

高炉スラグ粉末のアルカリ骨材反応に対する抑制効果について

Effect of Blast Furnace Slag on Controlling the Alkali Aggregate Reaction

中井俊英* 大橋 猛**

Toshihide NAKAI and Takeshi OHASHI

現在、ASR（アルカリ・シリカ反応）対策のひとつとして、高炉スラグ・フライアッシュなどの混和材料の混入があげられているが、この混和材料（特に高炉スラグ）の混入および品質がモルタルバーおよびコンクリートに及ぼす影響について検討する目的で、道内産および道外産の反応性骨材と品質・銘柄を異にした高炉スラグ数種とフライアッシュを用い、建設省暫定試験法により試験を行った。なお、モルタルバーによる試験については一部を除き、鉄鋼スラグ協会と共同研究を行っている。

その結果、道内産の反応性骨材においても混和材料による膨張抑制効果は期待でき、その効果は混和材料自体の品質および骨材により多少変化することがわかった。

〈反応性骨材；高炉スラグ；モルタルバー；コンクリート；膨張率〉

Recently the use of blast furnace slag and fly ash as concrete admixture has been found effective in controlling ASR. To investigate the effect of the replacement and quality of these admixtures (especially blast furnace slag) on mortar bar and concrete, the provisional test established by the Ministry of Construction was carried out. Reactive aggregate from Hokkaido and other places, several types of blast furnace slag of various brands and quality, and fly ash were used.

It was found that the effect of the admixture on the reactive aggregate produced in Hokkaido to control expansion was expected and affected by the quality of admixture and aggregate.

Keywords :reactive aggregate, blast furnace slag, mortar bar, concrete, expansion rate.

1. はじめに

アルカリ骨材反応は、1940年アメリカのスタントンによって確認され、報告されて以来、アメリカの各地においてダム・橋梁などのコンクリート構造物における被害が報告されている。

一方、わが国では過去にアルカリ骨材反応が起こったのはわずかに数産地の骨材にすぎず、きわめて稀な現象であるとされてきた。しかし、1982年阪神地区において

橋脚のはり部、柱部にひびわれが発生し、その原因がアルカリ骨材反応であることが認められて以来、各地でその被害が報告されており、大きな社会問題となった。

これに伴い、各種研究機関によりアルカリ骨材反応に関する多くの研究が進められ、1986年建設省より4項目の対策案が盛りこまれた通達がだされるにいたった。

この対策案のうちのひとつに、高炉スラグ・フライアッシュなどの混和材料の混入があげられているが、混和

*コンクリート研究室員 **同室長

材料自体の品質など具体的な手法については現在も検討が進められているところである。

よび品質がモルタルバーに及ぼす影響について、また、道内産の反応性骨材における混和材料の効果を把握する目的で、昭和61年度より試験を行ってきた結果について

本報告は、この混和材料（特に高炉スラグ）の混入お

表一 試験計画(モルタルバー)

混和材料	試験項目	セメント	骨材	混和材料	アルカリ量 ¹⁾ (%)	置換率 ²⁾ (%)	備考
高炉スラグ	置換率の影響	NP	ZD2, ZD4 ZD5, ZD6 ZM	B4G2	1.2	0 ~ 60	比較試験
		LNP			0.463		
		NP	ZD4		1.2	0*~60	
	置換率とアルカリの関係	NP	ZD4	B4G2	1.2, 1.5, 2.0	0 ~ 60	
	銘柄の違いによる影響	NP	ZD4	A4G2 B4G2	1.2	0 ~ 60	
	粉末度・石膏の影響	NP	ZD4	B4G2 B5G2 B8G0 B4G0	1.2	0 ~ 60	
	高炉セメントの膨張	BB	ZD4	—	1.2** 1.5**	47	高炉B種
NP		B4G2		0.49~1.1*	40	高炉B種相当品	
フライアッシュ	置換率の影響	NP	ZD4 ZD5	FA	1.2	0 ~ 30	

1) アルカリ量は、OPCに対して調節した(なお、*印は全結合材、**印はOPC・全結合材の両方に対して試験を行った)。また、OPCについては、JIS R 5210で混合材(高炉スラグ・フライアッシュなど)の混入が5%まで許されており、本試験で用いたOPCについても4%の高炉スラグが混入されている。本試験ではこのOPCとNPとは同一のものである。

2) 混和材料の置換率は、内割り計算によるものである(なお、*印についてのみ外割り計算で行った)。

混和材料(高炉スラグ・フライアッシュ)の置換率の算出
(内割り)

$$\text{置換率}(\%) = \frac{A}{C} \times 100$$

ここに A: 混和材料の重量

C: 全結合材の重量(セメント重量 + A) = 一定

(外割り)

$$\text{置換率}(\%) = \frac{A}{C + A} \times 100$$

ここに A: 混和材料の重量

C: セメントの重量(一定)

表二 試験計画(コンクリート)

試験項目	セメント	細骨材	粗骨材	アルカリ量 (総量)	試験要因	備考
空気量の影響	NP	ZM	ZM ZD4	3kg/m ³ 4kg/m ³	空気量 2, 4, 6%	空気量4%のみ 4kg/m ³ も行う
細・粗骨材の組合わせの影響	NP	ZM ZD4	ZM ZD4	3kg/m ³ 4kg/m ³		ZD4のみの配合のみ 4kg/m ³ も行う
高炉スラグの置換率の影響	NP	ZM	ZD4	1.2%	スラグ置換率 0, 30, 40, 60%	
高炉スラグのアルカリ量と置換率の関係	NP	ZM	ZD4	1.2% 1.5% 2.0%	スラグ置換率 0, 40, 60%	
高炉セメントの膨張	BB	ZM	ZD4	*1.2%		
流動化剤の添加による影響	NP	ZM	ZD4	1.2%		
塩分の影響	NP	ZM	ZD4	1.2%	NaCl 0, 10, 20kg/m ³	
	NP, BB					海水浸漬

