

フライアッシュの反応性がアルカリ骨材反応抑制に及ぼす効果

REACTIVITY OF FLY ASH AND ITS EFFECT FOR CONTROLLING EXPANSION DUE TO ALKALI-AGGREGATE REACTION

柿沼直人*, 都築正則**, 浜 幸雄***, 千歩 修****

Naoto KAKINUMA, Masanori TUZUKI, Yukio HAMA

and Osamu SENBU

Fly ash have an effect on controlling expansion due to Alkali-aggregate reaction(AAR). However, the effect varies in types of fly ash. In this paper, an evaluation method of the effect of fly ash on controlling expansion of concrete due to AAR is proposed using Na_2O equivalent value. And evaluation methods of the reactivity of fly ash in alkali are also proposed, that is a chemical method and an electrical conductivity method. Relationship between reactivity of fly ash and its effect on controlling expansion of concrete due to AAR are investigated. It becomes clear that these two factors are correlated.

Key Words: alkali-aggregate reaction, fly ash, Reactivity of fly ash

アルカリ骨材反応、フライアッシュ、フライアッシュの反応性

1 はじめに

アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の劣化予防策の一つとしてフライアッシュの使用が挙げられる。フライアッシュは火力発電所より産出される産業副産物であり、これまでコンクリート用混和材として広く使用されている。フライアッシュによるアルカリ骨材反応抑制に関しては、フライアッシュを置換率20%以上で使用すればアルカリ骨材反応抑制効果が十分得られること、フライアッシュの抑制効果はフライアッシュ粒子の表面積および非晶質性分が関係すること¹⁾等が明らかとなっている。しかし、多くの研究が行われている中、アルカリ骨材反応抑制機構の解明には至っていない。また、フライアッシュは原料炭や燃焼条件の違いにより品質が一定せず、フライアッシュ種別によって抑制効果が異なるといわれている。

本実験ではフライアッシュのアルカリ溶液中での反応性に着目し、アルカリ骨材反応抑制効果との関係について検討した。フライアッシュのアルカリ溶液中での反応性を見るため、骨材のアルカリ骨材反応判定試験として一般的に行われている試験である化学法 (JIS A 5308 付属書7) および簡易なボゾラン反応性の判定試験として提案されている電気伝導率差²⁾をそれぞれフライアッシュの反応性試験として行った。また、フライアッシュの抑制効果は、数種のフライアッシュを用いたコンクリート供試体を作成し、フライアッシュの種類お

よび置換率による抑制効果の違いを澤田によって提案された方法³⁾で定量的に表した。

2 実験の計画及び方法

(1) 反応性骨材の諸性状

コンクリートによる試験を行う前段階として骨材の性状を把握するためモルタルバー法試験 (JIS A 5308 付属書8) を行った。実験計画 I を表 1 に示す。試験は、反応性骨材使用量、反応性骨材粒度、フライアッシュ置換率を変化させて行い、さらに反応性骨材微粉末を混和材として使用した供試体についても同様に行った。反応性骨材使用率は7水準、骨材粒度は6水準、フライアッシュ置換率は7水準とした。また、フライアッシュおよび反応性骨材微粉末はセメントと内割で重量置換して使用し、フライアッシュは実験 II で使用するうちの I 種である T を、反応性骨材微粉末は天然砕石である K 砕石を 0.15mm 以下に粉砕して使用した。反応性骨材は K 砕石、非反応性骨材は常盤産砕石を使用し、セメントは普通ポルトランドセメント (比重 3.16、全アルカリ (R_2O) 0.62%) を使用した。総アルカリ量の設定として、反応性骨材量、骨材粒度について検討を行った供試体は既定値の 1.2%、フライアッシュおよび反応性骨材微粉末を使用した供試体は混和材による膨張抑制効果を考慮して既定値より多い 2.4% とした。

* 岩田建設(株)建築部 修士(工学)

** 北海道大学大学院工学研究科材料性能学研究室
大学院生

*** 北海道大学大学院工学研究科材料性能学研究室
助手・工博

**** 北海道大学大学院工学研究科材料性能学研究室
助教授・工博

Architectural Dept. Iwata Corp., M. Eng.

