

論文

[1095] コンクリートの乾燥収縮性状及びクリープ性状に及ぼす
混和剤(材)の影響

正会員○杉山 雅(藤沢薬品 筑波コンクリート研究所)

正会員 大橋潤一(東急建設 技術研究所)

正会員 瀬野康弘(東急建設 技術研究所)

正会員 小松和夫(藤沢薬品 筑波コンクリート研究所)

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の乾燥収縮によるひびわれを効率的に低減させる目的で、乾燥収縮低減剤(以下、低減剤)とそれに膨張材を併用した場合の効果を検討した。

実験は3シリーズ行い、まずシリーズⅠでは、(AE)減水剤、高性能(AE)減水剤、低減剤、膨張材を、種々組み合わせた場合の乾燥収縮性状について比較検討した。

シリーズⅡでは、減水剤、低減剤を1種類にしぼり、低減剤及び膨張材併用によるひびわれ発生遅延効果、及び圧縮クリープ性状を検討した。

シリーズⅢでは、低減剤の有無による、実構造物コンクリートでの収縮挙動差を比較検討した。

表1. 実験概要

	シリーズⅠ	シリーズⅡ	シリーズⅢ
試験	乾燥収縮性状	ひびわれ抵抗性・クリープ性状	構造物中の収縮挙動
混和剤・ 混和材	(高性能)減水剤 (高性能)減水剤+収縮低減剤 (高性能)減水剤+収縮低減剤+膨張材	減水剤 減水剤+収縮低減剤 減水剤+収縮低減剤+膨張材	減水剤 減水剤+収縮低減剤

2. 乾燥収縮性状(シリーズⅠ)

(1). 使用材料と配合

使用した材料と配合を表

2に、混和剤(材)を表3に示す。スランブは全て12cmを目標とし、目標空気量4%の場合は、減水剤及び高性能減水剤の種類にかかわらず、水セメント比57%一定とした(配合①②④)。

また、低減剤Hは、消泡作用があるため、これを用いる配合は材令4週の強度レベルを同一にするために、単位水量を8%増加させた(配合③⑤)。

なお、配合②は、スラン

表2. コンクリートの配合

配合 の 種類	混和剤の種類	目標 スランブ (cm)	目標 w/c (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)			
						水	セメント	砂	砕石
①	減水剤	12	4	57.0	46.0	165	289	846	1015
②	減水剤 流動化剤	8 →12	4 →4	57.0 流動化	46.0	157	275	859	1033
③	減水剤	12	1	61.6	48.0	178	289	903	1001
④	高性能減水剤	12	4	57.0	47.1	155	272	885	1015
⑤	高性能減水剤	12	1	61.8	49.1	168	272	942	1001
②: スランブ8cmのコンクリートを30分後に12cmに流動化した ③: ①配合にs/a 2%up、水量8%up ⑤: ④配合にs/a 2%up、水量8%up セメント: 普通ポルトランド(比重 3.16) 膨張材はセメントの内割で置換した 砂: 木更津山砂(比重 2.61 吸水率 1.40 粗粒率 2.61) 砕石: 津久井砕石(比重 2.67 吸水率 0.78 粗粒率 6.85)									

プ 8 cmを30分後に12cmに流動化した。

(2). 試験法

圧縮強度の試験体は、JIS A 1132により、作製し、所定材令まで20℃水中養生を行った。乾燥収縮試験は、材令1日で脱型後直ちに刻線を入れ、材令7日迄20℃水中養生、その後は20℃、60%RHの環境下における長さを、JIS A 1129コンパレータ法(ガラス小片埋込み)により測定した。