*アルカリ量は、すべてOPCに対する値である(*印については、全結合材に対しても行った)。

また、スラグの置換率は内割り計算によるものである。

述べるとともに、コンクリート供試体による高炉スラグの膨張抑制効果の検討、空気量・流動化剤・塩分などの影響について検討した結果についてもあわせてまとめたものである。

なお、モルタルバーに関しては、一部を除き昭和61年

度より鉄鋼スラグ協会と共同研究を行っている。

2. 試験の概要

2.1 モルタルバーによる試験

混和材料（特に高炉スラグ）の混入および品質が、モ

表-3 セメントの品質

セメント	記号	比重	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	R ₂ O (%)	備考
普通ポルトランドセメント (日本社)	NP	3.16	0.35	0.43	0.633	
低アルカリポルトランドセメント (日鉄社)	LNP	3.15	0.22	0.37	0.463	
高炉セメントB種 (日鉄社)	BB	3.05	0.24	0.38	0.490	スラグ置換率47%

*R₂O(アルカリ量 Na₂O換算)の算出方法, R₂O(%)=Na₂O(%) + 0.658K₂O(%)

表-4 混和材料の品質

混和材料	記号	粉末度 (cm ² /g)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	R ₂ O (%)
高炉スラグ	B4G2 (日鉄社)	4500	1.75	0.22	0.45	0.516
	B4G0 (日鉄社)	4410	0.54	0.23	0.45	0.526
	B5G2 (日鉄社)	5580	2.05	0.24	0.45	0.536
	B8G0 (日鉄社)	7860	0.51	0.24	0.45	0.536
	A4G2 (川鉄社)	4300	1.86	0.16	0.31	0.364
フライアッシュ	FA (北電興業)	3250	-	0.07	0.09	0.136

*R₂O(アルカリ量 Na₂O換算)の算出方法, R₂O(%)=Na₂O(%) + 0.658K₂O(%)

表-5 骨材の品質

骨材	産地	種別	岩種	比重	吸水率 (%)	備考
ZD2	九州	砕石	安山岩	2.70	1.84	
ZD4	北海道	砕石	安山岩	2.62	1.05	
ZD5	北海道	砕石	安山岩	2.63	1.86	
ZD6	北海道	天然砂	チャート	2.67	1.04	
ZD7	北海道	砕石	安山岩	2.54	2.83	
ZM	北海道	砕石	石灰岩	2.67	0.65	非反応性骨材

*表中の比重は絶対比重を示す。また、吸水率はモルタルバー試料(0~5mm)についての値である。

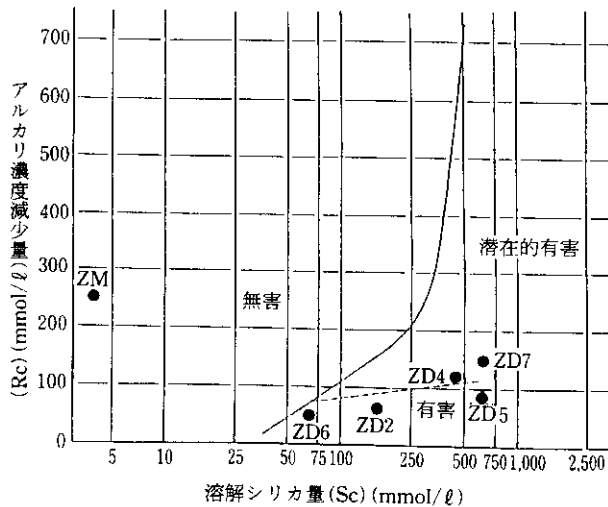


図-1 使用骨材の化学法結果

ルタルバーの膨張に及ぼす影響について検討する目的で、北海道産(4種)および道外産(1種)の反応性骨材と品質、銘柄を異にした高炉スラグ(5種)とフライアッシュ(1種)を用いて、表-1のモルタルバーの試験計画に沿って試験を行った。また、試験はJIS A5308附属書8(モルタルバー法)に基づいて行った。

なお、使用材料の品質などを表-3~5に、使用骨材の化学法(JIS A5308 附属書7)の結果を図-1に示す。

2.2 コンクリートによる試験

高炉スラグの膨張抑制効果について、また、空気量、流動化剤、塩分などの諸要因がコンクリートの膨張率に及ぼす影響について検討する目的で、北海道産の反応性のある細・粗骨材(3種)を用いて、表-2のコンクリート試験計画に沿って試験を行った。なお、使用骨材の品質はモルタルバー同様、表-3~5のとおりである。

コンクリートの配合は、単位セメント量 300 kg, 水セ

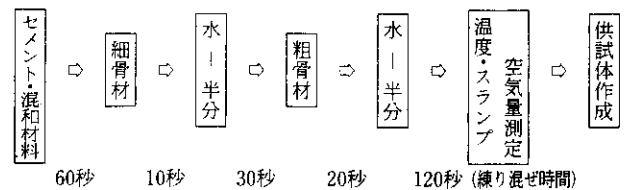


図-2 供試体作成手順

メント比 55% (スランブにより多少変動), 細骨材率 40% とした。また, スランブは施工性のみを考慮して 5~15 cm の範囲にあればよしとし, 空気量については規制を行わないものとした。なお, 空気量に関する試験項目については, AE 剤 (V) を添加して規定の空気量とした。

供試体は 10×10×40 cm 3 本 1 組とし, 約 50 l の強制練りミキサーを用いて図-2 の手順で行った。供試体作成後, 湿気養生槽 (20 °C) で翌日まで養生したのち脱型を行った。なお, 供試体の貯蔵はモルタルバーと同様であり, 長さ変化測定は JIS A 1129 (ダイヤルゲージ法) に基づいて行った。

