

# 論文 モルタル供試体を用いた収縮ひび割れ試験方法に関する実験的研究

吉川 悟史\*1・佐藤 嘉昭\*2・上田 賢司\*3・大谷 俊浩\*4

**要旨:** コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性を評価する試験は、供試体サイズが大きく、装置の台数が限られることなど効率的な試験方法ではないことから、供試体作製が簡便であり、一度に多くの調合を用いて試験が可能な 40×40×160mm のモルタル供試体を用いた最適な収縮ひび割れ試験方法を提案することを目的として実験を行った。その結果、拘束鉄筋は径が φ13mm 程度、無拘束区間となる試験区間長さ 40mm 程度が適当であることがわかった。また、モルタル供試体のひび割れ発生時の拘束応力は、ひび割れ供試体と同じ条件で乾燥を受けた供試体の直接引張強度と同程度であることが確認された。

**キーワード:** モルタル、乾燥収縮ひずみ、拘束ひび割れ試験、直接引張強度

## 1. はじめに

近年、構造物の耐久性向上、長寿命化の観点から、RC 構造物に生じる収縮ひび割れ抑制に対する要求が高まり、ひび割れを低減するための対策が求められている。火力発電所からの副産物であるフライアッシュ（以下、FA と示す）は、コンクリートに混和すると単位水量の低減や水和熱の抑制、ポズラン反応による長期強度の増進や耐久性の向上が期待できる材料であり、エコマテリアルとしての有効利用が望まれている。しかしながら、既往の研究<sup>1)2)</sup>において、FA を使用したコンクリートについて収縮ひび割れ試験を行った結果、FA 混和による明確なひび割れの遅延効果は認められず、FA を使用したコンクリートの収縮ひび割れ抵抗性に関しては、十分な知見が得られているとはいえない。

コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性を評価する試験は、JIS A 1151 に代表される外部拘束法や内部拘束法<sup>3)</sup>、拘束率制御型試験機<sup>4)</sup>を使用した収縮ひび割れ試験方法がある。しかし、これらコンクリートを用いた収縮ひび割れ試験の供試体サイズは大きく、試験装置の台数も限られることから、一度に多くの調合で実験することが難しく、十分な比較データを蓄積することが困難である。そこで、モルタル供試体によってひび割れ抵抗性を簡便に評価することができれば、一度に多くの調合を用いて試験が可能になり、上述の FA を使用したコンクリートのひび割れ抵抗性に関してもデータの蓄積が容易であると思われる。

以上のことから、本研究では、鉄筋埋設型の収縮ひび割れ試験を対象に、モルタル供試体を用いた最適な収縮ひび割れ試験方法を提案することを目的としている。

## 2. 収縮ひび割れ試験方法 1

### 2.1 モルタル供試体

**写真-1** および**図-1** にモルタル供試体を示す。モルタル供試体を用いた収縮ひび割れ試験方法は、供試体作製の簡便さを優先して内部拘束型の鉄筋埋設ひび割れ試験とし、JIS R 5201 に規定される 40×40×160mm の型枠を使用した。拘束鋼材はみがき丸鋼とし、付着区間はみがき丸鋼にねじ加工して、モルタルとの付着を確保するようにした。供試体寸法は、型枠に鋼材を固定する治具を設置したため、モルタル部分の長さは 154mm である。

鋼材のひずみの測定には**写真-1** に示すとおり、ひずみゲージ（ゲージ長：2mm）を使用し、鋼材中央部の相対する表面の 2 箇所に貼り付けた。モルタルのひずみの測定は**図-1** に示す位置にポリエステルゲージ（ゲージ長：20mm）を使用し、打設面と底面を除く側面中央部の 2 箇所に貼り付けた。また、試験区間の処理として、熱収縮チューブを巻いた上にグリスを塗りモルタルとの付着を除去するようにした。

