

V-206 フライアッシュ及び高炉スラグの外部アルカリの侵入による アルカリ・シリカ膨張に対する抑制効果

金沢大学 正会員 川村 満紀
同上 正会員 〇竹本 邦夫
石川高専 正会員 榎場 重正

1. まえがき 高アルカリ環境下にあるコンクリート構造物では外部から侵入するアルカリによってもアルカリ・シリカ反応が助長される。そのような高アルカリ環境下のコンクリートにおいて外部から侵入するアルカリに対する混和材のアルカリ・シリカ膨張抑制効果は必ずしも明らかになっていない。従って、本研究はフライアッシュ又は高炉スラグ添加モルタルをNaOH溶液に浸漬したときの膨張量を測定することによって外部アルカリの侵入に対する混和材のアルカリ・シリカ膨張抑制効果を明らかにするとともに、各種モルタルの膨張量と細孔溶液中の水酸化アルカリ濃度の変化との関係についても検討している。

2. 実験概要 2-1. 使用材料 本実験で使用したセメントは等価Na₂O量0.93% (Na₂O: 0.59%, K₂O: 0.51%)の普通ポルトランドセメントである。使用した9種類のフライアッシュ及び8種類の高炉スラグの化学組成は表1に示す通りである。反応性骨材として用いたBel taneオパールの粒径範囲は、1.2~0.6mmである。

表1 フライアッシュ及び高炉スラグの化学組成

フライアッシュ

	lg loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
A	0.4	60.0	26.6	3.9	3.5	1.7	0.2	0.72	2.51
B	3.3	55.7	25.1	5.6	5.9	1.6	0.6	0.38	0.63
C	1.4	50.5	22.4	3.6	15.8	1.8	0.6	0.80	2.23
D	1.2	47.5	24.4	8.0	11.2	1.4	1.9	2.21	1.37
E	3.6	56.0	25.2	6.1	5.7	1.5	0.7	0.24	0.60
F	4.4	50.3	26.5	5.7	6.4	1.8	0.9	1.84	1.38
G	1.4	50.9	27.6	5.1	8.9	2.3	0.4	1.42	1.11
H	4.0	51.8	26.7	4.7	5.8	1.9	1.0	1.83	1.66
I	1.3	48.3	25.4	7.7	9.5	1.3	1.9	1.92	1.36

高炉スラグ

	lg loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
A	0.2	31.8	14.1	0.5	40.9	6.4	2.8	0.25	0.40
B	0.3	33.4	13.8	0.5	41.0	6.3	2.0	0.20	0.33
C	0.1	33.8	14.4	0.7	40.2	7.7	0.1	0.25	0.40
D	0.0	34.8	13.4	2.0	41.3	6.0	0.1	0.25	0.33
E	0.3	31.6	13.5	0.5	42.8	6.2	2.1	0.23	0.43
F	0.5	34.1	13.2	0.4	42.2	6.9	0.1	0.30	0.41
G	0.0	34.3	14.0	1.0	41.7	5.9	0.2	0.24	0.39
H	0.4	34.2	12.9	0.4	41.8	5.9	0.1	0.24	0.41

2-2 実験方法 (a) 初期膨張試験 ポゾラン無添加モルタルの配合は、セメント：水：骨材（標準砂+Bel taneオパール）比=1：0.4：1.4、オパール：全骨材比=1：1.4（いずれも重量比）である。本実験での無添加モルタルにおけるアルカリ・シリカ比（セメント中の全アルカリ量とBel taneオパール重量比）は、Bel taneオパールのベシマムのアルカリ・シリカ比より小さい。フライアッシュ又はスラグのセメント重量に対する置換率は、フライアッシュでは10.20及び30%、スラグでは20.40及び60%である。モルタル供試体（25×25×285mm）は、温度38℃の湿気槽に貯蔵しながら、それらの長さ変化を測定した。（b）外部アルカリの侵入を想定した場合の膨張試験 初期膨張試験において長さ変化が小さくなった材令5ヶ月程度経過した供試体を1N NaOH溶液（温度20℃）中に完全に浸漬した。その際のNaOH溶液量は、浸漬する供試体容積の5倍とし、濃度が0.9Nを下回らないように濃度管理を行った。（c）細孔溶液採取

細孔溶液は、膨張試験用モルタルにおいて全骨材を標準砂のみとしたフライアッシュB及びD、スラグA及びD添加モルタルに相当する各供試体（直径5.6cm、高さ10cm）より高圧下でしぼり出したものである。

3. 実験結果及び考察 図1及び2は、それぞれフライアッシュ添加モルタル（材令5ヶ月）のNaOH浸漬の材令14ヶ月までの膨張曲線の例及び我国産の種々のフライアッシュの置換率の変化に伴う膨張量の変化を示す。図1より、NaOH浸漬前までの膨張量は小さいが、浸漬後無添加モルタルは浸漬材令3週以後急激に膨張量が大きくなっている。一方、フライアッシュ添加モルタルでは置換率によって浸漬に伴う膨張量の増加状況が異なり置換率の増加とともに膨張開始時期も遅く、膨張抑制効果が大きい。また、図2より全てのフライアッシュ添加モルタルの膨張量は、置換率の増加によって低下し置換率20%以上では無添加モルタル

