

土木研究所資料

立野ダムコンクリート用骨材に関する試験

昭和63年 2 月

建設省土木研究所
地質化学部コンクリート研究室

Copyright © (1988) by P.W.R.I.

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

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

立野ダムコンクリート用骨材に関する試験

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
		石井良美

要 旨

本報告書は、ダムサイト周辺で産出される骨材について、アルカリ骨材反応抑制対策手法及び同骨材のダムコンクリート用骨材としての使用可否について検討したものである。この結果、当該骨材はアルカリ骨材反応抑制対策を施せば十分に使用できるものであることが明らかとなった。

キーワード：アルカリシリカ反応・高炉スラグ微粉末・フライアッシュ・アルカリ骨材反応抑制

目 次

まえがき	1
1. 概要	2
2. アルカリ骨材反応の概要	3
2. 1 アルカリシリカ反応	3
2. 2 アルカリ炭酸塩反応	4
2. 3 アルカリ骨材反応の抑制対策	4
3. 骨材のアルカリシリカ反応試験	8
3. 1 骨材の化学的安定性に関する試験	8
3. 2 A S Rの膨張要因に関する試験	11
4. A S Rの膨張抑制に関する検討	15
4. 1 ボゾラン混入による抑制	15
4. 2 低アルカリセメントによる抑制	39
4. 3 総アルカリ量による抑制	39
4. 4 まとめ	41
5. コンクリートの凍結融解試験	42
5. 1 目的	42
5. 2 試験方法	42
5. 3 結果及び考察	43
あとがき	46
参考文献	47
参考資料	
資-1 ダムサイト周辺の地質状況	51
資-2 膨張抑制に関するモルタルでのシリーズの経時膨張量一覧	52
資-3 膨張抑制に関するモルタルでのシリーズの経時重量一覧	53
資-4 膨張抑制に関するコンクリートでのシリーズの経時膨張量一覧	54
資-5 膨張抑制に関するコンクリートでのシリーズの経時動弾性係数一覧	56
資-6 膨張抑制に関するコンクリートでのシリーズの経時重量一覧	58

まえがき

本報告書は九州地方建設局・立野ダム工事事務所からの依頼により、ダムサイト周辺で産出する骨材のアルカリ骨材反応抑制手法及びその骨材の使用可否の検討のために行った試験の結果をとりまとめたものである。本資料は以下の内容で構成されている。

第1章では、骨材調査の概要を述べる。

第2章では、アルカリ骨材反応についてその概要と、アルカリ骨材反応抑制対策についての動向を述べる。

第3章では、骨材のアルカリ骨材反応性についての特性把握及び若干の要因の影響にもふれながら、第4章で当該骨材を用いたモルタル及びコンクリートにおけるA S R膨張抑制試験の結果をスラグやフライアッシュの共同研究で得られた成果も含めて試験結果を説明し、ポゾラン混入によるA S R抑制の効果について述べる。

第5章では、コンクリート用骨材の選定にあたって従来から行われているコンクリートの凍結融解試験について、その結果を述べる。

なお、試験に使用した骨材の特性については、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」、「アルカリ骨材反応の防止に対する高炉水砕スラグ粉末の利用に関する共同研究」及び「アルカリ骨材反応の防止に対するフライアッシュの利用に関する共同研究」においても調査されたので、それらの実験の結果も引用しながら検討した。

1. 概 要

事務所での原石山調査は昭和54年度より原石山候補地を選定するため、ダム周辺にしほり、しかも調査地周辺が阿蘇国立公園に近接するため、その規制区域や鉄道、国道、発電所、集落などを除いた範囲で、かつ岩石の露出状態の良い地区を選んで地表踏査を実施された。また、地表踏査を実施した結果に基づいて、ボーリング地点を選定し、さらにコアを用いて岩石試験により骨材としての適否を判断された。

地表踏査の結果では骨材の対象となる岩石は、輝石安山岩と判断し、有力地をボーリングし、そのコアで岩石試験を行われた。また岩石試験の結果では物理的性質（比重、吸水率、安定性）は骨材の基準に適合すると推定されたが、骨材の粒径を細かくする板状節理があることがわかり、有力地をボーリングし、そのコアで岩石試験を行った。さらに岩石試験の結果では物理的性質（比重、吸水率、安定性）は骨材の基準に適合すると推定されたが、骨材の粒径を細かくする板状節理があることがわかった。これらを確認するために、有力地のなかの瀬田地区に試験横抗を掘削した。骨材試験は、岩級区分C M級C H級を物理的性質から骨材の有害物質に関わる試験、耐久性に関する試験について検討を行っている。さらにコンクリート試験によって骨材の扁平、偏長によるコンクリート強度の影響が調査された。

コンクリート試験では、単位水量がダムコンクリート標準示方書での $120\text{kg}/\text{m}^3$ 以下の基準を満足し、細骨材率、スランプ及び空気量、強度についても目標を満足するという結果が得られた。

有害物質に関する試験では、アルカリ骨材反応試験（化学法）を実施したところ、ダムサイト周辺で産出する原石はすべて有害となった。このため、原石山候補地をダム周辺よりさらに広げて調査を行うこととした（ダム予定地より50km圏内と安山岩系ダム）が、無害となる地区はダム予定地から20km以上であり、それ以外はすべて有害隣った。

一方、土木研究所においてはアルカリ骨材反応を抑制する対策として考えられるフライアッシュ及び高炉スラグ粉末の混入について効果があるかどうかの検討を行った。その結果、両方法について効果のある使い方が明らかにされた。

本報告書は、立野ダムコンクリート用骨材としてダムサイト周辺で産出する原石について検討した一連の調査の内、土木研究所で行った骨材のアルカリ骨材反応試験、A S R抑制対策及び凍結融解に対する耐久性についての調査結果を報告するものである。

2. アルカリ骨材反応の概要

アルカリ骨材反応(Alkali Aggregate Reaction:以下AARと略す)とは、骨材中に含まれる反応性鉱物と主にセメント中に含まれるアルカリが反応し、反応によって生成された反応生成物の膨張圧によって、硬化したコンクリートが膨張ひびわれをおこす現象である。AARによるコンクリートの膨張ひびわれは不規則多数で、その程度が著しい場合にはコンクリート構造物の耐力や耐久性に影響をおよぼすこともある。

AARは大別して、アルカシリカ反応(Alkali Silica Reaction:以下ASRと略す)とアルカリ炭酸塩反応(Alkali Carbonate Reaction:以下ACRと略す)に2分されるが、現在ではこの他、アルカリシリケート反応(Alkali Silicate Reaction)も加えている。我が国で発見されているAARのほとんどはASRである。AARがT.E.Stantonによって発見されて、50年が経過し、この間に多くの研究者、技術者によって反応機構の解明や抑制対策等、様々な研究が試みられてきた。しかし、50年を経過しようとする現在においても、反応のメカニズムや試験方法についての研究課題が多く残されているといえる。

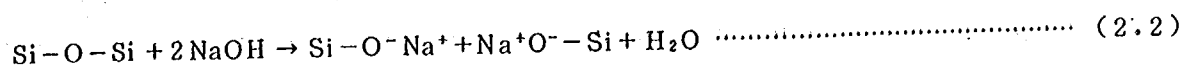
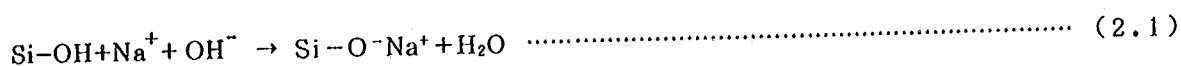
ここでは、主としてASRに関する既往の研究を概説する。

2.1 アルカリ骨材反応

2.1.1 アルカリシリカ反応

ASRが最初に発見されたのは1930年代のアメリカ合衆国であり^{2,1)}その成因は骨材中の結晶度の低いシリカ、セメント中のアルカリ(Na^+ , K^+)及び水とされている。反応に関係する結晶度の低いシリカの代表的なものとしては、オパール、玉髄、 α -クリストバライト、トリジマイト及び結晶度の低い火山ガラス等である。また、セメントに含まれているアルカリは Na_2O 、 K_2O 等のアルカリ金属で、セメント中に0.3~1.2%は含まれている。

反応は、まず、シラノール基の中和反応にはじまり、シリカ結晶表面が H^+ で中和される。次いで、水酸化アルカリ濃度が高いときはシロキサン結合が切断され、アルカリ珪酸塩ゲルを生成するというもので、式(2.1)および式(2.2)のようなものであるといわれている。



この反応は、反応性骨材(反応性鉱物)や反応条件(アルカリ温度、湿度等)によって進行は変化する。

以上、述べた反応機構の説明は、PowersとSteinour^{2,2)}によるもので、反応機構に関する研究では先駆的な役割をはたした。

Hansen^{2,3)}は、1944年にAARの膨張機構を浸透圧理論を用いて説明した。それは、アルカリ珪酸塩は再重合しやすく、セメント硬化体の細孔中を移動することが困難に比べ、水酸化アルカリは移動が容

易であることから、セメント硬化体が一種の半透膜となって、反応生成物が反応性骨材の周囲に膨張圧を及ぼすと説明されており、生成されるゲルは次の化学式によるとしている。



また、このHansenの浸透圧理論を受けて、支持する報告^{2,4)}も見受けられる。

もう一つの考え方としては、Vivian^{2,5)}が提唱した説もある。これはHansenの説明するセメント硬化体の半透膜は不必要であり、アルカリ・シリカゲルが半透膜の役割をはたし、吸水膨張するというものである。

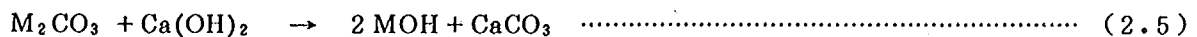
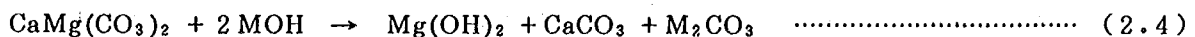
2.1.2 アルカリ炭酸塩反応

特殊な石灰岩とセメント中のアルカリが反応して膨張するものであり、反応性鉱物としてはドロマイトといわれている。但し、ドロマイトを含む石灰岩は我が国でも多量に使用されているが今までに被害を生じたとの報告はごくわずかで、世界でもASRに比べその発生は少ない。

ACRは、1957年カナダのE.G.Swenson^{2,6)}によって発見されたもので、従来のASR試験では発見できないものである。そのため、現在ではACRを対象にした試験方法としてASTM C 586 ロックシリンドラ法がだされている。

セメント中で関係のあるアルカリはASRと同様に Na_2O 、 K_2O であり、反応によって生成される水酸化マグネシウム（ブルーサイト）の容積増大によるものとされている。

Hodley^{2,7)}によれば、ドロマイトの分解反応は次式によるものとしている。



AARは、コンクリートが硬化してしばらく時間を経てからひびわれ等の外見的な現象となって現れることが多い。反応は相当長年月に渡って続くものと考えられるが、反応物が消費されつくしてある時間を経過すると収束するとも考えられる。

2.2 アルカリ骨材反応の抑制対策

2.2.1 抑制対策に関する研究

米国のT.E.Stantonによって発見されたAARは、その後各国で発見され、各国で様々な抑制対策がとられている。ASRは、その反応の必要3条件である「反応性骨材」「アルカリ」「水」が満足しておこる結果であり、さらに環境条件（例えば温度）が加味されて反応を促進する。従って、ASRの抑

抑制対策としては、それら3条件の中のひとつを除く事が基本となる。その他、ボゾランの添加も反応抑制として知られている。A S Rの抑制は後述するように外国によってとられている対策が違ふ。A S Rを抑制する研究の主なものはボゾランによるものである。ボゾランによるA S R抑制を説明する説としてはつぎのようなものがある。

① $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の低減

Chatterji^{2,8)}はA S Rが進行するためには、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が存在する必要があるとあり、ボゾランを添加することによって $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が消費されるため膨張が軽減されると説明した。

② アルカリイオン濃度の低減

ボゾランは一般に表面積が非常に大きいので、アルカリイオンが吸着され、間隙溶液中のアルカリイオン濃度が低下し、カルシウム含有量の高い非膨張性のゲルが生成される^{2,2)}

③ OH^- イオン濃度の低減

焼成したシリカ質ボゾランでは、その酸性表面との反応によって間隙溶液中の OH^- イオン濃度が減少するため反応がおこりにくい。

④ 物理的効果

ボゾランを加えると水を多く必要とするので、ポロシティーが変化し、局部的に膨張圧を緩和する。

⑤ 各種イオン及び水の移動

Smolczyk^{2,9)}はボゾランの添加によって生じる水和物とアルカリ間に強い結合力が存在し、セメントペーストマトリックスの透水性が低下したり、 Na^+ や K^+ イオンの拡散をおさえると説明した。この研究をうけてBakker^{2,10)}はセメント硬化体構造の密化が水やイオンの透過性を小さくすることが主な支配的な要因であると説明付けた。

2.2.2 諸外国での抑制対策

(1) 使用材料の選別

A S Rは前述のとおり「反応性骨材・アルカリ・水」の3条件が満足しておこるものであるため、この内のひとつを除外する事が抑制対策としてなる。そして、これらは、普通は材料として骨材、セメント、練混水に存在するため、抑制方法としては反応性骨材の排除、セメントのアルカリ量の低減、練混水の減少が考えられるが、練混水の減少については構造物の環境条件によって、外部からでも水分を供給できることや反応に必要な水量以下にコンクリートの単位水量を低下することが現実的には不可能なため、この方法は積極的に抑制対策としてはとり入れられてはいない。

① 反応性骨材の排除

A S R抑制対策として反応性骨材を排除する事は、極めて有効な方法である。この反応性骨材の判定については「ASTM化学法、モルタルバー法」の両試験がよく知られている。諸外国でも、これをベースに試験方法が規格化・提案がされている。判定基準については、モルタルバー法の場合、材令6ヶ月での膨張量が0.1%以上のときアルカリシリカ反応性骨材であるとし、化学法では溶解シリカ量(Sc)とアルカリ濃度減少量(Rc)の関係から、無害、潜在的有害、有害の三つに判定され

る。但し、両試験法ともいくつかの問題点が指摘されており、例えば、モルタルバー法では材令6ヶ月では短い、判定に用いる期間が長すぎる等がいわれ、化学法では試験条件が厳しすぎ、無害の骨材を有害と判定する可能性がある等がいわれている。いずれにしても、モルタルを用いる試験や化学的手法を用いる試験にしても、一長一短であり、ASRを判定する決定的な試験法ではない。そのため、様々な方法も提案はされているもののASTMモルタルバーが提案されて以来、この試験方法にとってかわる試験はいまだ提案されていない。

② セメントのアルカリ量の減少

ASRは、セメントのアルカリを減少させることによって、その反応が抑制される事が知られており、等価 Na_2O 量が0.6%以下であれば一般に反応が抑制される事から抑制対策として「低アルカリ形セメント」と呼ばれるセメントの等価 Na_2O 量0.6%以下にしたセメントが使用されている。

③ 混合セメント等の使用

ASRを抑制する方法として、フライアッシュ、高炉スラグ粉末等を混入する方法があり、諸外国の多くがこの方法を採用している。しかしながら、効果を得るのに必要な混入量等については各国の規定もまちまちである。

(2) 配合による抑制

アルカリ反応性骨材は、それに使用するセメント量についても関係があり、一般にセメント量が多いと膨張は増大する。この事はセメントに含まれる等価 Na_2O 量(%)とも関係し、両者の関係からコンクリート 1 m^3 中のアルカリ量(Kg/m^3)をASRを起こさない水準まで抑える方法によってもASRを抑制する事ができる。

表-2.1に、諸外国で行われているASR対策を示す。すべて、前述のような基本的な抑制対策を講じているものの、反応性骨材の違いや地域性から総アルカリ量にも若干数値に違いが生じている。

表-2.1 諸外国でのASR対策

国 名	試 験 法	抑 制 対 策	
ア メ リ カ	ASTM C 227 ASTM C 289	低アルカリセメント スラグ50%以上	($2.3\text{ kg}/\text{m}^3$)
イ ギ リ ス	(Concrete prism)	総アルカリ量 $3\text{ kg}/\text{m}^3$ 以下 フライアッシュ25%以上 スラグ50%以上	($3\text{ kg}/\text{m}^3$)
デ ン マ ー ク	ASTM C 289の修正		
アイスランド	ASTM C 289の修正		
カ ナ ダ	CAN 3. A 23.1-M77 (ASTM C 227の修正)		
南 ア フ リ カ	CSA A23.1-M77 (ASTM C 289の修正)	総アルカリ量 ($1.8\text{ kg}/\text{m}^3$ 以下無害 $3.8\text{ kg}/\text{m}^3$ 以上有害)	($2.1\text{ kg}/\text{m}^3$)
オーストラリア	AS 1141 (ASTM C 289)		($2\text{ kg}/\text{m}^3$)
ド イ ツ	DIN 4226	スラグ50%以上 $3\text{ kg}/\text{m}^3$ 以下	
ニュージーランド	CSA A23.1-M77 と同様な法		($5\text{ kg}/\text{m}^3$)

2・2・3 我国の抑制対策

(1) 我国での A S R の現状

我国では、古くは1951年に近藤ら^{2,11)}が最上川産骨材を使用した橋の床板に亀甲状のひびわれが生じたとして A S R の報告があり、1965年には村田ら^{2,12)}の報告がある。しかしながら、我国では A S R をおこす骨材はないものとされてきたため、A S R 抑制対策も無縁のものとして、その提案や規格は長くされていなかった。その後、1983年の阪神地区の事例を契機に日本各地で A S R が発見されるようになり、建設省土木研究所の調査^{2,13)}でも多数の構造物が「A S R」あるいは「A S R の疑いがある」と判定されている。

(2) 建設省暫定対策

建設省では、A S R に対する暫定的な処置として昭和61年6月2日付で「「アルカリ骨材反応暫定対策について」の運用について」の通達を出した。その通達の適用範囲は A S R が一般にコンクリート打設後から数年若しくは十数年（まれに数十年）経過後に発生する事から、短い期間に限って用いられる仮設構造物には基本的にこの対策をとらなくともよいとしている。また、10月1日から試行、4月1日から実施としている。

抑制対策では4つの方法があげられており、①建設省暫定方法としてだした、化学法、モルタルバー法によって安全と認められる骨材の使用、②低アルカリ形セメントの使用、③抑制効果のある混合セメントの使用、④総アルカリ量 3 kg/m^3 の規制である（表-2.2）。

これから四つの対策の選定については、材料の入手や施工条件、構造物の種類、配合などその長短があるため、特に、どの対策を優先させるという事はないが、ダム等大規模な工事では現場でコンクリートを製造し、かつ、抑制対策も行えるので、まず A S R に関する問題は除外して骨材の選定をするとよい。そして、反応性を確かめ、反応性がある場合にはセメントや混和剤の選定により抑制対策を行うことを検討すればよいであろうとしている。

表-2.2 我国での A S R 対策（建設省暫定案）

方 法	備 考
安全と認められる骨材の使用	化学法、モルタルバー法→建設省暫定案により判定
低アルカリ形セメントの使用	J I S R 5210 の適合セメントを使用
抑制効果のある混合セメント等の使用	高炉セメント B 種または C 種を使用 混和剤を混合したセメントで A A R 抑制効果の確立されたものを使用
コンクリート中のアルカリ総量の抑制	コンクリート 1 m^3 に含まれる総アルカリ量を Na_2Oeq で 3 kg/m^3 以下

3. 骨材のアルカリ骨材反応試験

骨材試料のアルカリ骨材反応に関する特性を把握するとともに A S R における膨張要因について検討した。

3.1 骨材の化学的安定性に関する試験

A S R に関する特性を把握するため粉末 X 線回折試験、顕微鏡観察、ASTM C 289（化学法）及び ASTM C 227（モルタルバー法）を実施した。

3.1.1 試験概要

(1) 粉末 X 線回折試験

骨材試料について粉末 X 線回折法で骨材の鉱物組成を調べた。

試料は数 mm 以下の粒子に破碎した後、めのう乳鉢で粉碎した。

X 線回折条件は以下に示す通りである。

管	球 : Cu	走査範囲	: $2\theta = 2^{\circ} \sim 40^{\circ}$
フィルター	: Ni	走査速度	: $2^{\circ}/\text{min}$
電	圧 : 40KV	記録紙速度	: 10mm/min
電	流 : 20mA		

従来からの有害な鉱物とされているクリストバライトの同定は、クリストバライトの最強のピークの位置（ 21.98° ）と長石の位置（ 22.04° ）と近接しているため困難である。そこでここでは長石の 22.04° と 23.84° の各々のピークの比が 80:58 であるため、この比以上に 22.04° のピーク強度があるときにはクリストバライトが含まれている可能性があるかと判断した。

(2) 顕微鏡観察

骨材試料について顕微鏡観察を行った。試料を厚さ 20μ 程度の薄片（プレパラート）とし、鏡下では単ニコルと直交ニコルで観察した。

(3) 化学法

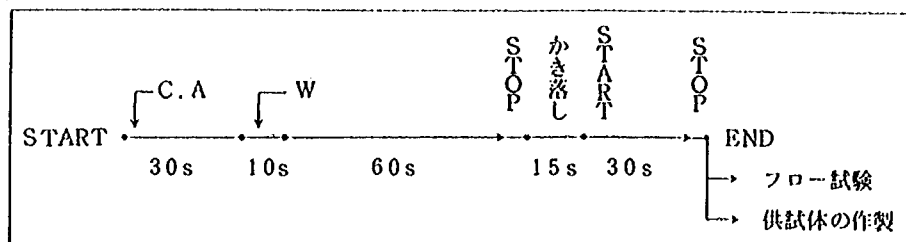
ASTM C 289「骨材の潜在反応性試験方法」に準じ、送付された骨材の反応性を確認した。

(4) モルタルバー法

セメント中のアルカリと骨材中のシリカとの化学反応に起因する膨張を ASTM C 227「セメントー骨材の潜在性アルカリ反応試験方法」に準じて試験を行った。

モルタルの配合は、重量比でセメント 1 に対して骨材 2.25 とし、1 バッチでの各々の重量は 600g、1350g とした。水量はモルタルのフロー値が 180~190 となるように決定し、モルタルの練り混ぜは図 - 3.1 に示すタイムスケールで行った。

モルタルバーの供試体寸法は、 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ とし 24 時間湿潤養生した後 38°C の恒温箱で貯蔵した。その後、所定の材令に達したときダイヤルゲージ式コンパレータを用いて長さの変化を測定した。



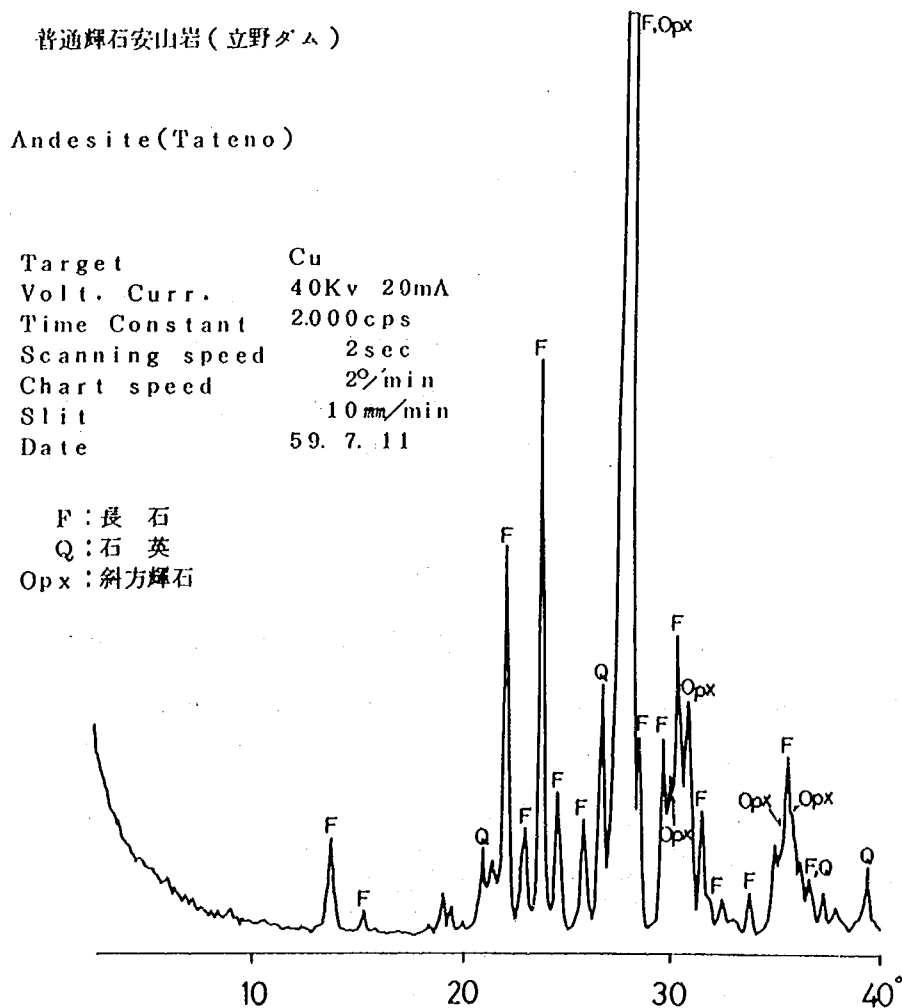
C : セメント
A : 骨 材
w : 混 練 水

図-3.1

3.1.2 試 験 結 果

(1) 粉末X線回折試験

図-3.2に試料のX線回折図を示す。同定された鉱物は高温型斜長石(High Albite), 斜方輝石(Opx), 石英(Quartz)であり, 各々の構成している量は高温型斜長石>斜方輝石>石英の順である。事務所の報告では α -クリストバライト(α -Cristobalite)も含まれているようであるが今回試験を行った試料ではクリストバライトの存在は認められない。但し, X線回折試験の試料が微量であるためサンプリングの影響とも考えられる。



(2) 顕微鏡観察

写真-3.1に試料の顕微鏡写真を示す。鏡下での特徴は斜長石、普通輝石、不透明鉱物からなる結晶質な石基の中に、多量の斜長石と普通輝石の班晶が存在する。普通輝石安山岩である。

