

土 木 研 究 所 資 料

コンクリートの自己成長ひずみに関する 実験的検討

昭和62年 2 月

建設省土木研究所
ダム部ダム構造研究室

Copyright © 1987 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

コンクリートの自己成長ひずみに関する 実験的検討

ダム構造研究室 室 長 (前) 藤 沢 侃 彦

主任研究員 永 山 功

研 究 員 田 中 靖

小 林 政 登

要 旨

本報告は、ダムのようなマスコンクリート構造物にクラックを生じさせる要因の一つとされているコンクリートの自己成長ひずみについて論じたものである。まず、コンクリートの自己成長ひずみに影響を与えると思われる因子について比較実験を行い、ついで、影響因子とその影響度について検討を加えている。その比較実験の結果、自己成長ひずみに影響を与える因子とその影響度を概略的に把握することができた。

キーワード：コンクリートひずみ，自己成長，モンモリロナイト

目 次

1. ま え が き	1
2. 現場における自己成長ひずみの測定実験	2
2.1 実験仕様の概略	2
2.2 打設後3日までの計測結果および考察	3
2.3 打設後3日以降の計測結果および考察	8
3. 土木研究所における予備実験	17
3.1 予備実験の目的と検討項目	17
3.2 予備実験の概要	18
3.2.1 コンクリートの配合	18
3.2.2 供試体の作製とひずみ計の設置方法	18
3.2.3 脱型時期と養生方法	18
3.3 予備実験の結果およびその検討結果	25
3.3.1 供試体の作製方法とひずみ計の設置方法	25
3.3.2 脱型時期と養生方法	26
4. 土木研究所における自己成長ひずみの測定実験	29
4.1 実験概要	29
4.1.1 実験内容および検討項目	29
4.1.2 供試体作製方法および養生方法	30
4.2 実験結果および考察	30
4.2.1 コンクリートの線膨張率と温度ひずみの補正	30
4.2.2 セメントペースト量が自己成長ひずみに及ぼす影響	32
4.2.3 セメントの品質が自己成長ひずみに及ぼす影響	32
4.2.4 モンモリロナイトが自己成長ひずみに及ぼす影響	32
4.2.5 その他の特性に関する考察	33
5. ま と め	45

1. ま え が き

コンクリートはその硬化中および硬化後に、外的および内的要因によって種々の体積変化を受ける。これら体積変化をもたらすひずみには、外荷重によるひずみ、温度によるひずみ、乾燥収縮ひずみ、自己成長ひずみ、およびクリープひずみなどがある。コンクリート内に生じる全ひずみ量はこれらのひずみが合算されたものであるが、一般にはクリープひずみ以外のひずみがコンクリート構造物にクラックを発生させる原因となり得る。コンクリートにクラックが生じるのはコンクリートに作用する応力がコンクリート強度より大きくなった時であり、コンクリートにクラックが発生する原因としては予想外の外荷重が作用した場合のほか、セメントの水和熱に起因する温度応力、乾燥収縮ひずみ、および自己成長ひずみ等が考えられる。それらのうちの温度応力および乾燥収縮ひずみについてはその原因および発生程度はかなり検討されているが、自己成長ひずみについてはダムコンクリートなどのマスコンクリートの分野では従来より問題視されているものの^{1), 2)} いまだその基礎的な検討はほとんどなされていないのが現状である。

コンクリートに発生する自己成長ひずみとは、外荷重、温度荷重、および乾燥収縮などの外的要因とは無関係にコンクリートの硬化過程および硬化後の比較的早期に発生するひずみの総和を言い^{2), 3)} 自己成長ひずみに影響を与える可能性のある因子としては、配合、骨材、セメント、養生状態（温度・湿度）等が考えられる。

一方、現場からは施工中に温度応力が原因とは思われないようなクラックの発生が報告され、その分析・検討を進めるうちに骨材中にモンモリロナイトを含有していることが判明した。モンモリロナイトに関する従来の知見としては、モンモリロナイトには吸水膨潤作用があり、その膨潤力は間隙水がアルカリ性の時に特に大きい⁴⁾ が、骨材中にモンモリロナイトが存在していてもすでに骨材が十分吸水していれば一応問題はなく、コンクリートの曝露条件によっては好ましくないという程度の⁴⁾ ものであり、クラックの原因となるような自己成長ひずみの発生にどのように関係しているのかはいまだ明らかになっていない。そこで、まず、モンモリロナイトの混入がコンクリートの自己成長ひずみにおよぼす影響の程度を把握するための実験を現場で行ない、ついで、その実験結果を踏まえて、土木研究所でモンモリロナイトの自己成長ひずみにおよぼす影響を定量的に検討すると共に自己成長ひずみに影響を与える因子の概略的な検討を行った。以下、その具体的な検討方法、実験結果、および結果の考察を報告する。

2. 現場における自己成長ひずみの測定実験

2.1 実験仕様の概略

コンクリートの自己成長ひずみにおよぼすモンモリロナイトの影響を検討するため、現場コンクリートを用いて、モンモリロナイト含有率の差による自己成長ひずみの差について比較検討した。その比較方法としては、モンモリロナイト含有率の異なるコンクリートを練って所定の型枠内に打設し、その中にひずみ計と温度補正を行うための温度計を埋設して（図-2.1）、そのひずみ計によるひずみ値を比較検討する方法を採った。比較実験に用いた供試体寸法およびコンクリート仕様の概略は以下の通りである。

供試体寸法： 600×300×300 mm

配 合： 表-2.1 の配合のコンクリートを80 mm のスクリーンでカットしたもの

粗 骨 材： ダム製品粗骨材

細 骨 材： ダム製品砂および生コン砂

減 水 剤： ポゾリス№8

A E 剤： ポゾリス#202

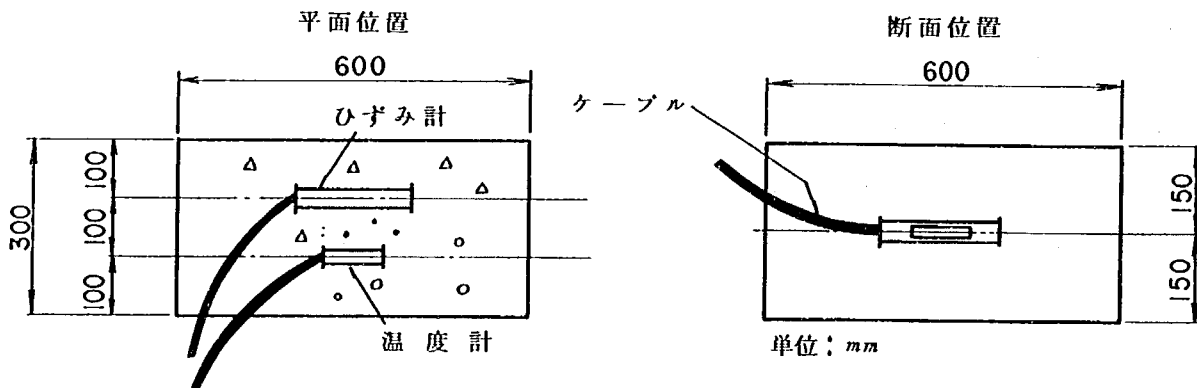


図-2.1 現場実験供試体寸法

表-2.1 現場実験配合表

G _{max} (mm)	W/(C+F) (%)	S/a (%)	F/C+F (%)	単位体積重量 (kgf/m³)							混和剤 (%)
				W	C+F	S	G				
							150mm~	80~	40~	20~5	
150	67	25	25	107	160	540	431	399	398	429	0.025

練り混ぜ： 現場試験室内にある小型ミキサー

モンモリロナイト： ダム製品砂に含有するものおよび黒石ベントナイト

供試体番号と使用細骨材および養生方法との関係は表-2.2 のようである。供試体№1～№3 は、型枠に打設後6時間経過してから散水養生を3日間続け、その後脱型して水中養生に切り替え、材令91日までひずみおよび温度の測定を続けた。供試体№4～№6 は、打設後特に表面の手当てはせずに空気に触れさせたまま型枠の中で3日間養生し、3日経過後に脱型して屋外曝露の状態で材令91日まで測定を続けた。

測定結果を便宜的に脱型時である打設後3日で区切り、前者をコンクリートが十分硬化する前の実験結果、後者をコンクリートが十分硬化してからの実験結果として解析を行った。

表-2.2 実験ケース

No	養生方法	使用細骨材	公称Mon.含有率(%)	減水剤	備 考
1	散 水	黒石生コン	0 (0.0)	C×0.025%	6時間後より散水。 3日経過後脱型して水中養生。
2	"	ダム製品	10 (12.6)	"	
3	"	"	20 (23.9)	"	
4	放 置	黒石生コン	0 (0.0)	"	空气中放置。 3日経過後脱型して屋外曝露。
5	"	ダム製品	10 (12.6)	"	
6	"	"	20 (23.9)	"	

Mon. はモンモリロナイト、左は計画、()内は実績。 Cはセメント重量。

2.2 打設後3日までの計測結果および考察

まず、ひずみの測定値について述べる。外部応力が作用していないコンクリートに発生するひずみのうち温度以外の原因によって発生するひずみを自己成長ひずみ(S_0)と考え、コンクリートの熱膨張ひずみは温度変化に比例するとすれば、コンクリートに発生するひずみは($S_0 + \alpha \cdot \Delta t$)と表わすことができる。

一方、データ記録装置に打ち出されたひずみの読み取り値($(m - m_0) \cdot f$)は基準値からの差にひずみ計の校正係数を乗じて求められた見かけのひずみ(S')であり、この値をひずみ計の温度の影響を除去するために温度補正した値($(m - m_0) \cdot f + C \cdot \Delta t$)が、ひずみ計によって求められたコンクリートの実際のひずみ量(S)である。このひずみ計によるコンクリートのひずみ量と前述の($S_0 + \alpha \cdot \Delta t$)とは等しくならなければならないから

$$(m - m_0) \cdot f + C \cdot \Delta t = S_0 + \alpha \cdot \Delta t \quad \cdots \cdots \cdots (2.1)$$

が成立する。ただし

- m : ひずみ計の測定値
- m_0 : ひずみ計の初期測定値
または計測基準ひずみ値

f : ひずみ計の校正係数
 C : ひずみ計の線膨張係数
 α : コンクリートの線膨張係数
 Δt : コンクリートの温度変化

(m を計測時の温度) - (m_0 を計測時の温度)

である。

ひずみ計によって求めたコンクリートのひずみ量 ($(m - m_0) \cdot f + C \cdot \Delta t$) を S とおき、 Δt と S との関係を図-2.2～図-2.7で示す。

$$S = S_0 + \alpha \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

であるから、 S_0 および α が一定であれば S と Δt との間には直線関係が成立するはずであるが、これらの図を見ればコンクリートのひずみ量 (S) と温度変化量 (Δt) との間に打設初期は直線関係が成立しておらず、供試体の温度ピークを過ぎてからほぼ直線関係が成立していることがわかる。この直線関係にある部分の勾配をもってその供試体の線膨張係数とすれば、線膨張係数は $4.4 \sim 7.7 \mu$ である。十分硬化したコンクリートでは一般に線膨張係数は材令によってあまり変化しないとされているが、ごく初期の材令の温度ひずみは他のひずみと厳密に区別するのが困難なこともあって研究が進んでいないのが現状である。しかし、温度変化が小さい場合は温度ひずみが実験精度におよぼす影響は比較的小さいと考えられるので、温度変化量 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S) とがほぼ直線関係にある部分より求めた線膨張係数を用いて温度補正をし、コンクリートの自己成長ひずみを求めた。図-2.2～2.7で Δt と S とが直線関係にない部分でも線膨張係数が一定であるとすれば、自己成長ひずみ (S_0) は大きく変化していることを意味する。

つぎに、自己成長ひずみ (S_0) について検討する。打設6時間後から散水養生を行った3供試体のそれぞれの自己成長ひずみ (S_0) および温度変化量 (Δt) の打設からの履歴は図-2.8であり、放置養生の3供試体のそれは図-2.9である。散水養生の場合、すべての供試体の自己成長ひずみ (S_0) はまず膨張側に発達してからつぎに収縮方向への変化が現われており、そのうちのモンモリロナイトを含んでいない供試体は最大伸びひずみよりやや小さな伸びひずみで安定し、モンモリロナイトを含んでいるものは最終的には打設時より収縮した状態で安定している (図-2.8.)。放置養生の場合、モンモリロナイトを含んでいるものについては散水養生の場合と同じ傾向にあるが、モンモリロナイトを含んでいないものについては最初から収縮ひずみしか現われていない (図-2.9) 。しかし、打設6時間後までの養生方法は散水養生を行った場合も放置養生を行った場合も同じであったので、理想的には6時間後までの履歴はそれぞれに対応する供試体間で同じにならなければならないが、対応する供試体のひずみの履歴の違いは実験精度の程度を表わしていることになる。No.2とNo.5のひずみはほぼ同じ履歴であるが、No.3とNo.6とでは自己成長ひずみ (S_0) のピーク時の値がかなり異なっており、また、No.1と最初から収縮ひずみが生じているNo.4とではまったく異なった履歴になっている。このことより、実験値の精度はあまり良くないのではない

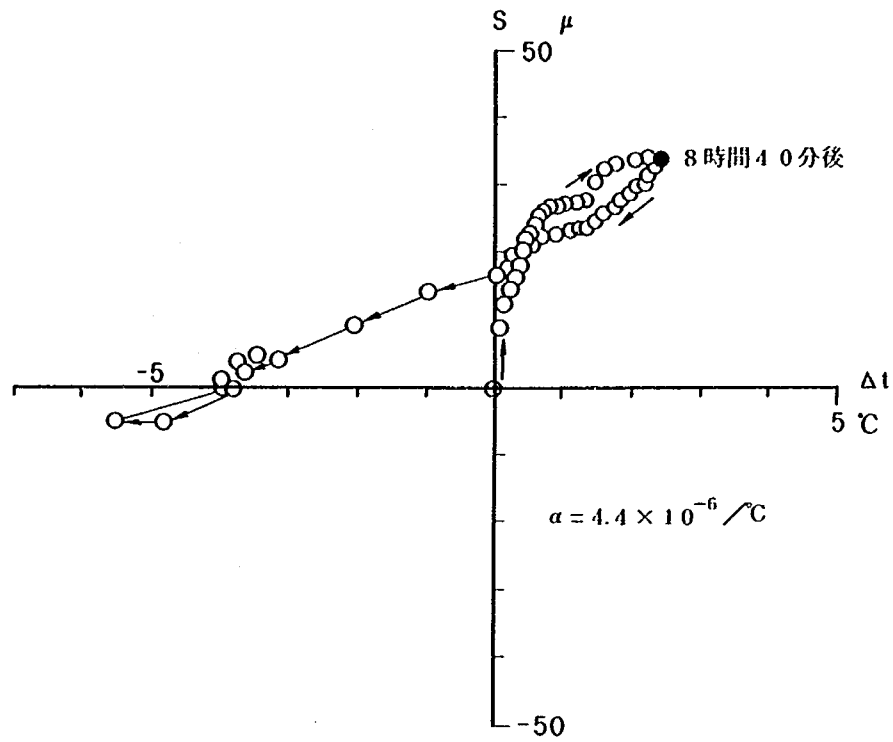


図-2.2 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
 Na1 供試体 (モンモリロナイト 0%, 散水)

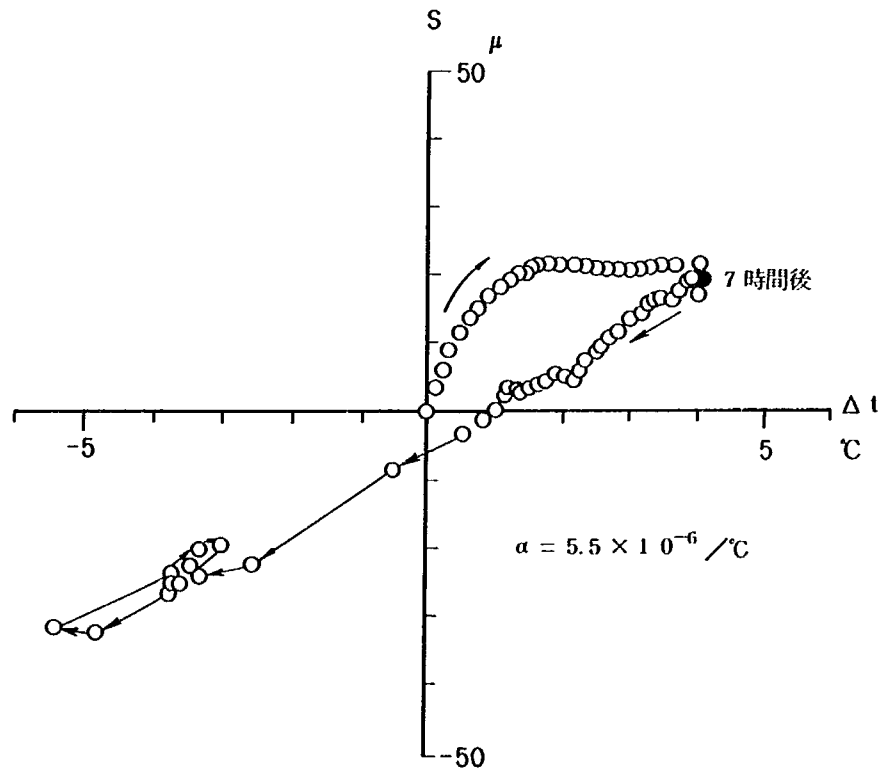


図-2.3 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
 Na2 供試体 (モンモリロナイト 10%, 散水)

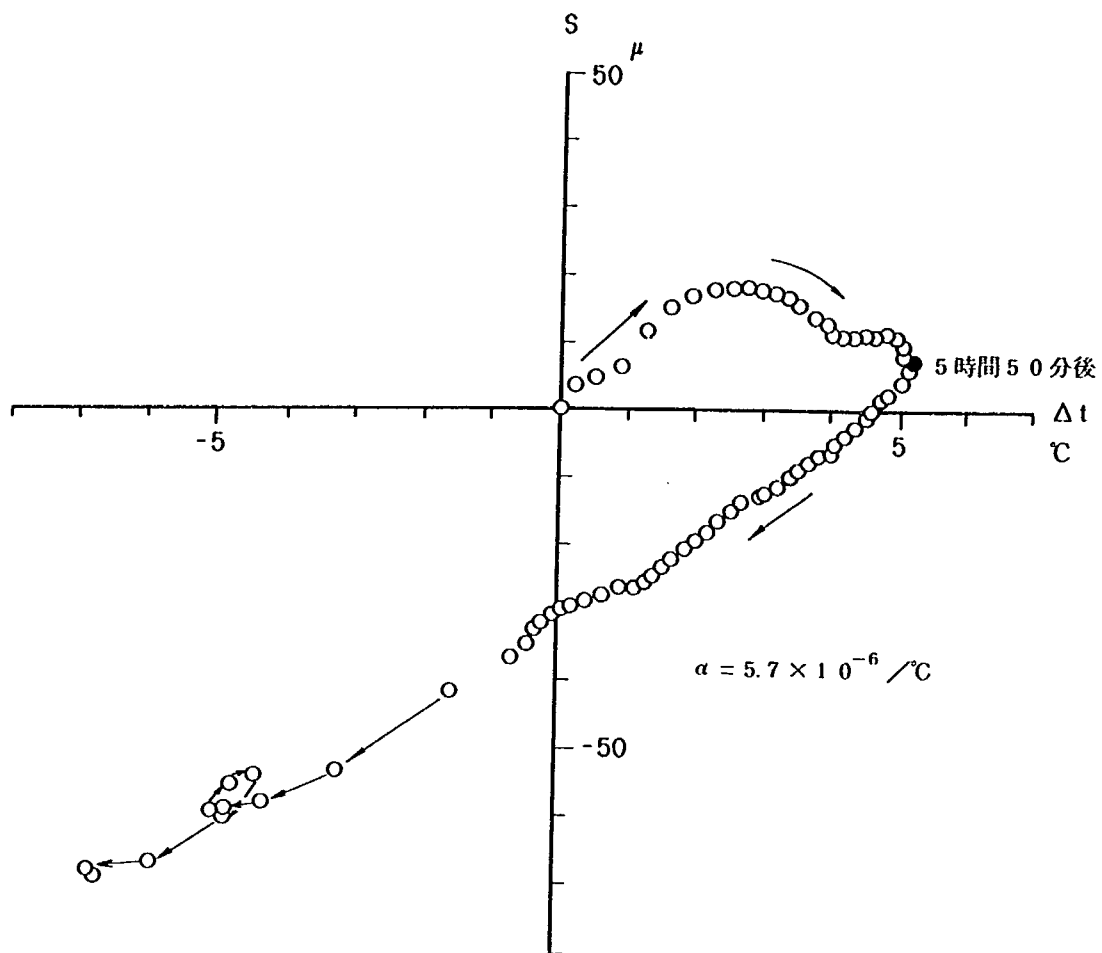


図-2.4 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
No.3 供試体 (モンモリロナイト 20%, 散水)

