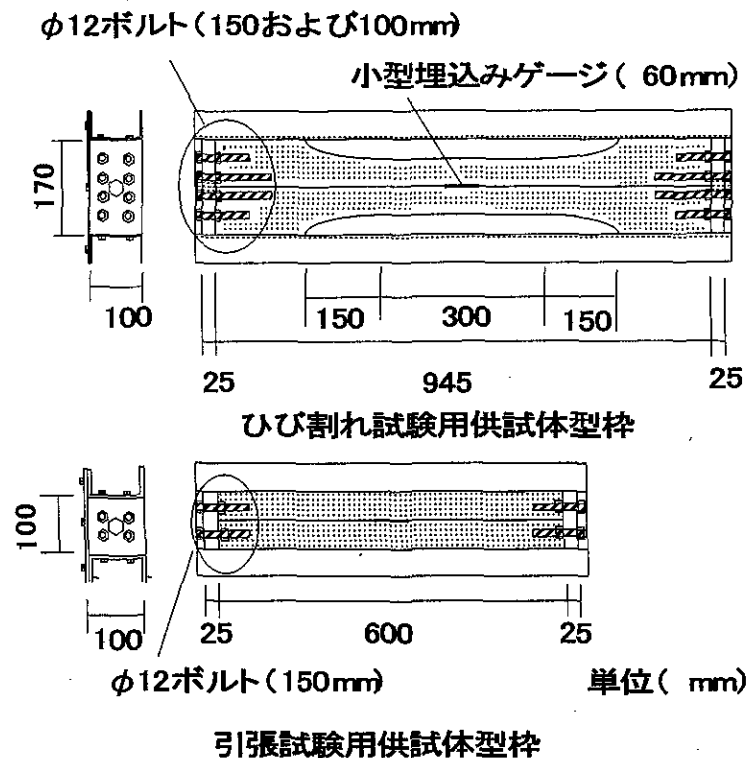


図-3.3.3 乾燥収縮ひび割れ試験供試体型枠

### 3.3.3 制御方法

#### (a)制御方法

図-3.3.4 に制御方法を示す。制御方法を図中の設定・計測例を用いて説明する。設定は拘束率 80%とする。制御を開始し、自由収縮ひずみ  $100 \times 10^{-6}$ 、拘束コンクリート  $30 \times 10^{-6}$  が計測されたと仮定する。基準データは、自由収縮ひずみ  $100 \times 10^{-6}$  に対して拘束率 80%であるから  $20 \times 10^{-6}$  となる。制御データは、拘束コンクリートのひずみである  $30 \times 10^{-6}$  となる。(応力制御の場合には、基準データは設定荷重、制御データはコンクリートの荷重である。)ここから、制御は次のように行われる。

①エラーデータを計算する。

エラーデータ = 制御データ ( $30 \times 10^{-6}$ ) - 基準データ ( $20 \times 10^{-6}$ ) より、 ( $10 \times 10^{-6}$ ) の誤差があることがわかる。

②パルスデータを計算する。

パルスデータ = エラーデータ ( $10 \times 10^{-6}$ )  $\times$  ( $1 \times 10^{-6}$ ) に対して設定したパルス数

③ユニットコントロールにパルス信号を出力する。

( $10 \times 10^{-6}$ ) の制御を試みる。

④制御データを計測する。

制御ができているか確認するため、①に戻る。

⑤エラーがなければ制御終了。エラーがあれば①～④を繰り返す。

この時、ひずみ許容誤差は  $1 \times 10^{-6}$  であるから、エラーデータが  $1 \times 10^{-6}$  以内(つまり、制御データが 19~21)であれば、制御は終了する。また、繰返し回数の設定が 10 回であるから、エラーデータに関わらず①～④の流れを 10 回繰返ししても、制御は終了する。これらの、ひずみ許容誤差および繰返し回数設定は、なんらかの原因で制御ができなくなった場合、常に制御状態になるのを防ぎ、PC に負担がかからないようにするためのものである。

制御間隔とは、上記の①～⑤の流れをどの程度の間隔で制御するかを設定するもので、間隔が短い方が精度の高い制御が可能となるが、基準・制御データの変動がほとんどないと予測される場合では、制御間隔の違いによる精度の差はほとんどないため、PC の負担を最小限に抑えるためには適切な設定をする必要がある。



**設定・計測例**

**[制御設定]**  
 拘束率: 80%  
 制御間隔: 4分  
 測定間隔: 10分  
 繰り返し回数: 10回  
 ひずみ許容誤差:  $1 \times 10^{-6}$

**[計測ひずみ]**  
 自由収縮:  $100 \times 10^{-6}$   
 拘束コンクリート:  $30 \times 10^{-6}$   
 つまり,  
 基準データ:  $20 \times 10^{-6}$   
 制御データ:  $30 \times 10^{-6}$

