

土木研究所資料

フライアッシュによる A S R 抑制 に関する共同研究報告書

昭和63年 3 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、複写は、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。

フライアッシュによる A S R 抑制 に関する共同研究報告書

土木研究所	地質化学部	部長	桑	原	啓	三
	コンクリート研究室	室長	小	林	茂	敏
		主任研究員	河	野	広	隆
		研究員	森	濱	和	正
	化学研究室	部長	片	脇		清
東 京 大 学		教授	友	沢	史	紀
法 政 大 学			小	林	正	儿
電力中央研究所			奥	田		徹
電力中央研究所			中	野	毅	弘
日本フライアッシュ協会			秋	谷		元
日本フライアッシュ協会			穂	積		豊
日本フライアッシュ協会			松	下	宗	司
土木研究センター			柳	田	芳	力
土木研究センター			森			徳

要 旨

フライアッシュをアルカリ骨材反応抑制対策として使用するため、土木研究所、電力中央研究所、日本フライアッシュ協会、土木研究センターが抑制機構、フライアッシュ品質および試験条件が結果におよぼす影響等について共同研究を行った。

本報告書は、この研究で得られた実験データおよび報告書類のすべてを編集したものである。

キーワード：アルカリシリカ反応・モルタルバー法・フライアッシュ・アルカリ骨材反応抑制

序 文

昭和50年代半ばに、阪神地区で発見されたアルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の劣化は、その後の調査で、阪神地区にとどまらず少なからず発生しており、又、劣化を引き起こす骨材も全国的に広く分布している可能性があることも判明した。このことは、先に発生していた塩害によるコンクリート橋等の劣化の問題とともに、いわめるコンクリートクライシスとして社会問題となり、コンクリートに対する不信感をもたらす結果となった。このため、建設省では早急に、このコンクリートの早期劣化問題に取り組むこととなり、総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」（昭和60～62年）等を通じて、対策を打ち出すこととした。

こうした中で、アルカリ骨材反応に対する対策の1つとして、高炉スラグやフライアッシュのようなボゾランを利用することが提唱され、具体的対策手法の確立が望まれた。このため、それぞれの分野で研究や情報の蓄積を行っていた、土木研究所、電力中央研究所、日本フライアッシュ協会、土木研究センターの四者が共同して、この課題に取り組むこととなった。

この報告書は、昭和61年度から62年度にわたって行われた共同研究の成果を取りまとめたものであり、規模、内容ともにアルカリ骨材反応対策の研究の先端を行くものとする。今後、アルカリ骨材反応対策を検討する際に、有益な資料を提供するものであると確信するものである。

最後に、多大な御指導、御協力を賜った共同研究委員会の委員の方々に、深く感謝申し上げる次第である。

昭和63年 3 月

共同研究委員会委員長

桑 原 啓 三

目 次

序 文

I 我が国産フライアッシュのASR抑制効果に関する研究（総合報告）

1. まえがき	I-1
2. 試験方法	I-2
2.1 概 要	I-2
2.2 使用材料	I-2
2.3 試験方法	I-2
3. 実験結果と考察	I-4
3.1 実験結果	I-4
3.2 抑制効果は希釈によるものかポゾラン効果によるものか	I-4
3.3 ポゾラン作用をする物質は何か	I-5
3.4 ベースコンクリートのアルカリ量におよぼす影響	I-7
3.5 フライアッシュの抑制効果の判定式の提案	I-7
4. ま と め	I-9

II フライアッシュの品質がアルカリ骨材反応の抑制効果に及ぼす影響に関する実験

A. 概 要	II-1
B. 天然骨材を用いたモルタルバー試験	II-2
1. 材料, 配合, 試験機器	II-2
2. 試験方法	II-9
3. 長さ変化の測定	II-11
4. 試験結果のまとめ	II-11
4.1 アルカリ量 1.2 % の長さ変化率	II-12
4.2 スラグモルタルバーの長さ変化率	II-28
4.3 アルカリ量 0.8 % の長さ変化率	II-29
4.4 ペシマム条件の長さ変化率	II-31
4.5 フライアッシュ置換率と長さ変化率	II-37
C. 巻末資料（長さ変化率測定結果生データ）	II-43

III フライアッシュのアルカリ骨材反応抑制機構に関する検討

1. はじめに	III-1
2. フライアッシュの化学成分及び物理的性質	III-2
2.1 化学分析の方法および結果	III-2
2.2 物理試験の方法および結果	III-2

2.3	非結晶質成分含有量の推定方法および結果	Ⅲ-2
2.3.1	概 要	Ⅲ-2
2.3.2	結晶鉱物含有量の定量方法	Ⅲ-2
2.3.3	非結晶質成分含有量の推定	Ⅲ-3
3.	モルタルバー試験について	Ⅲ-4
3.1	使用試験データ	Ⅲ-4
3.2	試験結果の検討	Ⅲ-5
3.2.1	フライアッシュ置換率の影響	Ⅲ-5
3.2.2	材令との関係	Ⅲ-6
3.2.3	セメント中のアルカリ量の影響	Ⅲ-7
3.3	フライアッシュの品質と抑止効果	Ⅲ-8
3.3.1	化学成分との関係	Ⅲ-8
3.3.2	物理的性質との関係	Ⅲ-8
3.3.3	非結晶質成分含有量との関係	Ⅲ-9
3.4	フライアッシュの抑制効果の判定式の提案	Ⅲ-9
4.	ま と め	Ⅲ-10

I

我が国産フライアッシュのA S R抑制効果
に関する研究

(総 合 報 告)

共同研究委員会

担当：建設省土木研究所
コンクリート研究室

1. まえがき

アルカリ骨材反応は1930年代に米国で発見され、その後欧州など各地で発見されているが、我が国では昭和26年と昭和40年にそれぞれ被害例が1例ずつ報告されている他は公表されたものがなく、このため1982年までは我が国には事例もほとんどないという考え方が広まり、久しく注目されることもなかった。

しかしながら、1982年の阪神地区におけるアルカリ骨材反応の劣化事例の発見は、昭和50年代半ばから問題となっていた、コンクリート構造物の塩害とあいまって、コンクリートクライシスとして大きな社会問題となった。

このため、建設省では、塩害やアルカリ骨材反応によって、失墜した感のあるコンクリートの耐久性を向上させ、信頼感のある社会資本を充実させることを目的として、昭和60～62年度の予定で総合技術開発プロジェクト（以下、総プロ）「コンクリートの耐久性向上技術の開発」を開始した。

この総プロの中の研究開発項目の一つとして、アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の劣化抑制手法の開発が取り上げられた。アルカリ骨材反応（アルカリシリカ反応とも呼ばれるので以下では、ASRと記す）の抑制手法としては、セメント中のアルカリ量を制限したり、コンクリート中の単位アルカリ量を制限したりする方法の他、アルカリ骨材反応による劣化を防止する混和材の利用も効果があることが、古くから多くの研究者によって提唱されている。

フライアッシュは高炉スラグと共に代表的なコンクリート混和材であるが、我が国においてはASRの抑制対策を規定するJISや建設省通達におけるフライアッシュの取扱いは、試験をして抑制効果を確認するなどして非常に慎重にその使用の可否を決めなければならないようになっている。これは、我が国産のフライアッシュを用いた試験データが少ないことと、フライアッシュセメントを用いた構造物で被害例があったりしてフライアッシュの反応抑制のメカニズムがあまり明確にされていないことによるものと考えられる。そこで、我が国産のフライアッシュのASR抑制効果、合理的な使用方法等に関する情報を得るために、建設省土木研究所、(財)電力中央研究所、日本フライアッシュ協会および(財)土木研究センターが共同研究を行った。本報告は得られた各種の試験、解析の結果及びそれらの結果から得られたフライアッシュのASR抑制効果に関する考察を述べるものである。

2. 試験方法

2.1 概 要

我が国の代表的な反応性骨材と我が国産の主なフライアッシュのすべてを組み合わせモルタルバー法による ASR 試験を行い、モルタルバーの膨張量、フライアッシュの成分、混合量の関係を調査した。

2.2 使用材料

- 1) フライアッシュ：全国14の発電所（江別，奈井江，砂川，仙台，酒田共同火力，勿来，高砂，松島，磯子，新宇部，西条，新小野田，大村，三井アルミ）で産出される JIS A 6201 および JIS R 5213 に適合するフライアッシュを使用した。

各フライアッシュの物理的性質，成分等は，表-I-1 に示すようなものであった。

- 2) セメント：JIS R 5201 に適する普通ポルトランドセメント（低アルカリ形）を用いた（比重 3.16，ブレン値 $3280 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，28日圧縮強度 $461 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ）。

成分の化学分析結果は，表-I-2 に示す通りである。このセメントに NaOH 添加を行い，アルカリ量 1.2 % のセメントとしてモルタルバー法に用いた。

- 3) 骨 材：九州産輝石安山岩碎石，化学法による試験値は有害域に入る（ $\text{Sc} = 203 \text{ mmol}/\text{l}$ ， $\text{Rc} = 61 \text{ mmol}/\text{l}$ ）比重 2.59，吸水率 3.95。

- 4) 練り混ぜ水：イオン交換水を用いた。

2.3 試験方法

モルタルバー法は，建設省暫定案もしくは JIS A 5308 附属書 8 に準じて行った。セメント：骨材 = 1：2.25，セメントのアルカリ量は 1.2%，フライアッシュのアルカリ量は，調整しなかった。供試体の貯蔵は，供試体に吸取紙を巻いて吸水させ，ビニール袋に入れて 40℃ 養生箱に入れた。

表-I-1 フライアッシュの試験結果

試料	物 理 的 性 質							化 学 成 分 (%)											備 考 R ₂ O(Na ₂ Oeq)
	比重	粉 末 度		単 位 水量比 (%)	圧 縮 強 度 比			湿分	強熱 減量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	合 計	
		ブレン 比表面積 (cm ² /g)	44μm フルイ 残分(%)		7日 (%)	28日 (%)	91日 (%)												
A	2.36	4820	4.0	99	77.8	77.8	97.2	0.2	3.3	55.7	23.5	3.7	3.6	1.3	0.89	0.64	0.75	99.38	1.31
B	2.20	3950	5.4	94	83.7	85.8	97.4	0.1	0.3	60.4	25.7	4.5	2.8	1.6	0.97	1.41	0.13	97.81	1.90
C	2.08	2910	23.8	98	65.8	67.6	83.7	0.1	2.1	57.6	24.7	4.1	6.1	1.7	1.19	0.94	0.80	99.23	1.81
D	2.24	6110	3.8	99	82.1	84.8	115.4	0.1	2.9	60.1	26.6	4.4	1.7	1.5	1.60	1.63	0.58	101.01	2.67
E	2.27	4460	0.6	97	87.2	84.3	102.4	0.1	2.8	58.3	33.5	2.0	0.9	0.5	0.82	0.40	0.30	99.52	1.08
F	2.18	3220	3.2	95	84.4	82.5	103.5	0.1	0.5	61.5	25.8	4.4	2.1	1.4	0.96	2.28	0.10	99.04	2.46
G	2.09	3500	15.4	97	73.9	74.8	96.5	0.2	0.6	61.3	25.9	4.3	1.8	1.5	0.90	1.76	0.20	98.26	2.06
H	2.25	4330	4.6	99	75.1	75.3	92.2	0.1	3.6	60.6	23.0	4.6	3.3	1.7	0.77	0.91	0.61	99.09	1.37
I	2.26	4690	9.4	99	69.6	69.3	85.0	0.1	2.1	66.9	23.0	4.1	2.2	0.6	0.32	0.79	0.12	100.13	0.84
J	2.24	3400	11.7	96	81.7	80.5	93.5	0.2	2.3	60.7	26.0	6.0	2.0	0.6	0.78	0.98	0.21	99.57	1.42
K	2.36	3250	3.0	94	78.6	79.3	104.3	0.0	0.5	51.6	23.9	7.5	9.0	1.6	0.83	1.19	2.42	98.54	1.61
L	2.16	3780	15.6	99	69.3	71.1	88.3	0.1	2.3	59.4	24.9	3.5	3.6	1.5	2.28	1.43	0.22	99.13	3.22
M	2.21	3000	23.0	96	73.5	72.3	88.7	0.1	1.0	50.4	27.4	5.9	8.1	2.4	2.20	1.16	0.31	98.87	2.96
N	2.24	4000	11.6	96	79.4	79.6	102.4	0.1	2.9	52.2	26.3	5.1	5.1	1.9	2.35	1.28	0.78	97.91	3.19

表-I-2 セメントの化学分析結果

ig loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
0.5	0.2	21.2	5.7	3.4	64.3	1.8	1.9	0.16	0.23	0.31	0.37	0.09	0.10

3. 実験結果と考察

3.1 実験結果

モルタルバーの材令12ヶ月までの長さ変化率のグラフの代表的な例を図-I-1に示す。フライアッシュの置換率は、10%、20%、30%の3種類とした。

図-I-2にはすべての試料について6ヶ月目の長さ変化率を示す。フライアッシュを入れない場合にはモルタルバーは1ヶ月で0.1%以上の膨張をするが、どのフライアッシュでも20%以上混合すると膨張がほとんど生じなくなる。混合比10%ではフライアッシュの種類によって抑制効果に差が出てくる。

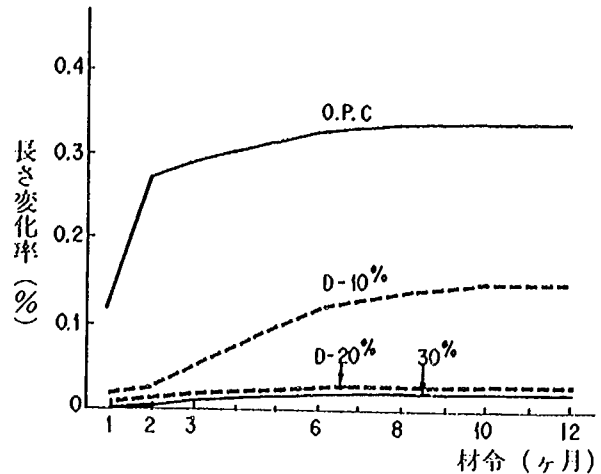


図-I-1 材令-長さ変化率の例
($A=1.2\%$)

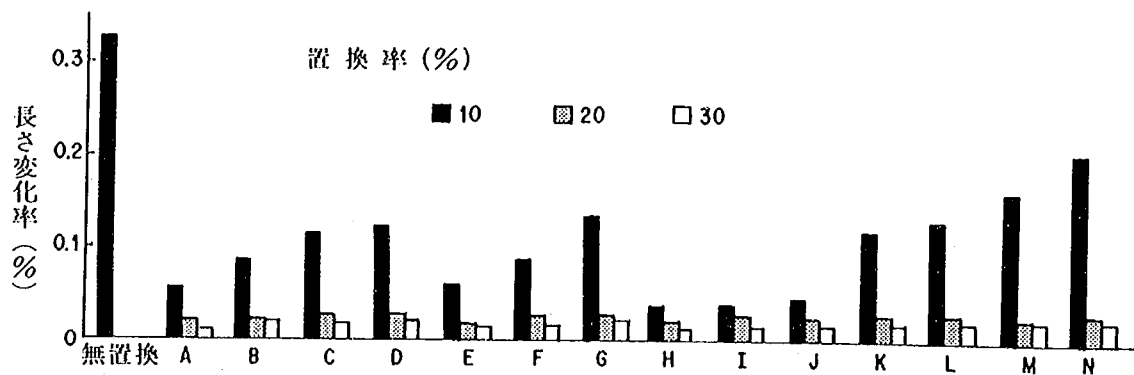


図-I-2 各フライアッシュの置換率と長さ変化率

3.2 抑制効果は希釈によるものかポゾラン効果によるものか

フライアッシュのASR抑制作用のメカニズムについては、希釈効果によるものかポゾラン効果によるものか論議の分かれるところですが、本試験材料のフライアッシュは、表-I-1にも示されるごとく、 R_2O はIとE以外はすべてベースセメントのアルカリ量1.2%よりも大きい。したがって、フライアッシュと置換してもアルカリは希釈されることはなく、逆に濃縮されている。また、フライアッシュ中のアルカリは反応に関係しないものと仮定すれば希釈作用も考えられるが、その場合、20%置換するということは見かけのアルカリ量は $1.2\% \times 0.8 = 0.96\%$ になったことになる。後述するようにフライアッシュを入れない場合には0.8%のアルカリ量でもモルタルは膨張しているの、0.96%のアルカリでも膨張が止まるということはやはりフライアッシュは、ポゾラン効果を有し反応を抑制するものと考えざるを得ない。

3.3 ポゾラン作用をする物質は何か

ポゾラン作用をする物質を解明するために、抑制作用にフライアッシュの種類による差が生じている置換率10%の場合について、6ヶ月の膨張量とフライアッシュの成分等との相関関係を調べてみたのが表-I-3、4および5である。

表-I-3 フライアッシュ化学成分とモルタルバー膨張量との相関関係

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	R ₂ O
-0.6230	0.1158	-0.0198	0.4996	0.7012	0.8271	0.4133	0.2028	0.8406

表-I-4 フライアッシュの結晶、非結晶物質とモルタルバー膨張量との相関関係

結晶鉱物含有量				結晶質成分含有量				非結晶質成分含有量			
ムライト	石英	ヘマタイト	マグネタイト	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	合計	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	合計
-0.6072	-0.5894	-0.1863	-0.3497	-0.6386	-0.6016	-0.4264	-0.6832	0.0169	0.7363	0.0446	0.4617

表-I-5 フライアッシュの物理的性質とモルタルバー膨張量との相関関係

比重	ブレン比 表面積	44μm フルイ残分	単位 水量比	圧縮強度比		
				7日	28日	91日
-0.3047	-0.2389	0.4838	-0.2497	-0.1631	-0.0926	0.1786

表-I-3は、化学成分との相関であるが、R₂Oが最も相関が強いことを示している。正の相関であるから、R₂Oが増えると膨張量が増えることを意味している。すなわち、フライアッシュ中のアルカリも反応性アルカリとして膨張に関与しているのである。Na₂Oも相関が高いのはR₂Oの因子であるから当然であるが、同じアルカリ因子のK₂Oが相関が余り強くないことが注目される。MgOもかなり強い正の相関があることを示している。

相関関が負の成分は、その成分が増せば膨張が減るということを意味しているので、ASRの抑制物質を示していることになる。負の相関係数が最大のものはSiO₂である。

SiO₂も単独で存在することは考えられないので、ムライト(3Al₂O₃・2SiO₂)、石英(α-SiO₂)等として存在するものを結晶質SiO₂、残りのSiO₂を非結晶質SiO₂と分けて各々の相関係数を調べたものが表-I-4であるが、ムライトや石英のようなSiO₂を含む鉱物は負の相関が強く、ヘマタイト(α-Fe₂O₃)やマグネタイト(Fe₃O₄)のようなSiO₂を含まない鉱物は相関がないことがわかる。石英やムライトに関係のないSiO₂は相関が小さく、ムライトに関係しないAl₂O₃は反応を増大させるのに役立っているようである。おそらくNaやKの化合物になっているのであろう。

物理的性質を示す因子では、表-I-4に示されるように目立って相関の強いものはない。強いて言えば44μmふるい残分がやや強い正の相関を示している。

以上をまとめると、反応抑制作用をしているのはムライトや石英のようなけい酸質の鉱物であり、アルミン酸化合物として入り込んでいる Na^+ や K^+ は反応を増大させる作用をしているようである。

このことを確認するために図-I-3に R_2O とフライアッシュ混合率10%のときの6ヶ月目のモルタルバーの長さ変化率との関係を示す。

両者に関係があることが明確であり、回帰式は次式で表わされる。

$$y(\text{長さ変化率}) = 0.052(\text{R}_2\text{O}) - 0.0038 \quad \dots\dots\dots (1)$$

SiO_2 , CaO , R_2O を考慮した回帰式を作れば、長さ変化率の推定式は(2)式のように表わされ、図-I-4に示すように長さ変化率の推定精度はいく分向上する。

$$y(\text{長さ変化率}) = 0.044(\text{R}_2\text{O}) + 0.0027(\text{CaO}) - 0.0024(\text{SiO}_2) + 0.142 \quad \dots\dots\dots (2)$$

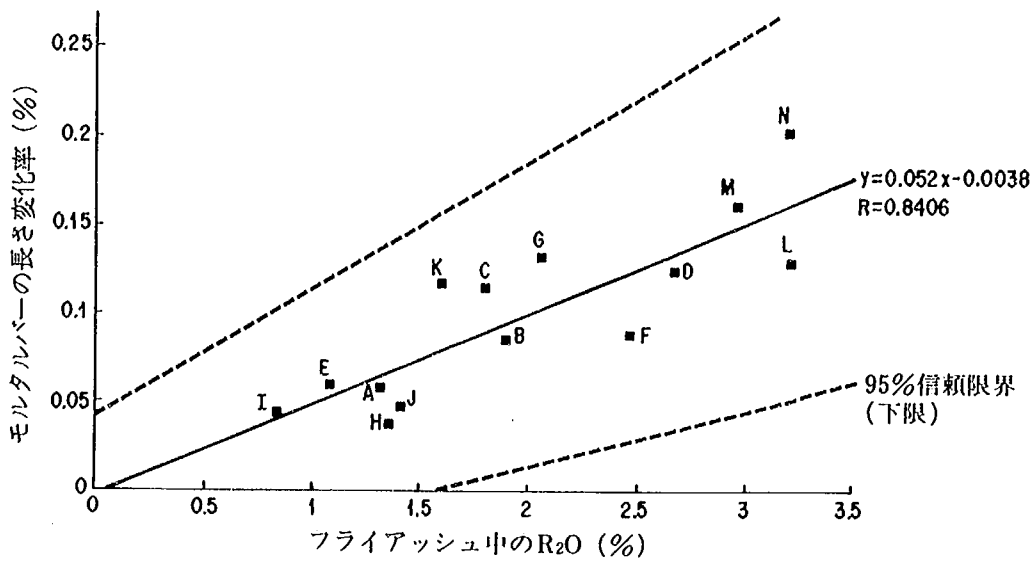


図-I-3 フライアッシュ中の R_2O とモルタルバーの長さ変化率(材令6ヶ月)

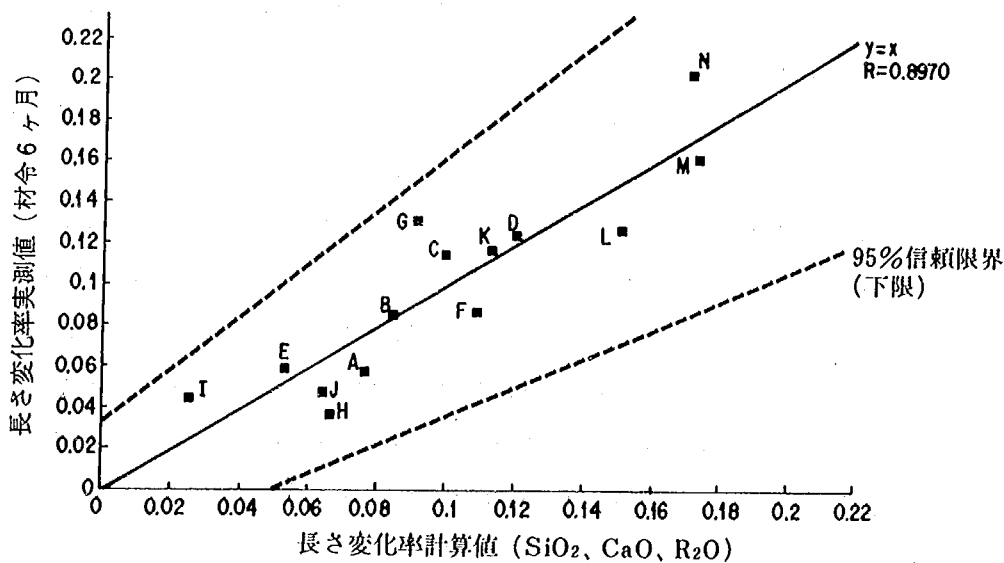


図-I-4 フライアッシュ中の SiO_2 , CaO , R_2O とモルタルバーの長さ変化率(材令6ヶ月)

3.4 ベースコンクリートのアルカリ量におよぼす影響

標準試験では、アルカリ量を1.2%としているが、これを0.8%に下げて実験した結果の一例を図-I-5に示す。

フライアッシュを混合しない場合には、ベースセメントのアルカリ量が0.8%でも3ヶ月後には0.1%以上の膨張を示したが、フライアッシュ5%以上混合した場合にはどの種類のフライアッシュでも膨張が抑制された。

国産フライアッシュのASR膨張抑制効果に関しては、他にBeltane オパールを用いた川村らの研究がある（S/C=0.75, Cのアルカリ量0.93%, 標準試験に換算すれば2.34%に相当）。この実験では、30%混合してもフライアッシュによって膨張を抑制できるものとできないものがある¹⁾。

著者の一人は、本実験と同じ骨材を用いた実験ではセメントのアルカリ量が2.0%のときは25%以上、1.5%のときは20%以上混合しないと膨張が0.1%以下に抑制できなかった²⁾。また、セメントのアルカリ量が0.7%になるとフライアッシュを入れなくとも膨張は生じなかった³⁾。すなわち、膨張が抑制できるフライアッシュの混合比はフ

ライアッシュ並びにセメントのアルカリ量が多くなればそれだけ増えてゆくのである。

3.5 フライアッシュの抑制効果の判定式の提案

これらの実験結果を考えるとフライアッシュの性質の混合比を考えた場合の膨張を抑制できるかどうかの判定式は(3)のようなもので、このような状態であれば膨張しないと考えられる。

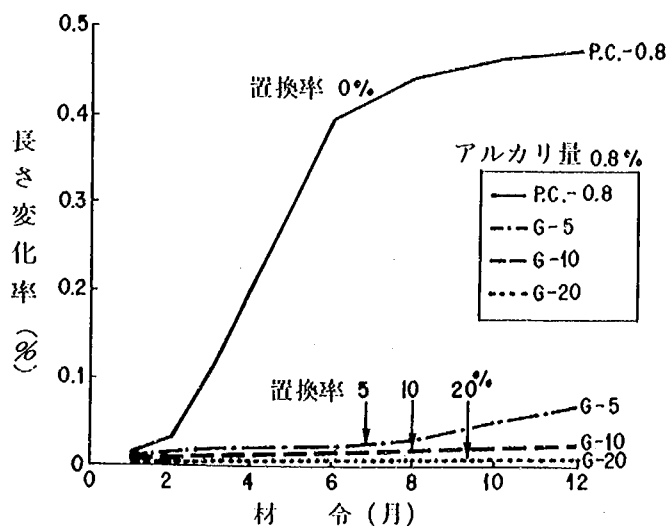


図-I-5 セメントのアルカリ量0.8%の場合の長さ変化の例（フライアッシュG）

$$\Sigma CA + \alpha \cdot \Sigma FA - \beta \cdot \Sigma F \leq K \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 ΣCA , ΣFA , ΣF : セメント中の総アルカリ量, フライアッシュ中の総アルカリ量, フライアッシュの総量 (kg/m^3)

α : フライアッシュのアルカリの影響に関する係数

β : フライアッシュの抑制効果に関する係数

K : 許容アルカリ総量 (kg/m^3)

英国では、Hobbsらがフライアッシュを混合する場合には、フライアッシュに含まれるアルカリ量の17% (1/6) とセメントのアルカリ量の総和が $3 kg/m^3$ 以下であれば抑制されるとしているが⁴⁾, (3)式で

言えば $\alpha=0.17$, $\beta=0$, $K=3$ に相当する。

係数 α , β , K は、多くの実験から膨張を生じなくなる境界の ΣCA , ΣFA , ΣF を求めて回帰分析で求めればよいが、試みのためにこれらの実験結果に基づき、

- 1) セメントのアルカリ量 1.2%, フライアッシュのアルカリ量 4% の時、置換率 20% 以上で膨張が抑制される。
- 2) セメントのアルカリ量 1.2%, フライアッシュのアルカリ量 1% の時、置換率 10% 以上で膨張が抑制される。
- 3) セメントのアルカリ量 0.7% では、フライアッシュを混入しなくとも膨張は抑制される。
- 4) 試験に用いたモルタルの単位セメント量は 600 kg/m^3 に相当する。

という 4 条件を入れて α , β , K を解くと次式のようなになる。

$$\Sigma CA + 0.83 \Sigma FA - 0.046 \Sigma F \leq 4.2 \text{ kg/m}^3 \quad \dots\dots\dots (4)$$

この式を採用した場合、次のようなことが言えるがこれらのことは実験結果とも大略整合した。

- 1) C (セメント) のアルカリ量 0.8%, 無混合のモルタルバー ($C=600 \text{ kg/m}^3$) は膨張する。
- 2) C のアルカリ量 0.8%, F (フライアッシュ) のアルカリ量 4% 以下では混合比 5% 以上で膨張が抑制される。
- 3) C のアルカリ量 1.2%, F のアルカリ量 3% 以下であれば混合比 15% で抑制される。
- 4) C のアルカリ量 2.34%, F のアルカリ量 2% 以上であれば混合比 30% でも抑制される。
- 5) C のアルカリ量 2.34%, F のアルカリ量 1% 以下であれば混合比 30% でも抑制される。

なお、 $K=4.2 \text{ kg/m}^3$ という数値は我が国のアルカリ総量規制では 3 kg/m^3 としている数値に相当するものである。また、(4)式からは 5.5% 以上のアルカリを含むフライアッシュを混合しても抑制効果がないことがわかる。さらに(4)式からセメントのアルカリ量が 1.2% 程度、フライアッシュのアルカリ量は 4% 程度に高い場合でも 20% も置換すれば、セメント量がかなり多くても抑制効果が期待できるとや、セメントのアルカリ量が 0.8% 程度に下がれば、非常に少ないフライアッシュ混合比でも反応抑制効果があることがわかる。

また、実験結果には $K=4.2 \text{ kg/m}^3$ 付近で膨張を生じたものも有ったので、(4)式を抑制対策等の実務に適用する場合は、 $K=3.0 \text{ kg/m}^3$ 程度に考えて安全を見込んでおくのが妥当と思われる。

このように大きな安全率を見込んでもセメントのアルカリ量 0.8% 以下、フライアッシュのアルカリ量 4% 以下であれば、15% 以上の置換を行うと、 $C+F$ が 600 kg/m^3 にもなる富配合の場合でも $K=3.0 \text{ kg/m}^3$ 以下となる。すなわち、現在の我が国のポルトランドセメントのアルカリ量であれば、B 種のフライアッシュセメント (大部分がフライアッシュ置換率 15~20%) を用いれば反応性骨材を用いても抑制が可能であるといえる。

4. ま と め

本研究に用いた実験は比較的反応速度の速い輝石安山岩碎石 1 種類を用いた結果ではあるが、次のようなことが得られた。

- 1) フライアッシュ中の成分は、ASR抑制効果に影響をおよぼす。
- 2) フライアッシュ中の R_2O は、ASRを増進させる成分である。
- 3) フライアッシュ中の SiO_2 （石英やムライト）は、反応を抑制する成分である。
- 4) セメントから供給されるアルカリの量も膨張抑制に必要なフライアッシュ置換量に影響する。
- 5) フライアッシュ置換によりモルタルバーの膨張が抑制されるかどうかは(4)式でかなりよく判定できる。

この式を基にして考えれば、我が国産のフライアッシュを20%程度混合すれば、セメントのアルカリ量が相当大きくとも通常のセメント量程度であればASRが抑制でき、また、セメントのアルカリ量が0.8%程度に下がればさらに少ないフライアッシュの混合比でアルカリ骨材反応を抑制することが可能と推定される。

〔参考文献〕

- [1] 川村満紀代表：ポゾランのアルカリ骨材反応による膨張防止効果とその機構に関する研究，昭和61年度科学研究費補助金研究成果報告書，pp 28.
- [2] 石井，蒔田，小林，小野：高炉スラグ粉末，フライアッシュによるASR膨張抑制効果に関する実験的検討，第8回JCI年講，1986.
- [3] 小林，小野，河野，佐々木：各種アルカリがアルカリ骨材反応に及ぼす影響，第7回JCI年講
- [4] Revised guidelines for avoiding Alkali Silica Reaction, BRE News of Construction Research, February 1988, BRE.

II

フライアッシュの品質が アルカリ骨材反応の抑制効果に 及ぼす影響に関する実験

共同研究委員会

担当：(財)電力中央研究所
(財)土木研究センター

A. 試驗概要

- 1) 件 名：フライアッシュの品質がアルカリ骨材反応の抑制効果に及ぼす影響に関する実験
- 2) 目 的：建設省土木研究所と財団法人電力中央研究所、日本フライアッシュ協会及び財団法人土木研究センターの四者で締結した共同研究の実施計画に従い、フライアッシュの品質がアルカリ骨材反応の抑止効果に及ぼす影響について調査する。
- 3) 試験内容：共同研究委員会により定められた試験計画に基づき、天然骨材 2 種類を骨材として、国内 14 発電所で製造されるフライアッシュを用いたアルカリシリカ反応に関するモルタルバー試験を実施する。
- 4) 実 験 者：財団法人 土木研究センター 柳田 力
森 芳徳

B. 天然骨材を用いたモルタルバー試験

1. 材料, 配合, 試験機器

1.1 材 料

1) セメント

セメントはユニオン株式会社製 普通ポルトランドセメント（低アルカリ形）アルカリ量 0.31% を用いた。表-Ⅱ-2にセメント試験成績表を示した。

2) 骨 材

モルタルバー試験に使用した骨材は反応性骨材として、建設省土木研究所より支給された九州地方産砕石及び、反応性が極めて少ない骨材（基準骨材）として財団法人土木研究センターが準備した硬質砂岩系砕石の2種類とした。

骨 材 の 諸 元

骨 材 名	反応性の有無	骨 材 記 号
九州地方産砕石	有	G 1
硬質砂岩系砕石	無	G 2

3) フライアッシュ

モルタルバー試験に使用したフライアッシュは JIS A 6201 及び JIS R 5213 に適合した次の江別、奈井江、砂川、仙台、酒田共同火力、勿来、高砂、松島、磯子、新宇部、西条、新小野田、大村、三井アルミの14発電所産の製品を用いた。表-Ⅱ-1にフライアッシュ銘柄とサンプル記号、表-Ⅱ-3に物理的性質及び化学成分分析結果の成績表を掲げた。なお、表-Ⅱ-1中に示したサンプル記号は委託者より提示された記号を用いている。

表-Ⅱ-1 フライアッシュサンプル記号

記 号	会 社 名	発 電 所 名
A	中 国 電 力	新 宇 部
B	北 海 道 電 力	砂 川
C	常 磐 共 同 電 力	勿 来
D	九 州 電 力	大 村
E	電 源 開 発	松 島
F	北 海 道 電 力	奈 井 江
G	北 海 道 電 力	江 別
H	中 国 電 力	新 小 野 田
I	東 北 電 力	酒 田 共 同 火 力
J	四 国 電 力	西 条
K	九 州 電 力	三 井 ア ル ミ
L	東 北 電 力	仙 台
M	電 源 開 発	磯 子
N	電 源 開 発	高 砂

表-Ⅱ-2 セメント試験成績表

(社)セメント協会研究所

1. 試料

ユニオン株式会社 普通ポルトランドセメント (低アルカリ形)

2. JIS R 5201 による物理試験結果

比 重	ブレン 比表面積 (cm^2/g)	凝 結			安 定 性	
		水 量 (%)	始 発 (h-m)	終 結 (h-m)		
3.16	3280	28.5	2-47	4-26	良	
フ ロー	圧縮強度 (kg/cm^2)			曲げ強度 (kg/cm^2)		
	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
252	144	261	461	34	51	71

3. JIS R 5201 による化学分析結果 (%)

ig loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
0.5	0.2	21.2	5.7	3.4	64.3	1.8	1.9	0.16	0.23	0.31	0.37	0.09	0.10

表-Ⅱ-3 フライアッシュの試験結果

試料	物 理 的 性 質							化 学 成 分 (%)												備 考 R ₂ O(Na ₂ Oeq)
	比重	粉 末 度		単 位 水量比 (%)	圧 縮 強 度 比			水分	強熱 減量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	合 計		
		ブレン 比表面積 (cm ² /g)	44μm フルイ 残分(%)		7日 (%)	28日 (%)	91日 (%)													
A	2.36	4820	4.0	99	77.8	77.8	97.2	0.2	3.3	55.7	23.5	3.7	3.6	1.3	0.89	0.64	0.75	99.38	1.31	
B	2.20	3950	5.4	94	83.7	85.8	97.4	0.1	0.3	60.4	25.7	4.5	2.8	1.6	0.97	1.41	0.13	97.81	1.90	
C	2.08	2910	23.8	98	65.8	67.6	83.7	0.1	2.1	57.6	24.7	4.1	6.1	1.7	1.19	0.94	0.80	99.23	1.81	
D	2.24	6110	3.8	99	82.1	84.8	115.4	0.1	2.9	60.1	26.6	4.4	1.7	1.5	1.60	1.63	0.58	101.01	2.67	
E	2.27	4460	0.6	97	87.2	84.3	102.4	0.1	2.8	58.3	33.5	2.0	0.9	0.5	0.82	0.40	0.30	99.52	1.08	
F	2.18	3220	3.2	95	84.4	82.5	103.5	0.1	0.5	61.5	25.8	4.4	2.1	1.4	0.96	2.28	0.10	99.04	2.46	
G	2.09	3500	15.4	97	73.9	74.8	96.5	0.2	0.6	61.3	25.9	4.3	1.8	1.5	0.90	1.76	0.20	98.26	2.06	
H	2.25	4330	4.6	99	75.1	75.3	92.2	0.1	3.6	60.6	23.0	4.6	3.3	1.7	0.77	0.91	0.61	99.09	1.37	
I	2.26	4690	9.4	99	69.6	69.3	85.0	0.1	2.1	66.9	23.0	4.1	2.2	0.6	0.32	0.79	0.12	100.13	0.84	
J	2.24	3400	11.7	96	81.7	80.5	93.5	0.2	2.3	60.7	26.0	6.0	2.0	0.6	0.78	0.98	0.21	99.57	1.42	
K	2.36	3250	3.0	94	78.6	79.3	104.3	0.0	0.5	51.6	23.9	7.5	9.0	1.6	0.83	1.19	2.42	98.54	1.61	
L	2.16	3780	15.6	99	69.3	71.1	88.3	0.1	2.3	59.4	24.9	3.5	3.6	1.5	2.28	1.43	0.22	99.13	3.22	
M	2.21	3000	23.0	96	73.5	72.3	88.7	0.1	1.0	50.4	27.4	5.9	8.1	2.4	2.20	1.16	0.31	98.87	2.96	
N	2.24	4000	11.6	96	79.4	79.6	102.4	0.1	2.9	52.2	26.3	5.1	5.1	1.9	2.35	1.28	0.78	97.91	3.19	

表-Ⅱ-4 スラグの試験結果

試料	化 学 成 分 (%)											物 性	
	ig loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	eq Na ₂ O	水溶性 eq Na ₂ O	比重	粉末度 (cm^2/g)
D4G2	0.26	0.06	32.2	14.0	41.8	5.9	1.96	0.17	0.47	0.48	<0.01	2.90	4160

4) 高炉スラグ粉末

フライアッシュモルタルバー試験の比較試験として、高炉スラグ粉末をセメントの一部として置換した。スラグ粉末度は $4000\text{ cm}^2/\text{g}$ 、石膏添加率は 2.0% である。表-Ⅱ-4 にスラグの試験結果を示す。

5) 練り混ぜ水

モルタル練り混ぜ用練り混ぜ水は、イオン交換水を用いた。また、アルカリ調整の為に用いる水酸化ナトリウム水溶液の溶媒としても、イオン交換水を用いた。

6) 水酸化ナトリウム

アルカリ量調整用の水酸化ナトリウムは、特級試薬を用いた。

1.2 配 合

1) モルタル配合の基本条件

モルタル配合は、建設省暫定案に準拠し、セメント骨材比を重量比で $C:A=1:2.25$ 、1バッチの計量重量は、セメント 600g (セメントの一部として、フライアッシュまたは、高炉スラグ粉末で置換した場合は、セメントとフライアッシュまたは高炉スラグ粉末の重量)、骨材 1350g とした。また、練り混ぜ水は 300 ml とした。

セメント 600g 中に含まれるアルカリ量 (1バッチ) は Na_2O 換算で、重量比で 0.8% 及び 1.2% の 2 水準とした。

2) 配合の種類

本試験で実施したモルタルバー試験は、目的によって概ね表-Ⅱ-5 に示したシリーズに分類される。各々の要因の組合せを表-Ⅱ-6 に示した。なお、実施したモルタルの配合を表-Ⅱ-7 に示した。

表-Ⅱ-5 モルタルバー試験 シリーズ分類

シリーズ名	目 的
I-1	フライアッシュ14銘柄を用い、アルカリ量1.2%, フライアッシュの置換率10, 15, 20, 30%の条件下で反応性骨材を用いたモルタルバーを製作し、所定の養生条件のもとで長さ変化を測定しフライアッシュの銘柄によるASR抑止効果の比較ならびに置換率の影響を調べる。 ただし置換率15%はフライアッシュC, L, M, Nで実施。
I-2	フライアッシュC, G, Lについてアルカリ量0.8%, フライアッシュの置換率5, 10, 20%の条件下で反応性骨材を用いたモルタルバーを製作し、所定の養生条件のもとで長さ変化を測定し、ASR抑止効果をシリーズI-1と比較する。
II	高炉スラグ粉末1銘柄について、アルカリ量1.2%, スラグの置換率30, 40, 50, 65%の条件下で反応性骨材を用いたモルタルバーを製作し、所定の養生条件のもとで長さ変化を測定し、ASR抑止効果をシリーズI-1と比較する。
Ⅲ-1	粉末度の異なるフライアッシュA (比表面積 $4820\text{ cm}^2/\text{g}$), C ($2910\text{ cm}^2/\text{g}$) J ($3400\text{ cm}^2/\text{g}$) について、反応性骨材及び無反応の骨材の重量混合比5:5, アルカリ量1.2%, フライアッシュ置換率20%の条件下でモルタルバーを製作し、所定の養生条件のもとで長さ変化を測定し、粉末度の違いによるASR抑止効果を検討する。また、シリーズI-1に対応して5:5のペシマム条件下での長さ変化を比較する。
Ⅲ-2	粉末度の異なるフライアッシュC (比表面積 $2910\text{ cm}^2/\text{g}$), G ($3500\text{ cm}^2/\text{g}$) L ($3780\text{ cm}^2/\text{g}$) について、反応性骨材及び無反応の骨材の重量混合比5:5, アルカリ量0.8%, フライアッシュ置換率10%の条件下でモルタルバーを製作し、所定の養生条件のもとで長さ変化を測定し、粉末度の違いによるASR抑止効果をシリーズⅢ-1と比較検討する。また、シリーズI-2に対応して5:5のペシマム条件下での長さ変化を比較する。
IV	フライアッシュを置換率0%, 反応性骨材率100%, アルカリ量0.8, 1.2%の2水準の条件下でモルタルバーを製作し、所定の養生条件のもとで長さ変化を測定し、一連のフライアッシュ置換モルタルバー試験の基準とする。
V	フライアッシュを置換率0%, 反応性骨材率50%, アルカリ量0.8, 1.2%の2水準の条件下でモルタルバーを製作し、所定の養生条件のもとで長さ変化を測定し、シリーズⅢ-1, Ⅲ-2あるいはシリーズIVと比較する。

表-Ⅱ-6 フライアッシュモルタルバー試験要因組合せ

フライアッシュ 種別	供試体 記号	シリーズ	アルカリ量 (%)		フライアッシュ, スラグ置換率(%)								反応性 骨材率 (%)
			0.8	1.2	5	10	15	20	30	40	50	65	
A	A-10	I-1		●		●							100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
B	B-10	I-1		●		●							100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
C	C-5	I-2	●		●								100
	10	I-2	●			●							100
	10	I-1		●		●							100
	15	I-1		●			●						100
	20	I-2	●					●					100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
D	D-10	I-1		●		●							100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
E	E-10	I-1		●		●							100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
F	F-10	I-1		●		●							100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
G	G-5	I-2	●		●								100
	10	I-2	●			●							100
	10	I-1		●		●							100
	20	I-2	●					●					100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
H	H-10	I-1		●		●							100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
I	I-10	I-1		●		●							100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
J	J-10	I-1		●		●							100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
K	K-10	I-1		●		●							100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
L	L-5	I-2	●		●								100
	10	I-2	●			●							100
	10	I-1		●		●							100
	15	I-1		●			●						100
	20	I-2	●					●					100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
M	M-10	I-1		●		●							100
	15	I-1		●			●						100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
N	N-10	I-1		●		●							100
	15	I-1		●			●						100
	20	I-1		●				●					100
	80	I-1		●					●				100
スラグ	S-80	II		●					●				100
	40	II		●						●			100
	50	II		●							●		100
	65	II		●								●	100
ベシマム	AP-20	III-1		●				●					50
	CP-20	III-1		●				●					50
	JP-20	III-1		●				●					50
	CP-10	III-2	●			●							50
	GP-10	III-2	●			●							50
	LP-10	III-2	●			●							50
ブレーション	P.C.	IV		●									100
	P.C.	IV	●										100
ブレーション	P.C.P	V		●									50
ベシマム	P.C.P	V	●										50

表-Ⅱ-7 モルタル配合

フライ ッシュ 種別	供試体 記号	フライ ッシュ 置換率(%)	バインダー量 (g)		NaOH 溶 液 添 加 量 (ml)	イオン 交換水 量 (ml)	目 標 アルカ リ量(%)	骨材量 (g)	反 応 性 骨 材 率 (%)
			F	C					
A	A-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
B	B-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
C	C-5	5	30	570	47.2*2	252.8	0.8	1850	100
	10	10	60	540	44.7*2	255.8	0.8	1850	100
	10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	15	15	90	510	77.4*3	222.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	39.7*2	260.8	0.8	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
D	D-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
E	E-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
F	F-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
G	G-5	5	30	570	47.2*2	252.8	0.8	1850	100
	10	10	60	540	44.7*2	255.8	0.8	1850	100
	10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	39.7*2	260.8	0.8	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
H	H-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
I	I-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
J	J-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
K	K-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
L	L-5	5	30	570	47.2*2	252.8	0.8	1850	100
	10	10	60	540	44.7*2	255.8	0.8	1850	100
	10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	15	15	90	510	77.4*3	222.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	39.7*2	260.8	0.8	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
M	M-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	15	15	90	510	77.4*3	222.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
N	N-10	10	60	540	75.4*1	224.6	1.2	1850	100
	15	15	90	510	77.4*3	222.6	1.2	1850	100
	20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
ス ラ グ	S-30	30	180	420	58.7*1	241.8	1.2	1850	100
	40	40	240	360	50.8*1	249.7	1.2	1850	100
	50	50	300	300	41.9*1	258.1	1.2	1850	100
	65	65	390	210	29.8*1	270.7	1.2	1850	100
ベシマム	JP-20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	AP-20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	CP-20	20	120	480	67.1*1	282.9	1.2	1850	100
	CP-10	10	60	540	44.7*2	255.8	0.8	1850	50
	GP-10	10	60	540	44.7*2	255.8	0.8	1850	50
	LP-10	10	60	540	44.7*2	255.8	0.8	1850	50
ブレーション	P.C.	0	0	600	49.7*2	250.8	0.8	1850	100
	P.C.	0	0	600	88.8*1	216.2	1.2	1850	100
ベシマム	P.C.P	0	0	600	49.7*2	250.8	0.8	1850	50
ブレーション	P.C.P	0	0	600	90.2*2	209.8	1.2	1850	50

*1: NaOH 水溶液 2.055規定

*2: NaOH 水溶液 1.910規定

*3: NaOH 水溶液 1.892規定

1.3 試験機器

モルタルバー試験には次に示す試験機器を用いた。

1) 製砂機

骨材の製砂にはジョークラッシャー及びミルクラッシャーを用いた。性能を表Ⅱ-8に示す。

表Ⅱ-8 ジョークラッシャー及びミルクラッシャーの性能

	ジョークラッシャー	ミルクラッシャー
形 式	MARUTO MODEL №1032B	ハードディスクブラウン
電 動 機	2.2 kw	3.7 kw

2) ふ る い

骨材のふるい分けには振動ふるいを用いた。

3) 計 量 器

セメント、骨材、フライアッシュ及びスラグの計量には精度0.1gのデジタル計量器を用いた。

また、練り混ぜ水および水酸化ナトリウム水溶液の計量はメスシリンダーを用いた。

4) 型 枠

モルタルバー成形用の型枠はJIS R 5201に規定されている40mm×40mm×160mmのモルタル供試体成形用型枠を用いた。

5) ゲージプラグ

長さ変化測定用の標点として、JIS A 1129に規定されているステンレス製のゲージプラグを用いた。

6) モルタル練り混ぜ機

モルタル練り混ぜ用の練り混ぜ機はJIS R 1129に規定されている性能を有するモルタルミキサーを使用した。

7) モルタル成形用つき棒

モルタル成形用のつき棒はJIS A 5201に規定されるものを使用した。

8) 初期養生箱

モルタル供試体成形後から脱型までの初期養生は20℃恒温・恒湿室に置かれた密閉式アクリル容器を用いた。

9) 38℃養生貯蔵槽

モルタルバーの38℃養生は温度38±1℃、湿度95%以上が確保出来る恒温・恒湿貯蔵槽を用いた。

10) 長さ変化測定器

モルタルバーの長さ変化測定器は測長棒頂部にJIS B 7509に規定された1/1000mm精度を有するダイヤルゲージ式コンパレータを使用した。

2. 試験方法

2.1 骨材の製砂・ふるい分け・計量

1) 骨材の製砂

骨材の製砂は、碎石の状態で攪拌して出来るだけ均一の状態にしたのち、ジョークラッシャーで粗粉碎し引き続きミルクラッシャーで細粉碎を行った。

2) ふるい分け

クラッシングされた骨材を『骨材のアルカリシリカ反応性試験（モルタルバー法）建設省暫定案』に示された粒度分布に調整するため、振動ふるいを用いて5～2.5, 2.5～1.2, 1.2～0.6, 0.6～0.3, 0.3～0.15mmの5段階にふるい分け、更に、各粒度から試料をサンプリングしJIS A 1102に基づくふるい分け試験で確認した。