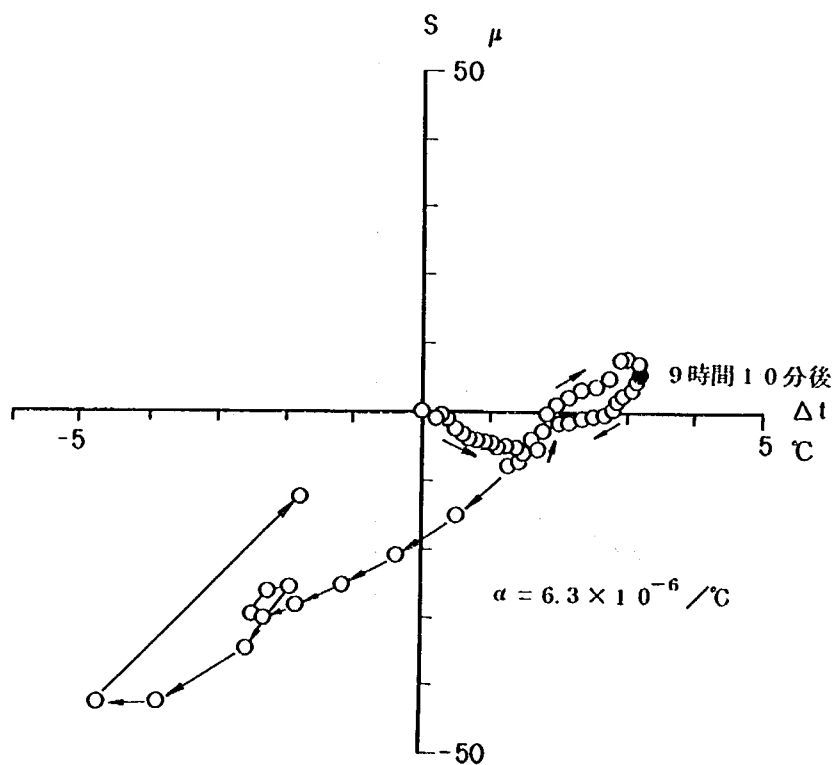


図-2.5 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
No.4 供試体 (モンモリロナイト 0%, 放置)

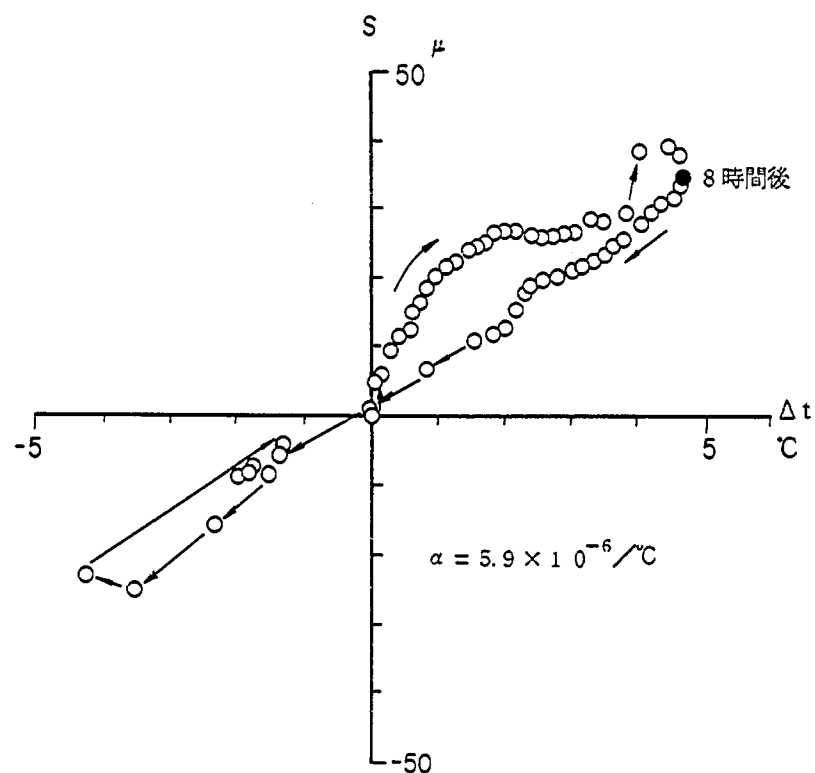


図-2.6 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
No. 5 供試体 (モンモリロナイト 10%, 放置)

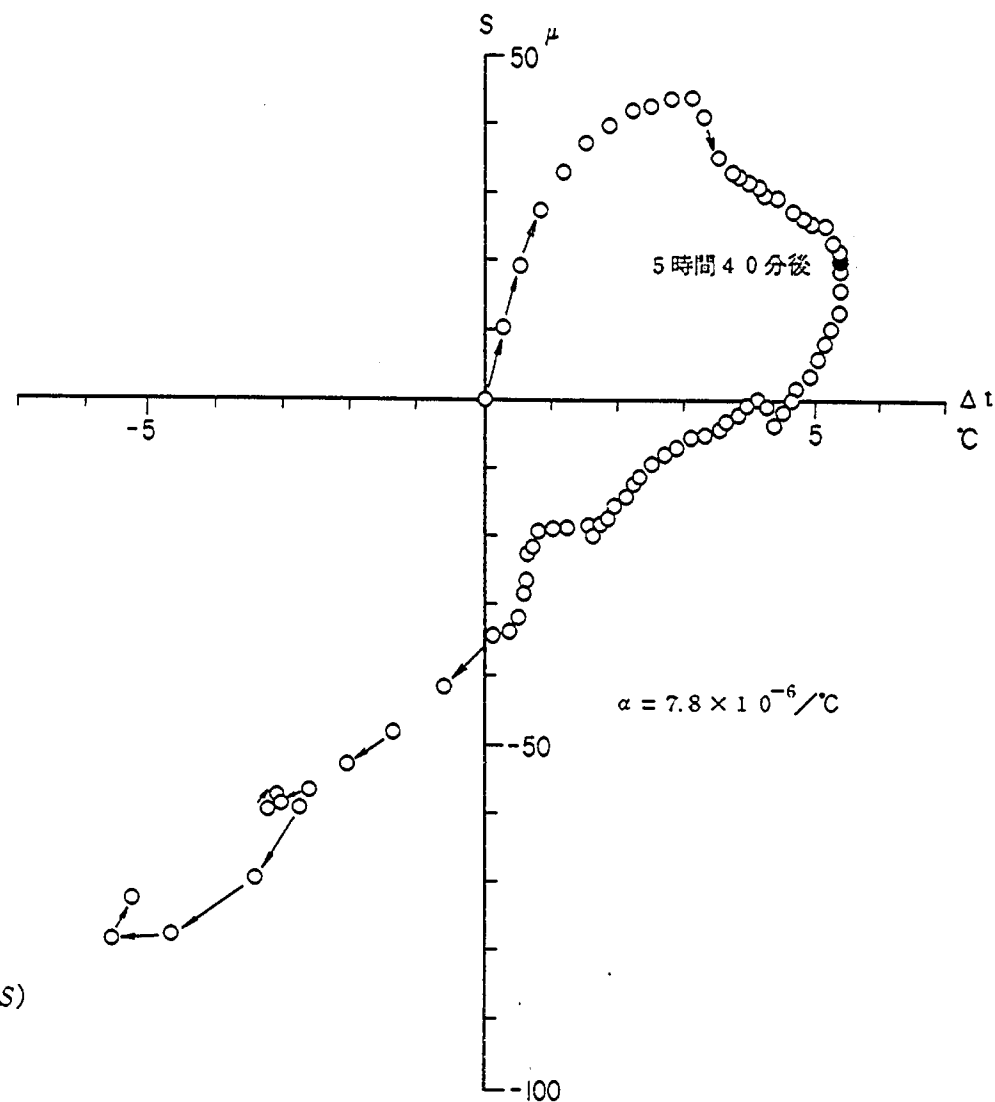


図-2.7 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
No. 6 供試体 (モンモリロナイト 20%, 放置)

かと思われるが、最初に伸びひずみが発生しなかったのは№4 だけであるのでこのデータを除去すれば、モンモリロナイト含有率が多くなるほど自己成長ひずみ（伸び側を正）が小さくなる傾向を見いだすことができる。しかし、データ数が少ないのでここに断定的に結論づけることはできない。

つきに、実験誤差の原因を検討する。その誤差の原因としては、

- ① モンモリロナイト含有率の不均一さ
- ② ひずみ計の設置位置の不確かさ
- ③ ひずみ計の初期値の設定時期等に関する問題
- ④ 打設直後の供試体移動による一時的な振動等の影響
- ⑤ 個々の供試体の養生状態の差

等が考えられる。しかし、ひずみ測定値の変化の様子そのものが各々対応する供試体間で異なっているので、設定初期値の差や振動などの一時的な要素が原因となっているのではないと考えられる。さらに、モンモリロナイトを含んでいない№1と№4 供試体間での発生ひずみ量の差が1 番大きく、モンモリロナイト含有率の不均一さはそれほど問題ないと考えられる。以上より、考えられる原因はひずみ計の設置状態の差であろうと推定される。

最後に、モンモリロナイト含有率の差による温度履歴の差について述べる。図- 2.8 および図- 2.9 で含有率別に温度履歴を比較すれば、モンモリロナイト含有率の多い供試体の方が初期の温度上昇勾配、温度上昇量共に大きく、温度ピークも早く出現している。また、ひずみ測定用供試体を作製したバッチのコンクリートを用いて圧縮強度試験を行った結果、モンモリロナイト含有率の多い供試体の方が強度が高い結果になっている（表- 2.3）。これらの結果より、モンモリロナイトにはセメントの水和反応を促進させる作用があると考えられる。

表- 2.3 供 試 体 強 度

養 生	水 中			放 置		
供試体番号	1	2	3	4	5	6
公称モンモリロナイト含有率(%)	0.0	10	20	0.0	10	20
σ_7 (Kgf/cm ²)	54.9	59.3	83.1	57.9	62.8	77.0
σ_{28} (Kgf/cm ²)	108.0	114.0	147.0	99.8	105.0	125.0

2.3 打設後3日以降の計測結果および考察

脱型後の測定は、1 回/日の割合で実施した。そのひずみの測定値を（2.2）式に従って打設時の値を基準に整理したのが図- 2.10～図- 2.15 である。この内、図- 2.10～図- 2.12 は水中養生の供試体の履歴であり、図- 2.13～図- 2.15 は屋外曝露の供試体のそれである。こ

これらの結果より、水中養生の供試体は全体的にみて温度変化量(Δt)とひずみ量(S)との間に直線関係が成立していると思えてもさしつかえないと思われるが、屋外曝露の供試体は直線関係からはずれている部分がある。これは、供試体の大きさが比較的大きくて屋外曝露であったため外気温の急激な日変化で供試体内の温度分布が一様でなくなり、そのような温度分布による拘束ひずみが生じたためであると考えられる。なお、概略的に直線関係にあると思われる範囲で最小2乗法によって求めた線膨張係数は $5.3 \sim 6.3 \mu$ であり、いずれの場合も線膨張係数の供試体間の差は打設当初よりも小さくなっている。この求め直した線膨張係数を用いて打設当初から91日目までの測定値を温度補正して整理すれば、水中養生の供試体の自己成長ひずみの履歴は図-2.16のようであり、屋外曝露のそれは図-2.17のようである。図-2.16の水中養生の場合のひずみ変化量は非常に小さくひずみ量は安定しているが、図-2.17の屋外曝露の場合のひずみの変化量はかなり大きい。このひずみ量が安定していない原因は、前述したように外気温の変化で供試体内の温度分布が一様でなくなり、温度による拘束ひずみが生じているためだと思われる。しかし、打設後1カ月程度以降の相対的なひずみ変化量はモンモリロナイト含有率の異なる供試体間でそれほど大きな差は生じておらず、このことより、モンモリロナイトの影響は打設後の比較的初期のみに現われるのではないかと推定される。

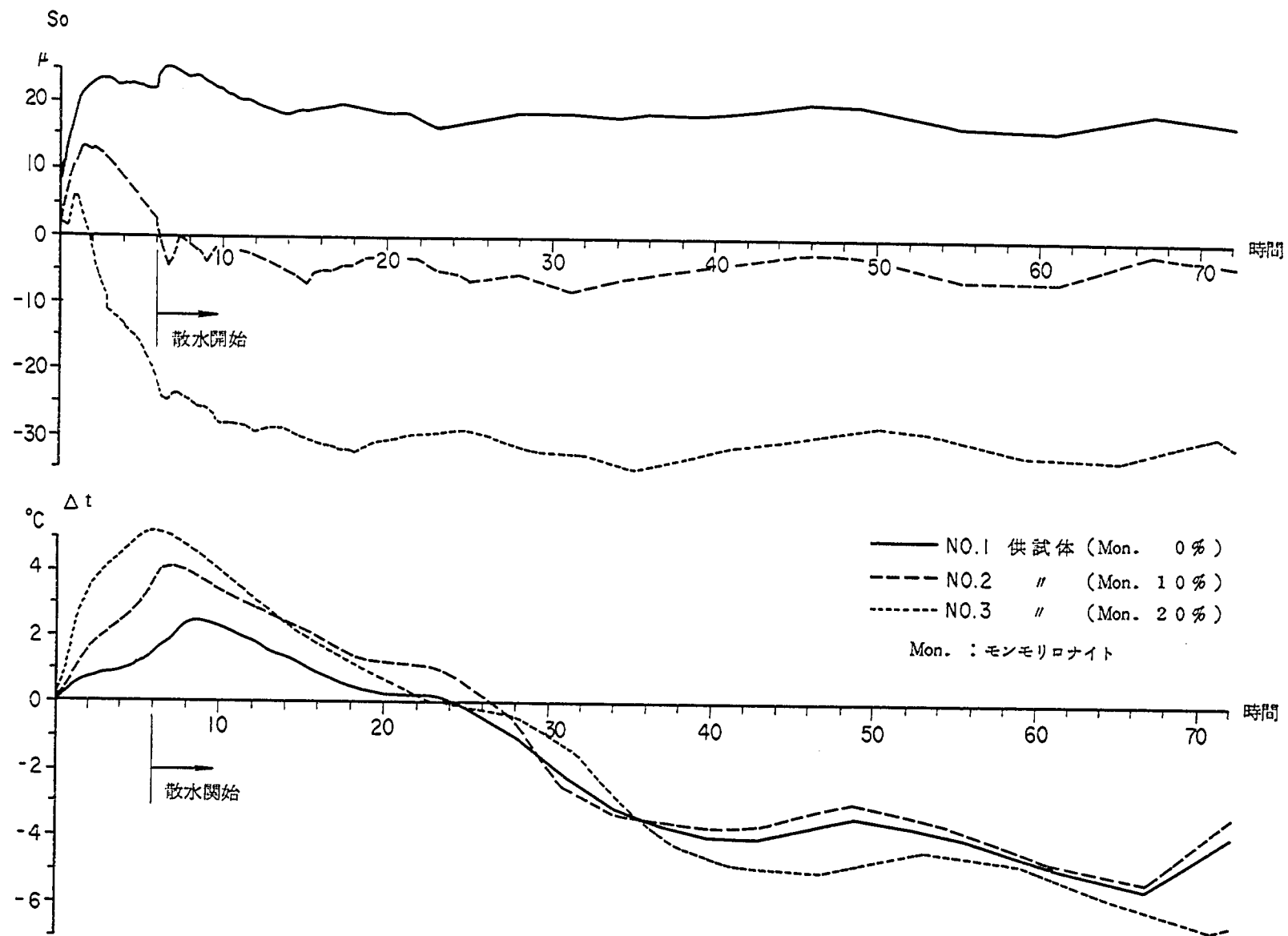


図-2.8 自己成長ひずみ (S_o) と供試体温度変化 (Δt) の履歴
(散水養生)

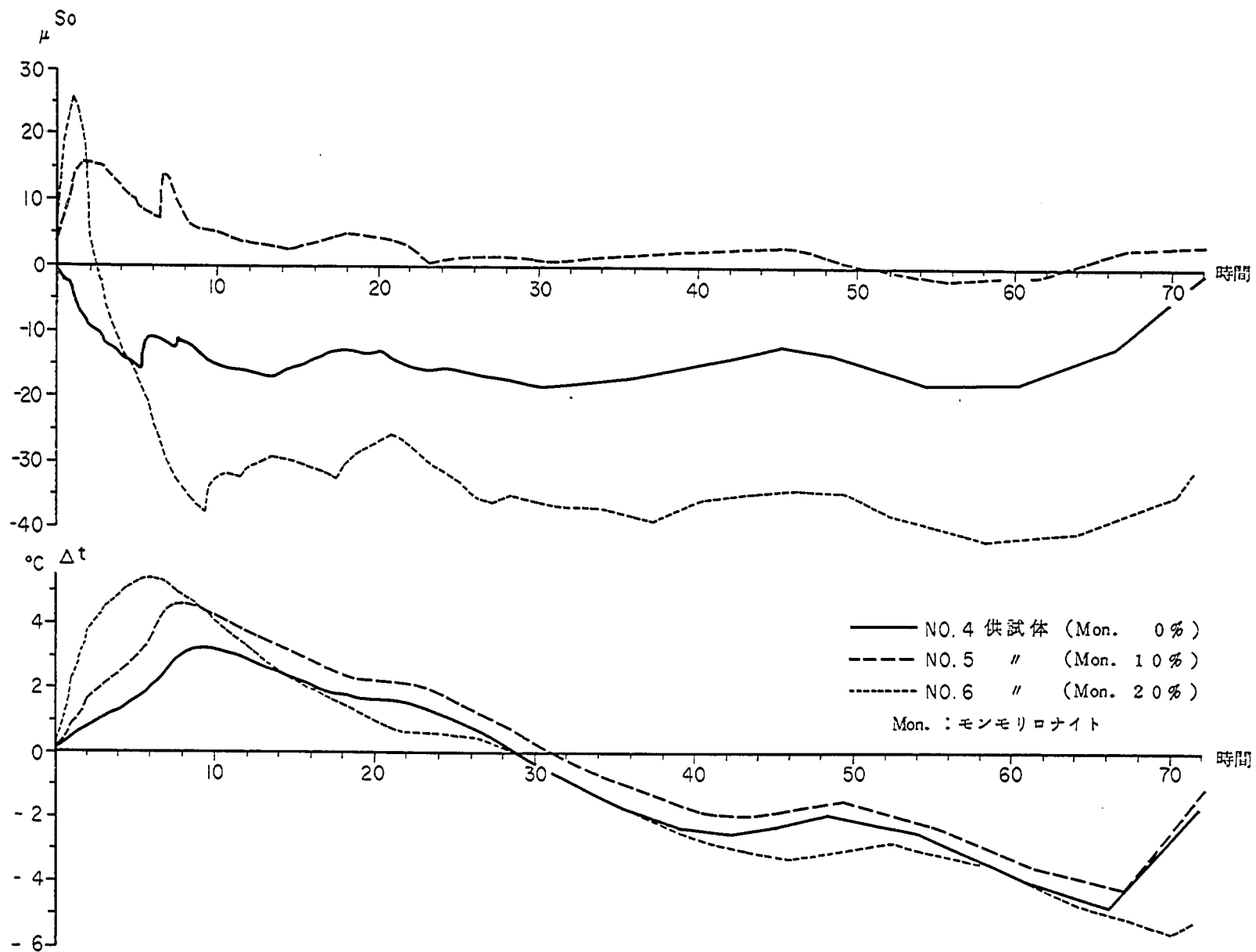


図-2.9 自己成長ひずみ (S_o) と供試体温度変化 (Δt) の履歴
(放置養生)

