

ペシマム現象を示す骨材を用いたコンクリートブロックの4.4年までの暴露試験結果

九州大学大学院 学生会員 田中 暁大
 国立環境研究所 正会員 山田 一夫

九州大学大学院 正会員 佐川 康貴
 (株) 太平洋コンサルタント 正会員 小川 彰一

1. はじめに

既往の研究¹⁾において、ペシマム現象を示す ASR 反応性骨材を用いたブロック試験体を屋外環境下に暴露し、材齢約2年(780日)までの膨張挙動について報告を行っている。本研究では、その暴露試験体を材齢約4.4年(1600日)まで継続した測定を行い、アルカリ総量および反応性骨材混合率の違いによる ASR 膨張挙動について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 ASR 反応性骨材の特性

対象の暴露試験体に用いられている ASR 反応性骨材 R (表乾密度 2.52g/cm³, 吸水率 2.33%) は、オパールが脈状に分布し、また多量のクリストバライトから成る反応性の高い安山岩である。骨材 R は化学法 (JIS A 1145) の結果、アルカリ濃度減少量 Rc=181mmol/l, 溶解シリカ量 Sc=589mmol/l と高い値を示し「無害でない」と判定されている。またモルタルバー法 (JIS A 1146) において材齢 182 日における膨張率が 2200×10⁻⁶ となり同様に「無害でない」と判定されている。

この骨材 R のペシマム特性を把握するために、粗骨材中に占める反応性骨材混合率 (Vr/Vg) を変化させた促進コンクリート試験 (40°C) を別途、行っている。その結果を図-1 に示す。この骨材 R は Vr/Vg が 100vol% の場合膨張率が小さく現れ、Vr/Vg が 20~40vol% の場合に最も高い膨張を示すペシマム特性を持つことが分かる。また、Vr/Vg が 10vol% と低い場合にもアルカリ総量によって大きな膨張を示していることから、反応性骨材の僅かな混在による膨張の危険性について検討が必要であると考えられる。

2.2 暴露試験体概要

コンクリートの配合を表-1 に示す。配合名は (単位セメント量) - (反応性骨材混合率) で示す。2.1 に示す骨材 R の ASR 反応特性を踏まえ、Vr/Vg はペシマム特性が最も現れる 30vol% に加え、低混合率である 5vol% の試験体も作製した。単位水量は一定であり、単位セメント量は 300, 400, 500kg/m³ の 3 通りである。非反応性粗骨材には石灰石砕石 (表乾密度 2.70g/cm³, 吸水率 0.55%) を使用し、細骨材には石灰石砕砂 (表乾密度 2.70g/cm³, 吸水率 0.61%) を用いた。単位セメント量が 300, 400, 500kg/m³ の水準に対し、それぞれのアルカリ総量が 1.95, 2.60, 3.25kg/m³ となるように粒状 NaOH を用いて調節した。

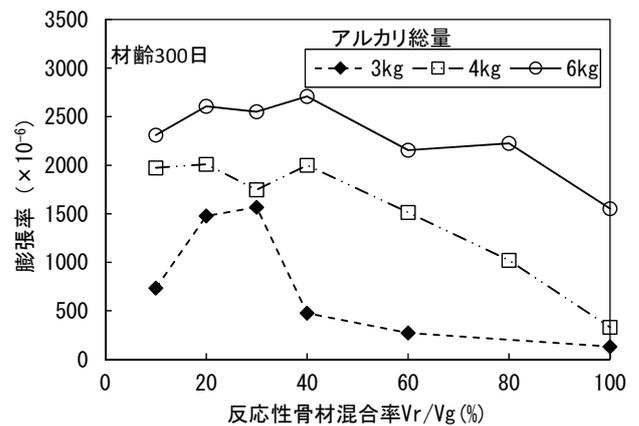


図-1 反応性混合率と促進コンクリート試験 (40°C) での膨張率の関係 (材齢 300 日)

表-1 暴露試験体のコンクリート配合

配合	反応性骨材混合率 Vr/Vg(vol%)	単位量(kg/m ³)					AE減水剤 (g/m ³)	高性能 AE減水剤 (kg/m ³)	AE剤 (ml/m ³)	NaOH (kg/m ³)	アルカリ総量 (kg/m ³)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材G						
					R	L					
300-30	30	160	300	842	288	723	-	-	12	0.43	1.95
400-5	5	160	400	758	48	981	1250	-	16	0.57	2.60
400-30	30	160	400	758	288	723	1250	-	16	0.57	2.60
500-30		160	500	674	288	723	-	4.5	20	0.71	3.25

