

## 5 乾燥収縮

### 5.1 各種要因の影響

#### 5.1.1 単位セメント量および単位水量

H-23	コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討	1992年
------	------------------------	-------

H-23 では、単位セメント量および単位水量が乾燥収縮率に及ぼす影響について報告している。

#### (1) 単位セメント量

【試験条件】	JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠	
	・養生条件	ポリエチレンシートで密封後、材齢7日まで養生
	・乾燥条件	各試験所の恒温恒湿室
	・セメントの種類	N：普通ポルトランドセメント
	・スランブ	18.0 ± 1.5cm
【要因】	・単位セメント量	212 ~ 390kg/m <sup>3</sup>
	・単位水量	170 ~ 195kg/m <sup>3</sup>

単位水量一定の場合の単位セメント量と乾燥期間 28 日の乾燥収縮率との関係を図 5.1 に示す。単位セメント量が増加しても乾燥収縮率の差は大きくて  $50 \times 10^{-6}$  であり、単位セメント量が乾燥収縮率に及ぼす影響は小さかった。

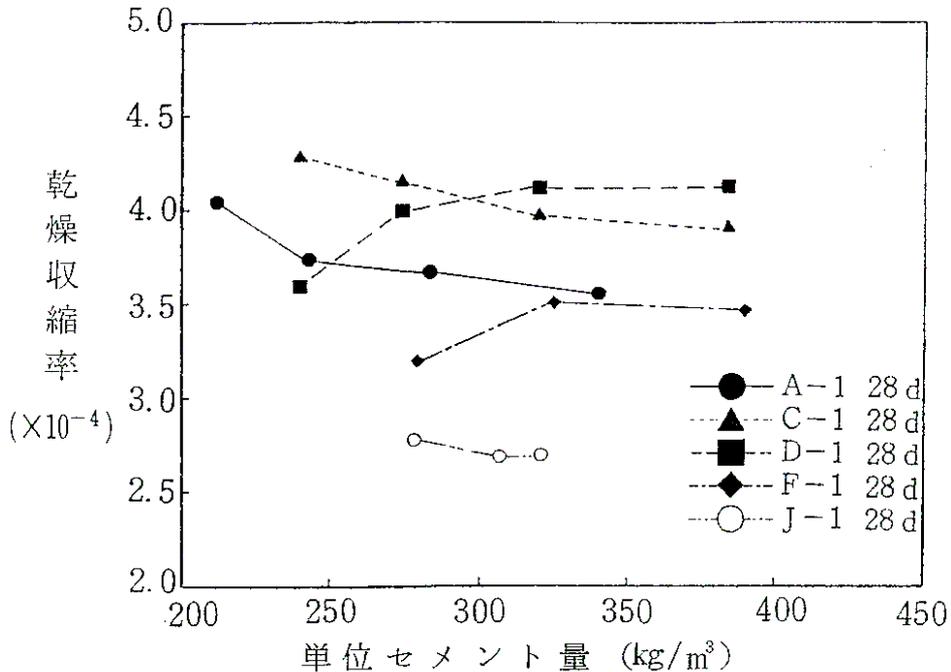


図 5.1 単位セメント量と乾燥収縮率

(2) 単位水量

【試験条件】	JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠	
	・養生条件	ポリエチレンシートで密封後，材齢 7 日まで養生
	・乾燥条件	各試験所の恒温恒湿室
	・セメントの種類	N：普通ポルトランドセメント
	・スランブ	8.0 ± 1.5cm，18.0 ± 1.5cm，21.0 ± 1.5cm
【要因】	・単位水量	155 ~ 207kg/m <sup>3</sup>
	・単位セメント量	226 ~ 400kg/m <sup>3</sup>

単位水量と乾燥期間 14 日の乾燥収縮率との関係を図 5.2 に示す。なお，図中の記号は試験所を表す。単位水量にある程度差がある場合，単位水量が多くなるほど乾燥収縮率は大きくなる傾向がみられる。

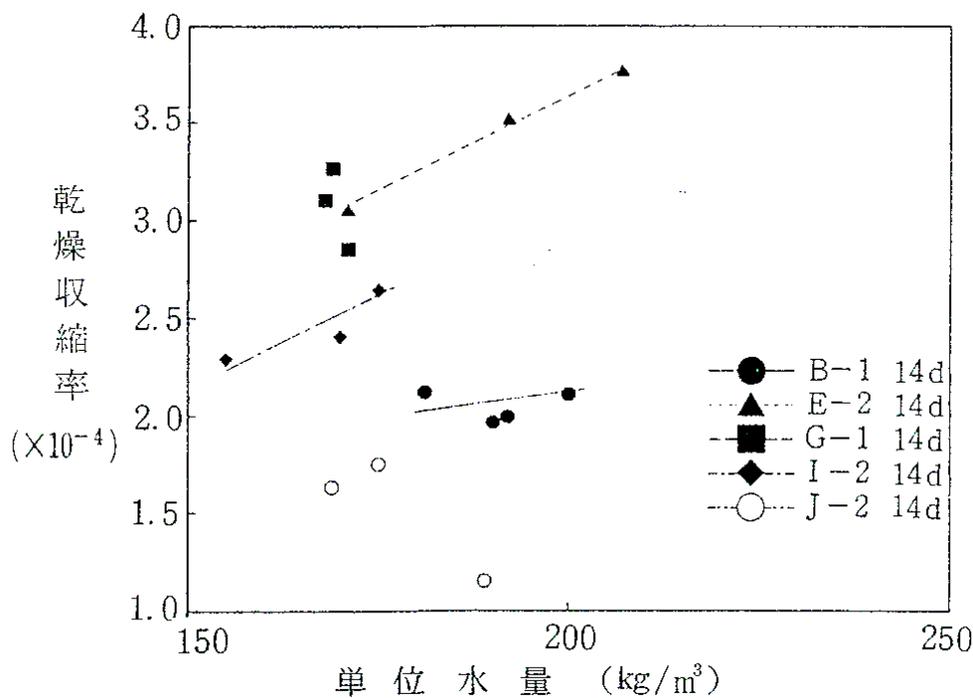


図 5.2 単位水量と乾燥収縮率（乾燥期間 14 日）

5.1.2 水セメント比

H-23	コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討	1992年
------	------------------------	-------