### 2.2 実験計画

実験概要を表-1 に示す。実験はシリーズ 1 とシリーズ 2 の 2 種類の実験を行った。

シリーズ 1 は拘束鋼材の径や無拘束区間となる試験区

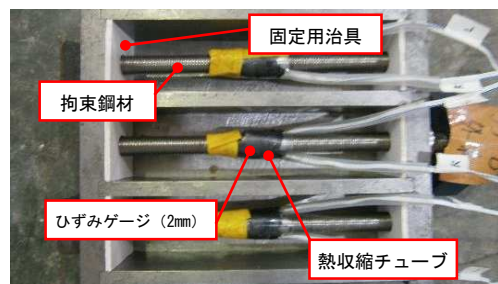


写真-1 モルタル供試体概要

\*1 大分大学 大学院工学研究科博士後期課程環境工学専攻 修士(工学) (日本国土開発(株))(正会員)

\*2 大分大学工学部福祉環境工学科建築コース教授 工博 (正会員)

\*3 (株)ゼロテクノ技術部部长 博士(工学) (正会員)

\*4 大分大学工学部福祉環境工学科建築コース准教授 博士(工学) (正会員)

間の適切な長さを把握することを目的とし、鋼材の径をφ13mmとφ16mmの2水準、それぞれの試験区間を40mm(φ13mmのみ)、60mm、80mm、100mmとして、実験を行った。試験区間と付着区間の選定は、文献<sup>3)</sup>で提案されているコンクリートの拘束ひび割れ試験方法を参考にした。

シリーズ2では、鉄筋径をφ13mm、試験区間を40mmとし、モルタルの細骨材種類を代えた場合について、収縮ひび割れ試験を行った。

### 2.3 モルタルの調査

使用材料を表-2に、実験に用いたモルタルの調査を表-3に示す。

シリーズ1は、水セメント比を60%、細骨材容積比を55%とした。シリーズ2は、水セメント比を50%、細骨材容積比を52.3%とした。

モルタルの練混ぜには容量30リットルのモルタルミキサを使用し、練混ぜ時間は3分とした。すべての供試体は、材齢1日で脱型し、乾燥開始材齢まで標準水中養生(温度20±1℃)を行った。

### 2.4 実験項目

実験項目を表-4に示す。フロー値はフローコーンを用いた0打、15打フロー値を測定した。圧縮強度試験は、コンプレッソメータによりひずみを測定し、ヤング係数も求めた。また、割裂引張強度は、コンクリートの試験方法であるJIS A 1113を参考にして行った。

シリーズ2のみ直接引張強度試験を行った。直接引張強度試験は、1×1×11inchの供試体を用いてパンタグラフ式チャック<sup>5)</sup>による方法にて行った。これは、供試体の端部を挟んで引張るもので、材齢7日および材齢7日から乾燥させた供試体の材齢28日で試験を行った。

乾燥収縮ひずみおよび脱水量の測定は、JIS A 1129に準拠して、ダイヤルゲージ(精度:1/1000mm)を用いて行った。乾燥は、材齢7日から、恒温恒湿室内(温度20±1℃, 60±5%R.H.)にて開始した。

### 2.5 実験結果および考察

表-5にシリーズ1およびシリーズ2のモルタルの物性試験結果一覧を示す。

#### (1) シリーズ1

表-6に収縮ひび割れ試験結果一覧を、図-2にφ13mmの試験区間100mmを除く拘束鋼材およびモルタルひずみの経時変化を示す。表-6中の拘束率は、式(1)により算出した。

$$\text{拘束率} = \frac{(\text{自由収縮ひずみ} - \text{拘束供試体のひずみ})}{\text{自由収縮ひずみ}} \quad (1)$$

φ16mmの鋼材を用いた場合、試験区間の長さに関わらず、乾燥開始後5日までにひび割れが発生した。この

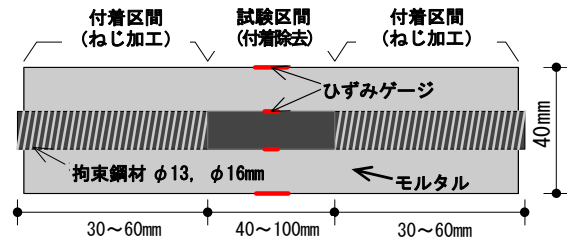


図-1 モルタル供試体概要(上面図)

