

004

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第2587号

土 木 研 究 所 資 料

A S R の簡易試験方法に関する研究

—— ダブルシリンダーを用いる方法 ——

昭和63年 2 月

建設省土木研究所

地質化学部コンクリート研究室

Copyright © (1988) 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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

A S Rの簡易試験方法に関する研究

——ダブルシリンダーを用いる方法——

コンクリート研究室 室 長 小林 茂敏
主任研究員 河野 広隆
部外研究員 平間 昭信*
元部外研究員 辻子 雅則*

要 旨

骨材のアルカリ骨材反応性試験方法は、建設省暫定案では化学法およびモルタルバー法が明記されているが、これらは化学分析能力が必要であったり判定に長期間を要するなど問題も多い。そこで、土木技術者が容易に判定できる方法の開発を行った。ここでは、3種類の簡易試験方法について実験を行い、ダブルシリンダー法の骨材判定試験の可能性を見出し、試験法（案）を提案した。

キーワード：アルカリ骨材反応，簡易試験法，ダブルシリンダー法，表面被覆法

* 現 飛鳥建設(株)技術研究所

ま え が き

近年、コンクリート構造物の早期劣化が大きな関心事となり、建設省においても、総合技術開発研究プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」を設置し問題の解決に当たっている。

コンクリート構造物劣化原因の一つにアルカリ骨材反応がある。現在、骨材のアルカリ反応性の判定試験法には、建設省暫定案の化学法とモルタルバー法が実施されている。しかし、化学法は特殊な試験機器を必要とし、その試験にあたっては熟練度を要求されること、モルタルバー法は6カ月という長期間を要するなどの問題がある。そのため、簡易かつ迅速な試験法の開発が望まれている。

この簡易試験法の開発に当たっては、当研究室に部外研究員として在席した辻子雅則、平間昭信両君が検討を行ってくれた。本報告は、それらの検討結果が得られた成果を報告するものである。

コンクリート研究室室長

小 林 茂 敏

目 次

§ 1 目 的	1
§ 2 概 要	2
2-1 実験の着眼点	2
2-2 実験の流れ	4
§ 3 予 備 実 験	5
3-1 実 験 条 件	5
3-2 実 験 方 法	5
3-3 使用材料及び使用器具	7
3-4 結 果 及 び 考 察	8
1) はさみ込み方法	8
2) 表面被覆方法	9
3) 円柱供試体方法	14
3-5 ま と め	14
§ 4 モルタル実験	15
4-1 実 験 条 件	15
4-2 実 験 方 法	15
4-3 使用材料及び使用器具	17
4-4 結 果 及 び 考 察	19
1) 供試体の種類による膨張量の差	19
2) 膨張量とクラックの関係	33
3) 60℃湿潤養生による促進状況	46
4) アルカリ量調整試薬の添加量の影響	53
4-5 ま と め	55
§ 5 円柱供試体法(ダブルシリンドー)検討実験	56
5-1 実験条件及び実験方法	56
5-2 使 用 材 料	60
5-3 結 果 及 び 考 察	61
1) モルタルのアルカリ量の検討	61

2) コンクリートでの養分条件, アルカリ量の検討	65
3) コンクリートでのアルカリの種類, アルカリ量の検討	80
4) 健全部の厚さについての検討	85
5-4 ま と め	89
§ 6 実 証 実 験	90
6-1 実 験 条 件	90
6-2 実 験 方 法	90
6-3 使 用 材 料	91
6-4 試 験 骨 材	92
6-5 結 果 及 び 考 察	94
6-6 ま と め	103
§ 7 結 論	104
参 考 文 献	105
添付資料 (ダブルシリンドーを用いた A S R 判定試験方法)	107

§ 1 目 的

近年、コンクリートの耐久性が社会的問題となっており、その中の一つであるアルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の劣化に関心が高まっている。現在、骨材のアルカリ反応を判定する方法は建設省暫定案（化学法、モルタルバー法）が主に用いられている。

しかし、化学法では特殊な試験器具を必要としその試験にあたっては熟練度が要求される。モルタルバー法についてもコンパレーター・プラグゲージ等の特殊な測定器具・部品、ならびに、温度による影響を除くため空調機能を持つ測定室等の設備を必要とし、さらに、判定までに3ヶ月～6ヶ月という長期間を必要とするため、簡易的で、尚且つ早期に判定できる試験方法の開発が望まれるところである。また、モルタルバー法は骨材を細骨材として用いるものであり、その結果がコンクリートへそのまま適用できるものでなく、合せてアルカリ骨材反応の抑制対策の実施にともない、骨材の反応性の判定だけでなく、実際に打設されるモルタル及びコンクリートが、アルカリ骨材反応による膨張を起こすものなのかどうかを判定できる試験方法の開発もあわせて必要となってくると考えられる。

従って、本研究は骨材のアルカリ骨材反応性ならびに実際に打設されるモルタル、及びコンクリートのアルカリ骨材反応による有害な膨張性の有無の簡易的かつ早期判定試験方法を開発することを目的としている。

§ 2 概 要

2-1 実験の着眼点

現在のモルタルバーによる骨材の反応性は、モルタルバーの長さ変化（膨張量）を測定することにより判定されているわけであるが、0.10(%)（材令6ヶ月における判定基準）程度の膨張量を示した場合でも供試体にはほとんどクラックが観察されておらず、また、クラックが発生していても明確でなく、養生方法によってはクラック観察ができないのが現状である。

しかし、クラックの確認が簡単に、且つ正確にでき、膨張量とクラック数あるいはクラック幅との関係を求めることができるならば、膨張量を測定しなくても、クラックを目視観察するだけで、アルカリ骨材反応による有害な膨張の有無を、判定することができると考えられる。

しかし、クラックの確認が簡単に、且つ正確にでき、膨張量とクラック数あるいはクラック幅との関係を求めることができるならば、膨張量を測定しなくても、クラックを目視観察するだけで、アルカリ骨材反応による有害な膨張の有無を、判定することができると考えられる。

そこで、アルカリ骨材反応による有害な膨張の有無を確認したいモルタルおよびコンクリート供試体の表面に、伸び能力が小さく、膨張しない材料（以下、健全材料）を塗布する、あるいは打ちたすといったように、膨張する供試体と健全な材料を組み合わせることによって、膨張する供試体ではなく膨張する供試体に引っ張られ、その膨張に追従できなくなった健全な材料に発生するクラックを目視観察することによって、簡易的にアルカリ骨材反応による有害な膨張の有無を判定することを着眼点として、実験を実施することとした。

膨張する供試体と健全材料を組み合わせる方法としては、種々の方法が考えられるが、本実験では、次の3種の方法に対して実施した。

1) はさみ込み方法

図2-1に示すように、膨張を確認したい2本の同じ材料の供試体の間に、健全材料をはさみ込む方法。

2本の供試体の膨張につれて中央の健全材料が引っ張られ、その膨張に追従できなくなった健全材料にクラックを発生させる。

この時発生するクラックは、横方向（供試体直角方向）のクラックとなることが予測される。

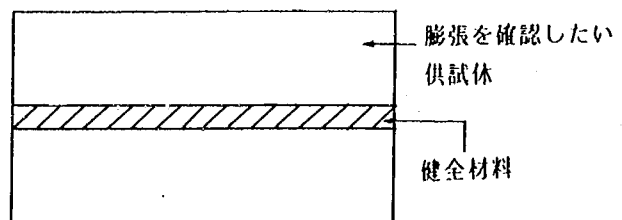


図2-1 はさみ込み方法

2) 表面被覆方法

図 2-2 に示すように、膨張を確認したい供試体の表面に、健全材料を塗布する方法。

供試体の膨張につれて表面の健全材料が引っ張られ、その膨張に追従できなくなった健全材料にクラックを発生させる。

この時発生するクラックは、供試体の膨張が自由膨張となるため、アルカリ骨材反応特有のマップ状クラックとなることが予測される。

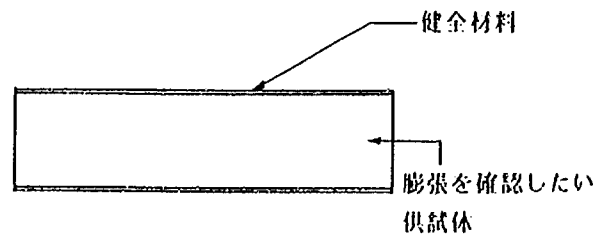


図 2-2 表面被覆方法

3) 円柱供試体方法

図 2-3 に示すように、膨張を確認したい材料で円柱供試体を作製し、一回り大きい円柱型枠を用い、その回りに健全材料を打設して、二重円柱構造の供試体とする方法。

内円の供試体の膨張につれて外円の健全材料が引っ張られ、その膨張に追従できなくなった健全材料にクラックを発生させる。

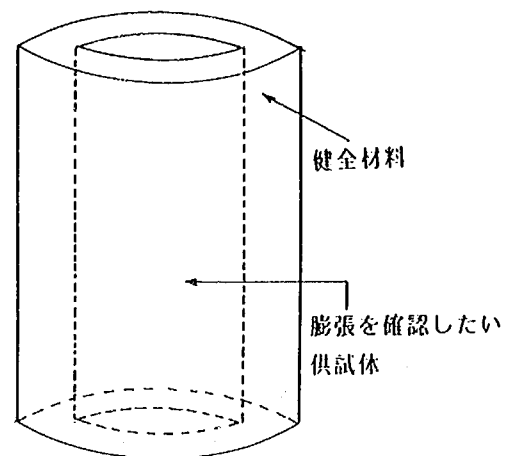


図 2-3 円柱供試体方法

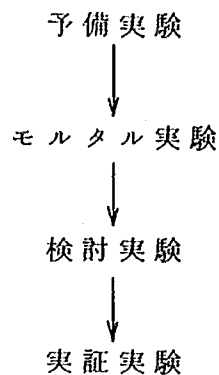
この時発生するクラックは、応力のバランスより、横方向（円周方向）のクラックよりも縦方向（円周直角）方向のクラックが卓越することが予測される。

本方法は、2) の表面被覆方法と同じ発想によるものであるが、次の3つの特徴により、より大きなクラックを早期に発生させようとしたものである。

- ① 円柱供試体とすることにより、伸びの対象となる長さが円周となり長くなるため、変位量が大きくなる。
- ② 健全材料の厚さが厚くなるため、クラック数は少なくなるがクラック幅は大きくなる。
- ③ 二重円柱構造とすることにより、小さな膨張力で健全材料の円周方向に大きな引張り応力が発生し、クラックを小さな膨張力で発生させることができる。

2-2 実験の流れ

実験は、次のフローに従って実施した。



1) 予備実験

簡易的な方法として適した方法を選定する。

(クラックの見やすい、クラックの早く発生する方法を選定する。)

2) モルタル実験

予備実験により選定された方法に対して、膨張状況・クラック発生状況・促進状況を把握し、簡易的かつ早期判定試験方法として適応可能か否かを確認するため、代表的な3種の反応性骨材に対してモルタル実験を実施する。

各反応性骨材の基本となる膨張状況は、建設省暫定案モルタルバー法によるものとする。

3) 検討実験

モルタル実験により簡易的試験方法として、適応可能と判断された方法に対してコンクリートへの適応が可能であるかを確認するため、膨張状況・クラック発生状況・促進状況等の諸要因について検討する。

4) 実証実験

2), 3) までの結果から簡易試験方法(案)を作成し、これに基づき多くの骨材(岩種)について実験を実施し、適応可能か否かの確認を行う。

§ 3 予 備 実 験

予備実験は、簡易的な方法として適した方法を選定することを目的として、モルタルを用いて、次の3種の方法で実施した。

- ① はさみ込み方法
- ② 表面被覆方法
- ③ 円柱供試体方法

また、健全材料としては、伸び能力が小さく膨張しない材料であるとともに、安価で施工が容易であり、クラックが観察しやすいという観点より、次の4つの材料を使用した。

- ① セッコウ ; セッコウ : 水 = 1 : 1
- ② 白色ペイント ; 原液
- ③ 白色モルタル ; 白色セメント : 水 : 標準砂 = 1 : 0.5 : 0.8
- ④ 普通モルタル ; 普通セメント : 水 : 富士川砂 = 1 : 0.5 : 2.25

3-1 実験条件

- 1) 反応性骨材 ; サヌカイト質輝石安山岩
- 2) 養 生 ; 60℃湿潤養生, 7日間
- 3) アルカリ量 ; 2.0 (%)

3-2 実験方法

1) 供試体の配合及び練り混ぜ方法

モルタル供試体の配合及び練り混ぜ方法は、建設省暫定案モルタルバー法に、準拠する。

セメント : 水 : 骨材 = 1 : 0.5 : 2.25

(但し、骨材は、絶乾状態で使用し、吸水率を測定し表乾状態となるよう混練水を調整して実施する。)

2) 供試体の作製方法

① はさみ込み方法

図3-1に示すように、4×4×16cmの3連型枠に反応性骨材を用いたモルタルを打設し、硬化後、中板をとりはずし、その部分に健全材料を打設する。

健全材料 ; セッコウ

白色モルタル

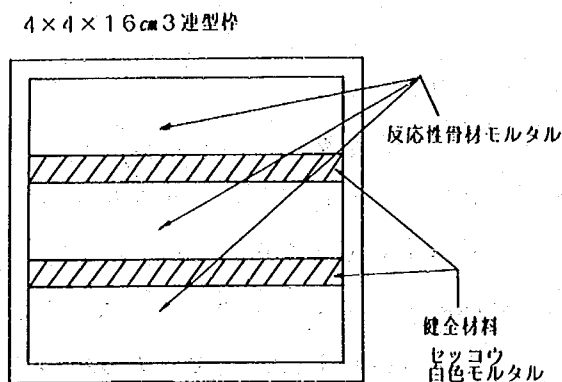


図3-1 はさみ込み方法

② 表面被覆方法

図 3-2 に示すように、 $4 \times 4 \times 16$ cm のモルタルバー供試体を作製し、硬化後、供試体の表面に健全材料を塗布する。

健全材料；セッコウ

白色ペイント

白色モルタル

4×4×16cmモルタルバー供試体

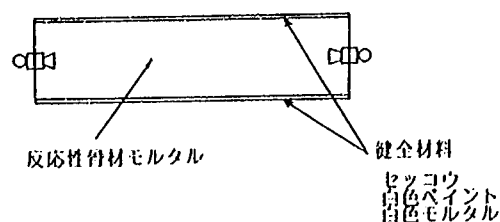


図 3-2 表面被覆方法

③ 円柱供試体方法

図 3-3 に示すように、 $\phi 10 \times 20$ cm 円柱型枠に反応性骨材を用いたモルタルを打設し、硬化後、 $\phi 15 \times 30$ cm 円柱型枠の中心に供試体をセットし、回りに健全材料を打設する。

健全材料；普通モルタル

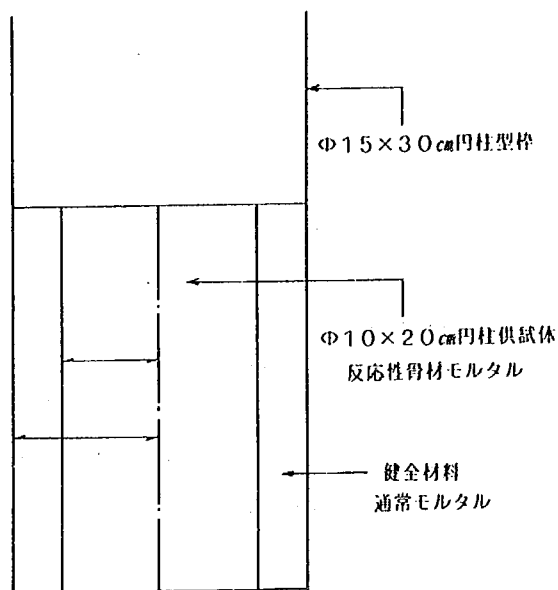


図 3-3 円柱供試体方法

3) 養生方法

各供試体をビニール袋に入れ、適量の水（供試体の表面が濡れている程度）を加えて密封した後、 60°C 湿潤養生を行う。

4) 測定項目

- ① はさみ込み方法；クラック観察
- ② 表面被覆方法；膨張量（長さ変化），クラック観察
- ③ 円柱供試体方法；クラック観察

5) 測定方法

① クラック観察

クラックの状況を，目視観察する。

② 膨張量（長さ変化）

建設省暫定案モルタルバー法に定められた方法に準拠して行う。

膨張量の算出は，次式によって行う。

$$\text{長さ変化率} = \frac{(X_i - sX_i) - (X_{ini} - sX_{ini})}{L} \times 100 (\%)$$

X_i ; 材令 i における供試体のダイヤルゲージの読み (mm)

sX_i ; 材令 i における標準尺のダイヤルゲージの読み (mm)

X_{ini} ; 供試体脱型時のダイヤルゲージの読み (mm)

(養生開始前の供試体のダイヤルゲージの読み)

sX_{ini} ; 同時に測定した標準尺のダイヤルゲージの読み (mm)

L ; 有効ゲージ長 (プラグゲージ内側端面間の距離) (mm)

(本実験では $L = 140 \text{ mm}$)

3-3 使用材料及び使用器具

1) 使用材料

① セメント

普通ポルトランドセメント

アルカリ量 = 0.65 (%) (比重 = 3.15)

② 反応性骨材

サヌカイト質輝安山岩

比重..... 2.53

吸水率..... 2.48 (%)

化学法による判定..... 潜在的有害

$R_c = 196 \text{ mmol/l}$ $S_c = 845 \text{ mmol/l}$

③ アルカリ調整試薬

Na OH sol.

④ 練り混ぜ水

イオン交換水

2) 使用器具

① 練り混ぜ

20℃恒温室

モルタルミキサー (JIS R5201)

② 型 枠

4 × 4 × 16 cm 3 連型枠 (長さ変化測定用プラグゲージ埋め込みタイププラグゲージを含む)

φ 10 × 20 cm円柱型枠

φ 15 × 30 cm円柱型枠

③ 養生装置

60℃恒温養生装置（乾燥炉でも可）

④ 測定装置

20℃恒温室

膨張量（長さ変化）：モルタルバー用コンパレーター

（写真3-1，建設省暫定案モルタルバー法参照）

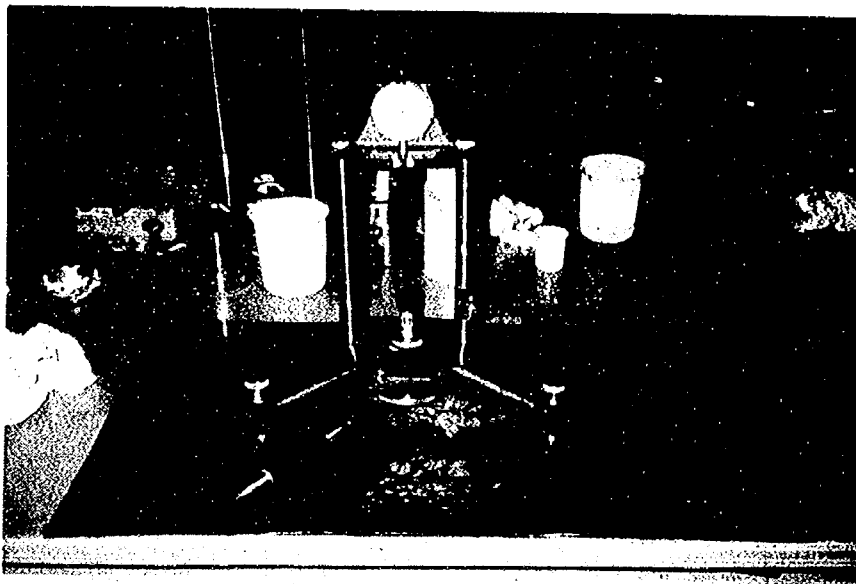


写真3-1 モルタルバー測定用コンパレーター

3-4 結果及び考察

1) はさみ込み方法

① セッコウ

写真3-2に示すように、健全材料の部分にセッコウを使用した場合は、セッコウが水分及びアルカリによって劣化するため、供試体脱型時にはセッコウとモルタル供試体が付着していたが、養生期間中に付着面の部分で供試体が剝離し、分離してしまった。

② 白色モルタル

写真3-3に示すように、白色モルタルの場合は、白色モルタルとモルタル供試体の付着は強く、モルタル供試体の膨張につれて白色モルタルの部分にクラックが観察されたが、本数が少なく、白色モルタルの部分の面積が小さいため、クラックの観察、特徴の識別が

困難であるとともに，膨張量とクラック状況の関係が得にくいと思われた。
以上の結果より，はさみ込み方法は，簡易的試験方法として適さないものと思われる。

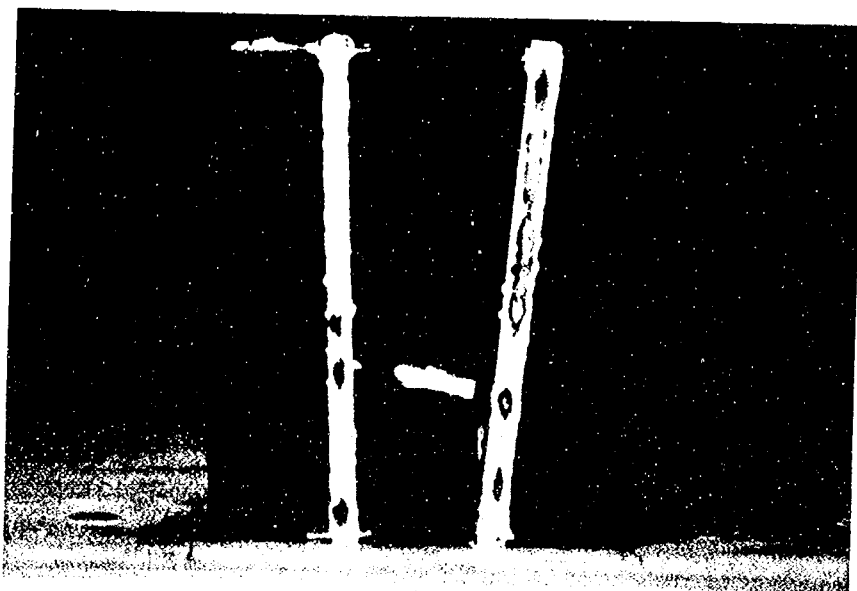


写真 3-2 セッコウ供試体

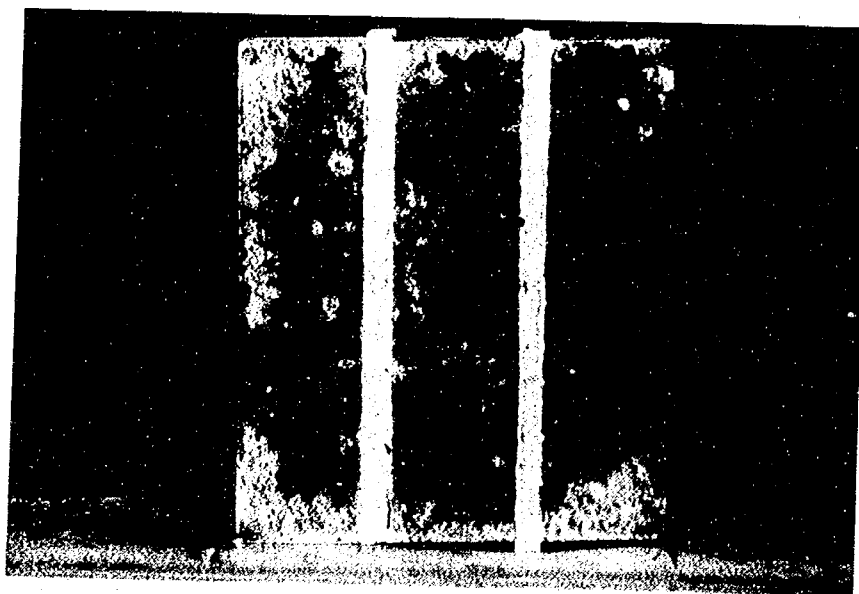


写真 3-3 白色モルタル供試体

2) 表面被覆方法

表面被覆方法によって，7日間，60℃湿潤養生された各供試体の膨張量は，次のとおりである。

白色ペイント…………… 0.6967 (%)

セッコウ…………… 0.9395 (%)

白色モルタル…………… 1.0036 (%)

① 白色ペイント

写真 3-4, 図 3-4 に示すように, 供試体表面にマップ状のクラックが観察された。

しかし, その本数は少なく, 白色ペイントに気泡が観察された。

また, 他の 2 種に比較して膨張量が小さくなっているが, この原因としては, 白色ペイントの透水性が他の 2 種よりも小さいため, ゲルが同様に生成しても, 吸水膨張するための水分が不足していることが考えられる。

従って, 膨張量を小さく評価する可能性がある。

② セッコウ

写真 3-5, 図 3-5 に示すように, 供試体表面に鮮明な多数のマップ状クラックが観察された。

しかし, セッコウは, 水分及びアルカリによって劣化するため, クラックまわりのセッコウが溶けたり, 剝離したりしている部分が, 材令 7 日ですでに観察されており, 経時変化を測定するには適さないと思われる。

③ 白色モルタル

写真 3-6, 図 3-6 に示すように, 供試体表面に鮮明な多数のマップ状クラックが観察された。

白色モルタルは, セッコウに比較してクラック数は少ないが, 膨張量とクラック数との関係を求めるには十分な数量と思われる。

また, セッコウのような水分やアルカリによる劣化は, 観察されなかった。

以上の結果より, 簡易的試験方法として白色モルタルによる表面被覆方法が, 適応できるものと思われる。

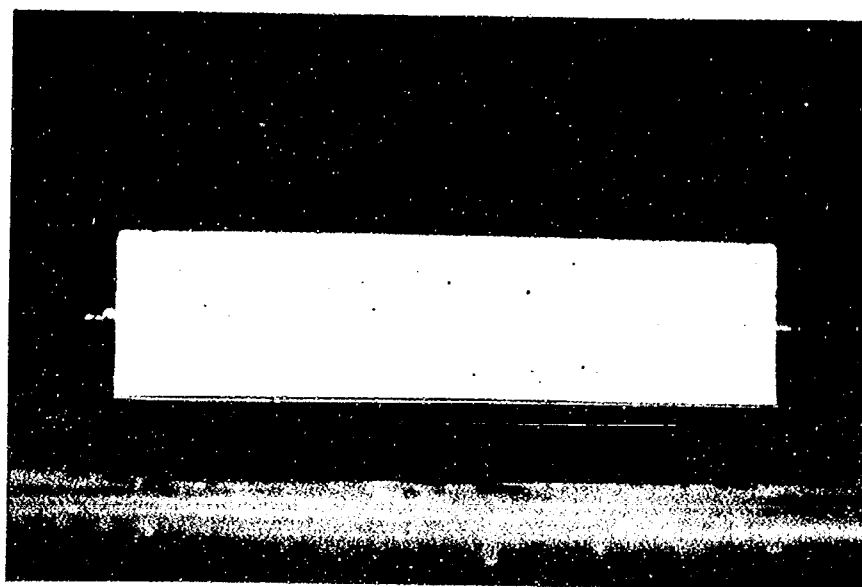


写真 3-4 白色ペイント供試体

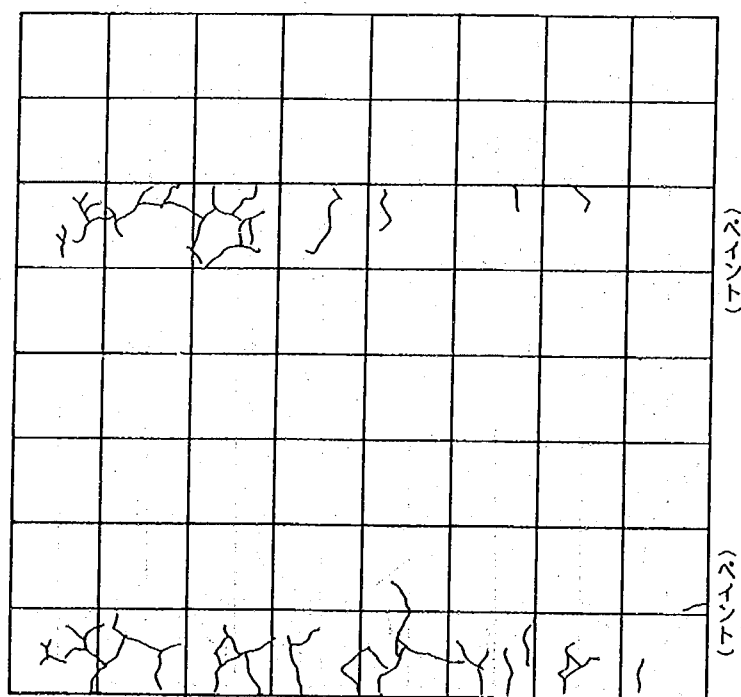


図 3-4 白色ペイント供試体



写真 3 - 5 セッコウ供試体

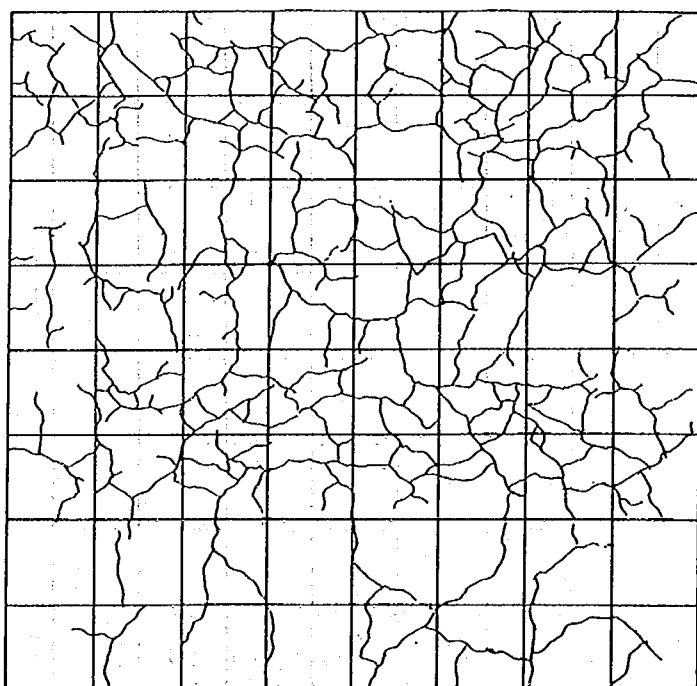


図 3 - 5 セッコウ供試体

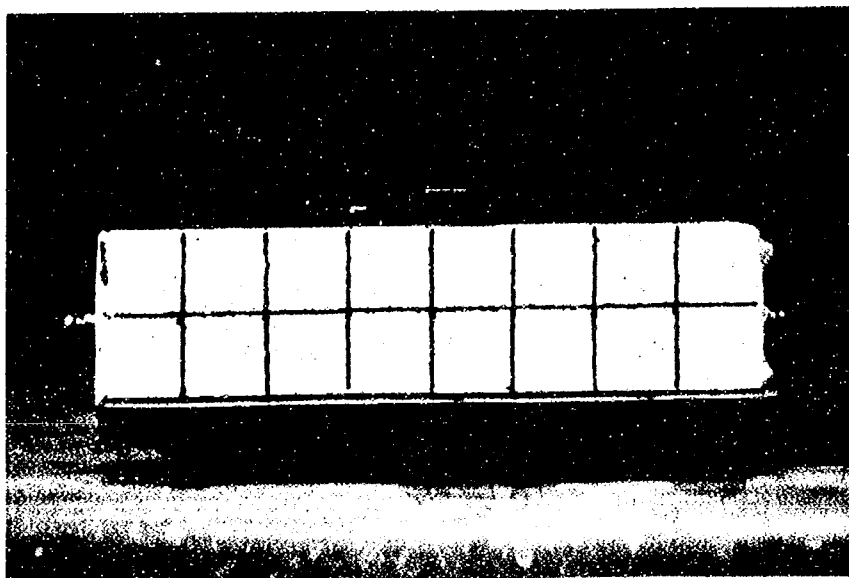


写真 3 - 6 白色モルタル供試体

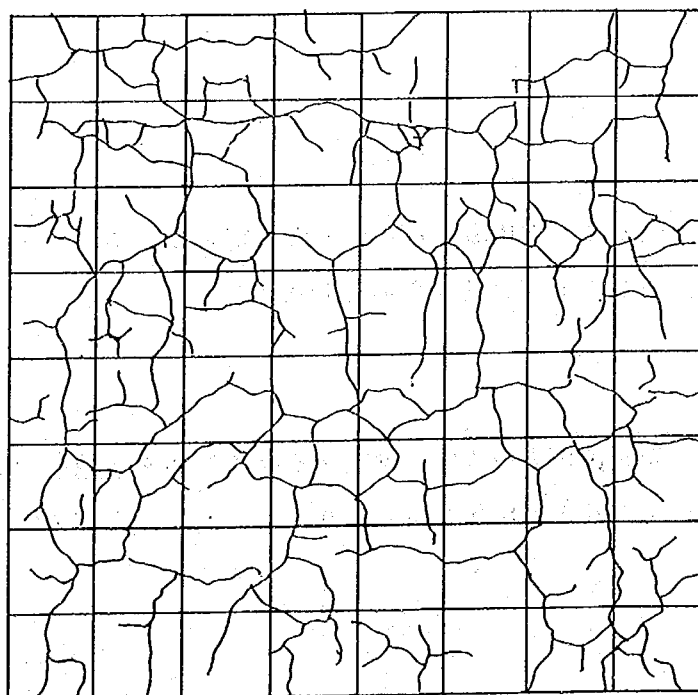


図 3 - 6 白色モルタル供試体

3) 円柱供試体方法

写真 3-7 に示すように、健全材料である普通モルタルの部分に、特徴的な幅 1 ~ 3 mm の縦方向のクラックが、1 ~ 2 本観察された。

本方法は、クラック発生時の膨張量及びクラック幅と膨張量の関係を得ることにより、簡易的試験方法として適応できるものと思われる。



写真 3-7 円柱供試体クラック写真

3-5 まとめ

1) はさみ込み方法

クラックの観察、特徴の識別が困難であるとともに膨張量とクラック状況の関係が得にくいと思われ、簡易試験方法としては適さないと判断される。

2) 表面被覆方面法

白色モルタルによる表面被覆方面法は、供試体表面に鮮明な多数のマップ状クラックが観察され、膨張量とクラック数との関係を得られれば簡易試験法としては適用できると思われる。

3) 円柱供試体方法

健全部に特徴的なクラックが観察され、表面被覆方法と同様クラックと膨張量の関係を得ることにより適用可能と判断される。

以上より表面被覆方法（白色モルタル法）、円柱供試体方法の両者について次のモルタル実験を行う。

§ 4 モルタル実験

予備実験により選定された、白色モルタル法及び円柱供試体方法の2種の方法に対して、膨張状況、クラック状況、促進状況を把握することによって、簡易的かつ早期判定試験方法として適応か否かを確認することを目的として、建設省暫定案モルタルバー法（以下、紙巻き方法）による膨張状況と比較する形で、3種の骨材及び3種のアルカリ量に対して、実験を実施した。

また、予備実験で白色モルタル法の表面に鮮明なマップ状のクラックが観察されたが、実際のモルタルバーには、どの程度のクラックが発生しているのかを比較するため、表面をなにも被覆しない状態（以下、無被覆方法）での実験も、あわせて実施した。

4-1 実験条件

- 1) 反応性骨材；A 1，A 2，A 3
- 2) セメントのアルカリ量；0.65 (%) 0.31 (%)
- 3) アルカリ量；0.8，1.2，1.6 (%)

（アルカリ量は、NaOHによって調整する。）

- 4) 養生方法；38℃湿潤養生，60℃湿潤養生
- 5) 測定材令；1週，2週，4週，6週，8週，10週，13週，20週，26週
- 6) 健全材料；白色モルタル（白色セメント：水：標準砂＝1：0.5：0.8

普通モルタル（普通セメント：水：富士川砂＝1：0.5：2.25）

尚、普通モルタルについては膨張量をチェックするための実験を実施した。

4-2 実験方法

1) 供試体の配合及び練り混ぜ方法

モルタル供試体の配合及び練り混ぜ方法は、建設省暫定案モルタルバー法に準拠する。

セメント：水：骨材＝1：0.5：2.25

（但し、骨材は絶乾状態で使用し、吸水率を測定し表乾状態となるよう混練水を調整して実施する。）

表4-1に、モルタル実験の打設表を示す。

2) 供試体の作製方法

① 紙巻き方法

建設省暫定案モルタルバー法に準拠して4×4×16cmのモルタルバー供試体を作製し、硬化後、供試体の表面に吸水性のよい紙を巻く。

② 無被覆方法

前記の紙巻き方法と同様にして、 $4 \times 4 \times 16$ cmのモルタルバー供試体を作製する。表面は、なにも被覆しない。

③ 白色モルタル法

予備実験（表面被覆方法）を参照。

④ 円柱供試体方法

予備実験（円柱供試体方法）を参照。

3) 養生方法

各供試体をビニール袋に入れ、適量の水（供試体の表面が濡れている程度）を加えて密封した後、 38°C 湿潤養生、 60°C 湿潤養生を実施する。

円柱供試体の表面は、吸水性の良い布で巻く。

4) 測定項目

- ① 紙巻き方法 ; 膨張量（長さ変化）
- ② 無被覆方法 ; 膨張量（長さ変化），クラック観察
- ③ 白色モルタル方法 ; 膨張量（長さ変化），クラック観察
- ④ 円柱供試体方法 ; 膨張量（直径変化），クラック観察，クラック幅

5) 測定方法

① 膨張量（長さ変化）

予備実験（測定方法）を参照。

② 膨張量（直径変化）

π テープを用いて、供試体の高さ 5，10，15 cm の 3 ケ所で直径を $1/100$ mm まで測定し、平均値をその供試体の膨張量とする。

膨張量（直径変化率）の算出は、次式によって行う。

$$\text{直径変化率} = \frac{D_i - D_{ini}}{D} \times 100 (\%)$$

D_i : 材令 i における供試体の直径 (mm)

D_{ini} : 脱型時の供試体の直径 (mm)

D : 内円柱の直径の初期値 (mm)

(本実験では $D = 100$ mm)

③ クラック観察

クラック観察は、目視によって実施する。

- モルタルバー供試体……供試体の表面を一边 = 2 cm の正方形のブロックに分割し、供試体展開図に、クラック状況をスケッチする。

クラック数は、クラックが観察されたブロック数とする。

- 円柱供試体……供試体展開図にクラック状況をスケッチする。

④ クラック幅

円柱供試体についてのみ、クラックゲージによってクラック幅を測定し、供試体展開図に記入する。

表 4 - 1 モルタル実験打設表

セメントのアルカリ	骨材種類	アルカリ (%)	38℃ 湿 潤 養 生				60℃ 湿 潤 養 生		
			紙巻き	無被覆	白モル	円 柱	無被覆	白モル	円 柱
0.65%	A 1	0.8	3	3	3	1	3	3	1
		1.2	3	3	3	1	3	3	1
		1.6	3	3	3	1	3	3	1
	A 2	0.8	3	3	3	1	3	3	1
		1.2	3	3	3	1	3	3	1
		1.6	3	3	3	1	3	3	1
	A 3	0.8	3	3	3	1	3	3	1
		1.2	3	3	3	1	3	3	1
		1.6	3	3	3	1	3	3	1
	富士川	0.65	3	3	3	1	3	3	1
0.31%	A 1	1.2	—	—	—	—	—	3	1
	A 2	1.2	—	—	—	—	—	3	1
	A 3	1.2	—	—	—	—	—	3	1

(但し、表中の数字は供試体本数)

4-3 使用材料及び使用器具

1) 使用材料

① セメント

普通ポルトランドセメント

アルカリ量 = 0.65 (%) (比重 = 3.15)

0.31 (%) (比重 = 3.16)

② 骨 材

反応性骨材の岩石学的分類及び化学法による結果を、表 4-2 に示す。

表 4-2 岩石学的分類及び化学法による結果

骨材種類	岩石学的分類	化学法による結果		
		Rc	Sc	判 定
A 1	サヌカイト質輝石安山岩	196	845	潜在的有害
A 2	チャート	22	98	有 害
A 3	輝石安山岩	112	209	潜在的有害

(Rc, Sc=mmol/l)

また、表 4-3 に各反応性骨材の比重及び吸水率の測定結果を示す。

表 4-3 各骨材の比重，吸水率

骨材種類	比 重	吸水率(%)
A 1	2.50	3.05
A 2	2.57	0.96
A 3	2.61	0.93

③ アルカリ量調整試薬

NaOHsol.