膨張材の効果をみるため、結果のまとめは主に材令1日を基長とした。

(3). 結果及び考察

圧縮強度を表4に示す。この表より、低減剤の種類・添加量による強度への悪影響は無いことがわかる。

また、膨張材は、添加量の増大に伴い強度低下しており強度管理上添加量をあまり多く出来ない。

材令1日を基長とした全試験体の長さ変化を、図1に示す。AE減水剤の種類(No.1.2)及び高性能減水剤の種類(No.8.9)間での差は、殆ど無い。高性能減水剤を用いた場合は、単独で使用しても、また低減剤や膨張材を併用しても、今回の実験においては、乾燥収縮量は、減水剤を用いた場合と大きな違いは認められなかった。これは乾燥収縮量は単位水量のみで支配されないためであろう。

低減剤による乾燥収縮低減効果は、単独又は膨張材と併用、何れ

表3. 混和剤(材)

略	種類	剤形	主成分
S	(AE)減水剤	液	ナリカルボン 酸系
P		液	リグニルスルホン酸系
F	高性能 (AE)減水剤	液	芳香族アミノカルボン 酸系
N		液	アルキルアリスルホン 酸 + 活性持続剤マー
H	乾燥収縮 低減剤	液	グリコールエーテル 系
T		液	低級アルコール 系
C	膨張材	粉末	カルシウムサルフェート系
M	流動化剤	液	ナリルスルホン酸系

表4. スランプ、空気量と圧縮強度

No.	配合	減水剤又は高性能減水剤 (%/セメント)				収縮低減剤 (%/セメント)		膨張材 (kg/m ³)	スランプ (cm)	17- (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	
		S	P	F	N	H	T				7日	28日
1	①	---	0.25						13.7	4.5	204	319
2		0.2	---	---	---	---	---	---	13.3	4.2	205	323
3	②	0.2	---	---	---	---	---	---	7.9	4.1		
			(M: 3 ℓ / m ³)						12.2	4.0	219	331
4	③	0.2	---	---	---	0		0	15.5	2.2	197	323
5						2.0		0	13.2	1.5	213	340
6						2.0		30	13.2	1.7	193	300
7						4.0		0	11.5	1.6	219	334
8	④	---	---	---	2.9			0	13.2	5.2	220	323
9				2.0	---			0	13.1	3.9	232	320
10				2.0	---			30	12.0	4.3	214	288
11				2.0	---			35	14.0	4.4	200	272
12	⑤	---	---	2.0		0		0	12.7	1.9	229	327
13				2.0		0		30	11.7	2.0	209	286
14				2.2		2.0		0	11.5	1.8	236	344
15				2.0		2.0		30	11.7	1.7	207	292
16				2.0		2.0		35	10.0	1.7	199	281
17				2.4		4.0		0	10.3	1.8	251	348
18	④	---	---	2.0			2.0	0	13.5	3.3	226	342
19				2.0		---	2.0	30	11.1	2.9	196	291
20				2.0			4.0	0	11.7	3.1	212	330