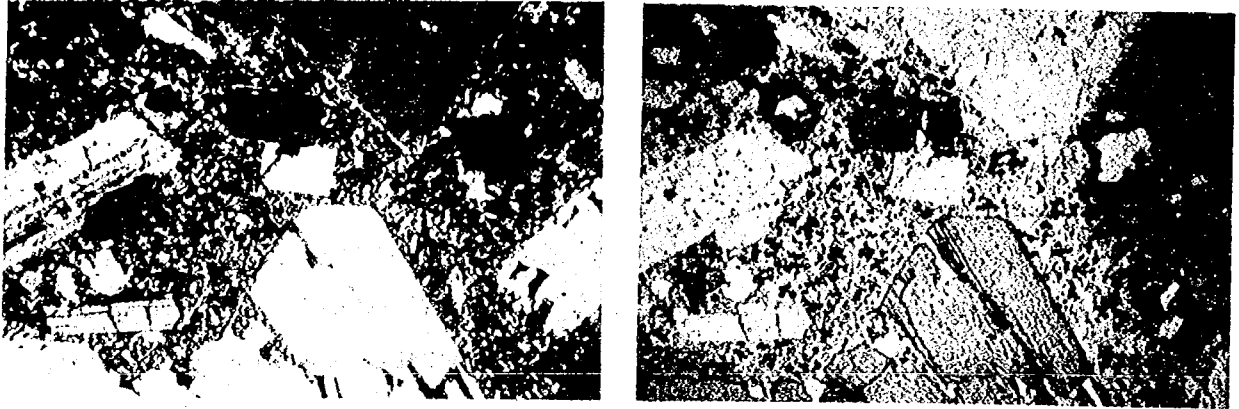


写真-3.1 顕微鏡写真

(3) 化学法

表-3.2、図-3.3に化学法の試験結果を示す。図-3.3はアルカリ濃度低減試験をもとにした骨材の判定区分であるが、当該骨材はこの図の有害の域に位置する。

(4) モルタルバー法

図-3.4にモルタルバー法の結果を示す。ここで用いたセメントは $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ 量が1.03%と通常市販されているセメントの上限に位置するアルカリ量であるが当該骨材を用いたモルタル供試体はASTMでの基準(0.1%/6ヶ月)をすでに3ヶ月で越えており、6ヶ月では0.24%の膨張を示している。

一方、非反応性骨材として用いた比較用の富士川産川砂は6ヶ月で0.06%の膨張を示しているもののASTM基準以下にとどまっている。

表-3.2 ASTM C 289による溶解シリカ量とアルカリ濃度減少量

試料	溶解シリカ量(Sc: mmol/l)		アルカリ濃度減少量(Rc: mmol/l)	
	測定値	平均値	測定値	平均値
	266	267	79	81
	262		85	
	273		78	

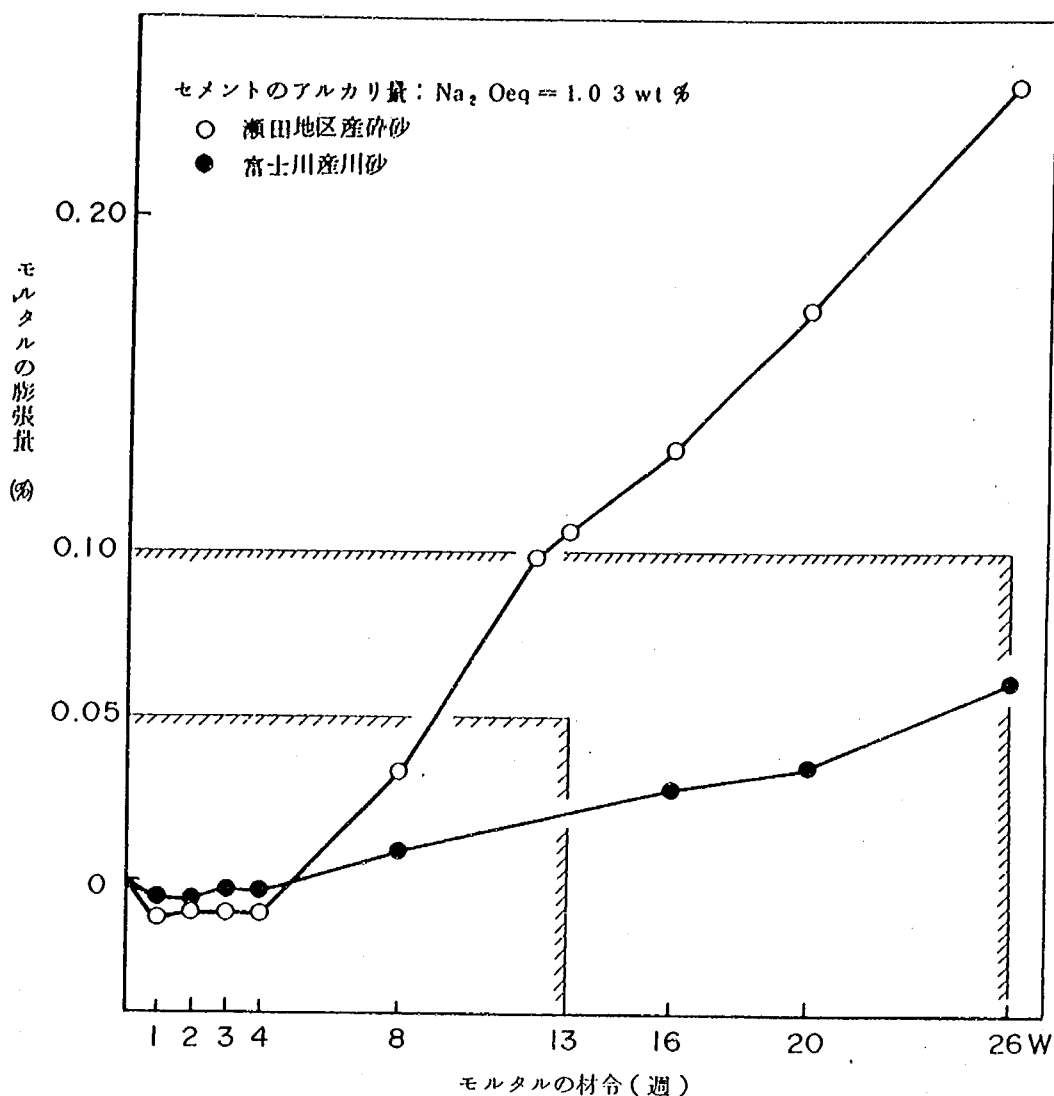


図-3.4 ASTM C 227 によるモルタルバーの経時膨張

3.2 ASRの膨張要因に関する試験

ASRによる膨張はセメントのアルカリ量や温度、骨材混入率（ベシマム量）等によって影響を受ける。よって膨張要因の把握をするために以下の項目についてモルタルバーにより試験を実施した。

3.2.1 試験概要

(1) セメントのアルカリ量

表-3.3に使用したセメントの試験成績表を示す。セメントのアルカリ量の範囲は表に示したとおり $\text{Na}_2\text{Oeq} = 0.32 \sim 1.03 \%$ である。

試験の方法については3.1.1 (4) モルタルバー法を参照。

表-3.3 セメントの化学分析及び物理試験結果

(a) 化 学 分 析

項目 名柄	ig Loss (%)	in sol (%)	Si O ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ca O (%)	Mg O (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	R ₂ O (%)
C 1	0.60	0.10	22.3	5.10	3.00	63.20	1.70	1.90	0.54	0.74	1.03
C 2	0.60	—	—	—	—	—	1.00	2.10	0.42	0.73	0.90
C 3	0.60	—	—	—	—	—	1.50	2.30	0.29	0.72	0.76
C 4	0.65	—	—	—	—	—	2.15	2.15	0.24	0.47	0.54
C 5	0.70	0.10	21.4	5.90	2.80	63.50	2.80	2.00	0.18	0.22	0.32

(*: C 2, C 4 の各値は等重量比例配分で求めた値)

(b) 物 理 試 験

項目 名柄	比 重	粉 末 度		凝 結			安定性	圧 縮 強 さ (kgf/cm ²)		
		比表面積 (cm ² /g)	88 μ (%)	水 量 (%)	始 発 (h-m)	終 結 (h-m)		3 日	7 日	28日
C 5	3.15	3200	0.9	27.2	2-05	3-00	良	156	255	430
C 3	3.12	3140	0.4	27.4	2-20	3-50	良	152	240	392
C 1	3.15	3430	0.8	27.8	2-30	3-28	良	135	230	378

(2) ペシマム量

ペシマム量については反応性を有する当該骨材を無反応の骨材（富士川産川砂）に重量比で10%間隔で置換え0～100%の範囲で行った。ここで使用したセメントは表-3.3で示したC1である。試験の方法については3.1.1 (4) モルタルバー法を参照。

3.2.2 試 験 結 果

(1) アルカリ量

セメントに含まれているアルカリ量 ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \cdot \text{K}_2\text{O}$) とモルタルバの膨張量の経時変化を図-3.5に示し、これらの材令6ヶ月における関係を図-3.6に示す。

ASRによる膨張はセメントのアルカリ量が低いほど軽減され、本実験ではアルカリ量が0.76%以下では材令6ヶ月の供試体の膨張は0.1%以下となっている。また、アルカリ量が0.76%以下（0.76, 0.54, 0.32）と0.9%以下（0.9, 1.03%）との経時膨張曲線に違いがみられ、前者は初期の膨張量も少なく材令20週を経過した後は膨張量の増大はあまり認められず平衡状態に近い。なお、アルカリ量0.76%の場合、モルタル1 m³中に含まれるNa₂Oeq量を計算すると4～5 Kgに相当する。

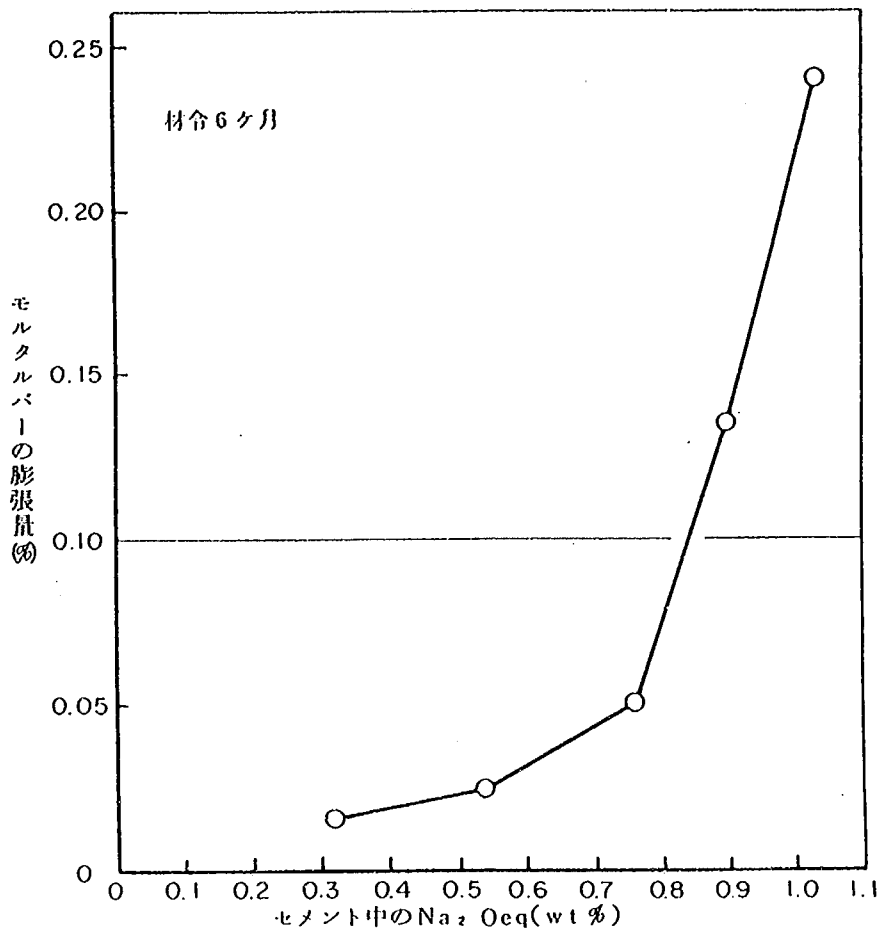


図-3.6 セメント中のNa₂Oeqとモルタルバーの膨張率の関係

(2) ペシマム量

ペシマム量と非反応骨材の混合割合と材令6ヶ月における膨張率の関係を図-3.7, 3.8に示す。

ASRにおける非反応骨材との混合割合は、ある混合量で膨張率が最大となり、これより混合量が多くとも少なくとも膨張率が小さくなる現象の、この膨張率が最大となる混合量をペシマム量と呼んでいる。図-3.7, 3.8 はそのペシマム量を調査すべく行われた結果であるが、明瞭なペシマム量は確認されず混合量が増加すればするほどモルタルバーも増加する結果となっており、この傾向は材令によっても同じ傾向を示している。

また、若材令の時点では混合率が多くなれば膨張率も増大するのがよくわかるが、材令6ヶ月では混合率が50%をすぎるあたりから膨張率の増大はあまり認められない。

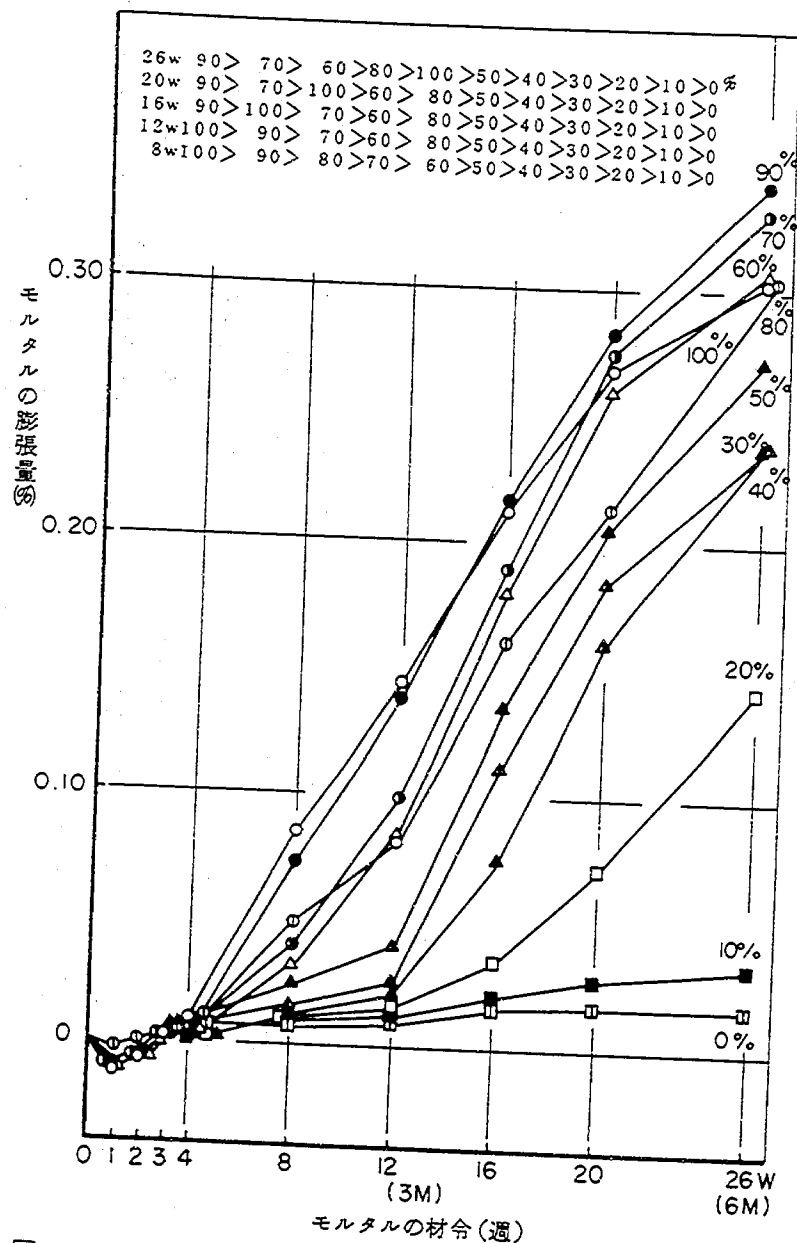


図-3.7 瀬田地区産骨材におけるベシムム量（経時膨張量）

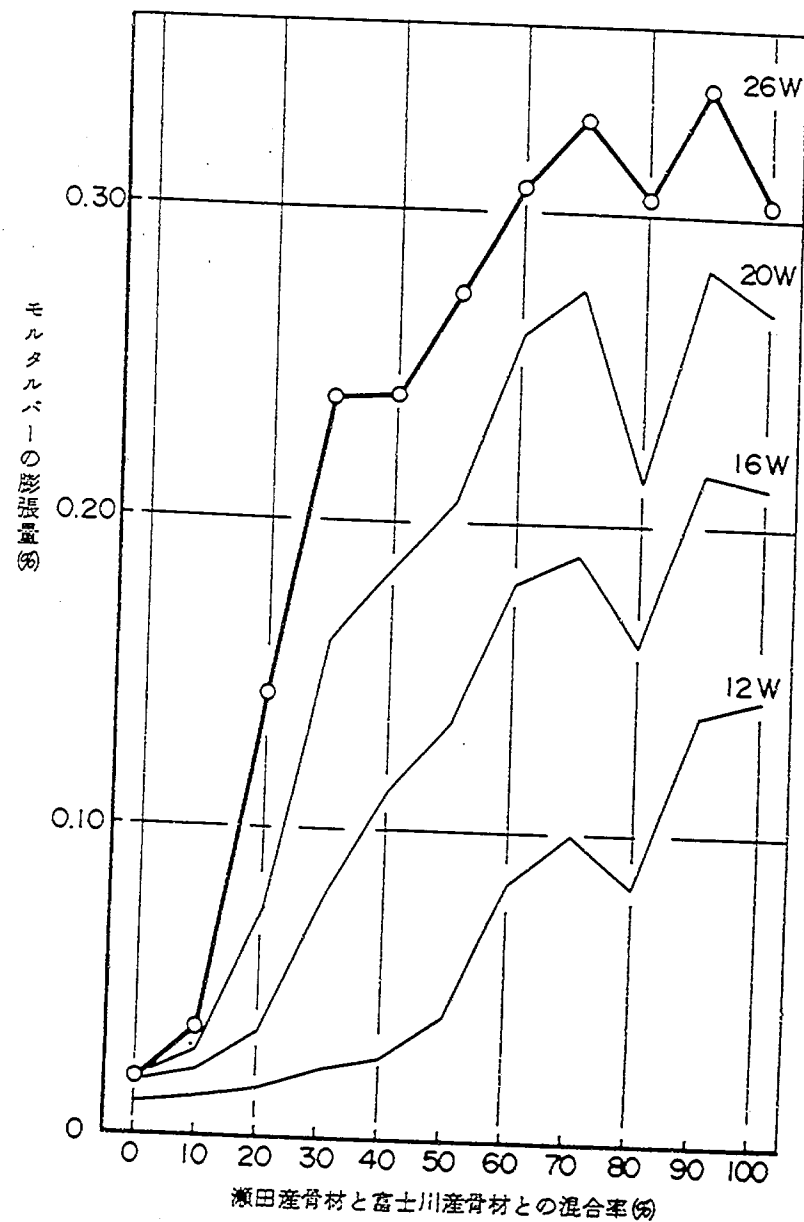


図-3.8 瀬田産骨材におけるベシムム量

4. A S R の膨張抑制に関する検討

3章で述べたとおり、骨材試料はアルカリシリカ反応性を有するものであり、しかもその反応性は鋭敏である。従って、その使用にあつてはA S R抑制対策を講じてコンクリート用骨材として用いることとなる。そのために、諸外国で採用しているA S R抑制対策を検討した。具体的には次に示す代表的なA S R抑制の検討を行った。

- 1) フライアッシュ及び高炉スラグ粉末のA S R抑制効果
- 2) 上記抑制効果の長期的安定性の検討
- 3) アルカリ量制御によるA S R抑制の検討

なお、以下に記述する内容は建設省総合技術開発プロジェクトや共同研究の成果も加えて検討を行っている。

4.1 混和材混入による抑制

骨材試料はダムコンクリート用の骨材としての使用を考えるならば、抑制対策の検討でまず取り上げるものは、ダムコンクリートでは混和材を混入することが一般的となっていることから、混和材の混入によるA S R抑制であろうといえる。また、その混和材はダムコンクリートに適し、かつA S R抑制効果をも有するものを混入量も含めて決定していかなければならないが、ここではA S R抑制に関してのみ取り扱うこととする。

4.1.1 高炉スラグ微粉末による抑制

我国には、高炉スラグ微粉末が生産されている工場が多数あり、これらの高炉スラグ微粉末のA S R抑制効果を確認するため、土木研究所と各関係機関とで共同研究を実施した。この共同研究では骨材試料を用いてのA S R抑制の検討も行っている。

以下、共同研究の概要について述べることにする。

(1) スラグ品質とパイレックスガラスを用いたモルタルバー試験

表-4.1に試験に用いたスラグ粉末12試料の化学成分および物理量を示す。

高炉スラグの主成分である SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO の4成分は、全体平均95.2%、最大96.6%～最小93.1%の範囲にあり安定した品質であるといえる。また、スラグの Na_2O 、 K_2O は各々平均値で0.26%、0.38%と低い。しかしながら、スラグ品質がA S Rに及ぼす影響についてはあまり調査されていない事もある。スラグ品質が良ければA S R抑制効果を有するとは結びつかない。また、ボゾランのA S R抑制効果が解明されていない現在では、抑制効果のあるボゾランであるかどうかは試験によって判断される。その試験方法としてはASTM C 441が知られているため、同試験によってスラグ品質とモルタルの膨張量の関係について調査を行った。

表-4.2にスラグ品質とモルタルの膨張量との単相関分析結果を示す。同表は、置換率50%、パイレックスガラスを用いたASTM C 441に準じて試験をモルタルの材令2週、8週での膨張量の関係を示

したものである。モルタルの膨張が続いている材令2週では SiO_2 、 Na_2O 、 S が比較的よい相関を示しているが、膨張が平衡状態に近い材令8週では Na_2O だけが良い相関を示している。これを図示すると図-4.1のようになり、スラグ粉末の Na_2O が高いとモルタルの膨張量も大きくなる傾向を示している。

また、成分以外では置換率が高い相関を示している。通常市販されている高炉セメントB種ではスラグ粉末の混入率は40±5%が多いことから置換率40、50%での抑制の効果をみると40%では13試料中4試料、50%では12試料がASTM C 441の基準値を満足している(図-4.2, 4.3)。

しかし、ASTM C 441の基準値 $R_c=75\%$ の判断は置換率25%での基準であり、スラグでは保証できないとの意見もある。それは、次のようなことである。

モルタルあるいはコンクリートを水中養生するとセメントゲルによる水の吸着作用がセメントゲルの凝集力に従って作用し、膨張圧によってゲル粒子をひき離そうとし、さらに表面張力も低下し、膨張が助長される。このことからモルタルバーの長さ変化は、

$$\text{長さ変化} = \text{膨張量} + \text{膨潤量}$$

となり、長さ変化は見かけ上大きくなる。この膨潤量はポルトランドセメント使用時に比べ高炉セメントを用いた場合の方が、大きいことが指摘されている。

以上のようなことから、スラグ粉末のASR抑制効果はASTM C 441の結果だけでの評価は困難であることから、実際の骨材を用いた試験を行ってその有効性を明らかにし、判断することとした。

表-4.1 スラグの品質試験結果 (代表的な12試料平均)

	ig loss	insol	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CaO	MgO	SO_2	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	S	合計	R_2O	塩基度
12試料平均	0.15	0.16	33.3	13.8	0.59	41.9	6.2	(2.24)	0.26	0.38	1.06	0.57	1.12	99.03	0.52	1.86
最大	0.39	0.48	34.6	14.6	1.81	42.9	7.6		0.45	0.51	1.73	0.97	1.64	99.44	0.68	1.98
最小	0.78	0.05	31.5	13.1	0.36	40.4	5.3		0.17	0.32	0.57	0.33	0.79	98.53	0.39	1.78
標準偏差	0.39	0.12	1.09	0.46	0.40	0.74	0.61		0.07	0.09	0.32	0.17	0.31	0.30	0.08	0.06

スラグの物理試験結果

	比重	粉末度		ガラス化率		曲げ強さ (kg/cm^2)				圧縮強さ (kg/cm^2)				塩基度
		88 μ 残分(%)	ブレン(cm^2/g)	顕微鏡	X線	3日	7日	28日	91日	3日	7日	28日	91日	
12試料平均	2.92	0.5	3820	96.3	98.0	25	38	71	76.3	86	172	421	572	1.86
最大	2.93	1.9	4160	98.8	99.5	30	46	77	81.8	115	216	472	659	1.98
最小	2.90	0.1	3490	84.5	90.8	22	35	66	71.0	71	152	389	519	1.78
標準偏差	0.011	0.57	149	3.8	2.4	2.6	3.6	3.6	3.9	13.7	17.7	22.1	39.7	0.06

表-4.2 スラグ品質とモルタルの膨張量との
単相関分析結果

	N	2 Ws	8 Ws
ig loss	12	0.539	0.340
insol	12	-0.335	0.268
SiO ₂	12	0.614	0.507
Al ₂ O ₃	12	-0.272	-0.468
FeO	12	0.123	-0.015
CaO	12	0.396	0.429
MgO	12	0.199	0.172
Na ₂ O	12	0.772	0.747
K ₂ O	12	-0.400	-0.311
TiO ₂	12	-0.100	-0.071
MnO	12	-0.174	-0.011
S	12	-0.704	-0.595
R ₂ O	12	0.516	0.533
塩基度	12	-0.440	-0.375