Graduate Student, Div. Building Materials, Graduate School of Hokkaido Univ.

Research Assoc., Div. Building Materials, Graduate School of Hokkaido Univ.,
Dr. Eng.

Assoc. Prof., Div. Building Materials, Graduate School of Hokkaido Univ., Dr. Eng.

(2) JCIコンクリートバー法による抑制効果の定量化

フライアッシュ種類および各置換率に対して抑制効果の定量化を行うため、JCIコンクリートバー法を行った。実験計画Ⅱを表2に、基本調合を表3に、使用したフライアッシュを表4に示す。実験はフライアッシュを10種、置換率を5、15、25%の3水準とし、反応を促進させるために加えるアルカリをフライアッシュ置換率に応じて4~5水準として行った。セメントはモルタルバー法で使用したものと同様の普通ポルトランドセメント(比重3.16、全アルカリ(R₀)0.62%)を使用した。細骨材は非反応性の鶴川産陸砂、粗骨材は反応性の高いK砕石、非反応性の常盤産砕石を1:1の割合で混合し使用した。基本調合はスランプ18cmを目標に試し練りを行い決定した。本実験では混和剤は使用していない。他の調合はこの基本調合をもとにフライアッシュを内割で重量置換して決定した。また、反応を促進させるためのアルカリ増量は試薬一級 水酸化ナトリウムの2規定溶液を練り混ぜ水に混ぜて使用した。供試体の作製にはホバート形強制練りミキサーを使用した。供試体寸法は7.5×7.5×40cmとし、両端の中央部に長さ変化測定用の評点ボルトを埋め込んでいる。

打込んだ供試体は、打込み後約24時間後に脱型し、基準長さを測定した後、水を含ませて約100gとした2枚の保水紙に包んだ後に網袋に入れ、個別にビニール袋に封緘した。さらに40±2℃、100%RHに保たれた養生箱配置し、測定材齢の前日には20℃、60%RHの恒温室に移動し、20~24時間養生後に測定を行った。測定材齢は、脱型時、2週、4週、その後は1ヵ月おきに材齢6ヵ月まで行った。測定後はもとどおり封緘して養生を行った。

(3) フライアッシュの反応性の検討

フライアッシュのアルカリ溶液中での反応性を調べるために化学法および電気伝導率差試験を行った。実験計画Ⅲを表5に示す。

a. 化学法試験

化学法試験はJIS A 5308に準じて行った。しかし、化学法は元来骨材の反応性試験であるため、フライアッシュへの適用を考慮して反応時間を12、24、48時間の3水準とり、試験を行った。試料は105℃に設定したオープンで24時間乾燥させて使用した。溶解シリカ量は重量法で、アルカリ濃度減少量は中和適定によった。

b. 電気伝導率差試験

電気伝導率差はアルカリ溶液中にフライアッシュを投入し、投入前後の電気抵抗を測定することによって、フライアッシュのポゾラン活性を調べる試験である。試験はLuxanの方法²⁾に準じて行った。フライアッシュがコンクリート中で反応するアルカリとして水酸化カルシウムおよび水酸化ナトリウムが考えられる。そこで本実験では溶液として、水酸化カルシウム飽和溶液、0.01規定水酸化ナトリウム溶液の2種類の水溶液を使用した。水酸化カルシウム飽和溶液はウォーターバスで40℃に、0.01規定水酸化ナトリウム溶液は恒温室内で20℃に、それぞれ密封できる容器を用いて管理した。試験の手順は、使用する水溶液200ccをビーカーに入れ電気抵抗初期値(R₀)を測定する。電極をビーカーから出し、105℃に調節したオープンで24時間乾燥させたフライアッシュ5gを直ちに投入し、ペンシルミキサーで30秒攪拌する。攪拌後30秒の間に電気抵抗(R₁)を測定した。この操作を繰り返して10分まで測定を行った。それぞれの電気抵抗から次式によって電気伝導度を求め、電気伝導率差を $\Delta = \Delta_0 - \Delta_n$ のように表した。

表1 実験計画Ⅰ(モルタルバー法)