3) 計 量

ふるい分けされた骨材について、各粒度について表Ⅱ-9に示した重量を計量した。なお、ペシマムに関する配合についてはG1, G2を5:5で比例配分した。

表Ⅱ-9 骨材の計量重量

粒 度 (mm)	計 量 重 量 (g)	百 分 率 (%)
5～2.5	135.0	10
2.5～1.2	337.5	25
1.2～0.6	337.5	25
0.6～0.3	337.5	25
0.3～0.15	202.5	15
計	1350.0	100

2.2 アルカリ量の調整

セメント中のアルカリ量を目標アルカリ量1.2%に調整するために目標アルカリ量1.2%からセメントのアルカリ量(OPC=0.31%)を差し引いた値に相当する水酸化ナトリウム水溶液を練り混ぜ水に添加した。水酸化ナトリウム水溶液は水酸化ナトリウムをイオン交換水に溶かし、ほぼ2規定の濃度を目標とした。なお、モルタルバーの製作にあたっては事前に塩酸滴定による定量分析を実施し水溶液の濃度を確認した。使用した水酸化ナトリウム水溶液の濃度を表Ⅱ-7に示した。また、水酸化ナトリウム水溶液添加量はセメント量、セメント中のアルカリ量、目標アルカリ量、水酸化ナトリウム水溶液濃度から以下の計算式を用いて求めた。

$$a = 10 \times b (c - d) / 31 \times e$$

a: 水酸化ナトリウム水溶液添加量 (ml)

b: セメント量 (g)

c: 目標アルカリ量 (%)

d: セメント中のアルカリ量 (%)

e: 水酸化ナトリウム水溶液規定濃度 (N)

アルカリの調整方法の例（供試体記号 P.C）

*セメントのアルカリ量 = 0.31%

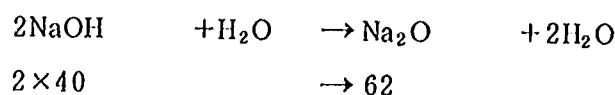
*調整後のアルカリ量 = 1.20%

*調整アルカリ量 = 0.89%

*セメント 600 g とした場合の補正アルカリ量 (Na_2O 重量換算)

$$= (0.89 \times 600) / 100 = 5.34 \text{ g}$$

* 2 規定の NaOH 水溶液の Na_2O 濃度



※ 1000cc の水に 80 g の NaOH を溶解すると 62 g の Na_2O が出来る。

$$(0.08 \text{ g/ml}) \qquad (0.062 \text{ g/ml})$$

*今回、使用した NaOH 水溶液の HCl 滴定結果は 2.055 規定であることから

2.055 規定 NaOH 水溶液の Na_2O 濃度は 0.0637 g/ml となる。

*従って、所要添加量は、 $5.34 \text{ g} / 0.0637 \text{ g/ml} = 83.8 \text{ ml}$ となる。

2.3 供試体の製作

モルタルバーの製作は、『骨材のアルカリシリカ反応性試験（モルタルバー法）建設省暫定案』に基づき実施した。製作方法は以下の通りである。

1) モルタルの練り混ぜ

モルタルの練り混ぜは次の順序で行った。

モルタルの練り混ぜは JIS R 5201 に規定される練り混ぜ機を使用する。練り鉢及びパドルを混合位置に固定し規定量のセメント、砂をいれる。次に練り混ぜ機を始動させパドル回転させながら 30 秒間混合する。次に練り混ぜ機を停止、規定量の水を投入する。引き続き練り混ぜ機を 30 秒間始動させたのち 20 秒間休止する。休止の間にさじ、練り鉢、パドルに付着したモルタルをかきおとす。更に練り鉢の底のモルタルをかきあげるようにして 2 ないし 3 回かき混ぜる。休止が終ったならば再び始動させて 120 秒間練り混ぜる。

2) 成 形

供試体の成形は次の順序で行った。

モルタルは直ちに型枠に 2 層に詰める。モルタルを型枠の高さの $\frac{1}{2}$ まで詰め、突き棒を用いてその先端が 5 mm 程度入る程度に、全面にわたって 15 回突く。また、特にプラグゲージの周囲は十分にモルタルがいきわたるようにする。次にモルタルを型枠の上部まで詰め、前と同様に突き棒を用いて突き、最後に残りのモルタルを盛って約 5 mm 盛り上げる。打設後は湿気箱にいれ乾燥を極力減ずるようにモルタル表面に触れないよう濡れ布を覆う。余盛り部は打設後約 5 時間程度で供試体を痛めないようにして削りとり、上面を平滑にする。

3) 初期養生

打設後24±2時間までは型枠ごと湿気箱に置いて乾燥を極力減ずるように、モルタル表面にふれないように濡れ布で覆う。

4) 脱型

初期養生完了後、脱型を行う。このとき供試体が湿気を失わないように番号及び測定の下上、測定時の方向を示す記号を明記する。打設から脱型までの時間は24±2時間となるようにする。

5) 基長の測定

脱型直後、供試体が乾燥しないように直ちに基長の長さの測定を実施する。測定方法は次項に示す。

6) 38℃養生

基長の長さの測定が完了したならば供試体各々について吸い取り紙を巻き付けイオン交換水を含ませたのち、ビニール袋にいれ38℃養生貯蔵槽に格納した。

3. 長さ変化の測定

1) 長さ変化の測定

モルタルバーの長さ変化の測定は初期、2週、4週、2ヶ月、3ヶ月、5ヶ月、6ヶ月、8ヶ月、10ヶ月、12ヶ月の9材令について実施した。測定方法は20℃の恒温室に置かれたコンパレータに標準棒をセットし、ダイヤルゲージの中央値を1000と合せたあとモルタルバーをセットした。長さ変化の読み取りは膨張方向を1001, 1002 収縮方向を999, 998 となるように読み取った。なお、供試体は測定時の概ね24時間まえに密閉容器にいれ20℃恒温室に移した。

2) 長さ変化率の算定

長さ変化率の算定は各測定材令時の測定値から初期値（基長）を差引、その3本の値を基準長さ140mmで除し百分率で表した。なお、各配合の長さ変化率は3本の平均とした。

4. 試験結果のまとめ

モルタルバーの長さ変化率をまとめたものを表Ⅱ-10～表Ⅱ-11に示す。試験の材令は次のとおりである。

- ・アルカリ量1.2%の50ケース …………… 材令12ヶ月
(シリーズ：Ⅰ-1, Ⅱ, Ⅲ-1, Ⅳ)
- ・アルカリ量0.8%の15ケース …………… 材令10ヶ月
(シリーズ：Ⅰ-2, Ⅲ-2, Ⅳ, Ⅴ)
- ・フライアッシュ置換率15%の4ケース …… 材令6ヶ月
(シリーズ：Ⅰ-1)

4.1 アルカリ量 1.2%の長さ変化率

図-Ⅱ-1～図-Ⅱ-14にフライアッシュサンプル記号A～Nの長さ変化率をグラフに示した。

置換率20%, 30% …… 両者の違いはあまりなく, 12ヶ月材令でもほぼ 0.03%以下の長さ変化率である。

置換率10% …………… フライアッシュ種類による差異が見られ, 6ヶ月材令以後も緩やかな伸びを示すものも多く, 12ヶ月材令で長さ変化率 0.1%を越えるものが半数以上ある。

図-Ⅱ-15～図-Ⅱ-22は, 長さ変化率と対応するフライアッシュ中のアルカリ量を同一ページに示したもので, フライアッシュ中のアルカリ量の差異が置換率10%の長さ変化率に反映されるパターンが見られる。特にフライアッシュ中のアルカリ量 (R_2O として) が 1.5%以上含まれる場合, 材令 6ヶ月以後の長さ変化率が 0.1%を越える傾向が顕著である。

そこで, 置換率10%においてフライアッシュ中のアルカリ量が長さ変化率に与える影響を見たものが図-Ⅱ-23～図-Ⅱ-24である。図では, アルカリ量の多いフライアッシュで置換した場合, 長さ変化率はより大きくなり, アルカリ量と長さ変化率が正の相関関係にあることがわかる。

ここでフライアッシュ中のアルカリ量を詳細に見ると, Na_2O と K_2O の比率はフライアッシュ種類により異なるわけであるが, 全体に Na_2O が主体となり, 図-Ⅱ-25に示されるようアルカリ量 (R_2O) の多いものは Na_2O が多い傾向にある。

そこで, フライアッシュ中の R_2O の中に占める Na_2O の比率と長さ変化率の関係を示したものが図-Ⅱ-26である。この図で見る限り, アルカリの中で Na_2O が占める割合が長さ変化率に与える影響は, R_2O で見た場合に比べて相関性は見られない。つまり, フライアッシュ中のアルカリ量がモルタルバーの長さ変化に影響を与える場合, セメントと同様トータルのアルカリ量 (R_2O) が関係するようである。

表- II - 10 モルタルバー試験 長さ変化率一覧表 (その1)

供試体 記 号	長 さ 変 化 率 (%)								
	2 週	4 週	2ヶ月	3ヶ月	5ヶ月	6ヶ月	8ヶ月	10ヶ月	12ヶ月
A-10	0.0093	0.0100	0.0216	0.0255	0.0395	0.0574	0.0607	0.0586	0.0584
A-20	0.0071	0.0074	0.0086	0.0109	0.0184	0.0207	0.0224	0.0181	0.0174
A-30	0.0036	0.0002	0.0029	0.0048	0.0105	0.0100	0.0121	0.0088	0.0066
B-10	0.0062	0.0107	0.0216	0.0302	0.0621	0.0857	0.1012	0.1076	0.1107
B-20	0.0024	0.0026	0.0074	0.0100	0.0188	0.0224	0.0219	0.0202	0.0186
B-30	0.0034	0.0048	0.0064	0.0071	0.0150	0.0195	0.0188	0.0164	0.0157
C-5 (0.8)	0.0093	0.0145	0.0214	0.0274	—	0.0286	0.0348	0.0676	—
C-10 (0.8)	0.0069	0.0081	0.0102	0.0126	—	0.0159	0.0155	0.0174	—
C-10	0.0114	0.0188	0.0331	0.0636	0.1014	0.1150	0.1166	0.1164	0.1150
C-15	0.0086	0.0107	0.0184	0.0243	0.0564	0.0805	—	—	—
C-20 (0.8)	0.0050	0.0050	0.0052	0.0052	—	0.0059	0.0045	0.0052	—
C-20	0.0095	0.0098	0.0124	0.0176	0.0271	0.0266	0.0266	0.0262	0.0245
C-30	0.0088	0.0071	0.0098	0.0119	0.0119	0.0169	0.0171	0.0136	0.0171
D-10	0.0076	0.0119	0.0255	0.0534	0.0998	0.1241	0.1395	0.1486	0.1521
D-20	0.0057	0.0050	0.0109	0.0157	0.0248	0.0274	0.0288	0.0274	0.0298
D-30	0.0026	0.0026	0.0036	0.0105	0.0155	0.0188	0.0216	0.0216	0.0238
E-10	0.0069	0.0088	0.0169	0.0209	0.0457	0.0593	0.0707	0.0693	0.0738
E-20	0.0038	0.0038	0.0066	0.0098	0.0162	0.0166	0.0186	0.0145	0.0176
E-30	0.0059	0.0041	0.0050	0.0093	0.0145	0.0138	0.0157	0.0112	0.0138
F-10	0.0109	0.0152	0.0231	0.0309	0.0655	0.0869	0.1059	0.1091	0.1126
F-20	0.0121	0.0126	0.0148	0.0219	0.0252	0.0241	0.0284	0.0259	0.0264
F-30	0.0076	0.0045	0.0091	0.0121	0.0157	0.0166	0.0202	0.0174	0.0198
G-5 (0.8)	0.0034	0.0107	0.0171	0.0212	—	0.0231	0.0305	0.0495	—
G-10 (0.8)	0.0064	0.0074	0.0112	0.0119	—	0.0126	0.0159	0.0198	—
G-10	0.0074	0.0136	0.0250	0.0443	0.1166	0.1316	0.1452	0.1521	0.1534
G-20 (0.8)	0.0043	0.0052	0.0057	0.0057	—	0.0076	0.0066	0.0071	—
G-20	0.0088	0.0048	0.0110	0.0143	0.0224	0.0252	0.0252	0.0229	0.0241
G-30	0.0112	0.0076	0.0086	0.0105	0.0193	0.0198	0.0207	0.0171	0.0188
H-10	0.0155	0.0162	0.0205	0.0236	0.0329	0.0374	0.0386	0.0364	0.0364
H-20	0.0084	0.0057	0.0098	0.0114	0.0191	0.0191	0.0209	0.0188	0.0188
H-30	-0.0005	-0.0012	0.0019	0.0026	0.0095	0.0107	0.0105	0.0074	0.0079
I-10	0.0064	0.0105	0.0179	0.0212	0.0391	0.0445	0.0495	0.0471	0.0486
I-20	0.0062	0.0134	0.0193	0.0207	0.0259	0.0274	0.0324	0.0298	0.0326
I-30	0.0071	0.0100	0.0093	0.0107	0.0150	0.0134	0.0162	0.0145	0.0166
J-10	0.0136	0.0171	0.0236	0.0250	0.0371	0.0474	0.0509	0.0502	0.0486
J-20	0.0105	0.0095	0.0114	0.0121	0.0221	0.0241	0.0231	0.0221	0.0212
J-30	0.0057	0.0086	0.0098	0.0105	0.0174	0.0164	0.0152	0.0119	0.0105
K-10	0.0126	0.0159	0.0362	0.0669	0.1019	0.1174	0.1179	0.1231	0.1243
K-20	0.0066	0.0048	0.0117	0.0138	0.0248	0.0284	0.0291	0.0276	0.0274
K-30	0.0009	0.0007	0.0036	0.0059	0.0148	0.0186	0.0112	0.0124	0.0112

表- II - 11 モルタルバー試験 長さ変化率一覧表 (その2)

供試体 記 号	長 さ 変 化 率 (%)								
	2 週	4 週	2ヶ月	3ヶ月	5ヶ月	6ヶ月	8ヶ月	10ヶ月	12ヶ月
L-5 (0.8)	0.0067	0.0129	0.0207	0.0257	—	0.0271	0.0341	0.0664	—
L-10 (0.8)	0.0031	0.0071	0.0116	0.0114	—	0.0119	0.0136	0.0152	—
L-10	0.0124	0.0162	0.0324	0.0869	0.1066	0.1279	0.1266	0.1291	0.1276
L-15	0.0074	0.0091	0.0164	0.0221	0.0264	0.0557	—	—	—
L-20 (0.8)	0.0031	0.0031	0.0024	0.0038	—	0.0036	0.0026	0.0043	—
L-20	0.0057	0.0086	0.0145	0.0159	0.0259	0.0291	0.0266	0.0245	0.0241
L-30	0.0069	0.0105	0.0095	0.0107	0.0198	0.0212	0.0202	0.0176	0.0171
M-10	0.0133	0.0252	0.0945	0.1266	0.1612	0.1616	0.1675	0.1676	0.1662
M-15	0.0083	0.0112	0.0236	0.0566	0.1307	0.1541	—	—	—
M-20	0.0033	0.0069	0.0166	0.0191	0.0234	0.0255	0.0264	0.0234	0.0236
M-30	0.0079	0.0090	0.0226	0.0231	0.0212	0.0229	0.0234	0.0214	0.0205
N-10	0.0121	0.0191	0.0391	0.1119	0.1676	0.2034	0.2036	0.2219	0.2224
N-15	0.0050	0.0066	0.0171	0.0259	0.0643	0.0774	—	—	—
N-20	0.0038	0.0083	0.0129	0.0176	0.0274	0.0312	0.0286	0.0269	0.0293
N-30	0.0038	0.0031	0.0069	0.0100	0.0200	0.0245	0.0238	0.0202	0.0224
S-30	0	0.0052	0.0212	0.0298	0.0407	0.0436	0.0462	0.0448	0.0462
S-40	-0.0036	0.0045	0.0121	0.0191	0.0255	0.0262	0.0309	0.0288	0.0305
S-50	-0.0019	0.0050	0.0091	0.0134	0.0207	0.0243	0.0250	0.0236	0.0252
S-65	-0.0067	0.0040	0.0019	0.0066	0.0131	0.0171	0.0179	0.0143	0.0150
JP	0.0005	-0.0014	0.0024	0.0052	0.0134	0.0141	0.0145	0.0124	0.0131
AP	-0.0050	-0.0066	-0.0052	-0.0009	0.0074	0.0043*	0.0102	0.0076	0.0079
CP	-0.0005	0.0169	0.0045	0.0098	0.0184	0.0176	0.0209	0.0202	0.0209
CP (0.8)	0.0057	0.0098	0.0134	0.0166	—	0.0191	0.0250	0.0300	—
GP (0.8)	0.0050	0.0079	0.0129	0.0155	—	0.0274	0.0545	0.1221	—
LP (0.8)	0.0062	0.0088	0.0126	0.0150	—	0.0162	0.0214	0.0484	—
P.C.	0.0309	0.1212	0.2712	0.2895	0.3309	0.3269	0.3369	0.3391	0.3376
P.C. (0.8)	0.0059	0.0152	0.0321	0.1112	—	0.3938	0.4424	0.4629	—
P.C.P (0.8)	0.0079	0.0159	0.0591	0.1793	—	0.4371	0.4834	0.5084	—
P.C.P (1.2)	0.0138	0.0829	0.3152	0.4250	—	0.5519	0.5698	0.5755	—

注1) ()内数値はアルカリ量, ()無しはアルカリ量 1.20%

注2) JP, AP, CP, GP, LP はペシマム試験
P.C. は混和材無置換
S は高炉スラグ粉末, 添字は置換率
P.C.P は混和材を無置換としたペシマム試験