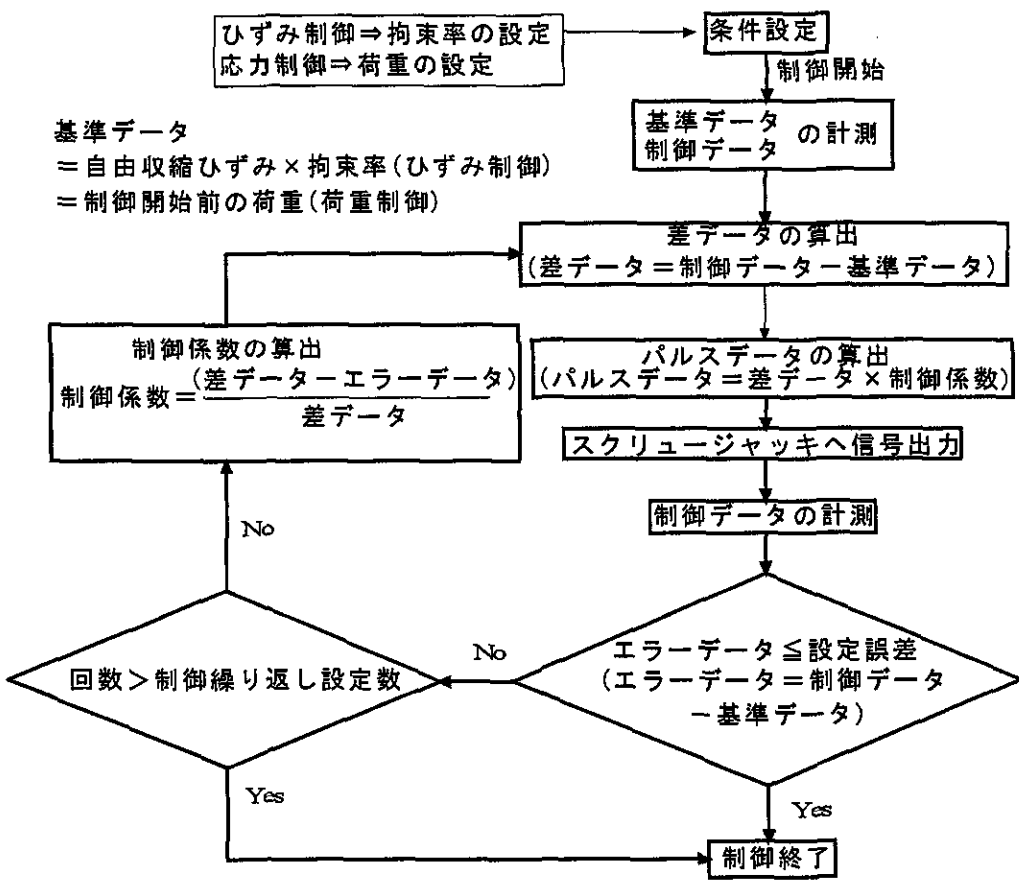


図-3.3.4 制御方法

### (b)試験終了条件

図-3.3.5 に制御方法指定から試験終了までのフローを示す。図中に示すように、試験終了までには、自動終了と制御終了の2通りの流れがある。制御終了は、手動で制御を終了させることであり、自動終了は、主に収縮ひび割れ試験のためのものである。収縮ひび割れ試験は、制御を開始してから、ひび割れが発生するまで制御を行う。この時、ひび割れ発生後の供試体は、拘束から解放され自由収縮を始め、制御できない状態となる。自由収縮を始めた制御データは、基準データから大きく離れるため、PCは大量のパルス信号をユニットコントロールに与えることになり、装置の挙動が予想できなくなる。そのため、ひび割れ発生条件をPCに与え制御を終了させる必要がある。そこで、ひび割れ発生時に拘束応力が小さくなることから、1つの設定条件を設け、前回計測時の荷重から設定値(本研究においては2kN)以上荷重が低下した時は、ひび割れが発生したと見なして制御を終了させる。

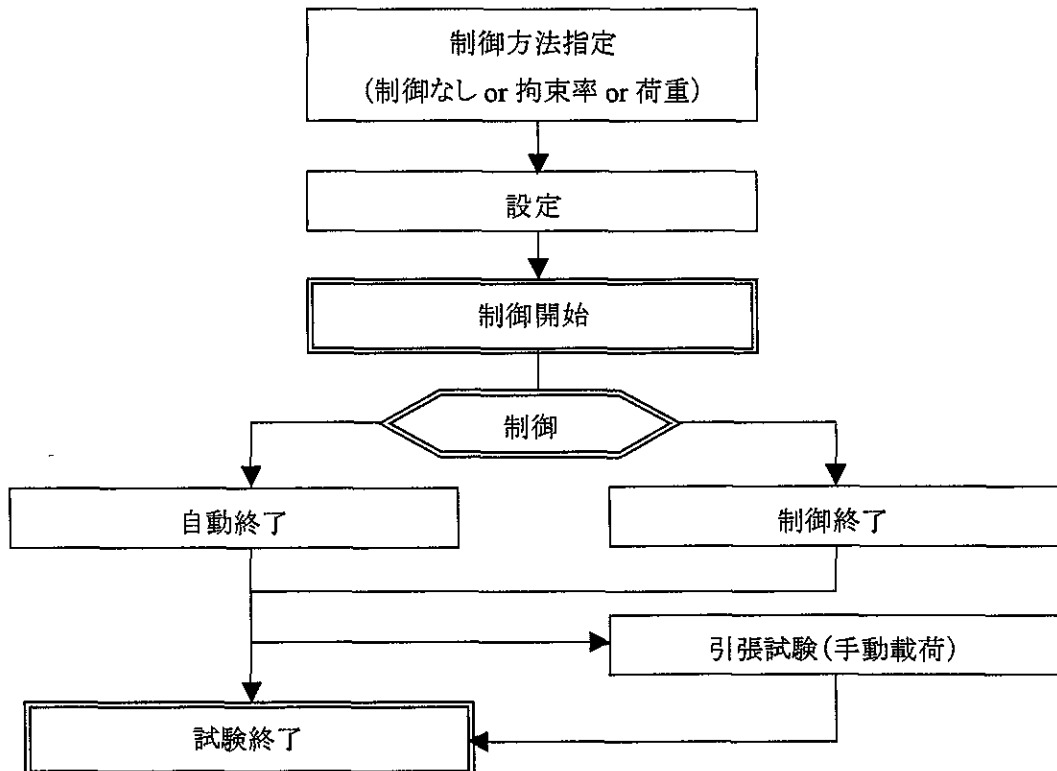


図-3.3.5 制御方法指定から試験終了までのフロー

### 3.4 試験装置の性能評価実験

#### 3.4.1 実験概要

開発した収縮ひび割れ試験装置はひび割れ試験のほかに静的引張試験や引張クリープ試験を行う機能を備えている。その性能を確認するために試験装置を用いて、静的引張強度試験、クリープ試験、収縮ひび割れ試験の3種の性能評価実験を行った。以下の実験には呼び強度24のレディーミクストコンクリートを使用した。特に表記がない限り実験には表-3.4.1に示すを使用した。