3. 試験の結果と考察

3.1 モルタルバーによる試験

(1) 高炉スラグの置換率と膨張率の関係

図-3 に高炉スラグの置換率と膨張率の関係を示す。

全体的に, 当所・スラグ協会の結果ともスラグの置換率の増加に伴い膨張率が小さくなっており, スラグの膨張抑制効果は明らかである。

骨材別では, ZD4 が他の反応性骨材と比べスラグによる膨張抑制効果はいくぶん小さく, スラグ置換率 30% 以上では反応性骨材の中で最も大きい膨張率を示している。このことから, 骨材によりスラグの膨張抑制効果は多少変化するといえる。

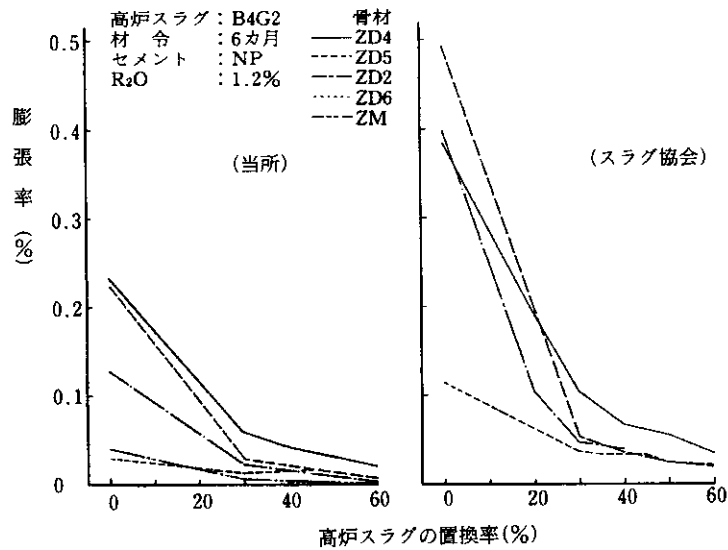


図-3 高炉スラグの置換率の影響

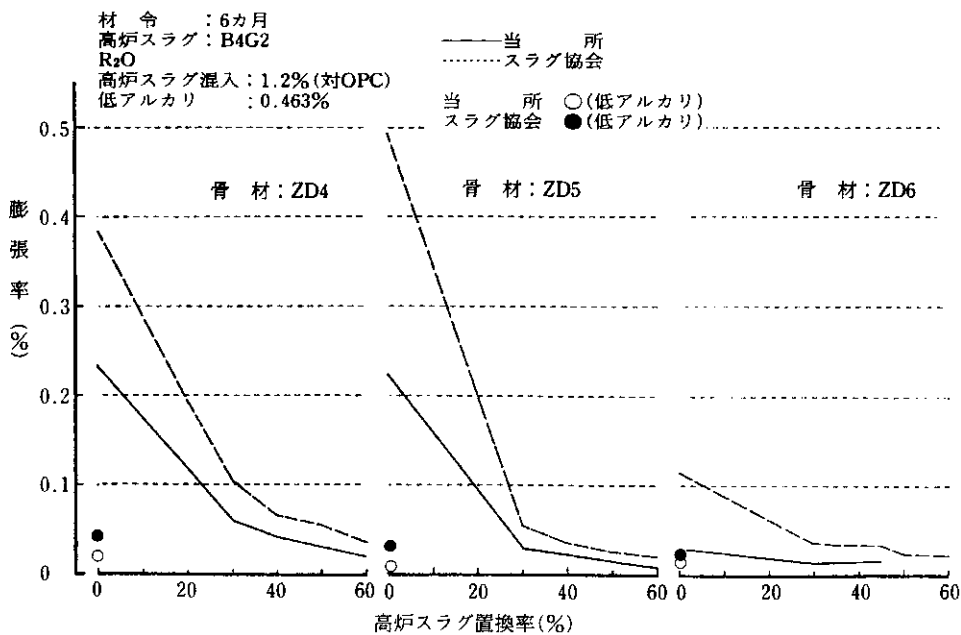


図-4 高炉スラグと低アルカリの抑制効果の比較

図-4に、高炉スラグおよび低アルカリセメントの膨張抑制効果の比較結果を示す。

低アルカリセメント (LNP) を用いたものは、すべての骨材において 0.04%以下の膨張率に抑制されており、スラグ置換率 60%における膨張率とほぼ同じ値である。なお、低アルカリセメントのアルカリ量は 0.463%、これに対して、スラグ置換率 60%の全結合材に対するアルカリ量は 0.790%と低アルカリより高い値であることから、スラグにはアルカリの希釈以外の理由による膨張抑制効果があると考えられる。