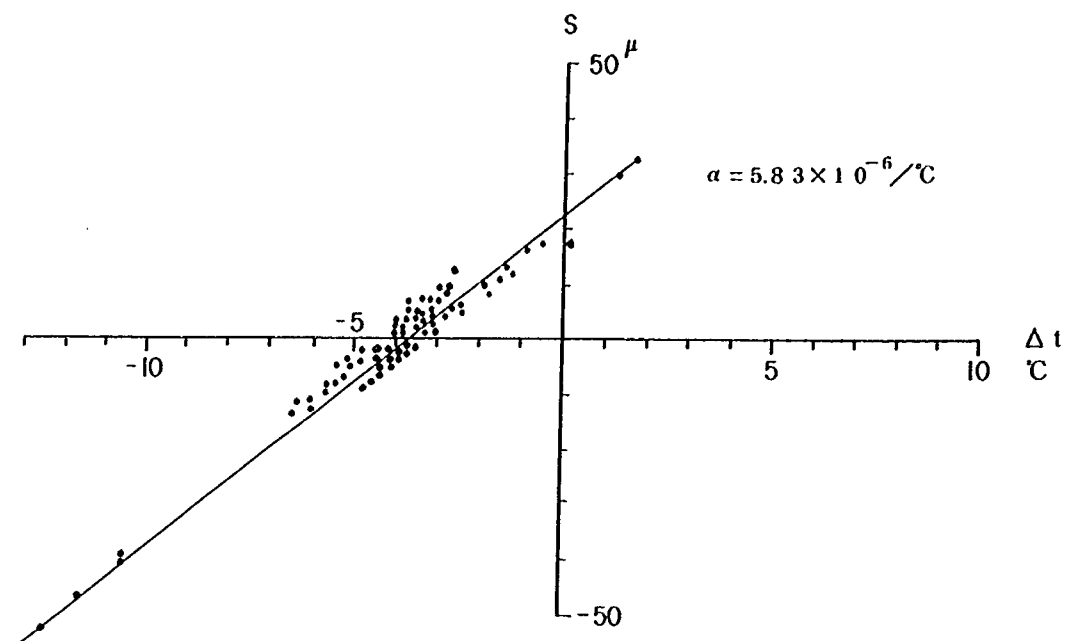


図- 2. 10 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
No 1 供試体 (モンモリロナイト 0 %, 水中)

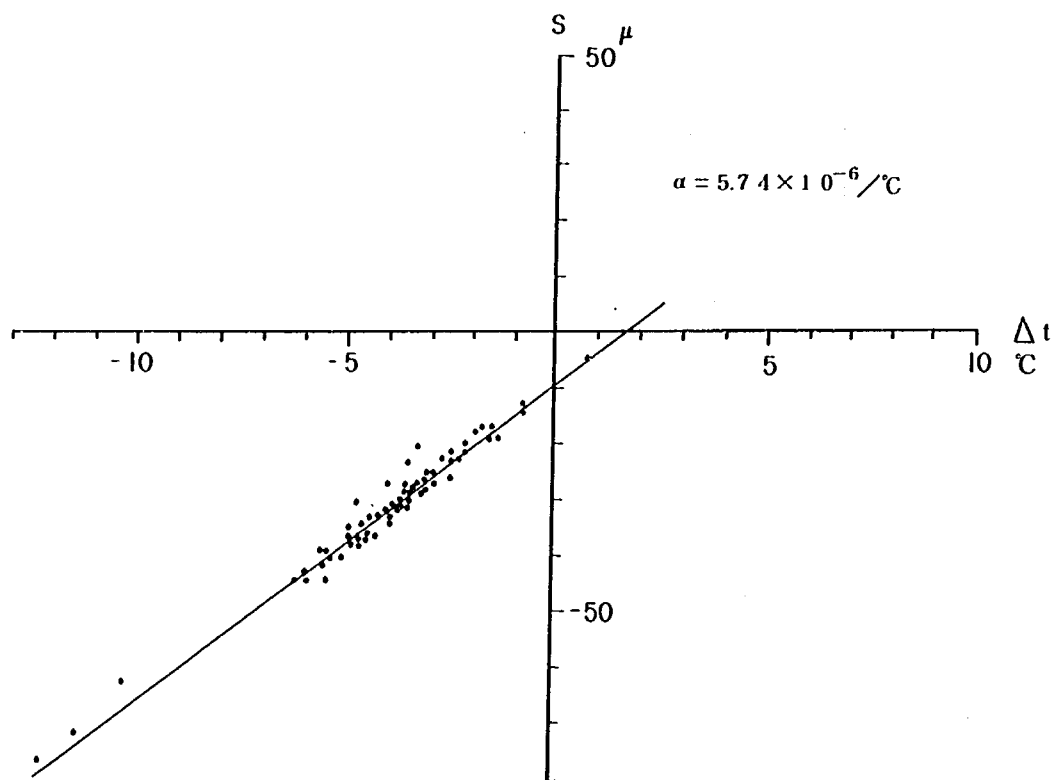


図- 2. 11 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
No 2 供試体 (モンモリロナイト 10 %, 水中)

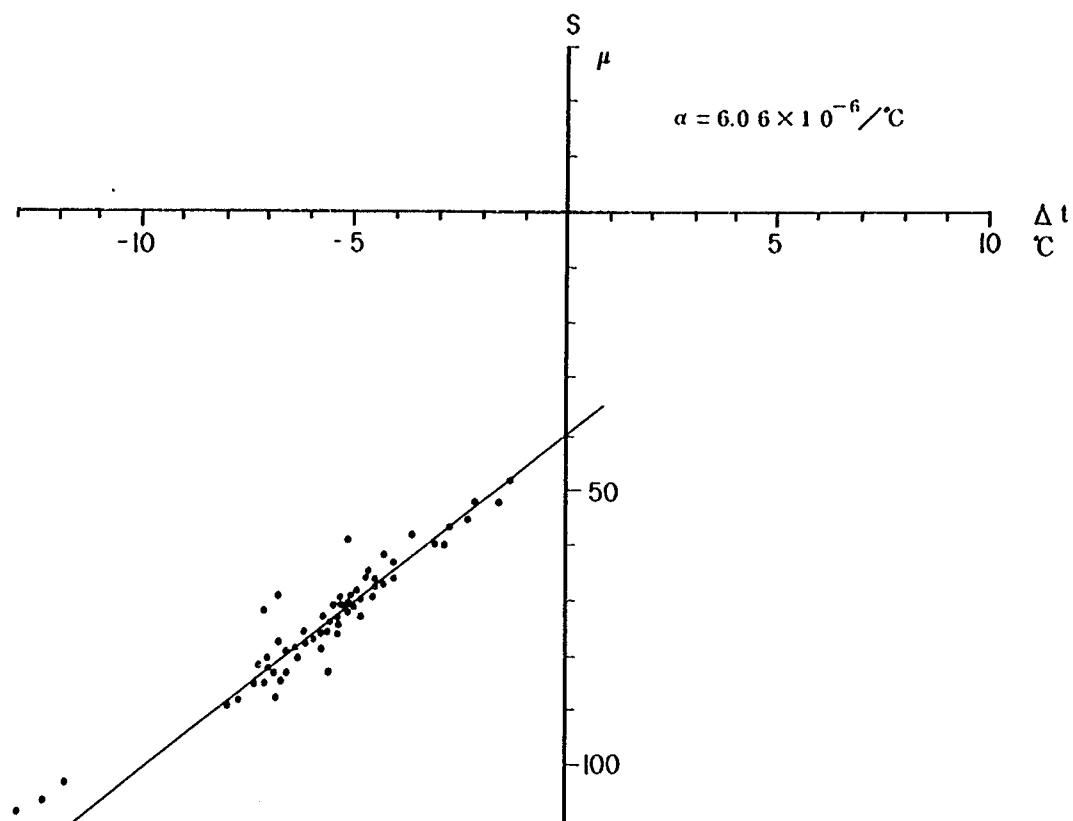


図- 2. 12 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
Na3 供試体 (モンモリロナイト 20%, 水中)

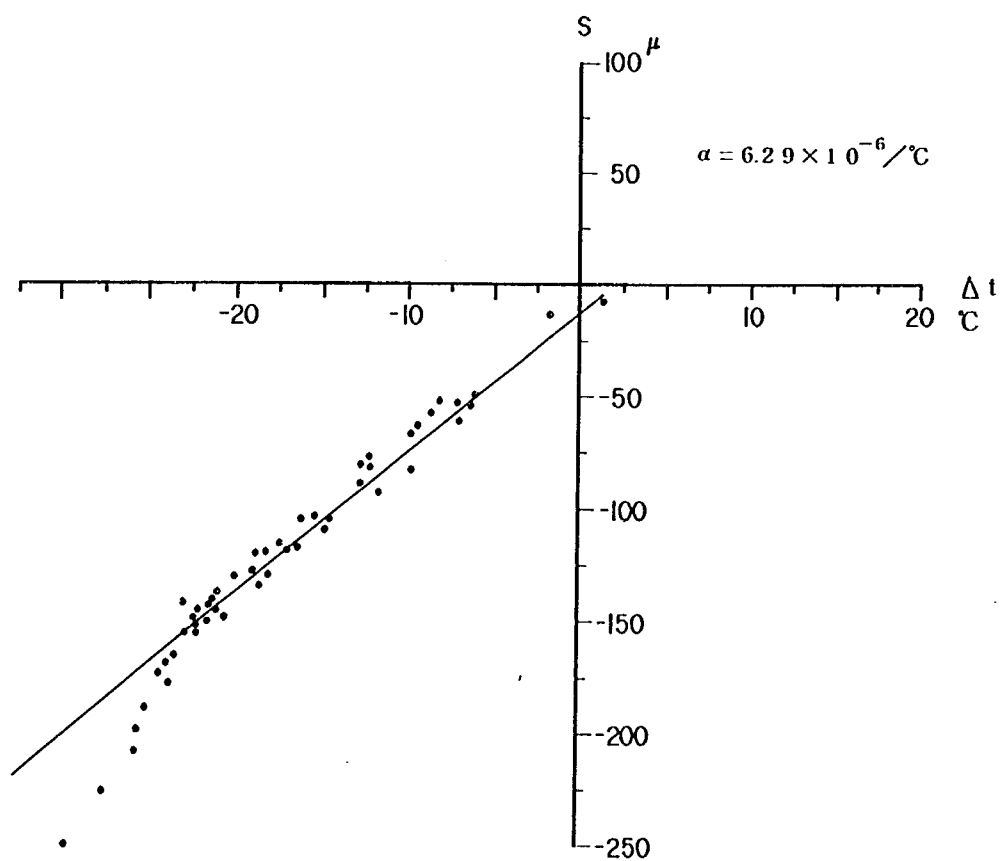


図- 2. 13 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
Na4 供試体 (モンモリロナイト 0%, 屋外)

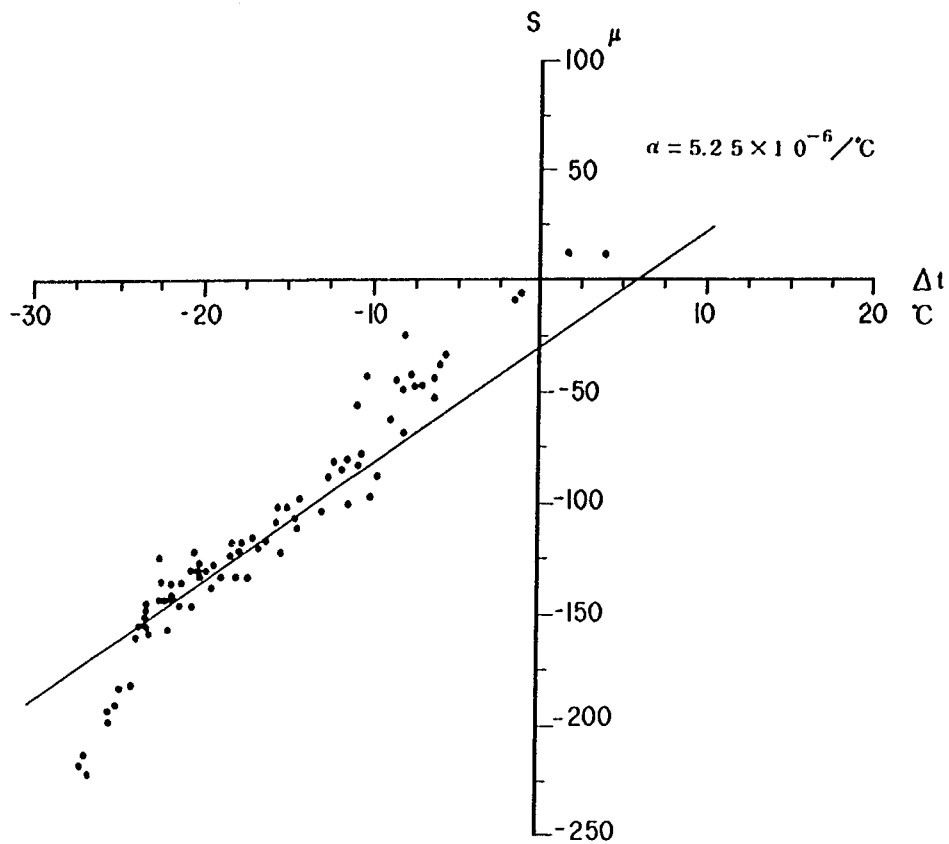


図- 2. 14 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
Na 5 供試体 (モンモリロナイト 10 %, 屋外)

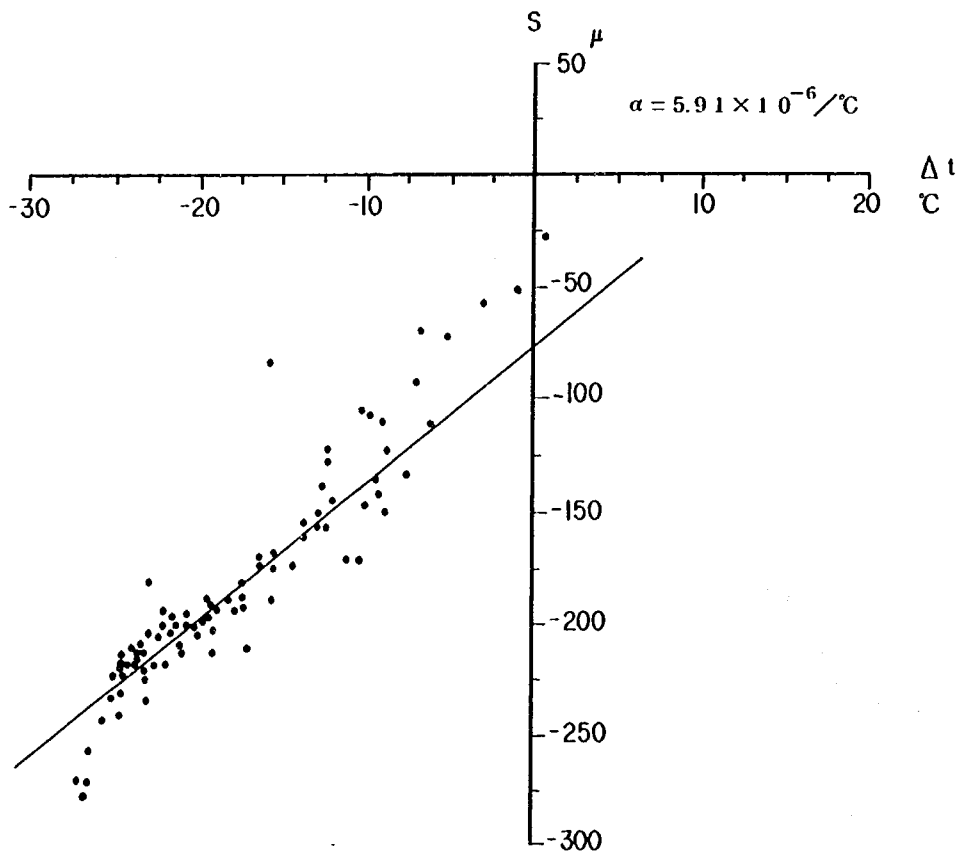


図- 2. 15 供試体温度変化 (Δt) とコンクリートのひずみ量 (S)
Na 6 供試体 (モンモリロナイト 20 %, 屋外)

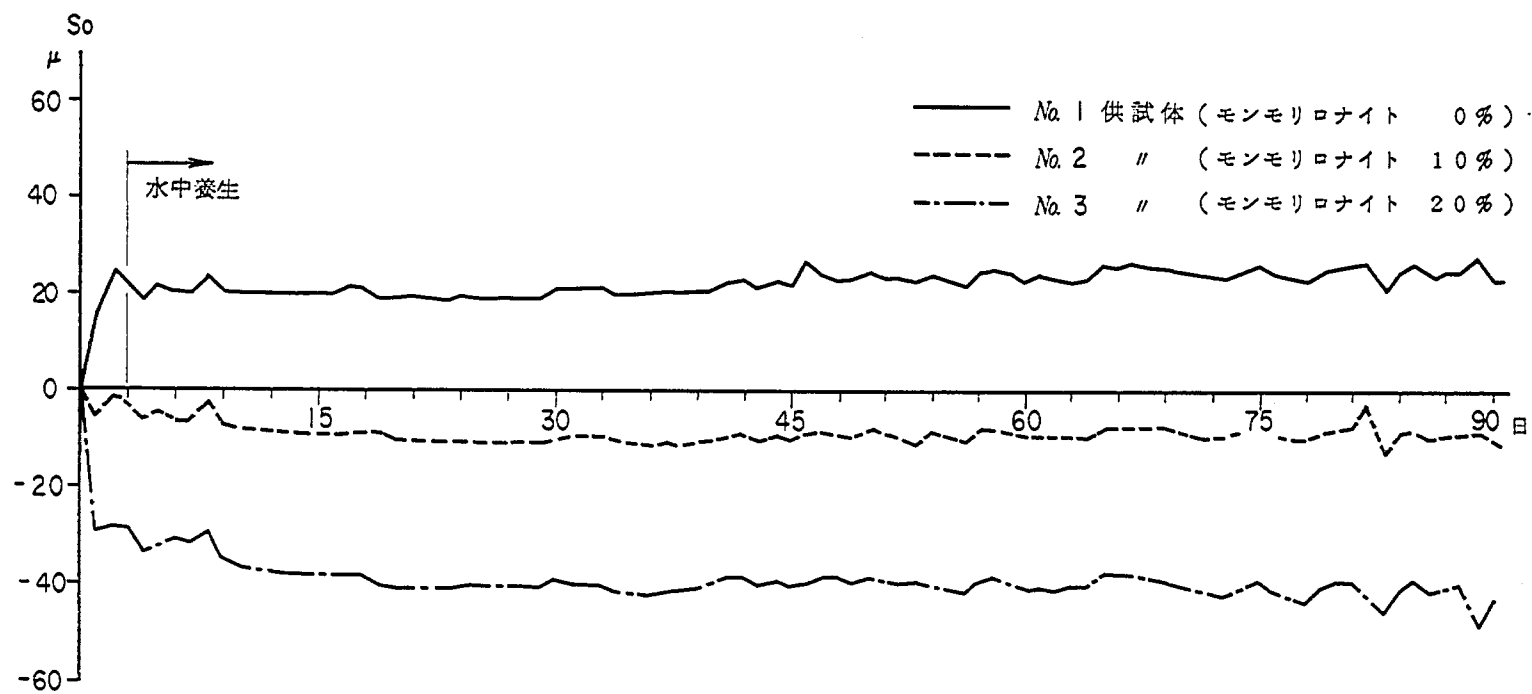


図 - 2.16 自己成長ひずみの履歴 (散水養生後水中養生)