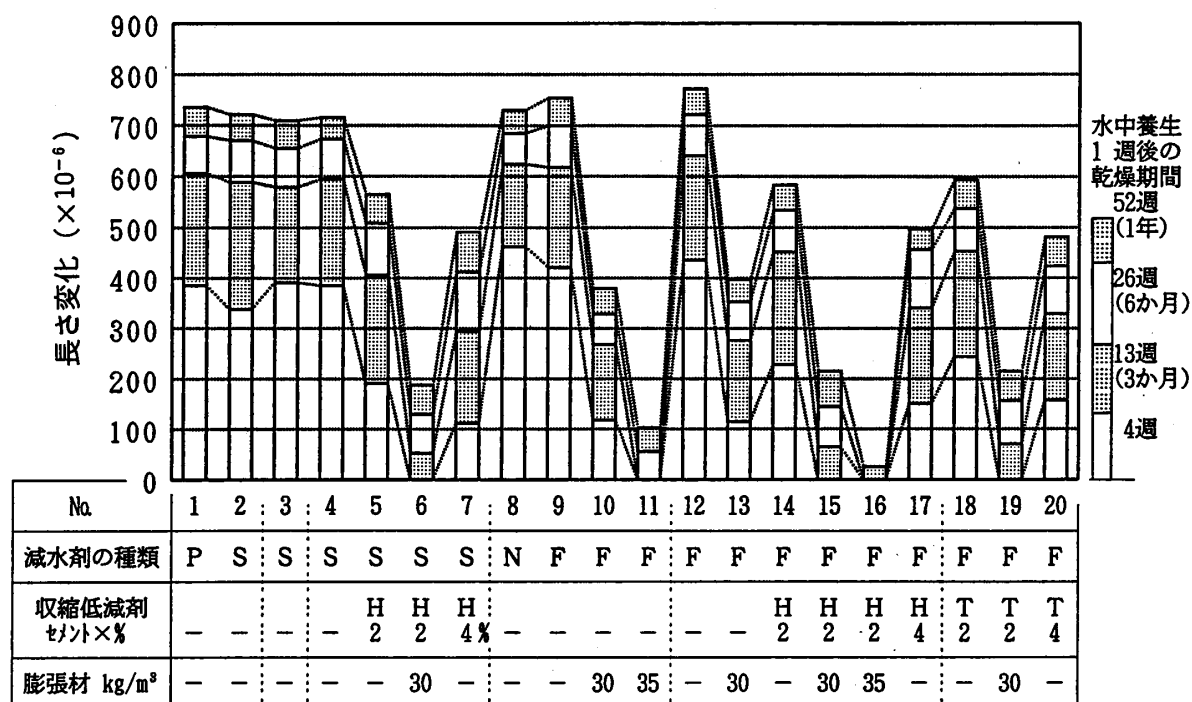


図1. 材令1日基長による長さ変化

も効果が認められた。図2に示すように、材令1年においても添加量の増大に伴い、収縮低減効果が認められ、また低減剤の種類間に大きな差は無いことがわかる (No.4, 5, 7 と 12, 14, 17及び18, 20)。

膨張材は、単独又は低減剤と併用何れも、収縮低減効果が認められる。しかし、図3の材令1日基長の場合と、これを図4に示す材令7日基長の場合とで比較すると、材令1週迄の水中養生期間における膨張量が、その後の収縮量に大きく影響していることがわかる。膨張材の場合、何れの添加量でも乾燥に伴う収縮量の傾向が同様であるため収縮低減量の調節を膨張材だけで行うのは困難であると思われる。