注3) 材令 5 ヶ月は参考データ

注4) * は 2 本の供試体のデータで算出

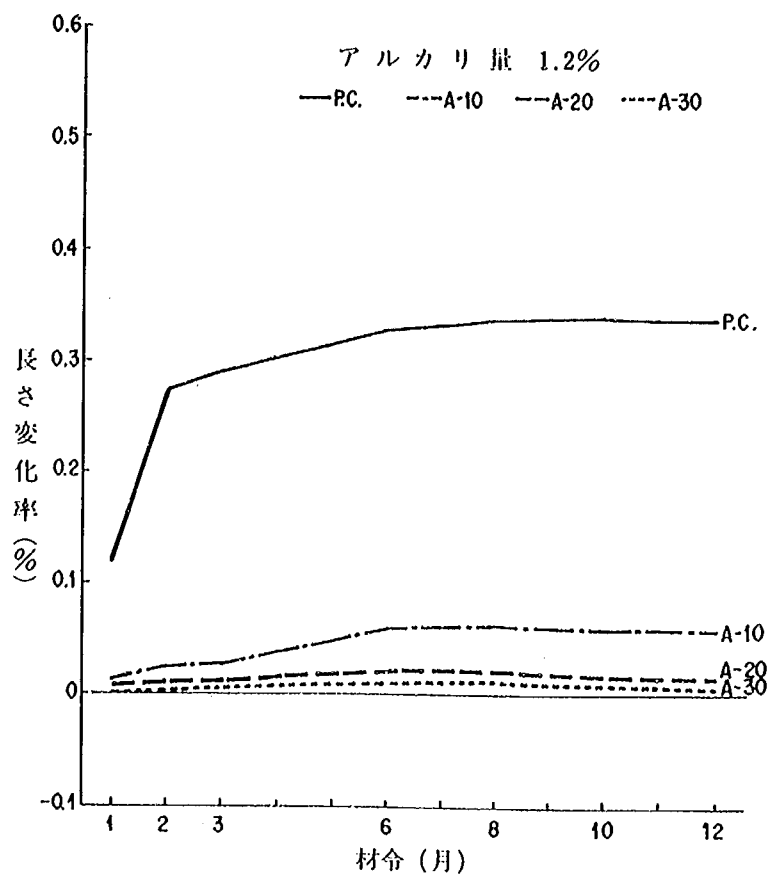


図-Ⅱ-1 モルタルバー長さ変化率曲線

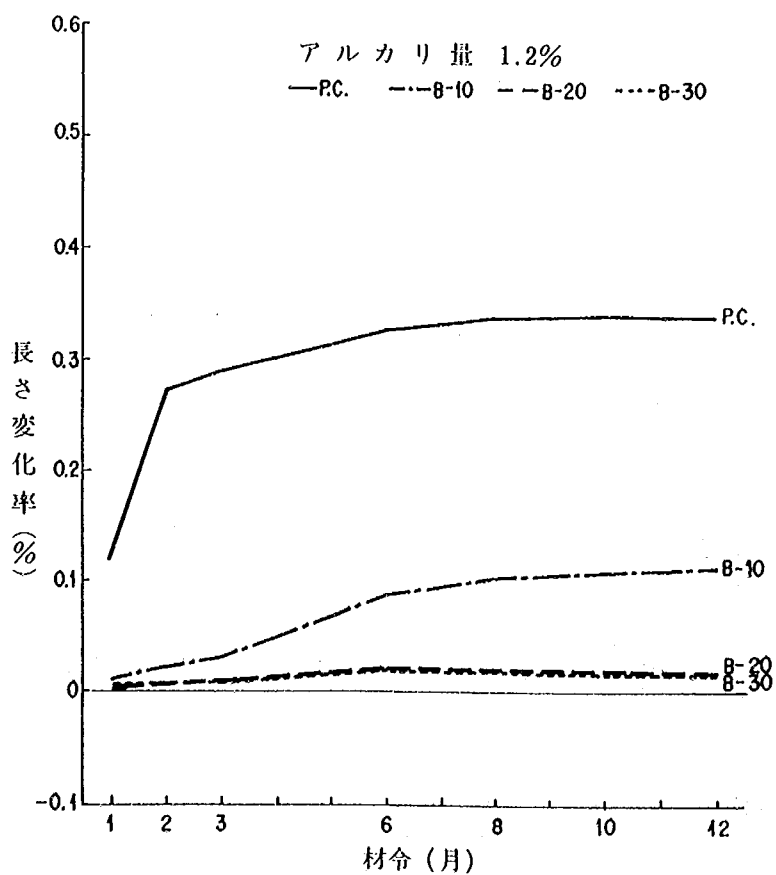


図-Ⅱ-2 モルタルバー長さ変化率曲線

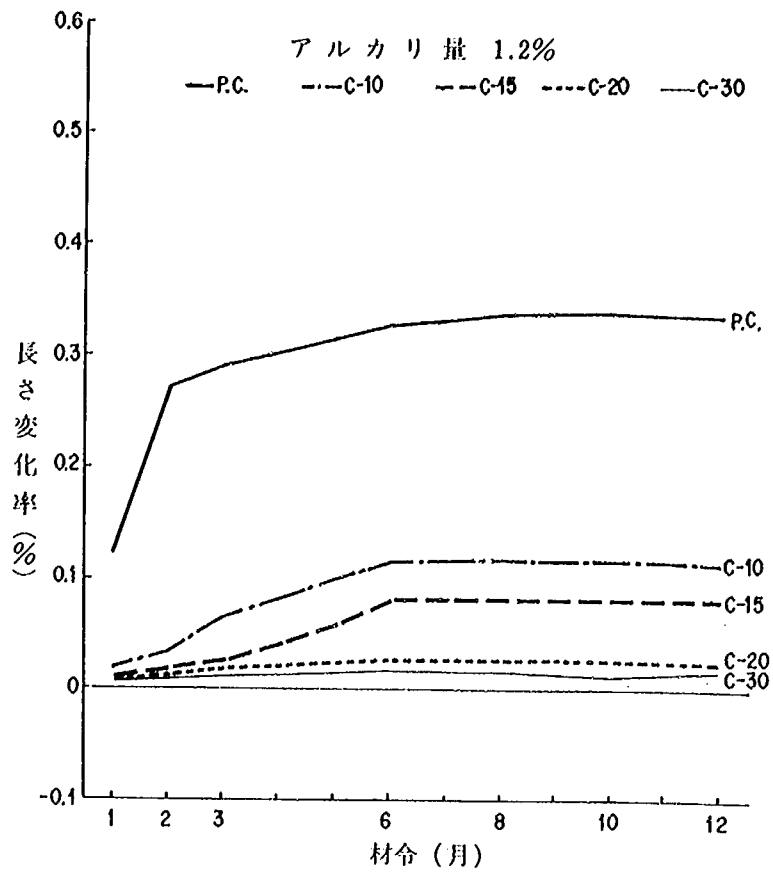


図-Ⅱ-3 モルタルバー長さ変化率曲線

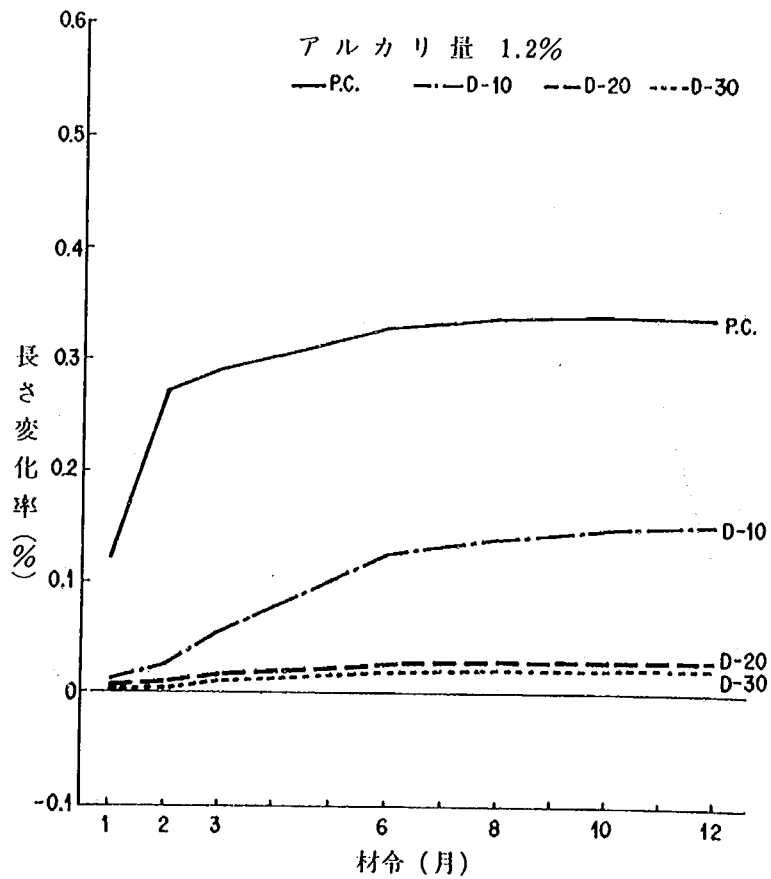


図-Ⅱ-4 モルタルバー長さ変化率曲線

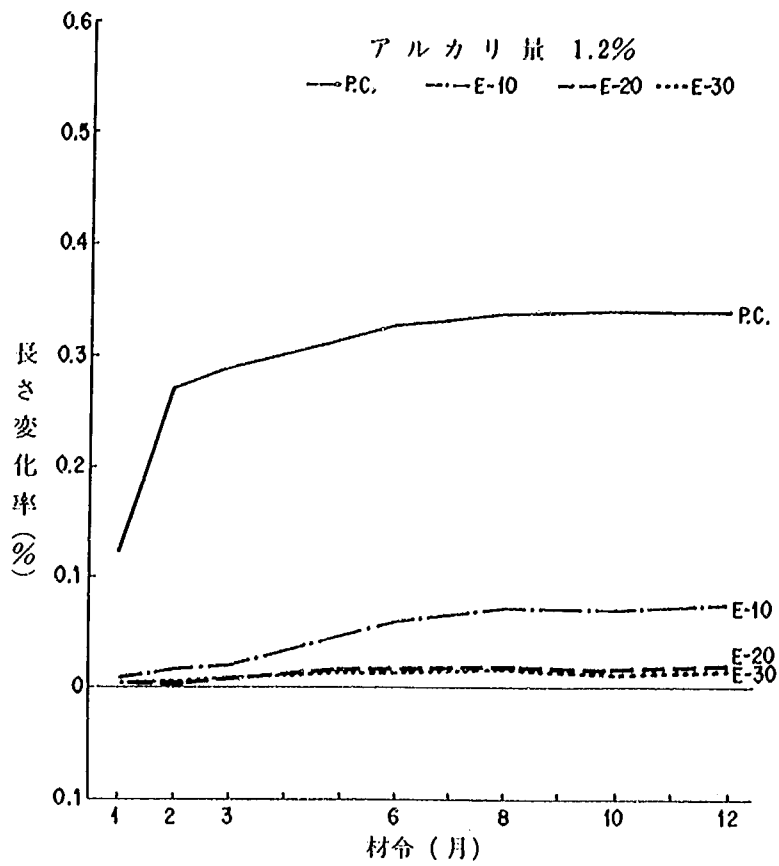


図-Ⅱ-5 モルタルバー長さ変化率曲線

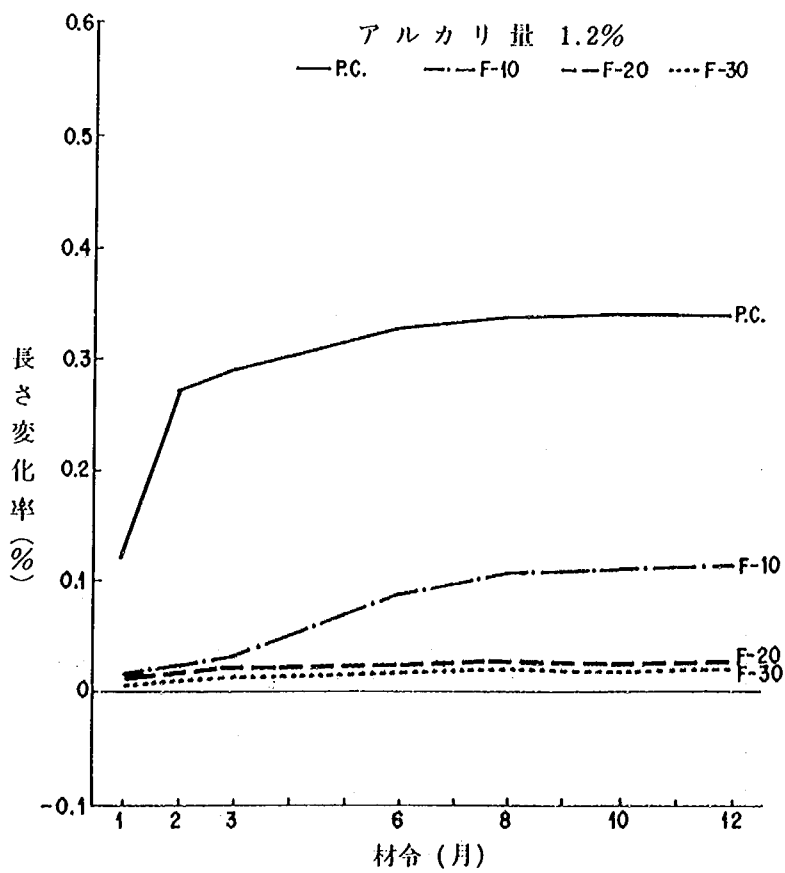


図-Ⅱ-6 モルタルバー長さ変化率曲線

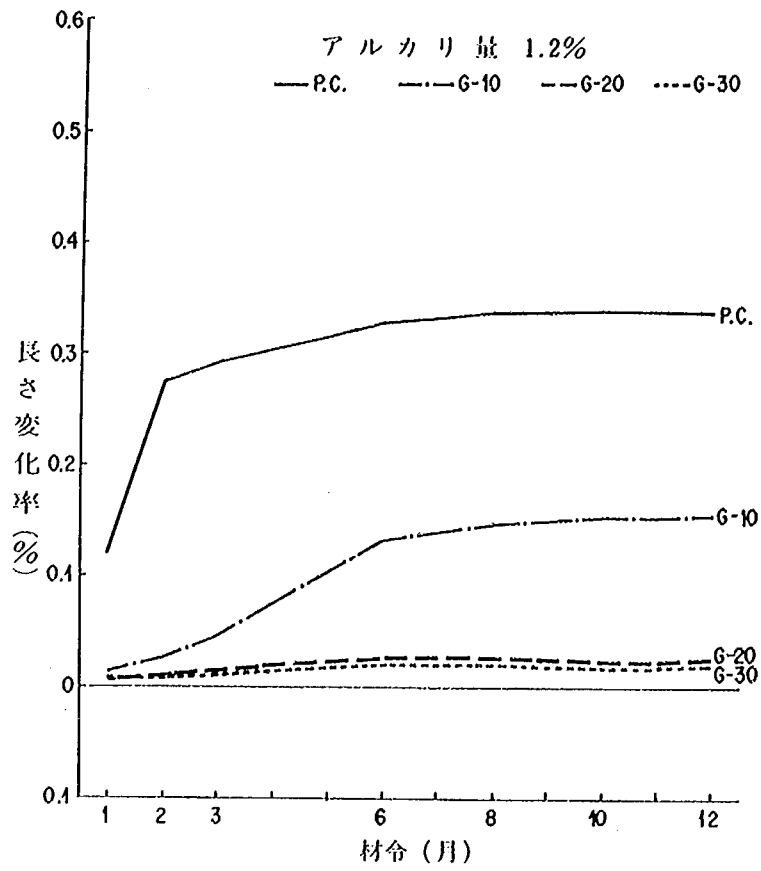


図-Ⅱ-7 モルタルバー長さ変化率曲線

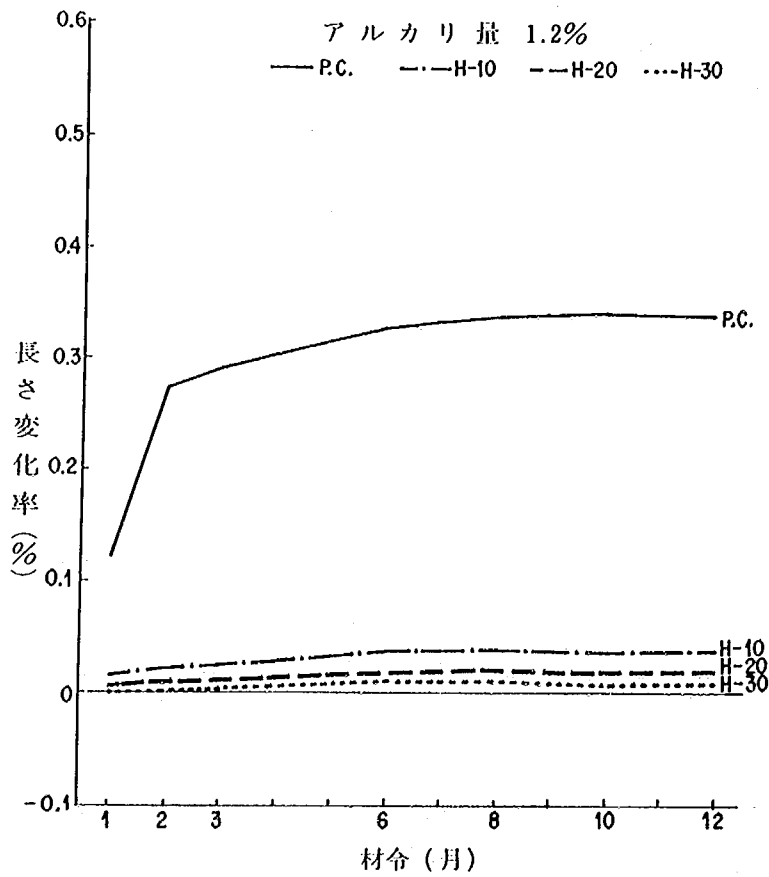


図-Ⅱ-8 モルタルバー長さ変化率曲線

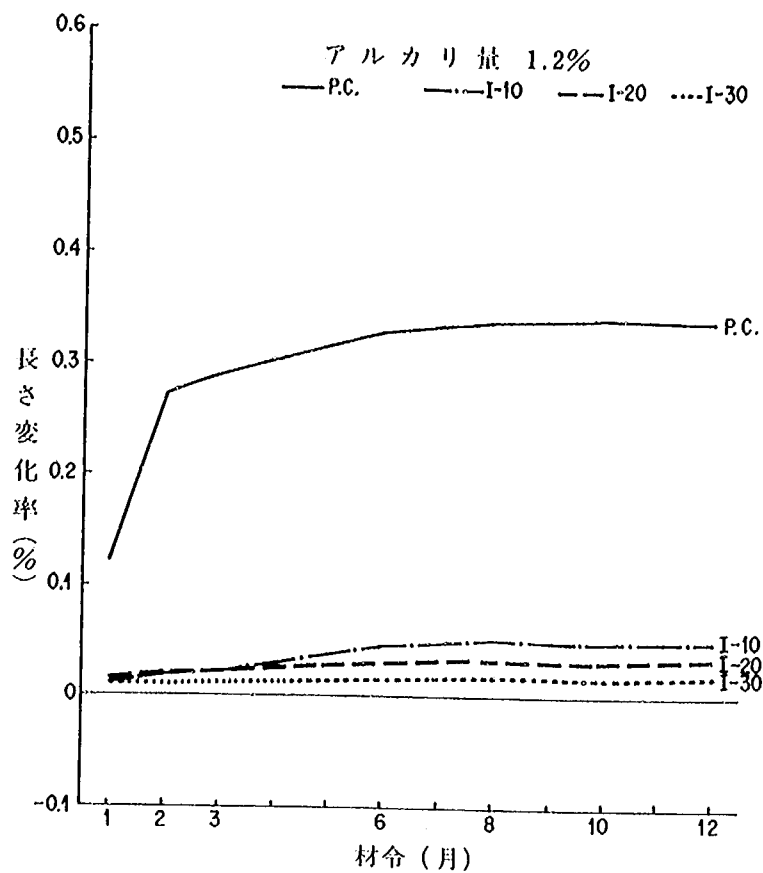


図-Ⅱ-9 モルタルバー長さ変化率曲線

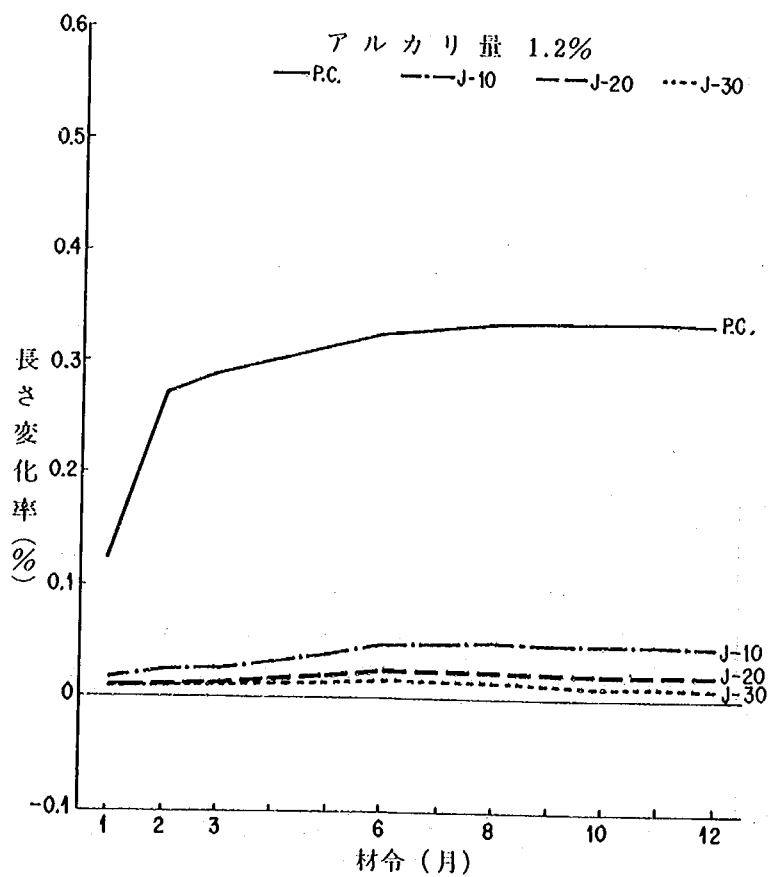


図-Ⅱ-10 モルタルバー長さ変化率曲線

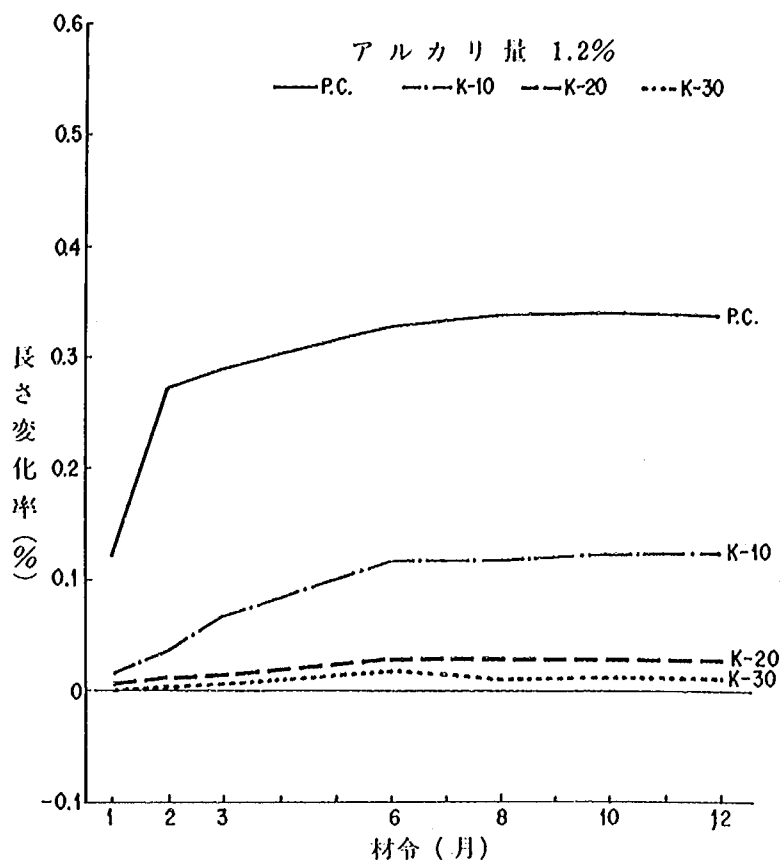


図-Ⅱ-11 モルタルバー長さ変化率曲線

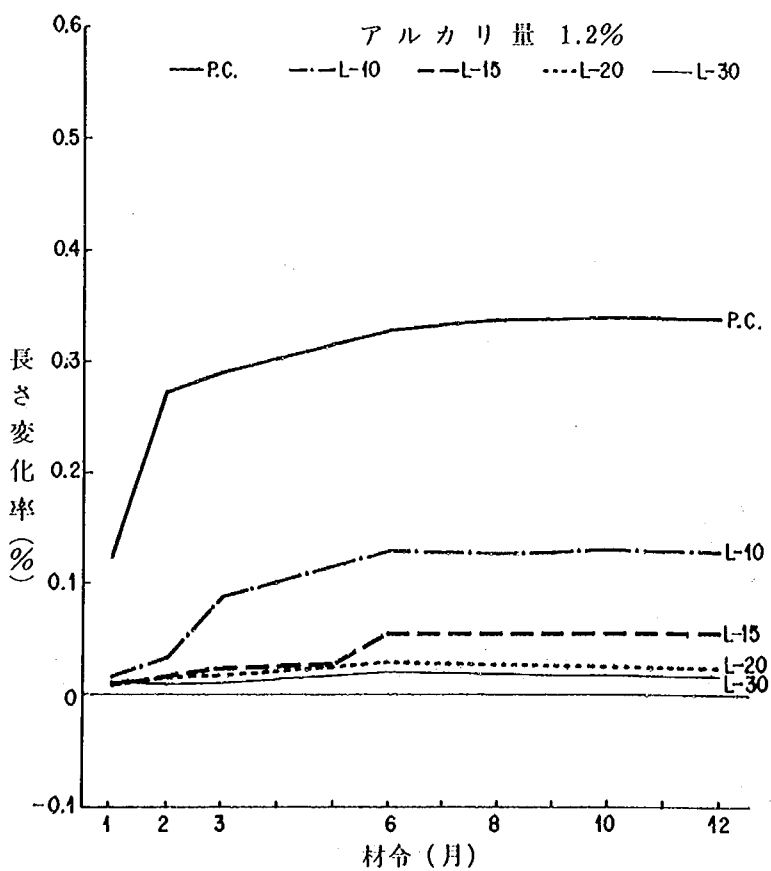


図-Ⅱ-12 モルタルバー長さ変化率曲線

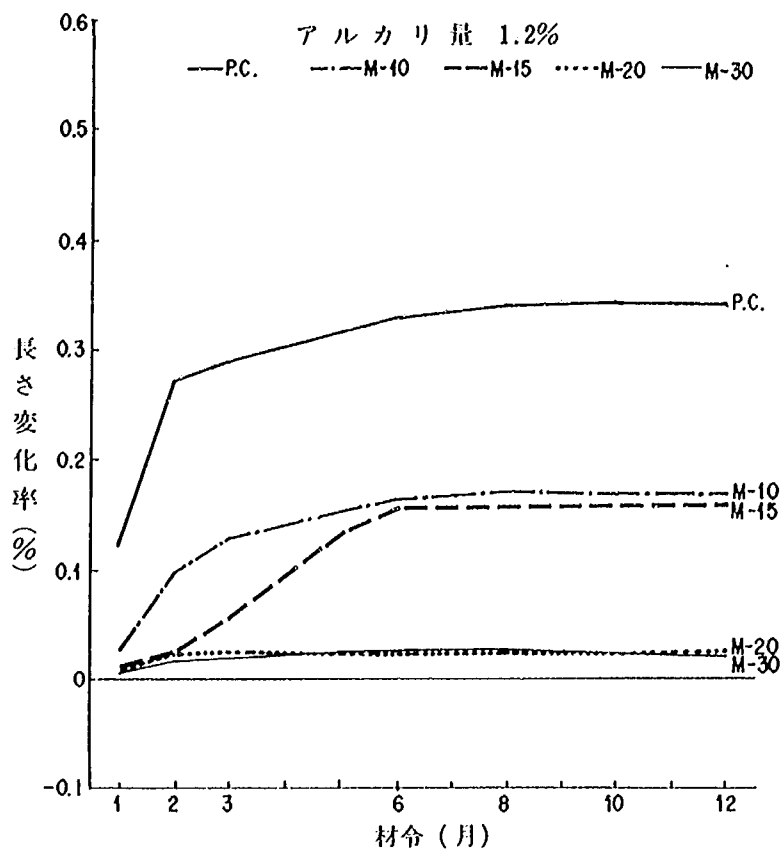


図-Ⅱ-13 モルタルバー長さ変化率曲線

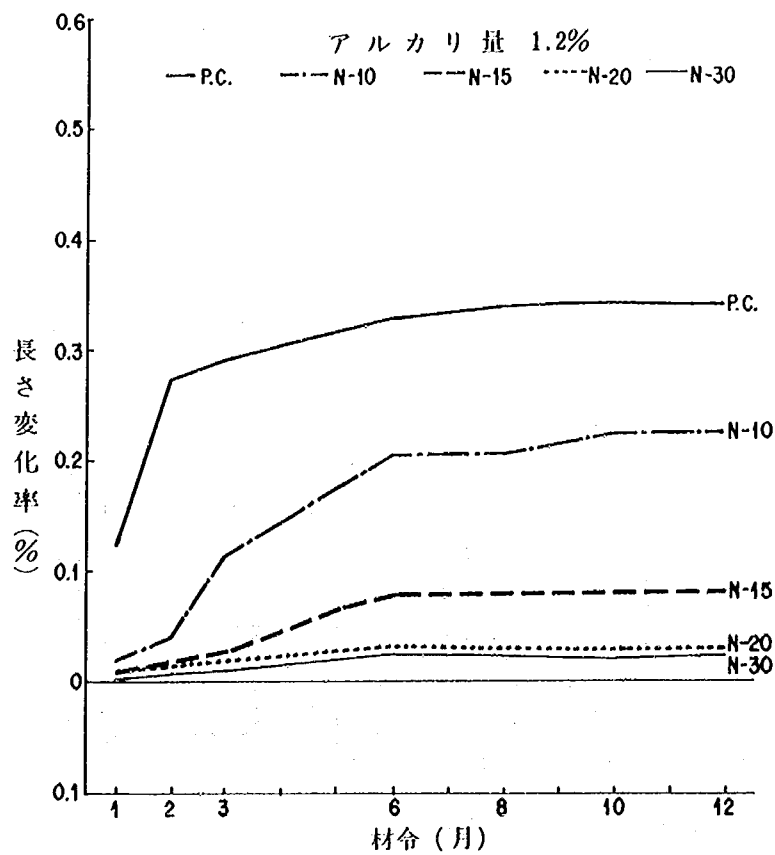


図-Ⅱ-14 モルタルバー長さ変化率曲線

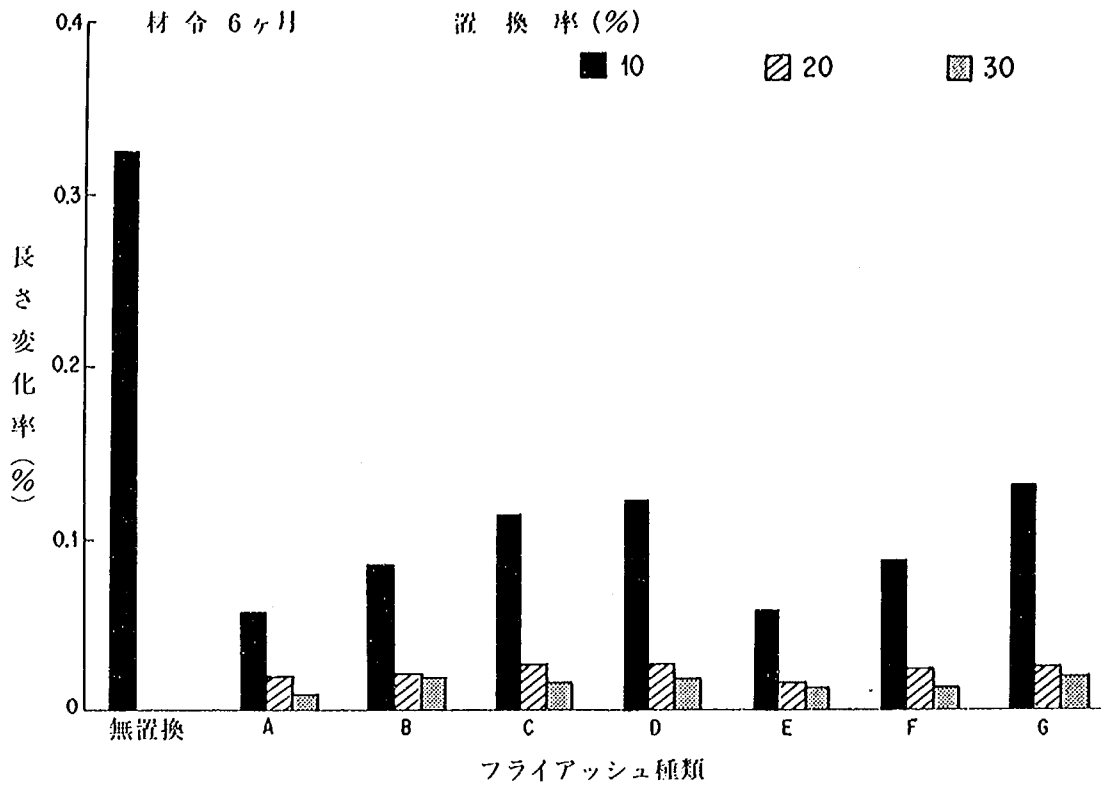


図-Ⅱ-15 フライアッシュ種類と材令 6 ヶ月長さ変化率

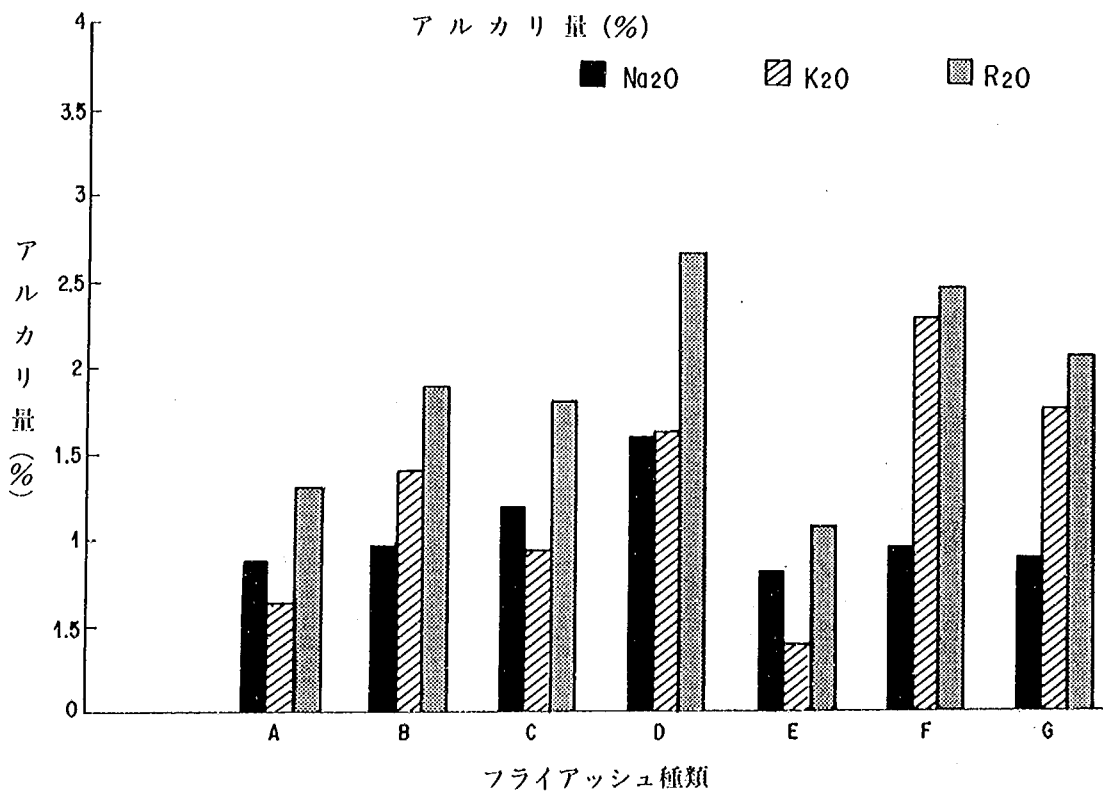


図-Ⅱ-16 フライアッシュ種類とアルカリ量

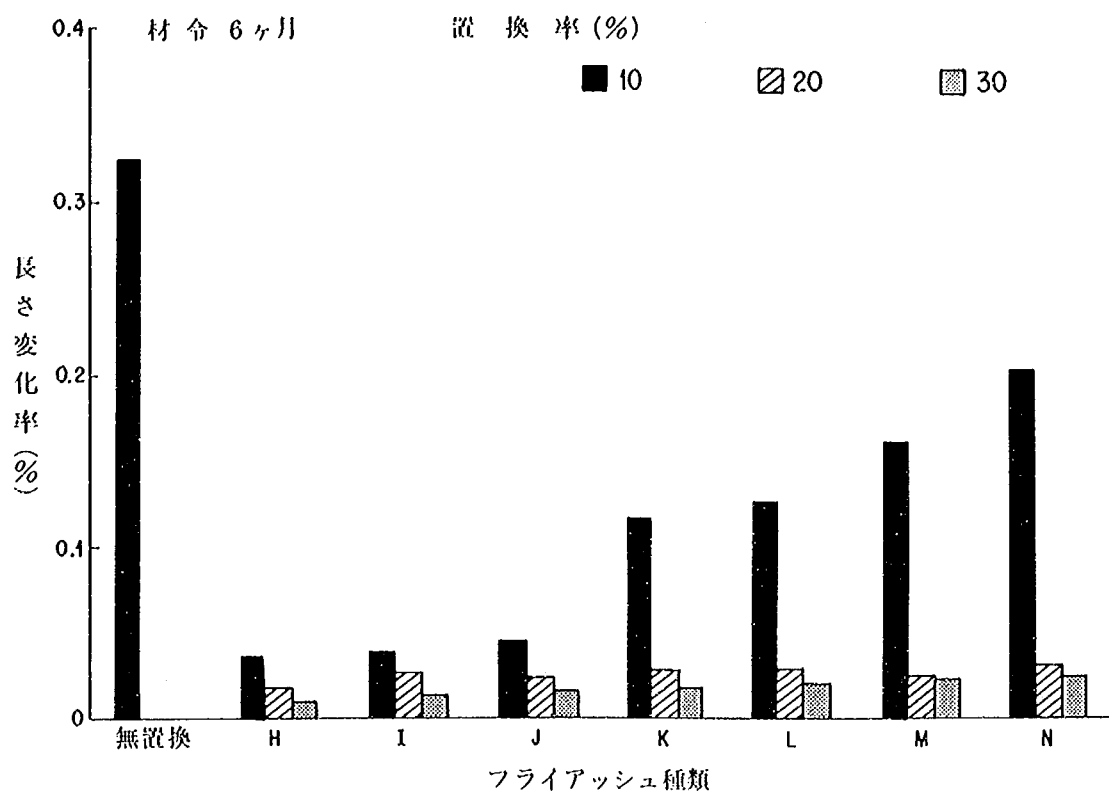


図-Ⅱ-17 フライアッシュ種類と材令6ヶ月長さ変化率

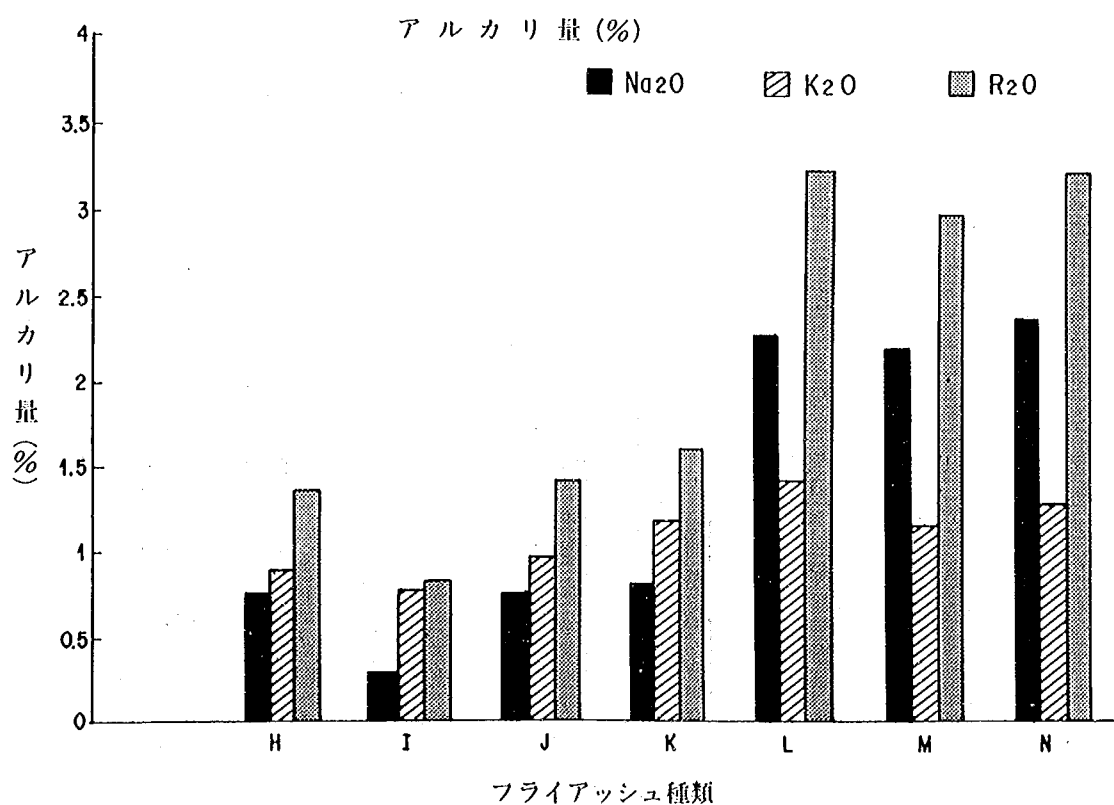


図-Ⅱ-18 フライアッシュ種類とアルカリ量

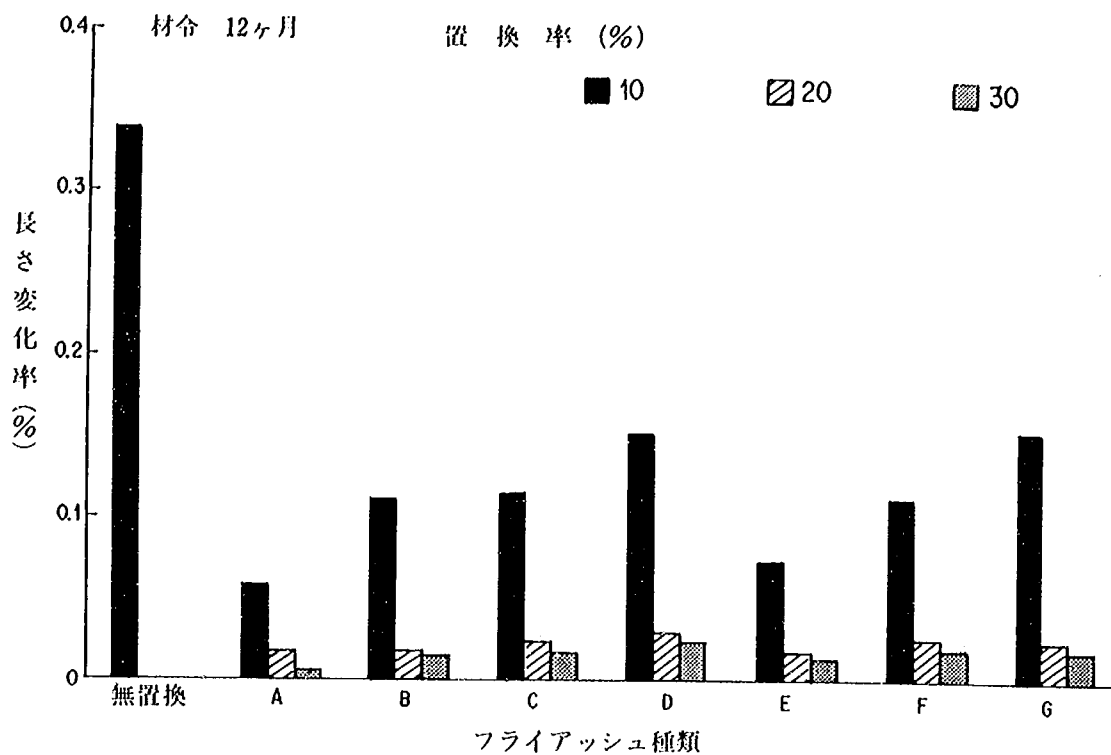


図-Ⅱ-19 フライアッシュ種類と材令12ヶ月長さ変化率

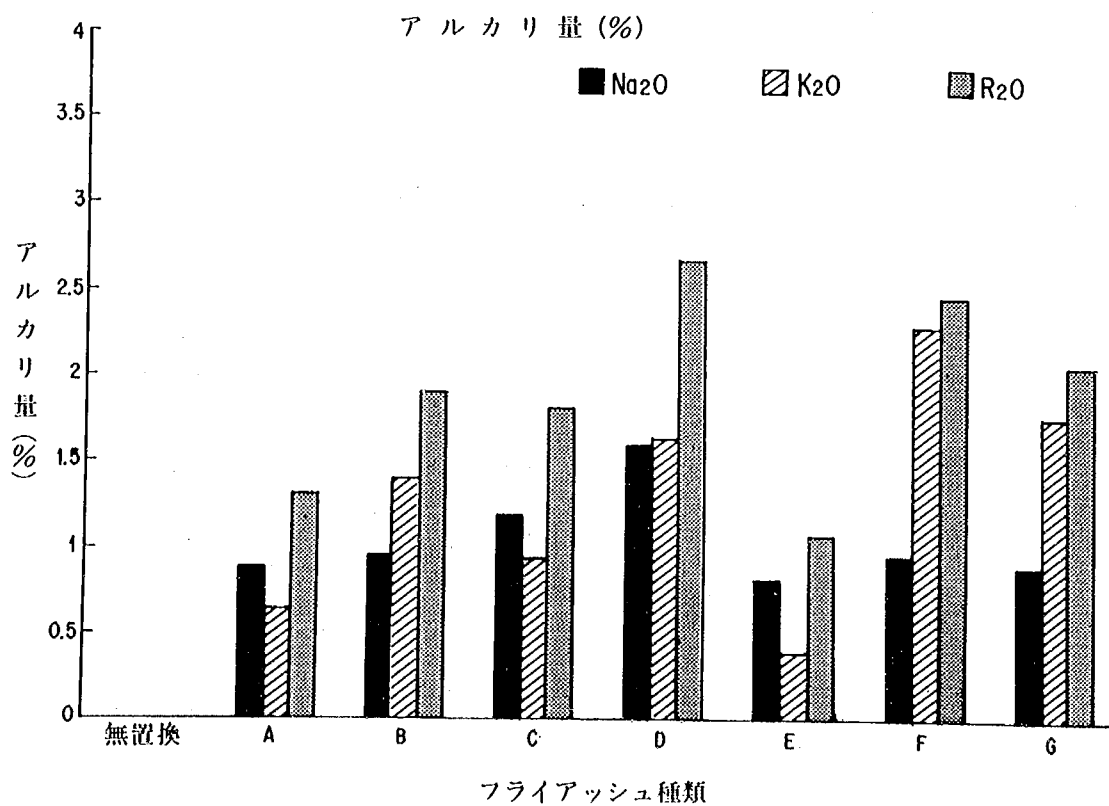


図-Ⅱ-20 フライアッシュ種類とアルカリ量

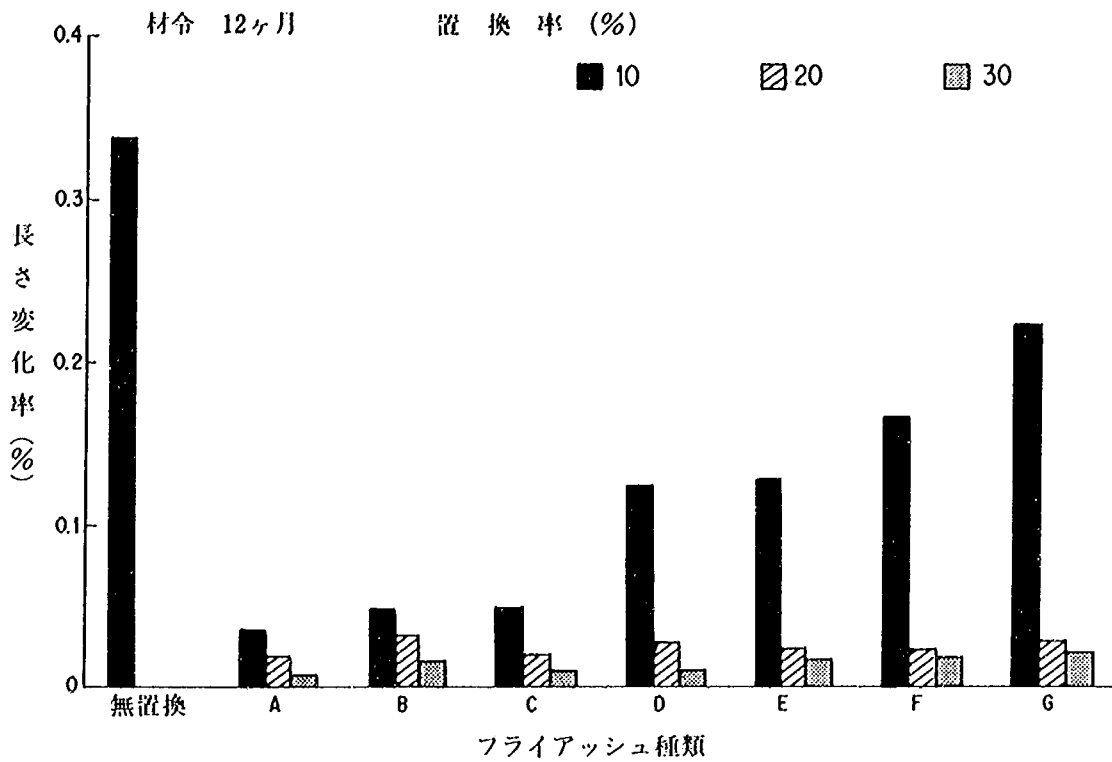


図-Ⅱ-21 フライアッシュ種類と材令12ヶ月長さ変化率

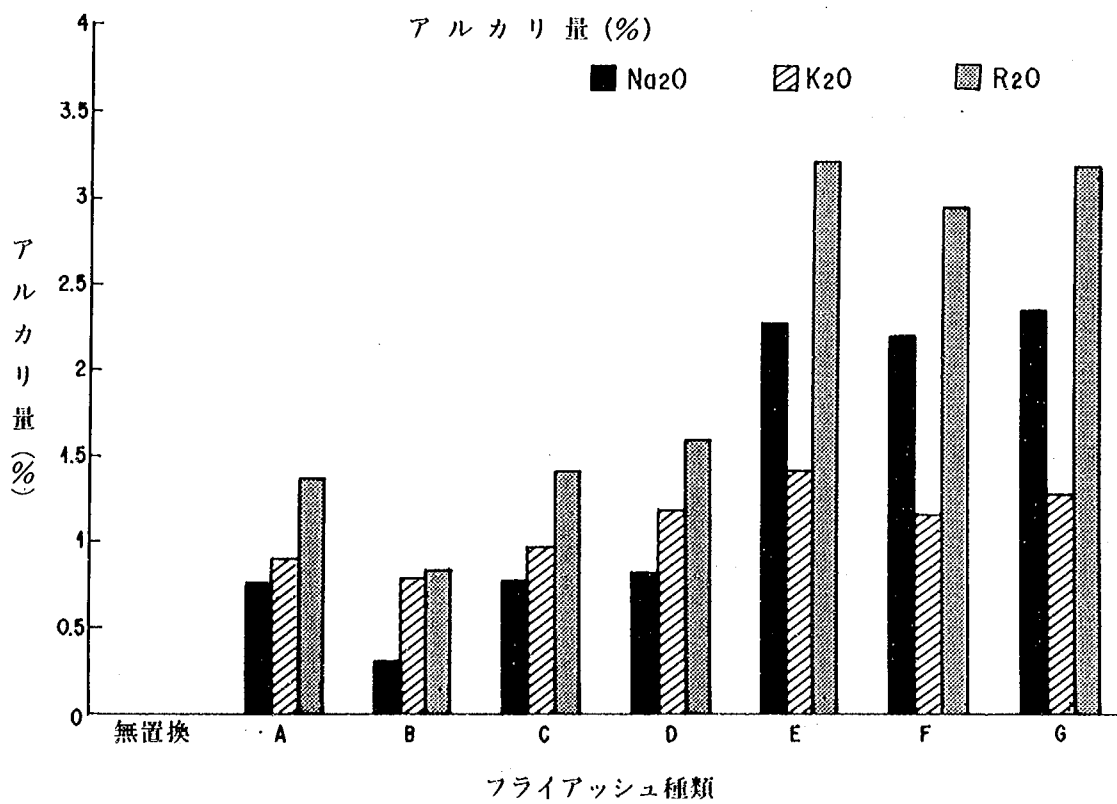


図-Ⅱ-22 フライアッシュ種類とアルカリ量

アルカリ量 1.2%

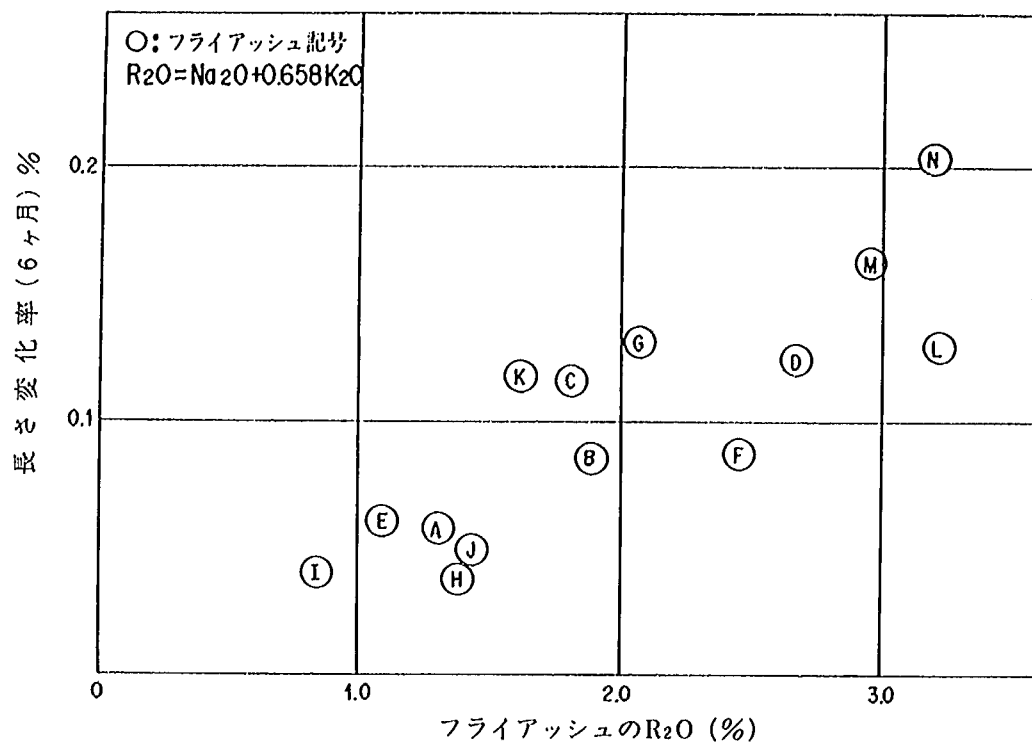


図-Ⅱ-23 フライアッシュの R_2O と長さ変化率の関係 (置換率10%)

アルカリ量 1.2%

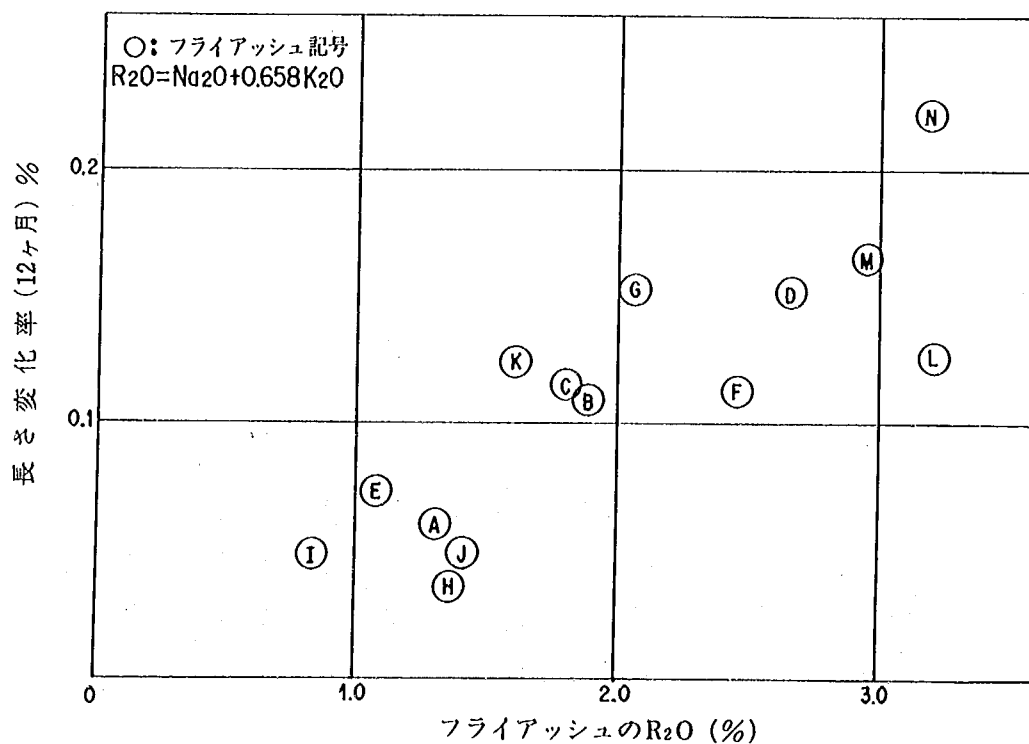


図-Ⅱ-24 フライアッシュの R_2O と長さ変化率の関係 (置換率10%)

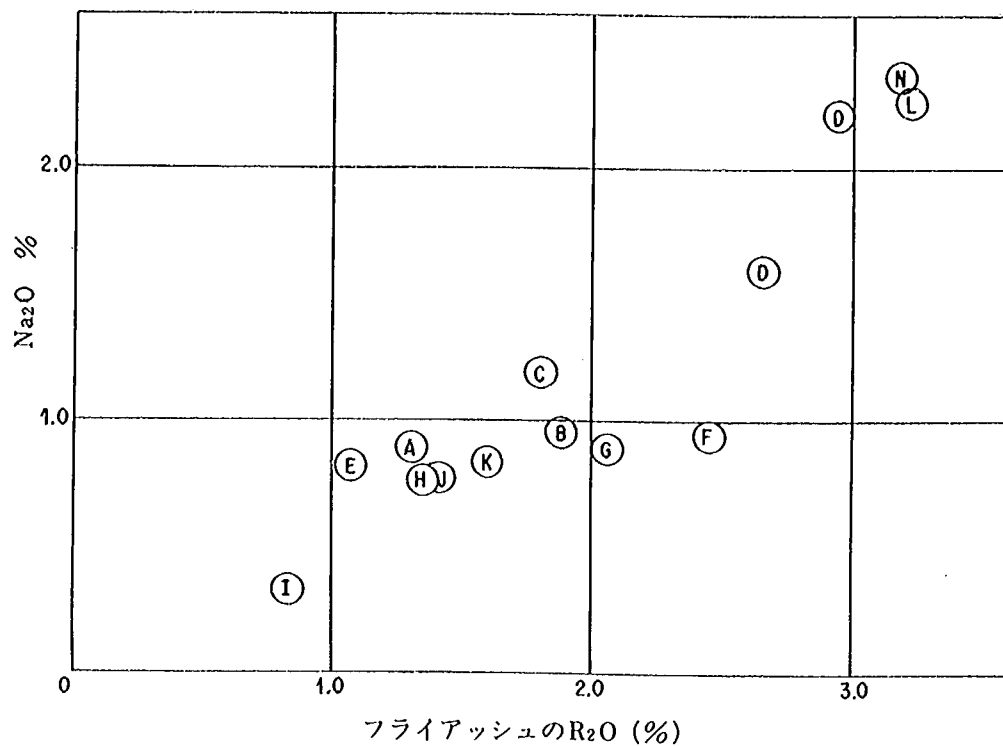


図-Ⅱ-25 フライアッシュのR₂OとNa₂Oの関係

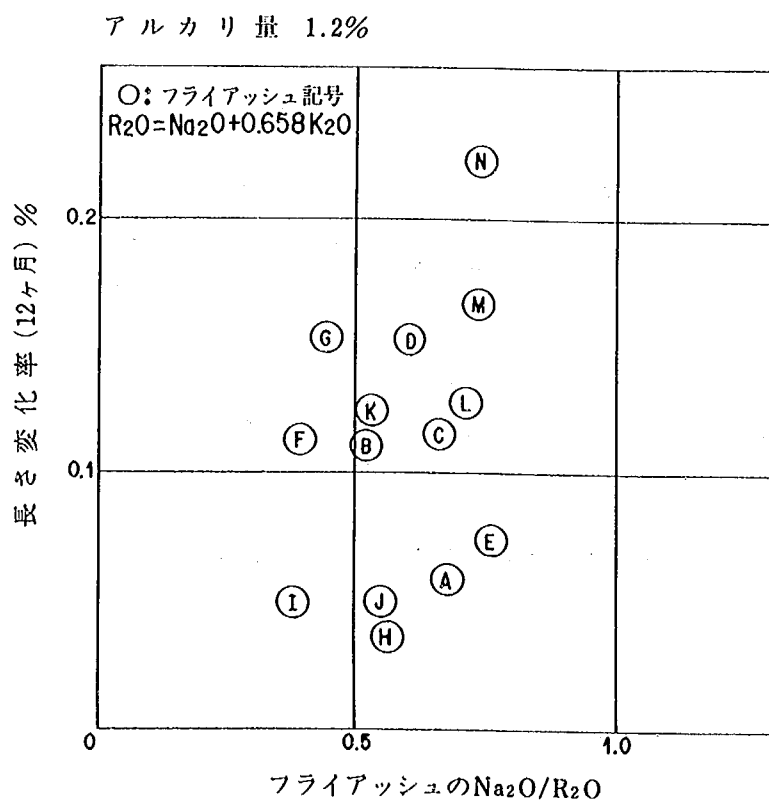


図-Ⅱ-26 フライアッシュのNa₂O/R₂Oと長さ変化率の関係 (置換率10%)

4.2 スラグモルタルバーの長さ変化率

アルカリ量 1.2% の長さ変化率を図- II - 27 に示す。

置換率30%の長さ変化率は、12ヶ月材令で 0.04 %程度で、抑制効果の大きいフライアッシュの10%置換率のものとはほぼ類似するオーダーである。

スラグとフライアッシュを同じ30%置換率で見ると、含有するアルカリ量はスラグの方が $\frac{1}{2}$ 以下にもかかわらず (フライアッシュ: 0.84 %~3.22 %, スラグ: 0.48 %), 長さ変化率は2倍~5倍程度大きい結果となっている。これは、置換することによる抑制作用が単に希釈効果だけでなく、系の中のアルカリを安定化させるメカニズムが、スラグとフライアッシュで異なることを暗に示すものである。

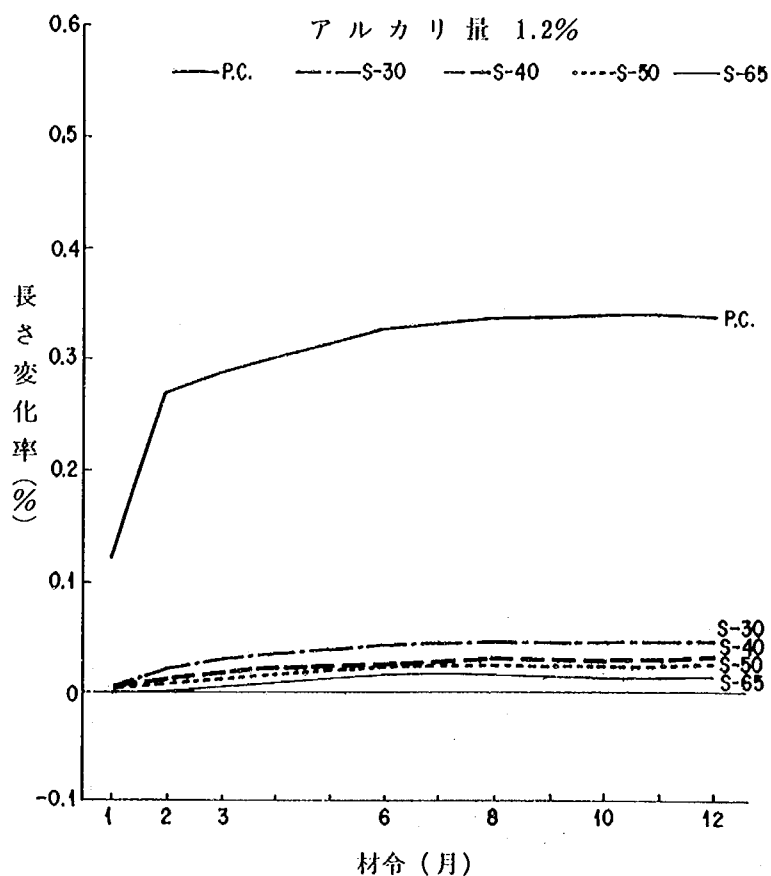


図- II - 27 モルタルバー長さ変化率曲線

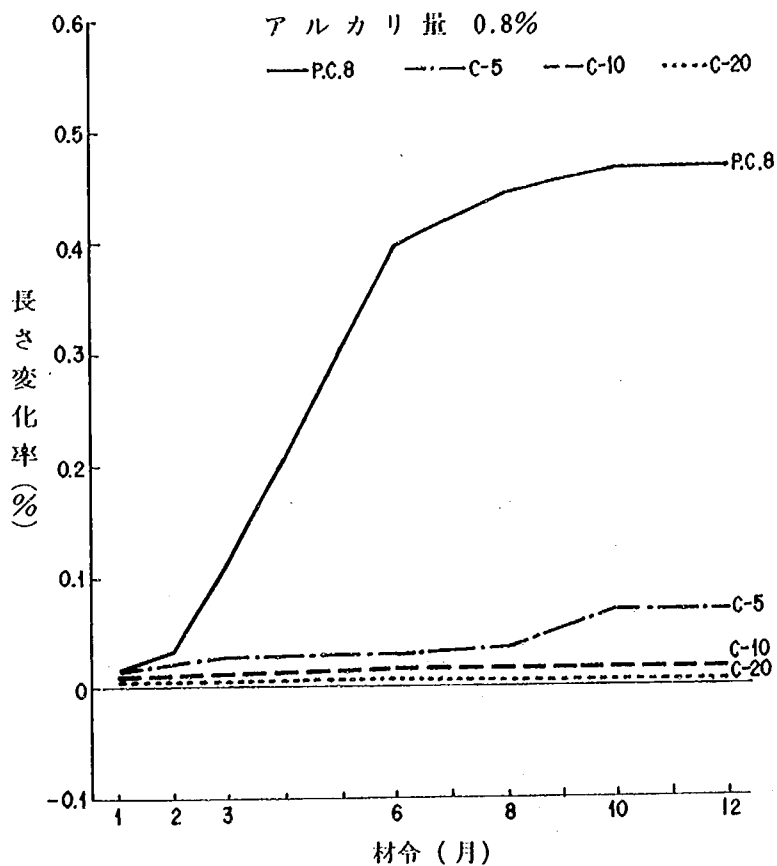
4.3 アルカリ量 0.8%の長さ変化率

図－Ⅱ－28～図－Ⅱ－30にフライアッシュ C, G, L についての長さ変化率を示す。

置換率10%, 20% …… アルカリ量 1.2%, 置換率20%の場合の長さ変化率を下まわり, 抑制効果は顕著で置換率やフライアッシュの違いによる差異は見られない。

置換率 5% …………… 長さ変化率は材令10ヶ月で 0.1%を越えることはなく抑制効果が見られ, 無置換のものに比べて $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{6}$ 程度になっている。

ただし置換率 5%の場合, 8ヶ月材令以後の長さ変化率の増加勾配はやや大きくなる傾向が見られる。



図－Ⅱ－28 モルタルバー長さ変化率曲線

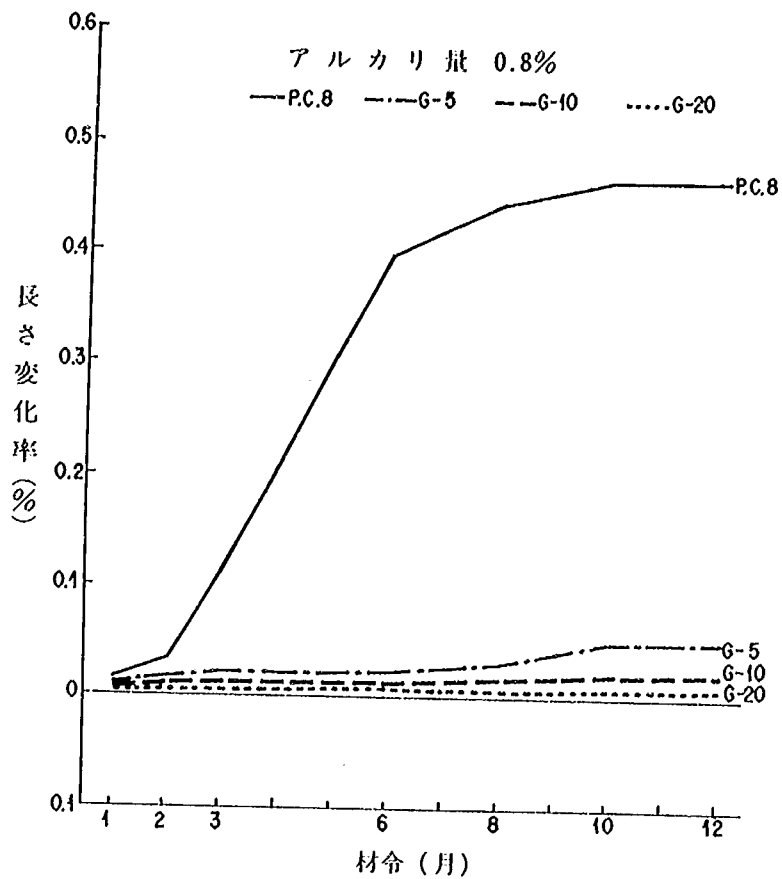


図- II - 29 モルタルバー長さ変化率曲線

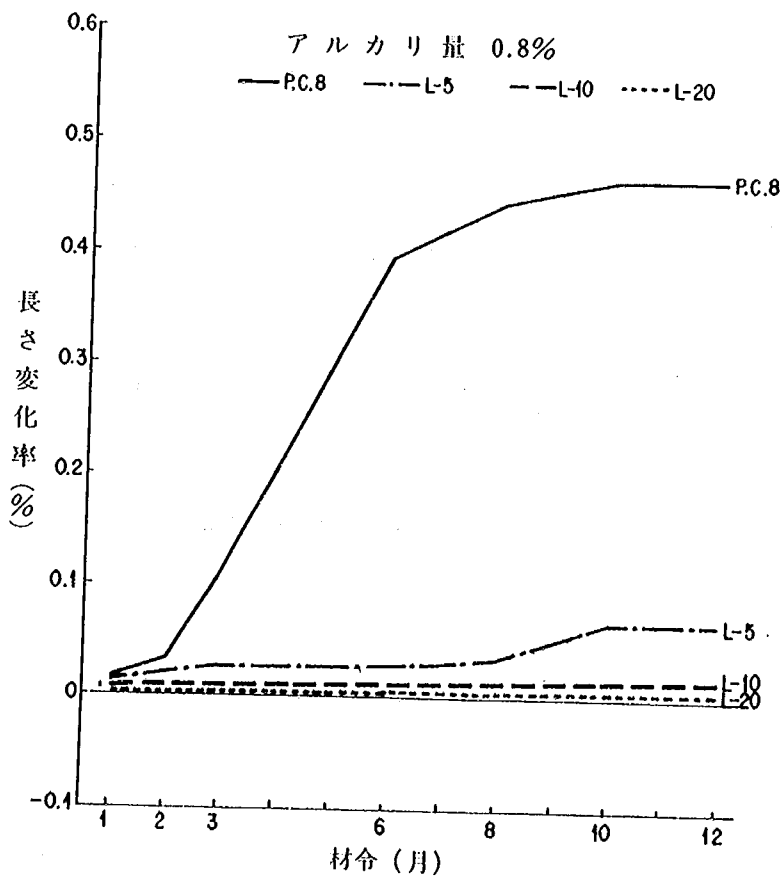


図- II - 30 モルタルバー長さ変化率曲線

4.4 ペシマム条件の長さ変化率

基準となるフライアッシュ無置換の場合、図-Ⅱ-31に見られるよう反応性骨材率100%に比べて反応性骨材率50%の方が長さ変化率が大きく、骨材の特質としてのペシマムが存在する。

ペシマム条件でのフライアッシュ抑制効果を見たものが図-Ⅱ-32～図-Ⅱ-39である。

図-Ⅱ-32はフライアッシュA, C, Jを用いてアルカリ量1.2%, 置換率20%の場合を示したものである。図に見られるよう、長さ変化率の低下は無置換に比べて1/20以下になっており、ペシマム条件下での抑制効果も大きい。

図-Ⅱ-33はフライアッシュC, G, Lを用いてアルカリ量0.8%, 置換率10%の場合を示したものである。図よりアルカリ量0.8%でも、置換率10%の場合、フライアッシュのアルカリ量が多いG, Lは、10ヶ月材令の長さ変化率はやや大きくなり、0.1%を超えるものもある(フライアッシュG)。

図-Ⅱ-34～図-Ⅱ-39は、ペシマム条件下と反応性骨材率100%の両者を同一アルカリ量、同一置換率で比較したものである。

- ・アルカリ量1.2%, 置換率20%, フライアッシュA, C, J …… 図-Ⅱ-34～図-Ⅱ-36

長さ変化率の低下は顕著で0.03%以下に抑制されており、ペシマム条件と反応性骨材率100%の両者は差異が見られない。

- ・アルカリ量0.8%, 置換率10%, フライアッシュC, G, L …… 図-Ⅱ-37～図-Ⅱ-39

ペシマム条件の方で長さ変化率が大きくなる傾向にあり、特にフライアッシュGでは下に示すよう、その差異が顕著になっている。

ペシマムフライアッシュG 0.1221% (材令10ヶ月)

反応性骨材率100%フライアッシュG 0.0198% (材令10ヶ月)