表-1 実験概要

シリーズ	拘束方法	
	拘束鋼材径	試験区間 (mm)
1	φ13, φ16	40, 60, 80, 100
2	φ13	40

表-2 使用材料

記号	種類	使用材料
C	セメント	普通ポルトランドセメント 密度: 3.16g/cm <sup>3</sup>
W	水	上水道水
S1	細骨材	混合砂 表乾密度: 2.55 g/cm <sup>3</sup> 吸水率: 2.77% 実積率: 62.6% 粗粒率: 2.46
S2		石灰砕砂 表乾密度: 2.66 g/cm <sup>3</sup> 吸水率: 1.40% 実積率: 65.6% 粗粒率: 2.40

表-3 モルタルの調査

シリーズ	使用砂	W/C (%)	Vs (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
				W	C	S1	S2
1	混合砂	60	55.0	295	491	1403	0
	混合砂	50	52.3	293	585	1332	0
石灰砕砂	52.3		293	585	0	1391	

表-4 実験項目

実験項目	供試体寸法 (mm)	試験材齢 (日)	供試体数 (体)
モルタルフロー値 (0打, 15打)	—	—	—
空気量			
圧縮強度試験	φ50×100	7, 28	各5
割裂引張試験		7, 28	各5
直接引張強度試験 (シリーズ2のみ)	1×1×11inch	7, 28	各3
乾燥収縮ひずみ・脱水量	40×40×160	7~	各3
鉄筋埋設ひび割れ試験	40×40×160		各1(シリーズ1) 各3(シリーズ2)

表-5 モルタルの物性試験一覧

シリーズ	使用砂	フロー値 (mm)		空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )		割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
		0打	15打		7日	28日	7日	28日	7日	28日
1	混合砂	120	203	2.5	24.9	40.6	19.5	23.4	2.97	3.36
		130	202		27.6	48.8	20.1	24.6	2.99	4.00
2	石灰砕砂	133	213	2.8	39.2	53.0	24.7	29.6	4.24	4.73

表-6 収縮ひび割れ試験結果一覧(シリーズ1)

丸鋼	試験区間 (mm)	ひび割れ発生日 (日)	鋼材ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	モルタルひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	拘束率
φ13	40	9.4	198	203	0.60
	60	20	192	399	0.57
	80	42	149	517	0.56
	100	42	110	691	0.41
φ16	60	2.7	85	105	0.66
	80	4.6	94	130	0.69
	100	4.7	91	190	0.53

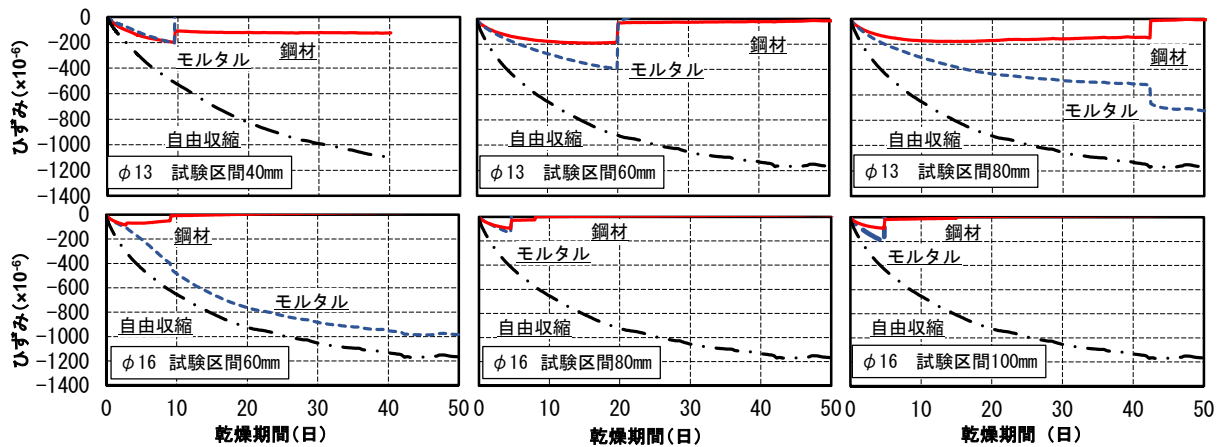


図-2 拘束鋼材およびモルタルひずみの経時変化 (シリーズ 1)

