

低品質骨材を用いたコンクリートの特徴

II. AE 剤混入の効果

柘植巳一*・服部九二雄*

昭和61年5月31日受付

Properties of Concrete Made with Lower Qualitative Aggregates

II. The Effect of Mixing Air Entraining Agent

Miichi TSUGE* and Kunio HATTORI*

Since about 1960, in Japan as well as other countries, the amount of good natural aggregate for concrete has been less than the necessary amount because of the uncontrolled gathering of river sand and gravel and construction of many dams. In this situation, the lower qualitative aggregates such as sea sand and crushed stone, etc. have been increasingly used for concrete.

We have studied also on the use of "Masa-do" as a fine aggregate in concrete since 1981. The term "Masa-do" is applied to the residual soil which is derived from the weathering of the granite in Japan. In this paper we explain an experimental study of effect by mixing an air entraining agent in concrete with "Masa-do" as a fine aggregate.

From the experiments carried out for two years since 1984, the following results were obtained.

- (1) The "Masa-do" may sufficiently be used for a fine aggregate in concrete.
- (2) Workability of the concrete with "Masa-do" as a fine aggregate was improved better by mixing an air entraining agent in it.
- (3) A unit water content of the concrete under the same slump showed considerable decrease by mixing an air entraining agent.
- (4) A compressive strength of the concrete with "Masa-do" as a fine aggregate showed a slight decrease by mixing an air entraining agent, i.e. 0.06% of cement content.

緒 言

戦後、ダム群の建設が進むにつれて、河川における砂・砂利の補給が次第に減少していくなかで、高度経済成長の波にのって、コンクリート構造物の大量生産が行われ

た結果、良質の河川産骨材は、急速に消費されて枯渇寸前の状態に陥り、全国的に採取が規制されるようになったのである。河川産骨材の採取規制により、従来、見向きもされなかった海砂、山砂あるいは砕石のような、いわゆる低品質骨材に手を出さざるを得なくなった。セメ

* 鳥取大学農学部農業工学科農業造構学研究室

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University

ントも省エネルギーという国策に沿って、高度経済成長期に湿式からサスペンションプレヒータ付のキルンを用いる乾式に製造方法が転換されたが、これに伴ってセメント中のアルカリ分が増大し、品質の変動も大きくなる結果を招いた³⁾すなわち、コンクリート構造物は、高度経済成長期を境にして、大量生産のために施工は粗末になり、材料のセメントも骨材も共に悪化しているのである。こうした状況下で造られたコンクリート構造物が、今日塩害やアルカリ骨材反応による早期劣化を起して問題になっているのである^{2,4,5,10)}

かかる骨材枯渇の実状にかんがみ、筆者等は、昭和56年度より全国的な規模で研究者12名が協力して、「農業土木構造物を対象としたコンクリート用骨材資源の有効利用に関する研究」(研究代表者 柘植巳一)なるテーマで科学研究費の補助を受けて研究を開始した。この研究の一部として、筆者等は、中国地方に多量に分布するマサのコンクリート用細骨材としての利用の可能性を明らかにするために、細骨材にマサと川砂を、粗骨材に川砂利を用いたコンクリートについて検討した結果、(1)マサは、コンクリート用細骨材として十分利用できる。(2)マサを使用したコンクリートは、川砂を使用したコンクリートより単位水量が増加する。(3)マサに川砂を混入することにより、単位水量が減少し、より大きな強度が得られる。などの事実を明らかにし、その都度発表してきた⁶⁻⁹⁾

本論文は、以上の研究成果をふまえ、マサを細骨材と

して使用する場合、単位水量が増加するという事実に着目し、これにAE剤を混入することによって、コンクリートの諸性状に及ぼす影響について検討した結果をまとめたものである。

実験材料及び方法

(i) 実験材料

実験に使用したマサは、岡山市下足守七畝付近で採取したもので、砂粒状を呈しており、一見して土というよりも砂に近い感じのものである。川砂、川砂利は、鳥取県千代川産のものを、セメントは、比重3.15の普通ポルトランドセメント(T社製)を、AE剤は、ヴィンソル70S(Y社製)を使用した。使用骨材のフルイ分け試験結果を第1表に、物理的性質を第2表に、実験に使用した示方配合を第3表に示す。これらの表中の「マサA」は昭和56・57年度、「マサB」は58年度、「マサC」は59年度、「マサD」は60年度に使用したものを表わしており、本研究は、マサDを用いて検討した結果である。これらの表より、同一の場所でも採取箇所によって、マサの粒度や物理的性質が異なることがよくわかる。

