

混和材料を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみに関する実験研究  
(その1 実験の概要)

正会員 ○鹿毛忠継 1\* 正会員 梅本宗広 4\*  
同 大野吉昭 2\* 同 井戸康浩 4\*  
同 河上浩司 3\*

乾燥収縮 収縮低減剤 膨張材  
圧縮強度 静弾性係数 予測式

1. はじめに

鉄筋コンクリート造建築物に生じる有害なひび割れは、耐力・水密性の低下など建築物の性能低下に繋がるため、ひび割れ発生の抑制に関する多くの研究が、日本建築学会や日本コンクリート工学協会等を中心に行われているが、十分な対策方法等が確立しているとはいえない。また、H12年には耐久性能を含む建築物の品質確保を目的とした「住宅の品質確保の促進等に関する法律」、H20年には「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」が施行される等、社会的にも建築物の長期使用への要求が高くなっており、構造躯体など補修困難な部位は、計画供用期間内で十分な耐久性を確保し、ひび割れなど性能低下に影響する要因を事前に十分検討することが必要となる。

ひび割れ発生の大きな要因の一つであるコンクリートの乾燥収縮ひずみに関する既存研究では、その原因として、単位水量・セメント種類のほか、最近では粗骨材による影響も報告されており、その対策として収縮低減剤や膨張材を用いたコンクリートに関する研究報告も行われている。また、鉄筋コンクリート造構造物のひび割れ対策として文献 1)(以下、指針とする)において、収縮ひび割れ設計方法として使用材料・調合・環境の影響を考慮した収縮ひずみ予測式が提案されている。

本研究では、乾燥収縮ひずみ低減を目的に使用する混和材料(収縮低減剤および膨張材)を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみの測定を行い、使用材料・調合・環境条件等の影響を把握するとともに、収縮ひずみ予測値と実測値の比較検証を行うことを目的とする。

2. 実験方法

2.1. 使用材料と調合

コンクリートの使用材料と調合を表 1 ならびに表 2 に示す。試験条件は、水セメント比・単位水量および混和材料の種類・有無とし、セメントと骨材の種類は共通とした。なお、調合は N5-18N を基準とし、W/C=40,50,60%, 単位水量を 170,185,200kg/m<sup>3</sup> ならびに混和材料の使用方法別に計画した。なお、単位粗骨材かさ容積を 0.56m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> で一定とし、目標スランプを 18.0±1.5cm, 目標空気量を 4.5±1.0%とした。

2.2. 実験項目および実験条件

実験は、JIS A1129-2 に示される長さ変化試験方法、JIS A1108 に示される圧縮強度試験方法ならびに JIS A1149 に示される静弾性係数試験方法に準拠して行った。

長さ変化試験は、材齢 7 日までの標準水中養生後に基長をとり、乾燥材齢 0・1・3・7・14・28・56・91・182 日で測定し、表 3 に示す体積表面積比と温湿度を条件とし試験を行った。なお、基準は、100×100×400mm の標準供試体を温度 20℃・湿度 60%環境下で全面乾燥する場合とした。また、基長は、標準供試体 300mm, 小型供試体(75×75×300mm)では 200mm で計画した。

圧縮強度試験および静弾性係数試験は、標準水中養生を基準とし、φ100×200 供試体を用いて試験材齢 7・28・91 日で行った。なお、材齢 28 日では、標準水中養生に加え材齢 7 日まで標準水中養生後、気中養生した供試体の測定も行った。なお、供試体数は、調合および材齢毎に 3 体とした。

表 1 コンクリートの使用材料

材料	種類	詳細
セメント	C : 普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S : 川砂(大井川産)	密度 2.57g/cm <sup>3</sup> 吸水率 1.02%
粗骨材	G : 碎石(硬質砂岩,岩瀬産)	密度 2.65g/cm <sup>3</sup> 吸水率 0.71%
化学混和剤	Ad : AE 減水剤	リグニンスルホン酸系
特殊混和剤	EX : 膨張材	石灰系(低添加型)
	SR <sub>1</sub> : 収縮低減剤	グリコールエーテル系誘導体
	SR <sub>2</sub> : 収縮低減剤	低級アルコールアルキレンオキシド付加物