・ 1% 2.663

・ 5% 2.387

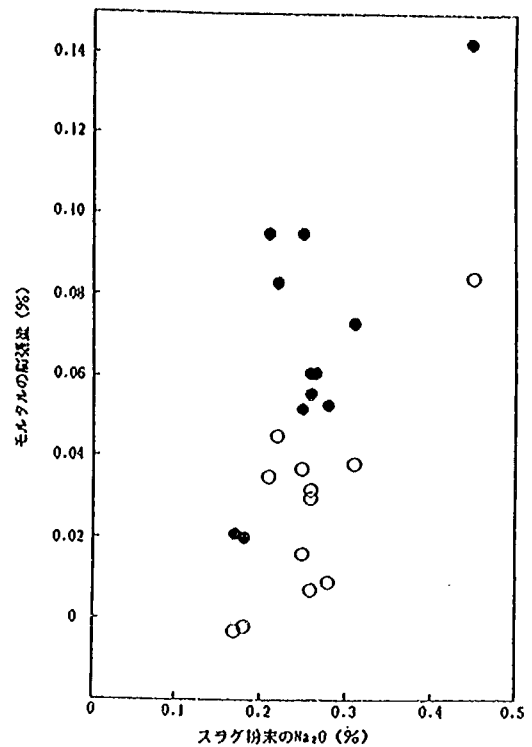


図-4.1 スラグ粉末のNa₂Oと
モルタルの膨張量の関係

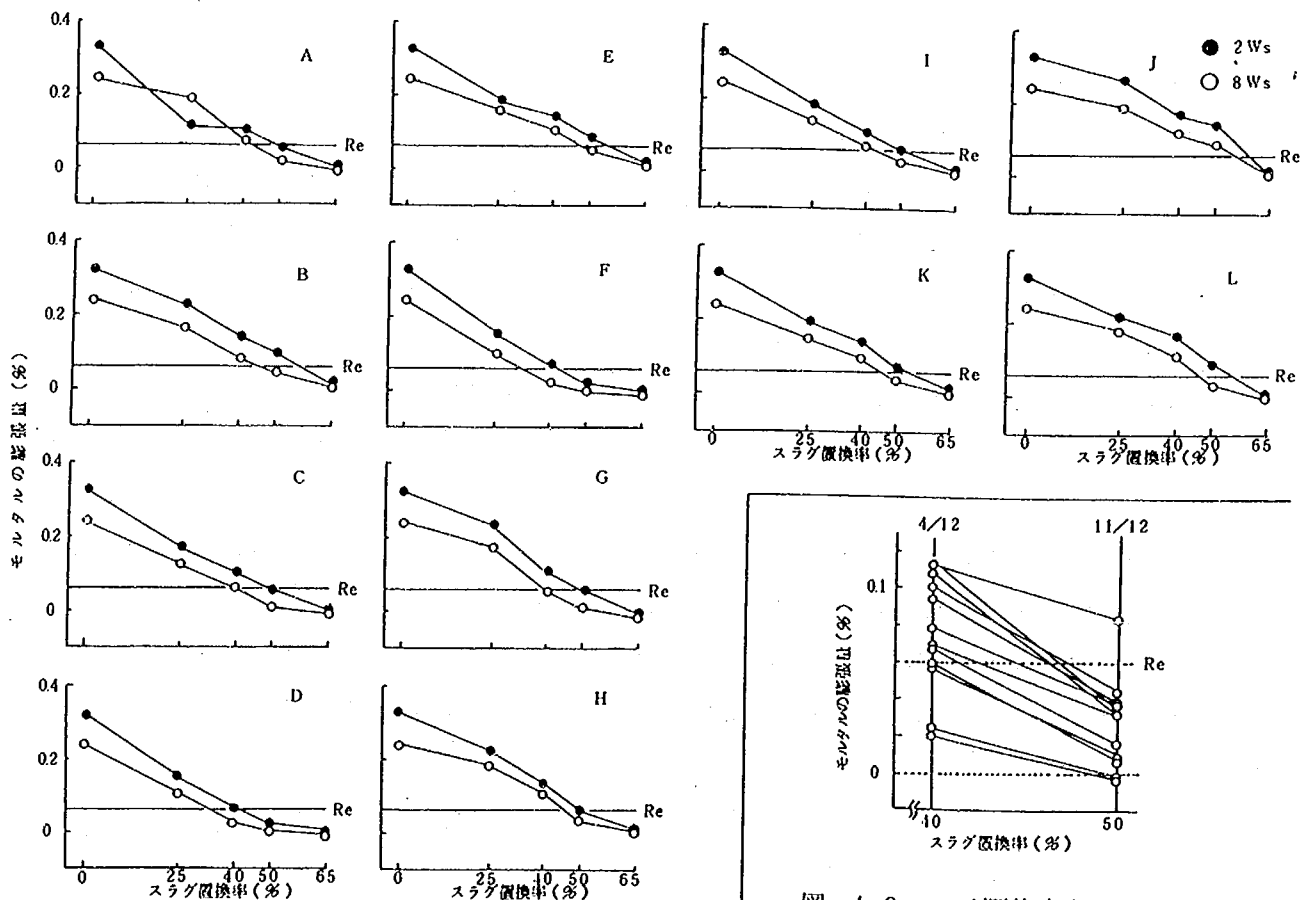


図-4.2 国産スラグの粉末のASTM C 441 結果

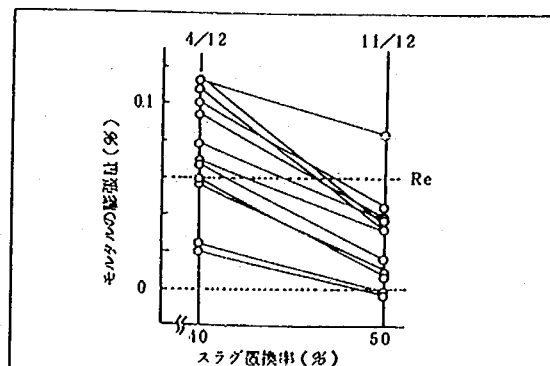


図-4.3 スラグ置換率とモルタルの膨張量

(2) 天然骨材を用いたモルタルバー試験

ここではパイレックスガラスを用いたモルタルバー試験でA S R膨張抑制効果が最大のスラグ粉末D, 中間のC, 最小のJの3種のスラグ粉末を選定して, 骨材試料におけるA S R膨張抑制について検討した。このように天然骨材を用いたこの種の実験ではASTM C 441のように定められた判定条件がないが, 考えられる判定条件としては次のようなものがある。

- ① モルタルバー法の基準の適用(3ヶ月で0.05%, 6ヶ月で0.1%)により効果があるとみなす。
- ② 低アルカリセメント使用時($E_{11}=0.02\%$ or $R_o=75\%$)と同程度の膨張量に抑制されたことにより効果があるとみなす。
- ③ モルタルバーのひびわれ発生を基準に, 効果があるとみなす。

があげられるが, このうち②については高アルカリセメントを用いると膨潤が大きくなるとの報告があり, この膨潤を考慮する必要がある, ③については現状では個人差や不確定な要素もあるため, 判断の基準にはなりづらい。よって, ここではとりあえず, ①をもとに抑制効果について考えることとする。

当該骨材を用いてスラグの種類を変化させた場合の結果を図-4.4, 図-4.5, 図-4.6に示す。なお試験は建設省暫定案モルタルバー法に準じて行った。但し, アルカリ量は0.86, 1.16, 1.96%の3水準変化させた。

スラグ粉末Cを用いた場合, アルカリ量1.2%のセメントを用いたとき置換率30%ではほぼ6ヶ月0.05%の膨張となり, 非常に高いアルカリ量の2.0%のセメントを用いたときには, 置換率45%で6ヶ月0.1%, 50%で6ヶ月0.05%程度となっている。スラグ粉末Dを用いた場合には, 図-4.5に示すように, アルカリ量1.2%のセメントを用いたときは, スラグ置換率40%で, 6ヶ月0.05%程度となっており, アルカリ量2.0%のセメントを用いたときには, 置換率40%で6ヶ月0.1%以下に, スラグ置換率50%で6ヶ月0.05%以下になっている。スラグ粉末Jを用いた場合には, アルカリ量1.2%のセメントを用いたときは置換率40%で6ヶ月0.05%以下, アルカリ量2.0%のセメントを用いたときは, 置換率50%で6ヶ月0.1%以下, 置換率60%で6ヶ月0.05%程度となっている。図-4.7にスラグ粉末C, D, Jの銘柄別の膨張抑制効果を示すが, これをみるとパイレックスガラス骨材を用いたASTM C 441で抑制効果の少なかったスラグJ, 逆に, 大きかったD, 中間のCが天然骨材に対しては有意な差をもたなくなっていることがわかる。

以上の結果から, 当該骨材に対し, スラグ粉末Dを用いた場合には, アルカリ量1.2%のセメントを用いたときにはスラグ置換率40%で, ほぼ6ヶ月0.1%以下の膨張量におさえられているといえる。このアルカリ量1.2%という値は, これまでに生産されたセメントを用いたときでも, スラグ置換率50%で, 6ヶ月0.1%以下, 置換率60%で6ヶ月0.05%以下とすることができるといえる。

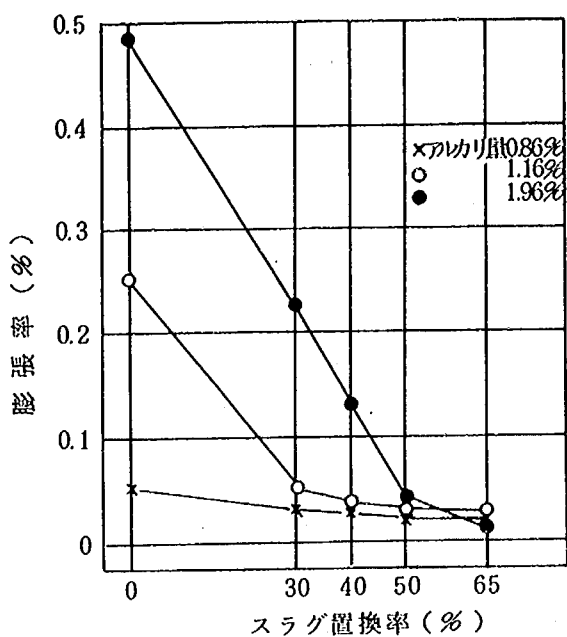


図-4.4 スラグ置換率と膨張率
(スラグC, 材令6ヶ月)

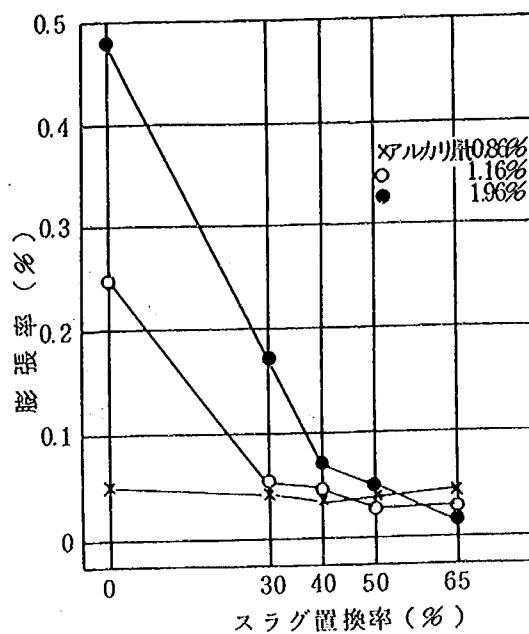


図-4.5 スラグ置換率と膨張率
(スラグD, 材令6ヶ月)

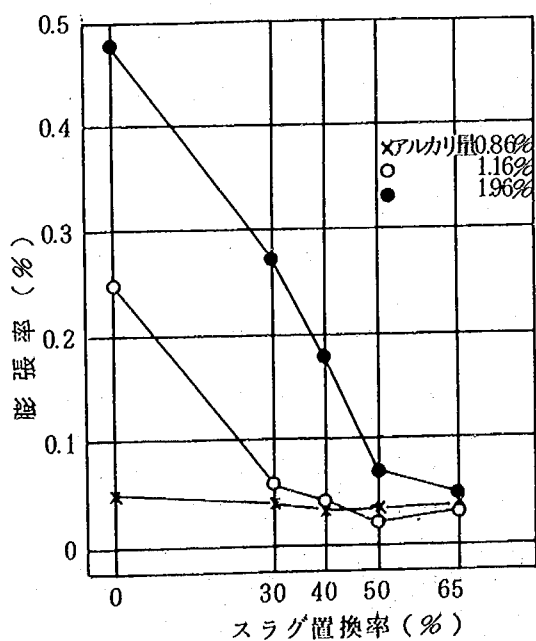


図-4.6 スラグ置換率と膨張率
(スラグJ, 材令6ヶ月)

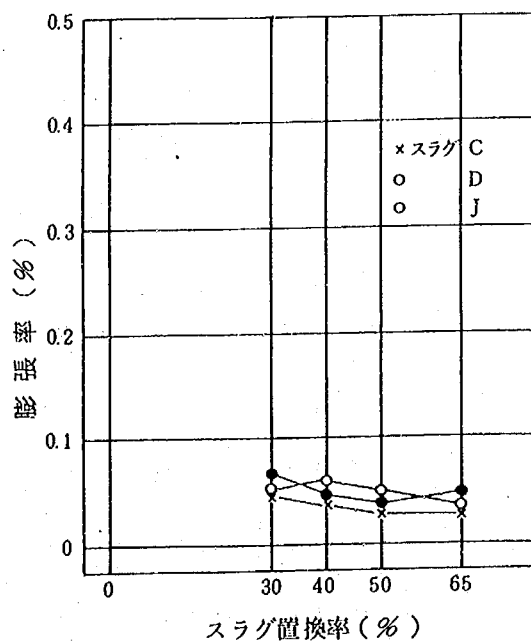


図-4.7 スラグ銘柄の比較
(アルカリ量1.16%, 材令6ヶ月)

4.1.2 フライアッシュによる抑制

我国で生産されるフライアッシュについて、スラグ同様普遍的な A S R 抑制を確認するため共同研究を行った。共同研究では当該骨材を用いて検討を行っているため、以下に共同研究の概要について述べる。

(1) フライアッシュ品質とパイレックスガラスを用いたモルタルバー試験

表-4.3に試験に使用したフライアッシュ14試料の物理的性質および化学分析試験の結果を示す。

フライアッシュは、 SiO_2 を約60%と Al_2O_3 を約25%含んでおり、スラグに比してその品質のバラツキは大きい。また、スラグに比べ、 Na_2O 、 K_2O を多く含み、中には2.35%もの Na_2O を含むものや2.28%もの K_2O を含むものもある。これら14試料のフライアッシュを用いてパイレックスガラスでのASTM C 441試験を行い、ボゾラン材料の評価及びフライアッシュ品質とA S R抑制効果の関係について調査した。

表-4.4にASTM C 441試験によるフライアッシュ14試料の結果を示す。ASTM C 441に規定される膨張減少率(Re)の基準値は75%であるが、フライアッシュ置換率20%(F/C+F)の場合、最大66.7%、最小47.6%の範囲にあり基準値には達していない。また、置換率を変化させた試料C、G、Lでは置換率30%でもRe=75%を満足するのは一試料(L)だけであった。

表-4.5にフライアッシュ中の化学成分としてパイレックスガラスモルタルバーの膨張減少率との関係を示し、表-4.6にフライアッシュの物理的性質との関係を示す。これらの表によれば、若材令において Al_2O_3 、 Fe_2O_3 および SO_3 との間にやや相関が認められるものの、その他の成分あるいは性質では明瞭な相関性は認められない。我が国で産出されるフライアッシュがASTM C 441試験の基準に満足しないことの原因については現段階では不明であるが、スラグの場合と同様に特定の骨材を用いたモルタルバー試験によって判断を行うこととした。

表-4.3 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
	比重	粉 末 度		単 位 水置比 (%)	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 (<i>cm</i> ² / <i>g</i>)	44 μ m 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	9.7	3.6	1.3	0.89	0.64	0.75	99.38			
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			
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			
D	2.24	8110	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			
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			
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			
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			
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			
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			
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			
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	99.54			
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			
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			
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			

表-4.4 バイレックス・モルタル・バー試験結果

試料	14日		28日		56日		91日	
	長さ 変化率 (%)	膨張 減少率 (%)	長さ 変化率 (%)	膨張 減少率 (%)	長さ 変化率 (%)	膨張 減少率 (%)	長さ 変化率 (%)	膨張 減少率 (%)
A	0.199	56.3	0.262	62.0	0.344	56.9	—	—
B	0.166	63.6	0.229	66.6	0.322	59.6	—	—
C	0.239	47.6	0.309	55.1	0.400	49.9	0.428	47.3
D	0.180	60.5	0.260	62.2	0.377	52.7	—	—
E	0.175	61.5	0.240	65.1	0.340	57.4	0.387	54.1
F	0.194	57.3	0.259	62.3	0.357	55.3	—	—
G	0.200	56.1	0.256	62.8	0.334	58.1	0.372	55.7
H	0.194	57.4	0.249	63.8	0.340	57.4	—	—
I	0.203	55.5	0.257	62.7	0.339	57.5	—	—
J	0.227	50.1	0.281	59.1	0.358	55.1	—	—
K	0.230	49.4	0.310	54.9	0.387	51.5	—	—
L	0.151	66.7	0.201	70.8	0.255	68.0	0.295	65.0
M	0.209	54.0	0.271	60.6	0.356	55.4	0.409	51.5
N	0.190	58.4	0.260	62.3	0.347	56.5	—	—

表-4.5 化学成分とアルカリ骨材反応試験結果（バイレックスモルタルバー）との相関関係一覧表

y 軸 \ x 軸	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	R ₂ O
材令14日 (n=20)	0.1012	0.6615	-0.6432	-0.4639	-0.3536	-0.1340	-0.3262	-0.5370	-0.2307
材令28日 (n=20)	0.1615	0.6113	-0.6330	-0.4600	-0.3670	-0.1625	-0.3523	-0.6217	-0.2642
材令56日 (n=20)	0.0935	0.5251	-0.5488	-0.3522	-0.3422	-0.1487	-0.3826	-0.5325	-0.2643
材令91日 (n=11)	0.0194	0.3178	-0.3934	-0.3147	-0.3288	-0.1557	-0.1779	-0.4827	-0.1736

表-4.6 物理的性質とアルカリ骨材反応試験結果（バイレックスモルタルバー）との相関関係一覧表

y 軸 \ x 軸	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		
					材令7日	材令28日	材令91日
材令14日 (n=20)	0.0515	0.4780	-0.4071	-0.0224	0.4804	0.4924	0.2878
材令28日 (n=20)	-0.1086	0.3907	-0.3238	0.0014	0.3952	0.3950	0.1280
材令56日 (n=20)	-0.0860	0.2092	-0.1832	-0.0227	0.2162	0.2209	-0.0559
材令91日 (n=11)	0.2713	0.4943	-0.4876	-0.1484	0.4156	0.4619	0.4467

(2) 天然骨材を用いたモルタルバー試験

フライアッシュ14試料と当該骨材を用いたモルタルバー試験を行った。試験は建設省暫定案に準じ、フライアッシュ置換率は重量比で $F/C+F=10, 20, 30\%$ とし、一部15%も加えた。また、アルカリ量はNaOHにより $Na_2O_{eq}=1.2\%$ 及び一部0.8%に調整した2水準としたものを用いた。

図-4.8にフライアッシュ14試料と当該骨材を用いたモルタルバー試験の結果を示す。なお、フライアッシュのASR抑制効果の判断の目安はスラグ粉末の場合と同様に行った。

フライアッシュのASR抑制効果は置換率10%の場合、抑制効果にバラツキが認められ、フライアッシュ $M<N<L<K<C<D<G<F<B<J<A<H<I<E$ の銘柄順となっている。しかし、置換率が高い場合では、抑制効果にバラツキはすくない。これは、ある一定量以上のフライアッシュをセメントと置換すればASRを抑制することができ、それ以下の置換量では銘柄によって抑制効果が異なることを示している。

また、フライアッシュによる試料骨材のASR抑制はフライアッシュ置換率に応じて効果が認められ、モルタルの材令6ヶ月時点では置換率10%でフライアッシュ14試料中3試料が、また、置換率20%ではすべてのフライアッシュがモルタルバーの膨張率0.05%（3ヶ月）以下となっている。さらに、セメントのアルカリ量が0.8%の場合では、置換率5%で膨張率0.05%以下となっており、アルカリ量に応じて抑制に必要なフライアッシュ置換率が変化することがわかる。

次に、モルタルバーの膨張量とフライアッシュ品質（化学成分、物理的性質）の関係を表-4.7、4.8に示す。

パイレックスガラスの場合ではフライアッシュ品質との間では明確な相関は認められなかったが、天然骨材では表に示すようにフライアッシュ中の SiO_2 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O および R_2O との間に相関が認められ、特にフライアッシュ中のアルカリ量に高い相関が認められる。これを図示したものが図-4.9であり、フライアッシュ置換率はフライアッシュ中のアルカリ量が高くなるに従って、膨張量が大きくなり、抑制効果は低下することを意味し、フライアッシュ置換率が少ないときに銘柄によってASR抑制効果に変化するのはフライアッシュに含まれるアルカリ量が原因していることがわかる。

以上、試料骨材を用いたモルタルバーの結果から我が国で産出されるすべてのフライアッシュは置換率20%以上であれば、ASR抑制効果を有することができ、また、使用するセメントのアルカリ量が0.8%程度以下である場合、フライアッシュ置換率15%程度で十分にASR抑制効果があるといえる。

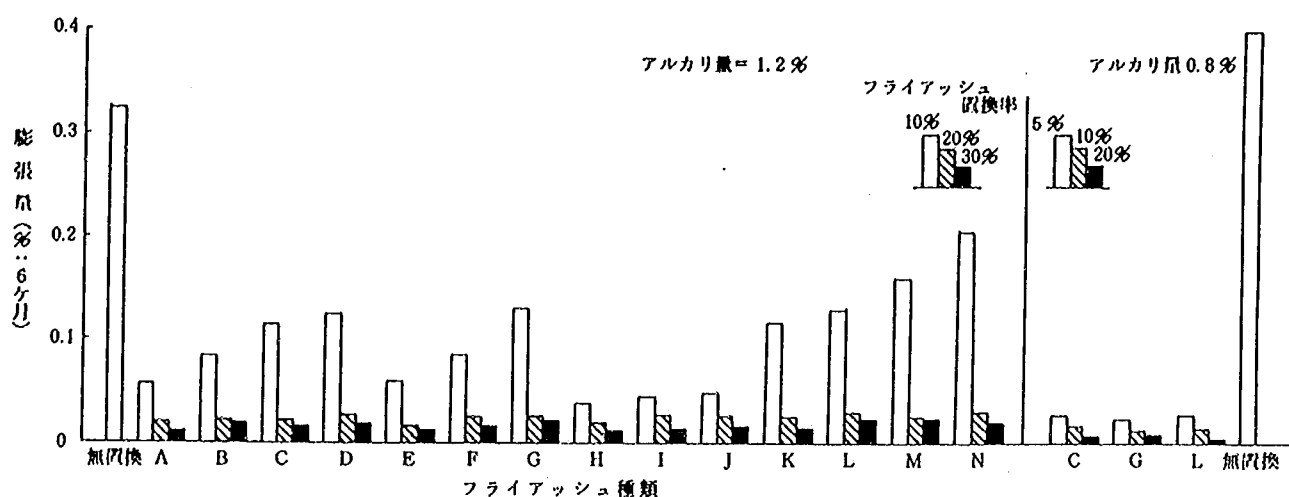


図-4.8 フライアッシュ種類と材令6ヶ月長さ変化率

表 4.7 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

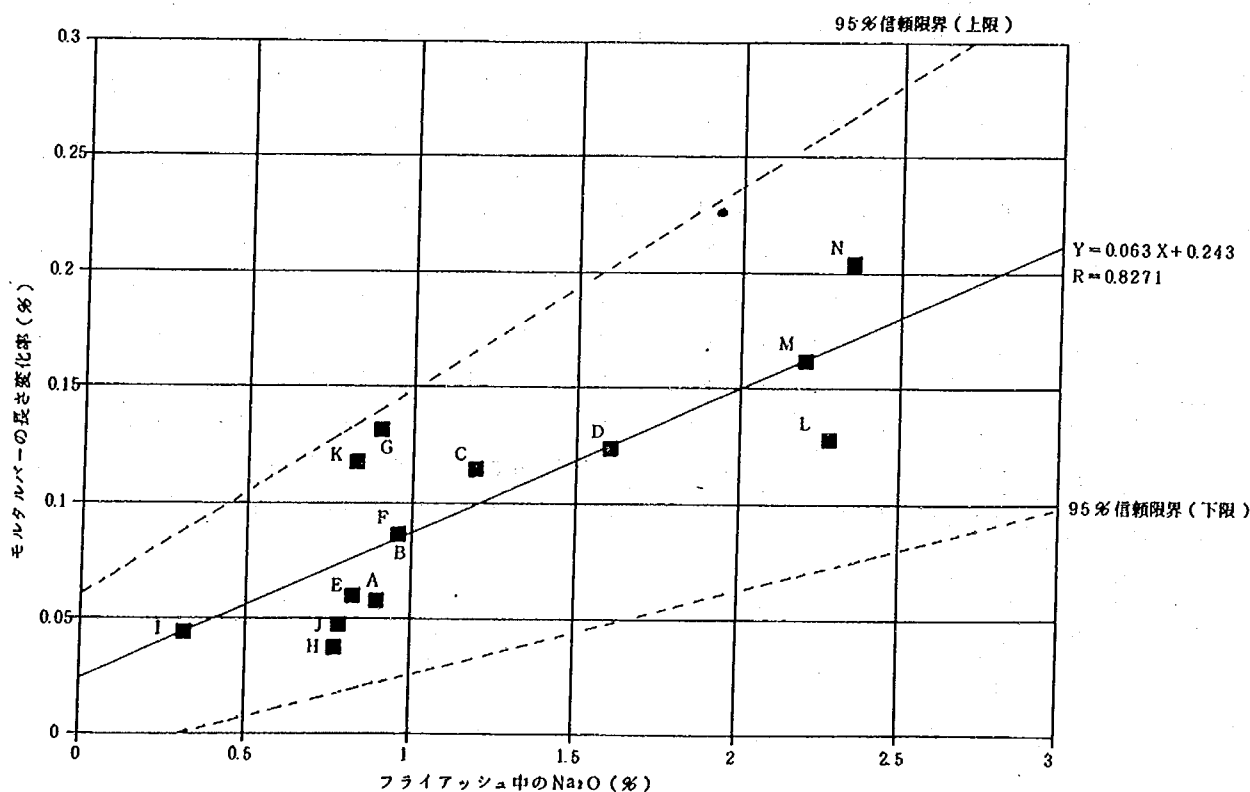
		(相関係数)								
y 軸	x 軸	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	R ₂ O
10 %	2 週	-0.4486	-0.2926	0.2727	0.5298	0.4174	0.3348	-0.0082	0.3124	0.2680
	4 週	-0.5710	-0.1210	0.1145	0.6820	0.6786	0.6041	0.1841	0.1348	0.5645
	2 月	-0.6877	0.0923	0.1933	0.7067	0.6938	0.6337	0.0658	0.0980	0.5415
	3 月	-0.7242	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	0.3608	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-4.8 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)

y 軸	x 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

図-4.9 フライアッシュ中のNa₂Oとモルタルバーの長さ変化率 (材令: 6ヶ月)



4.1.3 コンクリートにおけるボゾランのASR抑制効果と抑制効果の長期安定性

既に述べてきたとおり、当該骨材における高炉スラグ微粉末とフライアッシュのASR抑制効果については、その有効性は確認されたが、期間が短い試験の結果からであることやモルタルによる試験の結果であるため、代表的な高炉スラグ微粉末とフライアッシュを用いて、ASR膨張抑制効果の長期的安定性の確認とコンクリートでのASR抑制の有効性を検討した。

(1) 使用材料

a) セメント

使用したセメントは普通ポルトランドセメントで Na_2O :0.53%, K_2O :0.61%, R_2O :0.93%である。表-4.9にセメントの試験成績表を示す。

表-4.9 セメントの化学分析及び物理試験結果

区分	比重	比表面積 (cm^2/g)	凝 結		安定性	フロー値 (mm)	曲げ強さ (kgf/cm^2)		圧縮強さ (kgf/cm^2)	
			始 発	終 結			7 日	28 日	7 日	28 日
普通	3.15	3,380	2-51	3-59	良	264	51	68	256	407
区分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	insol	igloss
普通	21.5	5.2	3.1	64.9	1.4	2.1	0.53	0.61	0.2	0.6

b) フライアッシュ

フライアッシュは、九電産業㈱の製品で Na_2O , K_2O は各々2.28%, 1.45%であり、表-4.10にはフライアッシュの試験成績表を示す。

表-4.10 フライアッシュの化学分析及び物理試験結果
化 学 分 析 (%)

湿 分	ig-loss	SiO_2	Na_2O	K_2O	R_2O^*
0.2	1.5	49.1	2.28	1.45	3.23

$$^*) \text{R}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \cdot \text{K}_2\text{O}$$