(ii) 実験方法

供試体は、次の要領で作製した。まず、セメントと骨材の所要量を、容量50 lの強制練りミキサーに入れて75秒間空練りを行い、次いで、練り混ぜ用水を加えて150秒間練り混ぜた。AE剤を混入する場合は、予め練り混ぜ用

第1表 フルイ分け試験結果

フルイの呼び寸法 (mm)	各フルイに残留する割合の類計 (%)					各フルイに残留するものの質量百分率 (%)				
	川 砂	マサA	マサB	マサC	マサD	川 砂	マサA	マサB	マサC	マサD
10	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
5	0	15	8	6	12	0	15	8	6	10
2.5	7	55	29	30	35	7	40	21	24	23
1.2	22	77	51	51	54	15	22	22	21	19
0.6	61	89	71	70	72	39	12	20	19	18
0.3	86	94	83	80	85	25	5	12	10	13
0.15	99	98	94	90	93	13	4	11	10	8
受皿	100	100	100	100	100	1	2	6	10	7
F. M.	2.75	4.28	3.36	3.27	4.55	100				

第2表 使用骨材の物理的性質

骨 材	比 重	吸 水 率(%)	有効吸水率(%)	粗 粒 率
マ サ A	2.59	2.25	1.03	4.28
マ サ B	2.52	2.48	1.47	3.36
マ サ C	2.51	2.42	1.34	3.27
マ サ D	2.51	2.75	1.92	4.55
川 砂	2.59	2.67	1.64	2.75
川 砂 利	2.60	1.81	1.30	6.54※

※人為的に粒度調整した値

第3表 実験に使用した示方配合

種 類	M. S.	Slump	air	W/C	S/a	単 位 量 (kg/m ³)				
	(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤
マ サ A	20	12±2	2	55	45	234	425	829	756	—
マ サ B	20	12±2	2	55	48	209	380	784	881	—
マ サ C ₁	20	12±2	2	55	47	220	400	748	871	—
マ サ C ₂	20	12±2	6	55	44	200	364	690	907	0.11
マ サ D ₁	20	12±2	2	55	54	208	378	879	785	—
マ サ D ₂	20	12±2	6	55	51	189	344	818	822	0.21
川 砂	20	12±2	2	55	45	185	330	799	988	—

M. S. : 最大骨材寸法, マサC₁ : プレーン, マサC₂ : AE (0.03%)
 マサD₁ : プレーン, マサD₂ : AE (0.06%)

水にAE剤を混入して用いた。練り混ぜ後、ミキサーを回転させながら試料を練り板上に取り出し、2往復手練りを行ってから、スランプ試験により、スランプが12±2 cmの範囲内にあることを確認し、同時に練り上り温度を測定してからφ10×20cmの円柱形型枠に2層に分けて詰め、各層毎に内部振動機で締め固めた。表面を成形して、1日間、室温20°C、湿度75%の恒温恒湿室内で養生した。脱型後、20±3°Cの恒温水槽内で所要期間養生した。この間、材令3日、7日、14日、21日、28日には密度の測定を行い、材令7日、14日、28日には、縦振動法によって動弾性係数に関する測定を行ってから、圧縮強度の測定を実施した。圧縮強度の測定に際しては、キャッピングを行う代りに、供試体端面研磨仕上げ機を使用して、供試体上端面の平滑処理を行った。