ように、ひび割れの発生が早過ぎ、調合間の比較が出来なくなることが懸念されるため、収縮ひび割れ抵抗性の評価試験として、φ16mm を用いることは望ましくないと思われる。

試験区間長さで比較すると、φ13mm の供試体では、試験区間 40mm は乾燥後 9 日程度でひび割れが発生し、試験区間長さ 60mm では乾燥期間 20 日で、試験区間長さ 80mm, 100mm では 42 日でひび割れが発生した。試験区間が長くなるほど、ひび割れ発生が遅くなる傾向が見られ、また、拘束率も小さくなる傾向が見られた。これは、付着区間が短くなり、モルタルとの付着が小さく、拘束の程度が小さくなるためである。なお、60mm の供

試体をはじめ、試験区間長さが長くなると、乾燥初期からモルタルと鋼材のひずみに差が生じており、乾燥期間が長くなるほど、差が大きくなる傾向が見られた。これは、付着長さが短いと十分な拘束が行われず、モルタルと鉄筋にすべりが生じることが考えられる。また、モルタルに生じる拘束応力を算出する場合には、拘束鋼材とモルタルの収縮ひずみが一致していることが前提となるため、ひずみに差が生じると算出が困難となる。試験区間 40mm の供試体ではモルタルと鋼材のひずみがほぼ一致しており、十分な付着ができていと推察され、モルタルの拘束応力を算出できると考えられる。

以上より、ひび割れの発生があまりに早すぎると、すなわち、拘束の度合いが大きすぎると、FA の混和の有無や置換率、W/B の影響など調合間の比較が懸念されたことと、拘束鋼材のひずみとモルタル供試体の表面ひずみの適合性から、混和材を用いたひび割れ試験方法に用いる拘束鋼材は、φ13mm、試験区間 40mm が適していると判断した。

## (2) シリーズ 2

表-7 に収縮ひび割れ試験結果一覧を、図-3 にそれぞれの拘束鋼材のひずみから算出した拘束応力の経時変化を示す。また、図-4 に各調合の乾燥収縮ひずみの経

表-7 収縮ひび割れ試験結果一覧 (シリーズ 2)

調合	ひび割れ発生日 (日)	鋼材ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	自由収縮ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	拘束応力 (N/mm <sup>2</sup> )	拘束率	
混合砂	1	46.0	223	934	4.15	0.60
	2	9.8	228	561	4.14	
	3	20.7	265	763	4.93	
石灰砕砂*	1	—	262	731	4.81	0.65
	2	—	256	—	4.74	
	3	—	266	—	4.94	

\*乾燥期間 50 日時点での測定値

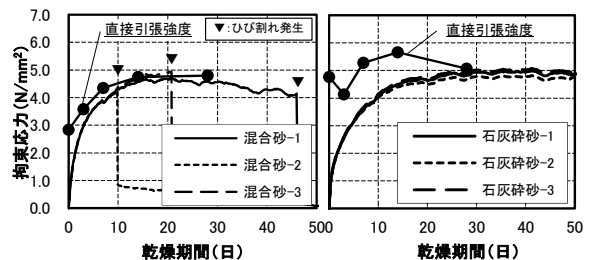


図-3 拘束応力の経時変化 (シリーズ 2)

時変化を示す。なお、図-3 の拘束応力は式(2)より算出した。

$$\sigma_m = -(E_s \times \varepsilon_s \times A_s) / A_m \quad (2)$$

ここに、 $\sigma_m$ :モルタルの拘束応力 (N/mm<sup>2</sup>)、 $E_s$ :鋼材のヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)、 $\varepsilon_s$ :鋼材のひずみ、 $A_s$ :鋼材の断面積 (mm<sup>2</sup>)、 $A_m$ :モルタルの断面積 (mm<sup>2</sup>)

混合砂を用いた調合は、乾燥後材齢 50 日までに、すべての供試体にひび割れが発生したが、石灰砕砂を用いた調合では、乾燥後材齢 50 日経過してもひび割れが発生しなかった。