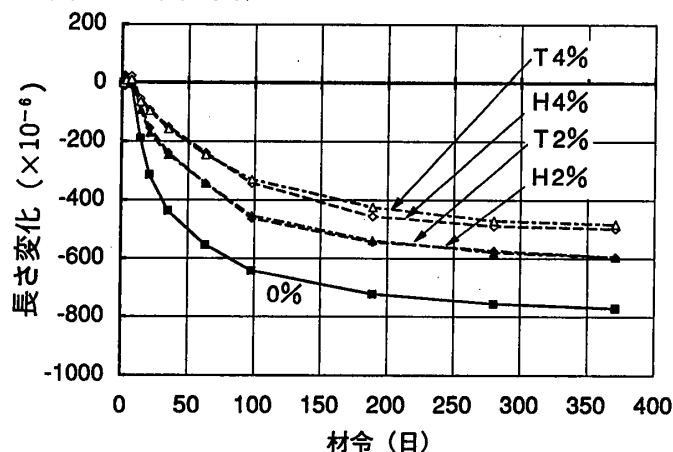


図2. 乾燥収縮低減剤の収縮低減効果

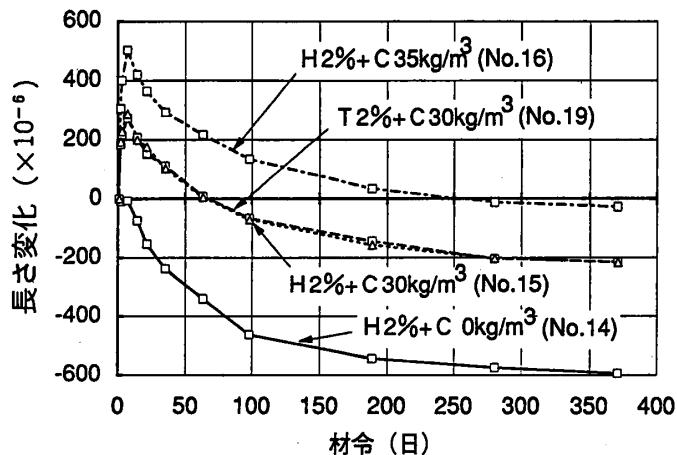


図3. 材令1日基長による乾燥収縮 (膨張材併用時)

3. 乾燥収縮ひびわれ抵抗性および圧縮クリープ性状 (シリーズII)

(1) 使用材料、配合及び試験方法

コンクリートの配合は、シリーズ I の試験結果より、効果が認められた No. 5・6 及び基本配合である No. 2 を選出した。表 5 に各配合のスランブ、空気量、強度を示す。

乾燥収縮ひびわれ抵抗性の試験は、JIS 原案に従い所定の拘束器具（計算拘束率 44%）を用いて供試体を作製し、材令 7 日まで湿潤養生を行い、以後 20°C 60% RH の室内環境下で実施した。試験においては、拘束板中央にひずみゲージを貼り付け、コンクリートの拘束応力を測定した。

圧縮クリープ試験は、同様に養生を行った供試体（10φ×20cm）に、材令 7 日から圧縮強度の 1/3 に相当する 60kgf/cm² の応力を載荷した。ひずみ測定は、供試体側面 4 カ所にチップを貼り付け、コンタクトゲージ法により行った。

(2) 結果及び考察

表 6 にひびわれ発生材令とその時のコンクリート応力を、図 5 に打設直後からのコンクリート拘束応力の経時変化と引張強度を示す。低減剤は、今回の添加量では無添加の場合に比べて 2 倍以上のひびわれ発生遅延効果があり、膨張材を併用すれば更に効果のあることがわかる。膨張材による効果が著しい理由としては、養生期間中に約 10 kgf/cm² のケミカルプレストレスが導入さ

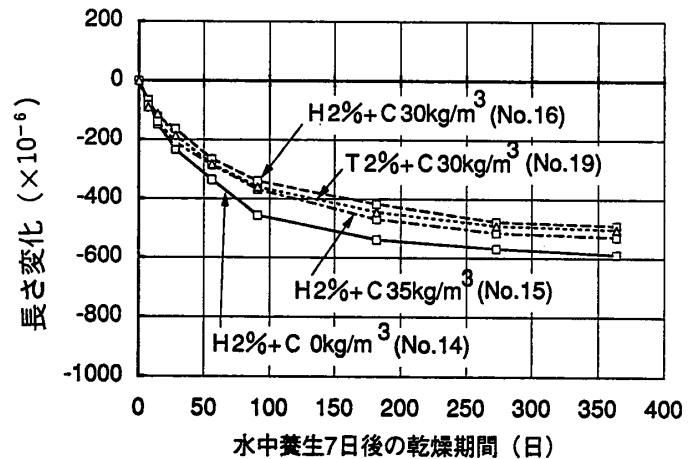


図 4. 材令 7 日基長による乾燥収縮（膨張材併用時）

表 5. コンクリートの種類とスランブ、空気量、及び強度

No.	配 合	コンクリートの種類と混和剤（材） （S：(AE)減水剤） （H：収縮低減剤 C：膨張材）	スランブ (cm)	空気量 (%)	標準養生 圧縮強度 (kgf/cm ²)		20°C 60% 気中 割裂引張強度 (kgf/cm ²)		
					7 日	28 日	14 日	28 日	91 日
2	①	AE 減水剤 (S)	13.5	3.9	188	316	26.6	30.9	32.5
5	③	減水剤 (S) + H (セメント × 2%)	13.0	1.1	182	293	25.1	27.9	30.8
6	③	減水剤 (S) + H (セメント × 2%) + C (30 kg/m ³)	14.0	1.6	181	271	20.9	23.7	29.8