図-5に高炉スラグを外割りで混合した場合の膨張率を示す。なお、単純に外割りで配合した場合、砂結合材

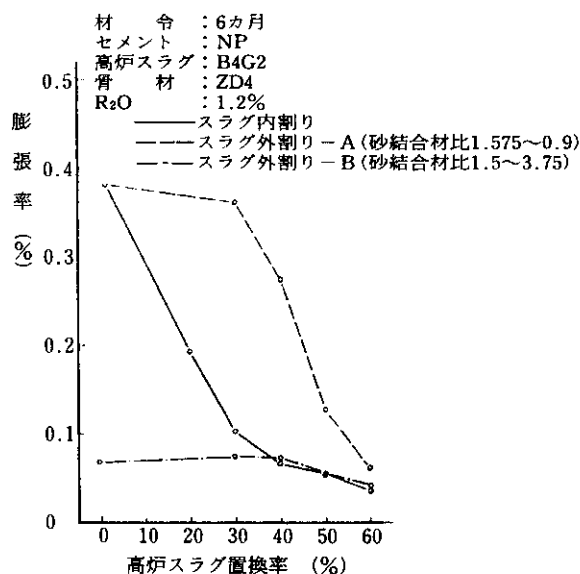


図-5 高炉スラグを外割り混合した場合の置換率と膨張率の関係

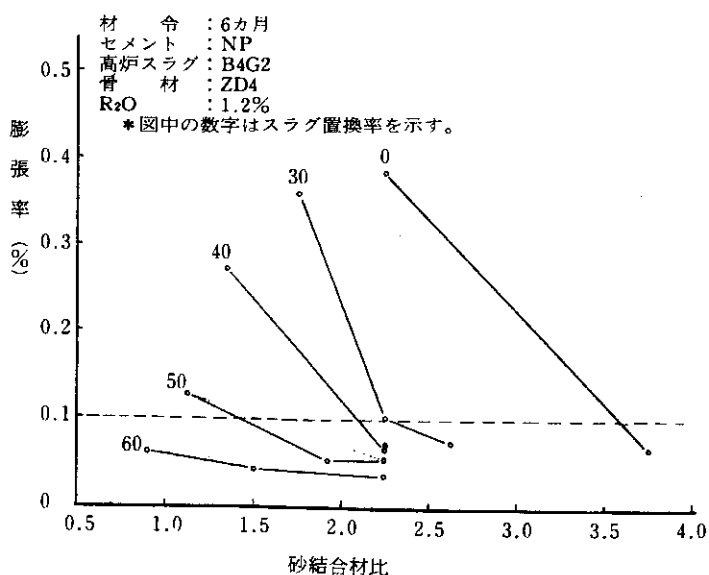


図-6 砂結合材比と膨張率の関係

比 (S/C+slag) が建設省暫定案の試験法で定められている 2.25 より小さくなりすぎるため、外割りを単純計算で配合したもの (外割り A) のほかに、スラグ置換率 40%のときに砂結合材比が 2.25 になるよう砂量を多くした場合 (外割り B) についても試験を行った。

砂結合材比が 2.25 より小さい外割り A については、スラグの置換率の増加に伴い膨張率も低下しているものの、内割りに比べ抑制効果は明らかに低下しており、スラグ置換率が小さいほどその傾向は顕著である。

また、砂結合材比を多くした外割り B については、スラグを混合していないものでも 0.1%以下の低い膨張率で

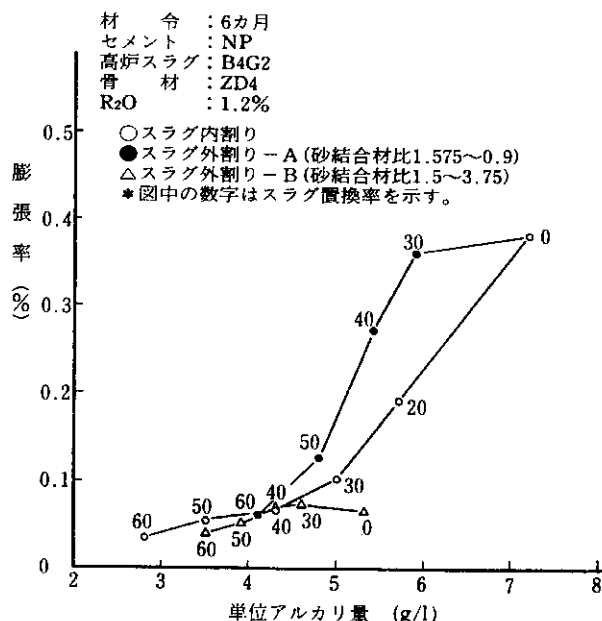


図-7 高炉スラグの混合条件の違いによる単位アルカリ量と膨張率の関係

あり、スラグ置換率が増加すると膨張率は若干低下する傾向を示している。

外割り A および B と内割りで膨張特性に差が生じた原因については、砂結合材比およびモルタル中の単位アルカリ量の違いが考えられるため、これらの要因が膨張率に及ぼす影響について図-6、7により検討してみた。

砂結合材比については、その比率が小さくなるに伴い膨張率は大きくなり、スラグ置換率が小さいほどその傾向は顕著である。

単位アルカリ量については、その量が大きくなるに伴い膨張率も大きくなる。また、同一スラグ置換率でも、外割り A、B および内割りで単位アルカリ量は異なることがわかった。

このことにより、外割り A については内割りと比べ砂結合材比が小さく、単位アルカリ量が多い

などの理由で、また、外割り B についてはスラグ置換率 0~30%において、内割りより砂結合材比が大きく、単位アルカリ量が小さいなどの理由により、内割りのものと膨張率に差が生じたといえる。

(2) 高炉スラグの銘柄の違いによる影響

図-8 に、ほぼ同じ品質の 2 種類の高炉スラグの置換率と膨張率の関係を示す。

2 種類のスラグとも置換率の増加に伴い膨張率は低下しており、スラグ混入により膨張が抑制されたことは明らかである。

スラグ A4G2 と B4G2 の膨張を比較した場合、スラグ置換率 30%では A4G2 が B4G2 に比べいくぶん小さな膨張を示しているものの、それ以上のスラグ置換率ではこの両者の差はほとんどなく、銘柄の違いによる明確な差は認められなかった。

(3) 高炉スラグの混入に及ぼすアルカリ量の影響

図-9 にアルカリ量を 1.2, 1.5, 2.0%とした場合の、高炉スラグの置換率と膨張率の関係を示す。

アルカリ量が増加するに伴い、膨張率も大きくなっており、スラグ置換率 40%でもアルカリ量 1.5%では 0.1%を越える膨張を示した。

これに対して、スラグ置換率 60%ではアルカリ量を 2.0%としても 1.2%の場合とほとんど変わらず、0.05%以下の膨張率に抑制されている。

(4) 高炉スラグの品質の違いによる影響

図-10 に、石膏量・粉末度の違う 4 種類の高炉スラグの置換率と膨張率の関係を示す。

スラグの品質の違いにより多少の差はあるものの、す

べてのスラグで膨張抑制効果が確認され、その差は置換率の増加に伴って小さくなる傾向がある。

ほぼ同一粉末度で石膏量の違う B4G2 (石膏 1.75%) と B4G0 (石膏 0.54%) を比べた場合、スラグ置換率 30%では B4G2 の膨張率が 0.06%であるのに対し、石膏量の少ない B4G0 は 0.112%と B4G2 の 2 倍近い値を示した。