混合砂と石灰砕砂では、乾燥収縮ひずみに違いが見られたが (図-4)、拘束応力の経時変化には大きな違いが見られなかった (図-3)。それにもかかわらず、細骨材の違いで石灰砕砂にひび割れが発生しなかったのは、混合砂を用いた供試体のひび割れ発生時の拘束応力が直接引張強度と同程度であるのに対し、石灰砕砂を用いた供試体の拘束応力が直接引張強度より若干小さかったためと考えられる。なお、混合砂のひび割れ発生日数にばら

つきが見られたが、これは、モルタル供試体は断面寸法が小さく、乾燥状況の影響を受けやすいためであると思われる。

以上より、モルタル供試体を用いた試験方法でも内部応力を算定でき、ひび割れ抵抗性の評価が可能であること、および、モルタルの拘束応力が直接引張強度以上となった場合にひび割れが発生する傾向にあることを確認できた。

### 3. 収縮ひび割れ試験方法 2 (改良試験法)

前章の実験 (以下、実験 1) の結果から、モルタル供試体を用いてひび割れ抵抗性の評価が可能であると考えられる。しかしながら、寸法が小さいモルタル供試体を用いる場合、実験 1 の方法 (以下、従来法) では、鋼材表面にひずみゲージを貼り付けること、および、その後の処理による試験区間部のモルタル断面の減少や、供試体内部に埋設されるリード線などが試験に影響を及ぼすことが考えられる (写真-1 参照)。Nilson<sup>6)</sup> は鉄筋の付着すべり特性に関する実験において、ひずみ測定に用いた埋設鉄筋に工夫を施している。すなわち、鉄筋を断面に対して長さ方向に半分に割り、切断面の中央に沿って細長い溝を切削し、そこにひずみゲージを貼り付け、エポキシセメントを用いて二つに分割された鉄筋を再接合している。そこで、Nilson の方法を参考に、ここでは、拘束鋼材の側面に深さ 2mm の溝を切削し、その中にひずみゲージを貼り付けるとともに、リード線を沿わせることにより、図-5 および写真-2 に示すように、試験区間部のモルタル断面の減少を防ぎ、拘束鋼材が一様にモルタルを拘束できるように試験方法の改良を図った (以下、改良試験法)。なお、拘束鋼材のひずみと荷重の関係は 1 本毎に前もって検定されており、ひび割れ供試体に負荷される荷重はこの関係から求め、拘束応力を算出した。ここでは、この改良試験法による収縮ひび割れ試験 (以下、実験 2) 結果について述べる。

#### 3.1 実験概要

表-8 に実験概要を示す。

実験 2 では、実験 1 の結果より試験区間 40mm を基準とし、水セメント比 45、55、65% の 3 水準でひび割れ抵抗性の評価について検討した。また、水セメント比 55% では、改良試験法の試験区間 0mm、40mm、60mm と従来法の試験区間 40mm の 4 水準で実験を行い、試験区間長さと試験方法の影響について検討した。さらに、試験区間 40mm と 60mm では、モルタル表面に張り付けるポリエステルゲージによる供試体乾燥の影響についても比較検討した。なお、実験 2 で用いた拘束鋼材径はφ12mm である。

表-9 に使用材料を、表-10 に使用したモルタルの調

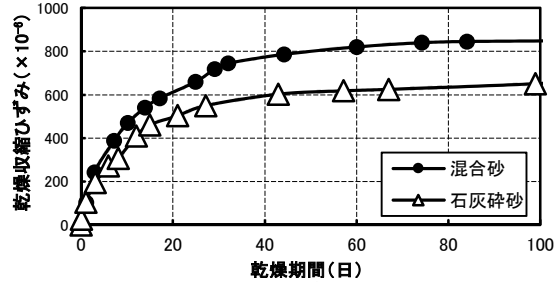


図-4 乾燥収縮ひずみの経時変化

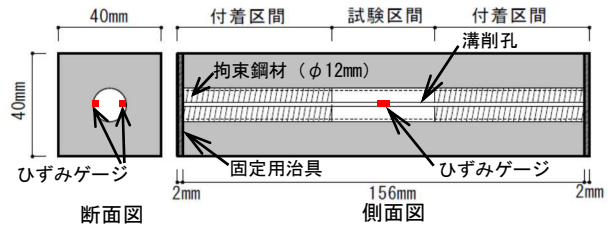


図-5 モルタル供試体詳細図 (改良試験法)