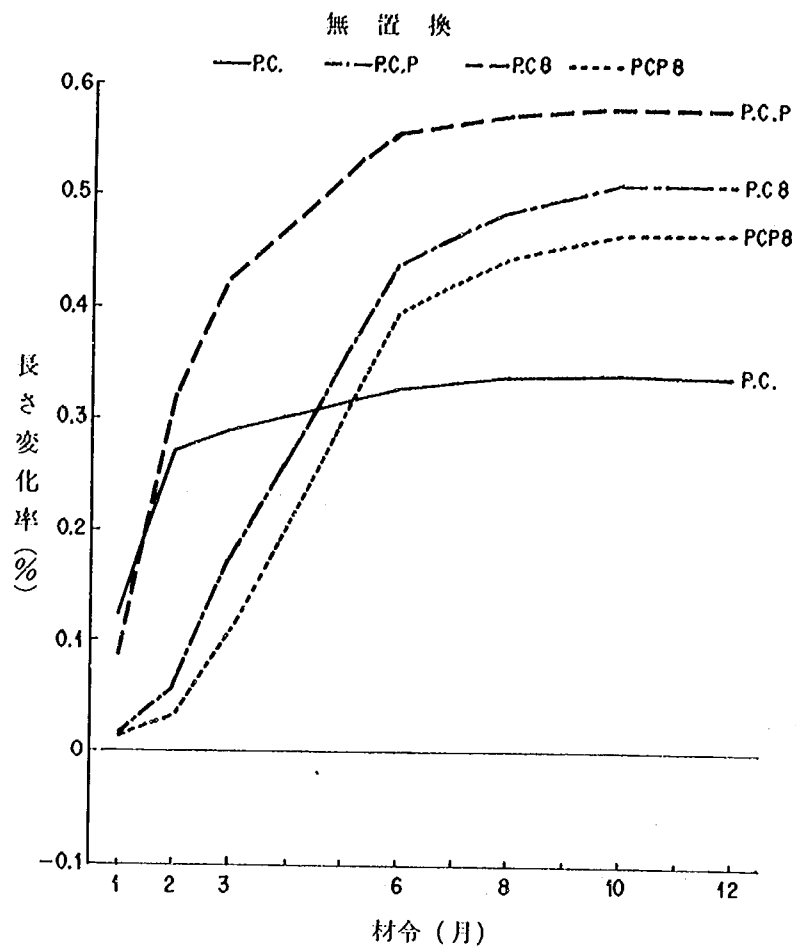


図-Ⅱ-31 モルタルバー長さ変化率曲線

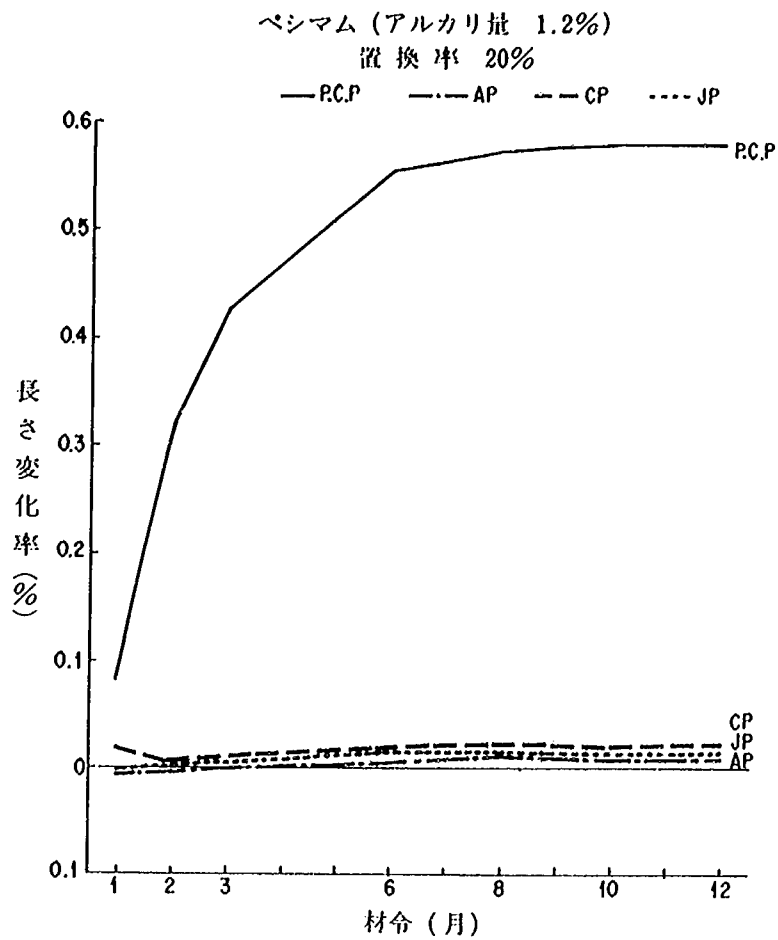


図-Ⅱ-32 モルタルバー長さ変化率曲線

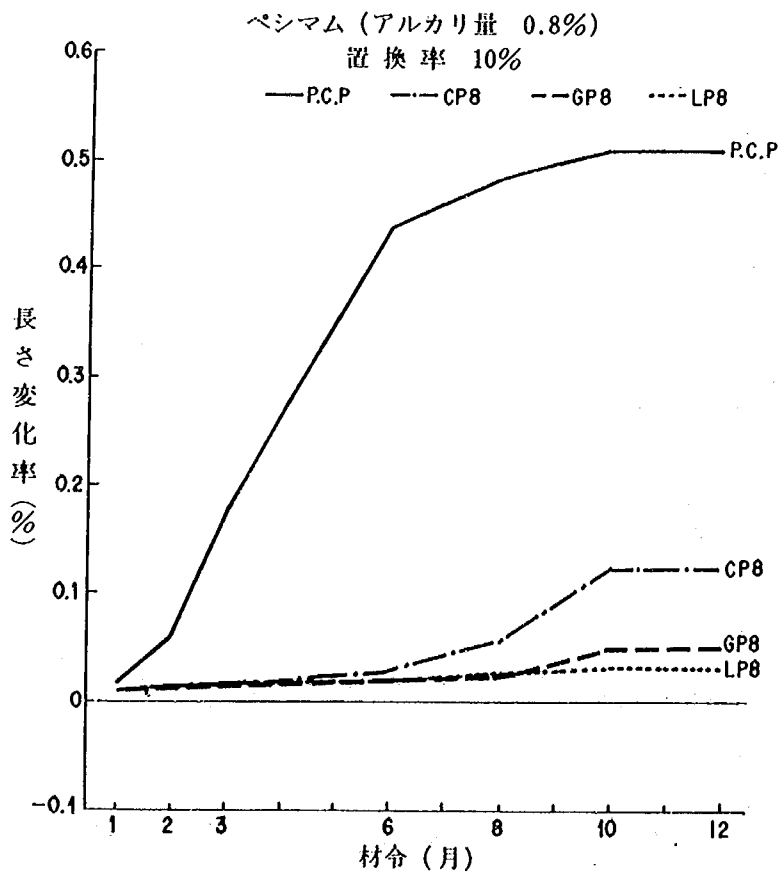


図-Ⅱ-33 モルタルバー長さ変化率曲線

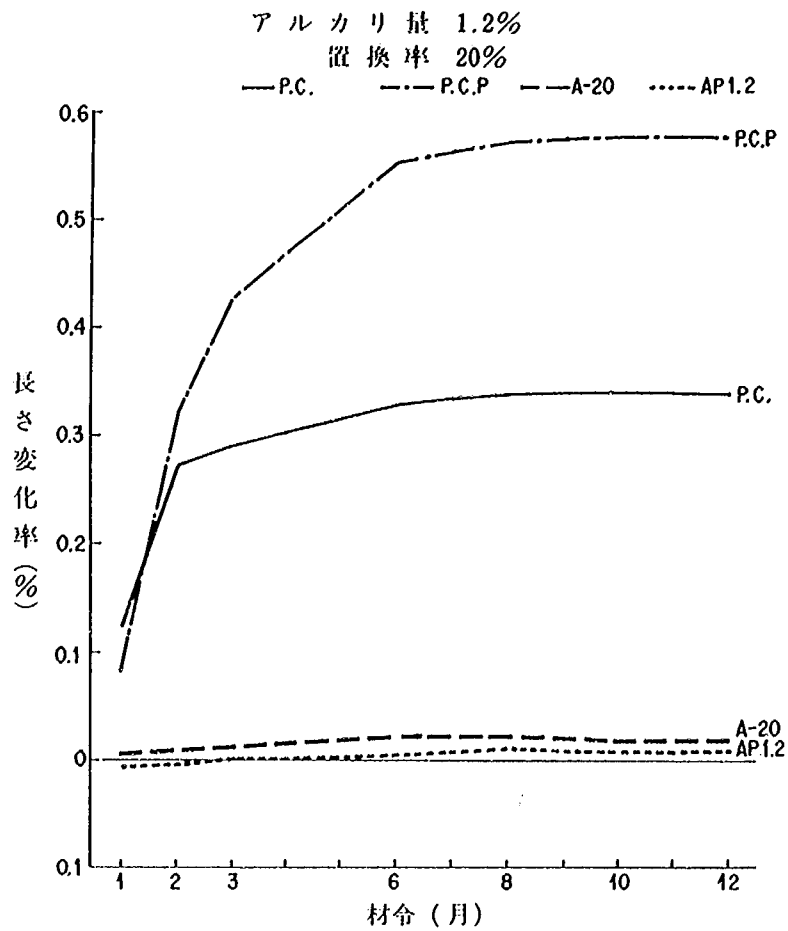


図-Ⅱ-34 モルタルバー長さ変化率曲線

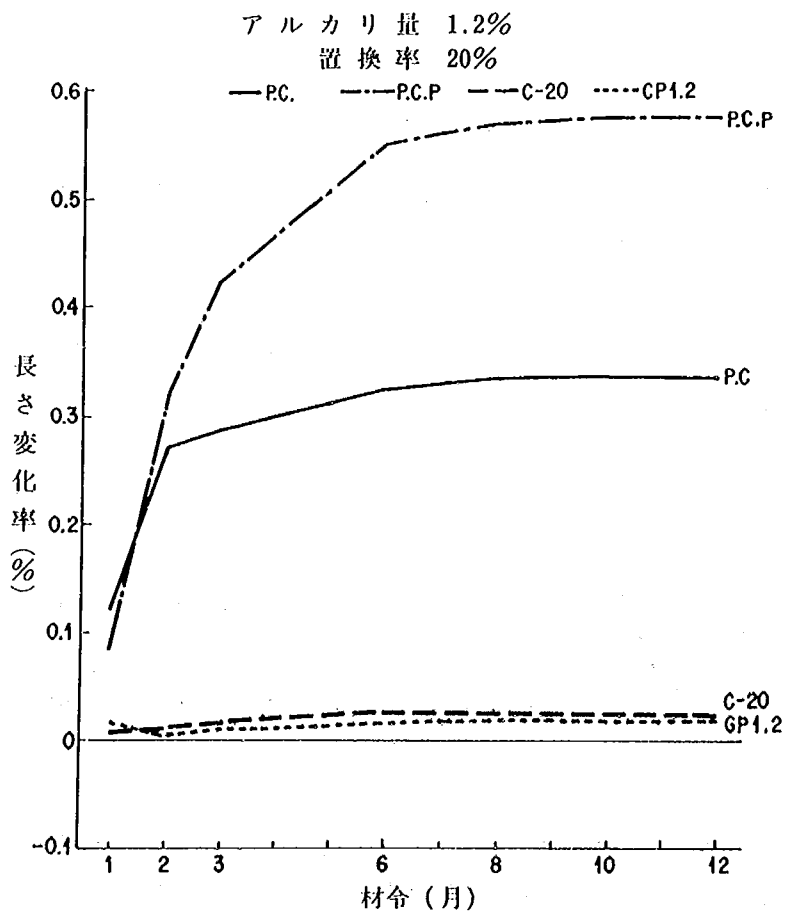


図-Ⅱ-35 モルタルバー長さ変化率曲線

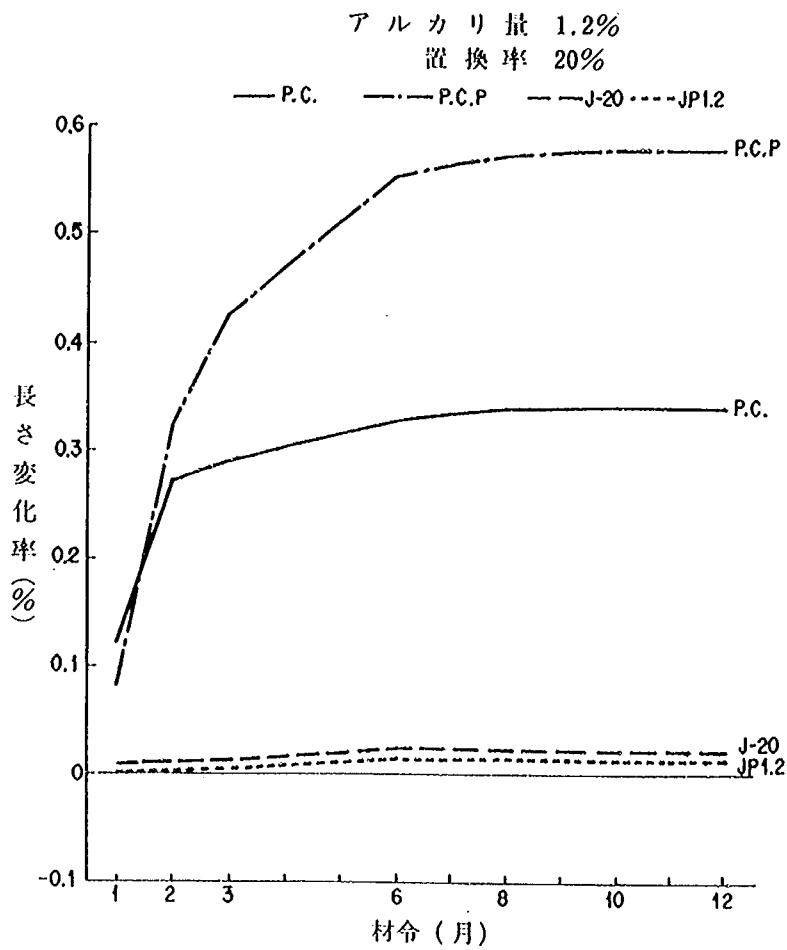


図-Ⅱ-36 モルタルバー長さ変化率曲線

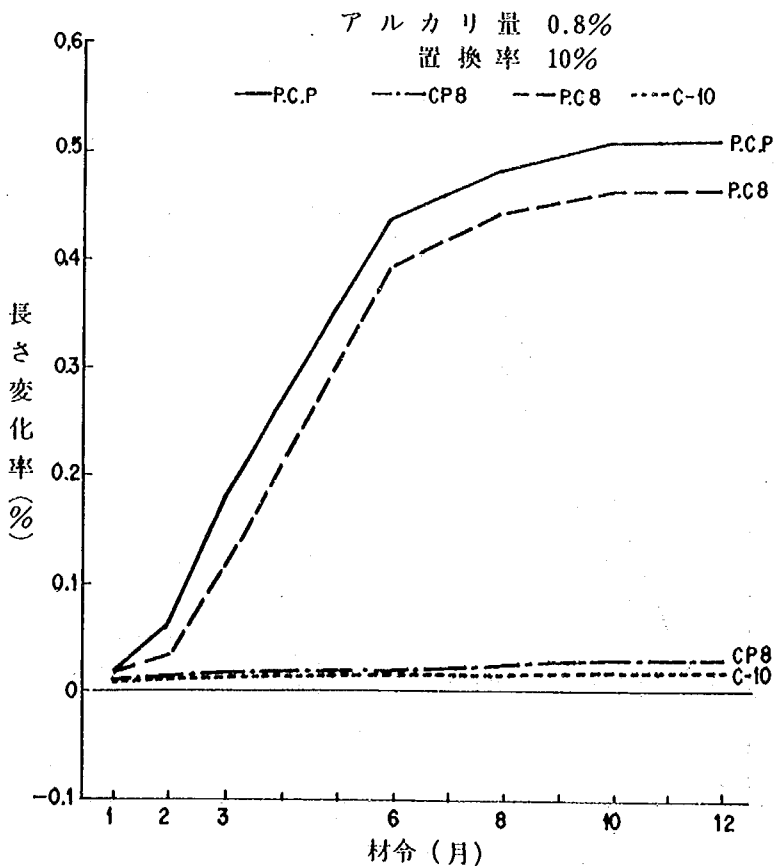


図-Ⅱ-37 モルタルバー長さ変化率曲線

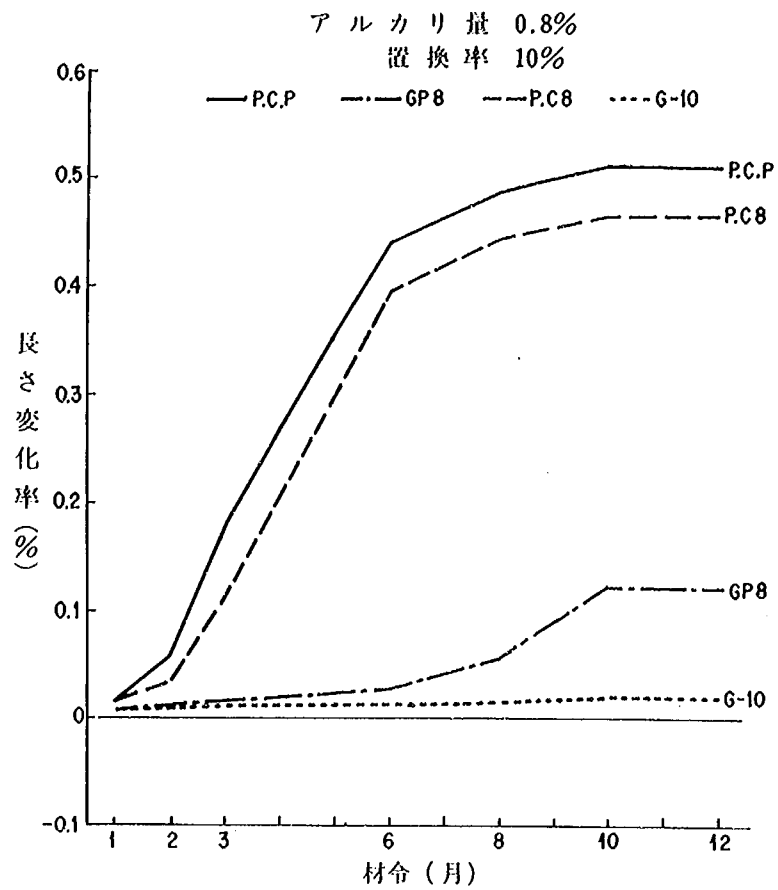


図-Ⅱ-38 モルタルバー長さ変化率曲線

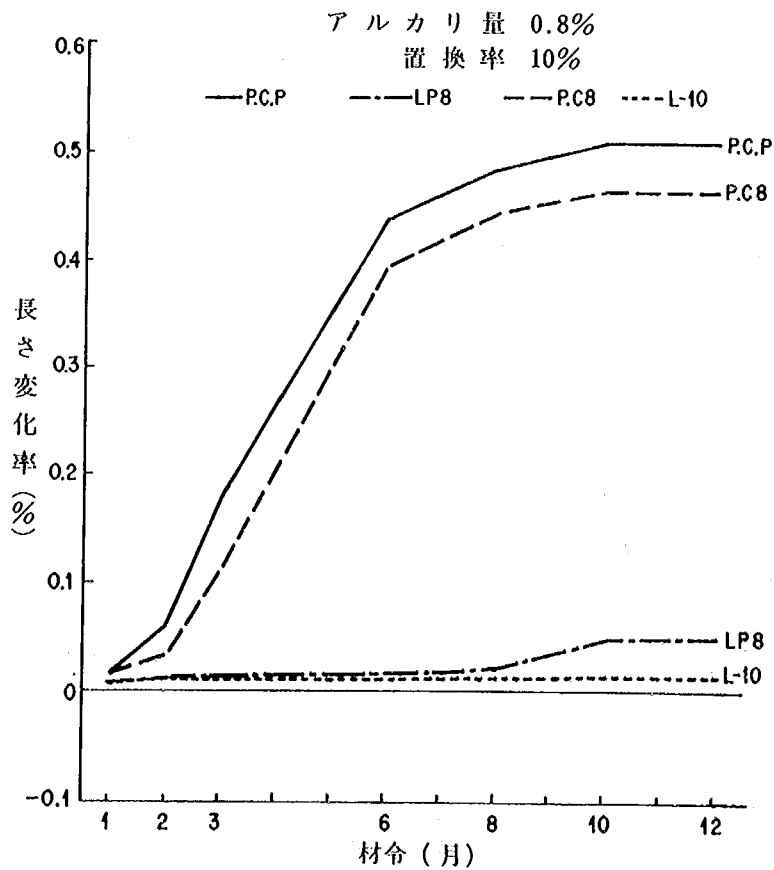


図-Ⅱ-39 モルタルバー長さ変化率曲線

4.5 フライアッシュ置換率と長さ変化

フライアッシュ置換率による長さ変化率の違いを、アルカリ量 1.2%において示したものが図－Ⅱ－40～図－Ⅱ－45である（無置換，置換率10，20，30%）。

図－Ⅱ－40～図－Ⅱ－42 …… 材令6ヶ月

図－Ⅱ－43～図－Ⅱ－45 …… 材令12ヶ月

いずれの材令においても置換率20%，30%の場合は，すべて長さ変化率が0.05%以下と小さくなっている。

置換率10%では長さ変化率の変動が大きく，12ヶ月材令で0.1%を超える場合がほとんどである。また，フライアッシュ種類による差異も大きく反映されている。

このように置換率10%と20%では抑制効果が大きく異なるため，その間の置換率の違いによる抑制効果（長さ変化率の低下）が直線的であるのか，あるいは変曲点が存在するのかを確認するため，置換率15%のものを新たに加味して作成したものが図－Ⅱ－46（材令3ヶ月）と図－Ⅱ－47（材令6ヶ月）である。材令3ヶ月のデータでは，置換率10%～15%の間で変曲する傾向が見られた。しかし材令6ヶ月では長さ変化率の変動が大きくなり，フライアッシュMのように長さ変化率が0.15%を超え，置換率10%と15%がほとんど変わらない結果となるものもある。このことは，フライアッシュの種類によっては，抑制効果が顕著となる変曲点の置換率が異なる可能性を意味する。

アルカリ量0.8%の場合において，置換率の違いによる長さ変化率をまとめたものを図－Ⅱ－48（材令6ヶ月），図－Ⅱ－49（材令10ヶ月）に示す。

材令10ヶ月において，置換率5%のものはやや長さ変化率が大きくなる傾向にあるが，抑制効果の変曲点は，無置換と5%の間に存在するようである。

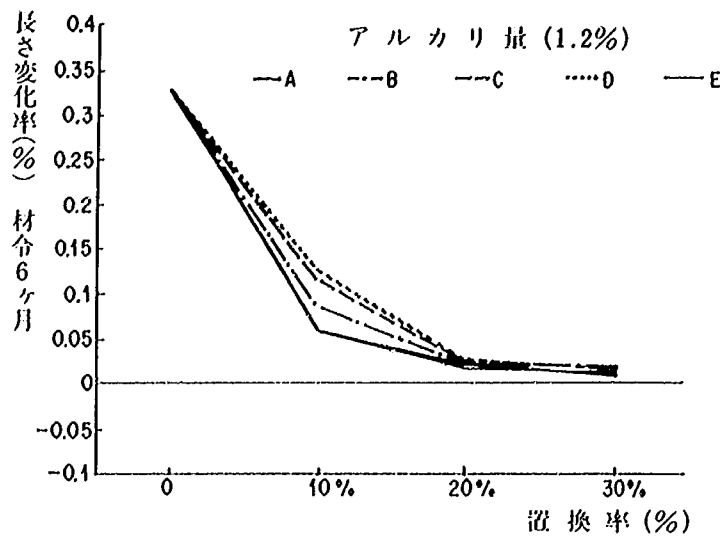


図-Ⅱ-40 置換率と長さ変化の曲線

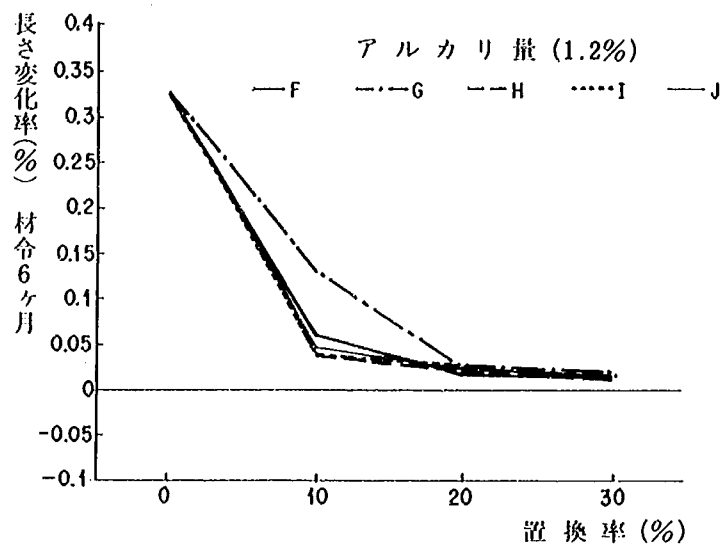


図-Ⅱ-41 置換率と長さ変化の曲線

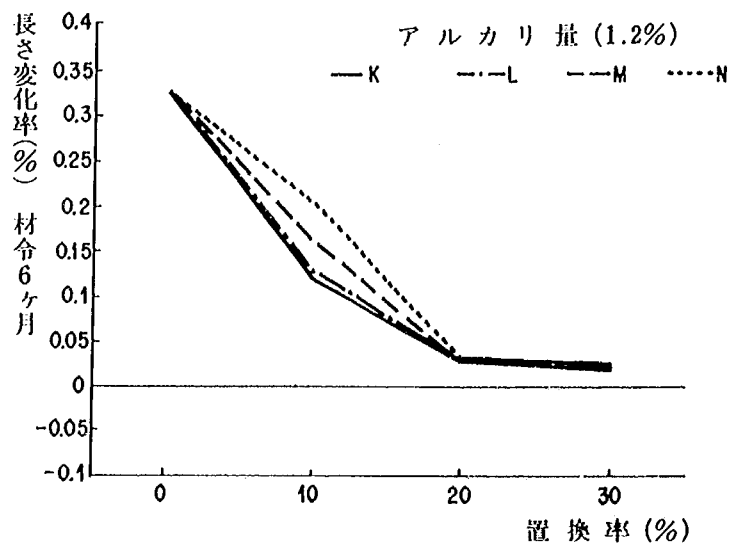


図-Ⅱ-42 置換率と長さ変化の曲線

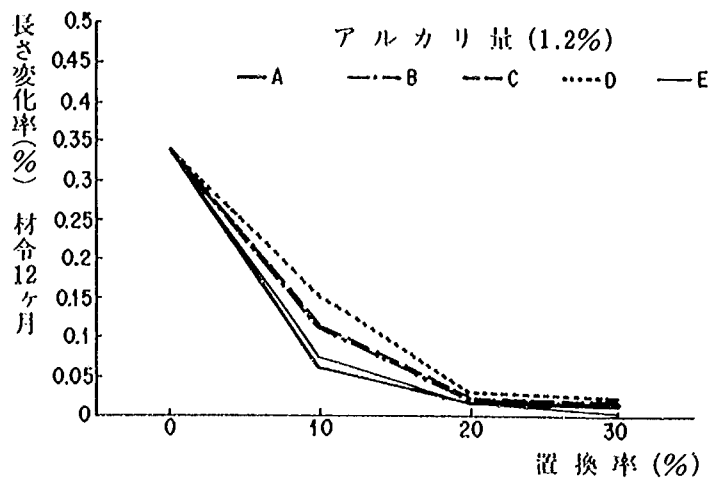


図-Ⅱ-43 置換率と長さ変化の曲線

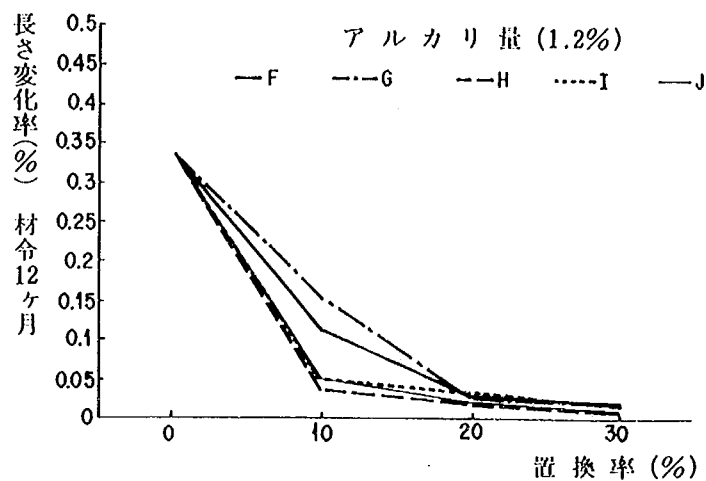


図-Ⅱ-44 置換率と長さ変化の曲線

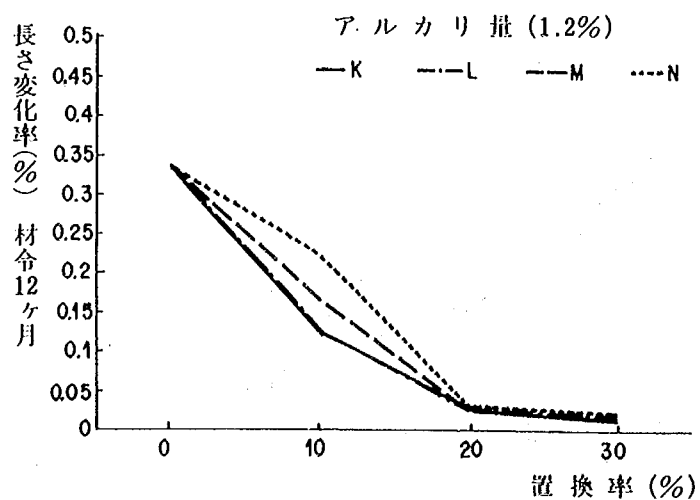


図-Ⅱ-45 置換率と長さ変化の曲線

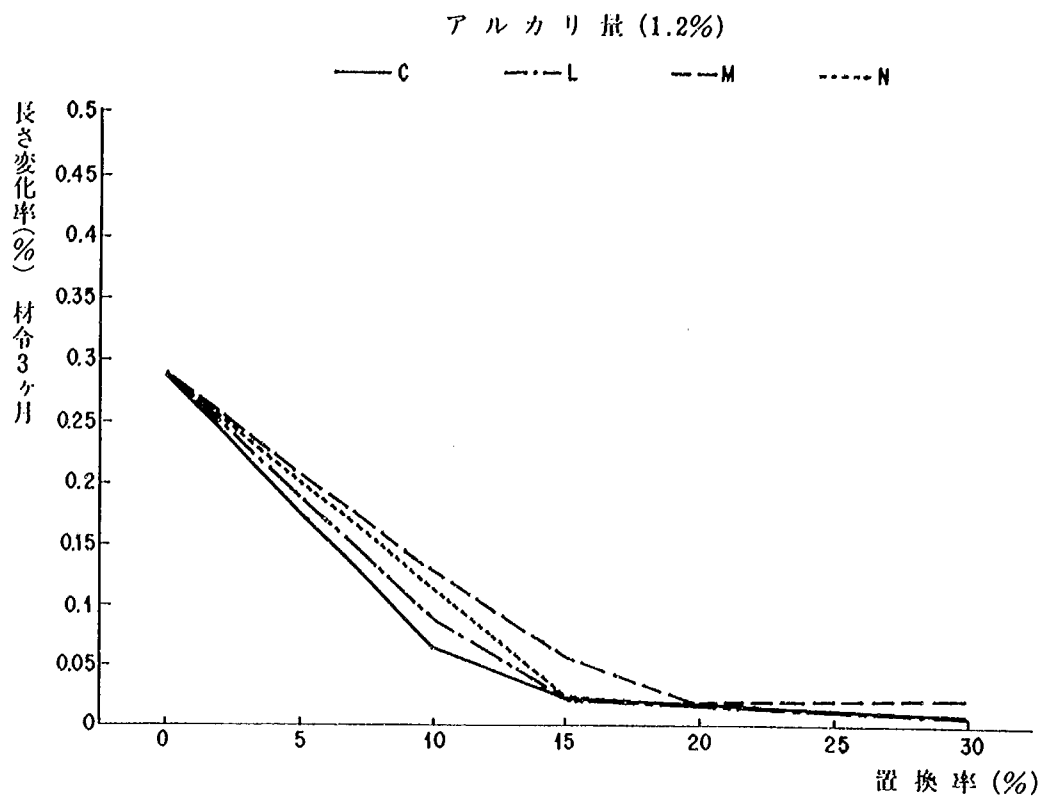


図-Ⅱ-46 置換率と長さ変化の曲線

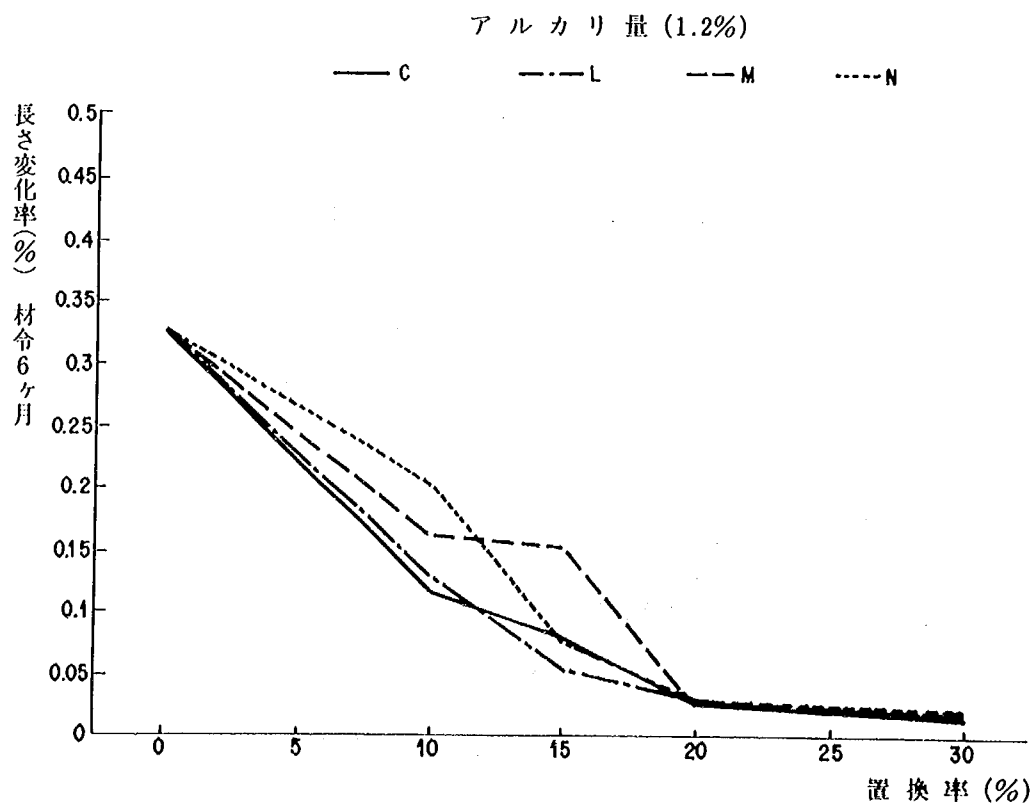


図-Ⅱ-47 置換率と長さ変化の曲線

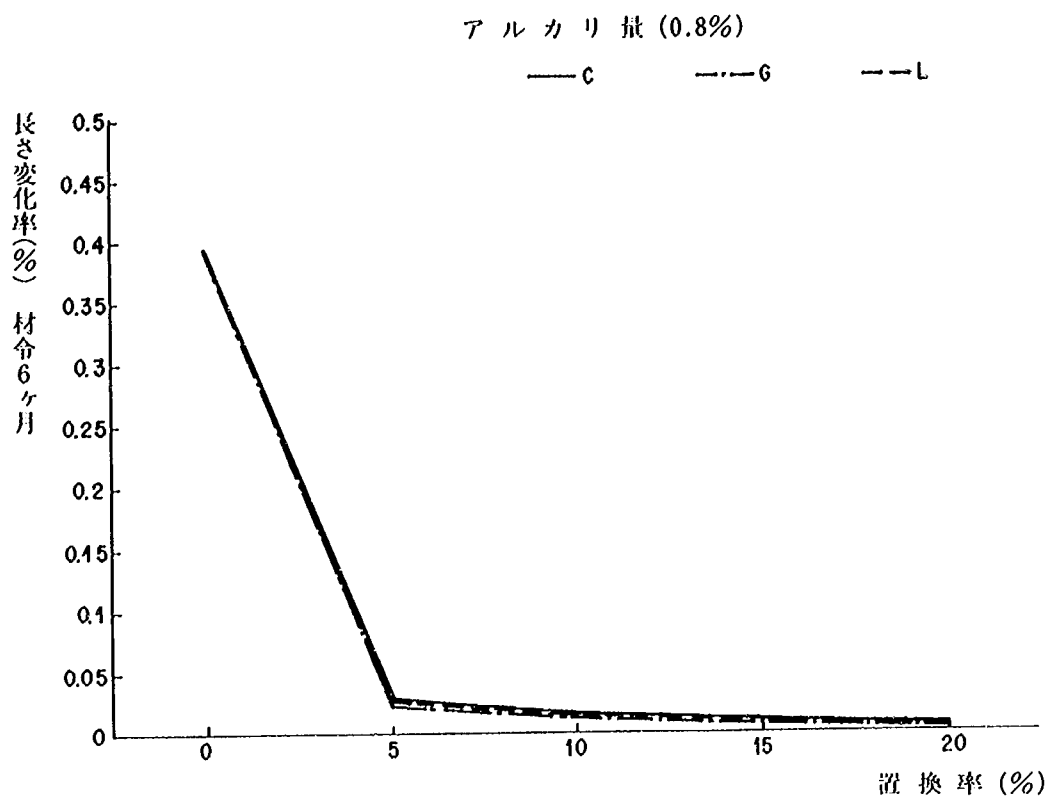


図-Ⅱ-48 置換率と長さ変化の曲線

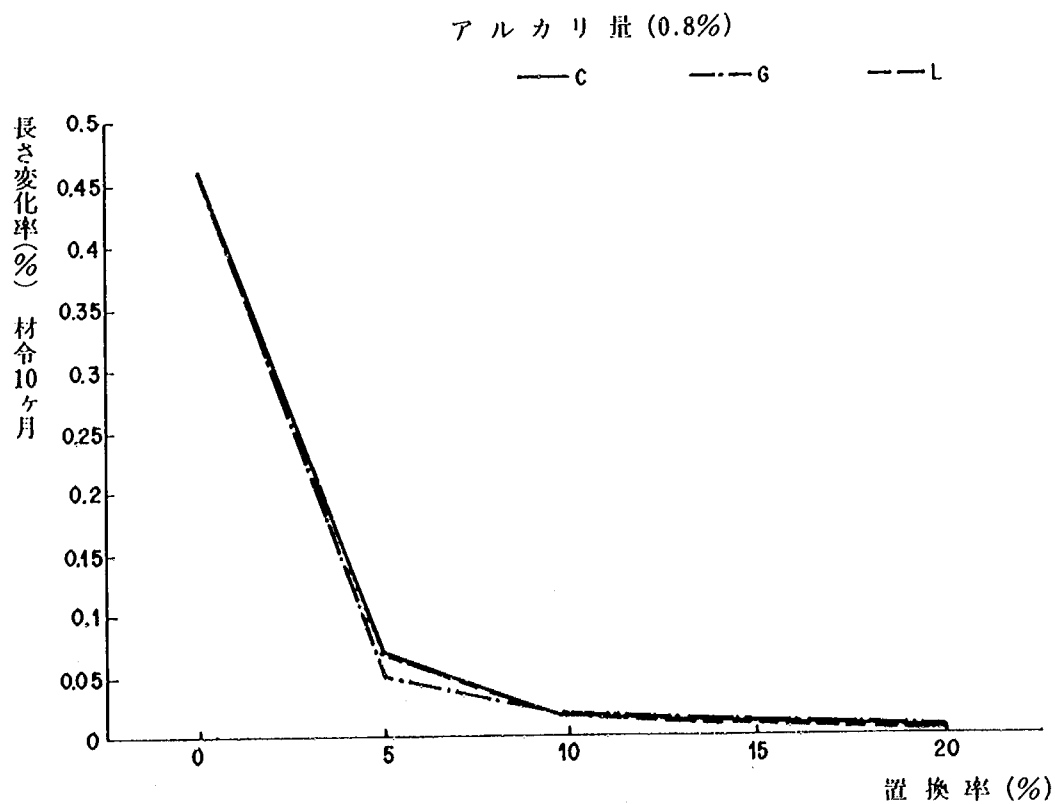


図-Ⅱ-49 置換率と長さ変化の曲線

C 巻 末 資 料

(長さ変化測定結果生データ)

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000mm, 長さ変化率: ‰)

供試体 記号	供試体 No	初期値	2 週				4 週			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
A-10	1	484.0	446.0	12.0	18.0	0.0098	445.0	11.0	14.0	0.0100
	2	661.0	678.0	17.0			677.0	16.0		
	3	740.0	750.0	10.0			755.0	15.0		
A-20	1	318.0	328.0	5.0	10.0	0.0071	321.0	8.0	10.3	0.0074
	2	259.0	271.0	12.0			274.0	15.0		
	3	-480.0	-467.0	18.0			-467.0	18.0		
A-30	1	388.0	398.0	5.0	5.0	0.0036	389.0	1.0	0.3	0.0002
	2	554.0	561.0	7.0			556.0	2.0		
	3	604.0	607.0	8.0			602.0	-2.0		
B-10	1	871.0	881.0	10.0	8.7	0.0062	890.0	19.0	15.0	0.0107
	2	889.0	900.0	11.0			906.0	17.0		
	3	1589.0	1594.0	5.0			1598.0	9.0		
B-20	1	485.0	486.0	1.0	8.8	0.0024	486.0	1.0	8.7	0.0026
	2	478.0	477.0	4.0			478.0	5.0		
	3	638.0	648.0	5.0			648.0	5.0		
B-30	1	264.0	270.0	6.0	4.7	0.0034	275.0	11.0	6.7	0.0048
	2	1026.0	1029.0	8.0			1030.0	4.0		
	3	302.0	307.0	5.0			307.0	5.0		
C-5 (08)	1	2056.0	2069.0	18.0	18.0	0.0093	2076.0	20.0	20.8	0.0145
	2	2032.0	2048.0	16.0			2057.0	25.0		
	3	2172.0	2182.0	10.0			2188.0	16.0		
C-10 (08)	1	2262.0	2272.0	10.0	9.7	0.0069	2275.0	18.0	11.8	0.0081
	2	2208.0	2218.0	10.0			2220.0	12.0		
	3	2366.0	2375.0	9.0			2375.0	9.0		
C-10	1	288.0	301.0	18.0	16.0	0.0114	315.0	27.0	26.8	0.0188
	2	394.0	412.0	18.0			420.0	26.0		
	3	418.0	430.0	17.0			439.0	26.0		
C-15	1	1409.0	1422.0	18.0	12.0	0.0086	1424.0	15.0	15.0	0.0107
	2	771.0	788.0	12.0			786.0	15.0		
	3	1606.0	1617.0	11.0			1621.0	15.0		
C-20 (08)	1	2890.0	2899.0	9.0	7.0	0.0050	2899.0	9.0	7.0	0.0050
	2	2226.0	2284.0	8.0			2288.0	7.0		
	3	2427.0	2431.0	4.0			2432.0	5.0		
C-20	1	857.0	872.0	15.0	18.8	0.0095	872.0	15.0	18.7	0.0098
	2	561.0	574.0	18.0			574.0	18.0		
	3	478.0	485.0	12.0			486.0	18.0		
C-30	1	107.0	116.0	9.0	12.3	0.0088	116.0	9.0	10.0	0.0071
	2	-100.0	-86.0	14.0			-88.0	12.0		
	3	-34.0	-20.0	14.0			-25.0	9.0		
D-10	1	21.0	27.0	6.0	10.7	0.0076	37.0	16.0	16.7	0.0119
	2	404.0	418.0	14.0			420.0	16.0		
	3	265.0	277.0	12.0			288.0	18.0		
D-20	1	488.0	495.0	7.0	8.0	0.0057	495.0	7.0	7.0	0.0050
	2	582.0	589.0	7.0			589.0	7.0		
	3	-261.0	-251.0	10.0			-254.0	7.0		
D-30	1	541.0	544.0	8.0	8.7	0.0026	547.0	6.0	8.7	0.0026
	2	409.0	415.0	6.0			414.0	5.0		
	3	299.0	301.0	2.0			299.0	0.0		
E-10	1	601.0	608.0	7.0	9.7	0.0069	611.0	10.0	12.8	0.0088
	2	497.0	511.0	14.0			518.0	16.0		
	3	409.0	417.0	8.0			420.0	11.0		
E-20	1	388.0	391.0	8.0	5.3	0.0038	391.0	8.0	5.3	0.0038
	2	388.0	342.0	4.0			348.0	5.0		
	3	-306.0	-297.0	9.0			-298.0	8.0		
E-30	1	1588.0	1595.0	7.0	8.8	0.0059	1595.0	7.0	5.7	0.0041
	2	1867.0	1876.0	9.0			1872.0	5.0		
	3	921.0	980.0	9.0			926.0	5.0		
F-10	1	358.0	374.0	16.0	15.8	0.0109	388.0	25.0	21.8	0.0152
	2	259.0	270.0	11.0			274.0	15.0		
	3	381.0	350.0	19.0			355.0	24.0		
F-20	1	539.0	558.0	14.0	17.0	0.0121	555.0	16.0	17.7	0.0126
	2	481.0	495.0	14.0			495.0	14.0		
	3	442.0	465.0	28.0			465.0	28.0		
F-30	1	230.0	240.0	10.0	10.7	0.0076	285.0	5.0	6.8	0.0045
	2	557.0	567.0	10.0			568.0	6.0		
	3	424.0	486.0	12.0			482.0	8.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000mm, 長さ変化率: %)

供試体 記号	供試体 No	初期値	2ヶ月				8ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
A-10	1	484.0	468.0	29.0	80.3	0.0216	471.0	37.0	35.7	0.0255
	2	661.0	691.0	30.0			696.0	35.0		
	3	740.0	772.0	32.0			775.0	35.0		
A-20	1	818.0	825.0	7.0	12.0	0.0086	826.0	8.0	15.3	0.0109
	2	259.0	275.0	16.0			277.0	18.0		
	3	-480.0	-467.0	13.0			-460.0	20.0		
A-30	1	388.0	390.0	2.0	4.0	0.0029	398.0	5.0	6.7	0.0048
	2	554.0	560.0	6.0			565.0	11.0		
	3	604.0	608.0	4.0			608.0	4.0		
B-10	1	871.0	905.0	34.0	80.3	0.0216	916.0	45.0	42.3	0.0302
	2	889.0	920.0	31.0			928.0	39.0		
	3	1589.0	1615.0	26.0			1632.0	43.0		
B-20	1	485.0	442.0	7.0	10.3	0.0074	445.0	10.0	14.0	0.0100
	2	478.0	485.0	12.0			490.0	17.0		
	3	638.0	650.0	12.0			653.0	15.0		
B-30	1	264.0	278.0	9.0	9.0	0.0064	75.0	11.0	10.0	0.0071
	2	1026.0	1037.0	11.0			1039.0	13.0		
	3	302.0	309.0	7.0			308.0	6.0		
C-5 (0.8)	1	2056.0	2086.0	30.0	30.0	0.0214	2094.0	38.0	38.3	0.0274
	2	2082.0	2065.0	38.0			2075.0	48.0		
	3	2172.0	2199.0	27.0			2206.0	34.0		
C-10 (0.8)	1	2262.0	2277.0	15.0	14.3	0.0102	2281.0	19.0	17.7	0.0126
	2	2208.0	2228.0	15.0			2227.0	19.0		
	3	2366.0	2379.0	13.0			2381.0	15.0		
C-10	1	288.0	334.0	46.0	46.3	0.0331	380.0	92.0	39.0	0.0636
	2	394.0	430.0	36.0			433.0	39.0		
	3	418.0	470.0	52.0			543.0	125.0		
C-15	1	1409.0	1435.0	26.0	25.7	0.0184	1444.0	35.0	34.0	0.0243
	2	771.0	797.0	26.0			806.0	35.0		
	3	1606.0	1631.0	25.0			1638.0	32.0		
C-20 (0.8)	1	2390.0	2400.0	10.0	7.3	0.0052	2399.0	9.0	7.3	0.0052
	2	2226.0	2233.0	7.0			2233.0	7.0		
	3	2427.0	2432.0	5.0			2438.0	11.0		
C-20	1	357.0	375.0	18.0	17.3	0.0124	384.0	27.0	24.7	0.0176
	2	561.0	578.0	17.0			584.0	23.0		
	3	473.0	490.0	17.0			497.0	24.0		
C-30	1	107.0	118.0	11.0	13.7	0.0098	120.0	13.0	16.7	0.0119
	2	-100.0	-84.0	16.0			-85.0	15.0		
	3	-34.0	-20.0	14.0			-12.0	22.0		
D-10	1	21.0	55.0	34.0	35.7	0.0255	102.0	81.0	74.7	0.0584
	2	404.0	442.0	38.0			481.0	77.0		
	3	265.0	300.0	35.0			331.0	66.0		
D-20	1	488.0	501.0	13.0	15.3	0.0109	510.0	22.0	22.0	0.0157
	2	532.0	545.0	13.0			554.0	22.0		
	3	-261.0	-241.0	20.0			-239.0	22.0		
D-30	1	541.0	548.0	7.0	5.0	0.0036	558.0	17.0	14.7	0.0105
	2	409.0	417.0	8.0			426.0	17.0		
	3	299.0	299.0	0.0			309.0	10.0		
E-10	1	601.0	622.0	21.0	23.7	0.0169	629.0	28.0	29.3	0.0209
	2	497.0	523.0	26.0			530.0	33.0		
	3	409.0	433.0	24.0			436.0	27.0		
E-20	1	388.0	393.0	5.0	9.3	0.0066	400.0	12.0	13.7	0.0098
	2	388.0	345.0	7.0			352.0	14.0		
	3	-306.0	-290.0	16.0			-291.0	15.0		
E-30	1	1588.0	1595.0	7.0	7.0	0.0050	1608.0	15.0	13.0	0.0093
	2	1367.0	1372.0	5.0			1378.0	11.0		
	3	921.0	930.0	9.0			934.0	13.0		
F-10	1	358.0	391.0	33.0	32.3	0.0231	405.0	47.0	43.3	0.0309
	2	259.0	288.0	29.0			300.0	41.0		
	3	331.0	366.0	35.0			378.0	47.0		
F-20	1	539.0	557.0	18.0	20.7	0.0148	569.0	30.0	30.7	0.0219
	2	481.0	499.0	18.0			518.0	37.0		
	3	442.0	468.0	26.0			472.0	30.0		
F-30	1	230.0	242.0	12.0	12.7	0.0091	247.0	17.0	17.0	0.0121
	2	557.0	569.0	12.0			574.0	17.0		
	3	424.0	438.0	14.0			441.0	17.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000_{原長}, 長さ変化率: %)

供試体 記号	供試体 No	初期値	5ヶ月				6ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
A-10	1	434.0	498.0	64.0	55.3	0.0895	539.0	105.0	80.3	0.0574
	2	661.0	705.0	44.0			737.0	76.0		
	3	740.0	798.0	58.0			800.0	60.0		
A-20	1	318.0	388.0	20.0	25.7	0.0184	348.0	25.0	29.0	0.0207
	2	259.0	292.0	33.0			294.0	35.0		
	3	-430.0	-456.0	24.0			-458.0	27.0		
A-30	1	388.0	402.0	14.0	14.7	0.0105	400.0	12.0	14.0	0.0100
	2	554.0	578.0	19.0			570.0	16.0		
	3	604.0	615.0	11.0			618.0	14.0		
B-10	1	871.0	970.0	99.0	87.0	0.0621	1009.0	138.0	120.0	0.0857
	2	889.0	980.0	91.0			1015.0	126.0		
	3	1539.0	1660.0	71.0			1685.0	96.0		
B-20	1	485.0	456.0	21.0	26.8	0.0188	465.0	30.0	31.3	0.0224
	2	478.0	501.0	28.0			504.0	31.0		
	3	688.0	668.0	30.0			671.0	38.0		
B-30	1	264.0	285.0	21.0	21.0	0.0150	291.0	27.0	27.3	0.0195
	2	1026.0	1047.0	21.0			1055.0	29.0		
	3	302.0	328.0	21.0			328.0	26.0		
C-5 (0.8)	1	2056.0					2097.0	41.0	40.0	0.0286
	2	2032.0					2075.0	48.0		
	3	2172.0					2208.0	36.0		
C-10 (0.8)	1	2262.0					2287.0	25.0	22.3	0.0159
	2	2208.0					2280.0	22.0		
	3	2366.0					2386.0	20.0		
C-10	1	288.0	488.0	150.0	142.0	0.1014	459.0	171.0	161.0	0.1150
	2	894.0	474.0	80.0			508.0	109.0		
	3	418.0	609.0	196.0			616.0	208.0		
C-15	1	1409.0	1528.0	114.0	79.0	0.0564	1550.0	141.0	112.7	0.0805
	2	771.0	847.0	76.0			905.0	134.0		
	3	1606.0	1653.0	47.0			1669.0	68.0		
C-20 (0.8)	1	2390.0					2399.0	9.0	8.3	0.0059
	2	2226.0					2234.0	8.0		
	3	2427.0					2435.0	8.0		
C-20	1	357.0	394.0	37.0	38.0	0.0271	397.0	40.0	37.3	0.0266
	2	561.0	600.0	39.0			597.0	36.0		
	3	478.0	511.0	38.0			509.0	36.0		
C-30	1	107.0	117.0	10.0	16.7	0.0119	129.0	22.0	23.7	0.0169
	2	-100.0	-78.0	22.0			-74.0	26.0		
	3	-84.0	-16.0	18.0			-11.0	28.0		
D-10	1	21.0	178.0	157.0	139.7	0.0998	212.0	191.0	173.7	0.1241
	2	404.0	542.0	138.0			579.0	175.0		
	3	265.0	389.0	124.0			420.0	155.0		
D-20	1	488.0	520.0	32.0	34.7	0.0248	527.0	39.0	38.3	0.0274
	2	532.0	568.0	36.0			569.0	37.0		
	3	-261.0	-225.0	36.0			-222.0	39.0		
D-30	1	541.0	565.0	24.0	21.7	0.0155	572.0	31.0	26.3	0.0188
	2	409.0	431.0	22.0			435.0	26.0		
	3	299.0	318.0	19.0			321.0	22.0		
E-10	1	601.0	661.0	60.0	64.0	0.0457	686.0	85.0	88.0	0.0598
	2	497.0	571.0	74.0			577.0	80.0		
	3	409.0	467.0	58.0			498.0	84.0		
E-20	1	388.0	408.0	20.0	22.7	0.0162	410.0	22.0	23.3	0.0166
	2	388.0	358.0	20.0			358.0	20.0		
	3	-806.0	-278.0	28.0			-278.0	28.0		
E-30	1	1588.0	1611.0	28.0	20.3	0.0145	1608.0	20.0	19.3	0.0138
	2	1367.0	1384.0	17.0			1386.0	19.0		
	3	921.0	942.0	21.0			940.0	19.0		
F-10	1	358.0	472.0	114.0	91.7	0.0655	499.0	141.0	121.7	0.0869
	2	259.0	340.0	81.0			378.0	114.0		
	3	331.0	411.0	80.0			441.0	110.0		
F-20	1	589.0	574.0	35.0	35.3	0.0252	569.0	30.0	33.7	0.0241
	2	481.0	512.0	31.0			518.0	32.0		
	3	442.0	482.0	40.0			481.0	39.0		
F-30	1	230.0	252.0	22.0	22.0	0.0157	258.0	28.0	28.3	0.0166
	2	557.0	580.0	28.0			582.0	25.0		
	3	424.0	445.0	21.0			446.0	22.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000mm, 長さ変化率: %)