粉末度の違う B4G2 (4500 cm²/g)・B5G2 (5580 cm²/g)・B8G0 (7860 cm²/g) では、粉末度が大きくなるに伴い、スラグの膨張抑制効果は低下する傾向があるものの、B4G2 と B5G2 の膨張率の差は 0.01~0.02%と小さい値で

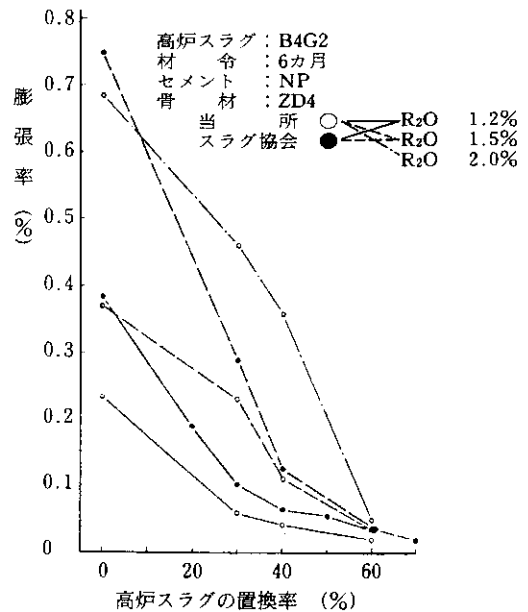


図-9 高炉スラグの置換率とアルカリ量の関係

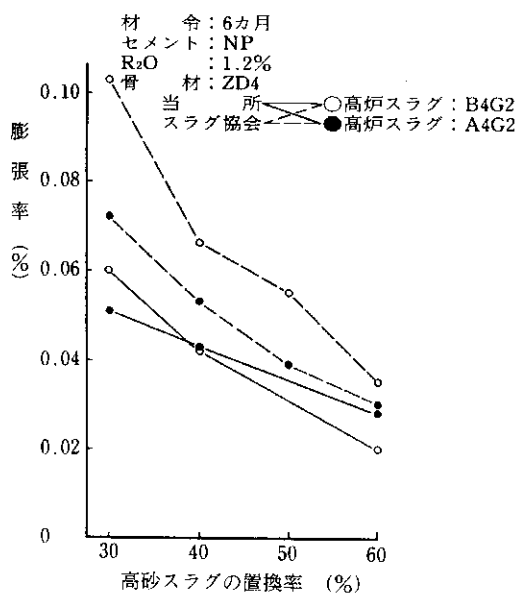


図-8 高炉スラグの銘柄の違いによる影響

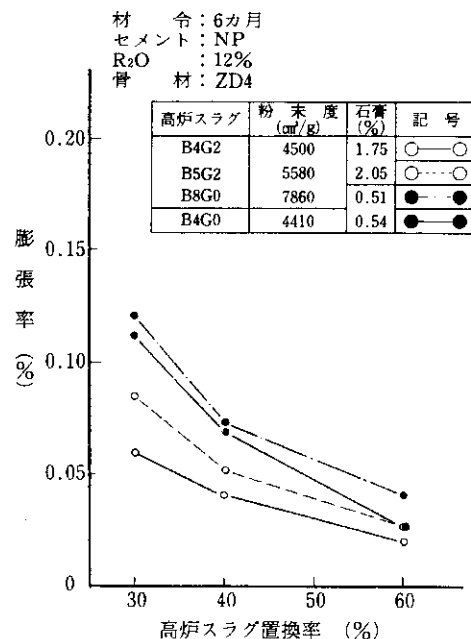


図-10 高炉スラグの品質が膨張率に及ぼす影響

あり、また、B8G0についてはB4G2の2倍の0.121%と大きな膨張を示しているものの、同一石膏量で粉末度が4410 cm²/gであるB4G0とほとんど差がない。

これらの結果から、石膏量についてはその量が少ないと膨張抑制効果は低下する傾向にあり、また、粉末度については明確な傾向は認められなかった。

(5) 高炉セメント (B種) の膨張抑制効果

図-11にアルカリ量1.2%, 1.5%における高炉セメント

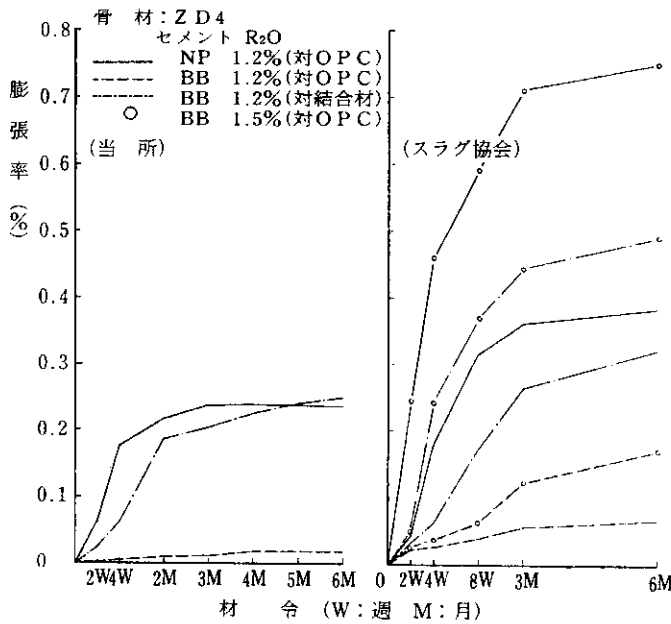


図-11 市販高炉(B種)セメントの膨張

B種 (BB) の膨張を示す。

高炉セメントを用いアルカリ量を OPC に対して1.2%としたものは、普通セメントの同一アルカリ量の膨張率に比べ特に小さい値であり、高炉セメントの膨張抑制効果は明らかである。また、アルカリ量1.5%(対 OPC)に