れたためである。従って、ひびわれ発生時のコンクリート応力は、何れの場合も 12~18 kgf/cm² であり、割裂試験から求まる引張強度の 60% 程度であった。

図 6 に示すクリープひずみの経時変化によれば、低減剤を加えたもののひずみが最も小さい。無添加の場合に比べ変形追従性が小さいにもかかわらず、ひび

表 6. ひびわれ発生材令と発生時のコンクリート応力

No.	コンクリートの種類	ひびわれ発生 乾燥材令	平均	ひびわれ発生時応力 (kgf/cm ²)	
				11 日	15 日
2	AE 減水剤	11 日 15 日 20 日	15 日	12.0 14.9 17.6	
5	減水剤 + H 2 %	35 日 39 日 44 日	39 日	11.5 16.3 18.0	
6	減水剤 + H 2 % + C 30kg/m ³	137 日 154 日 — 日	—	23.9-10.0=13.9 25.4-10.0=15.4 (28.0-10.0=18.0 最大値)	

* 10.0 は
ケミカル
プレストレス

われ発生遅延効果がある理由としては、低減剤はコンクリートの乾燥収縮量を抑制する効果に起因し、膨張材はケミカルプレストレスにより収縮拘束応力を補償する効果に起因していることが考えられる。

4. 構造体中の収縮挙動 (シリーズⅢ)

(1) 配合及び試験方法

打設コンクリートの配合を表7に示す。試験はRCラーメン高架橋の縦梁（高さ1m、幅70cm）断面中央に構造体と縁を切った無応力管（東京測器社製）を設置し埋込型ひずみ計（KM-100B）及びCC熱電対によりひずみと温度を測定した。コンクリートの乾燥収縮ひずみ（ ε_s ）は打設後18時間を初期値として下式により求めた。

$$\varepsilon_s = c(\varepsilon - \varepsilon_d) - \varepsilon_t \quad \cdots (1)$$

ここに、 ε ：測定ひずみ

ε_d ：センサーの零点移動量

c ：校正係数

ε_t ：温度ひずみ（ $\varepsilon_t = \alpha_c \cdot \Delta t$ ）

但し、 α_c ：コンクリートの線膨張係数

Δt ：初期値からの温度差

打設コンクリートの線膨張係数は、配合①で $8.54 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、配合③で $7.65 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であった。

尚、打設時には乾燥収縮試験用の角柱供試体（ $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ ）を作製し打設翌日に脱型後、シリーズⅠと同様の方法で試験に供した。