物 理 試 験

比 重	粉 末 度		単位水量比 (%)	圧縮強度比(%)	
	ボロシチー	比表面積 (cm^2/g)		28 日	91 日
23.5	0.470	3,440	96	84	—

c) 高炉スラグ粉末

高炉スラグ粉末は、新日鉄㈱の製品である。 Na_2O , K_2O は各々0.25%, 0.36%であり表-4.11に高炉スラグ粉末の試験成績表を示す。

表- 4.11 高炉スラグ粉末の物理試験及び化学分析結果

比 重	比表面積 (cm^2/g)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Total	S	Na_2O	K_2O
2.90	3,750	34.1	15.1	0.6	42.1	5.2	98.0	0.9	0.25	0.36

d) 骨 材

骨材は当該骨材及び比較用として細骨材に富士川産川砂，粗骨材には笠間産砕石を用いた。これらの物理試験結果は表- 5.3に示すとおりである。

(2) モルタルによる試験

表- 4.12に示す試験条件について，ASTM C 227 モルタルバー法に準じた方法により試験を行った。試験条件は，①フライアッシュ，高炉スラグ粉末のA S Rによる膨張効果，②高アルカリ条件下での膨張抑制効果，③アルカリ量とフライアッシュ，スラグ粉末の置換率がモルタルの膨張量に与える影響の関係を把握できるようにした。

試験はモルタルバー法に準じたが供試体は $4 \times 4 \times 16 \text{cm}$ とし，1配合につき3本とした。この時の配合は重量比でセメント1に対して骨材2.25としてフライアッシュ及び高炉スラグ粉末はセメント重量の内割りとして使用した。またアルカリの添加は $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \cdot \text{K}_2\text{O}$ で計算される R_2O を8.219N - NaOH水溶液を用いてセメントの0.5，1.0wt%を添加した。従って，各シリーズの Na_2O eqは0.93%，1.43%，1.93%となるが，ここでは以下便宜的に各々のアルカリ量を1.0%，1.5%，2.0%と呼ぶ。

表-12 モルタルバーでの試験組合せ

No		Na ₂ Oeq 量 (C×wt%)			混和材の置換率 (F/C+F・100, S/C+S・100:%)										骨 材
		1.0	1.5	2.0	0	フライアッシュ				高炉スラグ粉末					
						10	20	25	30	30	40	50	60		
1	A-1.0- 0	○												瀬 田 地区産 砕 砂	
2	A-1.5- 0		○		○										
3	A-2.0- 0			○											
4	A-1.0-F10	○													
5	A-1.5-F10		○			○									
6	A-2.0-F10			○											
7	A-1.0-F20	○													
8	A-1.5-F20		○				○								
9	A-2.0-F20			○											
10	A-1.0-F25	○													
11	A-1.5-F25		○					○							
12	A-2.0-F25			○											
13	A-1.0-F30	○													
14	A-1.5-F30		○						○						
15	A-2.0-F30			○											
16	A-1.0-S30	○													
17	A-1.5-S30		○							○					
18	A-2.0-S30			○											
19	A-1.0-S40	○													
20	A-1.5-S40		○								○				
21	A-2.0-S40			○											
22	A-1.0-S50	○													
23	A-1.5-S50		○									○			
24	A-2.0-S50			○											
25	A-1.0-S60	○													
26	A-1.5-S60		○										○		
27	A-2.0-S60			○											
28	B-1.0- 0	○													
29	B-1.5- 0		○		○										
30	B-2.0- 0			○											

富士川 産川砂

(3) コンクリートによる試験

表-4.13に示す試験条件について以下の示す配合条件によりコンクリートを作製した。

水セメント比(W/C) : 55%

スランプ : 8±1cm

アルカリ量(Na₂Oeq:%) : 1.0%(0.93), 1.5%(1.43), 2.0%(1.93)

アルカリ量はモルタル同様にNaOH水溶液を添加してNa₂O量を調整した。

なお、当初空気量4.5～5%のAEコンクリートの計画であったがNaOH水溶液の添加のため試験練りの段階で空気量が確保できないためプレーンコンクリートとした。なお、コンクリートの配合は表-4.14に示した。

上記配合条件のコンクリートについて10×10×40cmの供試体を作製した。

供試体は脱型した後材令28日まで水中養生を行った。材令が28日に達したならば供試体を取り出して諸測定を行い、その後38℃に保たれた恒温室で湿気箱に立てて入れ貯蔵した。

それ以後の測定は同様に一定の間隔で3年間（材令36ヶ月）行った。

表-13 コンクリートでの試験組合せ

No		Na ₂ Oeq量 (C×wt%)			セメントの置換率(F(S)/C+F(S)×100)							使用骨材	
		1.0	1.5	2.0	0	フライアッシュ			高炉スラグ粉末			粗骨材	細骨材
						10	20	30	30	50	60		
1	A-1.0-C	○			○							瀬田地区産 砕石	瀬田地区産 砕砂
2	A-1.5-C		○										
3	A-2.0-C			○									
4	A-1.0-F10	○				○							
5	A-1.5-F10		○										
6	A-2.0-F10			○									
7	A-1.0-F20	○											
8	A-1.5-F20		○				○						
9	A-2.0-F20			○									
10	A-1.0-F30	○											
11	A-1.5-F30		○					○					
12	A-2.0-F30			○									
13	A-1.0-S30	○								○			
14	A-1.5-S30		○										
15	A-2.0-S30			○									
16	A-1.0-S50	○											
17	A-1.5-S50		○							○			
18	A-2.0-S50			○									
19	A-1.0-S60	○											
20	A-1.5-S60		○								○		
21	A-2.0-S60			○									
22	B-1.0-C	○			○							笠間産 砕石	富士川 産川砂
23	B-1.5-C		○										
24	B-2.0-C			○									

表-14 コンクリートの配合

No	混和材の置換率 (F/C+F×100)		Na ₂ O (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					スランブ (cm)	空 気 量 (%)	コンクリート温度 (℃)	使用骨材		備 考	
					W	C	S	G	混和材				NaOH*	粗骨材		細骨材
1	0		1.0	50	200	364	918	908	0	0	8.0	2.4	21.5	瀬 田	瀬 田	プレ イン コン クリ ート
2			1.5	46	192	349	860	1,000	0	6.84	8.5	2.8	21.0			
3			2.0	46	188	342	869	1,008	0	13.41	9.0	3.5	21.0			
4	フ ラ イ ア ッ シュ	10	1.0	50	200	328	912	902	36	0	9.0	1.4	20.0			
5			1.5	46	187	306	866	1,005	34	6.0	9.0	1.4	20.5			
6			2.0	46	180	294	880	1,022	33	11.53	8.0	1.8	21.0			
7		20	1.0	50	194	282	921	911	71	0	8.5	1.1	21.0			
8			1.5	46	182	265	871	1,011	66	5.25	9.0	1.2	20.0			
9			2.0	46	178	259	880	1,022	65	10.16	8.5	1.2	20.0			
10	高 炉 ス ラ グ 粉 末	30	1.0	50	190	241	926	913	104	0	8.5	1.0	21.0			
11			1.5	46	180	229	871	1,014	98	4.49	7.5	1.0	20.8			
12			2.0	46	174	221	882	1,027	95	8.67	7.5	1.2	20.6			
13		50	1.0	50	198	252	918	908	108	0	8.0	2.5	22.0			
14			1.5	46	194	247	825	989	106	4.84	9.0	2.3	21.0			
15			2.0	46	190	241	860	1,000	104	9.45	7.5	2.6	21.0			
16	高 炉 ス ラ グ 粉 末	50	1.0	50	198	180	915	905	180	0	9.0	2.2	21.0			
17			1.5	46	192	174	855	992	175	3.41	8.0	2.0	20.6			
18			2.0	46	189	172	860	1,000	172	6.75	7.5	2.2	20.2			
19		60	1.0	50	195	141	921	911	213	0	8.5	2.0	21.0			
20			1.5	46	191	139	855	992	208	2.73	7.0	2.2	21.0			
21			2.0	46	188	137	866	1,000	205	5.37	7.5	2.3	21.0			
22	0		1.0	48	184	335	882	964	0	0	7.0	1.8	22.5	笠間産 砕石	富士川 産川砂	
23			1.5	45	180	327	834	1,031	0	6.41	7.5	1.8	22.0			
24			2.0	45	177	322	840	1,036	0	12.63	8.0	2.0	21.0			
25	0		1.0	47	182	331	855	951	0	0 (C×0.025)	(10.5) (9.2) 7.5	(8.3) (6.3) 6.3		瀬 田	瀬 田	A E コン クリ ート
26	0		1.5	47	176	320	866	967	0	6.35 (C×0.013)	(7.5) 5.2	(7.2) 5.7	20.5			
27	0		1.0	45	174	316	803	993	0	0 (C×0.018)	6.1	4.0		笠間産 砕石	富士川 産川砂	
28	0		1.5	45	177	322	797	985	0	6.89 (C×0.018)	15.5	7.0	21.5			

(*) NaOHは8.219N-NaOH水溶液での単位量(L/m³)。また()内の数値はAE型添加量(%)。

スランブ、空気量での()内の数値は練返し前での各々の値。

(4) 試験結果及び考察

図-4.10に材令36ヶ月までのモルタルの経時膨張を示す。材令5～6ヶ月まで急速に膨張を続けてきたすべてのモルタルバーはその後わずかに膨張を示しながら徐々に平衡状態へと推移している。材令6ヶ月以降最大の膨張量を示しているのはB-1.5-0であり、次いで、同2.0-0である。抑制対策を講じたモルタルバーではフライアッシュ10%を混入したものがアルカリ3水準とも大きな膨張量を示しており、スラグ粉末では混入率に関係なく総じて6ヶ月以降の膨張量の増大はあまり認められない。また、すべてのモルタルバーでの材令18ヶ月から24ヶ月の6ヶ月間の膨張の増大量は平均0.0008%, 最大0.0071%, 最小-0.0045%となっており、ごく微量といえる(図-4.11)。

モルタルバーでは、その総アルカリ量が多いのもあって抑制対策を講じたものも膨張しているが、コンクリート供試体を同様な環境においたものでは抑制対策を講じたものは膨張は示していない。また、自然暴露の状態ではそれ以上に膨張は示していない。

ここで行ったモルタルバー試験のアルカリ量は高く($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=1.0\sim2.0\%$, 総アルカリ量 $=6.0\sim12\text{ Kg/m}^3$)そのために反応は促進されるが、コンクリート試験ではアルカリ量はモルタルバー試験の約1/2であるため、フライアッシュや高炉スラグ微粉末によるA S R抑制がコンクリート試験では顕著にその効果を示しているものと思われる。また、一般に安山岩のアルカリ反応が早いように、安山岩である試料骨材もアルカリ反応性は早く、材令36ヶ月を経過した供試体の膨張は収束しているものと考えられる。

以上のことから、モルタルバー試験で十分にボゾランの抑制が認められるならば、コンクリートとしてはそれ以上の効果が期待でき、またその効果は長期に渡って有効性を示すであろう。

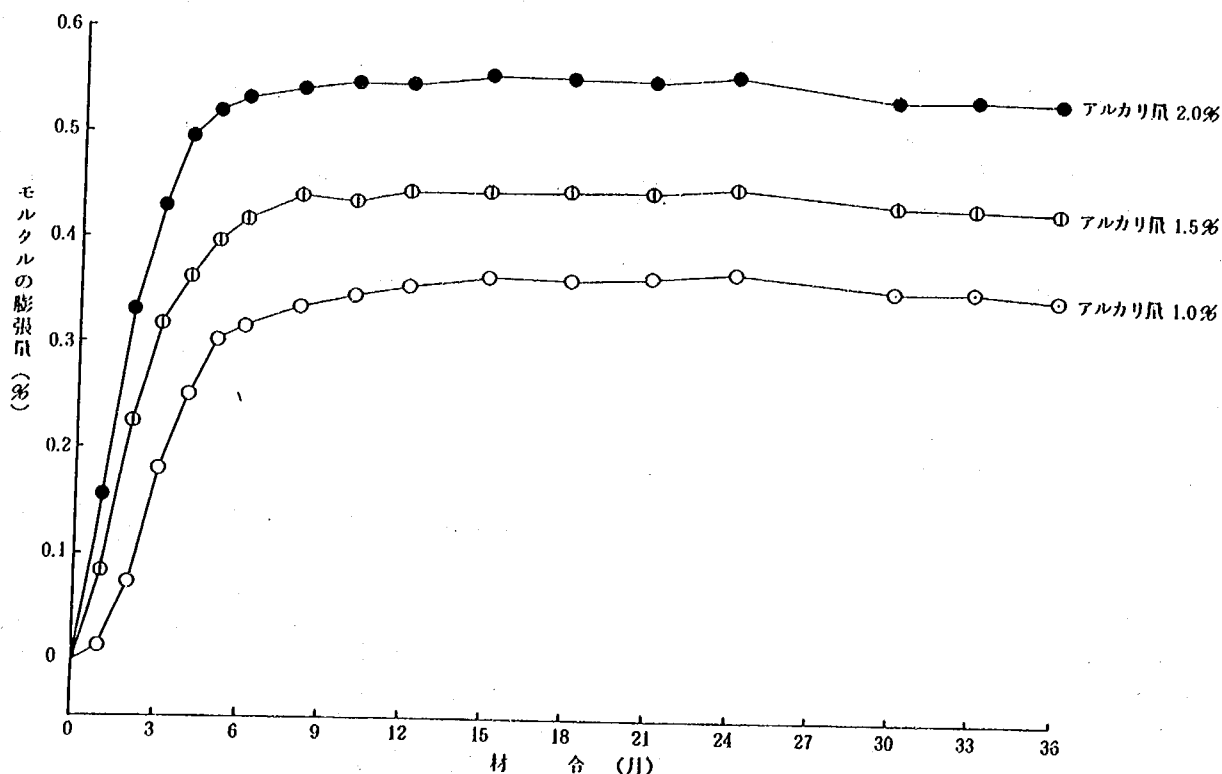


図-4.10(1) モルタルの経時膨張 (反応性骨材, 混和剤無置換)

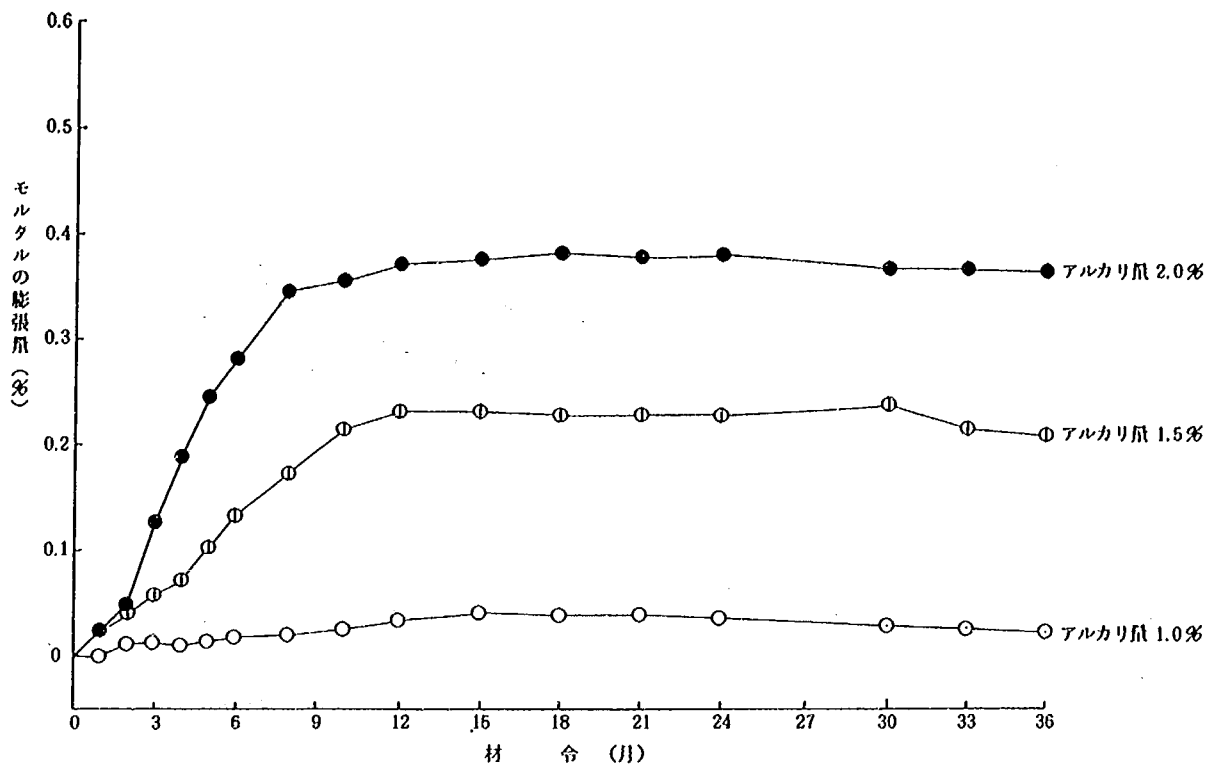


図- 4.10(2) モルタルの経時膨張 (富士川産砂, 混和材無置換)

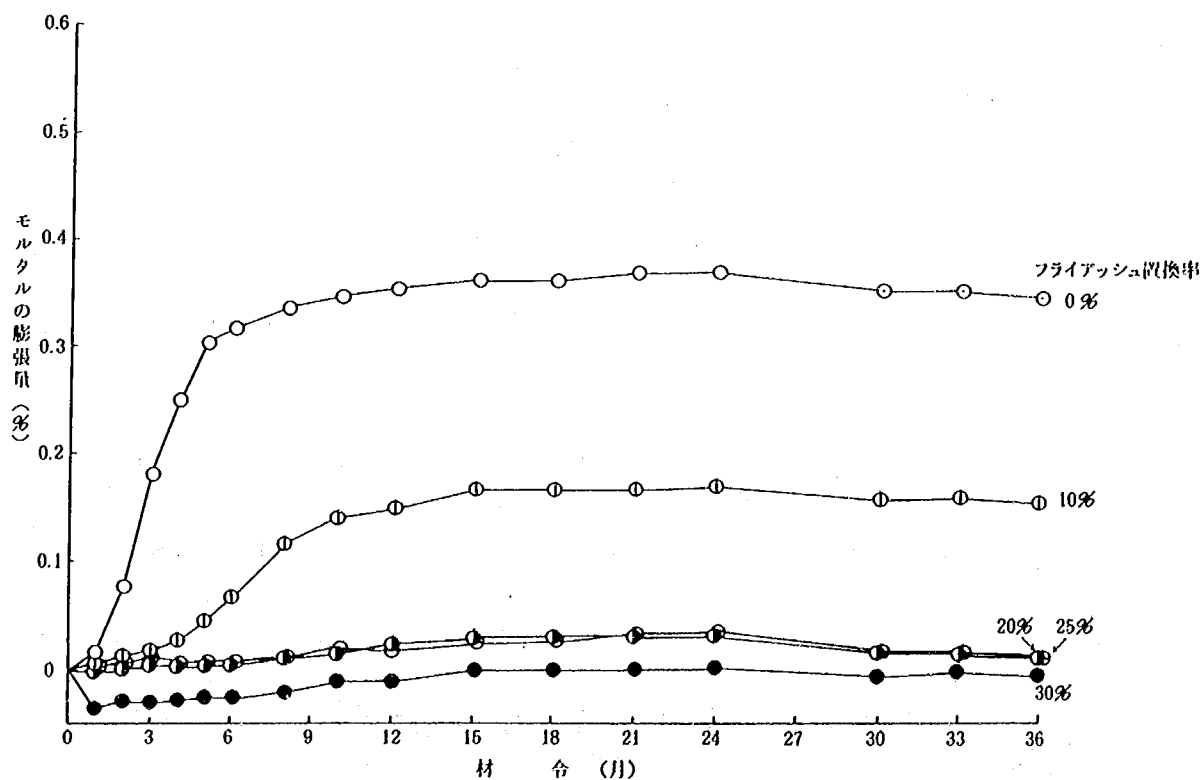


図- 4.10(3) モルタルの経時膨張 (フライアッシュ, アルカリ量1.0%)

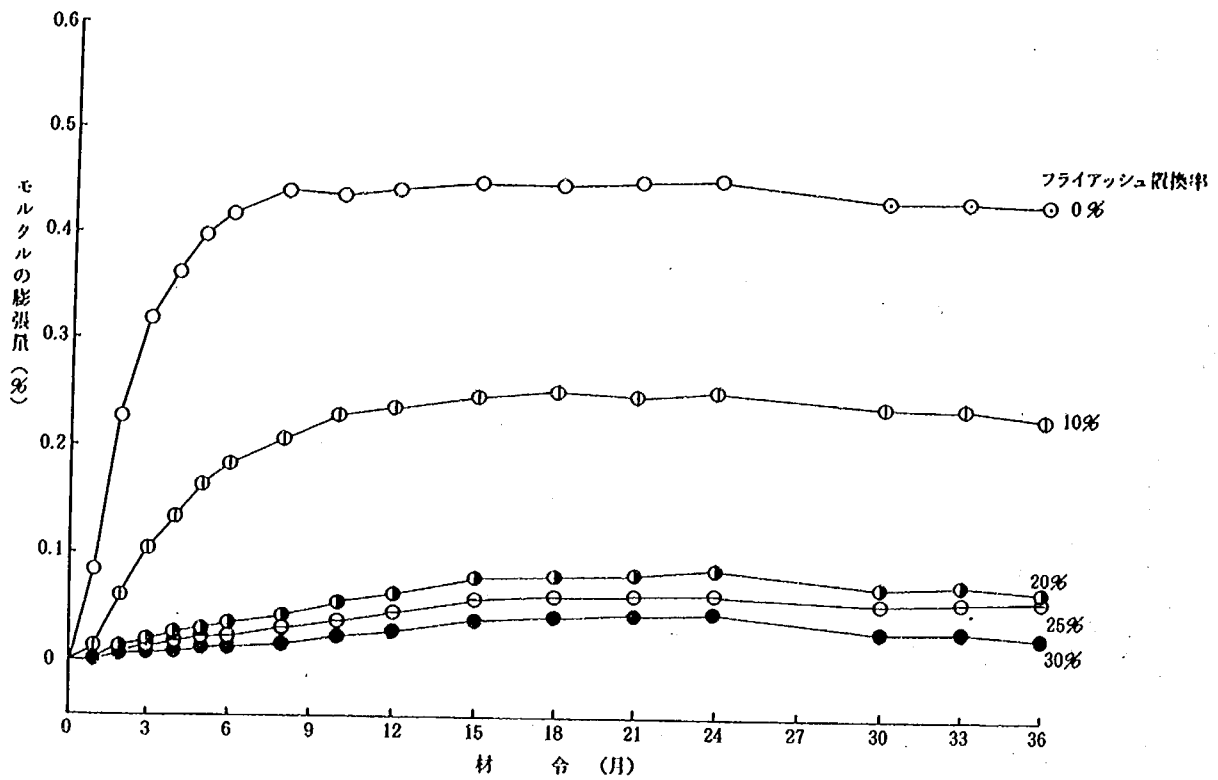


図- 4.10(4) モルタルの経時膨張 (フライアッシュ, アルカリ量 1.5%)

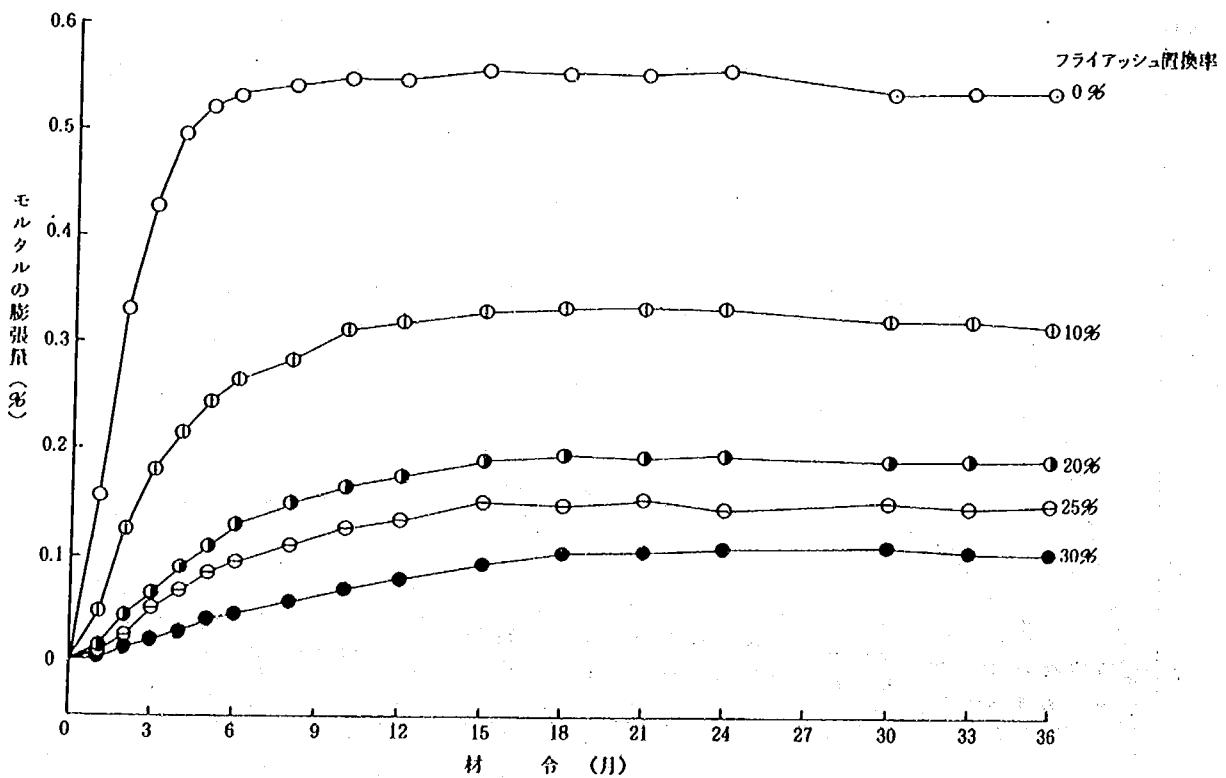


図- 4.10(5) モルタルの経時膨張 (フライアッシュ, アルカリ量 2.0%)