H-23 では、水セメント比がコンクリートの乾燥収縮率に及ぼす影響について報告している。

- 【試験条件】 JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠
  - ・養生条件                      ポリエチレンシートで密封後、材齢7日まで養生
  - ・乾燥条件                      各試験所の恒温恒湿室
  - ・セメントの種類              N：普通ポルトランドセメント
  - ・スランプ                      18.0 ± 1.5cm
- 【要因】                      ・水セメント比    4水準    50%、60%、70%、80%

図 5.3 に水セメント比と乾燥収縮率との関係を示す。なお、図中の A ~ I は試験所記号を表す。水セメント比と乾燥収縮率には明確な傾向が認められなかった。

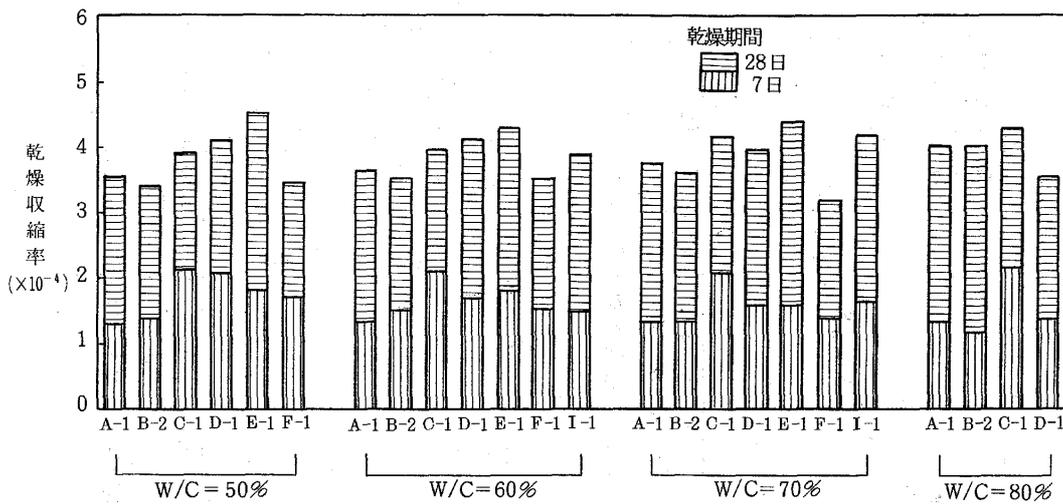


図 5.3 水セメント比と乾燥収縮率

5.1.3 スランブ

H-23	コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討	1992年
------	------------------------	-------

H-23 では、スランブおよび単位水量を変えたコンクリートの乾燥収縮率について報告している。

{	【試験条件】 JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠			
	・養生条件	ポリエチレンシートで密封後、材齢7日まで養生		
	・乾燥条件	各試験所の恒温恒湿室		
	・セメントの種類	N：普通ポルトランドセメント		
	・水セメント比	60%		
	・細骨材率	43%		
	【要因】	・スランブ	3水準	8.0 ± 1.5cm, 18.0 ± 1.5cm, 21.0 ± 1.5cm
		・単位水量	3水準	155kg/m <sup>3</sup> , 170kg/m <sup>3</sup> , 175kg/m <sup>3</sup>

水セメント比が一定の場合のスランブと乾燥収縮率との関係を図 5.4 に示す。乾燥初期においてはスランブによる差はみられないが、乾燥期間が長いほどスランブの大きいほうが乾燥収縮率はやや大きくなる傾向がみられた。これは、スランブが大きいほど単位水量が多いためと考えられる。

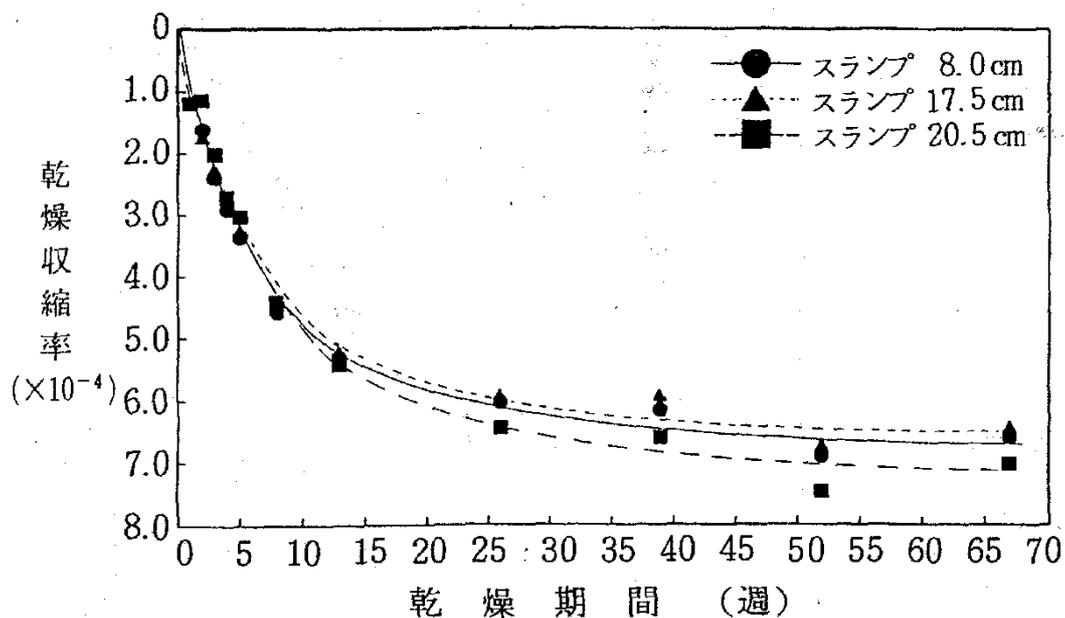


図 5.4 スランブと乾燥収縮率

5.1.4 セメントの種類

H-23	コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討	1992年
------	------------------------	-------

H-23 では、各種セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮率について報告している。

{	<b>【試験条件】</b>	JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠
	・養生条件	1日脱型後，材齢7日まで標準水中養生
	・乾燥条件	温度 20℃，湿度 60%RH
	・単位水量	175kg/m <sup>3</sup>
	・単位セメント量	320kg/m <sup>3</sup>
	・スランプ	18.0 ± 1.5cm
	<b>【要因】</b>	・セメントの種類 9種類
		N : 普通ポルトランドセメント
		H : 早強ポルトランドセメント
		M : 中庸熱ポルトランドセメント
	SR : 耐硫酸塩ポルトランドセメント	
	BA : 高炉セメント A 種	
	BB : 高炉セメント B 種	
	BC : 高炉セメント C 種	
	FA : フライアッシュセメント A 種	
	FB : フライアッシュセメント B 種	