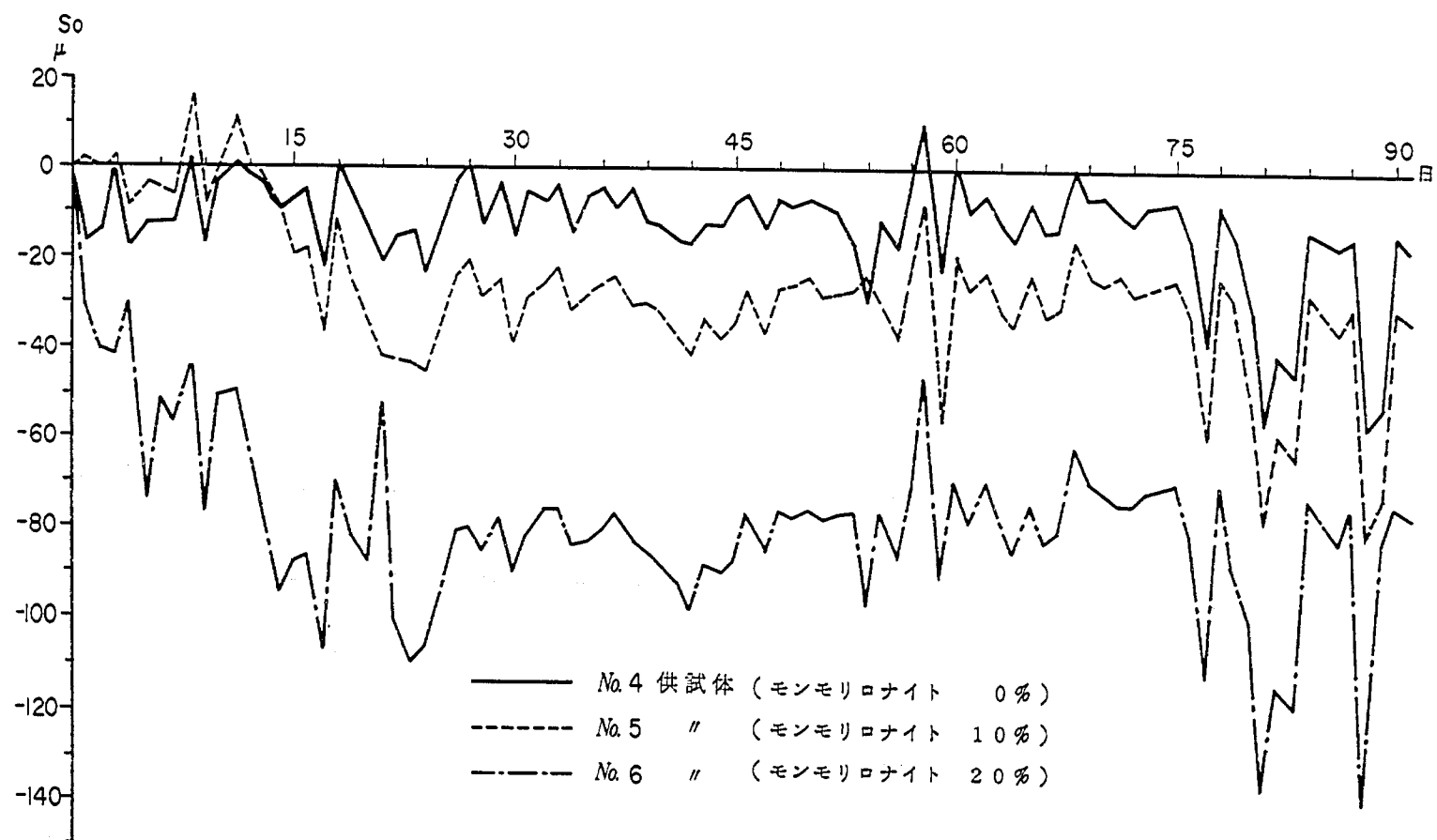


図-2.17 自己成長ひずみの履歴(屋外放置)

3. 土木研究所における予備実験

3.1 予備実験の目的と検討項目

現場での実験結果を検討した結果、自己成長ひずみの計測に関して計器の埋設方法および養生方法等の実験仕様にやや問題があることがわかった。そこで、土木研究所において自己成長ひずみの測定実験を行うに先立って予備実験を実施し、供試体の作成方法、計器の埋設方法、脱型時期、および養生方法の検討を行うことにした。

① 供試体の作製方法

自己成長ひずみはコンクリートが十分に硬化する前から発生する可能性が高いので、コンクリート硬化前からひずみ測定を行う必要があり、コンクリート供試体作製用の型枠を脱型する前から十分な精度で供試体のひずみ測定が行なえなければならない。予備実験では、後述のようにひずみ計設置の関係からコンクリート曲げ試験用の型枠を用いた。この場合、型枠は、コンクリートの収縮に対しては底面摩擦以外では拘束しないが、膨張に対しては型枠の剛性が大きいと大きな拘束力を作用させるであろうと予想される。一方、コンクリートは硬化時に水和熱を発生し、これが供試体の膨張をもたらすほか、現場の実験では伸び側の自己成長ひずみが発生している。以上より、膨張に対しても極力拘束力が作用しないような供試体の作製方法を検討する必要がある。

② 計器の埋設方法

まず、ひずみ計の設置方向として鉛直方向と水平方向とが考えられる。鉛直方向に設置するためには縦長の型枠を用いて埋設方法を検討する必要がある、水平方向の場合は横長の型枠で検討しなければならない。

コンクリートの供試体は大きな塊ではないが、発熱を伴う初期は供試体内で温度勾配が生じるので場所によってセメントの反応速度が異なり、自己成長ひずみの発生速度も異なる可能性がある。このため、供試体の大きさやひずみ計の設置については入念な検討が必要である。また、設置位置を固定するために鉄筋等を用いた場合、その固定の仕方で拘束状況が異なるので測定値に差が生じる可能性が高い。このため、ひずみ計をなるべく拘束せずになおかつ正確な位置に埋設できる方法を検討する必要がある。ただし、埋設後もコンクリートが硬化する前はひずみ計が自重によって沈下し、これによって不要なひずみが発生することも十分予想されるので、ひずみ計の設置方法はそれに抗するものでなければならない。

③ 脱型時期

型枠によるひずみの拘束の影響を小さくするためには脱型時期をなるべく早める方がよいが、早すぎれば自重変形を起こすので適切な脱型時期を検討しなければならない。

④ 養生方法

供試体が乾燥収縮しないような養生方法を検討しないと自己成長ひずみと乾燥収縮ひずみとの和を測定することになり、その測定値から自己成長ひずみのみ分離することは困難なので自己成長ひずみの検討が難しくなる。

3.2 予備実験の概要

3.2.1 コンクリートの配合

予備実験では骨材として標準的な河川砂利と砕石との混合材（富士川砂利と笠間砕石）を用いた。実験に用いたコンクリートの配合実績は表－3.1である。

表－3.1 予備実験配合表

G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kgf/m ³)					スランプ (cm)	空 気 量 (%)	練上り温度 (℃)
			W	C	S	G	AE (C× 0.021%) 67gf/m ³)			
20	55	47	175	318	831	960		8.6	5.2	20

3.2.2 供試体の作製とひずみ計の設置方法

自己成長ひずみを測定するひずみ計には、温度補正が容易な長さ25cmの埋設型測温機能付きひずみ計を用いた。

供試体の作製に当っては、そのひずみ計を鉛直方向に埋設するか、水平方向に埋設するかをまず検討しなければならない。ひずみ計をなるべく拘束せずに正確な位置に埋設するためには最小限の固定を考えなければならないが、そのような固定では、コンクリートの打設深さが浅い水平方向の埋設の方が鉛直方向の埋設より容易である。また、水平方向に埋設すればひずみ計自体の自重によるひずみも消去でき、より簡単な固定で正確な位置に埋設できる。以上より、ひずみ計を水平方向に埋設することとし、供試体の作製に当っては曲げ試験供試体作製用の型枠を用いることにした。なお、ひずみ計の位置決めは縫糸で正確な位置に吊すのみにとどめ、この方法で正確な位置に埋設できるかを予備実験で検証することにした。

型枠の拘束に対しては、それを除去するために型枠の長手方向の内側に発泡スチロール板を取り付け、長手方向の伸びひずみが発生しうるようにした。現場実験の章で述べた理由から供試体温度はなるべく上昇しない方がよく、そのためには使用する発泡スチロール量は少ない方がよい。そこで、この程度の発泡スチロール量で型枠の拘束が除去できるかを予備実験で検証することにした。なお、型枠とひずみ計の埋設方法の概略を図－3.1に示す。

3.2.3 脱型時期と養生方法

型枠による変形の拘束を最小限に抑えるためには型枠の工夫もあるが、脱型によって供試体が

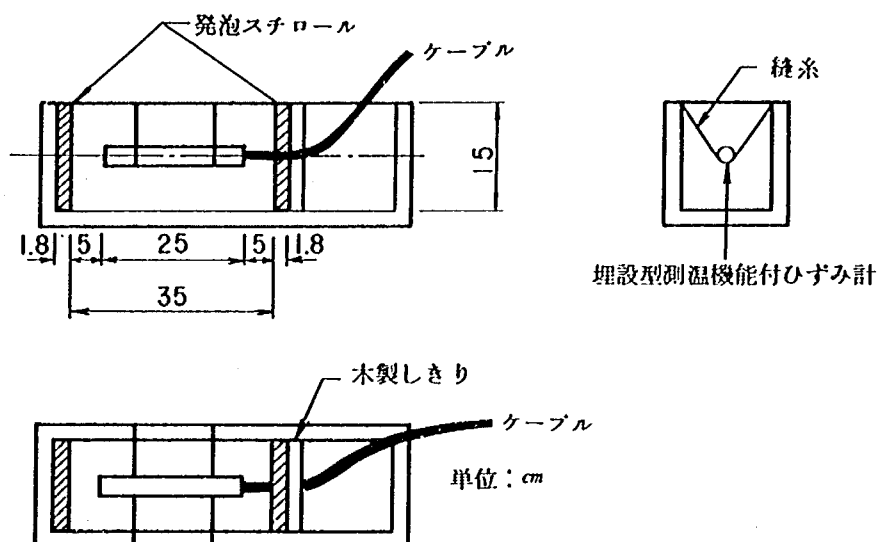


図-3.1 予備実験供試体作製型枠図

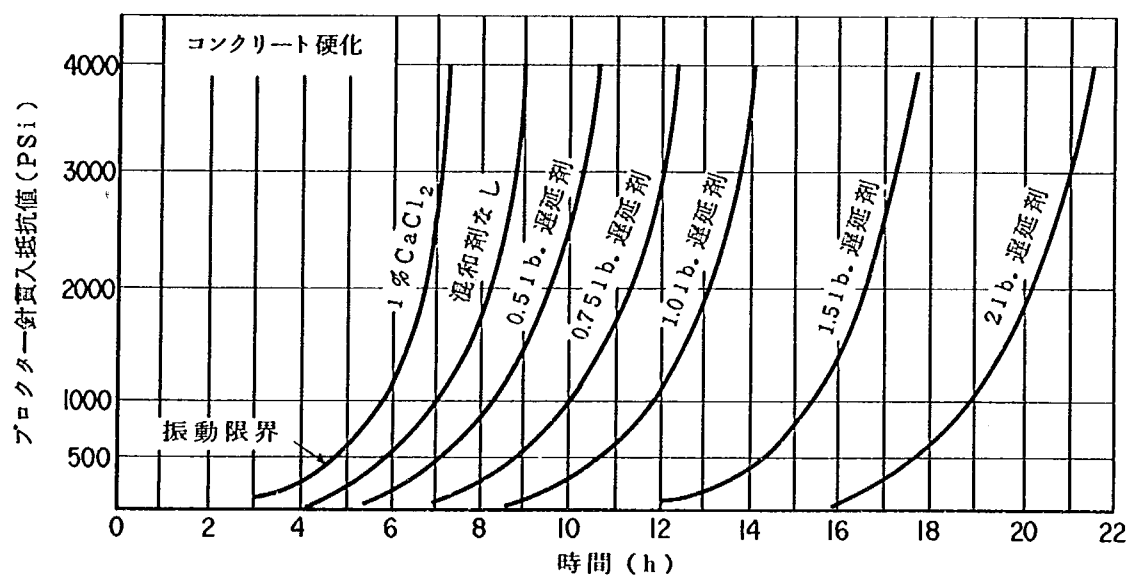


図-3.2 プロクター貫入抵抗の変化⁴⁾

自重変形しない範囲で脱型時期をなるべく早めるのが望ましい。コンクリートが凝結硬化するのに要する時間を試験する方法は種々あり、プロクター針貫入試験はその一例である。その抵抗値の一例を図-3.2に示す。この図によれば、混和剤なしの場合少なくとも型枠内で6時間以上の養生が必要であることがわかる。しかし、自重変形しないための硬化時間は供試体の形状によって異なり、その目安である強度発現の程度も配合や養生方法等で異なるので、予備実験では打設6時間後から順次脱型を行って脱型時期を検討していくことにした。

つぎに、養生方法について述べる。自己成長ひずみ測定実験の精度に大きな影響を及ぼす乾燥収縮ひずみは、コンクリート表面からの水分蒸発が原因で発生するひずみであるから、このひずみはコンクリート表面を常に湿潤状態にしておくか表面を空気と完全に遮断しておくかすれば防ぐことができる。そこで、当初計画では、脱型後の養生は一番簡単で確実な水中養生を基本とし、脱型までの養生方法としては濡らした麻袋を上から掛けておく一般的な方法を採用することにした。

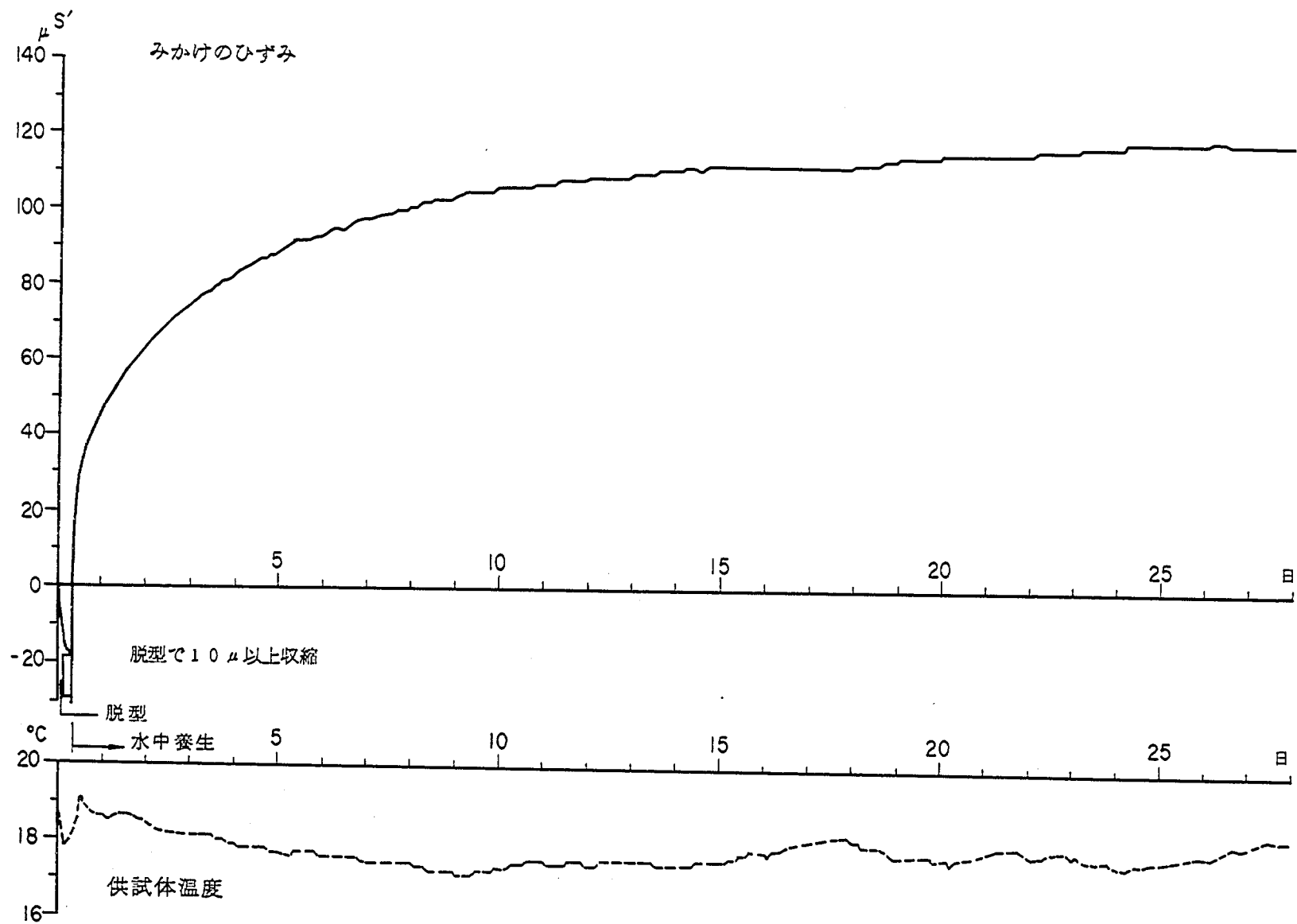


図-3.3 供試体温度とみかけのひずみ量(S')
No.1 供試体(7時間後に脱型して水中投入)

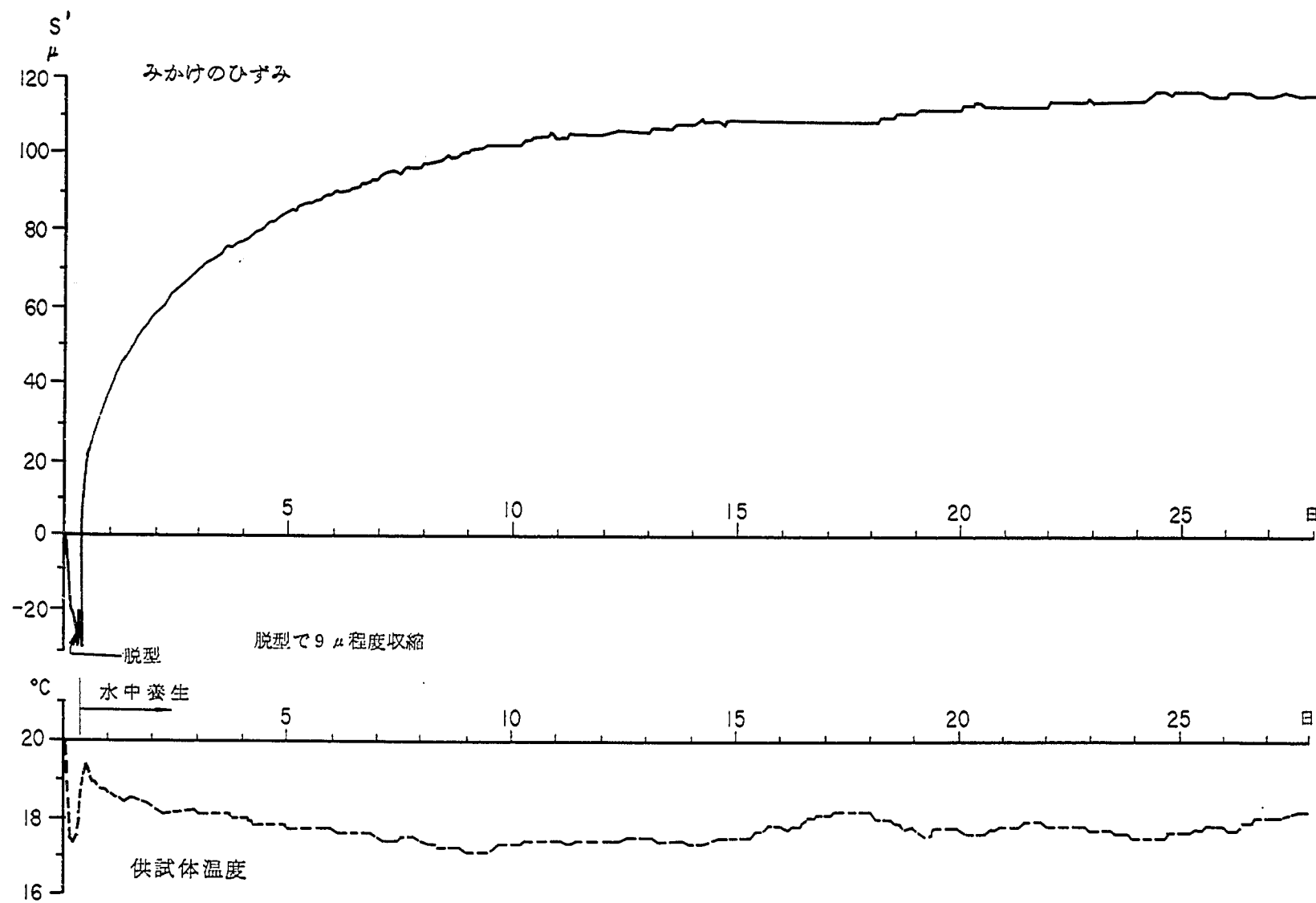


図 - 3. 4 供試体温度とみかけのひずみ (S')
No 2 供試体 (8 時間後に脱型して水中投入)