供試体 記号	供試体 No	初期値	8ヶ月				10ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
A-10	1	434.0	547.0	113.0			544.0	110.0		
	2	661.0	741.0	80.0	85.0	0.0607	739.0	78.0	82.0	0.0586
	3	740.0	802.0	62.0			798.0	58.0		
A-20	1	318.0	346.0	28.0			389.0	21.0		
	2	259.0	297.0	38.0	31.3	0.0224	288.0	29.0	25.3	0.0181
	3	-480.0	-452.0	28.0			-454.0	26.0		
A-30	1	388.0	404.0	16.0			399.0	11.0		
	2	554.0	574.0	20.0	17.0	0.0121	570.0	16.0	12.3	0.0088
	3	604.0	619.0	15.0			614.0	10.0		
B-10	1	871.0	1026.0	155.0			1089.0	168.0		
	2	889.0	1038.0	149.0	141.7	0.1012	1047.0	158.0	150.7	0.1076
	3	1589.0	1710.0	121.0			1715.0	126.0		
B-20	1	435.0	468.0	33.0			460.0	25.0		
	2	478.0	505.0	27.0	30.7	0.0219	508.0	30.0	28.3	0.0202
	3	638.0	670.0	32.0			668.0	30.0		
B-30	1	264.0	291.0	27.0			288.0	24.0		
	2	1026.0	1055.0	29.0	26.3	0.0188	1051.0	25.0	28.0	0.0164
	3	302.0	325.0	23.0			322.0	20.0		
C-5 (0.8)	1	2056.0	2106.0	50.0			2238.0	182.0		
	2	2032.0	2085.0	53.0	48.7	0.0348	2089.0	57.0	94.7	0.0676
	3	2172.0	2215.0	43.0			2217.0	45.0		
C-10 (0.8)	1	2262.0	2285.0	23.0			2287.0	25.0		
	2	2208.0	2282.0	74.0	21.7	0.0155	2286.0	78.0	24.8	0.0174
	3	2366.0	2384.0	18.0			2386.0	20.0		
C-10	1	288.0	461.0	173.0			468.0	175.0		
	2	394.0	506.0	112.0	168.3	0.1166	506.0	112.0	168.0	0.1164
	3	418.0	618.0	200.0			615.0	202.0		
C-15	1	1409.0								
	2	771.0								
	3	1606.0								
C-20 (0.8)	1	2390.0	2397.0	7.0			2398.0	8.0		
	2	2226.0	2231.0	5.0	6.3	0.0045	2238.0	12.0	7.3	0.0052
	3	2427.0	2434.0	7.0			2434.0	7.0		
C-20	1	357.0	397.0	40.0			395.0	38.0		
	2	561.0	598.0	37.0	37.3	0.0266	598.0	37.0	36.7	0.0262
	3	478.0	508.0	30.0			508.0	30.0		
C-30	1	107.0	130.0	23.0			125.0	18.0		
	2	-100.0	-75.0	25.0	24.0	0.0171	-80.0	20.0	19.0	0.0186
	3	-34.0	-10.0	24.0			-15.0	19.0		
D-10	1	21.0	227.0	206.0			239.0	218.0		
	2	404.0	605.0	201.0	195.3	0.1395	618.0	214.0	208.0	0.1486
	3	265.0	444.0	179.0			457.0	192.0		
D-20	1	488.0	529.0	41.0			527.0	39.0		
	2	532.0	578.0	46.0	40.3	0.0288	572.0	40.0	38.3	0.0274
	3	-261.0	-222.0	39.0			-225.0	36.0		
D-30	1	541.0	575.0	34.0			575.0	34.0		
	2	409.0	440.0	31.0	30.3	0.0216	440.0	31.0	30.3	0.0216
	3	299.0	325.0	26.0			325.0	26.0		
E-10	1	601.0	707.0	106.0			705.0	104.0		
	2	497.0	595.0	98.0	99.0	0.0707	594.0	97.0	97.0	0.0698
	3	409.0	502.0	93.0			499.0	90.0		
E-20	1	388.0	412.0	24.0			407.0	19.0		
	2	388.0	363.0	25.0	26.0	0.0186	357.0	19.0	20.3	0.0145
	3	-306.0	-277.0	29.0			-283.0	23.0		
E-30	1	1588.0	1611.0	23.0			1605.0	17.0		
	2	1367.0	1388.0	21.0	22.0	0.0157	1382.0	15.0	15.7	0.0112
	3	921.0	948.0	27.0			986.0	65.0		
F-10	1	358.0	547.0	189.0			548.0	190.0		
	2	259.0	383.0	124.0	148.3	0.1059	392.0	133.0	152.7	0.1091
	3	331.0	463.0	132.0			466.0	135.0		
F-20	1	539.0	575.0	36.0			578.0	39.0		
	2	481.0	518.0	37.0	39.7	0.0284	516.0	35.0	36.3	0.0259
	3	442.0	488.0	46.0			482.0	40.0		
F-30	1	230.0	258.0	28.0			254.0	24.0		
	2	557.0	586.0	29.0	28.3	0.0202	582.0	25.0	24.3	0.0174
	3	424.0	452.0	28.0			448.0	24.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000^{初期}, 長さ変化率: %)

供試体 記 号	供試体 No	初 期 値	12ヶ月			
			測 定 値	差	差の平均	長さ変化率
A-10	1	484.0	544.0	110.0	81.7	0.0584
	2	661.0	789.0	78.0		
	3	740.0	797.0	57.0		
A-20	1	318.0	388.0	20.0	24.3	0.0174
	2	259.0	287.0	28.0		
	3	-480.0	-455.0	25.0		
A-30	1	388.0	395.0	7.0	9.3	0.0066
	2	554.0	566.0	12.0		
	3	604.0	618.0	9.0		
B-10	1	871.0	1041.0	170.0	155.0	0.1107
	2	889.0	1056.0	167.0		
	3	1589.0	1717.0	128.0		
B-20	1	435.0	459.0	24.0	26.0	0.0186
	2	478.0	500.0	27.0		
	3	688.0	665.0	27.0		
B-30	1	264.0	286.0	22.0	22.0	0.0157
	2	1026.0	1052.0	26.0		
	3	802.0	820.0	18.0		
C-5 (0.8)	1	2056.0				
	2	2082.0				
	3	2172.0				
C-10 (0.8)	1	2262.0				
	2	2208.0				
	3	2366.0				
C-10	1	288.0	459.0	171.0	161.0	0.1150
	2	394.0	507.0	118.0		
	3	418.0	612.0	199.0		
C-15	1	1409.0				
	2	771.0				
	3	1606.0				
C-20 (0.8)	1	2390.0				
	2	2226.0				
	3	2427.0				
C-20	1	357.0	398.0	36.0	34.3	0.0245
	2	561.0	595.0	34.0		
	3	478.0	506.0	38.0		
C-30	1	107.0	130.0	28.0	24.0	0.0171
	2	-100.0	-75.0	25.0		
	3	-84.0	-10.0	24.0		
D-10	1	21.0	288.0	217.0	218.0	0.1521
	2	404.0	625.0	221.0		
	3	265.0	466.0	201.0		
D-20	1	488.0	530.0	42.0	41.7	0.0298
	2	532.0	577.0	45.0		
	3	-261.0	-228.0	88.0		
D-30	1	541.0	579.0	38.0	38.3	0.0238
	2	409.0	448.0	34.0		
	3	299.0	327.0	28.0		
E-10	1	601.0	711.0	110.0	108.8	0.0738
	2	497.0	600.0	108.0		
	3	409.0	506.0	97.0		
E-20	1	388.0	414.0	26.0	24.7	0.0176
	2	388.0	362.0	24.0		
	3	-806.0	-282.0	24.0		
E-30	1	1588.0	1603.0	20.0	19.3	0.0138
	2	1367.0	1385.0	18.0		
	3	921.0	941.0	20.0		
F-10	1	358.0	558.0	195.0	157.7	0.1126
	2	259.0	398.0	139.0		
	3	331.0	470.0	139.0		
F-20	1	539.0	578.0	34.0	37.0	0.0264
	2	481.0	516.0	35.0		
	3	442.0	484.0	42.0		
F-30	1	280.0	257.0	27.0	27.7	0.0198
	2	557.0	585.0	28.0		
	3	424.0	452.0	28.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000mm, 長さ変化率: %)

供試体 記号	供試体 No	初期値	2 週				4 週			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
G-5 (0.8)	1	2108.0	2111.0	8.0	4.7	0.0084	2126.0	18.0	15.0	0.0107
	2	1811.0	1815.0	4.0			1828.0	12.0		
	3	1689.0	1696.0	7.0			1704.0	15.0		
G-10 (0.8)	1	2202.0	2212.0	10.0	9.0	0.0064	2214.0	12.0	10.8	0.0074
	2	2096.0	2108.0	7.0			2108.0	7.0		
	3	2316.0	2326.0	10.0			2328.0	12.0		
G-10	1	461.0	471.0	10.0	10.8	0.0074	482.0	21.0	19.0	0.0186
	2	308.0	316.0	8.0			326.0	18.0		
	3	458.0	471.0	13.0			476.0	18.0		
G-20 (0.8)	1	2599.0	2605.0	6.0	6.0	0.0048	2606.0	7.0	7.8	0.0052
	2	2868.0	2870.0	7.0			2872.0	9.0		
	3	2866.0	2871.0	5.0			2872.0	6.0		
G-20	1	1244.0	1255.0	11.0	12.8	0.0088	1250.0	6.0	6.7	0.0048
	2	884.0	895.0	11.0			890.0	6.0		
	3	1194.0	1209.0	15.0			1202.0	8.0		
G-80	1	740.0	758.0	18.0	15.7	0.0112	750.0	10.0	10.7	0.0076
	2	662.0	672.0	10.0			666.0	4.0		
	3	400.0	424.0	24.0			418.0	18.0		
H-10	1	382.0	401.0	19.0	21.7	0.0155	399.0	17.0	22.7	0.0162
	2	360.0	385.0	25.0			385.0	25.0		
	3	-82.0	-11.0	21.0			-6.0	26.0		
H-20	1	455.0	469.0	14.0	11.7	0.0084	465.0	10.0	8.0	0.0057
	2	768.0	770.0	7.0			764.0	1.0		
	3	1400.0	1414.0	14.0			1418.0	18.0		
H-80	1	266.0	267.0	1.0	-0.7	-0.0005	266.0	0.0	-1.7	-0.0012
	2	308.0	308.0	0.0			305.0	2.0		
	3	858.0	855.0	-3.0			851.0	-7.0		
I-10	1	48.0	57.0	9.0	9.0	0.0064	65.0	17.0	14.7	0.0105
	2	262.0	269.0	7.0			277.0	15.0		
	3	118.0	124.0	11.0			125.0	12.0		
I-20	1	728.0	784.0	11.0	8.7	0.0062	742.0	19.0	18.7	0.0184
	2	464.0	476.0	12.0			481.0	17.0		
	3	459.0	462.0	8.0			479.0	20.0		
I-80	1	94.0	108.0	9.0	10.0	0.0071	108.0	14.0	14.0	0.0100
	2	341.0	350.0	9.0			355.0	14.0		
	3	-17.0	-5.0	12.0			-8.0	14.0		
J-10	1	497.0	512.0	15.0	19.0	0.0186	520.0	28.0	24.0	0.0171
	2	56.0	74.0	18.0			79.0	23.0		
	3	446.0	470.0	24.0			472.0	26.0		
J-20	1	787.0	804.0	17.0	14.7	0.0105	805.0	18.0	18.8	0.0095
	2	688.0	647.0	14.0			645.0	12.0		
	3	165.0	178.0	13.0			175.0	10.0		
J-80	1	-2614.0	-2608.0	6.0	8.0	0.0057	-2608.0	11.0	12.0	0.0086
	2	524.0	529.0	5.0			538.0	9.0		
	3	612.0	625.0	13.0			628.0	16.0		
K-10	1	492.0	509.0	17.0	17.7	0.0126	514.0	22.0	22.8	0.0159
	2	478.0	496.0	18.0			500.0	22.0		
	3	884.0	402.0	18.0			407.0	28.0		
K-20	1	890.0	897.0	7.0	9.8	0.0066	895.0	5.0	6.7	0.0048
	2	719.0	728.0	9.0			725.0	6.0		
	3	480.0	492.0	12.0			489.0	9.0		
K-80	1	688.0	685.0	-3.0	1.8	0.0009	687.0	-1.0	1.0	0.0007
	2	-1267.0	-1260.0	7.0			-1260.0	7.0		
	3	284.0	284.0	0.0			281.0	-3.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000_{原形}, 長さ変化率: %)

供試体 記号	供試体 No	初期値	2ヶ月				3ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
G-5 (0.8)	1	2108.0	2180.0	22.0	24.0	0.0171	2187.0	28.0	29.7	0.0212
	2	1811.0	1884.0	28.0			1889.0	28.0		
	3	1689.0	1716.0	27.0			1721.0	32.0		
G-10 (0.8)	1	2202.0	2220.0	18.0	15.7	0.0112	2220.0	18.0	16.7	0.0119
	2	2096.0	2108.0	12.0			2111.0	15.0		
	3	2316.0	2338.0	17.0			2338.0	17.0		
G-10	1	461.0	495.0	34.0	35.0	0.0250	528.0	62.0	62.0	0.0448
	2	308.0	345.0	37.0			371.0	68.0		
	3	458.0	492.0	34.0			519.0	61.0		
G-20 (0.8)	1	2599.0	2607.0	8.0	8.0	0.0057	2606.0	7.0	8.0	0.0057
	2	2368.0	2378.0	10.0			2378.0	10.0		
	3	2366.0	2372.0	6.0			2378.0	7.0		
G-20	1	1244.0	1260.0	16.0	15.8	0.0110	1265.0	21.0	20.0	0.0148
	2	884.0	898.0	14.0			908.0	19.0		
	3	1194.0	1210.0	16.0			1214.0	20.0		
G-30	1	740.0	750.0	10.0	12.0	0.0086	758.0	18.0	14.7	0.0105
	2	662.0	668.0	6.0			671.0	9.0		
	3	400.0	420.0	20.0			422.0	22.0		
H-10	1	382.0	408.0	26.0	28.7	0.0205	412.0	30.0	38.0	0.0236
	2	360.0	390.0	30.0			394.0	34.0		
	3	-32.0	-2.0	30.0			8.0	35.0		
H-20	1	455.0	471.0	16.0	18.7	0.0098	474.0	19.0	16.0	0.0114
	2	768.0	770.0	7.0			772.0	9.0		
	3	1400.0	1418.0	18.0			1420.0	20.0		
H-30	1	266.0	272.0	6.0	2.7	0.0019	272.0	6.0	8.7	0.0026
	2	308.0	309.0	6.0			310.0	7.0		
	3	358.0	354.0	-4.0			356.0	-2.0		
I-10	1	48.0	78.0	25.0	25.0	0.0179	77.0	29.0	29.7	0.0212
	2	262.0	289.0	27.0			295.0	33.0		
	3	118.0	136.0	28.0			140.0	27.0		
I-20	1	728.0	744.0	21.0	27.0	0.0193	749.0	26.0	29.0	0.0207
	2	464.0	489.0	25.0			489.0	25.0		
	3	459.0	494.0	35.0			495.0	36.0		
I-30	1	94.0	105.0	11.0	18.0	0.0098	107.0	18.0	15.0	0.0107
	2	341.0	358.0	12.0			355.0	14.0		
	3	-17.0	-1.0	16.0			1.0	18.0		
J-10	1	497.0	580.0	83.0	38.0	0.0236	582.0	85.0	35.0	0.0250
	2	56.0	87.0	31.0			90.0	34.0		
	3	446.0	481.0	35.0			482.0	36.0		
J-20	1	787.0	807.0	20.0	16.0	0.0114	807.0	20.0	17.0	0.0121
	2	688.0	648.0	15.0			649.0	16.0		
	3	165.0	178.0	13.0			180.0	15.0		
J-30	1	-2614.0	-2608.0	11.0	18.7	0.0098	-2600.0	14.0	14.7	0.0105
	2	524.0	535.0	11.0			535.0	11.0		
	3	612.0	631.0	19.0			631.0	19.0		
K-10	1	492.0	548.0	51.0	50.7	0.0362	595.0	103.0	98.7	0.0669
	2	478.0	529.0	51.0			575.0	97.0		
	3	384.0	434.0	50.0			465.0	81.0		
K-20	1	890.0	904.0	14.0	16.8	0.0117	907.0	17.0	19.8	0.0138
	2	719.0	735.0	16.0			738.0	19.0		
	3	480.0	499.0	19.0			502.0	22.0		
K-30	1	688.0	694.0	6.0	5.0	0.0036	696.0	8.0	8.8	0.0059
	2	-1267.0	-1258.0	9.0			-1255.0	12.0		
	3	284.0	284.0	0.0			289.0	5.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000_{mm}, 長さ変化率: %)

供試体 記 号	供試体 No	初期値	5ヶ月				6ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
G-5 (0.8)	1	2108.0					2188.0	81.0		
	2	1811.0					1842.0	31.0		
	8	1689.0					1724.0	35.0	82.8	0.0231
G-10 (0.8)	1	2202.0					2221.0	19.0		
	2	2096.0					2111.0	15.0	17.7	0.0126
	8	2816.0					2885.0	19.0		
G-10	1	461.0	598.0	137.0			627.0	166.0		
	2	808.0	511.0	208.0	168.8	0.1166	584.0	226.0	184.8	0.1816
	8	458.0	608.0	150.0			619.0	161.0		
G-20 (0.8)	1	2599.0					2608.0	9.0		
	2	2868.0					2876.0	18.0	10.7	0.0076
	8	2866.0					2876.0	10.0		
G-20	1	1244.0	1275.0	31.0			1276.0	32.0		
	2	884.0	912.0	28.0	81.8	0.0224	916.0	32.0	85.8	0.0252
	8	1194.0	1229.0	35.0			1236.0	42.0		
G-30	1	740.0	764.0	24.0			767.0	27.0		
	2	662.0	681.0	19.0	27.0	0.0198	688.0	21.0	27.7	0.0198
	8	400.0	488.0	88.0			485.0	85.0		
H-10	1	882.0	425.0	43.0			484.0	52.0		
	2	860.0	405.0	45.0	46.0	0.0829	409.0	49.0	52.8	0.0874
	8	-82.0	18.0	50.0			24.0	56.0		
H-20	1	455.0	485.0	30.0			482.0	27.0		
	2	768.0	788.0	20.0	26.7	0.0191	786.0	28.0	26.7	0.0191
	8	1400.0	1430.0	30.0			1430.0	30.0		
H-30	1	266.0	288.0	17.0			285.0	19.0		
	2	808.0	818.0	15.0	18.8	0.0095	821.0	18.0	15.0	0.0107
	8	858.0	866.0	8.0			866.0	8.0		
I-10	1	48.0	107.0	59.0			119.0	71.0		
	2	262.0	804.0	42.0	54.7	0.0891	806.0	44.0	62.8	0.0445
	8	118.0	176.0	68.0			185.0	72.0		
I-20	1	728.0	756.0	88.0			757.0	84.0		
	2	464.0	496.0	82.0	86.8	0.0259	496.0	32.0	38.3	0.0274
	8	459.0	508.0	44.0			508.0	49.0		
I-30	1	94.0	114.0	20.0			110.0	16.0		
	2	841.0	859.0	18.0	21.0	0.0150	859.0	18.0	18.7	0.0184
	8	-17.0	8.0	25.0			5.0	22.0		
J-10	1	497.0	551.0	54.0			587.0	90.0		
	2	56.0	105.0	49.0	52.0	0.0871	109.0	58.0	66.8	0.0474
	8	446.0	499.0	58.0			502.0	56.0		
J-20	1	787.0	821.0	84.0			824.0	37.0		
	2	688.0	662.0	29.0	31.0	0.0221	665.0	32.0	38.7	0.0241
	8	165.0	195.0	30.0			197.0	32.0		
J-30	1	-2614.0	-2599.0	15.0			-2599.0	15.0		
	2	524.0	548.0	24.0	24.8	0.0174	546.0	22.0	28.0	0.0164
	8	612.0	646.0	34.0			644.0	32.0		
K-10	1	492.0	657.0	165.0			679.0	187.0		
	2	478.0	622.0	144.0	142.7	0.1019	648.0	165.0	164.8	0.1174
	8	884.0	508.0	119.0			525.0	141.0		
K-20	1	890.0	928.0	88.0			929.0	39.0		
	2	719.0	754.0	85.0	84.7	0.0248	759.0	40.0	89.7	0.0284
	8	480.0	516.0	86.0			520.0	40.0		
K-30	1	688.0	721.0	88.0			728.0	85.0		
	2	-1267.0	-1254.0	18.0	20.7	0.0148	-1248.0	19.0	26.0	0.0186
	8	284.0	800.0	16.0			808.0	24.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000mm, 長さ変化率: ‰)

供試体 記 号	供試体 No	初 期 値	8 ヶ 月				10 ヶ 月			
			測 定 値	差	差の平均	長さ変化率	測 定 値	差	差の平均	長さ変化率
G-5 (0.8)	1	2108.0	2148.0	40.0	42.7	0.0805	2154.0	46.0	69.3	0.0495
	2	1811.0	1852.0	41.0			1900.0	89.0		
	3	1689.0	1786.0	47.0			1762.0	78.0		
G-10 (0.8)	1	2202.0	2226.0	24.0	22.8	0.0159	2285.0	88.0	27.7	0.0198
	2	2096.0	2117.0	21.0			2119.0	28.0		
	3	2816.0	2888.0	22.0			2848.0	27.0		
G-10	1	461.0	659.0	198.0	208.3	0.1452	662.0	201.0	218.0	0.1521
	2	808.0	587.0	229.0			551.0	248.0		
	3	458.0	641.0	188.0			658.0	195.0		
G-20 (0.8)	1	2599.0	2608.0	9.0	9.3	0.0066	2609.0	10.0	10.0	0.0071
	2	2868.0	2874.0	11.0			2875.0	12.0		
	3	2866.0	2874.0	8.0			2874.0	8.0		
G-20	1	1244.0	1280.0	86.0	85.3	0.0252	1277.0	88.0	82.0	0.0229
	2	884.0	919.0	85.0			915.0	81.0		
	3	1194.0	1229.0	85.0			1226.0	82.0		
G-80	1	740.0	767.0	27.0	29.0	0.0207	762.0	22.0	24.0	0.0171
	2	662.0	684.0	22.0			680.0	18.0		
	3	400.0	488.0	88.0			482.0	82.0		
H-10	1	882.0	488.0	51.0	54.0	0.0386	480.0	48.0	51.0	0.0364
	2	860.0	414.0	54.0			412.0	52.0		
	3	-82.0	25.0	57.0			21.0	58.0		
H-20	1	455.0	485.0	80.0	29.3	0.0209	482.0	27.0	26.3	0.0188
	2	768.0	788.0	25.0			784.0	21.0		
	3	1400.0	1488.0	88.0			1481.0	81.0		
H-80	1	266.0	284.0	18.0	14.7	0.0105	280.0	14.0	10.3	0.0074
	2	808.0	820.0	17.0			816.0	18.0		
	3	858.0	867.0	9.0			862.0	4.0		
I-10	1	48.0	126.0	78.0	69.3	0.0495	121.0	78.0	66.0	0.0471
	2	262.0	812.0	50.0			807.0	45.0		
	3	118.0	198.0	80.0			198.0	80.0		
I-20	1	728.0	775.0	52.0	45.3	0.0324	771.0	48.0	41.7	0.0298
	2	464.0	497.0	88.0			498.0	29.0		
	3	459.0	510.0	51.0			507.0	48.0		
I-80	1	94.0	115.0	21.0	22.7	0.0162	118.0	19.0	20.3	0.0145
	2	841.0	862.0	21.0			859.0	18.0		
	3	-17.0	9.0	26.0			7.0	24.0		
J-10	1	497.0	592.0	95.0	71.3	0.0509	592.0	95.0	70.3	0.0502
	2	56.0	118.0	57.0			112.0	56.0		
	3	446.0	508.0	62.0			506.0	60.0		
J-20	1	787.0	828.0	86.0	82.3	0.0231	820.0	88.0	81.0	0.0221
	2	688.0	662.0	29.0			664.0	81.0		
	3	165.0	197.0	32.0			194.0	29.0		
J-80	1	-2614.0	-2599.0	15.0	21.8	0.0152	-2605.0	9.0	16.7	0.0119
	2	524.0	546.0	22.0			541.0	17.0		
	3	612.0	639.0	27.0			686.0	24.0		
K-10	1	492.0	680.0	188.0	165.0	0.1179	695.0	208.0	172.3	0.1281
	2	478.0	648.0	165.0			646.0	168.0		
	3	884.0	526.0	142.0			580.0	146.0		
K-20	1	890.0	926.0	86.0	40.7	0.0291	927.0	87.0	88.7	0.0276
	2	719.0	760.0	41.0			758.0	89.0		
	3	480.0	525.0	45.0			520.0	40.0		
K-80	1	688.0	711.0	28.0	15.7	0.0112	712.0	24.0	17.3	0.0124
	2	-1267.0	-1259.0	8.0			-1258.0	9.0		
	3	284.0	800.0	16.0			808.0	19.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000 断面, 長さ変化率: %)

供試体 記号	供試体 No.	初期値	12ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率
G-5 (0.8)	1	2108.0				
	2	1811.0				
	8	1689.0				
G-10 (0.8)	1	2202.0				
	2	2096.0				
	8	2816.0				
G-10	1	461.0	661.0	200.0	214.7	0.1584
	2	808.0	554.0	246.0		
	8	458.0	656.0	198.0		
G-20 (0.8)	1	2599.0				
	2	2868.0				
	8	2866.0				
G-20	1	1244.0	1279.0	35.0	88.7	0.0241
	2	884.0	917.0	33.0		
	8	1194.0	1227.0	33.0		
G-80	1	740.0	765.0	25.0	26.8	0.0188
	2	662.0	681.0	19.0		
	8	400.0	485.0	85.0		
H-10	1	882.0	481.0	40.0	51.0	0.0864
	2	860.0	412.0	52.0		
	8	-82.0	20.0	52.0		
H-20	1	455.0	482.0	27.0	26.8	0.0188
	2	768.0	785.0	22.0		
	8	1400.0	1480.0	80.0		
H-80	1	266.0	281.0	15.0	11.0	0.0079
	2	808.0	817.0	14.0		
	8	858.0	862.0	4.0		
I-10	1	48.0	124.0	76.0	68.0	0.0486
	2	262.0	809.0	47.0		
	8	118.0	194.0	81.0		
I-20	1	728.0	777.0	54.0	45.7	0.0326
	2	464.0	496.0	82.0		
	8	459.0	510.0	51.0		
I-80	1	94.0	117.0	23.0	28.8	0.0166
	2	841.0	861.0	20.0		
	8	-17.0	10.0	27.0		
J-10	1	497.0	589.0	92.0	68.0	0.0486
	2	56.0	110.0	54.0		
	8	446.0	504.0	58.0		
J-20	1	787.0	820.0	33.0	29.7	0.0212
	2	688.0	660.0	27.0		
	8	165.0	194.0	29.0		
J-80	1	-2614.0	-2609.0	5.0	14.7	0.0105
	2	524.0	540.0	16.0		
	8	612.0	685.0	28.0		
K-10	1	492.0	697.0	205.0	174.0	0.1248
	2	478.0	650.0	172.0		
	8	884.0	529.0	145.0		
K-20	1	890.0	926.0	36.0	88.8	0.0274
	2	719.0	758.0	39.0		
	8	480.0	520.0	40.0		
K-80	1	688.0	712.0	24.0	15.7	0.0112
	2	-1267.0	-1260.0	7.0		
	8	284.0	800.0	16.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000^{初期}, 長さ変化率: %)

供試体 記号	供試体 No	初期値	2 週				4 週			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
L-5 (08)	1	1595.0	1608.0	8.0	9.8	0.0066	1612.0	17.0	18.0	0.0129
	2	1586.0	1594.0	8.0			1608.0	17.0		
	8	1408.0	1420.0	12.0			1428.0	20.0		
L-10 (08)	1	878.0	876.0	8.0	4.8	0.0081	884.0	11.0	10.0	0.0071
	2	1880.0	1888.0	8.0			1888.0	8.0		
	8	1407.0	1414.0	7.0			1418.0	11.0		
L-10	1	884.0	851.0	17.0	17.8	0.0124	857.0	28.0	22.7	0.0162
	2	264.0	288.0	19.0			287.0	28.0		
	8	88.0	99.0	16.0			105.0	22.0		
L-15	1	1578.0	1588.0	10.0	10.8	0.0074	1586.0	18.0	12.7	0.0091
	2	1547.0	1558.0	11.0			1560.0	18.0		
	8	1878.0	1888.0	10.0			1890.0	12.0		
L-20 (08)	1	1798.0	1808.0	4.0	4.8	0.0081	1802.0	8.0	4.8	0.0081
	2	1582.0	1585.0	8.0			1585.0	8.0		
	8	1769.0	1775.0	6.0			1776.0	7.0		
L-20	1	1478.0	1486.0	8.0	8.0	0.0057	1491.0	18.0	12.0	0.0086
	2	748.0	759.0	11.0			760.0	12.0		
	8	467.0	472.0	5.0			478.0	11.0		
L-80	1	447.0	455.0	8.0	9.7	0.0069	459.0	12.0	14.7	0.0105
	2	618.0	625.0	12.0			688.0	20.0		
	8	-1042.0	-1088.0	9.0			-1080.0	12.0		
M-10	1	807.0	821.0	14.0	18.6	0.0188	837.0	80.0	85.8	0.0252
	2	878.0	402.0	24.0			418.0	40.0		
	8	207.0	225.0	18.0			248.0	86.0		
M-15	1	1482.0	1444.0	12.0	11.7	0.0084	1448.0	16.0	15.7	0.0112
	2	1425.0	1486.0	11.0			1440.0	15.0		
	8	1861.0	1878.0	12.0			1877.0	16.0		
M-20	1	774.0	781.0	7.0	4.7	0.0088	786.0	12.0	9.7	0.0069
	2	714.0	714.0	0.0			728.0	9.0		
	8	1072.0	1079.0	7.0			1080.0	8.0		
M-80	1	1191.0	1201.0	10.0	11.0	0.0079	1206.0	15.0	12.7	0.0091
	2	-967.0	-960.0	7.0			-960.0	7.0		
	8	881.0	847.0	16.0			847.0	16.0		
N-10	1	480.0	495.0	15.0	17.0	0.0121	505.0	25.0	26.7	0.0091
	2	897.0	418.0	16.0			425.0	28.0		
	8	878.0	898.0	20.0			400.0	27.0		
N-15	1	2681.0	2688.0	7.0	7.0	0.0050	2640.0	9.0	9.8	0.0066
	2	2844.0	2851.0	7.0			2858.0	9.0		
	8	2407.0	2414.0	7.0			2417.0	10.0		
N-20	1	184.0	187.0	8.0	5.8	0.0088	196.0	12.0	11.7	0.0084
	2	944.0	852.0	8.0			855.0	11.0		
	8	784.0	789.0	5.0			746.0	12.0		
N-80	1	1522.0	1525.0	8.0	5.8	0.0088	1528.0	1.0	4.8	0.0081
	2	1085.0	1089.0	4.0			1089.0	4.0		
	8	642.0	651.0	9.0			650.0	8.0		
S-80	1	885.0	885.0	0.0	0.0	0.0000	890.0	5.0	7.8	0.0052
	2	588.0	588.0	0.0			547.0	9.0		
	8	787.0	787.0	0.0			745.0	8.0		
S-40	1	-118.0	-118.0	0.0	-5.0	-0.0086	-100.0	18.0	6.8	0.0045
	2	587.0	579.0	-8.0			590.0	8.0		
	8	407.0	400.0	-7.0			410.0	8.0		
S-50	1	881.0	878.0	-8.0	-2.7	-0.0019	880.0	-1.0	7.0	0.0050
	2	-41.0	-41.0	0.0			-80.0	11.0		
	8	544.0	544.0	0.0			555.0	11.0		
S-65	1	1198.0	1188.0	-10.0	-9.8	-0.0066	1187.0	-6.0	5.7	0.0040
	2	796.0	789.0	-7.0			802.0	6.0		
	8	1008.0	992.0	-11.0			1020.0	17.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000_{mm}, 長さ変化率: %)

供試体 記 号	供試体 No	初期値	2ヶ月				8ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
L-5 (0.8)	1	1595.0	1628.0	28.0	29.0	0.0207	1680.0	85.0	86.0	0.0257
	2	1586.0	1618.0	27.0			1621.0	85.0		
	3	1408.0	1440.0	32.0			1446.0	38.0		
L-10 (0.8)	1	878.0	890.0	17.0	16.3	0.0116	889.0	16.0	16.0	0.0114
	2	1880.0	1895.0	15.0			1896.0	16.0		
	3	1407.0	1424.0	17.0			1423.0	16.0		
L-10	1	884.0	878.0	44.0	45.3	0.0324	456.0	122.0	121.7	0.0869
	2	264.0	812.0	48.0			390.0	126.0		
	3	88.0	127.0	44.0			200.0	117.0		
L-15	1	1578.0	1596.0	28.0	23.0	0.0164	1604.0	81.0	81.0	0.0221
	2	1547.0	1571.0	24.0			1579.0	32.0		
	3	1378.0	1400.0	22.0			1408.0	30.0		
L-20 (0.8)	1	1799.0	1801.0	2.0	3.3	0.0024	1804.0	5.0	5.3	0.0038
	2	1582.0	1584.0	2.0			1586.0	4.0		
	3	1769.0	1775.0	6.0			1776.0	7.0		
L-20	1	1478.0	1498.0	20.0	20.3	0.0145	1500.0	22.0	22.3	0.0159
	2	748.0	770.0	22.0			771.0	23.0		
	3	467.0	486.0	19.0			489.0	22.0		
L-30	1	447.0	459.0	12.0	13.3	0.0095	461.0	14.0	15.0	0.0107
	2	618.0	628.0	15.0			630.0	17.0		
	3	-1042.0	-1029.0	13.0			-1028.0	14.0		
M-10	1	807.0	447.0	140.0	132.3	0.0945	491.0	184.0	177.3	0.1266
	2	378.0	512.0	184.0			560.0	182.0		
	3	207.0	330.0	123.0			378.0	166.0		
M-15	1	1432.0	1465.0	33.0	33.0	0.0236	1514.0	82.0	79.3	0.0566
	2	1425.0	1458.0	33.0			1495.0	70.0		
	3	1361.0	1394.0	33.0			1447.0	86.0		
M-20	1	774.0	800.0	26.0	23.3	0.0166	804.0	30.0	26.7	0.0191
	2	714.0	735.0	21.0			739.0	25.0		
	3	1072.0	1095.0	23.0			1097.0	25.0		
M-30	1	1191.0	1220.0	29.0	31.7	0.0226	1221.0	30.0	32.3	0.0231
	2	-967.0	-937.0	30.0			-937.0	30.0		
	3	331.0	367.0	36.0			368.0	37.0		
N-10	1	480.0	537.0	57.0	54.7	0.0391	615.0	135.0	156.7	0.1119
	2	397.0	447.0	50.0			550.0	153.0		
	3	378.0	430.0	52.0			555.0	177.0		
N-15	1	2631.0	2655.0	24.0	24.0	0.0171	2668.0	37.0	36.3	0.0259
	2	2344.0	2368.0	24.0			2381.0	37.0		
	3	2407.0	2431.0	24.0			2442.0	35.0		
N-20	1	184.0	202.0	18.0	18.0	0.0129	210.0	26.0	24.7	0.0176
	2	344.0	361.0	17.0			370.0	26.0		
	3	734.0	753.0	19.0			756.0	22.0		
N-30	1	1522.0	1529.0	7.0	9.7	0.0069	1534.0	12.0	14.0	0.0100
	2	1035.0	1046.0	11.0			1050.0	15.0		
	3	642.0	653.0	11.0			657.0	15.0		
S-30	1	385.0	415.0	30.0	29.7	0.0212	430.0	45.0	41.7	0.0298
	2	538.0	568.0	30.0			580.0	42.0		
	3	737.0	766.0	29.0			775.0	38.0		
S-40	1	-118.0	-91.0	22.0	17.0	0.0121	-80.0	38.0	26.7	0.0191
	2	587.0	601.0	14.0			609.0	22.0		
	3	407.0	422.0	15.0			432.0	25.0		
S-50	1	331.0	390.0	59.0	12.7	0.0091	396.0	15.0	13.7	0.0134
	2	-41.0	-23.0	18.0			-23.0	18.0		
	3	544.0	560.0	16.0			567.0	23.0		
S-65	1	1193.0	1196.0	3.0	2.7	0.0019	1208.0	10.0	9.3	0.0066
	2	796.0	801.0	5.0			807.0	11.0		
	3	1003.0	1003.0	0.0			1010.0	7.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000_{原長}, 長さ変化率: %)

供試体 記号	供試体 No	初期値	5ヶ月				6ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
L-5 (0.8)	1	1595.0					1681.0	36.0		
	2	1586.0					1622.0	36.0	38.0	0.0271
	3	1408.0					1450.0	42.0		
L-10 (0.8)	1	378.0					390.0	12.0		
	2	1880.0					1896.0	16.0	16.7	0.0119
	3	1407.0					1424.0	17.0		
L-10	1	384.0	455.0	121.0			477.0	148.0		
	2	264.0	489.0	175.0	149.8	0.1066	460.0	196.0	179.0	0.1279
	3	88.0	285.0	152.0			281.0	198.0		
L-15	1	1578.0	1611.0	38.0			1650.0	77.0		
	2	1547.0	1586.0	89.0	37.0	0.0264	1680.0	88.0	78.0	0.0557
	3	1878.0	1412.0	84.0			1452.0	74.0		
L-20 (0.8)	1	1798.0					1808.0	4.0		
	2	1582.0					1586.0	4.0	5.0	0.0086
	3	1769.0					1776.0	7.0		
L-20	1	1478.0	1518.0	40.0			1525.0	47.0		
	2	748.0	781.0	38.0	36.8	0.0259	786.0	38.0	40.7	0.0291
	3	467.0	508.0	86.0			504.0	37.0		
L-80	1	447.0	478.0	26.0			474.0	27.0		
	2	618.0	641.0	28.0	27.7	0.0198	658.0	40.0	28.7	0.0212
	3	-1042.0	-1018.0	29.0			-1020.0	22.0		
M-10	1	307.0	545.0	288.0			547.0	240.0		
	2	378.0	604.0	226.0	225.7	0.1612	601.0	228.0	226.8	0.1616
	3	207.0	420.0	218.0			428.0	216.0		
M-15	1	1482.0	1598.0	161.0			1687.0	205.0		
	2	1425.0	1600.0	175.0	188.0	0.1307	1681.0	206.0	215.7	0.1541
	3	1861.0	1574.0	218.0			1597.0	286.0		
M-20	1	774.0	809.0	35.0			812.0	38.0		
	2	714.0	742.0	28.0	32.7	0.0234	745.0	31.0	35.7	0.0255
	3	1072.0	1107.0	35.0			1110.0	38.0		
M-80	1	1191.0	1221.0	30.0			1225.0	34.0		
	2	-967.0	-942.0	25.0	29.7	0.0212	-941.0	26.0	32.0	0.0229
	3	381.0	865.0	34.0			867.0	36.0		
N-10	1	480.0	678.0	198.0			789.0	259.0		
	2	397.0	667.0	270.0	234.7	0.1676	700.0	308.0	284.7	0.2084
	3	378.0	614.0	241.0			665.0	292.0		
N-15	1	2681.0	2728.0	97.0			2748.0	112.0		
	2	2844.0	2425.0	81.0	90.0	0.0643	2446.0	102.0	108.3	0.0774
	3	2407.0	2499.0	92.0			2518.0	111.0		
N-20	1	184.0	228.0	39.0			281.0	47.0		
	2	844.0	884.0	40.0	38.3	0.0274	886.0	42.0	48.7	0.0812
	3	784.0	770.0	36.0			776.0	42.0		
N-80	1	1522.0	1549.0	27.0			1555.0	38.0		
	2	1085.0	1061.0	26.0	28.0	0.0200	1068.0	38.0	34.3	0.0245
	3	642.0	678.0	31.0			679.0	37.0		
S-80	1	385.0	445.0	60.0			447.0	62.0		
	2	588.0	598.0	55.0	57.0	0.0407	596.0	58.0	61.0	0.0486
	3	787.0	798.0	56.0			800.0	68.0		
S-40	1	-118.0	-78.0	35.0			-77.0	36.0		
	2	587.0	621.0	34.0	35.7	0.0255	622.0	35.0	36.7	0.0262
	3	407.0	445.0	38.0			446.0	39.0		
S-60	1	881.0	407.0	26.0			409.0	28.0		
	2	-41.0	-15.0	26.0	29.0	0.0207	-10.0	31.0	34.0	0.0243
	3	544.0	579.0	35.0			587.0	48.0		
S-65	1	1198.0	1212.0	19.0			1217.0	24.0		
	2	796.0	817.0	21.0	18.8	0.0181	820.0	24.0	24.0	0.0171
	3	1008.0	1018.0	15.0			1027.0	24.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000mm, 長さ変化率: %)

供試体 記号	供試体 No	初期値	8ヶ月				10ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
L-5 (08)	1	1595.0	1640.0	45.0	47.7	0.0841	1642.0	47.0	98.0	0.0664
	2	1586.0	1632.0	46.0			1684.0	48.0		
	3	1408.0	1460.0	52.0			1592.0	184.0		
L-10 (08)	1	378.0	388.0	15.0	19.0	0.0186	398.0	20.0	21.8	0.0152
	2	1880.0	1401.0	21.0			1401.0	21.0		
	3	1407.0	1428.0	21.0			1480.0	28.0		
L-10	1	334.0	476.0	142.0	177.8	0.1266	477.0	148.0	180.7	0.1291
	2	264.0	457.0	198.0			461.0	197.0		
	3	88.0	280.0	192.0			285.0	202.0		
L-15	1	1578.0								
	2	1547.0								
	3	1378.0								
L-20 (08)	1	1799.0	1808.0	4.0	8.7	0.0026	1805.0	6.0	6.0	0.0048
	2	1582.0	1584.0	2.0			1586.0	4.0		
	3	1769.0	1774.0	5.0			1777.0	8.0		
L-20	1	1478.0	1518.0	40.0	87.8	0.0266	1514.0	36.0	84.0	0.0245
	2	748.0	785.0	37.0			782.0	34.0		
	3	467.0	502.0	35.0			500.0	33.0		
L-30	1	447.0	478.0	26.0	28.8	0.0202	471.0	24.0	24.7	0.0176
	2	618.0	641.0	28.0			639.0	26.0		
	3	-1042.0	-1011.0	31.0			-1018.0	24.0		
M-10	1	307.0	557.0	250.0	284.7	0.1676	558.0	246.0	281.7	0.1655
	2	378.0	607.0	229.0			607.0	229.0		
	3	207.0	482.0	225.0			427.0	220.0		
M-15	1	1482.0								
	2	1425.0								
	3	1361.0								
M-20	1	774.0	814.0	40.0	87.0	0.0264	810.0	36.0	82.7	0.0284
	2	714.0	746.0	32.0			748.0	29.0		
	3	1072.0	1111.0	39.0			1105.0	33.0		
M-30	1	1191.0	1226.0	35.0	82.7	0.0284	1221.0	30.0	80.0	0.0214
	2	-967.0	-942.0	25.0			-940.0	27.0		
	3	331.0	369.0	38.0			364.0	33.0		
N-10	1	480.0	750.0	270.0	285.0	0.2086	759.0	279.0	310.7	0.2219
	2	397.0	686.0	289.0			714.0	317.0		
	3	378.0	669.0	296.0			709.0	336.0		
N-15	1	2631.0								
	2	2344.0								
	3	2407.0								
N-20	1	184.0	225.0	41.0	40.0	0.0286	222.0	38.0	37.7	0.0269
	2	344.0	384.0	40.0			382.0	38.0		
	3	734.0	778.0	39.0			771.0	37.0		
N-30	1	1522.0	1558.0	31.0	88.8	0.0288	1546.0	24.0	28.8	0.0202
	2	1085.0	1068.0	38.0			1064.0	29.0		
	3	642.0	678.0	36.0			674.0	32.0		
S-30	1	385.0	451.0	66.0	64.7	0.0462	449.0	64.0	62.7	0.0448
	2	588.0	599.0	61.0			597.0	59.0		
	3	737.0	804.0	67.0			802.0	65.0		
S-40	1	-118.0	-68.0	45.0	48.8	0.0809	-70.0	48.0	40.8	0.0288
	2	587.0	630.0	48.0			625.0	38.0		
	3	407.0	449.0	42.0			447.0	40.0		
S-50	1	381.0	411.0	30.0	35.0	0.0250	408.0	27.0	33.0	0.0236
	2	-41.0	-8.0	38.0			-9.0	32.0		
	3	544.0	586.0	42.0			584.0	40.0		
S-65	1	1198.0	1218.0	25.0	25.0	0.0179	1212.0	19.0	20.0	0.0148
	2	796.0	822.0	26.0			818.0	22.0		
	3	1008.0	1027.0	24.0			1022.0	19.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000_{mm}, 長さ変化率: ‰)

供試体 記号	供試体 No	初期値	12ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率
L-5 (0.8)	1	1595.0				
	2	1586.0				
	3	1408.0				
L-10 (0.8)	1	378.0				
	2	1880.0				
	3	1407.0				
L-10	1	884.0	477.0	148.0	178.7	0.1276
	2	264.0	457.0	198.0		
	3	88.0	288.0	200.0		
L-15	1	1578.0				
	2	1547.0				
	3	1878.0				
L-20 (0.8)	1	1798.0				
	2	1582.0				
	3	1768.0				
L-20	1	1478.0	1514.0	86.0	88.7	0.0241
	2	748.0	780.0	32.0		
	3	467.0	500.0	38.0		
L-30	1	447.0	471.0	24.0	24.0	0.0171
	2	618.0	688.0	26.0		
	3	-1042.0	-1020.0	22.0		
M-10	1	807.0	555.0	248.0	232.7	0.1662
	2	378.0	608.0	230.0		
	3	207.0	427.0	220.0		
M-15	1	1432.0				
	2	1425.0				
	3	1861.0				
M-20	1	774.0	810.0	86.0	88.0	0.0236
	2	714.0	745.0	31.0		
	3	1072.0	1104.0	32.0		
M-30	1	1191.0	1218.0	28.0	28.7	0.0205
	2	-967.0	-940.0	27.0		
	3	381.0	362.0	31.0		
N-10	1	480.0	760.0	280.0	311.3	0.2224
	2	397.0	716.0	319.0		
	3	378.0	708.0	335.0		
N-15	1	2681.0				
	2	2844.0				
	3	2407.0				
N-20	1	184.0	224.0	40.0	41.0	0.0298
	2	344.0	386.0	42.0		
	3	784.0	775.0	41.0		
N-30	1	1522.0	1548.0	27.0	31.3	0.0224
	2	1035.0	1067.0	32.0		
	3	642.0	677.0	35.0		
S-30	1	385.0	451.0	66.0	64.7	0.0462
	2	538.0	598.0	60.0		
	3	737.0	805.0	68.0		
S-40	1	-118.0	-68.0	45.0	42.7	0.0305
	2	587.0	628.0	41.0		
	3	407.0	448.0	42.0		
S-50	1	881.0	411.0	30.0	35.3	0.0252
	2	-41.0	-9.0	32.0		
	3	544.0	588.0	44.0		
S-65	1	1198.0	1214.0	21.0	21.0	0.0150
	2	796.0	821.0	25.0		
	3	1008.0	1020.0	17.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000mm, 長さ変化率: %)

供試体 記 号	供試体 No	初 期 値	2 週				4 週			
			測 定 値	差	差の平均	長さ変化率	測 定 値	差	差の平均	長さ変化率
JP	1	588.0	590.0	2.0	0.7	0.0005	585.0	-3.0	-2.0	-0.0014
	2	71.0	71.0	0.0			69.0	-2.0		
	3	-284.0	-284.0	0.0			-285.0	-1.0		
AP	1	794.0	782.0	-12.0	-7.0	-0.0050	780.0	-14.0	-9.8	-0.0066
	2	-1276.0	-1276.0	0.0			-1278.0	-2.0		
	3	398.0	389.0	-9.0			386.0	-12.0		
CP	1	11.0	11.0	0.0	-0.7	-0.0005	85.0	24.0	23.7	0.0169
	2	428.0	428.0	0.0			446.0	28.0		
	3	506.0	504.0	-2.0			580.0	24.0		
CP (0.8)	1	1765.0	1778.0	8.0	8.0	0.0057	1778.0	18.0	18.7	0.0098
	2	1628.0	1687.0	8.0			1648.0	15.0		
	3	1470.0	1477.0	7.0			1488.0	18.0		
GP (0.8)	1	1400.0	1407.0	7.0	7.0	0.0050	1408.0	8.0	11.0	0.0079
	2	1605.0	1610.0	5.0			1617.0	12.0		
	3	1461.0	1470.0	9.0			1478.0	12.0		
LP (0.8)	1	2597.0	2609.0	12.0	8.7	0.0062	2612.0	15.0	12.3	0.0088
	2	2327.0	2387.0	10.0			2340.0	18.0		
	3	2406.0	2410.0	4.0			2415.0	9.0		
P.C.	1	968.0	998.0	85.0	48.8	0.0809	1135.0	172.0	169.7	0.1212
	2	862.0	908.0	46.0			1082.0	170.0		
	3	1285.0	1284.0	49.0			1402.0	167.0		
P.C. (0.8)	1	2542.0	2550.0	8.0	8.8	0.0059	2564.0	22.0	21.3	0.0152
	2	2277.0	2286.0	9.0			2297.0	20.0		
	3	2825.0	2888.0	8.0			2847.0	22.0		
P.C.P (0.8)	1	1488.0	1446.0	18.0	11.0	0.0079	1455.0	22.0	22.8	0.0159
	2	1288.0	1248.0	10.0			1255.0	22.0		
	3	1346.0	1356.0	10.0			1368.0	28.0		
P.C.P (1.2)	1	1345.0	1365.0	20.0	19.3	0.0138	1455.0	110.0	116.0	0.0829
	2	667.0	688.0	21.0			791.0	124.0		
	3	1270.0	287.0	17.0			1884.0	114.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000_{原形}, 長さ変化率: %)

供試体 記号	供試体 No	初期値	2ヶ月				3ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
JP	1	588.0	598.0	5.0	8.8	0.0024	597.0	9.0	7.8	0.0052
	2	71.0	72.0	1.0			77.0	6.0		
	8	-284.0	-280.0	4.0			-277.0	7.0		
AP	1	794.0	788.0	-11.0	-7.8	-0.0052	790.0	-4.0	-1.8	-0.0009
	2	-1276.0	-1279.0	-8.0			-1277.0	-1.0		
	8	898.0	890.0	-8.0			899.0	1.0		
CP	1	11.0	18.0	7.0	6.8	0.0045	25.0	14.0	18.7	0.0098
	2	428.0	428.0	5.0			435.0	12.0		
	8	506.0	518.0	7.0			521.0	15.0		
CP (0.8)	1	1765.0	1784.0	19.0	18.7	0.0184	1788.0	28.0	28.8	0.0166
	2	1628.0	1648.0	20.0			1652.0	24.0		
	8	1470.0	1487.0	17.0			1498.0	28.0		
GP (0.8)	1	1400.0	1416.0	16.0	18.0	0.0129	1419.0	19.0	21.7	0.0155
	2	1605.0	1624.0	19.0			1627.0	22.0		
	8	1461.0	1480.0	19.0			1485.0	24.0		
LP (0.8)	1	2597.0	2616.0	19.0	17.7	0.0126	2618.0	21.0	21.0	0.0150
	2	2827.0	2846.0	19.0			2850.0	28.0		
	8	2406.0	2421.0	15.0			2425.0	19.0		
P.C.	1	968.0	1346.0	888.0	879.7	0.2712	1875.0	412.0	405.8	0.2895
	2	862.0	1288.0	876.0			1251.0	889.0		
	8	1285.0	1615.0	880.0			1650.0	415.0		
P.C. (0.8)	1	2542.0	2588.0	41.0	45.0	0.0821	2650.0	108.0	155.7	0.1112
	2	2277.0	2821.0	44.0			2454.0	177.0		
	8	2825.0	2875.0	50.0			2507.0	182.0		
P.C.P (0.8)	1	1488.0	1518.0	80.0	82.7	0.0591	1668.0	285.0	251.0	0.1798
	2	1288.0	1807.0	74.0			1468.0	280.0		
	8	1846.0	1440.0	94.0			1684.0	288.0		
P.C.P (1.2)	1	1845.0	1779.0	484.0	441.8	0.3152	1987.0	592.0	595.0	0.4250
	2	667.0	1115.0	448.0			1267.0	600.0		
	8	1270.0	1712.0	442.0			1868.0	598.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000_{mm}, 長さ変化率: %)