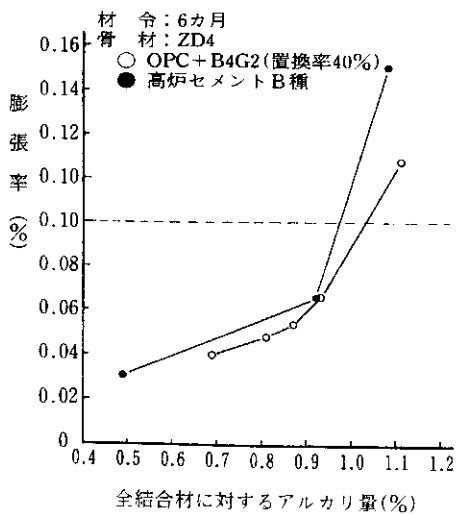


図-12 高炉B種相当品によるアルカリ量と膨張率の関係

についても、普通セメントの1/4以下の膨張に抑制されているが、材令3カ月ですでに0.1%を越える膨張を示している。なお、これらの膨張傾向はスラグ置換率40%のものとはほぼ同じである。

アルカリ量を全結合材に対して1.2%としスラグのアルカリ希釈効果を除いた場合、当所の結果では、高炉および普通セメントの材令6カ月での膨張率はほぼ同じ値であるが、スラグ協会の結果では、普通セメントの材令6カ月の膨張率が0.384%であるのに対し、高炉セメントが0.321%と普通セメントより低い値を示し、アルカリ量1.5%(対全結合材)ではその傾向が一層顕著なものとなった。

図-12に、高炉B種相当品(スラグ置換率40%)のアルカリ量(対全結合材)と膨張率の関係を示す。

なお、高炉セメントB種のJIS規格によるスラグ置換率は30~60%であるが、わが国で現在生産されている高炉B種のスラグ置換率はほぼ40~50%といわれていることから、スラグ置換率を40%とした。

高炉セメントB種(BB)とスラグ置換率40%としたものでは、スラグの品質によると思われる膨張率の差が多少あるものの、ほぼ同じ傾向である。

アルカリ量が0.9%程度の場合、膨張率は建設省暫定規準の0.1%以下を満足する。しかし、アルカリ量が1.0%を越えると、0.1%を越える膨張を示した。

(6) フライアッシュの置換率と膨張率の関係

図-13に、2種類の反応性骨材におけるフライアッシュの置換率と膨張率の関係を示す。

2種類の骨材ともフライアッシュの置換率の増加に伴い膨張率は低下しており、フライアッシュにより膨張が

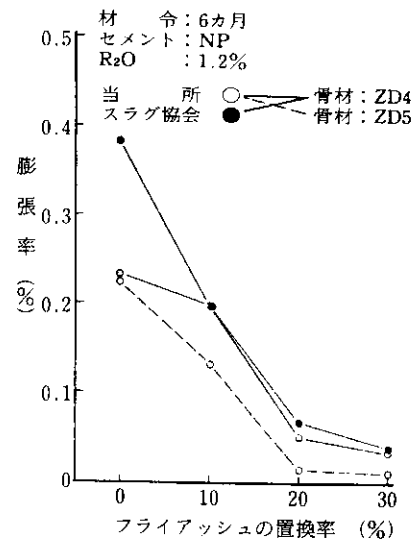


図-13 フライアッシュの置換率の影響

抑制されたことは明らかである。

置換率 20%では、ZD4 の膨張率が約 0.06%，ZD5 が 0.015%であり、高炉スラグを 30～40%置換したものと同等の値を示した。また、置換率 10%ではフライアッシュ無混入に比べ、膨張率は抑制されているものの、両骨材とも 0.1%を越える値を示したことから、フライアッシュの有効な置換率は 20%以上と思われる。

3.2 コンクリートによる試験

(1) 空気量の影響

図-14に反応性骨材 (ZD4) および非反応性骨材 (ZM) における、コンクリート中の空気量と膨張率の関係を示す。なお、空気量の調節は AE 剤 (V) により行った。

一般に空気量を増加させることにより、反応生成物が気泡へ流入し膨張圧を緩和させるため、膨張率が小さくなるといわれているが、本試験では、反応性・非反応性骨材ともほとんど変わらず小さい値であり、空気量の影響についても明確な傾向は認められなかった。この理由として、アルカリレベルが 3 kg/m^3 (R_2O 1.0%) といくぶん低めであったため、反応性骨材を使用しても反応は生じなかったものと思われる。

アルカリ総量 4 kg/m^3 としたものについては、非反応性骨材を用いた場合がアルカリ総量 3 kg/m^3 のものとほとんど変わらない膨張率であったのに対し、反応性骨材を用いた場合は 0.083%と大きな膨張率を示し、クラックおよびゲルの溶出が認められた。なお、この結果は建設省暫定対策の中のアルカリ総量による対策 (3 kg/m^3 以下)

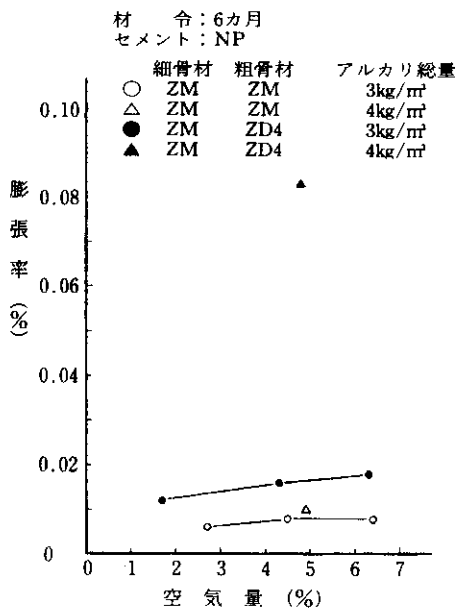


図-14 コンクリート中の空気量と膨張率の関係

の内容と一致する。

(2) 細・粗骨材の組合せによる影響

図-15に反応性・非反応性の2種類の細・粗骨材を用い、その組合せがコンクリートの膨張率に及ぼす影響について示す。

アルカリ総量 3 kg/m^3 のものについては、細骨材のみに反応性骨材を用いた場合の膨張率が材令 9 カ月で 0.13%と著しい値を示した。これに対し、その他の組合せでは、非反応性骨材のみのものほとんど変わらない小さい膨張率であった。また、反応性骨材のみを用い、アルカリ総量を 4 kg/m^3 としたものについても、 3 kg/m^3 のものより材令 9 カ月の膨張率が 0.014%大きい 0.032%を示したものの、細骨材のみに反応性骨材を用いた場合 (アルカリ総量 3 kg/m^3) の1/4の膨張であった。