④ 練り混ぜ水

イオン交換水

2) 使用器具

① 練り混ぜ

20℃恒温室

モルタルミキサー (JIS R5201)

② 型 枠

4×4×16cm 3連型枠 (長さ変化測定用プラグゲージ埋め込みタイププラグゲージを含む)

φ10×20cm円柱型枠

φ15×30cm円柱型枠

③ 養生装置

38℃恒温養生室（乾燥炉でも可）

60℃恒温養生装置（乾燥炉でも可）

④ 測定装置

20℃恒温室

膨張量（長さ変化）：モルタルバー用コンパレーター

予備実験（測定装置）を参照。

膨張量（直径変化）： π テープ

写真4-1に、 π テープを示す。

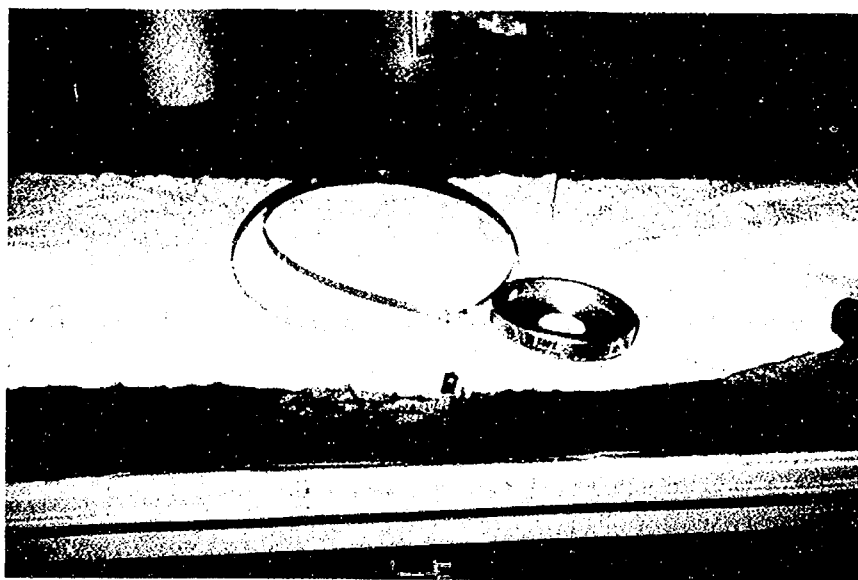


写真4-1 円柱供試体測定用 π テープ

4-4 結果考ひ考察

1) 供試体の種類による膨張状況の差

表4-4～表4-6に骨材別の膨張量測定結果を、図4-1～図4-6に38℃湿潤養生及び60℃湿潤養生を行った場合の、供試体種類別の膨張状況を示す。

また、図4-7に、紙巻き方法による膨張量に対する、無被覆方法・白色モルタル法・円柱供試体方法の膨張量の関係を示す。

本実験では、各々の反応性骨材の基本となる膨張状況を、建設省暫定案モルタルバー法に準拠して38℃湿潤養生、紙巻き方法としたが、無被覆方法・白色モルタル法については、ほぼ同様の膨張状況を示している。

しかし、円柱供試体方法については、クラック発生前までは、紙巻き方法とほぼ同様の膨

張状況を示しているが、クラック発生後は、急激に膨張量が大きくなり、材令の経過とともに、膨張量の差が大きくなっている。

アルカリ量別にその傾向を見てみると、アルカリ量 = 0.8 (%) の時には、いずれの供試体の膨張量も小さいため、差はほとんど見られないが、アルカリ量 = 1.2 (%) , 1.6 (%) の時には、顕著に現われており、アルカリ量 = 1.2 (%) の時の方が、1.6 (%) の時よりも大きな差となって現われている。

また、60℃湿潤養生を行った場合についても、紙巻き方法は実施しなかったが、無被覆方法及び白色モルタル方法と円柱供試体方法の間には、38℃湿潤養生を行った場合と同様の傾向がみられた。

円柱供試体方法の膨張量がクラック発生後急激に大きくなる、また、円柱供試体方法の膨張量が他の3種の方法よりも大きくなる原因としては、次のようなことが考えられる。

- ① 健全材料にクラックが発生したことにより、健全材料による拘束がなくなった。
- ② 供試体にクラックが発生したことにより、水分の供給が内部にまで充分に行われるようになった。
- ③ 供試体の表面が、厚さ 2.5 cm のモルタルで巻かれているため、アルカリの流出が妨げられる等、有利な養生環境にある。
- ④ 供試体の寸法が $\phi 10 \times 20$ cm と、 $4 \times 4 \times 16$ cm のモルタルバー供試体に比較して、断面積が大きい。(参考文献1)
- ⑤ 他の3種の方法の膨張は3方向への自由膨張となるのに対して、円柱供試体方法の膨張は、円周方向のクラックがほとんど発生せず縦方向の拘束力が大きいため、円周方向への膨張が助長される。

以上のような原因が重なりあって、円柱供試体方法の膨張量が、他の3種の方法に比較して、大きくなったものと思われる。

表 4-4 A 1 骨材の膨張量測定結果 (セメントのアルカリ量 = 0.65%)

養生 方法	アル カリ (%)	供試体 の 種 類	膨 張 量 (%)								
			1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	20週	26週
38℃ 湿 潤 養 生	0.8	紙巻き	0.0107	0.0116	0.0126	0.0145	0.0155	0.0162	0.0150	0.0234	0.0236
		無被覆	0.0100	0.0107	0.0164	0.0131	0.0181	0.0209	0.0209	0.0266	0.0255
		白モル	0.0095	0.0109	0.0150	0.0150	0.0155	0.0169	0.0152	0.0238	0.0233
		円 柱	0.0067	0.0100	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0167	0.0167
	1.2	紙巻き	0.0143	0.0176	0.0286	0.0326	0.0316	0.0393	0.0407	0.0479	0.0503
		無被覆	0.0112	0.0166	0.0293	0.0340	0.0357	0.0455	0.0581	0.0871	0.1407
		白モル	0.0131	0.0191	0.0316	0.0379	0.0364	0.0452	0.0521	0.0605	0.0609
		円 柱	0.0133	0.0167	0.0300	0.0367	0.1467	0.3300	0.5233	0.8000	0.8833
	1.6	紙巻き	0.0231	0.1009	0.4586	0.6650	0.6952	0.7248	0.7336	0.7431	0.7440
		無被覆	0.0169	0.1102	0.4831	0.6965	0.7291	0.7562	0.7574	0.7645	0.7650
		白モル	0.0191	0.0941	0.5041	0.7636	0.8021	0.8288	0.8410	0.8507	0.8512
		円 柱	0.0167	0.0933	0.5167	0.8100	0.9100	0.9900	1.0367	1.0767	1.1233
60℃ 湿 潤 養 生	0.8	無被覆	0.0136	0.0219	0.0245	0.0252	0.0302	0.0319	0.0374	0.0415	0.0445
		白モル	0.0109	0.0205	0.0238	0.0255	0.0300	0.0309	0.0374	0.0412	0.0426
		円 柱	0.0067	0.0100	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0267	0.0267	0.0267
	1.2	無被覆	0.0296	0.0422	0.0472	0.0631	0.0715	0.0954	0.1445	0.3341	0.3567
		白モル	0.0252	0.0388	0.0438	0.0574	0.0614	0.0662	0.0757	0.1419	0.2391
		円 柱	0.0233	0.0233	0.0233	0.0233	0.0267	0.2433	0.5533	0.8400	0.8867
	1.6	無被覆	0.3695	0.4900	0.5183	0.5493	0.5581	0.5612	0.5705	0.6738	0.6774
		白モル	0.3012	0.4483	0.4800	0.5112	0.5234	0.5298	0.5393	0.6562	0.6624
		円 柱	0.4500	0.5967	0.7333	0.7767	0.8233	0.8800	0.9333	1.1200	1.1367

表 4-5 A 2 骨材の膨張量測定結果 (セメントのアルカリ量 = 0.65 %)

養生 方法	アル カリ (%)	供試体 の 種 類	膨 張 量 (%)								
			1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	20週	26週
38℃ 湿 潤 養 生	0.8	紙巻き	0.0107	0.0136	0.0174	0.0188	0.0210	0.0188	0.0205	0.0259	0.0290
		無被覆	0.0143	0.0167	0.0212	0.0226	0.0278	0.0262	0.0274	0.0333	0.0345
		白モル	0.0093	0.0126	0.0164	0.0207	0.0226	0.0212	0.0226	0.0279	0.0288
		円 柱	0.0067	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0133	0.0133	0.0133
	1.2	紙巻き	0.0121	0.0141	0.0226	0.0298	0.0438	0.0564	0.0757	0.1052	0.1176
		無被覆	0.0112	0.0143	0.0212	0.0359	0.0521	0.0750	0.1079	0.1588	0.1705
		白モル	0.0153	0.0176	0.0260	0.0362	0.0545	0.0700	0.0959	0.1417	0.1576
		円 柱	0.0133	0.0233	0.0300	0.0300	0.0567	0.1333	0.2167	0.3933	0.4733
	1.6	紙巻き	0.0109	0.0169	0.0291	0.0624	0.1091	0.1571	0.2476	0.3486	0.3745
		無被覆	0.0103	0.0148	0.0340	0.0700	0.1186	0.1655	0.2681	0.4045	0.4336
		白モル	0.0048	0.0119	0.0284	0.0624	0.1009	0.1540	0.2600	0.3929	0.4236
		円 柱	0.0133	0.0200	0.0233	0.0233	0.0633	0.1300	0.3000	0.5667	0.6900
60℃ 湿 潤 養 生	0.8	無被覆	0.0216	0.0267	0.0281	0.0312	0.0303	0.0312	0.0300	0.0350	0.0386
		白モル	0.0235	0.0269	0.0278	0.0307	0.0298	0.0300	0.0309	0.0357	0.0394
		円 柱	0.0100	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
	1.2	無被覆	0.0352	0.0919	0.1750	0.2057	0.2119	0.2152	0.2193	0.2176	0.2205
		白モル	0.0343	0.0774	0.1274	0.1507	0.1567	0.1579	0.1614	0.1609	0.1629
		円 柱	0.0367	0.1200	0.3000	0.3567	0.3833	0.3900	0.4033	0.4033	0.4033
	1.6	無被覆	0.1948	0.3257	0.3781	0.3948	0.4093	0.4178	0.4181	0.4243	0.4283
		白モル	0.1812	0.2995	0.3674	0.3929	0.4031	0.4052	0.4072	0.4157	0.4190
		円 柱	0.1800	0.3500	0.5133	0.5367	0.5700	0.5867	0.5900	0.6033	0.6033

表 4 - 6 A 3 骨材の膨張量測定結果 (セメントのアルカリ量 = 0.65 %)

養生 方法	アル カリ (%)	供試体 の 種 類	膨 張 量 (%)								
			1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	20週	26週
38℃ 湿 潤 養 生	0.8	紙巻き	0.0205	0.0236	0.0309	0.0386	0.0393	0.0433	0.0445	0.0555	0.0560
		無被覆	0.0181	0.0233	0.0324	0.0407	0.0426	0.0452	0.0502	0.0595	0.0590
		白モル	0.0179	0.0238	0.0309	0.0405	0.0419	0.0478	0.0500	0.0595	0.0607
		円 柱	0.0133	0.0233	0.0300	0.0333	0.0333	0.0333	0.0333	0.0367	0.0367
	1.2	紙巻き	0.0271	0.0405	0.0593	0.0905	0.1233	0.1436	0.1726	0.2009	0.2200
		無被覆	0.0255	0.0388	0.0636	0.1005	0.1395	0.1674	0.1995	0.2517	0.2705
		白モル	0.0262	0.0388	0.0602	0.0848	0.1217	0.1415	0.1791	0.2286	0.2597
		円 柱	0.0267	0.0367	0.0600	0.1233	0.2100	0.3133	0.4000	0.6267	0.6867
	1.6	紙巻き	0.0312	0.0657	0.1802	0.2841	0.3436	0.3783	0.4078	0.4514	0.4681
		無被覆	0.0357	0.0724	0.1998	0.3086	0.3833	0.4191	0.4679	0.5150	0.5376
		白モル	0.0298	0.0664	0.2079	0.3231	0.3952	0.4253	0.4643	0.5126	0.5345
		円 柱	0.0200	0.0367	0.1167	0.2033	0.3033	0.4200	0.5267	0.7133	0.7867
60℃ 湿 潤 養 生	0.8	無被覆	0.0350	0.0436	0.0467	0.0557	0.0579	0.0602	0.0636	0.0771	0.0833
		白モル	0.0316	0.0395	0.0428	0.0509	0.0528	0.0588	0.0581	0.0738	0.0743
		円 柱	0.0200	0.0400	0.0433	0.0433	0.0433	0.0433	0.0433	0.0433	0.1100
	1.2	無被覆	0.0700	0.1043	0.1607	0.1995	0.2293	0.2453	0.2695	0.3553	0.4305
		白モル	0.0652	0.0955	0.1321	0.1693	0.1991	0.2126	0.2262	0.2914	0.3593
		円 柱	0.0433	0.0933	0.2433	0.3300	0.4233	0.4833	0.5233	0.7300	0.8667
	1.6	無被覆	0.2524	0.3940	0.4760	0.5624	0.5931	0.6155	0.6350	0.6667	0.7922
		白モル	0.2372	0.3722	0.4486	0.5281	0.5524	0.5679	0.5795	0.6298	0.7271
		円 柱	0.1667	0.3233	0.5567	0.6433	0.7533	0.7967	0.8300	0.9933	1.0767

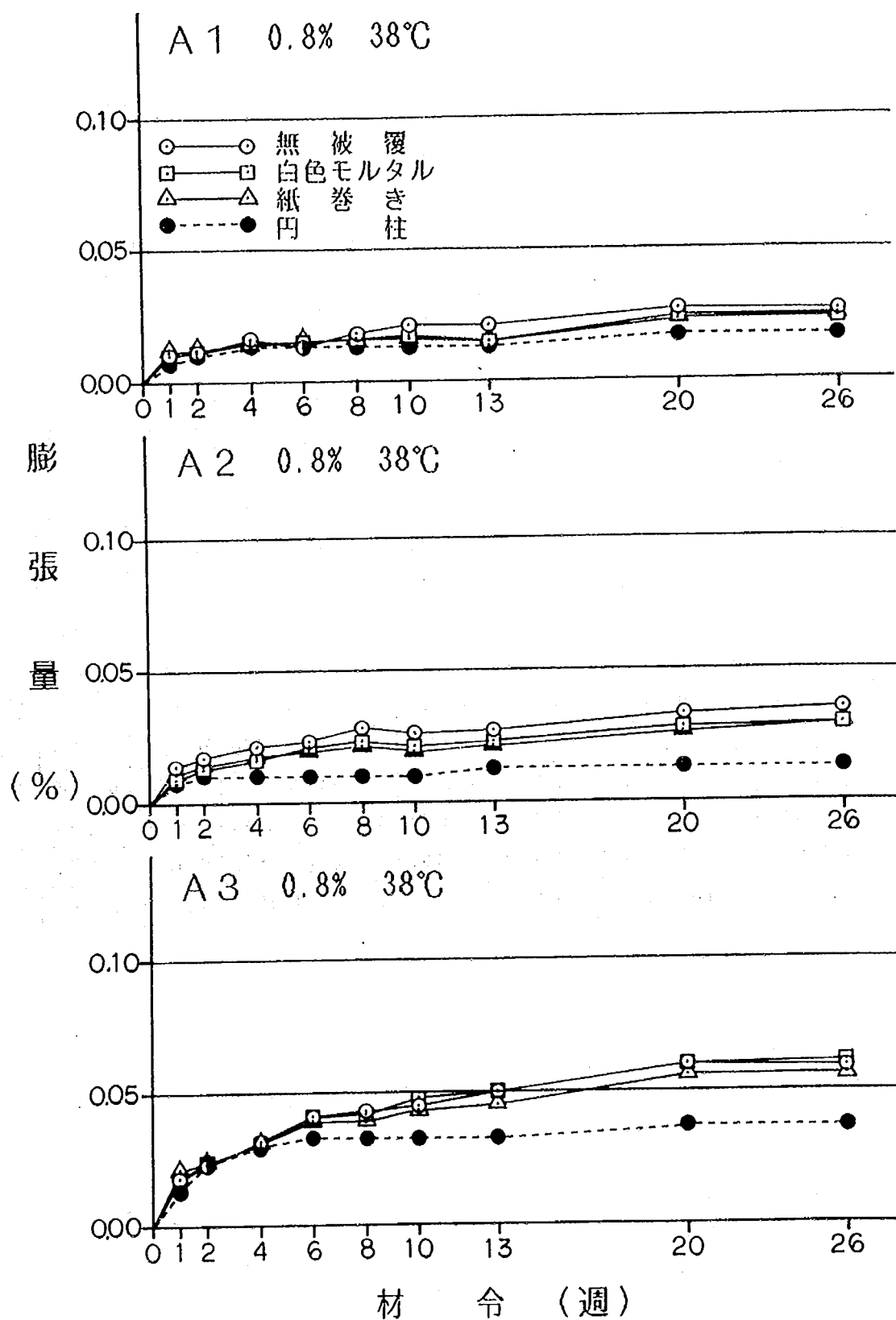


図 4 - 1 供試体種類別の膨張状況 (アルカリ量 = 0.8%, 38°C 湿潤養生)

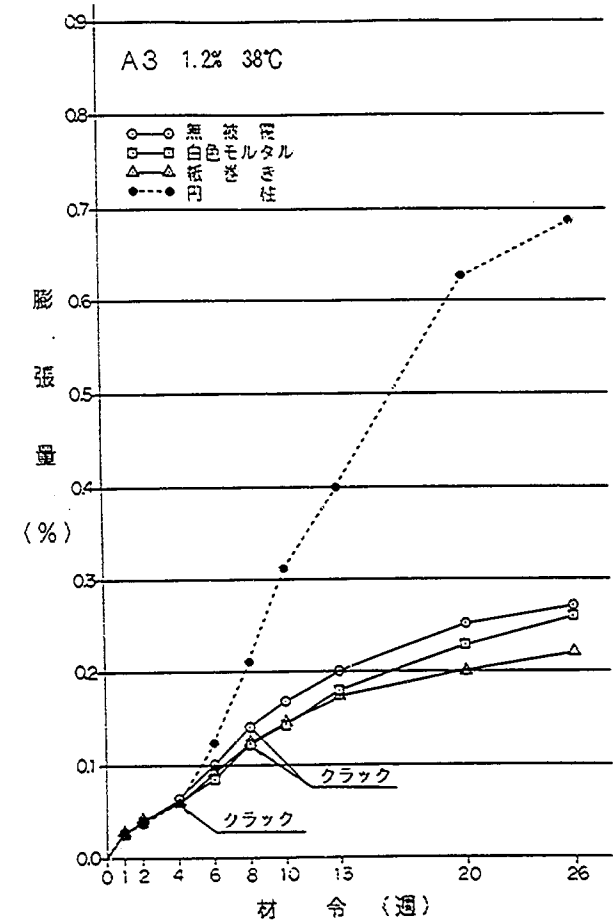
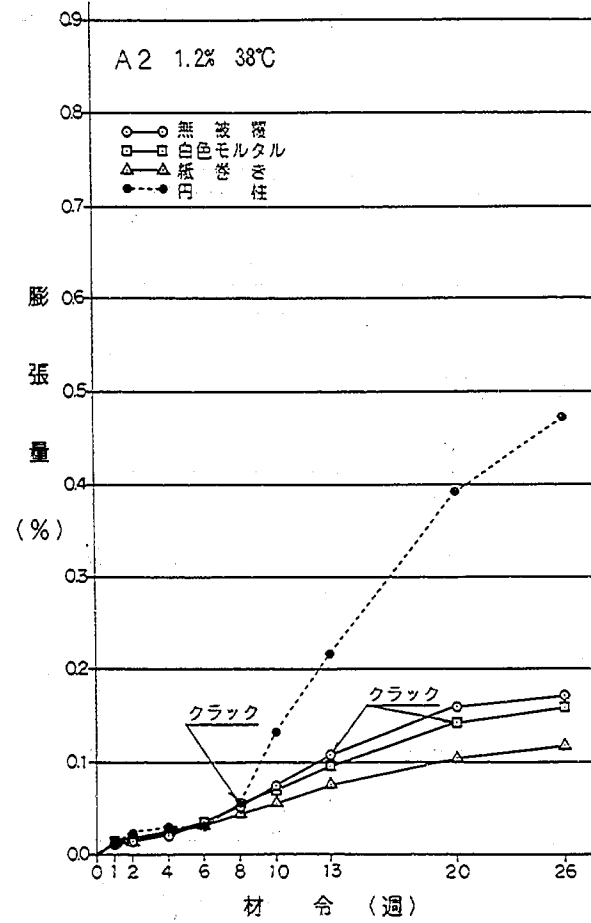
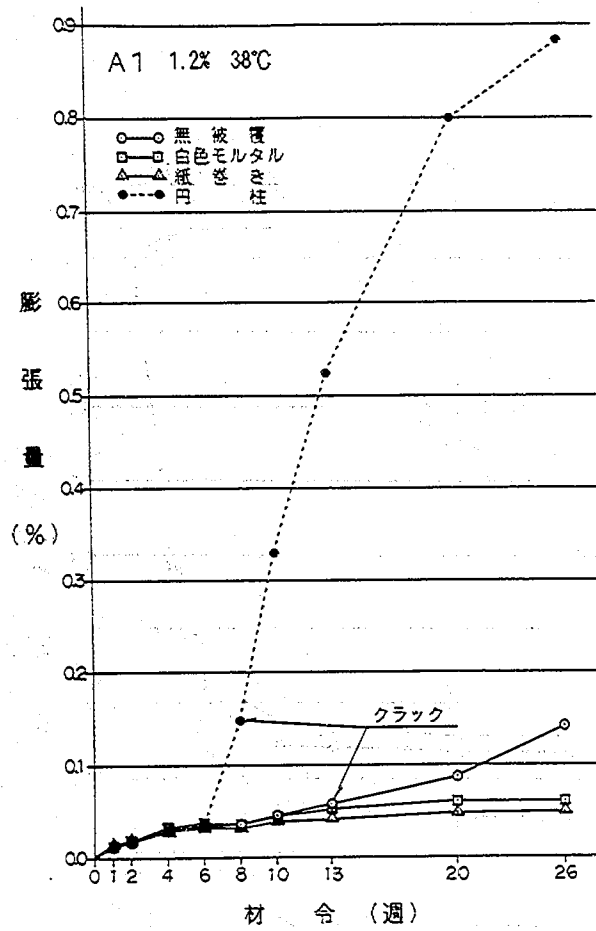


図 4-2 供試体種類別の膨張状況 (アルカリ量 = 1.2%, 38°C 湿潤養生)

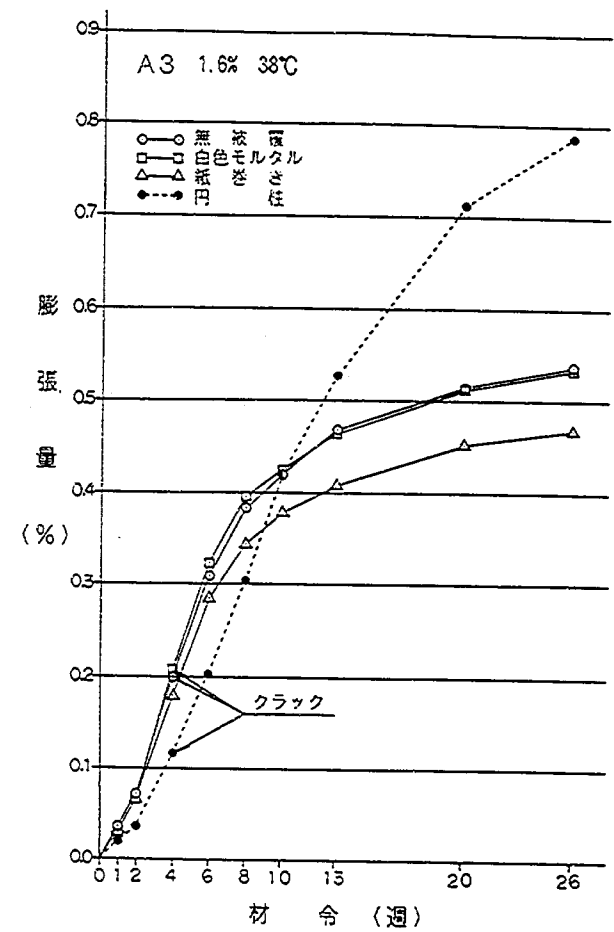
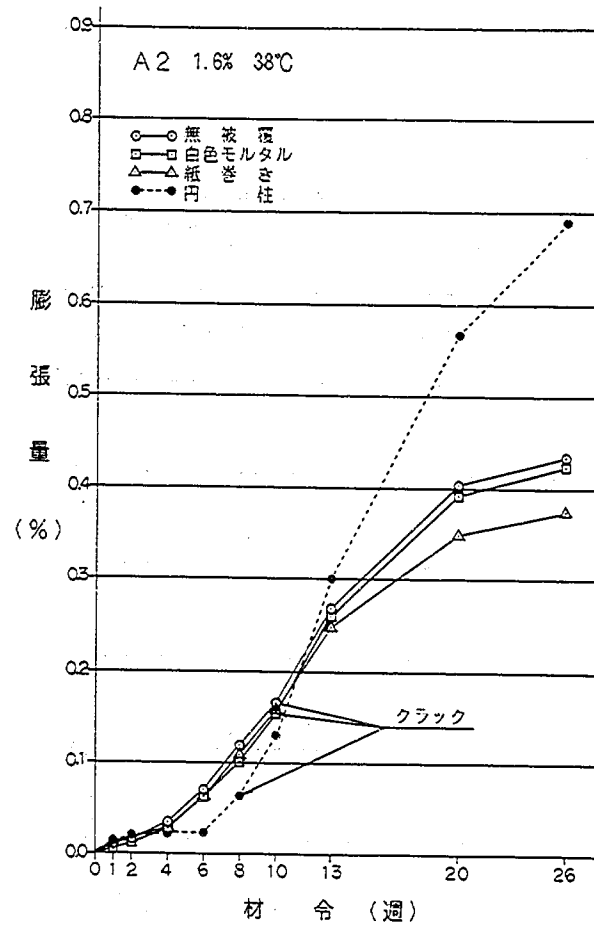
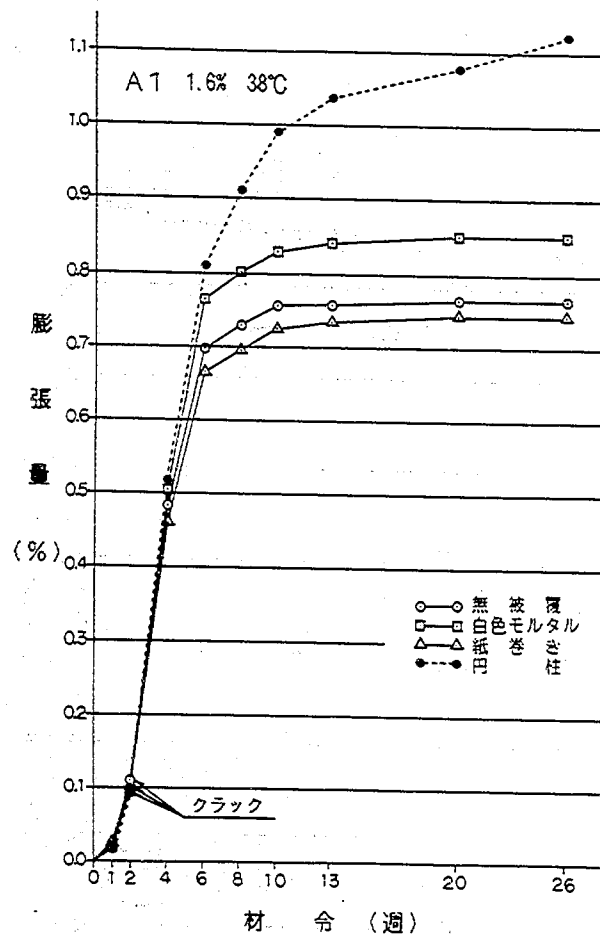


図 4-3 供試体種類別の膨張状況 (アルカリ量 = 1.6 %, 38 °C 湿潤養生)

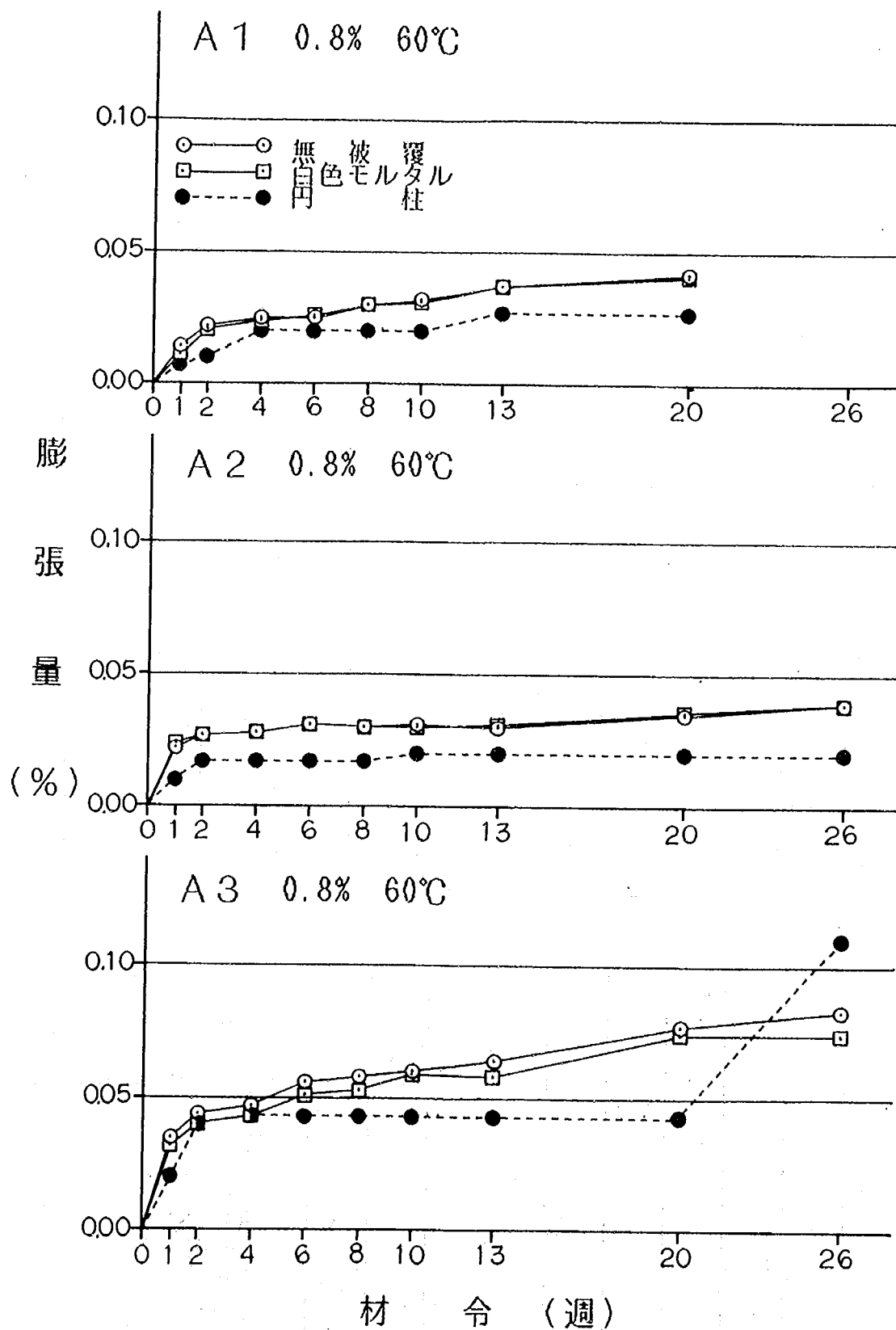


図4-4 供試体種類別の膨張状況 (アルカリ量 = 0.8%, 60°C 湿潤養生)

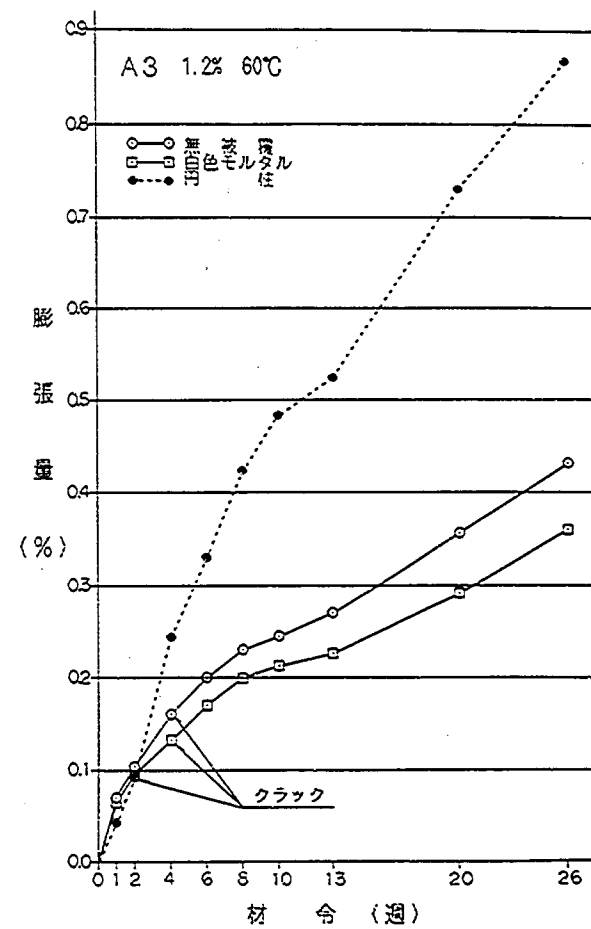
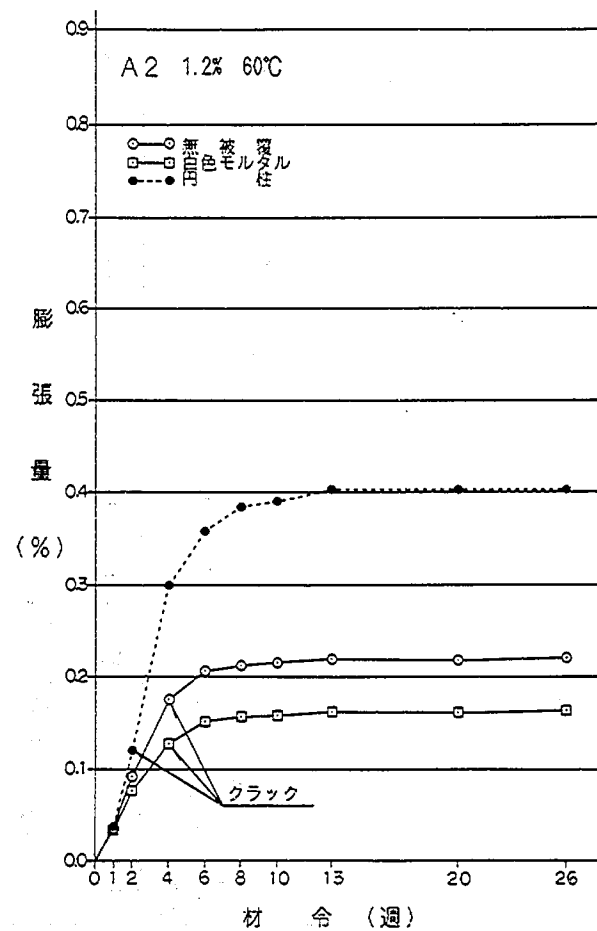
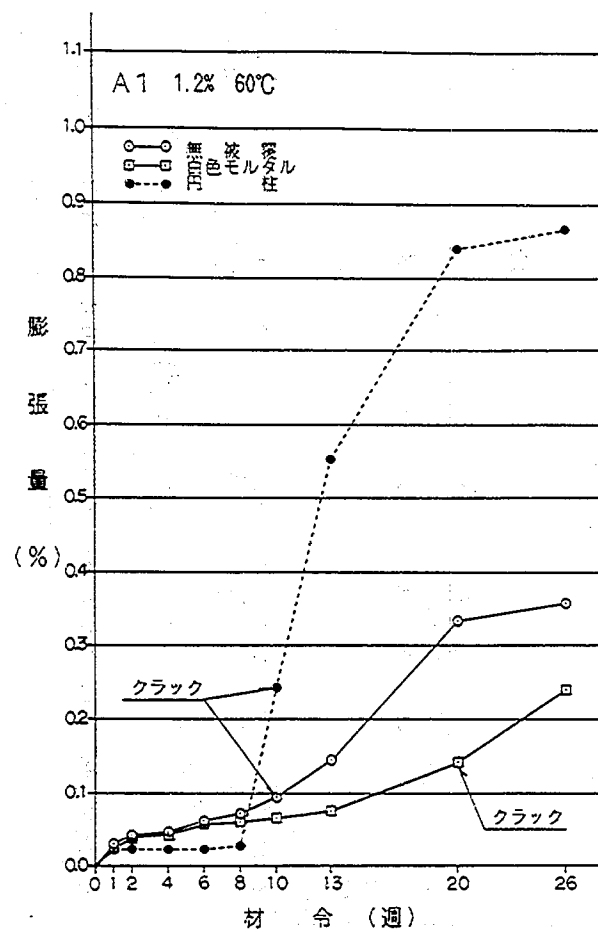


図 4-5 供試体種類別の膨張状況 (アルカリ量 = 1.2%, 60°C 湿潤養生)

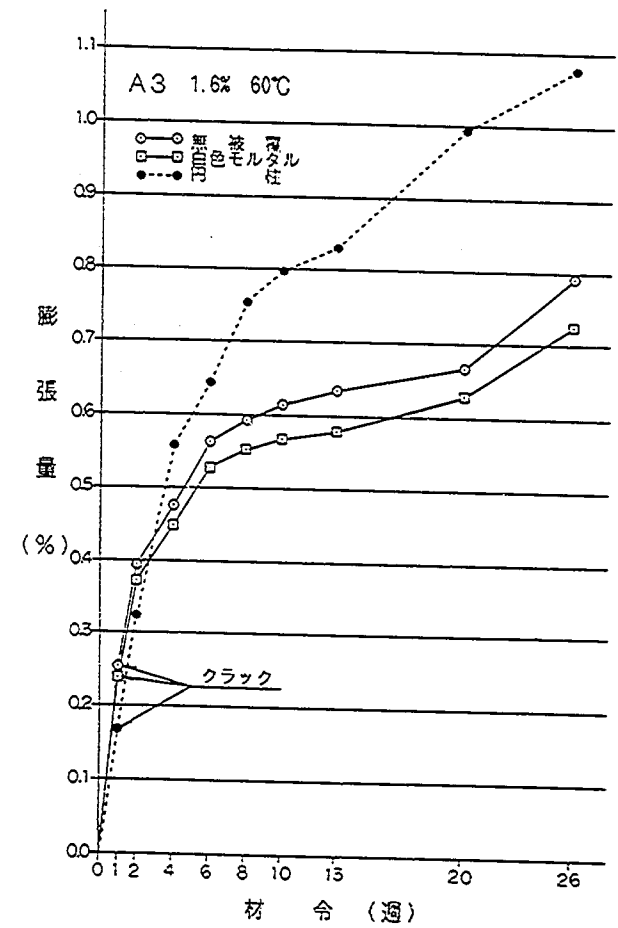
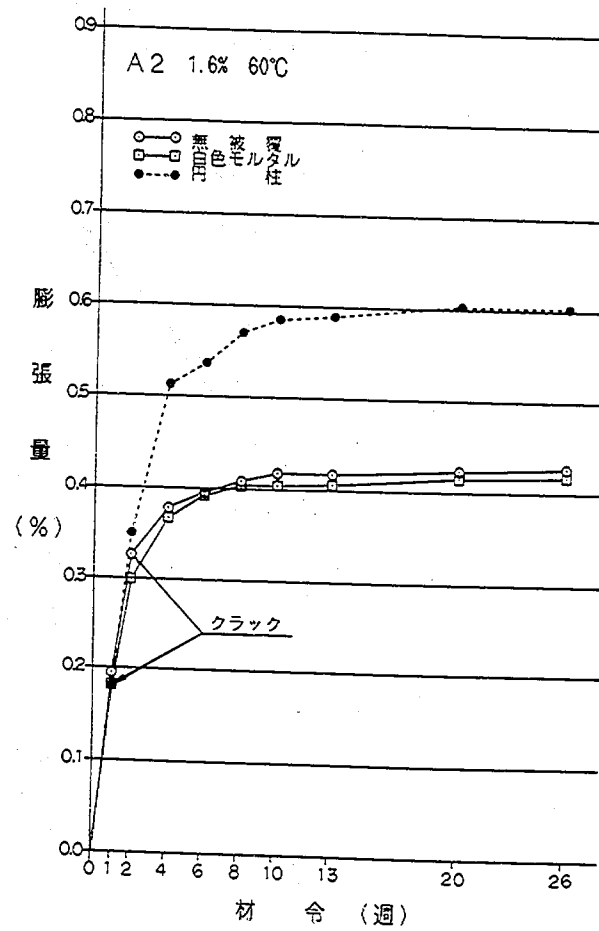
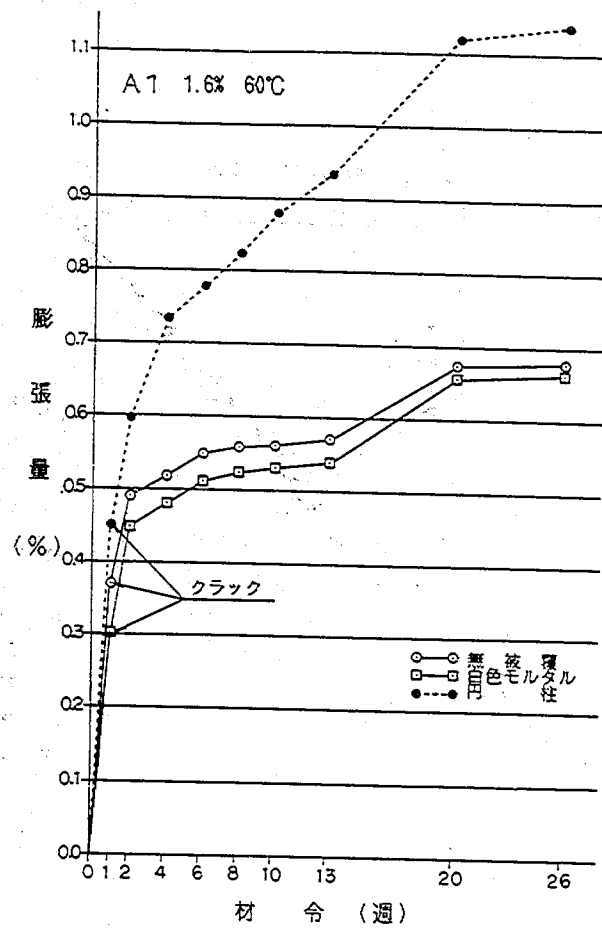


図 4-6 供試体種類別の膨張状況 (アルカリ量 = 1.6%, 60°C 湿潤養生)

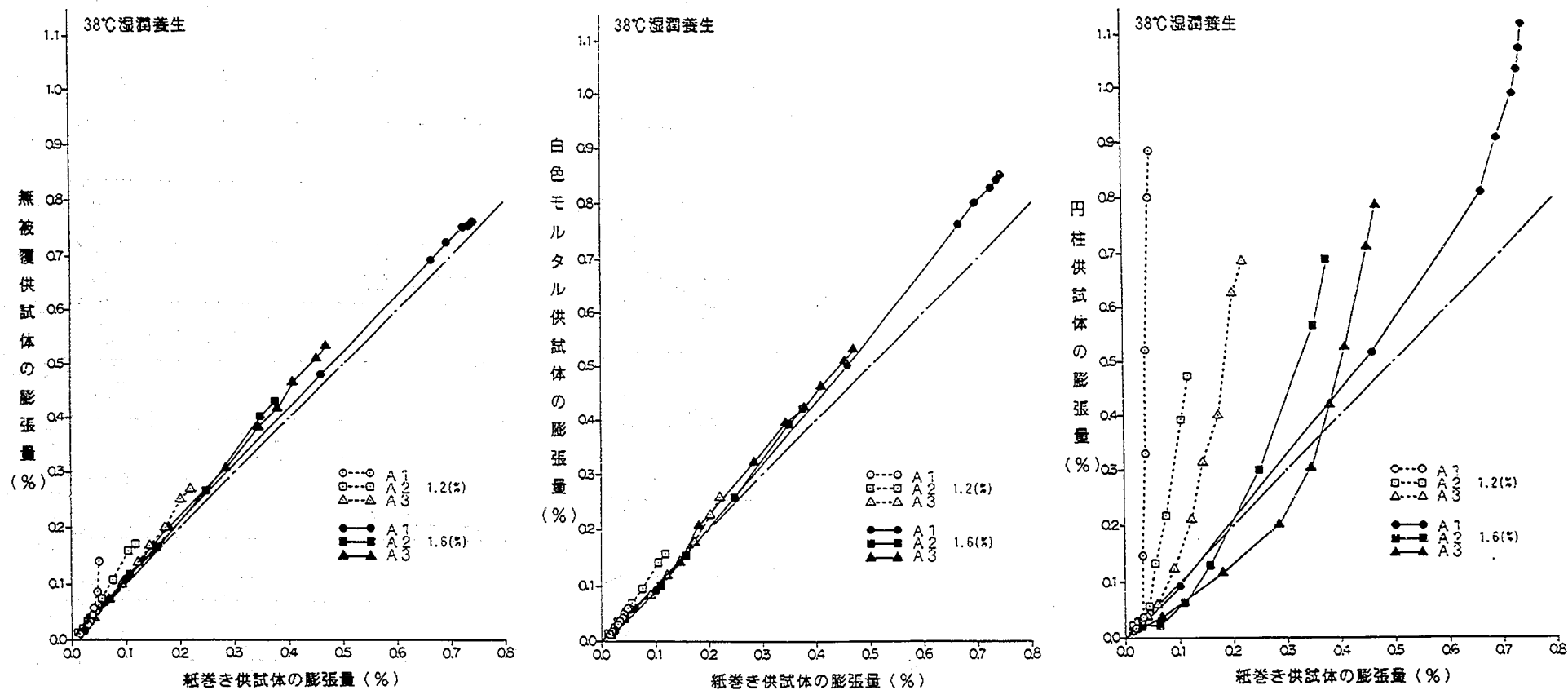


図 4-7 紙巻き方法と他の 3 種の方法の膨張量の比較

参考) 無害骨材を用いた普通モルタルについて各試験方法で実験を行った膨張状況を表 4-7, 図 4-8 に示す。

各試験方法とも, 僅かな膨張を示しているが, この膨張は, 吸水膨張によると考えられる。

表 4-7 普通モルタルの膨張量測定結果 (セメントのアルカリ量 = 0.65 %)