表-3.4.1 コンクリートの調合および使用材料

呼び強度	W/C (%)	s/a (%)	単位質量(kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	S	G	Ad
24	55	44.1	181	331	802	965	3.31

W; 水, C; 普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm<sup>3</sup>)  
 S; 細骨材(山砂; 表乾密度 2.58g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 1.88%, 粗粒率 2.65)  
 G; 粗骨材(石灰石碎石; 表乾密度 2.70 g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 0.38%)  
 s/a; 細骨材率, Ad; 混和剤(AE 減水剤標準形 I 種)

#### 3.4.2 静的引張強度試験

試作した試験装置において所定の性能を有しているかを確認するために静的引張強度試験を行った。また、1000kN 万能試験装置により同条件で実験を行い、その結果を比較した。使用した供試体は 100×100×600mm の角柱供試体であり、材齢 1, 7, 28 日で試験を行った。供試体の概要を図-3.4.1 に示す。供試体は各材齢 3 本とし、試験材齢まですべて標準水中養生とした。また、供試体内部中央に長さ 60mm の小型埋込みゲージを設置してひずみの測定を行い、強度の 1/2 における割線ヤング係数を算出した。

静的引張試験結果および算出したヤング係数の経時変化を図-3.4.2 に示す。試験結果は供

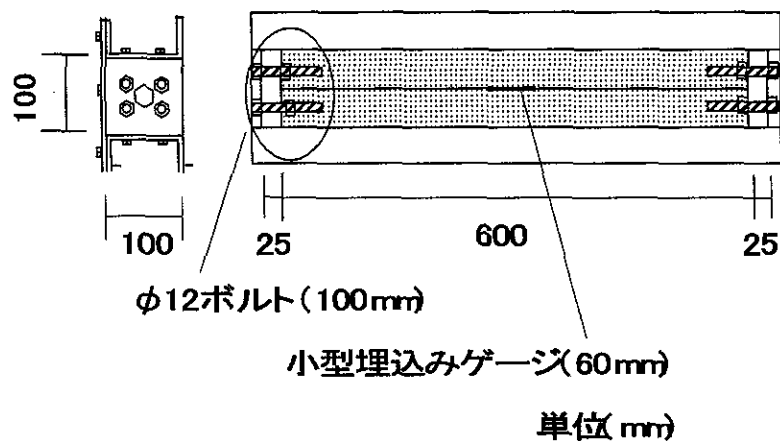


図-3.4.1 引張試験供試体および型枠図

試体3本の平均値を示している。引張強度および引張ヤング係数ともに試験装置の違いによる影響は見られなかった。これらの結果より試作した試験装置は静的引張強度試験にも充分使用できることが確認できた。

図-3.4.3 に引張強度試験後の破断状況を示す。すべての供試体において中央部付近や端部ボルトからは離れた位置で破断に至り、端部に予め埋込んでおいたボルト付近で破断した供試体は認められなかった。このことは、2.3.2 項に示した方法で作製した供試体を用いることによって偏心の少ない引張力を直接負荷できたことによるものと考えられる。