結果と考察

(i) 単位水量と単位セメント量

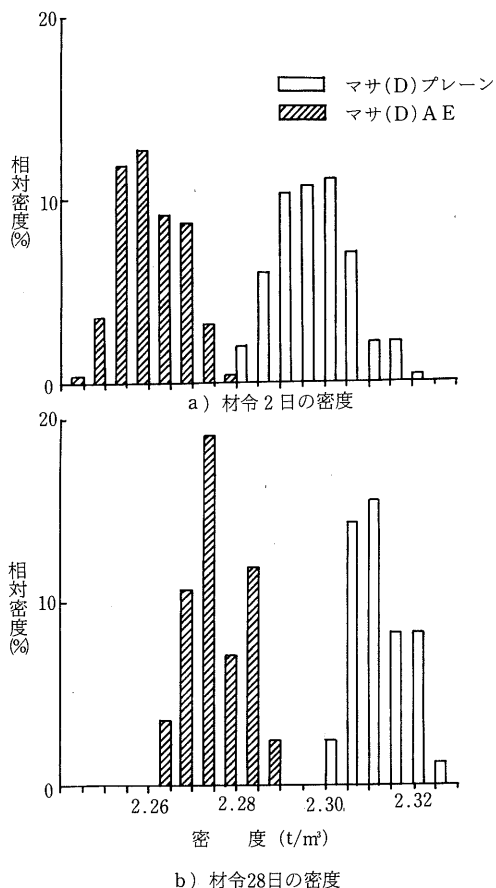
第3表には、参考のため、この研究を開始した当初からの配合が示してある。この配合表において、マサCとDを用いた配合で、AE剤を混入していないプレーンコンクリートの方を、それぞれマサC₁、マサD₁とし、AE剤を混入したAEコンクリートの方を、それぞれマサC₂、マサD₂としてある。いま、この配合表において、同一のスランプを得るのに、川砂を用いた配合の単位水量に比して、マサA、マサB、マサC₁、マサD₁の単位水量が、いずれも増大していることがわかる。この一因は、第1表のフルイ分け試験の結果からみて、次のように推論できる。すなわち、各マサの0.3~0.6mmの粒径が、川砂のそれに比べて可なり少なくなっている。ところが、この0.3~

0.6mmの粒径が、空気量に最も影響する粒径で、空気量は、この粒径の含有量の関数であるといわれている。¹⁾したがって、各マサは、川砂に比して空気連行性の悪い粒径分布をしていると云うことができるので、空気連行性の悪さを補うために単位水量を多くする必要があると考えられるのである。それに伴い水セメント比が一定であることから、単位セメント量も多くなっているのである。この単位水量、単位セメント量の増加を抑えるために、予備試験として、マサCに通常の混入率（セメント量の0.03%）でAE剤を混入して実験を試みたが、マサCプレーン（マサC₁）に比して、諸性状にさほど顕著な差が認められなかったため、マサDにAE剤を0.06%混入した配合（マサD₂）を採用した。ちなみに、ローリング法により、実際にAE剤によってコンクリート中に連行された空気量を測定した平均値は、マサC₂が2.3%（マサC₁は2.1%）に対して、マサD₂は4.6%であった。

さらに、マサC₁、マサD₁の単位水量に比して、マサC₂、マサD₂の単位水量が共にAE剤の減水作用で減少し、それに伴って、単位セメント量が減少する結果となっている。これは、AE剤の混入により、コンクリート内にエントレインドエア（entrained air）が連行され、コンクリートのワーカビリティ（workability）が改善されて、同じスランプを得るのに必要な単位水量が少なくてすみ、水セメント比が一定であることから、単位セメント量も少なくてすむ結果となっている。