養生 方法	アル カリ (%)	供試体 の 種 類	膨 張 量 (%)								
			1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	20週	26週
38℃ 湿潤養生	0.65	紙巻き	0.0088	0.0112	0.0152	0.0153	0.0131	0.0143	0.0129	0.0190	0.0186
		無被覆	0.0129	0.0116	0.0152	0.0169	0.0179	0.0181	0.0167	0.0202	0.0210
		白モル	0.0114	0.0128	0.0164	0.0195	0.0197	0.0198	0.0198	0.0229	0.0236
		円 柱	0.0067	0.0067	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089
60℃ 湿潤養生	0.65	無被覆	0.0126	0.0136	0.0181	0.0174	0.0186	0.0183	0.0171	0.0240	0.0281
		白モル	0.0131	0.0143	0.0174	0.0210	0.0183	0.0188	0.0164	0.0250	0.0276
		円 柱	0.0067	0.0067	0.0067	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0111	0.0133

(注) 円柱供試体の膨張量については, 試験体と健全材料が同一であるため, 膨張量の算出式の部分の D は, 外円柱の実測直径の初期値である。

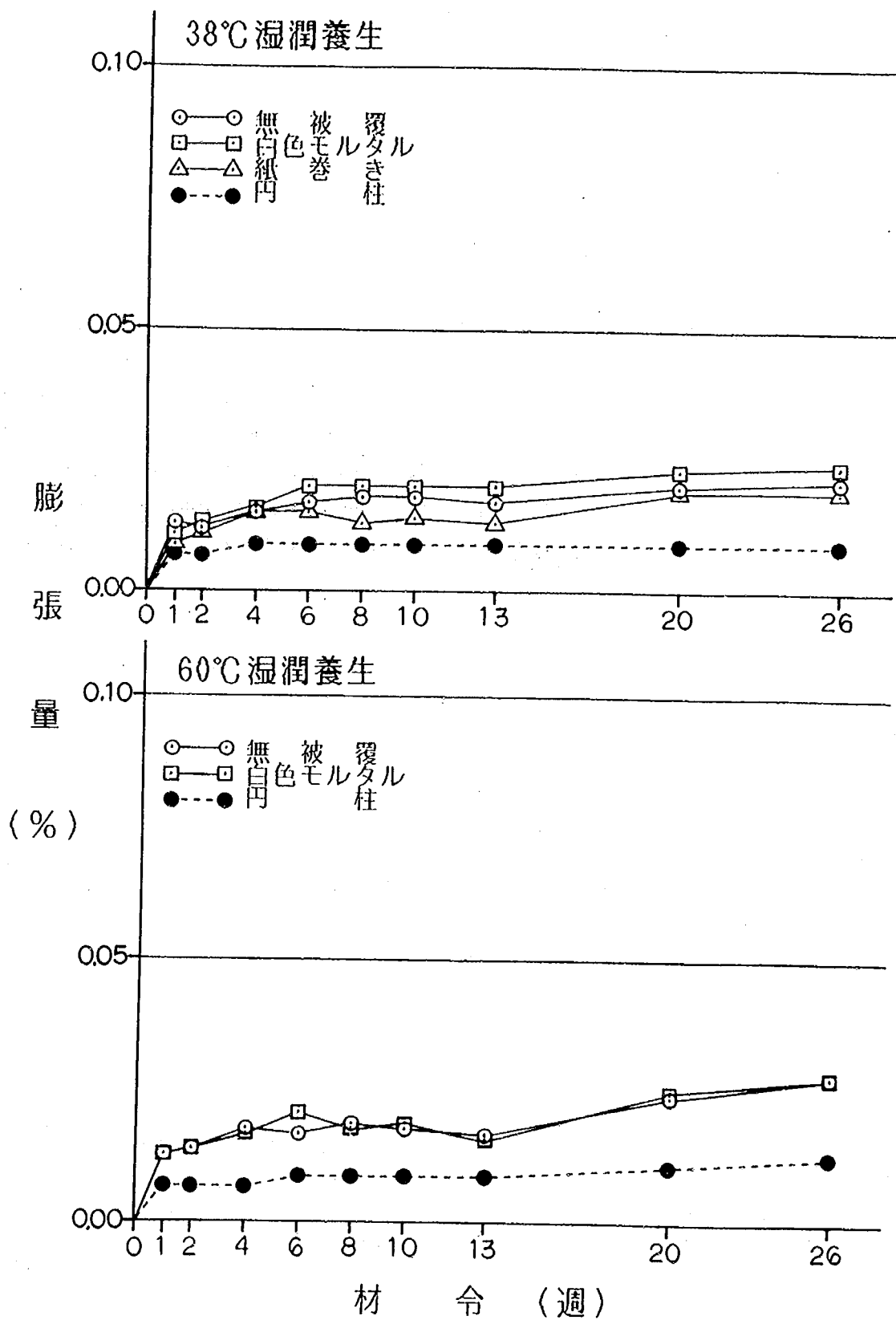


図 4-8 普通モルタル (健全材料) の材令と膨張量の関係

2) 膨張量とクラックの関係

表4-8～表4-10にクラック数測定結果（無被覆，白色モルタル法），表4-11にクラック幅（円柱供試体方法）の測定結果を示す。

① クラックの発生時期と膨張量

表4-12にクラックの発生時期を，図4-9にクラックの発生した時の膨張量を示す。

表4-12より，クラックが発生する材令は，骨材の種類によって異なっているが，無被覆方法及び白色モルタル法にクラックが発生する材令は，ほぼ等しく，円柱供試体方法にクラックが発生する材令は，前者の1/2程度になっているようである。

また，当然のことながら，アルカリ量が高く，養生温度が高い場合の方が，クラック発生の材令は早くなっている。

一方，図4-9より，無被覆方法，白色モルタル法，円柱供試体方法のクラックが発生した時の膨張量は，次のようである。

無被覆方法……クラックは，0.06(%)程度の膨張量で観察される場合もあるが，0.2(%)程度の膨張量でも観察されない場合もあり，クラックが発生する膨張量は，一定していない。

白色モルタル法……クラックは，骨材の種類，アルカリ量，養生温度に関係なく約0.10(%)（建設省暫定案モルタルバー法による材令6ヶ月の判定基準）以上の膨張量で，クラックが発生している。

円柱供試体方法……クラックは，骨材の種類，アルカリ量，養生温度に関係なく約0.05(%)（建設省暫定案モルタルバー法による材令3ヶ月の判定基準）以上の膨張量で，クラックが発生している。

表4-8 A1骨材のクラック数測定結果(セメントのアルカリ量=0.65%)

養生 方法	アル カリ (%)	供試体 の 種 類	膨 張 量 (‰) . ク ラ ッ ク 数 (個)									
				1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	20週	26週
38℃ 湿 潤 養 生	0.8	無被覆	膨張量	0.0100	0.0107	0.0164	0.0131	0.0181	0.0209	0.0209	0.0266	0.0255
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		白モル	膨張量	0.0095	0.0110	0.0150	0.0150	0.0155	0.0169	0.0152	0.0238	0.0233
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.2	無被覆	膨張量	0.0112	0.0166	0.0293	0.0340	0.0357	0.0455	0.0581	0.0871	0.1407
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.7	10.0
		白モル	膨張量	0.0131	0.0191	0.0316	0.0379	0.0364	0.0452	0.0521	0.0605	0.0609
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.6	無被覆	膨張量	0.0169	0.1102	0.4831	0.6965	0.7291	0.7562	0.7574	0.7645	0.7650
			CR数	0.0	14.7	47.7	55.3	57.7	59.3	59.3	59.3	59.3
		白モル	膨張量	0.0191	0.0941	0.5041	0.7636	0.8021	0.8288	0.8410	0.8507	0.8512
			CR数	0.0	15.3	52.0	58.7	60.3	60.7	61.3	61.7	61.7
60℃ 湿 潤 養 生	0.8	無被覆	膨張量	0.0136	0.0219	0.0245	0.0252	0.0302	0.0319	0.0374	0.0415	0.0445
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		白モル	膨張量	0.0109	0.0205	0.0238	0.0255	0.0300	0.0309	0.0374	0.0412	0.0426
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.2	無被覆	膨張量	0.0296	0.0422	0.0472	0.0631	0.0715	0.0954	0.1445	0.3341	0.3567
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	9.0	30.0	32.7
		白モル	膨張量	0.0252	0.0388	0.0438	0.0574	0.0614	0.0662	0.0757	0.1419	0.2391
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	21.7
	1.6	無被覆	膨張量	0.3695	0.4900	0.5183	0.5493	0.5581	0.5612	0.5705	0.6738	0.6774
			CR数	25.0	36.7	40.7	41.0	42.0	42.0	42.0	47.7	47.7
		白モル	膨張量	0.3012	0.4483	0.4800	0.5112	0.5234	0.5298	0.5393	0.6562	0.6624
			CR数	35.0	48.7	52.3	53.3	54.0	54.0	54.0	57.3	57.3

表4-9 A2骨材のクラック数測定結果(セメントのアルカリ量=0.65%)

養生 方法	アル カリ (%)	供試体 の 種 類	膨 張 率 (%) , ク ラ ッ ク 数 (個)									
				1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	20週	26週
38℃ 湿潤養生	0.8	無被覆	膨張率	0.0143	0.0167	0.0212	0.0226	0.0278	0.0262	0.0274	0.0333	0.0345
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		白モル	膨張率	0.0093	0.0126	0.0164	0.0207	0.0226	0.0212	0.0226	0.0279	0.0288
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.2	無被覆	膨張率	0.0112	0.0143	0.0209	0.0359	0.0521	0.0750	0.1079	0.1588	0.1705
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	7.3	13.0
		白モル	膨張率	0.0153	0.0176	0.0260	0.0362	0.0545	0.0700	0.0959	0.1417	0.1576
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	19.3
	1.6	無被覆	膨張率	0.0103	0.0148	0.0340	0.0700	0.1186	0.1655	0.2681	0.4045	0.4336
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	6.7	31.7	37.3
		白モル	膨張率	0.0048	0.0119	0.0284	0.0624	0.1009	0.1540	0.2600	0.3929	0.4236
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	23.3	44.3	49.0
60℃ 湿潤養生	0.8	無被覆	膨張率	0.0216	0.0267	0.0281	0.0312	0.0303	0.0312	0.0300	0.0350	0.0386
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		白モル	膨張率	0.0235	0.0269	0.0278	0.0307	0.0298	0.0300	0.0309	0.0357	0.0394
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.2	無被覆	膨張率	0.0352	0.0919	0.1750	0.2057	0.2119	0.2152	0.2193	0.2176	0.2205
			CR数	0.0	0.0	5.3	8.7	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0
		白モル	膨張率	0.0343	0.0744	0.1274	0.1507	0.1567	0.1579	0.1614	0.1609	0.1629
			CR数	0.0	0.0	6.3	8.7	10.0	11.3	11.3	11.3	11.3
	1.6	無被覆	膨張率	0.1948	0.3257	0.3781	0.3948	0.4093	0.4178	0.4181	0.4243	0.4283
			CR数	0.0	11.3	18.7	20.0	20.7	21.0	21.0	21.0	21.3
		白モル	膨張率	0.1812	0.2995	0.3674	0.3929	0.4031	0.4052	0.4072	0.4157	0.4190
			CR数	2.7	23.3	30.3	33.3	33.7	34.3	35.0	35.0	35.0

表4-10 A3骨材のクラック数測定結果(セメントのアルカリ量=0.65%)

養生 方法	アル カリ (%)	供試体 の 種 類	膨 張 率 (%) , ク ラ ッ ク 数 (個)									
			1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	20週	26週	
38℃ 湿 潤 養 生	0.8	無被覆	膨張率	0.0181	0.0233	0.0324	0.0407	0.0426	0.0452	0.0502	0.0595	0.0590
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		白モル	膨張率	0.0179	0.0238	0.0309	0.0405	0.0419	0.0478	0.0500	0.0595	0.0607
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.2	無被覆	膨張率	0.0255	0.0388	0.0636	0.1005	0.1395	0.1674	0.1995	0.2517	0.2705
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	16.3	27.0	32.0	34.3
		白モル	膨張率	0.0262	0.0388	0.0602	0.0848	0.1217	0.1415	0.1791	0.2286	0.2597
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	20.7	26.7	30.3	34.0
	1.6	無被覆	膨張率	0.0357	0.0724	0.1998	0.3086	0.3833	0.4191	0.4679	0.5150	0.5376
			CR数	0.0	0.0	1.0	11.0	21.0	24.7	30.3	33.7	34.7
		白モル	膨張率	0.0298	0.0664	0.2079	0.3231	0.3952	0.4253	0.4643	0.5126	0.5345
			CR数	0.0	0.0	10.0	36.7	52.7	55.0	57.7	57.7	58.3
60℃ 湿 潤 養 生	0.8	無被覆	膨張率	0.0350	0.0436	0.0467	0.0557	0.0579	0.0602	0.0636	0.0771	0.0833
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		白モル	膨張率	0.0316	0.0395	0.0428	0.0509	0.0528	0.0588	0.0581	0.0738	0.0743
			CR数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.2	無被覆	膨張率	0.0700	0.1043	0.1607	0.1995	0.2293	0.2453	0.2695	0.3553	0.4305
			CR数	0.0	0.0	4.7	8.7	12.7	16.0	18.3	26.0	33.0
		白モル	膨張率	0.0652	0.0955	0.1321	0.1693	0.1991	0.2126	0.2262	0.2914	0.3593
			CR数	0.0	0.0	8.0	15.7	18.3	23.0	27.7	34.7	40.0
	1.6	無被覆	膨張率	0.2524	0.3940	0.4760	0.5624	0.5931	0.6155	0.6350	0.6667	0.7922
			CR数	8.7	25.7	28.0	30.0	32.7	36.3	38.0	41.3	46.3
		白モル	膨張率	0.2372	0.3722	0.4486	0.5281	0.5524	0.5679	0.5795	0.6298	0.7271
			CR数	18.3	40.0	44.7	51.0	54.3	56.7	58.0	59.0	60.0

表4-11 円柱供試体クラック幅測定結果(セメントのアルカリ量=0.65%)

養生 方法	骨材 種類	アル カリ (%)	膨 張 量 (%) , ク ラ ッ ク 幅 (mm)									
				1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	20週	26週
38℃ 湿潤養生	A 1	0.8	膨張量	0.0067	0.0100	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0167	0.0167
			CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.2	膨張量	0.0133	0.0167	0.0300	0.0367	0.1467	0.3300	0.5233	0.8000	0.8833
			CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.00	1.50	2.50	2.75
		1.6	膨張量	0.0167	0.0333	0.5167	0.8100	0.9100	0.9900	1.0367	1.0767	1.1233
			CR幅	0.00	0.20	1.60	2.25	2.70	2.95	3.05	3.08	3.40
	A 2	0.8	膨張量	0.0067	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0133	0.0133	0.0133
			CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.2	膨張量	0.0133	0.0233	0.0300	0.0300	0.0567	0.1333	0.2167	0.3933	0.4733
			CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.25	0.60	1.20	1.40
		1.6	膨張量	0.0133	0.0200	0.0233	0.0233	0.0633	0.1300	0.3000	0.5667	0.6900
			CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.40	1.00	1.80	2.35
	A 3	0.8	膨張量	0.0133	0.0233	0.0300	0.0333	0.0333	0.0333	0.0333	0.0367	0.0367
			CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.2	膨張量	0.0267	0.0367	0.0600	0.1233	0.2100	0.3133	0.4000	0.6267	0.6867
			CR幅	0.00	0.00	0.05	0.30	0.65	1.00	1.30	1.90	1.90
		1.6	膨張量	0.0200	0.0367	0.1167	0.2033	0.3033	0.4200	0.5267	0.7133	0.7867
			CR幅	0.00	0.00	0.33	0.65	1.10	1.20	1.35	2.38	2.58
60℃ 湿潤養生	A 1	0.8	膨張量	0.0067	0.0100	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0267	0.0267	0.0267
			CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.2	膨張量	0.0233	0.0233	0.0233	0.0233	0.0267	0.2433	0.5533	0.8400	0.8667
			CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	1.25	2.00	2.00
		1.6	膨張量	0.4500	0.5967	0.7333	0.7767	0.8233	0.8800	0.9333	1.1200	1.1367
			CR幅	1.00	1.80	2.15	2.35	2.35	2.45	2.55	2.88	2.88
	A 2	0.8	膨張量	0.0100	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
			CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.2	膨張量	0.0367	0.1200	0.3000	0.3567	0.3833	0.3900	0.4033	0.4033	0.4033
			CR幅	0.00	0.25	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
		1.6	膨張量	0.1800	0.3500	0.5133	0.5367	0.5700	0.5867	0.5900	0.6033	0.6033
			CR幅	0.35	0.80	1.20	1.60	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	A 3	0.8	膨張量	0.0200	0.0400	0.0433	0.0433	0.0433	0.0433	0.0433	0.0433	0.1100
			CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
		1.2	膨張量	0.0433	0.0933	0.2433	0.3300	0.4233	0.4833	0.5233	0.7300	0.8667
			CR幅	0.00	0.28	0.80	1.20	1.60	1.80	1.85	2.40	3.10
		1.6	膨張量	0.1667	0.3233	0.5567	0.6433	0.7533	0.7967	0.8300	0.9933	1.0767
			CR幅	0.50	0.90	1.60	2.40	3.05	3.05	3.20	3.80	4.00

表 4-12 クラックが観察された材令

供試体種類	アルカリ量 (%)	クラックが観察された材令 (週)					
		38℃ 湿潤養生			60℃ 湿潤養生		
		A1	A2	A3	A1	A2	A3
無格覆	0.8	無	無	無	無	無	無
	1.2	13	13	8	10	4	4
	1.6	2	10	4	1	2	1
白毛ル	0.8	無	無	無	無	無	無
	1.2	無	20	8	20	4	4
	1.6	2	10	4	1	1	1
円柱	0.8	無	無	無	無	無	26
	1.2	8	8	4	10	2	2
	1.6	2	8	4	1	1	1

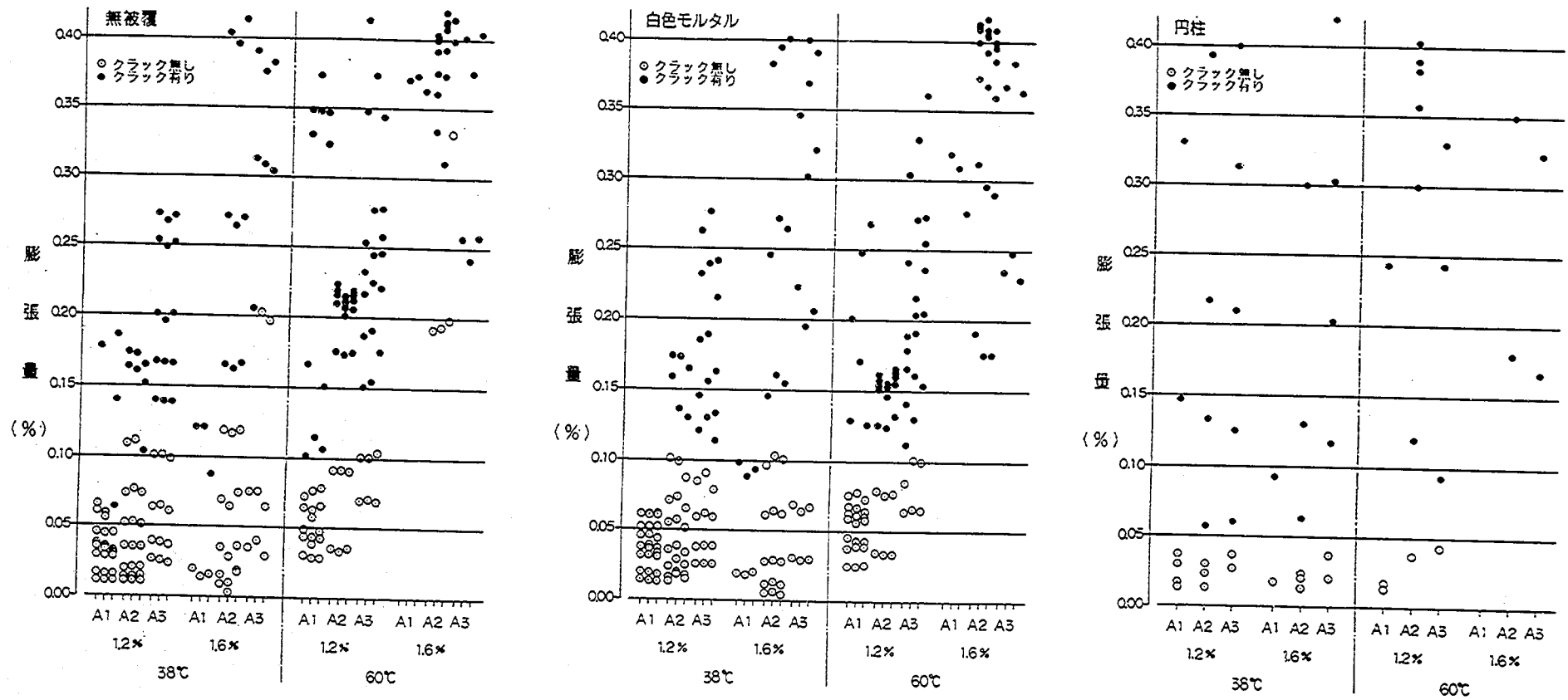


図 4-9 クラックが発生した時の膨張量

② 膨張量とクラック数の関係（無被覆方法，白色モルタル法）

図 4-10 に，養生条件別の膨張量とクラック数の関係を示す。

測定データでの膨張量とクラック数の関係を示したものであるが，無被覆方法，白色モルタル法ともに，骨材の種類，アルカリ量によって傾向に若干の差が見られるが，全体的には，膨張量とクラック数の間に相関があるように思われる。

まず，無被覆方法については，右上りの傾向を示しているが，データのバラツキが大きすぎ，相関を求めるには無理があるように思われる。

このバラツキの原因としては，無被覆方法は表面が打ちっばなしとなるため，クラックが発生しても微細なものは発見しにくい点があげられる。

次に，白色モルタル法については，直線関係が得られるような傾向があるため，一次回帰を行ったところ，38℃湿潤養生，60℃湿潤養生ともに高い相関を示しており，膨張量とクラック数の間には，直線関係があるものと思われる。

図 4-11 は，38℃湿潤養生と 60℃湿潤養生を同一グラフ上にプロットしたものであるが，白色モルタル法については，同様に高い相関が得られている。

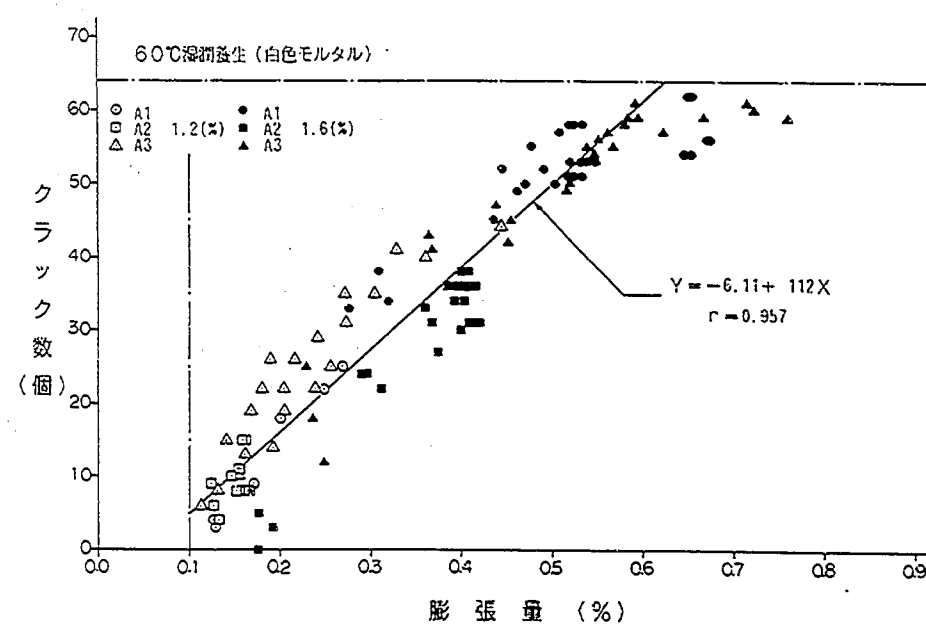
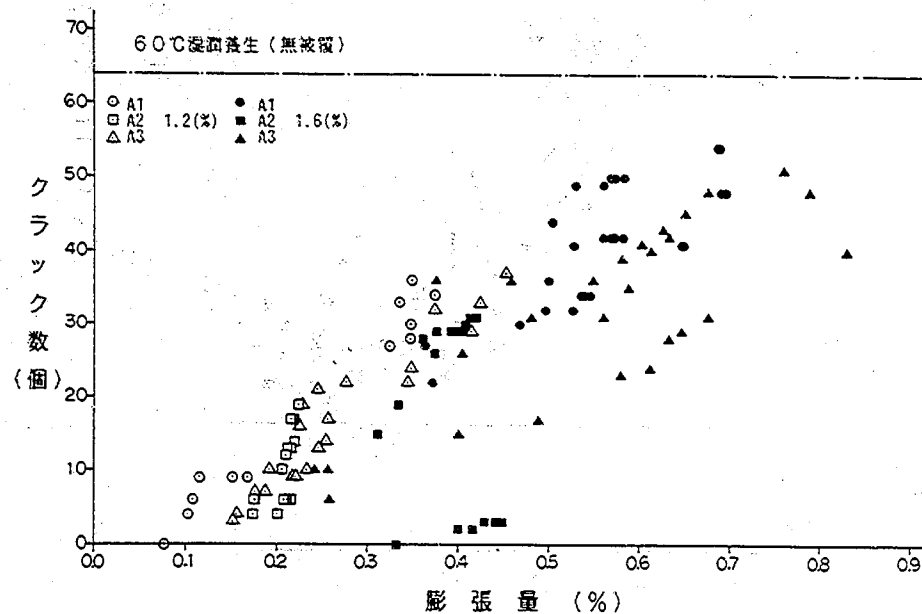
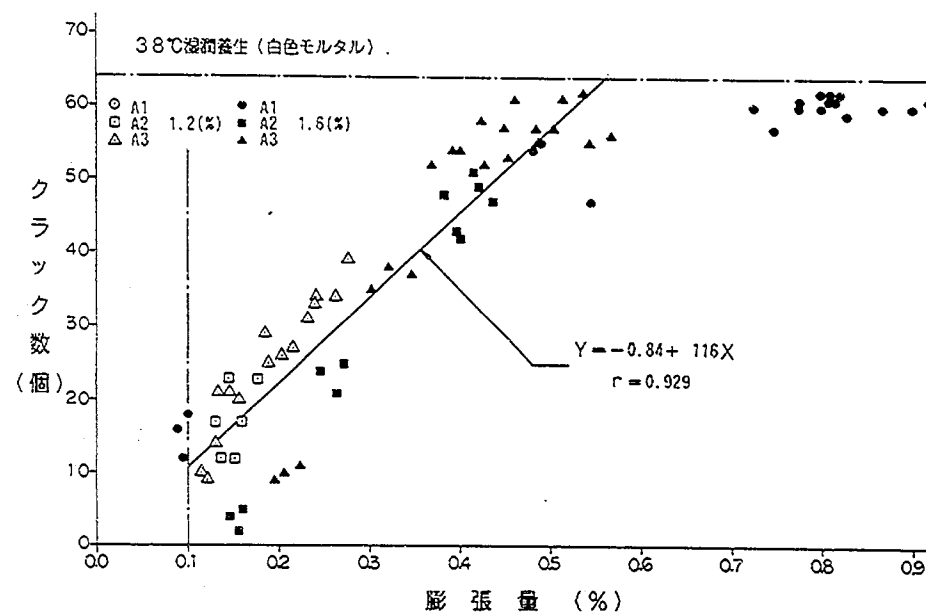
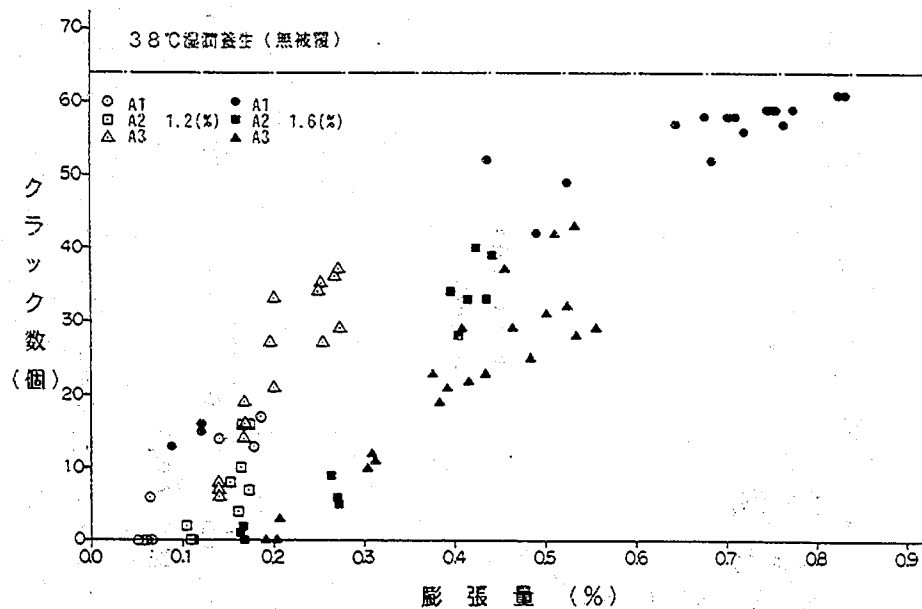


図4-10 膨張量とクラック数の関係

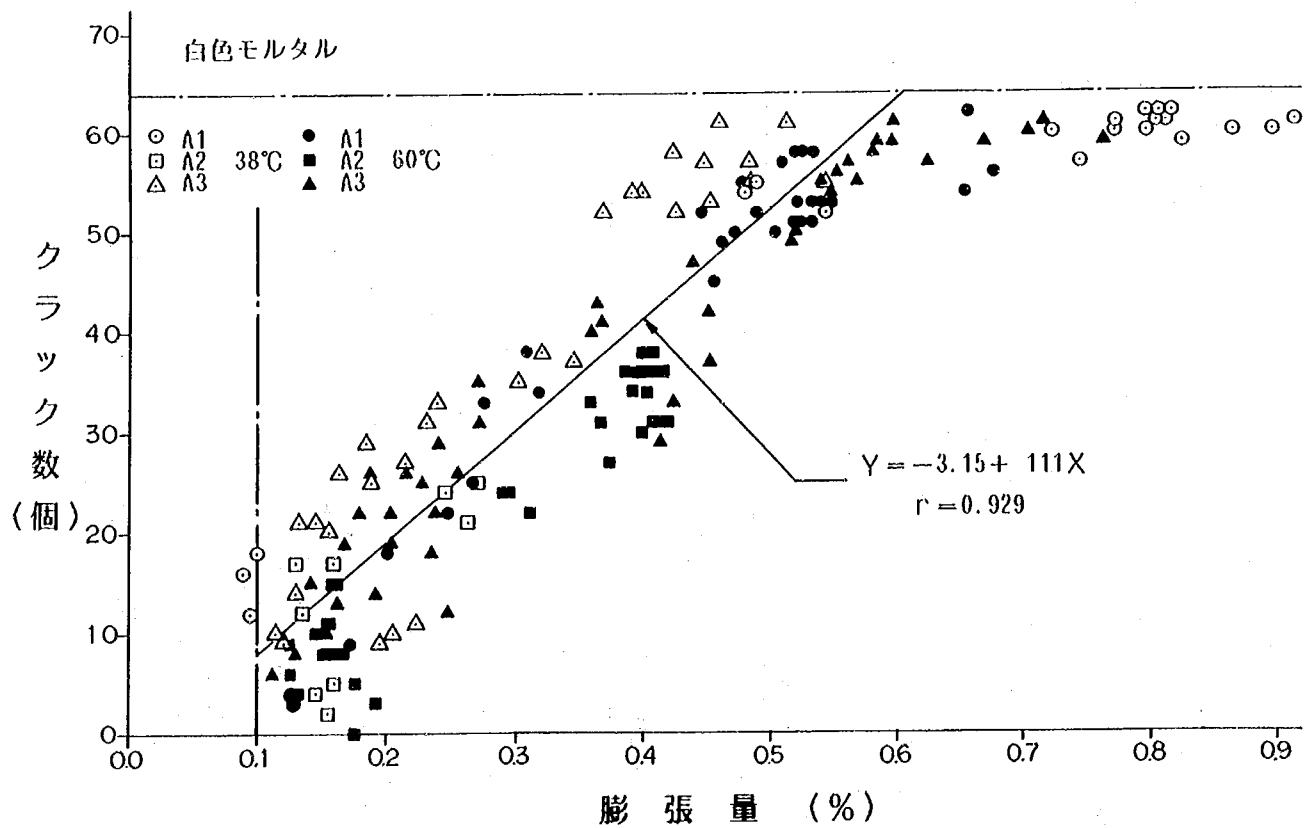
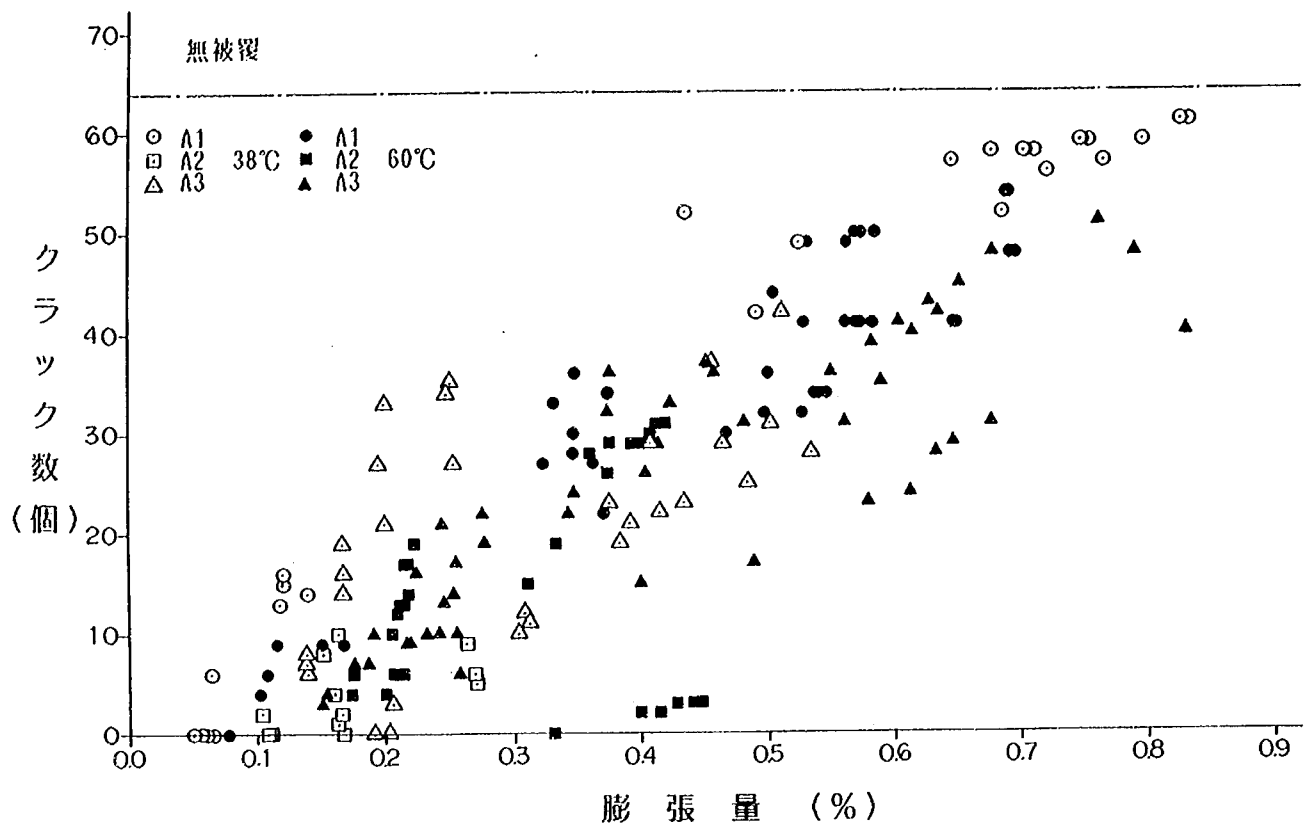


図 4-11 膨張量とクラック数の関係

③ 膨張量とクラック幅の関係（円柱供試体方法）

図4-12に、養生条件の膨張量とクラック幅の関係を示す。

膨張量とクラック幅の関係は、回りの健全材料が全く膨張することがなく、付着もなく、変形も起こさないと仮定するならば、円周方向の伸びは、すべてクラック幅となって現われることとなる。

式で表示すると、（円周長）×（膨張量）＝（クラック幅）となる。

$$\begin{aligned}(100 \text{ mm} \times \pi) \times (X/100) &= \pi X (\text{mm}) \\ &= 3.14 X (\text{mm})\end{aligned}$$

X：膨張量（％）

図4-13は、38℃湿潤養生、60℃湿潤養生を行った場合の膨張量とクラック幅の関係であるが、いずれも高い相関を示しており、一次回帰式の傾きも3.1、3.4と円周率 π に近い値を示しており、膨張量がほぼクラック幅となって現れていると考えられる。

また、Y切片の値については、実際には付着や変形がゼロではないので、それらの数値があわさった形で、あらわれているものと思われる。

図4-13は、38℃湿潤養生と60℃湿潤養生によるものを同一グラフ上にプロットしたものであるが、同様に高い相関が得られている。

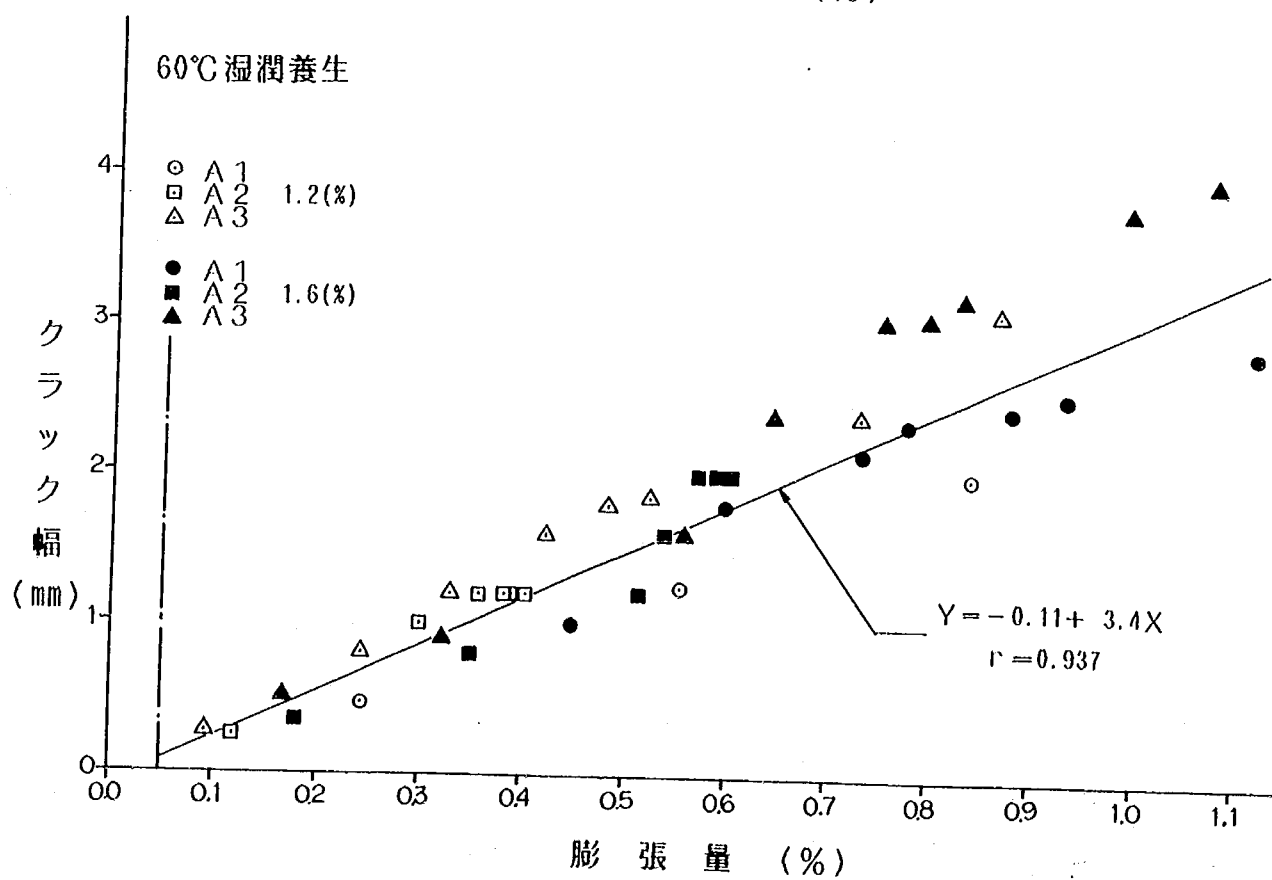
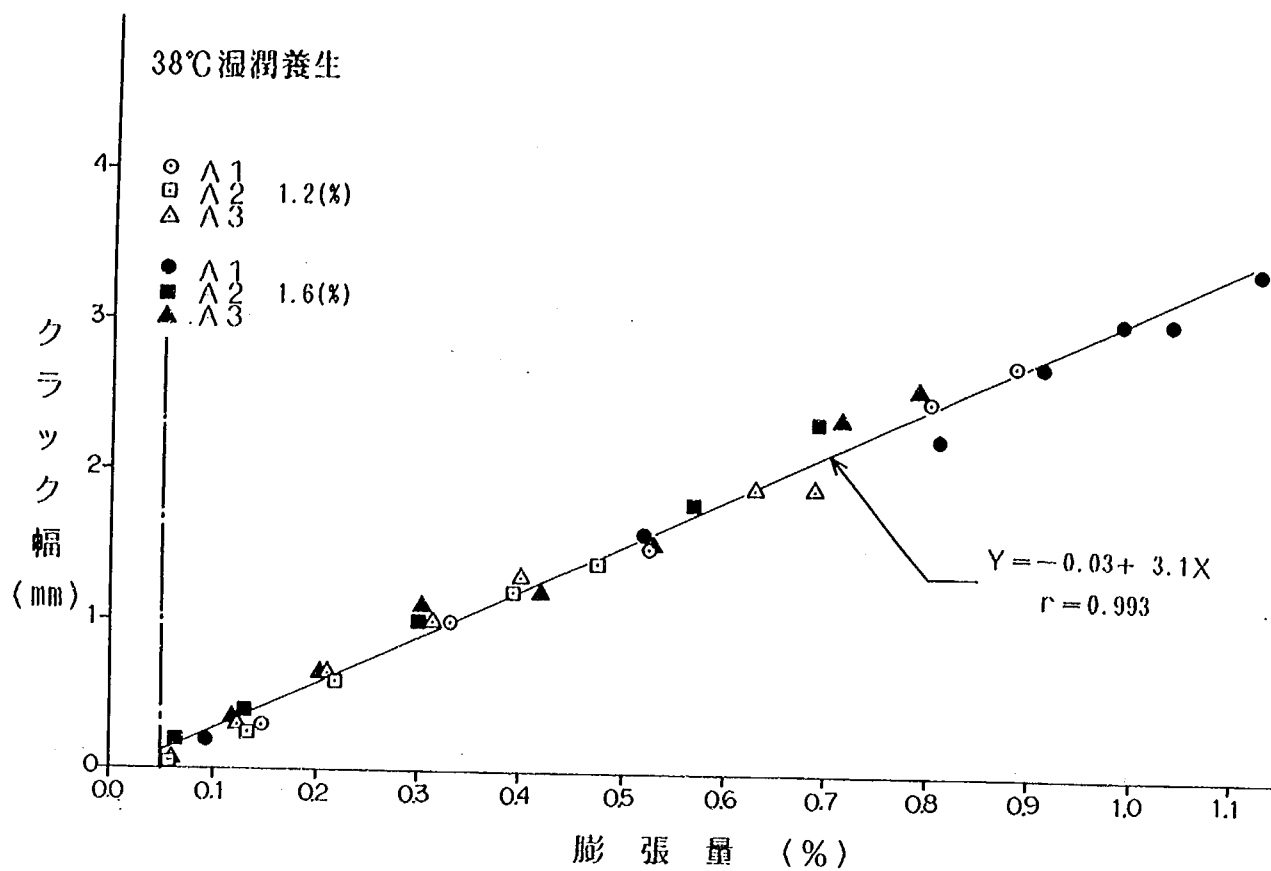