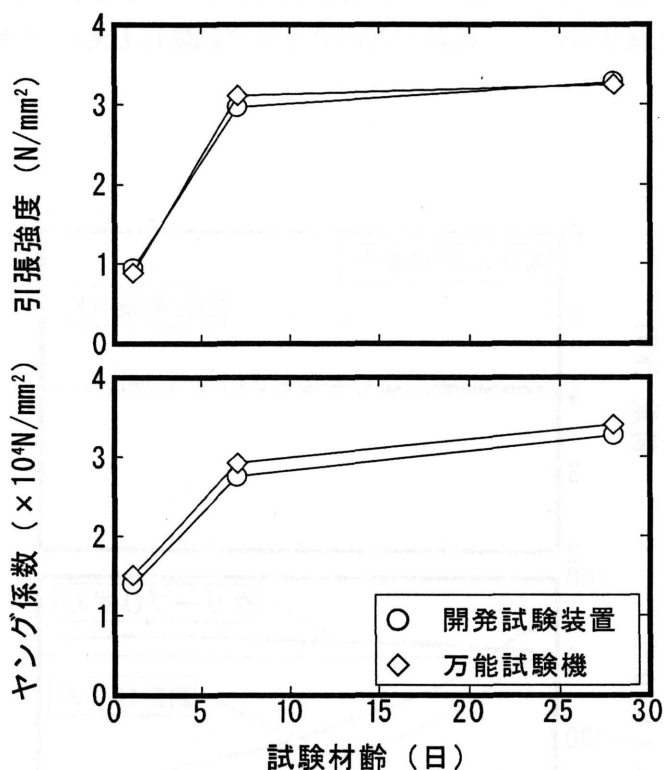


図-3.4.2 引張強度試験結果

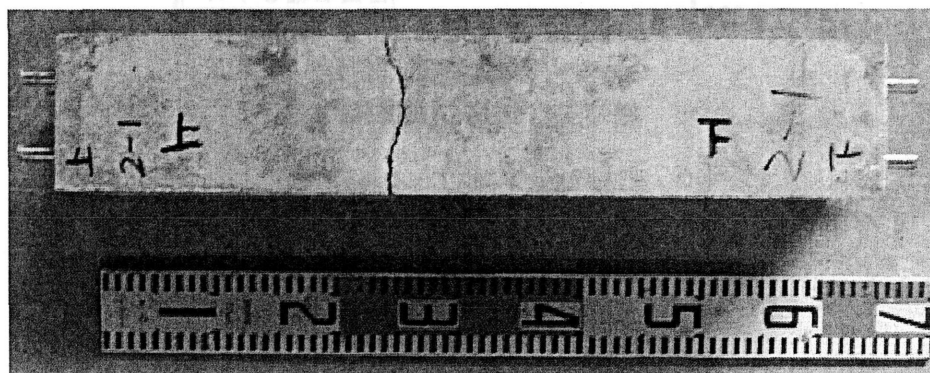


図-3.4.3 引張試験後の破断状況

### 3.4.3 引張クリープ試験

試作した試験装置はロードセルにより直接応力を測定することができるため応力制御も可能となり、引張クリープ試験にも対応できる。そこで載荷材齢1日において乾燥条件下にある引張クリープ試験を実施し、ひずみの測定を行った。載荷荷重は4kNに設定したが、これは載荷開始時の静的引張強度の40%程度である。

図-3.4.4 にクリープ試験結果を示す。上図には載荷荷重の経時変化を、下図にはコンクリートのひずみの測定結果を示している。図中には測定ひずみと自由収縮ひずみおよびクリープひずみを示している。クリープひずみは、クリープ試験において実測された全ひずみから、自由収縮試験で実測されたひずみと、弾性ひずみを差し引いた値として示している。載荷荷重は4+0.1kNの範囲内に納まっており、載荷期間中設定した荷重を一定に制御できている。このように試作した試験装置は、若材齢からのクリープ試験にも対応できることが確認できた。

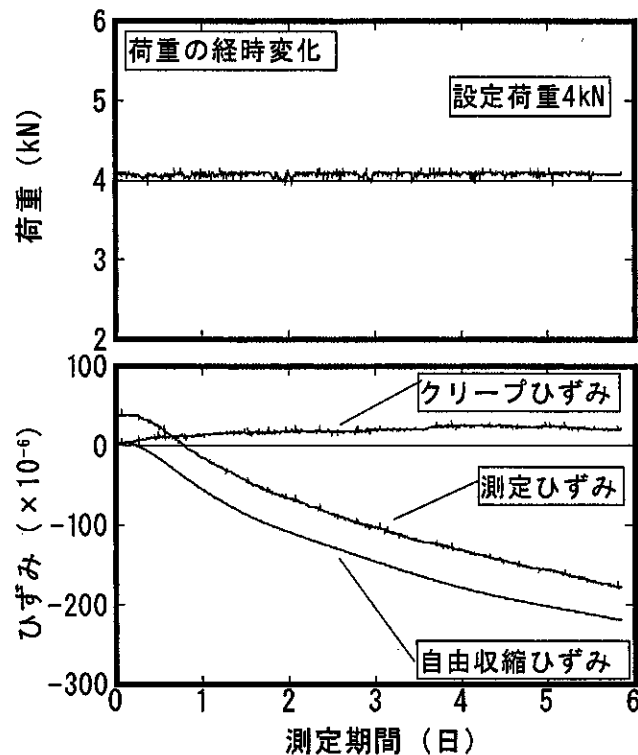


図-3.4.4 クリープ試験結果

### 3.4.4 収縮ひび割れ試験

#### (a)ひずみの測定方法

試作した試験装置において、供試体のひずみは小型埋込みゲージによって測定しており、ひずみの制御は小型埋込みゲージの値を基準にしている。例えば拘束率 100%で制御している場合、小型埋込みゲージの値が実験開始から変化しない、つまり 0 となるように制御している。拘束率 60%では小型埋込みゲージの値が自由収縮ひずみの 40%となるように制御する。小型埋込みゲージは供試体内部のひずみを測定しているが、コンクリートは外部から乾燥を受け大きく収縮する。供試体の外部と内部の収縮の値が大きく異なっているならば、小型埋込みゲージによる拘束供試体の制御は妥当ではなくなる。そこで、拘束供試体のひずみを測定する際および制御する際に埋込みゲージを使用することの妥当性を確認するために、図-3.4.5 に示すように、小型埋込みゲージおよび変位計を用いてコンクリートのひずみを測定し、比較検討を行った。実験は若材齢および長期材齢におけるひずみの挙動について評価するため材齢 1 日、170 日で実施した。拘束率は 100%，すなわち、小型埋込みゲージの値を常に  $0 \times 10^{-6}$  となるように制御している。