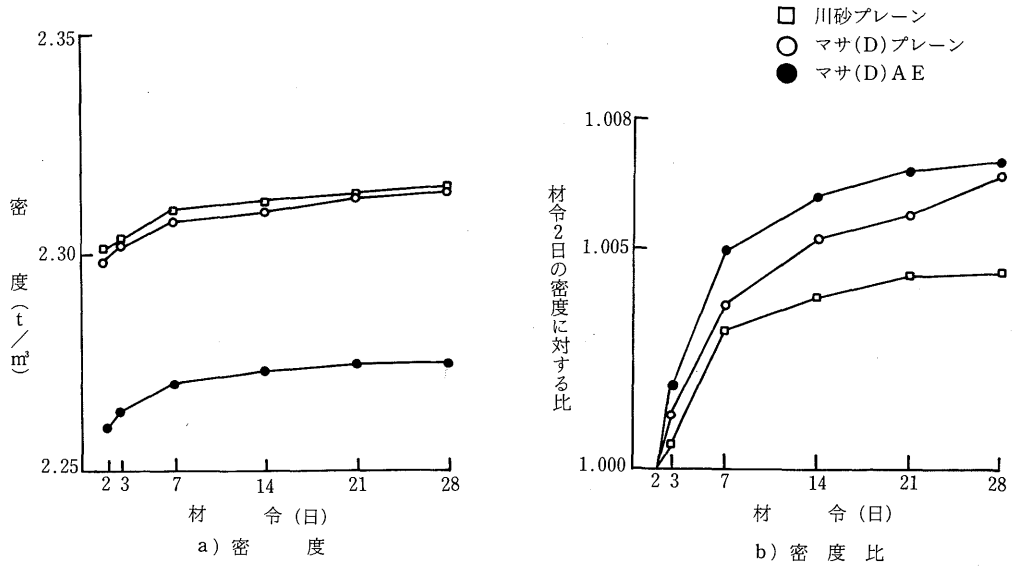
(ii) 密度及び密度比

以下、説明の便宜上、マサプレーンコンクリート、マサAEコンクリートを、それぞれマサプレーン、マサAEとして区別することとする。第1図は、材令2日と28日におけるマサ(D)プレーンとマサ(D)AE供試体の密度のヒストグラムを示したものである。この図から、マサ(D)プレーン及びマサ(D)AE供試体の密度分布は、ばらつきはあるものの、ほぼ正規分布に近い形を示していることがわかる。全体的に、マサ(D)プレーンよりも、マサ(D)AEの方が密度が小さいことがわかる。これは、AE剤の混入により、エントレインドエアがコンクリート内に連行されて、空隙が増加したためである。また、材令2日の密度よりも、材令28日の密度の方が大きくなっていることがわかる。第2図は、材令28日までの密度及び密度比（材令2日の密度に対する比）の経日変化を、マサ(D)プレーンとマサ(D)AEならびに川砂を用いたプレーンコンクリートについて調べた結果を示したものである。密度の経日変化を示すa)図から、川砂プレーンとマサ(D)プレーンの密度は、各材令とも

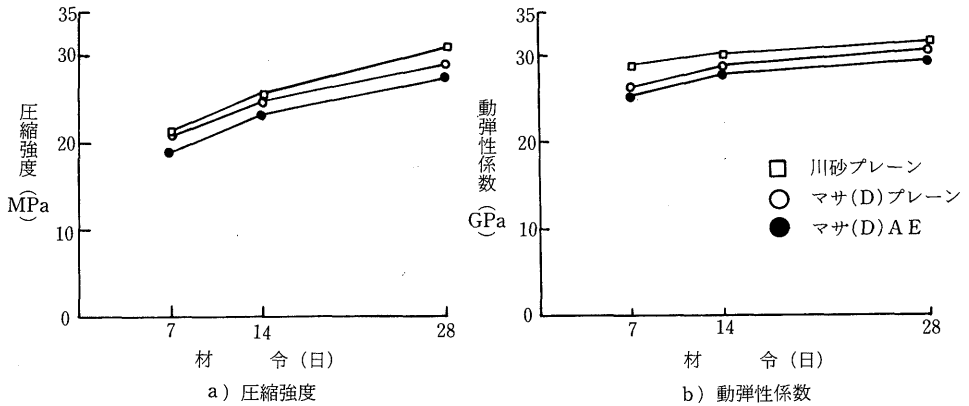


第1図 密度のヒストグラム

殆んど差がなく、材令の経過とともに増加し、しかも増加割合は、最初の1週間が大きく、以後順次ゆるやかになっていることがわかる。これらに対して、マサ(D)AEの密度は、増加割合の経日変化は殆んど同様であるが、各材令における密度の値が可なり小さい。これは、前述のとおり、マサ(D)AEの内部には、AE剤の作用による連行空気に基づく空隙が増加したことを示すものである。密度比の経日変化を示すb)図より、材令2日の密度に対する各材令における密度の比は、各材令とも、マサ(D)AEが最も大きく、次いでマサ(D)プレーン、最小が川砂プレーンとなっているが、密度比の増加傾向は、三者とも最初の1週間は急に増加し、以後順次ゆるやかになっていくといった殆んど同じ傾向を示していることがわかる。