供試体 記 号	供試体 No	初 期 値	5 ヶ 月				6 ヶ 月			
			測 定 値	差	差の平均	長さ変化率	測 定 値	差	差の平均	長さ変化率
JP	1	588.0	610.0	22.0	18.7	0.0184	608.0	21.0	18.7	0.0141
	2	71.0	88.0	17.0			88.0	18.0		
	8	-284.0	-267.0	17.0			-264.0	20.0		
AP	1	794.0	801.0	7.0	10.8	0.0074	800.0	6.0	6.0*	0.0048*
	2	-1276.0	-1268.0	18.0			—	—		
	8	898.0	408.0	11.0			404.0	6.0		
CP	1	11.0	40.0	29.0	25.7	0.0184	40.0	29.0	24.7	0.0176
	2	428.0	446.0	28.0			446.0	28.0		
	8	506.0	581.0	25.0			528.0	22.0		
CP (0.8)	1	1765.0					1790.0	25.0	26.7	0.0191
	2	1628.0					1657.0	29.0		
	8	1470.0					1496.0	26.0		
GP (0.8)	1	1400.0					1427.0	27.0	88.8	0.0274
	2	1605.0					1655.0	50.0		
	8	1461.0					1498.0	88.0		
LP (0.8)	1	2597.0					2618.0	22.0	22.7	0.0162
	2	2827.0					2851.0	24.0		
	8	2406.0					2428.0	22.0		
P.C.	1	968.0	1458.0	496.0	468.8	0.8809	1476.0	518.0	457.7	0.8269
	2	862.0	1296.0	484.0			1818.0	451.0		
	8	1285.0	1695.0	460.0			1698.0	468.0		
P.C. (0.8)	1	2542.0					3026.0	484.0	551.8	0.8988
	2	2277.0					2854.0	577.0		
	8	2825.0					2918.0	598.0		
P.C.P (0.8)	1	1488.0					2011.0	578.0	612.0	0.4871
	2	1288.0					1825.0	592.0		
	8	1846.0					2012.0	666.0		
P.C.P (0.8)	1	1845.0					2112.0	767.0	772.7	0.5519
	2	667.0					1440.0	778.0		
	8	1270.0					2048.0	778.0		

* 2本の平均

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000mm, 長さ変化率: %)

供試体 記 号	供試体 No	初期値	8ヶ月				10ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率	測定値	差	差の平均	長さ変化率
JP	1	588.0	607.0	19.0			605.0	17.0		
	2	71.0	92.0	21.0	20.8	0.0145	87.0	16.0	17.8	0.0124
	3	-284.0	-268.0	21.0			-265.0	19.0		
AP	1	794.0	806.0	12.0			801.0	7.0		
	2	-1276.0	-1260.0	16.0	14.8	0.0102	-1262.0	14.0	10.7	0.0076
	3	898.0	418.0	15.0			408.0	11.0		
CP	1	11.0	41.0	80.0			41.0	80.0		
	2	428.0	454.0	81.0	28.8	0.0209	451.0	28.0	28.8	0.0202
	3	506.0	588.0	27.0			588.0	27.0		
CP (0.8)	1	1765.0	1798.0	84.0			1807.0	42.0		
	2	1628.0	1666.0	88.0	85.0	0.0250	1674.0	46.0	42.0	0.0300
	3	1470.0	1508.0	88.0			1508.0	88.0		
GP (0.8)	1	1400.0	1480.0	80.0			1586.0	186.0		
	2	1605.0	1754.0	149.0	76.8	0.0545	1847.0	242.0	171.0	0.1221
	3	1461.0	1511.0	50.0			1596.0	185.0		
LP (0.8)	1	2597.0	2627.0	80.0			2632.0	85.0		
	2	2827.0	2858.0	81.0	80.0	0.0214	2862.0	85.0	67.7	0.0484
	3	2406.0	2435.0	29.0			2539.0	188.0		
P.C.	1	968.0	1465.0	502.0			1469.0	506.0		
	2	862.0	1808.0	447.0	471.7	0.3369	1812.0	450.0	474.7	0.3891
	3	1285.0	1701.0	466.0			1708.0	468.0		
P.C. (0.8)	1	2542.0	8087.0	545.0			8119.0	577.0		
	2	2277.0	2927.0	650.0	619.8	0.4424	2958.0	681.0	648.0	0.4629
	3	2825.0	2988.0	668.0			3011.0	686.0		
P.C.P (0.8)	1	1488.0	2078.0	600.0			2095.0	662.0		
	2	1288.0	1895.0	662.0	676.7	0.4884	1989.0	706.0	711.7	0.5084
	3	1846.0	2074.0	728.0			2118.0	767.0		
P.C.P (0.8)	1	1845.0	2186.0	791.0			2148.0	798.0		
	2	667.0	1465.0	798.0	797.7	0.5698	1478.0	806.0	805.7	0.5755
	3	1270.0	2074.0	804.0			2088.0	818.0		

モルタルバー試験 長さ変化測定結果一覧表 (単位 長さ変化: 1/1000_{原形}, 長さ変化率: ‰)

供試体 記号	供試体 No	初期値	12ヶ月			
			測定値	差	差の平均	長さ変化率
JP	1	588.0	606.0	18.0	18.8	0.0181
	2	71.0	87.0	16.0		
	3	-274.0	-268.0	21.0		
AP	1	794.0	802.0	8.0	11.0	0.0079
	2	-1276.0	-1262.0	14.0		
	3	898.0	409.0	11.0		
CP	1	11.0	40.0	29.0	29.8	0.0209
	2	428.0	452.0	29.0		
	3	506.0	586.0	80.0		
CP (0.8)	1	1765.0				
	2	1628.0				
	3	1470.0				
GP (0.8)	1	1400.0				
	2	1605.0				
	3	1461.0				
LP (0.8)	1	2597.0				
	2	2827.0				
	3	2406.0				
P.C.	1	968.0	1470.0	502.0	472.7	0.8876
	2	862.0	1809.0	447.0		
	3	1285.0	1699.0	464.0		
P.C. (0.8)	1	2542.0				
	2	2277.0				
	3	2325.0				
P.C.P (0.8)	1	1488.0				
	2	1288.0				
	3	1846.0				
P.C.P (1.2)	1	1845.0				
	2	667.0				
	3	1270.0				

III

フライアッシュのアルカリ骨材反応 抑制機構に関する検討

共同研究委員会

担当：日本フライアッシュ協会

1. はじめに

本編では、フライアッシュの品質の特性、フライアッシュの品質がモルタルバーを用いたアルカリ骨材反応性試験値にどのような影響を与えるかということについて、Ⅱ編で得られた実験値を用いておもに統計的な検討を行った。また、これらの検討結果からどのようなことが言えるかについて考察を加えてみた。

2. フライアッシュの化学成分および物理的性質

2.1 化学分析の方法および結果

フライアッシュの化学分析方法としては、JIS A 6201に強熱減量、湿分、二酸化けい素の3項目についての規定はあるが、三酸化アルミニウム等他の成分についての規定がされていない。そこで現状では、これらの成分の分析については、ポルトランドセメントの化学分析方法（JIS R 5202）が準用されている（これをアルカリ溶融法と呼ぶ）。

一方、近年の分析装置の進歩、分析器材の進歩等により、迅速法による分析方法が開発され、一部の分析機関で採用されている（これをボンブ溶融法と呼ぶ）。

今回の統計的検討に先立ち、アルカリ溶融法とボンブ溶融法とを比較検討した結果、アルカリ溶融法の方が分析精度が高く、数値の信頼性が高いことが分かったので、アルカリ溶融法による分析結果をこの検討に用いることとした。

分析結果を表Ⅲ-1（p.Ⅲ-12）に示す。

2.2 物理試験の方法および結果

物理試験は、JIS A 6201に規定された方法で行った。ただし、粉末度についてはブレン比表面積の他に $44\mu m$ ふるい残分（試験方法：セメント協会法 CAJS KO2）についての試験も行った。

試験結果を表Ⅲ-2（p.Ⅲ-13）に示す。

2.3 非結晶質成分含有量の推定方法および結果

2.3.1 概要

フライアッシュの化学分析結果とは、フライアッシュに含まれる元素について分析した結果である。しかし、同じ成分をもっていてもその存在形態が異なることがある。例えば、二酸化けい素であっても石英（ $\alpha\text{-SiO}_2$ ）の形で存在することもあるれば、ムライト（ $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ）の形で存在することもある。

一般に、フライアッシュの活性度はフライアッシュの中のガラス量に依存すると考えられている。すなわち、ガラス量の多いフライアッシュは、セメント等との反応性が高いと考えられている。しかし、アルカリ骨材反応抑止に対する効果についての検討は、十分に行われていない。そこで、これらの検討を行うため、まず、フライアッシュ中の結晶鉱物含有量を以下に示す方法で定量した後、ガラス量すなわち非結晶質成分含有量を間接的に推定することとした。

2.3.2 結晶鉱物含有量の定量方法

フライアッシュ中の鉱物は、一般に粉末X線回折装置によって同定される。これらは、いわゆる定性分析であるが、鉱物の定量方法としては、内部標準法という手法が広く用いられている。その手順は次の通りである。

- ① フライアッシュ試料に適当な標準物質を一定量ずつ混合する。
- ② X線回折装置により測定を行う。
- ③ 目的とする結晶の回折ピークと標準物質の結晶の回折ピークとの割合を求める。
- ④ 検量線により結晶鉱物含有量を定量する。

今回行った各結晶鉱物に関する具体的定量方法は、次の通りである。

(1) ムライトおよび石英の定量

フライアッシュ 180 mg と内部標準物質 ZrO_2 (酸化ジルコニウム) 20 mg とを充分混合し、メノウ乳鉢で微粉砕後、X線回折装置によりムライトと ZrO_2 及び石英と ZrO_2 とのX線強度比をそれぞれ求め、検量線 (図-Ⅲ-1: p. Ⅲ-25) によりそれぞれの含有量を求めた。

$$\text{ムライト (3Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) : I_{539} \text{ \AA} / I_{310} \text{ \AA}$$

$$\text{石 英 (}\alpha\text{-SiO}_2\text{)} : I_{534} \text{ \AA} / I_{316} \text{ \AA}$$

ここに、 $I_{539} \text{ \AA}$: ムライトのX線強度

$I_{334} \text{ \AA}$: 石英のX線強度

$I_{316} \text{ \AA}$: ZrO_2 のX線強度

(2) ヘマタイトおよびマグネタイトの定量

フライアッシュ 190 mg と内部標準物質 ZnO (酸化亜鉛) 10 mg とを充分混合し、メノウ乳鉢で粉砕後、X線回折装置によりムライトと ZnO および石英と ZnO とのX線強度比をそれぞれ求め、検量線 (図-Ⅲ-2: p. Ⅲ-26) によりそれぞれの含有量を求めた。ただし、それぞれの回折角がムライトの回折角と重なるため、ムライトの強度分を差し引いて補正を行った。

$$\text{ヘマタイト (}\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{)} : (I_{269} \text{ \AA} - I_{539} \text{ \AA} \times 0.89) / I_{247} \text{ \AA}$$

$$\text{マグネタイト (Fe}_3\text{O}_4\text{)} : (I_{253} \text{ \AA} - I_{539} \text{ \AA} \times 0.96) / I_{247} \text{ \AA}$$

ここに、 $I_{269} \text{ \AA}$: ヘマタイトのX線強度

$I_{253} \text{ \AA}$: マグネタイトのX線強度

$I_{539} \text{ \AA}$: ムライトのX線強度

$I_{247} \text{ \AA}$: ZnO のX線強度

2.3.3 非結晶質成分含有量の推定

非結晶質成分含有量は、以下の計算例に示す方法でもとめた。その結果を表-Ⅲ-3 (p. Ⅲ-14) に示す。

計算例 (試料A)

・結晶鉱物量 : X線回折結果

・結晶質成分含有量

結晶質 SiO_2 = ムライト結晶量 $\times$ ムライト中の結晶質 SiO_2 の割合 + 石英結晶量

$$(= 6.7 \times 0.28 + 16.5 = 18.4 \%)$$

結晶質 $\text{Al}_2\text{O}_3 = \mu\text{ライト結晶量} \times \mu\text{ライト中の結晶質} \text{Al}_2\text{O}_3 \text{の割合}$

$$(\quad = 6.7 \times 0.72 \quad = 4.8\%)$$

結晶質 $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{ヘマタイト結晶量} + \text{マグネタイト結晶量} \times \text{Fe}_3\text{O}_4 \text{から} \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{への換算係数}$

$$(\quad = 0.4 + 0.3 \times 1.5 = 0.8\%)$$

・非結晶質成分含有量

非結晶質 $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 \text{の化学成分量} - \text{結晶質} \text{SiO}_2$

$$(\quad = 55.7 - 18.4 = 37.3\%)$$

非結晶質 $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 \text{の化学成分量} - \text{結晶質} \text{Al}_2\text{O}_3$

$$(\quad = 23.5 - 4.8 = 18.7\%)$$

非結晶質 $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{の化学成分量} - \text{結晶質} \text{Fe}_2\text{O}_3$

$$(\quad = 9.7 - 0.8 = 8.9\%)$$

3. モルタルバー試験について

3.1 使用試験データ

モルタルバー試験は、JIS A 5308-1986 に従って行われた。

試験は、まずフライアッシュ 14 銘柄を用い、セメント中のアルカリ量が 1.2% の条件下でフライアッシュ置換率を 10, 20, 30% と変化させ、モルタルバー ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$) の長さ変化率を調べた。

次に、追加試験として、セメント中のアルカリ量が 0.8% の条件下でフライアッシュ置換率を 5, 10, 20% と変化させ、同様にモルタルバー ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$) の長さ変化率を調べた。

更に、再追加試験として、セメント中のアルカリ量が 1.2%, フライアッシュ置換率を 15% とした試験も実施した。

以上のフライアッシュモルタルバー試験要因組合せをまとめると次の通りである。また、使用試験データを再記すると表-III-4 (p. III-15) のようになる。

フライアッシュモルタルバー試験要因組合せ

置換率 アルカリ量		5%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	65%
シリーズ I 1.2%	試料		A~N	C,L,M, N	A~N	A~N			
	数量		14	4	14	14			
シリーズ I 0.8%	試料	C,G,L	C,G,L		C,G,L				
	数量	3	3		3				
シリーズ II 1.2%	試料					S (スラグ)	S (スラグ)	S (スラグ)	S (スラグ)
	数量					1	1	1	1
シリーズ III 1.2%	試料				A,C,J ペシマム				
	数量				3				
シリーズ III 0.8%	試料		C,G,L ペシマム						
	数量		3						
シリーズ IV 1.2%	試料	セメントのみ							
	数量	2 (骨材種類G1: 同G2=100:0, G1:G2=50:50)							
シリーズ IV 0.8%	試料	セメントのみ							
	数量	2 (骨材種類G1: 同G2=100:0, G1:G2=50:50)							

3.2 試験結果の検討

3.2.1 フライアッシュ置換率の影響

セメント中のアルカリ量が1.2%の場合、モルタルバーの長さ変化率はフライアッシュの置換率が大きくなると低下し、特に置換率が10%から20%に変化するとき、大きく低下する(図-III-3~4: p. III-27~28)。しかし、これを統計的に検討すると次に示すように、置換率10%と同20%および置換率20%と同30%ともに平均値に差が認められ、それぞれは明らかに異なったデータであるといえる。

統計的検定 (JIS Z 9057 および Z 9049)

(統計データ: 材令6ヶ月)

	置換率10%	置換率20%	置換率30%
平均値	0.1000	0.0249	0.0169
総和	1.3995	0.348	0.2372
二乗和	0.17088	8.8644×10^{-8}	4.2203×10^{-8}

(検定結果)

検 定 項 目 検 定 対 象	母分散の違いの検定 (JIS Z 9057)			平均値の差の検定 (JIS Z 8049)		
	F ₀	F	結 果	t ₀	t	結 果
置換率10%と同20%	145	> 3.12	違いあり	5.737	> 2.159	差がある
置換率20%と同30%	1.06	< 3.12	違いなし	5.237	> 2.056	差がある

そこで、フライアッシュ置換率10%と20%との中間をとって、置換率15%で検討してみると図-Ⅲ-5 (p. Ⅲ-29) に示すとおりである。なお、これらのデータは数が少ないが、参考のために同様に統計的に検討してみると次に示すように、置換率10%と同15%および置換率15%と同20%ともに平均値に差が認められず、両者は類似したデータであるといえる。

統計的検定 (JIS Z 9057 および Z 9049)

(統計データ：材令6ヶ月)

	置換率10%	置換率15%	置換率20%
平均値	0.1520	0.0920	0.0281
総和	0.6079	0.3677	0.1124
二乗和	0.0970695	0.0393203	3.17806×10^{-8}

(検定結果)

検 定 項 目 検 定 対 象	母分散の違いの検定 (JIS Z 9057)			平均値の差の検定 (JIS Z 8049)		
	F_0	F	結 果	t_0	t	結 果
置換率10%と同15%	1.18 < 15.4		違いなし	2.059 < 2.447		差がない
置換率15%と同20%	281 > 15.4		違いあり	2.971 < 3.142		差がない

以上を総合するとアルカリ量1.2%では、フライアッシュを20%以上混合すると銘柄に関係なく膨張が生じなくなる。15%以下であると銘柄によって膨張するものがあったり、なかったりするということが明らかとなった。

3.2.2 材令との関係

長さ変化率は、材令と共に増加するが、フライアッシュ置換率が高いもののほどその増加の程度は少ない (図-Ⅲ-6～8: p. Ⅲ-30～32)。

JIS A 5308 では、長さ変化率が材令3カ月で0.050%以上であれば不合格、0.050%未満でも材令6カ月まで試験を行い、0.100%未満であればアルカリ骨材反応による膨張は問題がないとされている。

そこで、セメント中のアルカリ量が1.2%でフライアッシュ置換率10%の場合、材令6カ月で、長さ変化率が0.100%以上になるものが含まれているので、これらをグループ分けして検討すると以下のようになる。

すなわち、材令6カ月での長さ変化率が0.050%未満 (グループⅠ)・0.050%以上0.100%未満 (グループⅡ)・0.100%以上0.150%未満 (グループⅢ)・0.150%以上 (グループⅣ) の4グループに分類すると次表および図-Ⅲ-9 (p. Ⅲ-33) のとおりとなり、材令3カ月で0.040%以下のものは材令6カ月で0.100%未満となった。

なお、材令3ヶ月におけるモルタルバーの長さ変化率から材令6ヶ月におけるモルタルバーの長さ変

化率を推定すると図－Ⅲ－10（p. Ⅲ－33）のようになる。

グループ別変化率（フライアッシュ置換率10%）

（単位：%）

グループ	フライアッシュ	材 令 4 週	材 令 2ヶ月	材 令 3ヶ月	材 令 5ヶ月	材 令 6ヶ月
I	H, I, J	0.0105 0.0171	0.0179 0.0236	0.0212 0.0250	0.0329 0.0391	0.0374 0.0474
II	A, B, E, F	0.0088 0.0152	0.0169 0.0231	0.0209 0.0310	0.0395 0.0655	0.0574 0.0869
III	C, D, G, K, L	0.0119 0.0188	0.0250 0.0362	0.0443 0.0869	0.0998 0.1166	0.1150 0.1316
IV	M, N	0.0191 0.0252	0.0391 0.0945	0.1119 0.1266	0.1612 0.1676	0.1616 0.2034

数値は上段が最小値、下段が最大値を示す。

3.2.3 セメント中のアルカリ量の影響

フライアッシュ置換率10%と20%の場合、セメント中のアルカリ量が1.2%と0.8%とを比較するとモルタルバーの長さ変化率は前者の方が大きくまたバラツキも多い（図－Ⅲ－11～13：p. Ⅲ－34～36）。

また、これを統計的に検討してみると次に示すように、材令3ヶ月および6ヶ月共にアルカリ量の違いによりモルタルバーの長さ変化率に差が認められる。

統計的検討（材令3ヶ月：JIS Z 9057 および 9049）

（統計データ）

項 目		置 換 率 10 %		置 換 率 20 %	
		アルカリ量 1.2%	アルカリ量 0.8%	アルカリ量 1.2%	アルカリ量 0.8%
材 令 3 月 月	平均値	0.0649	0.0364	0.0159	0.0048
	総 和	0.1948	0.0364	0.0478	0.0143
	二乗和	0.0135591	4.4278×10^{-4}	7.6706×10^{-4}	7.045×10^{-5}
材 令 6 月 月	平均値	0.1248	0.0135	0.0270	0.0057
	総 和	0.3745	0.0404	0.0809	0.0171
	二乗和	0.046902	5.5318×10^{-4}	2.1894×10^{-8}	1.0553×10^{-4}

（検定結果）

検 定 項 目		母分散の違いの検定 (JIS Z 9057)			平均値の差の検定 (JIS Z 8049)		
		F ₀	F	結 果	t ₀	t	結 果
材 令 3 月 月	置換率10%	807.8 > 39.0		違いあり	4.284 > 2.447		差がある
	置換率20%	1.07 < 39.0		違いなし	12.50 > 2.776		差がある
材 令 6 月 月	置換率10%	59.6 > 39.0		違いあり	21.48 > 2.390		差がある
	置換率20%	1.03 < 39.0		違いなし	13.10 > 2.776		差がある

なお、注目すべき点はセメント中のアルカリ量が0.8%の場合には、5%の置換の場合でも膨張がすべて抑制されているということである。

3.3 フライアッシュの品質と抑止効果

フライアッシュの各特性値とモルタルバーの長さ変化率との関係は次のとおりである。

3.3.1 化学成分との関係

フライアッシュ中の化学成分とモルタルバーの長さ変化率との関係は表Ⅲ-5 (p. Ⅲ-16) に示すとおりであり、フライアッシュ置換率が20, 30%では、どの化学成分とも相関性は認められないが、10%の場合には SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O および R_2O とモルタルバーの長さ変化率との間に相関性が認められる。

ちなみに、これらのうち相関係数の高い Na_2O および R_2O とモルタルバーの長さ変化率との関係を図示すると図Ⅲ-14~17 (p. Ⅲ-37~38) のとおりである。フライアッシュ中の Na_2O や R_2O はモルタルバーの長さ変化率とかなり高い相関にあることはこの図からもわかる。

なお、化学成分の組合せにより3元回帰分析を行った結果は表Ⅲ-6~9 (p. Ⅲ-17~20) および図Ⅲ-18~21 (p. Ⅲ-39~40) に示すとおりである。膨張量の推定は計算因子が増せば精度が高くなっていくことが明らかとなった。

注) セメント中のアルカリ量1.2%, フライアッシュ置換率10%の場合には、フライアッシュ中の Na_2O 量または R_2O 量が多くなると長さ変化率も大きくなる傾向にある。

一方、フライアッシュ中の Na_2O 量はセメント中の Na_2O 量より大きいものが多いので、フライアッシュ置換率が大きくなるとモルタル中の Na_2O 量は多くなり、長さ変化率は大きくなるはずであるが、置換率が20, 30%の場合には長さ変化率は小さくなっている。表Ⅲ-5によれば R_2O は長さ変化率の増加に最も寄与しているが、 SiO_2 は負であるので、長さ変化率の減少に寄与することになる。すなわち置換率が少ないときはセメントおよびフライアッシュ中の R_2O の影響が大きいが、置換率が大きくなると SiO_2 のような抑制成分の影響が大きくなり、膨張はしなくなるものと考えられる。

3.3.2 物理的性質との関係

セメント中のアルカリ量1.2%, フライアッシュ置換率10%の場合、モルタルバーの長さ変化率とフライアッシュの物理的性質との関係は、表Ⅲ-10 (p. Ⅲ-21) に示すとおりであり、 $44\mu\text{m}$ ふるい残分と長さ変化率との間に相関性が認められる。

$44\mu\text{m}$ ふるい残分は前述した通り、フライアッシュの圧縮強度比との間に相関性があることから、フライアッシュによるアルカリ骨材反応抑止効果に何らかの関連があることが考えられる。

なお、 $44\mu\text{m}$ ふるい残分に化学成分を加えて4元回帰分析を行った結果は表Ⅲ-11~12 (p. Ⅲ-22

～23) および図-Ⅲ-22～23 (p.Ⅲ-41) に示すとおりであり, 3.4.1 と同様モルタルバーの長さ変化率を実用的な範囲で推定することは困難である。

3.3.3 非結晶質成分含有量等との関係

モルタルバーの長さ変化率とフライアッシュ中の非結晶質成分含有量等との関係は, 表-Ⅲ-13 (p.Ⅲ-24) に示すとおりである。ムライト ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) や石英 ($\alpha\text{-SiO}_2$) のような結晶質の成分はすべて抑制効果を示しており, 非晶質の成分はすべて長さ変化増大に作用している。恐らくアルミン酸ソーダやアルミン酸カリウムのような金属塩となり, 陽イオンの Na^+ や K^+ のために膨張因子となっているものと考えられる。

3.4 フライアッシュの抑制効果の判定式の提案

国産フライアッシュの ASR 抑制効果に関しては他に Beltane オパールを用いた川村らの研究がある ($\text{S/C}=0.75$, C のアルカリ量 0.93%, 標準試験に換算すれば 2.34% に相当)。この実験では, 30% 混合してもフライアッシュによって膨張を抑制できるものとできないものがある¹⁾。

建設省土木研究所の本実験と同じ骨材を用いた実験ではセメントのアルカリ量が 2.0% のときは 25% 以上, 1.5% のときは 20% 以上混合しないと膨張が 0.1% 以下に抑制できなかった²⁾。また, セメントのアルカリ量が 0.7% になるとフライアッシュを入れなくとも膨張は生じなかった³⁾。すなわち, 膨張が抑制できるフライアッシュの混合比はフライアッシュ並びにセメントのアルカリ量が多くなればそれだけ増えてゆくのである。

これらの実験結果を考えるとフライアッシュの性質や混合比を考えた場合の膨張を抑制できるかどうかの判定式は(1)のようなもので, このような状態であれば膨張しないと考えられる。

$$\Sigma \text{CA} + \alpha \cdot \Sigma \text{FA} - \beta \cdot \Sigma \text{F} \leq \text{K} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし, ΣCA , ΣFA , ΣF : セメント中の総アルカリ量, フライアッシュ中の総アルカリ量, フライアッシュの総量 (kg/m^3)

α : フライアッシュのアルカリの影響に関する係数

β : フライアッシュの抑制効果に関する係数

K: 許容アルカリ総量 (kg/m^3)

英国では, Hobbs らがフライアッシュを混合する場合には, フライアッシュに含まれるアルカリ量の 17% ($1/6$) とセメントのアルカリ量の総和が $3 \text{ kg}/\text{m}^3$ 以下であれば抑制されるとしているが⁴⁾, (1) 式で言えば $\alpha=0.17$, $\beta=0$, $\text{K}=3$ に相当する。

係数 α , β , K は, 多くの実験から膨張を生じなくなる境界の ΣCA , ΣFA , ΣF を求めて回帰分析で求めればよいが, 試みのためにこれらの実験結果に基づき,

- 1) セメントのアルカリ量 1.2%, フライアッシュのアルカリ量 4% の時, 置換率 20% 以上で膨張が抑制される。

- 2) セメントのアルカリ量 1.2 %, フライアッシュのアルカリ量 1 %の時, 置換率 10 %以上で膨張が抑制される。
- 3) セメントのアルカリ量 0.7 %では, フライアッシュを混入しなくとも膨張は抑制される。
- 4) 試験に用いたモルタルの単位セメント量は 600 kg/m^3 に相当する。

という 4 条件を入れて α , β , K を解くと次式のようなになる。

$$\Sigma CA + 0.83 \Sigma FA - 0.046 \Sigma F \leq 4.2 \text{ kg/m}^3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

この式を採用した場合, 次のような実験結果は計算の結果とも整合する。

- 1) C (セメント) のアルカリ量 0.8 %, 無混合のモルタルバー ($C=600 \text{ kg/m}^3$) は膨張する ($PC-0.8-0$)。
- 2) C のアルカリ量 0.8 %, F (フライアッシュ) のアルカリ量 4 %以下では混合比 5 %以上で膨張が抑制される ($C-5-0.8$, $G-5-0.8$, $L-5-0.8$)。
- 3) C のアルカリ量 1.2 %, F のアルカリ量 3 %以下であれば混合比 15 %で抑制される ($C-15-1.2$)。ただし ($M-15-1.2$) は $K=4.19 \text{ kg/m}^3$ であったが, 6 ヶ月で 0.1 %以上の膨張を生じた。
- 4) C のアルカリ量 2.34 %, F のアルカリ量 2 %以上であれば混合比 30 %でも膨張する。
- 5) C のアルカリ量 2.34 %, F のアルカリ量 1 %以下であれば混合比 30 %でも抑制される。

なお, $K=4.2 \text{ kg/m}^3$ という数値は我が国のアルカリ総量規制では 3 kg/m^3 として数値に相当するものである。また (2) 式からは 5.5 %以上のアルカリを含むフライアッシュを混合しても抑制効果がないことがわかる。さらに (2) 式からセメントのアルカリ量が 1.2 %程度, フライアッシュのアルカリ量は 4 %程度に高い場合でも 20 %も置換すれば, セメント量がかなり多くても抑制効果が期待できることや, セメントのアルカリ量が 0.8 %程度に下がれば, 非常に少ないフライアッシュ混合比でも反応抑制効果のあることがわかる。

4. ま と め

本研究に用いた実験は比較的反應速度の速い輝石安山岩碎石 1 種類を用いた結果ではあるが, 次のようなことが得られた。

- 1) フライアッシュ中の成分は, ASR 抑制効果に影響をおよぼす。
- 2) フライアッシュ中の R_2O は, ASR を増進させる成分である。
- 3) フライアッシュ中の SiO_2 (石英やムライト) は, 反応を抑制する成分である。
- 4) セメントから供給されるアルカリの量も膨張抑制に必要なフライアッシュ置換量に影響する。
- 5) フライアッシュ置換によりモルタルバーの膨張が抑制されるかどうかは (2) 式でかなりよく判定できる。

この式を基にして考えれば, 我が国産のフライアッシュを 20 %程度混合すれば, セメントのアルカリ量が相当大きくとも通常のセメント量程度であれば ASR が抑制でき, また, セメントのアルカリ量が 0.8 %程度に下がればさらに少ないフライアッシュの混合比でアルカリ骨材反応を抑制することが可能

と推定される。

〔参考文献〕

- 〔1〕 川村満紀代表：ポゾランのアルカリ骨材反応による膨張防止効果とその機構に関する研究，昭和61年度科学研究費補助金研究成果報告書， pp 28.
- 〔2〕 石井，蒔田，小林，小野：高炉スラグ粉末，フライアッシュによる ASR 膨張抑制効果に関する実験的検討，第 8 回 JCI 年講，1986.
- 〔3〕 小林，小野，河野，佐々木：各種アルカリがアルカリ骨材反応に及ぼす影響，第 7 回 JCI 年講
- 〔4〕 Revised guidlines for avoiding Alkali Silica Reaction. BRE News of Construction Research. Febururary 1988. BRE.

表-Ⅲ-1 化学分析結果

(単位：%)

試料	強熱量	湿分	二酸化けい素 SiO ₂	三酸化アルミニウム Al ₂ O ₃	酸化第二鉄 Fe ₂ O ₃	酸化カルシウム CaO	酸化マグネシウム MgO	酸化ナトリウム Na ₂ O	酸化カリウム K ₂ O	三酸化硫黄 SO ₂	合計	酸化ナトリウム 等価量 R ₂ O
A	3.3	0.2	55.7	23.5	9.7	3.6	1.3	0.89	0.64	0.75	99.38	1.32
B	0.3	0.3	60.4	25.7	4.5	2.8	1.6	0.97	1.41	0.13	97.81	1.90
C	2.1	0.1	57.6	24.7	4.1	6.1	1.7	1.19	0.94	0.80	99.23	1.80
D	2.9	0.1	60.1	26.6	4.4	1.7	1.5	1.60	1.63	0.58	101.01	2.67
E	2.8	0.1	58.3	33.5	2.0	0.9	0.5	0.82	0.40	0.30	99.52	1.08
F	0.5	0.1	61.5	25.8	4.4	2.1	1.4	0.96	2.28	0.10	99.04	2.46
G	0.6	0.2	61.3	25.9	4.3	1.8	1.5	0.90	1.76	0.20	98.26	2.06
H	3.6	0.1	60.6	23.0	4.6	3.3	1.7	0.77	0.91	0.61	99.09	1.37
I	2.1	0.1	66.9	23.0	4.1	2.2	0.6	0.32	0.79	0.12	100.13	0.84
J	2.3	0.2	60.7	26.0	6.0	2.0	0.6	0.78	0.98	0.21	99.57	1.42
K	0.5	0.0	51.6	23.9	7.5	9.0	1.6	0.83	1.19	2.42	98.54	1.61
L	2.3	0.1	59.4	24.9	3.5	3.6	1.5	2.28	1.43	0.22	99.13	3.22
M	1.0	0.1	50.4	27.4	5.9	8.1	2.4	2.20	1.16	0.31	98.87	2.96
N	2.9	0.1	52.2	26.3	5.1	5.1	1.9	2.35	1.28	0.78	97.91	3.19

表-Ⅲ-2 物理試験結果

試料	比重	ブレン比 表面積 (cm^2/g)	44 μm フ ルイ 残分 (%)	単 位 水量比 (%)	曲げ強度 (kyf/cm^2)			圧縮強度 (kyf/cm^2)			圧縮強度比 (%)		
					7日	28日	91日	7日	28日	91日	7日	28日	91日
A	2.36	4,820	4.0	99	45	59	77	200	312	447	77.8	77.8	97.2
B	2.20	3,950	5.4	94	45	62	79	215	344	448	83.7	85.8	97.4
C	2.08	2,910	23.8	98	39	54	67	169	271	385	65.8	67.6	83.7
D	2.24	6,110	3.8	99	48	65	87	211	340	531	82.1	84.8	115.4
E	2.27	4,460	0.6	97	46	63	72	224	338	471	87.2	84.3	102.4
F	2.18	3,220	3.2	95	47	63	79	217	331	476	84.4	82.5	103.5
G	2.09	3,500	15.4	97	37	59	77	190	300	444	73.9	74.8	96.5
H	2.25	4,330	4.6	99	44	58	75	193	302	424	75.1	75.3	92.2
I	2.26	4,690	9.4	99	39	54	69	179	278	391	69.6	69.3	85.0
J	2.24	3,400	11.7	96	41	59	72	210	323	430	81.7	80.5	93.5
K	2.36	3,250	3.0	94	43	57	83	202	318	480	78.6	79.3	104.3
L	2.16	3,780	15.6	99	39	56	71	178	285	406	69.3	71.1	88.3
M	2.21	3,000	23.0	96	42	56	67	189	290	408	73.5	72.3	88.7
N	2.24	4,000	11.6	96	46	57	78	204	319	471	79.4	79.6	102.4

表-III-3 非結晶質成分等の定量及び推定結果

試料	結晶鉱物含有量 (%)				結晶質成分含有量 (%)				非結晶質成分含有量 (%)			
	ムライト	石英	ヘマタイト	マグネタイト	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	合計	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	合計
A	6.7	16.5	0.4	0.3	18.4	4.8	0.8	24.0	37.3	18.7	8.9	64.9
B	4.4	9.2	0.0	0.0	10.4	3.2	0.0	13.6	50.0	22.5	4.5	77.0
C	4.1	10.5	0.0	0.0	11.6	3.0	0.0	14.6	46.0	21.7	4.1	71.8
D	4.1	11.6	0.2	0.0	12.7	3.0	0.2	15.9	47.4	23.6	4.2	75.2
E	13.7	13.7	0.5	0.0	17.5	9.9	0.5	27.9	40.8	23.6	1.5	65.9
F	5.1	8.8	0.0	0.0	10.2	3.7	0.0	13.9	51.3	22.1	4.4	77.8
G	5.7	12.5	0.0	0.0	14.1	4.1	0.0	18.2	47.2	21.8	4.3	73.3
H	4.6	10.4	0.0	0.0	11.7	3.3	0.0	15.0	48.9	19.7	4.6	73.2
I	6.3	20.7	0.0	0.4	22.5	4.5	0.6	27.6	44.4	18.5	3.5	66.4
J	7.8	9.3	0.2	0.0	11.5	5.6	0.2	17.3	49.2	20.4	5.8	75.4
K	3.6	7.5	0.5	0.0	8.5	2.6	0.5	11.6	43.1	21.3	7.0	71.4
L	5.5	12.5	0.2	0.0	14.0	4.0	0.2	18.2	45.4	20.9	3.3	69.6
M	2.8	6.0	0.1	0.0	6.8	2.0	0.1	8.9	43.6	25.4	5.8	74.8
N	1.9	5.8	0.0	0.0	6.3	1.4	0.0	7.7	45.9	24.9	5.1	77.9

ムライト : $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 72:28$

石英 : $\alpha\text{-SiO}_2$

ヘマタイト : $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

マグネタイト : Fe_3O_4 $1.5 \times \text{Fe}_3\text{O}_4 = \text{Fe}_2\text{O}_3$

表-III-4 モルタルバー試験結果

フリーズ	FA 種別	配合番号	セメント アルカリ (%)	長さ変化率(%)									フライアッシュ置換率 (%)					骨材混 合率(%)	
				材 令															
				2週	4週	2カ月	3カ月	5カ月	6ヶ月	8カ月	10カ月	1年	5	10	15	20	30	G1	G2
I	A	A-10-1.2	1.2	0.0093	0.0100	0.0217	0.0255	0.0395	0.0574	0.0607	0.0586	0.0584		●				100	0
		A-20-1.2	1.2	0.0071	0.0074	0.0086	0.0110	0.0184	0.0207	0.0224	0.0181	0.0174				●		100	0
		A-30-1.2	1.2	0.0036	0.0002	0.0029	0.0048	0.0102	0.0100	0.0121	0.0088	0.0066					●	100	0
	B	B-10-1.2	1.2	0.0062	0.0107	0.0217	0.0302	0.0621	0.0857	0.1012	0.1076	0.1107		●				100	0
		B-20-1.2	1.2	0.0024	0.0026	0.0074	0.0100	0.0188	0.0224	0.0219	0.0202	0.0186				●		100	0
		B-30-1.2	1.2	0.0034	0.0048	0.0064	0.0071	0.0150	0.0195	0.0188	0.0164	0.0157					●	100	0
	C	C-10-1.2	1.2	0.0114	0.0188	0.0331	0.0636	0.1041	0.1150	0.1166	0.1164	0.1150		●				100	0
		C-15-1.2	1.2	0.0086	0.0107	0.0186	0.0243	0.0564	0.0805	0.1138	0.1174				●			100	0
		C-20-1.2	1.2	0.0095	0.0098	0.0124	0.0176	0.0271	0.0266	0.0266	0.0262	0.0245				●		100	0
		C-30-1.2	1.2	0.0088	0.0071	0.0098	0.0119	0.0119	0.0169	0.0171	0.0136	0.0171					●	100	0
		C-5-0.8	0.8	0.0093	0.0143	0.0214	0.0271		0.0286	0.0348	0.0676	0.0848	●					100	0
		C-10-0.8	0.8	0.0071	0.0079	0.0100	0.0129		0.0159	0.0155	0.0174	0.0162		●				100	0
		C-20-0.8	0.8	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050		0.0059	0.0045	0.0052	0.0045				●		100	0
	D	D-10-1.2	1.2	0.0076	0.0119	0.0255	0.0533	0.0998	0.1240	0.1395	0.1486	0.1521		●				100	0
		D-20-1.2	1.2	0.0057	0.0050	0.0110	0.0157	0.0248	0.0276	0.0288	0.0274	0.0298				●		100	0
		D-30-1.2	1.2	0.0026	0.0026	0.0036	0.0105	0.0155	0.0188	0.0216	0.0216	0.0238					●	100	0
	E	E-10-1.2	1.2	0.0069	0.0088	0.0169	0.0209	0.0457	0.0593	0.0707	0.0693	0.0738		●				100	0
		E-20-1.2	1.2	0.0038	0.0038	0.0067	0.0098	0.0162	0.0166	0.0188	0.0145	0.0176				●		100	0
		E-30-1.2	1.2	0.0059	0.0041	0.0052	0.0093	0.0145	0.0138	0.0157	0.0112	0.0138					●	100	0
	F	F-10-1.2	1.2	0.0109	0.0152	0.0231	0.0310	0.0655	0.0869	0.1059	0.1091	0.1126		●				100	0
		F-20-1.2	1.2	0.0121	0.0126	0.0148	0.0219	0.0252	0.0241	0.0284	0.0259	0.0264				●		100	0
		F-30-1.2	1.2	0.0076	0.0045	0.0090	0.0121	0.0157	0.0166	0.0202	0.0174	0.0198					●	100	0
	G	G-10-1.2	1.2	0.0074	0.0136	0.0250	0.0443	0.1166	0.1316	0.1452	0.1521	0.1534		●				100	0
		G-20-1.2	1.2	0.0088	0.0048	0.0110	0.0143	0.0224	0.0252	0.0252	0.0229	0.0241				●		100	0
		G-30-1.2	1.2	0.0112	0.0076	0.0095	0.0105	0.0193	0.0198	0.0207	0.0171	0.0188					●	100	0
		G-5-0.8	0.8	0.0036	0.0109	0.0171	0.0214		0.0231	0.0305	0.0495	0.0664	●					100	0
		G-10-0.8	0.8	0.0064	0.0071	0.0114	0.0121		0.0126	0.0159	0.0198	0.0205		●				100	0
		G-20-0.8	0.8	0.0043	0.0050	0.0057	0.0057		0.0076	0.0066	0.0071	0.0066				●		100	0
	H	H-10-1.2	1.2	0.0155	0.0162	0.0205	0.0236	0.0329	0.0374	0.0386	0.0364	0.0364		●				100	0
		H-20-1.2	1.2	0.0084	0.0057	0.0098	0.0114	0.0191	0.0191	0.0209	0.0188	0.0188				●		100	0
		H-30-1.2	1.2	0.0005	0.0012	0.0019	0.0026	0.0095	0.0107	0.0105	0.0074	0.0079					●	100	0
	I	I-10-1.2	1.2	0.0064	0.0105	0.0179	0.0212	0.0391	0.0445	0.0495	0.0471	0.0486		●				100	0
		I-20-1.2	1.2	0.0062	0.0134	0.0193	0.0207	0.0259	0.0274	0.0324	0.0298	0.0326				●		100	0
		I-30-1.2	1.2	0.0071	0.0100	0.0093	0.0107	0.0150	0.0133	0.0162	0.0145	0.0166					●	100	0
	J	J-10-1.2	1.2	0.0136	0.0171	0.0236	0.0250	0.0371	0.0474	0.0509	0.0502	0.0486		●				100	0
		J-20-1.2	1.2	0.0105	0.0095	0.0114	0.0121	0.0221	0.0241	0.0231	0.0221	0.0212				●		100	0
J-30-1.2		1.2	0.0062	0.0091	0.0102	0.0109	0.0174	0.0164	0.0157	0.0119	0.0105					●	100	0	
K	K-10-1.2	1.2	0.0126	0.0159	0.0362	0.0669	0.1019	0.1174	0.1179	0.1231	0.1243		●				100	0	
	K-20-1.2	1.2	0.0066	0.0048	0.0116	0.0138	0.0248	0.0284	0.0291	0.0276	0.0274				●		100	0	
	K-30-1.2	1.2	0.0009	0.0007	0.0036	0.0059	0.0148	0.0186	0.0112	0.0124	0.0112					●	100	0	
L	L-10-1.2	1.2	0.0124	0.0162	0.0324	0.0869	0.1066	0.1279	0.1266	0.1291	0.1276		●				100	0	
	L-15-1.2	1.2	0.0071	0.0093	0.0164	0.0221	0.0264	0.0557	0.0614	0.0845				●			100	0	
	L-20-1.2	1.2	0.0057	0.0086	0.0145	0.0159	0.0259	0.0291	0.0266	0.0245	0.0241				●		100	0	
	L-30-1.2	1.2	0.0069	0.0105	0.0095	0.0107	0.0198	0.0228	0.0202	0.0176	0.0171					●	100	0	
	L-5-0.8	0.8	0.0064	0.0129	0.0207	0.0257		0.0271	0.0341	0.0664	0.0814	●					100	0	
	L-10-0.8	0.8	0.0029	0.0071	0.0114	0.0114		0.0119	0.0136	0.0152	0.0181		●				100	0	
	L-20-0.8	0.8	0.0029	0.0029	0.0021	0.0036		0.0036	0.0026	0.0043	0.0038				●		100	0	
M	M-10-1.2	1.2	0.0134	0.0252	0.0945	0.1266	0.1612	0.1616	0.1676	0.1655	0.1662		●				100	0	
	M-15-1.2	1.2	0.0086	0.0114	0.0236	0.0566	0.1307	0.1541	0.1731	0.1831				●			100	0	
	M-20-1.2	1.2	0.0034	0.0069	0.0166	0.0191	0.0234	0.0255	0.0264	0.0234	0.0236				●		100	0	
	M-30-1.2	1.2	0.0079	0.0091	0.0226	0.0231	0.0200	0.0229	0.0234	0.0214	0.0205					●	100	0	
N	N-10-1.2	1.2	0.0121	0.0191	0.0391	0.1119	0.1676	0.2034	0.2036	0.2219	0.2224		●				100	0	
	N-15-1.2	1.2	0.0050	0.0064	0.0171	0.0259	0.0643	0.0774	0.1052	0.1369				●			100	0	
	N-20-1.2	1.2	0.0038	0.0084	0.0129	0.0176	0.0274	0.0312	0.0286	0.0269	0.0293				●		100	0	
	N-30-1.2	1.2	0.0038	0.0031	0.0069	0.0100	0.0131	0.0171	0.0238	0.0202	0.0224					●	100	0	
II	D4G2	S-30-1.2	1.2	0.0000	0.0052	0.0212	0.0298	0.0407	0.0436	0.0482	0.0448	0.0462						100	0
		S-40-1.2	1.2	0.0036	0.0045	0.0121	0.0190	0.0255	0.0262	0.0309	0.0288	0.0305						100	0
		S-50-1.2	1.2	0.0019	0.0050	0.0090	0.0133	0.0207	0.0243	0.0250	0.0236	0.0252						100	0
		S-65-1.2	1.2	0.0066	0.0040	0.0019	0.0067	0.0131	0.0171	0.0179	0.0143	0.0150						100	0
III	A C J	AP-20-1.2	1.2	0.0050	0.0066	0.0052	0.0009	0.0074	0.0043	0.0102	0.0076	0.0079				●		50	50
		CP-20-1.2	1.2	0.0005	0.0169	0.0045	0.0098	0.0184	0.0176	0.0209	0.0202	0.0209				●		50	50
		JP-20-1.2	1.2	0.0005	0.0014	0.0024	0.0052	0.0134	0.0141	0.0145	0.0124	0.0131				●		50	50
	C G L	CP-10-0.8	0.8	0.0057	0.0100	0.0136	0.0164		0.0191	0.0250	0.0300	0.0309		●				50	50
		GP-10-0.8	0.8	0.0050	0.0079	0.0129	0.0157		0.0274	0.0545	0.1221	0.1412		●				50	50
		LP-10-0.8	0.8	0.0064	0.0086	0.0129	0.0150		0.0162	0.0214	0.0484	0.0529		●				50	50
IV		PC-1.2-0	1.2	0.0309	0.1212	0.2712	0.2895	0.3310	0.3269	0.3369	0.3391	0.3376						100	0
		PC-1.2-50	1.2	0.0136	0.0829	0.3150	0.4250		0.5519	0.5698	0.5755	0.5748						50	50
		PC-0.8-0	0.8	0.0057	0.0150	0.0321	0.1114		0.3938	0.4424	0.4629	0.4724						100	0
		PC-0.8-50	0.8	0.0079	0.0157	0.0593	0.1793		0.4371	0.4834	0.5084	0.5150						50	50

表-III-5 化学成分とアルカリ骨材反応試験結果（モルタルバー試験）との相関関係一覧表

(相関係数)

x 軸 y 軸		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	R ₂ O
10%	2週	-0.4486	-0.2926	0.2727	0.5298	0.4174	0.3348	-0.0082	0.3124	0.2680
	4週	-0.5710	-0.1210	0.1145	0.6820	0.6786	0.6041	0.1841	0.1348	0.5645
	2月	-0.6877	0.0923	0.1933	0.7067	0.6938	0.6337	0.0658	0.0980	0.5415
	3月	-0.7242	0.0455	0.0672	0.6900	0.7404	0.8855	0.1905	0.2190	0.7996
	5月	-0.6438	-0.1061	-0.0183	0.5733	0.7341	0.8116	0.3591	0.2018	0.8056
	6月	-0.6230	0.1158	-0.0198	0.4996	0.7012	0.8271	0.4133	0.2028	0.8406
20%	2週	0.1016	-0.2946	0.1796	0.0563	0.0695	-0.0877	0.3703	-0.1079	0.0786
	4週	0.3295	-0.3669	-0.0011	-0.0485	-0.2213	-0.0560	0.1154	-0.2511	0.0006
	2月	0.3665	-0.3543	0.1106	-0.1882	-0.2198	-0.4148	0.3068	-0.0262	-0.2135
	3月	0.1123	-0.3562	-0.0635	0.2663	0.1382	0.2272	0.2424	-0.1398	0.2826
	5月	0.0597	-0.2250	-0.1482	0.2176	0.2494	0.2857	0.4647	-0.1357	0.4204
	6月	-0.2018	-0.3739	0.0657	0.4209	0.3576	0.5287	0.4172	0.2637	0.5988
30%	2週	0.2236	0.2255	-0.3284	-0.1641	-0.0978	0.0764	0.2312	-0.5223	0.1553
	4週	0.2898	0.0989	-0.3817	-0.0908	-0.1685	0.1947	0.1048	-0.5377	0.1994
	2月	-0.2213	0.1577	-0.0983	0.3310	0.3311	0.4132	0.1473	-0.3618	0.3948
	3月	-0.2488	0.3187	-0.1829	0.2677	0.3109	0.4983	0.2163	-0.3359	0.4917
	5月	0.0127	0.2677	-0.2635	0.0001	0.0610	0.3608	0.4377	-0.3181	0.4709
	6月	-0.2543	0.1572	-0.2369	0.3047	0.4736	0.6113	0.6241	-0.0713	0.7501