	測定項目	総アルカリ量
反応性骨材量(%)	0・5・10・20・50・75・100	1.2%
反応性骨材粒度(mm)	5~2.5・2.5~1.18・1.18~0.6 0.6~0.3・0.3~0.15・0.15~	1.2%
フライアッシュ置換率(%)	0.5・10・15・20・25・30	2.4%
反応性骨材置換率(%)	15	

表2 実験計画Ⅱ(コンクリートバー法)

フライアッシュ種類	置換率(%)	添加アルカリ量(kg/m ³)
なし	0	3.0・4.2・5.4・6.6・7.8
10種類	5	4.2・5.4・6.6・7.8
	15	5.4・6.6・7.8・8.4・9.6
	25	7.8・8.4・9.6・10.8・12

表3 基本調合

水結合材比(%)	細骨材率(%)	単位水量(kg/m ³)	絶対容積(l/m ³)			
			セメント	フライアッシュ	細骨材	粗骨材
55	51	197	113	—	350	340

比重(セメント…3.16 細骨材…2.69 粗骨材…2.70)

表4 フライアッシュ基礎性状

記号	炭種	比重	水分(%)	強熱減量(%)	好シンプルー吸着量(mg/g)	ブレン値(cm ² /g)
T	ユーラン炭(50) プリマ炭(50)	2.29	0.62	4.6	0.40	3586
C	cch	2.12	0.43	2.9	0.73	3164
W	ワンボー	2.16	0.22	2.8	0.88	3374
J	JIS規格灰	2.14	0.24	1.1	0.50	2470
L	リスゴー	2.07	0.28	1.9	0.45	2431
UL	ユーラン炭	2.18	0.21	1.5	0.40	2476
OP	オプティマム	2.31	0.15	2.2	0.60	2401
LB	リスゴー(60) プレアソール(40)	2.18	0.18	2.2	0.50	3349
DR	ドレートン	2.28	0.24	1.3	0.53	2415
TW	太平洋(30) ワンボー(70)	2.12	0.59	10.5	3.30	4278

*LBは酸性灰

表5 実験計画Ⅲ(フライアッシュの反応性試験)

試験方法	使用溶液	反応温度	反応時間	測定項目
化学法*	1規定 NaOH	80℃	12時間	溶解シリカ量 アルカリ濃度減少量
			24時間	
			48時間	
電気* 伝導率差	Ca(OH) ₂ 飽和溶液	40℃	1~10分	LCRメータにより 電気抵抗を測定
	0.01規定 NaOH	20℃		
シリカ量	JIS A 6201 による			

*化学法はJIS A 5308 附属書7に電気伝導率差はLuxanの方法による

ここで、 Δ_0 は初期値、 Δ_n はn回目の測定値とする。

$$\Delta_{0(n)} = (C/R) \times 1000 \quad (Cは電極の形状係数)$$

電気抵抗は電気抵抗測定装置(オートレンジ電気抵抗測定装置 K-535c)を用い、電極はステンレス製の鋼棒を用いて作製し、電極間は24mm、高さは50mmとした。電極の形状係数は比抵抗が既知である0.02規定塩化カリウム水溶液を用いて電気抵抗を測定し算出した。

c. 二酸化けい素量

フライアッシュの抑制効果は非晶質シリカ量と関係することから二酸化けい素量を測定し、試験法はJIS A 6201(コンクリート用フライアッシュ)によった。

3 実験結果および考察

(1) 反応性骨材の諸性状

a. 反応性骨材使用量による影響

モルタルバー法の膨張におよぼす反応性骨材使用量の影響を図1に示す。反応性骨材使用量の多い順に材齢6ヵ月時で膨張率も大きくなっており、この反応性骨材には骨材使用量のペシマムは存在しないことが分かる。

b. 反応性骨材粒度による影響

モルタルバー法の膨張におよぼす反応性骨材粒度の影響を図2に示す。すべての粒度の供試体は、粒度分布を持たせたものより膨張率が小さく、有害と判定される膨張率0.1%に達していない。また、この中でも骨材粒度が2.5～1.18mm、1.18～0.6mmの供試体がやや大きな膨張を示し、粒度が0.15mm以下の供試体は膨張率が最も小さい。これより、反応性骨材粒度を単粒度とすると、アルカリ骨材反応による膨張が少なくなること、また、この反応性骨材は骨材粒度1.18～0.6mmの範囲に粒度のペシマムが存在することが分かる。