図4-12 膨張量とクラック幅の関係

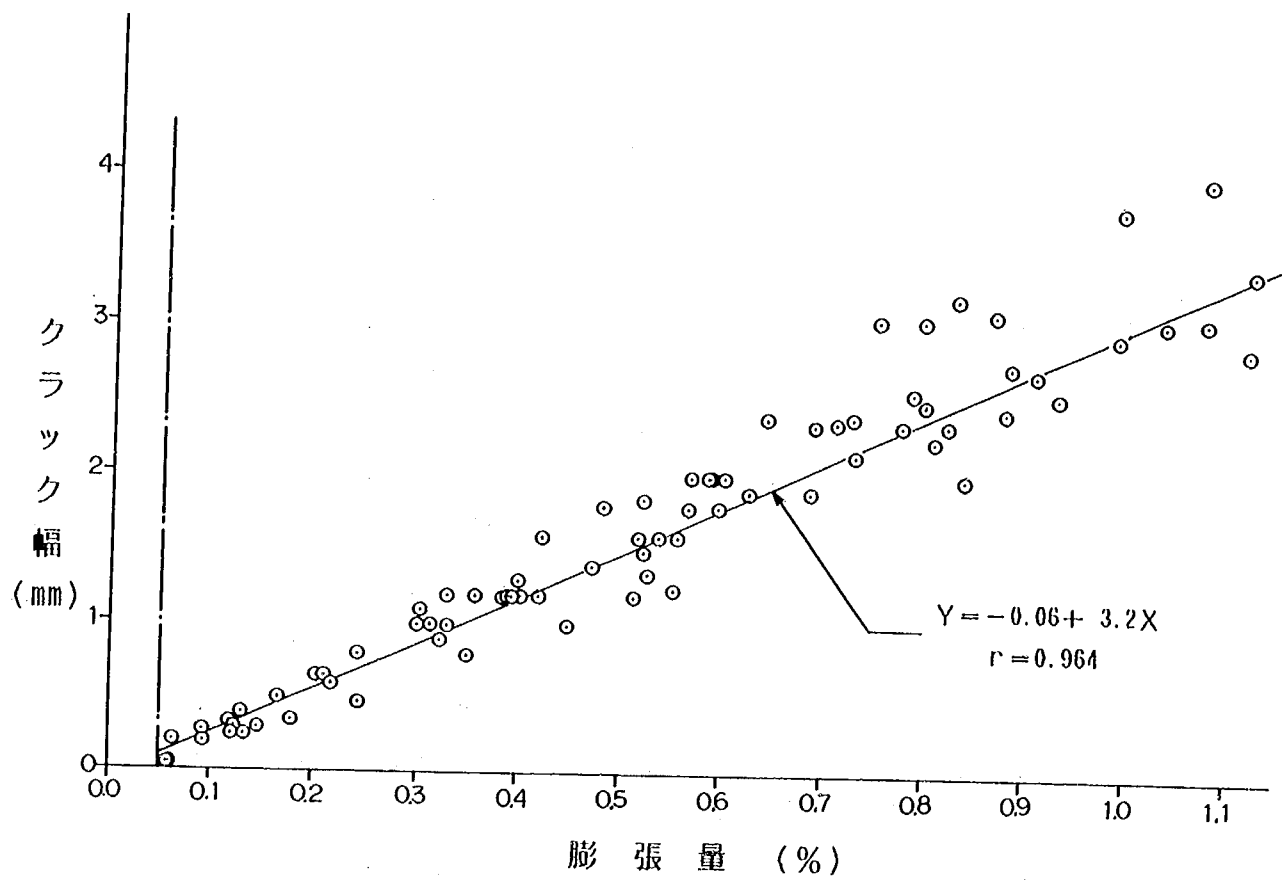


図 4-13 膨張量とクラック幅の関係

3) 60℃湿潤養生による促進状況

図4-14～図4-16に材令と膨張量の関係を、図4-17～図4-19に材令26週における膨張量を100(%)とした時の各材令の膨張率の関係を示す。

図4-14～図4-16より、どの供試体とも60℃湿潤養生を実施することにより、38℃湿潤養生に比較して、骨材の種類、アルカリ量によって傾向は異なるが促進状況を示しており、特に、材令初期における膨張量が大きくなっている。

通常、高温による促進養生を行った場合、材令初期の膨張量は大きくなるが、長期材令での膨張量は、低温で養生を行った場合の方が大きくなるとされているが、本実験の材令26週の範囲では、A1骨材のアルカリ量=1.6(%)とA2骨材の円柱供試体方法の部分に一部そのような傾向が見られるのみで、逆にA3骨材のように、養生温度の高い方が膨張量も大きくなるという傾向を示している場合もある。また、膨張量の逆転がみられる場合でも、その差は、材令26週で、38℃湿潤養生による材令26週の膨張量の20(%)以下であるので、全体的には、大きな値ではないと思われる。

次に、図4-17～図4-19により、膨張状況をアルカリ量別に比較すると、アルカリ量=0.8(%)の場合には、いずれの供試体の膨張量も小さく、また、給水膨張の影響を大きく受けるためか、ほとんど膨張状況の差は見られない。一部、A3骨材の円柱供試体方法の膨張傾向が他のものと異なっているが、これは60℃湿潤養生の材令26週でクラックが発生し、膨張量が急に大きくなったためである。

アルカリ量=1.2(%)、1.6(%)の場合の60℃湿潤養生による促進状況は、ほぼ同様であり、もっとも急激な膨張状況を示しているのはA2骨材で、材令4週で80(%)、6週でほぼ100(%)の膨張率を示している。

A1骨材、A3骨材については、材令4週までの60℃湿潤養生の膨張率は2倍程度になっているが、その後の膨張率は、38℃湿潤養生とほぼ同様となっている。

一部、A1骨材、アルカリ量=1.2(%)の無被覆方法、白色モルタル法の膨張状況が他のものと異なっているが、これは、クラックの有無、クラックの発生時期による膨張量の差によるものである。

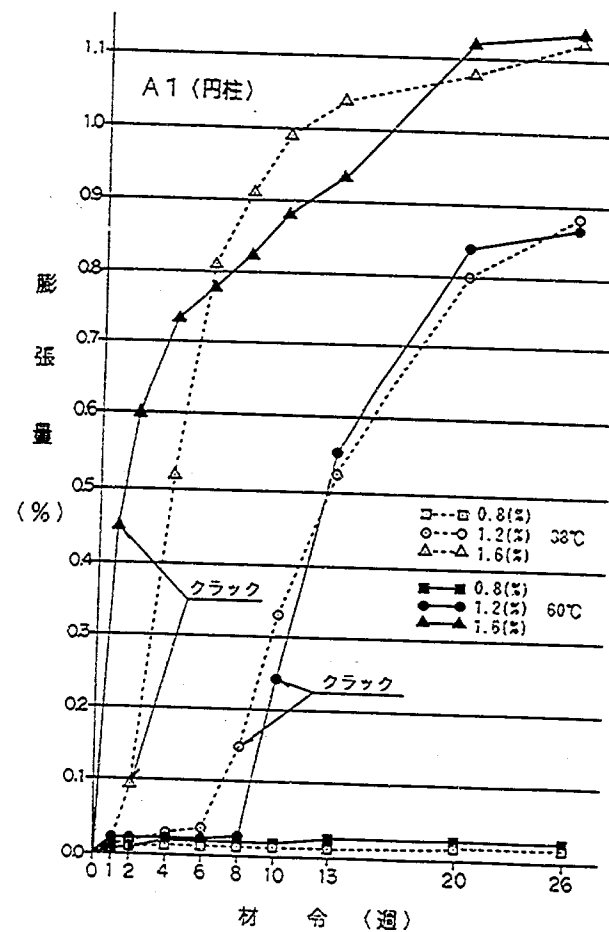
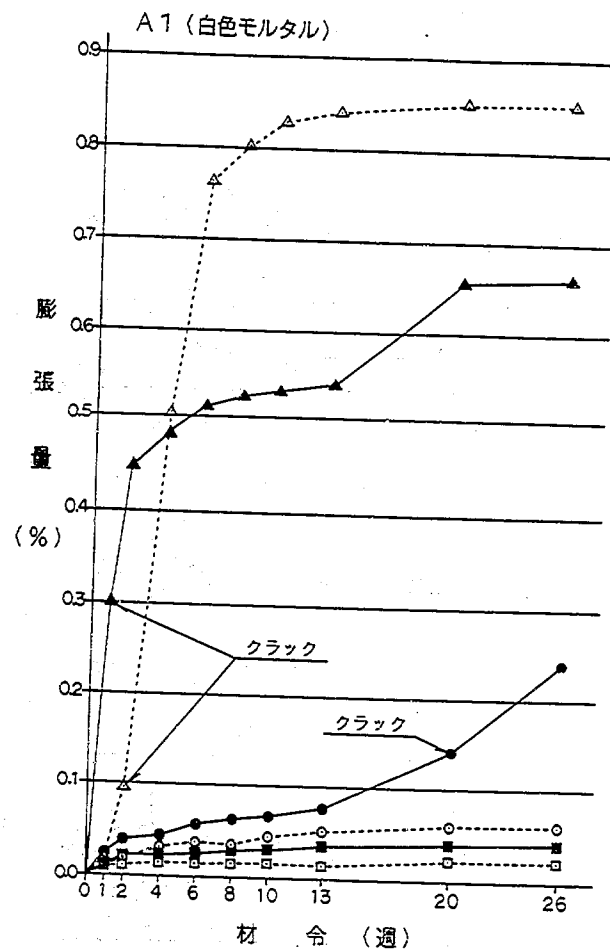
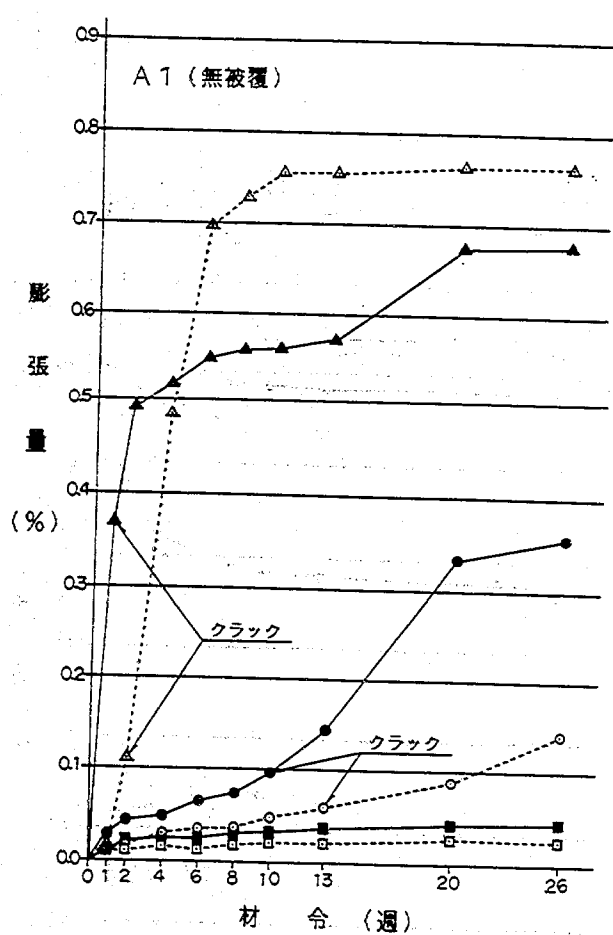


図 4-14 材令と膨張量の関係

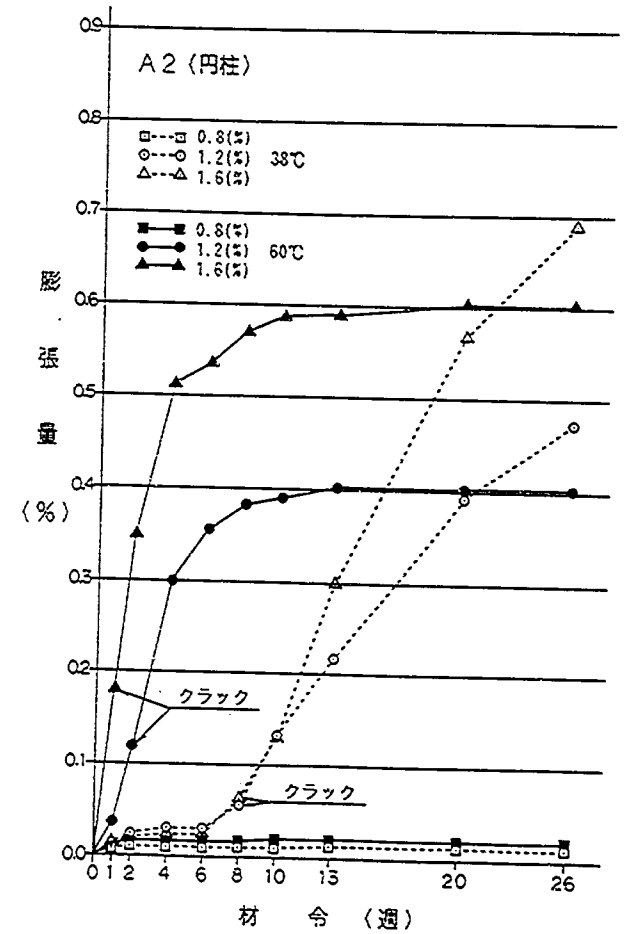
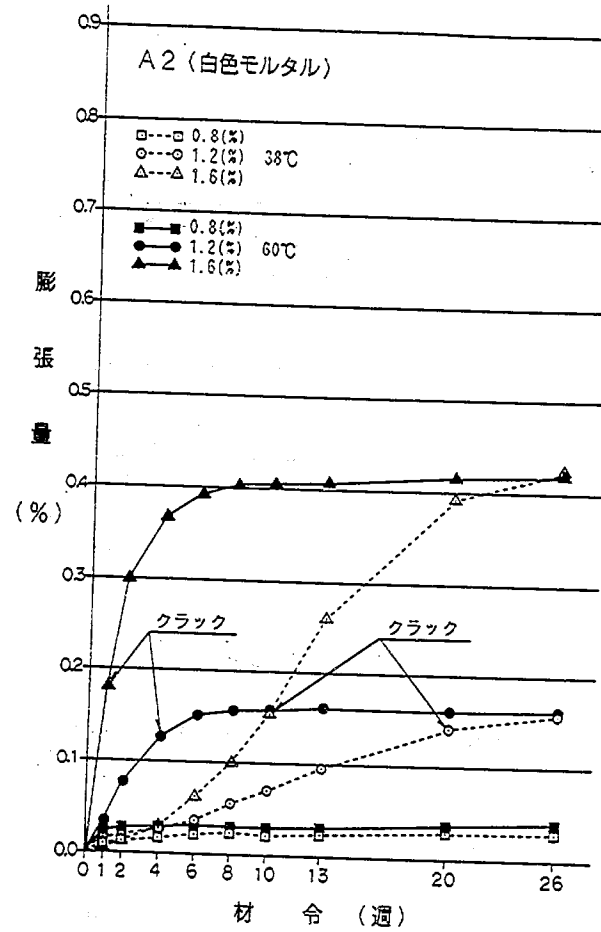
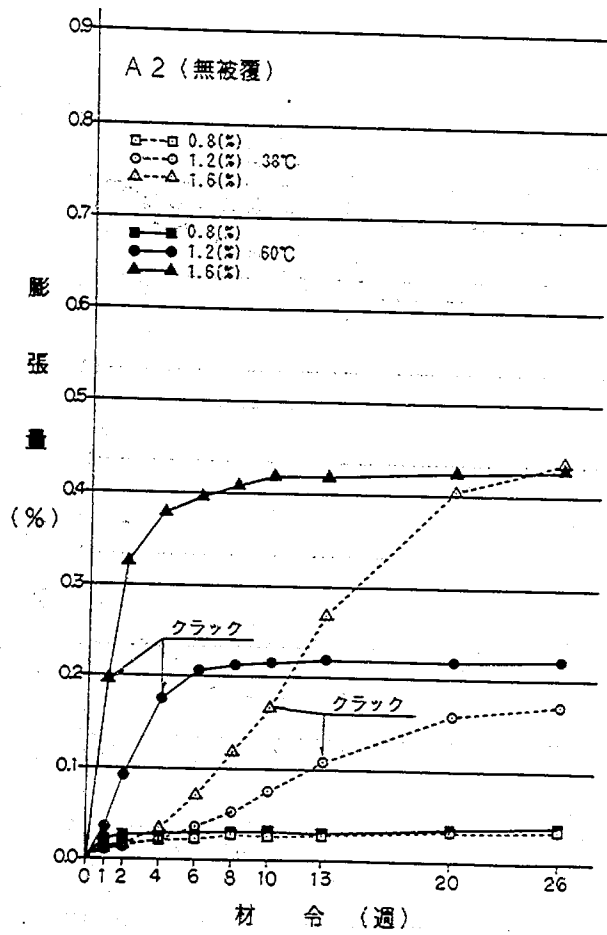


図 4-15 材令と膨張量の関係

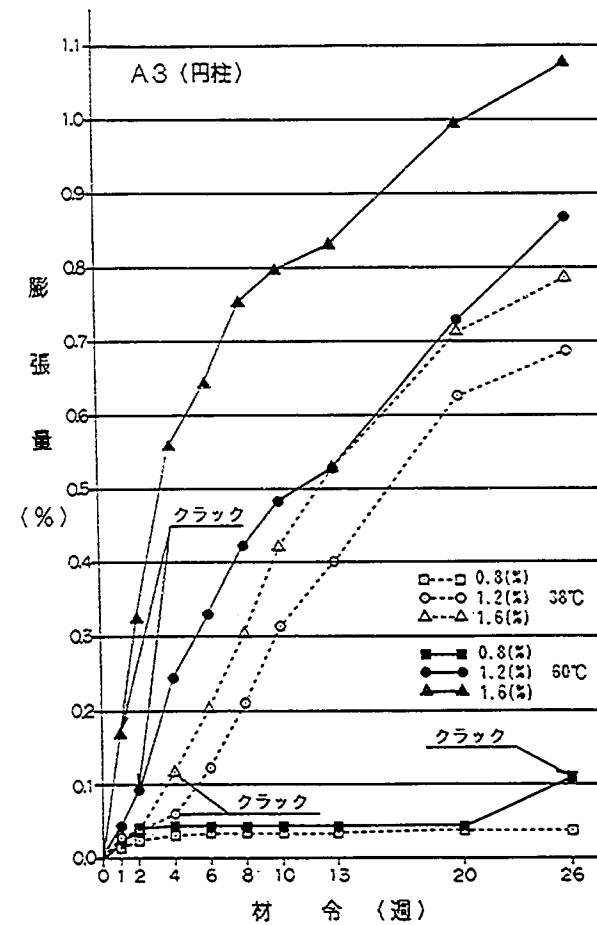
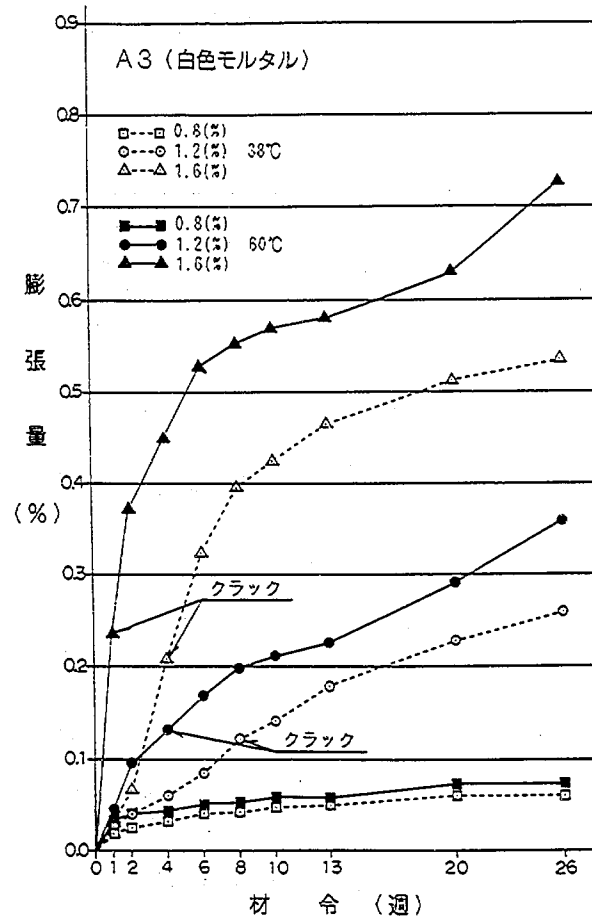
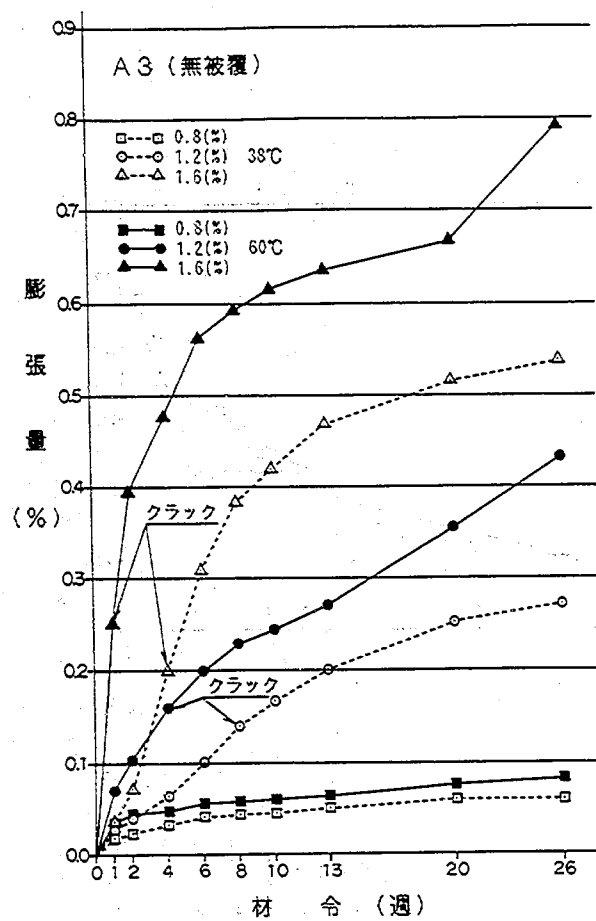


図 4-16 材令と膨張量の関係

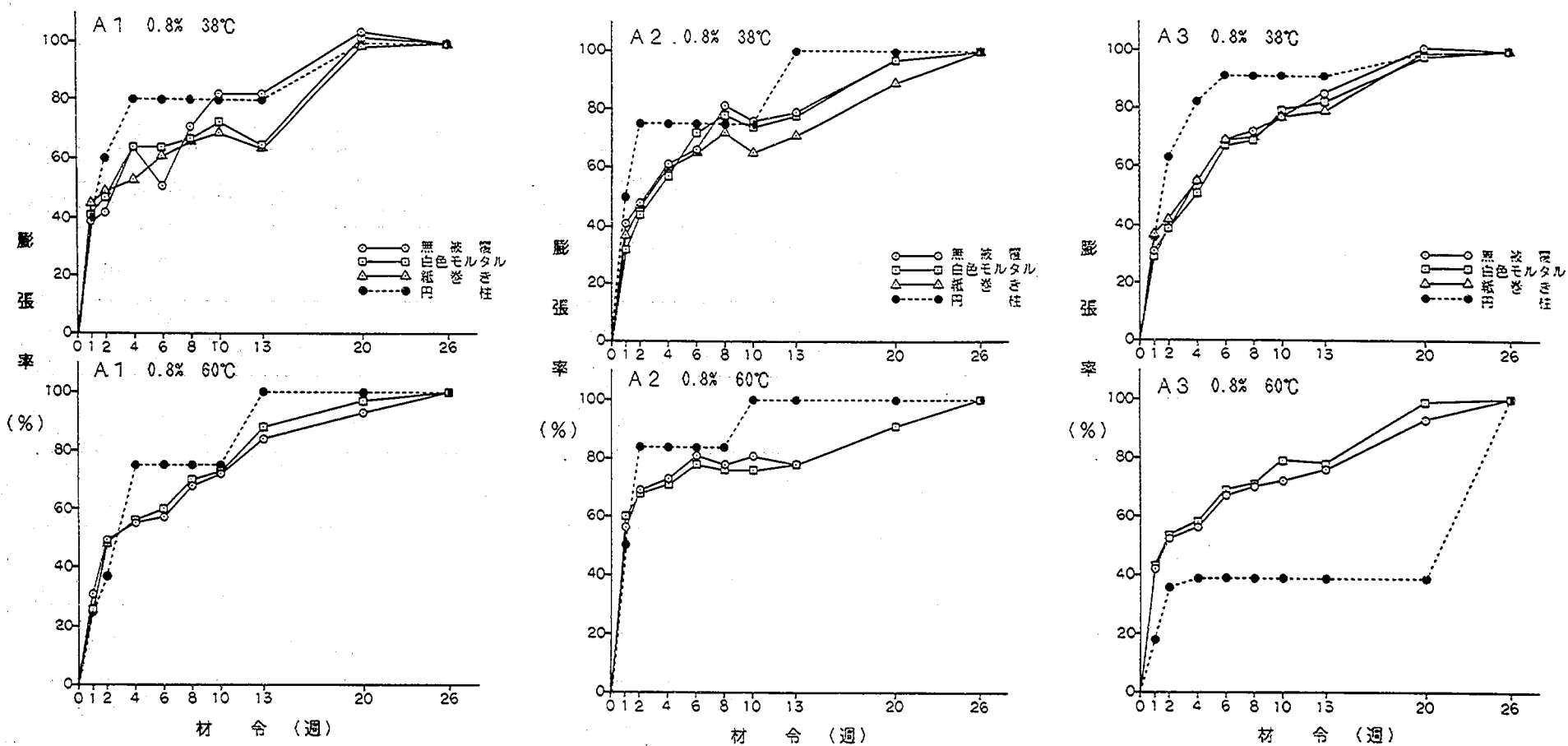


図 4-17 材令と膨張率の関係 (アルカリ量 = 0.8%)

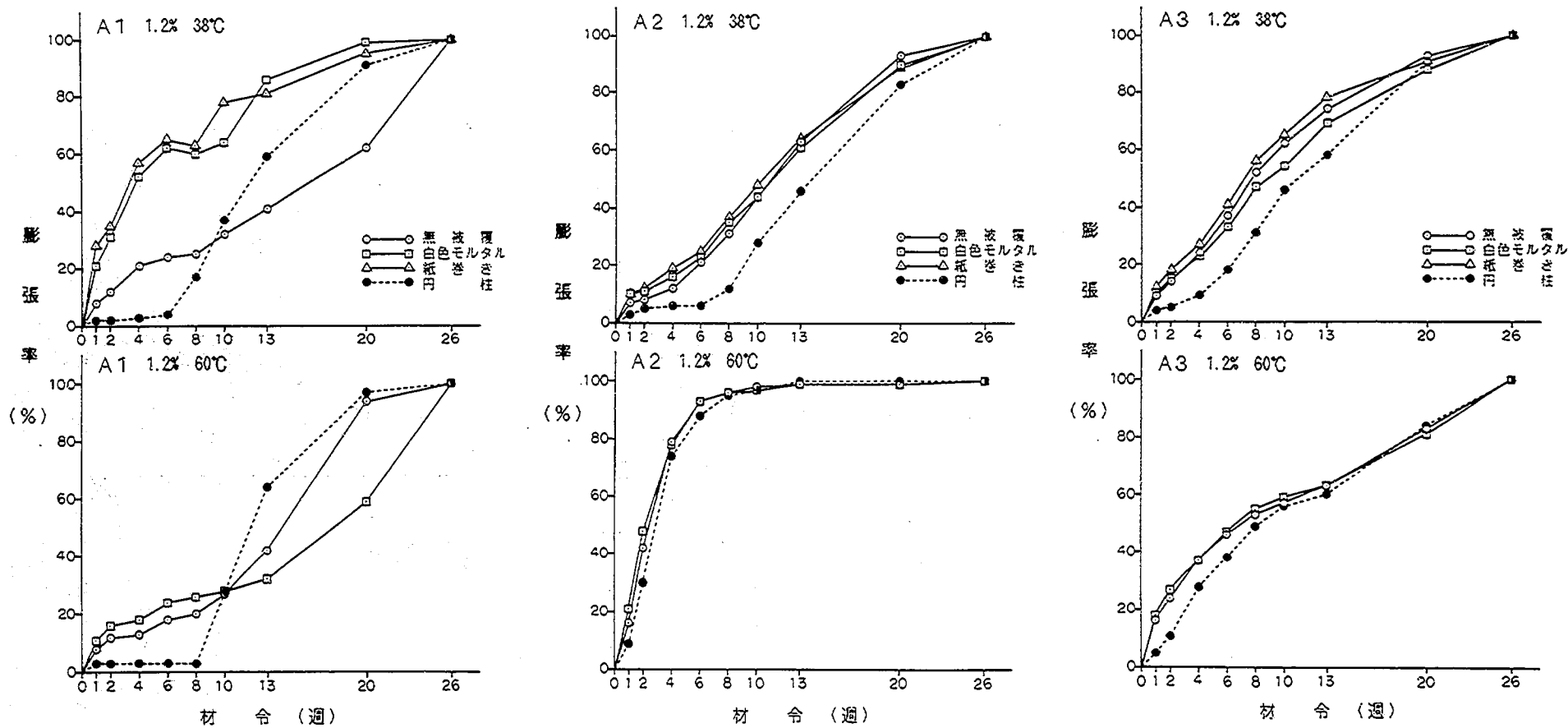


図 4-18 材令と膨張率の関係 (アルカリ量 = 1.2%)

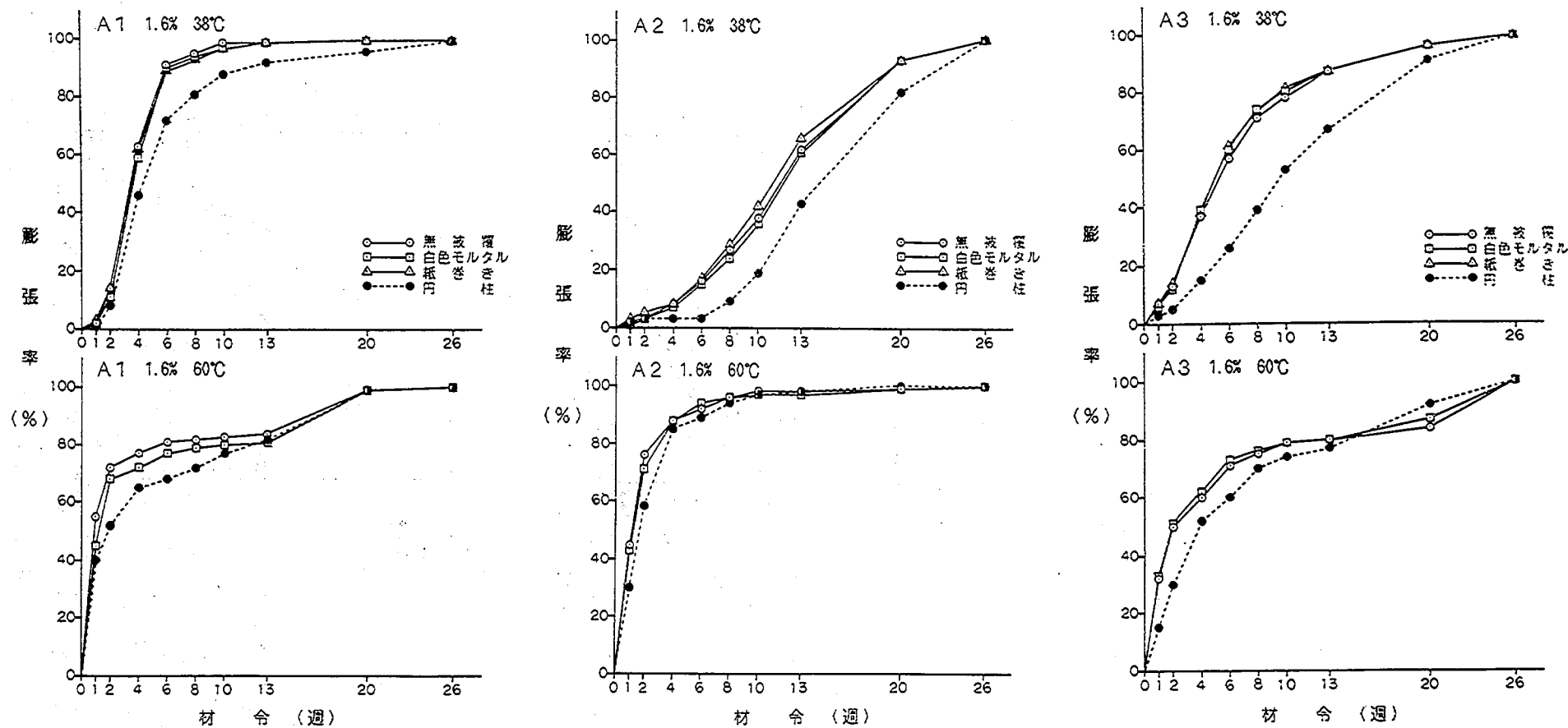


図 4-19 材令と膨張率の関係 (アルカリ量 = 1.6 %)

4) アルカリ量調整試薬の添加量の影響

表4-13, 図4-20に, アルカリ量=0.31(%), 0.65(%)のセメントを用いて, NaOHによりアルカリ量=1.2(%)に調整し, 60℃湿潤養生を行った場合の材令と膨張量の関係を示す。

本実験は, 『膨張量は, 全アルカリ量よりも添加した試薬アルカリの影響を大きく受ける。』(参考文献2)との報告があったため, 促進方法の一部として実施したものである。

図4-20より, 材令初期における膨張量は, いずれの骨材もアルカリ調整試薬の添加量の多いものの方が, 大きくなる傾向を示している。

また, 長期材令については, 現在, 材令13週の測定までしか終了していないため断定はできないが, A2骨材の結果より推定するかぎりにおいては, アルカリ量調整試薬の添加量が異なっても, 全アルカリ量が同じであれば, ほぼ同様の膨張量となるようである。

表4-13 アルカリ量=0.31%のセメントを使用した時の膨張量測定結果

骨材 種類	供試体 の 種 類	膨 張 量 (%)								
		1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	20週	26週
A1	白モル	0.0379	0.0457	0.0528	0.0591	0.0659	0.0724	0.0914		
	円 柱	0.0333	0.0367	0.0633	0.4367	0.6833	0.7600	0.8600		
A2	白モル	0.0741	0.1379	0.1541	0.1545	0.1557	0.1567	0.1588		
	円 柱	0.0767	0.2200	0.3100	0.3267	0.3300	0.3367	0.3433		
A3	白モル	0.0800	0.1378	0.2216	0.2467	0.2598	0.2664	0.2734		
	円 柱	0.0900	0.2233	0.4400	0.5300	0.5933	0.6667	0.7800		

(注) アルカリ量=1.2(%), 60℃湿潤養生

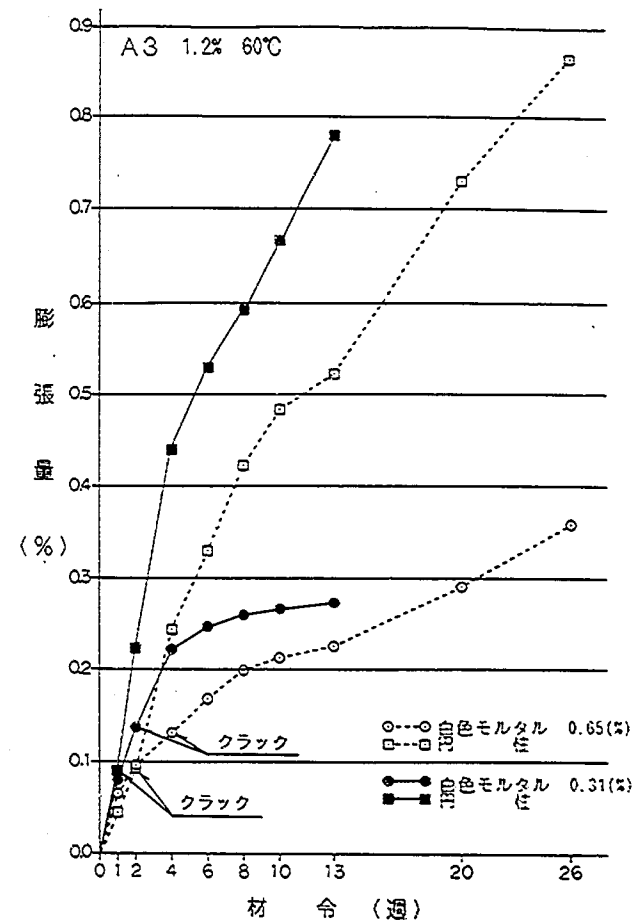
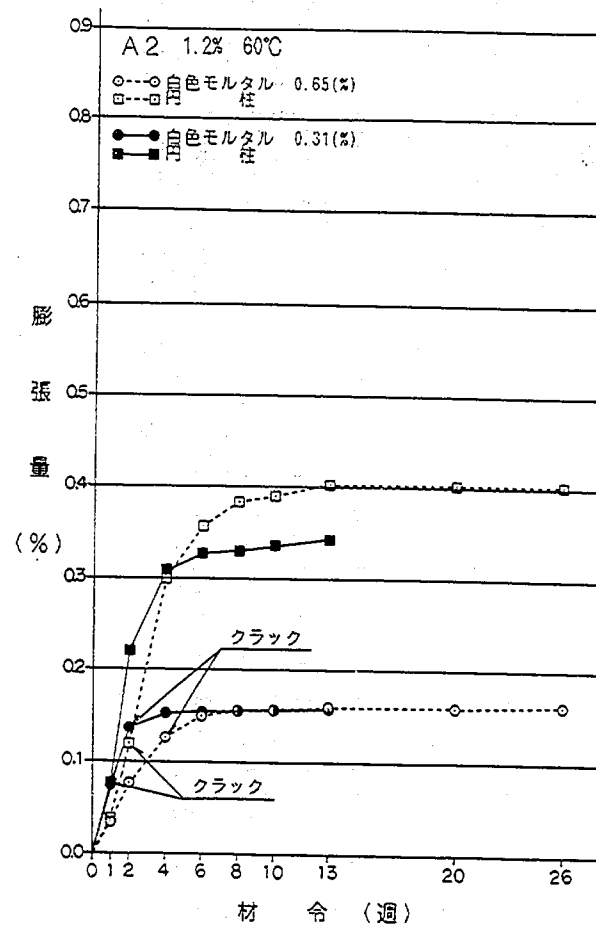
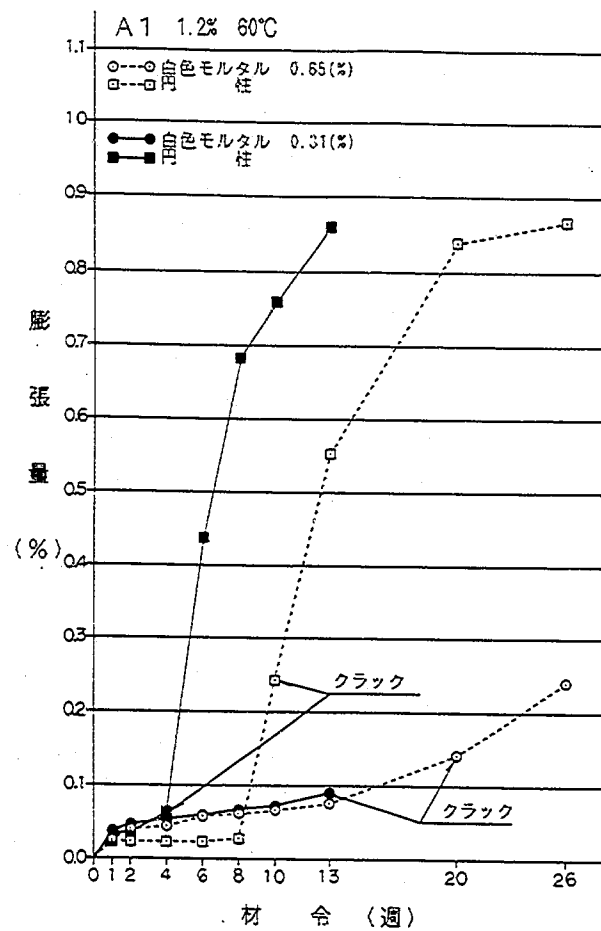


図 4-20 材令と膨張量の関係 (セメントのアルカリ量 = 0.31%, 0.65%)

4-5 まとめ

以上の結果をまとめると、次のとおりである。

- 1) 無被覆方法及び白色モルタル法による膨張状況は、建設省暫定案モルタルバー法（紙巻き方法）による膨張状況とほぼ同様である。
- 2) 円柱供試体方法による膨張状況は、建設省暫定案モルタルバー法（紙巻き方法）による膨張状況と比較して、膨張速度、膨張量ともに、きわめて大きい。
- 3) 白色モルタル法は、骨材の種類、アルカリ量、養生温度に関係なく、約 0.10(%)（建設省暫定案モルタルバー法による材令 6 ヶ月の判定基準）の膨張量でクラックが発生し、クラック発生後は、膨張量とクラック数の間に高い相関があり、クラック数を測定することにより膨張量を推定することができる。
- 4) 円柱供試体方法は、骨材の種類、アルカリ量、養生温度に関係なく、約 0.05(%)（建設省暫定案モルタルバー法による材令 3 ヶ月の判定基準）の膨張量でクラックが発生し、クラック発生後は、膨張量とクラック幅の間に高い相関があり、クラック幅を測定することにより膨張量を推定することができる。
- 5) 骨材の種類によって促進状況はことなるが、60℃湿潤養生を行うことにより、38℃湿潤養生に比較して、初期材令での膨張を促進することが可能である。
また、材令 26 週の長期材令においても、38℃湿潤養生の場合とほぼ同様の膨張量を示した。
- 6) 低アルカリ量のセメントを使用してアルカリ量調整試薬の量を多くした場合には、全アルカリ量が同一であっても、材令初期における膨張量は促進される傾向にある。

§ 5 円柱供試体法（ダブルシリンダー）検討実験

モルタル実験の結果より，簡易試験方法としての適応の可能性が大きいと判定された円柱供試体方法（以下ダブルシリンダー法）について，モルタル及びコンクリートのアルカリ骨材による有害な膨張の有無の判定方法としての適応を目的とし，主にコンクリートに対しての実験を実施した。

5-1 実験条件及び実験方法

1) Series - I（モルタルのアルカリ量の検討）

モルタル実験ではアルカリ調整試薬の量を多くすることにより，材令初期の膨張を促進させ，早期にクラックを発生させることが可能であることがわかった。この実験でその適切なアルカリ量及び養生条件を検討する。

(1) 実験条件

- ① 使用骨材；A 1，A 2，A 3（反応性骨材）
- ② セメントのアルカリ量；0.65（％）
- ③ アルカリ量；0.8，1.2，1.6（％）
- ④ アルカリ調整試薬；NaOH
- ⑤ 養生条件；38℃湿潤養生，60℃湿潤養生，80℃湿潤養生
- ⑥ 測定材令；2週，4週，6週，8週，10週，13週，4ヶ月，5ヶ月，6ヶ月
- ⑦ 健全材料；普通モルタル（普通セメント：水：富士川砂＝1：0.5：2.25）