表 2 コンクリートの調合

調合	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							Ad (C×%)
			W	C	S	G	EX	SR <sub>1</sub>	SR <sub>2</sub>	
N5-18N	50	47.8	185	370	778	894	-	-	-	0.30
A4-18N	40	45.4	185	463	705	894	-	-	-	0.30
B6-18N	60	49.4	185	308	826	894	-	-	-	0.30
C5-17N	50	49.7	170	340	839	894	-	-	-	0.50
D5-20N	50	45.8	200	400	717	894	-	-	-	0.00
E5-18E	50	47.8	185	350	778	894	20	-	-	0.30
F5-18S <sub>1</sub>	50	47.8	185	370	778	894	-	6.0	-	0.30
G5-18S <sub>2</sub>	50	47.8	185	370	778	894	-	-	6.0	0.30
H5-18ES <sub>2</sub>	50	47.8	185	350	778	894	20	-	6.0	0.30

Experimental Study on Drying Shrinkage of Concrete using Admixtures.

Part1. Outline of Experiment

KAGE Tadatsugu, OHNO Yoshiaki, KAWAKAMI Hiroshi, UMEMOTO Munehiro and IDO Yasuhiro

表 3 実験条件

体積表面積比 V/S	16.7mm (全面乾燥,75×75×300mm)
	22.2mm (全面乾燥,100×100×400mm)
	37.5mm (2面乾燥,75×75×300mm)
	50.0mm (2面乾燥,100×100×400mm)
乾燥温湿度	温度 20℃/湿度 40,60,80%

3. フレッシュ性状と圧縮強度・静弾性係数試験結果

表 4 は、供試体のフレッシュ及び硬化コンクリートの性状を示す。スランプは、全ての調合でほぼ 18.0±1.5cm 以内、空気量も調合 F5-18S<sub>1</sub>を除き 4.5±1.0%以内であり、目標値を満足した。なお、F5-18S<sub>1</sub>については、化学混和剤の使用量等の調整は行わなかった。

W/C=50%の圧縮強度は、試験材齢に関わらず標準調合 N5-18N と比べ、単位水量を変動させた調合 C5-17N と D5-20N が 13~25%程高く、収縮低減剤を用いることで、結果的に空気量が確保できなかった F5-18S<sub>1</sub>が 27%程高い結果を示した。なお、N5-18N の圧縮強度が最も小さい結果となったが、他の同一水セメント比・単位水量の調合（混和材料を用いた調合(E5-18E,G5-18S<sub>2</sub>,H5-18ES<sub>2</sub>)）は、標準調合と概ね一致した。すなわち、本実験において、単位水量 200kg/m<sup>3</sup> (D5-20N) の調合での圧縮強度が高く観測される結果となったことがわかるが、これらの要因については、今後、検証したいと考えている。

また、全ての調合において、材齢 28 日の圧縮強度は、標準水中養生 7 日の供試体と標準水中養生 28 日の供試体では、概ね一致する結果を示し、養生条件の影響は確認されなかった。

4 フレッシュ性状と圧縮強度および静弾性係数

調合	W/C (%)	SL* <sup>1</sup> (cm)	Air* <sup>1</sup> (%)	圧縮強度* <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )			静弾性係数* <sup>2</sup> (kN/mm <sup>2</sup> )	
				σ <sub>7-7</sub>	σ <sub>7-28</sub>	σ <sub>28-28</sub>	E <sub>7-28</sub>	E <sub>28-28</sub>
N5-18N	50	19.5	4.7	27.4	41.1	40.5	27.4	27.9
A4-18N	40	17.0	4.4	41.7	55.6	55.2	30.8	30.5
B6-18N	60	19.5	5.0	20.1	30.9	29.7	25.0	26.2
C5-17N	50	19.5	3.8	34.5	47.5	47.2	30.3	30.9
D5-20N	50	19.0	4.4	33.6	46.6	45.8	27.8	28.4
E5-18E	50	20.0	4.6	28.4	42.8	40.2	28.2	28.4
F5-18S <sub>1</sub>	50	19.5	0.6	35.1	51.9	51.6	30.7	31.6
G5-18S <sub>2</sub>	50	19.0	5.1	29.7	40.7	40.8	28.1	29.2
H5-18ES <sub>2</sub>	50	19.0	3.7	29.0	42.8	40.5	29.2	29.8