c. 置換率および反応性骨材微粉末による影響

モルタルバー法の膨張におよぼすフライアッシュ置換率および反応性骨材微粉末の影響を図3に示す。総アルカリ量を2.4%としたため、全体に大きな膨張を示している。混和材の影響として、フライアッシュの置換率が大きいほど膨張率が小さくなっているが、フライアッシュ置換率5%の供試体と無置換の供試体の間に材齢2ヶ月時に逆転が起こっており、フライアッシュの置換率によるペシマムが見られた。一般に、骨材使用量にペシマムを持たない反応性骨材を使用したモルタルの膨張量は、フライアッシュの置換によって助長されることはないと言われているが、本実験ではフライアッシュの置換によるペシマムが見られた。反応性骨材を0.15mm以下に粉砕してフライアッシュと同様にセメントと内割りに15%重量置換して使用したところ、フライアッシュTを25%置換した供試体より少ない膨張を示した。これは、反応性骨材微粉末にはフライアッシュTより高い抑制効果があることを示している。なお既往の研究でも、モルタルバー法において反応性骨材としてしばしば使用されるパイレックスガラスを微粉砕して混和材として使用したとき、0.7μm以下に粉砕すれば抑制効果が得られるという報告がなされており、反応性の材料も微粉砕すれば抑制効果があるものと考えられる。

(2) JCI コンクリートバー法による検討

a. フライアッシュの種類と置換率による影響

材齢6ヶ月時における供試体の膨張率をアルカリ添加量別に図4に示す。添加量が多くなるほど膨張率が高くなっており、膨張率もフライアッシュにより様々であるが、DRで置換したものは膨張率が大きく、JやLBで置換したものは膨張率が小さくなっている。

アルカリ添加量が7.8kg/m³である供試体の膨張挙動をフライアッシュ置換率ごとに表したグラフを図5に示す。ここで、フライアッシュの置換率が大きくなるほど膨張は小さくなり、また、フライアッシュ種類によっても差があることが分かる。

b. 抑制効果の定量化

フライアッシュの抑制効果の定量化の概念図を図6に示す。抑制効果は、材齢6ヶ月時の供試体の膨張率が0.1%となるときに総アルカリ量と、普通ポルトランドセメントのみの場合との差をとり、Na₂O当量として求めた。ただし、ここで使用した総アルカリ量はフ