図 5.5 に各種セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮率を示す。H，M，FAおよびFBの乾燥収縮率は，Nの乾燥収縮率に対し，概ね有意な差はみられなかった。高炉セメントの乾燥収縮率は，スラグ量が増えるに従い大きくなった。いずれの乾燥期間においてもSRの乾燥収縮率が最も小さかった。

表 5.1 にポルトランドセメントの組成化合物量と乾燥収縮率を示す。セメントの組成化合物による収縮率について，C<sub>3</sub>A は他の組成化合物に比べて大きく，異種セメント間の収縮率の差の80%までは，このC<sub>3</sub>A含有量の差によると考えられている。耐硫酸塩ポルトランドセメントの乾燥収縮率が最も小さいのは，C<sub>3</sub>A含有量が他のポルトランドセメントに比べ，著しく少ないことに起因していると考えられる。

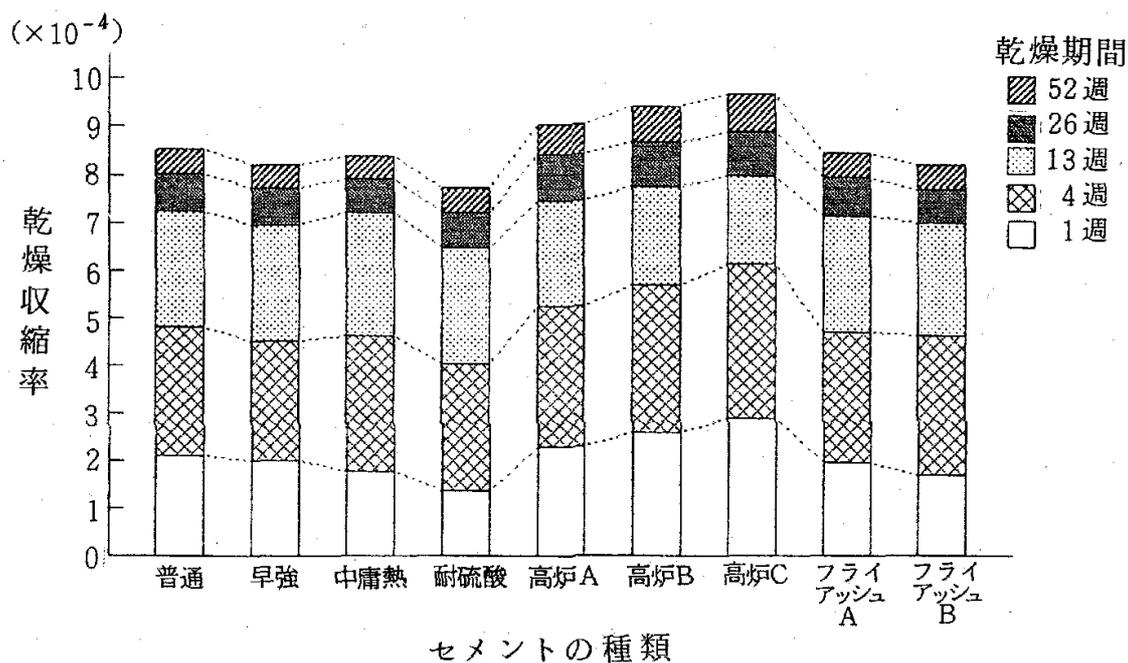


図 5.5 各種セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮率

表 5.1 ポルトランドセメントの組成化合物量

セメントの種類	組成化合物量 (%)				乾燥収縮率 (52週)
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	
N	49.8	23.9	9.4	8.8	8.55×10 <sup>-4</sup>
H	63.6	10.9	8.7	8.2	8.19×10 <sup>-4</sup>
M	48.0	29.5	4.6	12.2	8.38×10 <sup>-4</sup>
SR	53.9	25.1	0.9	13.1	7.72×10 <sup>-4</sup>

5.1.5 混和剤の種類

H-23	コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討	1992年
------	------------------------	-------

H-23 では、各種混和剤を用いたコンクリートの乾燥収縮率について報告している。

{	<b>【試験条件】</b>	JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠	
	・養生条件	1日脱型後，材齢7日まで標準水中養生	
	・乾燥条件	温度 20℃，湿度 60%RH	
	・セメントの種類	N：普通ポルトランドセメント	
	・単位セメント量	320kg/m <sup>3</sup>	
	・スランプ	18.0 ± 1.5cm	
	・細骨材率	46.1%	
<b>【要因】</b>	・混和剤の種類	6種類	AE 剤，AE 減水剤（標準形，促進形，遅延形） 流動化剤，高性能 AE 減水剤

図 5.6 に各種混和剤を用いたコンクリートの乾燥収縮率を示す。乾燥収縮率は、全乾燥期間を通じて AE 減水剤（促進形）が最も大きく、次いで AE 剤，流動化剤の順となり、プレーンが最も小さい結果となった。ただし、いずれも単位水量が異なっており、混和剤種類の違いが乾燥収縮率に及ぼす影響は明確ではない。なお、AE 減水剤の標準形・遅延形および高性能 AE 減水剤はプレーンと大きな差はなかった。流動化剤については、流動化前のベースコンクリートと流動化後のコンクリートの乾燥収縮率はほぼ同等であり、多くの報告と一致する。

図 5.7 に各種混和剤を用いたコンクリートにおける単位水量と乾燥収縮率との関係を示す。基本的にコンクリートの乾燥収縮率はセメントペーストの収縮によるものであり、一般的には単位水量が少ないほど小さいとされている。実験における単位水量は約 30kg/m<sup>3</sup> の幅があるが、同一乾燥期間における乾燥収縮率はほぼ同等で、両者の間には前述のような明確な関係は認められない。流動化剤や高性能 AE 減水剤の使用により、単位水量は大幅に減少しているにも関わらず、乾燥収縮率はプレーンと大差なかった。