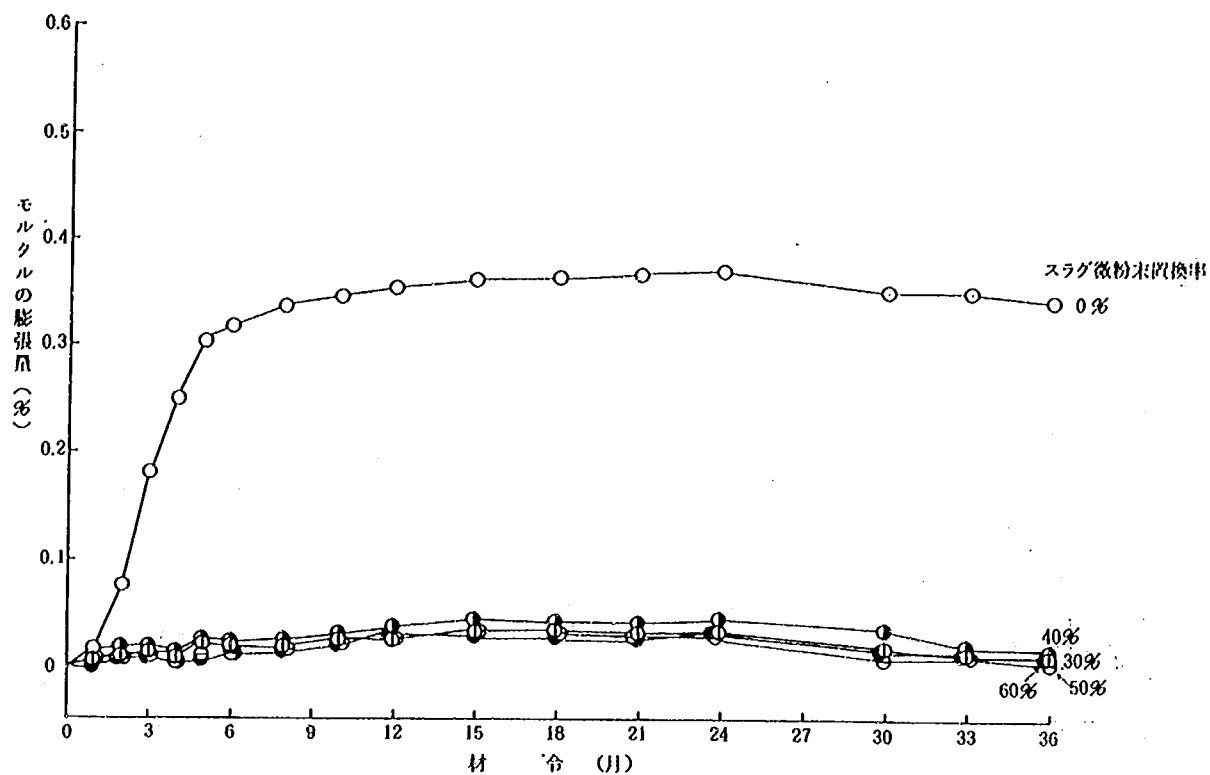


図-4.10(6) モルタルの経時膨張 (高炉スラグ微粉末, アルカリ量1.0%)

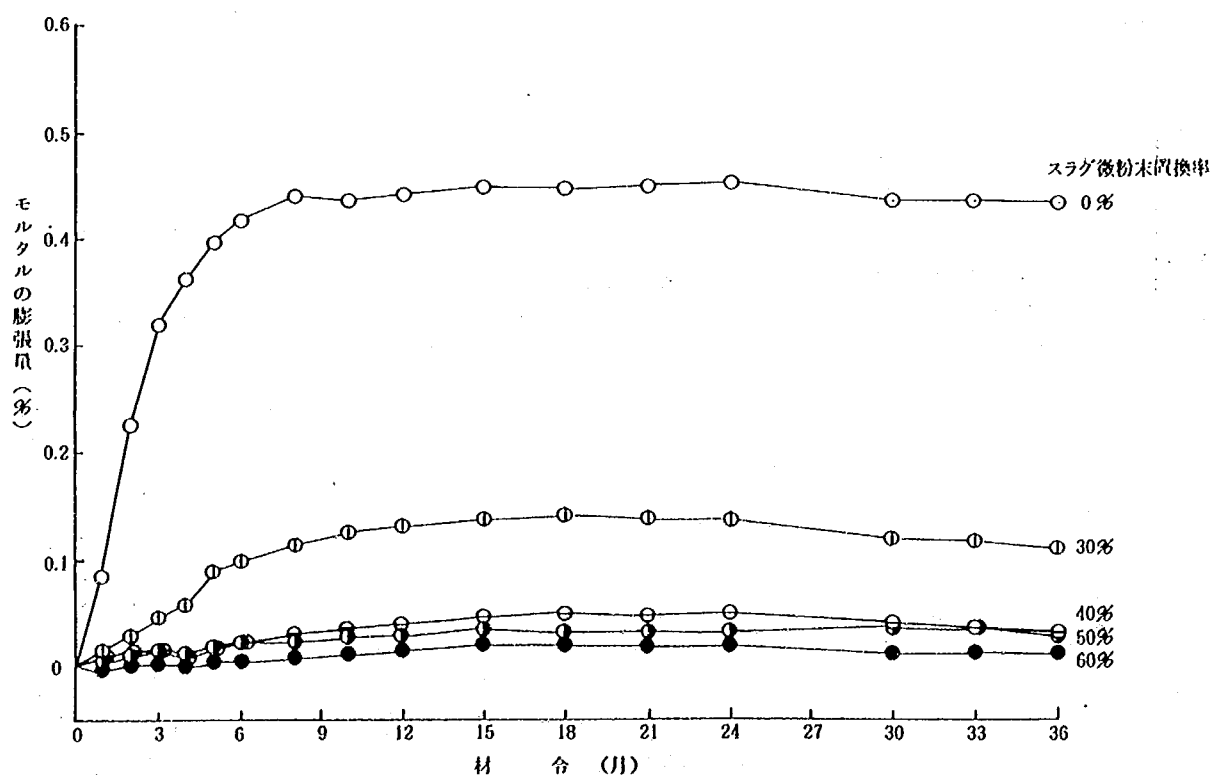


図-4.10(7) モルタルの経時膨張 (高炉スラグ微粉末, アルカリ量1.5%)

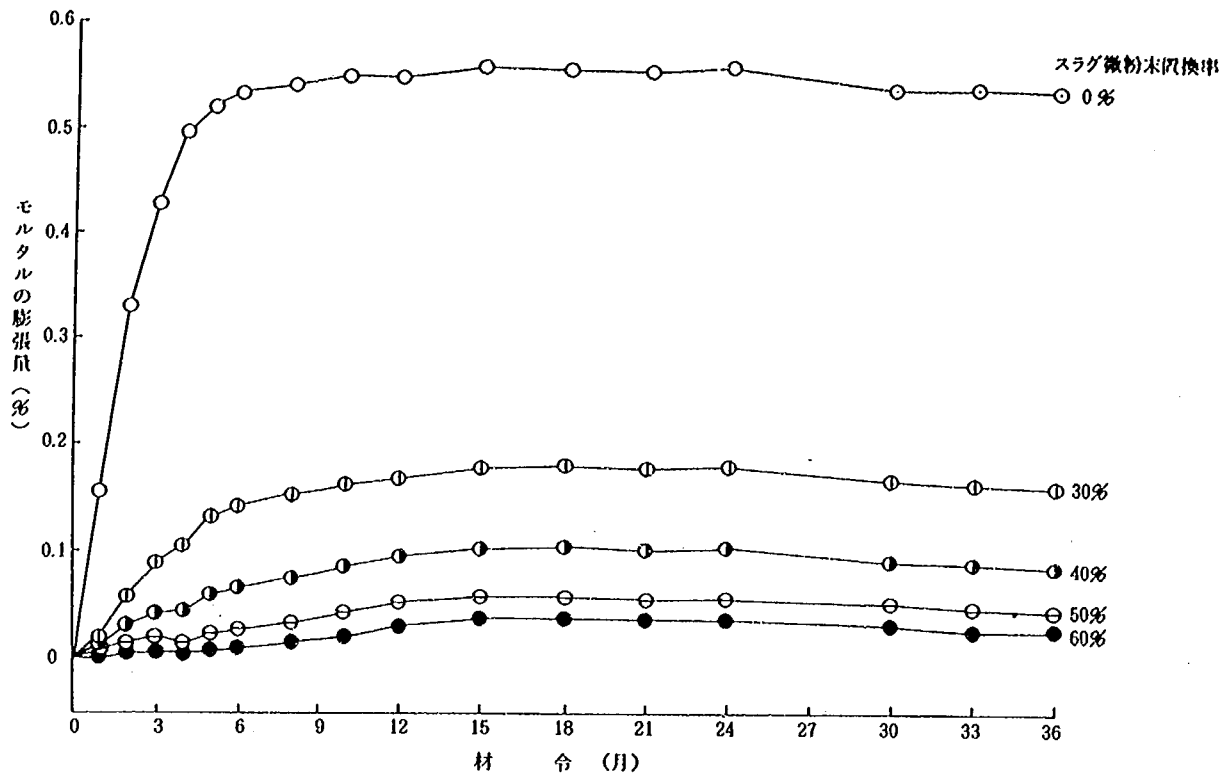


図-4.10(8) モルタルの経時膨張 (高炉スラグ微粉末, アルカリ量 2.0%)

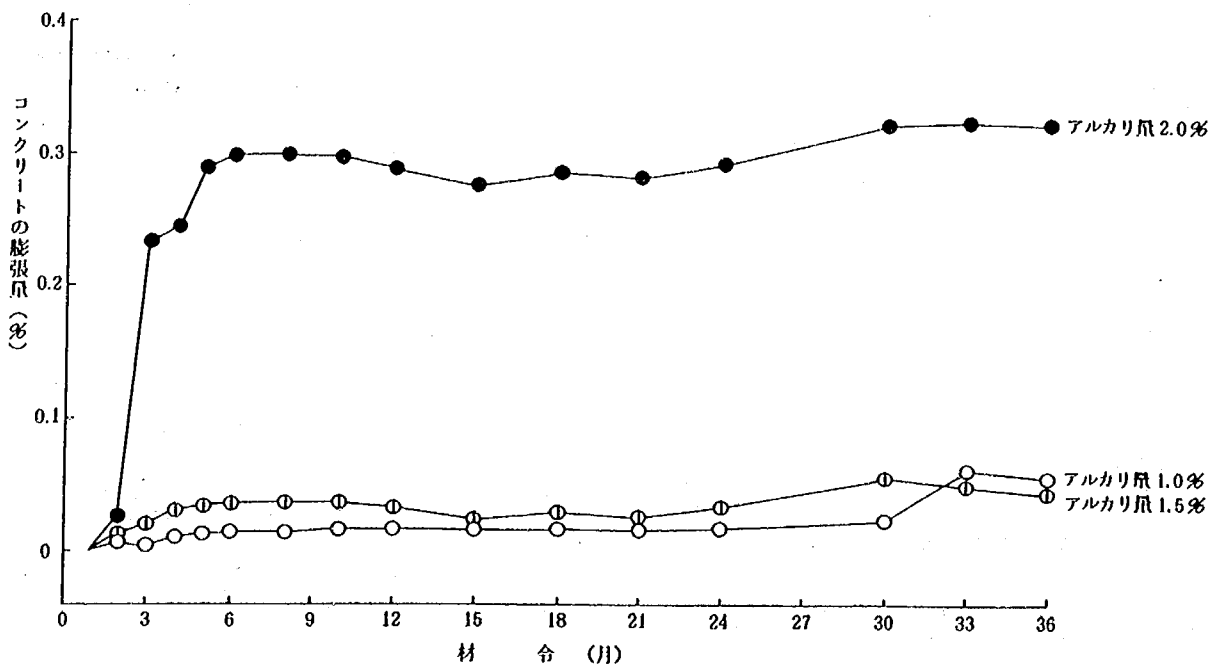


図-4.10(9) コンクリートの経時膨張 (反応性骨材)

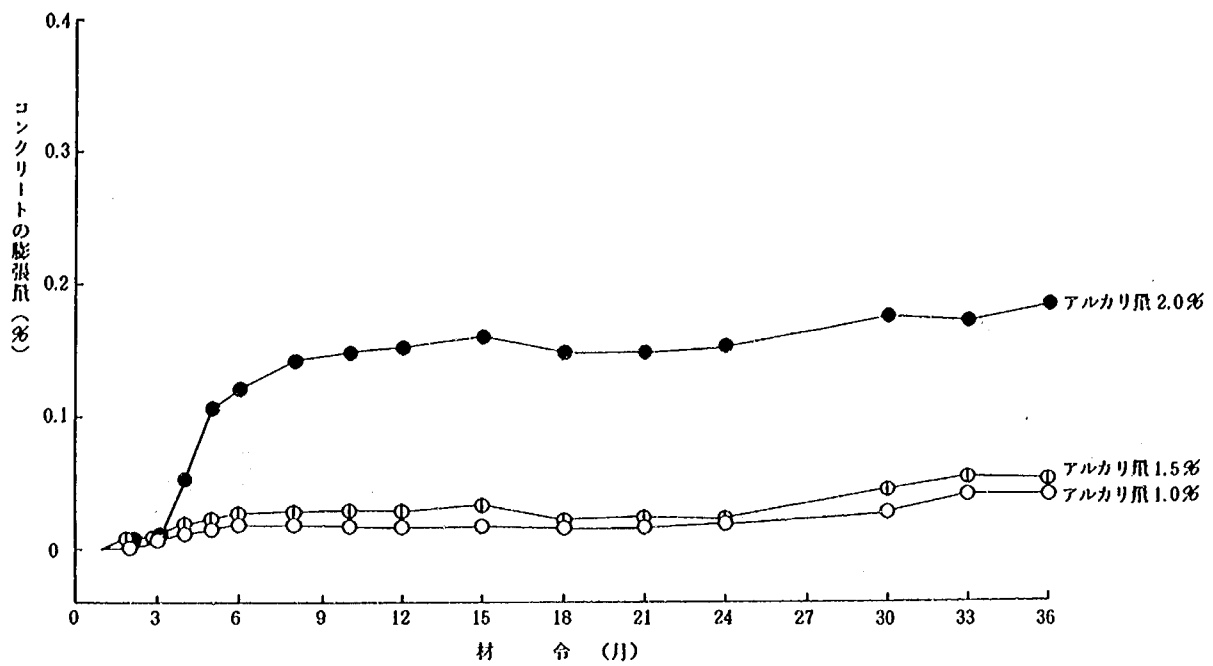


図-4.10(10) コンクリートの経時膨張 (富士川産川砂)

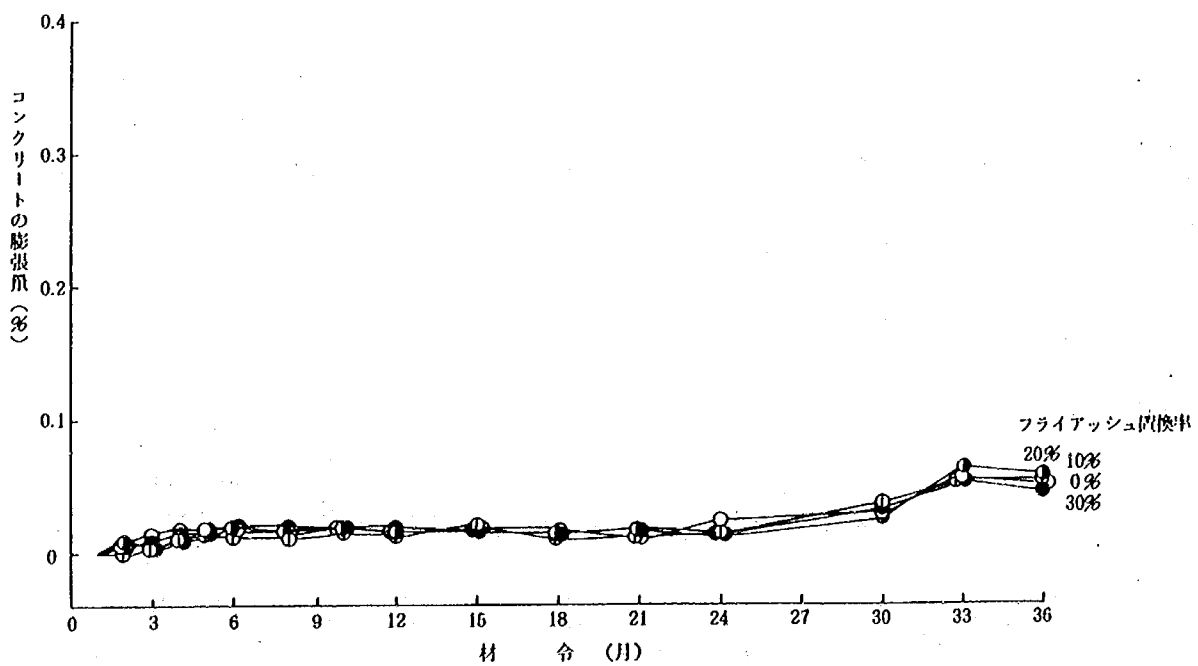


図-4.10(11) コンクリートの経時膨張 (フライアッシュ, アルカリ量1.0%)

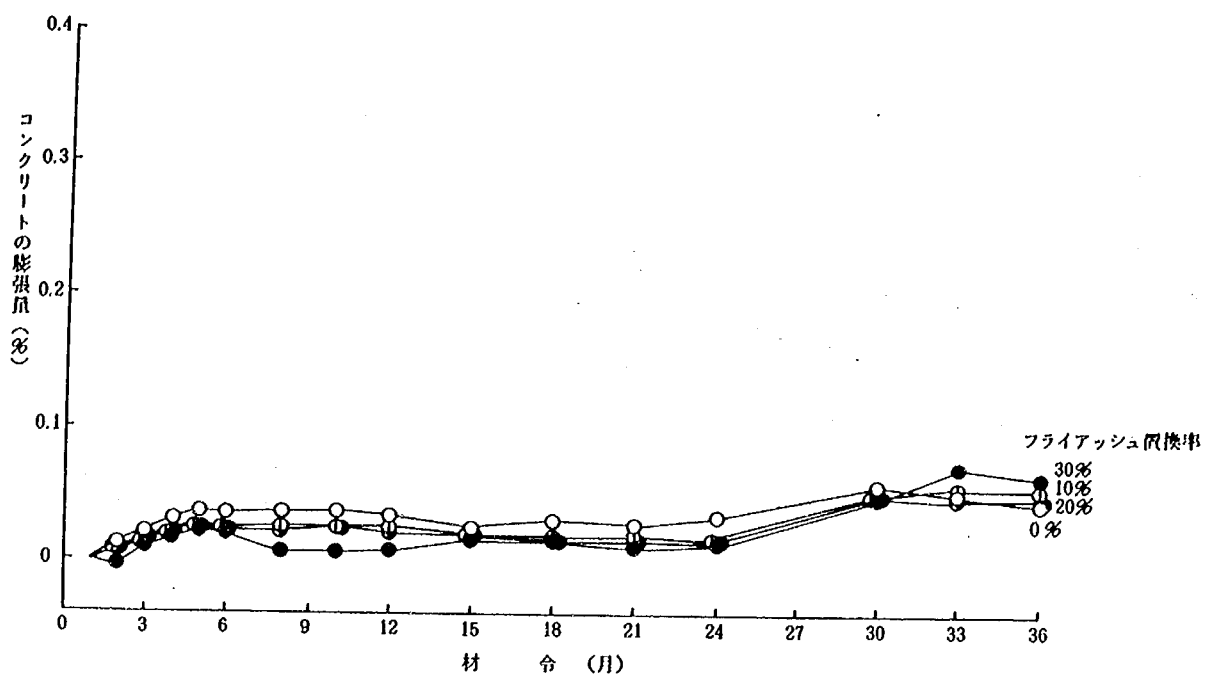


図-4.10 (12) コンクリートの経時膨張 (フライアッシュ, アルカリ量 1.5%)

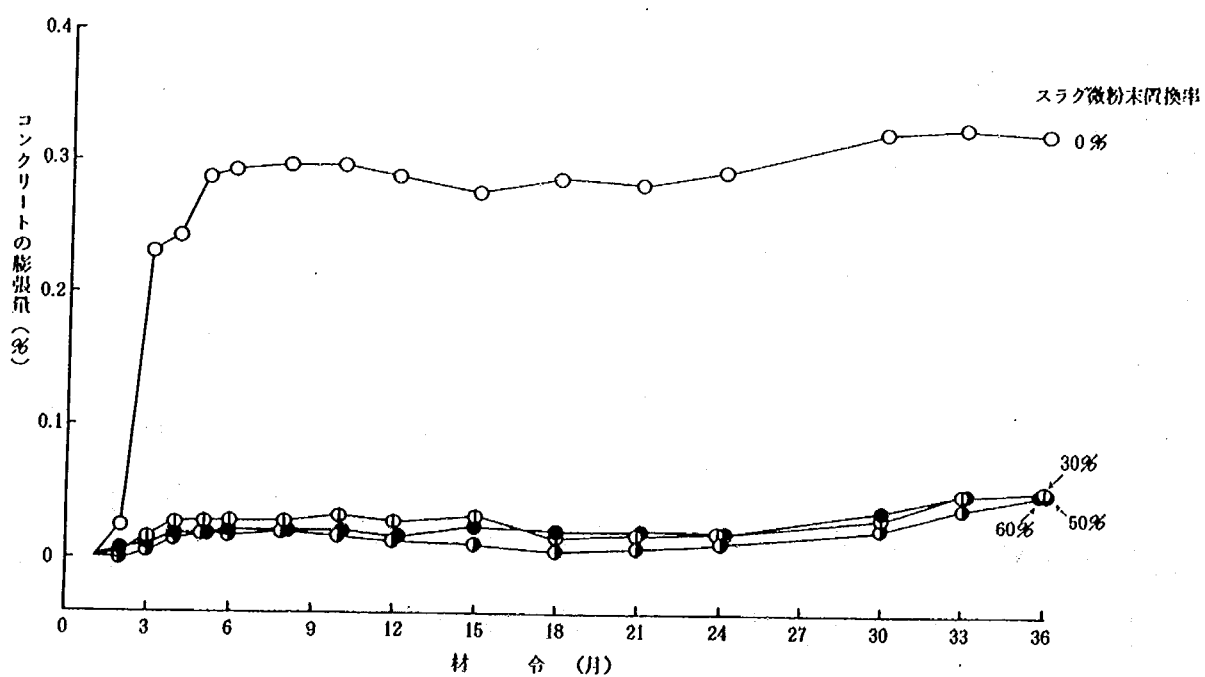


図-4.10 (13) コンクリートの経時膨張 (フライアッシュ, アルカリ量 2.0%)

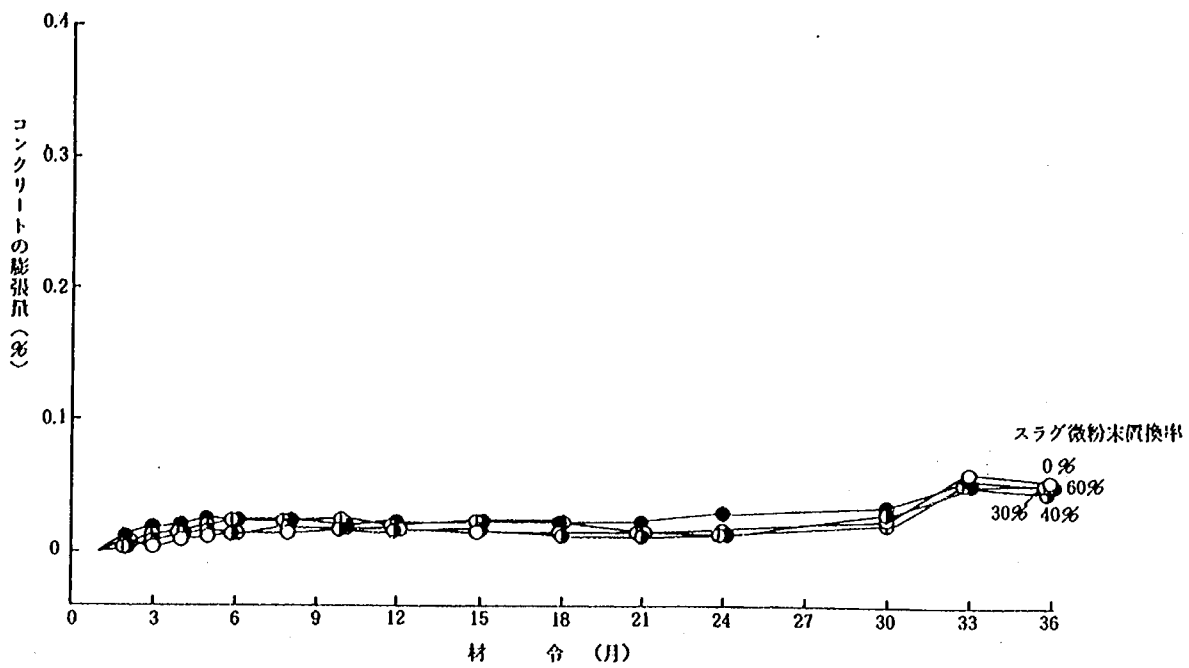


図-4.10 (14) コンクリートの経時膨張 (高炉スラグ微粉末, アルカリ量 1.0%)

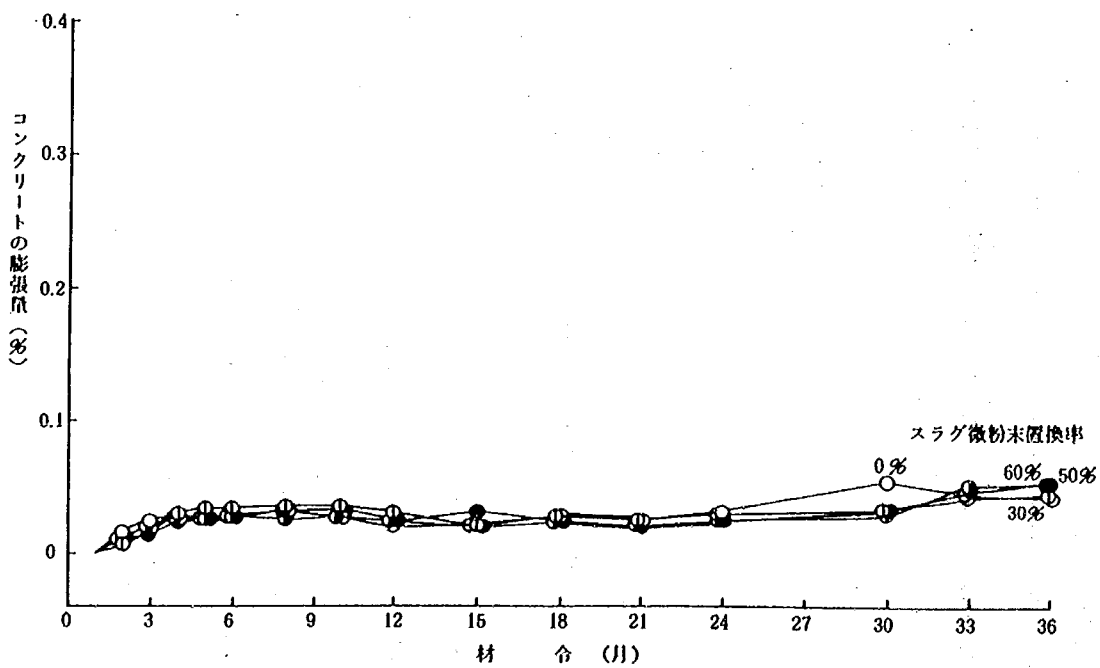


図-4.10 (15) コンクリートの経時膨張 (高炉スラグ微粉末, アルカリ量 1.5%)