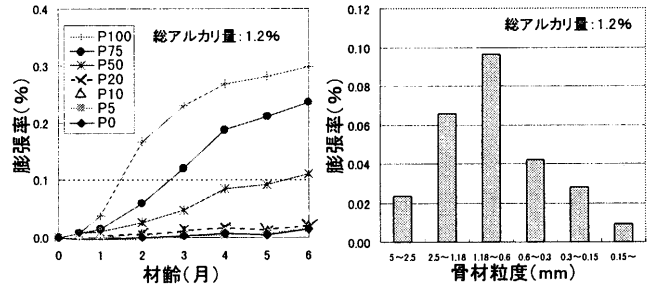


図1 反応性骨材使用量 (ペシマム量) の影響

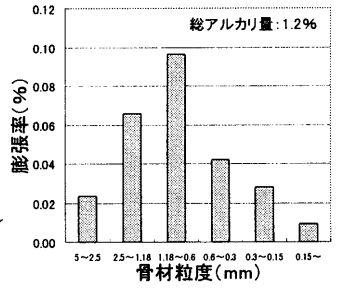


図2 反応性骨材粒度 (ペシマム粒度) の影響

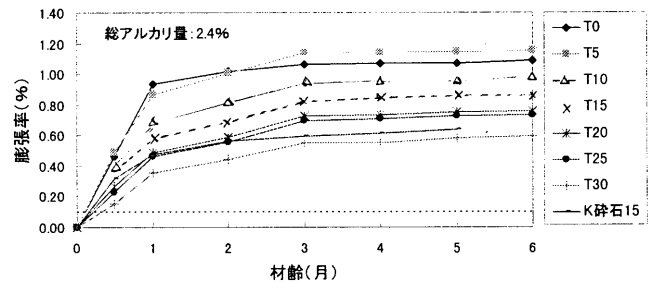


図3 置換率および反応性骨材微粉末の影響

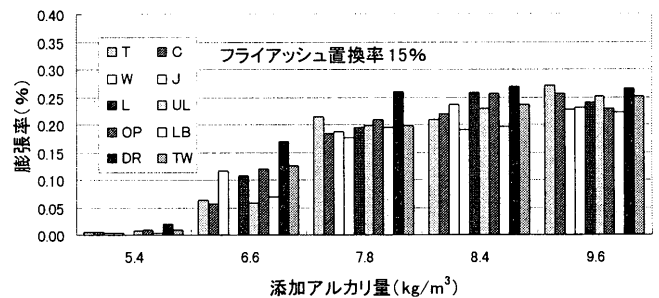


図4 膨張率と添加アルカリ量の関係

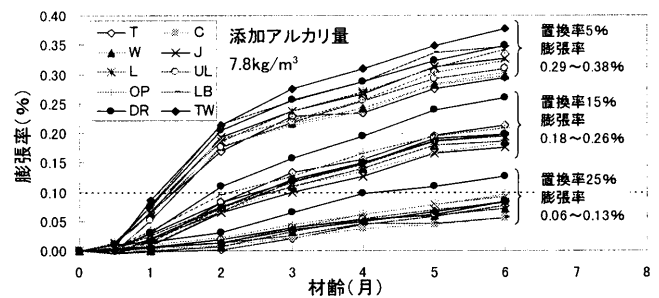


図5 フライアッシュ種類・置換率の影響

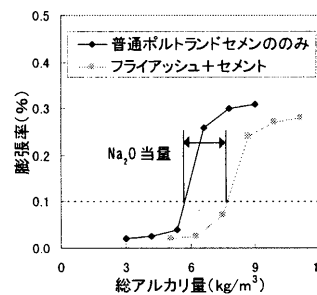


図6 フライアッシュの抑制効果の定量化 (概念図)

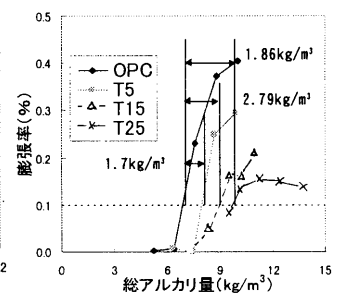


図7 フライアッシュの抑制効果の定量化 (フライアッシュT)

ライアッシュ中のアルカリを加えていない。ライアッシュTの抑制効果の算出例を図7に、このように求めた各フライアッシュの抑制効果を表6に示す。抑制効果を定量化した結果、置換率5%でのOP、LB、DR、TWは、逆に膨張を助長させたため抑制効果が負の値となっている。また、どの置換率においてもDRの抑制効果が特に低くなっている。また全体を通して、置換率が高くなるほど抑制効果が高くなっており、この方法により置換率およびフライアッシュ種別による抑制効果の違いを十分表すことができると思われる。

(3) フライアッシュの反応性

フライアッシュの反応性試験結果を表7に示す。二酸化けい素量で含有率が最も高いものはLBであり、低いものはDRであった。

化学法によるフライアッシュの反応性の評価を図8に示す。化学法で骨材の反応性を判定する場合、溶解シリカ量が10mmol/l以上でアルカリ濃度減少量700mmol/l未満のとき、溶解シリカ量がアルカリ濃度減少量より多い場合を「無害でない」もの、それ以外は「無害」となる。ここでは、溶解シリカ量がアルカリ濃度減少量より多いほど反応性が高く、逆の場合は反応性が低いと判断した。C、UL、LB、L、W、TW、T、J、DR、OPの順に反応性が高く、これは25%置換した場合の抑制効果の値にほぼ良く対応している。また、抑制効果の大きいフライアッシュは抑制効果の小さいフライアッシュに比べて、溶液との反応時間を増加したとき、多くのシリカが溶出するにもかかわらず、アルカリ濃度減少量が少ない傾向がある。これは、反応性の高いフライアッシュがアルカリ溶液中で反応しシリカを溶出するとき、同時にアルカリも溶出し、その結果アルカリ濃度減少量の値が小さくなるためと考えられる。