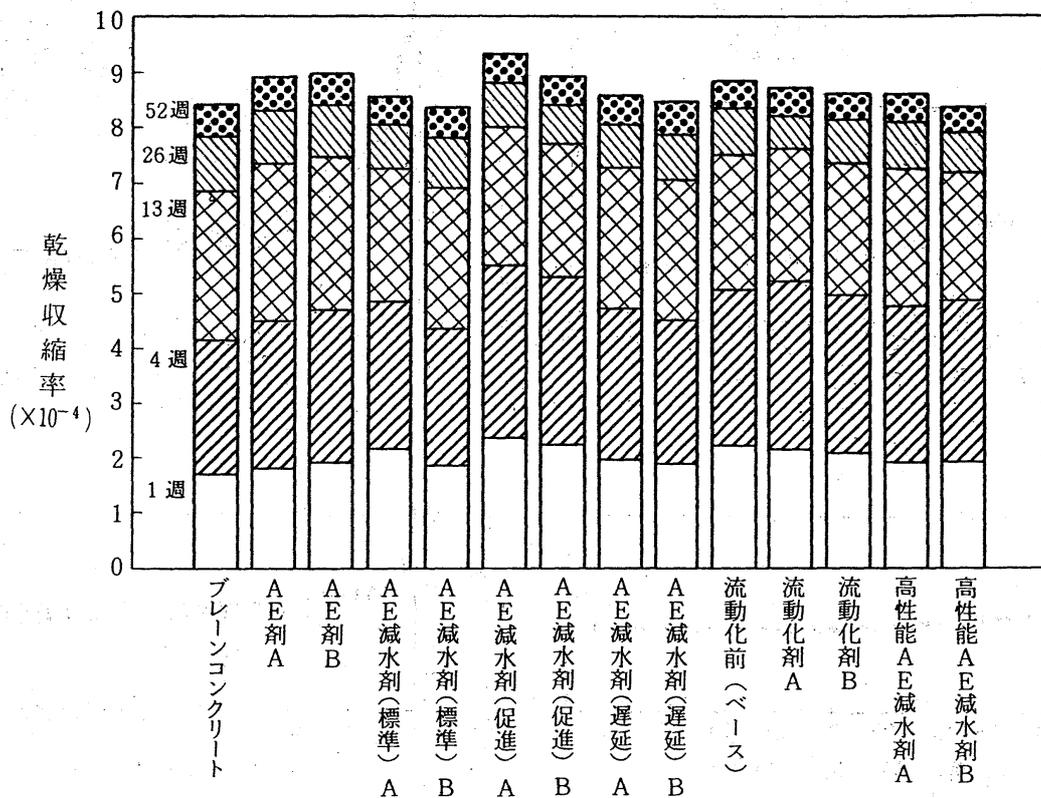


図 5.6 各種混和剤を用いたコンクリートの乾燥収縮率

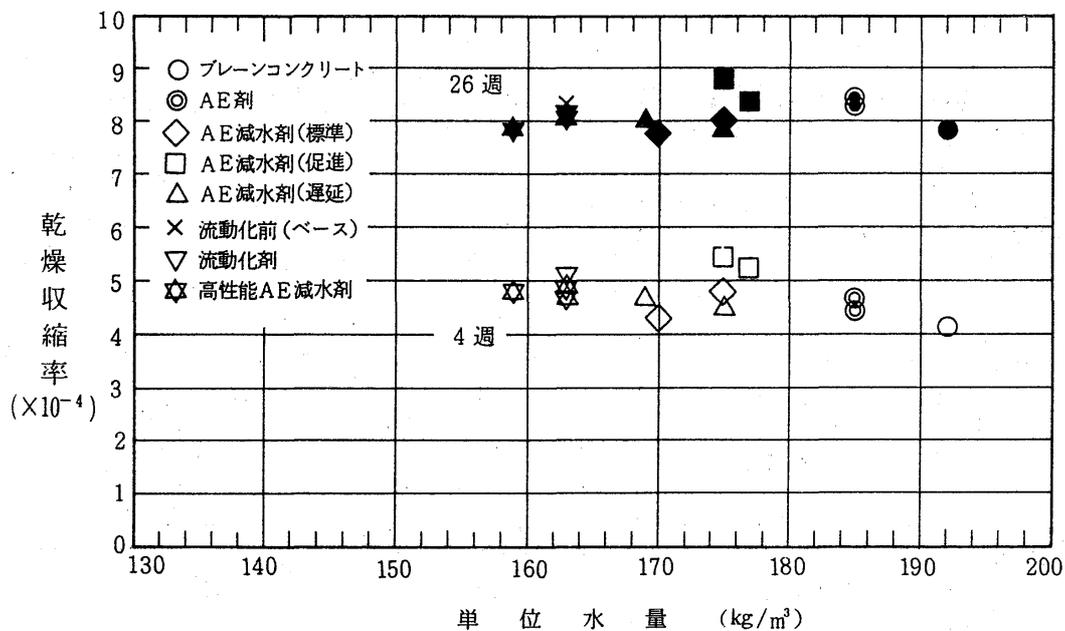


図 5.7 単位水量と乾燥収縮率

5.1.6 骨材の種類

(1) 細骨材

H-23	コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討	1992年
------	------------------------	-------

H-23 では、粒度構成が同一となるように調整した川砂，陸砂および海砂を用いたコンクリートの乾燥収縮率について報告している。

【試験条件】	JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠	
	・養生条件	材齢 7 日まで封緘養生
	・乾燥条件	温度 20 ，湿度 65%RH
	・セメントの種類	N：普通ポルトランドセメント
	・水セメント比	60%
	・単位水量	182kg/m <sup>3</sup>
	・単位セメント量	303kg/m <sup>3</sup>
【要因】	・スランブ	18.0 ± 1.5cm
	・骨材の種類	3 種類 川砂，海砂，陸砂

図 5.8 に各種細骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮率を示す。乾燥収縮率の測定は7週までしか実施していないが，その範囲で見ると乾燥収縮率は陸砂 川砂 > 海砂の順である。また，委員会報告 F-32 では，全国 40 種類の細骨材を用いた各種試験結果を整理しており，各種細骨材を用いた乾燥収縮率は，川砂 > 陸砂 > 海砂の順であった。これらから，海砂が陸砂および川砂に比べて乾燥収縮率が小さな値を示すものと判断される。