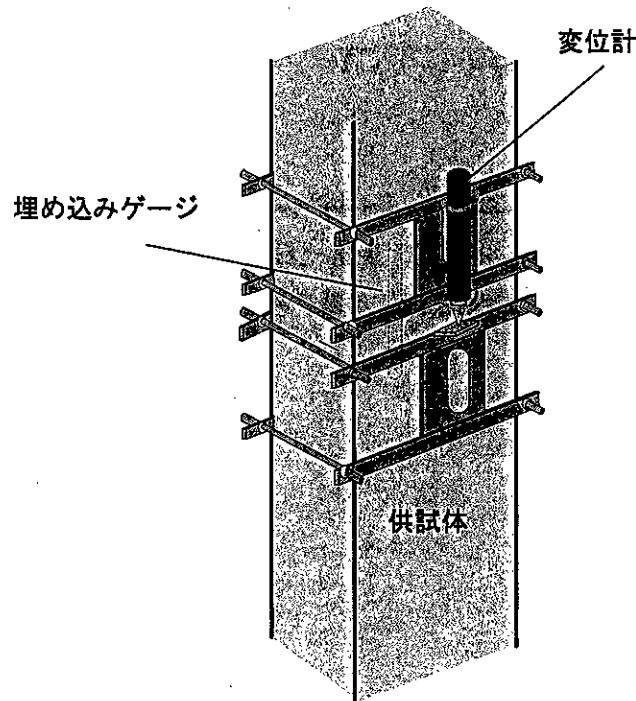


図-3.4.5 ひずみの測定方法

供試体のひずみの経時変化を図-3.4.6 に示す。乾燥開始材齢 1 日の実験結果では実験開始直後は値に違いが見られるものの、その後は同様の傾向を示している。また、乾燥開始材齢 170 日の実験結果では、実験開始から埋込みゲージと変位計の値はほぼ同じ傾向を示している。以上の結果から、拘束供試体のひずみの測定は、小型埋込みゲージを用いても問題がないことが確認できた。

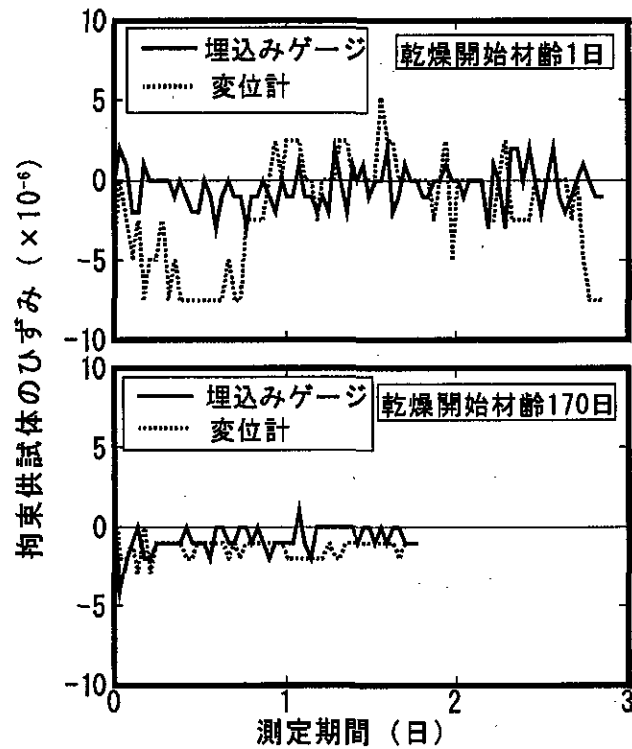


図-3.4.6 拘束供試体のひずみの経時変化

### (b)鋼材ひずみの分布

乾燥収縮ひび割れ試験を行うに先立って、試験中に支柱の4本の鋼材にどのようなひずみが生じているのか確認することとした。図-3.4.7に鋼材ひずみの測定状況を、図-3.4.8に鋼材ひずみの経時変化を示す。図に示すように、ひずみは鋼材の中央部にひずみゲージを貼り付けて測定した。鋼材のひずみの測定結果より、4本の支柱のひずみはほぼ同様な値を示しており、このことから拘束供試体が均等に引張られていることが確認できた。

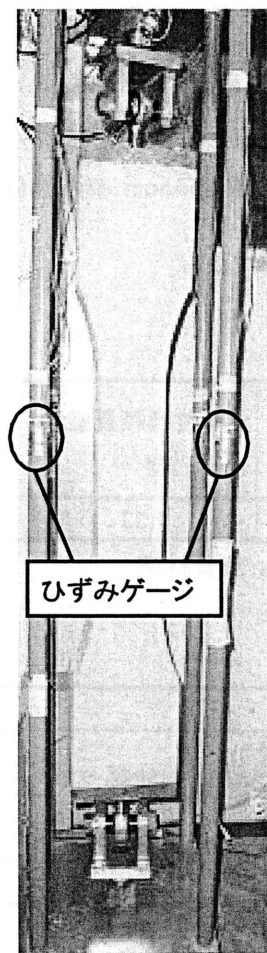


図-3.4.7 鋼材ひずみの測定状況

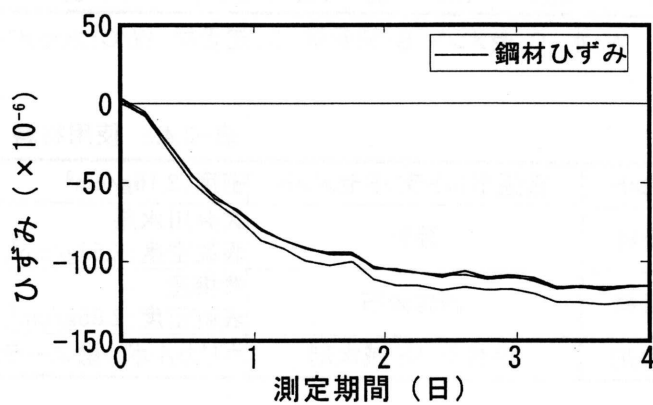


図-3.4.8 鋼材ひずみの経時変化



### (c)自己収縮応力試験

近年、実施工への使用が増大している高強度および高流動コンクリートといったいわゆる高性能コンクリートの開発とともに自己収縮ひずみが起因となるひび割れの問題が顕在化してきた<sup>3,7)</sup>。自己収縮が問題となるコンクリート、特に水セメント比が低い高強度のコンクリートは、水和熱の上昇速度が速く、強度発現も早いことが報告されている。そのため、自己収縮によるひび割れのメカニズムを解明するには、水和熱に起因する温度応力や若材齢時のヤング係数、クリープなどの物性値を適切に把握することが極めて重要な課題となり、またこれらを考慮した応力解析が必要となる。しかし、高強度コンクリートの若材齢時における物性に関するデータは少ない。そこで、試作した試験装置を用いて自己収縮応力の測定を行った。