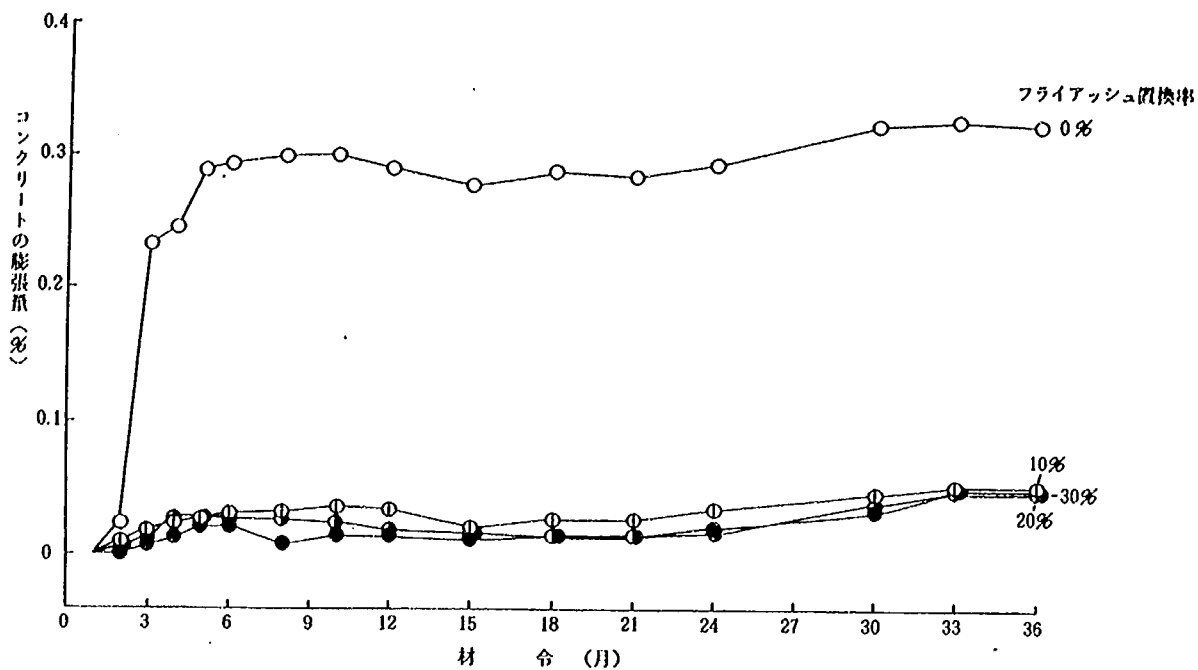


図-4.10 (16) コンクリートの経時膨張 (高炉スラグ微粉末, アルカリ量 2.0%)

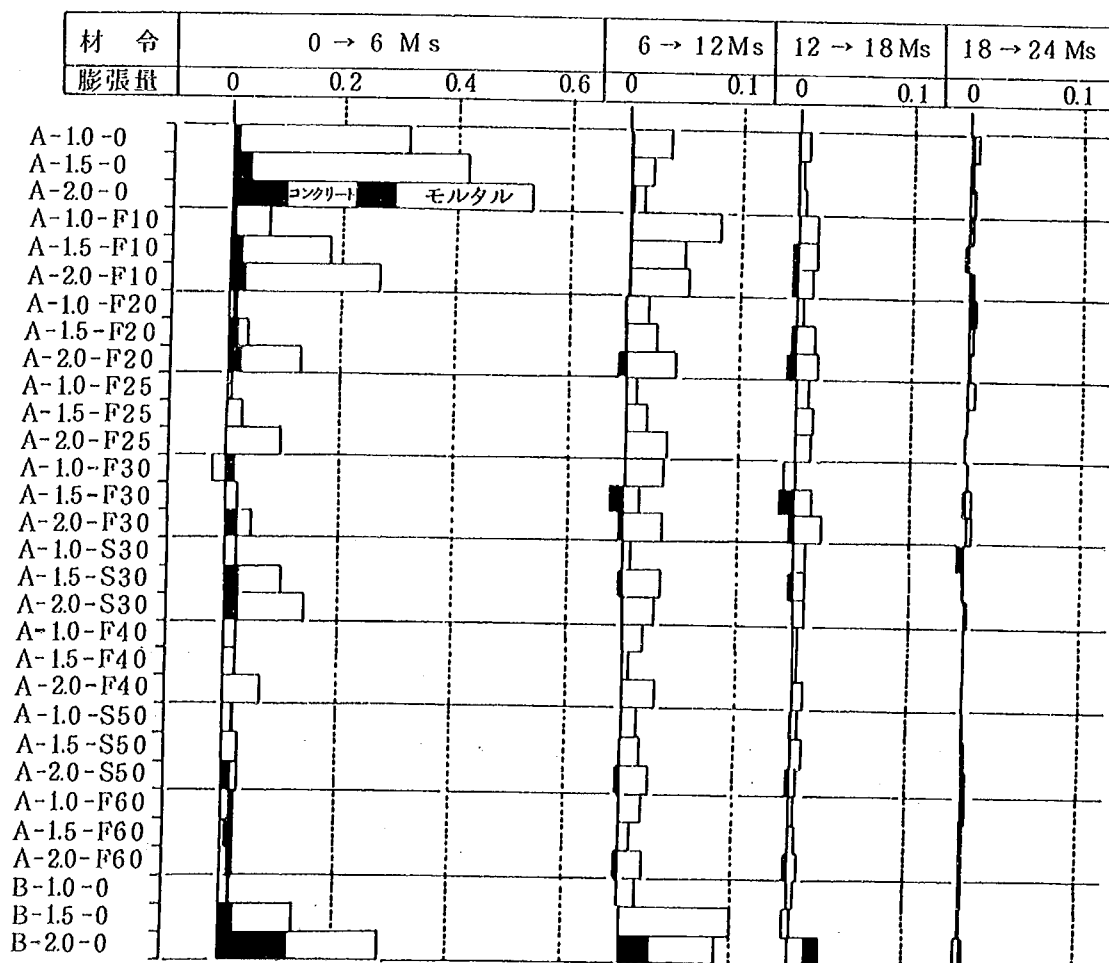


図-4.11 各材令間の膨張量

4.1.5 ま と め

ボゾランを用いた A S R 抑制についてはその抑制機構等はまだ不明な点が多く残されているが、抑制対策としてはいままでの試験の結果から十分に用いることはできるものとする。

4.2 低アルカリセメントによる抑制

セメントのアルカリ量が A S R にあたえる影響についてはよく知られており、その関係はセメントの Na_2O や K_2O の量比等によって変化するといわれている。しかしながら、一般的にはセメントのアルカリ量は等価 Na_2O 量によって表現され、モルタルの膨張とも比較的よい相関が得られている。また、反応性骨材によっては、あるアルカリ量を境にして急激に膨張を呈することもある。このような A S R の性質を利用してアルカリ量を減じたセメントによって A S R を抑制しようとするのが、ここで述べる対策である。

図-3.6 にセメントの $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ とモルタルの膨張量の関係を示した。当該骨材はセメントの $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が 0.76% 以下であれば過大な膨張を示さないといえる。A S R ではセメントのアルカリ量と反応性シリカ量との関係からベシマムと呼ばれる現象が存在するため、セメントの $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ と骨材混合率（反応性骨材 / 非反応性骨材）を変化させてその関係を調査した。図-3.8 にその結果を示した。

これから、当該骨材には明瞭なベシマムは認められず、ほとんどのアルカリ水準において骨材混合率が高くなるにしたがって膨張量も増加する傾向にある。

4.3 総アルカリ量による抑制

この総アルカリ量による A S R の抑制は基本的に材料の面から対策を講じる低アルカリ型セメントによる抑制と同様なものであるといえ、それを配合の面から対策を考えるとこの対策になり、コンクリート 1 m^3 中に含まれるアルカリの総量を A S R が起こらない水準まで規制するものである。

図-4.13 に当該骨材を用いたモルタルの総アルカリ量の関係を示す。この図から総アルカリ量が 5 Kg/m^3 以下だとモルタルの膨張量は 0.1% 以下となることがよく示されている。

また、総アルカリ量とモルタルの膨張量の関係を示せば図-4.14 になる。総アルカリ量約 5 Kg/m^3 付近で急激に膨張を示すようになり、それ以下であれば膨張は示していない。

したがって、当該骨材は、総アルカリ量 5 Kg/m^3 以下であれば A S R をおこさないといえる。

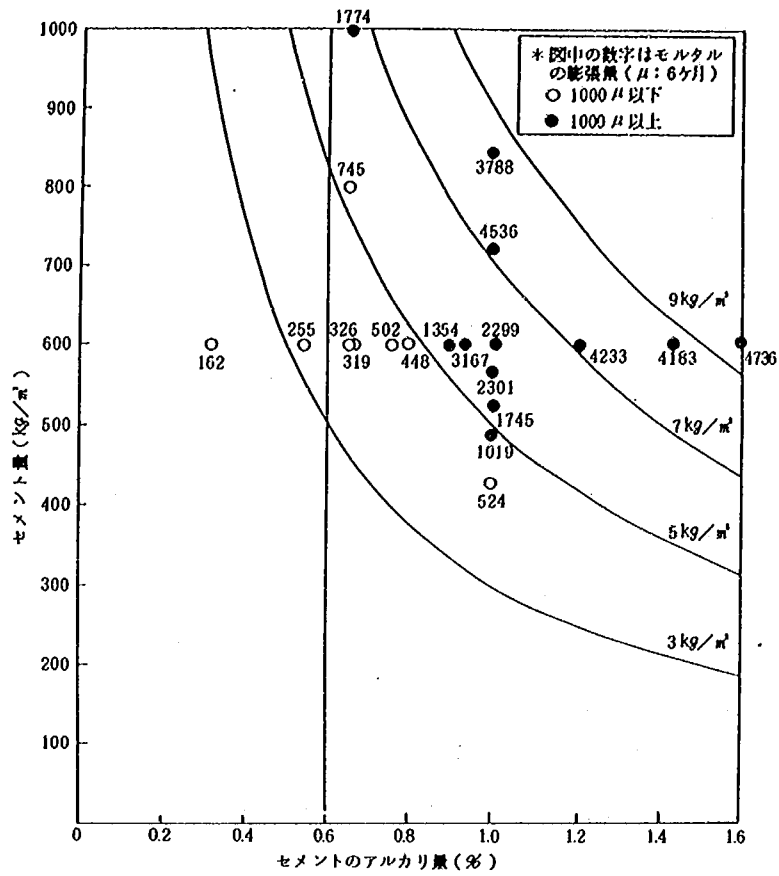


図-4.13 総アルカリ量の関係

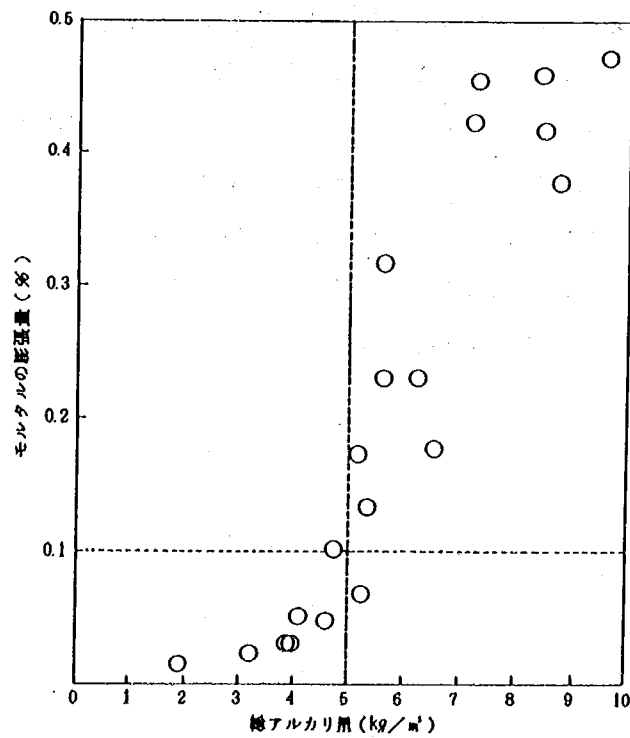


図4.14 総アルカリ量とモルタルの膨張率

4.4 ま と め

当該骨材の A S R の抑制対策として、①ボゾラン（高炉スラグ微粉末、フライアッシュ）の混入 ②低アルカリ形セメントの使用 ③総アルカリ量の規制について検討を行った。その結果をまとめると次のようになる。

1) 高炉スラグ微粉末、フライアッシュ混入による A S R 膨張抑制は十分な効果が認められ、長期にわたってそれを持続することが推測された。十分な効果を発揮するための混合量としては次のようになる。

① 高炉セメントを用いる場合には、スラグが50%程度以上混合されていれば十分な抑制効果を有すると考えられる。

② フライアッシュを用いる場合には、フライアッシュの置換率が20%以上であれば十分な抑制効果があると考えられる。

2) 低アルカリ形セメントを使用することによっても A S R の抑制効果は認められる。

ただし、現在、低アルカリ形セメントは我国ではほとんど生産されていないことから適用にあたっては、入手方法を考える必要がある。

3) 総アルカリ量の規制によって抑制する方法については、総アルカリ量が 3Kg/m^3 以下であればほとんど膨張は呈さず、モルタルバー法の基準値0.1%をこえる総アルカリ量は約 5Kg/m^3 である。ただしこの方法を用いて抑制対策を講じようとする場合には、使用するセメントの最大単位セメント量を考えなければならないため、ダムのように多くの種類の配合のコンクリートが用いられる場合には適用しにくい。

以上、三つの方法による A S R 抑制の結果をまとめたが、当該ダムの場合には次に示す方法のいずれかが抑制方法に適していると考えられる。

① 高炉スラグ混合量50%以上の高炉セメントを使用する。

② フライアッシュ混合量20%以上のフライアッシュセメント、あるいは現場で混和材としてフライアッシュ20%以上を混合する。

5. コンクリートの凍結融解試験

5.1 目的

試料骨材の凍結融解耐久性を把握することを目的とした。

5.2 試験方法

5.2.1 骨材の物理試験

昭和61年7月に送付された当該骨材試料について以下の試験を実施した。

- (1) 粗骨材の比重および吸水率試験 (JIS A 1110)
- (2) 骨材の単位容積重量および実積率試験 (JIS A 1104)
- (3) 骨材の硫酸ナトリウムによる安定性試験 (JIS A 1122)
- (4) ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験 (JIS A 1121)
- (5) 骨材の洗い試験 (JIS A 1103)
- (6) 細骨材の比重および吸水率試験
- (7) 骨材のふるい分け試験 (JIS A 1102)
- (8) 細骨材の有機不純物試験 (JIS A 1105)

5.2.2 コンクリートの試験

(1) 使用材料

1) セメント

使用したセメントは、普通ポルトランドセメントでその物理試験結果は表-5.1に示すとおりである。

表-5.1 セメントと物理試験結果

比重		凝 結			安定性	フロー 値	圧 縮 強 さ kgf / cm ²			曲 げ 強 さ kgf / cm ²			ig-loss (%)	insol (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
		水量 (%)	始発 (h-m)	終結 (h-m)			3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日										
3.16	3280	28.5	2-47	4-26	良	252	144	261	461	34	51	71	0.5	0.2	21.2	5.7	3.4	64.3	1.8	1.9	0.16	0.25

2) A E 剤

A E剤はヴィンソルを20倍溶液にして使用した。

3) 骨 材

当該骨材及び比較用として茨城県笠間産粗骨材(硬質砂岩)、富士川産川砂を使用した。

(2) コンクリートの場合

以下に示す条件でコンクリート供試体を作製した。

水セメント比 : 55%

スランブ : 8 ± 1 cm

空 気 量 : 4 ~ 5 %

表-5.2に凍結融解試験に供したコンクリートの配合を示す。

表-5.2 コ ン ク リ ー ト の 配 合

	最大寸法 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温 度 (°C)
				W	C	S	G	AE剤 (CX%)			
立野	25	55	42	177	322	739	1062	0.025	7.2	3.9	20.0
笠間	25	55	42	172	313	747	1056	0.025	6.4	3.7	21.0

(3) コンクリートの凍結融解試験

コンクリートの凍結融解試験は当研究室所有の急速凍結融解試験装置を用いて、ASTM C 666規格に準じて温度範囲+4℃~-18℃、繰返し速度7サイクル/日により試験を行った。

測定は、凍結融解繰返しに伴う動弾性係数の変化をJIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数試験方法(たわみ振動の場合)」によって測定するとともに、供試体の重量変化測定や外観観察の写真記録を行った。

5.3 試験結果および考察

(1) 骨 材

表-5.3に骨材の物理試験結果を示し、あわせてJIS及び土木学会での骨材の規格値も示す。また、表-5.3には以前事務所から搬入された骨材の物理試験結果を示してある。

今回搬入された骨材と以前搬入された骨材の結果では差異はない。粗骨材では土木学会ダムコンクリート標準示方書の規格値を満足していない項目はないが、すりへり減量が36.2%と多少大きな値を示している。細骨材では吸水率が3.59%となっていると規格値をわずかに上回り、また、洗い損失重量が8.6%と規格値10%に近い値となっている。

よって、すりへの影響をうける箇所を除けば、他のコンクリート等には問題ないと思われる。

表-5.3 骨 材 の 物 理 試 験 結 果

	比 重	吸水率 (%)	安定性損失重量 (%)	すりへり減量 (%)	洗い損失重量 (%)	単位容積重量 (kg/L)	実積率 (%)	有機不純物	F. M.
立 野	2.73	2.10	1.4	B39.3 C44.3		1.54	57.7	—	7.0
笠 間	2.67	0.73	2.2	B11.9 C12.6		1.59	60.1		7.0
富 士 川	2.62	1.97							2.61
粗骨材(54)	2.73(2.70)	1.54	4.1	36.2	0.7	1.60	59.4		6.93
細骨材(54)	2.66(2.59)	3.95	9.5		8.6	1.86	71.9	淡い	2.95
規格(粗)	2.5以上 (2.6以上)	3%以下	12%以下 (12%以下)	40%以下 (40%以上)	1%以下 (1%以下)	—	55%以上	—	
(細)	2.5以上	3%以下	10%以下 (10%以下)	—	7%以下 (7%以下)	—	55%以上		

注) 規格値上段は、JIS A 5005「コンクリート用碎石」、下段()内は「土木学会ダムコンクリート標準示方書」の各々の規格値である。また、細骨材規格値上段は、JIS A 5004「コンクリート砕砂」のものである。

(2) 凍結融解試験

凍結融解繰返しに伴う供試体の動弾性係数の変化を、表-5.4および図-5.1にまた、重量変化を表-5.5および図-5.2に示した。

これより、粗骨材として当該骨材を用いた供試体(TF)は比較用として用いた笠間産骨材のそれより劣るが、耐久性指数(D.F.)で84.6を示している。よって、当該骨材は十分な耐凍害性を有する骨材であるといえる。一方、細骨材の吸水率及び安定性損失重量が若干大きな値となっているが、コンクリート耐凍害性(凍結融解作用)は粗骨材の品質が大きく左右するので、細骨材の品質がコンクリートの耐凍害性に及ぼすことはないものと考えられる。

表-5.4 凍結融解の繰返しに伴う動弾性係数の変化

配 合	試験開始時の 動弾性係数 ($\times 10^2 \text{ kgf/cm}^2$)	相対動弾性係数比 ($f_c^2 / f_o^2 \times 100 \%$)										耐久性 指 数 D.F.
		サイクル 5	17	30	55	88	107	148	203	253	300	
立 野	341.7	93.7	91.1	91.0	87.8	87.6	86.7	88.1	86.7	87.0	84.9	84.6
	355.5	90.1	88.9	87.0	85.8	84.2	85.4	85.4	85.2	83.7	83.4	
	365.0	92.0	90.6	90.3	89.7	87.1	87.0	86.8	86.4	84.8	85.5	
	354.1	91.9	90.2	89.5	87.8	86.3	86.4	86.8	86.1	85.2	84.6	
笠 間	442.7	98.7	99.0	99.4	99.8	98.4	100.0	99.2	99.6	99.7	100.3	100.6
	446.5	98.8	98.5	99.0	98.9	98.2	98.9	98.3	99.3	99.4	100.2	
	448.0	98.6	98.7	99.0	99.3	99.0	99.6	99.2	99.8	100.4	101.4	
	445.7	98.7	98.7	99.1	99.3	98.5	99.5	98.9	99.6	99.8	100.6	

表-5.5 凍結融解の繰返しに伴う供試体重量の変化

配 合	試験開始時の 供試体重量 (kg)	重 量 変 化 率 ($(W_o - W_c) / W_o \times 100 \%$)									
		5	17	30	55	88	107	148	203	253	300
立 野	9460.1	0.08	0.11	0.17	0.52	2.15	2.57	3.02	3.38	3.76	4.03
	9580.3	0.08	0.07	0.07	0.49	2.15	2.68	3.30	3.71	3.89	4.17
	9509.9	0.08	0.07	0.23	0.54	1.29	1.56	1.90	2.29	2.53	2.76
		0.08	0.08	0.17	0.52	1.86	2.27	2.74	3.13	3.39	3.65
笠 間	9446.2	0.01	0.04	0.06	0.23	1.79	2.11	2.50	2.75	2.87	3.03
	9428.2	0.07	0.10	0.06	0.09	1.60	1.98	2.30	2.56	2.70	2.86
	9322.0	0.03	0.08	0.02	0.22	1.55	1.79	2.04	2.25	2.63	2.82
		0.04	0.07	0.01	0.18	1.65	1.96	2.28	2.52	2.73	2.90

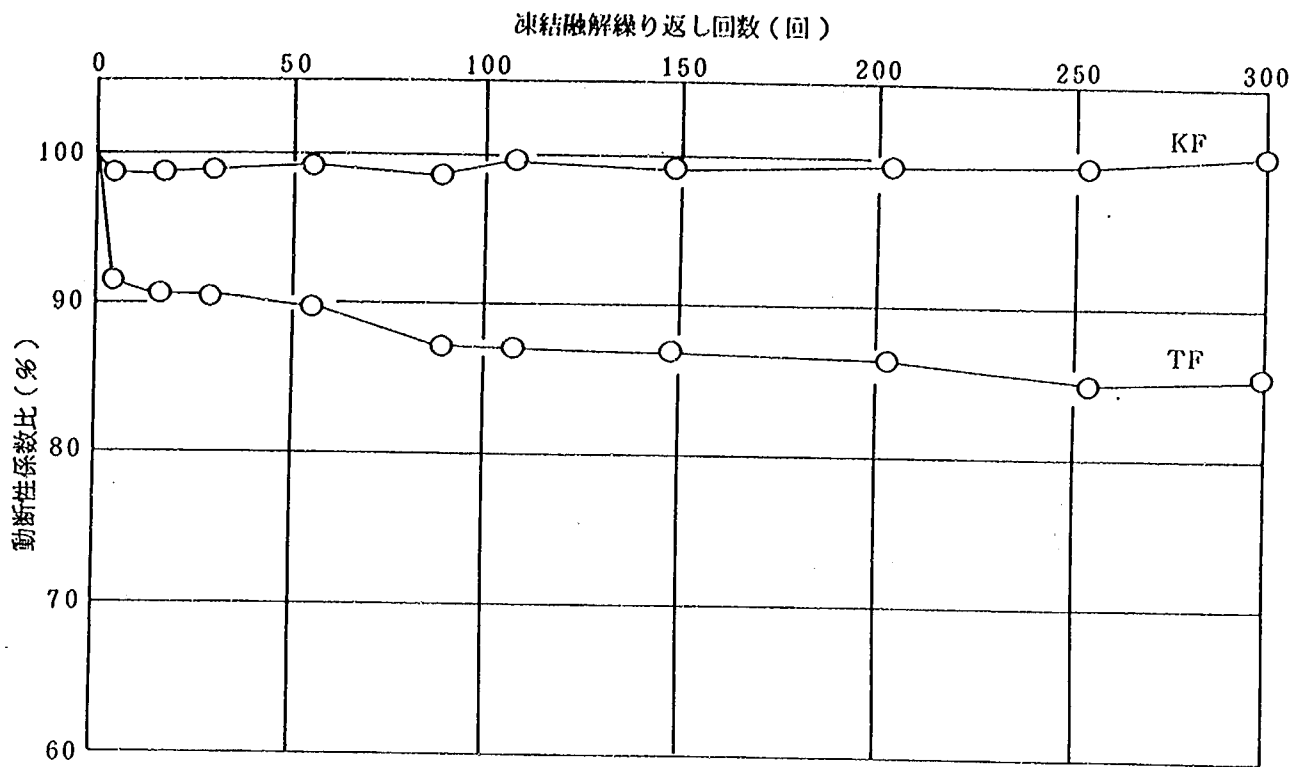


図-5.1 凍結融解繰り返しに伴う動断性係数の変化

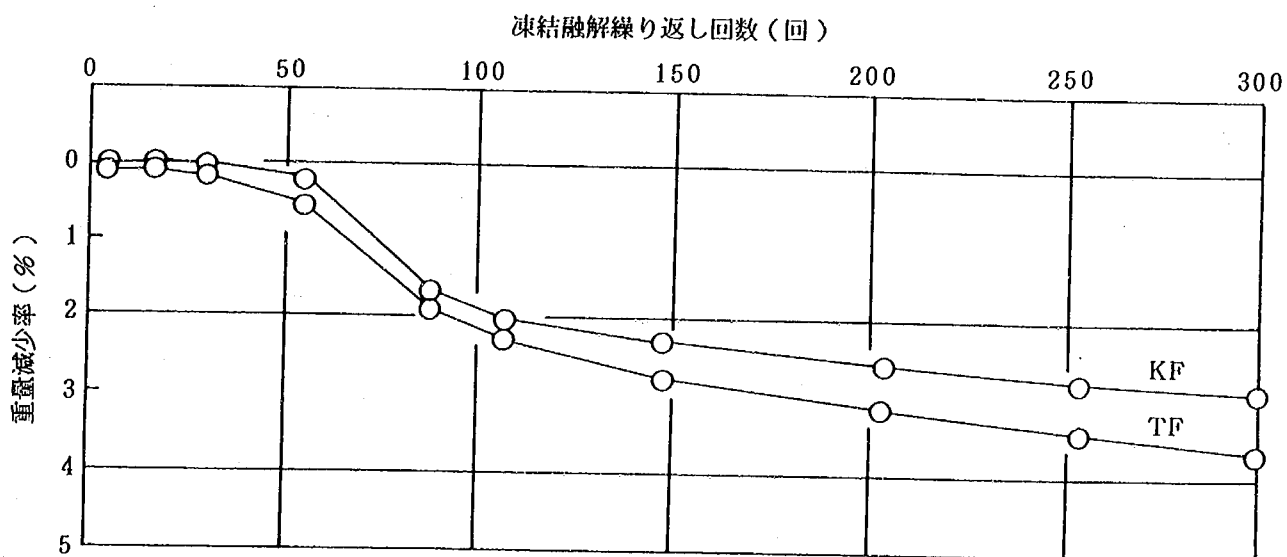


図-5.2 凍結融解繰り返しに伴う供試体重量の変化

7. あ と が き

九州地方建設局・立野ダム工事事務所からの依頼により、昭和58年度から昭和62年度の5年間にわたってダムサイト周辺で産出する骨材を用いたコンクリートの耐久性について検討を行ってきた。この結果、次のことが明らかとなった。