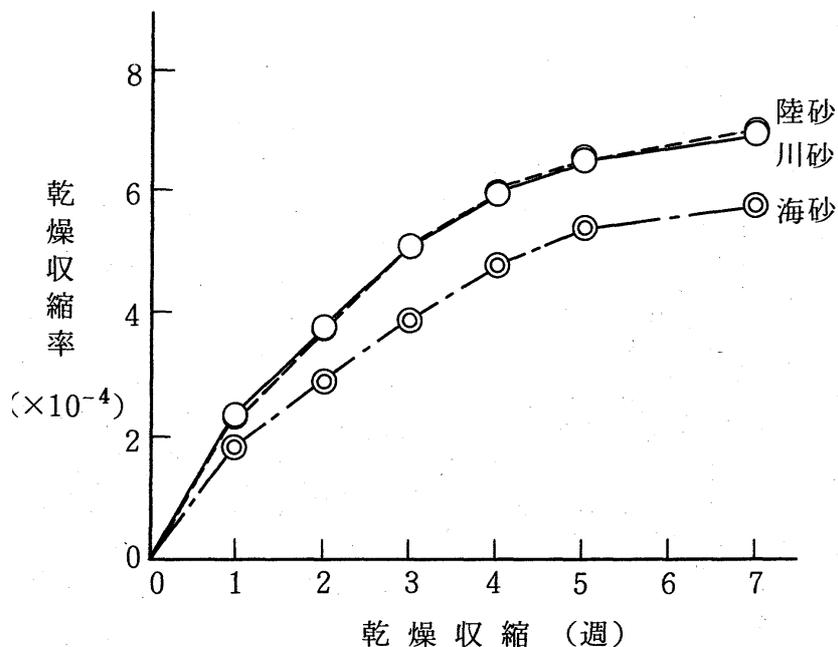


図 5.8 各種細骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮率

H-21	ひび割れ抵抗性に及ぼす各種要因の検討 (その三) 骨材種類の影響	1988 年
------	----------------------------------	--------

H-21 では、細骨材の岩種の影響を検討するため、各種岩種（砂岩系、安山岩、石灰岩）の粗骨材を粉砕して細骨材状とした骨材を用いたモルタルの乾燥収縮率について報告している。

- 【試験条件】 JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠
  - ・養生条件 1 日脱型後、材齢 7 日まで湿度 100%RH 環境下
  - ・セメントの種類 N：普通ポルトランドセメント
  - ・材料の混合比率 セメント：粉砕骨材：水 = 1：2：0.6
- 【要因】
  - ・細骨材の種類 3 種類 砂岩系、安山岩、石灰岩  
(各岩種を粉砕して試製)

図 5.9 に各種岩石を粉砕して試製した細骨材を用いたモルタルの乾燥収縮率を示す。石灰岩の場合は安山岩および砂岩系に比べて乾燥収縮率が明らかに小さな値である。骨材の粒度を変え岩粉状とした場合も同様の傾向を示すことから、骨材間の形状の差や骨材表面の物理的性状の差を考慮したとしても、岩種により、あるいは同一岩種であってもその産地により、乾燥収縮性状が異なると思われる。

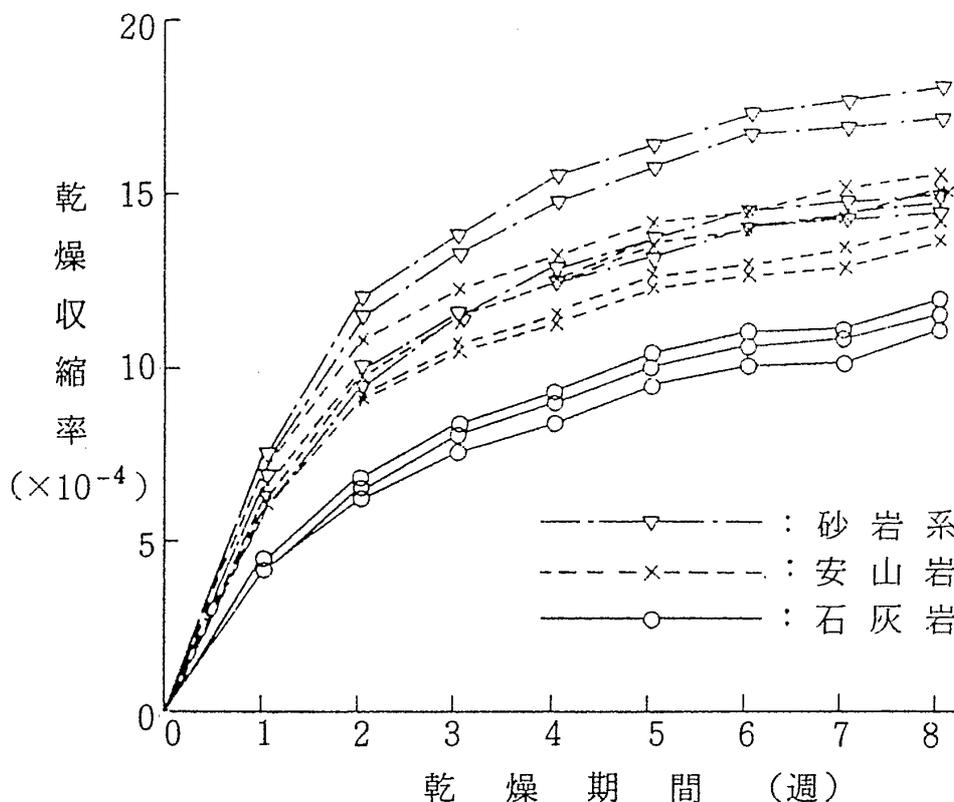


図 5.9 各種岩種の粉砕骨材を用いたモルタルの乾燥収縮率

(2) 粗骨材

H-23	コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討	1992年
------	------------------------	-------

H-23 では、産地、岩種の異なる粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮率について報告している。

- 【試験条件】 JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠
  - ・養生条件 材齢 7 日まで封緘養生
  - ・乾燥条件 温度 20 , 湿度 65%RH
  - ・セメントの種類 N：普通ポルトランドセメント
  - ・水セメント比 60%
  - ・スランプ 18.0 ± 1.5cm
- 【要因】
  - ・骨材の種類 3 種類 硬質砂岩、石灰岩、安山岩

図 5.10 に各種粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮率を示す。粗骨材の影響は極めて大きく、石灰岩の乾燥収縮率が最も小さい。また、石灰岩の乾燥収縮率は産地が異なってもほとんど差がないが、硬質砂岩と安山岩は産地の差が大きいことがわかる。