表-3.4.2 にコンクリートの調合、表-3.4.3 に使用材料を示す。セメントは、普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材には大井川水系陸砂、粗骨材は青梅産砂岩砕石、混和剤は高性能 AE 減水剤を用いた。水セメント比 30%，目標スランプフロー値 65±5cm の高強度コンクリートとした。

表-3.4.2 コンクリートの調合使用材料

W/C (%)	s/a (%)	単位質量 (kg/m <sup>3</sup> )				スランプフロー (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/l)	温度 (°C)
		W	C	S	G				
30	48.4	165	550	809	880	69 × 68	3.5	2.33	30

W:水 C:セメント S:細骨材 G:粗骨材 W/C:水セメント比 s/a:細骨材率

表-3.4.3 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	陸砂	大井川水系 表乾密度:2.57g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:2.15%, 粗粒率:2.76
粗骨材	砂岩砕石	青梅産 表乾密度:2.65g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.59%, 実積率:60.4%
混和剤	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系

自己収縮応力試験状況を図-3.4.9 に示す。自己収縮応力の測定は材齢 0.5 日から開始した。拘束率を 100%に設定し、ひずみの許容誤差は±3×10<sup>-6</sup>に設定し、制御は 4 分間隔で行い、10 分間隔で計測した。ひび割れ発生を判断するための荷重変動は±2kN とした。

コンクリートは打設後、表面仕上げを行ってから水分の蒸発を防ぐために湿布およびビニールシートで覆って養生した。実験開始材齢 0.5 および 1 日の供試体は 0.5 日に脱型し、その他の供試体は材齢 1 日で脱型し、所定の材齢まで養生室内(温度 20±1°C)で封かん養生とした。供試体のシールは、ビニールフィルムおよびラミネートフィルムを用いた。

図-3.4.10 に自由収縮ひずみおよび拘束コンクリートのひずみ、図-3.4.11 に自己収縮応力の経時変化を示す。拘束コンクリートのひずみは、ほぼ0であり、拘束率 100%が実現できていることが分かる。本実験では拘束率 100%における高強度コンクリートの自己収縮応力の測定とともに、自己収縮ひび割れ特性を把握することが目的であった。しかしながら、自己収縮ひずみが 2 日で  $40 \times 10^{-6}$  まで増加した後は一定値のまま変化は見られず、同様に拘束応力も増加せず、ひび割れの発生は見られなかった。そこで、測定期間が 7 日を過ぎたあたりで供試体のシール状態を解除して、乾燥状態にした。乾燥直後から自由収縮ひずみは増大し、それに伴い拘束応力も増大し、乾燥開始後 2.47 日および 3.48 日でひび割れが発生した。ひび割れ発生時の拘束応力はそれぞれ  $2.5 \text{ N/mm}^2$  および  $2.8 \text{ N/mm}^2$  であり自己収縮応力に比べてはるかに大きい値である。このように若材齢における自己収縮応力の測定にも本試作装置が適用可能であることが確認できた。