(2) 結果及び考察

図8に角柱供試体の長さ変化を示す。図より、低減剤の添加量がシリ

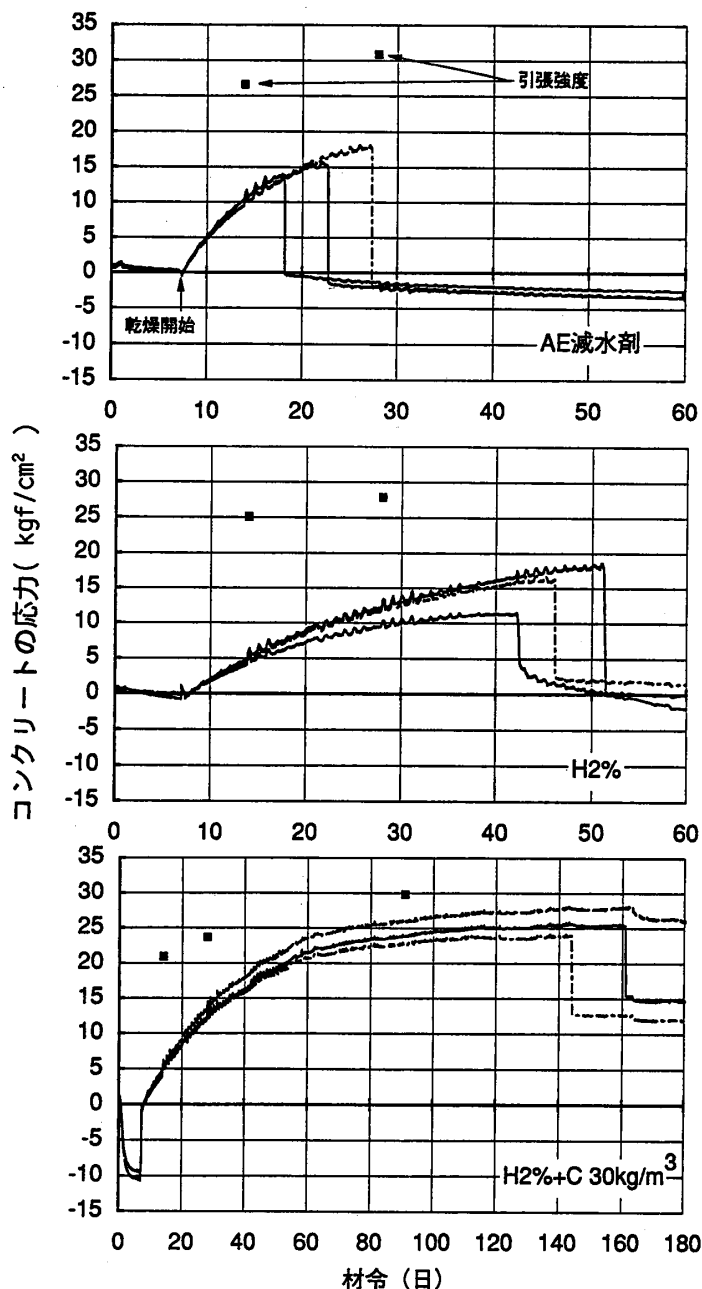


図5. コンクリートの応力履歴

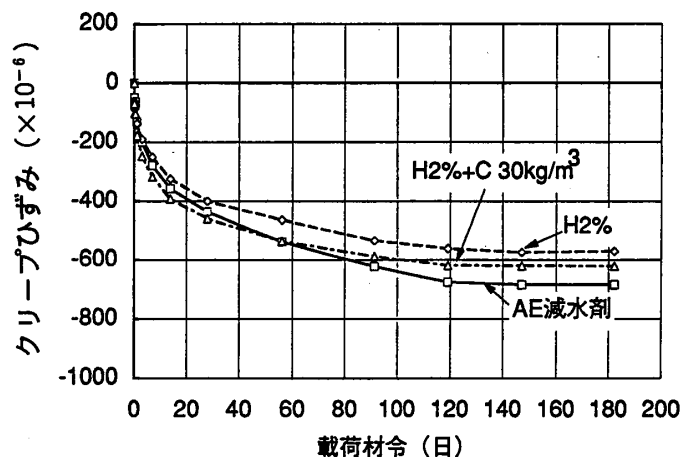


図6. クリープひずみの経時変化

表7. 打設した生コンクリートの配合

配合	W(+H)	s/a	H	単位量(kg/m ³)					スラブ (cm)	空気量 (%)	標準強度 (kgf/cm ²)	
	C (%)	(%)	セメント (%)	水	セメント	砂	碎石	H剤			7日	28日
①	57	47	—	162	284	855	1002	—	12.0	4.1	175	280
③	57	49	1.6	170	307	904	978	5	13.5	1.3	183	289