写真-2 モルタル供試体概要 (改良試験法)

表-8 実験概要

試験区間	0mm	40mm	60mm	40mm (従来法)
ひずみゲージ	有	有	有	有
W/C	45%	—	○	—
	55%	○	○	○
	65%	—	○	—

○ : 実験を実施

表-9 使用材料

記号	種類	使用材料
C	セメント	普通ポルトランドセメント 密度 : 3.16g/cm <sup>3</sup>
W	水	上水道水
S	細骨材	混合砂 表乾密度 : 2.55 g/cm <sup>3</sup> 吸水率 : 2.77% 実積率 : 62.6% 粗粒率 : 2.46
Ad.	混和剤	AE 減水剤 W/C=45%:高機能タイプ W/C=55, 65%:標準タイプ

表-10 モルタルの調合

調合	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			Ad. (C×%)
		W	C	S	
PL-45	45	664	299	1282	0.90
PL-55	55	542	298	1383	0.25
PL-65	65	458	298	1451	0.25

合を示す。使用材料およびモルタルの調合は、スランブ 18cm、空気量 4.5%、のコンクリートの調合を基にし、コンクリートの粗骨材を取り除いたものとした。また、コンクリートと同じ添加率の AE 減水剤を添加した。

実験項目は、実験 1 の表-4 と同じである。実験 2 で

表-11 モルタルの物性試験結果一覧

調合	フロー値 (mm)		空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )		割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )		直接引張強度 (N/mm <sup>2</sup> ) 材齢 7 日
	0 打	15 打		材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 7 日	材齢 28 日	
PL-45	162	252	1.2	44.4	54.3	23.1	33.7	4.14	5.22	3.16
PL-55	161	271	3.9	26.8	35.0	19.1	28.5	3.27	4.04	2.88
PL-65	173	277	3.3	21.6	28.6	16.1	25.2	2.57	3.63	2.39

表-12 収縮ひび割れ試験結果一覧

W/C (%)	試験区間 (mm)	表面ゲージ	ひび割れ発生日 (日)	鋼材ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	自由収縮ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	拘束応力 (N/mm <sup>2</sup> )	拘束率 (%)	ひび割れ発生時の応力強度比 (%) (拘束応力/材齢 7 日引張強度)	
45	40	無	8.5	250	627	3.50	61.7	110.8	
			1.5	126	281	1.78	55.3	56.3	
			11.2	267	725	3.75	63.4	118.7	
55	0	有	9.8	164	554	2.70	56.0	93.8	
			20.3	315	803	3.55	60.8	123.3	
			10.8	241	575	3.04	59.2	105.6	
	40*	有	—	223	934	—	3.30	75.2	—
				231			3.37	73.7	—
				235			3.28	75.5	—
				218			3.00	76.7	—
				227			3.04	76.6	—
				214			2.17	86.3	—
	40 (従来法)	有	—	5.5	149	356	2.42	61.3	84.0
				26.0	256	859	4.03	71.3	139.9
				23.0	239	833	3.81	71.3	132.3
65	40*	無	—	240	1091	3.35	78.0	—	
			—	240		3.35	78.0	—	
			—	231		3.23	78.8	—	