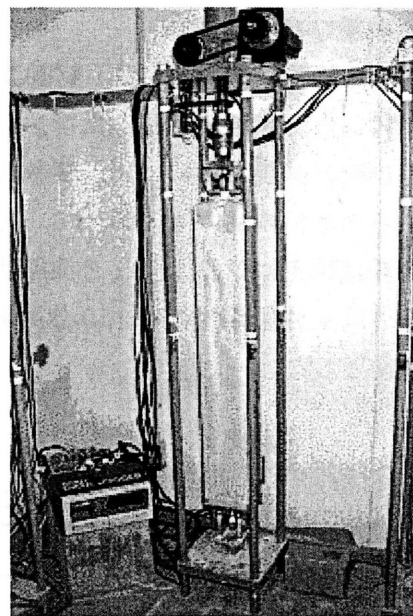


図-3.4.9 自己収縮応力試験状況

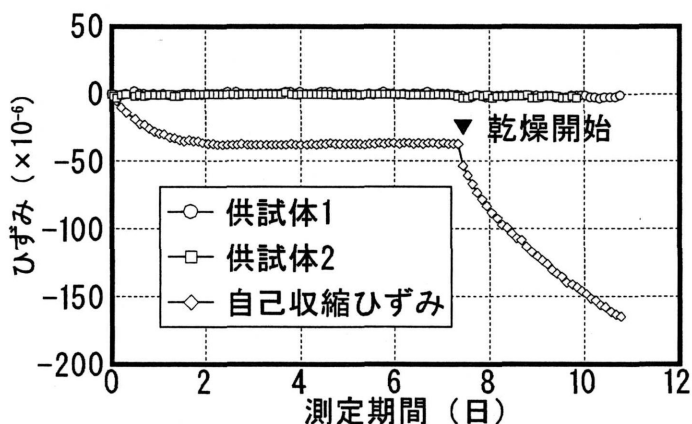


図-3.4.10 収縮ひずみおよび拘束コンクリートのひずみの経時変化

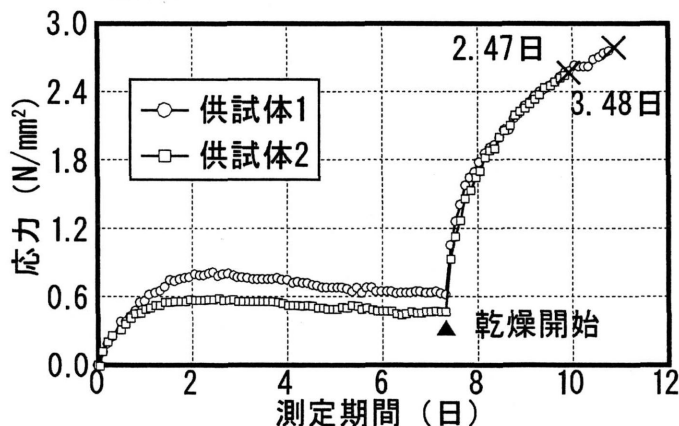


図-3.4.11 自己収縮応力の経時変化

#### (d)乾燥収縮ひび割れ試験

試作した試験装置を用いて、材齢7日から乾燥を受けたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験を行った。実験に使用したコンクリートの調合および使用材料を表-3.4.4に示す。乾燥収縮ひび割れ試験においては、複数の条件下でも正確に実験を行うことが可能であることを確認するために拘束率を100, 60, 50, 40, 30, 20%の6条件とした。ひずみ制御のための自由収縮は拘束コンクリートと同形状の供試体を用い、ひずみの許容誤差は $\pm 3 \times 10^{-6}$ に設定し、制御は4分間隔で行い、10分間隔で計測した。ひび割れ発生を判断するための荷重変動は $\pm 2\text{kN}$ とした。

表-3.4.4 コンクリートの調合および使用材料

呼び強度	W/C (%)	s/a (%)	単位質量(kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S	G1	G2	Ad
24	54.9	46.9	184	336	818	461	461	3.36

W:水, C:普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm<sup>3</sup>)

S:細骨材(山砂:表乾密度 2.58g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 2.57%, 粗粒率 2.65)

G1:粗骨材(碎石, 表乾密度 2.65 g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 0.59%)

G2:粗骨材(碎石, 表乾密度 2.65 g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 1.23%)

s/a:細骨材率, Ad:混和剤(AE 減水剤標準形 I 種)

これ以降に乾燥収縮ひび割れ試験結果について考察を行う。図-3.4.12 に供試体のひずみおよび拘束引張ひずみの測定結果を示す。図中の▼印でひび割れが発生したことを示すが、測定期間中には拘束率 100, 60, 50%においてひび割れが発生した。供試体に発生するひび割れは 1 本であり、すべて貫通ひび割れである。ひずみの測定結果より、拘束率を 100%に設定している供試体のひずみは、 $0 \sim -3 \times 10^{-6}$  の範囲にあり、設定した許容誤差の範囲内に納まっている。他の拘束率においても拘束供試体のひずみは自由収縮ひずみに対してそれぞれ設定した値を示している。拘束引張ひずみは、自由収縮ひずみから拘束供試体のひずみを差し引いたもので、これによると、拘束率が低いものほど曲線の傾きが緩やかになっている。

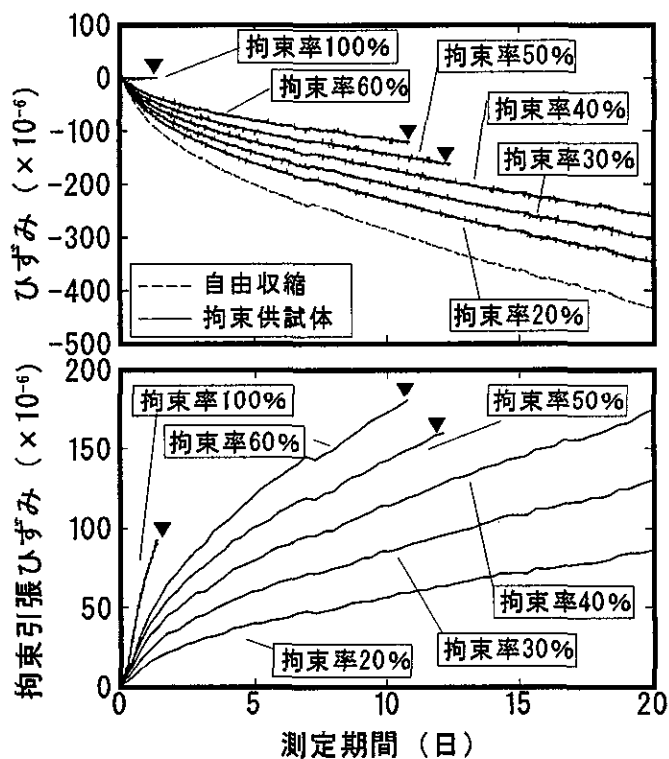


図-3.4.12 乾燥収縮ひび割れ試験結果

図-3.4.13 に測定したひずみより算出した拘束率の経時変化を示す。拘束率は拘束引張ひずみを自由収縮ひずみで除した値であり、自由収縮の小さい乾燥初期の間はばらつくが、すぐに安定し、設定した拘束率が常に得られていることが分かる。

図-3.4.14 にロードセルより測定された荷重を破断面積で除した拘束応力の経時変化を示す。図より、乾燥開始直後より拘束応力が上昇していることが分かる。また、拘束引張ひずみの経時変化と同様に拘束率が低いものほど、曲線の傾きが緩やかになっている。