セメント：普通ポルトランドセメント (比重 3.16)
 細骨材：相模川 (陸砂) + 木更津 (山砂) (比重 2.59)
 粗骨材：八王子 (碎石) (比重 2.65)

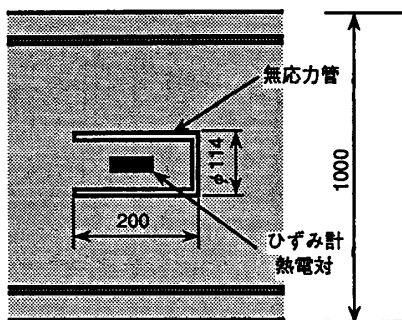


図7. センサー設置概略図

ーズⅠに比べ少ないにもかかわらず、無添加の場合より乾燥収縮量が小さいことがわかる。

図9は、構造物中のコンクリートひずみの経時変化を①配合打設時(4/26)から示したものである。構造物中であるため、角柱供試体に比べ収縮量は1/10以下と小さいが、低減剤を添加することにより、最大収縮量が抑えられていることがわかる。

5. まとめ

乾燥収縮低減剤は、コンクリートの乾燥収縮量を抑制する効果により、コンクリート部材のひびわれ抵抗性を高めることが確かめられた。膨張材を併用することにより、ひびわれ抵抗性をさらに高めることが期待できるが、強度低下や、拘束が弱い場合には十分なケミカルプレストレスが導入されない恐れがあるため、取扱いには注意する必要がある。

乾燥収縮低減剤をRC高架橋のスラブ・梁に適応した結果、室内試験と同様に、低収縮性が認められた。打設後半年経過した時点でも、スラブにひびわれは見あたらない。

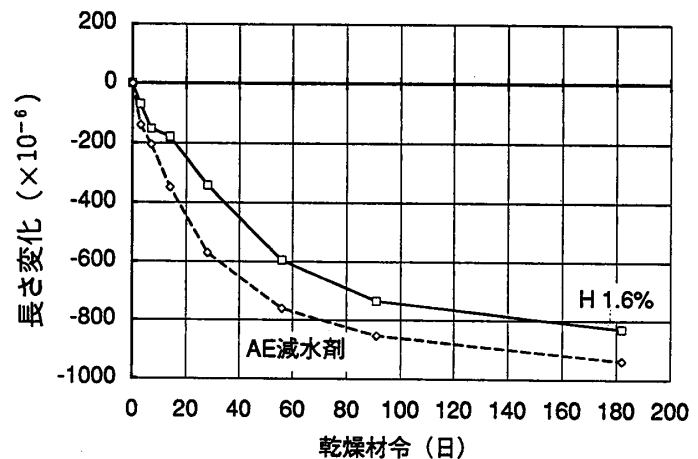


図8. 角柱供試体の長さ変化

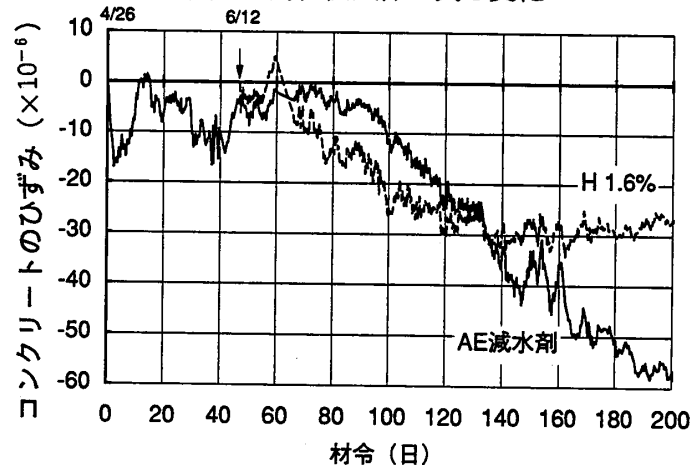


図9. 実構造物コンクリートのひずみ