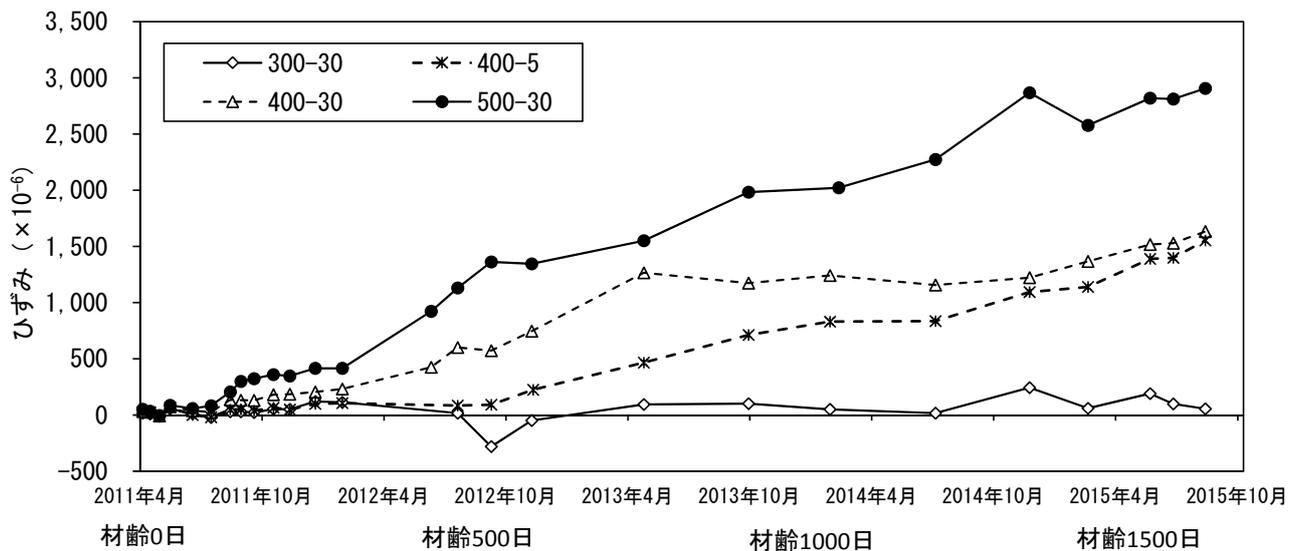


図-2 暴露供試体膨張率

アルカリ溶脱を少なくするため、試験体の寸法はコンクリートプリズムより大型の 400×400×600mm のブロック状とし、東西南北の側面にゲージプラグを埋め込み、コンタクトゲージ法により表層部における膨張率を測定した。なお測定の際コンクリート内部温度を測定し、線膨張係数 $9.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を用いて温度ひずみによる影響を除去した。

3. 測定結果

図-2 に材齢 1600 日までの表層面のひずみ経時変化を示す。材齢 320 日から大きな膨張傾向の見られた 500-30 は材齢 550 日から 780 日にかけて膨張が収束しているように思われたが、これは低温期の影響と考えられその後再度膨張に転じている。500-30 は材齢 1600 日時点で 2900×10^{-6} まで膨張が進んでいるが、依然緩やかに膨張が続いているため終局膨張に至るまでは相当の期間を要すると予想される。

同様に材齢 320 日から 780 日まで大きく膨張を示していた 400-30 も一時膨張が収束したように思われたが、再度膨張傾向を示している。全体の傾向として、暴露試験では外気温が ASR 膨張に強い影響を示すことが分かる。この 400-30 の水準はアルカリ総量が $2.6\text{kg}/\text{m}^3$ であり、現在我が国で規定されている基準を下回っている。このことは、アルカリ総量規制 ($3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 未満) の限界を示すものである。

最もアルカリ総量の少ない 300-30 は材齢 1600 日の時点で膨張を示していない。よって現時点においてアルカリ総量を $2.0\text{kg}/\text{m}^3$ 以下に規制することにより骨材 R の ASR 反応を概ね抑えることができる可能性があるがより長期の測定が必要である。

続いて Vr/Vg が僅か 5vol% である 400-5 は材齢 550 日から膨張を開始し、材齢 1600 日にはほぼ 400-30 と同じ 1550×10^{-6} まで達している。このことから、反応性骨材の混入量が僅かであっても長期的には非常に大きな膨張を示すことが分かった。図-1 ではペシマム配合は 30% であったが、アルカリ総量が $2.60\text{kg}/\text{m}^3$ とより少なくなったことも一因と考えられる。

4. まとめ

- (1) ASR 反応性の高い骨材 R を Vr/Vg=30vol% のペシマム配合で使用したコンクリートはアルカリ総量が現在の規制基準である $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ より少ない場合でも大きな膨張を起こすことが分かった。
- (2) 骨材 R による膨張を抑制するためにはアルカリ総量を少なくとも $2.0\text{kg}/\text{m}^3$ 以下にすることが望ましい。
- (3) 骨材 R は Vr/Vg=5vol% の非常に少ない混合割合でも材齢が進むにつれて Vr/Vg=30vol% と同等まで膨張することが分かった。

参考文献 1) 佐川泰貴, 山田一夫, 烏田慎也, 江里口玲: ペシマム現象を示す骨材を用いたコンクリートの加速試験および暴露試験における膨張挙動, コンクリート工学論文集, 第 25 巻, pp.135-145, 2014