(2) 実験方法

① モルタル配合

配合は，建設省暫定案モルタルバー法に準拠する。

（セメント：水：骨材＝1：0.5：2.25）

② 供試体の作製方法

φ10×20cm円柱型枠に反応性骨材を用いたモルタルを打設し，翌日，φ15×30cm円柱型枠の中心に供試体をセットし，その回りに健全材料を打設する。健全材料は，無害骨材を用いた普通モルタルである。

③ 養生方法

供試体をビニール袋に入れ，適量の水（供試体の底面より3～5cm）を加え密閉後，各養生条件で養生を行う。

④ 測定項目

膨張量（直径変化），クラック観察，クラック幅

⑥ 測定方法

供試体のクラック観察，及び，膨張量の測定を行う。膨張量の測定方法は， π テープを用い供試体の高さ 5，10，15 cm の 3 ケ所で直径の 1/100 mm まで測定し，その平均値を膨張量とする。

2) Series - II (コンクリートの養生条件，アルカリ量の検討)

Series - I で使用した 3 種の骨材を粗骨材，富士川砂を細骨材としてたコンクリート供試体で養生条件，アルカリ量を変化させ，膨張状況，膨張量とクラックの関係について把握する。

(1) 実験条件

- ① 使用骨材；粗骨材……A 1，A 2，A 3（反応性骨材）
細骨材……富士川砂（無害骨材）
- ② セメントのアルカリ量；0.65 (%)
- ③ アルカリ量；3，4，5，6 (kg)
- ④ アルカリ調整試薬；NaOH
- ⑤ 養生条件；38℃湿潤養生，60℃湿潤養生，80℃湿潤養生
- ⑥ 測定材令；2週，4週，6週，8週，10週，13週，4ヶ月，5ヶ月，6ヶ月
- ⑦ 健全材料；普通モルタル（普通セメント：水：富士川砂＝1：0.5：2.25）

(2) 実験方法

① コンクリート配合

コンクリートの配合を表 5 - 1 に示す。

表 5 - 1 コンクリート配合表 (Series - II)

骨材種類	骨材最大寸法 (mm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位重量 (kg)			
					セメント	水	粗骨材	細骨材
A 1	20	2.0	55.0	45.0	300	165	1002	855
A 2	20	2.0	55.0	45.0	300	165	1049	855
A 3	20	2.0	55.0	45.0	300	165	1045	855

② 供試体の練り混ぜ方法

練り混ぜは，50 リットルの強制練りミキサーを用いて，全材料投入後 2 分間練り混ぜた。

③ 供試体の作製方法

$\phi 10 \times 20$ cm 円柱型枠に反応性骨材を用いたコンクリートを打設し，翌日， $\phi 15 \times 30$

cm円柱型枠の中心に供試体をセットし、その回りに健全材料を打設する。

④ 養生方法

Series - I (モルタルのアルカリ量の検討) 参照。

⑤ 測定項目

Series - I (モルタルのアルカリ量の検討) 参照。

⑥ 測定方法

Series - I (モルタルのアルカリ量の検討) 参照。

3) Series - III (コンクリートでのアルカリ試薬、アルカリ量の検討)

セメント量を 300 kg と 400 kg としコンクリート中のアルカリ量を変化させ、アルカリ調整試薬の量との膨脹状況について確認するとともに、NaCl, NaOH を比較しその促進効果について検討する。

(1) 実験条件

① 使用骨材；粗骨材……A 4 (反応性骨材), A 5 (無害骨材)

細骨材……富士川砂 (無害骨材)

② セメントのアルカリ量；0.65 (%)

③ アルカリ調整試薬量；3, 4, 5 (kg)

④ アルカリ調整試薬；NaOH, NaCl

⑤ 単位セメント量；300 kg, 400 kg

⑥ 養生方法；60℃湿潤養生

⑦ 測定材令；2週, 4週, 6週, 8週, 10週, 13週, 20週, 26週

⑧ 健全材料；普通モルタル (普通セメント：水：富士川砂 = 1 : 0.5 : 2.25)

(2) 実験方法

① コンクリート配合

コンクリートの配合を表 5-2 に示す。

表 5-2 コンクリート配合表 (Series - III)

粗骨材 種類	骨材最大 寸法 (mm)	空気量 (%)	水セメン ト比 (%)	細骨材率 (%)	アルカリ 調整試薬	単位重量 (kg)			
						セメント	水	粗骨材	細骨材
A 5	20	2.0	55.0	45.0	NaCl	300	165	1057	849
A 4	20	2.0	55.0	45.0	NaCl	300	165	1081	849
A 4	20	2.0	55.0	45.0	NaOH	300	165	1081	849
A 4	20	2.0	42.5	42.0	NaCl	400	170	1081	751

② 供試体の練り混ぜ方法

Series - II (コンクリートの養生条件, アルカリ量の検討) 参照。

③ 供試体の作製方法

Series - II (コンクリートの養生条件, アルカリ量の検討) 参照。

④ 養生方法

Series - I (モルタルのアルカリ量の検討) 参照。

⑤ 測定項目

Series - I (モルタルのアルカリ量の検討) 参照。

⑥ 測定方法

Series - I (モルタルのアルカリ量の検討) 参照。

4) Series - IV (健全部厚についての検討)

供試体と健全部は、弾性係数の等しい弾性体であり、軸方向応力は、0であると仮定すると供試体が α だけ膨張した場合に健全部の円周方向に発生するひずみ ϵ は、中心からの距離 r の位置で次式のようになる。

$$\epsilon = \frac{\alpha}{2r_2^2} \left\{ (1-\nu) r_1^2 + (1+\nu) \frac{r_1^2 r_2^2}{r^2} \right\}$$

ここに r_1 : 内部モルタル境界の半径

r_2 : 外部モルタルの外半径

ν : ポアソン比

この式より健全部の厚さを薄くすることにより、 α がより小さいときにクラックが発生すると推測される。このことは、早期判定を可能とすることからその確認を行う。尚、供試体は、反応性骨材を使用したモルタル供試体とした。

(I) 実験条件

① 使用骨材 ; A 4 (反応性骨材)

② セメントのアルカリ量 ; 0.65 (%)

③ アルカリ量 ; 1.2 (%)

④ アルカリ調整試薬 ; NaOH

⑤ 養生条件 ; 38℃湿潤養生, 60℃湿潤養生

⑥ 測定材令 ; 2週, 4週, 6週, 8週, 10週, 13週

⑦ 健全材料 ; 普通モルタル (普通セメント : 水 : 富士川砂 = 1 : 0.5 : 2.25)

⑧ 健全部の厚さ ; 5, 1.5, 2.5 (cm)

(2) 実験方法

実験方法については，Series - I（モルタルのアルカリ量の検討）を参照。

5-2 使用材料

1) セメント

① 普通ポルトランドセメント

アルカリ量 = 0.65 (%)

2) 骨 材

実験に使用した骨材の岩石学的分類，化学法，モルタルバー法の試験結果を表 5-4 に示す。

表 5-4 岩石学的分類，化学法，モルタルバー法試験結果

骨材種類	岩石学的分類	化 学 法 結 果			モルタルバー法結果		
		Rc	Sc	判 定	3ヶ月	6ヶ月	判 定
A 1	ワカバ質輝石安山岩	196	845	潜在的有害	0.2419	0.3514	有 害
A 2	チャート	22	98	有 害	0.0962	0.1395	有 害
A 3	輝石安山岩	112	209	潜在的有害	0.2052	0.2640	有 害
A 4	輝石安山岩	81	267	有 害	0.3805	0.4638	有 害
A 5	硬質砂岩	—	—	—	—	—	無 害

また，表 5-5 には比重，吸水率の試験結果を示す。

表 5-5 比重，吸水率試験結果

骨材種類	比 重	吸水率 (%)
A 1	2.50	3.05
A 2	2.57	0.96
A 3	2.61	0.93
A 4	2.73	1.55
A 5	2.67	0.70

3) 練り混ぜ水

イオン交換水

4) アルカリ調整試薬

① NaOH

② NaCl (食塩: NaCl 99%以上)

5-3 結果及び考察

1) Series - I (モルタルのアルカリ量の検討)

表5-6に膨張量測定結果を、表5-7にクラックが観察された材令を示す。また、図5-2~図5-3には材令と膨張量の関係を示す。

図5-2~図5-3に示すように、38℃湿潤養生ではアルカリ量が大きいほど膨張量は大きい傾向である。アルカリ量0.8%ではほとんど膨張しておらず、材令26週においてもクラックは確認されていない。アルカリ量1.2%と1.6%では、1.6%が膨張量は大きい傾向であるが表5-7に示すようにクラックが確認できる材令はほぼ同じである。

60℃湿潤養生の促進養生を行った場合でも、アルカリ量0.8%ではクラックは確認されなかった。しかし、38℃湿潤養生では、アルカリ量1.2%と1.6%のクラックを観察できる材令は差が認められなかったが、高温による促進養生を行うことにより材令初期の膨張が促進されアルカリ量1.6%では、各骨材とも1.2%より早期にクラックが確認されている。その材令は、表5-7に示すように材令1週と促進試験法として適用可能な結果である。

以上のことから、モルタルでは60℃湿潤養生、アルカリ量1.6%の条件では材令1週でクラックを発生させることが可能である結果が得られた。

しかし、ここで使用した骨材はモルタルバー法で膨張量の大きい骨材であり、6ヶ月で1000μ程度の膨張量の小さい骨材での確認が必要である。また、60℃湿潤養生でアルカリ量を大きくすることは無害骨材でも膨張が促進され、クラックが発生することも考えられ合せて無害骨材での確認が必要とする。

表 5 - 6 膨張量測定結果 (Series - I)

養生条件	骨材種類	アルカリ量 (%)	膨 張 率 (%)								
			1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13 週	20週	26週
38 ℃ 湿潤養生	A 1	0.8	0.0067	0.0100	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0167	0.0167
		1.2	0.0133	0.0167	0.0300	0.0367	0.1467	0.3300	0.5233	0.8000	0.8833
		1.6	0.0167	0.0933	0.5167	0.8100	0.9100	0.9900	1.0367	1.0767	1.1233
	A 2	0.8	0.0067	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0133	0.0133	0.0133
		1.2	0.0133	0.0233	0.0300	0.0300	0.0567	0.1333	0.2167	0.3933	0.4733
		1.6	0.0133	0.0200	0.0233	0.0233	0.0633	0.1300	0.3000	0.5667	0.6900
	A 3	0.8	0.0133	0.0233	0.0300	0.0333	0.0333	0.0333	0.0333	0.0367	0.0367
		1.2	0.0267	0.0367	0.0600	0.1233	0.2100	0.3133	0.4000	0.6267	0.6867
		1.6	0.0200	0.0367	0.1167	0.2033	0.3033	0.4200	0.5267	0.7133	0.7867
60 ℃ 湿潤養生	A 1	0.8	0.0067	0.0100	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0267	0.0267	0.0267
		1.2	0.0233	0.0233	0.0233	0.0233	0.0267	0.2433	0.5533	0.8400	0.8867
		1.6	0.4500	0.5967	0.7333	0.7767	0.8233	0.8800	0.9333	1.1200	1.1367
	A 2	0.8	0.0100	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
		1.2	0.0367	0.1200	0.3000	0.3567	0.3833	0.3900	0.4033	0.4033	0.4033
		1.6	0.1800	0.3500	0.5133	0.5367	0.5700	0.5867	0.5900	0.6033	0.6033
	A 3	0.8	0.0200	0.0400	0.0433	0.0433	0.0433	0.0433	0.0433	0.0433	0.7922
		1.2	0.0433	0.0933	0.2433	0.3300	0.4233	0.4833	0.5233	0.7300	0.7271
		1.6	0.1667	0.3233	0.5567	0.6433	0.7533	0.7967	0.8300	0.9933	1.0707

表 5 - 7 クラックが観察された材令 (Series - I)

アルカリ量 (%)	38℃湿潤養生			60℃湿潤養生		
	A 1	A 2	A 3	A 1	A 2	A 3
0.8	無	無	無	無	無	26週
1.2	8週	8週	4週	10週	2週	2週
1.6	2週	8週	4週	1週	1週	1週

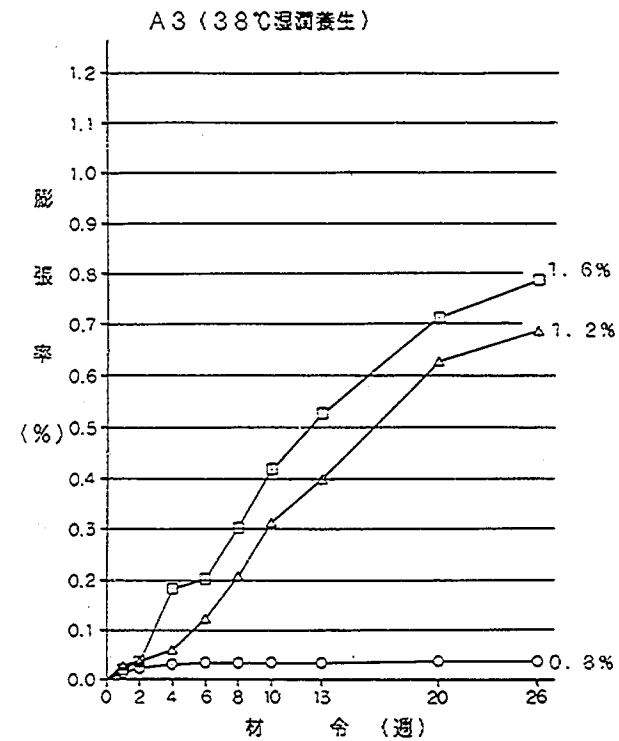
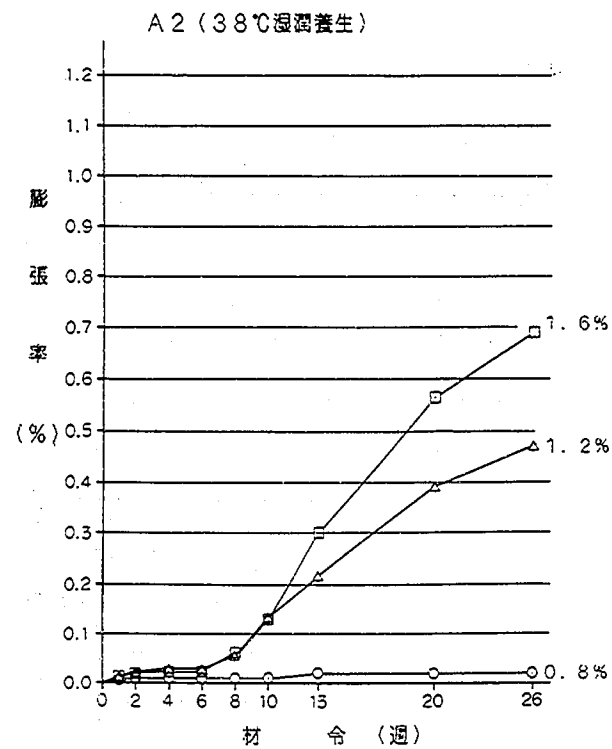
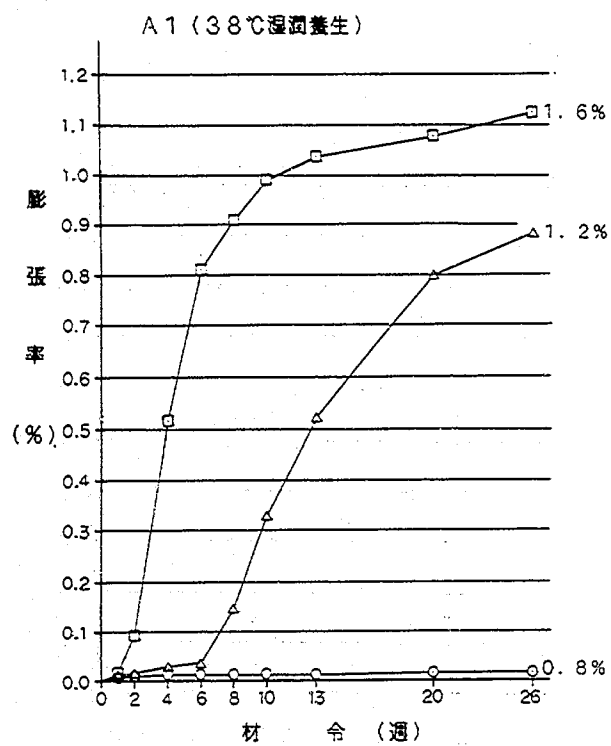


図 5-2 材令と膨張率の関係 (Series - I)

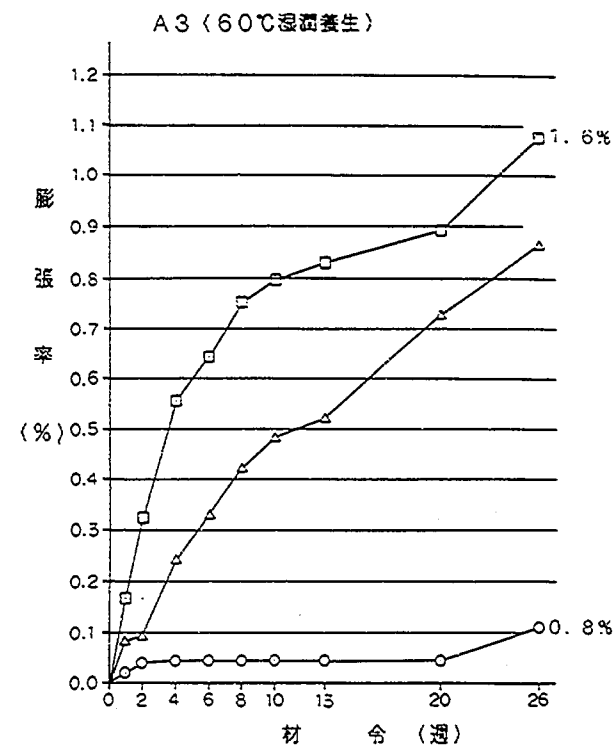
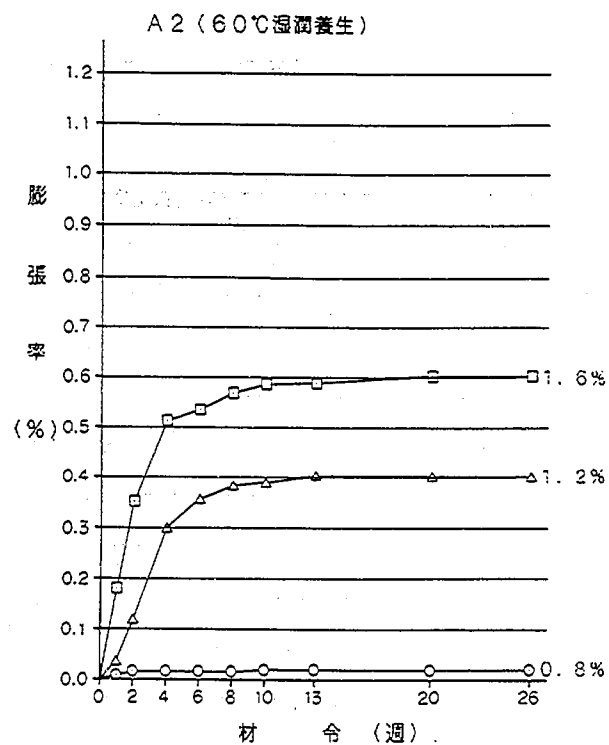
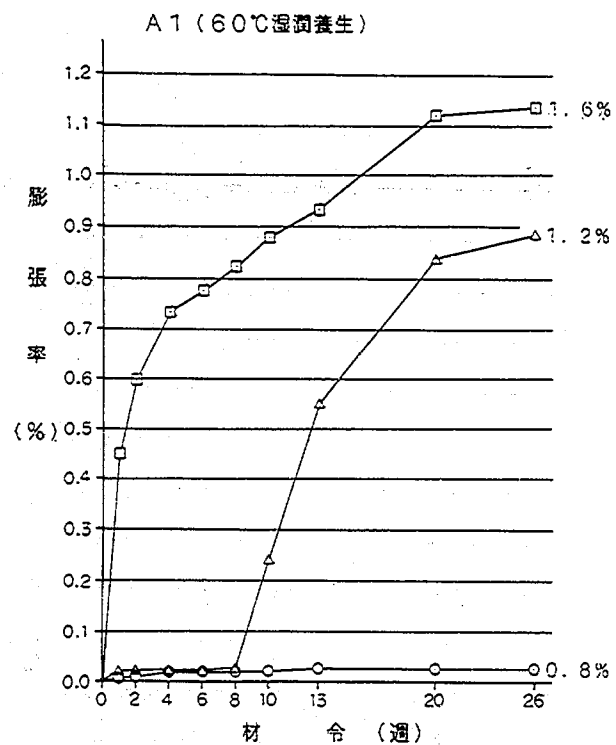


図 5-3 材令と膨張率の関係 (Series - I)

2) Series - II (コンクリートの養生条件, アルカリ量の検討)

① アルカリ量と膨張量の関係

クラックが確認された材令を表5-8に, 膨張量測定結果を表5-9に示す。また, 材令と膨張量の関係を骨材別に図5-4~図5-6に示す。

材令と膨張量の関係はモルタル同様, アルカリ量が大きいほど膨張量が大きくなる傾向を示している。しかし, アルカリ量5kg以下では, クラックが発生しているのはA3骨材の38℃湿潤養生のみであり, 60℃, 80℃促進養生ではクラックは観察されていない。

表5-8に示すようにアルカリ量6kgでは, A2, A3骨材については各養生条件でクラックが観察されており, 60℃促進養生では材令4週でクラックが観察された。しかし, モルタルではクラックが確認されたA1骨材は, いずれの条件でもクラックは観察されていない。A1骨材は, モルタルのアルカリ量が1.2%のケースで, A2, A3骨材は材令2週でクラックが発生したが, この骨材は材令10週と遅れて発生している。しかし, アルカリ量が1.6%と大きくすることでA2, A3骨材と同じ材令1週でクラックが発生していることから, コンクリートでもアルカリ量を大きくすることでクラックを発生させることは可能と思われる。

以上のことから, 有害骨材を使用したコンクリートでクラックを発生させるのには, アルカリ量は6kgより大きくしなければならないと思われる。

表5-8 クラックが確認された材令

骨材種類	モルタル			コンクリート			
	アルカリ量	養生条件		アルカリ量	養生条件		
		38℃	60℃		38℃	60℃	80℃
A1	0.8%	無	無	3kg	無	無	無
	1.2%	8週	10週	4kg	無	無	無
	1.6%	2週	1週	5kg	無	無	無
	—	—	—	6kg	無	無	無
A2	0.8%	無	無	3kg	無	無	—
	1.2%	8週	2週	4kg	無	無	無
	1.6%	8週	1週	5kg	無	無	無
	—	—	—	6kg	13週	4週	無
A3	0.8%	無	26週	3kg	無	無	—
	1.2%	4週	2週	4kg	無	無	無
	1.6%	4週	1週	5kg	4ヶ月	無	無
	—	—	—	6kg	8週	4週	4週

表5-9 膨張量測定結果 (Series - II)

骨材 種類	養生 温度	アル カリ (Kg)	膨 張 量 (%)								
			2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月
A 1	38℃	3	0.0044	0.0100	0.0111	0.0111	0.0167	0.0189	0.0189	0.0189	
		4	0.0067	0.0111	0.0133	0.0144	0.0144	0.0156	0.0156	0.0156	
		5	0.0078	0.0133	0.0189	0.0189	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	
		6	0.0078	0.0144	0.0189	0.0211	0.0233	0.0233	0.0233	0.0244	
	60℃	3	0.0122	0.0156	0.0156	0.0156	0.0189	0.0189	0.0189	0.0200	
		4	0.0100	0.0156	0.0178	0.0189	0.0200	0.0211	0.0211	0.0211	
		5	0.0122	0.0167	0.0189	0.0200	0.0233	0.0256	0.0267	0.0267	
		6	0.0155	0.0233	0.0244	0.0289	0.0344	0.0389	0.0389	0.0389	
	80℃	3	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	
		4	0.0167	0.0233	0.0233	0.0233	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	
		5	0.0200	0.0267	0.0267	0.0300	0.0300	0.0333	0.0333	0.0333	
		6	0.0200	0.0300	0.0300	0.0333	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	
A 2	38℃	3	0.0144	0.0211	0.0233	0.0256	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	
		4	0.0111	0.0156	0.0189	0.0200	0.0222	0.0234	0.0234	0.0234	
		5	0.0178	0.0233	0.0256	0.0300	0.0333	0.0356	0.0367	0.0378	
		6	0.0133	0.0200	0.0256	0.0289	0.0289	0.0400	0.1078	0.1711	
	60℃	3	0.0144	0.0222	0.0222	0.0233	0.0233	0.0244	0.0267	0.0278	
		4	0.0122	0.0178	0.0189	0.0200	0.0256	0.0267	0.0267	0.0267	
		5	0.0211	0.0289	0.0322	0.0344	0.0378	0.0389	0.0389	0.0389	
		6	0.0178	0.0322	0.0778	0.0978	0.1011	0.1078	0.1100	0.1100	
	80℃	4	0.0133	0.0200	0.0233	0.0267	0.0267	0.0267	0.0300	0.0400	
		5	0.0133	0.0267	0.0300	0.0333	0.0400	0.0433	0.0433	0.0433	
		6	0.0167	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0233	0.0333	0.0333	
		A 3	38℃	3	0.0189	0.0222	0.0244	0.0255	0.0255	0.0267	0.0267
4	0.0156			0.0189	0.0200	0.0200	0.0222	0.0233	0.0233	0.0233	
5	0.0178			0.0222	0.0278	0.0311	0.0345	0.0356	0.0478	0.0911	
6	0.0222			0.0267	0.0289	0.0411	0.0800	0.1278	0.2122	0.2767	
60℃	3		0.0133	0.0144	0.0155	0.0178	0.0178	0.0200	0.0200	0.0211	
	4		0.0167	0.0211	0.0245	0.0245	0.0278	0.0289	0.0289	0.0289	
	5		0.0233	0.0300	0.0333	0.0378	0.0378	0.0400	0.0400	0.0400	
	6		0.0200	0.0711	0.1089	0.1422	0.1633	0.1889	0.2078	0.2344	
80℃	4		0.0233	0.0267	0.0267	0.0300	0.0333	0.0333	0.0333	0.0333	
	5		0.0267	0.0300	0.0300	0.0333	0.0400	0.0400	0.0400	0.0433	
	6		0.0200	0.0633	0.0900	0.1067	0.1233	0.1333	0.1367	0.1433	

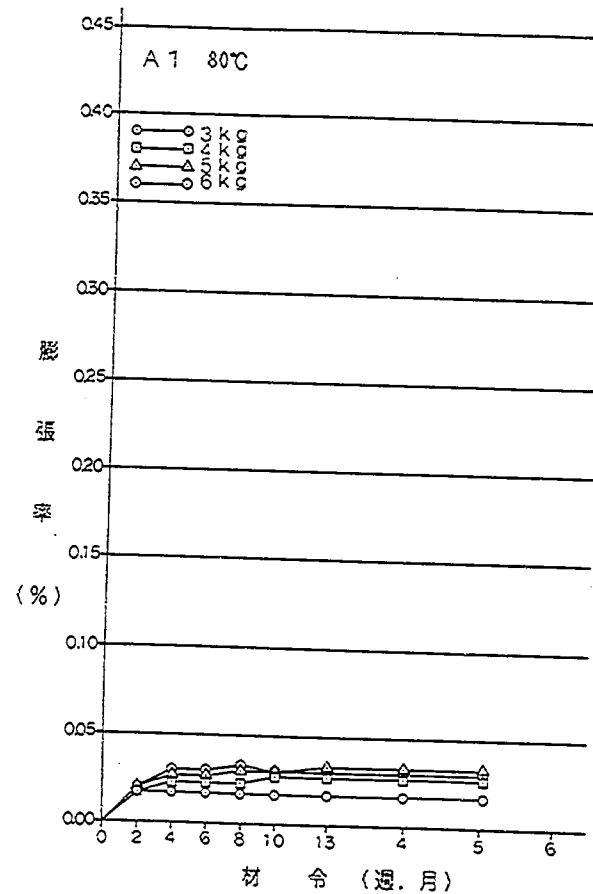
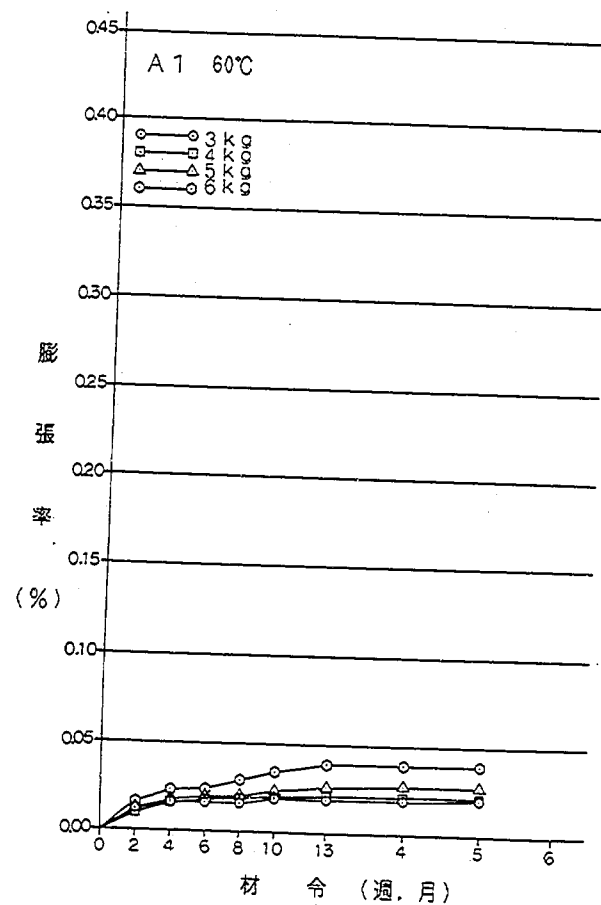
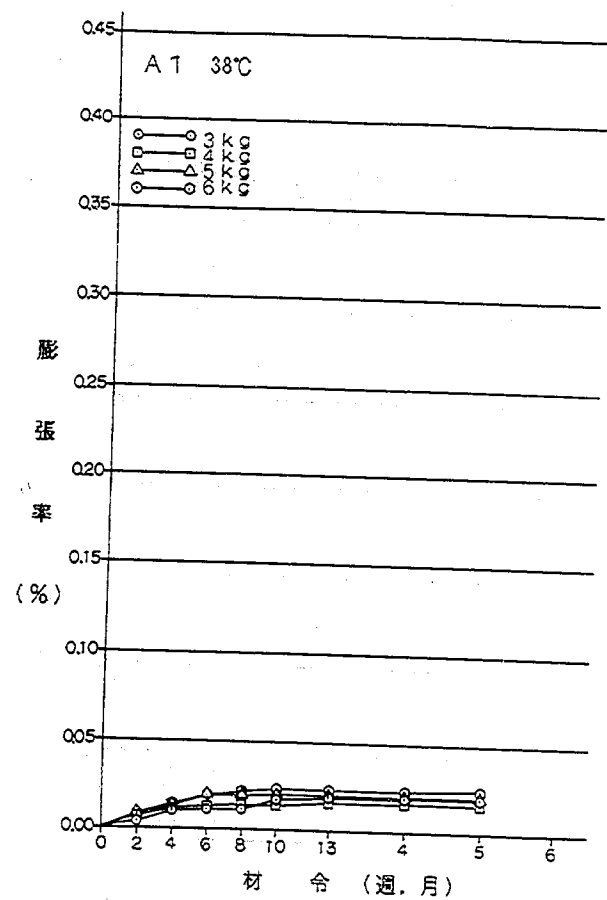


図 5-4 材令と膨張率の関係 (Series - II)

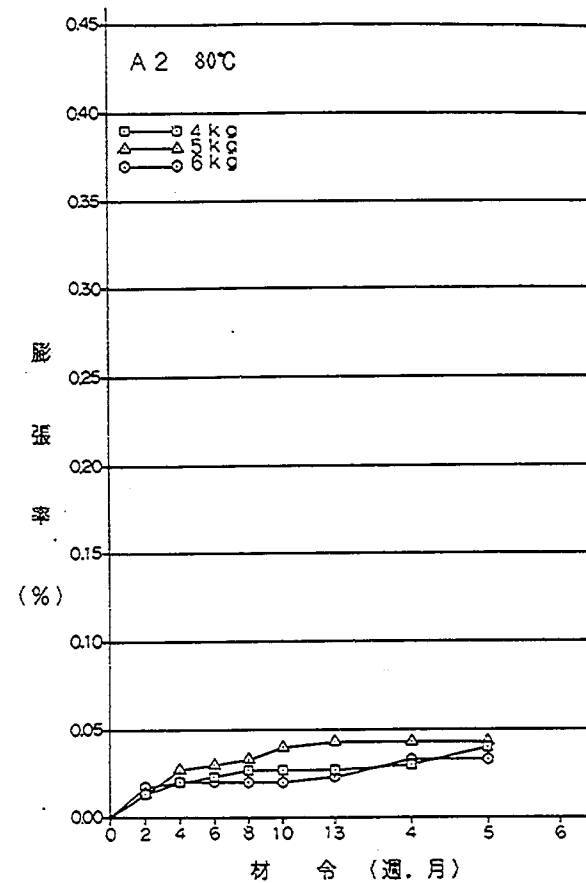
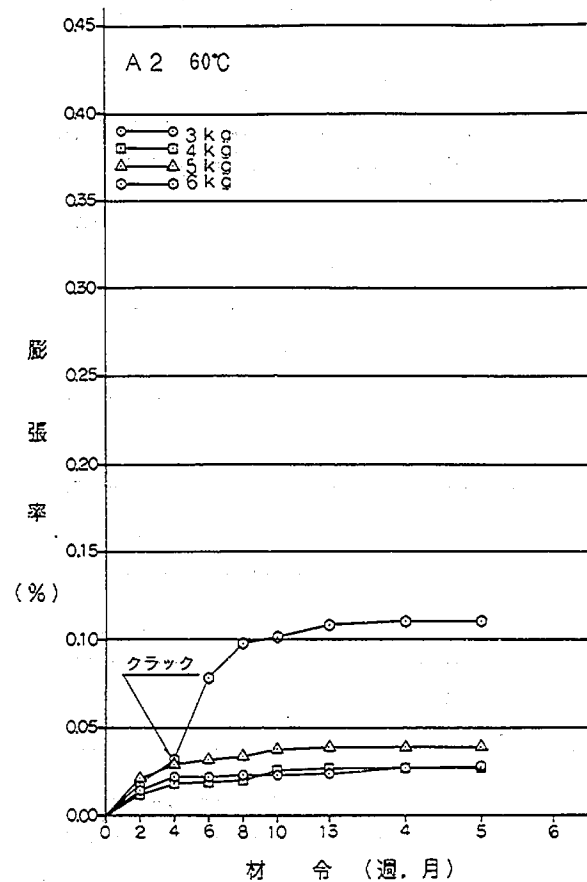
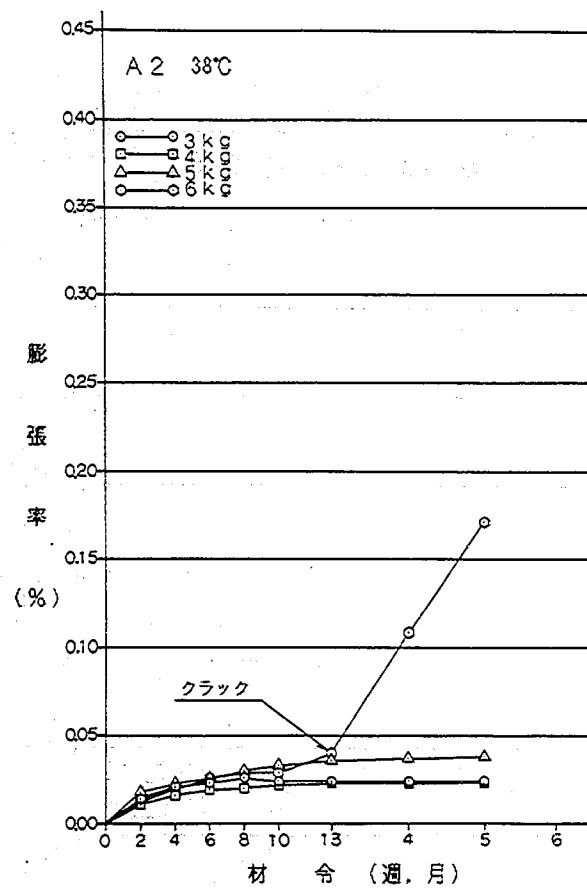


図 5-5 材令と膨張率の関係 (Series - II)

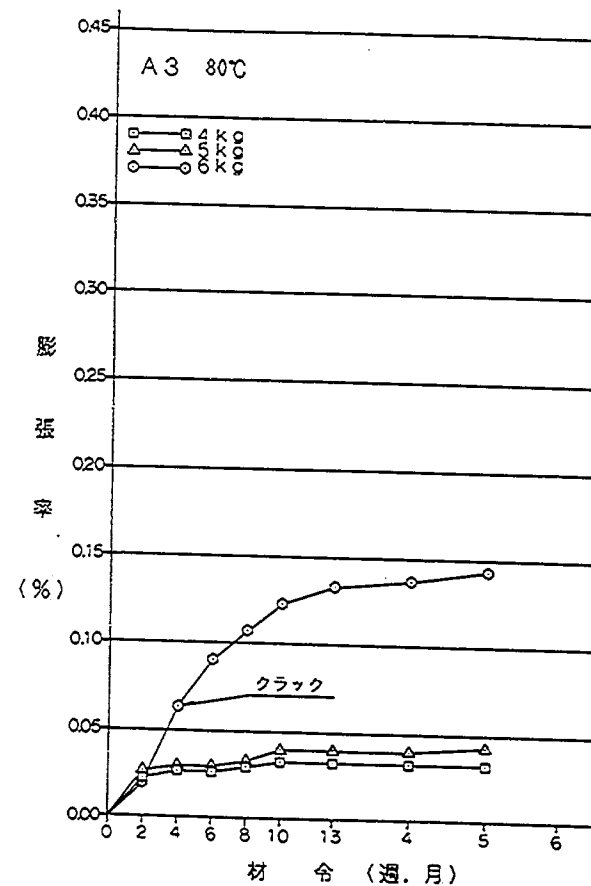
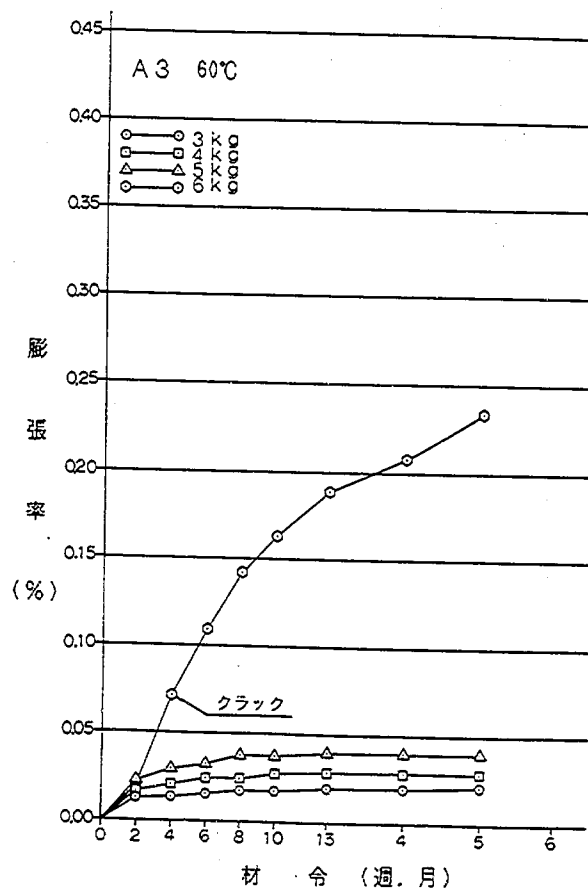
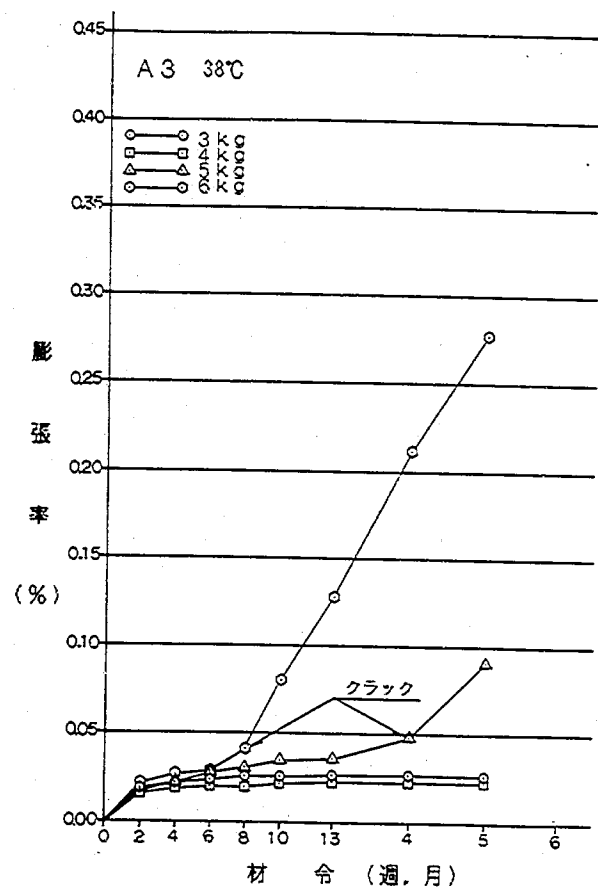


図 5-6 材令と膨張率の関係 (Series-II)

② 膨張量とクラックの関係

表 5-10～表 5-12 にクラック幅の測定結果を，図 5-7 にクラックが観察された時の膨張量を，図 5-8 に膨張量とクラックの関係を示す。

図 5-7 に示すように，コンクリートの場合においても，モルタルの場合と同様に，骨材の種類，アルカリ量，養生温度に関係なく，約 0.05 (%) の膨張量でクラックが発生している。

また，図 5-8 に示すように，クラック発生後の膨張量とクラック幅の関係はモルタルの場合と同様に高い相関を示しており，式 5.1，式 5.2 に示すように近似式の係数もほぼ同様である。

(モルタル)

$$\text{クラック幅} = -0.06 + 3.2 \times (\text{膨張量}) \quad (\text{式 5.1})$$

(コンクリート)

$$\text{クラック幅} = -0.09 + 3.1 \times (\text{膨張量}) \quad (\text{式 5.2})$$

ダブルシリンドー法ではモルタル，コンクリートとも約 0.05 (%) の膨張量でクラックが発生し，クラック発生後の膨張量は，クラック幅から同じ近似式で推定することが可能である。

表5-10 A1骨材のクラック幅測定結果 (Series-II)

養生 方法	アル カリ (kg)	膨 張 量 (%) , ク ラ ッ ク 幅 (mm)									
		2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月	
38℃ 湿潤養生	3	膨張量	0.0044	0.0100	0.0111	0.0111	0.0167	0.0189	0.0189	0.0189	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	4	膨張量	0.0067	0.0111	0.0133	0.0144	0.0144	0.0156	0.0156	0.0156	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	5	膨張量	0.0078	0.0133	0.0189	0.0189	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	膨張量	0.0078	0.0144	0.0189	0.0211	0.0233	0.0233	0.0233	0.0244		
	CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
60℃ 湿潤養生	3	膨張量	0.0122	0.0156	0.0156	0.0156	0.0189	0.0189	0.0189	0.0200	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	4	膨張量	0.0100	0.0156	0.0178	0.0189	0.0200	0.0211	0.0211	0.0211	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	5	膨張量	0.0122	0.0167	0.0189	0.0200	0.0233	0.0256	0.0267	0.0267	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	膨張量	0.0155	0.0233	0.0244	0.0289	0.0344	0.0389	0.0389	0.0389		
	CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
80℃ 湿潤養生	3	膨張量	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	4	膨張量	0.0167	0.0233	0.0233	0.0233	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	5	膨張量	0.0200	0.0267	0.0267	0.0300	0.0300	0.0333	0.0333	0.0333	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	膨張量	0.0200	0.0300	0.0300	0.0333	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300		
	CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