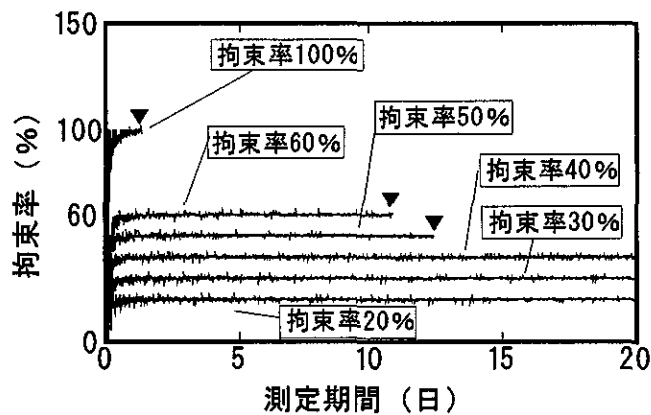


図-3.4.13 拘束率の経時変化

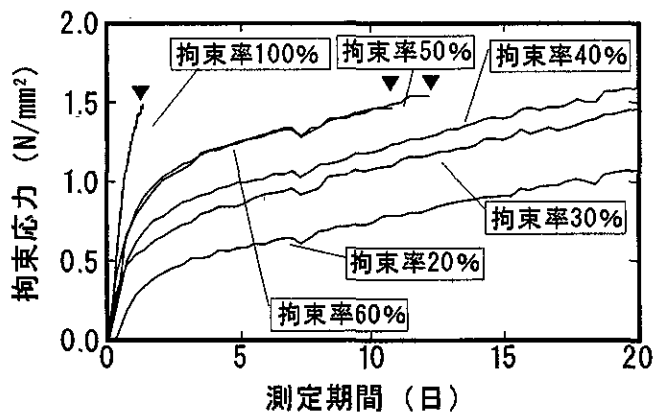


図-3.4.14 拘束応力の経時変化

コンクリートは乾燥開始直後から収縮変形を生じており、この極初期における微小なひずみに対しても試作装置において精度よく制御できているかどうかを確認するため、0.5日間の測定結果を検討することとした。図-3.4.15に0.5日間の測定結果を示す。上図のひずみの経時変化では、乾燥開始直後から収縮する自由収縮ひずみに対して、拘束供試体のひずみがそれぞれ設定した拘束率に対応して制御されていることがわかる。下図の応力の経時変化では、拘束率20%のように低い拘束率の場合、拘束ひずみ量が小さいため拘束応力が上昇するまでに0.3日程度の時間を要しているものの、その後緩やかに上昇している。以上の結果より、試作した試験装置はコンクリートの乾燥開始直後の微小な収縮ひずみの変動に対しても精度の高い制御が可能であることが確認できた。

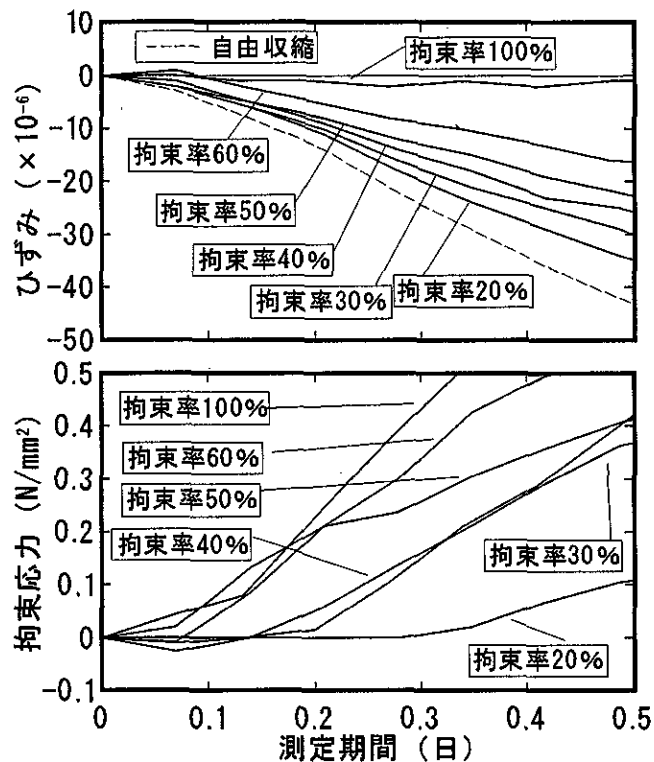


図-3.4.15 乾燥開始直後のひずみおよび応力の経時変化

### 3.5 まとめ

本章では、従来の収縮ひび割れ試験方法についてまとめるとともにそれぞれの試験方法の特徴について考察を行った。その結果より収縮ひび割れ試験に必要であると考えられる性能を持った試験装置を新たに開発し、性能評価実験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1)引張強度試験では、万能試験機の結果を用いた場合と同程度の結果が得られ、また全ての供試体のほぼ中央部付近で破断することが確認できた。
- 2)引張クリープ試験では、設定した荷重を測定期間中、高い精度で制御できていることが確認できた。
- 3)乾燥収縮ひび割れ試験では、設定した拘束率を試験期間中、精度良く制御していることが確認できた。

以上のことから、当初構想したひずみ制御機能を備えた収縮ひび割れ試験装置を開発することができた。以降において、この装置を用いて実験を行い、収縮ひび割れ発生メカニズム解明のためにデータを収集し、収縮ひび割れ発生条件を検討する。

#### 【参考文献】

- 3.1)上田賢司ほか：コンクリート部材の乾燥収縮ひび割れ実験における拘束鋼材のひずみ分布，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.703-708，1997
- 3.2)久保ホベルト洋ほか：リング試験による自己収縮拘束特性の評価と損傷の蛍光顕微鏡観察，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.607-612，2000
- 3.3)大野義照ほか：鉄筋コンクリート部材の乾燥収縮ひび割れ幅の算定，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp579-580，2002
- 3.4)川瀬清孝ほか：コンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法の標準化とその適用性に関する研究，セメント・コンクリート，No.532，pp.49-56，1991
- 3.5)佐治泰次ほか：拘束状態にあるモルタルに生ずる乾燥収縮応力度についての実験の研究，日本建築学会論文報告集，第101号，pp.1-6，1964
- 3.6)丸山一平ほか：擬似完全拘束実験による若材齢コンクリートの時間依存的力学特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.357-362，2002
- 3.7)森下隆志ほか：若材齢における高強度コンクリートの微視的構造が自己収縮拘束挙動におよぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.709-714，2001