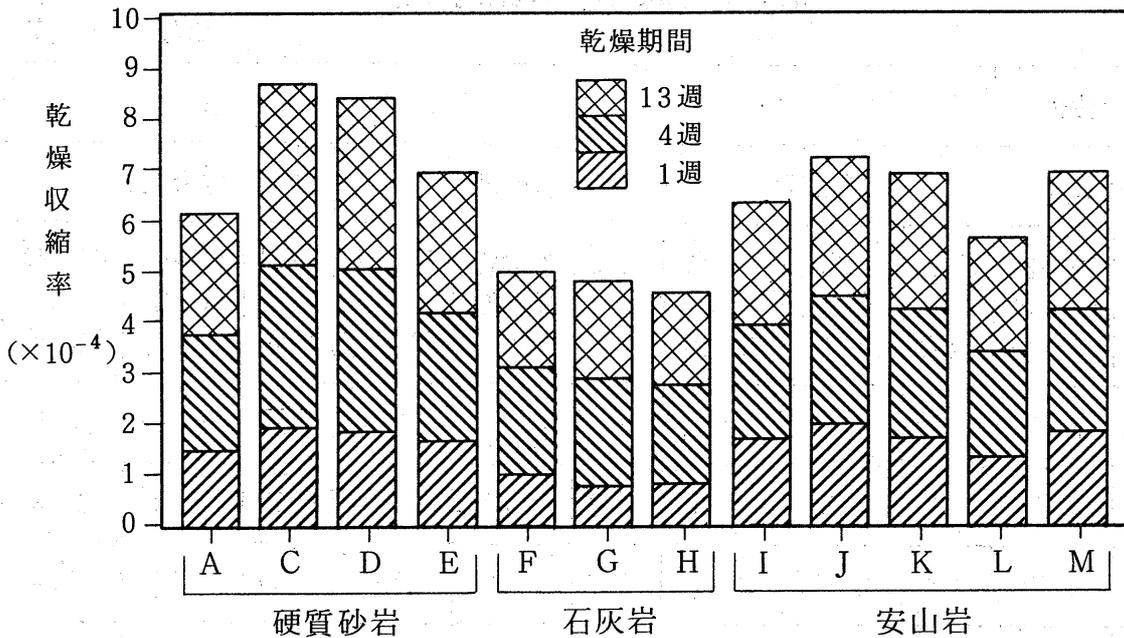


図 5.10 各種粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮率

5.1.7 初期養生条件

H-23	コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討	1992年
------	------------------------	-------

H-23 では、初期養生条件が乾燥収縮率に及ぼす影響について報告している。

(1) 初期養生期間

【試験条件】	JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠
	・養生条件 所定の初期養生期間まで型枠内に存置
	・乾燥条件 温度 20℃ , 湿度 60%RH
	・セメントの種類 N：普通ポルトランドセメント
	・水セメント比 60%
	・単位水量 $192\text{kg}/\text{m}^3$
	・単位セメント量 $320\text{kg}/\text{m}^3$
・スランプ $18.0 \pm 1.5\text{cm}$	
【要因】	・初期養生期間（脱型時期） 5水準 1日, 2日, 3日, 5日, 7日

初期養生期間と乾燥収縮率との関係を図 5.11 に示す。試験所 C の場合、乾燥期間 2 週までは初期養生期間が長いほどわずかに乾燥収縮率が増加する傾向を示したが、乾燥期間が 4 週以降の長期になると逆に初期養生期間が長いほど乾燥収縮率は小さくなった。また、試験所 D の場合には、乾燥期間 1 週までは初期養生期間に関わらず乾燥収縮率はほぼ同等であったが、乾燥期間が 2 週以降になると試験所 C の場合と同様に初期養生期間が長いほど乾燥収縮率が小さくなった。

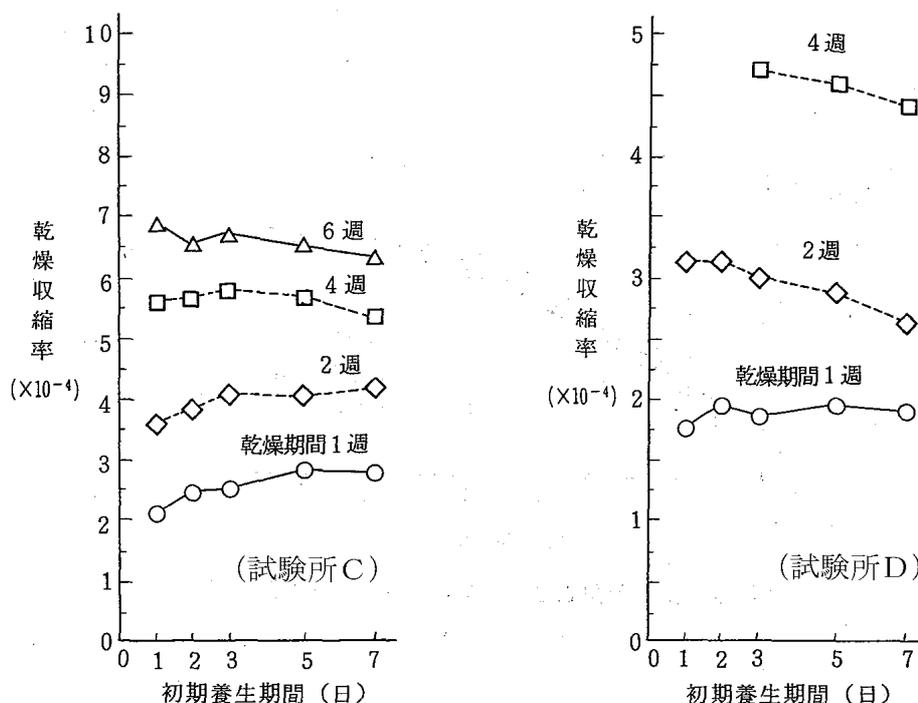


図 5.11 初期養生期間とコンクリートの乾燥収縮率

(2) 初期養生方法

{	【試験条件】	JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠	
	・乾燥条件	温度	20℃, 湿度 60%RH
	・セメントの種類	N	: 普通ポルトランドセメント
	・水セメント比		60%
	・単位水量		192kg/m <sup>3</sup>
	・単位セメント量		320kg/m <sup>3</sup>
	・スランブ		18.0 ± 1.5cm
【要因】	・初期養生方法	3水準	材齢1日で脱型後, 材齢7日まで水中養生 材齢1日で脱型後, 材齢7日まで湿潤養生 材齢7日で脱型後, 以降乾燥