細骨材のみに反応性骨材を用いた場合が一番大きな膨張を示した理由については、粗骨材のみに反応性骨材を用いた場合より反応性骨材の表面積が大きかったこと、また、反応性骨材のみの場合は反応性骨材のベシマム*の影響などにより、小さい値となったことが考えられる。

(3) 高炉スラグの置換率と膨張率の関係

図-16に、高炉スラグの置換率と膨張率の関係を示す。

スラグ無混入の膨張率が 0.063%と一番大きい ZD4 については、スラグ置換率の増加に伴い膨張率も小さくなっており、スラグ置換率 30%で 0.01%以下に抑制されている。これに対して、非反応性骨材 (ZM) およびスラグ無混入でも膨張率が 0.02%以下と小さい値であった ZD5, ZD7 については、スラグ混入に伴う膨張率の変化はあまりなく、一定の傾向も認められなかった。

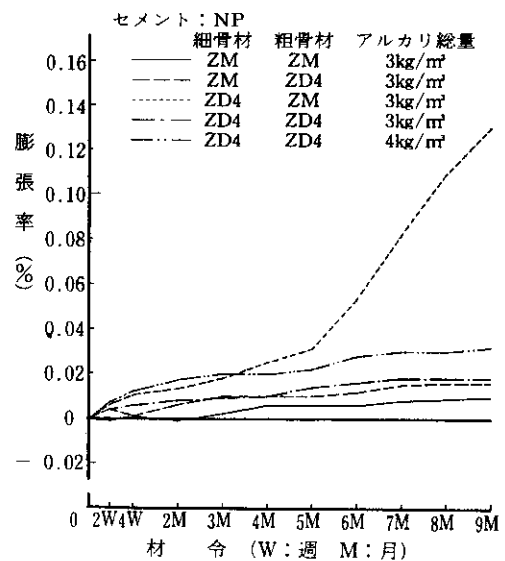


図-15 細・粗骨材の組合せによる影響

* 反応性骨材を含有するモルタルおよびコンクリートの膨張量は、骨材中の反応成分の割合がある値のときに最大となることがある。このような特性をベシマムといい、膨張量が最大となるときの割合 (値) をベシマム量という。

膨張率 (%)
(4)
2'
限
力
オ
5
を
言
に

図-19に、流動化剤を添加したコンクリートの膨張率を示す。なお、使用した流動化剤(N)はメラミンスルホン酸塩系複合剤を主成分とするもので、標準使用量の最大量を添加した。

材令6カ月での膨張率は、流動化剤無添加が0.063%、流動化剤を添加したものは0.071%と流動化剤を添加した方がいくぶん大きい値を示しているもののその差は小さく、ASRを助長する明確な傾向は現在までのところ認められていない。

(7) 塩分の混入が膨張率に及ぼす影響

図-20に、塩分(NaCl)を混入したコンクリートの膨

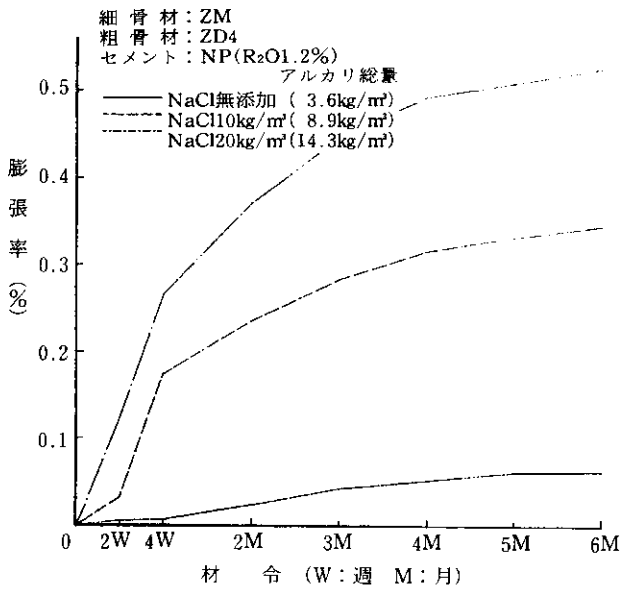


図-20 塩分(NaCl)の影響

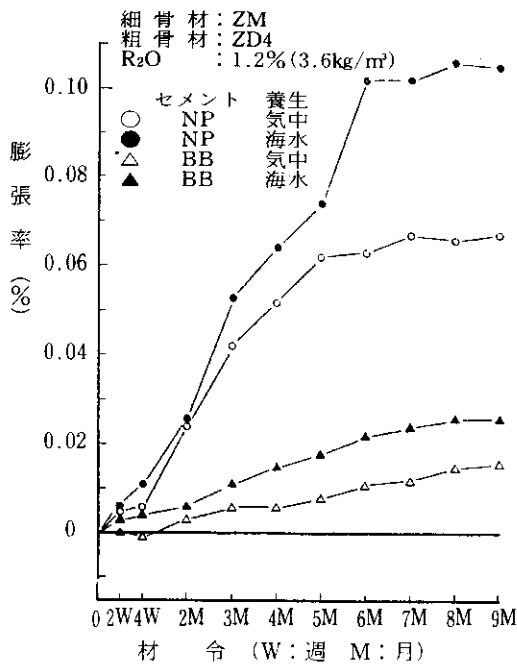


図-21 海水による影響

張を示す。

材令6カ月での膨張率は、NaCl 10 kg/m³ 混入が0.345%、NaCl 20 kg/m³ 混入が0.525%であり、無混入のものとは、それぞれ約5.5倍、8.3倍と著しい膨張を示した。