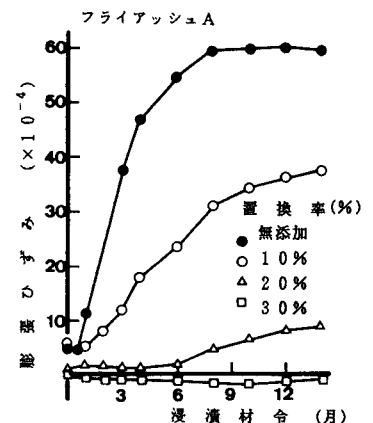


図1 NaOH溶液浸漬後の膨張ひずみ変化

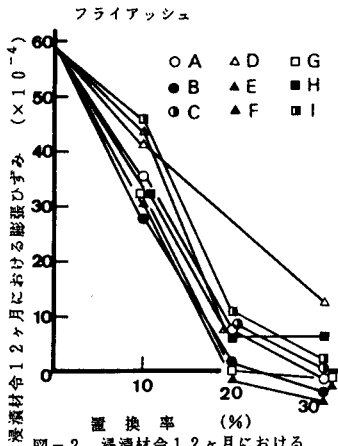


図-2. 浸漬材令12ヶ月における膨張ひずみと置換率との関係

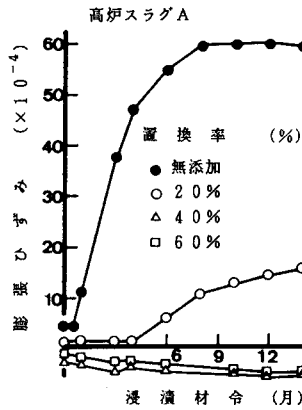


図3 NaOH 溶液浸漬後の膨張ひずみ変化

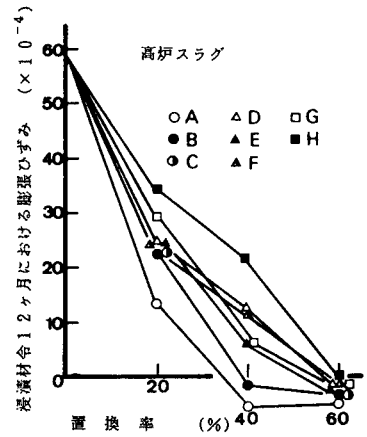


図-4. 浸漬材令12ヶ月における膨張ひずみと置換率との関係

の膨張量に比べて非常に小さい。

しかし使用するフライアッシュによって膨張量にかなりの差異がみられる。図3及び4は、それぞれスラグ添加モルタルの膨張曲線の例及び各スラグの置換率に伴う膨張量の変化を示す。これらの図より、置換率40%で十分な抑制効果を示すスラグもあるが、スラグによっては置換率40%においてかなり大きな膨張量を示すものもある。しかし、置換率60%においては少なくともNaOH浸漬後12ヶ月までに膨張が生ずることはない。図5は、各種モルタルの

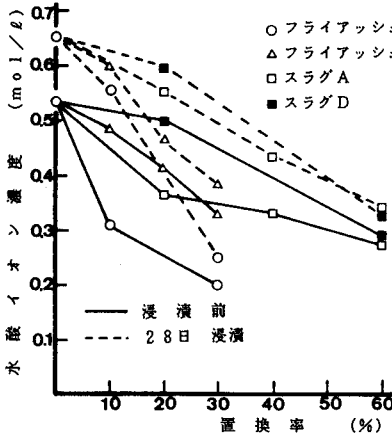


図-5. 水酸イオン濃度と置換率との関係

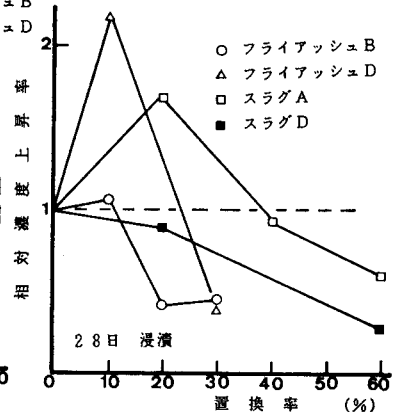


図-6. 相対濃度上昇率と置換率との関係

細孔溶液中の水酸イオン濃度と置換率との関係を示す。各モルタルにおいて置換率の増加とともに水酸イオン濃度は低下しているが、それぞれNaOHの侵入に伴う各イオン濃度の上昇がみられる。図6は、28日間NaOH溶液に浸漬したことによる無添加モルタルの細孔溶液の水酸イオン濃度上昇を1とした場合の各モルタルの濃度上昇率と置換率の関係を示す。本実験における各混和材の最小置換率（フライアッシュ：10%置換，スラグ：20%置換）では、NaOH浸漬に伴う水酸イオン濃度上昇率は無添加モルタルの場合より大きくなる。図7は、各モルタルの細孔溶液中の水酸イオン濃度と浸漬材令12ヶ月における膨張量との関係を示す。フライアッシュ添加モルタル又はスラグ添加モルタルとも、水酸イオン濃度と膨張量との間には良好な相関性がみられる。

4. まとめ 外部アルカリの侵入に対する各混和材のアルカリ・シリカ膨張抑制効果については、フライアッシュ添加モルタルの場合、置換率が高い程、膨張抑制効果は大きくなり、ほとんどの種類において、置換率20%以上で十分な抑制効果があるといえる。高炉スラグ添加モルタルの場合、同様に置換率60%では、完全に膨張を防止することができる。

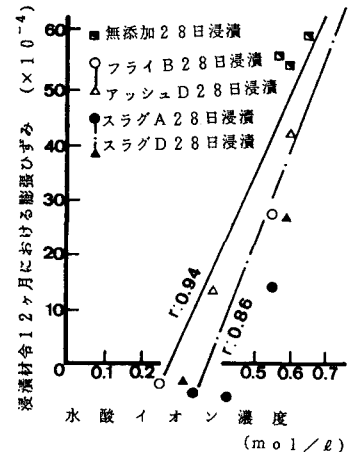


図-7. 浸漬材令12ヶ月における膨張ひずみと水酸イオン濃度の関係