第2図 密度及び密度比の経日変化

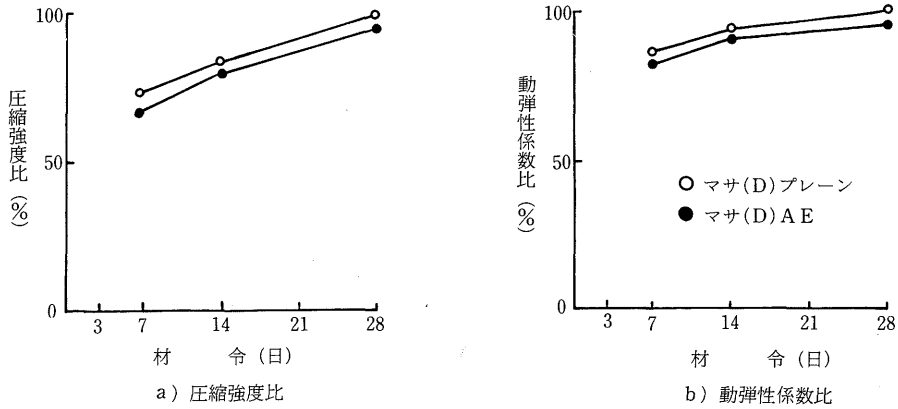


第3図 圧縮強度及び動弾性係数の経日変化

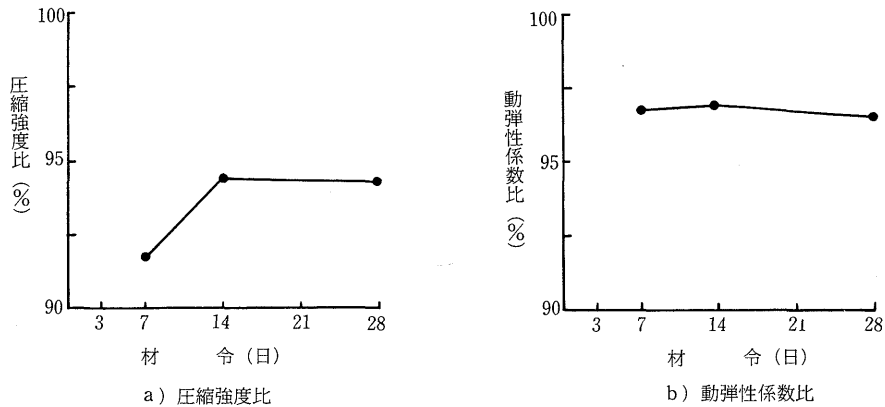
(iii) 圧縮強度と動弾性係数

第3図は、川砂プレーン、マサ(D)プレーン及びマサ(D)AEの圧縮強度と動弾性係数の経日変化を示したものである。a)の圧縮強度については、各材令とも、川砂プレーン、マサ(D)プレーン、マサ(D)AEの順序に小さくなっているが、その差は僅かであり、殊に川砂プレーンとマサ(D)プレーンとの差は僅少で、マサが細骨材として十分利用可能であるとした前報⁹⁾の結果を強度の面より裏づけている。マサ(D)AEの圧縮強度が、マサ(D)プレーンのそれよりも僅かではあるが小さい

のは、AE剤による連行空気量の影響によるものと考えられる。b)の動弾性係数の経日変化も、圧縮強度の場合と殆んど同じ傾向を示していることがわかる。もちろん、各材令において、マサ(D)AEが僅かではあるが小さい値を示しているのは、AE剤の混入による連行空気量の影響であると考えられる。第4図 a)は、マサ(D)プレーンの材令28日の圧縮強度に対する、各材令のマサ(D)プレーンとマサ(D)AEの圧縮強度の比の経日変化を、b)は同様に、マサ(D)プレーンの材令28日の動弾性係数に対する、各材令のマサ(D)プレーンとマサ(D)



第4図 マサ(D)プレーンの材令28日の値に対する割合



第5図 各材令のプレーン供試体の値に対するAE供試体の値の割合

AEの動弾性係数の比の経日変化を示したものである。これらの図から、マサ(D)プレーンとマサ(D)AEの各材令において発現する値が、マサ(D)プレーンの材令28日における値の何割に相当するかが一目でわかる。特に、マサ(D)AEの材令28日における値が、マサ(D)プレーンの材令28日における値のほぼ95%程度に相当していることが認められ、単位セメント量の0.06%程度のAE剤の混入では、あまり強度低下に影響しないということがわかる。さらに、各材令毎のプレーン供試体の値に対する、AE供試体の値の割合を、圧縮強度と動弾性係数について各材令毎にプロットしてみると、第5図のようになり、材令とともに、連行空気量が、圧縮強度や動弾性係数の低下に、どの程度影響を及ぼしているかが明らか