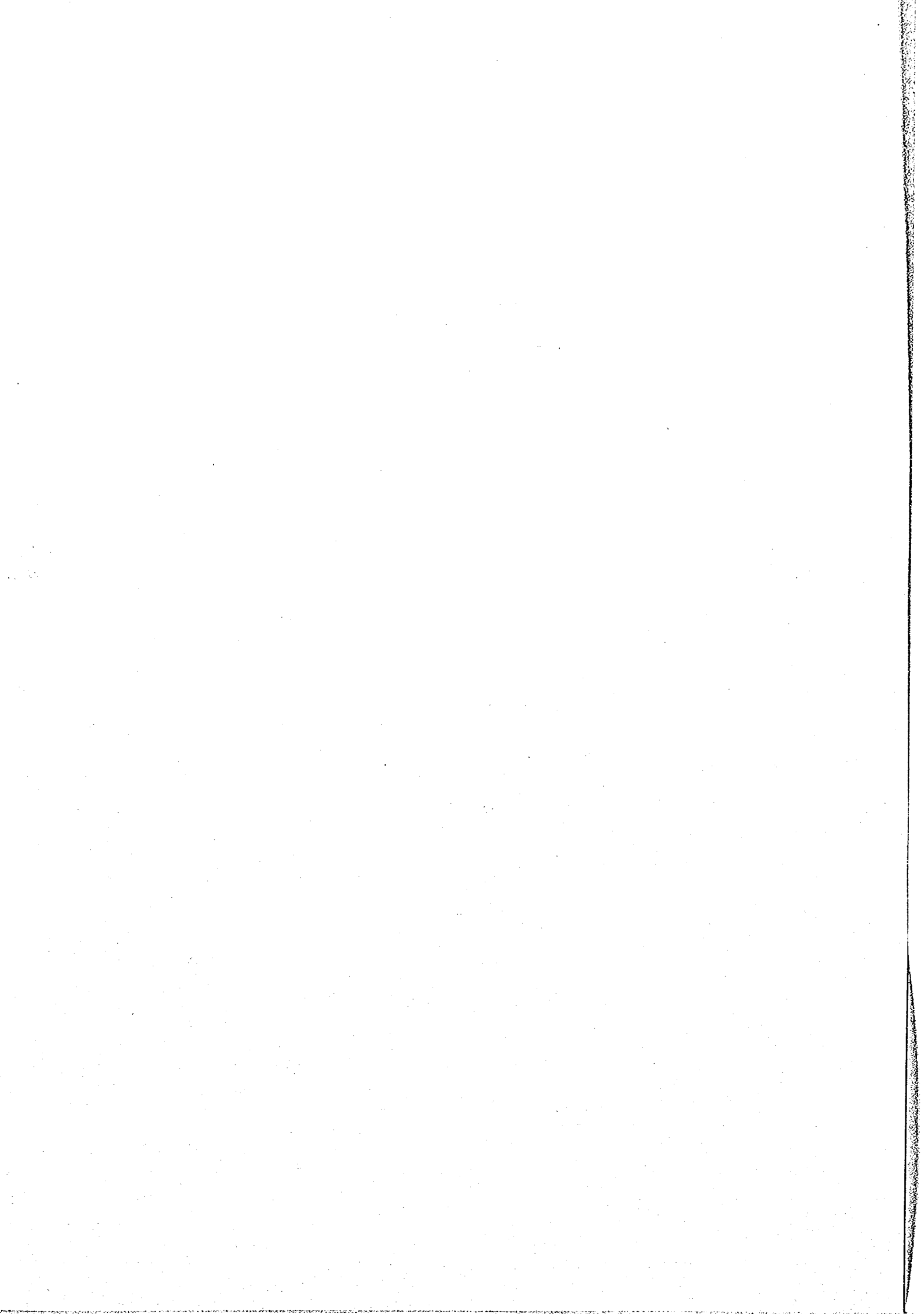
- ① 当該骨材はASR抑制対策を施すならば、十分にダムコンクリート用骨材として使用できる。
- ② ASR抑制対策としては、高炉スラグ微粉末の混合量50%以上の高炉セメントの使用、あるいはフライアッシュ混合量20%以上のフライアッシュセメント（または混和材としてフライアッシュを20%以上）の使用が適しているものと考えられる。
- ③ 当該骨材はコンクリートの凍結融解試験の結果、十分な耐久性が認められた。

本報告書をまとめるにあたり、総プロ、共同研究等多くの研究資料や成果を活用した。関係各位には厚く感謝申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (2. 1) Stanton, T.E ; Expansion of Concrete through Reaction Between Cement and Aggregates, Proc. ASCE, Vol.66, pp1781~1811, 1940
- (2. 2) Powers, T.C and Steinouer, H.H ; An Interpretation of Some Published Researches on the Alkali-Aggregate Reaction- Part 1, Journal of ACI, Vol.51, pp497~514, 1955
- (2. 3) Hansen, W.C ; Studies Relating to the Mechanisms by which the Alkali-Aggregate Reaction Produces Expansion in Concrete, Journal of ACI, Vol.15, No 3, pp.213~227, 1944
- (2. 4) 例えば Verbeck, G. and Gramlich, C. ; Osmotic Studies and Hypothesis Concerning Alkali-Aggregate Reaction, ASTM Proc., Vol.55, pp.1110~1129, 1955
- (2. 5) Vivian, H.E. ; Alkali-Silica Reaction, Symposium on Alkali-Aggregate Reaction Preventive Measures, Reykjavik, pp.21~34, 1975
- (2. 6) Swenson, E.G. ; A Reactive Aggregate Undetected by ASTM Test , ASTM Bull. No 226, pp.48~50, 1957
- (2. 7) Vivian, H.E.
- (2. 8) Chatterji, S ; The Role of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in the Breakdown of Portland Cement Concrete due to Alkali-Silica Reaction, Cem. and Concr. Res, Vol.9, No 2, pp.185~188, 1979
- (2. 9) Smolczyk, H.G. ; Slag Cements and Alkali Reactive Aggregate, Proc. of 6th Int. Conf. on Chemistry of Cement, Moscow, 1976
- (2. 10) Bakker, R.F.M. ; About the Cause of Resistance of Blastfurnace Cement Concrete to the Alkali-Silica Reaction, Proc. of 5th Int. Conf. on AAR in Concrete, Cape Town, 1981
- (2. 11) 近藤恭夫, 北川欣一 ; アルカリ骨材反応に関する研究 (第1報 : 村山橋及び長崎橋の被害調査並びに某港防波堤破損状況に就て) (第2報 : 各地骨材のアルカリ骨材反応の試験結果及びボショランによる防止等に就て) セメント技術年報 Vol. 5, 1965
- (2. 12) 村田清逸, 関 慎吾, 藤木洋一 ; アルカリ骨材反応を起こしたコンクリートの一例, セメントコンクリート No 220, 1965, 6
- (2. 13) コンクリートの劣化実態調査報告 (1), 土木研究所資料第2369号 1986年 4 月

—— 参 考 資 料 ——

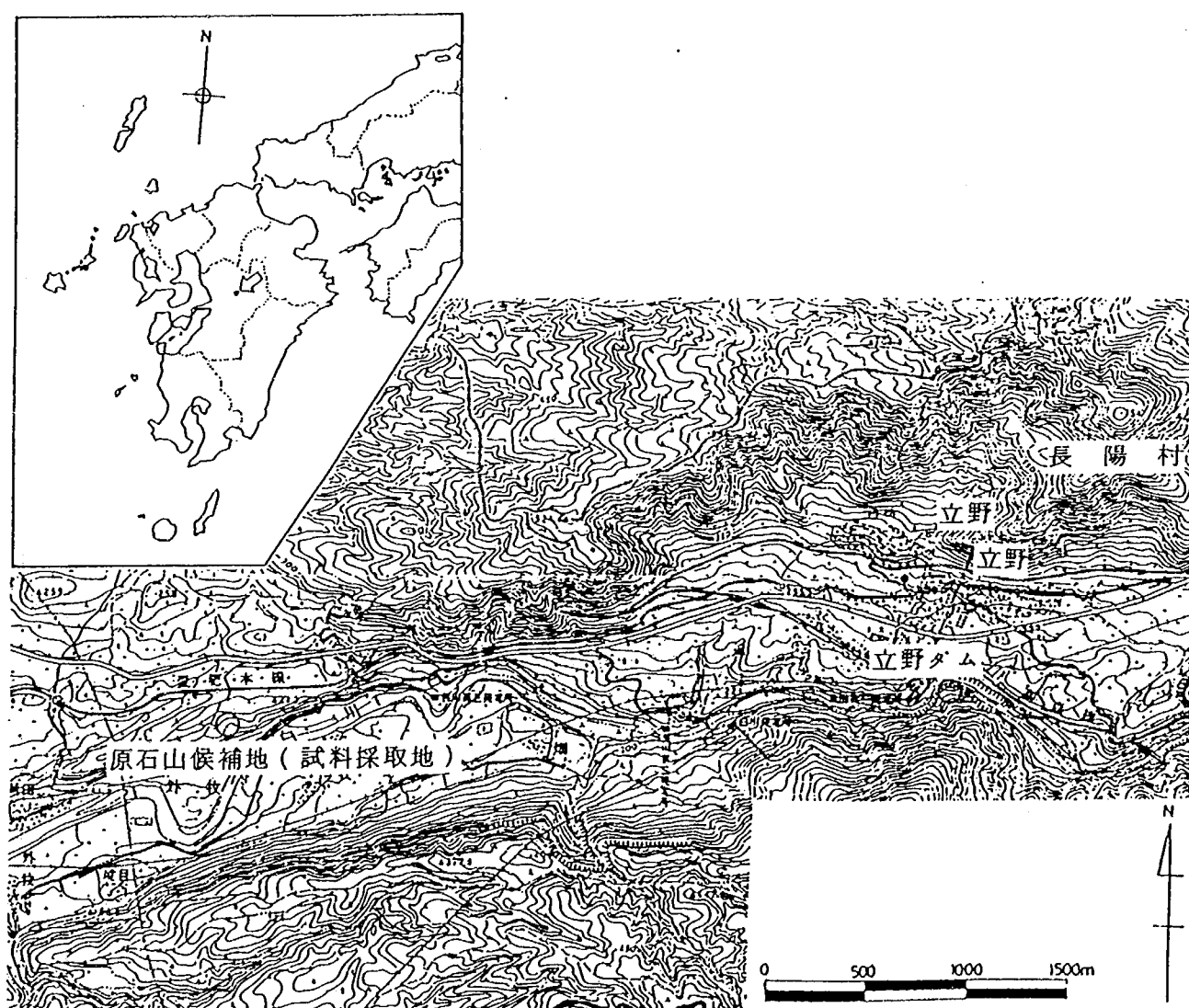


資一1 ダムサイト周辺の地質状況

調査対象として試験を行った骨材の採取点は付図一1に示すとおりであり、また、その地点周辺の地質状況は以下のとおりである。

採取地の丘陵の骨格をなす地質は、第三紀の火山活動により噴出した立野火山岩類で阿蘇外輪山の一部を構成している。立野火山岩類は上位より輝石安山岩の熔岩、凝灰岩および凝灰角礫岩よりなり、最も下位に分布する凝灰角礫岩の厚さは現在のところ確められていない。輝石安山岩の熔岩は最も厚いところで30m程度であり、一枚の熔岩流で構成されており、基盤部を除き岩盤内部に自破碎部はほとんど認められない。

立野火山岩類を覆い丘陵の頂部まで火山灰層が分布し厚さは約15mにも達する。この中に少なくとも2枚の降下軽石層が挟まっている。



付図 - 1 試料採取地

資-2 膨張抑制に関するモルタルでのシリーズの経時膨張量一覧表

材 令	膨 張 量 (%)																	
	1Ws	2Ws	4Ws	8Ws	13Ws	4Ms	5Ms	6Ms	8Ms	10Ms	12Ms	15Ms	18Ms	21Ms	24Ms	30Ms	33Ms	36Ms
A-1.0-0	-0.0045	0.0033	0.0150	0.0748	0.1802	0.2500	0.3034	0.3167	0.3364	0.3464	0.3540	0.3624	0.3636	0.3678	0.3705	0.3538	0.3545	0.3479
A-1.5-0	-0.0083	0.0100	0.0840	0.2262	0.3181	0.3621	0.3974	0.4183	0.4395	0.4352	0.4402	0.4478	0.4467	0.4476	0.4498	0.4345	0.4350	0.4312
A-2.0-0	-0.0007	0.0188	0.1562	0.3295	0.4285	0.4950	0.5193	0.5312	0.5393	0.5471	0.5462	0.5559	0.5529	0.5528	0.5562	0.5366	0.5371	0.5350
A-1.0-F10	-0.0062	-0.0005	0.0052	0.0117	0.0186	0.0281	0.0438	0.0686	0.1162	0.1400	0.1509	0.1676	0.1671	0.1687	0.1704	0.1584	0.1609	0.1540
A-1.5-F10	-0.0174	-0.0067	0.0131	0.0605	0.1040	0.1312	0.1626	0.1833	0.2055	0.2271	0.2350	0.2450	0.2517	0.2460	0.2488	0.2412	0.2421	0.2319
A-2.0-F10	-0.0074	0.0024	0.0479	0.1252	0.1805	0.2138	0.2438	0.2641	0.2819	0.3100	0.3176	0.3288	0.3312	0.3319	0.3319	0.3214	0.3214	0.3160
A-1.0-F20	-0.0138	-0.0048	-0.0021	0.0007	0.0041	0.0009	0.0048	0.0055	0.0112	0.0138	0.0243	0.0291	0.0302	0.0295	0.0307	0.0152	0.0169	0.0112
A-1.5-F20	-0.0131	-0.0033	0.0043	0.0126	0.0202	0.0259	0.0300	0.0355	0.0419	0.0548	0.0626	0.0783	0.0790	0.0817	0.0845	0.0729	0.0762	0.0690
A-2.0-F20	-0.0021	0.0047	0.0138	0.0448	0.0664	0.0902	0.1109	0.1291	0.1426	0.1622	0.1722	0.1874	0.1924	0.1917	0.1928	0.1879	0.1919	0.1888
A-1.0-F25	-0.0048	0.0007	0.0019	0.0076	0.0121	0.0038	0.0071	0.0069	0.0117	0.0193	0.0178	0.0255	0.0286	0.0331	0.0357	0.0157	0.0164	0.0091
A-1.5-F25	-0.0102	0.0031	0.0055	0.0119	0.0138	0.0188	0.0231	0.0238	0.0298	0.0386	0.0448	0.0572	0.0599	0.0612	0.0612	0.0583	0.0595	0.0617
A-2.0-F25	-0.0097	0.0055	0.0102	0.0252	0.0509	0.0676	0.0833	0.0943	0.1105	0.1262	0.1321	0.1500	0.1457	0.1524	0.1438	0.1491	0.1450	0.1478
A-1.0-F30	-0.0457	-0.0419	-0.0364	-0.0297	-0.0302	-0.0271	-0.0245	-0.0243	-0.0200	-0.0114	-0.0112	0.0007	0.0010	0.0014	0.0024	-0.0086	-0.0036	0.0071
A-1.5-F30	-0.0098	-0.0026	0.0017	0.0050	0.0079	0.0081	0.0136	0.0133	0.0157	0.0241	0.0267	0.0379	0.0410	0.0429	0.0450	0.0305	0.0321	0.0279
A-2.0-F30	-0.0054	0.0000	0.0043	0.0138	0.0214	0.0276	0.0396	0.0443	0.0564	0.0679	0.0772	0.0919	0.1019	0.1031	0.1069	0.1095	0.1031	0.1024
A-1.0-S30	-0.0143	0.0005	0.0048	0.0083	0.0128	0.0074	0.0203	0.0193	0.0913	0.0257	0.0257	0.0343	0.0343	0.0333	0.0331	0.0176	0.0119	0.0095
A-1.5-S30	-0.0064	0.0088	0.0148	0.0293	0.0440	0.0557	0.0888	0.0983	0.1131	0.1250	0.1307	0.1374	0.1393	0.1369	0.1369	0.1174	0.1164	0.1098
A-2.0-S30	-0.0076	0.0078	0.0188	0.0578	0.0900	0.1057	0.1321	0.1414	0.1529	0.1622	0.1686	0.1788	0.1795	0.1786	0.1792	0.1669	0.1659	0.1624
A-1.0-S40	-0.0055	0.0009	0.0140	0.0181	0.0188	0.0119	0.0233	0.0202	0.0255	0.0307	0.0376	0.0445	0.0429	0.0414	0.0431	0.0342	0.0207	0.0157
A-1.5-S40	-0.0064	-0.0109	0.0021	0.1100	0.0141	0.0119	0.0195	0.0214	0.0219	0.0252	0.0269	0.0345	0.0305	0.0317	0.0312	0.0374	0.0319	0.0288
A-2.0-S40	-0.0088	0.0074	0.0143	0.0302	0.0407	0.0431	0.0583	0.0667	0.0764	0.0862	0.0952	0.1026	0.1048	0.1024	0.1040	0.0912	0.0900	0.0864
A-1.0-S50	-0.0050	0.0017	0.0050	0.0067	0.0105	0.0021	0.0100	0.0129	0.0169	0.0224	0.0267	0.0336	0.0329	0.0307	0.0319	0.0064	0.0121	0.0045
A-1.5-S50	-0.0109	0.0014	0.0093	0.0129	0.0152	0.0100	0.0193	0.0233	0.0283	0.0338	0.0388	0.0445	0.0486	0.0453	0.0476	0.0331	0.0341	0.0252
A-2.0-S50	-0.0052	0.0064	0.0093	0.0164	0.0198	0.0147	0.0236	0.0276	0.0338	0.0426	0.0521	0.0576	0.0574	0.0567	0.0574	0.0514	0.0481	0.0457
A-1.0-S60	-0.0159	-0.0064	-0.0024	0.0069	0.0114	0.0019	0.0078	0.0102	0.0129	0.0179	0.0284	0.0281	0.0317	0.0312	0.0305	0.0166	0.0152	0.0079
A-1.5-S60	-0.0114	-0.0172	-0.0033	0.0012	0.0029	-0.0010	0.0045	0.0064	0.0081	0.0107	0.0143	0.0205	0.0195	0.0188	0.0183	0.0093	0.0098	0.0090
A-2.0-S60	-0.0150	-0.0055	-0.0007	0.0050	0.0064	0.0052	0.0088	0.0117	0.0152	0.0200	0.0131	0.0388	0.0386	0.0375	0.0378	0.0324	0.0271	0.0271
B-1.0-0	-0.0045	0.0053	0.0005	0.0119	0.0126	0.0081	0.0141	0.0174	0.0202	0.0255	0.0329	0.0405	0.0367	0.0369	0.0360	0.0286	0.0259	0.0219
B-1.5-0	-0.0102	0.0255	0.0264	0.0400	0.0576	0.0719	0.1038	0.1328	0.1733	0.2145	0.2316	0.2312	0.2271	0.2286	0.2278	0.2371	0.2129	0.2069
B-2.0-0	-0.0019	0.0126	0.0245	0.0485	0.1272	0.1888	0.2462	0.2826	0.3407	0.3562	0.3691	0.3755	0.3836	0.3776	0.3791	0.3643	0.3655	0.3630

資-3 膨張抑制に関するモルタルでのシリーズの重量変化一覧表

材 令	重 量 変 化 (%)																	
	1Ws	2Ws	4Ws	8Ws	13Ws	4Ms	5Ms	6Ms	8Ms	10Ms	12Ms	15Ms	18Ms	21Ms	24Ms	30Ms	33Ms	36Ms
A-1.0-0	-0.22	0.56	0.78	1.29	1.54	1.73	1.91	1.00	1.93	1.98	1.93	2.04	2.00	2.03	2.05	2.12	2.12	2.12
A-1.5-0	-0.14	0.33	0.82	1.52	1.76	2.04	2.12	2.26	2.29	2.34	2.29	2.32	2.32	2.28	2.31	2.34	2.37	2.37
A-2.0-0	0.11	0.34	1.00	1.77	2.05	2.29	2.37	2.49	2.60	2.61	2.56	2.50	2.50	2.51	23.5	2.52	2.52	2.51
A-1.0-F10	-0.43	0.13	0.45	0.91	0.84	0.94	1.08	1.25	1.36	1.47	1.49	1.52	1.51	1.56	1.56	1.61	1.66	1.65
A-1.5-F10	-0.30	-0.02	0.33	0.78	0.96	1.04	1.26	1.25	1.40	1.43	1.44	1.48	1.56	1.55	1.56	1.69	1.71	1.73
A-2.0-F10	0.10	0.34	0.64	1.16	1.28	1.53	1.59	1.67	1.77	1.84	1.85	1.86	1.87	1.94	1.97	1.99	2.02	2.02
A-1.0-F20	-0.39	0.33	0.43	0.73	0.82	0.80	1.01	1.06	1.08	1.10	1.10	1.20	1.10	1.22	1.21	1.28	1.29	1.29
A-1.5-F20	-0.22	0.31	0.54	0.74	0.81	0.91	1.03	1.00	1.05	1.12	1.07	1.18	1.15	1.17	1.16	1.23	1.23	1.25
A-2.0-F20	0.16	0.46	0.57	0.82	0.90	0.97	1.35	1.14	1.26	1.31	1.37	1.46	1.39	1.46	1.45	1.26	1.46	1.50
A-1.0-F25	-0.44	0.01	0.25	0.52	0.61	0.61	0.94	0.68	0.34	0.88	0.93	0.96	1.01	1.03	1.03	1.10	1.12	1.12
A-1.5-F25	-0.35	0.37	0.45	0.73	0.72	0.76	0.93	0.85	0.97	1.01	1.14	1.10	1.12	1.14	1.15	1.24	1.24	1.29
A-2.0-F25	-0.09	0.39	0.44	0.71	0.82	0.83	1.16	0.98	1.15	1.21	1.24	1.30	1.27	1.26	1.22	1.34	1.44	1.46
A-1.0-F30	-0.28	0.15	0.32	0.54	0.54	0.72	0.81	0.74	0.83	0.90	0.92	0.98	0.96	10.3	1.03	1.08	1.09	1.09
A-1.5-F30	0.06	0.35	0.43	0.69	0.66	0.74	0.86	0.88	0.34	0.94	0.94	0.98	0.91	0.07	0.97	1.01	1.03	1.04
A-2.0-F30	0.12	0.36	0.46	0.59	0.68	0.72	0.83	0.87	0.92	0.99	1.01	1.06	1.12	1.14	1.12	1.24	1.24	1.26
A-1.0-S30	-0.70	0.07	0.33	0.56	0.76	0.71	0.99	0.99	1.01	1.09	1.14	1.15	1.13	1.12	1.18	1.22	1.22	1.23
A-1.5-S30	-0.22	0.47	0.66	0.77	1.02	1.71	1.38	1.43	1.47	1.55	1.59	1.60	1.59	1.61	1.63	1.62	1.63	1.63
A-2.0-S30	0.00	0.37	0.52	0.77	1.10	1.23	1.33	1.37	1.45	1.54	1.53	1.57	1.55	1.58	1.55	1.42	1.55	1.57
A-1.0-S40	-0.54	-0.07	0.22	0.48	0.75	0.73	0.87	0.88	1.00	1.08	1.12	1.17	1.20	1.22	1.22	1.26	1.26	1.28
A-1.5-S40	-0.22	0.51	0.68	0.77	0.89	0.91	1.06	1.20	1.20	1.27	1.28	1.08	1.36	1.24	1.24	1.39	1.40	1.41
A-2.0-S40	-0.10	0.35	0.52	0.66	0.91	0.97	1.02	0.97	1.16	1.22	1.25	1.27	1.32	1.35	1.29	1.21	1.34	1.37
A-1.0-S50	-0.63	0.00	0.17	0.39	0.68	0.63	0.79	0.73	0.95	1.00	1.06	1.10	1.12	1.16	1.12	1.03	1.17	1.18
A-1.5-S50	-0.54	0.07	0.28	0.49	0.57	0.58	0.71	0.79	0.88	0.96	1.01	1.04	1.10	1.00	1.00	1.24	1.26	1.27
A-2.0-S50	-0.17	0.38	0.47	0.68	0.74	0.79	0.83	0.80	1.00	1.06	1.10	1.14	1.14	1.21	1.17	1.25	1.29	1.29
A-1.0-S60	-0.31	-0.31	-0.06	0.10	0.39	0.57	0.58	0.59	0.68	0.78	0.85	0.87	0.92	0.92	0.97	1.02	1.08	1.08
A-1.5-S60	-0.23	0.00	0.19	0.33	0.43	0.46	0.58	0.58	0.69	0.75	0.75	0.77	0.78	0.82	0.77	0.87	0.87	0.91
A-2.0-S60	-0.31	0.01	0.20	0.35	0.57	0.65	0.65	0.70	0.77	0.86	0.87	0.93	0.95	0.98	0.97	1.08	1.12	1.11
B-1.0-0	-0.43	0.25	0.57	1.00	1.08	1.11	1.12	1.25	1.21	1.27	1.26	1.33	1.13	1.24	1.21	1.22	1.16	1.16
B-1.5-0	0.30	0.72	0.96	1.06	1.34	1.68	1.42	1.66	1.68	1.77	1.80	1.67	1.63	1.65	1.65	1.67	1.64	1.65
B-2.0-0	0.16	0.46	0.75	0.86	1.24	1.39	1.54	1.68	1.75	1.85	1.86	1.84	1.88	1.78	1.77	1.89	1.88	1.88

資-4 膨張抑制に関するコンクリートでのシリーズの経時膨張量一覧表 (促進養生)