以上から、骨材の反応性判定試験である化学法でフライアッシュの抑制効果を評価することができ、その抑制効果は溶解シリカ量がアルカリ濃度減少量よりもより大きく、また、反応時間を変化させたときに現れる傾きが小さい方が大きいということが分かる。

電気伝導率差試験結果を図9、10に示す。電気伝導率差では増加傾向を示したものの、変化を示さなかったもの、減少傾向を示したものの3種のフライアッシュに分けられる。飽和水酸化カルシウム溶液では、実験開始後1~2分の間にDRの値が急激に減り、それ以外のフライアッシュの値は一律に増加している。0.01規定水酸化ナトリウム溶液ではDRの他にOP、Tに減少傾向が見られた。また、C、UL、LB、は飽和水酸化カルシウム溶液においても増加傾向を示した。フライアッシュは溶液中でアルカリイオンを消費する反応と、何らかのイオンを溶出する反応が同時に起こっており、電気伝導率差ではそれらの反応速度の違いによって傾向が異なって現われると考えられる。増加傾向を示したフライアッシュは溶液中のアルカリイオンの消費量の方が大きく、減少傾向を示したものはイオンの溶出の方が大きいものと考えられる。コンクリートバー法によればDR、OP、Tは抑制効果が低く、C、UL、LB、は抑制効果が高い。よって、電気伝導率差でもフライアッシュの抑制効果をおおたは判別することができ、アルカリイオンの消費量が大きいフライアッシュは抑制効果が大きく、イオンの溶出が見られるフライアッシュが抑制効果が小さいと考えられる。電気伝導率差の変化は一様であるためここでは以降の検討に反応時間10分のときの値を用いることとする。

(4) フライアッシュの抑制効果と反応性の関係

Na₂O等量で表したフライアッシュの抑制効果と反応性試験結果お

表6 各フライアッシュの抑制効果

置換率	Na ₂ O当量で表したフライアッシュの抑制効果(kg/m ³)									
	T	C	W	J	L	UL	OP	LB	DR	TW
5%	1.07	1.07	1.08	0.99	0.99	0.98	-0.22	-0.16	-0.24	-0.21
15%	1.86	1.99	1.39	2.26	1.49	1.92	1.35	1.87	1.01	1.31
25%	2.79	3.15	2.90	2.68	2.86	3.15	2.62	3.33	2.02	2.86

表7 フライアッシュ反応性試験結果

	化学法						電気伝導率差(mS/cm)		二酸化けい素量(%)
	アルカリ濃度減少量(mmol/l)			溶解シリカ量(mmol/l)			Ca(OH) ₂	NaOH	
	12Rc	24Rc	48Rc	12Sc	24Sc	48Sc	10分	10分	
T	354	439	465	305	392	442	0.31	-0.15	57.41
C	270	306	296	687	833	977	1.04	0.22	69.23
W	268	349	368	532	568	720	1.09	0.06	66.59
J	193	233	409	49	87	165	0.82	0.04	62.52
L	258	337	340	541	575	806	0.70	0.20	66.26
UL	230	279	309	630	698	723	0.78	0.24	56.05
OP	238	423	718	20	36	82	0.62	-0.14	57.24
LB	264	325	348	440	382	814	0.92	0.18	71.34
DR	226	413	523	17	57	47	-1.23	-1.40	52.52
TW	223	336	408	339	365	474	0.68	0.00	56.48

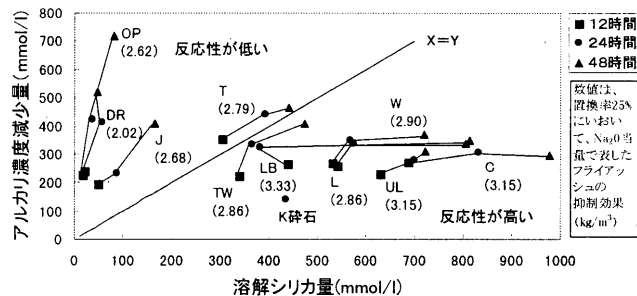


図8 化学法によるフライアッシュの評価

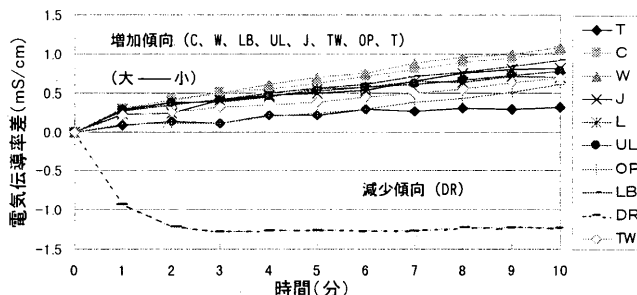


図9 電気伝導率差によるフライアッシュの評価 (飽和Ca(OH)₂)