表5-11 A2骨材のクラック幅測定結果 (Series-II)

養生 方法	アル カリ (kg)	膨 張 量 (％) , ク ラ ッ ク 幅 (mm)									
		2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月	
38℃ 湿潤養生	3	膨張量	0.0144	0.0211	0.0233	0.0256	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	4	膨張量	0.0111	0.0156	0.0189	0.0200	0.0222	0.0234	0.0234	0.0234	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	5	膨張量	0.0178	0.0233	0.0256	0.0300	0.0333	0.0356	0.0367	0.0378	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	6	膨張量	0.0133	0.0200	0.0256	0.0289	0.0289	0.0400	0.1078	0.1711	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.22	0.43	
60℃ 湿潤養生	3	膨張量	0.0144	0.0222	0.0222	0.0233	0.0233	0.0244	0.0267	0.0278	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	4	膨張量	0.0122	0.0178	0.0189	0.0200	0.0256	0.0267	0.0267	0.0267	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	5	膨張量	0.0211	0.0289	0.0322	0.0344	0.0378	0.0389	0.0389	0.0389	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	6	膨張量	0.0178	0.0322	0.0778	0.0978	0.1011	0.1078	0.1100	0.1100	
		CR幅	0.00	0.03	0.16	0.22	0.22	0.25	0.25	0.28	
80℃ 湿潤養生	3	膨張量	—	—	—	—	—	—	—	—	
		CR幅	—	—	—	—	—	—	—	—	
	4	膨張量	0.0133	0.0200	0.0233	0.0267	0.0267	0.0267	0.0300	0.0400	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	5	膨張量	0.0133	0.0267	0.0300	0.0333	0.0400	0.0433	0.0433	0.0433	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	6	膨張量	0.0167	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0233	0.0333	0.0333	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

表5-12 A3骨材のクラック幅測定結果 (Series-II)

養生 方法	アル カリ (kg)	膨 張 量 (%) , ク ラ ッ ク 幅 (mm)									
		2 週	4 週	6 週	8 週	10週	13週	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月	
38℃ 湿潤養生	3	膨張量	0.0189	0.0222	0.0244	0.0255	0.0255	0.0267	0.0267	0.0267	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	4	膨張量	0.0156	0.0189	0.0200	0.0200	0.0222	0.0233	0.0233	0.0233	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	5	膨張量	0.0178	0.0222	0.0278	0.0311	0.0345	0.0356	0.0478	0.0911	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.17	
6	膨張量	0.0222	0.0267	0.0289	0.0411	0.0800	0.1278	0.2122	0.2767		
	CR幅	0.00	0.00	0.00	0.02	0.15	0.32	0.60	0.83		
60℃ 湿潤養生	3	膨張量	0.0133	0.0144	0.0155	0.0178	0.0178	0.0200	0.0200	0.0211	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	4	膨張量	0.0167	0.0211	0.0245	0.0245	0.0278	0.0289	0.0289	0.0289	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	5	膨張量	0.0233	0.0300	0.0333	0.0378	0.0378	0.0400	0.0400	0.0400	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	6	膨張量	0.0200	0.0711	0.1089	0.1422	0.1633	0.1889	0.2078	0.2344	
		CR幅	0.00	0.13	0.28	0.34	0.42	0.48	0.53	0.68	
80℃ 湿潤養生	3	膨張量	—	—	—	—	—	—	—	—	
		CR幅	—	—	—	—	—	—	—	—	
	4	膨張量	0.0233	0.0267	0.0267	0.0300	0.0333	0.0333	0.0333	0.0333	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	5	膨張量	0.0267	0.0300	0.0300	0.0333	0.0400	0.0400	0.0400	0.0433	
		CR幅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	6	膨張量	0.0200	0.0633	0.0900	0.1067	0.1233	0.1333	0.1367	0.1433	
		CR幅	0.00	0.13	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.35	

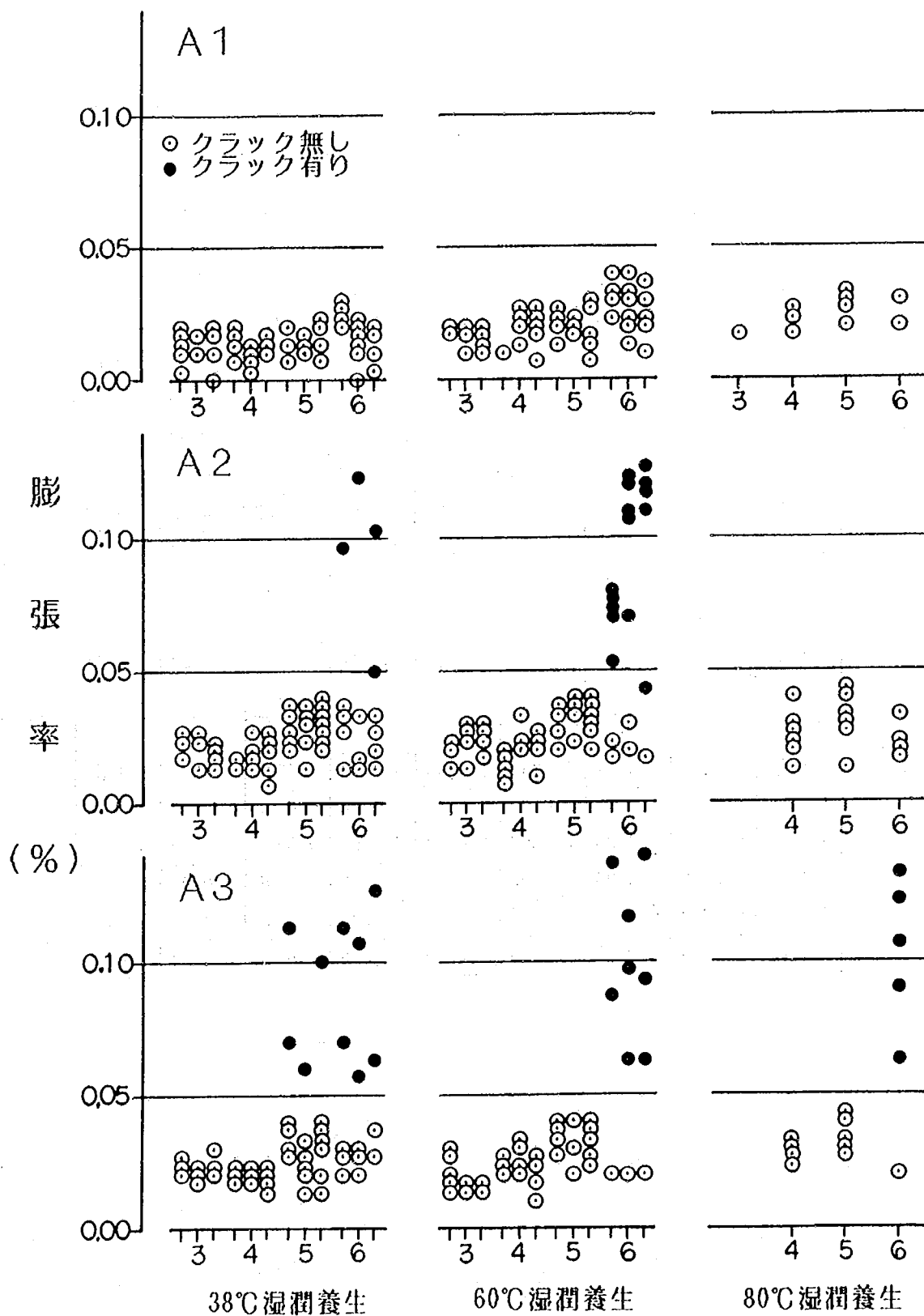


図 5-7 クラックが発生した時の膨張率 (Series - II)

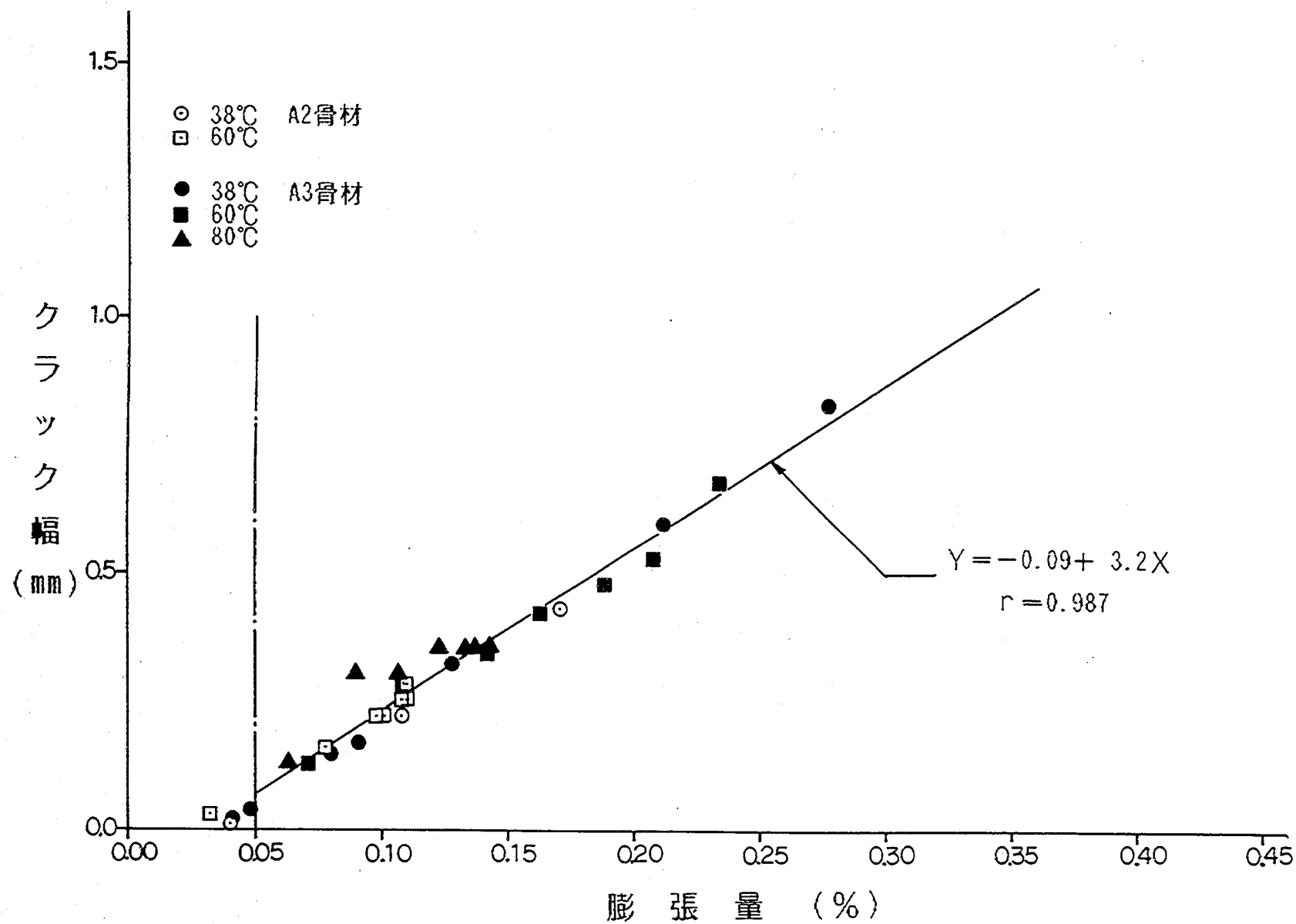


図 5 - 8 膨張量とクラックの関係 (Series - II)

③ 60℃湿潤養生，80℃湿潤養生による促進状況

図5-9～図5-11に各骨材のアルカリ量別の材令と膨張量の関係を示す。

図5-9～図5-11に示すように，A1骨材については，材令6ヶ月までではいずれのアルカリ量，養生温度の供試体も膨張量が小さく，クラックが発生していないため，促進状況が明確ではない。A2骨材，A3骨材については，養生温度を高くすることによって，材令初期の膨張が促進される傾向にある。

しかし，60℃湿潤養生と80℃湿潤養生の間には促進効果はほとんどなく，逆に80℃湿潤養生することにより最終膨張量が小さくなる。その傾向は，アルカリ量の高い6kgで顕著に現れており，A2骨材では38℃，60℃湿潤養生でクラックが観察されているが80℃湿潤養生では観察されていない。また，A3骨材のアルカリ量＝5kgのように，38℃湿潤養生ではクラックが発生しているが，60℃，80℃湿潤養生ではクラックが発生していない状況も現れている。

一般に，コンクリートの場合は，モルタルに比較して膨張速度がゆっくりとしており，膨張量が小さくなる傾向であるため，膨張を促進するために一概に高温養生とすることは，材令初期の膨張は促進されるが最終膨張量の低下につながりクラックが確認できない場合がある。

この実験から判断すると6kg以上の高いアルカリの条件下では，60℃湿潤養生が促進効果は高く，適切な養生条件であると思われる。

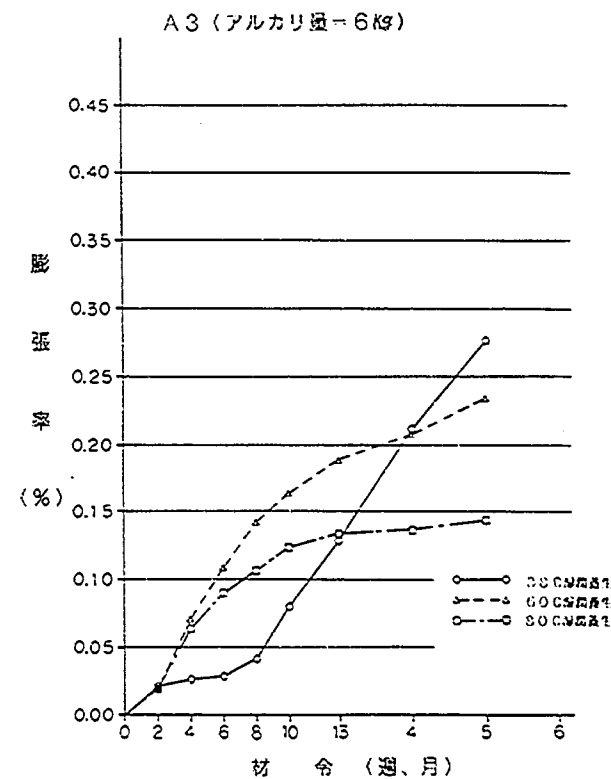
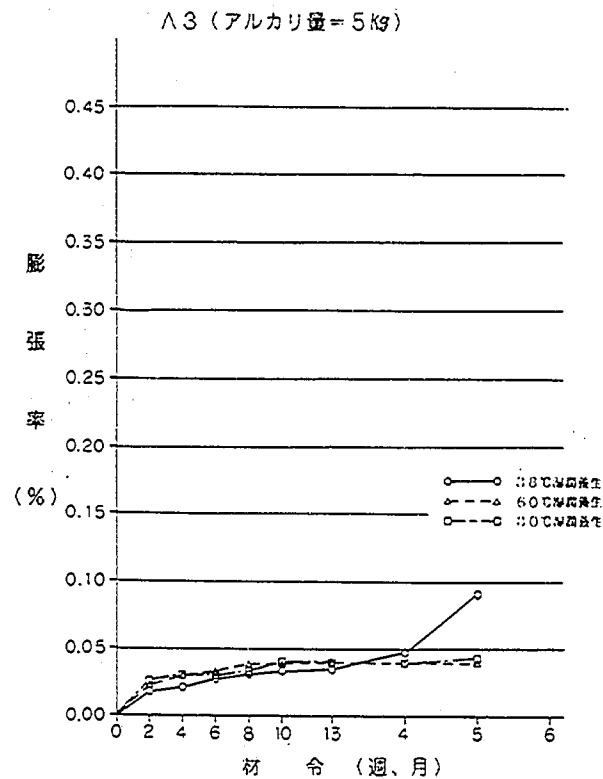
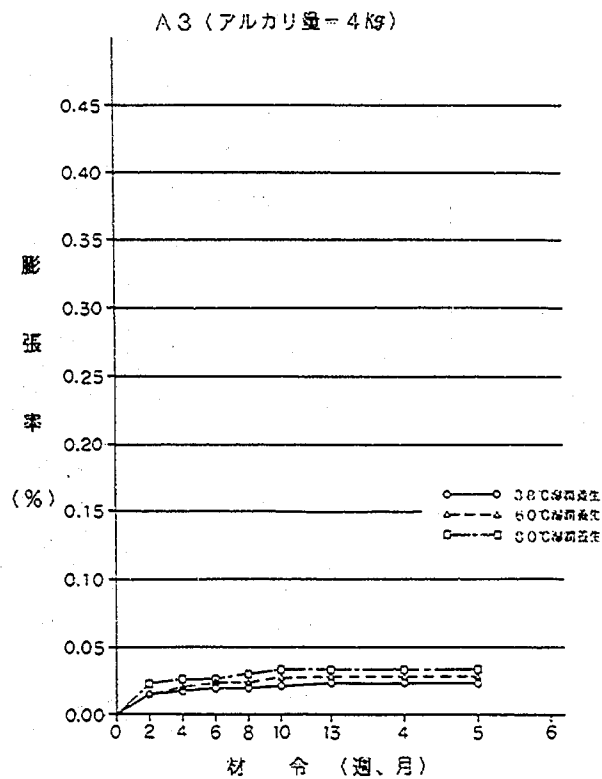


図 5-9 材令と膨張率の関係 (Series - II)

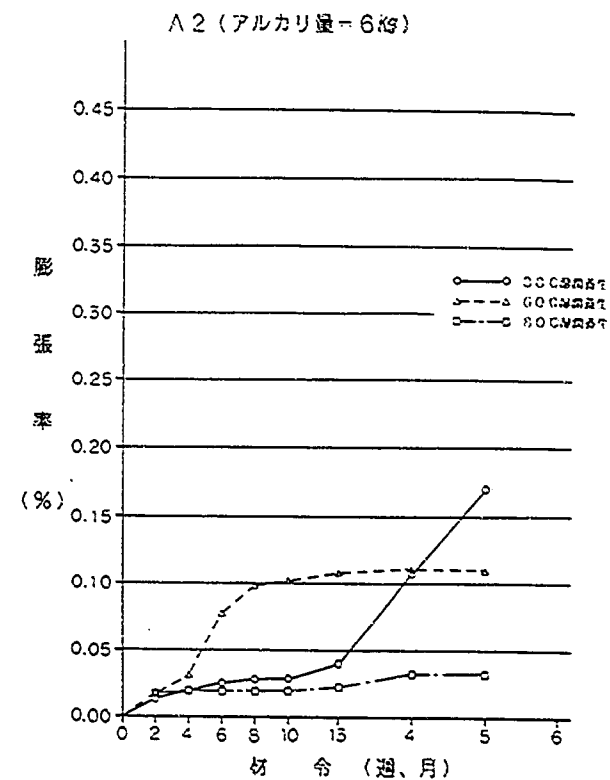
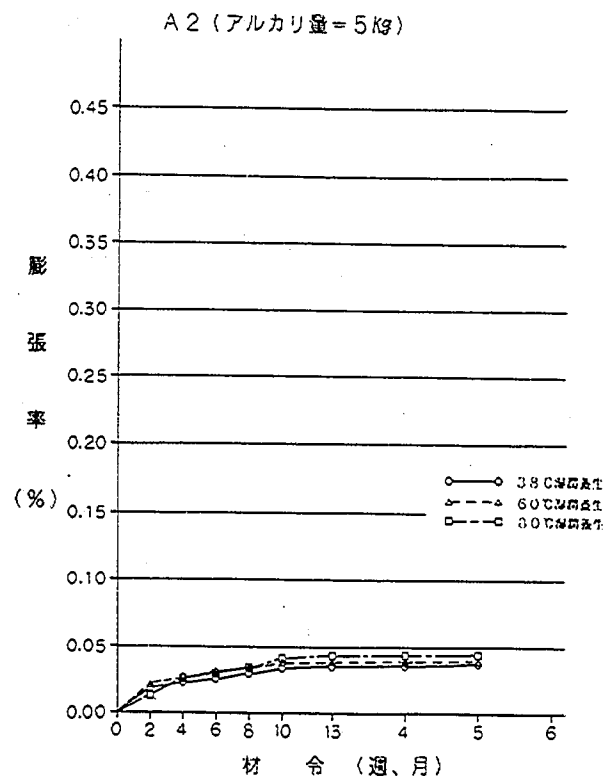
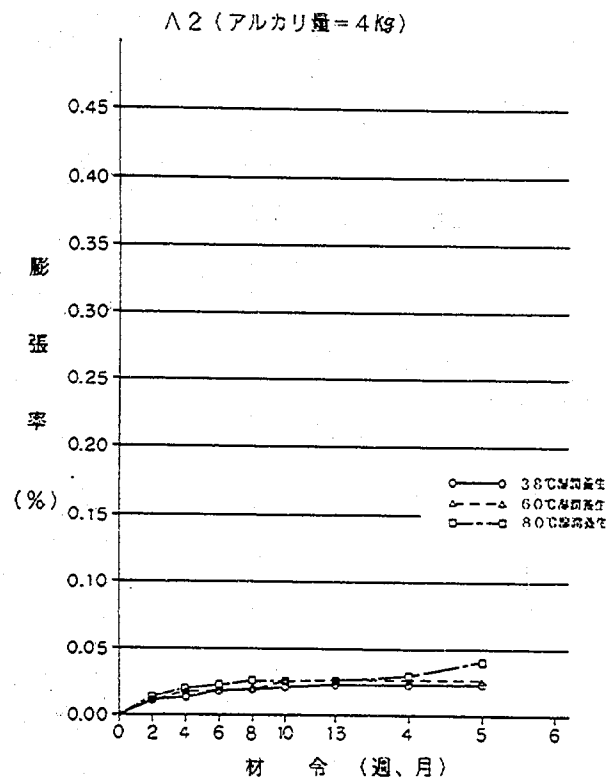


図 5-10 材令と膨張率の関係 (Series - II)

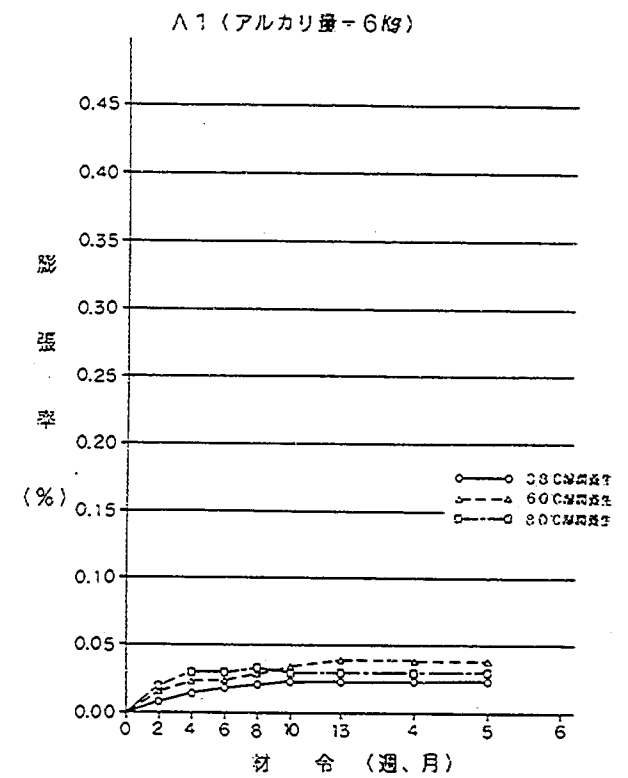
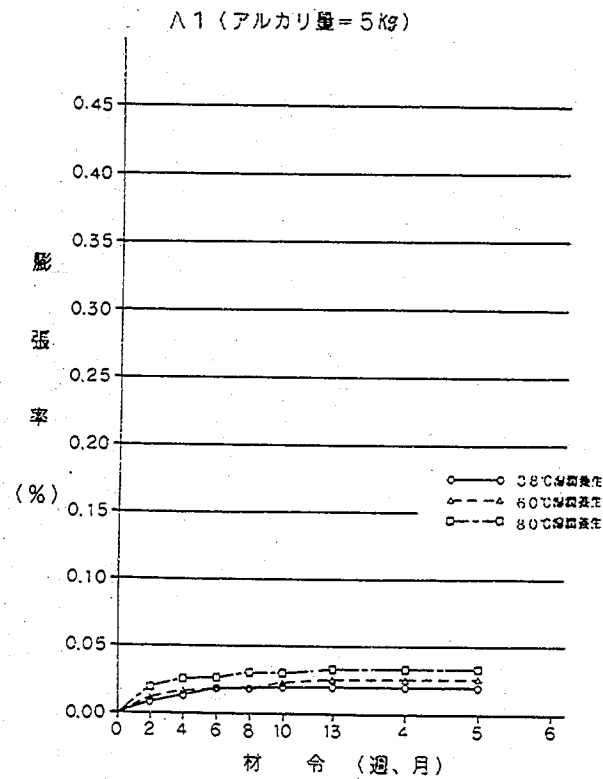
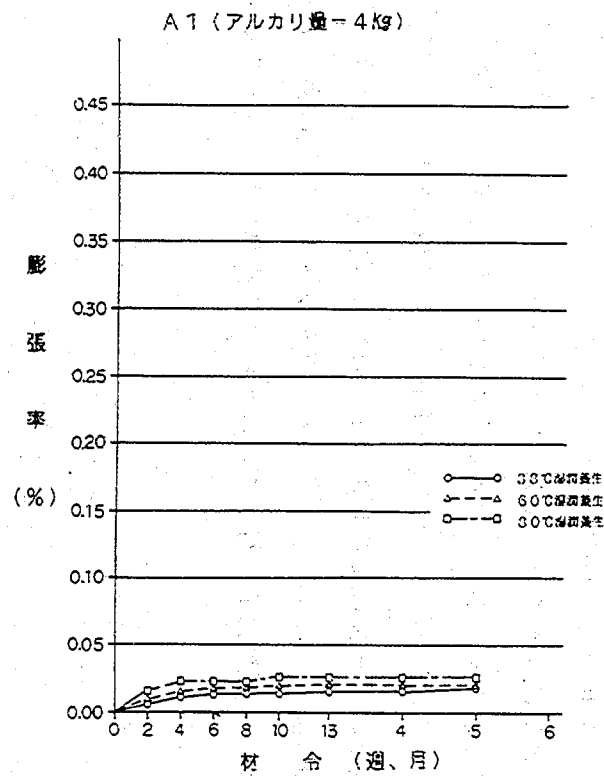


図 5-11 材令と膨張率の関係 (Series - II)

3) Series - III (コンクリートでのアルカリ試薬, アルカリの検討)

表 5-13 に膨張量測定結果を, 図 5-12 に材令と膨張量の関係を示す。

図 5-12 に示すように, A 5 骨材 (無害骨材) を使用したコンクリートでは, どのアルカリ量においても膨張量は小さくクラックは発生していない。一方, A 4 骨材 (反応性骨材) を使用したコンクリートでは各条件ともこれまでの実験と同様, アルカリ量が大きいほど膨張量は大きい傾向である。クラック発生までは, 同一配合での供試体間の膨張量の差は小さいが, クラックは発生後はその差は大きくなっている。これは, 表 5-14 に示すようにクラックの発生材令にバラツキがあるためであり, 初めてクラックが発生した材令では膨張量の差が最も大きい, 材令とともにその差は収縮する傾向である。このような同一配合でのバラツキの原因としては, 練り混ぜ, 及び供試体作製時においてアルカリが均一でなかったことによると考えられる。

材令 4 週, 13 週, 26 週におけるアルカリ量と膨張量の関係を図 5-13 に示す。各材令においてアルカリ調整試薬が NaCl より NaOH が膨張量は大きく, NaCl に比べ反応促進効果が高い。単位セメント量 300 kg で比較するとアルカリ調整量が 3 kg, 4 kg では膨張量は NaOH が大きい, クラックが観察される材令にあまり差はない。しかし, アルカリ調整量が 5 kg と多くなると NaOH がクラックが確認されたのは材令 4 週であるのに対し, NaCl では材令 13 ~ 20 週と促進効果に差が生じている。これらの結果から, アルカリ調整試薬としては NaOH が適していると判断されるが, ダブルシリンダー法が簡易試験, 現場試験を目的としていることから取扱い, 入手が容易であり, 実際に被害を受けたコンクリートは NaCl の形で侵入していることから NaCl が適当であると考えられる。しかし, その使用に際しては早期判定を行うため, アルカリ調整量で 5 kg 以上の NaCl を添加することが必要と思われる。

アルカリ調整試薬 NaCl での単位セメント量 300 kg, 400 kg を比較すると材令 13 週ではセメント量 400 kg の総アルカリ量 6.6 kg で約 0.20 % 膨張しているのに対し, 単位セメント量 300 kg の総アルカリ量 7.0 kg では 0.04 % の膨張量であり, コンクリート中のセメントのアルカリ量が多いほど膨張量は大きくなる傾向を示している。しかし, 材令 26 週では単位セメント量 400 kg が膨張量は若干高いが, その差は小さくアルカリ量と膨張量の関係はほぼ同じ曲線で示すことが可能であることから, コンクリート中のセメントのアルカリの影響は小さいと思われる。

また, アルカリ調整試薬を NaCl とした場合, 各材令でのクラックが発生させるのに必要とされる総アルカリ量は図 5-13 から, 材令 4 週で 7.5 kg 以上, 材令 13 週で 7 kg 以上, 材令 26 週では 5 kg 以上であり, 早期判定を行うのにはその材令に見合うアルカリ量が必要である。

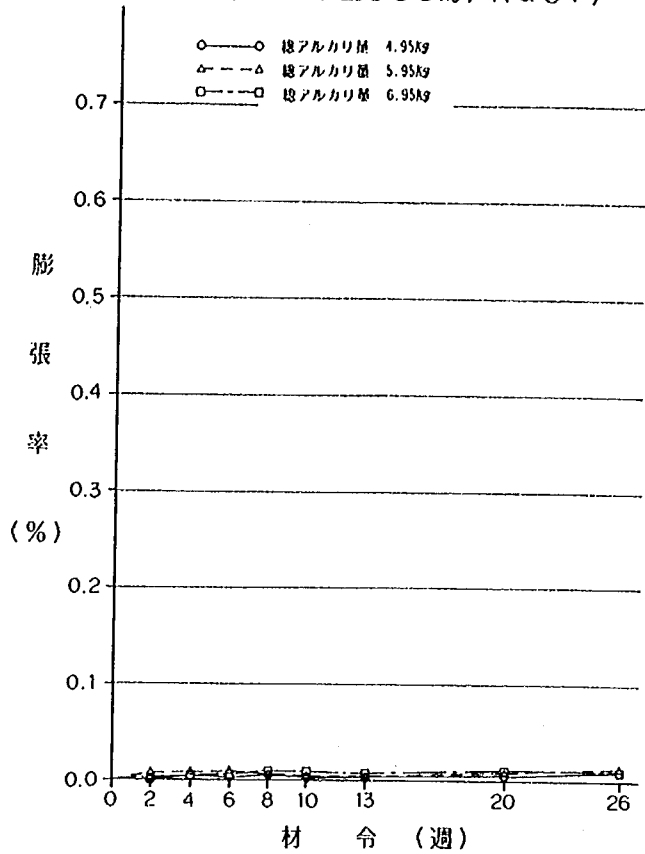
表5-13 膨張量測定結果 (Series - III)

セメント 量 (kg)	骨材種類	アルカリ 調整量 (kg)	総アルカ リ量 (kg)	項 目	材 令							
					2 週	4 週	6 週	8 週	10 週	13 週	20 週	26 週
300	A 5	3.00	4.95	測定値	0.0000	0.0100	0.0087	0.0100	0.0100	0.0000	0.0033	0.0067
					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	0.0133	0.0200
					0.0000	0.0033	0.0033	0.0067	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
				平均値	0.0000	0.0044	0.0033	0.0056	0.0011	0.0022	0.0066	0.0100
		4.00	5.95	測定値	0.0067	0.0100	0.0100	0.0067	0.0067	0.0067	0.0100	0.0133
					0.0100	0.0067	0.0100	0.0033	0.0000	0.0000	0.0100	0.0133
					0.0100	0.0133	0.0133	0.0133	0.0100	0.0067	0.0067	0.0167
				平均値	0.0089	0.0100	0.0111	0.0078	0.0056	0.0045	0.0089	0.0144
		5.00	6.95	測定値	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	0.0067	0.0100	0.0100	0.0100
					0.0067	0.0100	0.0167	0.0167	0.0133	0.0067	0.0133	0.0133
					0.0000	0.0033	0.0033	0.0067	0.0067	0.0067	0.0100	0.0100
				平均値	0.0022	0.0044	0.0067	0.0089	0.0089	0.0078	0.0111	0.0111
300	A 4	3.00	4.95	測定値	0.0033	0.0133	0.0167	0.0167	0.0200	0.0200	0.0233	0.0233
					0.0033	0.0033	0.0000	0.0000	0.0033	0.0000	0.0233	0.0233
					0.0000	0.0033	0.0067	0.0100	0.0100	0.0133	0.0367	0.0933
				平均値	0.0022	0.0066	0.0078	0.0089	0.0111	0.0111	0.0278	0.0466
		4.00	5.95	測定値	0.0100	0.0133	0.0200	0.0200	0.0200	0.0267	0.0600	0.1433
					0.0100	0.0100	0.0167	0.0167	0.0200	0.0267	0.0567	—
					0.0167	0.0267	0.0333	0.0367	0.0433	0.0433	0.2133	0.2300
				平均値	0.0122	0.0167	0.0233	0.0245	0.0278	0.0322	0.1100	0.1867
		5.00	6.95	測定値	0.0133	0.0167	0.0167	0.0167	0.0267	—	—	—
					0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0200	0.0400	0.2867
					0.0200	0.0267	0.0300	0.0300	0.0300	0.0533	0.2833	0.3687
				平均値	0.0144	0.0178	0.0189	0.0189	0.0222	0.0367	0.1617	0.3277
300	A 4	3.00	4.95	測定値	0.0000	0.0000	0.0033	0.0033	0.0033	0.0300	0.0467	0.1533
					0.0167	0.0267	0.0300	0.0267	0.0267	0.0300	0.0533	0.2267
					0.0100	0.0167	0.0167	0.0167	0.0233	0.0600	0.2333	0.2633
				平均値	0.0089	0.0145	0.0167	0.0156	0.0178	0.0400	0.1111	0.2144
		4.00	5.95	測定値	0.0100	0.0300	0.0367	0.0367	0.0400	0.0267	0.1900	0.2467
					0.0100	0.0367	0.0500	0.0533	0.1733	0.2367	0.2500	0.3033
					0.0233	0.0267	0.0433	0.0467	0.0467	0.1867	0.2567	0.3767
				平均値	0.0144	0.0311	0.0433	0.0456	0.0867	0.1500	0.2322	0.3089
		5.00	6.95	測定値	0.0200	0.1233	0.2767	0.3567	0.4200	0.4500	0.4967	0.5500
					0.0600	0.2967	0.4233	0.4867	0.5100	0.5600	0.6567	0.6667
					0.0267	0.1400	0.2700	0.3500	0.3867	0.4367	0.5300	0.5500
				平均値	0.0356	0.1867	0.3233	0.3978	0.4389	0.4822	0.5611	0.5889
400	A 4	3.00	5.60	測定値	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0200	0.1767
					0.0033	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0667
					0.0033	0.0033	0.0100	0.0100	0.0133	0.0133	0.0267	0.1733
				平均値	0.0022	0.0044	0.0067	0.0067	0.0078	0.0078	0.0189	0.1389
		4.00	6.60	測定値	0.0067	0.0100	0.0233	0.1633	0.2333	0.2967	0.4200	0.5200
					0.0167	0.0300	0.0300	0.0300	0.0400	0.1100	0.3133	0.3367
					0.0167	0.0167	0.0200	0.0200	0.0200	0.2033	0.3200	0.3833
				平均値	0.0134	0.0189	0.0244	0.0711	0.0978	0.2033	0.3511	0.4133
		5.00	7.60	測定値	0.0300	0.1467	0.2733	0.3967	0.4133	0.4567	0.4733	0.5367
					0.0300	0.1933	0.3233	0.3367	0.3433	0.4333	0.4800	0.4967
					0.0300	0.0533	0.1133	0.2233	0.2867	0.3900	0.4600	0.4967
				平均値	0.0300	0.1311	0.2366	0.3189	0.3478	0.4267	0.4711	0.5100

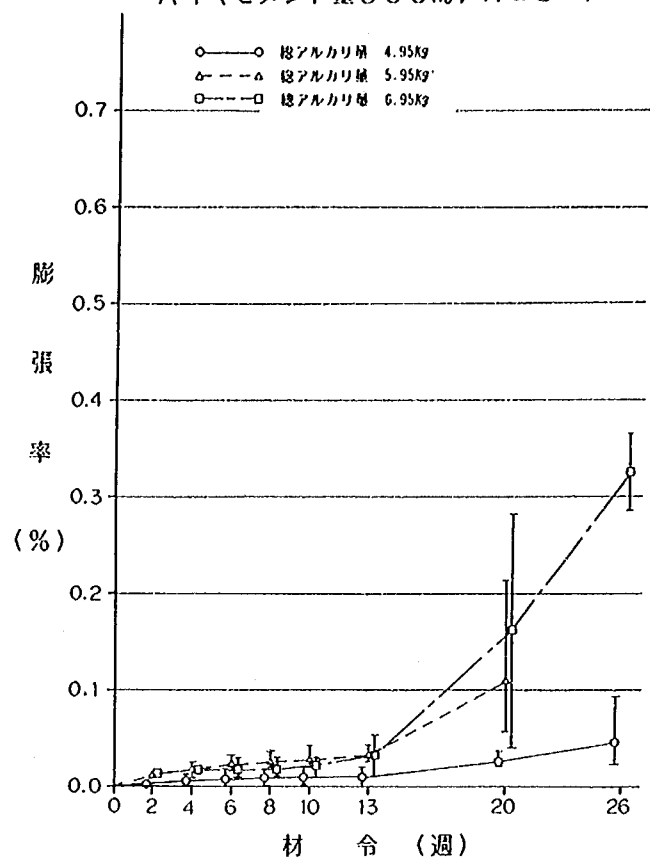
表 5-14 クラックが観察された材令 (Series - III)

セメント 量 (k g)	骨材種類	アルカリ 調整試薬	アルカリ調整量		
			3 k g	4 k g	5 k g
3 0 0	A 5	N a C l	無	無	無
3 0 0	A 4	N a C l	26週	20週	13~20週
3 0 0	A 4	N a O H	20~26週	10~20週	4 週
4 0 0	A 4	N a C l	26週	8~13週	4 週

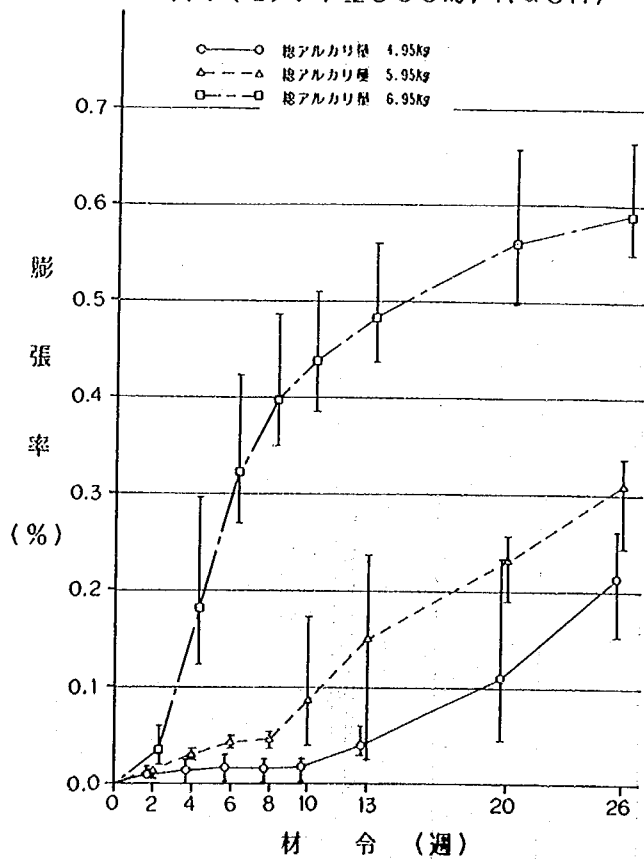
A5 (セメント量300kg, NaCl)



A4 (セメント量300kg, NaCl)



A4 (セメント量300kg, NaOH)



A4 (セメント量400kg, NaCl)

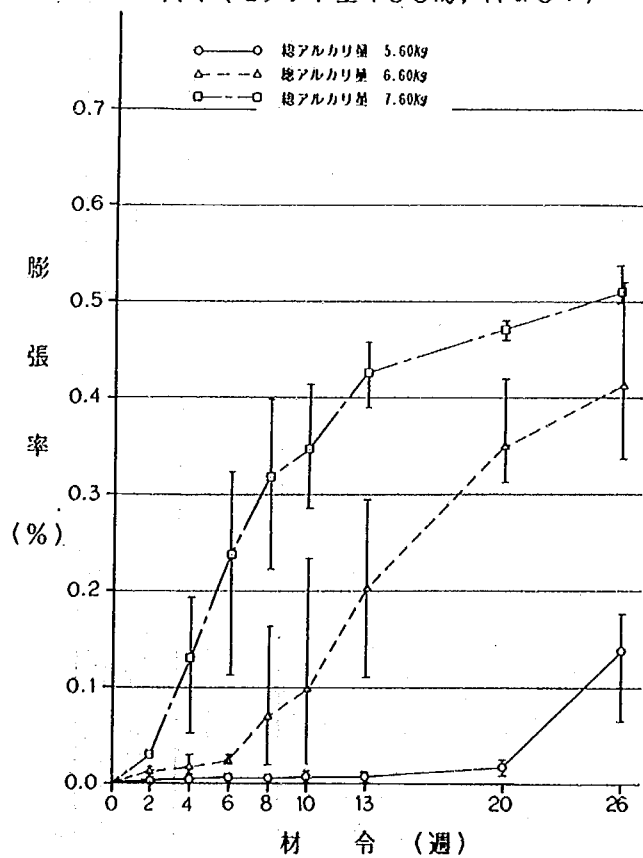


図 5-12 材令と膨張率の関係 (Series-III)