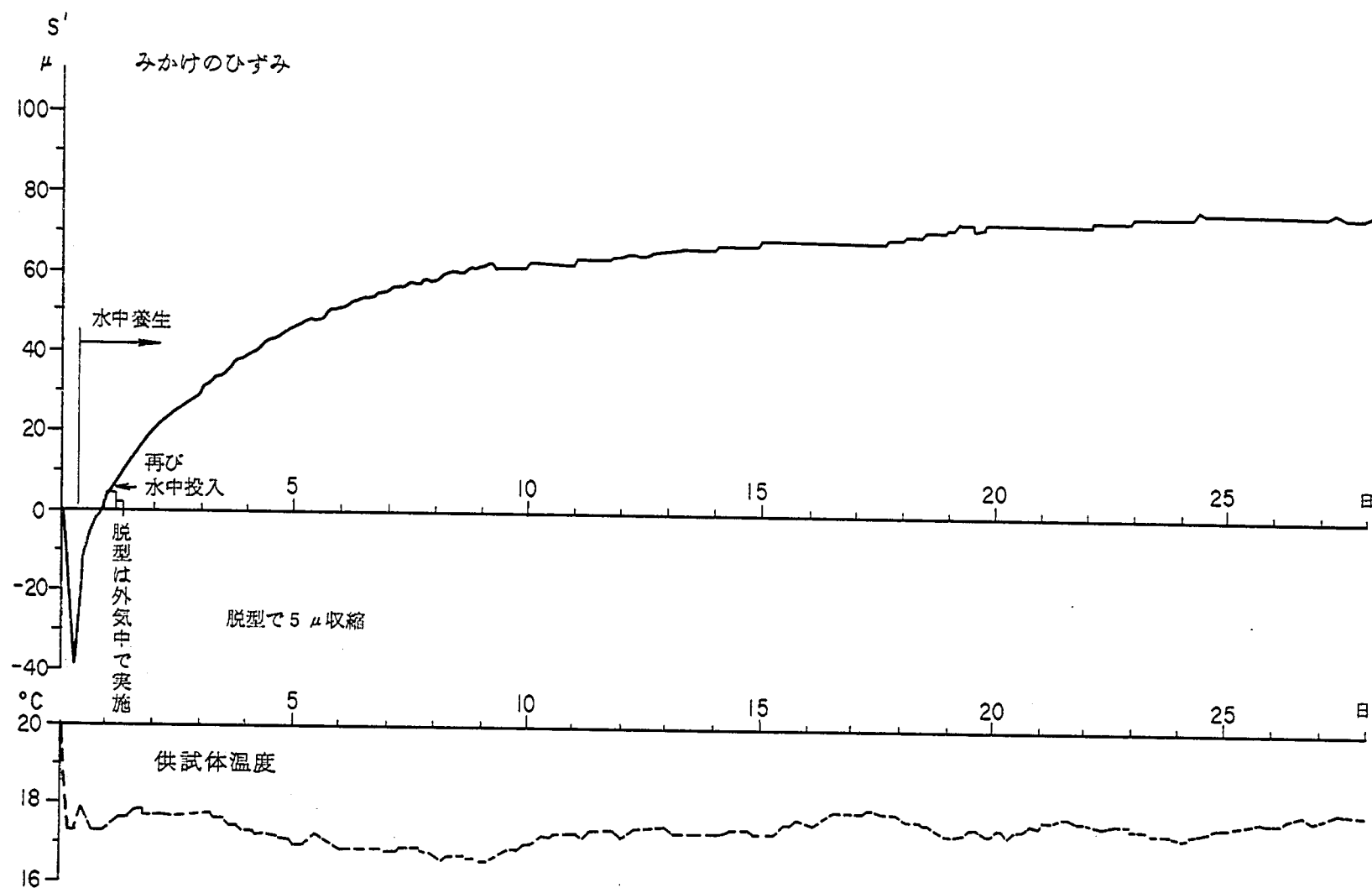


図 - 3.5 供試体温度とみかけのひずみ (S')
 №3 供試体 (8時間後型枠のまま水中投入し
 22時間後に脱型して水中養生
 を続ける)

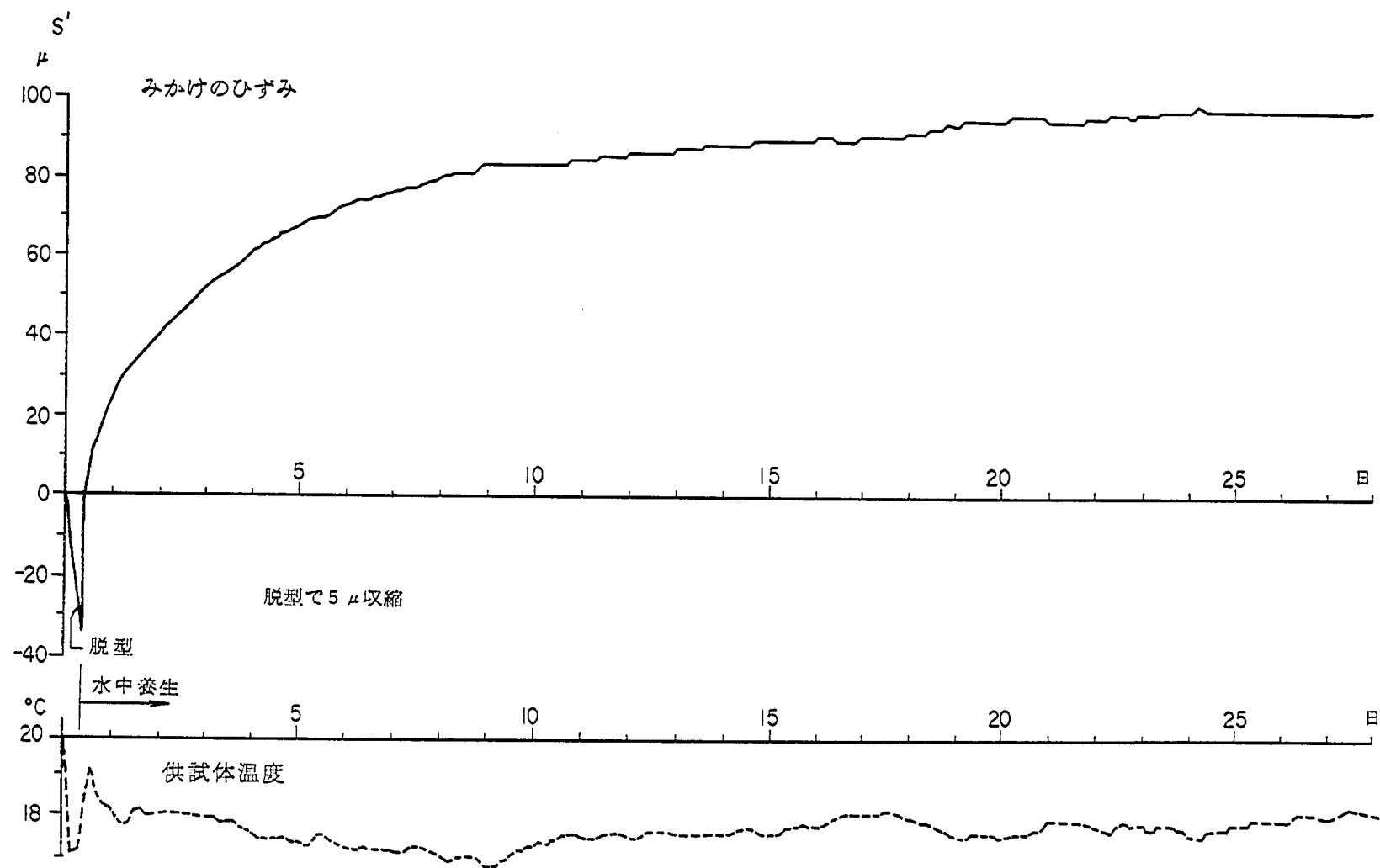


図 - 3. 6 供試体温度とみかけのひずみ (S')
No. 4 供試体 (9 時間後に脱型して水中投入)

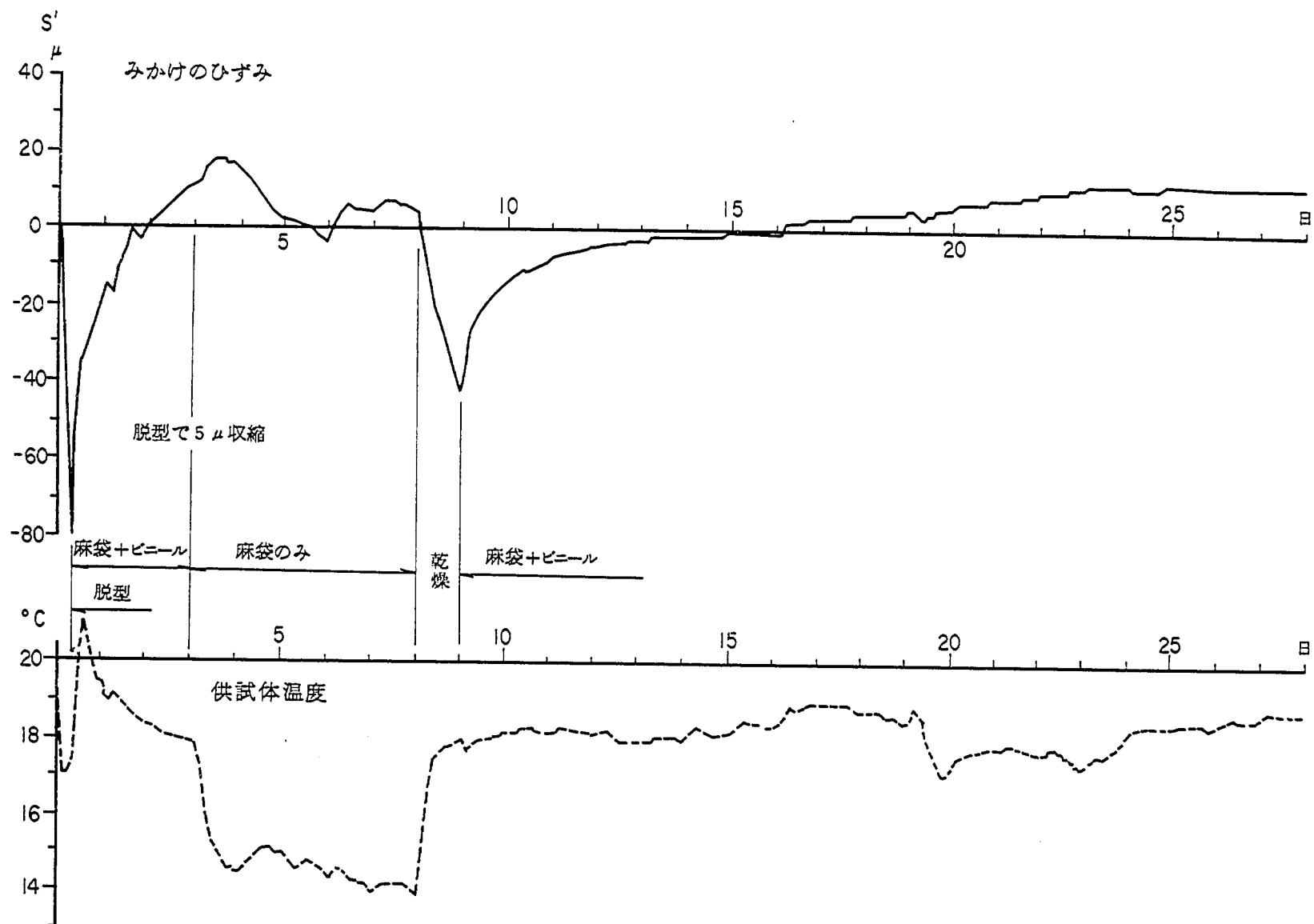


図-3.7 供試体温度とみかけのみずみ (S')
 Na 5 供試体 (麻袋養生)

3.3 予備実験の結果およびその検討結果

3.3.1 供試体の作製方法とひずみ計の設置方法

まず、ひずみ計の設置方法について述べる。コンクリートを3層に分けて型枠に打設し、締めは突棒とバイブレーターで行った。第2層目時にスケールを当てて正確にひずみ計を埋設したが、容易に正確な位置に埋設できたので埋設位置については特に問題ない。つぎに、型枠の拘束について検討する。図-3.3～図-3.7はデータ記録装置に打ち出された各供試体のみかけのひずみ量(S')と供試体温度の履歴であり、その図中に脱型によるひずみの変化量も示してある。これらの結果によれば、脱型まで収縮傾向を示していた供試体は脱型によってさらに $5 \sim 10 \mu$ 程度収縮しており、膨張傾向を示していた供試体は脱型によって即座にさらに 5μ 程度膨張している。これらの現象は一般的には、前者は底面摩擦によって拘束されていた結果であり、後者は底面摩擦と側面摩擦とによって拘束されていた結果であると考えられる。しかし、計測値をさらに詳細に検討した結果、前者の場合は型枠の側方のボルトをゆるめただけで脱型時に発生した全ひずみ量の半分以上が発生しており、側方の影響も大きいことが判明した。このことより、供試体が打設時より収縮する場合でも型枠の側方の影響があり、供試体の長手方向の両端の発泡スチロール板のみでは型枠の拘束を十分には除去しきれないことがわかった。しかし、型枠のまま水中投入した供試体で伸びひずみを計測できたことは、発泡スチロール板が有効であるということである。この発泡スチロール板を型枠の内側全面に張れば型枠の拘束を除去できると思われるが、その場合、放熱状態が悪くなるため供試体の温度が上昇して温度ひずみの影響が大きくなる可能性が高い。一般には、コンクリートの膨張係数は材令で変化せず一定であると言われているが、ごく初期の材令については現場実験の章で述べているようにその性質はよく知られておらず、供試体の温度変化が大きくなるとその温度ひずみの補正に大きな誤差を伴う可能性が生じる。そこで、厚手のビニールを供試体と型枠との間にはさんで供試体が滑りやすくなるように工夫し、拘束を除去する方法を検討した。ビニールと発泡スチロール板を用いた横断方向の配置は図-3.8のような組合せが考えられる。これらの中で発泡スチロール板使用量が少なくて拘束が除去できる方法がよいが、ビニールのみでは不安があったので自己成長ひずみの測定実験では底面摩擦に対しては発泡スチロール板を用いることとし、ビニールと型枠との間にはグリースを十分に塗っておくことにした。

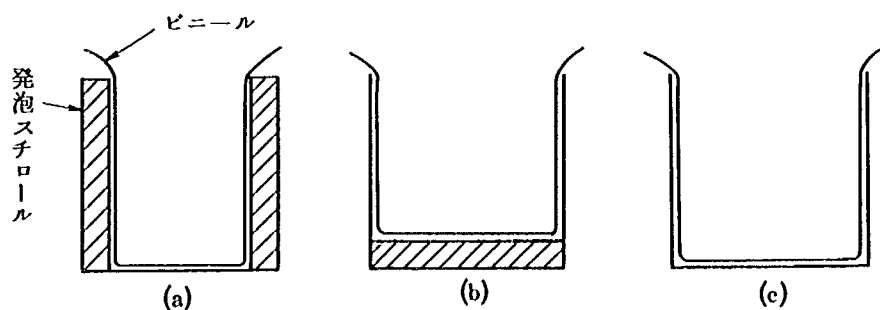


図-3.8 発泡スチロールとビニールの組合せ

3.3.2 脱型時期と養生方法

当初計画では打設 6 時間後から順次脱型して適切な脱型時期を検討する予定であったが、目視観察の結果、打設 6 時間後ではまだ十分硬化していなかったため、脱型を 7 時間後から開始した。

その結果、脱型によってかなりのひずみ量の変化が生じることが明らかになった。このひずみ量の変化は 7 時間後の脱型で最も大きく、8 時間後以降の脱型ではそれほど差が生じていない。しかしいずれにしろ脱型の影響がひずみに現われている。そこで、脱型せずに実験が行える可能性を見いだすため、8 時間後に脱型して水中養生に切り替えた供試体と型枠のまま 8 時間後に水中養生に切り替えた供試体とで発生ひずみの比較を行った。さらに、9 時間後脱型の供試体については養生方法による差を検討するため、水中養生と麻袋による湿潤養生とで発生ひずみの比較を行った。すべての実験は恒温恒湿の室内で行い、その室内の状態は室温 20℃、湿度 60%である。

脱型時期・養生方法と供試体番号との関係を表-3.2 に示す。その各々の供試体に発生したみかけのひずみと供試体温度の履歴が図-3.3～図-3.7 である。このみかけのひずみ (S') は試験時のひずみの読み取り値からひずみ計埋設完了時のひずみの読み取り値を原点としてその値を差し引いただけの値であり、計器およびコンクリートの温度膨張を補正した値ではない。しかし、水中養生を行った供試体については打設当初からの温度履歴はほぼ同じになっているので、それらの供試体の発生ひずみを比較する場合温度の影響を考慮する必要はなく、ひずみ量に差が生じている原因は脱型時期および水中投入時期の差であると考えてよい。

表-3.2 脱型時期および養生方法

供試体番号	脱型時期および養生方法
Na 1	打設 7 時間後に脱型して水中投入。 以後 28 日目まで水中養生。
Na 2	打設 8 時間後に脱型して水中投入。 以後 28 日目まで水中養生。
Na 3	打設 8 時間後に型枠のまま水中投入。 22 時間後に水中から取り出し脱型して再び水中投入。 以後 28 日目まで水中養生。
Na 4	打設 9 時間後に脱型して水中投入。 以後 28 日目まで水中養生。
Na 5	打設 9 時間後に脱型して麻袋とビニールで包む。 材令 3 日で麻袋のみで包む。 材令 8 日で麻袋を取り乾燥。 材令 9 日で再び麻袋とビニールで包む。 以後 28 日目までこのサイクルで続けた。

まず、脱型時期がひずみの成長に与える影響を検討する。水中養生の4供試体のみかけのひずみを打設1日後の値を基準値にして整理しなおすと図-3.9のようになり、この図より打設後1日以降の各供試体のひずみの成長状況は脱型時期に関係なく同一であることがわかる。このことより、脱型時期は硬化後のコンクリートのひずみの発現には何ら影響を与えておらず、図-3.3～図-3.7でのひずみ測定値の差は打設後1日以内に生じたものであることがわかる。つぎに、打設後24時間以内に発生したひずみについて検討する。各々の供試体の脱型時期は異なるが、打設してから水中投入するまでのみかけのひずみ(S')は $-38 \sim -31 \mu$ (伸びが正)程度であり、それほど差が生じていない。しかし、投入後はひずみの成長勾配に大きな差が生じており、早い時期に脱型したものほどその伸び率が大きくなっている。ひずみが伸び側に転じた原因については十分な検討を行って見ないと断定できないが、その原因として、供試体が水分を吸ってコンクリートの膨潤作用により膨張した可能性が考えられ、また、自重に抗しきれぬ強度がまだ発現しておらず自重によるクリープによる可能性も考えられる。いずれにせよ、モンモリロナイト含有率が異なる供試体間では吸水膨張作用やコンクリートの硬化速度が異なる可能性があるため、そのような供試体を早期に脱型して自己成長ひずみの測定を実施するのは適切ではないと考えられる。

つぎに、養生方法について検討する。まず、麻袋による養生について検討する。№5供試体の養生方法は、湿らした麻袋を供試体の打設面に接しないように掛けておく方法を採用したが、図-3.7でその供試体温度を見れば恒温恒湿な室内で実験しているにもかかわらず養生方法の差によって 5°C 近くも変化している。その原因は、麻袋の水分が蒸発することによって気化熱が奪われて供試体の温度が下がるためであると思われる。麻袋の湿れ方が常に一定であれば供試体の温度は安定すると思われるが、麻袋は乾燥するので加水してやる必要があり、その際水滴が落ちて打設面が湿れることも多いので供試体温度を一定に保つことは難しい。このことより、麻袋を湿らして上から掛けておく養生方法は供試体温度の安定上好ましくない。つぎに、水中投入による養生について検討する。恒温室の室温は 20°C であるが、その中に設置した水槽の水温は 17°C 程度にしかならなかった。これも気化熱を奪われていた結果であると思われる。この水槽に投入すればその前後だけで 3°C 程度も供試体に温度変化を与えることになり、また、水中投入によって供試体の含水量が変化して吸水による膨張の可能性も考えられるので、養生の途中で養生方法を変えるのは好ましくない。

以上の考察より、自己成長ひずみの測定実験では型枠の拘束を取り除いて型枠のまま養生することとし、その際、供試体が乾燥しないように打設直後から十分に湿らした布を打設面に被せ、それごとビニールで密封して、密封による完全湿潤養生での供試体のひずみおよび温度を測定することにした。