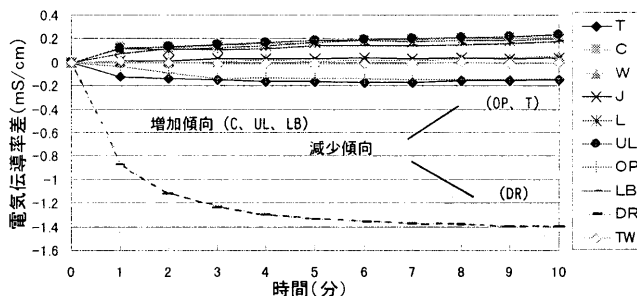


図10 電気伝導率差によるフライアッシュの評価 (0.01N NaOH)

よび基礎性状の値で相関をとり、相関係数を表8に示す。全体としてフライアッシュ置換率の大きい場合に相関が高い傾向があった。これは、置換率が大きい方が、フライアッシュの品質による影響が強く出るためと思われる。よって、次に行う比較においてフライアッシュ置換率25%の抑制効果の値を使用した。

a. 基礎性状と抑制効果の関係

フライアッシュ基礎性状の中で 二酸化けい素量およびブレン値と抑制効果の関係を図11に示す。抑制効果との間に正の相関があったが、二酸化けい素量だけでは抑制効果を説明できず、これは二酸化けい素量ではフライアッシュ中の全シリカ量を測っているため、反応性を表すことができないためと思われる。また、ブレン値は本実験で使用したフライアッシュが同程度のものが多かったこともあり、明確な相関が見られなかった。

b. 化学法と抑制効果の関係

アルカリ濃度減少量および溶解シリカ量(最も反応性の高い反応時間48時間のとき)をそれぞれ単独で抑制効果と比較した結果を図12に示す。アルカリ濃度減少量には負の相関、溶解シリカ量には正の相関がある。アルカリ濃度減少量では例外的なデータもあり、単独では相関係数が低くなっている。溶解シリカ量では良い相関があり、反応時間を増やすほど抑制効果と関係があるとされている非晶質シリカ量に近いものとなり、フライアッシュの非晶質性を簡易に評価する指標となると考えられる。

c. 電気伝導率差と抑制効果の関係

電気伝導率差(0.01規定水酸化ナトリウムおよび飽和水酸化カルシウム水溶液)と抑制効果の関係を図13に示す。電気伝導率差は2種類の溶液とも正の相関を示しているが、これは最も抑制効果の低かったフライアッシュDRが電気伝導率差で大きく負の値をとったためである。本実験では溶液として0.01規定水酸化ナトリウムを使用したときの方がやや相関が高かった。

電気伝導率差とアルカリ濃度減少量はともに溶液中のアルカリの減少量を見る試験であるが、本実験では正負が逆の相関となっている。これは、化学法では電気伝導率差に比べて使用したアルカリ溶液濃度および反応時間もともに負荷が大きいため、反応性の高いフライアッシュではアルカリの溶出があり、アルカリ濃度減少量の値が小さくなり、逆に、電気伝導率差では負荷が小さく、多くのフライアッシュが溶液中のアルカリを消費する反応段階にあるためと考えられる。