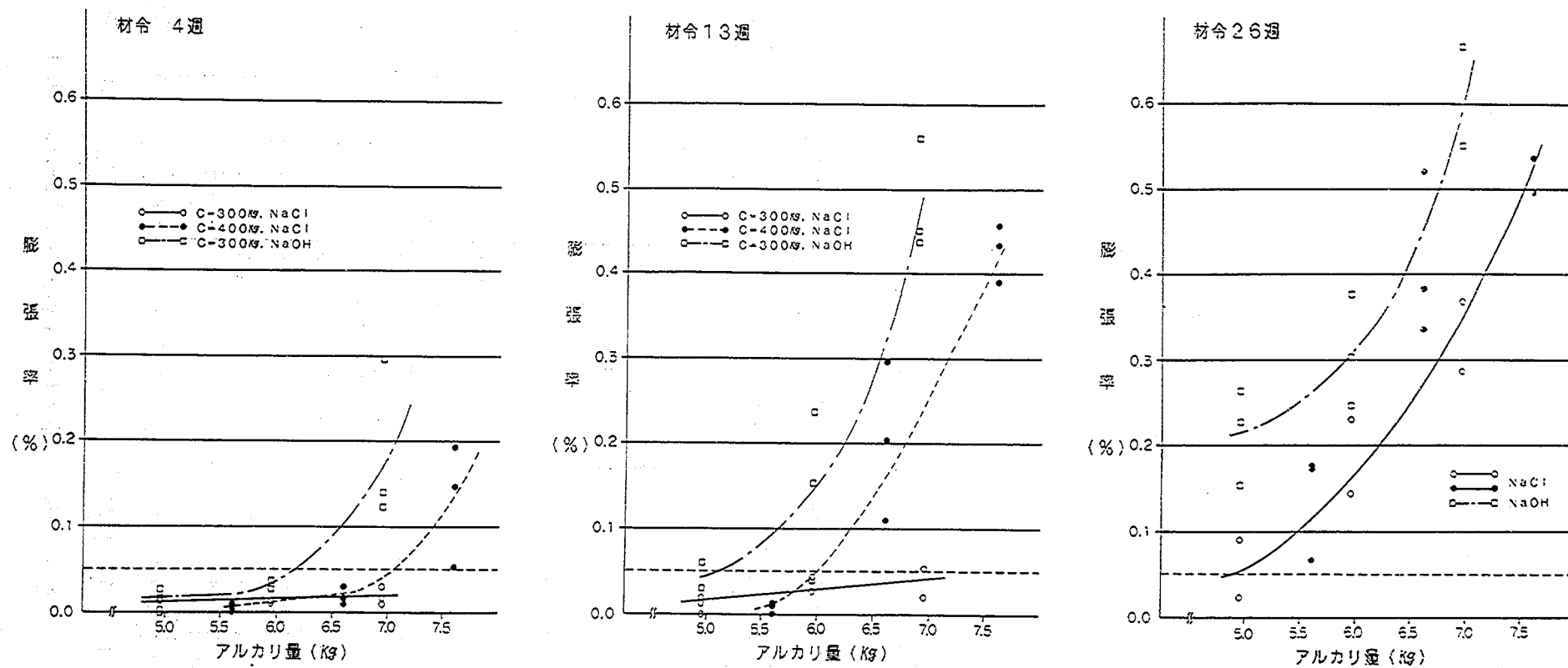


図 5-13 アルカリ量と膨張率の関係 (Series - III)

4) Series -IV (健全部の厚さについての検討)

これまでの結果では、コンクリートはモルタルに比べ膨張速度が緩くクラック発生までに長期間必要であり、モルタルバー法と同程度の判定期間を必要とすることがわかった。供試体と健全部を同じ弾性体であると仮定すると健全部の厚さを薄くことによって小さい膨張量でクラックが発生させることによって、これまでより早期に判定が可能であると考えられる。 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ と $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ の型わくを用いた健全部の厚さ 25 mm では、これまでの結果では約 0.05 % の膨張量でクラックが発生するが、健全部の厚さを 5 mm とすると 0.02 % の膨張量でクラックが発生すると予想された。

しかし、図 5-14 の材令と膨張量の関係に示したように同心供試体、偏心供試体で健全部の厚さを変化させても各条件とも、その膨張状況は同様な傾向を示しており、クラックが確認されたのは、材令 4 週と差異がなく予想された効果は認められなかった。

表 5-15 に膨張量とクラック幅の測定結果を、図 5-15 に Series -II で求めた近似式にこの実験データを加えた膨張量とクラック幅の関係を示す。

図 5-15 に示すように近似式

$$\text{クラック幅} = -0.09 + 3.1 \times (\text{膨張量})$$

に、同心供試体の健全部厚が 5 mm を除きほぼ近似していることがわかる。同心供試体の健全部厚 5 mm はクラックが分散し、クラック幅の測定誤差が大きくなったためだと思われる。このことから、ダブルシリンドー法における膨張量は、クラックが分散し測定が困難な場合以外はクラック幅を測定することで供試体の形状が変化しても上式で推定することが可能と思われる。

また、図 5-16 に健全部厚を変化させた時のクラックパターンを示す。同心供試体では、健全部厚が 25 mm ではクラックが初めて観察できた材令では、軸方向に 0.3 ~ 0.5 mm のクラックが 1 本観察される。健全部厚が 15 mm, 5 mm と薄くなるにしたがってクラックが分散し、0.05 ~ 0.2 mm のクラックが数本確認された。また、健全部厚が薄くなると健全部の拘束が小さくなるため、厚さ 5 mm では円周方向にもクラックが見られる。

偏心供試体では、健全部の厚さが最も薄い部分にクラックが集中し、材令が進んでもクラックの分散は見られなかった。但し、健全部厚が 5 mm では膨張の進行に伴い、円周方向にもクラックが観察された。偏心供試体を作製することで、クラックを厚さが最も薄い箇所に集中させることは、クラック幅も大きく、クラックの発生位置も想定でき目視観察を容易にできるとと思われる。

表 5-15 膨張率，クラック幅測定結果 (Series -IV)

養生条件	供試体	健全部厚 (mm)	材 令					
			1 週	2 週	4 週	7 週	10 週	13 週
38 ℃ 湿润養生	同 心	25	0.0033	0.0100	0.1167	0.5300	0.6933	0.8333
			0.00	0.00	0.28	1.38	2.15	2.65
		15	0.0000	0.0033	0.1767	0.5033	0.6300	0.7166
			0.00	0.00	0.33	1.53	1.98	2.50
		5	0.0000	0.0000	0.1450	0.5100	0.6500	0.7600
			0.00	0.00	0.15	0.70	1.10	1.10
	偏 心	25	0.0033	0.0100	0.1167	0.5300	0.6933	0.8333
			0.00	0.00	0.28	1.38	2.15	2.65
		15	0.0000	0.0133	0.1333	0.3967	0.5133	0.6600
			0.00	0.00	0.30	1.10	1.55	1.90
		5	0.0033	0.0067	0.1033	0.3667	0.4600	0.5667
			0.00	0.00	0.28	1.10	1.50	1.60

上段：膨張率 (%)
下段：クラック幅 (mm)

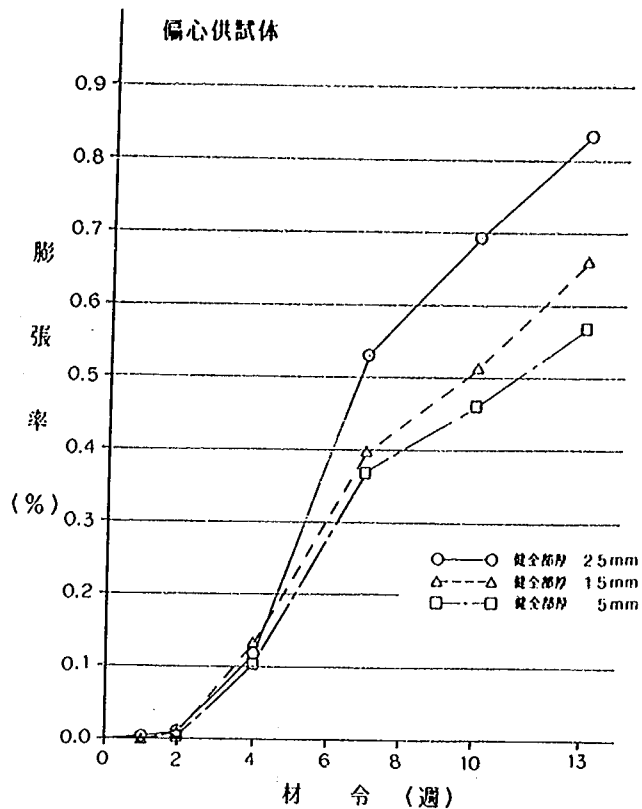
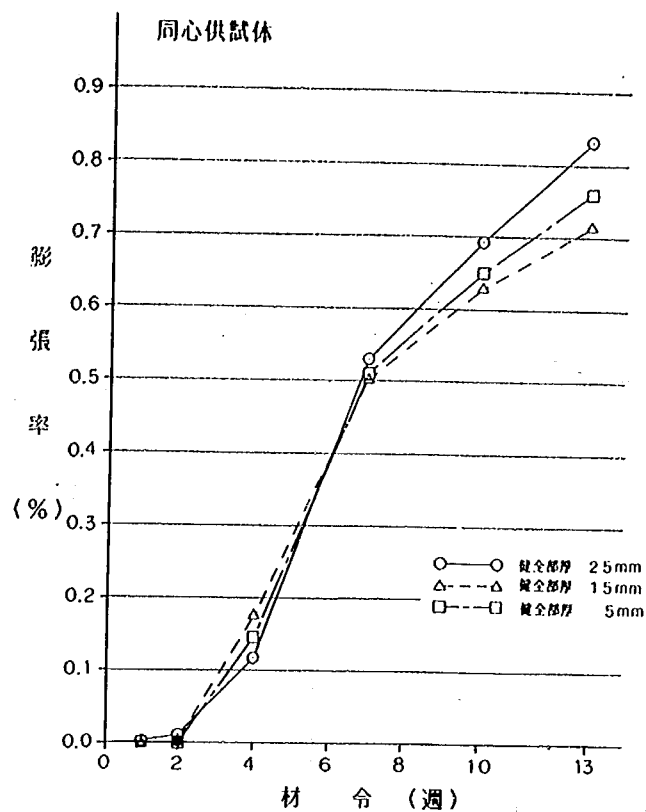


図 5-14 材令と膨張率の関係 (Series-IV)

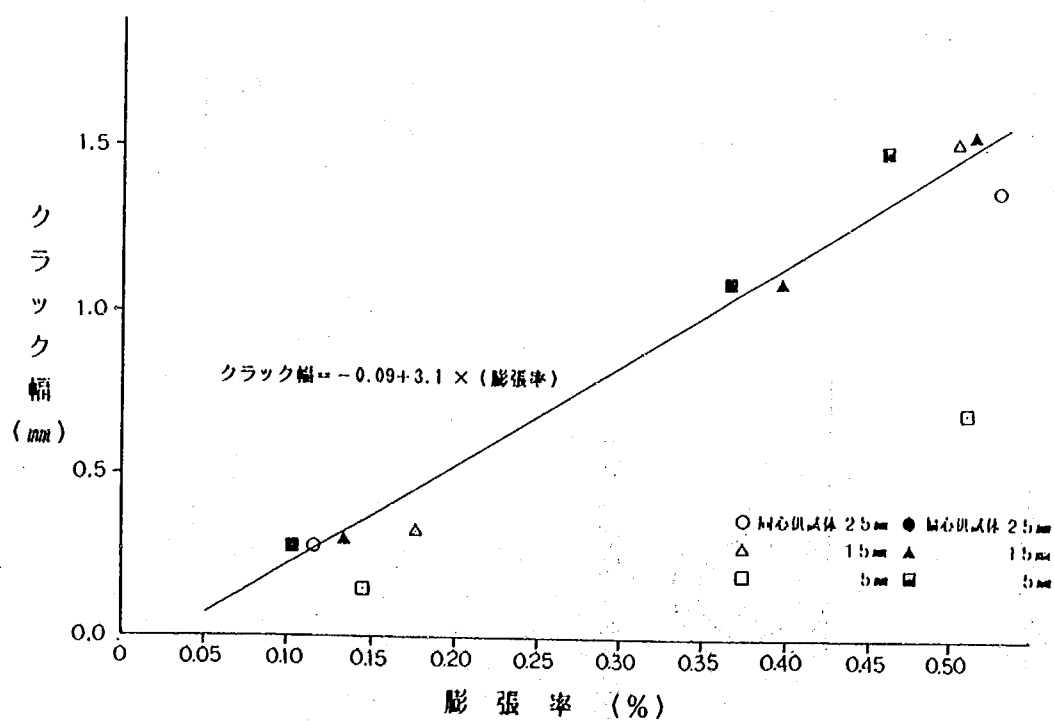
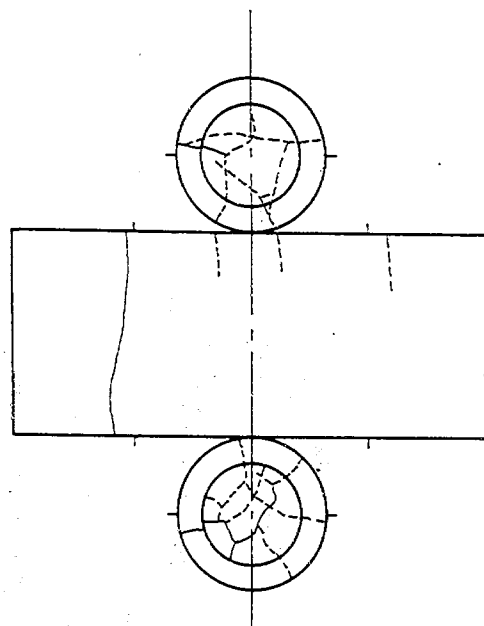
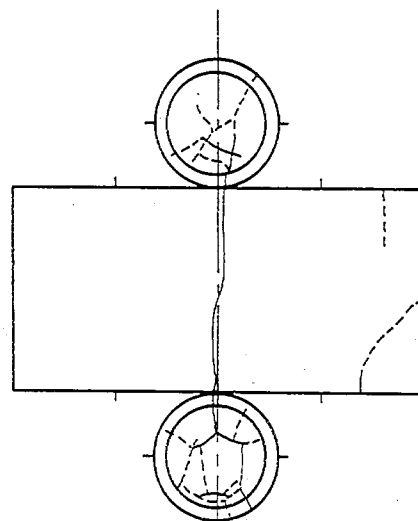


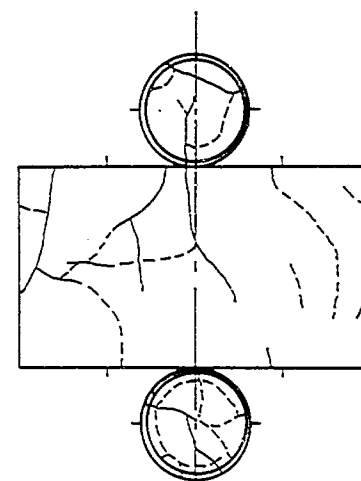
図 5-15 膨張率とクラック幅の関係 (Series-IV)



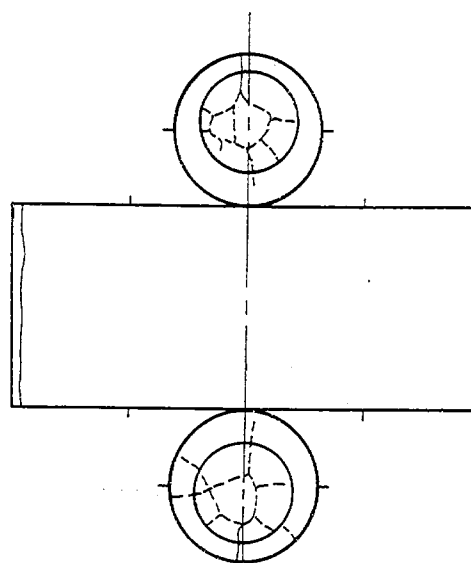
同心供試体 (健全厚 25 mm)



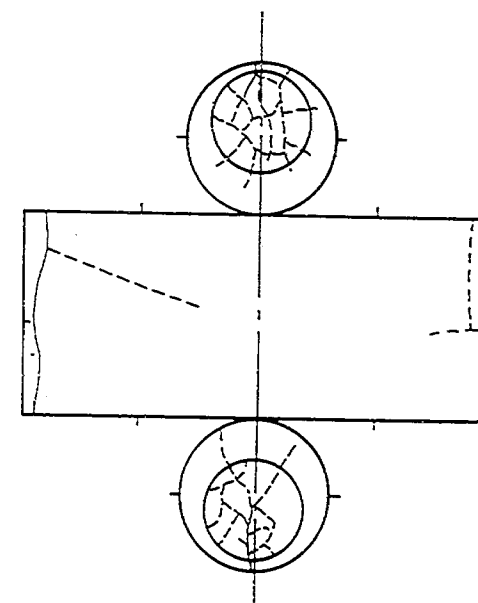
同心供試体 (健全厚 15 mm)



同心供試体 (健全厚 5 mm)



偏心供試体 (健全厚 15 mm)



偏心供試体 (健全厚 5 mm)

図 5-16 クラックパターン図 (Series -IV)

5-4 まとめ

- 1) モルタル供試体ではアルカリ量を大きくするほど膨張量は大きくなる傾向であり、クラックを発生させるにはアルカリ量 1.2 % 以上必要である。
- 2) コンクリート供試体でもアルカリ量を大きくするほど膨張量は大きくなる傾向であるが、モルタル供試体に比べ膨張速度は小さく、クラックを発生させるのには総アルカリ量は NaOH で 6 kg 以上、NaCl で 7 kg 以上必要である。
- 3) ダブルシリンダー法では、骨材、アルカリ量、養生条件に関係なく約 0.05 % の膨張量でクラックが発生する。クラック発生後の膨張量とクラック幅の関係は
$$(\text{クラック幅}) = 0.09 + 3.1 \times (\text{膨張量})$$
の近似式で表され、この式よりクラック幅を測定することで膨張量の推定が可能である。
- 4) 38℃湿潤養生に比べ、60℃、80℃湿潤養生は材令初期の促進効果は高く、早期にクラックを発生させることが可能であるが最終膨張量は低下する傾向であり80℃湿潤養生では骨材によってはクラックが発生しない場合もあり60℃湿潤養生が適した養生条件である。
- 5) アルカリ試薬の種類は、NaOHの方がNaClに比べ早期にクラックが発生しており促進効果が高く、供試体間のクラックの発生材令の変動も小さい。しかし、簡易試験法であることを考えれば取扱いが容易であり、実際に被害を受けたコンクリートはNaClの形でアルカリが侵入していることからNaClが適当と考えられ、アルカリ量を多く調整することによってNaOHと同等に早期判定は行うことは可能である。
- 6) 健全部の厚さを薄くしてもクラックの発生する材令には差異がなく、逆に健全部の厚さを薄くすることでクラックが分散し目視観察が困難となり効果はなく、現有の型枠を用いる健全部厚 25 mm が簡易試験方法としては適当である。

§ 6 実 証 実 験

円柱供試体検討実験より得られた結果をもとに、「ダブルシリンダーを用いたASR骨材判定試験方法(案)」を作成した。

これに準拠し、71骨材について、モルタル法、コンクリート法の2方法について実験を実施した。その結果を、現行の建設省暫定案(化学法、モルタルバー法)の結果と照合し、ASR骨材判定の試験方法として適用できるのか確認を行った。

6-1 実験条件

1) モルタル法(細骨材対象)

- ① セメントのアルカリ量；0.65(%)
- ② アルカリ量； $C \times 1.2$ (%)
- ③ アルカリ調整試薬；NaCl(食塩：NaCl 99%以上)
- ④ モルタル配合；セメント：水：骨材 = 1 : 0.5 : 2.25
- ⑤ 養生条件；60℃湿潤養生
- ⑥ 健全材料；普通モルタル(普通セメント：水：富士川砂 = 1 : 0.5 : 2.25)

2) コンクリート法(粗骨材対象)

- ① セメントのアルカリ量；0.65(%)
- ② 総アルカリ量；7.2(kg)
- ③ アルカリ調整試薬；NaCl(食塩：NaCl 99%以上)
- ④ コンクリート配合；コンクリート配合を表6-1に示す。

表 6-1 コンクリート配合表

骨材最大 寸法 (mm)	空気量 (%)	水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単位重量 (kg)				
				セメント	水	粗骨材	細骨材	アルカリ量
20	2.0	55.0	45.0	320	176	1023	828	7.2

- ⑤ 養生条件；60℃湿潤養生
- ⑥ 健全材料；普通モルタル(普通セメント：水：富士川砂 = 1 : 0.5 : 2.25)

6-2 実験方法

実験方法については、「ダブルシリンダーを用いたASR骨材判定試験方法(案)」を参照。

6-3 使用材料

1) セメント；普通ポルトランドセメント

比重 3.15

アルカリ量 0.65 (%)

2) 細骨材（コンクリート法）；富士川砂

比重 2.62

吸水率 1.40 (%)

3) 練り混ぜ水；イオン交換水

4) アルカリ調整試薬；NaCl（食塩；NaCl 99 %以上）

6-4 試験骨材

試験を実施した骨材の化学法，モルタルバー法の試験結果を表6-2に示す。

表6-2(1) 化学法，モルタルバー法試験結果

No.	地 建 No.	岩 種	化 学 法			モルタルバー法		
			S c	R c	判 定	3 ヶ 月	6 ヶ 月	判 定
1	九州 18	蛇 紋 岩	0	74	I	0.0529	0.0612	I
2	38	安 山 岩	214	81	D	0.0152	0.0207	I
3	60	安 山 岩	638	177	P	0.0850	0.1250	D
4	63	安 山 岩	630	167	P	0.1345	0.1931	D
5	70	安 山 岩	350	136	P	0.0362	0.1071	D
6	74	安 山 岩	528	158	P	0.2412	0.3816	D
7	77	安 山 岩	532	186	P	0.1326	0.2419	D
8	81	安 山 岩	594	146	P	0.3750	0.4481	D
9	93	安 山 岩	549	176	P	0.4300	0.6150	D
10	96	玄武岩・安山岩	710	161	P	0.2095	0.2834	D
11	111	安 山 岩	566	172	P	0.0636	0.2152	D
12	117	玄武岩（～玄武岩安山岩）	188	82	D	0.0159	0.0312	I
13	129	頁 岩	92	36	D	0.0795	0.3852	D
14	四国 3	玄 武 岩	220	140	D	0.1609	0.2062	D
15	7	安 山 岩	451	138	D	0.3219	0.4414	D
16	10	安 山 岩	228	56	D	0.0464	0.1734	D
17	岡山 46	頁 岩 ・ 砂 岩	—	—	—	0.0045	0.0809	I
18	広島 64	粘板岩・凝灰岩・チャート	63	28	D	0.0284	0.1629	D
19	鳥取 15	石 英 安 山 岩	366	68	D	0.2002	0.2945	D
20	16	安 山 岩	—	—	—	0.0998	0.1016	D
21	近畿 64	石英安山岩質火砕岩	150	72	D	-0.0131	-0.0004	I
22	83	輝緑凝灰岩・粘板岩	32	38	I	0.0136	0.0829	I
23	117	安山岩類 ・ 他	21	66	I	0.2298	0.4702	D
24	愛知 43	チャート ・ 砂岩	68	19	D	0.1388	0.2950	D
25	北陸 41	安 山 岩	72	59	D	0.0009	0.0000	I
26	166	安 山 岩	526	142	P	0.2550	0.3934	D
27	176	砂 岩 ・ 安 山 岩	57	31	D	0.0084	0.0200	I
28	群馬 5	安 山 岩	276	58	D	0.1262	0.2088	D
29	7	安 山 岩	442	101	D	0.2919	0.3679	D
30	長野 4	安 山 岩	224	104	P	0.2776	0.4503	D
31	9	安 山 岩	23	35	I	0.2433	0.4436	D
32	10	安 山 岩	489	160	P	0.0474	0.1952	D
33	12	安 山 岩	—	—	—	0.0786	0.1679	D
34	東北 1	安 山 岩	—	—	—	0.0890	0.1571	D
35	30	安 山 岩	545	105	D	0.1731	0.2843	D
36	31	安 山 岩	448	99	D	0.0795	0.1952	D

表6-2(2) 化学法, モルタルバー法試験結果

No.	地 建 No.	岩 種	化 学 法			モルタルバー法		
			S c	R c	判 定	3 ヶ 月	6 ヶ 月	判 定
37	東北 30	玄武岩・玄武岩質火砕岩	458	121	P	0.0705	0.1052	D
38	44	花崗閃緑岩	—	—	—	0.0117	0.0122	I
39	49	安山岩	—	—	—	0.0201	0.0781	I
40	59	チャート	—	—	—	0.1093	0.2561	D
41	114	チャート・粘板岩	58	33	D	0.0962	0.2298	D
42	228	安山岩	—	—	—	0.1298	0.1676	D
43	ch 11	チャート	37	1	D	0.0567	0.2000	D
44	13	チャート	83	28	D	0.1012	0.3079	D
45	19	チャート	78	20	D	0.0657	0.2536	D
46	九州 17	輝緑凝灰岩	16	44	I	0.0021	0.0143	I
47	112	安山岩	32	84	I	-0.0062	0.0079	I
48	四国 30	安山岩	54	253	I	0.0226	-0.0159	I
49	34	安山岩	32	134	I	0.0004	-0.0005	I
50	39	輝緑岩	14	20	I	0.0036	0.0057	I
51	71	石灰岩	1	14	I	0.0059	0.0064	I
52	島根 6	石英安山岩	—	—	—	-0.0098	-0.0250	I
53	近畿 33	砂岩	—	—	—	-0.0002	0.0159	I
54	107	砂岩	—	—	—	-0.0091	-0.0043	I
55	北陸 169	安山岩	21	105	I	0.0105	-0.0093	I
56	群馬 3	安山岩	26	103	I	-0.0034	-0.0045	I
57	9	安山岩	44	312	I	-0.0112	-0.0076	I
58	東北 98	輝緑岩	26	41	I	0.0055	0.0134	I
59	125	頁岩	—	—	—	0.0029	0.0371	I
60	231	安山岩	—	—	—	-0.0091	-0.0126	I
61	244	安山岩	—	—	—	-0.0238	0.0260	I
62	294	石英安山岩	—	—	—	-0.0141	-0.0079	I
63	443	安山岩	—	—	—	-0.0029	0.0016	I
64	471	砂岩	—	—	—	0.0109	0.0157	I
65	ch 34	チャート	124	300	I	-0.0195	-0.0166	I
66	A 1	サヌカイト質輝石安山岩	196	845	P	0.2419	0.3514	D
67	A 2	チャート	22	98	D	0.0962	0.1395	D
68	A 3	輝石安山岩	112	209	P	0.2052	0.2640	D
69	A 4	輝石安山岩	—	—	—	0.3805	0.4638	D
70	A 5	砂岩	—	—	—	—	—	—
71	富士川	—	—	—	—	—	—	—

6-5 結果及び考察

表6-3～表6-8に各試料骨材の膨張量測定結果を、図6-1にモルタルバー法材令6ヶ月の膨張量とダブルシリンダー法材令13週の膨張量の関係を示す。

モルタル供試体では、実施した70骨材のうちでモルタルバー法で有害と判定された39骨材中31骨材の供試体でクラックが確認され有害と判定され、無害骨材についてはモルタルバー法とどの供試体とも同じ結果を示した。モルタルバー法で有害と判定された骨材でクラックが発生していない6骨材のうち4骨材はチャート系の骨材であり、図6-2に示すように溶解シリカ量が 100 mmol/l 以下でアルカリ濃度減少量が 30 mmol/l 以下の骨材であった。但し、チャート系の骨材であってもアルカリ濃度減少量が 100 mmol/l 程度の骨材ではクラックが確認されていることから、チャート系骨材でアルカリ濃度減少量が 30 mmol/l 以下の骨材のチャート系骨材には必ずしも材令13週における判定結果ではモルタルバー法の判定結果を得るとは限らないことが明らかとなった。また、残り2骨材についてはモルタルバー法の3ヶ月の膨張量が 1000μ 以下の比較的膨張速度の緩い有害骨材であり、材令13週以前にクラックの発生がなかったと考えられる。

モルタル供試体では材令13週の判定結果は、実施した70骨材でモルタルバーとの相関が90%以上の高い対応が得られており、アルカリ骨材の簡易試験法としては適用可能であると思われる。但し、チャート系骨材及び反応速度が緩い有害骨材について危険側の判定となるようである。

一方、コンクリート供試体ではクラックが確認できた有害骨材は31骨材中、僅か8骨材だけでありコンクリート供試体での促進試験法の検討が今後必要である。コンクリート供試体のアルカリ量については検討実験の結果より材令13週での判定が可能なアルカリ量が7kg以上であったことからモルタルバーのアルカリ量 $\text{Na}_2\text{O} = 1.2\%$ に相当する総アルカリ量7.2kgと設定した。しかし、コンクリート供試体の場合、粗骨材の比表面積が細骨材に比べ小さいために反応性が異なり、モルタルと同等のアルカリ量ではモルタル供試体と同程度の材令でクラックを発生させることは無理であった。このことは、A1～A4骨材について、総アルカリ量7.2kgのコンクリートで骨材を粗骨材とした場合、細骨材とした場合の比較を行なった結果の一例を示した図6-3から伺える。同量の総アルカリ量であっても細骨材とした場合には、モルタル供試体（アルカリ量 $C \times 1.2\%$ ）と同じ材令でクラックが確認されたが、粗骨材の場合にはこれより遅れクラックが確認された。

以上より、コンクリート供試体（粗骨材）ではモルタル供試体（細骨材）より反応に多くの時間を要するため、アルカリ量等の高エネルギーを与えなければモルタルと同程度の反応速度を得ることは困難であると思われる。（参考文献4）

表 6-4 膨張量測定結果(実証実験)

試料名	化学法結果	試験方法	材 令							
			2 週	4 週	6 週	8 週	10 週	13 週	20 週	26 週
九州- 18	無 害	モルタルバー法	—	0.0471	—	0.0502	—	0.0529	—	0.0612
		D. C法(モルタル)	0.0200	0.0200	0.0233	0.0233	0.0233	0.0233		
		D. C法(コンクリート)	0.0000	0.0100	0.0233	0.0233	0.0233	0.0233		
九州- 38	有 害	モルタルバー法	—	0.0112	—	0.0160	—	0.0152	—	0.0207
		D. C法(モルタル)	0.0033	0.0033	0.0067	0.0100	0.0100	0.0067		
		D. C法(コンクリート)	0.0067	0.0100	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167		
九州- 60	潜在的有害	モルタルバー法	—	-0.0209	—	0.0602	—	0.0850	—	0.1252
		D. C法(モルタル)	0.0267	0.0367	0.0400	0.0400	0.0500	0.0867		
		D. C法(コンクリート)	0.0100	0.0033	0.0000	0.0000	0.0000	0.0167		
九州- 63	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.0388	—	0.1002	—	0.1345	—	0.1931
		D. C法(モルタル)	0.0200	0.0267	0.0300	0.0333	0.0633	0.13567		
		D. C法(コンクリート)	0.0100	0.0100	0.0133	0.0133	0.0167	0.0167		
九州- 70	潜在的有害	モルタルバー法	—	-0.0193	—	-0.0024	—	0.0362	—	0.1671
		D. C法(モルタル)	0.0167	0.0200	0.0233	0.0267	0.0433	0.10500		
		D. C法(コンクリート)	0.0000	0.0033	0.0133	0.0133	0.0167	0.0167		
九州- 74	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.0700	—	0.1757	—	0.2412	—	0.3816
		D. C法(モルタル)	0.0267	0.1067	0.16100	0.19400	0.19833	0.2066		
		D. C法(コンクリート)	0.0067	0.0233	0.0233	0.0367	0.0367	0.1800		
九州- 77	潜在的有害	モルタルバー法	—	-0.0129	—	0.0464	—	0.1326	—	0.2419
		D. C法(モルタル)	0.0167	0.0333	0.0333	0.0933	0.15133	0.16700		
		D. C法(コンクリート)	0.0100	0.0133	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167		
九州- 81	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.1819	—	0.13124	—	0.13760	—	0.4481
		D. C法(モルタル)	0.14033	0.14600	0.10533	0.11900	0.12833	0.14067		
		D. C法(コンクリート)	0.0033	0.1933	0.12400	0.14733	0.15767	0.16533		
九州- 93	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.1316	—	0.13167	—	0.14300	—	0.6150
		D. C法(モルタル)	0.0233	0.0333	0.0333	0.0433	0.0600	0.1400		
		D. C法(コンクリート)	0.0100	0.0133	0.0133	0.0167	0.0267	0.0300		
九州- 96	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.0100	—	0.1760	—	0.2066	—	0.2834
		D. C法(モルタル)	0.0100	0.0133	0.1267	0.13033	0.15200	0.19267		
		D. C法(コンクリート)	0.0100	0.0100	0.0867	0.11867	0.11900	0.13067		
九州- 111	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.0131	—	0.0210	—	0.0636	—	0.2152
		D. C法(モルタル)	0.0200	0.0267	0.0300	0.0333	0.0867	0.17000		
		D. C法(コンクリート)	0.0067	0.0167	0.0200	0.0200	0.0200	0.0167		
九州- 117	有 害	モルタルバー法	—	-0.0067	—	0.0093	—	0.0159	—	0.0312
		D. C法(モルタル)	0.0133	0.0133	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167		
		D. C法(コンクリート)	0.0067	0.0067	0.0033	0.0000	0.0000	0.0000		
九州- 129	有 害	モルタルバー法	—	-0.0045	—	0.0250	—	0.0765	—	0.3852
		D. C法(モルタル)	0.0167	0.0167	0.0267	0.0400	0.0433	0.0933		
		D. C法(コンクリート)	0.0100	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200		
四国- 3	有 害	モルタルバー法	—	0.0050	—	0.1238	—	0.1609	—	0.2062
		D. C法(モルタル)	0.0000	0.1233	0.1233	0.1400	0.1533	0.12067		
		D. C法(コンクリート)	0.0000	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0067		
四国- 7	有 害	モルタルバー法	—	0.1850	—	0.2762	—	0.3219	—	0.4414
		D. C法(モルタル)	0.0667	0.4933	0.15033	0.17233	0.17700	0.19833		
		D. C法(コンクリート)	0.0800	0.2300	0.2667	0.3300	0.3900	0.4567		
四国- 10	有 害	モルタルバー法	—	0.0171	—	0.0305	—	0.0464	—	0.1734
		D. C法(モルタル)	0.0200	0.0333	0.0400	0.0733	0.1767	0.1667		
		D. C法(コンクリート)	0.0067	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0300		

クラック有

表 6 - 5 膨張量測定結果 (実証実験)

試料名	化学法結果	試験方法	材 令							
			2 週	4 週	6 週	8 週	10 週	13 週	20 週	26 週
岡山 - 46	—	モルタルバー法	—	-0.0236	—	0.0105	—	-0.0045	—	0.0809
		D. C 法(砂)	0.0000	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0100	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	—	—
広島 - 64	有 害	モルタルバー法	—	-0.0038	—	0.0124	—	0.0284	—	0.1629
		D. C 法(砂)	0.0000	0.0033	0.0000	0.0100	0.0100	0.0267	—	—
		D. C 法(コンクリート)	-0.0033	0.0000	0.0000	0.0033	0.0033	0.0100	—	—
鳥取 - 15	有 害	モルタルバー法	—	0.1067	—	0.1824	—	0.2002	—	0.2945
		D. C 法(砂)	0.0167	0.0200	0.0333	0.0467	0.0567	—	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0200	0.0333	0.0433	0.0433	—	—	—
鳥取 - 16	—	モルタルバー法	—	0.0038	—	0.0507	—	0.0988	—	0.1068
		D. C 法(砂)	0.0067	0.0100	0.0133	0.1033	0.3833	0.5787	—	—
		D. C 法(コンクリート)	—	—	—	—	—	—	—	—
近畿 - 64	有 害	モルタルバー法	—	-0.0241	—	-0.0195	—	-0.0131	—	-0.0064
		D. C 法(砂)	0.0233	0.0433	0.0433	0.0433	0.0467	—	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0167	0.0267	0.0433	0.0433	0.0467	—	—	—
近畿 - 83	無 害	モルタルバー法	—	-0.0048	—	0.0021	—	0.0136	—	0.0820
		D. C 法(砂)	0.0133	0.0100	0.0367	0.0367	0.0367	—	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0067	0.0067	0.0133	0.0333	0.0333	—	—	—
近畿 - 117	無 害	モルタルバー法	—	0.0090	—	0.0978	—	0.2288	—	0.4702
		D. C 法(砂)	0.0000	0.0000	0.0367	0.0787	0.1533	—	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0033	0.0000	0.0067	0.0167	0.0267	—	—	—
愛知 - 43	有 害	モルタルバー法	—	0.0109	—	0.0784	—	0.1338	—	0.2950
		D. C 法(砂)	0.0267	0.1433	0.1467	0.1533	0.1867	0.1867	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0067	0.0033	0.0033	0.0033	0.0133	—	—
北陸 - 41	有 害	モルタルバー法	—	-0.0055	—	—	—	—	—	—
		D. C 法(砂)	0.0000	0.0033	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	—	0.0000
		D. C 法(コンクリート)	—	—	—	—	—	—	—	—
北陸 - 166	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.0866	—	0.2071	—	0.2550	—	0.3934
		D. C 法(砂)	0.0033	0.0033	0.2167	0.6967	0.8133	0.8300	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0033	0.0200	0.0333	0.0400	0.0633	0.2367	—	—
北陸 - 176	有 害	モルタルバー法	—	0.0041	—	0.0043	—	0.0084	—	0.0200
		D. C 法(砂)	0.0033	0.0000	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0067	0.0067	0.0067	0.0100	0.0100	—	—
群馬 - 5	有 害	モルタルバー法	—	-0.0157	—	0.0818	—	0.1262	—	0.2088
		D. C 法(砂)	0.0433	0.0167	0.6533	0.6800	0.6933	0.7239	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0033	0.0100	0.0267	0.0567	0.1033	0.1600	—	—
群馬 - 7	有 害	モルタルバー法	—	0.0952	—	0.2231	—	0.2919	—	0.3679
		D. C 法(砂)	0.4900	0.8367	0.8900	0.7867	0.8533	0.9933	—	—
		D. C 法(コンクリート)	—	—	—	—	—	—	—	—
長野 - 4	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.0355	—	0.1778	—	0.2778	—	0.4593
		D. C 法(砂)	0.0000	0.0267	0.0367	0.0467	0.0967	0.2533	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0033	0.0067	0.0033	0.0033	0.0000	0.0100	—	—
長野 - 9	無 害	モルタルバー法	—	0.0169	—	0.1000	—	0.2493	—	0.4436
		D. C 法(砂)	0.0067	0.0467	0.6167	0.8787	0.9800	1.0587	—	—
		D. C 法(コンクリート)	—	—	—	—	—	—	—	—
長野 - 10	潜在的有害	モルタルバー法	—	-0.0021	—	0.0186	—	0.0474	—	0.1852
		D. C 法(砂)	0.0000	0.0067	0.0067	0.0067	0.0133	0.0233	—	—
		D. C 法(コンクリート)	—	—	—	—	—	—	—	—

クラック有

表 6 - 6 膨張量測定結果 (実証実験)

試料名	化学法結果	試験方法	材 令							
			2 週	4 週	6 週	8 週	10 週	13 週	20 週	26 週
長野- 12	-----	モルタルバー法	—	0.0005	—	0.0295	—	0.0788	—	0.1679
		D. C 法(189A)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0167	0.4133	—	—
		D. C 法(コンクリート)	—	—	—	—	—	—	—	—
東北- 1	-----	モルタルバー法	—	0.0209	—	0.0841	—	0.0890	—	0.1571
		D. C 法(189A)	0.0067	0.0067	0.0100	0.0133	0.0133	0.0200	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0233	0.0200	—	—
東北- 30	有 害	モルタルバー法	—	0.0316	—	0.1688	—	0.2302	—	0.3217
		D. C 法(189A)	0.0233	0.4467	0.9967	1.1267	1.2167	1.3200	—	—
		D. C 法(コンクリート)	—	—	—	—	—	—	—	—
東北- 31	有 害	モルタルバー法	—	0.0276	—	0.1171	—	0.1731	—	0.2843
		D. C 法(189A)	0.0067	0.0167	0.0933	0.1833	0.6400	1.1067	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0267	0.0300	0.0367	0.0367	0.0367	0.0600	—	—
東北- 38	潜在的有害	モルタルバー法	—	-0.0012	—	0.0502	—	0.0795	—	0.1852
		D. C 法(189A)	0.0100	0.0233	0.0300	0.2367	0.3067	—	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0333	0.0433	0.0333	0.0333	0.0433	—	—	—
東北- 44	-----	モルタルバー法	—	-0.0009	—	0.0107	—	0.0117	—	0.0112
		D. C 法(189A)	0.0233	0.0233	0.0267	0.0267	0.0367	0.0333	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0033	0.0067	0.0133	0.0367	0.0133	—	—
東北- 49	-----	モルタルバー法	—	-0.0021	—	0.0212	—	0.0281	—	0.0781
		D. C 法(189A)	0.0033	0.0067	0.0067	0.0067	0.0133	0.0133	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	0.0033	0.0000	—	—
東北- 59	-----	モルタルバー法	—	0.0118	—	0.1129	—	0.1893	—	0.2561
		D. C 法(189A)	0.0500	0.0900	0.0967	0.1067	0.1100	0.1100	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0067	0.0133	0.0167	0.0167	0.0233	0.0233	—	—
東北- 114	有 害	モルタルバー法	—	0.0012	—	0.0386	—	0.0982	—	0.2298
		D. C 法(189A)	0.0233	0.0700	0.1033	0.1167	0.1167	—	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0133	0.0200	0.0367	0.0400	0.0400	—	—	—
東北- 228	-----	モルタルバー法	—	0.0264	—	0.1105	—	0.1298	—	0.1678
		D. C 法(189A)	0.2100	0.7267	0.9000	0.9787	1.0800	1.13467	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0033	0.0100	0.0233	0.0300	0.0333	0.0367	—	—
ch- 11	有 害	モルタルバー法	—	-0.0048	—	0.0166	—	0.0587	—	0.2000
		D. C 法(189A)	0.0100	0.0167	0.0167	0.0167	0.0200	0.0333	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0133	0.0133	0.0167	0.0133	0.0167	0.0167	—	—
ch- 13	有 害	モルタルバー法	—	0.0041	—	0.0359	—	0.1012	—	0.3079
		D. C 法(189A)	0.0033	0.0100	0.0133	0.0233	0.0167	0.0200	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0133	0.0133	0.0133	0.0200	0.0167	0.0167	—	—
ch- 19	有 害	モルタルバー法	—	0.0055	—	0.0231	—	0.0657	—	0.2536
		D. C 法(189A)	0.0067	0.0133	0.0200	0.0233	0.0267	0.0267	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0033	0.0067	0.0000	0.0000	0.0033	0.0033	—	—
九州- 17	無 害	モルタルバー法	—	-0.0031	—	0.0038	—	0.0021	—	0.0143
		D. C 法(189A)	0.0033	0.0033	0.0067	0.0200	0.0200	0.0200	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	—	—
九州- 112	無 害	モルタルバー法	—	-0.0043	—	-0.0076	—	-0.0062	—	0.0079
		D. C 法(189A)	0.0000	0.0000	0.0133	0.0133	0.0100	0.0100	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0000	0.0033	0.0033	0.0067	0.0067	—	—
四国- 30	無 害	モルタルバー法	—	-0.0219	—	-0.0219	—	-0.0226	—	-0.0159
		D. C 法(189A)	0.0000	0.0033	0.0067	0.0100	0.0200	—	—	—
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0000	-0.0067	-0.0067	-0.0067	—	—	—

クラック有

表 6 - 7 膨張量測定結果 (実証実験)