表-Ⅲ-6 3元回帰分析結果 (CaO, MgO, Na₂O)

(モルタルバー試験結果(置換率10%)と化学成分3成分との3元回帰分析)

試料	3ヶ月			6ヶ月		
	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差
A	0.0255	0.0388	-0.0133	0.0574	0.0819	-0.0245
B	0.0302	0.0365	-0.0063	0.0857	0.0891	-0.0034
C	0.0636	0.0656	-0.0020	0.1150	0.1105	0.0045
D	0.0533	0.0556	-0.0023	0.1240	0.1158	0.0082
E	0.0209	0.0211	-0.0002	0.0593	0.0574	0.0019
F	0.0310	0.0322	-0.0012	0.0869	0.0832	0.0037
G	0.0443	0.0276	0.0167	0.1316	0.0812	0.0504
H	0.0236	0.0312	-0.0076	0.0374	0.0821	-0.0447
I	0.0212	0.0085	0.0127	0.0445	0.0376	0.0069
J	0.0250	0.0260	-0.0010	0.0474	0.0600	-0.0126
K	0.0669	0.0691	-0.0022	0.1174	0.0984	0.0190
L	0.0869	0.0950	-0.0081	0.1279	0.1548	-0.0269
M	0.1266	0.1176	0.0090	0.1616	0.1783	-0.0167
N	0.1119	0.1063	0.0056	0.2034	0.1692	0.0342
回帰分析結果	決定係数: $R^2=0.9427$ X_1 の係数: 6.18×10^{-8} X_2 の係数: -2.23×10^{-8} X_3 の係数: 0.0408 定数: -0.0168			決定係数: $R^2=0.7417$ X_1 の係数: 2.63×10^{-8} X_2 の係数: 0.0174 X_3 の係数: 0.0499 定数: 5.41×10^{-8}		

X_1 : CaO

X_2 : MgO

X_3 : Na₂O

表-Ⅲ-7 3元回帰分析結果 (CaO, MgO, R₂O)

(モルタルバー試験結果 (置換率10%) と化学成分3成分との3元回帰分析)

試料	3ヶ月			6ヶ月		
	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差
A	0.0255	0.0297	-0.0042	0.0574	0.0668	-0.0094
B	0.0302	0.0388	-0.0086	0.0857	0.0886	-0.0029
C	0.0636	0.0626	0.0010	0.1150	0.1043	0.0107
D	0.0533	0.0565	-0.0032	0.1240	0.1197	0.0043
E	0.0209	0.0080	0.0129	0.0593	0.0415	0.0178
F	0.0310	0.0541	-0.0231	0.0869	0.1124	-0.0255
G	0.0443	0.0368	0.0075	0.1316	0.0905	0.0411
H	0.0236	0.0241	-0.0005	0.0374	0.0655	-0.0281
I	0.0212	0.0099	0.0113	0.0445	0.0376	0.0069
J	0.0250	0.0277	-0.0027	0.0474	0.0647	-0.0173
K	0.0669	0.0823	-0.0154	0.1174	0.1140	0.0034
L	0.0869	0.0914	-0.0045	0.1279	0.1586	-0.0307
M	0.1266	0.1105	0.0161	0.1616	0.1705	-0.0089
N	0.1119	0.0985	0.0134	0.2034	0.1649	0.0385
回帰分析結果	決定係数: $R^2 = 0.8934$ X_1 の係数: 8.58×10^{-3} X_2 の係数: -0.0119 X_3 の係数: -0.0337 定数: -0.0302			決定係数: $R^2 = 0.7890$ X_1 の係数: 6.37×10^{-3} X_2 の係数: -4.59×10^{-3} X_3 の係数: 0.0488 定数: -0.0147		

 X_1 : CaO X_2 : MgO X_3 : R₂O

表-Ⅲ-8 3元回帰分析結果 (SiO₂, CaO, Na₂O)

(モルタルバー試験結果 (置換率10%) と化学成分3成分との3元回帰分析)

試料	3ヶ月			6ヶ月		
	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差
A	0.0255	0.0364	-0.0109	0.0574	0.0844	-0.0270
B	0.0302	0.0376	-0.0074	0.0857	0.0822	0.0035
C	0.0636	0.0672	-0.0036	0.1150	0.1080	0.0070
D	0.0533	0.0560	-0.0027	0.1240	0.1131	0.0109
E	0.0209	0.0170	0.0039	0.0593	0.0690	-0.0097
F	0.0310	0.0331	-0.0021	0.0869	0.0784	0.0085
G	0.0443	0.0285	0.0158	0.1316	0.0742	0.0574
H	0.0236	0.0328	-0.0092	0.0374	0.0729	-0.0355
I	0.0212	0.0110	0.0102	0.0445	0.0394	0.0051
J	0.0250	0.0244	0.0006	0.0474	0.0688	-0.0214
K	0.0669	0.0678	-0.0009	0.1174	0.1032	0.0142
L	0.0869	0.0967	-0.0098	0.1279	0.1575	-0.0296
M	0.1266	0.1177	0.0089	0.1616	0.1760	-0.0144
N	0.1119	0.1048	0.0071	0.2034	0.1723	0.0311
回帰分析結果	決定係数: $R^2 = 0.9446$ X_1 の係数: 6.92×10^{-4} X_2 の係数: 6.79×10^{-8} X_3 の係数: 0.0415 定数: -0.0635			決定係数: $R^2 = 0.7300$ X_1 の係数: -7.96×10^{-4} X_2 の係数: 3.49×10^{-8} X_3 の係数: 0.0548 定数: 0.0674		

X_1 : SiO₂

X_2 : CaO

X_3 : Na₂O

表-III-9 3元回帰分析結果 (SiO₂, CaO, R₂O)

(モルタルバー試験結果(置換率10%)と化学成分3成分との3元回帰分析)

試料	3ヶ月			6ヶ月		
	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差
A	0.0255	0.0352	-0.0097	0.0574	0.0762	-0.0188
B	0.0302	0.0420	-0.0118	0.0857	0.0884	-0.0027
C	0.0636	0.0615	0.0021	0.1150	0.0995	0.0155
D	0.0533	0.0574	-0.0041	0.1240	0.1202	0.0038
E	0.0209	0.0099	0.0110	0.0593	0.0522	0.0071
F	0.0310	0.0524	-0.0214	0.0869	0.1087	-0.0218
G	0.0443	0.0397	0.0046	0.1316	0.0907	0.0409
H	0.0236	0.0298	-0.0062	0.0374	0.0659	-0.0285
I	0.0212	0.0020	0.0192	0.0445	0.0244	0.0201
J	0.0250	0.0235	0.0015	0.0474	0.0644	-0.0170
K	0.0669	0.0794	-0.0125	0.1174	0.1132	0.0042
L	0.0869	0.0848	0.0021	0.1279	0.1512	-0.0233
M	0.1266	0.1132	0.0134	0.1616	0.1733	-0.0117
N	0.1119	0.1002	0.0117	0.2034	0.1712	0.0322
回帰分析結果	決定係数: $R^2 = 0.8900$ X_1 の係数: -1.03×10^{-8} X_2 の係数: 5.88×10^{-8} X_3 の係数: 0.0281 定数: 0.0345			決定係数: $R^2 = 0.8046$ X_1 の係数: -2.40×10^{-8} X_2 の係数: 2.65×10^{-8} X_3 の係数: 0.0442 定数: 0.1420		

 X_1 : SiO₂ X_2 : CaO X_3 : R₂O

表-Ⅲ-10 物理的性質とアルカリ骨材反応試験結果（モルタルバー試験）との相関関係一覧表

（相関係数）

x 軸 y 軸		比 重	ブレン比 表 面 積	44 μ m フルイ残分	単 位 水 量 比	圧 縮 強 度 比		
						7 日	28 日	91 日
10%	2週	0.0544	-0.4675	0.2950	-0.0467	-0.2393	-0.2900	-0.2461
	4週	-0.2972	-0.6340	0.7141	-0.2133	-0.3843	-0.4229	-0.3225
	2月	-0.0928	-0.4247	0.6167	-0.2259	-0.2647	-0.3088	-0.2186
	3月	-0.1822	-0.3338	0.6128	-0.1548	-0.3285	-0.3031	-0.0842
	5月	-0.3312	-0.3132	0.5845	-0.2271	-0.2592	-0.2086	0.0660
	6月	-0.3047	-0.2389	0.4838	-0.2497	-0.1631	-0.0926	0.1786
20%	2週	-0.2537	-0.2965	0.3320	0.0968	-0.1293	-0.1806	-0.1060
	4週	-0.1510	-0.2018	0.2667	0.2667	-0.3844	-0.4832	-0.4216
	2月	-0.1959	-0.2378	0.4802	0.1372	-0.5558	-0.6170	-0.4281
	3月	-0.3343	-0.2382	0.4124	0.0310	-0.3930	-0.4393	-0.1884
	5月	-0.3423	-0.2449	0.4922	0.1374	-0.5025	-0.4488	-0.1258
	6月	-0.2020	-0.1454	0.4385	-0.0705	-0.4227	-0.3234	-0.0143
30%	2週	-0.7077	-0.4398	0.6294	0.0279	-0.3483	-0.4239	-0.4215
	4週	-0.5638	-0.3605	0.6669	0.0481	-0.4326	-0.4769	-0.5751
	2月	-0.4303	-0.5548	0.7600	-0.1874	-0.3372	-0.4289	-0.4868
	3月	-0.5232	-0.4469	0.7749	-0.0878	-0.3444	-0.4048	-0.3479
	5月	-0.3918	-0.3095	0.4087	-0.2421	-0.0662	-0.0808	-0.0724
	6月	-0.4803	-0.3848	0.5180	-0.3719	-0.1494	-0.0688	0.0042

表-III-11 4元回帰分析結果 (SiO₂, CaO, Na₂O, 44 μ mフルイ残分)

(モルタルバー試験結果 (置換率10%) と化学成分3成分およびフルイ残分との4元回帰分析)

試料	3ヶ月			6ヶ月		
	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差
A	0.0255	0.0366	-0.0111	0.0574	0.0846	-0.0272
B	0.0302	0.0357	-0.0055	0.0857	0.0803	0.0054
C	0.0636	0.0732	-0.0096	0.1150	0.1144	0.0006
D	0.0533	0.0522	0.0011	0.1240	0.1091	0.0149
E	0.0209	0.0173	0.0036	0.0593	0.0694	-0.0101
F	0.0310	0.0301	0.0009	0.0869	0.0752	0.0117
G	0.0443	0.0341	0.0102	0.1316	0.0801	0.0515
H	0.0236	0.0304	-0.0068	0.0374	0.0704	-0.0330
I	0.0212	0.0103	0.0109	0.0445	0.0387	0.0058
J	0.0250	0.0284	-0.0034	0.0474	0.0730	-0.0256
K	0.0669	0.0627	0.0042	0.1174	0.0979	0.0195
L	0.0869	0.0949	-0.0080	0.1279	0.1557	-0.0278
M	0.1266	0.1213	0.0053	0.1616	0.1799	-0.0183
N	0.1119	0.1036	0.0083	0.2034	0.1712	0.0322
回帰分析結果	決定係数: $R^2 = 0.9547$ X_1 の係数: -1.08×10^{-4} X_2 の係数: 5.28×10^{-8} X_3 の係数: 0.0369 X_4 の係数: 6.33×10^{-4} 定数: -0.0118			決定係数: $R^2 = 0.7357$ X_1 の係数: -1.64×10^{-8} X_2 の係数: 1.90×10^{-8} X_3 の係数: 0.0500 X_4 の係数: 6.66×10^{-4} 定数: 0.1219		

X_1 : CaO

X_2 : MgO

X_3 : Na₂O

X_4 : 44 μ mふるい残分

表Ⅲ-12 4元回帰分析結果 (SiO₂, CaO, R₂O, 44μmフルイ残分)

(モルタルバー試験結果 (置換率10%) と化学成分3成分およびフルイ残分との4元回帰分析)

試料	3ヶ月			6ヶ月		
	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差	a 実測値	b 計算値	a-b 誤差
A	0.0255	0.0349	-0.0094	0.0574	0.0759	-0.0185
B	0.0302	0.0377	-0.0075	0.0857	0.0848	0.0009
C	0.0636	0.0736	-0.0100	0.1150	0.1098	0.0052
D	0.0533	0.0508	0.0025	0.1240	0.1146	0.0094
E	0.0209	0.0110	0.0099	0.0593	0.0531	0.0062
F	0.0310	0.0436	-0.0126	0.0869	0.1011	-0.0142
G	0.0443	0.0479	-0.0036	0.1316	0.0977	0.0339
H	0.0236	0.0256	-0.0020	0.0374	0.0623	-0.0249
I	0.0212	0.0022	0.0190	0.0445	0.0246	0.0199
J	0.0250	0.0306	-0.0056	0.0474	0.0704	-0.0230
K	0.0669	0.0669	0.0000	0.1174	0.1026	0.0148
L	0.0869	0.0851	0.0018	0.1279	0.1516	-0.0237
M	0.1266	0.1213	0.0053	0.1616	0.1802	-0.0186
N	0.1119	0.0997	0.0122	0.2034	0.1707	0.0327
回帰分析結果	決定係数: $R^2 = 0.9307$ X_1 の係数: -2.07×10^{-8} X_2 の係数: 3.32×10^{-8} X_3 の係数: 0.0233 X_4 の係数: 1.17×10^{-8} 定数: 0.1028			決定係数: $R^2 = 0.8197$ X_1 の係数: 3.28×10^{-8} X_2 の係数: 4.70×10^{-4} X_3 の係数: 0.0401 X_4 の係数: 9.94×10^{-4} 定数: 0.2002		

X_1 : CaO

X_2 : MgO

X_3 : Na₂O

X_4 : 44μmふるい残分

表-Ⅲ-13 非結晶質成分含有量とアルカリ骨材反応試験結果（モルタルバー試験）との相関関係一覧表

（相関係数）

x 軸 y 軸		結晶鉱物含有量				結晶質成分含有量				非結晶質成分含有量			
		ムライト	石 英	ヘマタイト	マグネタイト	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	合 計	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	合 計
10%	2週	-0.3761	-0.5686	-0.0427	-0.2228	-0.5756	-0.3782	-0.2955	-0.5578	0.1503	0.0043	0.3337	0.2852
	4週	-0.5937	-0.7035	-0.3140	-0.4038	-0.7357	-0.5944	-0.5208	-0.7558	0.1951	0.4333	0.2010	0.4907
	2月	-0.4697	-0.5377	-0.0762	-0.1916	-0.5646	-0.4716	-0.2203	-0.5772	-0.1489	0.5795	0.2382	0.2611
	3月	-0.6060	-0.5893	-0.1133	-0.2965	-0.6371	-0.6032	-0.3198	-0.6780	-0.1060	0.6492	0.1201	0.3295
	5月	-0.6121	-0.5870	-0.2005	-0.3698	-0.6346	-0.6067	-0.4259	-0.6819	-0.0105	0.7275	0.0432	0.4232
	6月	-0.6072	-0.5894	-0.1863	-0.3497	-0.6386	-0.6016	-0.4264	-0.6832	0.0169	0.7363	0.0446	0.4617
20%	2週	-0.0333	0.0627	-0.1876	0.0208	0.0559	0.0259	-0.1402	0.0432	0.3574	-0.4736	0.1499	0.1047
	4週	-0.1098	0.2656	-0.3665	0.1766	0.2205	-0.1132	0.0619	0.1261	0.1310	-0.3471	-0.0107	-0.0471
	2月	-0.4004	0.0953	-0.4125	-0.0776	0.0167	-0.4047	-0.0451	-0.1236	0.1143	-0.0478	-0.0602	0.0607
	3月	-0.4560	-0.0496	-0.4873	-0.1546	-0.1250	-0.4560	-0.2189	-0.2515	0.2207	0.1668	-0.1230	0.2441
	5月	-0.6266	-0.2004	-0.3904	-0.2806	-0.2918	-0.6237	-0.2821	-0.4313	0.2553	0.1434	-0.0277	0.3221
	6月	-0.6798	-0.2374	-0.2687	-0.2280	-0.3341	-0.6774	-0.2003	-0.4764	0.1574	0.1980	0.1002	0.3265
30%	2週	0.1653	0.1656	-0.3172	-0.1053	0.1778	0.1653	-0.1972	0.1757	0.0553	0.1243	-0.3169	-0.0368
	4週	0.0800	0.1583	-0.3157	-0.2444	0.1566	0.0791	-0.1551	0.1336	0.1597	0.0507	-0.3796	-0.0089
	2月	-0.2082	-0.2718	-0.3202	-0.2461	-0.2794	-0.2110	-0.2910	-0.2862	0.0687	0.4083	-0.0592	0.2254
	3月	-0.1792	-0.2832	-0.2358	-0.2949	-0.2858	-0.1792	-0.2682	-0.2794	0.0435	0.5789	-0.1521	0.2552
	5月	-0.0113	-0.1691	-0.0599	-0.4223	-0.1539	-0.0109	-0.2201	-0.1255	0.1989	0.3513	-0.2447	0.2210
	6月	-0.3933	-0.5000	-0.1523	-0.5793	-0.5204	-0.3881	-0.4680	-0.5283	0.2824	0.5815	-0.1664	0.4586

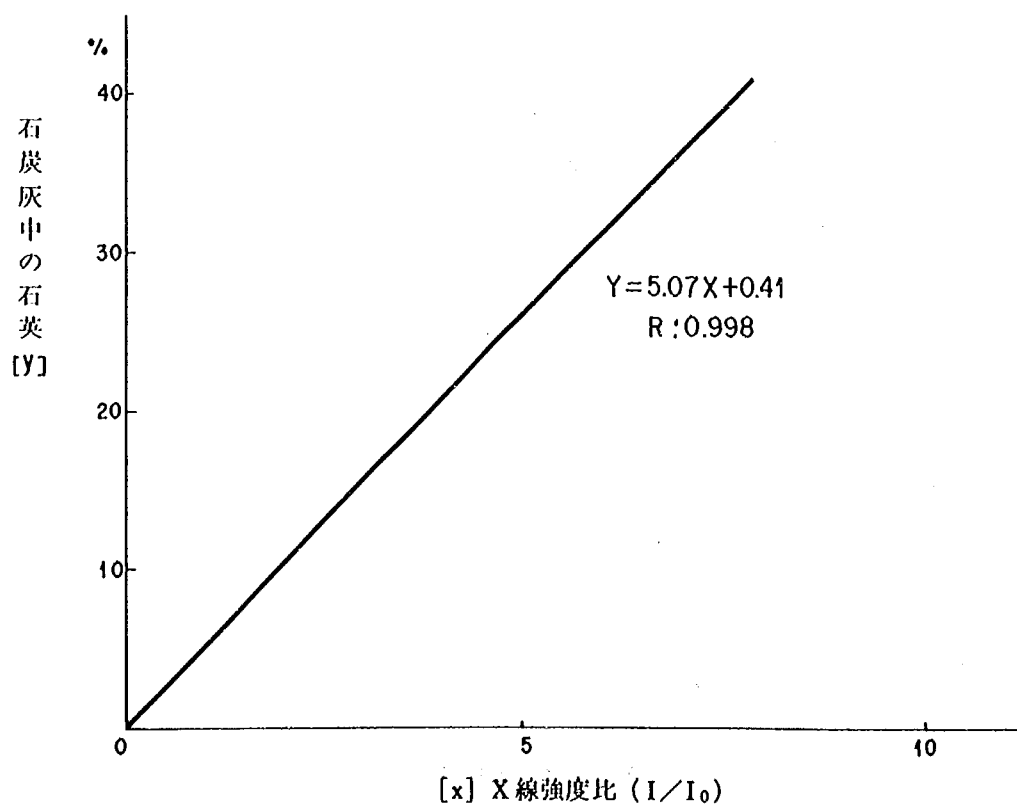
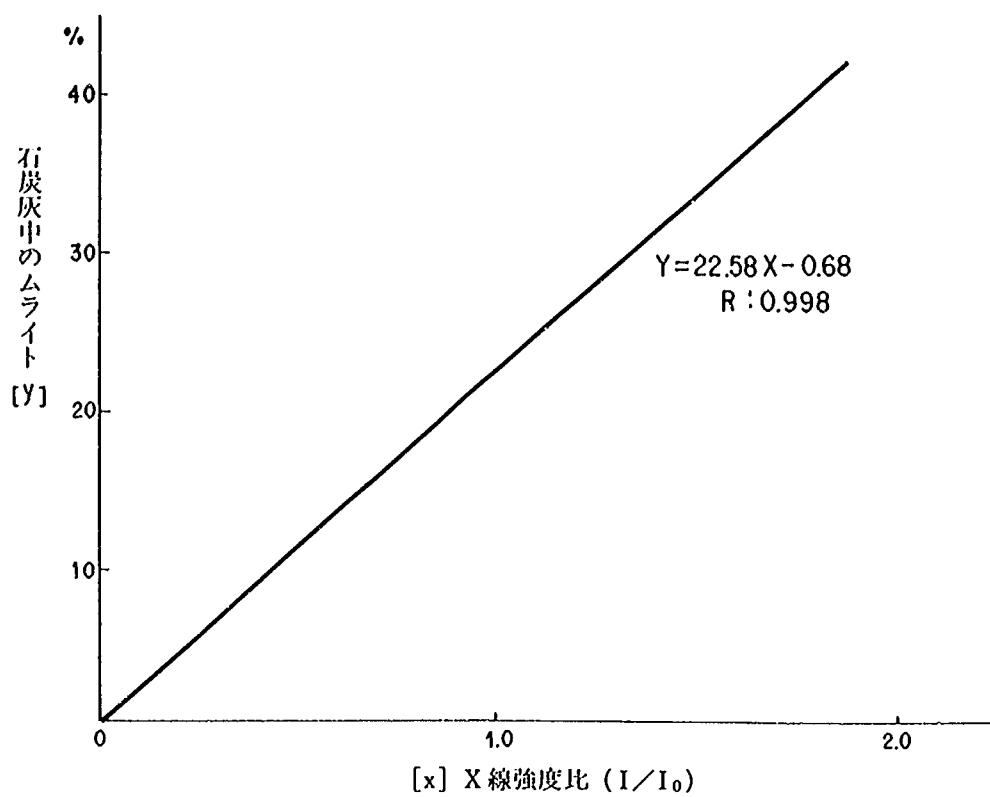
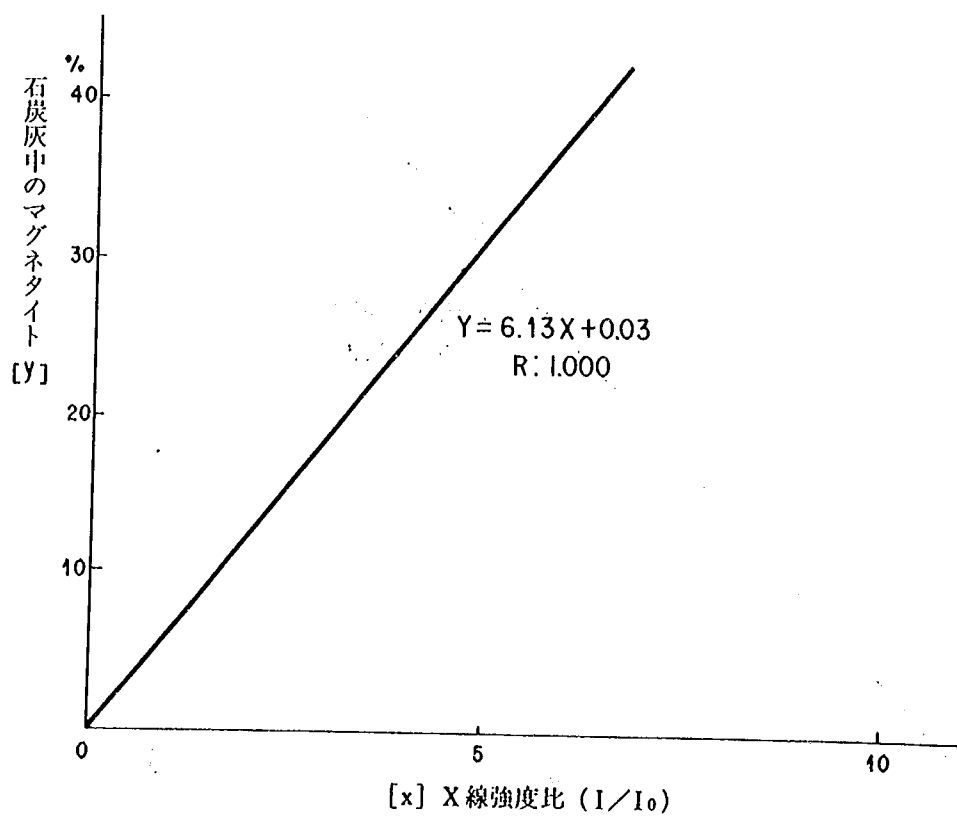
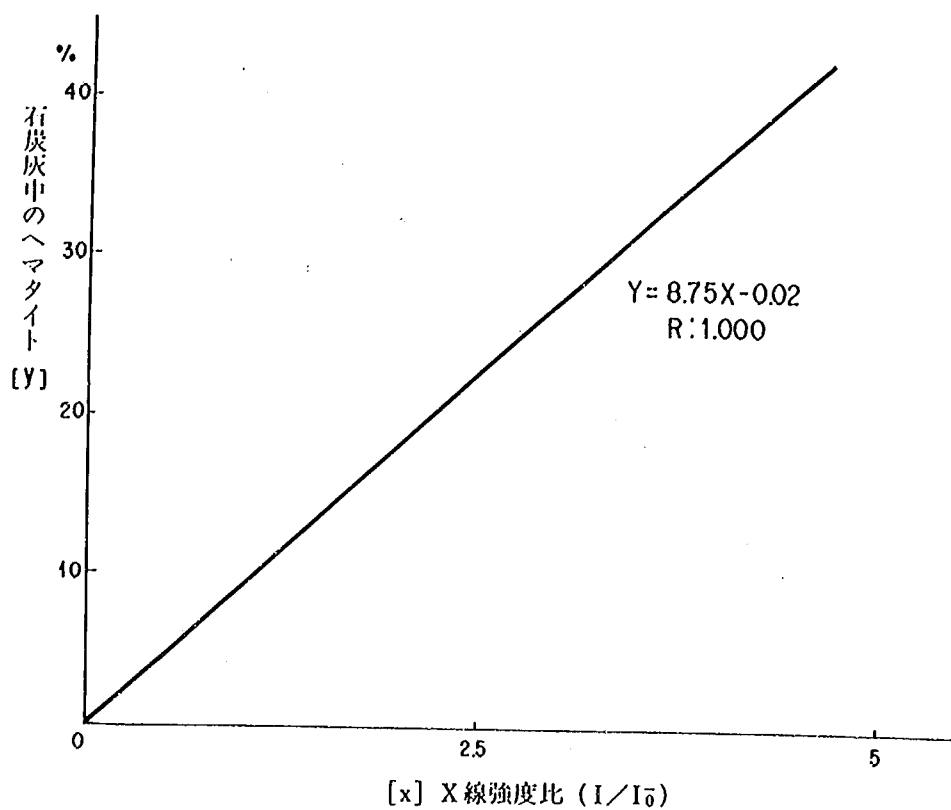


図-Ⅲ-1 フライアッシュのムライトおよび石英の検量線
 (内部標準物質: ZrO_2)



図ーⅢー2 フライアッシュのマグネタイトおよびヘマタイトの検量線
(内部標準物質: ZnO)

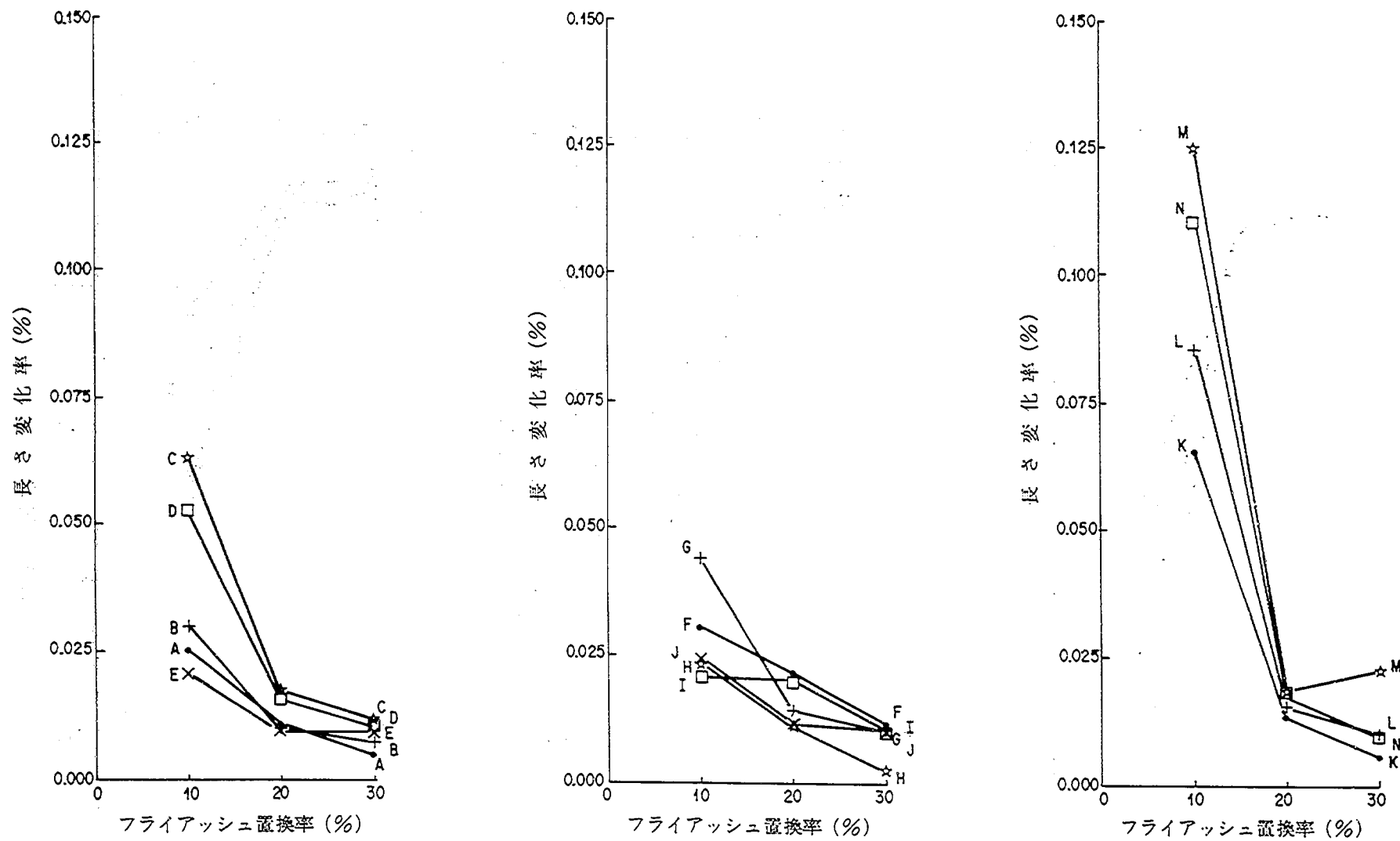


図-III-3 フライアッシュ置換率と長さ変化率との関係 (材令：3ヶ月，アルカリ量1.2%)

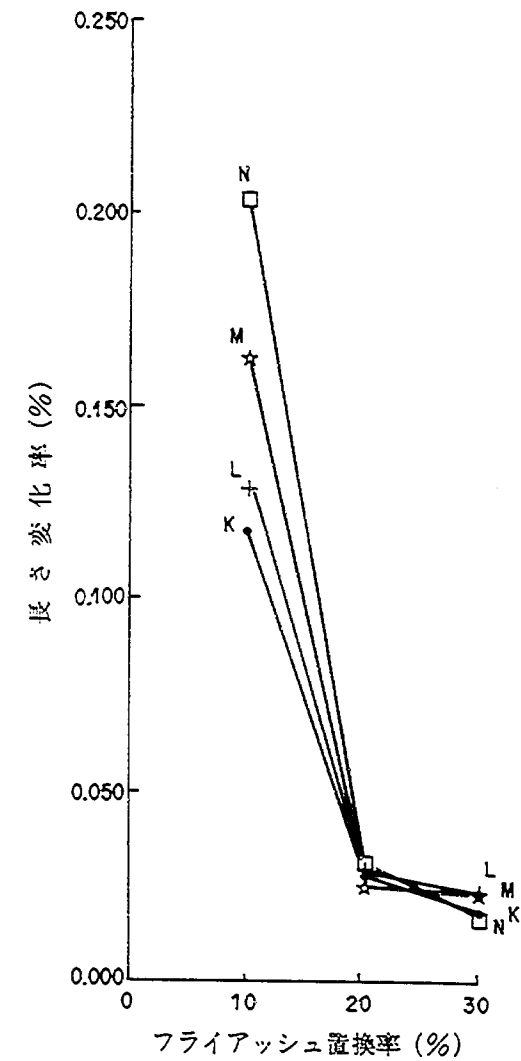
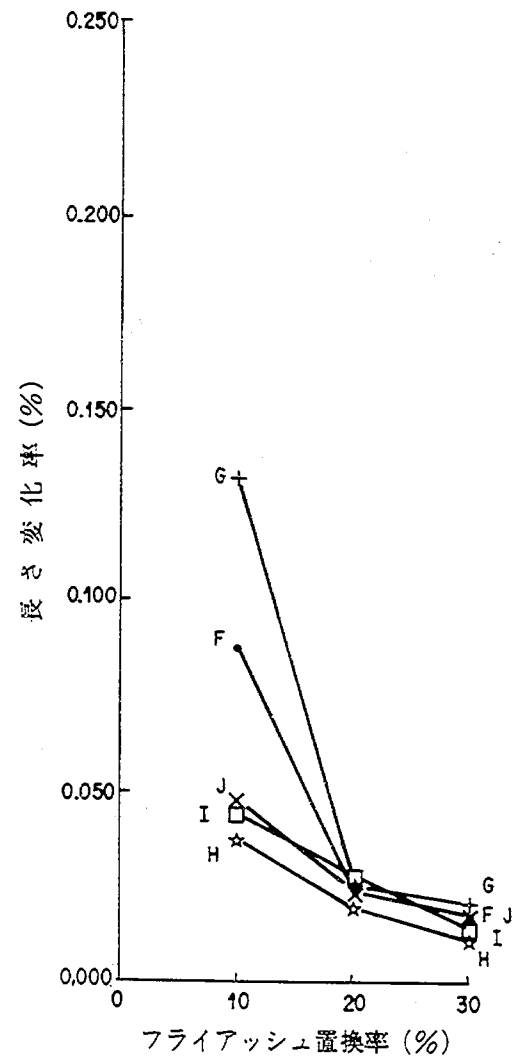
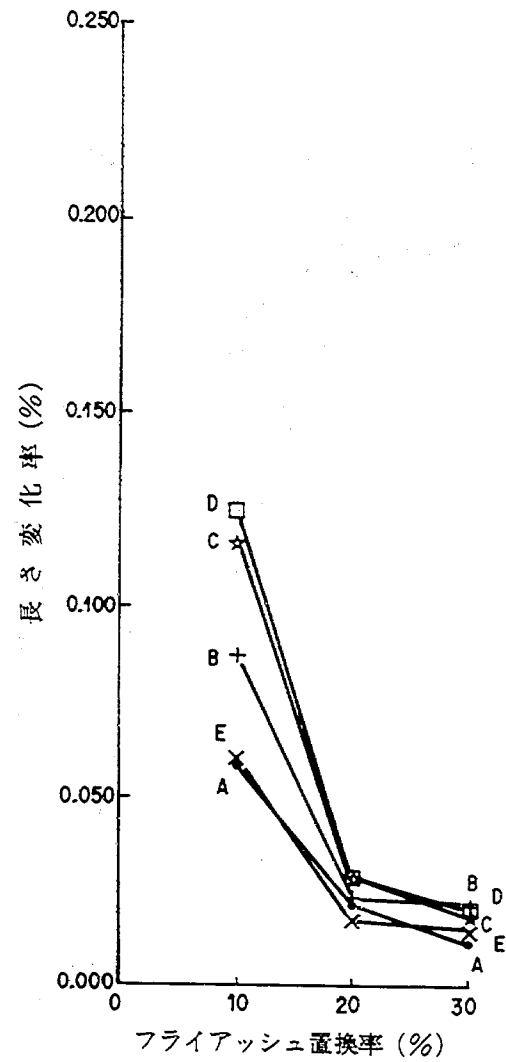


図-III-4 フライアッシュ置換率と長さ変化率との関係 (材令：6ヶ月，アルカリ量1.2%)

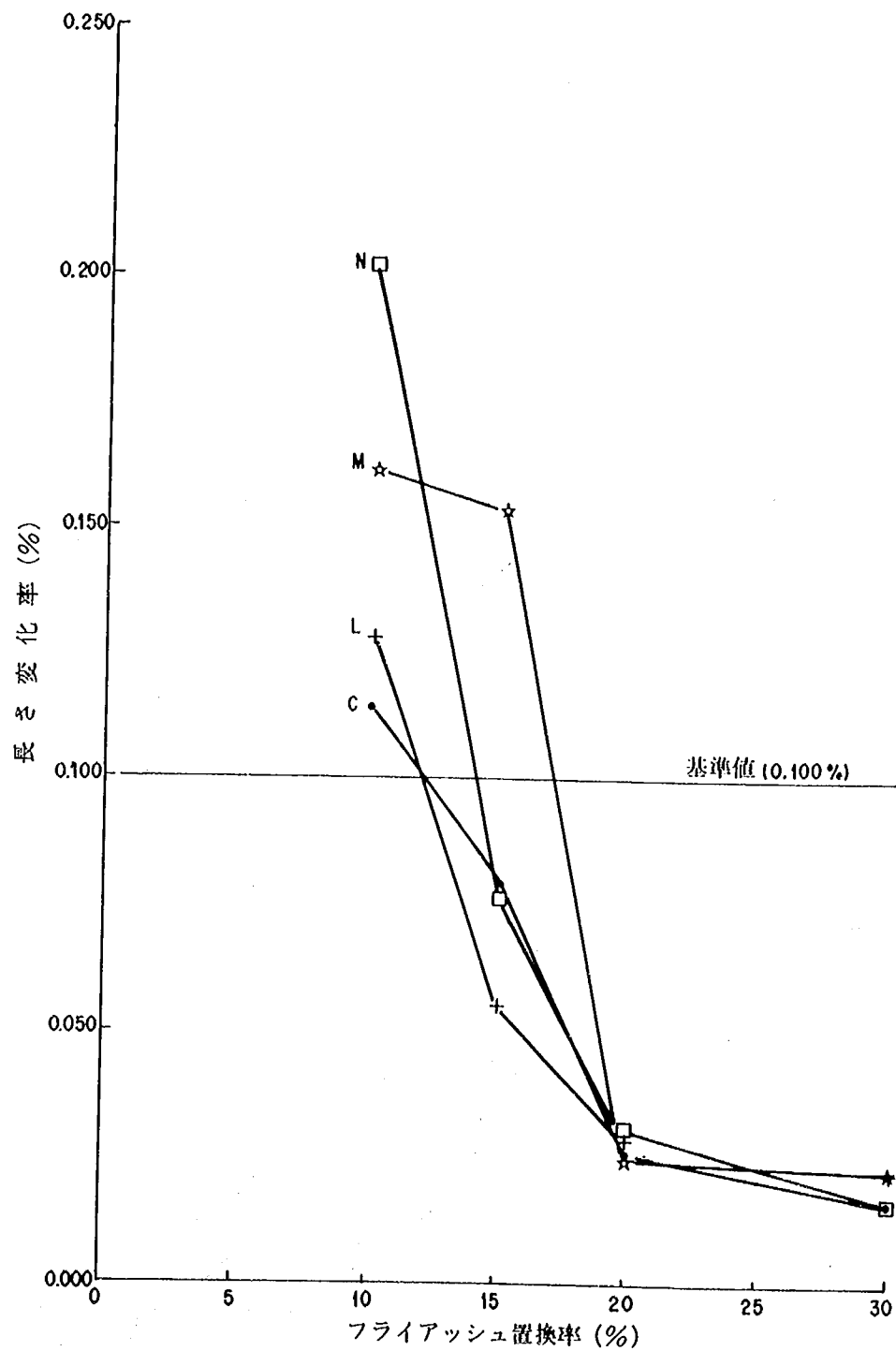


図-Ⅲ-5 フライアッシュ置換率と長さ変化率との関係
(材令：6ヶ月，アルカリ量1.2%，C，L，M，N)

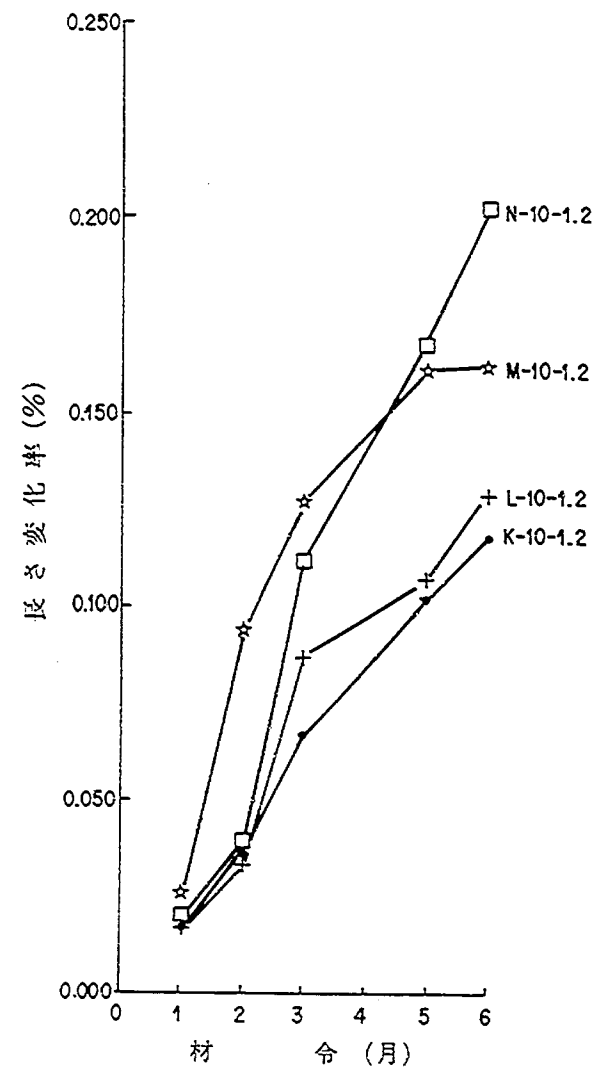
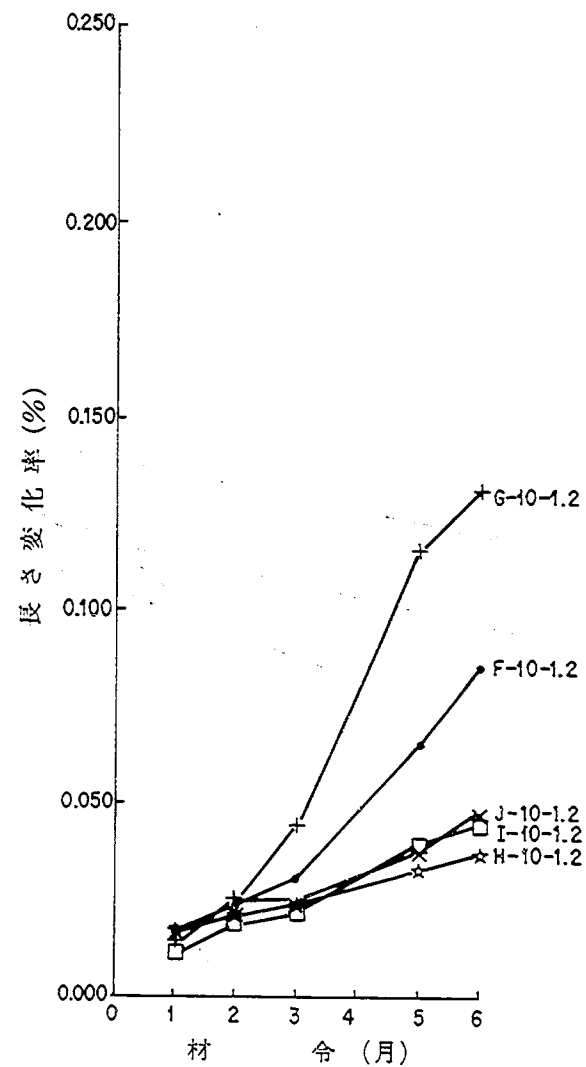
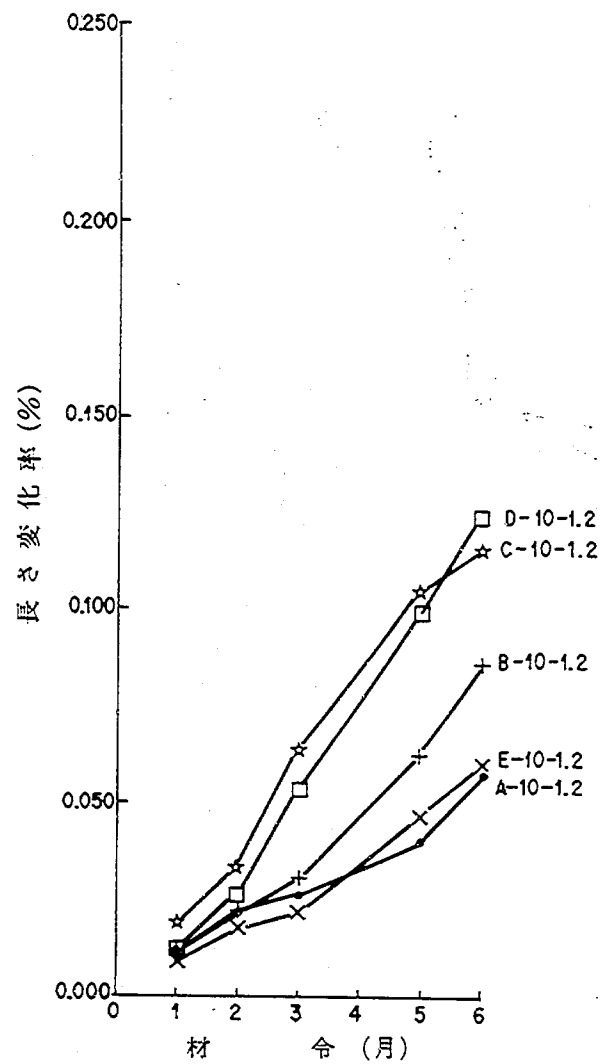


図-III-6 材令と長さ変化率との関係 (置換率: 10%, アルカリ量 1.2%)

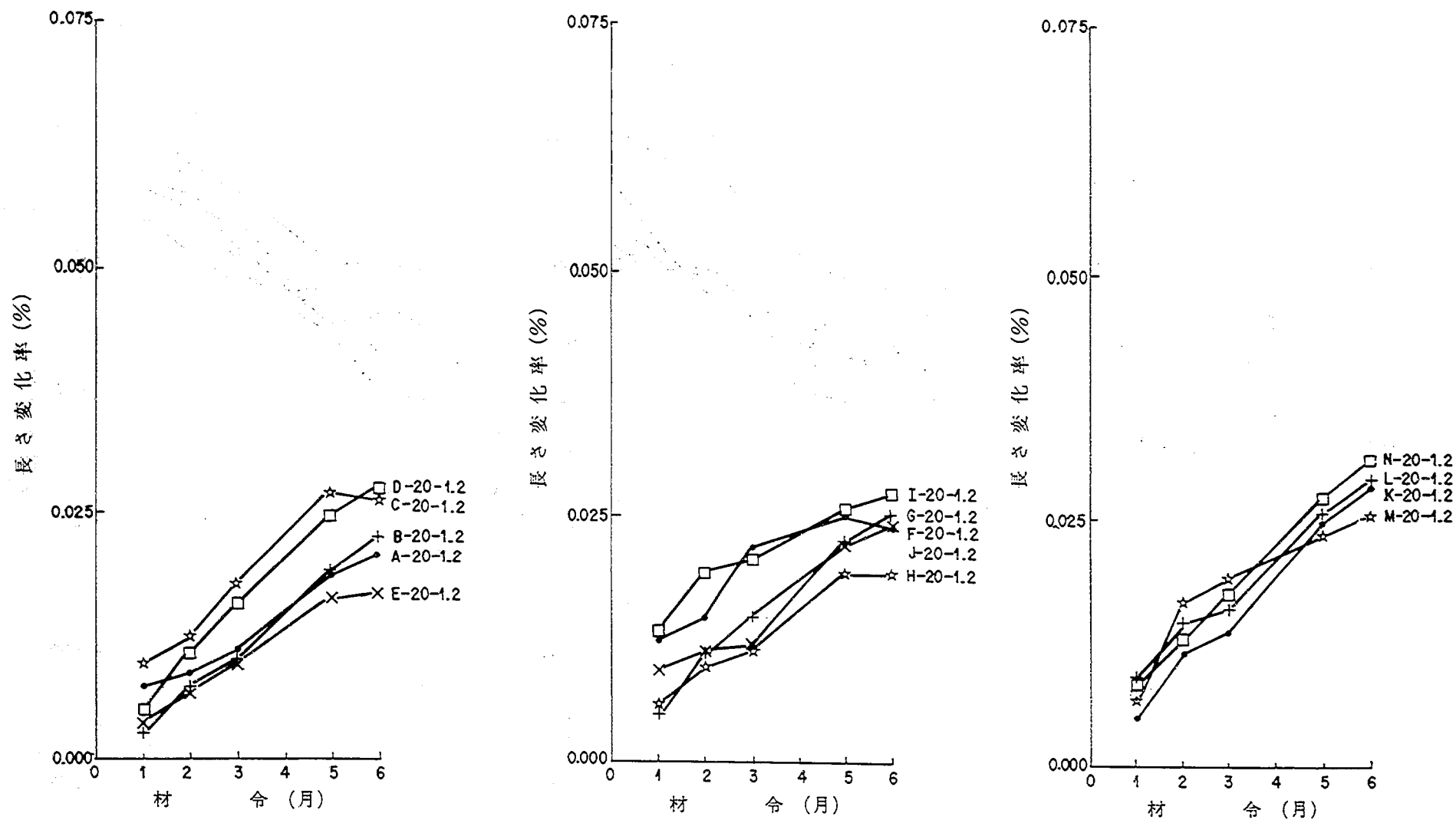


図-III-7 材令と長さ変化率との関係 (置換率: 20%, アルカリ量 1.2%)