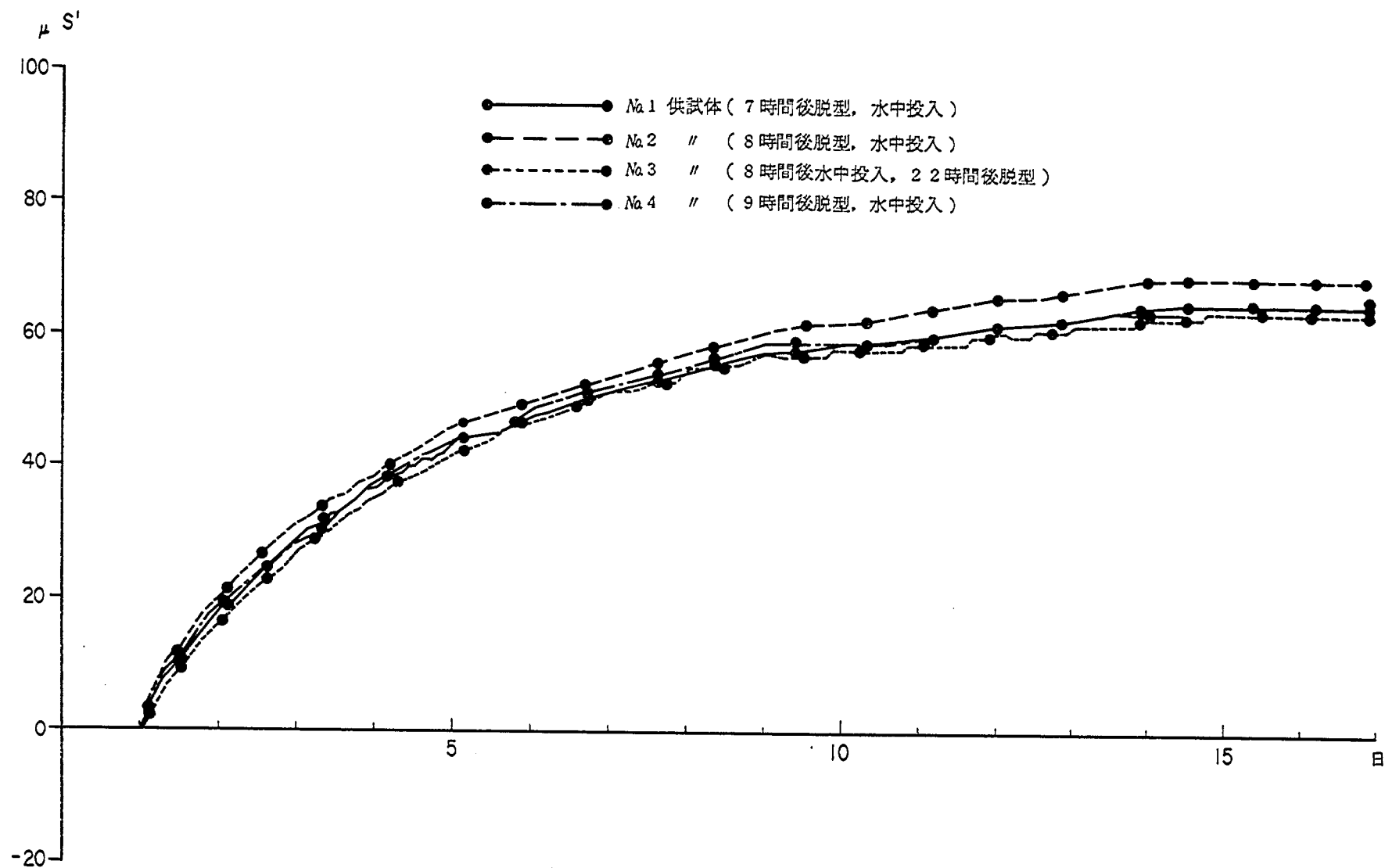


図 - 3.9 打設 1 日後のみかけのひずみを基準値としたみかけのひずみ (S')

4. 土木研究所における自己成長ひずみの測定実験

4.1 実験概要

4.1.1 実験内容および検討項目

単位セメント量、セメントの種類、およびモンモリロナイトの含有率がコンクリートの自己成長のひずみに与える影響度を検討するため、以下の項目について検討した。

- ① セメントメーカーが同じで単位セメント量が異なる場合の自己成長ひずみの比較検討。
- ② 配合が同じでセメントメーカーが異なる場合の自己成長ひずみの比較検討。
- ③ モンモリロナイト含有率が異なる骨材を用いた場合の自己成長ひずみの比較検討。
- ④ 実際には自己成長ひずみと乾燥収縮ひずみとの和が問題になるので、自己成長ひずみを検討した供試体を用いて上記の因子が乾燥収縮ひずみに与える影響についての比較検討。

実験に用いたコンクリートの配合は表-4.1のとおりであり、比較実験に用いた供試体の組合せは表-4.2のとおりである。なお、モンモリロナイト含有率の影響を比較する際の配合が同一でないのは、スランプの大きさを合わせるために配合を変えたためである。その際、配合が異なれば発生ひずみの状態が異なることが懸念されたので、まず、標準骨材を用いて配合No.1とNo.3の自己成長ひずみについての比較実験を実施し、十分な湿潤状態の養生ではこの程度の配合の差では自己成長ひずみに有意な差が現われないことを確認している。

表-4.1 配合表

配 合	G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 重 量 (kgf/m ³)				混 和 剤 (ヴィンソル)
				W	C	S	G	
No. 1	20	55	47	215	391	772	885	0.04%
No. 2				215	391	769	885	
No. 3				175	318	831	960	

表-4.2 比較実験の組合せ

実験の種類	供試体種類	セメントメーカー	配 合	骨 材
単位セメント量の差による比較	①	A 社	No. 1	河川砂利(富士川)+砕石(笠間)
	②	A 社	No. 3	〃
セメントメーカーの違いによる比較	②	A 社	No. 3	〃
	③	B 社	No. 3	〃
モンモリロナイト含有率の差による比較	③	B 社	No. 3	〃
	④	B 社	No. 2	砕石(Mon. : 公称15%含)
	⑤	B 社	No. 1	砕石(Mon. : 公称30%含)

Mon. : モンモリロナイト

4.1.2 供試体作製方法および養生方法

ひずみ計の設置位置と型枠の概略図を図-4.1に示す。ひずみ計の埋設方法、供試体の作製方法、および養生方法は予備実験で検討したとおりである。型枠は曲げ試験用のもので、発泡スチロール板およびビニールを図-4.1のように配置して、スケールでひずみ計の位置を確認しながら供試体を作製した。供試体を作製後直ちに養生室（室温20℃、湿度60%の恒温恒湿室）に運び、供試体の表面を水を十分に含んだ布で覆ってその上から包装用ラップを被せ、さらに型枠ごとビニールで包んで供試体の表面が乾燥しないように完全な湿潤状態の養生に努めた。

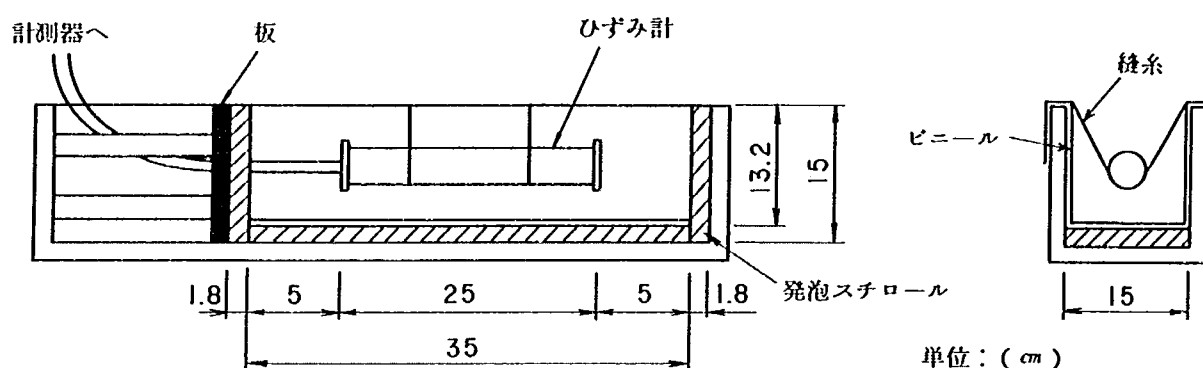


図-4.1 自己成長ひずみ測定用供試体型枠図

まず、上記の湿潤状態での養生のまま発生ひずみと供試体温度とを測定し、温度補正して自己成長ひずみを求めた。つぎに、発生ひずみが安定した後、その供試体を用いて諸因子が乾燥収縮に与える影響について検討した。この検討に当たっての乾燥方法では、養生室内の床に麻袋を敷き、その上に脱型した供試体を放置する方法を採った。

4.2 実験結果および考察

4.2.1 コンクリートの線膨張率と温度ひずみの補正

外荷重が作用していない場合、十分な湿潤状態での供試体のひずみ量は自己成長ひずみと温度ひずみとの和であるから、自己成長ひずみを求めるには供試体のひずみ量から温度ひずみを差引かなければならない。しかし、現場実験の章で述べているようにごく初期の材令のコンクリートの熱膨張に関しては研究が進んでいないので、その影響を小さくするために供試体の温度変化を極力抑える方法を検討して実験を行った。その結果、供試体の温度変化を4℃程度に抑えることができた。なお、この温度変化に対しては自己成長ひずみが安定した後の供試体の膨張係数で代用して温度ひずみを補正した。線膨張係数の測定は、自己成長ひずみの測定を行った供試体を用いた。自己成長ひずみを測定した各供試体種類の各々の1供試体を脱型して水中養生に移し、養生水温を変化させて線膨張係数を求めた。線膨張係数測定実験結果の例を図-4.2に示す。コン

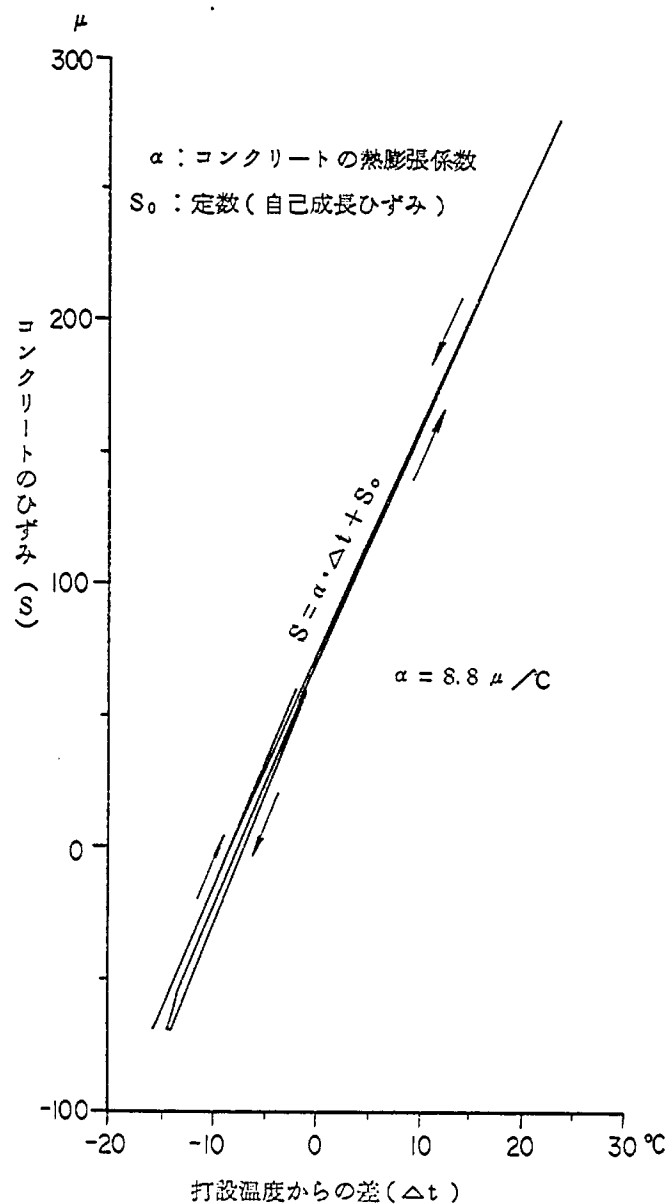


図 - 4.2 (a) 熱膨張試験結果例 (1)

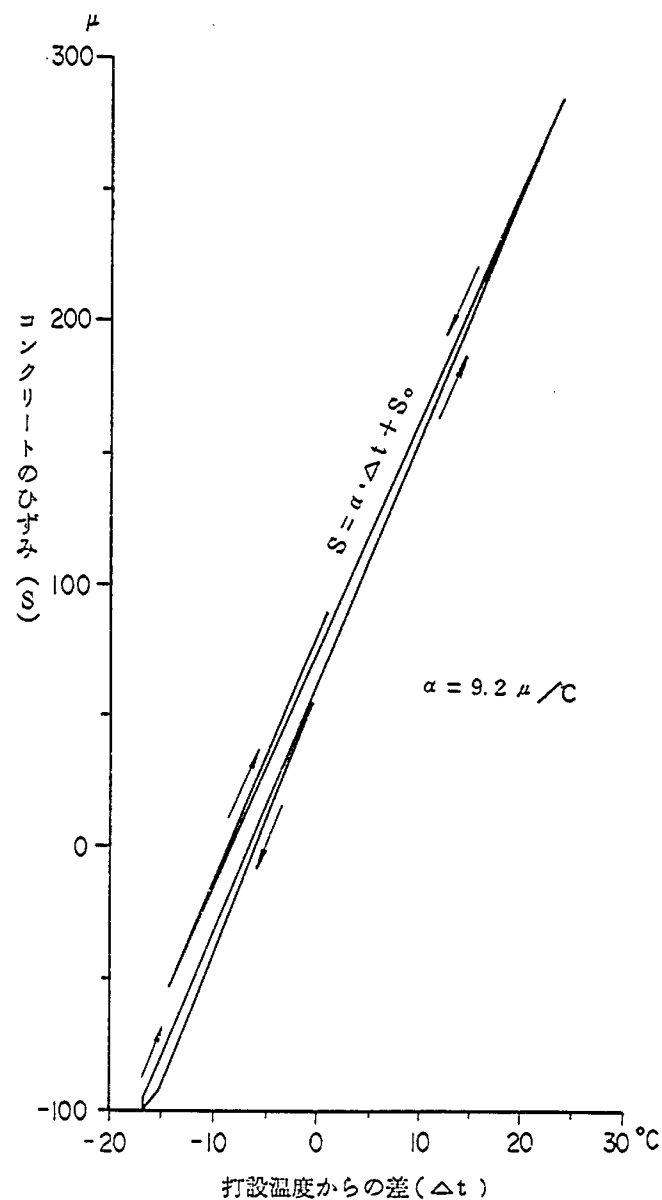


図 - 4.2 (b) 熱膨張試験結果例 (2)

クリートのひずみ (S) と打設温度からの差 (Δt) との関係は完全な直線にならなかったため、最小 2 乗法により線膨張係数を求めた。

つぎに、線膨張係数を求めた際の測定誤差の原因について検討する。図中に示した矢印の順序で温度変化を与えているが、温度が安定するのに時間がかかるため、測定点間には時間的なずれがある。この実験は自己成長ひずみがほぼ安定してから行ったわけであるが、最小 2 乗法によって求めた線膨張係数を用いて各測定点における自己成長ひずみ (S_0) を求めると、後の測定点ほど S_0 が大きくなっている。これは自己成長ひずみ (S_0) が完全には安定していなかったために測定点間の時間差の間に生じた自己成長ひずみが誤差として現われたのではないかと思われる。

4.2.2 セメントペースト量が自己成長ひずみに及ぼす影響

水セメント比が同じで (55%) 単位セメント量が異なる供試体の打設から 3 日間の自己成長ひずみ (伸びひずみが正) の履歴を図-4.3 に示す。配合 No. 1, No. 3 の単位セメント量は各々 391 kgf/m^3 , 318 kgf/m^3 である。この比較実験では自己成長ひずみに差が生じておらず、セメントのペースト量の差は敏感には自己成長ひずみに影響を与えないのではないかと思われる。(今回の実験では水セメント比の影響を検討しなかったためその影響度については推察できない。)

4.2.3 セメントの品質が自己成長ひずみに及ぼす影響

同じ配合で、同じ場所で採取された河川砂利 (富士川) と碎石 (笠間) との混合骨材を用いて、セメントメーカーのみ変えて行った比較実験の結果を図-4.4 に示す。この図から明らかなように、メーカー間で供試体温度のピーク時期がやや異なりピーク温度は大きく異っているので、発熱特性・発熱量ともメーカー間で大きく異なっていると考えられる。また、温度ピークまでの自己成長ひずみ量には大差ないが、それ以降では初期発熱が大きい A 社のセメントの方が自己成長ひずみの発達が悪くなっている。この比較実験ではセメント以外の条件はすべて同じであるから、この自己成長ひずみ量の差の原因はセメントの差ということになる。両セメントとも貯蔵状態に大差なかったが製造からの経過日数が明らかではなかったため、セメントメーカーの違いが原因なのか、製造からの日数が原因なのかは明らかではない。しかしいずれにしろ、セメントの品質そのものが自己成長ひずみに大きく影響していることは明らかである。

4.2.4 モンモリロナイトが自己成長ひずみに及ぼす影響

1) 自己成長ひずみと供試体温度の履歴

モンモリロナイト含有率の差による比較実験のうち、打設後 24 時間までと 14 日までの計測ひずみを温度補正して求めた自己成長ひずみとその温度履歴を図-4.5 および図-4.6 に示す。

① モンモリロナイト 0% の供試体

自己成長ひずみは打設 4 時間後から伸び始め 11 時間後まで大きな伸びを示しており、

この時までのひずみ量は $50 \sim 60 \mu$ となっている(図-4.5(a))。その後、伸び率は低下するがゆっくり伸び続け、14日後のひずみ量は $119 \sim 126 \mu$ となっている(図-4.6(a))。

② モンモリロナイト15%含有の供試体

自己成長ひずみは打設3時間後から大きく伸び始め10時間後にピークに達しており、この時のひずみ量は $50 \sim 60 \mu$ となっている。その後、一旦は縮んでいるが、ピーク後2時間程度でまた伸びに転じている(図-4.5(b))。この後、ひずみはゆっくりと伸びており、14日後のひずみ量は $75 \sim 95 \mu$ になっている(図-4.6(b))。

③ モンモリロナイト30%含有の供試体

自己成長ひずみは打設3時間後から大きく伸び始め8時間後にピークに達しており、この時のひずみ量は $40 \sim 50 \mu$ となっている。その後、4時間のうちに供試体は $30 \sim 45 \mu$ まで縮み、以後ひずみは安定している(図-4.5(c))。この後、ひずみは変動せずに14日までほぼ一定であり、14日後のひずみ量は $35 \sim 45 \mu$ になっている(図-4.6(c))。

2) モンモリロナイト含有率と自己成長ひずみとの関係

供試体のモンモリロナイト含有率と自己成長ひずみ量との関係を図-4.7,および図-4.8に示す。これらの図から明らかなように、モンモリロナイト含有率が多いほど自己成長ひずみ量は小さく、モンモリロナイト含有率と自己成長ひずみ量との関係はほぼ直線関係になっている。以上の結果より、両者の間には負の相関があることがわかった。しかし、モンモリロナイト含有率の多い骨材を使用した方が自己成長ひずみは止まるのが早いので、図-4.7と図-4.8とを比較すれば明らかなようにその負の相関の勾配は時間的に変化する。

4.2.5 その他の特性に関する考察

1) 自己成長ひずみとコンクリートの発熱特性

今回の実験では供試体の温度がなるべく上昇しないように配慮したため供試体の温度は打設時よりせいぜい 4°C 程度しか上昇しておらず、養生室内の部分的な温度差等も考えられるので、自己成長ひずみとコンクリートの発熱特性との関係は今回の実験では明瞭には現われていない。しかし、その傾向はたとえば図-4.5より読みとることができる。図-4.5(b)と図-4.5(c)との温度履歴を比較した場合、温度ピークまでの供試体温度は両者とも同様な上昇カーブであるが、ピーク以降の下降カーブはモンモリロナイト30%含有の供試体の方が15%の供試体より急勾配であるので前者のピークの方が後者のそれよりも険しく、単位発熱量の変化割合は前者の方が大きいと考えられる。一方図-4.5(a)を見れば、モンモリロナイトを含んでいない供試体は温度の上昇過程から下降過程への移行がモンモリロナイトを含んでいる供試体よりも穏やかに起っているので、単位発熱量の時間的な変化もモンモリロナイトを含んだ供試体に比べれば穏やかに起こっていると考えられる。打設からのコン