※乾燥期間 30 日時点での測定値

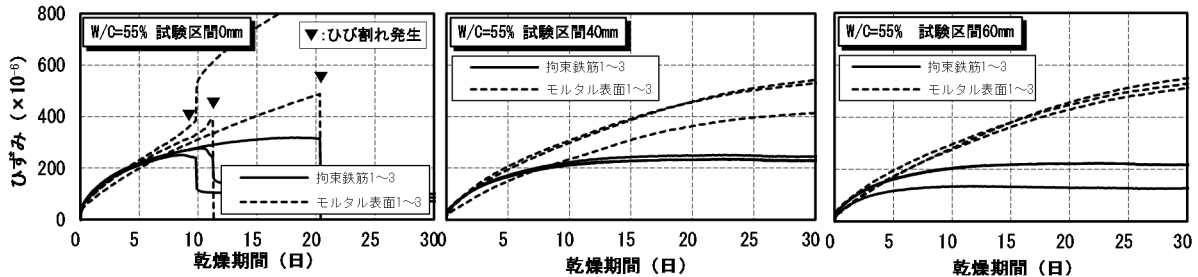


図-6 拘束鋼材およびモルタルひずみの経時変化

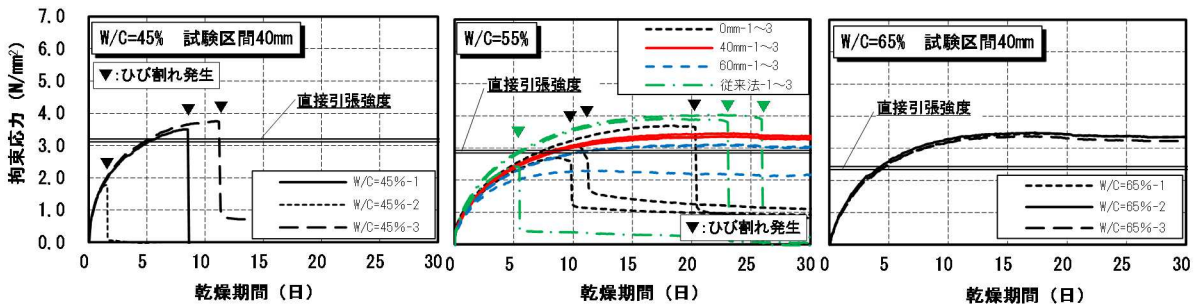


図-7 拘束応力の経時変化

は、自由収縮ひずみを測定する供試体の断面積を、鉄筋埋設ひび割れ試験の供試体と同じとするため、供試体中心に埋設鉄筋と同じ径のビニルチューブを型枠内に設置した。また、ビニルチューブの上にグリスを塗りモルタルとの付着を除去するようにした。

### 3.2 実験結果

#### (1) モルタルの物性

表-11 にモルタルの物性試験結果一覧を示す。

表より、水セメント比 45%の空気量は 1.2%と、他の調合と比較して低い結果であった。これは、使用した AE 減水剤の種類が異なったためである。

#### (2) 収縮ひび割れ試験

表-12 に収縮ひび割れ試験結果一覧を、図-6 に拘束鋼材およびモルタルひずみの経時変化を、図-7 に水セメント比ごとに拘束鋼材のひずみより算出した拘束応力の経時変化を示す。図には乾燥開始時(材齢 7 日)に測定した直接引張強度も示している。水セメント比 45%の試験区間 40mm、水セメント比 55%の試験区間 0mm および従来法は、全ての供試体にひび割れが生じた。その他の供試体に関しては、乾燥開始後 30 日経過した時点でひび割れは生じていない。

図-7 より、ひび割れが発生した供試体では、ひび割

れ発生時の拘束応力が直接引張強度と同等以上となっており、実験1のシリーズ2の結果と同様に、ひび割れ発生時の拘束応力は、乾燥開始時（材齢7日）の直接引張強度と同程度であることが確認できた。

図-7の水セメント比55%より、拘束応力は、試験区間0mmは試験区間40mmと同程度もしくは若干大きな値であった。試験区間60mmは試験区間40mmと比較して小さく、また、供試体間のばらつきも大きかった。試験区間長さが短いほど付着区間長さが長くなってモルタルとの付着が大きく、拘束の程度も大きくなるためであり、実験1と同じ傾向が確認できた。

また、同図より、試験区間40mmについて試験方法による拘束応力を比較すると、従来法は改良試験法と比べ、乾燥開始直後から拘束応力が大きく、10日の時点で $0.5\text{N/mm}^2$ 以上大きい値となっている。

従来法の供試体は、鉄筋表面のひずみゲージ等による断面減少やリード線の存在が拘束応力に影響していると推察される。これに対し、改良試験法は、鉄筋ひずみの測定方法の改良により、それらの影響を除外できたと思われる。乾燥開始直後から、拘束の度合いが大きく、また、拘束鋼材の形状が拘束応力に影響するような試験方法では、初期強度発現が遅くなりがちな混和材を用いた調合のひび割れ抵抗性の評価としては望ましくないと判断され、本実験で用いた形状の拘束鋼材が好ましいと考える。