図 5.12 に初期養生方法別の乾燥収縮率を示す。ここでの初期養生とは、乾燥開始までの養生が水中もしくは水分の逸散がない状態での養生である。乾燥収縮率は、初期養生方法に関わらずほぼ同様の傾向を示した。すなわち、コンクリートの打設からの水分の逸散を防止すれば、水中養生と同等の収縮量になる結果であった。

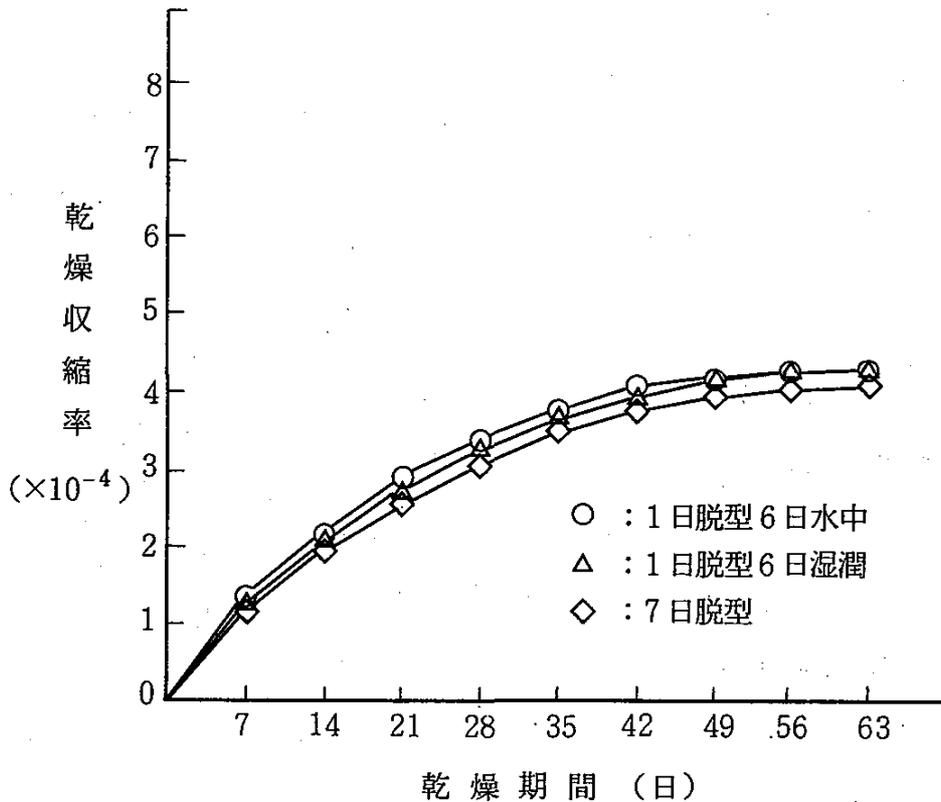


図 5.12 初期養生方法別の乾燥期間と乾燥収縮率

5.1.8 アジテート時間

H-23	コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討	1992年
------	------------------------	-------

H-23 では、生コン工場から出荷したコンクリートを用いて、アジテータトラックのアジテート時間が乾燥収縮率に及ぼす影響について報告している。

- 【試験条件】 JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠
  - ・養生条件 脱型後材齢 7 日まで封緘養生
  - ・乾燥条件 温度 20 , 湿度 65%RH
  - ・セメントの種類 N：普通ポルトランドセメント
  - ・水セメント比 60%
  - ・スランプ 18.0 ± 1.5cm
- 【要因】 ・アジテート時間 5 水準 練り混ぜ後 30 分, 60 分, 90 分, 120 分, 150 分

図 5.13 にアジテート時間と乾燥収縮率との関係を示す。A 工場ではアジテート時間が 90 分を超えると乾燥収縮率が大きくなる傾向を示した。B 工場では乾燥期間が 1 週ではアジテート時間が 120 分を超えると、また乾燥期間が 4 週以上の場合にはアジテート時間が 60 分を超えると乾燥収縮率が大きくなり、特に 120 分を超えると乾燥収縮率が急に大きくなる傾向を示した。JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に規定される荷卸しまでの時間(90 分)以内であれば、アジテート時間が乾燥収縮率に及ぼす影響は小さいとの結果であった。

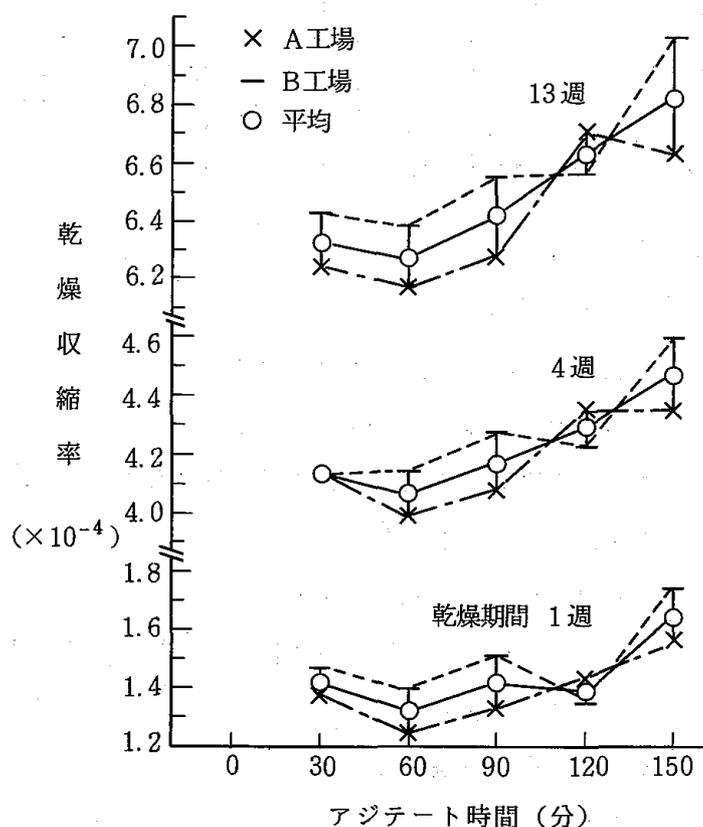


図 5.13 アジテート時間と乾燥収縮率

## 5.2 長期暴露

F-48	海砂の塩分含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究 材齢 20年最終報告	1998 年
------	---	--------