材 令	膨 張 量 (%)																
	6Ws	8Ws	10Ws	13Ws	4Ms	5Ms	6Ms	8Ms	10Ms	12Ms	15Ms	18Ms	21Ms	24Ms	30Ms	33Ms	36Ms
A-1.0-0	-0.0009	0.0074	-0.0019	0.0037	0.0102	0.0130	0.0148	0.0148	0.0176	0.0167	0.0148	0.0148	0.0148	0.0185	0.0242	0.0619	0.0565
A-1.5-0	0.0083	0.0111	0.0167	0.0204	0.0296	0.0343	0.0352	0.0361	0.0376	0.0333	0.0241	0.0297	0.0269	0.0334	0.0575	0.0492	0.0435
A-2.0-0	0.0093	0.0250	0.1222	0.2315	0.2435	0.2880	0.2926	0.2982	0.2972	0.2879	0.2768	0.2861	0.2824	0.2918	0.3222	0.3258	0.3213
A-1.0-F10	0.0031	-0.0028	0.0028	0.0046	0.0093	0.0111	0.0111	0.0111	0.0130	0.0121	0.0185	0.0121	0.0093	0.0148	0.0361	0.0500	0.0491
A-1.5-F10	0.0074	0.0098	0.0065	0.0158	0.0222	0.0232	0.0232	0.0241	0.0250	0.0240	0.0204	0.0194	0.0195	0.0195	0.0453	0.0564	0.0546
A-2.0-F10	0.0074	0.0102	0.0157	0.0176	0.0241	0.0269	0.0306	0.0315	0.0352	0.0333	0.0204	0.0268	0.0250	0.0333	0.0464	0.0519	0.0509
A-1.0-F20	0.0019	0.0046	0.0065	0.0139	0.0176	0.0176	0.0176	0.0157	0.0176	0.0157	0.0176	0.0158	0.0158	0.0232	0.0286	0.0547	0.0519
A-1.5-F20	0.0074	0.0074	0.0120	0.0111	0.0185	0.0195	0.0213	0.0213	0.0241	0.0204	0.0185	0.0148	0.0148	0.0176	0.0472	0.0481	0.0454
A-2.0-F20	0.0046	0.0056	0.0102	0.0130	0.0259	0.0269	0.0306	0.0269	0.0231	0.0185	0.0158	0.0120	0.0111	0.0157	0.0381	0.0508	0.0509
A-1.0-F30	0.0009	0.0037	0.0028	0.0111	0.0158	0.0176	0.0176	0.0176	0.0185	0.0185	0.0157	0.0139	0.0158	0.0148	0.0314	0.0508	0.0154
A-1.5-F30	-0.0056	0.0019	-0.0028	0.0102	0.0185	0.0213	0.0213	0.0046	0.0065	0.0074	0.0167	0.0158	0.0111	0.0129	0.0481	0.0714	0.0639
A-2.0-F30	-0.0019	0.0019	0.0009	0.0083	0.0157	0.0213	0.0269	0.0074	0.0148	0.0158	0.0139	0.0148	0.0167	0.0194	0.0353	0.0500	0.0472
A-1.0-S30	-0.0009	0.0046	0.0074	0.0139	0.0185	0.0204	0.0231	0.0231	0.0222	0.0204	0.0241	0.0250	0.0176	0.0176	0.0222	0.0528	0.0500
A-1.5-S30	0.0056	0.0167	0.0148	0.0232	0.0259	0.0269	0.0278	0.0278	0.0278	0.0213	0.0222	0.0305	0.0250	0.0315	0.0369	0.0453	0.0472
A-2.0-S30	0.0019	0.0028	0.0092	0.0157	0.0269	0.0287	0.0287	0.0287	0.0315	0.0278	0.0324	0.0157	0.0185	0.0204	0.0314	0.0508	0.0546
A-1.0-S50	0.0009	0.0046	0.0037	0.0093	0.0157	0.0176	0.0176	0.0195	0.0195	0.0176	0.0185	0.0139	0.0148	0.0158	0.0306	0.0500	0.0463
A-1.5-S50	0.0111	0.0083	0.0130	0.0185	0.0231	0.0250	0.0269	0.0269	0.0278	0.0259	0.0232	0.0241	0.0201	0.0269	0.0342	0.0564	0.0583
A-2.0-S50	-0.0056	-0.0009	0.0019	0.0056	0.0148	0.0176	0.0176	0.0195	0.0185	0.0130	0.0093	0.0065	0.0093	0.0204	0.0242	0.0397	0.0546
A-1.0-S60	0.0056	0.0120	0.0139	0.0176	0.0204	0.0241	0.0241	0.0232	0.0241	0.0231	0.0241	0.0241	0.0250	0.0304	0.0353	0.0583	0.0509
A-1.5-S60	0.0056	0.0102	0.0083	0.0157	0.0241	0.0268	0.0278	0.0296	0.0315	0.0259	0.0333	0.0259	0.0222	0.0287	0.0369	0.0528	0.0574
A-2.0-S60	0.0037	0.0065	0.0111	0.0120	0.0185	0.0213	0.0213	0.0194	0.0203	0.0157	0.0250	0.0222	0.0222	0.0241	0.0381	0.0500	0.0546
B-1.0-0	0	0.0028	0.0056	0.0065	0.0120	0.0158	0.0185	0.0185	0.0185	0.0167	0.0176	0.0167	0.0167	0.0185	0.0286	0.0408	0.0407
B-1.5-0	0.0028	0.0083	0.0065	0.0083	0.0176	0.0213	0.0259	0.0269	0.0278	0.0278	0.0315	0.0222	0.0213	0.0213	0.0453	0.0547	0.0519
B-2.0-0	0.0028	0.0074	0.0111	0.0139	0.0518	0.1065	0.1213	0.1427	0.1483	0.1519	0.1603	0.1472	0.1481	0.1538	0.1769	0.1714	0.1833

資-4 膨張抑制に関するコンクリートでのシリーズの経時膨張量一覧表 (暴露)

材 令	膨 張 量 (%)																
	6Ws	8Ws	10Ws	13Ws	4Ms	5Ms	6Ms	8Ms	10Ms	12Ms	15Ms	18Ms	21Ms	24Ms	30Ms	33Ms	36Ms
A-1.0-0	-0.0342	-0.0103	-0.0167	-0.0131	-0.0056	-0.0075	-0.0111	-0.186	-0.0147	-0.0194	-0.0167	-0.0175	-0.0176	-0.0203	0.0214	0.0361	0.0361
A-1.5-0	-0.0008	-0.0019	-0.0083	-0.0111	-0.0131	-0.0167	-0.0194	-0.0111	-0.0036	-0.0250	0.0103	0.0064	0.0131	0.0083	0.0314	0.0425	0.0407
A-2.0-0	-0.0028	0.0008	-0.0047	-0.0083	-0.0147	-0.0147	-0.0119	-0.0028	0.0194	-0.0047	0.0047	0.0147	0.0175	0.0222	0.0639	0.0714	0.0777
A-1.0-F10	-0.0286	-0.0147	-0.0119	-0.0083	-0.0092	-0.0119	-0.0175	-0.0186	-0.0111	-0.0203	-0.0120	-0.0175	-0.0119	-0.0083	0.0258	0.0250	0.0481
A-1.5-F10	-0.0083	-0.0119	-0.0083	-0.0064	-0.0119	-0.0167	-0.0294	-0.0222	-0.0139	-0.0242	-0.0083	-0.0147	-0.0111	-0.0092	0.0131	0.0381	0.0380
A-2.0-F10	-0.0036	-0.0083	-0.0019	-0.0019	-0.0083	-0.0111	-0.0242	-0.0103	-0.0036	-0.0110	0.0314	0.0250	0.0297	0.0139	0.0464	0.0714	0.0759
A-1.0-F20	-0.0231	-0.0092	-0.0047	-0.0019	0.0036	0.0019	-0.0047	-0.0119	-0.0075	-0.0175	-0.0103	-0.0147	-0.0119	-0.0111	0.0231	0.0222	0.0444
A-1.5-F20	-0.0119	-0.0103	-0.0064	-0.0064	-0.0111	-0.0083	-0.0194	-0.0139	-0.0036	-0.0167	-0.0075	-0.0111	-0.0092	-0.0056	0.0242	0.0394	0.0417
A-2.0-F20	-0.0064	-0.0083	-0.0019	0.0064	-0.0064	-0.0075	-0.0186	-0.0083	-0.0028	-0.0139	0.0131	-0.0158	-0.0111	-0.0064	0.0269	0.0492	0.0463
A-1.0-F30	-0.0222	-0.0131	-0.0103	-0.0028	-0.0083	-0.0103	-0.0175	-0.0131	-0.0075	-0.0222	-0.0047	-0.0147	-0.0111	-0.0147	0.0239	0.0453	0.0593
A-1.5-F30	-0.0242	-0.0028	-0.0064	0.0047	0.0119	0.0064	-0.0019	-0.0111	-0.0036	-0.0147	-0.0028	-0.0019	0.0083	0.0056	0.0389	0.0325	0.0658
A-2.0-F30	-0.0019	-0.0019	-0.0092	-0.0008	-0.0036	-0.0047	-0.0131	-0.0222	-0.0056	-0.0131	-0.0019	-0.0072	-0.0008	-0.0028	0.0231	0.0556	0.0528
A-1.0-S30	-0.0286	-0.0019	-0.0092	-0.0092	-0.0047	-0.0103	-0.0139	-0.0111	-0.0056	-0.0231	-0.0139	-0.0147	-0.0075	-0.0064	0.0147	0.0194	0.0435
A-1.5-S30	0.0000	-0.0047	0.0047	-0.0083	-0.0028	0.0008	-0.0131	-0.0047	-0.0019	-0.0194	-0.0064	-0.0075	0.0000	-0.0056	0.0214	0.0353	0.0389
A-2.0-S30	-0.0119	-0.0075	0.0019	-0.0083	-0.0019	-0.0047	-0.0186	-0.0111	-0.0075	-0.0231	-0.0103	-0.0083	-0.0008	0.0036	0.0203	0.0389	0.0509
A-1.0-S50	-0.0297	-0.0131	-0.0139	-0.0119	-0.0019	-0.0075	-0.0103	-0.0167	-0.0139	-0.0167	-0.0103	-0.0194	-0.0186	-0.0175	0.0139	0.0297	0.0417
A-1.5-S50	-0.0028	-0.0064	0.0028	-0.0103	-0.0008	0.0036	-0.0131	-0.0047	-0.0008	-0.0147	-0.0047	-0.0131	-0.0064	-0.0075	0.0231	0.0258	0.0444
A-2.0-S50	-0.0092	-0.0028	0.0019	-0.0047	0.0008	-0.0008	-0.0111	-0.0064	-0.0028	-0.0186	-0.0047	-0.0139	-0.0167	-0.0194	0.0314	0.0417	0.0417
A-1.0-S60	-0.0286	-0.0103	-0.0147	-0.0083	0.0008	-0.0019	-0.0167	-0.0186	-0.0139	-0.0139	-0.0036	-0.0075	-0.0032	0.0019	0.0214	0.0381	0.0528
A-1.5-S60	-0.0278	-0.0111	-0.0064	-0.0119	-0.0019	-0.0064	-0.0186	-0.0175	-0.0139	-0.0175	-0.0056	-0.0119	-0.0103	-0.0075	0.0242	0.0306	0.0454
A-2.0-S60	-0.0269	-0.0092	-0.0092	-0.0111	0.0000	0.0008	-0.0147	-0.0194	-0.0111	-0.0139	-0.0036	-0.0111	-0.0092	-0.0064	0.0258	0.0361	0.0407
B-1.0-0	-0.0089	-0.0117	-0.0167	-0.0189	-0.0258	-0.0333	-0.0328	-0.242	-0.0369	-0.0333	-0.0158	-0.0250	-0.0147	-0.0167	0.0194	0.0314	0.0361
B-1.5-0	-0.0047	-0.0056	-0.0097	-0.0125	-0.0158	-0.0231	-0.0186	-0.0106	-0.0019	-0.0147	-0.0078	-0.0139	-0.0056	-0.0061	0.0250	0.0397	0.0454
B-2.0-0	-0.0047	-0.0075	-0.0083	-0.0092	-0.0158	-0.0203	-0.0194	-0.0139	-0.0103	-0.0083	-0.0147	-0.0111	-0.0019	-0.0064	0.0258	0.0519	0.0528

資-5 膨張抑制に関するコンクリートでのシリーズの経時動弾性係数比一覧表 (促進養生)

	動 弾 性 係 数 比 (%)																	
材 令	6Ws	8Ws	10Ws	13Ws	4Ms	5Ms	6Ms	8Ms	10Ms	12Ms	15Ms	18Ms	21Ms	24Ms	30Ms	33Ms	36Ms	
A-1.0-0	104	104	105	105	107	107	108	109	110	110	112	113	113	115	112	115	112	
A-1.5-0	102	104	104	105	106	107	106	109	110	111	112	112	113	115	113	112	111	
A-2.0-0	101	96	75	63	61	74	73	77	80	83	84	85	86	89	85	85	85	
A-1.0-F10	105	108	109	111	112	113	114	114	115	115	116	117	118	120	117	120	116	
A-1.5-F10	104	107	108	110	111	112	112	114	114	115	116	116	116	110	114	117	116	
A-2.0-F10	104	106	107	108	108	109	108	109	112	114	112	113	115	121	115	113	112	
A-1.0-F20	110	113	114	116	117	118	115	119	119	120	121	122	123	124	121	123	121	
A-1.5-F20	109	113	114	116	116	117	117	119	120	120	120	121	122	125	122	117	119	
A-2.0-F20	107	110	111	112	113	114	114	115	116	117	117	118	118	120	119	121	116	
A-1.0-F30	114	117	119	120	121	123	124	123	124	125	126	126	126	120	125	128	124	
A-1.5-F30	111	114	115	115	118	118	119	120	121	122	123	123	123	126	123	125	122	
A-2.0-F30	109	112	113	114	115	115	116	117	118	118	120	120	121	123	120	118	118	
A-1.0-S30	113	115	116	118	119	120	121	121	122	122	125	124	124	127	123	125	124	
A-1.5-S30	110	113	114	114	116	117	117	119	119	121	122	122	123	125	122	118	119	
A-2.0-S30	109	111	111	112	113	114	115	117	118	118	120	121	121	124	121	119	119	
A-1.0-S50	124	128	129	130	131	132	132	133	135	135	135	137	137	139	137	134	133	
A-1.5-S50	123	126	127	129	130	131	131	133	134	135	135	136	137	140	138	139	136	
A-2.0-S50	121	123	125	124	127	128	128	130	131	132	133	135	135	133	135	139	134	
A-1.0-S60	133	137	139	140	142	143	143	144	145	146	147	148	148	151	148	150	149	
A-1.5-S60	129	131	134	134	136	137	137	139	140	142	142	144	144	147	144	147	144	
A-2.0-S60	127	130	132	133	134	135	136	137	139	139	141	142	142	145	143	141	142	
B-1.0-0	100	102	102	102	102	103	102	104	104	104	105	106	106	108	106	106	105	
B-1.5-0	100	101	102	102	102	103	104	103	104	104	105	105	105	108	106	107	105	
B-2.0-0	100	102	102	101	88	75	71	68	69	71	73	75	76	77	78	75	76	

資-5 膨張抑制に関するコンクリートでのシリーズの経時動弾性係数比一覧表 (暴露)

	動 弾 性 係 数 比 (%)																
材 令	6Ws	8Ws	10Ws	13Ws	4Ms	5Ms	6Ms	8Ms	10Ms	12Ms	15Ms	18Ms	21Ms	24Ms	30Ms	33Ms	36Ms
A-1.0-0	94	93	94	96	98	97	97	98	100	101	100	98	98	99	101	101	101
A-1.5-0	92	92	92	93	94	94	97	95	96	97	97	97	97	98	99	98	98
A-2.0-0	91	90	90	90	90	91	95	91	86	86	86	84	85	86	84	84	88
A-1.0-F10	95	95	95	98	98	98	98	103	105	105	105	104	105	106	109	107	108
A-1.5-F10	93	94	93	96	96	96	101	101	102	103	102	104	105	106	106	106	105
A-2.0-F10	92	93	92	93	93	94	98	99	99	100	100	99	100	101	100	100	104
A-1.0-F20	94	95	95	98	99	99	99	105	106	107	107	104	106	106	109	110	110
A-1.5-F20	93	95	94	95	96	97	101	103	104	103	102	102	103	104	106	107	107
A-2.0-F20	92	93	93	94	94	95	99	101	101	101	101	99	100	101	103	104	104
A-1.0-F30	93	94	94	98	99	99	100	106	107	107	107	103	104	104	109	110	110
A-1.5-F30	93	94	95	97	99	100	100	105	105	105	104	103	104	105	107	108	108
A-2.0-F30	91	92	93	94	96	96	96	100	101	101	101	99	99	100	102	104	104
A-1.0-S30	88	94	94	97	99	100	100	106	108	103	107	103	104	105	109	110	109
A-1.5-S30	93	94	94	98	99	99	100	102	104	102	105	102	103	104	105	108	108
A-2.0-S30	86	88	91	95	95	96	97	100	100	99	101	98	99	101	102	105	104
A-1.0-S50	89	95	97	102	106	106	114	114	115	115	117	111	112	116	116	119	118
A-1.5-S50	94	96	97	102	106	107	110	115	116	114	117	114	115	116	115	119	118
A-2.0-S50	87	92	95	101	104	105	107	112	113	112	113	111	111	112	113	115	115
A-1.0-S60	91	95	99	104	109	110	117	120	123	123	123	121	122	124	126	126	127
A-1.5-S60	89	97	99	105	110	111	117	120	121	121	122	118	119	120	124	125	127
A-2.0-S60	87	94	97	104	108	109	115	118	119	119	121	116	117	118	120	123	123
B-1.0-0	98	98	97	96	98	98	97	99	100	99	99	98	99	101	100	100	100
B-1.5-0	97	98	97	96	97	98	98	98	100	100	101	99	100	101	102	101	101
B-2.0-0	97	96	96	94	95	96	97	97	98	98	98	97	98	98	97	96	94

資-6 膨張抑制に関するコンクリートでのシリーズの経時重量一覧表 (促進養生)

材 令	重 量 変 化 (%)																
	6Ws	8Ws	10Ws	13Ws	4Ms	5Ms	6Ms	8Ms	10Ms	12Ms	15Ms	18Ms	21Ms	24Ms	30Ms	33Ms	36Ms
A-1.0-0	0.14	0.12	0.08	0.10	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.13	0.13	0.14	0.13	0.14	0.10	0.08
A-1.5-0	-0.01	-0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	-0.06	-0.02	-0.02	0.02	-0.28	-0.25
A-2.0-0	-0.03	-0.03	0.13	0.24	0.27	0.31	0.03	0.33	0.34	0.34	0.33	0.18	0.20	0.20	0.29	0.29	0.28
A-1.0-F10	-0.05	-0.09	-0.07	-0.06	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	0.00	-0.01	0.03	0.02
A-1.5-F10	-0.17	-0.15	-0.10	-0.12	-0.09	-0.08	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.08	-0.14	-0.13	-0.14	-0.01	-0.16	-0.17
A-2.0-F10	0.00	0.00	0.04	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.13	0.14	0.10	0.03	0.09	0.09	0.12	0.00	-0.03
A-1.0-F20	0.05	0.06	0.07	0.09	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.16	0.19	0.19	0.19	0.13	0.16	0.14
A-1.5-F20	0.02	0.00	0.05	0.05	0.17	0.09	0.10	0.12	0.19	0.19	0.18	0.09	0.16	0.17	0.16	-0.33	-0.35
A-2.0-F20	-0.01	0.04	0.06	0.06	0.10	0.12	0.12	0.13	0.16	0.14	0.07	0.09	0.10	0.11	0.22	0.21	0.18
A-1.0-F30	0.01	0.03	0.03	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.17	0.12	0.13	0.12	0.14	0.12
A-1.5-F30	0.03	0.01	0.03	0.06	0.07	0.10	0.10	0.11	0.13	0.13	0.12	0.17	0.17	0.18	0.21	0.25	0.22
A-2.0-F30	0.06	0.01	0.05	0.05	0.07	0.09	0.11	0.10	0.12	0.12	0.12	0.16	0.16	0.17	0.12	0.03	0.01
A-1.0-S30	0.04	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.01	0.06	0.06	0.07	0.00	0.04	0.01
A-1.5-S30	0.00	-0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.01	-0.04	0.04	0.05	-0.02	-0.52	-0.52
A-2.0-S30	-0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.08	0.07	0.06	-0.20	0.18
A-1.0-S50	-0.01	-0.01	0.01	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.03	0.03	0.06	0.05	0.07	-0.21	-0.23
A-1.5-S50	-0.05	0.07	0.07	0.06	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.12	0.12	0.11	0.08	0.06
A-2.0-S50	0.05	0.03	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.14	0.16	0.13	0.16	0.10
A-1.0-S60	-0.02	0.00	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.01	0.02	0.03	0.07	0.08	0.06	0.08	0.05
A-1.5-S60	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.03	0.05	0.02	0.10	0.09	0.10	0.13	0.12
A-2.0-S60	0.00	0.00	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.03	0.05	0.02	0.06	0.07	0.05	-0.09	-0.07
B-1.0-0	-0.04	-0.08	-0.07	-0.07	-0.07	-0.06	-0.05	-0.05	-0.05	-0.08	-0.08	-0.15	-0.14	-0.13	-0.12	-0.76	-0.77
B-1.5-0	-0.02	0.200	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.01	-0.02	-0.17	-0.10	-0.08	-0.08	-0.14	-0.24
B-2.0-0	-0.01	0.024	0.01	0.01	0.06	0.15	0.17	0.20	0.22	0.17	0.15	0.07	0.14	0.15	0.17	-0.36	-0.32

資-6 膨張抑制に関するコンクリートでのシリーズの経時重量一覧表 (暴露)

材 令	重 量 変 化 (%)																
	6Ws	8Ws	10Ws	13Ws	4Ms	5Ms	6Ms	8Ms	10Ms	12Ms	15Ms	18Ms	21Ms	24Ms	30Ms	33Ms	36Ms
A-1.0-0	-1.69	-1.06	-1.28	-1.31	-1.29	-1.35	-1.59	-1.56	-1.61	-1.71	-1.78	-1.95	2.00	-1.87	-2.03	-1.53	-1.66
A-1.5-0	-0.80	-0.84	-0.99	-1.34	-1.40	-1.43	-1.86	-1.16	-1.22	-1.62	-1.65	-1.77	-1.40	-1.42	-1.72	-1.58	-1.71
A-2.0-0	-0.76	-0.73	-0.93	-1.26	-1.21	-1.24	-1.70	-1.09	-1.10	-1.46	-1.41	-1.53	-1.34	-1.30	-1.62	-1.16	-1.15
A-1.0-F10	-1.79	-1.29	-1.43	-1.59	-1.74	-1.77	-1.92	-1.41	-1.61	-1.81	-1.69	-2.08	-1.91	-1.84	-2.01	-1.72	-1.83
A-1.5-F10	-0.95	-1.14	-1.11	-1.39	-1.40	-1.44	-1.67	-1.40	-1.26	-1.43	-1.49	-1.56	-1.41	-1.31	-1.70	-1.62	-1.55
A-2.0-F10	-0.82	-1.01	-0.98	-1.28	-1.31	-1.31	-1.55	-1.19	-1.11	-1.53	-1.21	-1.45	-1.30	-1.20	-1.42	-1.17	-1.07
A-1.0-F20	-1.91	-1.35	-1.50	-1.63	-1.72	-1.75	-1.90	-1.58	-1.67	-1.66	-1.52	-1.97	-1.78	-1.67	-1.88	-1.74	-1.75
A-1.5-F20	-1.05	-1.27	-1.24	-1.52	-1.54	-1.47	-1.66	-1.41	-1.22	-1.53	-1.54	-1.67	-1.52	-1.48	-1.57	-1.44	-1.38
A-2.0-F20	-0.92	-1.13	-1.06	-1.36	-1.33	-1.28	-1.43	-1.15	-1.06	-1.26	-1.31	-1.39	-1.22	-1.15	-1.32	-1.07	-1.14
A-1.0-F30	-2.13	-1.51	-1.60	-1.69	-1.77	-1.77	-1.88	-1.53	-1.63	-1.70	-1.30	-1.98	-1.83	-1.73	-1.87	-1.61	-1.72
A-1.5-F30	-1.88	-1.19	-1.28	-1.36	-1.43	-1.48	-1.63	-1.48	-1.43	-1.37	-1.50	-1.64	-1.59	-1.53	-1.56	-1.33	-1.41
A-2.0-F30	-1.74	-1.08	-1.18	-1.23	-1.32	-1.33	-1.44	-1.36	-1.31	-1.26	-1.32	-1.52	-1.48	-1.48	-1.32	-1.09	-1.31
A-1.0-S30	-1.64	-1.05	-1.13	-1.25	-1.33	-1.38	-1.52	-1.16	-1.26	-1.33	-1.27	-1.60	-1.52	-1.50	-1.48	-1.40	-1.51
A-1.5-S30	-0.71	-0.87	-0.77	-0.98	-0.97	-0.92	-1.32	-1.08	-1.10	-1.23	-1.12	-1.37	-1.17	-1.07	-1.43	-1.24	-1.30
A-2.0-S30	-0.76	-0.84	-0.70	-0.90	-0.89	-0.91	-1.17	-1.01	-1.03	-1.11	-1.01	-1.24	-1.09	-0.98	-1.29	-1.00	-1.07
A-1.0-S50	-1.63	-1.18	-1.28	-1.30	-1.25	-1.26	-1.41	-1.27	-1.25	-1.28	-1.00	-1.53	-1.35	-1.33	-1.35	-1.24	-1.44
A-1.5-S50	-0.70	-0.83	-0.74	-0.95	-0.93	-0.90	-1.15	-0.94	-0.93	-1.02	-0.94	-1.14	-1.09	-0.97	-1.21	-1.11	-1.09
A-2.0-S50	-0.93	-0.97	-0.84	-1.04	-1.02	-0.99	-1.26	-1.06	-1.05	-1.13	-0.98	-1.19	-1.09	-0.99	-1.56	-1.03	-1.24
A-1.0-S60	-1.64	-1.23	-1.32	-1.35	-1.29	-1.34	-1.44	-1.28	-1.22	-1.31	-0.98	-1.48	-1.28	-1.20	-1.45	-1.27	-1.34
A-1.5-S60	-1.56	-1.15	-1.21	-1.27	-1.23	-1.26	-1.37	-1.20	-1.17	-1.29	-0.92	-1.46	-1.22	-1.14	-1.44	-1.16	-1.32
A-2.0-S60	-1.39	-1.13	-1.21	-1.24	-1.21	-1.21	-1.36	-1.21	-1.23	-1.24	-0.87	-1.47	-1.33	-1.19	-1.49	-1.26	-1.31
B-1.0-0	-0.74	-0.86	-1.06	-1.36	-1.41	-1.45	-1.80	-1.36	-1.45	-1.72	-1.78	-1.81	-1.49	-1.60	-1.77	-1.36	-1.56
B-1.5-0	-0.57	-0.66	-0.84	-1.10	-1.12	-1.16	-1.49	-1.05	-1.11	-1.39	-1.37	-1.44	-1.12	-1.20	-1.36	-0.86	-1.18
B-2.0-0	-0.47	-0.57	-0.91	-0.96	-0.97	-1.00	-1.33	-0.83	-1.01	-1.25	-1.23	-1.33	-0.93	-0.99	-1.41	-0.70	-0.90

立野ダムコンクリート用骨材に関する
試験

I S S N 0 3 8 6 - 5 8 7 8

土 研 資 料 第 2 5 8 8 号

昭和63年2月(1988)

小林茂敏, 河野広隆

森浜和正, 石井良美

ダムサイト周辺で産出される骨材について, アルカリ骨材反応抑制対策手法及び同骨材のダムコンクリート用骨材としての使用可否について検討したものである。

キーワード アルカリシリカ反応, 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ,
アルカリ骨材反応抑制



郵便はがき

40円切手
をはって
下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

コンクリート研究所 御中

No. 001

No. 001

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料 第2588号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印