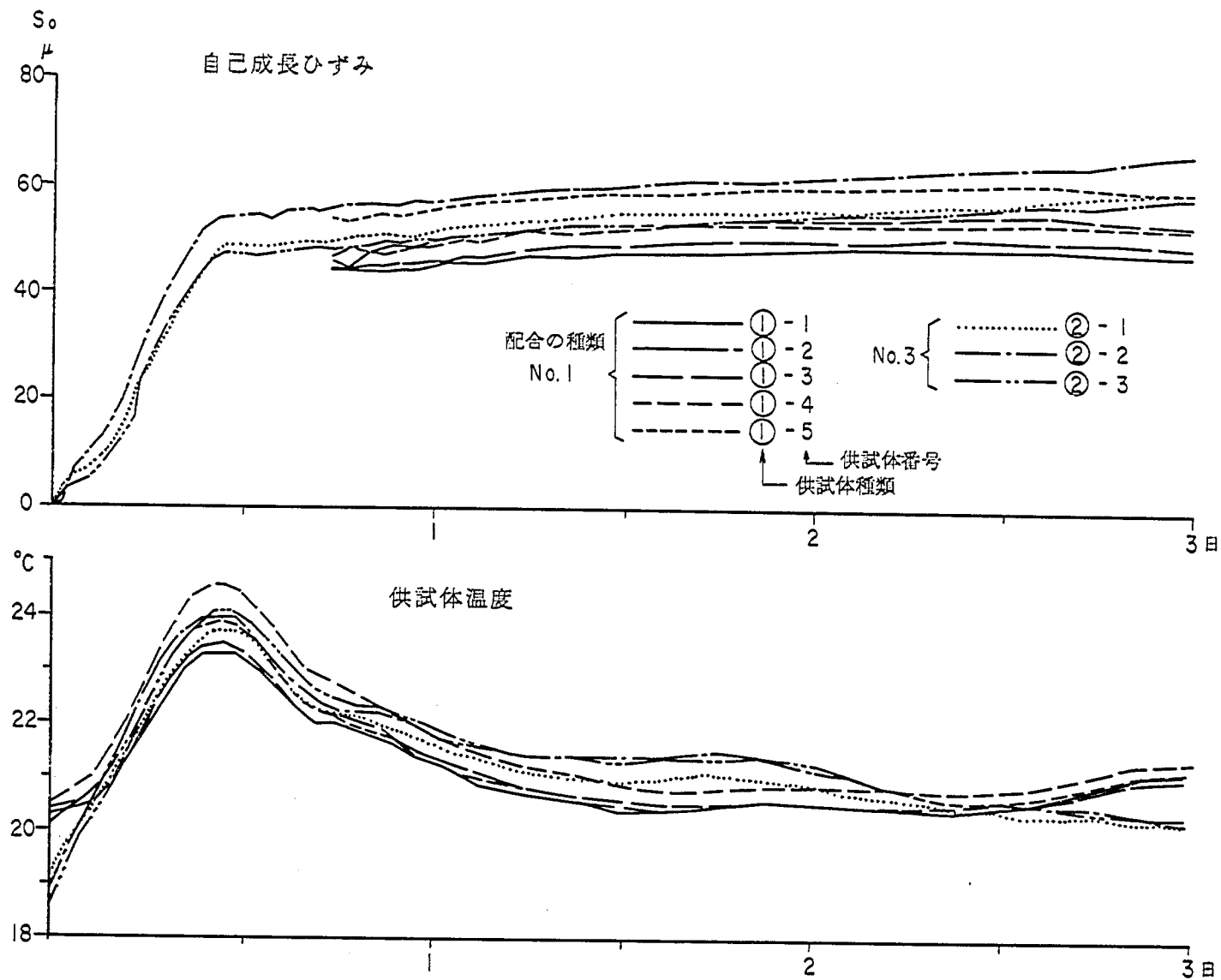


図-4.3 配合の違いによる自己成長ひずみの差

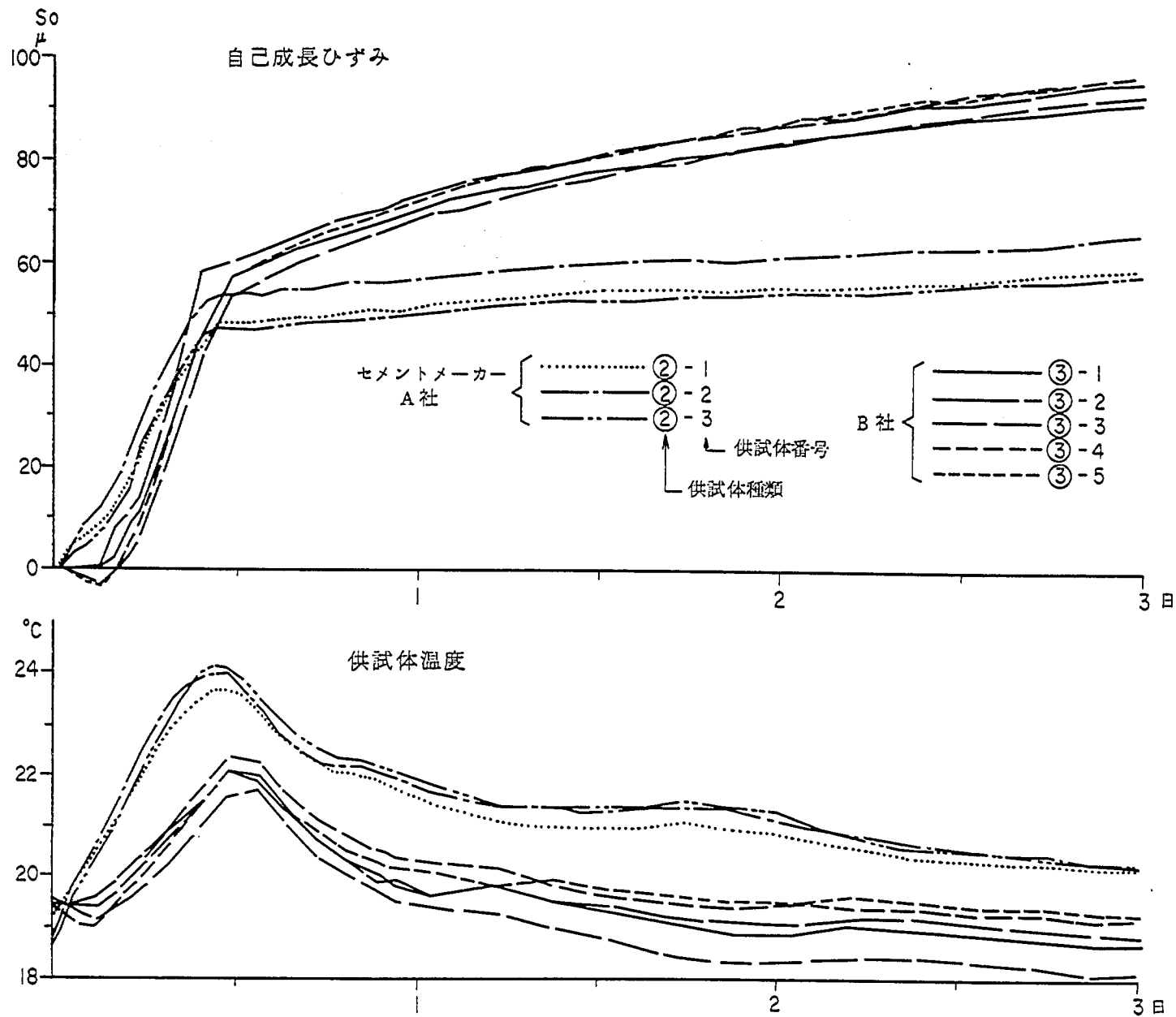


図-4.4 セメントメーカーの違いによる自己成長ひずみの差

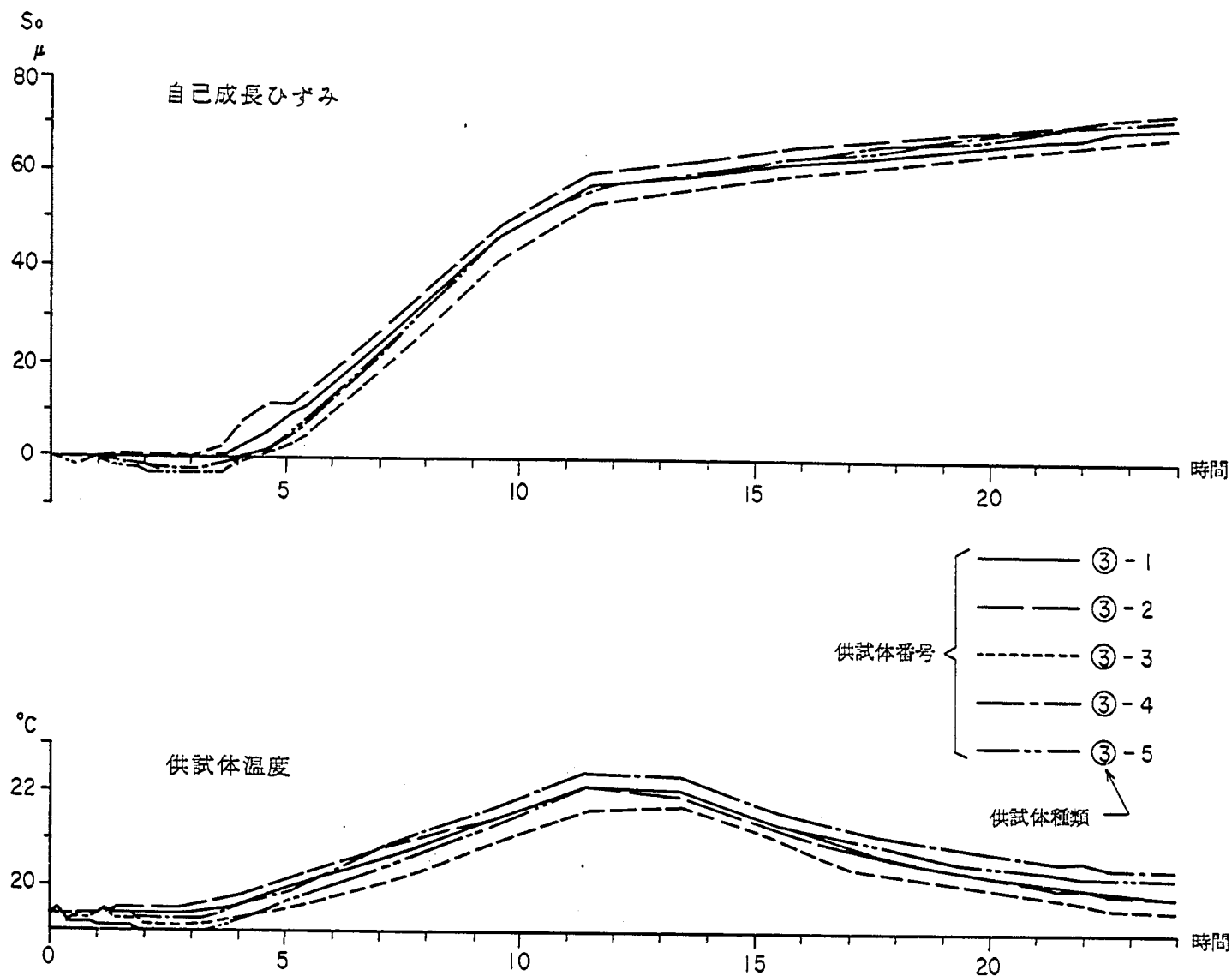


図-4.5 (a) 自己成長ひずみと温度の履歴 (モンモリロナイト0%)

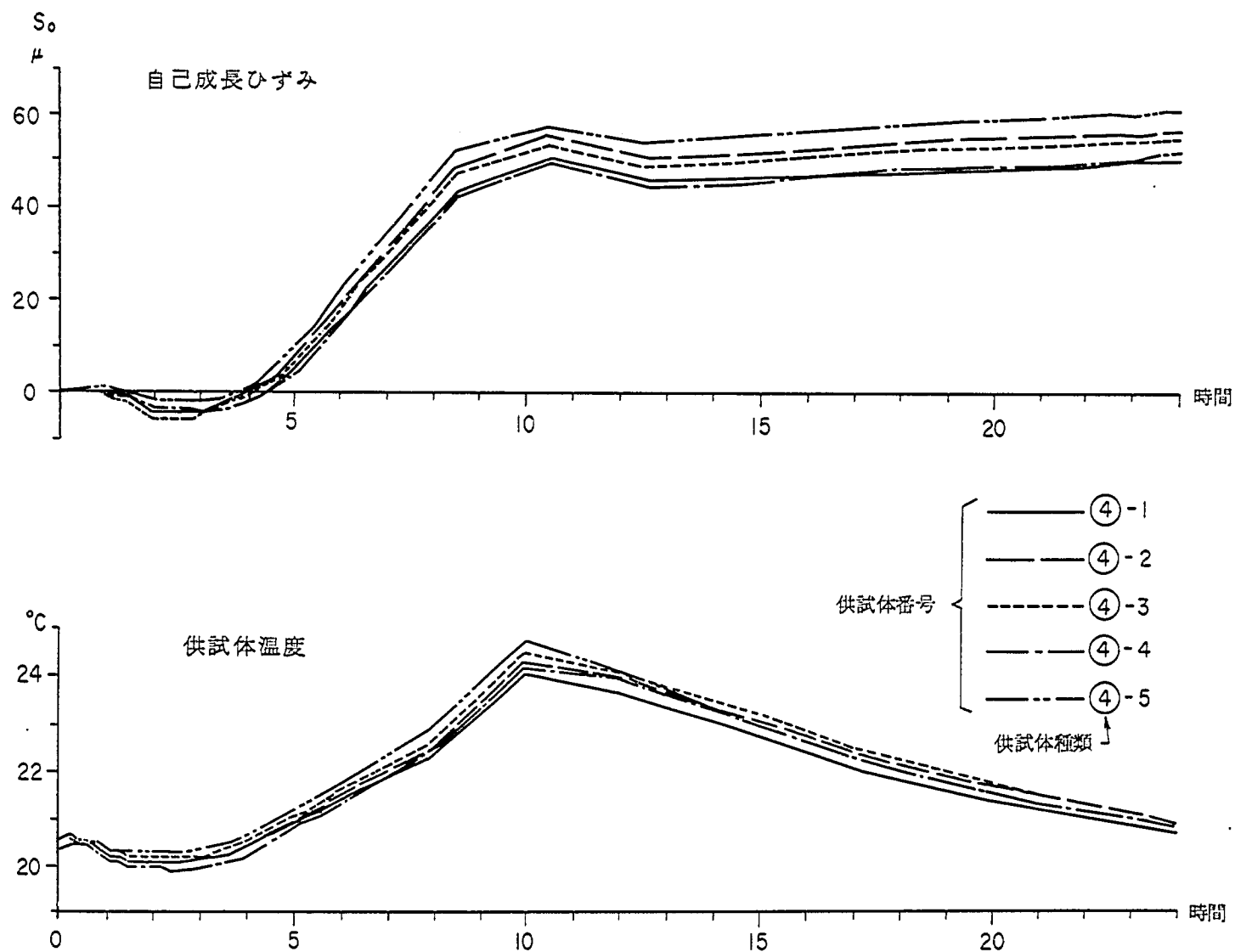


図-4.5(b) 自己成長ひずみと温度の履歴 (モンモリロナイト15%)

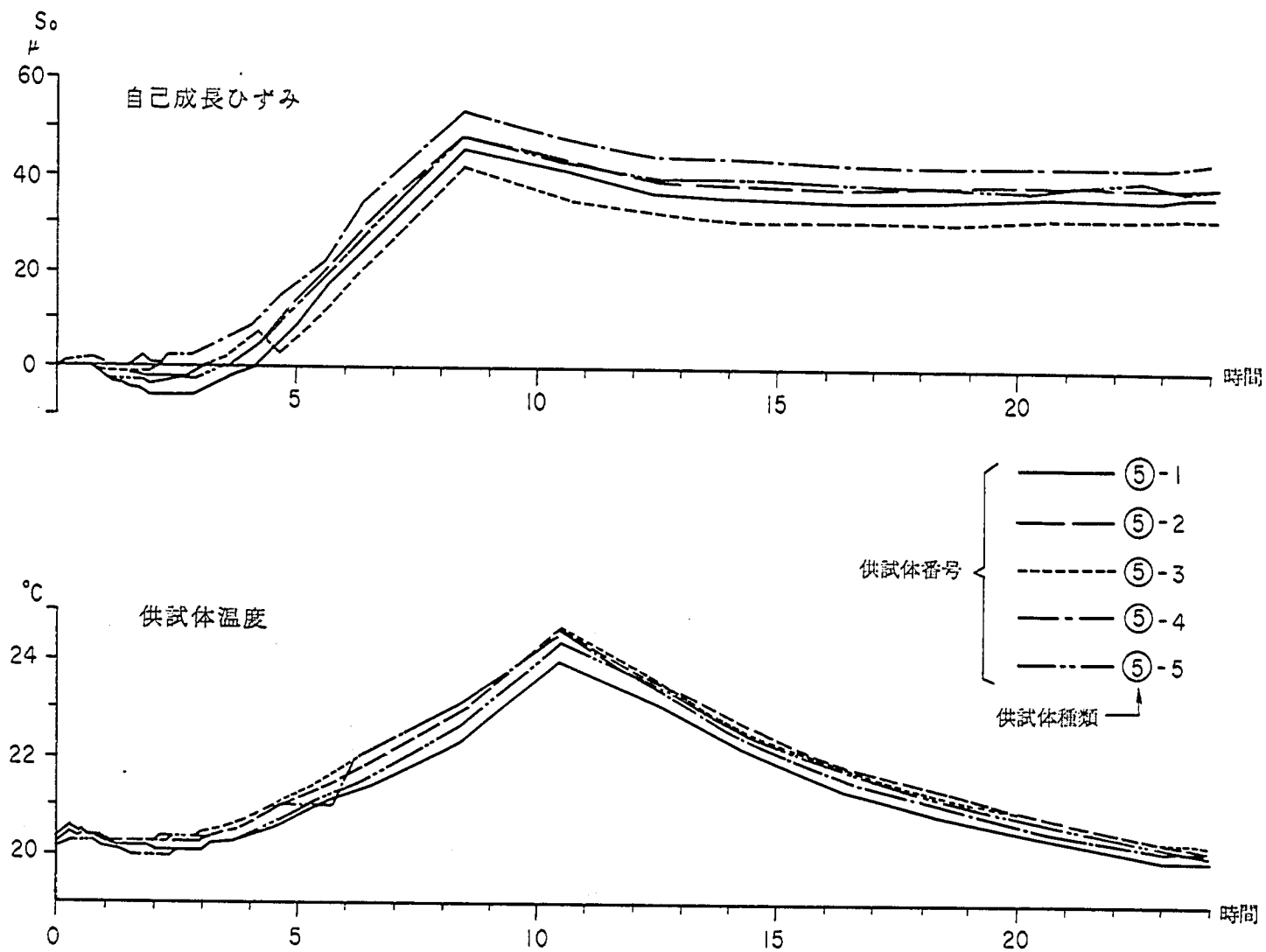


図-4.5(c) 自己成長ひずみと温度の履歴 (モンモリロナイト30%)

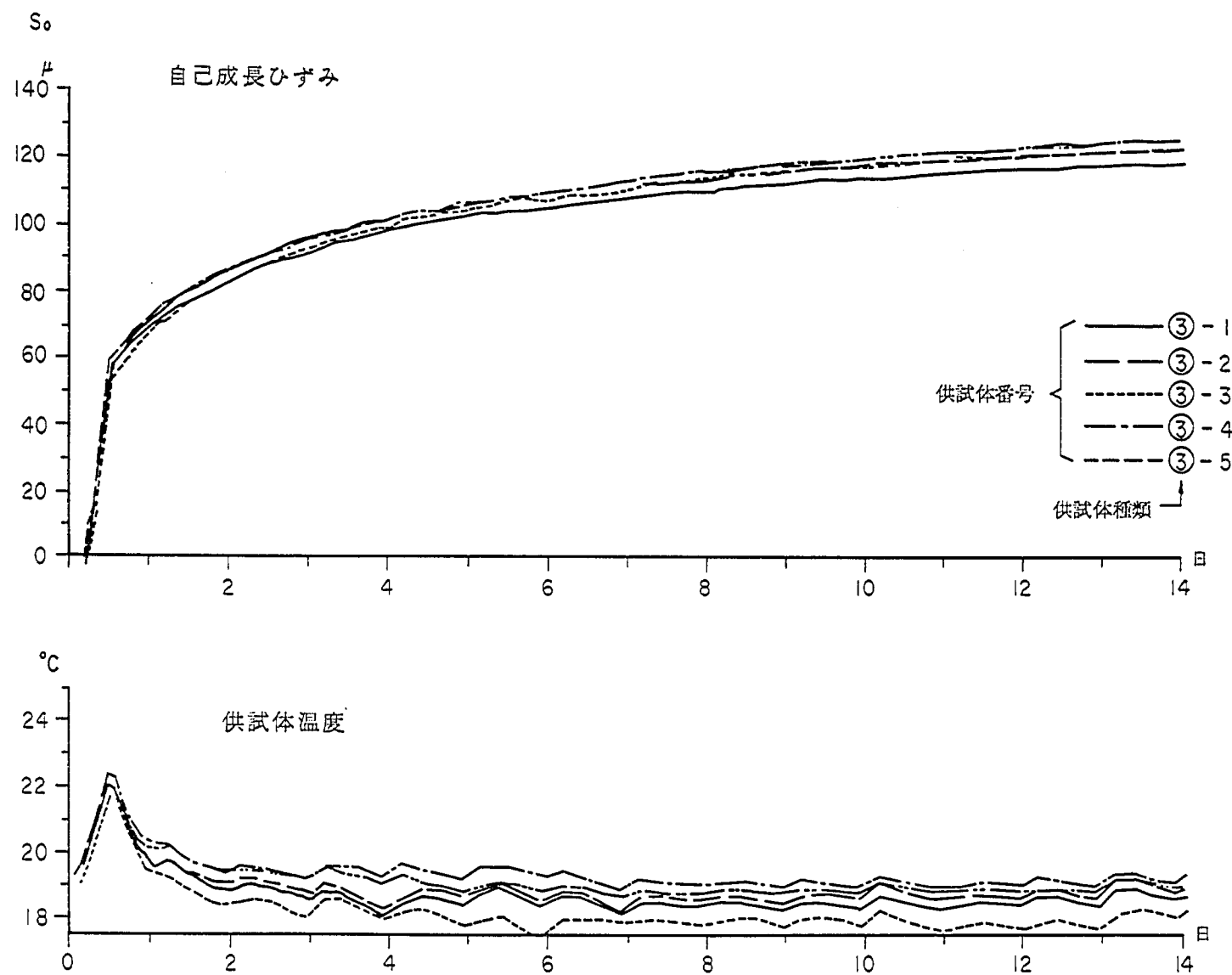


図-4.6(a) 自己成長ひずみと温度の履歴 (モンモリロナイト0%)