図-21に、普通および高炉セメント(B種)を用いて作成したコンクリートを海水養生(40℃)した場合の膨張を示す。

両セメントとも海水中の塩分の影響により、海水養生が気中養生を上回る膨張を示しており、高炉セメントに比べ普通セメントの場合が大きく塩分の影響を受けている。また、膨張率では普通セメントの海水養生が材令9カ月で0.105%と大きな膨張を示しているが、高炉セメントの同一養生では、気中養生と大差ない0.026%であり、海水中においても高炉セメントにより膨張は抑制されていることが明らかであった。

なお、高炉セメントのアルカリ量は全結合材に対して1.2%としたため、スラグによるアルカリ希釈効果は考えられないことから、(5)の結果と同じように、それ以外の効果によって膨張が抑制されたといえる。

4. ま と め

混和材料の混入および品質がモルタルバーおよびコンクリートに及ぼす影響について、また、コンクリートに及ぼす諸要因の影響について検討を行った結果を要約すると、以下のとおりとなる。

(モルタルによる試験)

- (1) アルカリ量を1.2%とした場合は、骨材・スラグの銘柄で膨張率に多少の差異があるものの、スラグの置換率の増加に伴い膨張率は低下していることから、スラグの膨張抑制効果は明らかであった。また、アルカリ量を1.5%、2.0%と増加させた場合も同様にスラグの効果が認められ、スラグ置換率60%ではアルカリ量を1.2%から2.0%と増加させても、膨張率はほとんど変わらない値であった。
- (2) スラグ置換率60%と低アルカリセメントを用いたものを比較すると、アルカリ量(対全結合材)はスラグを用いた方が多いにもかかわらず、膨張率はほぼ同じ値を示した。
- (3) スラグを内割りで置換した場合と外割りで置換した場合とでは、砂結合材比、単位アルカリ量などの影響により、その膨張特性は異なる。
- (4) スラグ中の石膏量については、その量が少ないと膨張抑制効果は低下する傾向にある。また、粉末度につ

示
の
示
て
膨
生
ト
て
令
メ
),
て
て
え
の
ン
に
す
銘
換
ラ
リ
効
1.
わ
も
グ
じ
た
響
膨
っ
月

いてはその値が大きくなると石膏同様に膨張抑制効果は低下する傾向にあるものの、膨張率にあまり差がなく、明確には認められなかった。

(5) 市販高炉セメント (B種) を用いた場合の膨張率は、普通セメントの同一アルカリ量 (対 OPC) のものを大きく下まわったことから、市販高炉セメントにおいても膨張抑制効果が認められた。また、高炉セメントの膨張率は、普通セメントでアルカリ量を全結合材に対して調節したものにより小さい値であったことから、スラグにはアルカリの希釈以外の効果があると考えられる。

(6) 高炉 B種相当品 (スラグ置換率 40%) により、アルカリ量 (対全結合材) と膨張率の関係を検討した結果、アルカリ量が 0.9%程度では、建設省暫定規準の 0.1%以下の膨張率を満足する。

(7) フライアッシュの置換率が増加するに伴い、膨張率は低下しており、フライアッシュについてもスラグ同様に膨張抑制効果が認められた。なお、20%未満の置換率では効果はあまり期待できない。

(コンクリートによる試験)

(1) コンクリート中の空気量と膨張率の関係については、アルカリレベルが低く反応が生じなかったため、明確な傾向は認められなかった。また、アルカリ総量 3 kg/m³では有害な膨張は示さなかったが、アルカリ総量 4 kg/m³で有害な膨張が認められ、建設省暫定対策のアルカリ総量による内容と一致した。

(2) 反応性・非反応性の細・粗骨材を用い、その組合せが膨張率に及ぼす影響を検討した結果、細骨材のみに反応性骨材を用いた場合が特に著しい膨張を示した。

(3) コンクリートにおいても、モルタルと同様にスラグの膨張抑制効果が確認され、アルカリ量を 2.0%としても ZD4 では 60%で、ZD5 では 40%のスラグ置換率で、1.2%における膨張率と変わらない値に抑制された。

(4) 市販高炉セメント (B種) においても、モルタルの結果と同様に、膨張抑制効果が認められた。また、配合したアルカリ量は全結合材に対するものであることから、スラグのアルカリ希釈以外による膨張抑制効果が認められた。

(5) 本配合において、流動化剤を添加したコンクリートの膨張率については、現在 (材令 6 カ月) までのところ無添加のものとの明確な差は認められない。

(6) 一般に、塩分の侵入はアルカリ骨材反応を助長するといわれているが、本試験においても塩分の影響が顕著に現われた。また、海水中においても高炉セメントによる膨張抑制対策が有効であることが認められた。

5. あとがき

本試験の結果、高炉スラグの抑制効果は銘柄・品質で多少のばらつきのあるものの、使用したすべての高炉スラグでその効果が確認された。また、道内産の反応性骨材においても、高炉スラグによる抑制効果が認められた。

なお、今後とも測定を継続し、長期材令における膨張についても把握するとともに、本試験でアルカリ希釈以外の要因による高炉スラグの膨張抑制効果が認められたが、さらにその効果の特性を明らかにするため、現在補足試験を行っている。

最後に、この試験に御協力していただいた鉄鋼スラグ協会に対し、感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 小林茂敏, 河野広隆, 沼田晋一, 近田孝夫; 高炉スラグ微粉末のアルカリ骨材反応抑制効果について, 高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文集, pp. 155-162, 1987. 3.
- 2) 日本材料学会; アルカリ骨材反応に関するシンポジウム, 1985.
- 3) 中井俊英, 大橋 猛, 小長井直生; アルカリ骨材反応に影響を及ぼす諸要因について, 第29回北海道開発局技術研究発表会論文集, 1985.