F-48 では、久里浜、酒田および鹿児島島の感潮部に暴露したコンクリートの長さ変化率について報告している。

{	<b>【試験条件】</b>	JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」準拠		
	・養生条件	脱型後材齢 1 ~ 2 ヶ月間、潮風の影響を受けない屋外で濡れむしろをかけて養生		
	・セメントの種類	N：普通ポルトランドセメント		
	・スランブ	8.0 ± 1.5cm		
	・単位セメント量	300kg/m <sup>3</sup>		
	・測定時期	材齢 20 年まで		
	<b>【要因】</b>	・暴露場所	3 箇所	久里浜、酒田、鹿児島
		・細骨材の種類	3 水準	川砂 (0%)、海砂 (0%)、海砂 (0.1%)
				(塩分含有量)

図 5.14 に各地域の感潮部に暴露したコンクリートおよび標準水中養生したコンクリートの長さ変化率および質量変化率を示す。長さ変化率は細骨材の塩分含有量にはほとんど影響されず、コンクリートの暴露環境に大きく左右されることがわかる。標準水中では、長さ変化率は材齢の経過とともに増加する傾向にあり、材齢 10 年から 20 年にかけて若干大きくなっているが  $1 \times 10^{-4}$  程度と小さく、暴露した供試体と比較しても小さい。質量変化率は材齢 1 年以降ほぼ一定である。感潮部の供試体の長さ変化率は暴露地ごとに傾向が異なり、久里浜では、材齢 1 年まで収縮した後、徐々に膨張傾向を示した。酒田では、膨張・収縮を繰り返した後、材齢 20 年では膨張傾向にある。鹿児島では、長さ変化率は暴露後、一貫して膨張傾向を示し、また、質量変化率も増加している。供試体の長さ変化率と質量変化率はよく対応しており、供試体の含水状態の差が長さ変化率に大きく影響していることがわかる。暴露地により長さ変化率が異なるのは、干満差による水没時間と乾燥時間の影響が原因の一つと考えられる。久里浜および鹿児島では、酒田に比べて水没時間が長く乾燥時間が短い。このため、長さ変化は膨張の傾向にあり、質量変化率も増加している。

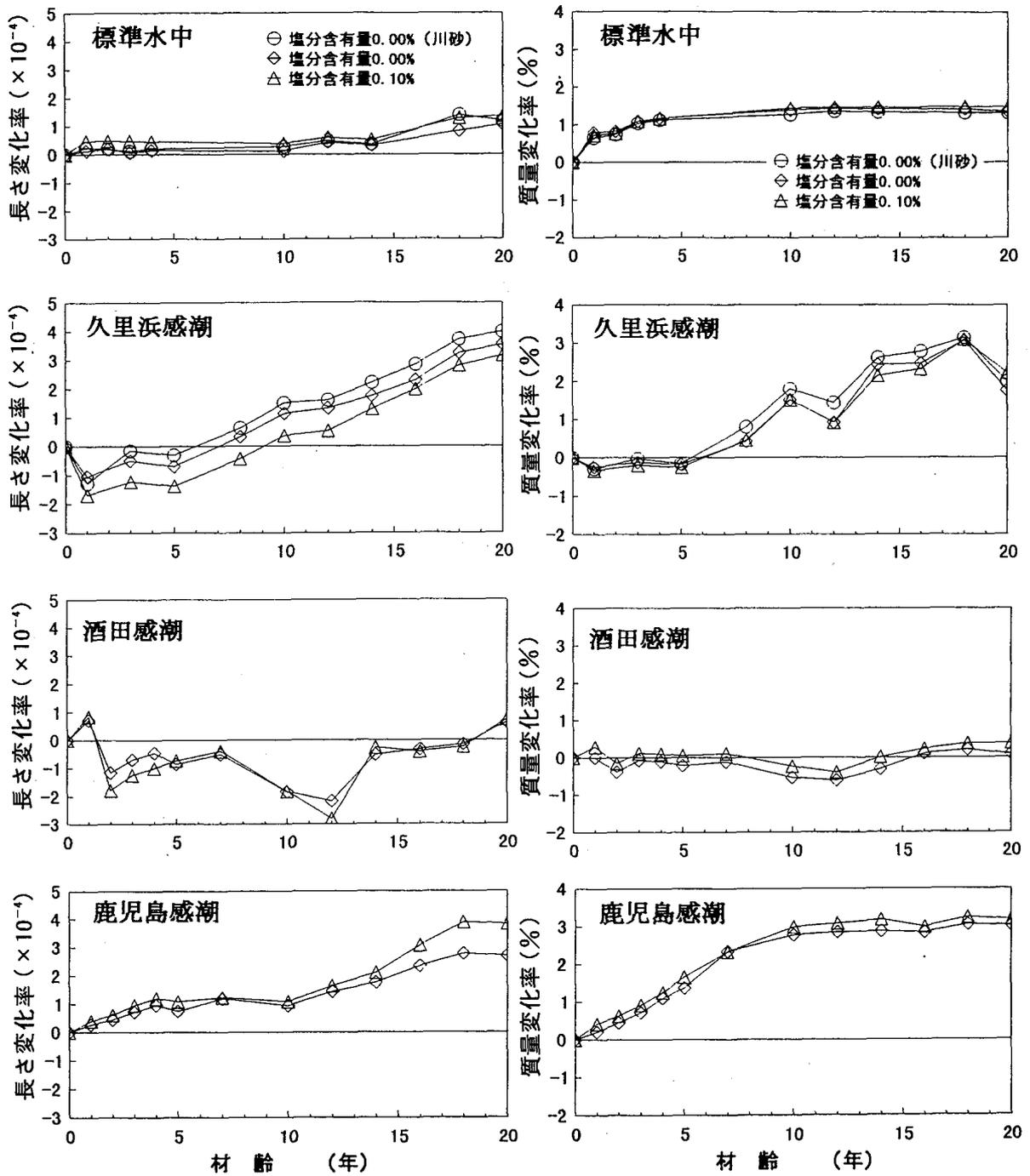


図 5.14 感潮部に暴露したコンクリートの長さ変化