4 まとめ

- (1) フライアッシュの種類および置換率はアルカリ骨材反応抑制効果に影響し、その効果はコンクリートバー法によるNa₂O当量で表すことができる。
- (2) フライアッシュのアルカリ骨材反応抑制効果は、フライアッシュのアルカリ溶液中での反応性と関係深く、骨材の判定試験である化学法においてアルカリ濃度減少量が溶解シリカ量より小さくなる(すなわち骨材の評価では有害)ほど抑制効果が高い。また、化学法で反応性が高いと評価される骨材の微粉末には、モルタルバー法においてフライアッシュと同等以上の高い抑制効果がある。
- (3) 抑制効果と比較的相関のよいフライアッシュの反応性試験は、単独では化学法の溶解シリカ量(反応時間48時間)、電気伝導率差(0.01規定NaOH水溶液)であった。

表8 反応性試験および基礎性状との相関係数

置換率	化学法						電気伝導率差		基礎性状	
	アルカリ濃度減少量			溶解シリカ量			Ca(OH) ₂	NaOH	二酸化けい素量	ブレン
	12Rc	24Rc	48Rc	12Sc	24Sc	48Sc	10分	10分		
5%	0.333	-0.383	-0.561	0.535	0.610	0.467	0.441	0.487	0.324	-0.203
15%	0.098	-0.641	-0.474	0.287	0.312	0.337	0.567	0.623	0.428	-0.074
25%	0.242	-0.473	-0.613	0.759	0.696	0.813	0.875	0.916	0.666	0.320

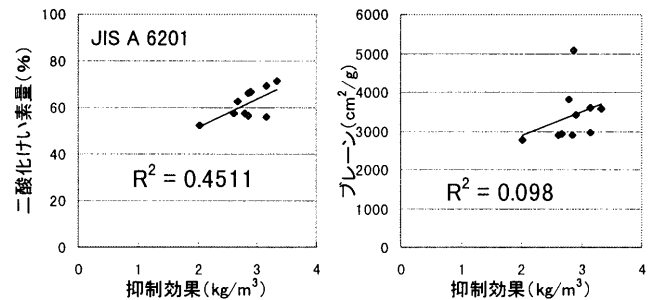


図11 抑制効果と二酸化けい素量、ブレン値の関係

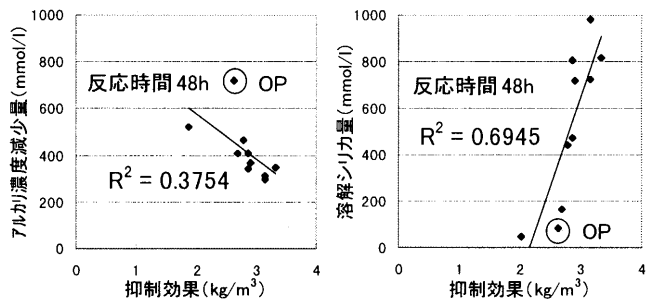


図12 抑制効果とアルカリ濃度減少量、溶解シリカ量の関係

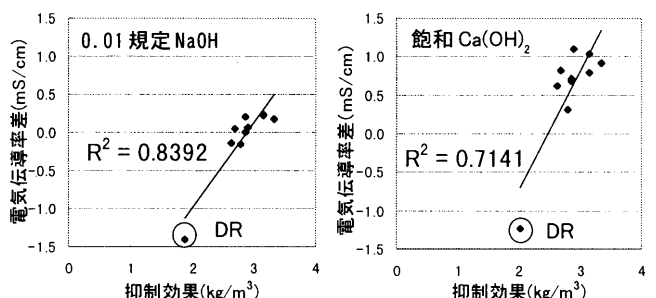


図13 抑制効果と電気伝導率差の関係

参考文献

- 1) 長瀬 重義 他:アルカリ骨材反応に及ぼすフライアッシュの粒度および非晶質性分の影響、コンクリート工学年次論文報告集12-1 1990
- 2) Luxan, M.P.:Rapid Evaluation of Pzzolanic Activity of Natural Products by Conductivity Mesurment, Cement Concrete Research, Vol.19, pp63 ~ 68, 1989
- 3) 澤田 由美子 他:高強度コンクリートのアルカリ骨材反応性と高炉スラグ微粉末による抑制効果に関する研究、日本建築学会構造系論文集No.479 1996・1
- 4) 藤崎 邦弥 他:微粉末の非晶質シリカ材料によるアルカリシリカ反応抑制効果に関する一実験、セメント技術年報41 1987

(2000年3月8日原稿受理, 2000年8月30日採用決定)