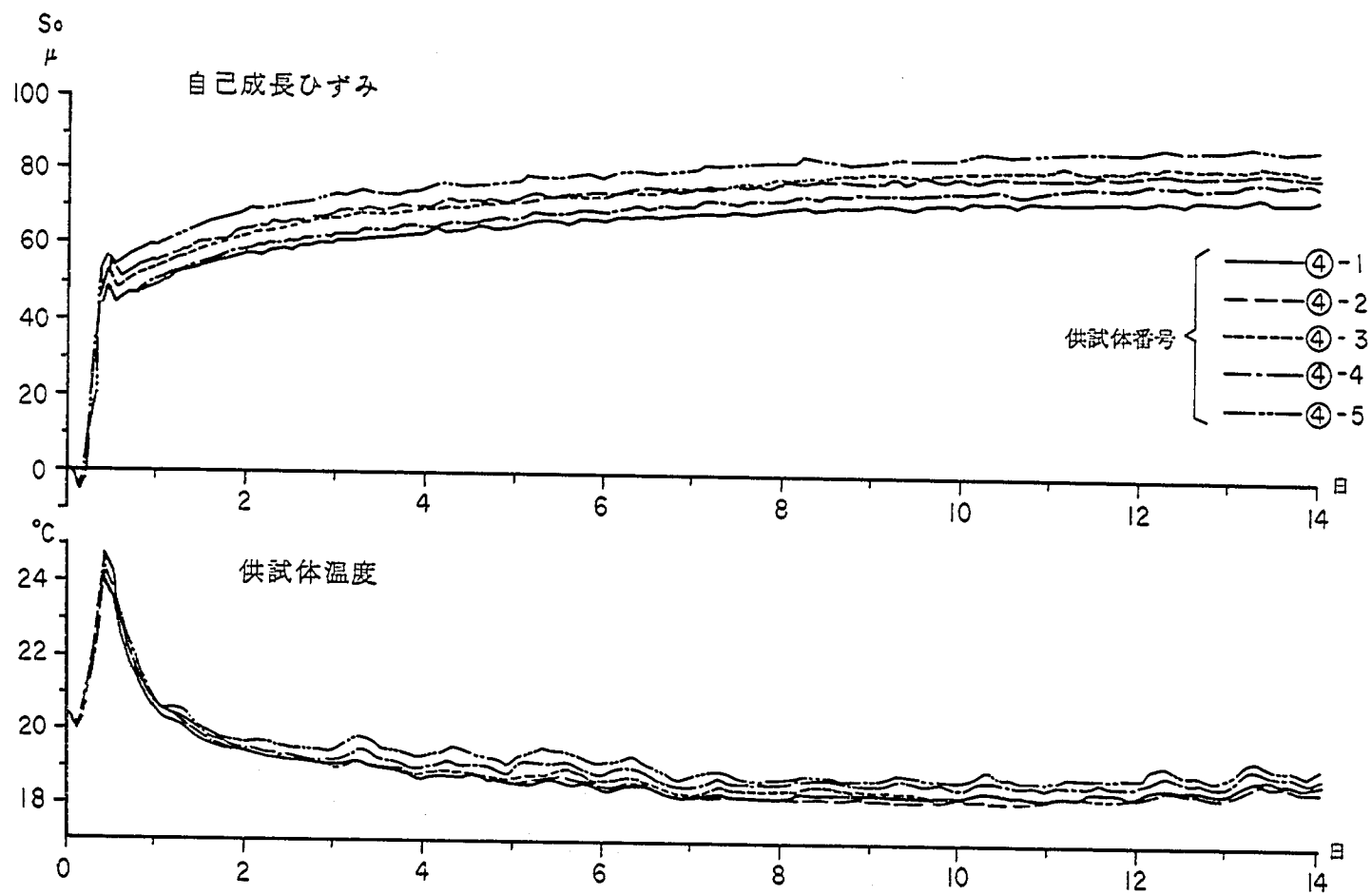


図-4.6(b) 自己成長ひずみと温度の履歴 (モンモリロナイト15%)

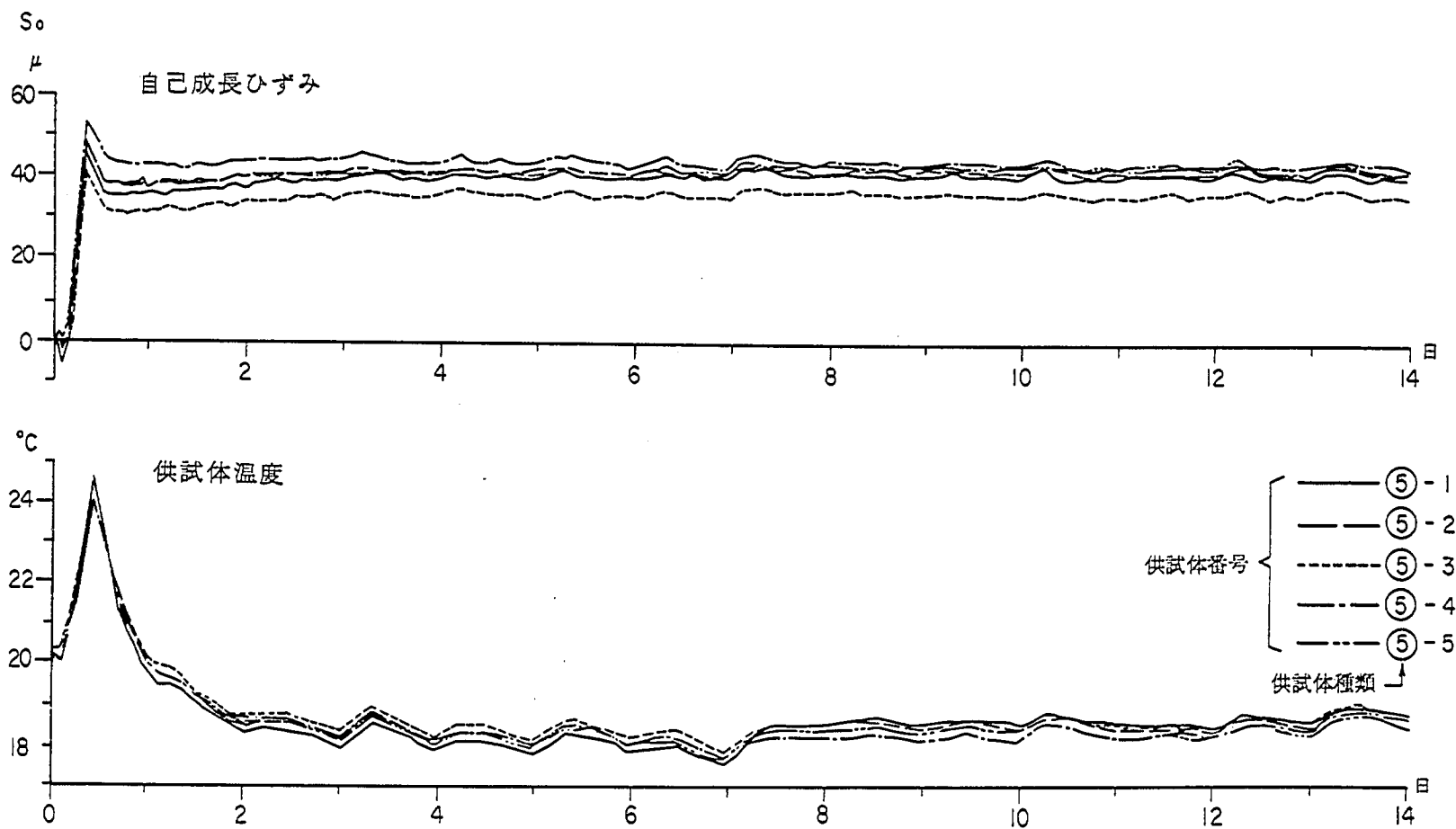


図- 4. 6 (c) 自己成長ひずみと温度の履歴 (モンモリロナイト30%)

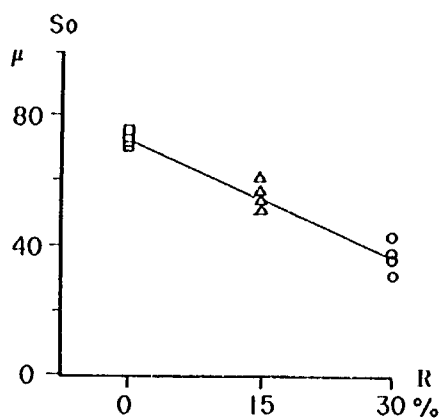


図-4.7 自己成長ひずみ(S_0)とモンモリロナイト含有率(R)との関係(24時間後)

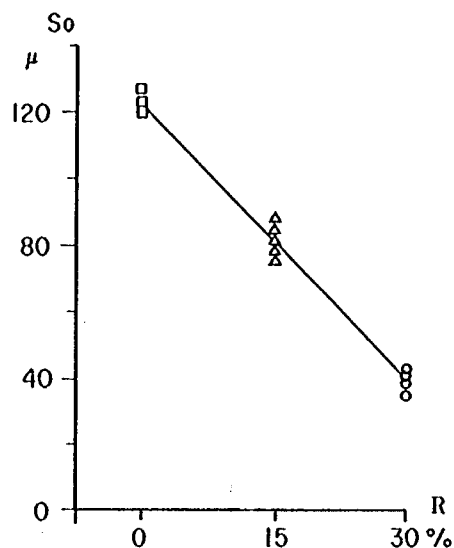


図-4.8 自己成長ひずみと(S_0)とモンモリロナイト含有率(R)との関係(14日後)

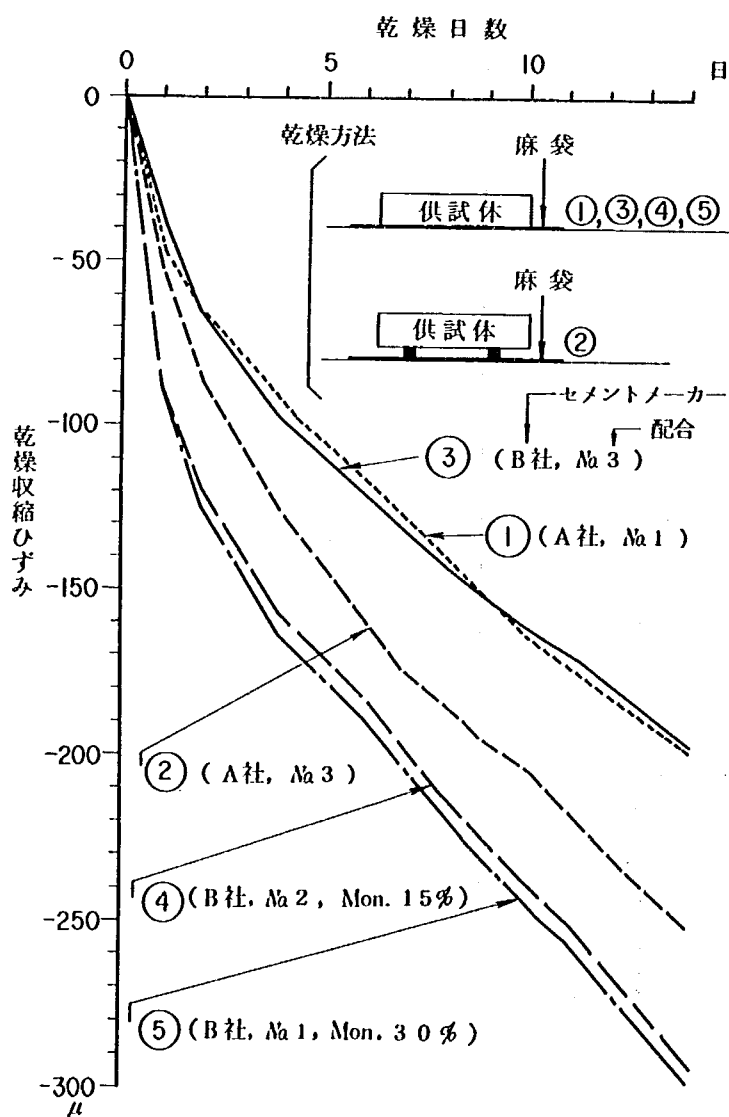


図-4.9 乾燥日数と乾燥収縮ひずみ (Mon. : モンモリロナイト)

クリート発熱量の総和はセメントの水和反応の程度を表わしているもので、同じセメントを用いても発熱状態が異なっていれば反応速度が異なっていることであり、土木研究所における実験結果も現場実験結果と同様にモンモリロナイトの含有率が多いほどセメントの反応速度が速くなっている。以上より、セメントの反応速度に着目すれば、セメントが同じでモンモリロナイト含有率を変えた比較実験では、反応速度が速いほど自己成長ひずみの発達は早期に止まり、成長度合も小さくなっている。また、モンモリロナイトを含んでおらず、骨材は同じでセメントメーカーのみが異なる場合の比較実験（図-4.4）によれば、供試体の温度上昇量が大きい方が温度ピーク以降の自己成長ひずみの発達が悪くなっている。これらの実験結果より、自己成長ひずみは初期反応速度との関係が大きく、早期に反応が進んでしまえばそれ以降の自己成長ひずみの発達度合は小さくなるのではないかと推察される。ただ、今回の少ない比較実験よりこの関係を断定するにはいまだ無理があるので、さらに、セメントの種類を変えた場合や遅延剤や早強剤により反応速度を制御した場合の比較実験を行って、発熱特性と自己成長ひずみとの関係をさらにつめる必要があると思われる。

2) 乾燥収縮におよぼすモンモリロナイトの影響

骨材の性質のうち特に弾性係数、および吸水性はコンクリートの乾燥収縮に大きな影響を与え、弾性係数が大きい骨材を用いたコンクリートほど乾燥収縮は小さくなり、吸水性の高い骨材を用いたコンクリートほど乾燥収縮は大きくなると言われている。⁴⁾ また、粘土性物質の混入も乾燥収縮を大きくし、この収縮量には粘土性物質の混入によって生じる単位水量の増加による収縮量の増加も含まれるが、一般にはそれ以上に収縮量の増大をきたすと言われている。⁴⁾

今回養生室内で行った乾燥収縮実験の結果を、乾燥日数と収縮ひずみとの関係で表わしたのが図-4.9である。①、②、および③はモンモリロナイトを含んでいない供試体であり、④は公称含有率15%の供試体、⑤は公称30%の供試体である。②は、①および③に比べて乾燥収縮量が大きくなっているが、その原因は、②の乾燥は図-4.9に示した乾燥方法の概略図のようにやや乾燥しやすい環境にあったためであると考えられ、②も他と同じ状態で乾燥を行えば、収縮量は今回の結果より小さくなって①および③の曲線に近づくとと思われる。モンモリロナイトを含んだ供試体④、⑤の乾燥収縮曲線は、モンモリロナイトを含まない供試体①、②、③のそれとは明らかに異なっている。しかし、④と⑤の乾燥収縮曲線はほぼ同じであり、モンモリロナイト含有率の差による収縮量の差は生じなかった。また、骨材の吸水率についてみれば、モンモリロナイト含有率公称15%と30%の骨材の吸水率はどちらも3%程度であり、比較実験に用いた骨材は1%以下であった。これより、骨材の吸水率のみが乾燥収縮に影響していて、モンモリロナイトの含有は乾燥収縮に影響していない可能性が高い。しかし、モンモリロナイトの乾燥収縮におよぼす影響を詳細に検討するためには、同じ吸水率の骨材を用いて詳細に比較する必要があると思われる。

つぎに、配合の差が乾燥収縮に及ぼす影響について考察する。一般には、堅硬な骨材を用いた場合、乾燥収縮におよぼす配合の影響は主として単位水量の差であり、水セメント比、単位セメント量が変わってもその影響は比較的小さいとされている。⁴⁾しかし、今回の結果では配合の異なる①と③とは同じ収縮曲線になっており、単位水量の差による収縮量の差は現われていない。ただ、今回の比較ではセメントメーカーが異なっているので、それが影響して結果としてひずみを相殺している可能性はある。

5. ま と め

本実験的研究は、コンクリートの自己成長ひずみに関する基礎的な検討を行ったものである。自己成長ひずみに影響を与えると考えられる因子に着目して比較実験を実施し、その影響度の概略的な検討を行った。その結果を要約すれば以下の通りである。

- ① 自己成長ひずみにおよぼすセメントペースト量の影響は、今回の実験では現われなかった。今回の実験範囲はやや狭かったのでセメントペースト量の影響を否定しきれないが、その影響度は小さいと思われる。
- ② 自己成長ひずみにおよぼすセメントの品質の影響度は大きいと思われる。しかし、そのセメントの性質のうちの何が影響しているのかは断定できなかった。
- ③ 自己成長ひずみにおよぼす骨材の影響の検討に当ってモンモリロナイトの影響程度を検討したが、その結果、モンモリロナイトの自己成長ひずみにおよぼす影響度は大きく、モンモリロナイト含有率と自己成長ひずみ量との間には負の相関があることがわかった。また、モンモリロナイト含有率が多い程自己成長ひずみの発達は止まるのが早く、少ない程止まるのが遅いので、その負の相関の勾配は時間的には変化する。なお、付随的なことではあるが、モンモリロナイトにはセメントの水和反応を速める作用があることがわかった。
- ④ 初期発熱量と自己成長ひずみ量との関係を検討した結果、モンモリロナイト含有の有無にかかわらず初期発熱の大きい供試体ほど自己成長ひずみの発達は悪い傾向にあり、セメントの反応速度が自己成長ひずみを決定する因子である可能性が高いことを見いだすことができた。しかし、現場での実験と土木研究所における実験とでは測定条件がかなり異なっているので、両者の初期発熱量と発生ひずみ量とを直接横並びで比較することはできず、また、今回の実験は数も少ないので、この関係を今回の結果のみから断定するにはいまだ無理があると思われる。そこで、今後さらに広範囲に初期反応と自己成長ひずみとの関係に関する検討を実施して、その関係をつめる必要がある。

参 考 文 献

- 1) たとえば, Donald L. Houghton : Concrete Volume Change for Dworshak Dam,
Proc. A. S. C. E., Vol. 95 No. PO 2, 1969
- 2) たとえば, 九州電力株式会社 : アーチダム (上椎葉ダムの計画と施工), 1957
- 3) ACI : Manual of Concrete Practice Part I (Mass Concrete for Dams and other
Massive Structures)
- 4) コンクリートハンドブック

コンクリートの自己成長ひずみに
関する実験的検討

I S S N 0386-5878
土木研究所資料第2462号
昭和62年2月(1987)
藤沢 侃彦 永山 功
田中 靖 小林 政登

要 旨 本報告は、ダムのようなマスコンクリート構造物にクラックを生じさせる要因の一つとされているコンクリートの自己成長ひずみについて論じたものである。まず、コンクリートの自己成長ひずみに影響を与えると思われる因子について比較実験を行い、ついで、影響因子とその影響度について検討を加えている。その比較実験の結果、自己成長ひずみに影響を与える因子とその影響度を概略的に把握することができた。

キーワード：コンクリートひずみ, 自己成長, モンモリロナイト

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

ダム構造研究室行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第2462号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