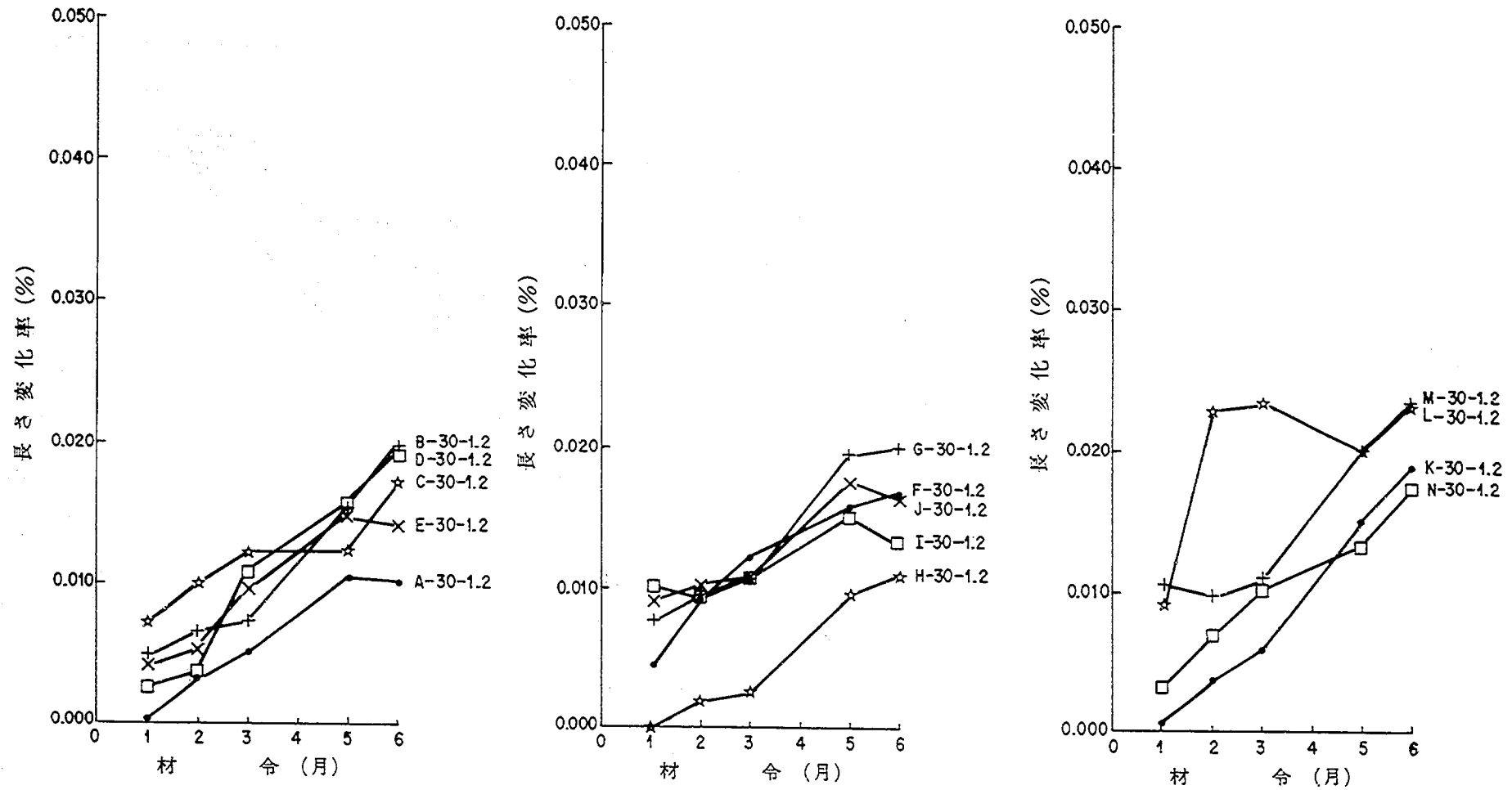


図-III-8 材令と長さ変化率との関係 (置換率: 30%, アルカリ量 1.2%)

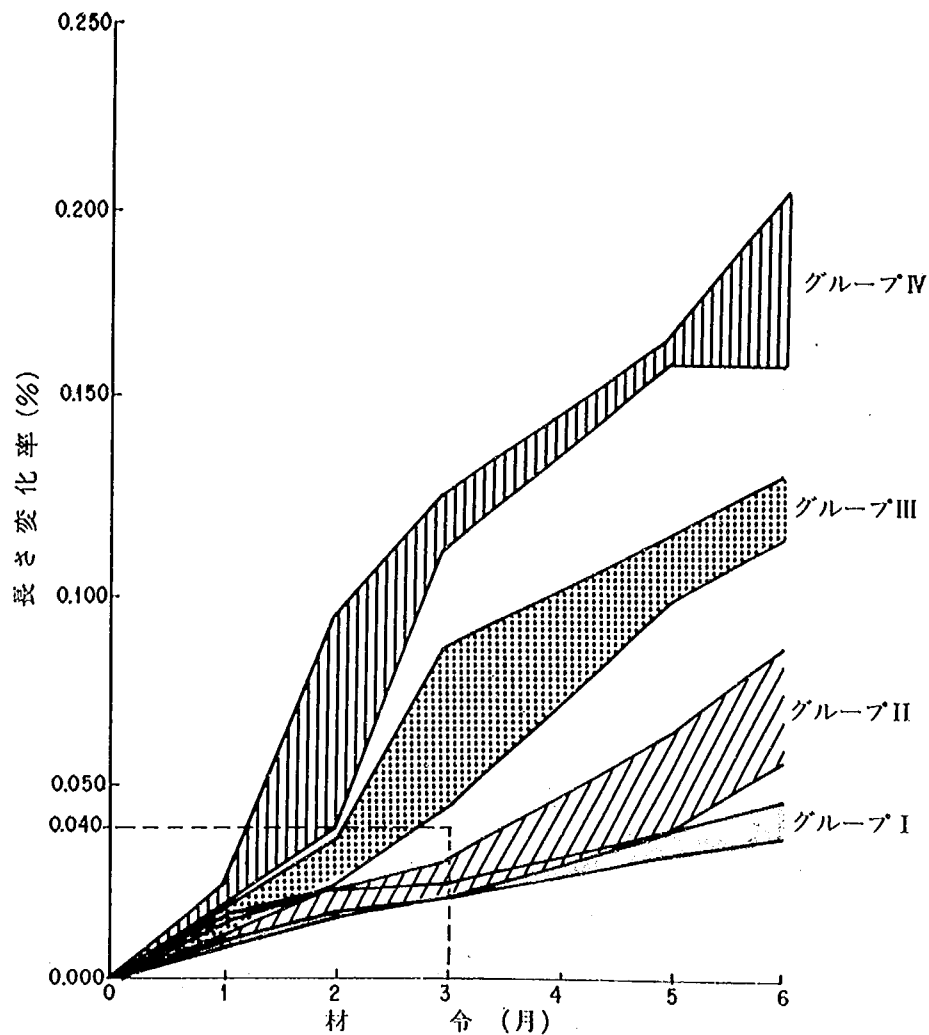


図-Ⅲ-9 材令と長さ変化率との関係 (グループ別, 置換率: 10%)

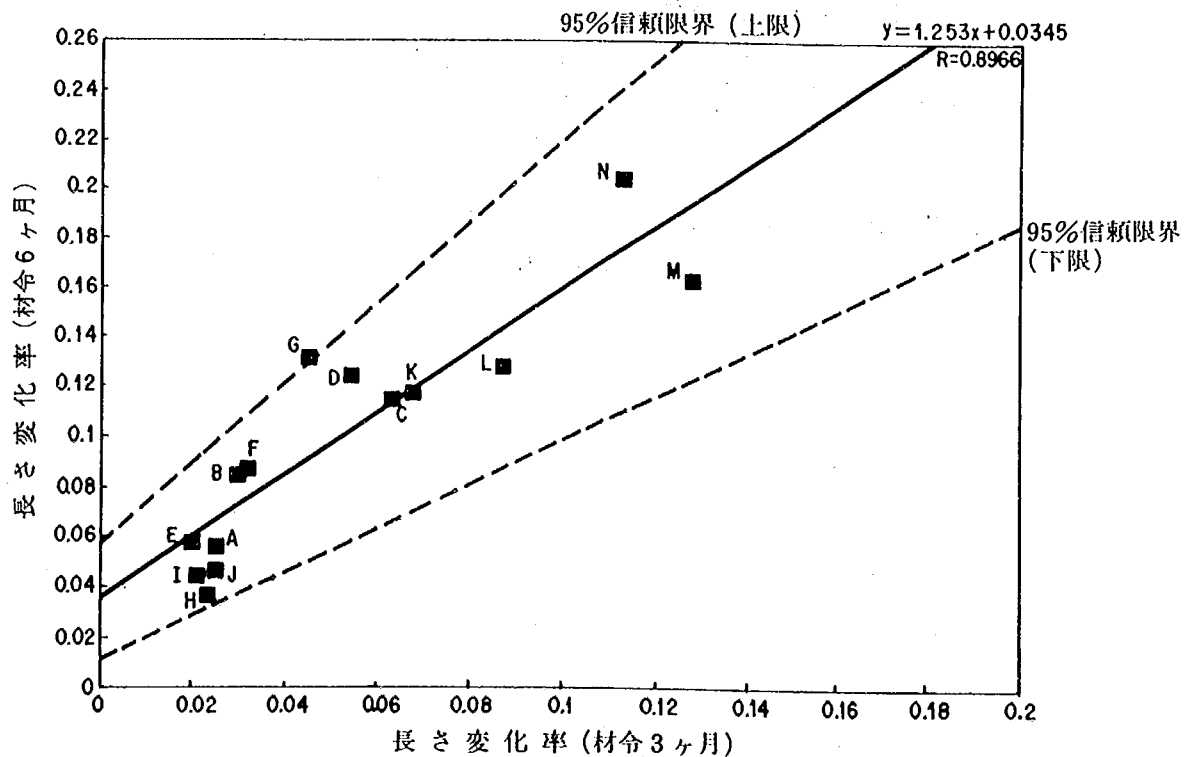
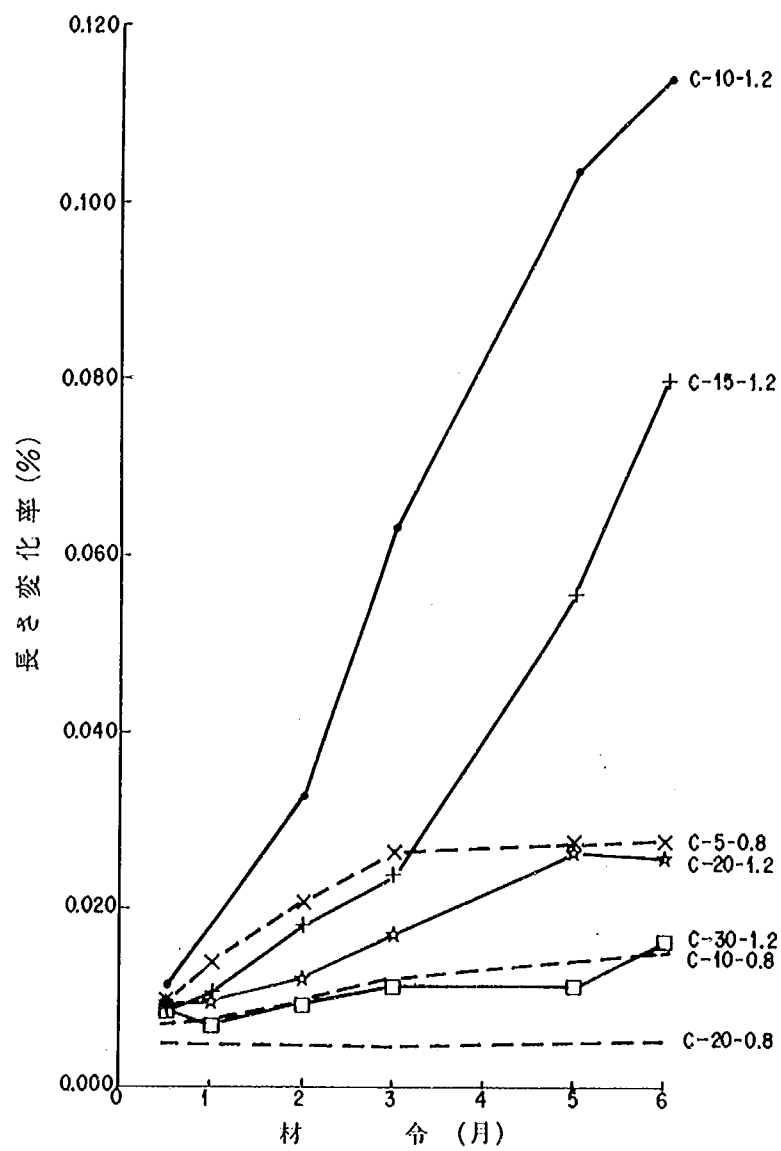


図-Ⅲ-10 長さ変化率の材令3ヶ月と6ヶ月との関係



図一Ⅲ-11 セメント中のアルカリ量の影響
(材令と長さ変化率との関係 (試料C))

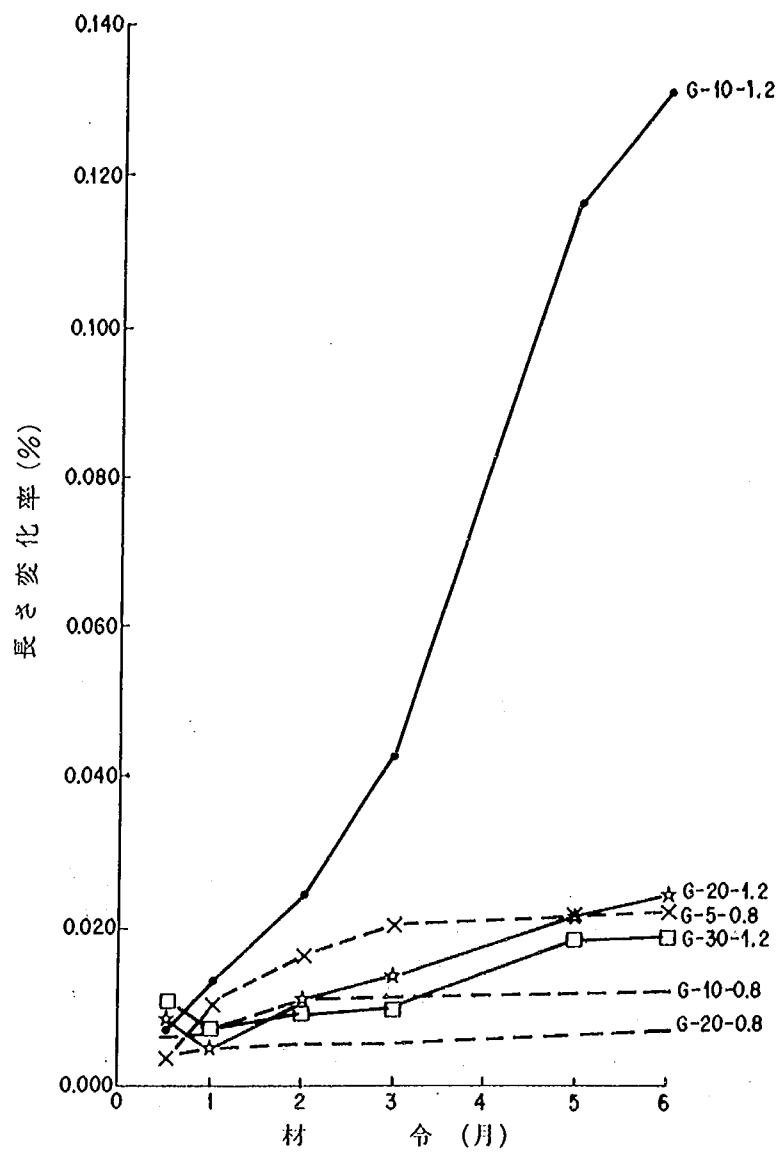


図-Ⅲ-12 セメント中のアルカリ量の影響
(材令と長さ変化率との関係 (試料G))

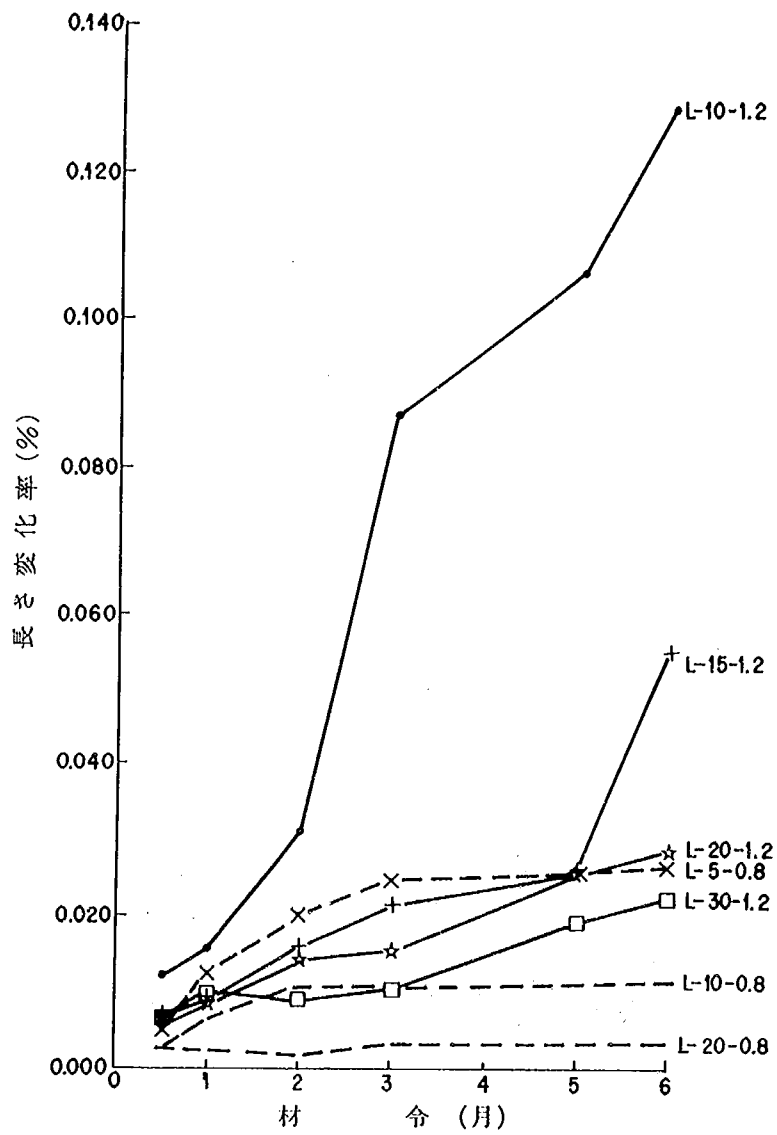


図-Ⅲ-13 セメント中のアルカリ量の影響
(材令と長さ変化率との関係 (試料L))

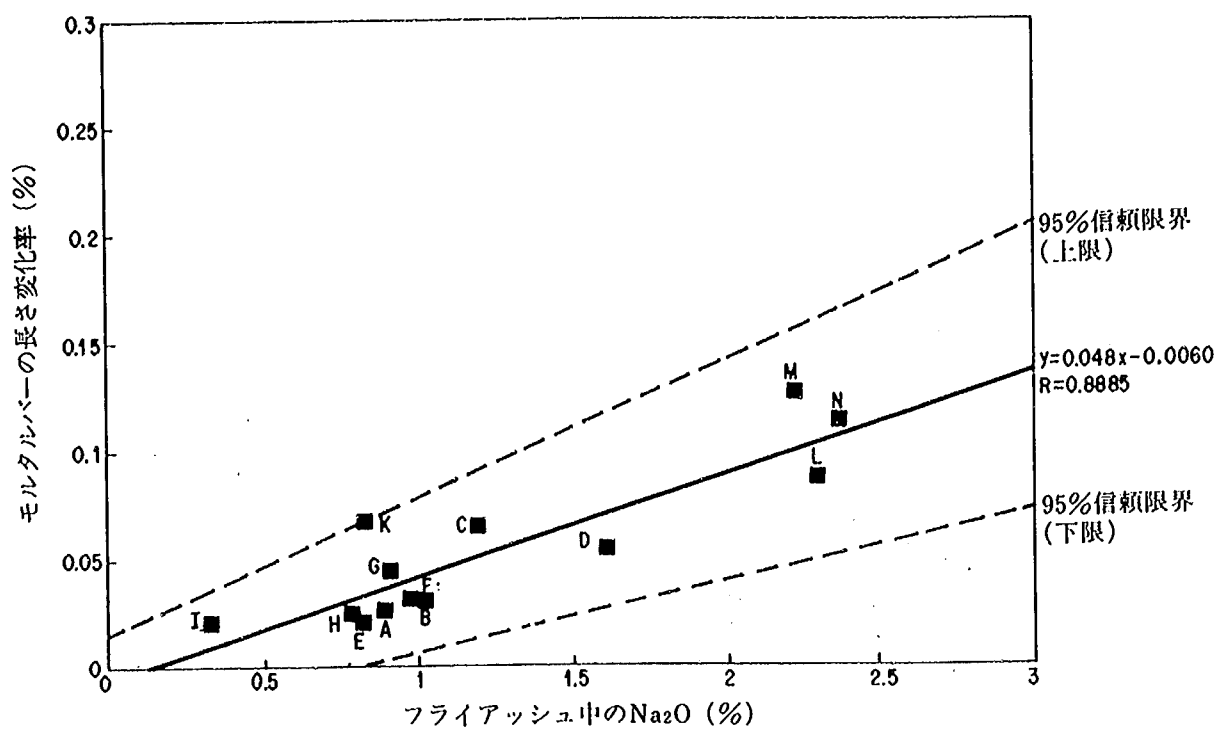


図-Ⅲ-14 フライアッシュ中のNa₂Oとモルタルバーの長さ変化率との関係
(材令3ヶ月)(95%信頼限界値)

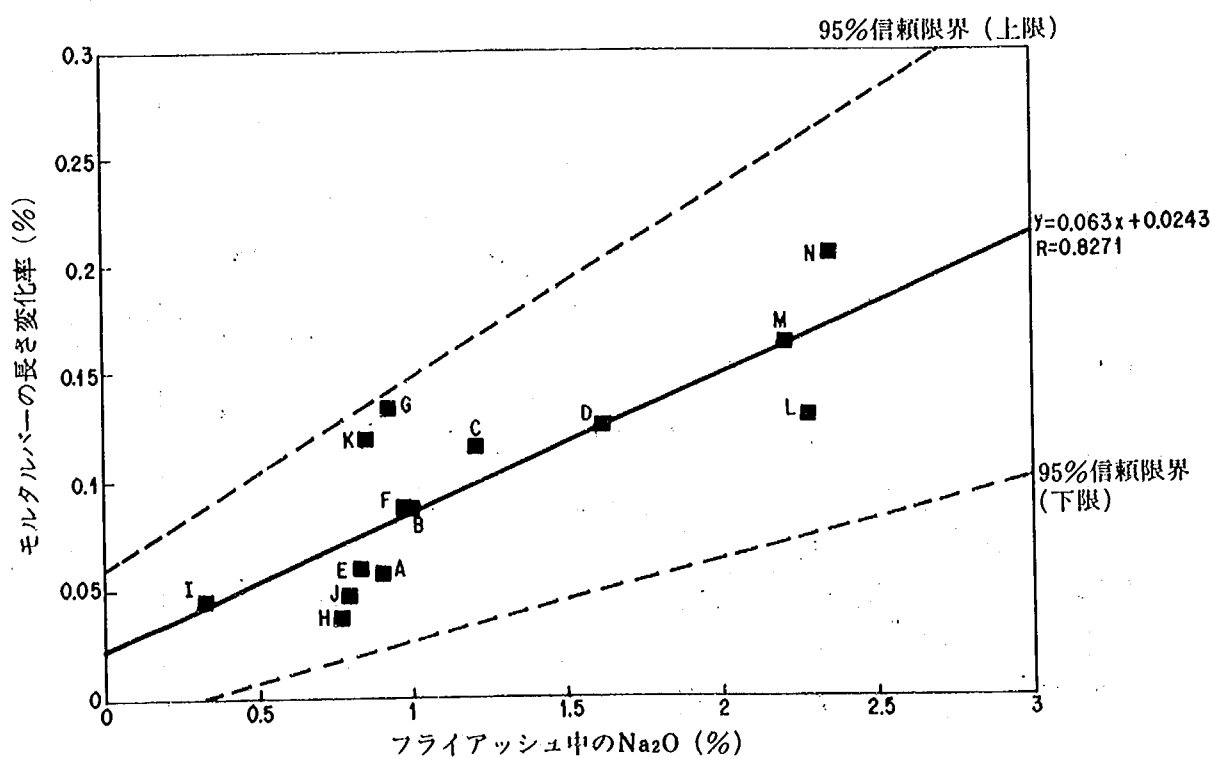
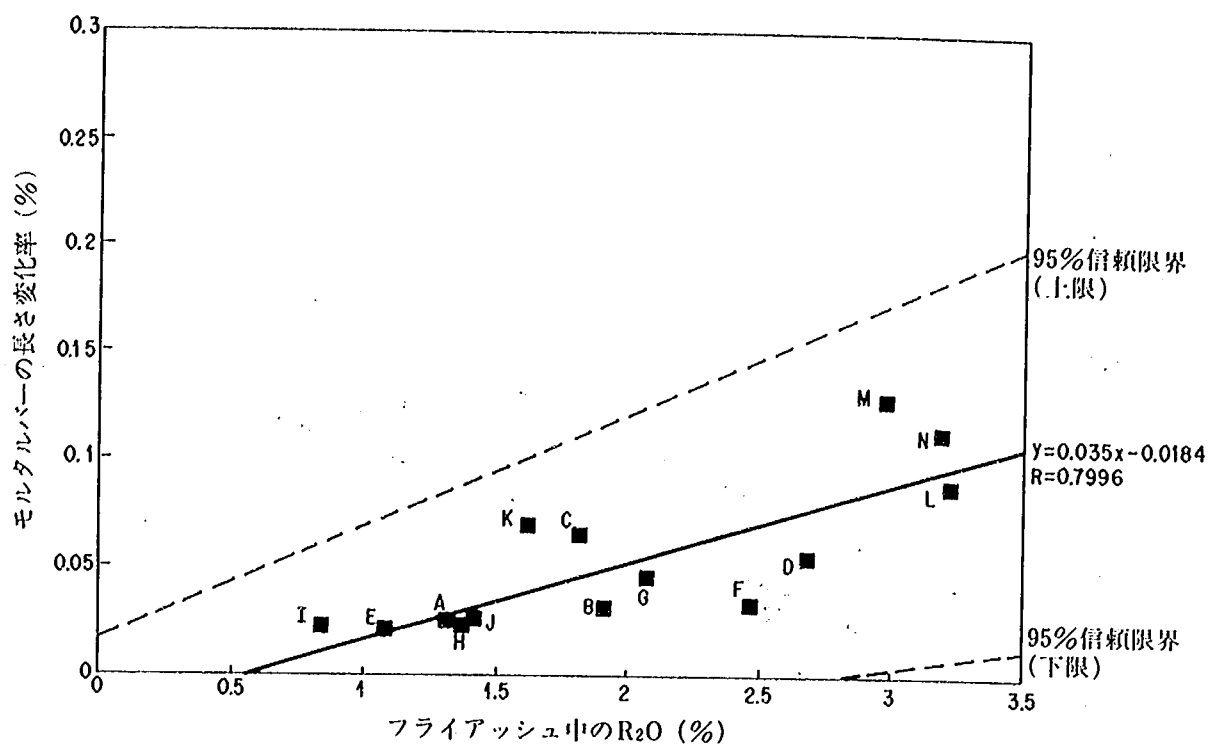
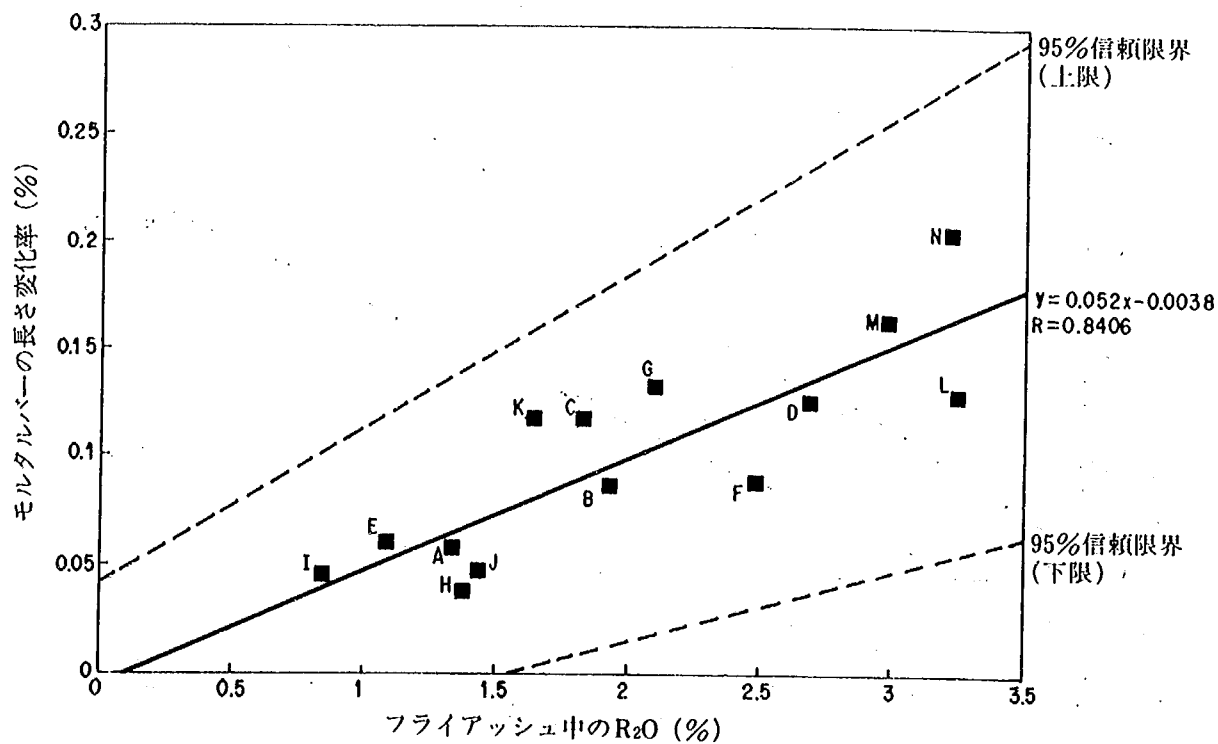


図-Ⅲ-15 フライアッシュ中のNa₂Oとモルタルバーの長さ変化率との関係
(材令6ヶ月)(95%信頼限界値)



図一Ⅲ-16 フライアッシュ中の R_2O とモルタルバーの長さ変化率との関係
(材令 3 ヶ月) (95%信頼限界値)



図一Ⅲ-17 フライアッシュ中の R_2O とモルタルバーの長さ変化率との関係
(材令 6 ヶ月) (95%信頼限界値)

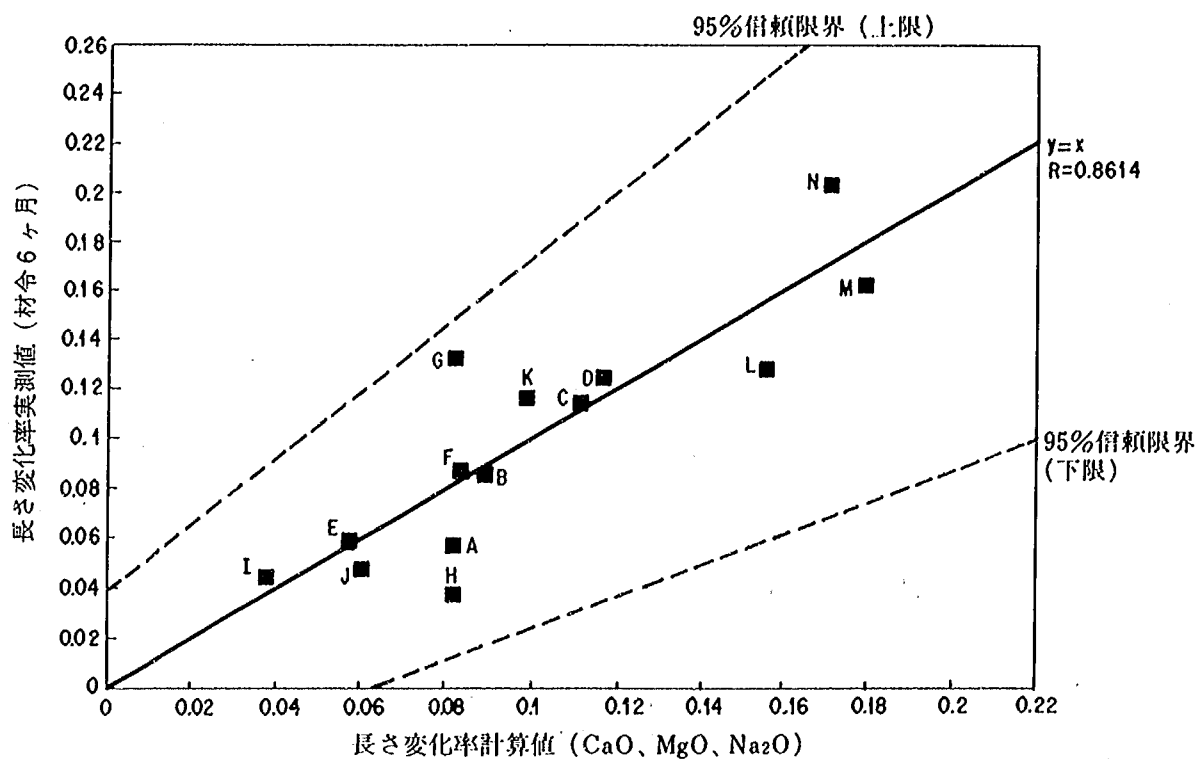


図-Ⅲ-18 長さ変化率の計算値と実測値との関係 (CaO, MgO, Na₂O)

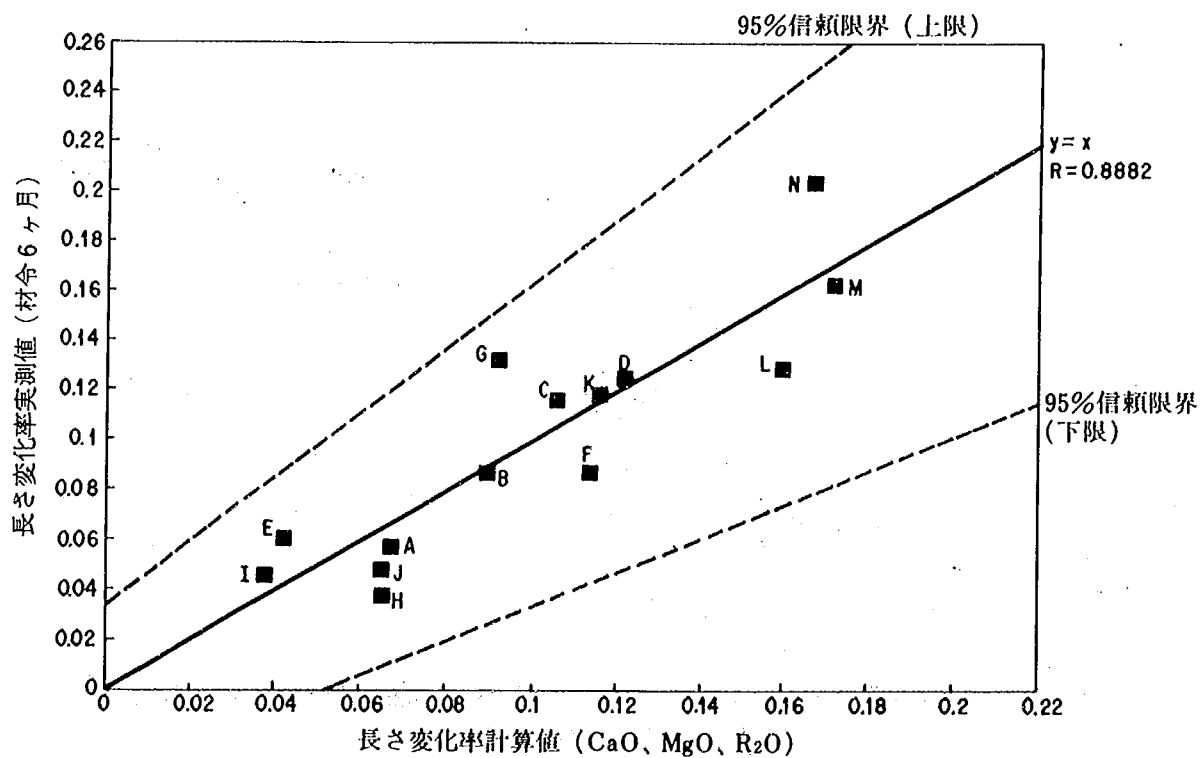


図-Ⅲ-19 長さ変化率の計算値と実測値との関係 (CaO, MgO, R₂O)

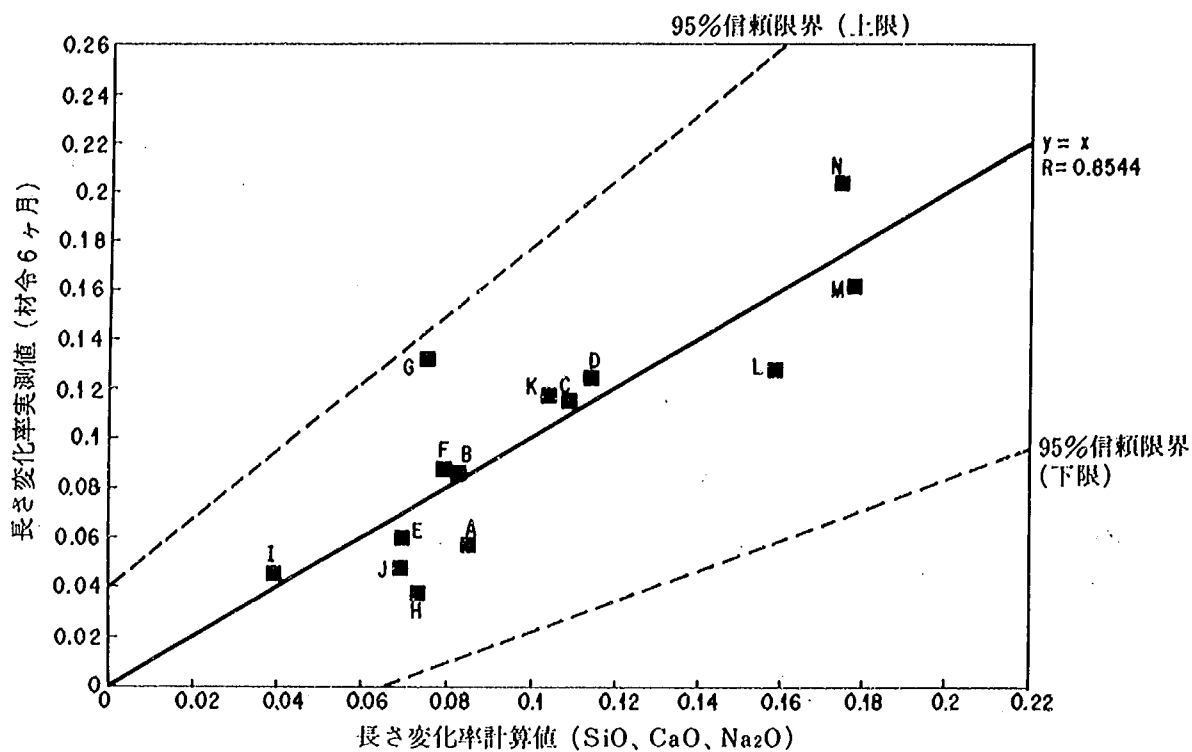


図-Ⅲ-20 長さ変化率の計算値と実測値との関係 (SiO₂, CaO, Na₂O)

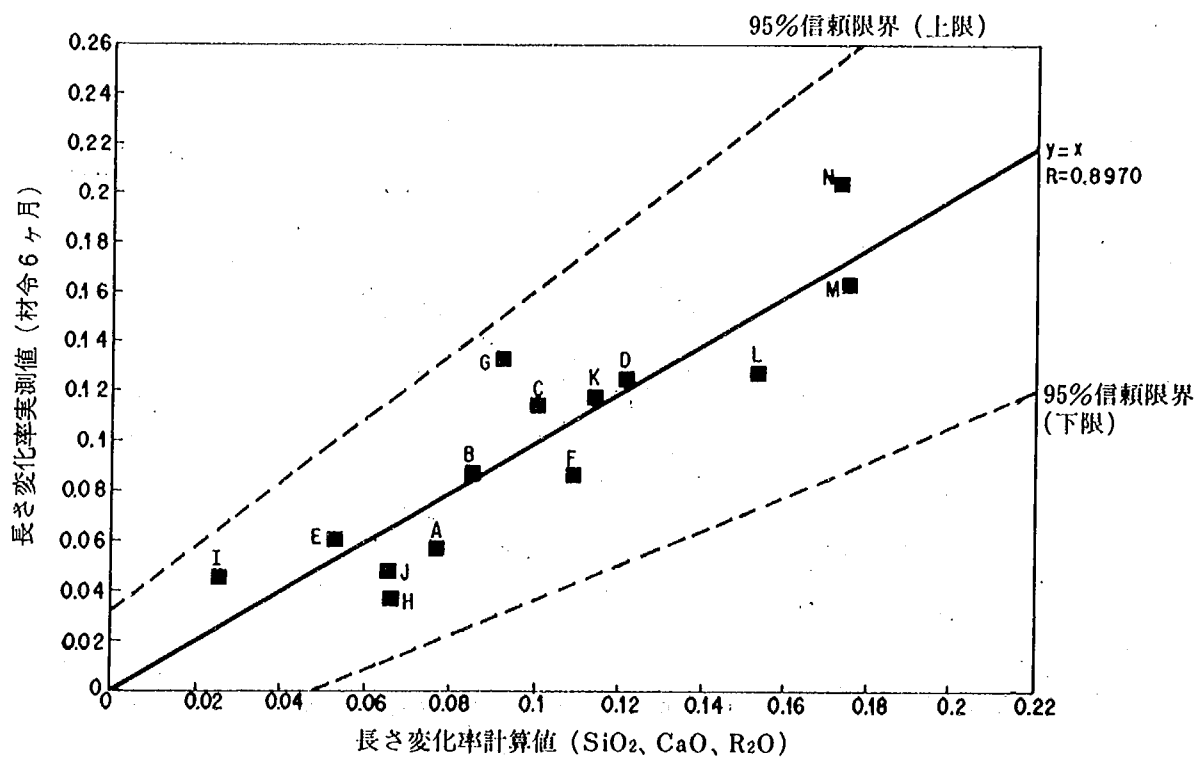


図-Ⅲ-21 長さ変化率の計算値と実測値との関係 (SiO₂, CaO, R₂O)

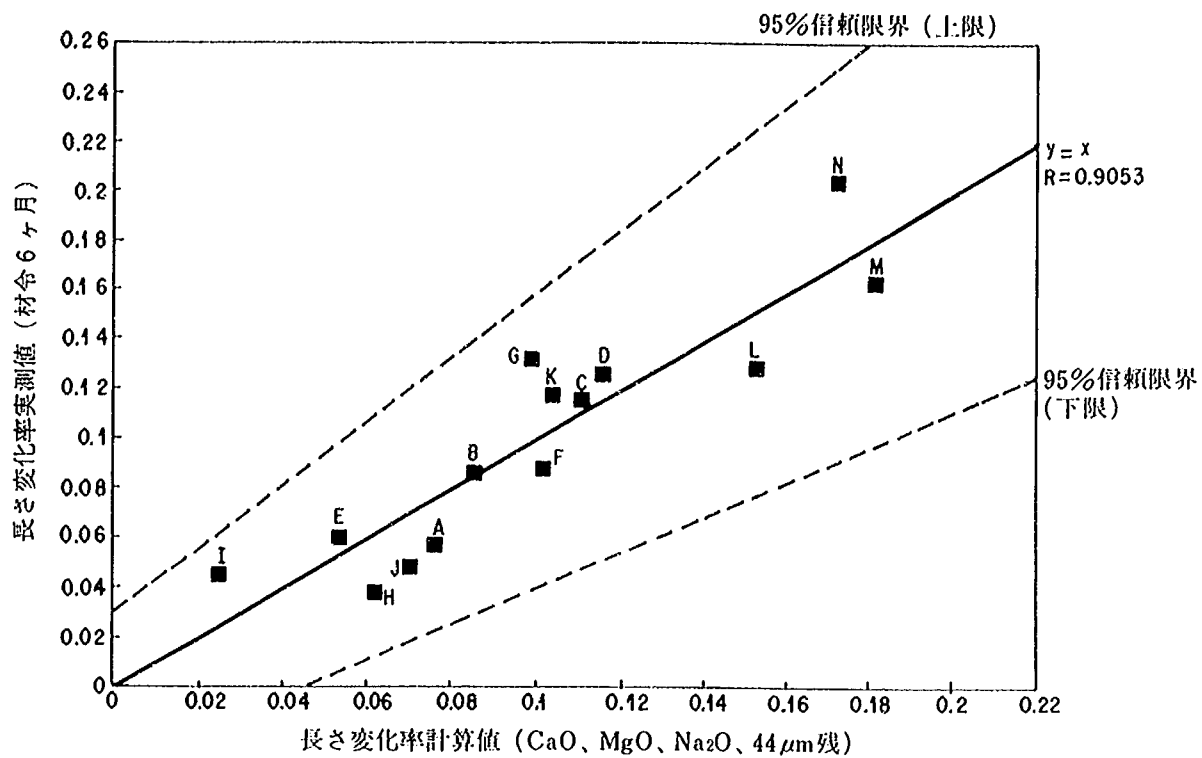


図-Ⅲ-22 長さ変化率の計算値と実測値との関係 (CaO、MgO、Na₂O、44μm フルイ残分)

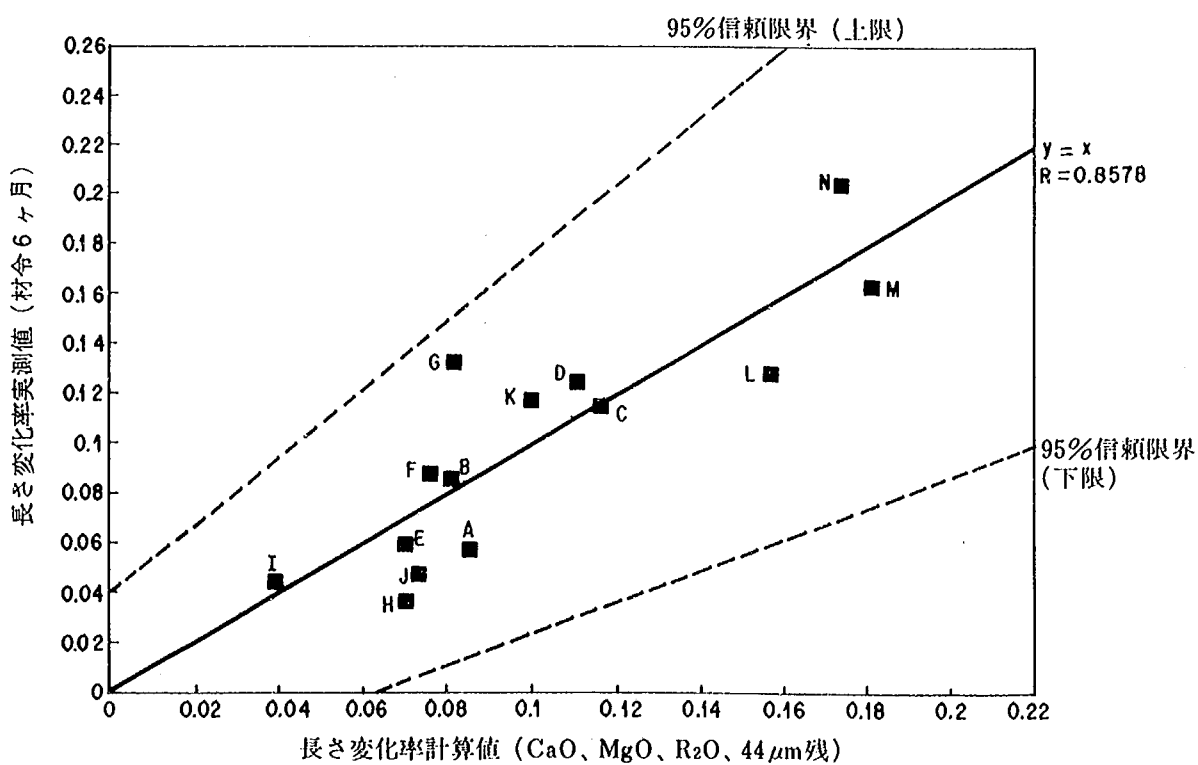


図-Ⅲ-23 長さ変化率の計算値と実測値との関係 (CaO、MgO、R₂O、44μm フルイ残分)

フライアッシュによるASR
抑制に関する共同研究報告書

ISSN 0386-5878

土研資料第2653号

昭和63年3月(1988)

桑原, 小林, 河野, 森濱, 片脇, 友沢, 小林,

奥田, 中野, 秋谷, 穂積, 松下, 柳田, 森

要 旨

フライアッシュをアルカリ骨材反応抑制対策として使用するため, 土木研究所, 電力中央研究所, 日本フライアッシュ協会, 土木研究センターが抑制機構, フライアッシュ品質および試験条件が結果におよぼす影響等について共同研究を行った。

本報告書は, この研究で得られた実験データおよび報告書類のすべてを編集したものである。

キーワード: アルカリシリカ反応・モルタルバー法・フライアッシュ・アルカリ骨材反応抑制



郵便はがき

四十円切手
をはって
さい。

305-□□

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. 07

No. 07

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2653号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印