表-12より、ひび割れが発生した供試体の拘束率は55~70%程度であった。既往のコンクリートを用いた埋設鉄筋ひび割れ供試体<sup>1)</sup>のひび割れ発生時の拘束率は59.4~69.0%であり、コンクリートを用いた供試体と同程度の拘束率であることが確認された。しかしながら、水セメント比55%で試験区間が40mmおよび60mmと水セメント比65%の供試体は、拘束率が75%以上あるにもかかわらずひび割れが発生していない。モルタルを用いた供試体のひび割れ発生条件と拘束率の関係については、今後データを蓄積し、明らかにしていきたい。

図-8にモルタル表面に貼り付けるゲージの有無で比較した拘束応力の経時変化を示す。

試験区間40mmでは同程度の拘束応力であったが、試験区間60mmでは、乾燥開始直後から表面ゲージを貼り付けた供試体すべてで拘束応力が大きく、 $0.4\text{N/mm}^2$ 程度の差が見られた。これは、供試体表面にゲージを貼り付けたことによる乾燥面積の減少が影響したものと考えられる。 $0.4\text{N/mm}^2$ は、乾燥直後の引張強度の1/10程度であり、寸法が小さいモルタル供試体にて初期強度発現が遅くなりがちな混和材を用いた調合でひび割れ試験を行う場合は、長さ20mmのゲージでも拘束応力に影響を及ぼす場合があると考えられる。

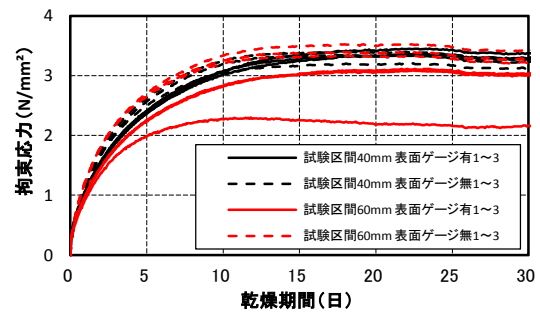


図-8 モルタル表面ゲージによる拘束応力の比較

#### 4. まとめ

本研究では、モルタル供試体を用いた収縮ひび割れ試験方法を提案することを目的に実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 拘束鋼材の径は $\phi 13\text{mm}$ 程度、無拘束となる試験区間長さは40mm程度が適当である。
- (2) 付着長さが短いと十分な拘束が行われず、モルタルと拘束鉄筋にすべりが生じ、モルタルの拘束応力を正確に算出できない場合がある。
- (3) ひび割れ供試体の多くは拘束応力が乾燥開始時の直接引張強度を超えたときにひび割れが発生したが、ひび割れが発生しない供試体も存在した。
- (4) ひび割れが発生したモルタル供試体の拘束率は60%程度であり、コンクリートを用いた供試体と同程度である。
- (5) 寸法が小さいモルタル供試体では、モルタル表面に貼り付けるゲージが、拘束応力に影響を及ぼす場合もある。

#### 参考文献

- 1) 大谷俊浩, 蔣海燕, 伊藤七恵, 佐藤嘉昭: 鉄筋埋設拘束試験によるフライアッシュコンクリートの収縮ひび割れ特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, vol.34, No.1, pp.136-141, 2012.7
- 2) 松崎裕亮, 下村 匠, 田中泰司, 安保知紀: フライアッシュを用いたコンクリートのフレッシュ性状および耐久性の系統的実験, コンクリート工学年次論文集, vol.30, No.1, pp.171-176, 2008.7
- 3) 日本コンクリート工学協会: 混和材から見た収縮ひび割れ低減と耐久性改善研究委員会報告書, 2010.9
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, 2006.2
- 5) 郡山和彦, 佐藤嘉昭, 永松静也: モルタルの引張りクリープに関する研究(その3), 日本建築学会研究報告九州支部 構造系, 第30号, pp.41-44, 1988.3
- 6) Arthur H. Nilson: Internal Measurement of Bond Slip, ACI Journal, pp.439-441, 1972