かとなる。すなわち、圧縮強度の場合は、材令7日では、プレーン供試体の93%位であるが、材令が14日、28日になると、ほぼ95%の強度発現がみられる。又、動弾性係数の場合は、材令7日以降、プレーン供試体の値のおよそ97%程度の値を示しており、AE剤混入によって発生した連行空気に基づく空隙の影響は、圧縮強度に対する場合よりやや軽微であることがわかる。

結 論

昭和56年度より、花崗岩が風化して粉碎したマサを、砂の代りに細骨材として用いたコンクリートについて、その諸性状を実験的に検討してきた結果、マサは、細骨材として十分利用できることがわかった。ところが、マ

サを使用した場合は、単位水量が増加するという事実も明らかになった。そこで筆者等は、この事実に注目し、単位水量を減少させる目的で、混和剤としてAE剤を通常の混入率の2倍（セメント重量の0.06%）に相当する量だけ混入して、その効果を実験的に検討した。現在までに得られた結果をまとめると次のようになる。

(1) マサは、コンクリート用細骨材として十分利用可能である。

(2) マサを細骨材としたコンクリートに対するAE剤の混入は、ワーカビリティの改善に効果がある。

(3) AE剤を混入することによって、所定のスランプを得るために必要な単位水量を減少させることができる。

(4) AE剤の混入により、空気が連行されて強度は低下するが、単位セメント量の0.06%程度の混入では、強度低下は僅かである。

あ と が き

マサを細骨材に使用したコンクリートの諸性状について、実験的に検討してきたが、マサは、採取箇所によって粒度や物理的性質が異なるので、使用に際しては、採取箇所が変る毎に、フルイ分け試験や物理試験を行う必要がある。従来の一連の研究の結果から、マサは、コンクリート用細骨材として十分利用可能であるが、普通の砂を細骨材に用いたコンクリートに比べて、単位水量が増加する欠点がある。水セメント比を一定にする関係上、単位水量の増加に伴って単位セメント量が増加することになる。従って、空気連行性と減水性のあるAE剤を混入することによって、余り強度を低減させずにワーカビリティを改善し、単位水量を減少させることができる目安を得ることが出来た。今後は、このAE剤の混入率を種々変化させて、マサを用いたコンクリートの配合や諸性状に及ぼす影響について検討を続けていく予定である。

最後に、本研究を実施するに際し、試料のマサの採取に絶大なる御協力をいただいた岡山県吉備高原開発建設事務所の関係各位に対し、衷心御礼申し上げるとともに、実験遂行に多大の協力をいただいた当研究室の専攻生諸君に深甚なる謝意を表する次第である。

文 献

- 1) 伊藤茂富：新編コンクリート工学，森北出版（第1版），東京（1977） 189～191
- 2) 川村満紀・榎場重正：アルカリ・シリカ反応のメカニズム，コンクリート工学，22（2） 6～15（1984）
- 3) 小林一輔：コンクリート構造物の耐久性，コンクリート工学，23（2） 4～12（1985）
- 4) 小林一輔他8名：コンクリート構造物の寿命をどう考えるか，コンクリート工学，22（1） 2～22（1984）
- 5) 小林一輔他2名：アルカリ骨材反応をめぐって，コンクリート工学，22（5） 4～15（1984）
- 6) 柘植巳一・服部九二雄：コンクリート用骨材資源の有効利用について
—細骨材としてのマサの利用について（I）—，農士学会中・四国支部講演要旨，37 26～28（1982）
- 7) 柘植巳一・服部九二雄；同上（II），農士学会講演要旨，514～515（1983）
- 8) 柘植巳一・服部九二雄；同上（III），農士学会講演要旨，544～545（1984）
- 9) 柘植巳一・服部九二雄；低品質骨材を用いたコンクリートの特徴，I．マサを細骨材として利用した場合，鳥大農研報，37 102～110（1985）
- 10) 福島正人・二村誠二：コンクリート用碎石のアルカリ骨材反応性，セメントコンクリート，438 8～15（1973）