\*1 表中の記号は、SL:スランプ・Air:空気量を示す。

\*2 圧縮強度および静弾性係数における記号の添字は、「水中養生一強度試験材齢」を示す。

静弾性係数については、圧縮強度と同様の傾向を示していることがわかる。材齢 28 日の静弾性係数は、標準水中養生 7 日の供試体と標準水中養生 28 日の供試体では、概ね一致する結果を示した。

標準水中養生の期間を変えた供試体は、乾燥収縮ひずみやひび割れ発生条件に及ぼす養生条件が異なるコンクリートの圧縮強度・静弾性係数の影響を調べるために実施したものである。結果として、材齢 28 日の強度特性を基準として評価を行う場合には、その強度特性として、標準水中養生における試験結果を用いることができるといえる。なお、結合材としてのセメントは、普通ポルトランドセメントのみを使用しているため、他のセメントの場合については、今後、検討を行いたいと考えている。

4. 収縮ひずみ予測式の検証方法

指針において、コンクリートの乾燥収縮ひずみの予測値は、コンクリートの材料・調合等を考慮した式(1)によって定められている。その 2 において、式(1)による予測値と乾燥収縮ひずみの実測値に及ぼす調合の影響(W/C, 単位水量及び混和材料の使用方法別)を、その 3 において、試験条件による影響(体積表面積比 V/S, 湿度)について検証を行う。なお、予測値は、式(1)における乾燥開始材齢 t<sub>0</sub>=7 日、乾燥材齢 t=182 日で算出を行い、乾燥材齢 182 日の実測値と比較検証を行った。また、セメント・骨材・混和材料の種類の影響による修正係数が示されていない材料に関しては、修正係数(γ<sub>1</sub>・γ<sub>2</sub>・γ<sub>3</sub>)を 1.0 として扱うこととした。

$$\epsilon_{sh}(t, t_0) = k \cdot t_0^{-0.08} \cdot \left\{ 1 - \left( \frac{h}{100} \right)^3 \right\} \cdot \left( \frac{t - t_0}{0.16 \cdot (V/S)^{1.8} + (t - t_0)} \right)^{1.4 \cdot (V/S)^{-0.18}} \dots \text{式(1)}$$

$$k = (11 \cdot W - 1.0 \cdot C - 0.82 \cdot G + 404) \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3$$

ここに、ε<sub>sh</sub>(t, t<sub>0</sub>): 乾燥開始材齢 t<sub>0</sub> 日における材齢 t 日の収縮ひずみ(×10<sup>-6</sup>)

- W : 単位水量(kg/m<sup>3</sup>)
- C : 単位セメント量(kg/m<sup>3</sup>)
- G : 単位粗骨材量(kg/m<sup>3</sup>)
- h : 相対湿度(%)(40% ≤ h ≤ 100%)
- V : 体積(mm<sup>3</sup>)
- S : 外気に接する表面積(mm<sup>2</sup>)
- V/S : 体積表面積比(mm) (V/S ≤ 300mm)

γ<sub>1</sub>, γ<sub>2</sub>, γ<sub>3</sub>: それぞれ、骨材の種類の影響、セメントの種類の影響、混和材の影響を表す修正係数

参考文献 1) 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), pp.53-60

1\*(独)建築研究所材料研究グループ Ph.D.  
 2\*(財)ベターリビング つくば建築試験研究センター  
 3\*三井住友建設(株)建築管理本部建築技術部  
 4\*戸田建設(株)技術研究所構造材料チーム

1\* Building Research Institute, Ph.D.  
 2\* Center for Better Living Tsukuba Building Research and Testing Lab.  
 3\* Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd.  
 4\* Technical Research Institute, Toda Corporation