試料名	化学法結果	試験方法	材 令							
			2 週	4 週	6 週	8 週	10 週	13 週	20 週	26 週
四国- 34	無 害	モルタルバー法	—	-0.0050	—	0.0000	—	0.0004	—	-0.0005
		D. C 法(錫箔)	0.0033	0.0033	0.0100	0.0100	0.0100			
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	0.0033			
四国- 39	無 害	モルタルバー法	—	-0.0160	—	-0.0052	—	-0.0036	—	0.0057
		D. C 法(錫箔)	0.0033	0.0033	0.0033	0.0200	0.0200			
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0000	-0.0033	0.0033	0.0100			
四国- 71	無 害	モルタルバー法	—	0.0002	—	0.0029	—	0.0059	—	0.0064
		D. C 法(錫箔)	0.0033	0.0067	0.0133	0.0133	0.0133			
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0033	0.0033	0.0133	0.0200			
島根- 6	—	モルタルバー法	—	-0.0248	—	-0.0302	—	-0.0098	—	-0.0250
		D. C 法(錫箔)	0.0033	0.0033	0.0033	0.0067	0.0133			
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0000	0.0033	0.0033	0.0033			
近畿- 33	—	モルタルバー法	—	-0.0159	—	-0.0055	—	-0.0002	—	0.0159
		D. C 法(錫箔)	0.0100	0.0133	0.0133	0.0500	0.0500			
		D. C 法(コンクリート)	0.0100	0.0100	0.0167	0.0167	0.0167			
近畿- 107	—	モルタルバー法	—	-0.0176	—	-0.0131	—	-0.0091	—	-0.0043
		D. C 法(錫箔)	0.0067	0.0133	0.0133	0.0100	0.0167	0.0167		
		D. C 法(コンクリート)	0.0033	0.0033	0.0133	0.0167	0.0167	0.0167		
北陸- 169	無 害	モルタルバー法	—	-0.0169	—	-0.0086	—	-0.0105	—	-0.0093
		D. C 法(錫箔)	0.0233	0.0233	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267		
		D. C 法(コンクリート)	—	—	—	—	—	—		
群馬- 3	無 害	モルタルバー法	—	-0.0016	—	-0.0055	—	-0.0034	—	-0.0045
		D. C 法(錫箔)	0.0000	0.0033	0.0033	0.0067	0.0067	0.0033		
		D. C 法(コンクリート)	—	—	—	—	—	—		
群馬- 9	無 害	モルタルバー法	—	-0.0176	—	-0.0188	—	-0.0112	—	-0.0076
		D. C 法(錫箔)	0.0033	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100			
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	-0.0033	-0.0033	0.0000	-0.0033			
東北- 98	—	モルタルバー法	—	-0.0031	—	0.0076	—	0.0055	—	0.0134
		D. C 法(錫箔)	0.0033	0.0033	0.0167	0.0167	0.0200	0.0200		
		D. C 法(コンクリート)	0.0067	0.0067	0.0100	0.0067	0.0033	0.0033		
東北- 125	—	モルタルバー法	—	-0.0093	—	0.0060	—	0.0029	—	0.0371
		D. C 法(錫箔)	0.0100	0.0100	0.0133	0.0133	0.0200	0.0200		
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0033	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133		
東北- 231	—	モルタルバー法	—	-0.0181	—	-0.0131	—	-0.0191	—	-0.0126
		D. C 法(錫箔)	0.0233	0.0233	0.0333	0.0333	0.0367	0.0433		
		D. C 法(コンクリート)	0.0067	0.0100	0.0200	0.0233	0.0233	0.0233		
東北- 244	—	モルタルバー法	—	0.0226	—	-0.0205	—	-0.0238	—	0.0260
		D. C 法(錫箔)	0.0200	0.0233	0.0267	0.0267	0.0333	0.0333		
		D. C 法(コンクリート)	0.0033	0.0067	0.0067	0.0100	0.0300	0.0300		
東北- 294	—	モルタルバー法	—	-0.0105	—	-0.0121	—	-0.0141	—	-0.0079
		D. C 法(錫箔)	0.0000	0.0000	0.0067	0.0067	0.0167			
		D. C 法(コンクリート)	0.0200	0.0300	0.0267	0.0267	0.0267			
東北- 443	—	モルタルバー法	—	-0.0057	—	-0.0021	—	-0.0029	—	0.0016
		D. C 法(錫箔)	0.0133	0.0200	0.0267	0.0267	0.0267			
		D. C 法(コンクリート)	0.0167	0.0333	0.0333	0.0333	0.0367			
東北- 471	—	モルタルバー法	—	-0.0005	—	0.0076	—	0.0109	—	0.0157
		D. C 法(錫箔)	0.0167	0.0133	0.0133	0.0167	0.0200			
		D. C 法(コンクリート)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0200	0.0200			

 クラック有

表 6 - 8 膨張量測定結果 (実証実験)

試 料 名	化学法結果	試 験 方 法	材 令							
			2 週	4 週	6 週	8 週	10 週	13 週	20 週	26 週
c h - 34	無 害	モルタルバー法	—	-0.0148	—	-0.0207	—	-0.0195	—	-0.0166
		D. C 法 (特殊)	0.0033	-0.0067	-0.0033	0.0067	0.0067	—	—	—
		D. C 法 (コンクリート)	0.0033	0.0167	0.0267	0.0267	0.0267	—	—	—
A 1	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.0319	—	0.1484	—	0.2419	—	0.3514
		D. C 法 (特殊)	0.0100	0.0433	0.0833	0.3000	0.7967	—	—	—
		D. C 法 (コンクリート : G)	0.0033	0.0100	0.0233	0.0267	0.0300	0.0300	—	—
		D. C 法 (コンクリート : S)	0.0067	0.4133	0.6500	0.6800	0.7800	—	—	—
A 2	有 害	モルタルバー法	—	0.0302	—	0.0502	—	0.0962	—	0.1395
		D. C 法 (特殊)	0.0487	0.1367	0.1700	0.2100	0.2133	—	—	—
		D. C 法 (コンクリート : G)	0.0067	0.0200	0.0233	0.0233	0.0233	0.0300	—	—
		D. C 法 (コンクリート : S)	0.0833	0.1867	0.2000	0.2000	0.2000	—	—	—
A 3	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.0869	—	0.1448	—	0.2052	—	0.2640
		D. C 法 (特殊)	0.0333	0.0033	0.1833	0.2333	0.3100	—	—	—
		D. C 法 (コンクリート : G)	0.0000	0.0200	0.0267	0.0267	0.0267	0.0300	—	—
		D. C 法 (コンクリート : S)	0.0067	0.1733	0.2033	0.2467	0.3033	—	—	—
A 4	潜在的有害	モルタルバー法	—	0.1495	—	0.2886	—	0.3805	—	0.4638
		D. C 法 (特殊)	0.0787	0.6800	0.7500	0.7900	0.8100	—	—	—
		D. C 法 (コンクリート : G)	0.0000	0.0200	0.0267	0.0433	0.1787	0.2467	—	—
		D. C 法 (コンクリート : S)	0.2733	0.7433	0.7800	0.7800	0.7867	—	—	—
A 5	無 害	モルタルバー法	—	—	—	—	—	—	—	—
		D. C 法 (特殊)	—	—	—	—	—	—	—	—
		D. C 法 (コンクリート)	0.0033	0.0067	0.0067	0.0067	0.0033	0.0033	—	—
富士川砂	無 害	モルタルバー法	—	—	—	—	—	—	—	—
		D. C 法 (特殊)	-0.0033	0.0133	0.0167	0.0167	0.0167	—	—	—
		D. C 法 (コンクリート)	—	—	—	—	—	—	—	—

 クラック有

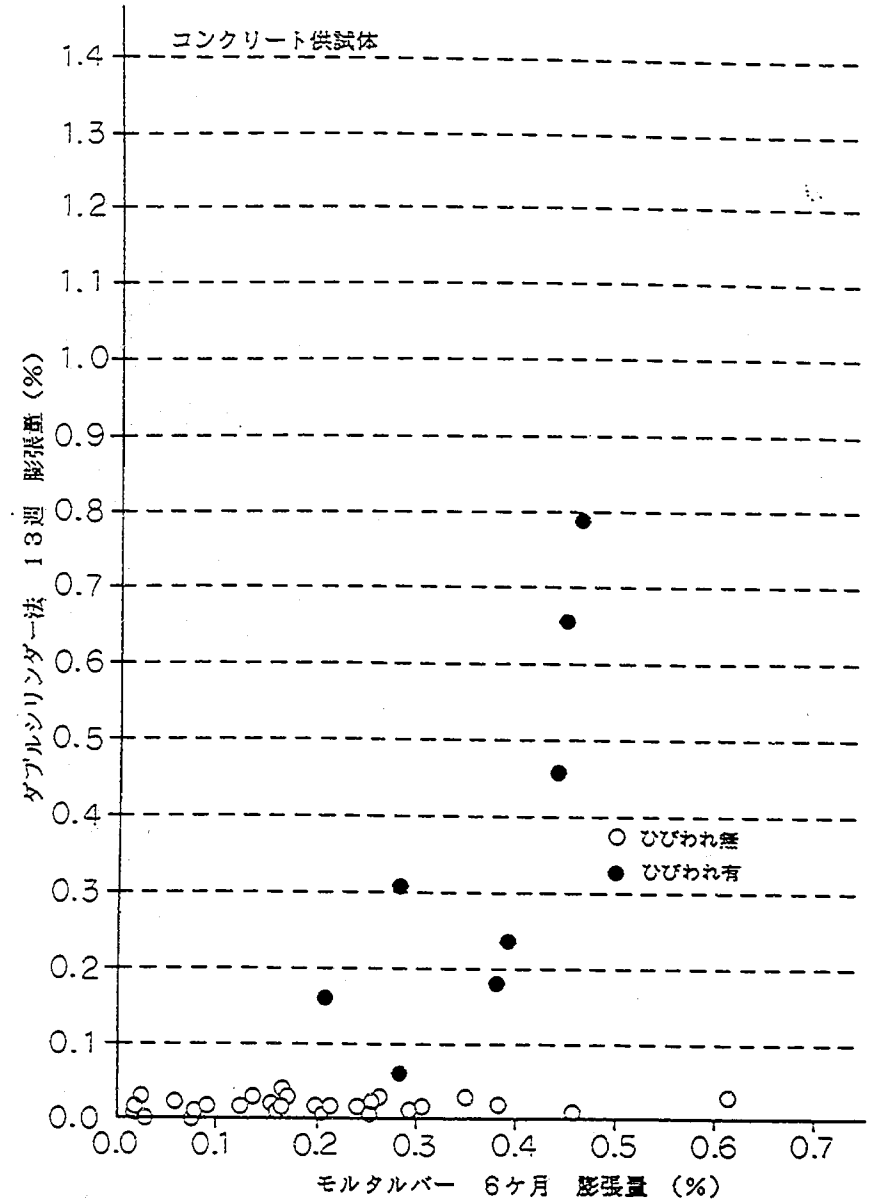
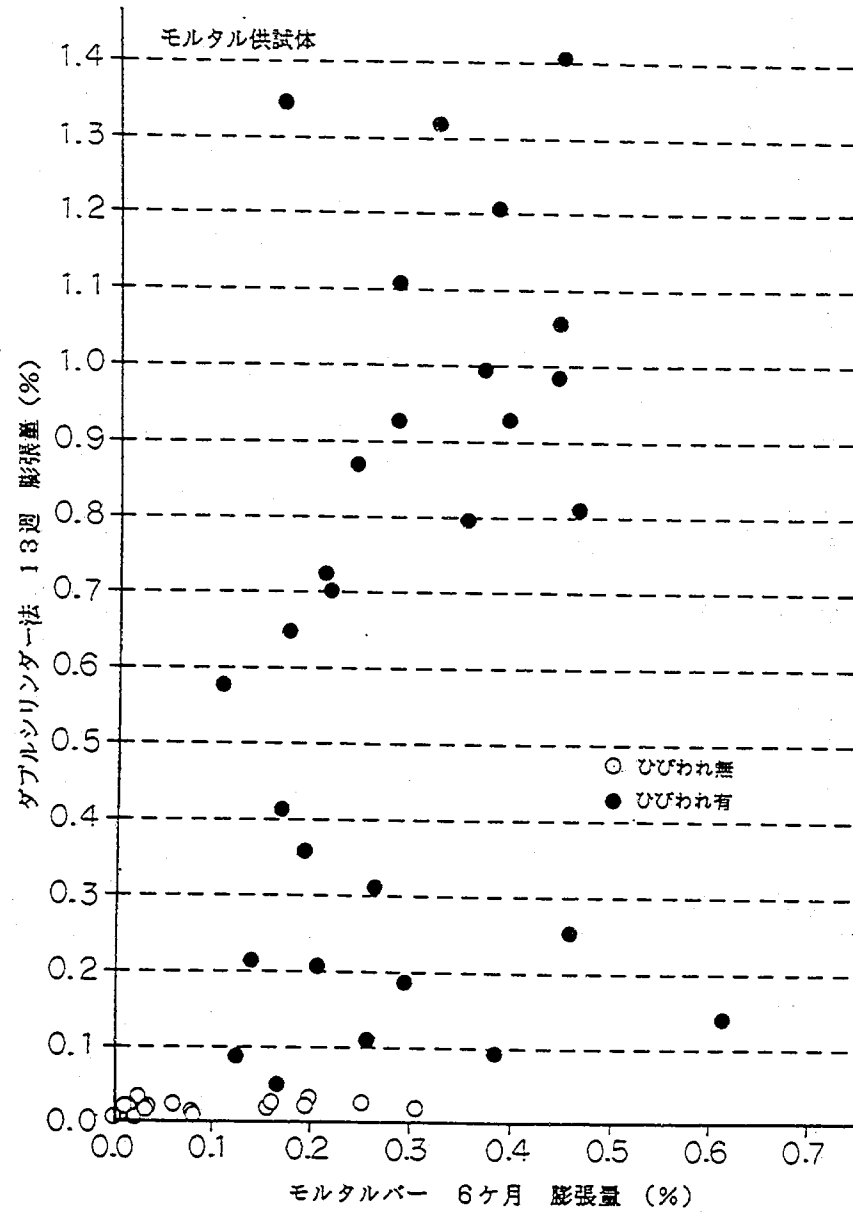


図 6-1 モルタルバー法との膨張量の関係 (実証実験)

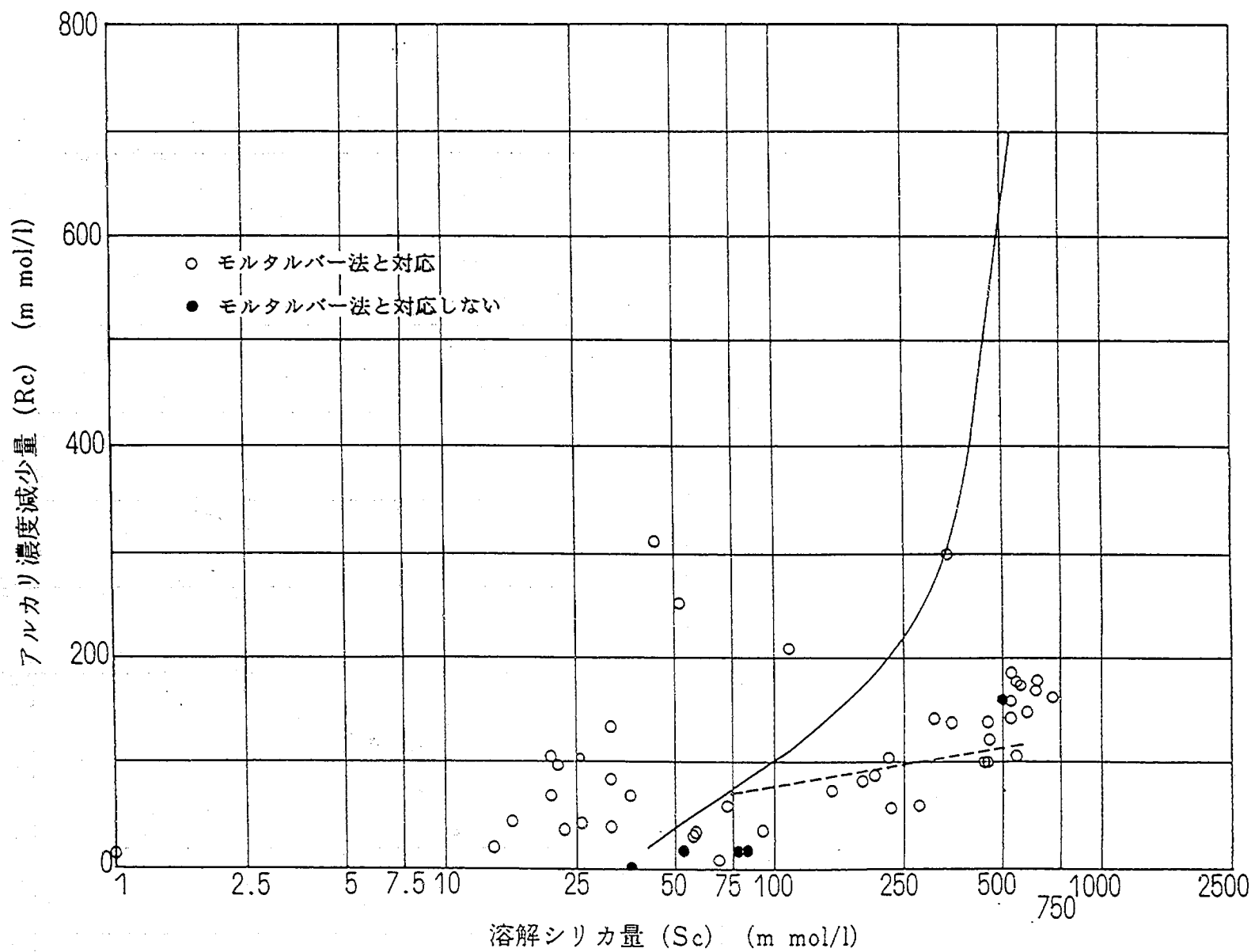


図 6-2 化学法とダブルシリンドー法の関係

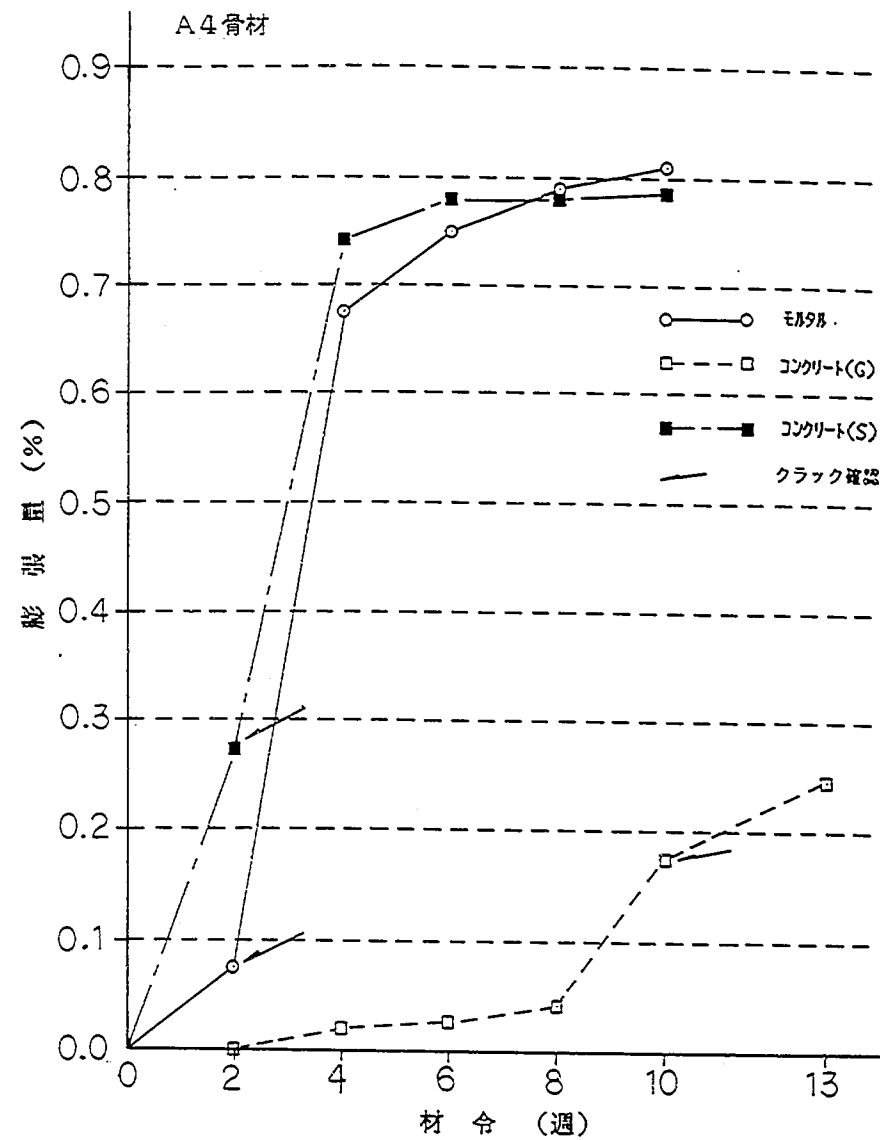
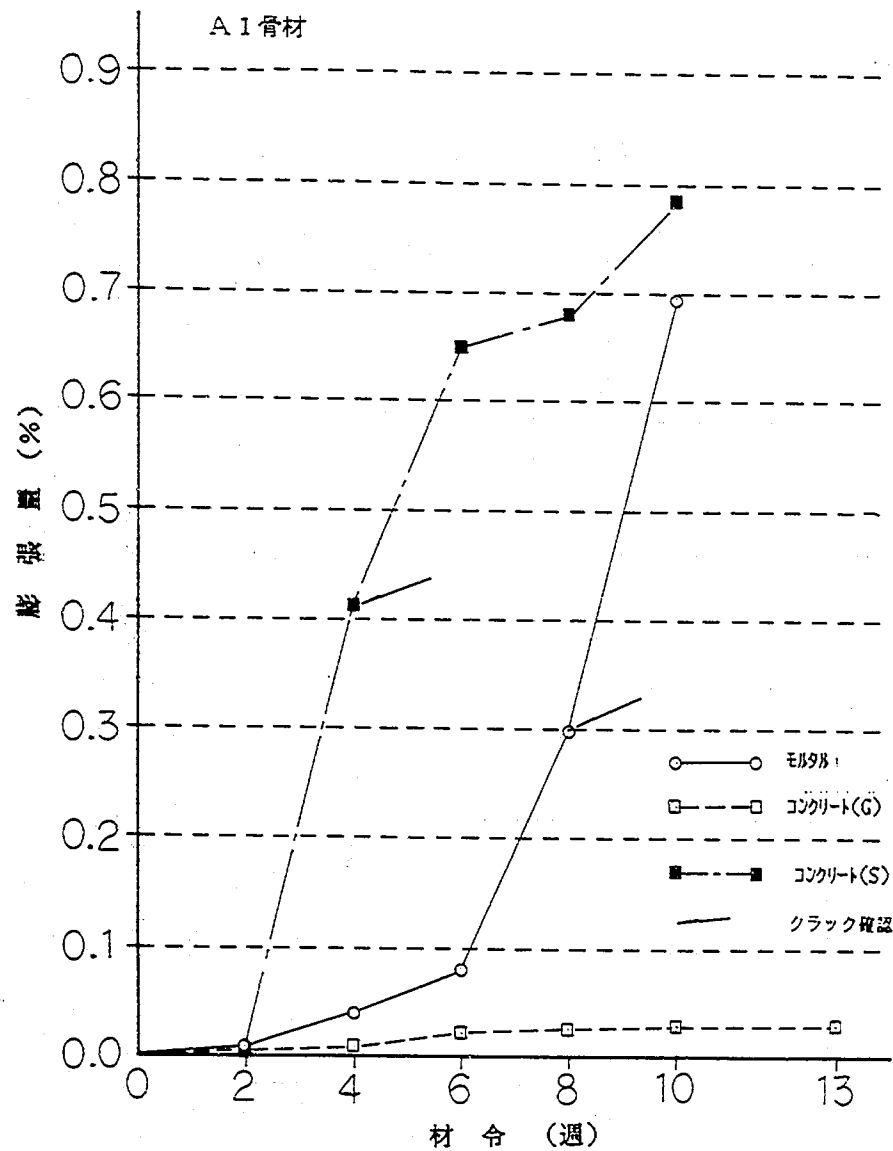


図 6-3 材令と膨張量の関係 (実証実験)

6-6 まとめ

- 1) モルタル供試体では、材令13週の判定結果は実施した70骨材中64骨材（有害骨材39骨材中33骨材）がモルタルバー法の結果と対応しており、無害骨材についてはすべて対応した。
- 2) モルタル供試体で、モルタルバー法の結果が有害と判定された骨材のうちクラックが確認できなかった6骨材のうち4骨材はチャート系骨材で化学法の結果がアルカリ濃度減少量 30 m mol/l 以下の骨材であった。
- 3) モルタル供試体で、モルタルバーの材令3ヶ月の膨張量が $1000\text{ }\mu$ 以下の有害骨材2骨材でクラックが確認できなかったことから反応速度の緩い有害骨材については、材令13週の判定では危険側の判定となる。
- 4) コンクリート供試体では、有害骨材31骨材のうち8骨材しかクラックが確認されておらず促進試験法の検討が必要である。
- 5) モルタルバーと同じ総アルカリ量 7.2 Kg のコンクリートでは有害骨材が細骨材である場合にはモルタル（アルカリ量 $C \times 1.2\%$ ）と同じ材令でクラックが確認され、モルタル供試体と同程度の膨張状況を示している。

アルカリ骨材反応による有害な膨張の有無を判定する方法として予備実験、モルタル実験の結果から円柱供試体方法（ダブルシンダーを用いた方法）がコンクリートでも反応性が判定でき実用性が高いと判断され検討実験、実証実験を実施した。以下にその結論を述べる。

1) モルタル供試体

ダブルシンダー法は骨材、アルカリ量、養生条件に関係なく 0.05 (%) (建設省暫定案モルタルバー法による材令 3 ケ月の判定基準) の膨張量で縦方向 (円周直角方向) のクラックが発生し、このクラックを観察することにより ASR による膨張の有無を判定するものであり、実験を重ねた結果から目視判定試験方法としては適用できることを確認できた。

アルカリ量 $\text{Na}_2\text{O} = 1.2$ (%) のモルタル供試体で 70 種類の骨材について実験した結果、有害骨材でクラックが発生する材令の幅が大きい材令 13 週ではモルタルバー法と 90% 以上の対応が得られており簡易試験方法として適用できる結果が得られた。しかし、判定材令が材令 13 週程度と長期間を要しておりまた、チャート系骨材、反応が遅い有害骨材では危険側の判定となり促進方法の検討が必要である。検討実験ではアルカリ量 $\text{Na}_2\text{O} = 1.6$ (%) で検討した 3 骨材とも材令 1 週でクラックが確認されていることから、アルカリ量を多くし材令初期の膨張を促進させることにより早期に判定を行うことが可能となり、今回の試験条件より安全側の判定が行なえると思われ今後の検討課題である。

2) コンクリート供試体

コンクリート供試体でもひびわれ発生状況は同じであり、目視判定が可能であると判断された。検討実験の結果から早期判定を考慮し総アルカリ量を 7.2 kg に設定して実証実験を実施したが材令 13 週までの結果ではモルタルバー法で有害と判定された 31 骨材のうちクラックが確認できたのは僅か 8 骨材であった。コンクリートではモルタルに比べ高いエネルギーが必要であるといわれており、実証実験の総アルカリ量 7.2 kg はモルタルの総アルカリ量とほぼ同等量であったためモルタル供試体に比べ反応に時間を要していると考えられ、今後クラックが発生し材令 26 週ではモルタルバー法と高い対応を示すと思われる。しかし、これだけ判定に長期間を要することは簡易試験方法としてのメリットが小さくモルタル供試体と同様に促進方法の検討の必要がある。その方法としてはアルカリ量を多くし膨張を促進させることが簡単であり適した方法であると思われる。その総アルカリ量は 9 ~ 12 kg (モルタルのアルカリ量 $\text{Na}_2\text{O} = 1.6 \sim 2.0$ % に相当) 程度と考えられる。

以上のようにモルタル供試体ではモルタルバー法との対応は高く、目視判定による簡易な ASR

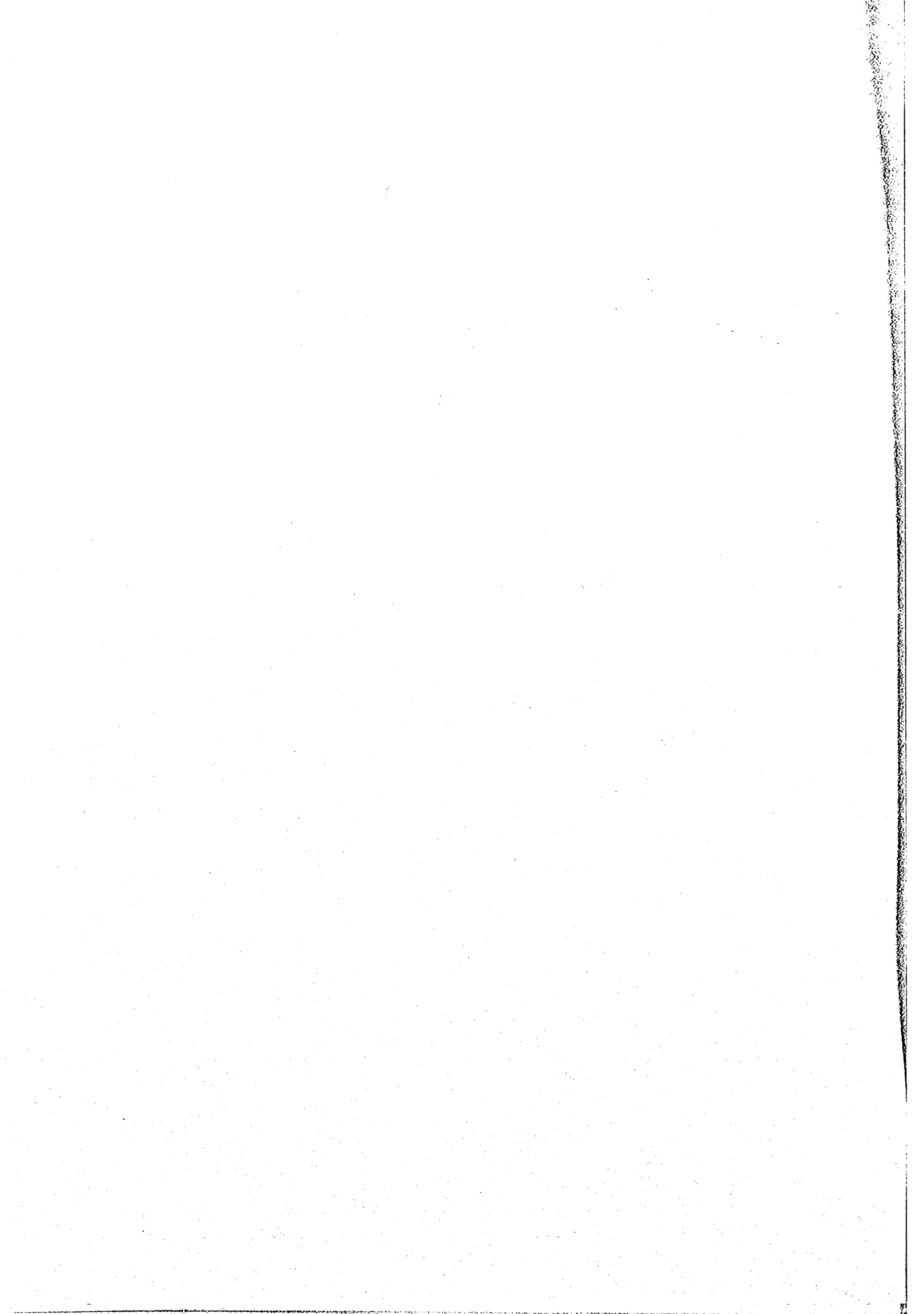
判定試験方法としては適用の可能性は高いと思われるが、判定できる材令が材令13週と長時間を要し、簡易試験法としてのメリットが小さく促進方法について今後の検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) Dr. R. F. M. Bakker ; THE INFLUENCE OF TEST SPECIMEN DIMENSION'S ON THE EXPANSION OF ALKALI REACTIVE AGGREGATE IN CONCRETE ; 6 th INTERNATIONAL CONFERENCE ALKALIS IN CONCRETE PROCEEDINGS , 1983
- 2) 中野錦一，小林茂広，中上明久，石橋秀樹；モルタルバーの膨張量におよぼすアルカリ量および養生条件の影響；第40回セメント技術大会講演要旨，昭和61年5月
- 3) 小林茂敏，小野金造，河野広隆，佐々木一郎；コンクリートのアルカリ骨材反応試験法（モルタルバー法）設定に関する試験調査；土木技術資料 27-8，1985
- 4) 岸谷孝一；アルカリ・シリカ反応における単位アルカリの限界量；セメント技術年報 39
昭和60年

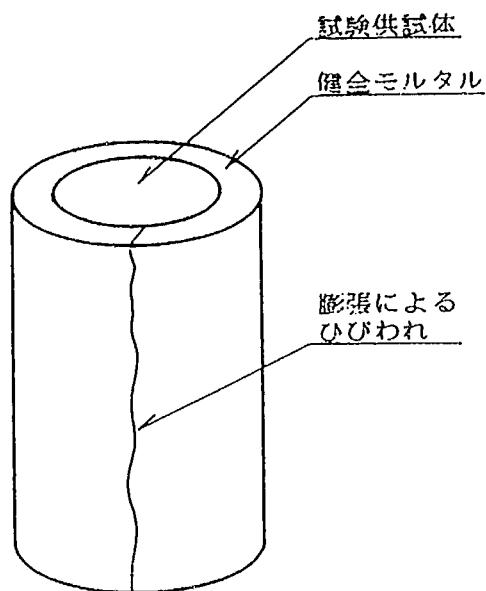
添 付 資 料

「ダブルシリンダーを用いた A S R 骨材判定試験方法（案）」



1 試験目的

本方法は、判定したい骨材を用いたモルタル、コンクリートで作製した円柱供試体の回りを健全材料（モルタル）にて打設し、二重円柱構造（ダブルシリンダー）の供試体で骨材の反応性を判定するものである。



非膨張性の材料で膨張性の材料を覆うと、後者が膨張して前者にひびわれを発生させることを利用し、目視により骨材のアルカリ反応性を判定するものである。

図－1 ダブルシリンダー

2 試験用器具

2-1 供試体作製用器具

モルタル、コンクリート試料を作製するミキサー、練り板等

2-2 型わく

圧縮試験供試体作製用型わく、 $\phi 10 \times 20$ cm、 $\phi 15 \times 30$ cmを用いる。

2-3 内部振動機、突き棒

モルタル、コンクリート試料を締め固めるもので内部振動機を用いる場合は、J I S A 8610 に規定するもので公称棒径27mmの振動機を用いる。突き棒の場合は、直径16mm、長さ50mmの丸鋼とし、その先端を半円球にしたもの。

2-4 供試体作製に必要な器具

ハンドスコップ、金どて、木づち

2-5 はかり

2-6 モルタル（健全材料）作製用器具

10リットルのモルタルの練り混ぜが可能なミキサー、もしくは、これに代わるものを用いる。

2-7 供試体養生用器具

乾燥炉，ビニール袋，ビニールテープ

3. 温度及び湿度

3-1 供試体の貯蔵

供試体をビニール袋に入れ，適量の水を供試体底面より3～5cmとなるよう加え，乾燥炉もしくはこれに代わるものを用い，60℃で供試体の貯蔵を行なう。

4. 添加アルカリ

4-1 添加アルカリ

コンクリートに添加するアルカリは，市販されている食塩（塩化ナトリウム 99%以上）を用いる。

5. モルタル（健全材料）

5-1 細骨材

細骨材は，なるべく無害と判明している骨材を用いる。

5-2 セメント

セメントは，JIS R 5200に規定されている普通ポルトランドセメントを使用する。普通ポルトランドセメントはなるべくアルカリ量の少ないものを使用する。

5-3 水

練り混ぜ水に用いる水は，上水道以上の清浄なものを用いる。

6. 二重円柱構造（ダブルシリンダー）供試体の作り方

6-1 試験を行なうモルタル，コンクリートの作り方

モルタル，コンクリートの作り方は，JIA A 1138（試験室におけるコンクリートの作り方）に準拠する。

a) 計量

モルタルはセメント：水：細骨材＝1：0.5：2.25の配合とし，コンクリートは試験するコンクリート配合に従い計量を行なう。

b) 添加アルカリ

モルタルのアルカリ量は $C \times 1.2\%$ ，コンクリートは総アルカリ量が7.2 kgとなるようにNaCl（食塩）を加える。

c) 練り混ぜ

モルタルの練り混ぜはモルタルバー法に準拠，コンクリートは試験練りに準じた方法

とし、食塩の投入は練り混ぜ水に溶かして投入する。

6-2 判定したいモルタル、コンクリートを用いた供試体（内筒）の作製

a) 供試体本数

供試体の本数は、3本を原則とする。また、同一モルタル、コンクリート試料より3本を作製する。

b) モルタル、コンクリート試料の打ち込み

JIS A 1132（コンクリートの強度試験用供試体の作り方）に準拠する。

打ち込みを終えたら、供試体の表面が乾燥しないよう濡れ布等で覆い、ガラス板を載せておく。

c) 脱型

供試体作成から24時間で脱型を行なう。

6-3 健全全部（外筒）の作製

a) 健全全部の配合

モルタルの配合比は、質量比でセメント1，水0.5，細骨材2.25とする。

1回に練り混ぜる量（供試体3本分）は、約8リットルでセメント，水，細骨材の量は、

水	2.50 kg
セメント	5.00 kg
細骨材	11.25 kg

b) 材料計量

重量で計量する材料は、有効ケタ4ケタまではかる。細骨材は、含水率を測定し水量の補正を行なう。

c) 練り混ぜ

練り混ぜ手順は、所定のセメント，細骨材を入れ30秒間混合する。次に、練り混ぜ機を停止し、規定の水を入れ30秒間の練り混ぜを行なう。練り混ぜ機を停止して、練りはち、パドルに付着したモルタルをかき落とし、練りはちの底のモルタルをかき上げるようにしてかき混ぜる。その後、再び120秒間の練り混ぜを行なう。

d) $\phi 15 \times 30$ cmの型わくのほぼ中央に供試体（ $\phi 10 \times 20$ cm）をセットし、打ち込みを行なう。

打ち込みは2層に分けて詰め、各層を突き棒で10回突くものとする。突き終わったのち、木づちで型わく側面を軽くたたき、突き棒によってできた穴がなくなるようにしなければならない。

健全全部の最上層は、供試体（ $\phi 10 \times 20$ cm）の上面より盛上げておき、4～5時間経過してから供試体の上面と平滑になるよう仕上げを行なう。また、供試体が乾燥し

ないよう濡れ布で覆っておく。

c) 脱型

健全部打設後，24時間で脱型を行なう。

7. 供試体の貯蔵

供試体の貯蔵方法は，供試体の上下面をウエスで保護し，3重にしたビニール袋に入れ，供試体の底面より3～5cmとなるよう水（上水道以上の水）を加えビニールテープ等を用い密閉する。密閉した供試体は，乾燥炉もしくはこれに代わるもので60℃の温度で貯蔵を行なう。

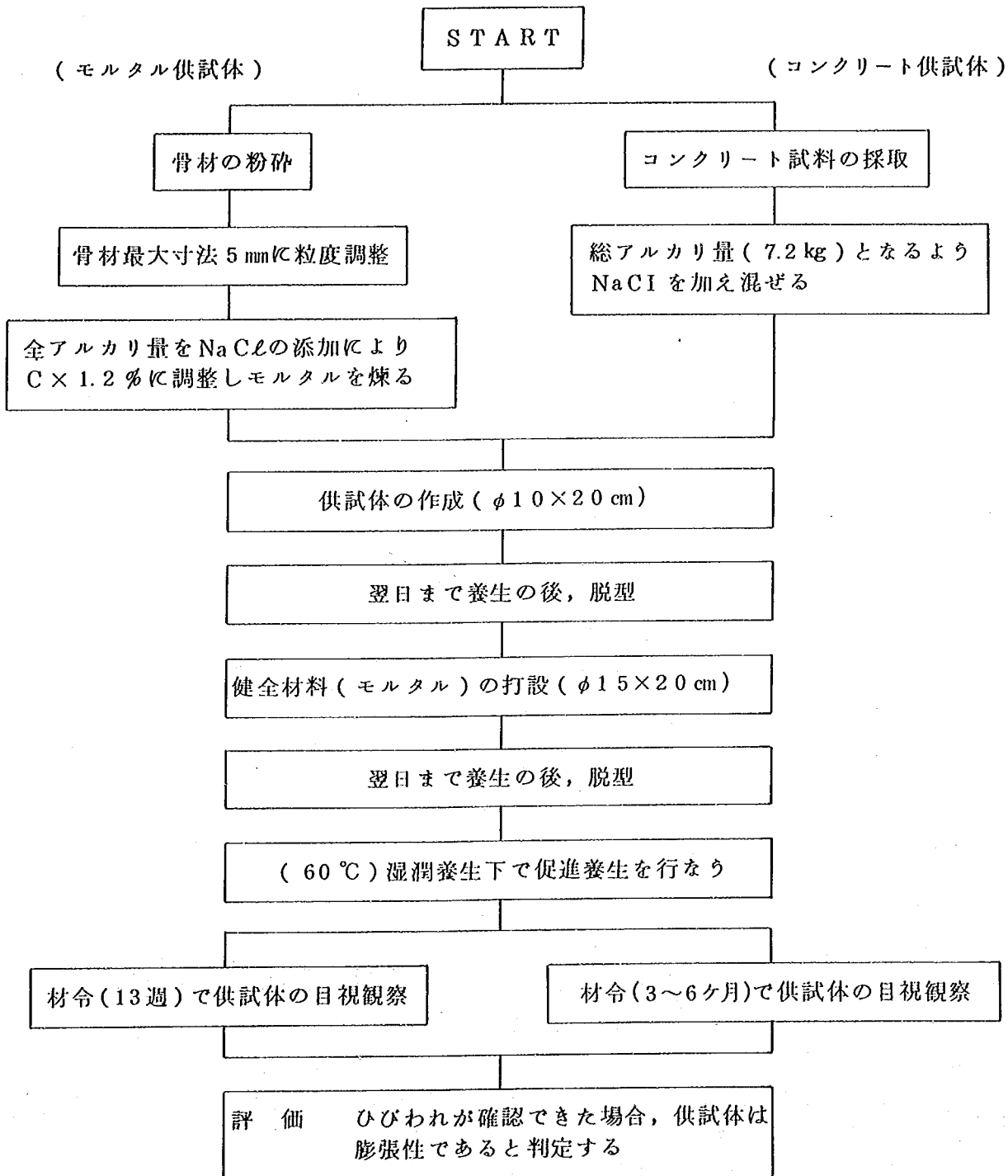
判定まで補水の必要はないが，十分な水分の補給がなされない場合，ひびわれが発生しないので途中で水の確認が必要である。

8. 判定

モルタルは材令13週で，コンクリートは3ヶ月～6ヶ月で供試体を貯蔵庫より取り出し，ひびわれの有無を目視にて判断する。供試体にひびわれが確認できた場合，試験を行った骨材はアルカリ骨材反応を起こす危険性があるとの判定となる。

ダブルシリンダ法による A S R 簡易試験方法

概 要 : 試験したい骨材を用いて作ったモルタル, 又は, コンクリート供試体の回りを健全材料で覆い, 二重円柱構造 (ダブルシリンダー) の供試体を作製する。この供試体表面に発生するひびわれにより, 供試体の A S R による膨張性をおおまかに判定する。



ASRの簡易試験方法に関する
研究

—ダブルシリンドーを用いる方法—

ISSN 0386-5878

土研資料 第2587号

昭和63年2月 (1988)

地質化学部コンクリート研究室

小林茂敏, 河野広隆, 平間昭信, 辻子雅則

要旨 骨材のアルカリ骨材反応性試験方法は, 建設省暫定案では化学法およびモルタルバー法が明記されているが, これらは化学分析能力が必要であったり判定に長期間を要するなど問題も多い。そこで, 土木技術者が容易に判定できる方法の開発を行った。ここでは, 3種類の簡易試験方法について実験を行い, ダブルシリンドー法の骨材判定試験の可能性を見出し, 試験法(案)を提案した。

キーワード: アルカリ骨材反応, 簡易試験法, ダブルシリンドー法, 表面被覆法

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい。

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

コンクリート研究室御中

No. 004

No. 004

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2587号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

